

德州学院 学报

双
月
刊



编委会主任：李甲亮

编委会副主任：张秀玲

编委会委员（以姓氏笔画为序）：

于家峰	马洪才	王鹤	冯琨
吕志轩	刘艳芹	许士才	孙乃龙
李甲亮	李春光	李洪亮	杜亚丽
杨颖	张秀玲	张宝泉	张锦辉
房敏	郭长友	段文	陈立华
陈伟	赵岩	顾相伶	徐慧清
唐延柯	谈家水	黄传波	曾强成

主编：李甲亮

常务副主编：张秀玲

副主编：陈立华 谈家水 徐慧清

1985年创刊

2023年第39卷第6期

（总第192期）

2023年12月出版

德州学院学报

(双月刊)

2023年 第6期
第39卷(总第192期)

数理科学

- 带有 p -拉普拉斯算子的非线性 q -差分方程的正解问题
.....董华营,李秋萍,吴顺军,刘 婕 (1)
- 古代玻璃制品属性及化学成分数学建模的研究
.....解 慧,张建国,郭 磊,车建坤,员乐乐,王美琪 (6)
- 基于高维删失数据的分布式惩罚平均经验欧氏似然 朱彦霖,于海生 (15)

化学与化工

- 氧化海藻酸钠交联羧甲基壳聚糖凝胶的制备及其性能研究
..... 康明臻,苏顺洁,刘书霞,陈新钰,李 燕,杨效登 (23)

生命·医药科学

- 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行现状及影响因素分析... 张 鑫,万晶晶,盛建民 (28)
- 局部浸润麻醉在前臂自体动静脉内瘘狭窄腔内治疗中的临床应用
..... 孙志俭,王海庆,高 峰,闫文科,张文凯,侯向前,项丹丹 (33)

信息科学

- PMO管理模式下高校应用型科研项目进度风险评价研究
..... 桂邴娜,林佳楠,武 斌,陆 露 (37)
- 基于变分贝叶斯与子空间辨识的融合定位算法..... 夏金凤,刘延旭 (44)

动力·能源与交通

一种柔性仿生手指创新设计与运动分析·····张灿果,朱承科,陈海,张健伟(50)

生态与资源环境

京津冀协同发展背景下德州市城乡融合协调发展的路径·····刘富刚(56)

德城区河流缓冲区生态空间变化研究·····安文明,张霞,张东旭,李洋洋(62)

经济·管理学研究

高管激励与企业创新绩效影响研究

——基于高管风险偏好的调节效应·····易斌,蔡红(67)

人才聚集助推山东黄河流域高质量发展路径设计与政策研究·····邵林,梁桂香(76)

山东数字经济测度及其分布的动态演变研究·····梁超(83)

教育治理现代化视角下高校内部控制研究

——以D大学为例·····郭宗睿(88)

高校教学研究

一例Co(III)配合物的综合实验教学设计

——合成、表征及理论研究·····魏荣敏,李刚,杨敏,张秀玲,李荣春(94)

后疫情时代基于雨课堂的混合式课堂教学创新应用能力提升实践

——以线性代数课程为例·····任文丽,尹秀玲,刘耀斌(98)

新农科专业课程思政的探索与实践

——以《作物育种学》为例·····张红,梁淑霞,潘恩敬,焦德杰,黄振喜(102)

基于工程教育认证的多元协同人才培养模式研究

——以德州学院互联网产业学院为例·····于士军,朱恒伟,胡凯,刘豪睿(107)

JOURNAL OF DEZHOU UNIVERSITY

Vol. 39 No. 6

December 2023

MAIN CONTENTS

- Positive Solutions of Nonlinear q – Difference Equation with p – Laplacian Operators
.....DONG Huaying, LI Qiuping, WU Shunjun, *et al* (1)
- Research on Mathematical Modeling of Properties and Chemical Composition of Ancient Glassware
.....XIE Hui, ZHANG Jianguo, GUO Lei, *et al* (6)
- Preparation and Properties of Carboxymethyl Chitosan Gels Crosslinked by Oxidized Sodium Alginate
.....KANG Mingzhen, SU Shunjie, LIU Shuxia, *et al* (23)
- Study on the Current Status and Determinants of KAP about Parent Involvement in
Perioperative Care of Children Undergoing Circumcision
..... ZHANG Xin, WAN Jingjing, SHENG Jianmin (28)
- Clinical Application of Loca Infiltration Anesthesia in the Endovascular Treatment of Forearm
Autogenous Arteriovenous Fistula Stenosis
.....SUN Zhijian, WANG Haiqing, GAO Feng, *et al* (33)
- Research on Progress Risk Evaluation of Applied Research Projects in Universities
under PMO Management Mode
.....GUI Lina, LIN Jianan, WU Bin, *et al* (37)
- Innovative Design and Kinematic Analysis of The Flexible Bionic Finger
.....ZHANG Canguo, ZHU Chengke, CHEN Hai, *et al* (50)
- The Path of Urban Rural Integration and Coordinated Development in Dezhou City Under
the Background of Coordinated Development of Beijing–tianjin–hebei
..... LIU Fugang (56)
- Research on the Influence of Executive Incentive and Enterprise Innovation Performance
——Moderating Effect Based on Risk Appetite of Executives
.....YI Bin, CAI Hong (67)
- Design on Comprehensive Experiment of a Co(III) Compound
——Synthesis, Characterization and Theoretical Studies
.....WEI Rongmin, LI Gang, YANG Min, *et al* (94)

带有 p -拉普拉斯算子的非线性 q -差分方程的正解问题

董华营, 李秋萍, 吴顺军, 刘 婕

(德州学院 数学与大数据学院, 山东 德州 253023)

摘 要: 本文主要证明了带 p -拉普拉斯算子的非线性 q -差分方程 ${}^c D_q^\beta(\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t))) = f(t, u(t))$, $t \in (0, 1)$, ${}^c D_q^\alpha u(0) = D_q u(0) = 0$, ${}^c D_q^\alpha u(1) = a {}^c D_q^\alpha u(\theta)$, $u(1) = bu(\eta)$ 的四点边值问题解的存在性, 并给出两种不同的解的结果, 同时, 利用不等式的放缩法来研究该方程的正解问题。

关键词: p -拉普拉斯算子; 非线性 q -差分方程; Caputo 导数; 解的存在性和正解问题

中图分类号: O241.84 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-9444(2023)06-0001-05

0 引言

近年来, 带有 p -拉普拉斯算子的分数阶差分方程在弹性力学、非牛顿力学、电化学、流体力学和材料科学等科学和工程领域的应用得到了广泛的关注, 带有 p -拉普拉斯算子的分数阶差分方程边值问题中解的存在性和正解问题以及多个正解的问题也得到了一些结果^[1,2]。自从 Rui 和 Liu^[3]提出分数阶 q -差分以来, q -差分方程的研究在领域内得到新的发展。最近, 非线性分数阶 q -差分方程的边值问题得到了许多研究者的广泛关注, Avery^[4]利用不动点定理和上、下解方法研究了非线性分数阶 q -差分方程边值问题的解及其正解的存在性及多解问题。本文通过利用 Caputo 导数、 q -积分证明了带 p -拉普拉斯算子的非线性 q -差分方程解的存在性, 并通过不等式的放缩法来研究该方程的正解问题。

1 预备知识

首先, 给出必要的定义和引理。设 $0 < q < 1$, 规定

$$[\alpha]_q = \frac{1 - q^\alpha}{1 - q}, \quad \alpha \in \mathbb{R}, \quad [n]_q! = [n]_q [n-1]_q \dots [1]_q, \quad n \in \mathbb{R}.$$

定义1 设 $a, b \in \mathbb{R}$, 幂函数 $(a-b)_q^\alpha$ 为

$$(a-b)_q^\alpha = a^\alpha \prod_{i=1}^{\infty} \left[\frac{a - bq^i}{a - bq^{\alpha+i}} \right], \quad a \neq 0.$$

定义2 q -Gamma 函数为

$$\Gamma_q(x) = \begin{cases} \frac{(1-q)^{(x-1)}}{(1-q)^{x-1}}, & x \in \mathbb{R} \setminus \{0, -1, -2, \dots\}. \\ [x-1]_q!, & x \in \mathbb{N}, \end{cases}$$

定义3 q -导数为

$$D_q f(t) = \frac{f(t) - f(qt)}{(1-q)t}, \quad t \neq 0, \quad (D_q f)(0) = \lim_{x \rightarrow 0} (D_q f)(t).$$

定义4^[5] 设 $\alpha > 0$, $0 < q < 1$, 分数阶 q -积分定义为

$$I_q^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} f(s) d_q s.$$

收稿日期: 2023-08-14

作者简介: 董华营 (1992-), 女, 山东德州人, 讲师, 硕士, 主要从事动力方程研究。

引理1^[6] 设 $\alpha \in (N-1, N]$, $N \in \mathbb{N}$ 且 $0 < q < 1$, 则有

$${}^c D_q^\alpha I_q^\alpha f(t) = f(t) \quad (1.1)$$

$$I_q^\alpha {}^c D_q^\alpha f(t) = f(t) + C_1 t^{N-1} + C_2 t^{N-2} + \dots + C_N \quad (1.2)$$

其中, $C_i \in \mathbb{R}$, $i = 1, 2, \dots, N$.

引理2^[7] 设 $\alpha > 0$, $n = \lceil \alpha \rceil$, 如果存在 $\gamma \leq \alpha - n + 1$, $f \in C_r[0, a]$, $a > 0$, 则 $I_q^\alpha f \in C_q^n[0, a]$.

2 解的存在性及正解问题

定理1 设 $0 < q < 1$, $1 < \alpha, \beta < 2$, $a^{p-1}\theta, b\eta < 1$, $0 < \theta, \eta < 1$, ${}^c D_q^\alpha$ 和 ${}^c D_q^\beta$ 为分数阶 q -差分的Caputo导数, p -拉普拉斯算子为 $\varphi_p(s) = |s|^{p-2}s$, $p > 1$. 且 $\varphi_p^{-1} = \psi_m$, $h \in C([0, 1], [0, \infty))$, 则 $u(t)$ 是四点边值问题

$$\begin{cases} {}^c D_q^\beta (\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t))) = f(t, u(t)), & t \in (0, 1) \\ {}^c D_q^\alpha u(0) = D_q u(0) = 0 \\ {}^c D_q^\alpha u(1) = a {}^c D_q^\alpha u(\theta), & u(1) = bu(\eta) \end{cases} \quad (2.1)$$

的特解, 当且仅当 $u(t)$ 满足

$$u(t) = -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s + b_2 \quad (2.2)$$

其中

$$b_2 = \frac{\int_0^1 (1-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s - b \int_0^\eta (\eta-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s}{(1-b)\Gamma_q(\alpha)} \quad (2.3)$$

$$k(t) = -\psi_m \left[\frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\beta-1)} d_q s + C_1 t \right] \quad (2.4)$$

$$C_1 = \frac{a^{p-1} \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s - \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)}.$$

证明 设 $u(t)$ 是方程(2.1)的一个特解, 将(2.1)式两端同时取算子 I_q^β , 由引理1可以得到方程

$$\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t)) = \frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s + C_1 t + C_2 \quad (2.5)$$

由于 ${}^c D_q^\alpha u(0) = 0$, 可得 $C_2 = 0$, 又因为 ${}^c D_q^\alpha u(1) = a {}^c D_q^\alpha u(\theta)$, 则

$$\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(1)) = \varphi_p(a {}^c D_q^\alpha u(\theta)) = a^{p-1} \varphi_p({}^c D_q^\alpha u(\theta)),$$

其中

$$\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(1)) = \frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s + C_1,$$

$$\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(\theta)) = \frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s + C_1 \theta,$$

从而可得

$$C_1 = \frac{a^{p-1} \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s - \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_q s}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)}.$$

由 $\varphi_p^{-1} = \psi_m$, 设

$${}^c D_q^\alpha u(t) = \psi_m \left(\frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\beta-1)} h(s) d_qs + C_1 t \right) = -k(t) \tag{2.6}$$

将(2.6)两端取算子 I_q^α , 同理可得

$$u(t) = -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs + b_1 t + b_2 \tag{2.7}$$

(2.7)两端同时取导数可得

$$D_q u(t) = -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha-1)} \int_0^t (t-qs)_q^{\alpha-2} k(s) d_qs + b_1 \tag{2.8}$$

由 $D_q u(0) = 0$, 可得 $b_1 = 0$, 则

$$u(t) = -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs + b_2$$

又由 $u(1) = bu(\eta)$, 容易得到

$$b_2 = \frac{\int_0^1 (1-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs - b \int_0^\eta (\eta-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs}{(1-b)\Gamma_q(\alpha)} \tag{2.9}$$

将 b_2 带入(2.7)即可得到方程的一个特解 $u(t)$ 。

相反地, 如果 $u(t) = -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs + b_2$, 证明 $u(t)$ 是方程(2.1)的解, 由(2.6)可得

$$u(t) = -I_q^\alpha k(t) + b_2 = -I_q^\alpha \psi_m [I_q^\beta h(t) + C_1 t] + b_2 \tag{2.10}$$

因为 $h(t)$ 连续, 则 $\psi_m [I_q^\beta h(t) + C_1 t] \in C[0, 1]$ 。由引理2可得 $u(t) = -I_q^\alpha k(t) + b_2 \in C_q^2[0, 1]$, 等式两边同时取算子 ${}^c D_q^\alpha$ 可得

$${}^c D_q^\alpha u(t) = \psi_m [I_q^\beta h(t) + C_1 t],$$

等式两边取算子 φ_p 可得 $\varphi_p ({}^c D_q^\alpha u(t)) = I_q^\beta h(t) + C_1 t$, 等式两边再取算子 ${}^c D_q^\beta$ 由引理1可得

$${}^c D_q^\beta (\varphi_p ({}^c D_q^\alpha u(t))) = h(t),$$

经验证, $u(t)$ 满足(2.1)的四个条件, 证毕。

定理2 设 $1 < \alpha, \beta < 2, a^{p-1}\theta, b\eta < 1, f(t, u(t)) \in C((0, 1) \times (0, +\infty), (0, +\infty))$, 规定

$$u(t) = -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs + b_2,$$

其中

$$b_2 = \frac{\int_0^1 (1-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs - b \int_0^\eta (\eta-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_qs}{(1-b)\Gamma_q(\alpha)},$$

$$k(t) = -\psi_m \left[\frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\beta-1)} d_qs + C_1 t \right], C_1 = \frac{a^{p-1} \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_qs - \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_qs}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)},$$

则 $u(t) > 0$ 。

证明 先证 $k(s) > 0$, 再证 $u(t) > 0$ 。

由于 $1 < \beta < 2, 0 < s < 1$, 则 $s < s^{\beta-1}$, 即 $-s > -s^{\beta-1}$, 那么

$$\begin{aligned}
k(s) &= -\psi_m \left[\frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^s (s-qt)_q^{(\beta-1)} f(t, u(t)) d_q t + C_1 s \right] \\
&> \psi_m \left[-\frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^s (s-qt)_q^{(\beta-1)} f(t, u(t)) d_q t - C_1 s^{\beta-1} \right] \\
&= \psi_m \left[-\frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^s (s-qt)_q^{(\beta-1)} f(t, u(t)) d_q t + \right. \\
&\quad \left. \frac{s^{\beta-1} \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s - a^{p-1} s^{\beta-1} \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)} \right] \\
&= \frac{s^{\beta-1} \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s}{\Gamma_q(\beta)} + \frac{a^{p-1} s^{\beta-1} \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)} \\
&\quad - \frac{a^{p-1} s^{\beta-1} \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)} - \frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \int_0^s (s-qt)_q^{(\beta-1)} f(t, u(t)) d_q t \\
&\geq \frac{a^{p-1} s^{\beta-1} \int_0^1 \theta(1-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s - \int_0^\theta (\theta-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s}{(1-a^{p-1}\theta)\Gamma_q(\beta)} \\
&\quad + \frac{s^{\beta-1} \int_0^1 (1-qs)_q^{(\beta-1)} f(s, u(s)) d_q s}{\Gamma_q(\beta)} \geq 0,
\end{aligned}$$

可得 $k(s) > 0$, 则

$$\begin{aligned}
u(t) &= -\frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s + b_2 \\
&= \frac{\int_0^1 (1-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s - b \int_0^\eta (\eta-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s}{(1-b)\Gamma_q(\alpha)} \\
&\quad - \frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s \\
&= \frac{\int_0^1 (1-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s - \int_0^t (t-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s}{\Gamma_q(\alpha)} \\
&\quad + \frac{b \int_0^1 (1-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s + b \int_0^\eta (\eta-qs)_q^{(\alpha-1)} k(s) d_q s}{(1-b)\Gamma_q(\alpha)} > 0,
\end{aligned}$$

证毕。

下面用另一种方法来证明方程(2.1)解的存在性。

定理3 对任意给定的函数 $h \in C[0,1]$ 且 $k, m \in \mathbb{R}$, $u(x) \in C_q^2[0,1]$ 是有界边值问题

$$\begin{cases}
{}^c D_q^\beta (\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t))) = h(t), & 0 < t < 1 \\
{}^c D_q^\alpha u(0) = D_q u(0) = 0 \\
u(1) = k, {}^c D_q^\alpha u(1) = m
\end{cases} \quad (2.11)$$

的一个解, 当且仅当 $u(x)$ 满足

$$u(x) = k - \int_0^1 G(x, qt) \psi_m(\varphi_p(m)) x^{\beta-1} - \int_0^1 H(x, qt) h(t) d_q t d_q t,$$

其中

$$G(x, qt) = \frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \begin{cases} (1-qt)_q^{(\alpha-1)} - (x-qt)_q^{(\alpha-1)}, & 0 \leq qt \leq x \leq 1, \\ (1-qt)_q^{(\alpha-1)}, & 0 \leq x \leq qt \leq 1. \end{cases}$$

$$H(x, qt) = \frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \begin{cases} x^{\beta-1}(1-qt)_q^{(\beta-1)} - (x-qt)_q^{(\beta-1)}, & 0 \leq qt \leq x \leq 1, \\ x^{\beta-1}(1-qt)_q^{(\beta-1)}, & 0 \leq x \leq qt \leq 1. \end{cases}$$

证明 设 $v(x) = \varphi_p({}^c D_q^\alpha u(x))$, 可得方程

$$\begin{cases} {}^c D_q^\beta (v(x)) = h(x), & 0 < x < 1 \\ v(0) = 0, v(1) = \varphi_p(m) \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} {}^c D_q^\alpha u(x) = \psi_m(v(x)), & x \in (0, 1) \\ D_q u(0) = 0, u(1) = k \end{cases} \quad (2.13)$$

对(2.12)式两端取算子 I_q^β , 由引理1可得

$$v(x) = C_1 x^{\beta-1} + C_2 x^{\beta-2} + I_q^\beta h(x), \text{ 其中 } C_1, C_2 \in \mathbb{R},$$

由边值条件 $v(0) = 0$, 可得 $C_2 = 0$. 再由 $v(1) = \varphi_p(m)$ 可得 $C_1 = \varphi_p(m) - I_q^\beta h(1)$, 则方程(2.12)有特解

$$\begin{aligned} v(x) &= \frac{1}{\Gamma_q(\beta)} \left(\int_0^x (x-qt)_q^{(\beta-1)} h(t) d_q t - \int_0^1 (1-qt)_q^{(\beta-1)} h(t) d_q t \right) + \varphi_p(m) x^{\beta-1} \\ &= \varphi_p(m) x^{\beta-1} - \int_0^1 H(x, qt) h(t) d_q t \end{aligned} \quad (2.14)$$

类似地, 边值问题(2.13)有特解:

$$\begin{aligned} u(x) &= k + \frac{1}{\Gamma_q(\alpha)} \left(\int_0^x (x-qt)_q^{(\alpha-1)} \psi_m(v(t)) d_q t - \int_0^1 (1-qt)_q^{(\alpha-1)} \psi_m(v(t)) d_q t \right) \\ &= k - \int_0^1 G(x, qt) \psi_m(v(x)) d_q t \\ &= k - \int_0^1 G(x, qt) \psi_m(\varphi_p(m) x^{\beta-1} - \int_0^1 H(x, qs) h(s) d_q s) d_q t \end{aligned} \quad (2.15)$$

设 $f \in C([0, 1] \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}, [0, +\infty))$, 由引理2可知, $u(x) \in C^2[0, 1]$ 是方程

$$\begin{cases} {}^c D_q^\beta (\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t))) = f(t, u(t)), & 0 < t < 1, \\ {}^c D_q^\alpha u(0) = D_q u(0) = 0, \\ u(1) = au(\theta), {}^c D_q^\alpha u(1) = bu(\eta) \end{cases}$$

的解, 当且仅当 $u(x) \in C^2[0, 1]$ 满足方程

$$u(x) = au(\theta) - \int_0^1 G(x, qt) \psi_m(\varphi_p(bu(\eta)) x^{\beta-1} - \int_0^1 H(x, qs) f(s, u(s)) d_q s) d_q t.$$

3 结论

本文主要通过Caputo导数、 q -差分方程及不等式的放缩法研究了带有 p -拉普拉斯算子的非线性 q -差分方程 ${}^c D_q^\beta (\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t))) = f(t, u(t)), t \in (0, 1)$ 解的存在性和正解问题, 该非线性方程在四点边值问题 ${}^c D_q^\alpha u(0) = D_q u(0) = 0, {}^c D_q^\alpha u(1) = a {}^c D_q^\alpha u(\theta), u(1) = bu(\eta)$ 中存在特解 $u(t)$, 且 $u(t) > 0$ 。

参考文献:

[1] Buhner M, Li T X. Kamenev-type criteria for nonlinear damped dynamic equations[J]. Science china mathematics, 2015, 58 (7): 1445-1452.
 [2] Buhner M, Li T X. Oscillation of second-order p -laplace dynamic equations with a no positive neutral coefficient[J]. Applied mathematics letters, 2014, 37: 72-76.
 [3] Liu H K. Application of the variational iteration method to strongly nonlinear q -difference equations[J]. Journal of applied mathematics, 2012(1): 1-12.
 [4] Avery R I, Peterson A C. Three positive fixed points of nonlinear operators on ordered Banach spaces[J]. Computers and mathematics with applications, 2001, 42(3): 313-322.

古代玻璃制品属性及化学成分数学建模的研究

解慧^a, 张建国^b, 郭磊^a, 车建坤^a, 员乐乐^a, 王美琪^a

(晋中学院 a. 数学系; b. 物理系, 山西 晋中 030619)

摘要: 由于古代玻璃制品在被风化后内外部元素易发生交换, 引起古代玻璃制品成分比例发生变化, 难以追溯其起始状态, 故通过岭回归算法、k-means聚类算法、灰色关联分析等建立数学模型, 解决古代玻璃制品风化前化学成分的预测、亚划分及风化情况与各属性各成分间关系等问题。该模型不仅可以运用到古代玻璃制品文物的成分鉴定与鉴别, 还可应用到古建筑的保护。

关键词: 卡方检验; k-means聚类算法; 岭回归算法; topsis评价模型; 灰色关联分析

中图分类号: O193

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0006-09

0 引言

我国玻璃制品与他国的外观相似, 化学成分存在差异, 但玻璃的主要原料为石英砂, 主要化学成分是二氧化硅。现有一批我国古代玻璃制品的相关数据, 根据这些样品的化学成分, 研究者已通过其他检测手段将其分为高钾、铅钡玻璃两大类。但古代玻璃容易受环境影响而风化, 玻璃风化后内部元素和环境元素发生了大量的交换而引起成分比例的改变, 难以追溯其起始状态。

根据收集到的数据^[1], 对古代玻璃制品各属性及化学成分间关系进行分析, 通过卡方检验、岭回归算法、k-means聚类算法及灰色关联分析算法建立数学模型, 解决以下4个问题。

(1) 玻璃文物的表面风化与其类型、纹饰和颜色等属性存在一定的联系, 分析已有数据, 对其与玻璃表面风化的联系分别进行总结。此外, 文物表面风化程度与内部的化学成分含量也存在密切联系, 需要继续深入研究, 对数据进行统计, 且根据分析结果对玻璃分化前的成分进行预测。

(2) 高钾玻璃和铅钡玻璃的分类存在一定的规律, 从颜色、纹饰和是否风化三个方面分别探讨各自的分类规律。此外, 还需要根据两种类型玻璃各自的化学成分对高钾玻璃和铅钡玻璃分别进行亚划分, 并验证其分类结果的合理性和敏感性。

(3) 给出8个(分别是01~08)未知类型的玻璃的化学成分和未风化的情况, 需要对此已知数据进行分析, 反推出该8个玻璃的类型, 并验证其结果的敏感性。

(4) 分别建立高钾玻璃和铅钡玻璃各自内部化学成分的关系, 并在得到的关系的基础上比较差异性。

1 风化前化学含量预测

1.1 卡方检验

要分析探究玻璃表面风化与玻璃类型、颜色、纹饰间的联系, 首先对提供的数据进行预处理, 针对颜色栏有空缺的数据被认定为异常数据并进行剔除, 通过SPSS进行卡方检验^[2]对表面风化与玻璃各属性间的关系进行差异化分析, 得到卡方检验分析结果, 如表1所示。

根据显著性检验方法所得的P值一般小于0.05, 即可认为模型呈现出显著性差异。基于表面风化和颜色、纹饰及玻璃类型的显著性P值分别为: 0.428、0.057、0.049, 故对于表面风化和颜色关系及纹饰数据关系不存在显著性差异, 和玻璃类型关系存在显著性差异, 因此玻璃各属性对玻璃表面风化与否的显著影响程度依次为玻璃类型、纹饰、颜色。

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 山西省基础研究计划项目青年科学研究计划“偏振转换器功能多元化与宽带高纯度圆偏振波生成”(202103021223353)。

作者简介: 解慧(1983-), 女, 山西文水人, 讲师, 硕士, 主要从事数学建模研究。

表1 卡方检验分析结果表

属性	名称	纹饰					类型								
		C	A	B	高钾	铅钡	蓝绿	浅蓝	紫	深绿	深蓝	浅绿	黑	绿	
表面	无风化(个数)	11	11	0	10	12	6	6	2	3	2	2	0	1	
风化	风化(个数)	15	9	6	6	24	9	12	2	4	0	1	2	0	
	总计(个数)	26	20	6	16	36	15	18	4	7	2	3	2	1	
	χ^2	5.720					3.861					7.011			
	校正 χ^2	5.720					2.758					7.011			
	P	0.057					0.049					0.428			

为探究玻璃表面分化与各属性间的具体关系,通过SPSS分别做出表面风化与玻璃各属性间的关系列联表,如表2所示。

由表2可得:铅钡和高钾风化率分别为66.7%和37.5%,铅钡和高钾无风化率分别为33.3%和62.5%,经过分析可知铅钡更易风化,高钾不易风化。

同理可得出结论:纹饰A和纹饰C对玻璃是否风化影响效果不显著;纹饰B更易使玻璃风化。浅绿色、深蓝色、绿色不易使玻璃风化;浅蓝色、蓝绿色、黑色易使玻璃风化;深绿色和紫色对玻璃是否风化无显著性影响。

表2 表面风化与玻璃各属性列联表

属性	名称	表面风化		总计
		无风化	风化	
类型	铅钡	12(33.3%)	24(66.7%)	36
	高钾	10(62.5%)	6(37.5%)	16
	总计	22	30	52

1.2 岭回归算法

首先筛选出高钾玻璃并计算出各个化学成分所占比例,得出该比例分别在玻璃有无风化两种情况下各自的均值: \bar{w}_i (有风化)($i=1, 2, \dots, 14$)和 \bar{w}_i (无风化)($i=1, 2, \dots, 14$)。以 \bar{w}_i 为y轴,化学成分 m_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为x轴, m_i 依次表示为: SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CuO 、 PbO 、 BaO 、 P_2O_5 、 SrO 、 SnO_2 、 SO_2 。做出高钾玻璃有无风化各化学成分含量均值的折线图,如图1所示。

为更直观地分析玻璃中是否含有风化化学成分这一统计规律,对各个化学成分所占比例分别在玻璃有无风化两种情况下各自的均值进行做差,公式为:

$$\bar{w}_i = \bar{w}_i(\text{无风化}) - \bar{w}_i(\text{风化}) \quad (i=1, 2, \dots, 14) \quad (1)$$

其中 \bar{w}_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为y轴,各个化学成分 m_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为x轴做出折线图,如图2所示。

当 \bar{w}_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为正值代表无风化化学成分含量多于有风化化学成分的含量,且正值越大

表示该化学物质无风化化学成分含量更高;当 \bar{w}_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为负值代表风化化学成分含量多于无风化化学成分的含量,且负值越小表示该化学物质风化化学成分含量更高,由图2分析得出: \bar{w}_3 和 \bar{w}_6 较大,即表面无风化化学成分 K_2O 和 Al_2O_3 含量较高,即表示 Al_2O_3 和 K_2O 不易使高钾玻璃风化。

筛选出铅钡玻璃并计算出各个化学成分所占比例,分别在玻璃有无风化两种情况下的平均值 \bar{e}_i ($i=1, 2, \dots, 14$),以 \bar{e}_i 为y轴,各个化学成分 m_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为x轴做出折线图,如图3所示。以铅钡玻璃各有无风化化学成分所对应的平均值做差,公式为:

$$\bar{q}_i = \bar{e}_i(\text{无风化}) - \bar{e}_i(\text{风化}) \quad (i=1, 2, \dots, 14) \quad (2)$$

其中以 \bar{q}_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为y轴,各个化学成分 m_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为x轴做出折线图,如图4所示。由图4得出: \bar{q}_9, \bar{q}_{11} 负值较小,由此推断表面风化化学成分 PbO 和 P_2O_5 含量较高,即表示 PbO 和 P_2O_5 易使铅钡玻璃风化。

为预测风化前化学成分的含量,首先将玻璃的属性进行量化处理,以 x_i ($i=1, 2, \dots, 15$)分别代表玻璃属性:纹饰A、纹饰B、纹饰C、铅钡、高钾、浅绿、浅蓝、深绿、深蓝、紫、绿、蓝绿、黑、表面无风化、表面风化。并设置0-1变量^[3],若 $x_i=1$ ($i=1, 2, \dots, 15$),则表明该文物玻璃具有其属性;若 $x_i=0$ ($i=1, 2, \dots, 15$),则表明该文物玻璃不具有其属性。 x_i ($i=1, 2, \dots, 15$)满足约束条件为:

$$s.t \begin{cases} \sum_{i=1}^3 x_i = 1 \\ \sum_{i=4}^5 x_i = 1 \\ \sum_{i=6}^{13} x_i = 1 \\ \sum_{i=14}^{15} x_i = 1 \\ x_i \in \{0,1\} \quad i=1, 2, \dots, 15 \end{cases} \quad (3)$$

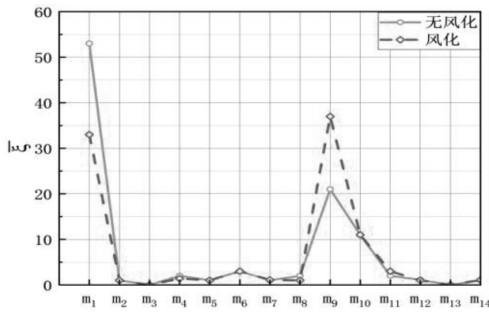


图1 高钾玻璃有无风化时各化学成分均值折线图

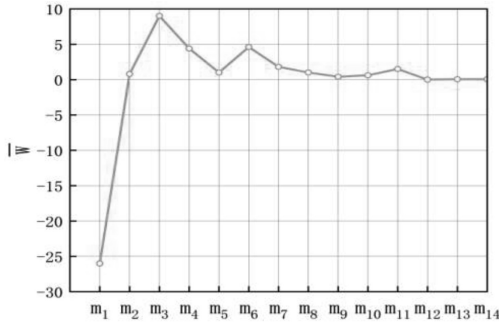


图2 高钾玻璃有无风化化学成分均值做差折线图

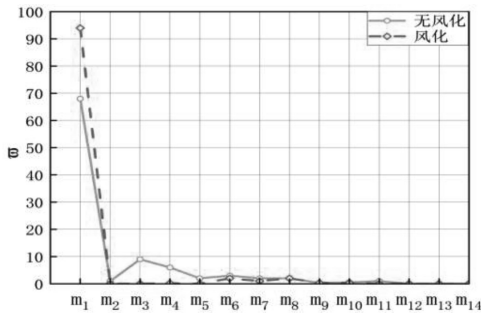


图3 铅钡玻璃有无风化时各化学成分均值折线图

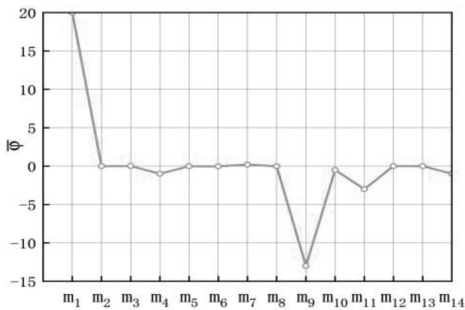


图4 铅钡玻璃有无风化化学成分均值做差折线图

0-1变量处理后部分数据, 如表3所示。由于玻璃的属性对化学成分的含量存在影响, 故为了预测风化前的化学成分含量, 通过建立多目标元素线性回归模型^[4], 得出因变量为各化学成分 m_i ($i=1, 2, \dots, 14$) 与自变量各玻璃属性 x_i ($i=1, 2, \dots, 15$) 的拟合公式为:

$$y(m_i) = f(\beta, x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_{15} x_{15} \quad (i=1, 2, \dots, 14),$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^3 x_i = 1 \\ \sum_{i=4}^5 x_i = 1 \\ \sum_{i=6}^{13} x_i = 1 \\ \sum_{i=14}^{15} x_i = 1 \\ x_i \in \{0,1\} \quad i=1, 2, \dots, 15 \end{cases} \quad (4)$$

由于样本容量较小, 为使偏回归系数^[4]更接近真实的情况, 从而提高模型的稳定性及可靠性, 将处理好的0-1变量数据导入SPSS, 通过岭回归算法^[5]得出各化学成分与玻璃属性的函数关系式。其中 SiO_2 的函数关系式为:

$$y(m_1) = 57.167 + 1.948x_1 + 32.656x_2 - 13.148x_3 - 7.383x_4 + 7.383x_5 + 10.881x_6 + 1.086x_7 + 8.789x_8 - 12.251x_9 - 8.766x_{10} + 4.405x_{11} + 0.219x_{12} - 6.884x_{13} + 7.391x_{14} - 7.391x_{15} \quad (5)$$

表3 玻璃属性量化表

文物采样点	x_1	x_2	x_3	...	x_{14}	x_{15}
01(文物类型)	0	0	1	...	1	0
02(文物类型)	1	0	0	...	0	1
03(文物类型)部位1	1	0	0	...	1	0
03(文物类型)部位2	1	0	0	...	1	0

由于文物表面有无风化无法决定是否风化, 根据风化点检测数据, 筛选检测点风化且玻璃表面风化的部分数据, 如表4所示。

表4 待检测的风化点

纹饰	类型	颜色	表面风化	文物采样点	SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO
A	铅钡	浅蓝	风化	2	36.28	0.00	1.05	2.34
B	高钾	蓝绿	风化	7	92.63	0.00	0.00	1.07
C	铅钡	紫	风化	8	20.14	0.00	0.00	1.48
C	铅钡	紫	风化	8 (严重风化)	4.61	0.00	0.00	3.19
B	高钾	蓝绿	风化	9	95.02	0.00	0.59	0.62
B	高钾	蓝绿	风化	10	96.77	0.00	0.92	0.21
C	铅钡	浅蓝	风化	11	33.59	0.00	0.21	3.51
B	高钾	蓝绿	风化	12	94.29	0.00	1.01	0.72
B	高钾	蓝绿	风化	22	92.35	0.00	0.74	1.66
C	铅钡	紫	风化	26	19.79	0.00	0.00	1.44
C	铅钡	紫	风化	26 (严重风化)	3.72	0.00	0.40	3.01
B	高钾	蓝绿	风化	27	92.72	0.00	0.00	0.94

表5 部分风化前的化学成分含量

文物编号	纹饰	类型	颜色	表面风化	文物采样点	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO
2	A	铅钡	浅蓝	风化	2	29.986	0.909	-0.696	1.931
7	B	高钾	浅绿	风化	7	88.994	-0.028	1.196	1.318
8	C	铅钡	紫	风化	8 (严重风化)	17.266	-0.261	-0.292	2.095
9	B	高钾	蓝绿	风化	9	88.994	-0.028	1.196	1.318
10	B	高钾	蓝绿	风化	10	88.994	-0.028	1.196	1.318
11	C	铅钡	浅蓝	风化	11	25.12	0.586	0.537	3.209
12	B	高钾	蓝绿	风化	12	88.994	-0.028	1.196	1.318
22	B	高钾	蓝绿	风化	22	88.994	-0.028	1.196	1.318
26	C	铅钡	紫	风化	26	17.266	-0.261	-0.292	2.095
27	B	高钾	蓝绿	风化	27 (严重风化)	88.994	-0.028	1.196	1.318
34	C	铅钡	深绿	风化	34	33.864	0.614	0.163	1.622
36	C	铅钡	深绿	风化	36	33.864	0.614	0.163	1.622

由玻璃的各属性推断其风化前的化学成分含量,将各化学成分含量的拟合函数 $y(m_i) = f(\beta, x)$ ($i=1, 2, \dots, 14$), 通过MATLAB计算, 部分风化前结果, 如表5所示。

2 玻璃亚划分

2.1 高钾玻璃、铅钡玻璃的分类规律

为研究玻璃类型的分类规律, 需建立类别与其他属性的可视化柱状图。

首先, 筛选出各纹饰的高钾玻璃和铅钡玻璃并计算其频数, 以纹饰类型为 x 轴, 所含玻璃个数为 y 轴, 分别做出纹饰所含高钾玻璃和铅钡玻璃的频数柱状统计图, 如图5所示。然后, 以颜色类型为

x 轴, 所含玻璃个数为 y 轴, 分别做出各颜色所含高钾玻璃和铅钡玻璃的频数柱状统计图, 如图6所示。最后, 以有无风化类型为 x 轴, 所含玻璃个数为 y 轴, 分别做出有无风化所含高钾玻璃和铅钡玻璃的频数柱状统计图, 如图7所示。

由图5可推断玻璃类型分类规律为: 含纹饰B的多为高钾玻璃, 含纹饰A或C的多为铅钡玻璃; 由图6可推断玻璃类型分类规律为: 蓝绿色多为高钾玻璃, 深绿色和浅蓝色多为铅钡玻璃; 由图7可得: 风化的铅钡玻璃与高钾玻璃相差较大, 因此推断风化的多为铅钡玻璃; 无风化的铅钡玻璃与高钾玻璃相差较小, 因此表面无风化不能作为玻璃类型的分类标准。

表6 高钾玻璃分类结果

第一类	第二类	第三类	第四类	第五类	第六类	文物采样点
59.01	92.63	76.68	69.33	67.65	87.05	13
62.47	95.02	76.68	69.33	67.65	87.05	14
65.18	96.77	76.68	69.33	67.65	87.05	5
	94.29	76.68	69.33	67.65	87.05	7
	92.35	76.68	69.33	67.65	87.05	9
	92.72	76.68	69.33	67.65	87.05	10
		76.68	69.33	67.65	87.05	12
		76.68	69.33	67.65	87.05	22
		76.68	69.33	67.65	87.05	27
		76.68	69.33	67.65	87.05	21
		76.68	69.33	67.65	87.05	1
		76.68	69.33	67.65	87.05	3部位2
		76.68	69.33	67.65	87.05	4
		76.68	69.33	67.65	87.05	5
		76.68	69.33	67.65	87.05	6部位2
		76.68	69.33	67.65	87.05	6部位1
		76.68	69.33	67.65	87.05	3部位1
		76.68	69.33	67.65	87.05	18

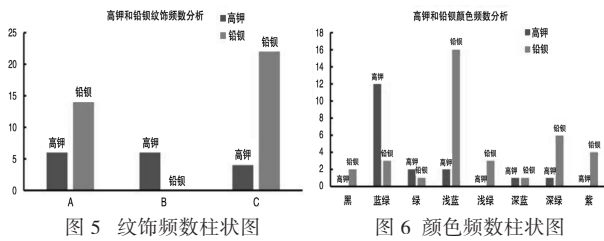


图 5 纹饰频数柱状图

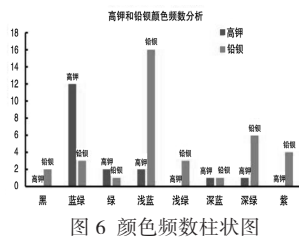


图 6 颜色频数柱状图

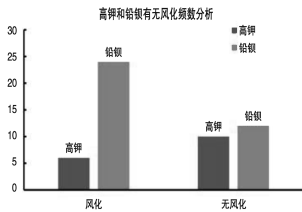


图 7 有无风化频数柱状图

2.2 k-means聚类算法模型

通过高钾和铅钡两个玻璃类别的化学成分分别对其进行亚分类，但分类的簇数未知，故采用 k-means 聚类算法^[6-7]，生成聚类指标矩阵，但由于 k-means 算法得出的分类结果存在不确定性，需要结合 topsis 评价模型^[8-10]评价出聚类指标矩阵的最优解(即适合的分簇数)。

聚类结果的轮廓系数是聚类是否合理、有效

的度量。聚类分析时轮廓系数接近 1，则说明样本 i 聚类合理；轮廓系数接近 -1，则说明样本 i 更应该分类到另外的簇；若轮廓系数近似为 0，则说明样本 i 在两个簇的边界上。通过 matlab 进行多次训练，并从反复训练的结果可知，铅钡玻璃聚类结果的轮廓系数绝大部分趋向于 1，而高钾玻璃聚类结果的轮廓系数大部分趋向于 1，只有很少部分在不同簇的边界上，虽然有负值但却比较接近 0，而不是接近 -1，故可理解为在不同簇的边界上，由此可得高钾玻璃和铅钡玻璃两个聚类结果均比较合理，如图 8，图 9 所示。

将高钾玻璃分为 6 类，部分分类情况如表 6 所示。通过分析同一簇的相关性：第一簇中 SiO_2 的含量处于 59-65 之间，相差不大， Na_2O 的含量均大于 0， K_2O 的含量差别甚微；第二簇中 SiO_2 的含量较高，均大于 90，而 Na_2O 的含量均为 0；第三簇和第五簇中仅有一个研究对象，故不讨论其相关性；第四簇中 SiO_2 的含量处于 60-70 之间， Na_2O 的含量均为 0；第六簇中 SiO_2 的含量也比较高，其 Na_2O 的含量在 80 附近。

表 7 铅钡玻璃分类结果

SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	SO_2	文物采样点
第一类							
37.36	0.00	0.71	0.00	0.00	5.45	0.00	20
53.79	7.92	0.00	0.50	0.71	1.42	0.00	23未风化点
50.61	2.31	0.00	0.63	0.00	1.90	0.00	25未风化点
68.08	0.00	0.26	1.34	1.00	4.70	0.00	28未风化点
63.3	0.92	0.30	2.98	1.49	14.34	0.00	29未风化点
65.91	0.00	0.00	1.60	0.89	3.11	0.00	31
69.71	0.00	0.21	0.46	0.00	2.36	0.00	32
75.51	0.00	0.15	0.64	1.00	2.35	0.00	33
65.91	0.00	0.00	0.38	0.00	1.44	0.00	35
60.12	0.00	0.23	0.89	0.00	2.72	3.66	37
51.26	0.00	0.15	0.79	1.09	3.53	0.00	42未风化点1
51.33	5.68	0.35	0.00	1.16	5.66	0.00	42未风化点2
60.74	3.06	0.20	2.14	0.00	12.69	0.00	44未风化点
61.28	2.66	0.11	0.84	0.74	5.00	0.00	45
55.21	0.00	0.25	0.00	1.67	4.79	0.00	46
51.54	4.66	0.29	0.87	0.61	3.06	0.00	47
54.61	0.00	0.30	2.08	1.20	6.50	0.00	49未风化点
45.02	0.00	0.00	3.12	0.54	4.16	0.00	50未风化点
63.66	3.04	0.11	0.78	1.14	6.06	0.00	53未风化点
49.01	2.71	0.00	1.13	0.00	1.45	0.00	55
第二类							
20.14	0.00	0.00	1.48	0.00	1.34	2.58	8
4.61	0.00	0.00	3.19	0.00	1.11	15.03	8
31.94	0.00	0.00	0.47	0.00	1.59	0.00	24
19.79	0.00	0.00	1.44	0.00	0.70	1.96	26
3.72	0.00	0.40	3.01	0.00	1.18	15.95	26
第三类							
36.28	0.00	1.05	2.34	1.18	5.73	0.00	其他
33.59	0.00	0.21	3.51	0.71	2.69	0.00	

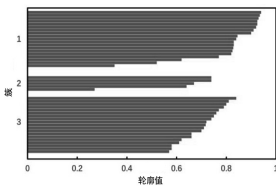


图8 铅钡玻璃的聚类结果

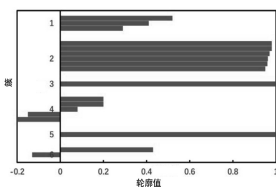


图9 高钾玻璃的聚类结果

通过分析不同簇的差异性:第一簇和第二簇的SiO₂含量存在较大的差异性,第一簇和第三簇、第四簇、第五簇、第六簇的SiO₂含量差异性较小,但是两者的Na₂O的含量的差异性一目了然。第二簇与第三簇、第四簇、第五簇、第六簇的Na₂O的含量无差别,其差异性重点表现在SiO₂的含量上。第三簇和第四簇、第五簇、第六簇的差异集中体现在K₂O的含量上。第四簇和第五簇、第六簇在CaO含量方面的差异性较明显。第五簇和第六簇在Al₂O₃方面存在一些差异。

将铅钡玻璃分成三类,部分分类情况,如表7所示。

同一簇的相关性:第一簇中SiO₂的含量较多,均处于40左右及以上。第三簇中SiO₂的含量次之,处于20左右及以上。第二簇中SiO₂含量都比较低,且其Na₂O的含量均为0,内部存在很大的相关性。

不同簇的差异性:第一簇和第二簇的SiO₂的含量存在较大差异。第一簇和第三簇在SiO₂和Na₂O两者的含量上都存在比较明显的差异。第二簇和第三簇的不同首先体现在SiO₂的含量上,虽然第二簇个别SiO₂含量接近第三簇的SiO₂的含量,但是总体来看,第三簇的SiO₂的含量普遍高于第二簇的SiO₂的含量,此外,这两簇的差异还体现在SO₂的含量上,第二簇的SO₂的含量普遍比第三簇的SO₂的含量高。

3 玻璃化学成分分析及玻璃类型鉴别

首先对已知数据进行预处理:将空缺数据补全为0。依据已知数据筛选出高钾玻璃和铅钡玻璃,分别计算其所含各化学成分含量的均值。

其中 $\bar{\rho}_i$ (高钾)($i=1, 2, \dots, 14$)和 $\bar{\rho}_i$ (铅钡)($i=1, 2, \dots, 14$),以 m_i ($i=1, 2, \dots, 14$)为横坐标,但由于SiO₂所占的比率比较大,对于其它13个化学成分观察不明显,故在横坐标中去掉SiO₂,所以在图10~图13中实际的横坐标的化学成分是13个, $\bar{\rho}_i$ ($i=1, 2, \dots, 14$)为纵坐标,分别画出高钾玻璃和铅钡玻璃的所含各化学成分均值的折线图,记高钾玻璃所含化学成分均值曲线 L (高钾)、 L (高钾)

钡)。分别对文物编号进行判断,将 A_k ($k=1, 2, \dots, 8$)各化学成分含量 a_i ($i=1, 2, \dots, 14$)与折线图相结合。 A_k ($k=1, 5, 6, 7$)与高钾-铅钡玻璃部分拟合曲线,例如 A_1 、 A_5 与高钾-铅钡玻璃部分拟合曲线图,如图10所示。通过图10对比得出:点集 A_k ($k=1, 5, 6, 7$)的分布与高钾玻璃化学成分均值拟合曲线 L (高钾)较为接近,故推测 A_1, A_5, A_6, A_7 的玻璃类型为高钾。

A_k ($k=2, 3, 4, 8$)与高钾-铅钡玻璃部分拟合曲线,例如 A_2 、 A_8 与高钾-铅钡玻璃部分拟合曲线图,如图11所示。通过图11对比得出:点集 A_k ($k=2, 3, 4, 8$)的分布与铅钡玻璃化学成分均值拟合曲线 L (铅钡)较为接近,故推测 A_2, A_3, A_4, A_8 的玻璃类型为铅钡。

为了验证上述结论的准确性与合理性,将各点集与曲线拟合程度进行量化分析^[11-12]。针对高钾玻璃和铅钡玻璃,将 A_k ($k=1, 2, \dots, 8$)各化学成分含量与对应的 $\bar{\rho}_i$ (铅钡)($i=1, 2, \dots, 14$)和 $\bar{\rho}_i$ (高钾)($i=1, 2, \dots, 14$)分别做差得出公式为:

$$\begin{cases} d_i(\text{铅钡}) = a_i - \bar{\rho}_i(\text{铅钡}) \\ d_i(\text{高钾}) = a_i - \bar{\rho}_i(\text{高钾}) \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, 14) \quad (6)$$

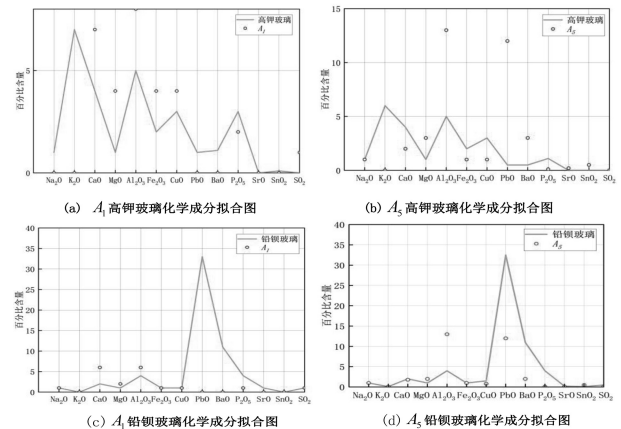


图10 A1、A5高钾-铅钡玻璃部分拟合曲线图

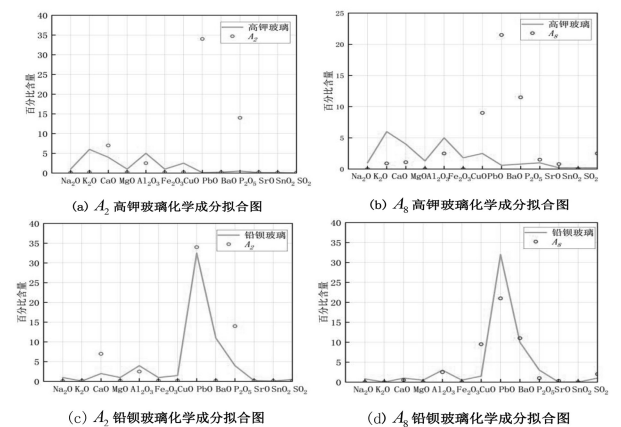


图11 A2、A8与高钾-铅钡玻璃部分拟合曲线图

针对 A_k ($k=1, 2, \dots, 8$)，将计算所得的高钾和铅钡的 d_i ($i=1, 2, \dots, 14$) 分别取绝对值得到：

$|d_i(\text{铅钡})|$ ($i=1, 2, \dots, 14$) 和 $|d_i(\text{高钾})|$ ($i=1, 2, \dots, 14$)，并进行累加得到 $D_k(\text{铅钡})$ ($k=1, 2, \dots, 8$) 和 $D_k(\text{高钾})$ ($k=1, 2, \dots, 8$)，得出公式为：

$$\begin{cases} D_k(\text{铅钡}) = \sum_{i=1}^{14} |d_i(\text{铅钡})| \\ D_k(\text{高钾}) = \sum_{i=1}^{14} |d_i(\text{高钾})| \end{cases} \quad (k=1, 2, \dots, 8) \quad (7)$$

其中， $D_k(\text{铅钡})$ ($k=1, 2, \dots, 8$) 和 $D_k(\text{高钾})$ ($k=1, 2, \dots, 8$) 通过MATLAB计算结果，如表8所示。

D_k ($k=1, 2, \dots, 8$) 的值越小即表示与函数图像拟合程度越高，故通过表8得出结论： A_1, A_5, A_6, A_7 的玻璃类型为高钾， A_2, A_3, A_4, A_8 的玻璃类型为铅钡。与上文可视化对比分析一致，进一步验证了结果的准确性。

为了验证所得的高钾玻璃化学成分拟合曲线的敏感性，需增加扩充样本进行比较分析。分别随机选取原数据中高钾玻璃和铅钡玻璃各两行的化学成分原数据，并将选取样本数据在允许范围内改变数值量分别为扩充样本，进行拟合作图分析，可知其拟合效果较好，说明改变样本数据对结果的影响不大，进而验证这两个结果的敏感性较低，如图12、图13所示。

表8 高钾-铅钡距离累加表

类型编号	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
高钾	14.45	65.59	64.57	55.37	35.17	16.08	13.29	56.49
铅钡	58.07	36.10	30.89	30.31	46.25	54.03	53.48	26.89

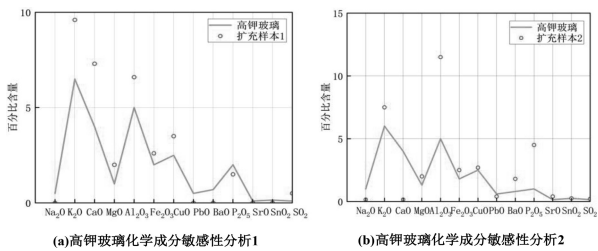


图 12 高钾玻璃化学成分敏感性分析

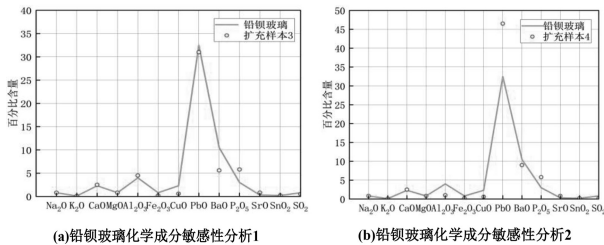


图 13 铅钡玻璃化学成分敏感性分析

4 不同类别玻璃化学成分间的关联

4.1 灰色关联法

由于样本容量较小，故采用灰色关联分析法，具体由如下5个步骤。

(1) 确定分析数列

记参考数列为：

$$x_0 = \{x_0(k) | k=1, 2, \dots, n\} \quad (8)$$

记比较数列为：

$$x_i = \{x_i(k) | k=1, 2, \dots, n\}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

(2) 变量的无量纲化

$$\text{均值化处理: } x_i(k) = \frac{x_i(k)}{\bar{x}_i}, \quad k=1, 2, \dots, n; \quad i=1, 2, \dots, m \quad (10)$$

(3) 计算关联系数

$$\xi_i(k) = \frac{\min_t |x_0(t) - x_s(t)| + \rho \max_t |x_0(t) - x_s(t)|}{|x_0(k) - x_s(k)| + \rho \max_t |x_0(t) - x_s(t)|} \quad (11)$$

(4) 计算灰色加权关联度

$$r_i = \sum_{k=1}^n \omega_i \xi_i(k) \quad (12)$$

(5) 关联度排序

通过已知数据，在高钾玻璃中，以高钾各检测点 SiO_2 为例，筛选出其成分含量的参考数列为：

$$x_0 = \{96.77, 69.33, 87.05, 61.71, 65.88, 61.58, 67.65, 59.81, 92.63, 95.02, 96.77, 94.29, 59.01, 62.47, 65.18, 79.46, 76.68, 92.35, 92.72\}$$

除 SiO_2 外，其它13个化学成分含量作为比较数列 x_i ($i=1, 2, \dots, m$)，并将比较数列进行无量纲化处理，部分数据如表9所示。取 $\rho=0.5$ 代入公式(11)计算出关联系数 $\xi_i(k)$ 。在高钾玻璃中，再根据公式(12)计算出 SiO_2 与其它13个化学成分的灰色关联度 r_i [13-15]，并排序得出：

$$r(\text{Al}_2\text{O}_3) > r(\text{CuO}) > r(\text{P}_2\text{O}_5) > r(\text{MgO}) > r(\text{K}_2\text{O}) > r(\text{CaO}) > r(\text{Fe}_2\text{O}_3) > r(\text{PbO}) > r(\text{SrO}) > r(\text{SnO}_2) > r(\text{BaO}) > r(\text{SO}_2) > r(\text{Na}_2\text{O})$$

分析上述排序结果，可以得出结论：在高钾玻璃中， SiO_2 和 Al_2O_3 的灰色关联度最大，为0.8761； SiO_2 和 Na_2O 的灰色关联度最小，为0.7511，如表10所示。

同理可得出：铅钡玻璃的无量纲化处理部分数据结果，如表11所示。在铅钡玻璃中， SiO_2 和 Al_2O_3 的灰色关联度最大，为0.9284； SiO_2 和 SnO_2 的灰色关联度最小，为0.8306，如表12所示。

表9 高钾玻璃的无量纲化处理部分数据

SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	...	SiO ₂	SO ₂
1.2454	5.4795	2.1262	2.1217	.....	9.5000	5.2840
0.8922	0.0000	1.4629	1.5413	.....	0.0000	4.3846
1.1203	0.0000	0.7600	0.4902	.....	0.0000	0.0000
.....
1.1885	0.0000	0.1084	0.4048	.....	0.0000	0.0000
1.1933	0.0000	0.0000	0.2292	.....	0.0000	0.0000

表10 高钾玻璃中SiO₂与其它13个化学成分的灰色关联度

化学成分	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO
关联度	0.7511	0.8390	0.8313	0.8440	0.8761	0.8231	0.8748
化学成分	PbO	BaO	P ₂ O ₅	SrO	SnO ₂	SO ₂	
关联度	0.8390	0.8313	0.8440	0.8761	0.8231	0.7520	

表11 铅钡玻璃的无量纲化处理部分数据

SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	...	SiO ₂	SO ₂
1.8772	7.0824	7.0119	3.0750	.....	10.7562	13.3085
0.9019	0.0000	5.2216	1.1243	.....	0.0000	0.0000
0.5007	0.0000	0.0000	0.7111	.....	0.0000	2.1527
.....
0.7247	0.0000	0.0000	0.5814	.....	0.0000	0.0000
0.6319	0.0000	0.0000	0.6294	.....	0.0000	0.0000

表12 铅钡玻璃中SiO₂与其它13个化学成分的灰色关联度

化学成分	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO
关联度	0.8571	0.8792	0.8789	0.8947	0.9284	0.8637	0.8763
化学成分	PbO	BaO	P ₂ O ₅	SrO	SnO ₂	SO ₂	
关联度	0.9038	0.9014	0.8461	0.8856	0.8306	0.8420	

4.2 高钾、铅钡两类玻璃间化学成分关系的差异性分析

选取SiO₂研究高钾玻璃和铅钡玻璃各化学成分关联的差异性,两类玻璃中的SiO₂与其他化学成分的关联度分析,如图14、图15所示。由图14可知:在高钾玻璃和铅钡玻璃中,将SiO₂作为参照列,得到与其它化学成分含量的关联度的比较结果。为了更加直观对比化学成分的差异性,将图14对应的数据进行差值处理,得到图15的结果,可以直观观察出其BaO的差异性最大。

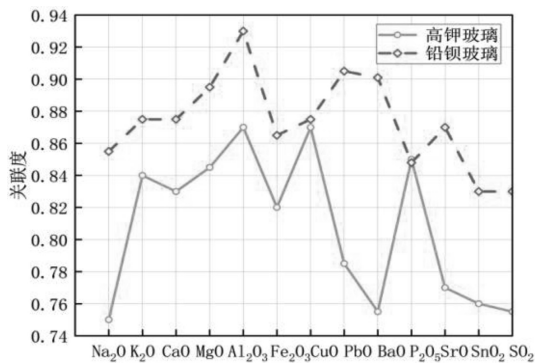


图14 SiO₂与其它化学成分含量关联度比较图

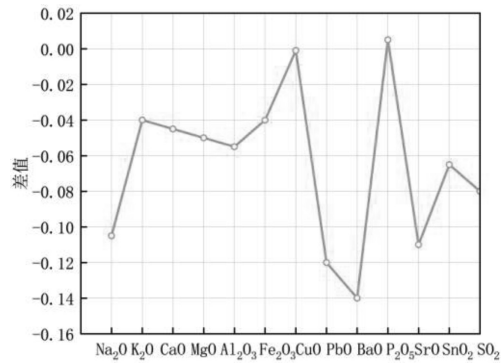


图15 SiO₂与其它化学成分含量关联度差值图

5 结论

对古代玻璃及其化学成分进行分析,利用卡方检验、0-1变量、岭回归算法、可视化统计图、A_k (k=1, 2, ..., 8) 聚类算法及灰色关联分析算法等建立了数学模型。通过卡方检验,发现铅钡类型、纹饰B、浅蓝色、蓝绿色、黑色的玻璃更易被风化;利用0-1变量及岭回归算法建立的数学模型有效预测了玻璃制品风化前化学含量;通过作可视化柱状图,得出纹饰及颜色可作为分类标准;k-means聚类算法结合topsis评价模型,对所给数据进行了亚划分;最后利用灰色关联分析法从不同角度得出不同类别的玻璃文物样品间二氧化硅和三氧化二铁的关联度最大,和氧化钠的关联度最小。所应用的数学模型不仅可以运用到古代玻璃文物的成分鉴定与鉴别,还可以进一步应用到古建筑的保护,通过对建筑老化程度的样本集进行训练和评价,可得出不同年代的建筑物自然毁坏结果与何种因素影响最大,以便更合理对古建筑保护。

参考文献:

- [1] 全国大学生数学建模组委会. 2022“高教社杯”全国大学生数学建模竞赛C题及附件[EB/OL]. [2022-09-15] <http://www.mcm.edu.cn/>
- [2] 房祥忠. 卡方分布与卡方检验[J]. 中国统计, 2022(5): 29-31.
- [3] 熊庆如. 基于0-1变量函数在线性优化求解中的应用研究[J]. 科学技术创新. 2021(19): 59-60.
- [4] 刘宣, 马海强. 函数型线性回归模型的变点检验[J]. 应用概率统计, 2023, 39(4): 475-490.
- [5] 朱海龙, 李萍萍. 基于岭回归和LASSO回归的安徽省财政收入影响因素分析[J]. 江西理工大学学报, 2022, 43(1): 59-65.
- [6] 肖卜月. 基于聚类分析以及Boosting族算法的个人信用评估模型研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2022.
- [7] 余立冬. 基于元素加权的L1范数主成分分析[D]. 昆明: 云南财经大学, 2023.
- [8] 阳彩霞. 基于熵权TOPSIS的大城市病评价模型及实证研究[J]. 数学的实践与认识, 2023, 53(9): 208-215.

- [9] 王静. 基于灰色关联分析-TOPSIS的职业学校智慧校园评价研究[D]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2020.
- [10] 宁连举, 肖玉贤, 刘经涛等. 跨行政区域创新策源能力评价与实证——基于熵权法、TOPSIS法、灰色关联分析[J]. 科技管理研究, 2021, 41(20): 44-51.
- [11] 李静. 基于最小二乘法的空间坐标转换的非迭代算法[J]. 数学的实践与认识, 2022, 52(9): 115-120.
- [12] 汪智珍, 张新功, 徐东洋. 基于最小二乘法对BWM法与熵权法的优化评价模型与协调度分析[J]. 数学的实践与认识, 2023, 53(2): 17-25.
- [13] 周磊, 郭梦姣. 河北省城市碳排放灰色关联度分析及情景预测研究[J]. 河北科技大学学报(社会科学版), 2023, 23(3): 32-42.
- [14] 岳新丽, 刘贵山. 灰色关联度分析在大同市引种马铃薯品种上的应用[J]. 山西农业科学, 2021, 49(6): 715-719.
- [15] 杨博, 王蕊. 基于灰色关联度分析的订购方案优化[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2022, 37(3): 98-102.

Research on Mathematical Modeling of Properties and Chemical Composition of Ancient Glassware

XIE Hui^a, ZHANG Jianguo^b, GUO Lei^a, CHE Jiankun^a, YUAN Lele^a, WANG Meiqi^a

(Jinzhou University a. Mathematics Department; b. Physics Department, Jinzhou Shanxi 030619, China)

Abstract: Since the internal and external elements of ancient glass products are prone to exchange after weathering, resulting in changes in the composition ratio of ancient glass products, it is difficult to trace their initial state. Therefore, this paper established a mathematical model by means of Ridge regression algorithm, k-means clustering algorithm and grey correlation analysis. To solve the problems of pre-weathering chemical composition prediction, subdivision, weathering and the relationship between properties and components of ancient glass products, the model can be applied not only to the composition identification and identification of ancient glass relics, but also to the protection of ancient buildings.

Key words: chi-square test; k-means clustering algorithm; ridge regression algorithm; Topsis evaluation model; Grey Association Analysis

(上接第5页)

- [5] Rui A C. Positive solutions for a class of boundary value problems with fractional q -differences[J]. Computers and mathematics with applications, 2011, 61(2): 367-373.
- [6] Han Z L, Lu H L, Zhang C. Positive solutions for eigenvalue problems of fractional differential equation with generalized p -laplacian[J]. Applied mathematics and computation, 2015, 257(15): 526-536.
- [7] Annaby M H, ManSour Z S. Fractional q -difference equations[M]. Springer berlin heidelberg, 2012: 223-270

Positive Solutions of Nonlinear q -Difference Equation with p -Laplacian Operators

DONG Huaying, LI Qiuping, WU Shunjun, LIU Jie

(School of Mathematical Sciences, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: The nonlinear q -difference equation with p -Laplace operator: ${}^c D_q^\beta(\varphi_p({}^c D_q^\alpha u(t))) = f(t, u(t)), t \in (0, 1)$, ${}^c D_q^\alpha u(0) = D_q u(0) = 0$, ${}^c D_q^\alpha u(1) = a {}^c D_q^\alpha u(\theta)$, $u(1) = bu(\eta)$ four-point boundary value problem were studied, the results of two different solutions are given. In the meantime, the positive solutions of the equation were studied by inequality reduction.

Key words: p -Laplace operator; the nonlinear q -difference equation; Caputo derivative; the existence and positive solutions of the equation

基于高维删失数据的分布式惩罚平均经验欧氏似然

朱彦霖, 于海生

(鲁东大学 数学与统计科学学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 提出了一种基于高维删失数据的分布式惩罚平均经验欧氏似然方法 (DPMEEL)。解决了经验似然在数据量较大时容易出现结果异常的问题, 并且通过引入分布式估计的思想, 大大提高了计算效率。通过研究表明, 在某些条件下, 分布式惩罚平均经验欧氏似然具有 Oracle 特性、渐进正态性, 且其似然比的检验统计量服从卡方分布。模拟研究和实例分析说明了分布式惩罚平均经验欧氏似然具有较好的表现。

关键词: 经验欧氏似然; 高维; 惩罚似然; 删失数据; 分布式估计

中图分类号: O212.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0015-08

0 引言

随着医学、生物学的快速发展, 我们会遇到各种高维复杂数据, 如高维删失数据。经验似然是一种常见的非参数统计推断方法, 具有良好的大样本特性, 因此, 经验似然常用于高维数据的研究。

学者们对经验似然进行了各种各样的改进研究, 如, Liang等^[1]提出了平均经验似然方法。Liang等^[2]使用合成数据来构建经验似然比统计量, 提出了一个基于右删失数据的平均经验似然方法。He等^[3]进一步将平均经验似然方法进行扩展, 提出了三种偏差校正的平均经验似然方法。他们都是在经验似然中引入平均数集, 并结合相应的方法, 证明了平均数集能有效提高经验似然覆盖率。

此外, 还有学者对经验似然方法计算的复杂性进行了考虑, 用欧氏距离代替似然距离, 且已证明了经验欧氏似然方法除了与经验似然方法具有类似的大样本性质外, 其计算更为简便, 如: 胡志明等^[4]提出了计算更简单的调整经验欧氏似然。彭博^[5]在分布式估计的框架下提出了一种基于平滑经验欧氏似然的分位回归分布式估计量。唐洁^[6]利用经验欧氏似然方法, 通过鞅差序列处理空间自回归误差的空间自回归模型的估计方程中出现的二次型形式, 构造出空间自回归误差的空间自回归模型的经验欧氏似然比统计量。张军舰^[7]主要将经验似然和经验欧氏似然的研究进展进行了较系统地阐述。

通过查阅文献可知, 现阶段对于经验似然的研究已经比较成熟了, 而对于与经验似然具有类似大样本性质的经验欧氏似然的研究却并不多, 故我们考虑对经验欧氏似然展开研究。

另外, 随着数据维数的增加, 会出现冗余变量, 导致估计偏差增大, 对参数估计产生影响。因此, 针对高维情况, 通常会引入一个惩罚函数来进行变量选择, 减少估计误差, 如: Tang等^[8]利用某些增长维度的一般估计方程, 提出了一种惩罚广义经验似然, 证明了此方法比广义经验似然性能更优。Chang等^[9]提出了一种新的惩罚经验似然, 即在优化经验似然时应用两个惩罚函数, 分别对模型参数和相关的拉格朗日乘子进行正则化, 通过仿真证明其具有较好的结果。Zou等^[10]针对右删失数据, 提出了一种基于两个偏差校正参数的经验对数似然比函数的惩罚性经验似然函数, 该函数较好地解决了凸包络限制问题。Chen等^[11]提出了基于纵向数据的高维广义线性模型下的惩罚经验似然方法。Fu等^[12]提出了一种基于稳健估计函数的惩罚经验似然方法, 用于在稀疏高维模型中选择重要变量。Chang等^[13]提出了一种惩罚经验似然估计, 并证明了其具有Oracle特性。Wang等^[14]提出了广义 pth 阶整数自回归模型中的惩罚性经验似然方法。Wang等^[15]基于惩罚性经验似然方法, 研究了部分线性单指标分位数回归的统计推断, 允许在观测值随机缺失时缺失响应

收稿日期: 2023-11-03

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目 (22CSDJ13)。

作者简介: 朱彦霖 (1999-), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事应用概率统计研究。

或协变量或同时缺失响应和协变量,此外, Liu等^[16]提出将经验似然方法与分布式估计相结合,并证明这种方法能有效提高计算效率、降低计算成本。

综上所述,本文基于高维删失数据对分布式惩罚平均经验欧氏似然进行研究,构建了关于参数 θ 的似然比统计量,在相应的条件下证明了此方法具有Oracle特性、渐进正态性以及其统计量趋近于 χ^2 分布。

1 方法及主要结果

本文考虑在部分线性回归模型 $Y = X^T\theta + h(T) + \varepsilon$ 下展开研究,其中的参数 θ 存在真实值 θ_0 ,使得带有函数 H 的估计方程组满足 $E(H_i(T, \theta_0)) = 0$ 。假设协变量 X 和 T 独立。

我们主要针对删失数据中的区间删失数据和右删失数据展开研究。假设删失数据总体服从已知的特殊分布 F ,定义 N 个样本的测试时间为 $0=t_0 < t_1 < \dots < t_k$,其中第 i 个测试时间间隔为 $(t_{i-1}, t_i]$,则关于删失数据分布 F 的似然函数定义为 $L_F = \prod_{i=1}^N f_F(t_i)^{\delta_i^*} S_F(t_i)^{1-\delta_i^*}$,其中 $f_F(\cdot)$ 和 $S_F(\cdot)$ 分别是分布的密度函数和危险率函数。若删失数据为区间删失数据,取 $\delta_i^* = 1$;若删失数据为右删失数据,则取 $\delta_i^* = 0$ 。协变量 T 由似然函数 L_F 决定。

令 $\mu = E(Y|X) = f(X^T\theta + h(T))$, $f^{-1}(\cdot)$ 为已知的线性函数。假设 V^* 为 Y 的协方差矩阵, $V^* = A^{1/2}R(\alpha)A^{1/2}$,其中 $R(\alpha)$ 是 X 和 T 的相关矩阵, A 是 Y 的边际方差的对角矩阵。由于 α 未知,为了避免对 α 进行估计,我们构造一个线性组合来表示 $R(\alpha)$,即 $R^{-1}(\alpha) = \sum_{i=1}^N a_i W_i(\theta)$, a_1, a_2, \dots, a_N 为未知的系数。

令 $W(\theta) := \frac{(V_1(\theta) + V_2(\theta))}{2(1-\hat{G}_1)(1-\hat{G}_2)} \rho(Y - X^T\theta - h(T))$,此函数根据文献[2]中的参数 $W = \frac{(g_i(\theta_0) + g_j(\theta_0))\delta_i\delta_j}{2(1-G_i)(1-G_j)}$, $i, j = 1, \dots, n$ 并结合现有文献中常见的、将与 W 有类似性质结构的函数和模型相结合的方法定义而来。定义

$H_i(T, \theta) = \begin{pmatrix} \dot{u}_i^T A_i^{-1/2} W_i A_i^{-1/2} (Y_i - \mu_i) \\ \vdots \\ \dot{u}_i^T A_i^{-1/2} W_N A_i^{-1/2} (Y_i - \mu_i) \end{pmatrix}$, $i = 1, \dots, N$,其中 $\dot{u}_i = \partial \mu_i / \partial \theta^T$, $\mu_i = (\mu_{i1}, \dots, \mu_{iN})$,则平均经验欧氏似然

比可表示为:

$R^{MEEL}(\theta) = \sup \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (Np_i - 1)^2 \left[\sum_{i=1}^N p_i H_i(T, \theta) = 0, \sum_{i=1}^N p_i = 1, p_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N \right] \right\}$ 。通过Lagrange乘子法,平均经验欧氏似然函数可以表示为:

$l(\theta) = -\frac{N}{2} \bar{H}^T(T, \theta) (S^*)^{-1} \bar{H}(T, \theta)$,拉格朗日乘子 λ 满足 $\lambda^T = \bar{H}(T, \theta) (S^*)^{-1}$,其中 $\bar{H}(T, \theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i(T, \theta)$, $S^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [H_i(T, \theta) - \bar{H}(T, \theta)][H_i(T, \theta) - \bar{H}(T, \theta)]^T$ 。

为提高计算效率,引入分布式估计的思想。假设有 N 个样本 $\{T_i\}_{i=1}^N$,首先,将 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$ 随机分成 S 组,即每组含有 $n = N/S$ 个样本点。因此第 s 个子样本可表示为: $T_s = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, $s = 1, 2, \dots, S$ 。

显然, $\cup_{s=1}^S T_s = T$ 且对于任意的 $j \neq k$ 有 $T_j \cap T_k = \emptyset$ 。第 s 个惩罚平均经验欧氏似然函数可表示为 $l_{p(s)}(\theta) = \sum_{i=1}^n -\frac{n}{2} \bar{H}^T(T, \theta) (S^*)^{-1} \bar{H}(T, \theta) + \sum_{i=1}^p p_r(|\theta_i|) - \sum_{k=1}^r p_r(|\lambda_k|)$, $l_p(\theta) = \sum_{s=1}^S l_{p(s)}(\theta)$ 。其中,调节参数 τ 采用贝叶斯信息准则(BIC)进行选择。因是基于高维删失数据进行研究,故在上式 $l_{p(s)}(\theta)$ 中,允许 p 和 r 随着样本量 n 的增加呈指数形式增加。

定义 $\theta = (\theta_1^T, \theta_2^T)^T$,其中 $\theta_1 \in R^d$, $\theta_2 \in R^{p-d}$ 分别对应非零项部分和零项部分。令 $A = \{j: \theta_{0j} \neq 0\}$,定义 A 的基数为 $d = |A|$ 。记

$$\tilde{V}(\theta) = \left[E \left[\frac{\partial \left((\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta))^2 \right)}{\partial \theta^T} \right)^T \right] E \left[\left((\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta))^2 \right) \left((\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta))^2 \right)^T \right]^{-1} E \left[\frac{\partial \left((\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta))^2 \right)}{\partial \theta^T} \right) \right]^{-1},$$

$$\tilde{V}(\theta_0) = \begin{pmatrix} \tilde{V}_{11} & \tilde{V}_{12} \\ \tilde{V}_{21} & \tilde{V}_{22} \end{pmatrix}, \text{ 其中 } V_{11} \in R^{d \times d}.$$

为了得到研究结果, 列出下列假设条件:

(C1) 假设 $\Sigma(\theta) = \sum_{i=1}^N [\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)]^2$ 。存在 b 和 B 使得 $\Sigma(\theta)$ 的特征值满足:

对 $\forall \theta \in \Theta$, 有 $0 < b \leq \gamma_1 \{\Sigma(\theta)\} \leq \dots \leq \gamma_r \{\Sigma(\theta)\} \leq B < \infty$ 。

(C2) 当 $N \rightarrow \infty$, $p \rightarrow \infty$, $p^5/N \rightarrow 0$ 时, 存在 $0 < y < 1$ 使得 $p/r \rightarrow y$ 。

(C3) 惩罚函数 $p_\tau(\cdot)$ 满足 $\max_{j \in \Lambda} p'_\tau(|\theta_{0,j}|) = o\{(Np)^{-1/2}\}$ 和 $\max_{j \in \Lambda} p''_\tau(|\theta_{0,j}|) = o\{p^{-1/2}\}$ 。

(C4) 存在一个常数 $K_1 > 0$, 对 $\forall \varepsilon > 0$, 有 $\inf_{\theta \in \Theta, |\theta - \theta_0|_\infty > \varepsilon} \left| E \left\{ [\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)]^T \right\} \right| \geq K_1 \varepsilon$ 。

(C5) 存在常数 $K_2 > 0$, $\gamma > 4$, 使得 $\max_{\theta \in \Theta} E \left\{ \sup \left[[\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)]^T \right]^\gamma \right\} \leq K_2$ 。

定理1 (C1) - (C5) 假设条件成立, 当 $N \rightarrow \infty$ 时, 存在 $l_p(\theta)$ 的一个局部最小 $\hat{\theta} = (\hat{\theta}_1^T, \hat{\theta}_2^T)^T$, 使得

(i) $|\hat{\theta} - \theta_0|_\infty = O_p(b_{1,n}^{1/2})$; (ii) $P(\hat{\theta}_2 = 0) \rightarrow 1$ 成立。

定理2 (C1) - (C5) 假设条件成立, 有以下性质:

$\sqrt{N} A_n \tilde{V}_p^{1/2}(\theta_0) (\hat{\theta}_1 - \theta_{10}) \xrightarrow{d} N(0, G)$, 其中 $A_n \in R^{q \times d}$ 使得 $A_n A_n^T \rightarrow G$, $G \in R^{q \times q}$,

$$\tilde{V}_p(\theta_0) = \tilde{V}_{11} - \tilde{V}_{12} \tilde{V}_{22}^{-1} \tilde{V}_{21}.$$

对于假设检验问题, 考虑以下假设:

$$H_0 : L_n \theta_0 = 0, H_1 : L_n \theta_0 \neq 0$$

其中 $L_n \in R^{q \times p}$, 使得对于固定 q , $L_n L_n^T = I_q$ 。DPMEEL 的似然比检验统计量构造为:

$$\tilde{l}(L_n) = -2 \left\{ l_p(\hat{\theta}) - \min_{\theta, L_n \theta = 0} l_p(\theta) \right\}.$$

我们用定理3来说明DPMEEL的似然比检验统计量的性质。

定理3 在零假设和 (C1) - (C5) 假设条件下, 当 $N \rightarrow \infty$ 时, $\tilde{l}(L_n) \xrightarrow{d} \chi_q^2$ 。

2 定理的证明

定理1证明:

(i): 令 $j_0 = \arg \max_j |E[\bar{H}(T, \theta) - H_j(T, \theta)]|$, $\mu_{j_0} = E[\bar{H}(T, \theta) - H_{j_0}(T, \theta)]$ 。取 $\tilde{\lambda} = \delta b_{1,n}^{1/2} e_{j_0}$, δ 取足够小的常数, e_{j_0} 是一个 r 维向量, 其第 j_0 个分量为1, 其余分量为0。不失一般性, 我们假设 $\mu_{j_0} > 0$, $\tilde{\lambda} = (\tilde{\lambda}_1, \dots, \tilde{\lambda}_r)^T$, 取 $\delta = \left(\frac{K}{L}\right)^{1/2}$ 。通过Taylor展开, 有:

$$S_n(\theta) \geq - \sum_{i=1}^N \tilde{\lambda}_{j_0} \left\{ [\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)]^T \right\}^2 - \sum_{i=1}^N \left\{ \tilde{\lambda}_{j_0} [\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)]^T \right\}^2,$$

$$P\{S_n(\theta) \leq K b_{1,n} \varepsilon_n^2\} \leq P \left[- \sum_{i=1}^N \left\{ [\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)]^T \right\}^2 - \mu_{j_0} \leq 2 b_{1,n}^{1/2} \varepsilon_n (KL)^{1/2} - \mu_{j_0} \right] + o(1).$$

$2b_{1,n}^{1/2}\varepsilon_n(KL)^{1/2} - \mu_{j_0} \rightarrow -c\mu_{j_0}$, $c \in (0,1)$, 则: $\{2b_{1,n}^{1/2}\varepsilon_n(KL)^{1/2} - \mu_{j_0}\} \leq -c\mu_{j_0} \leq -b_{1,n}^{1/2}\varepsilon_n \rightarrow -\infty$ 。又因为 $-\sum_{i=1}^N \left\{ [\bar{H}(T,\theta) - H_{j_0}(T,\theta)]^T \right\}^2 - \mu_{j_0} \xrightarrow{d} N(0,\sigma^2)$, $\sigma > 0$, 有: $P\{S_n(\theta) > Kb_{1,n}\varepsilon_n^2\} \rightarrow 1$, $N \rightarrow \infty$, 则证得 $|\hat{\theta} - \theta_0|_\infty = O_p(b_{1,n}^{1/2})$ 成立。

(ii) : $\frac{\partial l_p(\theta)}{\partial \theta_j} = -\sum_{i=1}^N (\lambda^T)^2 \left\{ \frac{\partial [\bar{H}(T,\theta) - H_i(T,\theta)]}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 [\bar{H}(T,\theta) - H_i(T,\theta)]}{\partial \theta \partial \theta^T} (\theta - \theta_0) + o(\|\theta - \theta_0\|) \right\} o_p(1)$
 $+ \frac{\partial p_\tau(|\theta_j|)}{\partial \theta_j} \text{sign}(\theta_j) - \frac{\partial p_\tau(|\lambda_j|)}{\partial \theta_j} \text{sign}(\lambda_j) = A_{1j} + A_{2j} + A_{3j} + A_{4j}$, 其中 $\max_{j \in \Lambda} (|A_{1j}|) = \max_{j \in \Lambda} (|A_{2j}|) = O_p(b_{1,n}^{1/2})$ 。根据条件 (C4), 有 $\frac{\partial l_p(\theta)}{\partial \theta_j} = -\tau N \left\{ o_p(1) + \frac{\partial p_\tau(|\theta_j|)}{\tau \partial \theta_j} \text{sign}(\theta_j) - \frac{\partial p_\tau(|\lambda_j|)}{\tau \partial \theta_j} \text{sign}(\lambda_j) \right\}$ 。因此, 当 $-Cb_{1,n}^{1/2} < \theta_j < 0$ 时, $\frac{\partial l_p(\theta)}{\partial \theta_j} > 0$; 当 $0 < \theta_j < Cb_{1,n}^{1/2}$ 时, $\frac{\partial l_p(\theta)}{\partial \theta_j} < 0$, 则对 $\forall j \notin \Lambda$, 有 $\hat{\theta}_j = 0$ 。

定理2的证明:

$$l_p(\theta, \lambda, \mu) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\lambda^T [\bar{H}(T,\theta) - H_i(T,\theta)]^T)^2 + \sum_{i=1}^p p_\tau(|\theta_i|) - \sum_{k=1}^r p_\tau(|\lambda_k|) + \mu^T H_2 \theta,$$

定义 $\tilde{Q}_{1n}(\theta, \lambda, \mu) = -\sum_{i=1}^N [\bar{H}(T,\theta) - H_i(T,\theta)]^2 \lambda$;

$$\tilde{Q}_{2n}(\theta, \lambda, \mu) = -\sum_{i=1}^N [\lambda^T [\bar{H}(T,\theta) - H_i(T,\theta)]] \left(\frac{\partial \{\bar{H}(T,\theta) - H_i(T,\theta)\}}{\partial \theta} \right) \lambda + t(\theta) - t(\lambda) + H_2^T \mu;$$

$$\tilde{Q}_{3n}(\theta, \lambda, \mu) = H_2 \theta, \text{ 其中 } t(\theta) = \{p'_\tau(|\theta_1|) \text{sign}(\theta_1), \dots, p'_\tau(|\theta_d|) \text{sign}(\theta_d), 0, \dots, 0\}^T,$$

$$t(\lambda) = \left\{ \frac{\partial p_\tau(|\lambda_1|)}{\partial \lambda} \text{sign}(\lambda_1), \dots, \frac{\partial p_\tau(|\lambda_r|)}{\partial \lambda} \text{sign}(\lambda_r), 0, \dots, 0 \right\}^T.$$

定义 $(\hat{\theta}, \hat{\lambda}, \hat{\mu})$ 为 $l_p(\theta, \lambda, \mu)$ 的最小值。不妨设 $\Sigma(\theta_0) = \sum_{i=1}^N [\bar{H}(T,\theta_0) - H_i(T,\theta_0)]^2$,

$$\Sigma_m(\theta_0) = NE \left\{ [\bar{H}(T,\theta_0) - H_i(T,\theta_0)]^2 \right\}, \quad \Omega_d(\theta_0) = \frac{\partial (t(\theta_0) - t(1))}{\partial \theta}, \quad \rho = (\theta^T, \lambda^T)^T, \quad \rho^* = ((\theta^*)^T, (\lambda^*)^T)^T,$$

$$\text{有 } \|\theta^* - \theta_0\| \leq \|\hat{\theta} - \theta_0\|, \quad \|\lambda^* - \lambda_0\| \leq \|\hat{\lambda}\|. \quad W(\theta_0, 1, 0) = -\sum_{i=1}^N [\lambda^T [\bar{H}(T,\theta_0) - H_i(T,\theta_0)]] \left(\frac{\partial \{\bar{H}(T,\theta_0) - H_i(T,\theta_0)\}}{\partial \theta} \right) \lambda,$$

则 $\tilde{Q}_{jn}(\theta, \lambda, \mu) (j=1,2,3)$ 在 $(\theta_0, 1, 0)$ 处Taylor展开式可表示为

$$\begin{pmatrix} -\tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) \\ -W(\theta_0, 1, 0) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Sigma(\theta_0) & 0 & 0 \\ 0 & \Omega_d(\theta_0) & H_2^T \\ 0 & H_2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\lambda} - 1 \\ \hat{\theta} - \theta_0 \\ \hat{\mu} - 0 \end{pmatrix} + R_n \tag{A.1}$$

其中 $R_n = \sum_{i=1}^5 R_n^{(i)}$ 。 $R_n^{(1)} = (R_{1n}^{T(1)}, R_{2n}^{T(1)}, 0)^T$, $R_{jn,k}^{(1)} = \frac{1}{2} (\hat{\rho} - \rho_0)^T \frac{\partial^2 \tilde{Q}_{jn}(\rho^*)}{\partial \rho \partial \rho^T} (\hat{\rho} - \rho_0)$ 是 $R_n^{(1)}$ 的第k个分量。

$$R_n^{(2)} = \left\{ [-\Sigma(\theta_0) - \Sigma_m(\theta_0)] \hat{\lambda}^T, 0, 0 \right\}^T, \quad R_n^{(3)} = \left\{ 0, [t(\theta_0) - t(1)]^T, 0 \right\}^T, \quad R_n^{(4)} = \left\{ 0, [\Omega_d(\theta_0)(\hat{\theta} - \theta_0)]^T, 0 \right\}^T, \quad R_n^{(5)} = \{0, 0, 0\}^T.$$

$$R_n^{(l)} = o_p(N^{-1/2}), l=1, \dots, 5.$$

对 (A.1) 求逆, 令 $M^* = K_{22} - K_{21}K_{11}^{-1}K_{12}$, $K^{-1} = \begin{pmatrix} K_{11}^{-1} + K_{11}^{-1}K_{12}(M^*)^{-1}K_{21}K_{11}^{-1} & -K_{11}^{-1}K_{12}(M^*)^{-1} \\ (M^*)^{-1}K_{21}K_{11}^{-1} & (M^*)^{-1} \end{pmatrix}$, 其中

$$K_{11} = -\Sigma(\theta_0), \quad K_{12} = (0, 0), \quad K_{21}^T = K_{12}, \quad K_{22} = \begin{pmatrix} \Omega_d(\theta_0) & H_2^T \\ H_2 & 0 \end{pmatrix}.$$

$\hat{\theta} - \theta_0 = \left\{ \left(H_1 \tilde{V} - H_1 \tilde{V} H_2^T (H_2 \tilde{V} H_2^T)^{-1} H_2 \tilde{V} \right) + H_1 \tilde{V} H_2^T (H_2 \tilde{V} H_2^T)^{-1} \right\} \left\{ -\Sigma(\theta_0) \tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) + \Sigma(\theta_0) R_{1n}^* + R_{2n}^* \right\}$, 其中 $(R_{1n}^{T*}, R_{2n}^{T*}, R_{3n}^{T*})^T = R_n$, $R_n^* \in R^r$, $R_{2n}^* \in R^p$, $R_{3n}^* \in R^{p-d}$. 不妨设 $H_1 \tilde{V} H_1^T = \tilde{V}_{11}$, $H_1 \tilde{V} H_2^T = \tilde{V}_{12}$, $H_2 \tilde{V} H_1^T = \tilde{V}_{21}$, $H_2 \tilde{V} H_2^T = \tilde{V}_{22}$, $\hat{S} = \left(\tilde{V} - \tilde{V} H_2^T (H_2 \tilde{V} H_2^T)^{-1} H_2 \tilde{V} \right) + \tilde{V} H_2^T (H_2 \tilde{V} H_2^T)^{-1}$, $\hat{S} \Sigma^3(\theta_0) \hat{S} = S_1$, $H_1 S_1 H_1^T = \tilde{V}_p$,

则 $\xi_{ni} = N^{-1/2} A_n \tilde{V}_p^{-1/2} H_1 \hat{S} \Sigma(\theta_0) [\bar{H}(T, \theta_0) - H_i(T, \theta_0)]^2$.

$$E \|\xi_{ni}\|^2 = \frac{1}{N} \left\{ [\bar{H}(T, \theta_0) - H_i(T, \theta_0)]^2 \right\}^T \Sigma(\theta_0) \hat{S} H_1^T \tilde{V}_p^{-1/2} A_n^T A_n \tilde{V}_p^{-1/2} H_1 \hat{S} \Sigma(\theta_0) [\bar{H}(T, \theta_0) - H_i(T, \theta_0)]^2 \leq \frac{1}{N} C.$$

$$\text{因此, } \sum_{i=1}^N E \|\xi_{ni}\|^2 I(\|\xi_{ni}\| > \varepsilon) \leq \sum_{i=1}^N \left\{ E \|\xi_{ni}\|^4 \right\}^{1/2} \left\{ \frac{E \|\xi_{ni}\|^2}{\varepsilon^2} \right\}^{1/2} \leq C_n^{-1/2} \varepsilon^{-1} \rightarrow 0.$$

应用Lindeberg-Feller's中心极限定理, 有: $\sum_{i=1}^N (\xi_{ni} - E(\xi_{ni})) \xrightarrow{d} N(0, G)$, 则

$$\sqrt{N} A_n \tilde{V}_p^{-1/2} H_1 \hat{S} \Sigma(\theta_0) [\bar{H}(T, \theta_0) - H(T, \theta_0)]^2 \xrightarrow{d} N(0, G), \quad \text{则: } \sqrt{N} A_n \tilde{V}_p^{-1/2} (\hat{\theta}_1 - \theta_{10}) \xrightarrow{d} N(0, G).$$

定理3证明:

$$2l(\hat{\theta}) = 2\tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) \hat{\lambda}^T - \hat{\lambda}^T \Sigma(\theta) \hat{\lambda} \quad (\text{A.2})$$

根据定理2, 有: $\hat{\lambda} = (\Sigma(\theta_0) - \Sigma(\theta_0) \hat{S} \Sigma(\theta_0)) (\tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) - R_{1n}^*) - \Sigma(\theta_0) R_{2n}^*$.

$(\Sigma(\theta_0) - \Sigma(\theta_0) \hat{S} \Sigma(\theta_0)) (R_{1n}^*)^T + \Sigma(\theta_0) \hat{S} (R_{2n}^*)^T = o_p(1)$, 则:

$$\hat{\lambda} = (\Sigma(\theta_0) - \Sigma(\theta_0) \hat{S} \Sigma(\theta_0)) \tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) + o_p(1) \quad (\text{A.3})$$

$$2l(\hat{\theta}) = 2\tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) \Sigma(\theta_0) \Omega_d(\theta_0) H_2^T (H_2 \Omega_d(\theta_0) H_2^T)^{-1} (H_2 \Omega_d(\theta_0) + 1) \Sigma(\theta_0) \tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) + o_p(1) \quad (\text{A.4})$$

对于假设检验问题, 因为 $L_n L_n^T = q$, 存在 \tilde{H}_2 使得 $\tilde{H}_2 \theta = 0$, $\tilde{H}_2 \tilde{H}_2^T = I_{p-d+q}$. 则 θ 的估计可以通过最小化下式得到: $-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left(\lambda^T [\bar{H}(T, \theta) - H_i(T, \theta)] \right)^2 + \sum_{l=1}^p p_\tau(|\theta_l|) - \sum_{k=1}^r p_\tau(|\lambda_k|) + \mu^T \tilde{H}_2 \theta$.

在零假设下定义 $(\tilde{\theta}, \tilde{\lambda}, \tilde{\mu})$ 为最小值. 因此, $N \left\{ \sum_{l=1}^p p_\tau'(|\hat{\theta}_l|) - \sum_{l=1}^p p_\tau'(|\tilde{\theta}_l|) - \sum_{k=1}^r p_\tau'(|\hat{\lambda}_k|) + \sum_{k=1}^r p_\tau'(|\tilde{\lambda}_k|) \right\} = o_p(1)$

与 (A.4) 类似, 有:

$$2l(\tilde{\theta}) = 2\tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) \Sigma(\theta_0) \Omega_d(\theta_0) \tilde{H}_2^T (\tilde{H}_2 \Omega_d(\theta_0) \tilde{H}_2^T)^{-1} (\tilde{H}_2 \Omega_d(\theta_0) + 1) \Sigma(\theta_0) \tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) + o_p(1) \quad (\text{A.5})$$

则 $\tilde{l}(L_n) = 2\tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) \Sigma^{1/2}(\theta_0) (P_1 - P_2) \Sigma^{1/2}(\theta_0) \tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) + o_p(1)$, 其中

$$P_1 = \Sigma^{1/2}(\theta_0) \Omega_d(\theta_0) \tilde{H}_2^T (\tilde{H}_2 \Omega_d(\theta_0) \tilde{H}_2^T)^{-1} (\tilde{H}_2 \Omega_d(\theta_0) + 1) \Sigma^{1/2}(\theta_0),$$

$$P_2 = \Sigma^{1/2}(\theta_0) \Omega_d(\theta_0) H_2^T (H_2 \Omega_d(\theta_0) H_2^T)^{-1} (H_2 \Omega_d(\theta_0) + 1) \Sigma^{1/2}(\theta_0).$$

因为 P_1 , P_2 和 $P_1 - P_2$ 都是独立矩阵, $\text{rank}(P_1 - P_2) = q$, 且 $P_1 - P_2$ 可以表示为 $B_n^T B_n$, 其中 $B_n^T B_n$ 是一个 $q \times r$ 矩阵, 满足 $B_n B_n^T = I_q$. 因此, 有: $2\tilde{Q}_{1n}^T(\theta_0, 1, 0) \Sigma^{1/2}(\theta_0) (P_1 - P_2) \Sigma^{1/2}(\theta_0) \tilde{Q}_{1n}(\theta_0, 1, 0) \xrightarrow{d} \chi_q^2$.

3 模拟研究

为了更好的将分布式惩罚平均经验欧氏似然跟其他的方法进行比较, 我们定义了七个评估指标: (i) 覆盖率; (ii) 平均置信区间长度; (iii) 平均估计误差 $\|\hat{\theta} - \theta\|_2$; (iv) 平均预测误差 $\frac{1}{N} \|X^T(\hat{\theta} - \theta)\|_2$; (v) 正确识别非零项部分的比率 $TPR = \frac{1}{N_*} \sum_{a=1}^{N_*} \frac{\#\{\hat{\theta}_j \neq 0, j \in S\}^a}{q_n}$; (vi) 正确识别零项部分的比率 $TNR = \frac{1}{N_*} \sum_{a=1}^{N_*} \frac{\#\{\hat{\theta}_j = 0, j \in S^c\}^a}{p_n - q_n}$;

(vii)正确识别模型的比率 $TMR = \frac{1}{N_*} \sum_{a=1}^{N_*} I\{\hat{\theta}_S \neq 0 \text{ and } \theta_{S^c} = 0\}^a$, 其中 $S = \{j|\theta_j \neq 0\}$, $S^c = \{j|\theta_j = 0\}$, $p_n = O(\exp(N^{c_1}))$,

$q_n = O(N^{c_2})$, $0 < c_1 + c_2 < 1$, $c_2 < 2/3$, a 表示第 a 次重复实验, N_* 表示实验重复次数, 本文中取 $N_* = 100$ 。

对于上述的七个估计指标, 指标 (ii)、(iii)、(iv) 越接近于 0 越好, 而指标 (i)、(v)、(vi)、(vii) 越接近于 1 越好。

例1 在仿真模拟中, 协变量 X 是均值为零的 p 维正态分布的随机向量, 服从 $N(0, \Sigma)$, 定义协方差矩阵 $\Sigma_{ij} = 0.95^{|i-j|}$, $i, j = 1, 2, \dots, N$, 误差 $\varepsilon \sim N(0, 0.1)$ 。对于给定的样本量 N 分别取为 20、40、100。假设删失数据服从分布 F (均匀分布、威布尔分布)。

例2 与例1不同的是定义样本量 $N = 20, 200$, 假设变量 T 服从 $[0, 1]$ 上的均匀分布, $\theta_i = 2, i = 1, 2, \dots, 15$, 其余部分均定义为 0。

表1 删失数据总体服从均匀分布时的区间覆盖率及其平均置信区间长度

n	1- α	DPMEEL	EEL	MEL
20	0.90	0.9050 (0.6589)	0.9150 (1.6596)	0.9130 (1.1968)
	0.95	0.9670 (0.7533)	0.9690 (2.0088)	0.9660 (1.4487)
	0.99	0.9970 (0.9226)	0.9960 (2.7458)	0.9970 (1.9802)
40	0.90	0.9090 (0.4135)	0.9040 (1.6900)	0.9030 (0.8281)
	0.95	0.9600 (0.4891)	0.9460 (2.0090)	0.9530 (0.9900)
	0.99	0.9960 (0.6262)	0.9950 (2.7162)	0.9910 (1.3254)
100	0.90	0.9190 (0.2060)	0.9070 (1.7093)	0.9070 (0.4241)
	0.95	0.9630 (0.2462)	0.9530 (2.0426)	0.9480 (0.5063)
	0.99	0.9970 (0.3259)	0.9890 (2.7037)	0.9940 (0.6687)

表2 删失数据总体服从威布尔分布时的区间覆盖率及其平均置信区间长度

n	1- α	DPMEEL	EEL	MEL
20	0.90	0.9100 (0.7831)	0.9000 (1.1754)	0.9050 (1.8327)
	0.95	0.9600 (0.9479)	0.9600 (1.4228)	0.9560 (2.2184)
	0.99	0.9950 (1.2955)	0.9940 (1.9448)	0.9960 (3.0323)
40	0.90	0.9090 (0.5653)	0.8890 (0.8642)	0.9040 (1.2627)
	0.95	0.9640 (0.6786)	0.9570 (1.0375)	0.9570 (1.5159)
	0.99	0.9940 (0.9086)	0.9940 (1.3889)	0.9950 (2.0295)
100	0.90	0.9080 (0.3520)	0.8970 (0.5536)	0.8990 (0.7870)
	0.95	0.9490 (0.4207)	0.9470 (0.6615)	0.9530 (0.9405)
	0.99	0.9960 (0.5568)	0.9930 (0.8756)	0.9920 (1.2449)

表1、表2括号中的数表示的是不同置信水平下对应的平均置信区间长度。表1、表2是例1的结果, 从结果可以看出, 无论删失数据的总体服从均匀分布还是威布尔分布, 在不同置信水平下, 分布式惩罚平均经验欧氏似然的覆盖率都要高于经验欧氏似然 (EEL) 和平均经验似然 (MEL), 其平均置信区间长度都要小于经验欧氏似然和平均经验似然, 故从总体来看, 分布式惩罚平均经验欧氏似然的结果更好、表现更优。

表3的括号中的数显示了相应估计的标准偏差。表3是例2的结果, 从表3中的结果来看, 在平均估计误差和平均预测误差方面, SCAD-DP惩罚的平均估计误差和预测误差是最小的; 在 TPR 、 TNR 、 TMR 方面, SCAD-DP惩罚的表现也是较好的, 因此SCAD-DP惩罚在高维数据中进行变量选择的能力也是较好的, 故在本文中我们的惩罚函数采用SCAD-DP惩罚函数, 即两个惩罚函数均为SCAD惩罚。

表3 例 2 的平均估计误差 ($\|\hat{\theta}-\theta\|_2$)、平均预测误差 ($\frac{1}{N}\|X^T(\hat{\theta}-\theta)\|_2^2$) 以及 TPR 、 TNR 、 TMR 结果

n	method	$\|\hat{\theta}-\theta\|_2$	$\frac{1}{N}\|X^T(\hat{\theta}-\theta)\|_2^2$	TPR	TNR	TMR
20	SCAD	6.3246(0.2803)	11.7622(1.0310)	0.63	0.79	0.01
	MCP	3.5084(1.0574)	0.0031(0.0167)	0.63	0.79	0.01
	SCAD-DP	3.4624(1.0404)	0.0549(0.0011)	0.93	0.82	0.1
	MCP-DP	3.9808(1.2002)	0.0000(0.0014)	0.63	0.77	0.05
200	SCAD	7.7442(0.2721)	0.0547(0.0083)	0.00	0.99	0.82
	MCP	7.0862(0.2490)	0.0458(0.0076)	1.00	0.99	0.82
	SCAD-DP	7.7322(0.7181)	0.0073(0.0086)	1.00	0.99	0.87
	MCP-DP	9.7777(0.9069)	0.0117(0.0109)	1.00	0.99	0.84

4 实例分析

对某传染病医院的1832名传染病密接和次密接人员检测数据进行分析, 此研究的起始时间为开始隔离的时间。传染病的感染情况可通过核酸检测来确定, 以核酸检测为阳性的时间来确定感染。在此次研究中, 以日为单位来定期检查核酸检测情况。因为事件(传染病感染)的确切时间并不能直接观察到, 即可将这些人员感染病情看做区间删失数据和右删失数据的混合数据, 其区间删失数据的左端点为最近一次核酸检测为阴性的时间, 右端点为第一次核酸检测为阳性的时间。若在观察期内未检测到核酸呈阳性, 则该人员为右删失数据。

隔离期内1832名人员有146名核酸检测显示阳性, 1686名核酸检测一直为阴性。现将此检测数据应用到我们提出的分布式惩罚平均经验欧氏似然方法中, 将其与经验欧氏似然方法、平均经验似然方法进行比较。

表4 删失数据总体服从不同分布时的不同置信水平下的覆盖率和平均置信区间长度

$1-\alpha$	均匀分布			威布尔分布		
	DPMEEL	EEL	MEL	DPMEEL	EEL	MEL
0.90	0.9080	0.9020	0.8930	0.9090	0.8970	0.8960
	(0.2479)	(0.4197)	(0.4241)	(0.2477)	(0.4198)	(0.4242)
0.95	0.9530	0.9460	0.9530	0.9520	0.9530	0.9490
	(0.2960)	(0.5011)	(0.5063)	(0.2957)	(0.5012)	(0.5064)
0.99	0.9950	0.9890	0.9900	0.9910	0.9920	0.9910
	(0.3909)	(0.6618)	(0.6687)	(0.3906)	(0.6619)	(0.6688)

表4的括号中的数表示的是不同置信水平下对应的平均置信区间长度。从表 4 的结果来看, 当删失数据总体服从不同的分布时, 在不同置信水平下, 分布式惩罚平均经验欧氏似然(DPMEEL)的覆盖率都要高于经验欧氏似然和平均经验似然, 其平均置信区间长度也都要小于经验欧氏似然和平均经验似然, 因此DPMEEL的结果最好。

5 结论

由于平均数集和欧氏距离都能有效提高覆盖概率, 缩短平均置信区间长度且经验欧氏似然较经验似然计算更为简便, 因此, 提出了基于高维删失数据的分布式惩罚平均经验欧氏似然。通过模拟研究, 证明了与经验欧氏似然和平均经验似然相比, 分布式惩罚平均经验欧氏似然具有更高的覆盖概率和更小的平均置信区间长度, 也证明了所提出的惩罚部分的平均估计误差和平均预测误差相较于常见的SCAD惩罚和MCP惩罚都要小, 对变量的选择的效果更好。另外, 分布式惩罚平均经验欧氏似然的计算时间更短, 成本更低。在相应的假设条件下也证明了分布式惩罚平均经验欧氏似然具有Oracle特性、渐进正态性以及其统计量服从卡方分布, 故分布式惩罚平均经验欧氏似然的性能更好。

参考文献:

- [1] Liang W, Dai H S, He S Y. Mean empirical likelihood method[J]. Computational statistics & data analysis, 2019, 138: 155–169.
- [2] Liang W, Dai H S. Empirical likelihood based on synthetic right censored data[J]. Statistics & probability letters, 2021, 169: 108962.
- [3] He H J, Deng G M. Mean empirical likelihood inference for response mean with data missing at random[J]. Discrete dynamics in nature and society, 2020, 2020: 8893594.
- [4] 胡志明, 晏振, 张军舰. 调整经验欧氏似然及其性质[J]. 应用数学, 2017, 30(2): 299–312.
- [5] 彭博. 基于平滑经验欧氏似然的分位回归分布式估计[D]. 广西: 广西师范大学, 2021.
- [6] 唐洁. 含空间自回归误差的空间自回归模型的经验欧氏似然推断[J]. 广西民族大学学报(自然科学版), 2021, 27(4): 70–74.
- [7] 张军舰. 非参数似然方法及其应用研究进展[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2022, 40(5): 150–159.
- [8] Tang N S, Yan X D, Zhao X Q. Penalized generalized empirical likelihood with a diverging number of general estimating equations for censored data[J]. Annals of statistics, 2020, 48(1): 607–627.
- [9] Chang J Y, Tang C Y, Wu T T. A new scope of penalized empirical likelihood with high-dimensional estimating equations[J]. Annals of statistics, 2018, 46(6B): 3185–3216.
- [10] Zou Y Y, Fan G L, Zhang R Q. Empirical likelihood and variable selection for partially linear single index EV models with missing censoring indicators[J]. Journal of the Korean statistical society, 2021, 50(1): 134–16.
- [11] Chen X, Tan X Y, Yan L. Penalized empirical likelihood for high dimensional generalized linear models with longitudinal data[J]. Journal of statistical computation and simulation, 2022, 93(10): 1515–1531.
- [12] Fu L Y, Hu S W, Li J Q. Robust penalized empirical likelihood in high dimensional longitudinal data analysis[J]. Journal of statistical planning and inference, 2023, 228: 11–22.
- [13] Chang J Y, Shi Z T, Zhang J. Culling the herd of moments with penalized empirical likelihood[J]. Journal of Business & Economic statistics, 2023, 41(3): 791–805.
- [14] Wang X Y, Wang D H. Penalized empirical likelihood inference for the GINAR(p) model[J]. Statistics, 2022, 56(4): 785–804.
- [15] Wang B H, Liang H Y. Empirical likelihood in single-index quantile regression with high dimensional and missing observations[J]. Journal of statistical planning and inference, 2023, 226: 1–19.
- [16] Liu Q Q, Li Z P. Distributed estimation with empirical likelihood[J]. The Canadian journal of statistics, 2023, 51(2): 375–399.

Distributed Penalized Mean Empirical Euclidean Likelihood based on High-dimensional Censored Data

ZHU Yanlin, YU Haisheng

(School of Mathematics and Statistics, Ludong University, Yantai Shandong, 264025, China)

Abstract: The paper proposes a distributed penalized mean empirical Euclidean likelihood (DPMEEL) method based on high-dimensional censored data. It solves the problem that empirical likelihood is prone to abnormal results when the data is large, and greatly improves the computational efficiency by introducing the idea of distributed estimation. It is shown through the study that under certain conditions, the distributed penalized mean empirical Euclidean likelihood has Oracle property, asymptotic normality, and the test statistic of its likelihood ratio obeys the chi-square distribution. Simulation studies and case analysis illustrate that the distributed penalized mean empirical Euclidean likelihood has a better performance.

Key words: empirical euclidean likelihood; high-dimensional; penalized likelihood; censored data; distributed estimation

氧化海藻酸钠交联羧甲基壳聚糖凝胶的制备及其性能研究

康明臻¹, 苏顺洁¹, 刘书霞², 陈新钰¹, 李燕^{1,*}, 杨效登¹

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 山东省轻工助剂重点实验室, 山东 济南 250353; 2. 济宁中银电化有限公司技术中心, 山东 济宁 272500)

摘要:以海藻酸钠(SA)为原料、碘酸钠(NaIO_3)为氧化剂, 制备氧化海藻酸钠(OSA), 考察了SA浓度、SA与 NaIO_3 的质量比以及氧化时间对氧化度的影响。以OSA作为交联剂, 制备了O-羧甲基壳聚糖/氧化海藻酸钠凝胶(OCMC/OOSA GEL), 通过体相流变法研究了OSA的氧化度、OSA浓度和OCMC与OSA的质量比($m_{\text{OCMC}}/m_{\text{OSA}}$)对凝胶强度的影响。结果表明, 通过调整SA与 NaIO_3 的质量比($m_{\text{SA}}/m_{\text{NaIO}_3}$)、SA浓度、反应温度和反应时间可以精准调控OSA的氧化度。在60°C下, 当SA质量浓度为20 g/L、 $m_{\text{SA}}/m_{\text{NaIO}_3}$ 为1/2、反应10 h时, OSA的氧化度最大为89.14%。当OSA的氧化度为89.14%、 $m_{\text{OCMC}}/m_{\text{OSA}}$ 为1/1时, 制得的OCMC/OOSA凝胶具有最大的粘弹性, 为860 Pa。在固定OCMC的用量下, 随OSA含量增加, 凝胶的强度先增加后降低, 当OSA含量为90 g/L时, OCMC/OOSA凝胶的粘弹性最大, 为1800 Pa。结果表明, OCMC/OOSA凝胶在凝胶敷料、生物医学材料领域具有广泛应用前景。

关键词:氧化海藻酸钠; 氧化度; 羧甲基壳聚糖; 凝胶

中图分类号: O636.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0023-05

随着石油资源的逐渐枯竭和环境污染问题日益严峻, 天然可降解的生物基材料引起了全球范围内的广泛关注^[1]。利用生物相容性好、安全无毒且经济实惠的天然高分子交联剂制备生物医用材料具有重要意义。海藻酸钠(SA)是从海带或马尾藻这类褐藻中提取碘和甘露醇后的副产物, 由 β -D-甘露糖醛酸和 α -L-古洛糖醛酸按(1 \rightarrow 4)键连接而成, 具有良好的降解性、成膜性和生物相容性等特性, 广泛应用于化工、生物、制药和食品等领域^[2, 3]。O-羧甲基壳聚糖(OCMC)是壳聚糖的一种水溶性衍生物, 具有良好的生物相容性和可降解性, 在促进创面愈合、止血、抑制瘢痕和抑菌等医疗方面具有重要应用, 被广泛用于水凝胶和治疗创伤类的生物材料^[4, 5]。

凝胶材料具有优异的粘附性、力学性能和生物降解性, 可以牢固地附着在伤口处的皮肤上。伤口敷料在伤口止血和修复方面得到广泛应用。先进的伤口敷料不仅可以覆盖和保护伤口, 还能提高伤口愈合质量。因此, 凝胶材料是伤口敷料的首选材料之一^[6]。

海藻酸钠和壳聚糖通过物理混合, 由于分子间的微弱静电相互作用和氢键作用, 只能形成弱凝胶^[7], 它们的力学性能很差, 限制了它们在生物医药领域的应用。适当的化学交联可以提高海藻酸钠(SA)和OCMC凝胶的力学性质, 并赋予凝胶特定的功能。如壳聚糖凝胶经过氧化海藻酸钠(OSA)交联后, 可获得高达1400 Pa的弹性模量, 并且在损坏后能够在6 h内自我修复^[8]。这些交联剂对凝胶的性质和应用具有重要影响。与外源性交联剂不同, 内源性交联剂是指交联剂和形成凝胶的原料具有相同来源, 交联剂分子中的活性官能团可以通过共价键与原料进行交联^[9, 10]。

为了丰富海藻酸钠和O-羧甲基壳聚糖凝胶的性质并拓展其应用, 本研究利用碘酸钠(NaIO_3)和氧化海藻酸钠(SA)制备氧化海藻酸钠(OSA), 考察了SA浓度、反应时间、 $m_{\text{SA}}/m_{\text{NaIO}_3}$ 对OSA氧化度的影响。以OSA为交联剂制备OCMC/OOSA凝胶, 并研究了OSA与OCMC质量比对该凝胶强度的影响。该研究将拓展OCMC/OOSA凝胶在凝胶敷料和生物医学材

收稿日期: 2023-08-28

基金项目: 鲁工业大学(山东省科学院)重大创新专项(2022JBZ02-04)资助。

作者简介: 康明臻(1997-), 男, 齐鲁工业大学(山东省科学院)化学与制药学部硕士研究生, 研究方向为生物基功能材料。

(*: 通信作者)

料领域的应用。

1 实验部分

1.1 原料

海藻酸钠为食品级, 分子量为 $200 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, 由青岛明月海藻集团有限公司免费提供; 盐酸羟胺、NaOH、乙二醇、无水乙醇和碘酸钠均为分析纯, 购自上海国药集团化学试剂有限公司; O-羧甲基壳聚糖为化学纯, 购自上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 样品制备

1) 氧化海藻酸钠的制备

根据文献[10]的方法, 将固定质量的海藻酸钠溶解在 25 mL 蒸馏水中, 配成质量浓度为 20 g/L 、 30 g/L 、 40 g/L 、 50 g/L 的溶液(溶液I)。向海藻酸钠溶液中加入一定量的碘酸钠, 使 $m_{\text{SA}}/m_{\text{NaIO}_3}=1/1$ 。在 25°C 的避光条件下搅拌反应 10 h , 然后加入与碘酸钠等物质量的乙二醇终止反应。将混合液加入到无水乙醇中($V_{\text{混合液}}/V_{\text{乙醇}}=1/4$)并充分搅拌 30 min 后抽滤。先用去离子水溶解, 再用无水乙醇沉淀, 如此反复3次, 得到白色产物即氧化海藻酸钠。将其放入表面皿中, 并置于 50°C 真空干燥箱中干燥 24 h , 即可得到纯化后的氧化海藻酸钠。

固定海藻酸钠溶液浓度为 20 g/L , 按照 $m_{\text{SA}}/m_{\text{NaIO}_3}=1/1$ 、 $1/0.8$ 、 $1/0.6$ 、 $1/0.4$ 、 $1/0.2$ 的比例将高碘酸钠溶液加入到溶液I中, 在 60°C 下避光搅拌反应 10 h 后。重复上述终止反应和纯化产品的操作, 得精制的氧化海藻酸钠。

固定海藻酸钠溶液浓度为 20 g/L , 按照 $m_{\text{SA}}/m_{\text{NaIO}_3}=1/1$ 的比例将高碘酸钠溶液加入到溶液I中, 25°C 下避光反应 2 、 4 、 6 、 8 、 10 h , 重复上述操作, 制得精制的氧化海藻酸钠。

2) 海藻酸钠氧化度的测定

称取 0.3 g 海藻酸钠或氧化海藻酸钠置于试管中, 加水 2 mL 待其溶解后再加入 2 mL 费林试剂。加热煮沸 2 min 观察是否生成砖红色 Cu_2O 沉淀。

氧化度计算按文献[11]方法, 将盐酸羟胺溶液与配置好的氧化海藻酸钠溶液用氢氧化钠调节至相同的pH值, 将适量氧化海藻酸钠溶液加入盐酸羟胺溶液反应至少 2 h , 以NaOH为滴定剂, 电位滴定法滴定释放出的等当量HCl, 由此计算氧化海藻酸钠分子中醛基含量(mol/g)。根据醛基含量计算氧化度

(OD), 如式(1)。

$$OD = \frac{198n}{2m} \times 100\% \quad (1)$$

式中, n 为氧化海藻酸钠中醛基的物质的量(mol), m 为海藻酸钠样品质量(g), 198为海藻酸钠重复单元的平均分子质量。

3) 氧化海藻酸钠溶液的配制

称取 2.5 g 氧化海藻酸钠溶解于 50 mL 去离子水中, 于 40°C 恒温水浴中充分搅拌至完全溶解, 即得质量浓度 50 g/L 的氧化海藻酸钠水溶液。

4) O-羧甲基壳聚糖溶液的制备。

称量 2.5 g O-羧甲基壳聚糖, 溶解于 50 mL 去离子水中, 于 40°C 恒温水浴中充分搅拌至完全溶解, 即得质量浓度为 50 g/L 的O-羧甲基壳聚糖水溶液。

1.3 氧化海藻酸钠/O-羧甲基壳聚糖凝胶体系

1) 凝胶制备

分别取 50 g/L 氧化海藻酸钠溶液 2 、 6 、 10 、 14 、 18 mL , 取 50 g/L 的O-羧甲基壳聚糖溶液 18 、 14 、 10 、 6 、 2 mL , 并按 $m_{\text{OCMC}}/m_{\text{OSA}}=1/9$ 、 $3/7$ 、 $5/5$ 、 $7/3$ 、 $9/1$ 的比例将两者混合, 室温下并充分搅拌, 使O-羧甲基壳聚糖与氧化海藻酸钠混合均匀。将混合溶液置于 25°C 的恒温培养箱中 4 h , 使OSA与OCMC充分交联, 形成凝胶。

固定O-羧甲基壳聚糖质量浓度 50 g/L 、 $m_{\text{OCMC}}/m_{\text{OSA}}=5/5$, 考察氧化海藻酸钠浓度为 30 g/L 、 50 g/L 、 70 g/L 和 90 g/L 对凝胶性能的影响。

2) 凝胶流变性

通过DHR-2流变仪(美国TA公司), 用平板法(直径 40 mm)测定氧化海藻酸钠、O-羧甲基壳聚糖和氧化海藻酸钠/O-羧甲基壳聚糖体系的流变性。平板之间的间隙固定为 1.0 mm , 采用Peltier温控器将温度控制在 25°C 。

首先, 固定振荡频率为 1.0 rad/s , 在 0.01% – 20% 的振荡应变范围内确定线性粘弹性区域。然后, 固定振荡应变, 在 1 – 100 rad/s 的角频率范围内测定体系的弹性模量(G')和粘性模量(G'')。考察了OCMC与OSA的质量比对凝胶强度的影响。

1.4 实验误差

氧化海藻酸钠实验, 每组最少做3次, 每个样品的氧化度至少测3次, 以保证置信度 $p \leq 5\%$ 。

2 结果与讨论

2.1 海藻酸钠氧化条件优化

固定海藻酸钠/碘酸钠的质量比($m_{SA}/m_{NaIO_3}=1/1$)和反应时间(10 h), 海藻酸钠浓度由20 g/L增大到50 g/L时, 其氧化度基本恒定为90%, 如图1(A)所示, 说明海藻酸钠的浓度对其氧化度影响微小。

固定海藻酸钠的浓度和 m_{SA}/m_{NaIO_3} 分别为20 g/L和1/1, 反应时间由2 h延长到6 h时, 海藻酸钠的氧化度由66.24%连续增大到85.20%, 随时间继续延长到10 h时, 氧化度缓慢增加到89.14%, 如图1(B)所示, 说明反应时间6 h内, 海藻酸钠氧化的速度与反应时间密切相关; 超过6 h, 氧化速度变得缓慢。

固定海藻酸钠的质量浓度(20 g/L)和反应时间(10 h), m_{SA}/m_{NaIO_3} 的比值由1/0.2增大到1/1时, 海藻酸钠的氧化度由18.81%快速增大到89.14%, 如图1(C)所示。说明氧化剂 $NaIO_3$ 的用量对海藻酸钠的氧化程度起着至关重要的作用, 当 $m_{SA}/m_{NaIO_3}=1$ 时, $NaIO_3$ 才能充分发挥氧化作用。海藻酸钠的氧化度(y)与 $NaIO_3$ 用量(x)之间的函数关系式为 $y=170.93e^{-0.85x}+16.38$ ($R^2=0.9996$), 可见, 氧化剂的用量与海藻酸钠的氧化度呈现指数增长趋势。

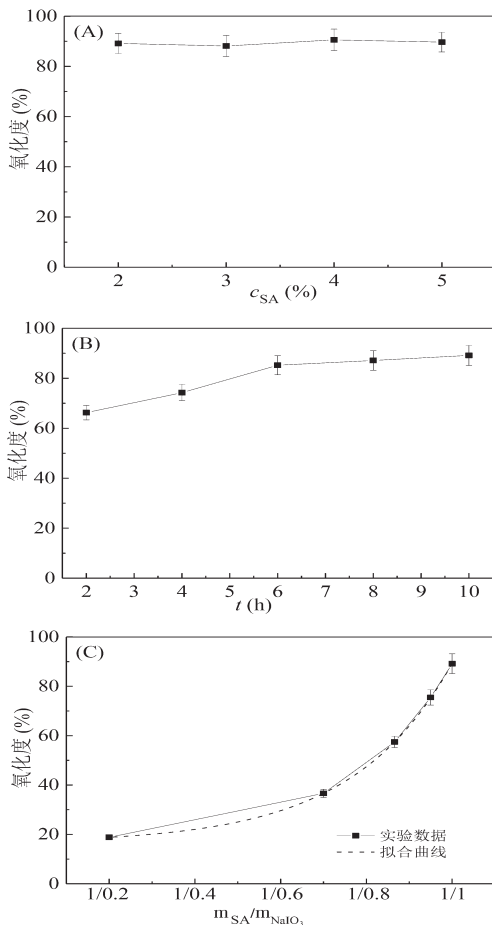


图1 海藻酸钠浓度(A)、反应时间(B)和 m_{SA}/m_{NaIO_3} (C)对氧化度的影响

2.2 氧化海藻酸钠/O-羧甲基壳聚糖凝胶形成机理

碘酸钠将海藻酸钠重复单元中C2、C3位相邻的二羟基氧化成反应活性高的两个醛基(图2), 这两个醛基在室温下即可与O-羧甲基壳聚糖分子链上的氨基发生席夫碱反应, 形成稳定的C=N键^[12]。同时, 氧化海藻酸钠分子中的羟基、羧基等极性官能团与O-羧甲基壳聚糖分子中的-OH、未反应的伯氨基等官能团通过氢键作用形成空间网状结构, 即凝胶。通过醛基与伯氨基间的化学反应形成稳定的化学键, 分子中的羟基、伯氨基、羧基等弱相互作用构建凝胶的体系已有不少报道, 如壳聚糖、海藻酸钠自修复水凝胶, 通过氧化海藻酸钠的醛基与CS的氨基反应合成了具有亚胺键的CS-CMCS水凝胶具有三维多孔结构、优异的机械性能和自修复性能。该水凝胶具有明显的抑菌性能且无细胞毒性, 还具有促创面愈合的效果, 在临床有很广泛的应用前景^[13]。

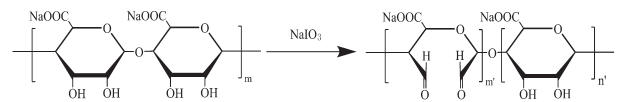


图2 碘酸钠氧化海藻酸钠化学反应示意图

2.3 m_{OCMC}/m_{OSA} 对凝胶粘弹性的影响

固定O-羧甲基壳聚糖和氧化海藻酸钠总的质量体积浓度为50 g/L, 当O-羧甲基壳聚糖和氧化海藻酸钠的质量比(m_{OCMC}/m_{OSA})由1/9增大到9/1时, 体系的粘弹性如图3(A)所示。体系的弹性模量均大于粘性模量, 而且弹性模量基本不随角频率变化, 证明O-羧甲基壳聚糖/氧化海藻酸钠体系已经形成凝胶。这是氧化海藻酸钠中的醛基与O-羧甲基壳聚糖中的伯氨基形成化学键, 两种大分子间的氢键、静电相互作用共同作用的结果^[14]。

随O-羧甲基壳聚糖和氧化海藻酸钠质量比由1/9增加到9/1时, 体系的弹性模量先增后减, 如图3(B)所示。角频率为1.0 rad/s, $m_{OCMC}/m_{OSA}=5/5$ 时, 弹性模量最大, 为760 Pa。弹性模量是由水凝胶的交联密度决定的, 氨基与醛基形成的亚胺键越多, 即水凝胶的交联密度越大, 其弹性模量越大^[15]。本研究中, 氧化海藻酸钠作为一种交联剂参与凝胶形成过程。当 $m_{OCMC}/m_{OSA}=5/5$ 时, 氧化海藻酸钠与O-羧甲基壳聚糖形成的化学键最多, 所以, 该体系的弹性模量最大。继续增大氧化海藻酸钠的用量, 成凝胶体系形成的化学键减少, 凝胶强度减弱。当 $m_{OCMC}/m_{OSA}=1/9$ 时, 作为交联剂的氧化海藻酸钠绝对过剩, 大量过剩的氧化海藻酸钠作为普通

的生物大分子与O-羧甲基壳聚糖通过氢键和静电相互作用形成凝胶，因此，其粘弹性最低(4.2 Pa)。随氧化海藻酸钠含量增大，氧化海藻酸钠和O-羧甲基壳聚糖分子间形成的化学键增多，两种大分子间除了氢键和静电相互作用，还有大量键能更强的C=N共价键，凝胶的强度增大，弹性模量也增大。

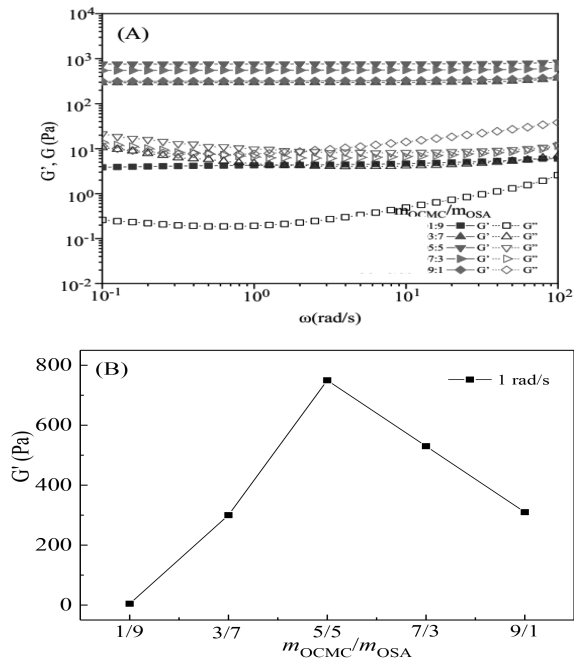


图3 m_{OCMC}/m_{OSA} 凝胶体系的粘弹性(A)和角频率为1 rad/s下体系弹性模量的曲线(B)

2.4 OSA浓度对凝胶粘弹性的影响

氧化海藻酸钠浓度对成凝胶体系粘弹性的影响如图4所示。随氧化海藻酸钠浓度由30 g/L增加到50 g/L和70 g/L，体系的弹性模量由500 Pa快速增加到739 Pa和1900 Pa($\omega = 1.0$ rad/s)，继续增加浓度到90g/L，弹性模量几乎不再变化，说明氧化海藻酸钠与O-羧甲基壳聚糖的交联反应具有饱和性^[16]。

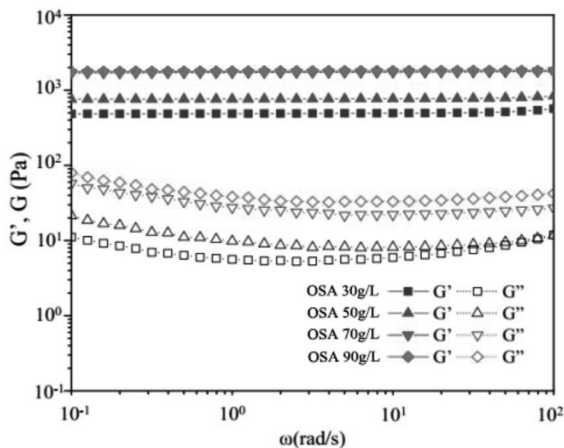


图4 氧化海藻酸钠浓度对凝胶粘弹性的影响

3 结论

以碘酸钠为氧化剂，在水溶液中成功氧化海藻酸钠，制得氧化海藻酸钠。氧化反应主要发生在前6 h，影响海藻酸钠氧化度的主要因素是碘酸钠的用量，碘酸钠用量与海藻酸钠的氧化度呈现指数增长趋势。由此得到制备氧化海藻酸钠的最佳条件：海藻酸钠与碘酸钠质量比为1/1，反应6 h，制得氧化海藻酸钠的氧化度约为90%。

氧化海藻酸钠的醛基与O-羧甲基壳聚糖的氨基发生席夫碱反应，辅以两种大分子间的氢键和静电相互作用，促成氧化海藻酸钠/O-羧甲基壳聚糖凝胶形成。O-羧甲基壳聚糖/氧化海藻酸钠体系的粘弹性受到 m_{OCMC}/m_{OSA} 的影响。当 $m_{OCMC}/m_{OSA} = 5/5$ 时，该体系的弹性模量最大，为860 Pa；随着氧化海藻酸钠含量的增加，凝胶强度增强，弹性模量也增大，在OSA浓度为90g/L时凝胶的粘弹性达到最大值，但在一定范围内具有饱和性。因此，该研究为了解OCMC/OSA体系的交联反应提供了重要参考。

参考文献:

- [1] Wang H M, Yuan T Q, Song G Y, et al. Advanced and versatile lignin-derived biodegradable composite film materials toward a sustainable world [J]. Green Chemistry, 2021, 23(11): 3790–3817.
- [2] Tan J, Luo Y, Guo Y, et al. Development of alginate-based hydrogels: Crosslinking strategies and biomedical applications [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 239: 124275.
- [3] Guo X, Wang Y, Qin Y, et al. Structures, properties and application of alginic acid: A review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 162: 618–628.
- [4] Shariatnia Z. Carboxymethyl chitosan: Properties and biomedical applications [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 120: 1406–1419.
- [5] Geng Y, Xue H, Zhang Z, et al. Recent advances in carboxymethyl chitosan-based materials for biomedical applications [J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 305: 120555.
- [6] Wang W, Ummartyotin S, Narain R. Advances and challenges on hydrogels for wound dressing [J]. Current Opinion in Biomedical Engineering, 2023, 26: 100443.
- [7] Jing H, Huang X, Du X, et al. Facile synthesis of pH-responsive sodium alginate/carboxymethyl chitosan hydrogel beads promoted by hydrogen bond [J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 278: 118993.

- [8] 候冰娜, 倪凯, 沈慧玲, 等. 自修复氧化海藻酸钠-羧甲基壳聚糖水凝胶的制备及药物缓释性能[J]. 复合材料学报, 2022, 39(1): 250-257.
- [9] Loeber R L, Michaelson-richie E D, Codreanu S G, et al. Proteomic Analysis of DNA Protein Cross-Linking by Antitumor Nitrogen Mustards [J]. Chemical Research in Toxicology, 2009, 22(6): 1151-1162.
- [10] Fang M, Xiong S, Jiang Y, et al. In Vitro Pepsin Digestion Characteristics of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Surimi Gels with Different Degrees of Cross-Linking Induced by Setting Time and Microbial Transglutaminase [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(31): 8413-8430.
- [11] 王琴梅, 张亦霞, 李卓萍, 等. 多醛基海藻酸钠交联剂的制备及性能[J]. 应用化学, 2010, 27(2): 155-158.
- [12] Balakrishnan B, Lesieur S, Labarre D, et al. Periodate oxidation of sodium alginate in water and in ethanol-water mixture: a comparative study [J]. Carbohydrate Research, 2005, 340(7): 1425-1429.
- [13] 耿志杰, 于珊, 曾志文, 等. 壳聚糖/海藻酸钠自修复水凝胶的制备与性能[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2022, 43(3): 322-331.
- [14] Yan Y, Guan S, Wang S, et al. Synthesis and characterization of protocatechuic acid grafted carboxymethyl chitosan with oxidized sodium alginate hydrogel through the Schiff's base reaction [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 222: 2581-2593.
- [15] Jeon O, Song S J, Lee K J, et al. Mechanical properties and degradation behaviors of hyaluronic acid hydrogels cross-linked at various cross-linking densities [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 70(3): 251-257.
- [16] Arafá E G, Sabaa M W, Mohamed R R, et al. Preparation of biodegradable sodium alginate/carboxymethylchitosan hydrogels for the slow-release of urea fertilizer and their antimicrobial activity [J]. Reactive and Functional Polymers, 2022, 174: 105243.

Preparation and Properties of Carboxymethyl Chitosan Gels Crosslinked by Oxidized Sodium Alginate

KANG Mingzhen¹, SU Shunjie¹, LIU Shuxia², CHEN Xinyu¹, LI Yan¹, YANG Xiaodeng¹

(1. Shandong Key Laboratory of Molecular Engineering, Qilu University of Technology, Shandong Academy of Sciences, Jinan 250353; 2. Shandong Provincial Technology Center of Jining Zhongyin Electrochemical Co., LTD, Jining, 272500, China)

Abstract: Sodium alginate (SA) and sodium periodate (NaIO_3) were used as the raw materials and oxidizing agent, respectively, to prepare oxidized sodium alginate (OSA). The effects of SA concentration, mass ratio of SA to NaIO_3 , and oxidation time on the degree of oxidation(OD) were investigated. O-carboxymethyl chitosan/oxidized sodium alginate gel (OCMC/OSA) was prepared using OSA as a crosslinking agent, and the influence of OSA degree of oxidation, OSA concentration, and OCMC/OSA mass ratio ($m_{\text{OCMC}}/m_{\text{OSA}}$) on gel strength was studied using the rheological method. The results showed that the degree of oxidation of OSA could be precisely controlled by adjusting the mass ratio of SA to NaIO_3 , SA concentration, reaction temperature, and reaction time. At 60°C, with an SA concentration of 20 g/L, an SA to NaIO_3 ratio of 1/2, and a reaction time of 10 hours, the maximum degree of oxidation of OSA was found to be 89.14%. When the degree of oxidation of OSA was 89.14% and the $m_{\text{OCMC}}/m_{\text{OSA}}$ ratio was 1/1, the resulting OCMC/OSA gel exhibited the highest viscoelasticity of 860 Pa. With a fixed Content of OCMC, the viscoelasticity of the gel increased first and then decreased with an increase in OSA content, reaching a maximum of 1800 Pa at an OSA content of 90 g/L. The results indicate that, OCMC/OSA gel has promising applications in wound dressings and biomedical materials.

Key words: sodium alginate oxide; degree of oxidation; chitosan; gel

包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行现状及影响因素分析

张鑫¹, 万晶晶², 盛建民¹

(1. 德州学院 医药与护理学院, 山东 德州 253023; 2. 中南大学 湘雅三医院, 湖南 长沙 410013)

摘要: 目的: 研究包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行现状及影响因素, 为医务人员制定更为有效的健康宣教计划和干预措施提供参考依据。方法: 采用随机整群抽样抽取长沙市2所三甲医院, 共261位包皮手术患儿家长作为研究对象, 通过问卷调查包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行现状。结果: 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行总问卷平均得分为(145.72±17.21)分, 知识部分平均得分为(58.77±13.74)分, 态度部分平均得分为(57.78±6.18)分; 行为部分平均得分为(29.17±3.51)分, 单因素分析结果显示, 家长角色、不同文化程度、家庭月收入、获取包皮手术相关的信息来源在包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行得分上存在显著差异($p<0.05$)。多因素分析结果显示, 文化程度、家庭月收入、职业是包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行知识、态度、行为的主要影响因素。结论: 包皮手术患儿家长参与围术期照护的态度和行为较为积极, 但是参与围术期照护的知识水平有待提高, 尤其是包皮手术护理方面的知识, 可以参考以上影响因素制定相应的改进措施。

关键词: 包皮环切术; 围术期照护; 知信行

中图分类号: R473.72

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0028-05

包皮环切术作为世界上最古老和最常见的泌尿外科手术之一, 每年全球包皮环切率约为37.7%^[1]。随着现代科技和生活的快速发展, 人们的健康意识逐渐提高, 家长对儿童生殖健康方面的关注也越来越高, 并选择在儿童时期让孩子进行包皮环切术^[2]。包皮手术作为一种侵入性、有创的治疗手段, 具有很高的风险性和应激性, 对患儿造成很大的心理和精神压力^[3]。由于患儿年龄较小、自我照护能力不足, 加上术后存在静脉回流不畅、弹性大、皮肤菲薄等生理学特征, 很容易发生水肿、出血、裂开等并发症^[4]。患儿自主意识较差, 需要家长对其进行悉心照料。研究指出^[5], 家长参与围术期照护模式可以让家长积极地参与患儿的康复过程, 并对整个过程负责, 对患儿治疗的实施及身心康复有着极其重要的作用。因此, 本研究旨在了解家长参与包皮手术患儿围术期照护的知信行现状及影响因素, 从而为医务人员制定更为有效的健康宣教计划和干预措施提供参考依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

2020年11月-2021年2月, 在长沙市2所三甲医院陪同患儿进行包皮手术的261名家长作为研究对象, 每个家庭选择1名家长填写问卷。

纳入标准: ① 0-18岁包皮过长、包茎患儿具有监护权的父亲或母亲; ② 患儿父母无精神疾病及认知障碍, 具有一定的阅读和理解能力, 知情同意并自愿参与研究; ③ 陪同患儿当日到院手术。排除标准: 患儿家长有心理精神疾病或认知障碍。

1.2 研究方法

1) 研究工具

① 一般人口学资料调查表: 由研究者自行设计, 主要包括患儿年龄、教育阶段、是否为独生子女; 家长的年龄、民族、职业等。② 包皮手术患儿及家长参与围术期照护的知信行调查问卷: 由研究者自行研制, 通过文献回顾、专家访谈修订而成, 问卷包括知识(18个条目)、态度(13个条目)、行为(7个条目)三个部分, 共38个条目。所有条目均为选择题, 采用Likert 5级评分法, 分为非常不了解/非常不同意/非常不符合、

收稿日期: 2023-09-14

作者简介: 张鑫(1995-), 女, 助教, 硕士, 主要从事护理教育工作研究。

不太了解/不太同意/不太符合、不确定、比较了解/比较同意/比较符合、非常了解/非常同意/非常符合,分值依次为1、2、3、4、5分。知行问卷满分为190分,得分越高,知行越好。总问卷Cronbach's α 系数为0.943,问卷的总体水平的内容效度指数(S-CVI)为0.967,各个条目的内容效度指数(I-CVI)在0.833-1之间,说明自编问卷具有良好的信度和效度。

2) 资料收集方法

在进行调查之前,经所在学院伦理委员会批准同意后,与各医院领导及科室负责人取得联系,获得医院的同意和配合。研究者严格按照纳入排除标准,在医院的手术室等候区,对包皮手术患儿家长进行问卷调查。问卷由研究者本人发放,采用统一指导语,发放问卷前向研究对象解释此次问卷调查的目的、填写方法、注意事项,并签署知情同意

书。所有问卷均当场填写、当场收回。本次调查共发放问卷261份,回收有效问卷261份。

3) 统计分析

本研究所有数据采用SPSS18.0软件包进行录入及统计分析,检验水准 $\alpha=0.05$,并采用双侧检验。应用KS法对计量资料行正态性检验,正态分布资料应用均数 \pm 标准差,偏态分布采用中位数(四分位数间距)表示。 $P<0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 调查对象一般资料

共调查261名患儿家长。其中,患儿平均年龄 9.69 ± 2.34 岁,大部分为小学生,且为非独生子女。家长平均年龄 37.9 ± 4.46 岁,职业分布在各行各业。患儿及家长一般资料见表1。

表1 患儿及家长一般资料

项目	人数	构成比(%)	项目	人数	构成比(%)
患儿年龄			文化程度		
0-10	177	67.8	初中及以下	31	11.9
11-18	84	32.2	高中或中专	69	26.4
患儿教育阶段			大专或本科	140	53.6
幼儿园	4	1.5	硕士及以上	21	8.1
小学	217	83.1	职业		
初中	30	11.5	医务人员	6	2.3
高中	10	3.8	企业职工	49	18.8
患儿是否为独生子女			公务员	15	5.7
是	100	38.3	教师	21	8.0
否	161	61.7	个体经营	57	21.8
患儿若为非独生子女			农民	7	2.7
大孩	96	59.6	工人	6	2.3
二孩	60	37.3	其他	100	38.3
三孩	5	3.1	家庭月收入		
家长角色			小于3000	5	1.9
父亲	88	33.7	3000-6000	54	20.7
母亲	173	66.3	6000-8000	52	19.9
家长年龄			8000-10000	59	22.6
≤ 35	93	35.6	大于10000	91	34.9
36-45	152	58.3	您或您的家人及身边的亲戚朋友是否做过包皮手术		
>45	16	6.1	是	149	57.1
民族			否	112	42.9
汉族	251	96.2	您获取包皮手术相关的信息来源		
少数民族	10	3.8	电视广播	4	1.5
居住地			报刊书籍	5	1.9
城市	215	82.4	同学朋友	59	22.6
农村	46	17.6	咨询医生	139	53.3
宗教信仰			手机	19	7.3
无	240	92.0	电脑	4	1.5
佛教	15	15.7	其他	31	11.9
其他	6	2.3			

2.2 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行得分

包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行问卷总分为 190 分，其中知识为90分，态度为65分，行为为35分。261 位家长的知信行总分为 (145.72 ± 17.21) 分，得分率为 76.69%。知识得分为 (58.77 ± 13.74) 分，占知识总分的得分率为 65.30%；态度得分为 (57.78 ± 6.18)，占态度总分得分率为88.89%；行为得分为 (29.17 ± 3.51) 分，占行为总分的得分率为83.34%。

2.3 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行单因素分析

单因素分析结果显示，家长的文化程度、获取手术相关的信息来源在知信行总分之间的差异具有统计学意义 (P<0.05)；家长的文化程度、家庭月收入、获取手术相关的信息来源在知信行知识得分之间的差异具有统计学意义 (P<0.05)；家长角色在知信行态度得分之间的差异具有统计学意义 (P<0.05)，人口学变量对行为得分的影响均无统计学意义。详见表2。

表2 包皮手术患儿家长参与围术期照护的总分及知识得分的单因素分析

项目	家长参与围术期照护的总得分			家长参与围术期照护的知识得分		
	得分($\bar{X}\pm S$)	F/ χ^2/t	P值	得分($\bar{X}\pm S$)	F/ χ^2/t	P值
文化程度		3.362	0.019		3.762	0.011
初中及以下	137.68±15.98			52.00±12.51		
高中或中专	144.54±16.42			58.09±12.71		
大专或本科	148.12±17.47			60.80±14.10		
硕士及以上	145.43±16.93			57.48±13.53		
家庭月收入					3.125	0.016
小于3000				53.60±11.01		
3000-6000				55.50±13.72		
6000-8000				56.04±15.21		
8000-1万				59.05±13.06		
大于1万				62.37±12.75		
您获取包皮手术相关的信息来源		2.265	0.038		2.957	0.008
电视广播	135.25±14.31			52.00±13.85		
报刊书籍	138.40±11.65			53.00±16.53		
同学朋友	144.54±15.55			58.22±12.34		
咨询医生	146.61±17.16			59.47±13.39		
手机	152.83±20.90			64.39±15.16		
电脑	125.20±13.80			37.80±13.27		
其他	145.65±17.46			58.58±14.13		

2.4 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行多因素分析

通过回顾文献结合单因素分析得出的有统计学意义的变量作为自变量，进行多元线性回归分析。结果显示，家庭月收入（赋值：小于3000=1；3000-6000=2；6000-8000=3；8000-10000=4；大于10000=5）是包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行总分的重要影响因素；家庭月收入、职业（赋值：医务人员=1；企业职员=2；公务员=3；教师=4；个体经营=5；农民=6；工人=7；其他=8）是包皮手术患儿家长参与围术期照护的知识得分的重要影响因素；人口学变量对包皮手术患儿家长参与围术期照护的态度和行为得分的影响无统计学意义。多元线性回归分析结果见表3。

表3 多元线性回归分析结果

因变量	自变量	β	SE	β'	t	P
知信行总分	常量	149.135	9.130	--	16.335	0.000
	家庭月收入	2.512	0.935	0.176	2.685	0.008
知识部分	常量	64.290	7.147	--	8.995	0.000
	家庭月收入	2.350	0.732	0.206	3.210	0.002
	职业	-1.828	0.805	-0.321	-2.270	0.024

3 讨论

3.1 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行现状分析

本研究结果显示，家长参与包皮手术患儿围术期照护的知信行总分得分率为 76.69%，处于中等水平。知识部分得分率为 65.30%，处于中等水平；在知识部分的两个维度中，包皮手术基础知识

比包皮手术护理知识的得分率高。这说明包皮手术患儿家长参与围术期照护的知识水平有待加强,家长对包皮过长包茎的概念及并发症、包皮手术的最佳年龄及适应症等基础知识有一定的了解,但是对包皮手术的方式以及包皮手术后伤口出血、感染、裂开等术后并发症的预防与护理方面的知识了解不够。本研究结果同国外的研究结果相似,家长不清楚儿童手术后的伤口愈合和恢复时间,对于孩子恢复正常活动(洗澡、上学、运动和游泳)的问题,家长的回答一般较为保守,大多数家长高估了孩子术后恢复时间^[6]。还有研究显示,大部分家长对各项治疗护理措施的效果存在不确定感,如担心诊疗过程中可能出现的各种风险,担忧患儿的预后转归等^[7]。实际上包皮手术后发生并发症的几率很小,造成死亡的可能性更小,这充分显示出家长对儿童包皮手术照护知识的不足。因此,在未来的工作中,需要医务人员着重加强家长在包皮手术照护知识方面的健康教育。

包皮手术患儿家长参与围术期照护的态度部分得分率为88.89%,处于高等水平;在态度部分的两个维度中,对围术期情绪的态度比对参与围术期照护的态度的得分率低。这说明总体上家长积极参与包皮手术患儿的围术期照护,但是家长并不清楚在手术围术期自身情绪与患儿情绪之间的联系和影响。研究指出,家长在患儿围术期的负性情绪与患儿的负性情绪之间呈正相关,如果家长产生焦虑、恐惧情绪,也会影响患儿产生负性情绪,从而对患儿产生不良影响^[8]。因此,家长需要重视自身情绪的作用及影响,营造轻松快乐的家庭氛围,主动引领患儿以积极的态度面对。有研究显示,围术期积极改善患儿心理状态可进一步提升患儿对术后治疗和护理配合积极性,从而促进患儿康复^[9-11]。

包皮手术患儿家长参与围术期照护的行为部分得分率为83.34%,处于高等水平,这说明总体上家长在参与包皮手术患儿围术期照护方面具有很强的行为意愿支持。本研究结果不同于国外的研究,国外一项基于新生儿包皮术后并发症的家庭保健寻求模式的研究显示^[12],与没有进行包皮手术但有急性疾病婴儿的家庭(88.1%)相比,有包皮术后并发症婴儿的家庭寻求医疗保健的比例(15.2%)要低得多,说明国外家长在参与包皮手术患儿围术期照护方面的行为不良。

3.2 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知行影响因素分析

本研究单因素分析结果显示,家长的文化程

度、家庭月收入、获取包皮手术相关的信息来源对其参与包皮手术患儿围术期照护的知识得分有显著影响。多因素分析结果显示,家庭月收入、职业影响家长参与包皮手术患儿围术期照护的知识水平。这与国外的研究结果一致,受过高等教育或社会经济地位较高、家庭月收入越高、职业为企业职员或政府官员及医务人员的家长对包皮手术相关知识了解的更清楚,更注重包皮手术的主要作用是改善阴茎卫生而不是提高性能力^[13]。国外有研究指出,影响家长参与包皮手术患儿围术期照护知识的因素可能与时间限制、家长的理解能力有关,由于时间限制在初次预约时家长没有得到充分的术后指导,或者临床医生认为在患儿术后进行指导是最合适的^[14]。医生可能高估家长的健康素养,导致过于复杂或过于简单的指导;家长可能没有完全理解医生提供的信息,即使医生对家长进行全面的指导,家长也不能记住和保留所有必要的细节^[15-16],导致家长参与患儿围术期照护的知识不全面。

家长角色影响家长参与包皮手术患儿围术期照护的态度水平,母亲比父亲的态度更积极,可能与女性更关注身体健康有关。研究显示,女性比男性更关注疾病和健康状况,加上我国传统文化是“男主外、女主内”,母亲是照护孩子生活起居的主要人选,所以女性在日常生活中更关注患儿的身体健康;男性比较不拘小节,容易将日常生活中不良的卫生态度带入到照护包皮手术患儿的过程中,从而使其出现不良的照护态度^[17]。

4 小结

包皮手术患儿父母参与围术期照护的态度和行为较为积极,但是知识水平还有待提升。与患儿的关系、文化程度、家庭月收入、职业、获取包皮手术相关的信息来源是包皮手术患儿家长参与围术期照护的知行现状的主要影响因素。未来的包皮手术患儿围术期照护应在医务人员的支持下充分发挥家长的作用,对促进患儿手术顺利进行及术后快速康复,保障儿童生殖健康、预防艾滋病等性传播疾病具有重要的现实意义,同时有利于包皮手术的宣传教育工作,为促进其在全国的流行奠定基础。

参考文献:

- [1] Ventura F, Caputo F, Licata M, et al. Male circumcision: ritual, science and responsibility[J]. Ann Ist Super Sanita. 2020, 56(3): 351-358.

- [2] 郭倚天, 许斌, 陈明. 中国家长对 6~14 岁儿童进行包皮环切术的态度及满意度调查[J]. 中华男科学杂志, 2017, 23(4): 319-322.
- [3] 高倩, 陈建淮, 刘燕, 等. 穴位贴敷联合虚拟现实技术缓解儿童包皮环切术后疼痛的效果观察[J]. 中华男科学杂志, 2021, 27(3), 236-239.
- [4] 王慧利. 全程护理干预对儿童包皮环切术的护理体会[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(94): 205-205+208.
- [5] 姚文英, 张莉, 谢安慰, 等. 住院患儿家长参与照护项目问卷研制及信效度分析[J]. 护理管理杂志, 2018, 18(1): 8-11.
- [6] Tandon S, Qin K R, Nataraja R M, et al. Surgical wound care: A survey of parental knowledge and expectations[J]. J Pediatr Surg, 2019, 54(12): 2606-2613.
- [7] 祝怡君, 顾英娟. 包皮环切术患儿家长决策冲突现状及其影响因素分析[J]. 全科护理, 2022, 20(6): 783-785.
- [8] Arze S, Lagos C, Ibacache M, et al. Incidence and risk factors of preoperative anxiety in spanish-speaking children living in a spanish-speaking country[J]. Pediatr Anes, 2020, 30(7): 792-798.
- [9] 李影, 孙圣文, 刘勤. 亲情快乐护理在小儿包皮环切术围术期中的应用[J]. 中国美容医学, 2023, 32(2): 178-181.
- [10] 丁金城, 林秀珍, 陈秀惠. 心理护理干预在小儿包皮环切术中的应用[J]. 中外医疗, 2022, 41(12): 171-175.
- [11] 符勤怀, 林东耳, 申龙强, 等. 学龄前儿童家长对儿童心理健康教育的认知、需求状况及获取儿童心理健康知识途径[J]. 广西医学, 2018, 40(21): 2574-2576+2592.
- [12] Gyan T, McAuley K, O' Leary M, et al. Healthcare seeking patterns of families of infants with circumcision-related morbidities from two population-based cohort studies in Ghana[J]. BMJ Open, 2017, 7(8): e018185.
- [13] Yan W L, Wang C C, Huang Y D, et al. Parental factors affecting the circumcision of non-muslim chinese boys include education and family history[J]. Acta Paediatr, 2015, 104(12): e569-e576.
- [14] Castro-Vázquez G. Paediatric male circumcision and penile hygiene: a japanese mothers' view[J]. Anthropol, 2013, 20(3): 299-310.
- [15] Turner T, Cull W L, Bayldon B, et al. Pediatricians and health literacy: descriptive results from a national survey[J]. Pediatrics, 2009, 124(3): 299-305.
- [16] Harrington K F, Haven K M, Bailey W C, et al. Provider perceptions of parent health literacy and effect on asthma treatment recommendations and instructions[J]. Pediatr Allergy Immunol Pulmonol, 2013, 26(2): 69-75.
- [17] 谭莎. 家长关于儿童自我药疗知行问卷的编制及应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2017.

Study on the Current Status and Determinants of KAP about Parent Involvement in Perioperative Care of Children Undergoing Circumcision

ZHANG Xin¹, WAN Jingjing², SHENG Jianmin¹

(1. School of Medicine & Nursing Dezhou University, Dezhou Shandong 253023; 2. Xiangya Third Hospital Central South University, Changsha Hunan, 410013, China)

Abstract: Objective: To study the current situation and influencing factors of parents' participation in perioperative care of children with prepuce surgery, so as to provide reference for medical staff to formulate more effective health education plans and intervention measures. Methods: 261 parents of children with prepuce surgery were selected by random cluster sampling from 2 third class hospitals in Changsha. The current situation of knowledge, belief and practice of parents of children with prepuce surgery participating in perioperative care was investigated by self-designed questionnaire. Results: the average score of the total questionnaire of knowledge, belief and practice of parents participating in perioperative care was (145.72 ± 17.21), the average score of knowledge was (58.77 ± 13.74), and the average score of attitude was (57.78 ± 6.18); The average score of behavior part was (29.17 ± 3.51). The results of univariate analysis showed that there were significant differences in the scores of parents' knowledge and behavior in participating in perioperative care of children with foreskin surgery (P < 0.05). The results of multivariate analysis showed that education level, family monthly income and occupation were the main influencing factors of parents' knowledge, attitude and behavior in perioperative care. Conclusion: parents of children with prepuce surgery have a positive attitude and behavior in participating in perioperative care, but the knowledge level of participating in perioperative care needs to be improved, especially the knowledge of prepuce surgery nursing. Corresponding improvement measures can be formulated with reference to the above influencing factors.

Key words: circumcision; perioperative care; knowledge-attitude-behavior

局部浸润麻醉在前臂自体动静脉内瘘狭窄腔内治疗中的临床应用

孙志俭¹, 王海庆¹, 高峰², 闫文科¹, 张文凯¹, 侯向前¹, 项丹丹³

(1. 山东大学齐鲁医院德州医院 血管外科, 山东 德州 253000; 2. 德州学院 医药与护理学院, 山东 德州 253023; 3. 山东大学齐鲁医院德州医院 呼吸与危重症医学科, 山东 德州 253000)

摘要: 目的 总结局部浸润麻醉在前臂自体动静脉内瘘狭窄腔内治疗中的经验和体会。方法 选取前臂自体动静脉内瘘狭窄进行腔内治疗的患者42例, 根据对前臂自体动静脉内瘘狭窄血管周围有无局部浸润麻醉分为对照组21例和局麻组21例, 比较局部浸润麻醉在自体动静脉内瘘狭窄腔内治疗中的作用。结果 2组患者在入路穿刺前给予局部浸润麻醉时疼痛数字评分差异无统计学意义 ($P=0.688$)。在进行球囊扩张时, 对照组患者疼痛感觉剧烈, 随球囊压力增加疼痛感觉增加, 其中6例患者因不能耐受剧烈疼痛而未达到术前设定的扩张压力, 而局麻组患者均能较好的耐受球囊扩张所引发的疼痛, 全部达到预定扩张压力。2组患者在对狭窄血管进行球囊扩张时疼痛数字评分差异明显, 具有统计学意义 ($P<0.01$)。结论 对于自体动静脉内瘘存在狭窄的患者而言, 预先在狭窄血管周围行局部浸润麻醉后再进行球囊扩张能够明显减轻手术疼痛, 有效地保证了手术效果。

关键词: 自体动静脉内瘘; 狭窄; 局部浸润麻醉; 经皮球囊扩张成形术; 疼痛

中图分类号: R543

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444 (2023) 06-0033-04

自体动静脉内瘘 (Autogenous arteriovenous fistula, AVF) 对于慢性肾功能衰竭血液透析患者而言是最重要的血管通路形式^[1-3], 而AVF的狭窄或者闭塞, 会严重影响血液透析的质量。腔内血管成形术 (percutaneous transluminal angioplasty, PTA) 是采用球囊导管对狭窄段血管壁进行扩张, 使狭窄部位管腔扩大, 从而达到治疗的目的。PTA对于AVF狭窄血管的治疗效果确切, 是目前国内外临床治疗中推荐的首选手术方式^[1-3]。但在PTA过程中, 尤其是在使用高压球囊进行PTA时疼痛剧烈, 不仅给患者造成极差的手术体验, 而且还有可能因患者不能耐受剧烈疼痛而影响手术效果。如何采用最小的创伤减轻患者在进行PTA时的疼痛, 我们做了一些临床工作并取得了一定的效果, 现将临床效果报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2022年1月1日至2022年12月31日在山东大学齐鲁医院德州医院血管外科因前臂AVF狭窄进

行PTA的患者42例。按照术中对拟扩张的前臂AVF狭窄血管周围是否进行局部浸润麻醉进行分组, 对前臂AVF狭窄血管周围扩张前不进行局部浸润麻醉的患者纳入对照组 ($n=21$), 对前臂AVF狭窄血管周围扩张前进行局部浸润麻醉的患者纳入局麻组 ($n=21$)。2组患者一般临床资料比较均无统计学意义 ($P>0.05$)。具体相关参数的比较见表1。纳入标准: 前臂AVF局部狭窄率超过附近正常血管直径的50%并伴以下情况: 内瘘自然血流量 <500 mL/min; 不能满足透析处方所需血流量; 透析静脉压升高; 穿刺困难; 透析充分性下降; 内瘘出现异常体征。排除标准: 内瘘感染、严重凝血功能障碍、造影剂过敏、合并中心静脉狭窄或闭塞、狭窄部位存在假性动脉瘤等。该研究已通过山东大学齐鲁医院德州医院伦理审查委员会批准 (伦理批件号: 2023053)。

1.2 手术方法及过程

术前由主刀医生使用超声再次确认前臂AVF狭窄部位、病变长度、病变数目及性质, 选择合适入路、鞘管、导丝及导管, 根据病变附近正常血管

收稿日期: 2023-08-21

作者简介: 孙志俭 (1987-), 男, 山东平原人, 主治医师, 硕士, 主要从事血管外科相关疾病的诊疗及进展的研究。

表1 2组患者一般资料比较

临床资料	对照组 (n=21)	局麻组 (n=21)	t/χ ² 值	P
性别 (男/女, 例)	12/9	9/12	0.857	0.355
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	61.14 ± 13.672	56.48 ± 12.879	-1.139	0.262
透析龄 ($\bar{x} \pm s$, 月)	43.81 ± 36.177	44.76 ± 25.199	0.099	0.922
内瘘龄 ($\bar{x} \pm s$, 月)	38.57 ± 37.611	43.71 ± 25.491	0.518	0.607
合并症 (例)				
糖尿病	11	9	0.382	0.537
高血压	18	16	0.154	0.694
冠心病	10	8	0.389	0.533
外周动脉疾病	6	4	0.525	0.469

直径选择不同直径的高压球囊。常规术区消毒、铺巾, 根据患者体重静脉给予2000–3500 U肝素抗凝, 麻醉药物采用1%利多卡因注射液, 麻醉针头采用1 mL 无菌注射器针头, 于拟入路穿刺部位行局部浸润麻醉 (1%利多卡因注射液2 mL), 采用疼痛数字评价量表 (numerical rating scale, NRS) 评估并记录患者局麻时疼痛评分。彩超引导下于入路穿刺部位穿刺成功后置入鞘管, 自鞘管置入0.035导丝或者0.018导丝, 导丝通过狭窄部位后沿导丝将高压球囊送至狭窄部位, 缓慢均匀加压 (每5 s增加1 atm) 使高压球囊完全打开并达到术前设定压力 (22 atm), 扩张时间为3分钟。对照组于狭窄血管周围无特殊处置, 局麻组于超声引导下对狭窄血管周围进行局部浸润麻醉 (每1 cm狭窄长度注射1%利多卡因注射液2 mL), 球囊扩张开始时间均为局部浸润麻醉后5分钟, 分别评估并记录2组患者球囊扩张时的疼痛数字评分及能够达到术前设定压力的患者人数。术中根据狭窄血管的扩张情况、球囊扩张形态及患者对疼痛的耐受情况选择适宜压力及扩张次数完成对狭窄血管的扩张。2组患者术中均行造影检查有无血管破裂、血肿、血栓形成等相关手术并发症。所有患者术前评估、手术实施均由同一主刀医生完成, 局麻医生为主刀医生, 疼痛评分由主刀医生和同一助手协助患者完成。

1.3 观察指标

术中患者的疼痛强度采用疼痛数字评价量表 (numerical rating scale, NRS) 评分, 0分为无痛, 10分为最痛, 主刀医生和同一助手协助患者用数字 (0~10) 表达出感受疼痛的强度。评估并记录2组患者在入路穿刺前行局部浸润麻醉时和在对AVF狭窄血管行PTA时的疼痛数字评分。扩张过程中高压球囊完全打开且达到术前设定扩张压力为理想扩张, 记录2组患者达到理想扩张的人数及相关并发症的人数。患者对术中疼痛管理的满意度用0~2的等级来

评估: 0: 完全不满意; 1: 部分满意; 2: 满意, 记录2组患者对术中疼痛管理的满意度。

1.4 统计学方法

采用SPSS 21.0统计学软件进行统计分析。经检验符合正态分布的计量资料, 用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两样本之间比较用独立样本t检验; 计数资料用例数 (n) 表示, 两样本之间比较用χ²检验。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

从表2可知, 2组患者在入路穿刺前行局部浸润麻醉时对照组的疼痛数字评分为1.19 ± 0.402, 局麻组的疼痛数字评分为1.14 ± 0.359, 2组患者的疼痛数字评分差异较小, 无统计学意义 (P>0.05)。在进行球囊扩张时, 对照组患者疼痛感觉剧烈, 随球囊压力增加疼痛感觉增加, 其中6例患者因不能耐受剧烈疼痛未能达到术前设定的扩张压力, 而局麻组患者均能较好的耐受球囊扩张所引发的疼痛, 全部达到预定扩张压力。两组患者在对狭窄血管进行球囊扩张时对照组的疼痛数字评分为8.05 ± 0.740, 局麻组的疼痛数字评分为4.52 ± 0.680, 2组患者的疼痛数字评分差异显著, 具有统计学意义 (P<0.01)。对照组中有15例患者能够耐受球囊扩张所产生的剧烈疼痛而达到术前设定的扩张压力, 局麻组患者全部耐受球囊扩张产生的疼痛而达到术前设定的扩张压力, 差异具有统计学意义 (P<0.05)。2组患者术中造影证实均无血管破裂、血肿、血栓形成等相关手术并发症, 术后均给予常规血液透析, 透析质量均明显改善。从表3可知, 术后对照组患者对术中疼痛管理的满意度评分: 8人不满意, 12人部分满意, 1人满意。术后局麻组患者对术中疼痛管理的满意度评分: 1人不满意, 6人部分满意, 14人满意。2组患者的总满意度相比差异明显, 具有统计学意义 (P<0.05)。

表2 2组患者的治疗情况

项目	对照组 (n=21)	局麻组 (n=21)	统计量	P
穿刺前疼痛评分	1.19 ± 0.402	1.14 ± 0.359	t=-0.405	0.688
PTA时疼痛评分	8.05 ± 0.740	4.52 ± 0.680	t=-16.072	<0.001
理想扩张 (例)	15	21	-	0.021

注: - : 采用 Fisher 确切概率法

表3 2组患者对术中疼痛管理的满意度比较[n(%)]

分组	0 (完全不满意)	1 (部分满意)	2 (满意)	总满意度
对照组 (n=21)	8(38.10%)	12(57.14%)	1(4.76%)	13(61.90%)
局麻组 (n=21)	1(4.76%)	6(28.57%)	14(66.67%)	20(95.24%)
χ^2 值				5.091
P				0.024

3 讨论

血液透析是终末期肾功能衰竭患者目前主要的治疗方法,血液透析的质量直接决定了终末期肾功能衰竭患者的生活质量,而建立和维护功能良好的血透通路是保证血液透析质量的必要条件和长久挑战^[4]。对于终末期肾功能衰竭需要进行血液透析的患者而言,长期性血管通路首选AVF^[1-3],但是伴随血液透析时间的延长,几乎所有的AVF均会出现不同程度的狭窄,甚至闭塞。对于AVF狭窄的治疗国内外血透通路相关指南和共识均指出,PTA是AVF狭窄的首选治疗方法^[1-3,5]。目前常用的高压球囊能够有效打开血管狭窄环且并发症发生率最低,是优先选择^[6]。

局部浸润麻醉是目前国内外临床中对动静脉内瘘狭窄患者进行PTA手术的常用麻醉方式^[5,7]。局部浸润麻醉是在患者清醒状态下将局麻药物注射于身体局部,可逆性地阻断感觉神经冲动与传递,从而达到镇痛效果,而对患者运动神经信号传导无明显影响^[8]。利多卡因作为一种临床上最广泛应用的局麻药物,在临床使用中起效快且不良反应极少^[9,10],在手术过程中使用安全剂量的利多卡因即可满足手术需求。虽然局部浸润麻醉是目前临床中对动静脉内瘘狭窄患者进行PTA手术的常用麻醉方式,但大多应用于入路穿刺部位,而动静脉内瘘狭窄血管部位并未给予局部浸润麻醉,所以在对狭窄血管进行PTA时产生的剧烈疼痛无法减轻或者避免。

对于AVF狭窄患者而言,PTA是首选有效的治疗方法。PTA的治疗过程及原理是经皮置入鞘管至血管内,将球囊导管输送到血管狭窄部位撕裂内膜层

以及内部弹性层和少部分中膜层以达到扩张血管的作用^[11]。在治疗过程中,疼痛主要是由于皮肤穿刺和对靶血管扩张时引起的^[12]。虽然高压球囊能够有效打开血管狭窄环且并发症发生率最低^[6],但是在对AVF狭窄血管进行PTA时所产生的剧烈疼痛会导致有些患者不能耐受较高的扩张压力,可能达不到手术预期效果,并且会给患者造成极差的手术体验。在PTA手术过程中我们通过采用彩超引导下对狭窄血管周围进行局部浸润麻醉后再扩张的方式,能够明显地减轻患者在进行PTA时所产生的剧烈疼痛,从而保证患者能够耐受有效的扩张压力,既保证了手术效果,又给患者带来较好的手术体验,尤其是对于需要多次进行PTA的患者。对拟扩张狭窄血管周围进行局部浸润麻醉操作简单且创伤小,能够有效减轻术中疼痛,未观察到大的不良事件发生,值得临床进一步验证和推广。

参考文献:

- [1] Lok C E, Huber T S, Lee T, et al. Kdoqi clinical practice guideline for vascular access: 2019 update[J]. American journal of kidney diseases, 2020, 75(4 suppl 2):s1-s164.
- [2] 金其庄,王玉柱,叶朝阳,等.中国血液透析用血管通路专家共识(第2版)[J].中国血液净化,2019,18(6):365-381.
- [3] Kukita K, Ohira S, Amano I, et al. 2011 update japanese society for dialysis therapy guidelines of vascular access construction and repair for chronic hemodialysis[J]. Therapeutic apheresis and dialysis, 2015, 19(suppl 1):1-39.
- [4] Murea M, Geary R L, Davis R P, et al. Vascular access for hemodialysis: a perpetual challenge[J]. Seminars in dialysis, 2019, 32(6):527-534.
- [5] Bountouris I, Kritikou G, Degermetzoglou N, et al. A review of percutaneous transluminal angioplasty in hemodialysis

- fistula[J]. International journal of vascular medicine, 2018: 1420136.
- [6] Chen X, Zhang C, Wang J, et al. Comparative efficacy and safety of four common balloon angioplasty techniques for an arteriovenous fistula or graft stenosis: a systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Annals of translational medicine, 2023, 11(6): 246.
- [7] Aktas A, Bozkurt A, Aktas B, et al. Percutaneous transluminal balloon angioplasty in stenosis of native hemodialysis arteriovenous fistulas: technical success and analysis of factors affecting postprocedural fistula Apatency[J]. Diagnostic and interventional radiology, 2015, 21(2): 160-166.
- [8] Barletta M, Reed R. Local Anesthetics: pharmacology and special preparations[J]. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 2019, 49(6): 1109-1125.
- [9] Gitman M, Barrington M J. Local anesthetic systemic toxicity: a review of recent case reports and registries[J]. Regional anesthesia and pain medicine, 2018, 43(2): 124-130.
- [10] Ogle O E, Mahjoubi G. Local anesthesia: agents, techniques, and complications[J]. Dental clinics of north America, 2012, 56(1): 133-148.
- [11] 江思敏, 胡波, 余宗超, 等. 经皮腔内血管成形术治疗动脉内瘘的研究进展[J]. 中国血液净化, 2019, 18(6): 415-417.
- [12] Cashman J N, Ng L. The management of peri- and postprocedural pain in interventional radiology: a narrative review[J]. Pain management, 2017, 7(6): 523-535.

Clinical Application of Local Infiltration Anesthesia in the Endovascular Treatment of Forearm Autogenous Arteriovenous Fistula Stenosis

SUN Zhijian¹, WANG Haiqing¹, GAO Feng², YAN Wenke¹, ZHANG Wenkai¹,
HOU Xiangqian¹, XIANG Dandan³

(1. Department of Vascular Surgery, Qilu Hospital of Shandong University Dezhou Hospital, Dezhou Shandong 253000; 2. School of Medicine and Nursing, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023; 3. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Qilu Hospital of Shandong University Dezhou Hospital, Dezhou Shandong 253000, China)

Abstract: To summarize the treatment experience of local infiltration anesthesia in the endovascular treatment of forearm autologous arteriovenous fistula stenosis. Methods Thirty-three patients with forearm autogenous arteriovenous fistula stenosis treated by endovascular surgery were selected. All patients were divided into control group (21 patients) and local anesthesia group (21 patients) according to whether there was local infiltration around the stenosis of forearm arteriovenous fistula. The role of local infiltration anesthesia in endovascular treatment of autologous arteriovenous fistula stenosis was summarized. Results There was no significant difference in pain numerical scores between the two groups when received local infiltration anesthesia before puncture ($P=0.688$). Patients in the control group experienced severe pain during balloon dilatation, which increased as balloon pressure increased. Six of them were unable to tolerate severe pain and didn't reach the predetermined dilatation pressure, whereas the patients in the local anesthesia group were able to tolerate the pain caused by balloon dilatation and all reached the predetermined expansion pressure. During balloon dilatation of stenotic vessels, there was a significant difference in pain numerical scores between the two groups ($P<0.01$). Conclusion For patients with autogenous arteriovenous fistula stenosis, local infiltration anesthesia around the stenosis vessels before balloon dilatation can significantly alleviate the pain of the operation and effectively ensure the surgical effect.

Key words: autologous arteriovenous fistula; stenosis; local infiltration anesthesia; percutaneous transluminal angioplasty; pain

PMO管理模式下高校应用型科研项目进度风险评价研究

桂丽娜^a, 林佳楠^a, 武斌^a, 陆露^b

(a. 集美大学诚毅学院; b. 集美大学师范学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 从高校科研管理部门的角度出发, 基于AHP-BP神经网络优化模型, 创建了一套高校应用型科研项目进度风险评价指标体系, 适用于PMO管理模式。该研究明确了高校科研项目进度风险在该模式中的含义, 13个二级指标从前期、实施、发表等各阶段进度风险的一级指标中提炼而得。同时运用AHP层次分析法对各层次指标进行赋权, 并通过BP神经网络对这些评估指标的权重进行优化, 从而确定最终的指标体系赋权。研究结果表明, 成果水平、写作水平等对科研项目进度有相对较大影响, 该研究使得评价结果更加科学合理、客观精准, 能为科研项目管理提供项目进度风险管理的决策参考。

关键词: 应用型科研; 进度风险; AHP; BP神经网络; PMO模式; 优化模型

中图分类号: G644

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0037-07

高校应用型科研项目是指高校基于社会需求和产业发展, 面向实际问题, 通过科学研究和技术创新开展的具有实际应用价值的研究项目。这些项目通常具有明确的目标和成果, 能够解决实际问题或者推动产业发展, 具有一定的经济和社会效益。高校应用型科研项目研究内容和成果可以为社会和产业提供技术支持和创新动力, 同时也可以为高校师生提供实践和学习机会, 促进高校与社会的紧密联系和互动。

应用型科研项目的意义在于将科学研究成果转化为实际应用, 解决社会和经济问题, 促进科技进步和社会发展。具体来说, 应用型科研项目可以: ①提高生产效率和产品质量, 促进经济发展。②解决环境问题和资源短缺, 促进可持续发展。③促进医疗和健康领域的发展, 提高人民生活水平。④推动科技创新和产业升级, 增强国家竞争力。⑤培养高素质人才, 促进人才培养和科学研究的结合。总之, 应用型科研项目的意义在于将科学研究成果转化为实际应用, 服务于社会 and 经济发展, 推动科技进步和人类进步。

PMO (Project Management Office, 项目管理办公室)^[1]是指为支持组织内部的项目管理而设立的专门机构或部门, 其主要职责是协调、规范、管理和监督组织内部的项目管理活动, 提高项目管理的效率

和质量。在科研项目中, 应用PMO管理模式可以提高项目的管理水平, 提高项目的成功率和效益。

以下是科研项目应用PMO管理模式的几个方面: ①项目管理规范化: PMO可以制定项目管理规范和标准, 包括项目计划、进度控制、质量控制、风险管理等方面。这些规范和标准可以帮助项目团队更好地管理项目, 提高项目的成功率。②项目管理培训: PMO可以提供项目管理培训, 包括项目管理知识、技能和工具等方面。这些培训可以帮助项目团队成员提高项目管理能力, 更好地应对项目管理挑战。③项目管理工具支持: PMO可以提供项目管理工具支持, 包括项目管理软件、项目管理模板等。这些工具可以帮助项目团队更好地管理项目, 提高项目的管理效率。④项目管理监督: PMO可以对项目进行监督和评估, 确保项目按照规范和标准进行管理。同时, PMO还可以提供项目管理咨询和支持, 帮助项目团队解决项目管理中的问题和挑战。综上所述, 科研项目应用PMO管理模式可以提高项目的管理水平, 提高项目的成功率和效益。在科研项目管理中, 应用PMO管理模式可以帮助项目团队更好地管理项目, 提高项目的管理效率和效果。^[2,3]

因此, 有必要对PMO管理模式下高校科研项目进度风险进行专门的评价研究。本文从高校科研

收稿日期: 2023-09-27

基金项目: 福建省中青年教育科研项目“基于结构相似度与深度强化学习的新型边缘检测算法”(JAT220532)。

作者简介: 桂丽娜(1983-), 女, 安徽桐城人, 讲师, 主要研究方向为科研管理。

管理部门的视角出发,针对高校应用型科研项目进度的特点,选取AHP层次分析法并结合BP神经网络模型作为研究工具。AHP层次分析法和BP神经网络优化模型是两种常用的数据分析和预测模型。AHP (Analytic Hierarchy Process) 是一种多准则决策方法,可以用来解决在多个评价因素的情况下进行决策的问题。它可以根据不同的评价因素、因素之间的关系以及权重来进行综合评价,从而得出最优的决策。在实际应用中,AHP模型可以用于项目评价、投资决策、人才选拔等领域。BP (Back Propagation) 神经网络优化模型是一种基于反向传播算法的机器学习模型,可以用于数据分类、预测和建模等领域。BP神经网络模型可以根据输入数据、权重参数和偏差参数,通过多层神经元的计算和反向传播调整,得到输出结果。在实际应用中,BP神经网络模型可以用于股票预测、图像识别、自然语言处理等领域。AHP结合BP神经网络模型的优势在于可以有效地降低决策问题的复杂度,并且提高决策的准确性。通过AHP可以将决策问题分解成多个因素,并计算每个因素的权重,从而确定最优的决策方案。而BP神经网络模型则可以根据历史数

据来训练和优化模型,使得决策更加准确和可靠。总的来说,AHP结合BP神经网络模型的优势在于它能够更加准确和快速地解决决策问题,可以帮助本研究在复杂的事务中做出正确的决策。

1 设计项目进度风险评价指标体系

高校应用型科研项目的进度风险评估模型的设计,第一步就是分析影响该项目正常进度的潜在原因,并设计相应的系统性的评估指标集。以实际问题为研究目标,并考虑PMO管理模式和应用型科研项目进度风险的特点,本研究以层次性、全面性和可操作性为指导,参考相关资料,设计了相应的评估指标和模型。为此,本研究以前期阶段、实施阶段、成果发表阶段和其他进度风险为一级指标,建立了相应的评价指标和模型,并研究了这些一级指标的内涵,据此设计了二级指标。从而建立了一个全面考虑PMO模式下应用型科研项目各阶段可能出现的进度风险评价体系,详见表1。相较于传统指标体系,本研究的体系更为全面。

表1 PMO模式下高校应用型科研项目进度风险评价体系

目标层 (Objective)	准则层 (Criterion) 一级指标	方案层 (Plan) 二级指标	指标内容描述
前期阶段 进度风险Q1	前期调研的全面性、准确性W ₁₁	项目前期调研所得信息不准确,使研究计划及方案本身出现问题,从而影响项目总体进度	项目前期调研所得信息不准确,使研究计划及方案本身出现问题,从而影响项目总体进度
		确定研究问题、目标,制定详细的研究计划和实施方案W ₁₂	研究目标确定得不合理,指标过高导致无法按进度完成;研究计划和方案不合理,导致研究进度拖延
		计划变更W ₁₃	对已经立项的研究计划进行变更,对研究目标、预算等影响带来的进度拖延
PMO管理模式 下高校应用型 科研项目 进度风险	实施阶段 进度风险Q2	成员技术能力W ₂₁	项目负责人及成员没有本项目所需的足够技术储备,需要学习新技术新知识
		成员时间安排W ₂₂	部分老师课程过多等原因导致没有足够时间参与研究项目,导致研究进度拖延
		仪器设备W ₂₃	学校已有的仪器设备不足以支撑研究项目,新购入的仪器设备不能按时到位,导致研究进度拖延
成果发表阶段 进度风险Q3	经费支出W ₂₄	经费支出不合理,某些项目超支导致某些实验经费不足无法正常按进度完成,导致研究进度拖延	经费支出不合理,某些项目超支导致某些实验经费不足无法正常按进度完成,导致研究进度拖延
		写作水平W ₃₁	成员写作能力不足导致论文撰写修改时间过长,导致无法按期投稿发表
		成果水平W ₃₂	成果的水平有限导致所写的论文不被认可
其他 进度风险Q4	投稿途径W ₃₃	所选的期刊、学报的领域等不适合,导致审稿周期过长	所选的期刊、学报的领域等不适合,导致审稿周期过长
		外界环境W ₄₁	疫情、组织机构变更等外界环境突发原因导致项目无法按预定计划进行
		政策法规W ₄₂	国家法律法规变更,项目所在地的行业政策变化以及政府干预等原因都可能导致进度延误
		利益相关者 协调配合W ₄₃	项目负责人把控力度不够,研究团队成员之间的协调沟通程度不足,信息传递滞后导致不能高效配合,从而使项目无法按计划进行

2 初步确定评价指标权重—采用AHP方法

为了数字量化判断,即得到评价指标的权重系数,本研究采用了一种多准则决策方法AHP (Analytic Hierarchy Process) [4],从而得到一级指标判断矩阵,包括各评价指标的权重系数,如表2所示。

除了AHP方法,还有以下几种常用的方法来确定评价指标权重。主成分分析法(PCA):主成分分析是一种多元统计分析方法,通过将原始指标进行线性组合,得到一组新的主成分指标,使得新指标能够尽可能多地反映原始指标的信息。权重由各主成分的贡献率确定。主成分分析适用于指标之间存在相关性较高的情况。因子分析法(FA):因子分析是一种多元统计分析方法,通过将原始指标进行线性组合,得到一组新的因子指标,使得新指标能够尽可能多地解释原始指标的变异。权重由各因子的贡献率确定。因子分析适用于指标之间存在潜在因素的情况。熵权法:熵权法是一种基于信息熵的权重确定方法,通过计算每个指标的信息熵值,进而确定权重。熵权法适用于指标之间没有明显相关性的情况。灰色关联度法:灰色关联度法是一种基于灰色系统理论的权重确定方法,通过计算各指标与评价对象之间的关联度,进而确定权重。灰色关联度法适用于指标之间存在模糊性或不确定性的情况。

这些方法的区别主要在于权重的确定方式和适用场景。AHP方法通过构建层次结构,通过专家判断和比较确定权重;主成分分析和因子分析通过线性组合得到新的指标,再根据贡献率确定权重;熵权法通过计算信息熵确定权重;灰色关联度法通过计算关联度确定权重。选择适合的方法取决于评价指标之间的关系和特点,以及数据的可获得性和可靠性等因素。综合本研究的应用场景等因素,我们认为AHP方法最适用。

表2 一级指标判断矩阵

A	Q1	Q2	Q3	Q4	权重
Q1	1	2	1/3	1	0.182
Q2	1/2	1	1/5	1/3	0.087
Q3	3	5	1	3	0.526
Q4	1	3	1/3	1	0.204

注:RI=0.90, λ_{max} = 4.034, CR = 0.0126 < 0.10, CI = 0.011

用同样的方法可得二级指标判断矩阵,如表3、表4、表5、表6。

表3 Q1-W判断矩阵

Q1	W ₁₁	W ₁₂	W ₁₃	权重
W ₁₁	1	2	1/3	0.229
W ₁₂	1/2	1	1/5	0.122
W ₁₃	3	5	1	0.648

注:RI=0.58, λ_{max} = 3.003, CR=0.0031 < 0.10, CI=0.001

表4 Q2-W判断矩阵

Q2	W ₂₁	W ₂₂	W ₂₃	W ₂₄	权重
W ₂₁	1	3	5	1	0.396
W ₂₂	1/3	1	3	1/2	0.168
W ₂₃	1/5	1/3	1	1/6	0.065
W ₂₄	1	2	6	1	0.370

注:RI=0.90, λ_{max} = 4.034, CR = 0.012 < 0.10, CI=0.011

表5 Q3-W判断矩阵

Q3	W ₃₁	W ₃₂	W ₃₃	权重
W ₃₁	1	1/2	2	0.297
W ₃₂	2	1	3	0.539
W ₃₃	1/2	1/3	1	0.163

注:RI=0.58, λ_{max} = 3.009, CR = 0.007 < 0.10, CI=0.004

表6 判断矩阵Q4-W

Q4	W ₄₁	W ₄₂	W ₄₃	权重
W ₄₁	1	2	1/3	0.238
W ₄₂	1/2	1	1/4	0.136
W ₄₃	3	4	1	0.625

注:RI=0.58, λ_{max} = 3.018, CR = 0.015 < 0.10, CI=0.009

层次总排序中的组合权重系数如表7所示。

表7 层次总排序组合权重

指标	组合权重	指标	组合权重
Q1	0.182	W ₁₁	0.041
Q2	0.087	W ₁₂	0.022
Q3	0.526	W ₁₃	0.118
Q4	0.204	W ₂₁	0.034
		W ₂₂	0.015
		W ₂₃	0.005
		W ₂₄	0.032
		W ₃₁	0.156
		W ₃₂	0.283
		W ₃₃	0.086
		W ₄₁	0.048
		W ₄₂	0.027
		W ₄₃	0.127

3 评估指标权重的优化—采用BP神经网络

在传统的AHP方法中,各个用户的偏好和分数

可能会影响指标权重, 导致评价指标权重的主观性和可信度不够。为了解决这一个问题, 本研究利用BP(Back Propagation)神经网络方法进行指标权重优化处理, 以提升其可信度。BP神经网络的特点包括: 具有自适应学习能力, 能够通过训练自动调整权值和阈值, 从而实现对输入输出模式的识别和预测; 能够处理非线性问题, 因为它的激活函数是非线性的, 能拟合更加复杂的数据模式; 并能进行多层次的学习, 通过增加隐藏层的数量和节点数, 提高网络的拟合能力和泛化能力; 具有容错性, 即使某些神经元出现故障或失效, 网络仍然可以继续工作; 能够处理多维输入和输出, 适用于各种不同的应用领域, 如图像识别、语音识别、预测分析等^[5]。图1展示了BP神经网络结构。

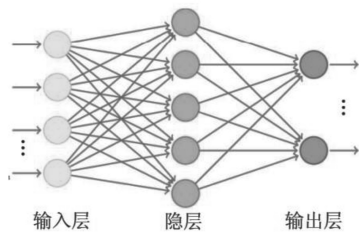


图1 BP神经网络的架构

3.1 构建神经网络模型

应用BP神经网络对高校应用型科研项目进度风险进行评价时, 有效数据调查问卷可作为网络输入, 而相应的AHP评价结果则可作为目标输出, 无需事先构建固定模型。用大量数据训练BP神经网络, 比较实际的输出值与所设定期望值之间的误差, 误差超过阈值则继续训练, 直到误差符合要求为止。这样得出PMO管理模式下高校应用型科研项目进度风险权重优化模型。最后, 对模型进行测试检验, 选取足够的样本数据作为测试集。模型按照下列步骤进行构建:

1) 网络层数确定。BP神经网络的层数是指神经元层的数量, 包括输入层、隐藏层和输出层。一般情况下, BP神经网络的层数越多, 网络的表达能力也就越强, 但同时也会增加网络的复杂度和训练难度。在实际应用中, 通常选择2-3层的BP神经网络^[6]。本研究采用的模型为3层结构。

2) 设置各层神经元数量。在PMO管理模式, 高校应用型科研项目进度风险评价的输入层神经元个数为13, 输出层神经元个数为1。然而, 隐含层神经元个数的确定目前仍缺乏明确的理论或研究, 本研究采用的经验公式^[7]:

$$n = \sqrt{i + j} + a$$

其中: a 为0到1之间的常数; i 为输入层神经元数量; j 为输出层神经元数量; n 为隐含层神经元数量。

经验可得, 隐含层神经元数量为4至14。

3) 设置神经元传递函数。BP神经网络的神经元传递函数通常使用Sigmoid函数, 也称为Logistic函数。该函数的公式为:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$$

其中, x 表示输入的加权和, e 表示自然常数。Sigmoid函数的输出值范围在0到1之间, 因此常被用于二分类问题的输出层。

3.2 优化相关权重系数

在训练过程中, BP神经网络通过不断调整权重和偏置来最小化输入数据与目标输出数据之间的误差。这样可以得到从输入层到隐含层和从隐含层到输出层的连接权系数 $\omega_{i,j}$ 、 $\omega_{j,k}$ 。接着使用相应的公式求得各评价指标权重系数, 如下:

$$S_i = \frac{F_{i,k}}{\sum_{i=1}^m F_{i,k}}$$

其中:

$$F_{i,k} = \sum_{j=1}^q F_{i,j} * F_{j,k}, F_{i,j} = \frac{\omega_{i,j}}{\sum_{i=1}^m \omega_{i,j}}, F_{j,k} = \frac{\omega_{j,k}}{\sum_{j=1}^q \omega_{j,k}}。$$

S_i 为各评价指标权重系数。 $\omega_{i,j}$ 为从输入层到隐含层的连接权系数, $\omega_{j,k}$ 为从隐含层到输出层的连接权系数。 $F_{i,k}$, $F_{i,j}$, $F_{j,k}$ 为中间系数。由于高校应用型科研项目进度风险关联因素复杂, 本研究选择以问卷调查的方式对本校的相关科研项目进行数据样本收集。其中涉及管理、项目负责人、实验员、教师等不同岗位的教职工, 并且都具备一定的应用型科研项目经验。根据李克特五级计分法, 将项目相关的118名受访者划分为五个风险等级, 分别为“1级(低风险)”“2级(较低风险)”“3级(中等风险)”“4级(较高风险)”以及“5级(高风险)”。并向这些受访者发放了有关二级指标评价的问卷, 并成功收回108份有效问卷, 有效回收率达91.5%, 符合调研需求。

利用Matlab软件, 使用三层BP神经网络结构, 随机选取了88份样本进行训练, 并对13个指标的样本数据进行了归一化处理。训练完成后, 使用20份样本进行了测试, 并比较了不同隐含层神经元个数得到的模型误差。最终, 确定了8个隐含层神经元, 并形成了BP神经网络结构。使用训练数据对网络进行训练后, 得到了训练性能曲线, 发现在进行5次迭代后, 训练即可完成。此时的精度为

8.691×10^{-21} , 达到了我们研究的精度要求 (小于 10^{-20})。BP神经网络的精度通常使用误差指标来衡量, 我们这里使用均方误差 (MSE)。图2展示了BP神经网络训练性能曲线。

在训练神经网络时, 本研究将数据集分为三个部分: 训练集、验证集和测试集。训练集用于训练模型, 验证集用于调整模型参数和防止过拟合, 测试集用于最终评估模型性能。R值反映了拟合的程度, R值越接近于1, 拟合程度就越好。在图3中, 所有的R值都等于1, 显示出数据拟合度非常好, 所以预测精确度较好。

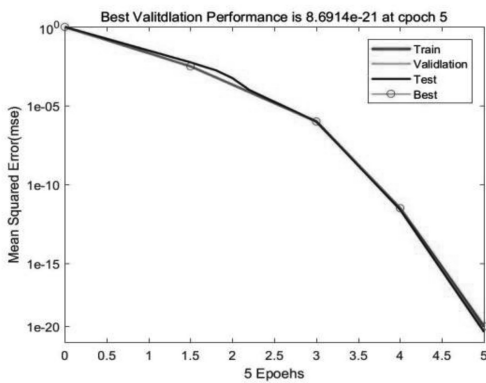


图2 BP神经网络训练性能曲线

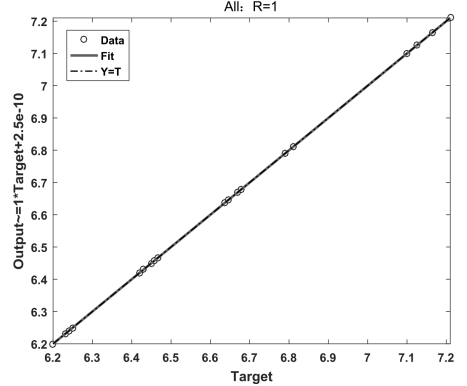
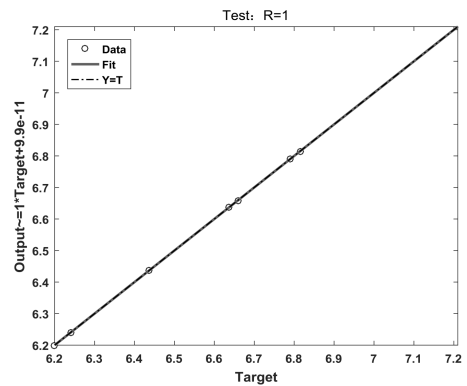
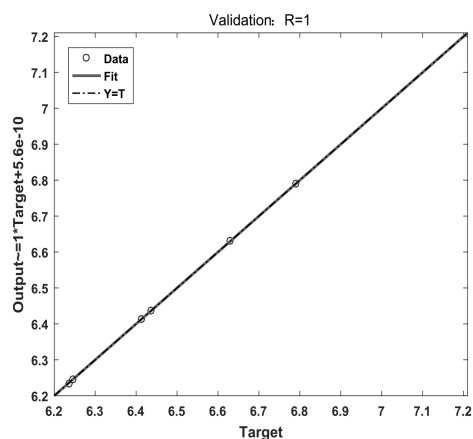
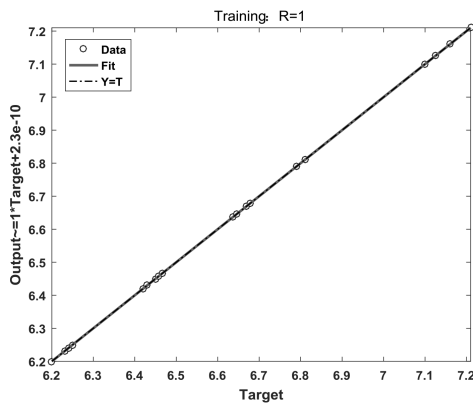


图3 BP神经网络数据拟合结果

通过反复学习训练, 可以明确与最小误差相对隐含层到输出层的连接权值矩阵 ω_{ij} 、 ω_{jk} , 分别对应权值和阈值, 由此得到从输入层到隐含层分别为:

$$\omega_{ij} = \begin{bmatrix} 0.2906 & -0.2380 & -0.0032 & \dots & 0.2352 & 0.1490 & 0.4076 \\ -0.3446 & -0.3120 & -0.5320 & \dots & 0.6896 & -3.423 & -0.4167 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -0.8320 & 0.9084 & 0.4569 & \dots & -0.4538 & -0.8536 & 0.3627 \\ -0.8223 & -0.8055 & 0.5378 & \dots & 0.1245 & 0.1050 & -0.1208 \end{bmatrix}$$

$$\omega_{jk} = [-1.5787 \quad 1.0180 \quad 0.7481 \quad -0.2140 \quad \dots \quad -1.1059 \quad -1.5399]^T$$

由连接权值矩阵 ω_{ij} 、 ω_{jk} 可得到各指标BP神经网络优化权重, 具体如表8所示。

3.3 优化结果分析

传统AHP方法需要专家进行判断和打分, 因此受到专家主观性的影响, 结果可能存在一定程度的偏差。AHP方法对于不同的专家、不同的问题和不同的评价标准可能会得出不同的结果, 缺乏可靠性。AHP方法将各因素之间的关系看作是独立的, 忽略了它们之间的相互作用, 导致结果不够准确。

然而, 通过利用BP神经网络的非线性映射能力, 可以有效降低AHP法的主观性对评价的影响, 从而增强评价指标权重的客观性和可靠性。本研究运用AHP法设定各层次指标的权重系数, 并收集实际调研数据作为数据积累, 利用BP神经网络模型对这些系数进行优化。从神经网络得出的结果可以

看出,在PMO模式下高校应用型科研项目进度风险中,成果发表阶段进度风险的权重系数最大,说明它的风险最高,占近一半的权重。这个结果出乎意料,说明在科研项目中,成功发表研究成果是非常重要的,对整体进度按期完成至关重要。

表8 科研项目进度风险评价指标体系及权重

准则层 一级指标	AHP权重	BP神经网络 优化的权重	方案层 二级指标	AHP权重	BP神经网络优化 的权重
Q1	0.182	0.180	W ₁₁	0.041	0.034
			W ₁₂	0.022	0.024
			W ₁₃	0.118	0.120
			W ₂₁	0.084	0.086
Q2	0.087	0.101	W ₂₂	0.014	0.012
			W ₂₃	0.005	0.007
			W ₂₄	0.032	0.055
			W ₃₁	0.156	0.154
Q3	0.526	0.509	W ₃₂	0.283	0.266
			W ₃₃	0.036	0.038
			W ₄₁	0.048	0.047
			W ₄₂	0.027	0.024
Q4	0.204	0.208	W ₄₃	0.127	0.136

科研项目验收是科研项目中的一个重要环节,对于科研项目的顺利开展和最终成果的取得具有重要意义。在科研项目验收中,成功发表论文是一个重要的指标,其重要性体现在以下几个方面:第一,证明研究成果的可靠性。发表论文是对研究成果的一种权威认证,能够证明研究成果的可靠性和科学性,提高研究成果的可信度和影响力。第二,促进学术交流和合作。发表论文可以将研究成果传播到更广泛的学术界和社会公众中,促进学术交流和扩大研究成果的影响力和应用范围。第三,提高研究人员的学术和职业发展水平。发表论文是评价研究人员学术水平和职业发展的重要指标之一,能够提高研究人员的学术声望和竞争力,促进其职业发展和晋升。第四,为科研项目的后续发展提供支持。发表论文能够为科研项目的后续发展提供有力的证明和支撑。因此,在科研项目验收中,成功发表论文是一个重要的指标,能够体现科研项目的成果和价值,为项目的顺利开展和最终成果的取得提供有力支持。

从二级指标结果来看,最重要的分别是成果水平(0.266)、写作水平(0.154)、利益相关者协调配合(0.136)、计划变更(0.120)、成员技术能力(0.086),可以据此对PMO模式下高校应用型科研项目的开展

提出以下建议:

1)合理制定科研项目的研究计划,避免计划变更。充分了解项目需求和目标,明确研究问题和研究方法,制定详细的研究计划。制定可行的时间表,根据实际情况合理分配时间和任务,确保研究进度。确定关键节点和里程碑,对于关键节点和里程碑的任务,应制定详细的实施方案和预案。制定风险管理计划,对可能出现的风险进行预测和规划,制定应对措施,确保项目顺利进行。定期进行项目进度和成果评估,及时发现和解决问题,避免计划变更。建立有效的沟通机制,加强与团队成员和合作伙伴的沟通和协调,确保项目进展顺利。遵守科研伦理规范,确保研究过程的科学性和合法性,避免因违反伦理规范而导致计划变更。

2)提高科研人员的写作水平,加快相关成果的发表。针对科研人员的写作特点,开设专门的写作课程,包括科技论文写作、科研报告写作、科技翻译等。鼓励科研人员参加写作培训班、研讨会、论文写作指导等活动,提高他们的写作技能和水平。建立科研人员写作指导机制,为科研人员提供个性化的写作指导和辅导,帮助他们解决写作中的难点和问题。建立科研论文写作指南,包括写作规范、写作流程、写作技巧等,为科研人员提供写作参考和指导。提供科技期刊的写作模板和格式要求,让科研人员能够更好地掌握论文写作的规范和标准。提供科技论文撰写工具和软件,如LaTeX、EndNote等,帮助科研人员更加高效地完成论文撰写工作。

3)提高科研队伍的技术能力。①培训和学习:组织团队成员参加相关的培训课程和学习机会,例如研讨会、研究生课程和在线课程等,以提高技能和知识水平。②合作和交流:鼓励团队成员之间相互合作和交流,分享技术和经验,以促进技术能力的提高。③技术评估和反馈:定期对团队成员的技术能力进行评估,并提供反馈和建议,以帮助他们改进和提高。④资源支持:提供必要的资源支持,例如技术设备、软件和数据等,以协助团队成员开展科研工作。⑤激励和奖励:为团队成员设定技术能力提高的目标,并提供适当的激励和奖励,以激励他们不断提高自己的技术能力。

4 结语

本文旨在从高校科研管理部门的角度出发,运用AHP-BP神经网络优化模型,创建了适用于PMO管理模式的一套高校应用型科研项目进度风险评价指

标体系。利用AHP层次分析法对各层次指标进行赋权,并通过BP神经网络对这些评估指标的权重进行优化,从而确定最终的指标体系赋权,从前期、实施、发表等各阶段进度风险的一级指标中提炼而得13个二级指标。研究表明:成果发表阶段进度风险是最为重要的,应将其作为核心降低。同时,最重要几个指标分别是成果水平、写作水平、成员技术能力计划变更及利益相关者协调配合。同时该成果也可为学校科研项目管理提供依据,旨在促进相关科研项目按进度计划通过结题验收,减低进度拖延的风险,提升学校的相关科研管理水平。

参考文献:

[1] 尹贻林,周培. PMO—企业多项目管理组织新形式[J]. 哈尔

滨商业大学学报(社会科学版), 2008(2): 11-13.

- [2] 仲家骅. 项目管理理论方法及应用[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [3] 赵晓凤. 基于多项目管理的战略实施研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2006.
- [4] 魏邦龙. 应用层次分析法(AHP)确定农业科研项目评估指标的权重[J]. 甘肃科学学报, 1997(3): 73-76.
- [5] 李明柱, 吕恒利, 苗佳. 基于AHP-BP神经网络的EPC项目风险评价应用[J]. 工程经济, 2022, 32(8): 49-58.
- [6] 段晓晨, 鲍默, 孟春成, 等. 基于BP神经网络的海外铁路建设项目投资风险评估研究[J]. 铁道运输与经济, 2022, 44(7): 8-13.
- [7] 郭海滨, 宋明珠, 张逸然, 等. EPC模式下装配式建筑项目进度风险评价研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2022, 38(5): 633-640.

Research on Progress Risk Evaluation of Applied Research Projects in Universities under PMO Management Mode

GUI Lina^a, LIN Jianan^a, WU Bin^a, LU Lu^b

(a. Chengyi College, Jimei University; b. Jimei University, Normal College, Xiamen, Fujian 361021, China)

Abstract: From the perspective of research management departments in universities, based on the AHP-BP neural network optimization model, a set of progress risk evaluation index system for applied research projects in universities has been created, which is suitable for the PMO management mode. This study clarifies the meaning of progress risk in university research projects in this model, with 13 secondary indicators extracted from the primary indicators of progress risk in various stages such as early stage, implementation, and publication. At the same time, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to assign weights to each level of indicators, and the weights of these evaluation indicators are optimized through a BP neural network to determine the final indicator system weighting. The research results indicate that the level of achievement and writing have a relatively significant impact on the progress of scientific research projects. This study makes the evaluation results more scientific, reasonable, objective, and accurate, and can provide decision-making references for project schedule risk management for scientific research project managers.

Key words: applied research projects; schedule risk; AHP; BP neural network; PMO mode; optimize model

基于变分贝叶斯与子空间辨识的融合定位算法

夏金凤, 刘延旭

(德州学院 计算机与信息学院, 山东 德州 253023)

摘要: 面向全球导航卫星拒止环境下无人机室内高精度高可靠定位导航需求, 室内电磁环境复杂导致的传感器噪声时变和无人机高机动性导致的无人机运动过程噪声时变, 降低了定位状态估计值的精度和稳定性的问题, 而传统变分贝叶斯滤波方法仅能估计过程或观测噪声, 为此, 提出了基于变分贝叶斯与子空间辨识的无人机融合定位算法, 在变分贝叶斯框架下基于子空间辨识理论, 实现了时变过程噪声的动态估计, 解决了现有变分贝叶斯框架无法同时估计时变观测和过程噪声的问题, 最后通过实测数据集的UWB/IMU/光流融合定位测试验证结果表明, 该方法提升了无人机室内定位的精度和鲁棒性。

关键词: 变分贝叶斯; 子空间辨识; 融合定位; 时变噪声方差估计

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444 (2023) 06-0044-06

0 引言

无人机由于具备高灵活性、尺寸小、成本低等优势, 被广泛应用于植保、安防、物流、航拍、测绘、灾害救援、采矿、应急通信等领域^[1-4]。受室内定位技术限制, 无人机大多应用具有北斗、GPS等全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 环境中, 随着室内救援等任务对无人机的需求不断增长, 亟需研究高精度、高可靠的无人机室内定位技术。

在室内GNSS拒止环境中, 无人机定位方案通常采用运动捕捉相机、视觉相机、激光雷达、超宽带 (Ultra-Wide Band, UWB)、光流、IMU等传感器。运动捕捉系统通过固定在空间中的多个运动相机, 对区域内的无人机进行被动定位, 定位精度可以达到毫米级, 但由于需要复杂的相机布局和校准, 难以应用在室内大空间。视觉相机定位方案采用同时定位与建图技术 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM), 如VINS、ORB等方法, 通过单目、双目或者深度相机对周围环境变化感知, 实现无人机相对位置计算, 但是定位精度受环境光照、纹理等影响较大, 计算复杂度高, 且缺乏绝对坐标信息。受激光雷达重量约束, 目前无人机上所

采用的激光雷达为单线雷达, 仅能实现无人机的二维定位且计算复杂度高, 难以应用在微型无人机平台上。与运动捕捉相机、视觉相机、激光雷达不同的是, UWB具有低功耗、低成本、快速部署、测距精度高、定位计算复杂度低等优势^[5], 被广泛应用于室内定位, 但受非视距多路径影响导致UWB测距误差显著增大^[6], 单UWB定位难以保证可靠定位, 不适合直接无人机定位控制^[7]。IMU、光流等惯性传感器, 具备响应速度快、不受环境约束、短时精度高等优势, 但是传感器存在随机漂移以及缺少绝对坐标信息等问题。因此不能单独使用IMU和光流、UWB传感器来为无人机提供高精度高可靠室内定位, 可以通过多个传感器间的融合, 提高无人机室内定位精度与鲁棒性。

目前已有众多学者研究了GNSS拒止环境下无人机融合定位技术。为解决UWB/IMU融合的非线性观测带来的定位精度损失, You^[8]等人考虑了UWB和IMU非线性观测方程的高阶项, 提出了一种基于无迹卡尔曼 (Unscented Kalman Filter, UKF) 的UWB/IMU的四旋翼无人机融合定位算法, 提升了定位精度和可靠性。针对数据丢包问题, Zhang^[9]等人建立了基于UWB/IMU融合的按需精确跟踪框架, 通过按需触发算法, 决定是否将数据传输到地面服

收稿日期: 2023-09-28

基金项目: 德州学院校级科研项目资助 (2022xjrc111)

作者简介: 夏金凤 (1993-), 女, 助教, 硕士, 主要从事无人机定位研究。

务器进行计算, 在存在丢包现象的煤矿环境下, 定位精度提高了10.3%, 通信速率降低了11.4%。在时变观测噪声环境中, Meng^[10]等人提出了一种基于弹性随机模型的UWB/IMU融合的因子图优化 (Factor Graph Optimization, FGO) 方法, 针对UWB非视距信号带来的噪声不确定性的影响, 将传统的卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)引入到随机建模中, 用于测量噪声预测和信号的分类, 提高了无人机室内环境下定位精度和可靠性。Liu^[11]等人提出了一种基于容积卡尔曼 (Cubature Kalman Filter, CKF) 的UWB和IMU数据融合方法, 动态计算磁力计、加速度计、UWB的测量噪声协方差矩阵, 通过自适应调整权重校正位置误差, 减少磁噪声和运动噪声带来的陀螺仪偏差, 改善方向估计, 并提高了UWB测距噪声带来的定位精度。针对运动模型难以精确估计的问题, Jwo^[12]等人提出了基于交互多模型的变分贝叶斯融合方法, 提高了定位精度与可靠性, 但是未对运动模型过程噪声方差进行动态估计。

UWB与惯性传感器融合定位方法通常采用基于贝叶斯滤波框架, 如FGO^[11]、变分贝叶斯^[12]、EKF^[13]、UKF^[14]、CKF^[15]等, 但是这些方法大多假设定位状态过程噪声、运动模型、传感器测量噪声已知或部分已知, 而在实际应用中, 环境动态变化、干扰等因素导致噪声未知且随时间变化^[16], 忽略这些因素, 将导致融合定位状态估计精度和鲁棒性大大降低, 甚至出现无法定位的问题。因此, 如何动态精确估计时变的过程和观测噪声误差, 已成为提升无人机室内环境下高精度高可靠定位的重要前提。

1 无人机融合定位模型

本研究考虑搭载气压计、IMU、光流和UWB的室内微型无人机融合定位问题, 融合定位系统状态采用位置、速度组成, 对应的非线性定位模型可表示为:

$$\begin{cases} x_t = f(x_{t-1}) + w_{t-1} \\ z_t = h(x_t) + v_t \end{cases} \quad (1)$$

其中 t 时刻无人机位置状态向量和传感器观测向量表示为 $x_t = [p_t^x, p_t^y, p_t^z, v_t^x, v_t^y, v_t^z]^T$ 和 z_t 。 w_{t-1} 和 v_t 分别为定位状态过程噪声和观测噪声, 满足高斯分布 $\mathcal{N}(w_t; 0, Q_{t-1})$ 和 $\mathcal{N}(v_t; 0, R_t)$ 。矩阵 Q_{t-1} 和 R_t 分别为定位过程和观测噪声协方差矩阵。假设 w_t 和 v_t 对于任何 t 不相关的。 $f(g)$ 由无人机的运动特性决定, 在匀速运动条件下运动方程可表示为:

$$\begin{aligned} f(x_{t-1}) &= F \cdot x_{t-1} \\ F &= \begin{bmatrix} I & T \cdot I \\ 0 & I \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 I 为单位矩阵, T 为融合位置状态更新周期。

(1) IMU观测信息

在此所采用IMU为低成本IMU, 包含三轴加速度计和三轴陀螺仪, 考虑到精度较低, 因此忽略地球自转等影响。基于IMU的位置、速度和姿态更新算法如下^[17]:

$$\begin{aligned} q_{b,k}^n &= q_{b,k-1}^n \otimes q_{b,k}^{b,k-1} \\ q_{b,k}^{b,k-1} &= \begin{bmatrix} \cos \frac{|\Delta\phi_{k-1}^k|}{2} \\ \frac{\Delta\phi_{k-1}^k}{|\Delta\phi_{k-1}^k|} \sin \frac{|\Delta\phi_{k-1}^k|}{2} \end{bmatrix} \\ \Delta\phi_{k-1}^k &= \Delta\theta_{k-1}^k + \frac{1}{2} \phi_{k-1} \times \Delta\theta_{k-1}^k \\ V_k^n &= V_{k-1}^n + \Delta v_{sf,k}^n + g^n T_s \\ \Delta v_{sf,k}^n &= C_{b,k-1}^n \left(\Delta v_{k-1}^k V_k + \frac{1}{2} \Delta\phi_{k-1}^k \times \Delta V_k \right) \\ P_k^n &= P_{k-1}^n + \frac{V_{k-1}^n + V_k^n}{2} T_s \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $q_{b,k}^n$ 表示 k 时刻由载体坐标系 (b) 到导航坐标系 (n) 转换对应的四元数, V_k^n 和 P_k^n 分别表示导航坐标系下 k 时刻的IMU积分速度和位置, ϕ_{k-1} 表示旋转向量, g^n 表示n系下的重力加速度三维向量, T_s 为IMU传感器更新周期, Δv_{k-1}^k 和 $\Delta\theta_{k-1}^k$ 分别是载体坐标系下加速度计和陀螺仪积分输出值, $C_{b,k-1}^n$ 为 $k-1$ 时刻对应的载体坐标系到导航坐标系之间的旋转矩阵, \otimes 表示四元数乘法运算, \times 表示叉积运算。通过IMU多次更新, 可以得到定位状态更新时刻 t 对应的位置 P_t^n 和速度 V_t^n 。

(2) UWB观测信息

考虑室内空间中部署有 N 个UWB基站, 基站 i 的位置表示为 $D_{i,t} = [p_i^x, p_i^y, p_i^z]^T \in \mathbb{R}^3$ 。无人机的UWB标签与基站采用到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA) 进行测距, 令UWB节点 i 和 j 之间的测距值为 $d_{i,j}$, 有:

$$d_{i,j} = \|D_{i,t} - P_t^u\|_2 - \|D_{j,t} - P_t^u\|_2 \quad (4)$$

其中 $\|\cdot\|_2$ 表示为2范数, P_t^u 为UWB传感器得到的无人机位置。基于平方变换和最小均方差原理^[18], 由式 (4) 可以得到:

$$\bar{P} = (A^T A)^{-1} A^T B$$

$$A = \begin{bmatrix} (D_{1,t} - D_{2,t})^T & -d_{2,1} \\ \vdots & \vdots \\ (D_{N-1,t} - D_{N,t})^T & -d_{N,N-1} \\ (D_{N,t} - D_{1,t})^T & -d_{1,N} \end{bmatrix}$$

$$B = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} d_{2,1}^2 + \|D_1\|_2^2 - \|D_2\|_2^2 \\ d_{3,2}^2 + \|D_2\|_2^2 - \|D_3\|_2^2 + 2d_{3,2} \sum_{i=2}^2 d_{i,i-1} \\ d_{4,3}^2 + \|D_3\|_2^2 - \|D_4\|_2^2 + 2d_{4,3} \sum_{i=2}^3 d_{i,i-1} \\ \vdots \\ d_{1,N}^2 + \|D_N\|_2^2 - \|D_1\|_2^2 + 2d_{1,N} \sum_{i=2}^N d_{i,i-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中: $\bar{P} = [P^T, \|D_i^1 - P_i\|_2]$ 。

(3) 光流观测信息

光流传感器是通过图像序列间的相关性, 得到相对运动信息。通过IMU补偿的光流测量数据可表示为:

$$\begin{bmatrix} v_{ox} \\ v_{oy} \end{bmatrix} = kh \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{ox} - \omega_{gx} \\ s_{oy} - \omega_{gy} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中h为无人机距离地面高度, 由激光测距仪传感器获得, k为像素速度到实际速度的转换系数, s_{ox} 、 s_{oy} 、 ω_{gx} 和 ω_{gy} 分别为光流传感器输出和陀螺仪输出值, α 为无人机的偏航角。

基于IMU、UWB和光流的融合定位系统观测方程可表示为:

$$\begin{bmatrix} P_t^n \\ V_t^n \\ P_t^u \\ v_{ox,t} \\ v_{oy,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & I \\ I & 0_{3 \times 3} \\ 0_{2 \times 3} & O \end{bmatrix} x_t \quad (7)$$

$$O = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

其中0表示零矩阵, 下标为矩阵的行数和列数。

2 基于变分贝叶斯与子空间辨识的融合定位算法

2.1 过程噪声方差矩阵R的可观测性分析

文献[19]给出的对应于稳定次优的闭环矩阵 $\bar{F} = F(I - WH)$, 有:

$$w_{t-1} = H \bar{F}^m \tilde{x}_{t-m|t-m-1} + v_{t-1} + \left\{ H \sum_{i=0}^{m-1} \bar{F}^{m-1-i} [w_{t-m+i} - FWv_{t-m+i}] \right\} \quad (8)$$

其中 $\tilde{x}_{t-m|t-m-1}$ 定义为 $t-m$ 时刻的融合定位状态

估计残差, 为真实值和估计值之间的差值, 观测矩阵H为 $h(x_t)$ 的雅可比矩阵, W 为Kalman滤波增益。

基于上式, 定义辅助变量为 $\xi_{t-1} = \sum_{i=0}^m a_i w_{t-i}$, 有:

$$\xi_{t-1} = \sum_{l=1}^m B_l w_{t-l} + \sum_{l=0}^m C_l v_{t-l}$$

$$B_l = H \sum_{i=1}^{l-1} a_i \bar{F}^{l-i-1} \quad (9)$$

$$C_l = a_l I - H \left(\sum_{i=1}^{l-1} a_i \bar{F}^{l-i-1} \right) FW$$

$$C_0 = I$$

其中权值系数 a_i 由矩阵 \bar{F} 的最小多项式 $\sum_{i=0}^m a_i \bar{F}^{m-i} = 0$, $a_0 = 1$ 决定。进一步可以得到 ξ_{t-1} 和 ξ_{t-j} 之间的协方差矩阵 L_j :

$$L_j = E[\xi_{t-1} \xi_{t-j}^T] = \sum_{i=j+1}^m B_i Q B_{i-j-1}^T + \sum_{i=j}^m C_i R C_{i-j-1}^T \quad (10)$$

其中R矩阵在变分贝叶斯框架下得到, 根据文献[20]中证明, 可以得到:

$$\mathcal{I} \cdot \text{vec}(Q) = \begin{bmatrix} L_0 \\ L_1 \\ \vdots \\ L_m \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中 $\text{vec}(\cdot)$ 为矩阵转列向量函数, 转换规则为矩阵的每列拼接成一个列向量。当系统辨识矩阵 \mathcal{I} 的秩 $\text{rank}(\mathcal{I})$ 大于过程噪声协方差矩阵Q的未知量时, 则Q可被估计。

2.2 估计观测噪声、过程噪声和定位状态

基于贝叶斯准则的定位状态和传感器观测噪声的联合后验概率可表示为:

$$p(x_t, R_t | z_{1:t}) = \frac{p(x_t, R_t, z_{1:t})}{p(z_{1:t})}$$

$$= \frac{p(z_{1:t} | x_t, R_t) p(x_t, R_t)}{p(z_t | z_{1:t-1}) p(z_{1:t-1})}$$

$$= \frac{p(z_t | x_t, R_t) p(x_t, R_t, z_{1:t-1})}{p(z_t | z_{1:t-1}) p(z_{1:t-1})} \quad (12)$$

$$= \frac{p(z_t | x_t, R_t) p(x_t, R_t | z_{1:t-1})}{p(z_t | z_{1:t-1})}$$

$$\propto p(z_t | x_t, R_t) p(x_t, R_t | z_{1:t-1})$$

其中 $p(x_t, R_t | z_{1:t-1})$ 可以通过查普曼-科尔莫戈罗夫等式得到:

$$p(x_t, R_t | z_{1:t-1}) = \iint p(x_t | x_{t-1}) p(R_t | R_{t-1}) p(x_{t-1}, R_{t-1} | z_{1:t-1}) dx_{t-1} dR_{t-1} \quad (13)$$

可以通过公式(12)、(13)实现定位状态和观测噪声协方差矩阵的后验概率分布更新, 但是由

于存在难以计算的问题, 通常对后验概率分布采用变分方式近似, 基于VB方法有^[12]:

$$p(x_t, R_t | z_{1:t}) \approx q(x_t)q(R_t) \quad (14)$$

在VB方法中通过反向KL散度 $KL[q(x_t)q(R_t) \| p(x_t, R_t | z_{1:t})]$ 来求解近似分布函数 $q(x_t)$ 和 $q(R_t)$, 即:

$$\begin{aligned} \arg \min_{q(x_t), q(R_t)} & \iint q(x_t) \cdot q(R_t) \\ & \times \log \left(\frac{q(x_t)q(R_t)}{p(x_t, R_t | z_{1:t})} \right) dx_t dR_t \end{aligned} \quad (15)$$

在高斯分布假设条件下, 上述优化问题闭合解为:

$$\begin{aligned} q(x_t) &= \mathcal{N}(x_t; \hat{x}_{t|t-1}, P_t) \\ q(R_t) &= \prod_{i=1}^d IG(\sigma_{0,i}^2; \alpha_{t,i}, \beta_{t,i}) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\alpha_{t,i} = 1/2 + \alpha_{t|t-1,i}$$

$$\beta_{t,i} = \beta_{t|t-1,i} + \frac{1}{2} \{E_{x_t}(z_t - h(\hat{x}_t))(z_t - h(\hat{x}_t))^T\}$$

其中 $IG(\cdot)$ 为逆Gamma分布函数; $i=1, 2, \dots, d$, d 为待估矩阵 R_t 的维数。传感器观测噪声协方差估值可表示为:

$$R_t = \text{diag} \left(\frac{\beta_{t,1}}{\alpha_{t,1}}, \frac{\beta_{t,2}}{\alpha_{t,2}}, \dots, \frac{\beta_{t,d}}{\alpha_{t,d}} \right) \quad (17)$$

由于观测噪声方差的动态模型在实际环境中不可知, 假设观测噪声是随时间缓慢变化的, 有:

$$\begin{aligned} \alpha_{t|t-1,i} &= \rho_i \alpha_{t-1,i} \\ \beta_{t|t-1,i} &= \rho_i \beta_{t-1,i} \end{aligned} \quad (18)$$

其中 $\rho_i \in [1, \infty)$, $\rho_i = 1$ 表示观测噪声几乎不随时间变化。

给定定位状态后验分布误差协方差矩阵 P 和观测噪声协方差矩阵 R , 过程噪声协方差矩阵 Q_t 可以由下式得到^[20]:

$$Q_t = P_t + WS_t W^T - FP_t F^T + \lambda_0 I \quad (19)$$

其中 λ_0 为正则化参数, 用于保证弱条件数条件下的稳定估计; 信息矩阵 S_t 由式(20)计算得到, $P_{t|t-1}$ 为融合状态先验概率分布误差协方差矩阵。

$$S_t = H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t \quad (20)$$

综上所述, 基于变分贝叶斯与子空间辨识的融合定位算法流程如下算法1所述:

算法 1: 变分贝叶斯与子空间辨识的融合定位算法

输入: x_{t-1} , P_{t-1} , z_t , Q_{t-1} , $\alpha_{t-1,i}$, $\beta_{t-1,i}$

输出: x_t , P_t , Q_t , R_t , $\alpha_{t,i}$, $\beta_{t,i}$

预测定位状态: $\hat{x}_{t|t-1} = F \cdot x_{t-1}$;

根据式(18)计算预测分布参数 $\alpha_{t|t-1,i}$, $\beta_{t|t-1,i}$, $i=1, 2, \dots, d$;

根据式(16)计算参数 $\alpha_{t,i}$ 和 $\beta_{t,i}$, $\forall i=1, 2, \dots, d$ 。

While 迭代次数小于最大迭代次数:

计算预测先验定位状态误差协方差矩阵:

$$P_{t|t-1} = FP_t F^T + Q_{t-1};$$

根据式(17)更新矩阵 R_t ;

计算滤波增益 $W_t = P_{t|t-1} H_t^T (H_t P_{t|t-1} H_t^T + R_t)^{-1}$;

更新定位状态: $x_t = \hat{x}_{t|t-1} + W_t(z_t - h(\hat{x}_{t|t-1}))$;

更新融合定位状态估计误差协方差矩阵:

$$P_t = (I - WH_t) P_{t|t-1};$$

根据式(16)更新观测分布参数 $\beta_{t,i}$, $\forall i=1, 2, \dots, d$;

根据式(20)计算新息矩阵 S_t ;

根据式(19)更新过程噪声协方差矩阵 Q_t ;

$$P_{t|t-1} = FP_t F^T + Q_t;$$

return x_t , P_t , Q_t , R_t , $\alpha_{t,i}$, $\beta_{t,i}$

当 $t=0$ 时, 上述算法的初始概率分布为:

$$p(x_0, R_0) = N(x_0, P_0) \prod_{i=1}^d IG(\sigma_{0,i}^2; \alpha_0, \beta_0) \quad (21)$$

3 实验结果与分析

3.1 数据集处理

为了验证本文方法, 在此使用了Zhao等人建立的UTIL公共数据集^[21], 该数据集包含了UWB TDOA观测值、加速度、陀螺仪、激光测距仪、光流、气压计和运动捕捉系统的原始观测信息。飞行平台基于Crazyfile四轴无人机, 并通过运动捕捉系统提供毫米级的参考基准信息。本文测试定位性能所采用的轨迹和UWB基站相对位置如图1所示, 共包含8个UWB基站, 基站的位置通过全站仪标定, 位置如表1所示, 整个过程中无人机飞行时间共计135秒^[21]。

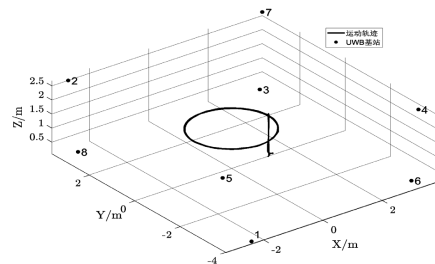


图1 无人机飞行轨迹与UWB基站相对位置

表1 UWB基站标定位置 (单位: m)

基站编号	位置坐标	基站编号	位置坐标
1	(-2.4, -4, 0.18)	5	(-3.2, -3.8, 2.6)
2	(-2.8, 3.5, 2.5)	6	(3.2, -3.6, 0.17)
3	(3.4, 3.3, 0.15)	7	(3.8, 3.6, 2.6)
4	(3.4, -3.7, 2.6)	8	(-2.7, 3.2, 0.15)

参考文献[7]和[21],同时考虑微小型无人机算力严重受限的特点,为了更好的模拟真实环境,本文对原始数据集的原始观测数据进行了降采样,降采样后频率如下表2所示,选取滤波周期为0.033秒,真实定位值由对运动捕捉系统观测结果插值计算得到的。

表2 融合定位观测量刷新率

观测量	刷新率
TDOA	30 Hz
加速度计	100 Hz
陀螺仪	100 Hz
光流	10 Hz

3.2 定位性能及结果分析

为评估算法定位性能,本文融合了UWB、加速度、陀螺仪和光流传感器数据,通过对比传统卡尔曼滤波(KF)、带观测噪声估计的基于变分贝叶斯滤波方法(VB-R)和本文方法的定位误差,来评估定位精度和鲁棒性。

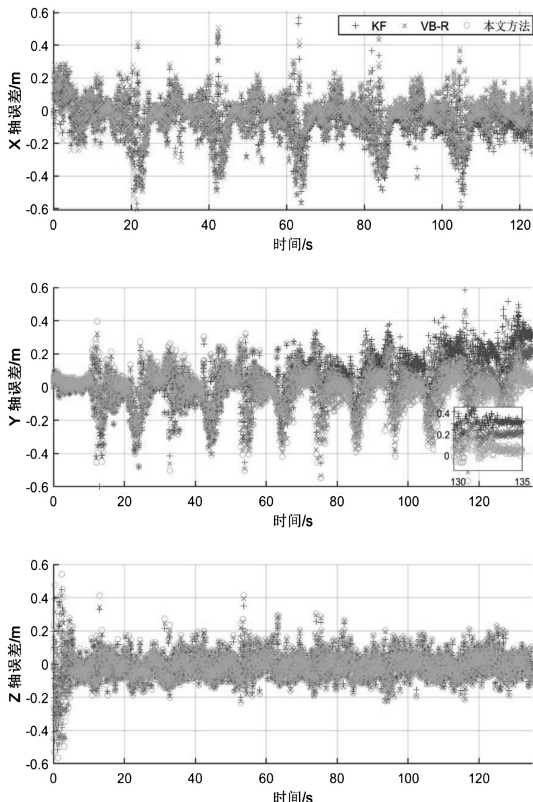


图2 不同算法的XYZ轴定位误差对比

X、Y、Z轴的定位误差如图2所示,可以看出,X和Z轴方向的误差,3种融合算法基本一致,但是在Y轴方向上,在130~135 s时间段内,KF和VB-R方法的定位结果明显有固定偏移,这是由于

无人机处于降落状态,受地面气流影响导致飞行稳定性较弱,过程和观测噪声变化程度较大,本文提出的方法可以很好地保持较低的定位误差,更好地应对过程和观测噪声变化带来的定位误差增大问题,因此具有更好的鲁棒性。

水平和垂直定位误差累积分布如图3和图4所示,可以看出三种算法垂直定位误差基本一致,但在水平定位误差方面,与其他两种算法相比,本文提出的算法定位误差相对更小,具有更好的定位精度。从图3和图4得到的 1σ 水平和垂直定位误差如下表3所示,可以看出,与传统KF算法相比,仅考虑了观测噪声矩阵时变的VB-R方法,水平定位精度提升了22.7%,而考虑了定位过程和观测噪声时变的本文方法,水平定位精度提升了31.8%。

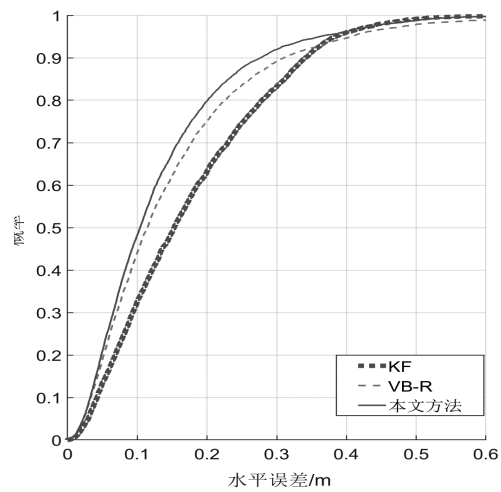


图3 不同算法水平定位误差累积分布对比

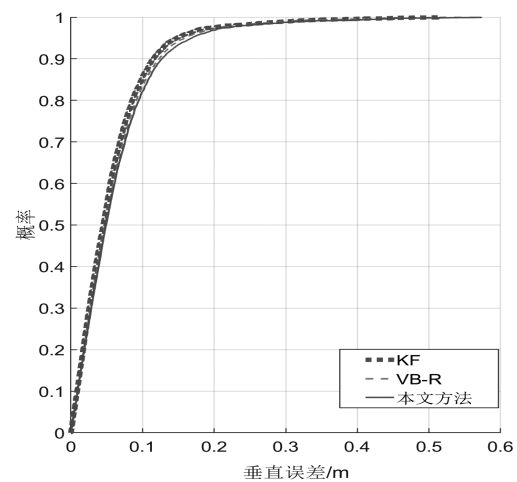


图4 不同算法垂直定位误差累积分布对比

表3 1σ 水平和垂直定位误差 (m)

方法	水平误差	垂直误差
KF	0.22	0.066
VB-R	0.17	0.070
本文方法	0.15	0.073

4 结论

无人机在室外场景下被广泛应用, 但是由于受限于室内定位技术, 室内场景下应用相对薄弱。不同于室外环境, 室内电磁环境相对复杂、非视距等干扰导致传感器观测噪声时变, 同时无人机本身具有高度的灵活性, 因此在实际环境中, 如何动态精确估计时变的过程和观测噪声误差, 成为提升无人机室内环境下高精度高可靠定位的重要前提。现有变分贝叶斯融合框架, 无法同时估计过程和观测噪声, 本文从子空间辨识角度出发, 对变分贝叶斯融合框架进行了改进, 同时实现了过程和观测噪声的同时在线估计, 通过真实室内无人机定位测试数据集测试结果表明, 相对传统变分贝叶斯融合方法, 本文提出的方法进一步提升了定位精度和可靠性, 为室内无人机定位导航提供了一定的理论与技术支撑。

参考文献:

- [1] Minh D T, Dung N B. Applications of UAVs in mine industry: A scoping review[J]. *Journal of sustainable mining*, 2023, 22(2): 128–45.
- [2] Greenwood W W, Lynch J P, Zekkos D. Applications of UAVs in civil infrastructure[J]. *Journal of infrastructure systems*, 2019, 25(2): 04019002.
- [3] Muchiri G N, Kimathi S. A review of applications and potential applications of UAV[C]//In proceedings of the sustainable research and innovation conference. 2022: 280–283.
- [4] Cheng N, Wu S, Wang X, et al. AI for UAV-Assisted IoT Applications: A comprehensive review[J]. *IEEE internet of things journal*, 2023.
- [5] Zheng S, Li Z, Liu Y, et al. An optimization-based UWB-IMU fusion framework for UGV[J]. *IEEE sensors journal*, 2022, 22(5): 4369–4377.
- [6] Jia J, Guo K, Li W, et al. Composite filtering for UWB-based localization of quadrotor UAV with skewed measurements and uncertain dynamics[J]. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 2022, 71: 1–13.
- [7] Higashi Y, Yamazaki K. Autonomous flight using UWB-based positioning system with optical flow sensors in a GPS-Denied environment[J]. *Journal of robotics and mechatronics*, 2023, 35(2): 328–337.
- [8] You W, Li F, Liao L, et al. Data fusion of UWB and IMU based on unscented Kalman filter for indoor localization of quadrotor UAV[J]. *Ieee access*, 2020, 8: 64971–64981.
- [9] Zhang K, Chen P, Ma T, et al. On-demand precise tracking for energy-constrained UAVs in underground coal mines[J]. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 2022, 71: 1–14.
- [10] Meng Q, Song Y, Li S, et al. Resilient tightly coupled INS/UWB integration method for indoor UAV navigation under challenging scenarios[J]. *Defence technology*, 2023, 22: 185–196.
- [11] Liu F, Li X, Wang J, et al. An adaptive UWB/MEMS-IMU complementary kalman filter for indoor location in NLOS environment[J]. *Remote sensing*, 2019, 11(22): 2628.
- [12] Jwo D J, Chang W Y. Variational bayesian based IMM robust GPS navigation filter[J]. *Cmc-Computers materials & Continua*, 2022, 72(1): 755–773.
- [13] Feng D, Wang C, He C, et al. Kalman-filter-based integration of IMU and UWB for high-accuracy indoor positioning and navigation[J]. *IEEE internet of things journal*, 2020, 7(4): 3133–3146.
- [14] Krishnaveni B V, Reddy K S, Reddy P R. Indoor tracking by adding IMU and UWB using unscented kalman filter[J]. *Wireless personal communications*, 2022: 1–22.
- [15] Liu F, Li X, Wang J, et al. An adaptive UWB/MEMS-IMU complementary kalman filter for indoor location in NLOS environment[J]. *Remote sensing*, 2019, 11(22): 2628.
- [16] Kim H S, Zhang L, Bienkowski A, et al. A single-pass noise covariance estimation algorithm in adaptive kalman filtering for non-stationary systems[C]//2021 IEEE 24th international conference on information fusion (FUSION). IEEE, 2021: 1–8.
- [17] Li J, Gao T, Wang X, et al. The IMU/UWB/odometer fusion positioning algorithm based on EKF[C]//Journal of physics: conference series. IOP publishing, 2022, 2369(1): 012092.
- [18] Hashim H A, Eltoukhy A E E, Vamvoudakis K G, et al. Nonlinear deterministic observer for inertial navigation using ultra-wideband and IMU sensor fusion[J]. *arXiv preprint arXiv: 2308.2023: 08023*.
- [19] Kim H S, Zhang L, Bienkowski A, et al. Multi-pass sequential mini-batch stochastic gradient descent algorithms for noise covariance estimation in adaptive kalman filtering[J]. *IEEE access*, 2021, 9: 99220–99234.
- [20] Zhang L, Sidoti D, Bienkowski A, et al. On the identification of noise covariances and adaptive kalman filtering: A new look at a 50 year-old problem[J]. *IEEE access*, 2020, 8: 59362–59388.
- [21] Zhao W, Goudar A, Qiao X, et al. UTIL: An ultra-wideband time-difference-of-arrival indoor localization dataset[J]. *arXiv preprint arXiv: 2022, 2203.14471*.

一种柔性仿生手指创新设计与运动分析

张灿果^{1,2}, 朱承科^{2,*}, 陈海², 张健伟²

(1. 河北建筑工程学院 机械工程学院, 河北 张家口 075024; 2. 新疆生产建设兵团兴新职业技术学院 机电工程学院, 新疆 铁门关 841007)

摘要: 针对现有的柔性手指运动精度低、抓取可靠性差、承载能力小等缺点, 设计一种新型柔性仿生手指。根据柔性仿生手指的结构, 构建柔性仿生手指的等效机构, 分析了该手指机构的结构特点和自由度。结合等效机构各构件之间的运动关系推导了手指参考点位置、速度、加速度方程式。利用Solidworks软件对柔性仿生手指运动学方程进行了验证。分析了柔性仿生手指的工作空间和运动特性, 为柔性仿生手指的应用和推广奠定了理论基础。

关键词: 柔性; 仿生手指; 运动学; 等效机构

中图分类号: TP241

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0050-06

0 引言

机器人操作手是机器人研究领域的一个重要研究方向。传统的机器人操作手为刚性操作手, 该类操作手具有可靠性强、控制容易等优点^[1,2]。但刚性操作手执行操作任务时具有刚性冲击, 缺少精准的力控制等缺点, 因此柔性操作手得到众多专家和学者的关注^[3-5]。柔性操作手在力的作用下产生弹性变形, 不会产生刚性冲击。皮杰等^[6]设计一种采用空心弹性材料制成的柔性气动手指用于水果采摘, 采用有限元软件模拟了手指在不同气压下的运动参数。刘凡等^[7]面向农业水果采摘提出一种由硅胶材料制作的机械手, 研究了机械手的气动控制系统, 优化了气道管道设计, 增加了气密性。卢伟等^[8]针对褐菇自动化无损采摘易损的问题, 通过遗传算法优选出四指柔性手爪, 并实验证明四指柔性手爪抓取的有效性。秦超^[9]针对刚性手功能康复训练适应性差, 存在安全隐患问题, 设计了一种气压驱动的柔性手康复操作手, 利用实验数据分析了手指参考点运动学方程式。刘晓敏等^[10]针对球型水果采摘, 采用气动多向弯曲柔性驱动器设计了多自由度 3 指水果采摘手指, 结合抓取实验验证了柔性手指水果采摘的有效性。以上各种柔性手指各有特点, 但该类柔性手

指多为气压驱动的柔性材料制成, 该类柔性手指具有运动精度低、承载能力小的缺点, 在工业生产线和医疗领域应用时具有明显的缺陷。姚兴田等^[11]针对柔性手指抓取力不足的现象, 设计了一种基于滑块摇杆机构的柔性三指机器人手爪, 该手指具有结构紧凑、抓取可靠、运动精度高等优点, 但该柔性手指结构简单、承载能力小、灵活性差, 对于复杂的操作任务难以胜任。因此设计了一种柔性仿生手指, 利用板弹簧模拟人手三个弯曲关节, 采用螺纹传动的方式提高了手指的运动精度, 该柔性仿生手指具有承载能力强、运动精度高、灵活性强、抓取可靠等特点。同时结合柔性仿生手指的结构特点, 建立了仿生手指的等效机构, 计算了手指的自由度, 利用各构件之间的运动关系推导了手指指尖的位置、速度、加速度和驱动参数之间的关系式, 在Solidworks软件环境下建立了拟人手指的虚拟样机, 对机构的运动学模型进行了验证。

1 柔性仿生手指及其等效机构

1.1 柔性仿生手指

柔性仿生手指机构如图1(a)所示, 该手指主要包含基座B、螺母、大套筒、小套筒、力传感器、弹

收稿日期: 2023-09-12

基金项目: 河北省高等学校基本科研业务费项目(2022CXTD05); 河北省教育厅青年基金(QN2021051); 兵团兴新学院重点课题(YJZDKT202311)

作者简介: 张灿果(1977-), 男, 山东聊城人, 博士, 副教授, 主要从事并联机器人理论及应用的研究。

(*: 通信作者)

簧、软手指、2个连杆、3个板弹簧。螺母以螺纹副与螺杆联接,螺杆安装在基座B上,电动机带动螺杆转动,从而带动螺母在导轨上产生直线运动;板弹簧1的两端分别和螺母和大套筒固定连接;板弹簧2的两端分别和大套筒和基座固定连接;板弹簧3的两端分别和软手指和大套筒固定连接;连杆1上端与软手指通过转动副联接,下端通过移动副与小套筒联接;小套筒和大套筒通过移动副可产生相对直线运动;力传感器通过螺纹联接和连杆2固定联接;弹簧安装在小套筒内部,弹簧的两端在连杆1和力传感器的作用下被预压缩;连杆2通过转动副和基座B联接。当电动机带动螺母在其导轨内直线运动时,带动手指产生抓取运动。在手指表面粘涂一层橡胶,可增大手指和目标物体之间的摩擦力。机构中板弹簧1、板弹簧2、板弹簧3所产生的弯曲相当于手指的三个关节,如图1(b)所示

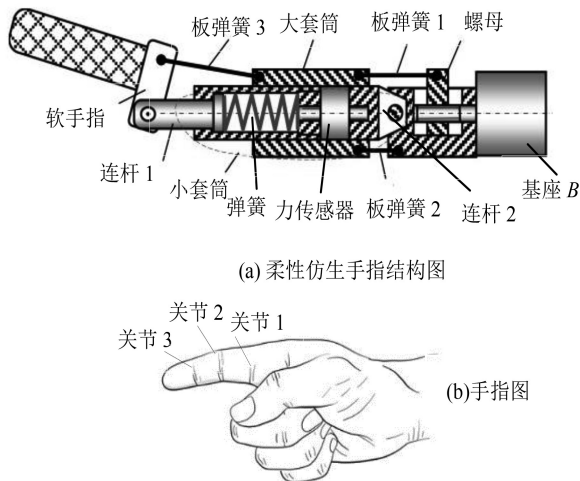


图1 柔性仿生手指结构图

1.2 柔性仿生手指等效机构

由于仿生手指中含有柔性部件(板弹簧),因此很难建立机构的运动学模型。板弹簧在力的作用下产生弯曲变形,其长度不发生改变,可将其等效成刚性连杆,刚性连杆的两端分别和与其固联的构件通过转动副联接。柔性仿生手指等效机构如图2所示。

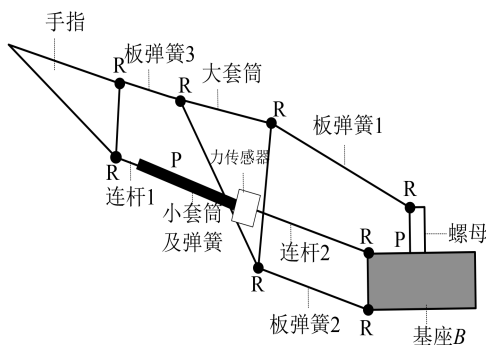


图2 柔性仿生手指等效机构简图

柔性仿生手指等效机构手指包含1个四元构件(大套筒)、2个三元构件(基座和小套筒,弹簧、力传感器、连杆2、小套筒固定串联,可认为一个构件)、6个二元杆件(板弹簧1、板弹簧2、板弹簧3、螺母、连杆1、手指)共9个构件。机构中包括8个转动副,2个移动副,1个螺旋副,共11个运动副。根据平面机构自由度计算公式得:

$$M = 3(n - g - 1) + \sum_{i=1}^g f_i = 3 \times (9 - 11 - 1) + 11 = 2 \quad (1)$$

式(1)中, n 表示构件的数目, $n=9$; g 表示运动副的数目, $g=11$; $\sum f_i$ 表示所有运动副具有的自由度, $\sum f_i = 11$ 。

当手指接触力比较小时,由于连杆1和力传感器之间的弹簧有较大的预紧压力,弹簧的长度不会变化,可将连杆1、弹簧、力传感器、连杆2看作一个构件,简化后的机构自由度为:

$$M = 3(n - g - 1) + \sum_{i=1}^g f_i = 3 \times (8 - 10 - 1) + 10 = 1 \quad (2)$$

该柔性仿生手指具有以下优点:(1)手指采用螺纹传动控制手指的运动,各构件之间采用移动副、转动副联接,与气压驱动的柔性手指相比该手指具有运动精度高、承载能力强的特点。(2)由于连杆1和连杆2之间安装有弹簧和力传感器,有效避免了手指和目标物体之间的刚性冲击,实现接触力的精准控制。(3)利用三个板弹簧模拟手指的三个关节,可以使该仿生手指方便灵活地操作目标物体。

2 柔性仿生手指运动学分析

2.1 位置分析

柔性仿生手指运动学模型如图3所示。以O为原点,OK反方向为X轴建立固定坐标系{B}, $Y \perp X$,固定坐标系{B}固定在基座上。以O为原点,OH为y轴建立动坐标系{m},满足 $x \perp y$,动坐标系{m}随连杆1(L_6)运动;坐标系{m}z轴与坐标系{B}z轴方向相同。设端点O和端点H之间的距离为 L_6 ,端点H端点F之间的距离为 l_7 ,端点F和端点E之间的距离为 l_8 ,端点H和端点P之间的距离为 l_9 ,端点E和端点G之间的距离为 l ,端点E和端点C之间的距离为大套筒的长度 $2e$,HG和l之间的夹角为 α , l_i ($i=7, 8, 9$)和x轴之间的夹角为 θ_i 。 L_6, l_7, l_8, l 形成一个闭环,令 $s\phi = \sin\phi, c\phi = \cos\phi, t\phi = \tan\phi$ ($\phi = \theta_i, \alpha$),在闭环内各参数之间的关系可表示为:

$$l_8 c \theta_8 = d - l_7 c \theta_7, \quad l_8 s \theta_8 = l_7 s \theta_7 + L_6 - h, \quad h = l_6 + 2e \quad (3)$$

$$l^2 = (L_6 - h)^2 + d^2, \quad d = l s \alpha, \quad L_6 - h = l c \alpha$$

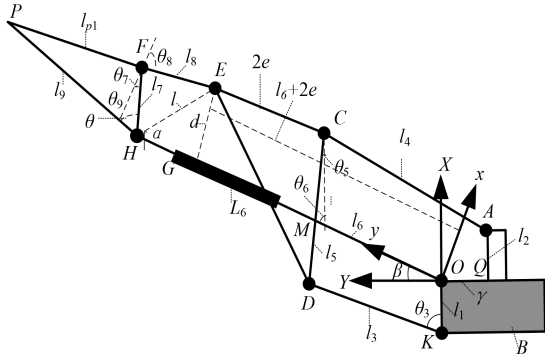


图3 柔性仿生手指运动学模型

根据式(3)中 $l_8 c \theta_8 = d - l_7 c \theta_7$, $l_8 s \theta_8 = l_7 s \theta_7 + L_6 - h$ 可以推导出:

$$l^2 = -2l_7 d c \theta_7 + 2l_7 s \theta_7 (L_6 - h) + l_7^2 + d^2 + (L_6 - h)^2 \quad (4)$$

根据式(3)中 $d = l s \alpha$, $L_6 - h = l c \alpha$ 和式(4)中 $q = s \theta_7 (L_6 - h) d - c \theta_7$ 可以推导出:

$$c \alpha s \theta_7 - s \alpha c \theta_7 = q / l \rightarrow s(\theta_7 - \alpha) = q / l \quad (5)$$

设端点O和端点K之间的距离为 l_1 , 端点K和端点D之间的距离为 l_3 , 端点C和端点D之间的距离为 l_5 , 端点O和端点M之间的距离为 l_6 , l_i ($i=3, 4, 5, 6$) 和X轴之间的夹角为 θ_i 。图3中, l_1, l_3, l_5, l_6 形成一个闭环, 在该闭环内各参数之间的关系为:

$$l_3 s \theta_3 = (l_5 - d) s \theta_5 + l_6 s \theta_6, \quad l_3 c \theta_3 + (l_5 - d) c \theta_5 = l_1 + l_6 c \theta_6$$

$$\theta_5 + \theta_6 = 90^\circ, \quad l_5 = 2l_1 = 2d \rightarrow \quad (6)$$

$$l_3 s \theta_3 = d c \theta_6 + l_6 s \theta_6, \quad l_3 c \theta_3 + d s \theta_6 = d + l_6 c \theta_6$$

根据式(6)中 $l_3 s \theta_3 = d c \theta_6 + l_6 s \theta_6$, $l_3 c \theta_3 + d s \theta_6 = d + l_6 c \theta_6$, 推导可得:

$$l_3^2 = 2d^2 + l_6^2 + 2d l_6 c \theta_6 - 2d^2 s \theta_6 \quad (7)$$

设端点O和端点Q之间的距离为 γ , 端点A和端点C之间的距离为 l_4 , 端点A和端点Q之间的距离为 l_2 (螺母的半径), 则 $l_2, l_4, l_5, l_6, \gamma$ 形成一个闭环, 闭环内各参数之间的关系为:

$$\gamma + l_6 s \theta_6 = l_4 s \theta_4 + d s \theta_5, \quad l_2 + l_4 c \theta_4 = d c \theta_5 + l_6 c \theta_6 \quad (8)$$

$$l_5 = 2l_1 = 2l_2, \quad \theta_6 + \theta_5 = 90^\circ \rightarrow$$

$$\gamma + l_6 s \theta_6 = l_4 s \theta_4 + d c \theta_6, \quad d + l_4 c \theta_4 = d s \theta_6 + l_6 c \theta_6$$

根据式(8)进一步推导可得:

$$l_4^2 = \gamma^2 + l_6^2 + 2d^2 + 2\gamma l_6 s \theta_6 - 2\gamma d c \theta_6 - 2l_6 d c \theta_6 - 2d^2 s \theta_6 \quad (9)$$

联合式(6)和式(9), 可以推导出参数 γ 、 l_6 、 θ_6 之间的关系式:

$$l_3^2 - l_4^2 = 4l_6 d c \theta_6 - \gamma^2 - 2\gamma l_6 s \theta_6 + 2\gamma d c \theta_6 \rightarrow$$

$$l_6 = (l_3^2 - l_4^2 - 2\gamma d c \theta_6 + \gamma^2) / (4d c \theta_6 - 2\gamma s \theta_6) \quad (10)$$

将式(10)代入到式(7)中, 推导可得参数 γ 和 θ_6 之间的关系式:

$$(8d^4 + \gamma^2 d^2 - 2d^2 l_3^2 - 2d^2 l_4^2 + l_3^2 \gamma^2) c^2 \theta_6 + \gamma d (l_4^2 - l_3^2 - \gamma^2 + 8d^2) c \theta_6 \dots$$

$$- 12\gamma d^3 c^3 \theta_6 + 4d^2 (\gamma^2 - 2d^2) s \theta_6 c^2 \theta_6 + \gamma d (l_4^2 + 3l_3^2 - 8d^2 - \gamma^2) s \theta_6 c \theta_6 \dots \quad (11)$$

$$- 2d^2 \gamma^2 s \theta_6 + \gamma^2 (2d^2 - l_3^2) + (l_3^2 - l_4^2 + \gamma^2) / 4 = 0$$

当参数 l_2, l_3, l_4, γ 已知, 利用式(11)可求解参数 θ_6 , 然后可根据式(10)求解参数 l_6 , 可根据式(3)求解出参数 α 。利用式(3)和式(5)可推导出 θ_7 和 θ_9 的表达式:

$$\theta_7 = \arcsin(q/l) + \alpha, \quad \theta_9 = \theta + \theta_7 \quad (12)$$

设坐标系 $\{m\}$ 和坐标系 $\{B\}$ 之间的夹角为 β , 坐标系 $\{m\}$ 和坐标系 $\{B\}$ 之间位姿变换矩阵为 ${}^m B R$ 。设端点H、P之间的距离为 l_9 。设H、P分别为端点H、P在坐标系 $\{B\}$ 中的向量, ${}^m P$ 为端点P在坐标系 $\{m\}$ 中的向量。则:

$${}^m P = l_9 \begin{bmatrix} c \theta_9 \\ s \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad {}^B R = \begin{bmatrix} c \beta & s \beta & 0 \\ -s \beta & c \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s \theta_6 & c \theta_6 & 0 \\ -c \theta_6 & s \theta_6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ 0 \end{bmatrix} = H + {}^B R {}^m P = L_6 \begin{bmatrix} c \theta_6 \\ s \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} + l_9 \begin{bmatrix} s \theta_6 & c \theta_6 & 0 \\ -c \theta_6 & s \theta_6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \theta_9 \\ s \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \dots$$

$$= \begin{bmatrix} l_9 s \theta_6 c \theta_9 + c \theta_6 (L_6 + l_9 s \theta_9) \\ -l_9 c \theta_6 c \theta_9 + s \theta_6 (L_6 + l_9 s \theta_9) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad H = L_6 \begin{bmatrix} c \theta_6 \\ s \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

2.2 速度分析

柔性手指速度分析是机构静力学和动力学分析的基础, 对式(3)中 $l^2 = (L_6 - h)^2 + d^2$, $d = l s \alpha$, $L_6 - h = l c \alpha$ 两端同时微分可得:

$$0 = l' s \alpha + l c \alpha \alpha', \quad l' = -(L_6 - h) h' / l \quad (14)$$

$$\alpha' = -l' s \alpha / (L_6 - h) = h' s \alpha / l = dh' / l^2$$

对式(4)中 $q = [l_8^2 - l_7^2 - d^2 - (L_6 - h)^2] / 2l_7$ 和式(5) $s(\theta_7 - \alpha) = q / l$ 两端分别微分可得:

$$q' = -[(L_6 - h)^2 / 2l_7]' = 2(L_6 - h) h' / 2l_7 = (L_6 - h) h' / l_7$$

$$(\theta_7' - \alpha') c(\theta_7 - \alpha) = (q/l)' \quad (15)$$

根据式(14)和式(15)可得:

$$\left(\frac{q'}{l}\right)' = \frac{q'}{l} - \frac{q l'}{l^2} = \left(\frac{1}{l_7} + \frac{q}{l^2}\right) \frac{(L_6 - h) h'}{l} \quad (16)$$

对式(3)中的 $h = l_6 + 2e$ 两端同时微分, 结合式(15)推导可得:

$$h' = l_6', \quad \theta_7' = u l_6', \quad u = \left\{ 1 + [l_8^2 - l_7^2 - d^2 - (L_6 - h)] / 2l_7^2 \right\} \dots$$

$$(L_6 - h) / [l_7 l c(\theta_7 - \alpha)] + d / l^2 \quad (17)$$

对式(7)中两端同时微分, 推导可得:

$$l'_6 = u_1 \theta'_6, u_1 = (l_6 s \theta_6 + d c \theta_6) / (c \theta_6 + l_6 / d) \quad (18)$$

对式(10)中两端同时微分, 推导可得:

$$0 = \gamma'(\gamma + l_6 s \theta_6 - d c \theta_6) + (\gamma l_6 c \theta_6 + \gamma d s \theta_6 + l_6 d s \theta_6 \dots - d^2 c \theta_6) \theta'_6 + l'_6(l_6 + \gamma s \theta_6 - d c \theta_6) \quad (19)$$

将式(18)代入到式(19)中, 则:

$$l'_6 = u_2 y', u_2 = (\gamma + l_6 s \theta_6 - d c \theta_6)(l_6 s \theta_6 + d c \theta_6) / \dots \{ (d c \theta_6 - l_6 - \gamma s \theta_6)(l_6 s \theta_6 + d c \theta_6) - [d(l_6 + \gamma) s \theta_6] \} \dots + (\gamma l_6 - d^2) c \theta_6 (c \theta_6 + l_6 / d) \quad (20)$$

设 V_H 、 V_P 分别为端点 H 、 P 在坐标系 $\{B\}$ 中的速度向量, ${}^m V_P$ 为端点 P 在坐标系 $\{m\}$ 中的速度向量, 式(13)微分可得:

$$\begin{aligned} v_p &= v_H + {}^B_m R^m v_p + \omega \times_m^B R^m P \\ v_p &= \begin{bmatrix} v_{px} \\ v_{py} \\ 0 \end{bmatrix}, v_H = L_6 \theta'_6 \begin{bmatrix} -s \theta_6 \\ c \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix}, {}^m v_p = \theta'_9 l_9 \begin{bmatrix} -s \theta_9 \\ c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \omega \times_m^B R^m P &= \theta'_6 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times l_9 \begin{bmatrix} s \theta_6 c \theta_9 + c \theta_6 s \theta_9 \\ -c \theta_6 c \theta_9 + s \theta_6 s \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \dots \\ &= \theta'_6 l_9 \begin{bmatrix} -s \theta_6 c \theta_9 + c \theta_6 c \theta_9 \\ c \theta_6 s \theta_9 + s \theta_6 c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21) \end{aligned}$$

将式(18)、(19)、(20)代入到式(21)中, 并将其写成标准形式:

$$v_p = J y', J = L_6 \frac{u_2}{u_1} \begin{bmatrix} -s \theta_6 \\ c \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} + (u u_2 + \frac{u_2}{u_1}) l_9 \begin{bmatrix} -s \theta_6 s \theta_9 + c \theta_6 c \theta_9 \\ -c \theta_6 s \theta_9 + s \theta_6 c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

式(22)中 J 即为柔性仿生手指的雅可比矩阵。

2.3 加速度分析

为了进行机构动力学分析, 必须求解关键构件的加速度。设柔性仿生手指端点 P 加速度矢量为 a_p , 式(22)对时间微分可得:

$$a_p = (J y')' = J y'' + J' y' \quad (23)$$

利用式(22)雅可比矩阵 J 对时间微分可得:

$$\begin{aligned} J' &= L_6 \left(\frac{u'_2 u_1 - u_2 u'_1}{u_1^2} \right) \begin{bmatrix} -s \theta_6 \\ c \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} - L_6 \left(\frac{u_2}{u_1} \right)^2 \begin{bmatrix} c \theta_6 \\ s \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} y' \dots \\ &+ l_9 (u' u_2 + u u_2' + \frac{u'_2 u_1 - u_2 u'_1}{u_1^2}) \begin{bmatrix} -s \theta_6 s \theta_9 + c \theta_6 c \theta_9 \\ c \theta_6 s \theta_9 + s \theta_6 c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \dots \quad (24) \\ &+ l_9 (u u_2 + \frac{u_2}{u_1})^2 \begin{bmatrix} -c \theta_6 s \theta_9 - s \theta_6 c \theta_9 \\ -s \theta_6 s \theta_9 + c \theta_6 c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} y' \end{aligned}$$

将式(24)代入到式(23), 推导可得手指端点 p 加速度矢量表达式:

$$\begin{aligned} a_p &= J y'' + J' y' = J y'' + y' H y' \\ a_p &= \begin{bmatrix} a_{px} \\ a_{py} \\ 0 \end{bmatrix}, H = L_6 \left(\frac{u'_2 u_1 - u_2 u'_1}{u_1^2} \right) \begin{bmatrix} -s \theta_6 \\ c \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} - L_6 \left(\frac{u_2}{u_1} \right)^2 \begin{bmatrix} c \theta_6 \\ s \theta_6 \\ 0 \end{bmatrix} y' \dots \\ &+ l_9 (u' u_2 + u u_2' + \frac{u'_2 u_1 - u_2 u'_1}{u_1^2}) \begin{bmatrix} -s \theta_6 s \theta_9 + c \theta_6 c \theta_9 \\ c \theta_6 s \theta_9 + s \theta_6 c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \dots \quad (25) \\ &+ l_9 (u u_2 + \frac{u_2}{u_1})^2 \begin{bmatrix} -c \theta_6 s \theta_9 - s \theta_6 c \theta_9 \\ -s \theta_6 s \theta_9 + c \theta_6 c \theta_9 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

式(25)中, $H(3 \times 1)$ 为柔性仿生手指的Hessian矩阵。

3 算例

柔性仿生手指中各参数设置如下: $L_6=170$ mm, $l_1=30$ mm, $l_2=30$ mm, $l_3=50$ mm, $l_4=50$ mm, $l_5=78$ mm, $l_7=60$ mm, $l_8=40$ mm, $l_9=145$ mm, $d=39$ mm, $e=42.5$ mm, 螺母初始位置参数 $\gamma=0$ mm, Solidworks软件环境下建立柔性仿生手指虚拟样机模型, 给定螺母的直线驱动速度为 $v=t^2-15$ (mm/s), 跟踪柔性手指参考点 P 的坐标作为柔性仿生手指工作空间, 如图4(a)所示。从图中可以看出, 随着螺母的运动输入, 手指参考点 P 运动轨迹平滑, 具有较大的工作空间。测量虚拟样机环境下参考点位置作为仿真解。根据本文建立的仿生柔性手指位置解析模型, 利用matlab软件求解柔性手指参考点位置作为理论解, 如图4(b)所示。取5个时间点将手指参考点位置仿真解与理论解对比, 如表1所示。

从表1中可以看出, 柔性仿生手指运动过程中参考点坐标仿真解与理论解高度一致, 误差数量级为 10^{-8} , 因此本文建立的柔性手指位置解析方程是正确的。

表1 柔性仿生手指参考点坐标仿真解与理论解对比

项目	理论解 (mm)	模拟解 (mm)	螺母位置 (γ /mm)	
t=1s	X	203.62520618	203.62520616	-49.9762552
	Y	201.53181399	201.53181397	
t=2s	X	234.84639094	234.84639092	-62.6429219
	Y	149.96732296	149.96732294	
t=3s	X	249.12564271	249.12564269	-71.3095886
	Y	108.97955332	108.97955330	
t=4s	X	252.11988295	252.11988294	-73.9762552
	Y	94.961510197	94.961510196	
t=5s	X	245.41905219	245.41905218	-68.6429219
	Y	122.24613134	122.24613133	

根据本文建立的手指运动学解析方程, 利用matlab软件求解手指参考点速度、加速度作为运动学理论解, 如图4(c), (d)所示。虚拟样机环境下, 测量手指参考点P线速度、线加速度作为该机构的运动学仿真解, 如图5所示。

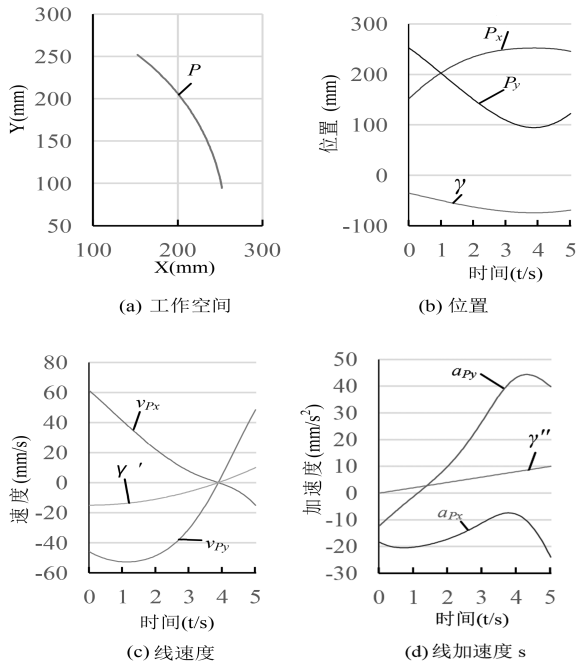


图4 柔性仿生手指运动学理论解

图4和图5对比可以看出, 随这驱动螺母的运动, 手指参考点速度、加速度平稳变化, 该手指具有良好的运动性能。将手指参考点速度、加速度理论解和仿真解对比, 该柔性仿生手指参考点线速度、线加速度理论解和仿真解高度一致, 因此本文建立的柔性仿生手指运动学模型是正确的。

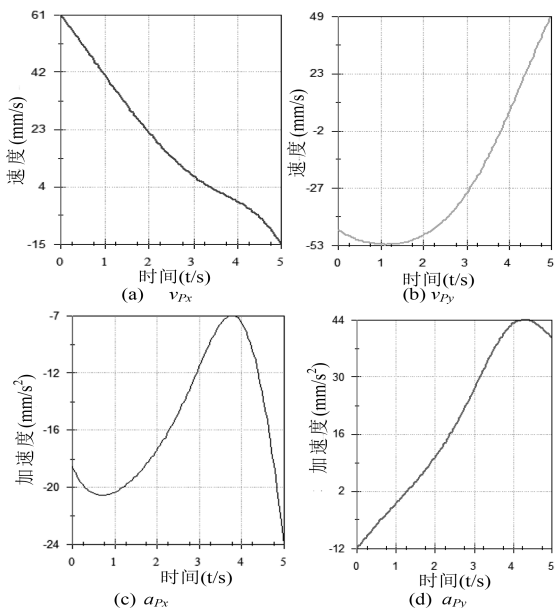


图5 柔性仿生手指运动学仿真解

4 结论

(1) 设计了一种柔性仿生手指, 具有运动精度高、承载能力强、工作空间大等特点。柔性手指接触力作用下的弹性变形可以避免手指产生弹性冲击, 当接触力较小时, 手指弹性变形由板弹簧产生, 预压紧力较大的压缩弹簧对弹性变形不产生影响; 当接触力较大时, 手指的弹性变形主要由预压紧力较大的压缩弹簧产生。(2) 根据仿生柔性手指的特点, 构造了仿生手指的等效机构, 利用等效机构各构件之间的运动关系推导了手指参考点位置、速度、加速度运动学方程式。(3) Solidworks软件环境下建立了仿生柔性手指的虚拟样机模型, 验证了该手指运动学方程的正确性。仿真结果表明: 该柔性仿生手指具备良好的运动性能。

参考文献:

- [1] 王强, 章军, 徐丁峰, 等. 一种软轴传动柔性手指欠驱动机械手设计及其动态抓取过程分析[J]. 制造业自动化, 2020, 42(12): 18-22+52.
- [2] 王汝贵, 黄海波, 李可歌. 一种灵巧操作手设计与分析[J]. 机械设计与研究, 2021, 37(4): 49-52.
- [3] Ham K B, Han J, Park Y J. Soft gripper using variable stiffness mechanism and its application[J]. International journal of precision engineering and manufacturing, 2018, 19(4): 487-494.
- [4] 张立彬, 鲍官军, 杨庆华, 等. 气动柔性驱动器及其在灵巧手中的应用研究综述[J]. 中国机械工程, 2008, 19(23): 2891-2897.
- [5] 马翔宇, 杨武成, 李阿为. 仿生机械灵巧手的手指设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2017, 31(11): 117-121.
- [6] 皮杰, 柳军, 徐磊, 等. 三指柔性气动夹爪结构设计与实验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(S1): 93-101.
- [7] 刘凡, 杨光友, 杨康. 农业采摘机器人柔性机械手研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 173-178.
- [8] 卢伟, 王鹏, 王玲, 等. 褐菇无损采摘柔性手爪设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 28-36.
- [9] 秦超. 基于气驱动的柔性手部功能康复机器人研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021: 12-16.
- [10] 刘晓敏, 田德宝, 耿德旭, 等. 气动球果采摘柔性手爪设计与实验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(2): 30-43.
- [11] 姚兴田, 王旭光, 张磊, 等. 基于滑块摇杆机构的柔性三指机器人手爪研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(8): 396-405.

Innovative Design and Kinematic Analysis of The Flexible Bionic Finger

ZHANG Canguo^{1,2}, ZHU Chengke^{2,*}, CHEN Hai², ZHANG Jianwei²

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei University of architecture, Hebei Zhangjiakou 075024;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Bingtuan Xingxin Vocational and Technical College, Xinjiang Tiemenguan 841007, China)

Abstract: The existing flexible bionic finger has the disadvantages of low motion accuracy, poor grasping reliability and poor bearing capacity, so a new bionic flexible finger is designed. According to the structural characteristics of the bionic flexible finger, the equivalent mechanism of the finger is constructed. The structural characteristics and degrees of freedom of the finger mechanism are analyzed. Based on the kinematic relationship between the components of the equivalent mechanism, the kinematic equations of the position, velocity and acceleration of the reference point on the finger are derived. The kinematics equation of flexible finger is verified by advanced CAD software. The workspace and motion characteristics of flexible bionic fingers are analyzed, that provide the theoretical and technical foundations for its application.

Key words: flexible; bionic finger; kinematics; equivalent mechanism

(上接第49页)

Fusion Localization Algorithm Based on Variational Bayes and Subspace Identification

XIA Jinfeng, LIU Yanxu

(School of Computer and Information Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: In the context of global navigation satellite system (GNSS) denied environments for unmanned aerial vehicle (UAV), there is a need for high-precision and high-reliability indoor positioning. The complex electromagnetic environment indoor leads to time-varying sensor noise, and the high agility of UAV results in time-varying motion noise, which reduces the accuracy and stability of position estimation. Traditional variational Bayesian filtering methods can only estimate either process or observation noise. Therefore, we proposed a UAV fusion positioning algorithm based on variational Bayesian filtering and subspace identification. Within the variational Bayesian framework and utilizing subspace identification theory, the proposed algorithm dynamically estimates time-varying process noise, solved the problem of variational Bayesian frameworks being unable to simultaneously estimate time-varying observation and process noise. Finally, experimental results from a real-world dataset of UWB/IMU/optical flow fusion positioning that the proposed algorithm enhances the accuracy and robustness of indoor UAV positioning.

Key words: variational Bayesian filtering; subspace identification; fusion positioning; time-varying noise estimation

京津冀协同发展背景下德州市城乡融合协调发展的路径

刘富刚

(德州学院 生态与资源环境学院, 山东 德州 253023)

摘要: 新型城镇化与乡村振兴协调发展是城乡融合发展的基本路径。构建城乡融合综合评价指标体系, 运用熵权法和指标综合评价法, 对德州市2015–2020年城乡融合发展水平进行测定和评价。结果显示: (1) 德州市城乡融合水平总体不断提高, 由0.275提高到0.686; (2) 2015–2020年经济对城乡发展融合贡献最大, 反映了国家政策实施下的区域经济发展状况, 也反映了疫情对城乡融合发展的影响; (3) 各县域城乡融合发展与德州市总体水平基本一致, 略有差异。研究表明城乡融合发展以县域为依托, 实现城乡资源、资本、人才、信息等要素有效配置协调, 加强县城建设与乡村治理是首要的工作与任务。

关键词: 城乡融合; 乡村振兴; 新型城镇化; 德州市

中图分类号: F299.27 F327 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-9444(2023)06-0056-06

0 引言

党的十九大提出实施乡村振兴战略, 标志着我国进入城乡一体化发展的新阶段^[1]。城乡融合发展是推进乡村振兴战略实施、解决新时代重大社会矛盾的关键。近年来, 为促进城乡融合发展机制和政策体系建设, 中央出台一系列文件。《关于建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系的意见》(2019)和《2020年新型城镇化建设和城乡融合发展重点任务》都明确提出, 工农相辅相成, 城乡相辅相成, 全面融合, 共同繁荣^[2]的要求。着眼第二个百年奋斗目标, 城乡融合发展必须处理好新型城镇化与乡村振兴之间的互动关系, 推动城乡融合发展见实效, 解决城乡发展不平衡问题。

京津冀协同发展是我国重大区域开发战略, 也是区域协调发展战略的重要组成部分^[3]。进入新世纪, 京津冀在全球经济向一体化协同发展的背景下, 以具有竞争力的北京、天津、河北省作为区域间经济发展主要载体, 北京和天津双城联动为区域核心, 对河北省区域发展强力支撑, 区域竞争变为区域协同发展。京津冀协同发展可通过区域产业转移及集聚、经济协作、要素流动、成果共享等, 实现资源的有机衔接和良性互动, 形成区域一体化、城乡一体化、经济一体化、交通一体化的区域共同

体, 从根本上有效解决区域发展不平衡不充分的矛盾, 是具有针对性和前瞻性的生态优先、绿色发展的区域战略。

德州市作为国家重要交通枢纽, 自古就有“神京门户”之称, 也是一个传统农业大市。《京津冀协同发展规划纲要》(2015)发布, 这标志着德州市正式纳入京津冀协同发展城市, 其主要定位发展目标是建设京津冀产业承接、优质农产品供应基地和南部重要生态功能区。《德州市乡村振兴战略规划(2018–2022年)》也明确了以建设京津冀协同发展示范区为乡村振兴战略发展目标。本文在梳理城乡关系演变发展的基础上, 基于系统科学视角, 在前人研究成果的基础上, 从人口、经济、社会、环境4个维度, 构建评价指标体系^[4], 运用城乡一体化模型对德州市2015–2020年城乡融合协调水平进行测度评价, 探索区域城乡融合发展的路径, 为推动城乡协调发展决策及理论研究提供参考。

1 理论基础与指标体系构建

1.1 理论基础

城乡关系在我国具有明显的阶段特征。县域经济社会建设与发展是城乡融合发展的重要载体与支撑。

收稿日期: 2023-08-18

作者简介: 刘富刚(1964–), 男, 山东济南人, 教授, 学士, 主要从事地理科学专业教学管理与研究工作。

改革开放前，城乡分治严重制约了农村经济的发展，城乡发展严重不平衡，城乡矛盾突出。改革开放后，国家开始重点关注城乡问题，相继出台了一系列政策与措施。2002年，十六大提出了城乡统筹与三农战略，城乡关系发生了实质性改变；2007年，党的十七大提出了城乡一体化建设，将城乡发展推向历史新方位；2015年，国家出台了《京津冀协同发展规划纲要》，区域城乡建设进入新阶段；2017年，提出了乡村振兴战略，主张新型城镇化与乡村振兴协同发展，推动城乡融合发展；2019年发布了《关于建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系的意见》。从“城乡统筹发展”到“城乡一体化”、“城乡融合发展”，城乡关系不同的策略体现了国家对推进城乡一体化发展，解决城乡问题政策的连续性。

县域经济是中国区域经济重要组成部分。城乡是一种基于市场机制的空间自组织系统^[5]，是由人文、经济、资源与环境相互联系相互作用下构成的具有一定结构、功能和区际联系的地域空间体系。城乡融合发展在宏观上需要在国家或区域发展战略背景下实现资源、资本、人才、信息等要素配置；中观上需要以县域城镇体系为载体与支撑；微观上需要加强县城建设与乡村治理建设。县城一头连着大城市，一头连着乡镇与乡村。城乡融合要在国家

区域战略背景下，构建“大城小县”格局，培育发展县城特色优势产业，促进城乡功能衔接互补，吸引集聚农村剩余劳动力，凸显集聚效应，将成为实现城乡融合带动新型城镇化建设与乡村振兴的主要路径。

目前，关于城乡融合水平的测度，学者们主要从两个方面进行。一是将城乡看作一个整体，选取综合性指标对城乡融合度进行评价^[6-7]。二是将城市与乡村看作两个子系统，建立两列评价指标^[8]。城乡融合是一个长期复杂的过程，对城乡融合的测度需要构建综合的指标体系，建立测度评价模型。

1.2 评价指标体系构建

城乡融合发展以尊重城乡功能特征及分工差异为前提，以城乡要素自由流动和资源公平共享为基础，通过经济自发力量与政策制度力量相结合，破除城乡二者在经济、社会、空间等维度的二元对立关系，实现城乡经济、人口、社会、空间及生态的多维度、协调共生、良性互动、深度融合和共同繁荣^[9]。本研究从经济、社会生活、人口、环境四个层次13个指标构建城乡融合发展评价指标体系^[10]（表1）。

城乡经济：主要选取国内生产总值等指标。城乡居民可支配收入比反映城乡收入变化^[11]；人均生产总值反映区域经济综合状况；二元劳动对比系数

表1 德州市城乡融合发展评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标说明	性质
经济融合 (X ₁)		居民可支配收入之比 (X ₁₁)	城镇居民人均可支配收入/农村居民人均可支配收入	负
		人均地区生产总值 (X ₁₂)	GDP/地区常住人口	正
		二元劳动对比系数(X ₁₃)	(第一产业产值/第一产业从业人数)/ (第二、三产业产值/第二、三产业从业人数)/%	正
		非农产业占GDP比重(X ₁₄) (%)	非农产业GDP/GDP	正
城乡融合发展水平 社会生活融合 (X ₂)		文教支出比(X ₂₁)	城镇居民人均文教娱乐服务支出/ 农村居民人均文教娱乐支出	正
		每万人拥有卫生床位数 (X ₂₂) (张/万人)	床位数/万人	正
		最低生活保障补贴人数比(X ₂₃)	城镇最低生活保障补贴人数/农村最低生活保障补贴人数	正
人口融合 (X ₃)		非农与农业从业人员比重(X ₃₁)	非农业人口/农业就业人口	正
		人口城镇化率(X ₃₂) (%)	城镇人口/总人口	正
环境融合 (X ₄)		建成区绿地率(X ₄₁) (%)	建成区绿化覆盖率	正
		污水处理率(X ₄₂) (%)		正
		生活垃圾处理率 (X ₄₃) (%)		正
		用电量比 (X ₄₄)	城镇年用电量/农村用电量	负

体现城乡二元结构发展情况, 非农产业比重反映非农产业的贡献程度。

城乡社会生活: 主要选取社会生活、社会保障等指标。其中, 文教支出体现城乡在文化教育方面支出变化, 城乡最低生活保障补贴人数比体现德州市社会保障发展情况。

城乡人口融合: 主要从人口城镇化率、非农与农业从业人员比重来体现。

城乡环境融合: 主要利用建成区绿地率、生活垃圾处理率、污水处理率和用电量等指标体现。

2 研究数据来源与方法

2.1 研究数据来源

调研数据主要来源: 一是来自《德州市统计年鉴》及《德州市国民经济与社会发展公报》; 二是来自相关文献; 三是通过走访考察获取。

在此基础上, 对德州市2015-2020年相关数据进行统计整理, 形成研究数据资料基础。

2.2 研究方法

本研究在调查收集资料基础上, 建立城乡融合评价指标体系, 利用熵权法和指标综合评价法, 对德州市城乡一体化发展水平进行测定和评价。

1) 熵权法。由于指标量纲差异, 在测度城乡融合发展水平之前, 对指标数据标准化处理^[12], 运用熵权法计算指标权重。

原始指标数据矩阵 A : 假设有第 i 个研究对象, 评价指标 j 个:

$$A = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{1j} \\ X_{i1} & X_{ij} \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (1)$$

期中, X_{ij} 为第 i 个地区第 j 个指标数值, m 表示评价指标个数, n 表示地区。

正向指标标准化:

$$X'_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (2)$$

负向评价指标:

$$X'_{ij} = Z_{ij} = A + X'_{ij} \quad (3)$$

期中, X_{ij} 为指标的统计值, $X_{j\max}$ 、 $X_{j\min}$ 分别为该项指标的最小值和最大值, i 为第 i 个样本, j 为第 j 个指标。

针对在计算过程中可能出现负数的情况, 将 X'_{ij} 进行平移, 公式:

$$Z_{ij} = A + X'_{ij} \quad (4)$$

其中, Z_{ij} 为平移得出的数值, A 为平移幅度, 取0.01。

指标的熵值计算公式:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, k = 1 / \ln n \quad (5)$$

指标效应值公式:

$$D_j \text{ 为: } D_j = 1 - E_j \quad (6)$$

指标权重计算公式:

$$W_j = D_j / \sum D_j \quad (7)$$

2) 城乡融合水平评价模型

城乡融合水平评价模型测度城乡融合发展水平。计算公式:

$$A_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} \times W_j \quad (8)$$

$$F = \sum_{i=1}^n A_i \quad (9)$$

其中: A_i 表示城乡一体化指数中第 i 层因素分值; Z_{ij} 表示第 i 层因素中第 j 个因子标准化后的分值; W_j 代表第 i 层因素中第 j 个因子的分值; F 表示最终得出的城乡融合发展水平指数分值。

3 结果与分析

3.1 计算结果

依据公式 (1) - (8), 原始数据标准化, 计算指标比重、熵值、效应值、权重以及四个层次得分 (表2)。

表2 德州市各层次融合发展得分

年份	经济融合	社会生活融合	人口融合	环境融合
2015	0.004	0.153	0.002	0.117
2016	0.029	0.144	0.027	0.135
2017	0.069	0.136	0.055	0.178
2018	0.184	0.082	0.124	0.159
2019	0.274	0.070	0.111	0.119
2020	0.324	0.066	0.124	0.181

运用公式 (8) - (9), 计算城乡融合发展水平得分 (表3), 县域城乡融合得分 (表4)。

表3 德州市城乡融合发展水平得分

年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020
得分	0.275	0.335	0.473	0.550	0.574	0.686

1) 由表2看出, 指标层中经济对城乡发展融合贡献最大, 2015-2020年, 由0.004上升到0.324。社会生活贡献率下降趋势, 分值由0.153降低到0.066。人口具有明显的分段, 由2015年的0.002上升到2018年的0.124, 随后变化减小。城乡环境的贡献表现出波动性, 2015-2017年, 由0.117上升到0.178, 从2018年的0.159, 降到2019年的0.119, 到2020年上升到了0.181。指标对城乡融合的贡献反映了2015-2020年国家政策的实施与区域经济发展

表4 德州市县域城乡融合得分

	德城区	陵城区	禹城市	乐陵市	临邑县	平原县	夏津县	武城县	庆云县	宁津县	齐河县
2015	0.260	0.392	0.401	0.321	0.582	0.436	0.358	0.344	0.366	0.304	0.598
2016	0.338	0.349	0.428	0.521	0.430	0.353	0.481	0.378	0.396	0.360	0.731
2017	0.372	0.510	0.414	0.668	0.368	0.433	0.508	0.534	0.554	0.336	0.599
2018	0.424	0.757	0.512	0.794	0.423	0.505	0.680	0.611	0.544	0.558	0.688
2019	0.374	0.437	0.335	0.430	0.466	0.474	0.457	0.388	0.471	0.570	0.431
2020	0.718	0.540	0.483	0.482	0.450	0.586	0.576	0.534	0.632	0.756	0.380

的现实，也反映了疫情对社会经济发展的影响。

2) 由表3表明：在研究区间内，德州市城乡融合水平总体不断提高，由0.275提高到0.686。其中，2015-2017年呈上升发展趋势，非农产业对经济发展的贡献率不断增加；2017-2018年发展速度明显加快；2019-2020年受疫情影响，经济下行，城乡融合水平下降。

3) 由表4看出，各县域城乡融合发展与德州市总体水平基本一致，略有差异。德城区、宁津县、庆云县城乡融合水平随时间呈正相关，融合水平不断提高。齐河县2019-2020年得分下降明显。

3.2 德州市城乡融合发展水平分析

1) 城乡经济融合发展水平分析

经济发展是城乡融合发展的基础与关键。城乡居民可支配收入、人均生产总值、二元劳动系数、非农产业占GDP比例等指标反映区域经济发展、新型城镇化及农村经济的现状。城镇经济发展带动农村经济发展，助力“三农”问题的解决。

从表5看出，德州市城乡经济一体化水平逐渐提高。德州市作为“京津冀”国家发展战略中的城市，处于“一区四基地”的战略地位。区位变化对德州市新型城镇化建设、乡村振兴的实施带来了新机遇与驱动力。同时，经济的发展对城镇极化效应加强，城镇对农村的辐射作用也在加强，城乡之间的经济交流与合作不断得到强化。

表5 德州市城乡经济融合发展水平

年份	城乡居民可支配收入占比(%)	人均生产总值(元)	二元劳动对比系数	非农产业占GDP比重(%)
2015	1.87	43545	0.170	88.02
2016	1.86	46313	0.172	88.08
2017	1.84	48610	0.170	88.52
2018	1.82	51168	0.200	88.96
2019	1.78	53373	0.207	89.68
2020	1.74	54691	0.221	89.38

德州市作为传统农业大市，经济基础薄弱，科技投入不足，人才缺乏，城乡经济发展质量不高，发展空间与潜力较大。2021年度山东省各市高质量

发展综合绩效考核，德州市位于后列。“十三五”以来，德州市积极引导适应经济新常态，聚焦创新驱动、产业升级，突出保障改善民生，推动工业强市战略，主动对接“京津冀”，非农产业蓬勃发展，城乡经济不断增长，呈现良好态势。

2) 城乡社会生活融合发展水平分析

社会生活主要通过公共服务水平反映区域新型城镇化与乡村振兴协调水平。近几年，德州市城镇化率不断提高，社会公共服务水平不断提高。

党的十八大以来，德州市不断强化基层医疗服务体系建设，强化城镇驻地幼儿园、小学、初中学校建设，完善城乡统一居民保障制度，加强基础设施建设以及基本公共服务建设，城乡融合水平呈现上升趋势(表6)。同时，也显示城乡在社会保障、社会生活公共服务管理方面与周边区域比较，有待进一步提高，德州市新型城镇化与乡村振兴发展协调性还不够高。

表6 德州市城乡社会生活发展水平

年份	文教支出比(%)	每万人拥有卫生床位数(张/万人)	城乡最低生活保障人数占比(%)
2015	2.49	37.901	0.147
2016	2.46	39.126	0.140
2017	2.40	44.452	0.115
2018	2.24	45.201	0.107
2019	2.25	47.036	0.071
2020	2.28	45.632	0.065

3) 城乡人口融合发展水平分析

人口融合反映城乡人口及资源的双向流通，一个侧面体现新型城镇化与乡村振兴的协调性。由表7看出，德州市人口城镇化率逐年总体呈上升趋势，农村人口不断向城镇迁移，城镇化率由2015年的51.73%提升到2020年的54.40%，非农与农业从业人员比重由1.26%提高到1.86%，非农产业在经济增长中的作用日益突出，非农产业就业人口不断提升。

近年来，德州市在国家及山东省区域发展战略

指导下,以城镇发展为依托,不断增强创新动能,引导农村人口向城镇人口有序转化。同时,由于区域经济发展现状制约了中心城镇发展定位,城镇极化能力不够高,招商困难,就业能力整体不高,人才及剩余劳动力流失严重,成为区域城乡融合的障碍因素。

表7 德州市城乡人口融合发展水平

年份	人口城镇化率(%)	非农与农业从业人员比重(%)
2015	51.73	1.26
2016	53.77	1.27
2017	55.57	1.31
2018	57.01	1.61
2019	53.03	1.80
2020	54.40	1.86

4) 城乡环境融合发展水平分析

城乡环境融合反映了城乡生态及绿色、宜居的城乡一体化体系建设。随着生态环境治理投入加大,德州市城乡环境大为改观。表8显示,建成区绿地率由2015年30.93%上升到2020年的34.32%,污水处理率由94.35%提高到98.15%,生活垃圾处理率达100%,城乡用电量占能耗比由0.558提高到0.936。

目前,全市市县两级村庄布局规划编制已全部完成,环境规划整治建设所带来的社会经济及生态效益将进一步凸显。2021年,5村庄入选山东省首批景区化村庄名单(省文化和旅游厅)。

表8 德州市城乡环境融合发展水平

年份	建成区绿地率(%)	污水处理率(%)	生活垃圾处理率(%)	城乡用电量占能耗比
2015	30.93	94.35	98.68	0.56
2016	31.34	95.00	99.02	0.61
2017	33.09	96.89	100	0.82
2018	33.35	97.28	100	0.91
2019	33.82	97.58	98.98	0.92
2020	34.32	98.15	100	0.94

5) 县域城乡融合发展水平差异分析

乡村振兴与新型城镇化协调发展是健全城乡融合发展体制机制的重要路径与目标。从前表4可知,各县域城乡融合发展与德州市总体水平基本一致,略有差异。各县域区位、发展基础、发展定位、政策措施等情况,反映了县域城乡融合发展的现状与未来发展的基础。

4 结论与建议

4.1 结论

在梳理城乡演变发展关系基础上,通过建立城乡融合评价指标体系,利用熵权法和多指标综合评价法,对德州市2015-2020年城乡融合发展水平进

行了测定和评价。结论如下:

1) 城乡关系在我国具有明显的阶段特征,县域建设与发展是城乡融合发展的重要载体与支撑。

2) 2015-2020年研究时段,德州市城乡融合水平总体不断提高,经济发展是城乡融合发展的基础与关键。

3) 各县域城乡融合发展与德州市总体水平基本一致,略有差异。差异是各县域区位、发展基础、发展定位、政策措施等综合体现。

4) 城乡融合发展是一个系统工程,需要在国家区域发展战略背景下实现城乡资源、资本、人才、信息等要素配置的流通与协调,加强县城建设与乡村治理是首要的工作任务。

4.2 建议

以上研究表明德州市城乡融合发展水平不断提高,城乡融合发展空间与潜力较大。未来城乡融合发展应注意以下几个方面。

1) 利用好国家区域协同发展政策,深度融入“京津冀”,充分发挥区位优势,促进产业融合。产业融合是城乡融合的重要内容,而促进产业融合关键在于利用区域发展的政策,发挥自身优势,促进生产要素自由流动,实现产业优化。

德州市作为京津冀协同发展城市,也是一个传统农业大市,与山东省其他城市相比存在城乡经济不强、农村经济基础薄弱、工业水平较低、服务业发展滞后、创新能力不强等问题。城乡融合发展应在区域经济社会环境中,在国家、省以及京津冀辐射带动下,明确自己的定位,弥补自己的“短板”;加强县域产业园区建设,提速县域产业结构转型升级。强化乡村治理,利用传统农业优势,加强“高效、高质、高产”现代农业产业链建设,建设发展京津冀优质农产品供应基地。对接京津冀产业发展规划,促进技术、资金、人才等要素互动,壮大县域经济,推动城乡融合发展。

2) 加强县域城镇建设,提升中心城镇经济发展质量。德州市地处山东西北部,中心城镇规模不大,城镇辐射带动能力不强,人口流动性较大,经济不发达县域较多,城乡发展仍处于低水平均衡状态^[13]。按照《德州市新型城镇化与城乡融合发展规划(2021-2035年)》要求,充分利用好《关于支持德州市深化融入京津冀协同发展的若干措施的通知》(鲁政办字〔2022〕52号)文件精神,发挥服务和融入京津冀协同发展的战略支点作用,积极承接京津冀产业转移,提升区域城乡融合发展的能力。加强县域基础设施建设,推进公共基础设施建

设,优化营商环境,增强县城综合承载能力,以宜居县城吸引农业转移人口就近城镇化,强化城乡融合的效果。

3)以县域为单元统筹乡村整治,强化基层治理能力和公共服务体系建设。推动城乡融合,要因地制宜,加强农村基层基础工作,盘活农村建设用地等资源,健全农业社会化服务体系,积极引进人才,引导城镇资本有序向乡村流动,发展现代化农业,促进特色产业发展。

参考文献:

- [1] 李红波,秦寒.新时代背景下宿州市城乡融合发展比较研究[J].宿州学院学报,2019,34(4):32-35.
- [2] 韩超,杨洁.发达国家城乡融合发展理论与实践研究[J].郑州轻工业学院学报(社会科学版),2019(1):63-68.
- [3] 公丕明,公丕宏,张汉飞.京津冀协同发展战略的演化与改革方向[J].区域经济评论,2020(6):63-70.
- [4] 曲晓东.佛山市城乡融合发展水平研究[J].乡村科技,2021,12(22):57-60.
- [5] 余斌,曾菊新,罗静.论城乡地域系统空间组织的微观机制[J].经济地理,2006(3):364-368.
- [6] 窦旺胜,王波涛.日照市城乡融合发展水平测度与评价研究[J].唐山师范学院学报,2020,42(1):106-111.
- [7] 薛金礼,邵贝贝,陈盟.河南省城乡融合发展评价研究[J].中国储运,2021(5):129-131.
- [8] 马嘉爽.新时代城乡融合发展实证研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [9] 施建刚,段锴丰,吴光东.长三角地区城乡融合发展水平测度及其时空特征分析[J].同济大学学报(社会科学版),2022,33(1):78-89.
- [10] 丁磊,吕剑平.乡村振兴背景下武威市城乡融合发展评价研究[J].国土与自然资源研究,2021(3):13-17.
- [11] 张银蒙.河南省城乡融合水平测度实证研究[D].郑州:河南工业大学,2020.
- [12] 周光美.南充市城乡融合发展水平研究[D].南充:西华师范大学,2020.
- [13] 于伟,吕晓,宋金平.山东省城镇化包容性发展的时空格局[J].2018,37(2):319-332.

The Path of Urban Rural Integration and Coordinated Development in Dezhou City Under the Background of Coordinated Development of Beijing-tianjin-hebei

LIU Fugang

(School of Environment and Resources planning, Dezhou University, Shandong Dezhou, 253023, China)

Abstract: The coordinated development of new urbanization and rural revitalization is the basic path for urban-rural integration development. A comprehensive evaluation index system for urban-rural integration was constructed, and the entropy weight method and indicator comprehensive evaluation method were used to measure and evaluate the level of urban-rural integration development in Dezhou City from 2015 to 2020. The results show that: (1) the overall level of urban-rural integration in Dezhou City continued to improve from 0.275 to 0.686 from 2015 to 2020; (2) The economy contributed the most to the integration of urban and rural development from 2015 to 2020, reflecting the reality of regional economic activities under the implementation of national policies and the impact of the epidemic on the integration of urban and rural development; (3) The urban-rural integration development of each county is basically consistent with the overall level of Dezhou City, with slight differences. Research has shown that the deep integration and development of urban and rural areas in a region should be based on the county level, and the basic path should be to strengthen the circulation and coordination of urban and rural resources, capital, talent, information, and other factors. County town construction and rural governance are the primary work and tasks.

Key words: urban-rural integration; rural revitalization new urbanization; Dezhou city.

德城区河流缓冲区生态空间变化研究

安文明, 张霞, 张东旭, 李洋洋

(德州学院 生态与资源环境学院, 山东 德州 253023)

摘要: 河流作为城市和区域生态系统的重要组成部分, 发挥着重要的生态功能。河流缓冲区的自然和人文因素与河流的水生生态系统存在信息交换, 也是河流生态系统的重要组分。基于此, 选取德城区的主要河流, 并设定 0-500 m 的缓冲范围, 通过缓冲区内土地利用变化探究德城区河流缓冲区内的生态空间的变化趋势。结果显示, 在所选河流的 0-500 m 缓冲范围的生态空间面积在 2010-2021 年间呈明显增加趋势, 说明该区域的生态建设有良好的效果; 从土地利用类型转移的角度看, 主要发生的地类变化是耕地转为林地, 而草地和水域增加面积较少, 说明该地区在生态空间建设中类型相对单一。

关键词: 河流缓冲区; 土地利用; 生态空间; 德城区

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444 (2023) 06-0062-05

0 引言

在生态文明建设背景下, 生态城市的理念也逐渐成为城市规划建设的重要指导思想^[1]。在城市系统里, 河流生态系统具有丰富的自然因素和生态过程, 是城市生态功能的重要体现, 对于城市环境系统的维持具有特殊作用, 城市河流生态系统的建设和维护已成为绿色可持续生态城市建设和规划的一项重要内容^[2-4]。除河流本体的水生生态系统外, 河流一定缓冲范围内的自然和人文因素皆与河流本体有信息的交换, 因此, 在河流生态系统的建设和修复中, 一定缓冲范围的土地利用及生态建设和规划同样重要^[5,6]。

在城镇化的背景下, 城市的快速发展加快了土地利用的变化速率^[7], 尤其是城市河流生态系统沿岸生态用地的变化应值得关注。在一定的河流缓冲区内, 基于土地利用变化的生态用地的动态特征能直观反应生态空间的状态。其中, 生产、生活空间与生态空间的相互转化对于了解一定时期内生态建设的效果具有重要的指导意义。基于此, 本研究以德城区的主要河流为研究对象, 通过设定不同的缓冲区梯度, 结合遥感数据和 GIS 的空间分析方法, 以土地利用类型转移为基础, 探讨德城区河流缓冲区内三生空间, 尤其是生态空间的变化趋势, 并分析德

城区河流缓冲区内生态建设的成果及存在的问题。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

德城区位于山东省西北部, 经度为 115°45' ~ 117°36'E, 纬度为 36°24'25" ~ 38°0'32"N, 是德州市的中心城区。德城区境内有漳卫新河及其分支岔河、减河、南运河、马颊河、宣慧河、横河、沙杨河、九龙河, 隶属于海河流域, 主要有新湖、九龙湾、减河等湿地公园。德城区属暖温带大陆性季风气候, 光照充足, 四季分明。春季干旱少雨, 夏季炎热多雨, 秋季凉爽干燥, 冬季寒冷少雪。多年平均气温 12.7℃, 年平均降水量 570.2 mm, 降雨集中在每年 6-8 月份。德城区面积 231 km², 可用耕地面积 14 万亩。土质以粉土和粘性土为主。地带性植被为旱生落叶阔叶林及经人为破坏后次生的灌草丛。境内已探明地下矿藏资源有粘土和地热。截至 2018 年末, 辖区内常住人口 45.10 万人, 其中, 城镇人口 39.77 万人, 农村人口 5.33 万人。常住人口城镇化率达 88.19%。

1.2 研究方法

1) 研究数据

本研究所用数据主要的 TM、ETM+ 等数据

收稿日期: 2023-07-18

基金项目: 德州学院科学研究基金项目 (30101450)

作者简介: 安文明 (1985-), 山东新泰人, 博士, 讲师, 主要从事区域生态学研究。

(landsat-4,5、landsat-7、landsat-8), 数据分辨率为30 m × 30 m, 数据采集时间分别为2010年和2021年的6-8月份(植被生长季), 为保证数据信息准确性, 所选遥感数据的单景平均云量低于15%。

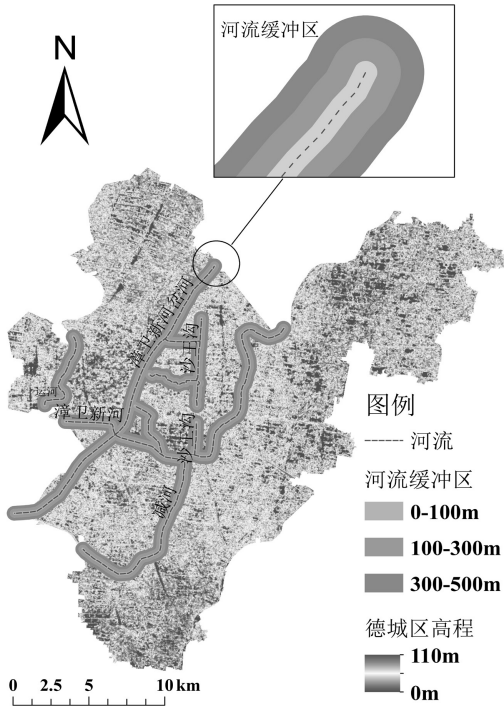


图1 德城区及河流缓冲区示意图

2) 数据处理和研究方法

(1) 影像合成及地类信息提取

采用TM和ETM+数据的近红外和红波段进行波段合成, 分别得到德城区2010年和2021年的标准假彩色图像(图2)。

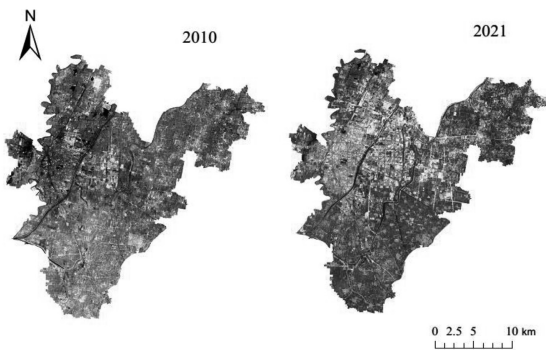


图2 德城区标准假彩色影像图

通过设定解译地类(林地、草地、水域、耕地、工矿企业用地、住宅用地和交通运输用地), 以合成的遥感影像为底图, 采用监督分类和目视判读的方法, 提取德城区的地类和河流信息。

(2) 河流选取和缓冲区设定

以合成的德城区标准假彩色为底图(图2), 提取德城区境内的漳卫新河、岔河、减河、运河和沙

王沟等河流作为研究对象, 并采用ArcGIS的邻域分析中的多环缓冲区工具, 提取所选河流三个缓冲区梯度: 0-100 m、100-300 m和300-500 m(图1)。根据空间自相关理论, 距离越近, 与中心区域的相关性越强^[8], 因此, 在本研究中0-100 m缓冲区对河流生态系统本身会产生直接的影响, 而100-300 m和300-500 m缓冲区作为外围区域, 主要以信息渗透的方式影响河流生态系统, 因此, 其三生空间, 尤其是生态空间的变化同样值得关注。

(3) 三生空间

三生空间是指生产空间、生活空间和生态空间。在本研究中, 生产空间主要包括耕地和工矿企业用地; 生活空间主要包括住宅用地和交通运输用地; 生态空间主要包括林地、草地和水域。

2 德城区河流缓冲区内生态空间变化

2.1 德城区河流缓冲内三生空间概况

1) 德城区河流0-500 m缓冲区三生空间的面积结构

根据研究结果, 2010年至2021年间, 所研究河流的0-500 m缓冲区范围内的三生空间的面积结构发生了明显的变化, 总体上生态空间呈现明显的增加趋势, 生产和生活空间呈降低的趋势。图3为河流缓冲区内2010年和2021年的三生空间的面积组成, 从三生空间的面积组成结构来看, 2010年呈现出生产空间>生活空间>生态空间状态, 2021年呈现生态空间>生活空间>生产空间的状态。可以看出, 两个年份的三生空间的面积组成结构基本呈现出“倒置”的现象, 即生态空间明显增加, 而生产和生活空间皆有不同程度的降低(图3)。这说明在2010年至2021年间, 对河流沿岸(一定缓冲范围内)的生态建设的成果比较显著, 符合生态文明建设和生态城市规划的基本要求。

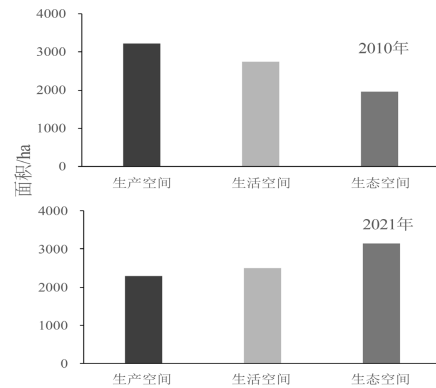


图3 河流缓冲区(0-500 m)2010年和2021年三生空间面积

图4和图5分别展示了研究区域内的生态空间的变化情况（转入和转出）。如图4所示，就生态空间转入而言，相比之下，由生产空间转为生态空间的区域较为明显，而生活空间转入较少；就生态空间转入而言，明显低于生态空间的转入量（图4，图5）。表1为研究区域内（0-500 m缓冲范围内）生态空间的变化量。如表1所示，生态空间总的转入面积为1455.64 ha，其中，由生产空间转入生态空间的转入量为1063.41 ha，占总转入面积的73.1%；而生活空间转为生态空间的面积仅有392.23 ha。相比之下，生态空间的转出量仅有264.45 ha（表1）。

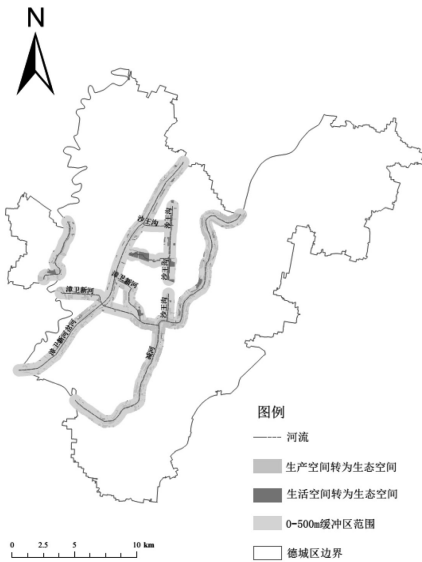


图4 河流0-500 m缓冲区内由生产空间和生活空间转为生态空间的区域

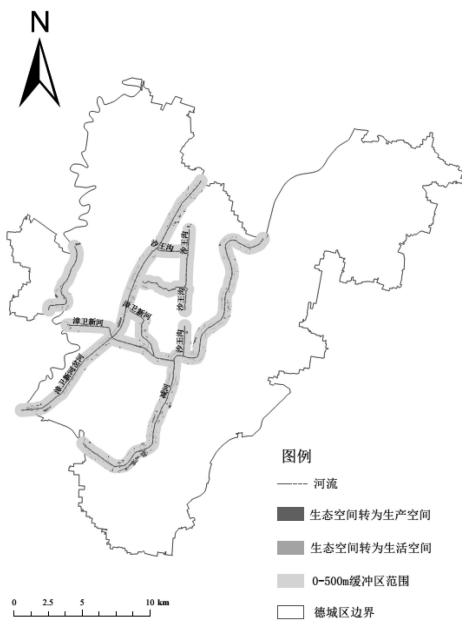


图5 河流0-500 m缓冲区内由生态空间转为生产空间和生活空间的区域

由此可以看出，在2010年至2021年间，研究区域内生态空间增加主要来自于生产空间（耕地或工矿企业用地）的绿色转化。虽然生态空间也有降低，但总体上的损失量较小。

表1 德城区河流0-500 m缓冲区内生态空间变化统计

	生态空间转入量		生态空间转出量	
	Ps-Es	Ls-Es	Es-Ps	Es-Ls
面积/ha	1063.41	392.23	106.95	157.50
合计/ha	1455.64		264.45	

注：Ps为生产空间；Ls为生活空间；Es为生态空间。Ps-Es为生产空间转为生态空间；Ls-Es为生活空间转为生态空间；Es-Ps为生态空间转为生产空间；Es-Ls为生态空间转为生活空间。

2) 德城区河流不同缓冲区三生空间的面积结构

如表2所示，不同缓冲区范围内三生空间的面积结构在2010年至2021年间皆有明显变化。具体表现为，首先，在三个缓冲范围（0-100 m、100-300 m和300-500 m）内，三生空间的变化趋势基本一致，即生态空间皆呈增加趋势，生产空间和生活空间皆有不同程度的降低。其次，就三生空间的面积结构而言，0-100 m和300-500 m缓冲范围的三生空间的面积结构在两个时期没有发生变化，分别表现为生态空间>生产空间>生活空间（0-100 m）和生活空间>生产空间>生态空间的状态（300-500 m）（表2）；而在100-300 m缓冲区，三生空间的面积结构发生了比较明显的变化，2010年的生态空间在三生空间中面积占比最小，而在2021年的生态空间在三生空间中的面积占比显著高于生产空间和生活空间（表2）。

表2 德城区河流不同缓冲区2010年和2021年的三生空间面积统计

缓冲区	三生空间	2010年面积/ha	2021年面积/ha
0-100 m	Es	698.98	1012.20
	Ps	611.02	427.89
	Ls	345.68	215.60
100-300 m	Es	978.89	1452.81
	Ps	1192.48	817.76
	Ls	1059.32	960.12
300-500 m	Es	281.94	685.98
	Ps	1417.04	1051.71
	Ls	1353.05	1314.35

注：Ps为生产空间；Ls为生活空间；Es为生态空间。

2.2 德城区河流不同缓冲区内生态空间变化

表3为各缓冲范围内的生态空间的变化情况。就0-100 m缓冲范围而言，生态空间的总转入量为341.67 ha，其中，在生产空间转入为生态空间的229.44 ha中，耕地转为林地的面积就有164.42 ha，占比为71.7%，而转为草地的仅有0.32 ha，转化为

水域的有57.93 ha,占比为25.2%。在生活空间转入为生态空间的112.23 ha中,主要以住宅用地转为林地(29.45 ha)和水域(75.70 ha)为主,总占比为93.7%。在此缓冲范围内,生态空间的转出量较少,仅有28.46 ha,主要转移方向为耕地、住宅用地和交通运输用地等。

就100-300 m缓冲范围而言,生态空间的总转入

量为629.18 ha,其中,在生产空间转入为生态空间的444.52 ha中,耕地转为林地的面积就有335.53 ha,占比为75.5%,转化为水域的有90.36 ha,占比为20.3%,转为草地的仅有0.68 ha。工矿企业用地转为生态空间的总面积为17.95 ha,占比仅为4.2%。在此缓冲范围内,生态空间的转出方向主要是耕地、住宅用地和交通运输用地(表3)。

表3 德城区河流不同缓冲区生态空间变化及地类转移信息

缓冲区	生态空间变化	面积/ha	转入来源(面积/ha)	转出去向(面积/ha)	
0-100 m	转入量	Ps-Es	229.44	耕地转为:草地(0.32)、林地(164.42)、水域(57.93); 工矿企业用地转为:草地(3.17)、林地(1.73)、水域(1.87);	林地转为:耕地(1.75)、工矿企业用地(0.25); 水域转为:耕地(5.41)、工矿企业用地(0.42); 草地转为:住宅用地(0.21) 林地转为:住宅用地(2.09)、交通运输用地(1.88); 水域转为:住宅用地(3.68)、交通运输用地(12.78);
		Ls-Es	112.23	住宅用地转为:草地(6.25)、林地(29.45)、水域(75.70); 交通运输用地转为:草地(0.02)、林地(0.58)、水域(0.22);	
	转出量	Es-Ps	7.82		
		Es-Ls	20.64		
100-300 m	转入量	Ps-Es	444.52	耕地转为:草地(0.68)、林地(335.53)、水域(90.36); 工矿企业用地转为:草地(4.00)、林地(5.63)、水域(8.32);	草地转为:耕地(0.01) 林地转为:耕地(16.58)、工矿企业用地(3.66); 水域转为:耕地(21.51)、工矿企业用地(9.35); 草地转为:住宅用地(1.07)、交通运输用地(1.81) 林地转为:住宅用地(8.57)、交通运输用地(21.69); 水域转为:住宅用地(25.01)、交通运输用地(45.98);
		Ls-Es	184.66	住宅用地转为:草地(13.98)、林地(86.59)、水域(80.97); 交通运输用地转为:草地(0.04)、林地(1.77)、水域(1.30);	
	转出量	Es-Ps	51.11		
		Es-Ls	104.13		
300-500 m	转入量	Ps-Es	389.45	耕地转为:草地(0.74)、林地(353.12)、水域(22.66); 工矿企业用地转为:草地(0.03)、林地(7.13)、水域(5.76);	林地转为:耕地(22.45)、工矿企业用地(8.83); 水域转为:耕地(5.79)、工矿企业用地(10.94); 草地转为:住宅用地(1.22)、交通运输用地(1.03) 林地转为:住宅用地(4.81)、交通运输用地(6.62); 水域转为:住宅用地(12.97)、交通运输用地(6.07);
		Ls-Es	95.34	住宅用地转为:草地(4.62)、林地(63.86)、水域(23.70); 交通运输用地转为:草地(0.41)、林地(2.47)、水域(0.29);	
	转出量	Es-Ps	48.02		
		Es-Ls	32.73		

注:Ps为生产空间;Ls为生活空间;Es为生态空间。Ps-Es为生产空间转为生态空间;Ls-Es为生活空间转为生态空间;Es-Ps为生态空间转为生产空间;Es-Ls为生态空间转为生活空间。

就300-500 m缓冲范围而言,生态空间的总转入量为484.79 ha,其中,在生产空间转入为生态空间的389.45 ha中,耕地转为林地的面积就有353.12 ha,占比为90.7%,生活空间中的住宅用地转为林地的面积为63.89 ha,占生活空间总转出量(95.34 ha)的67%。在此缓冲范围内,总体上转为草地的面积较小,仅有5.8 ha,而转为水域的面积总共有52.41 ha,主要来自于耕地和住宅用地。就生态空间的转出而言,总的转出量仅为80.75 ha,主要的转出方向为耕地和住宅用地(表3)。

综上所述,2010年至2021年间,各缓冲范围内的生态空间皆表现出增加的趋势。从土地利用类型转移来看,生态空间的增加主要体现在林地增加,其次是水域面积的增加,其中,林地增加主要是退

耕后绿化造林的成果,而水域的增加主要是湿地公园的建设。相比之下,在生态空间中,草地的增加面积较小,这也说明在研究范围内的生态建设中的存在地类单一、结构简单的情况。城市生态系统建设不仅要注重绿地面积的大小,还应从生态系统健康的角度,注重生态系统结构的优化,在进行生态建设时,林草湖田应配比合理,不应只注重某一方面而使生态系统趋于单一化结构。

3 结论

总体上,对于所设定的河流缓冲区(0-500 m)内的生态空间的占地面积在2010年至2021年间呈现明显的增加趋势。该增加趋势在不同缓冲区范围表

现出一定的一致性。从生态空间的具体变化来看,由生产空间和生活空间转变为生态空间的主要是林地,草地和水域面积相对较少,这也反映出在河流缓冲区内生态建设存在地类结构的单一性。从生态系统的健康角度来讲,以绿化为主要方式的城市河流生态系统的建设和规划不应仅仅注重面积的增加,还应注重类型的多样性,除物种多样性外,宏观上,林地、草地和水域应该进行均衡考虑,这样才能在保证结构合理的基础上增强其生态功能。

参考文献:

- [1] 董嘉懿. 生态城市概念与规划思路研究[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S2): 150-152.
- [2] 孙然好, 魏琳沅, 张海萍, 等. 河流生态系统健康研究现状与展望——基于文献计量研究[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3526-3536.
- [3] 姜芊孜, 梁雪原. 北方城市河流生态系统服务供需评价与优化——以济南市兴济河为例[J]. 南方建筑, 2022, 214(8): 73-83.
- [4] 李金煜. 济南市小清河河流廊道水生态系统服务供需评估与优化[D]. 济南: 山东建筑大学, 2022.
- [5] 蔡莹, 杨旭, 万鲁河, 等. 北方寒冷地区冻融期河岸缓冲区土地利用结构对河流水质的影响[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3): 679-687.
- [6] 李海峰, 李永树, 卢正, 等. 河流廊道景观的热环境效应分析[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(4): 51-54+133.
- [7] 禹文东, 吴涛, 罗云建, 等. 城镇化进程中耕地时空格局演化及其驱动机制研究——以扬州市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 147-159.
- [8] 吴恒, 孙昌平, 陆驰, 等. 空间自相关性在森林碳储量年度监测抽样中的运用[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(11): 112-118.

Study on Ecological Space Change of River Buffer Zone in Decheng District

AN Wenming, ZHANG Xia, ZHANG Dongxu, LI Yangyang

(School of Ecology Resources and Environment, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: Rivers, as an important component of urban and regional ecosystems, play important ecological functions. The natural and human factors of the river buffer zone exchange information with the aquatic ecosystem of the river, and are also important components of the river ecosystem. Based on this, the main rivers in Decheng District are selected, and a buffer range of 0-500m is set. The change trend of ecological space in the river buffer zone in Decheng District is explored through land use change in the buffer zone. The results show that the ecological space area within the 0-500m buffer zone of the selected river showed a significant increase trend between 2010 and 2021, indicating that the ecological construction in the region has achieved good results; However, from the perspective of land use type transfer, the main land type change that occurs is the conversion of arable land to forest land, while the increase in grassland and water area is relatively small, indicating that the type of ecological space construction in the region is relatively single.

Key words: river buffer zone; land use; ecological space; Decheng district

高管激励与企业创新绩效影响研究

——基于高管风险偏好的调节效应

易斌, 蔡红

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 以2007-2021年我国上市公司为样本, 基于高管风险偏好视角, 研究高管激励对企业创新绩效的影响机制。研究发现, 高管薪酬激励对企业创新绩效有显著促进作用, 但高管股权激励对企业创新绩效呈现负向影响; 加入高管风险偏好后, 高管风险偏好在高管薪酬激励对企业创新绩效的影响中具有显著正向调节作用, 在高管股权激励对企业创新绩效的影响中具有显著负向调节作用。进一步研究表明, 高管薪酬激励对国有企业创新绩效的影响要强于民营企业的影响; 高管股权激励在国有企业中能影响企业创新绩效, 而在民营企业中无显著影响。对此, 应健全薪酬激励体系、慎用股权激励、注意引导高管风险偏好、强化高管责任担当, 促进个人与企业共同发展。

关键词: 高管激励; 薪酬激励; 股权激励; 风险偏好; 创新绩效

中图分类号: F272.91 F272.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-9444 (2023) 06-0067-09

0 引言

党的二十大报告中, 习近平总书记进一步强调创新的重要性, 不论是在产学研还是在企业自主创新方面, 都需要进一步强化落实企业创新主体地位, 不断用创新推动国家和企业的发展。2022年《财富》500强中中国新上榜的有新能源汽车和科兴控股两家企业, 都是近几年新兴的创新型企业。由此可知, 创新对于国家强盛和企业成长具有举足轻重的影响。创新成果的质量和数量是企业生命线, 也是不断推动社会发展的源动力。

相比于世界先进创新企业, 目前中国大多数企业都存在创新投入不足、科研人员和创新成果缺乏的问题。进一步分析其原因, 大多数是与企业激励度不够或激励方向错误相关。高层管理者是企业发展的领军人物, 是企业创新绩效的主要责任者。故激发高管潜力是企业的必修课, 也是激活企业高效运转的关键。高管是企业重要控制权的掌握者, 高管的努力和决策对于企业创新经营方面发挥决定性作用。

创新具有高投入、高风险、周期长、结果不确定等特点, 其风险性对企业特别是对于民营企业是

一次巨大考验, 而高管风险偏好会影响高管的创新决策, 进而影响企业创新投入和创新绩效。高管对创新产品的兴趣度和意愿程度影响企业创新成果和创新产品的发展趋势和发展规模, 同时高管风险偏好一定程度上决定了产品创新程度。

综上所述, 创新的重要性、特点以及主导因素, 无一不是现在研究的热点。因此, 本文探讨高管股权和薪酬激励对企业创新绩效的影响, 并且以高管风险偏好为调节变量进一步研究其在高管激励与企业创新绩效之间的影响作用, 为企业创新绩效挖掘更深层次的影响因素。

1 理论分析与研究假设

1.1 高管薪酬激励与企业创新绩效的相关研究: 期望理论与公平理论

企业创新绩效不同于企业绩效, 企业创新绩效更关注企业经营活动中的创新, 包括创新的效率和效果。这要求企业具备一定的创新能力, 并且能够转化为创新成果。企业创新绩效可以是流程、产品、专利、技术等创新创造。

薪酬包括员工的基本工资、绩效提成、福利待

收稿日期: 2023-09-27

基金项目: 湖南省社会科学成果评审委员会课题《“三高四新”战略背景下长株潭科技人才聚集路径研究》(XSP22YBC350)。

作者简介: 易斌(1968-), 男, 湖南株洲人, 教授, 硕士研究生导师。主要从事人力资源管理与开发研究。

遇等。高管薪酬激励除了与其岗位相匹配的丰厚货币形式的激励外,更重要的是学习机会、特色福利等非货币形式的激励。

根据弗鲁姆的期望理论,要将员工期望的东西与绩效联系在一起,通过个人努力以及效价的刺激,才能促使员工发挥潜能,达成组织的绩效期望。一般而言,薪酬高低是大多数就业者的重要考虑因素,也是企业为了留住核心或优秀员工而使用的一种常见策略,更是企业绩效达成的关键因素。从高管薪酬激励水平上看,高管薪酬正向影响企业绩效,即高管薪酬激励与企业绩效之间呈同方向变动,两者是正相关关系。企业为了实现更好的创新绩效会对高管实行薪酬激励制度,高管为获得相应奖励而正向为企业创新绩效努力,企业高管薪酬激励越高,企业经营业绩越好^[1-7]。从高管薪酬激励差距上看,由亚当斯的公平理论可知,横向比较个人对于薪酬的公平与激励的感知会进一步驱动员工的工作行为。薪酬激励层次与力度需根据公司发展情况和企业人员综合素质进行差异化激励,国内学者研究发现高管与其他员工之间薪酬差距可设置适当范围,对高管薪酬实行差异化激励有利于提高企业的创新效率,且非国有控股性质企业中高管薪酬激励对创新绩效的促进作用更为显著^[8-10]。在我国不同上市公司间,虽然各企业间高管薪酬激励和创新绩效之间水平差异较大,但是对高管进行现金薪酬激励依然可以促进企业创新绩效的提升^[11]。高管的界定可以是个人也可以是团体,高管团体薪酬激励不仅有利于员工忠诚度培养,更能产生更多的新想法,从而提高企业的创新绩效^[12]。从高管薪酬激励时长来看,高管长期薪酬激励正向影响了企业再创新绩效。企业创新成果产出需要一定的生命周期,也存在一定的试错成本。故拉长高管薪酬激励周期,有助于高管关注企业长期发展,进而有利于企业产出更多更优质的创新成果^[13]。基于以上研究分析,本文提出假设1。

假设1:对高管实行薪酬激励有利于企业创新绩效的提升。

1.2 高管股权激励与企业创新绩效的相关研究:委托代理理论与管理者防御理论

股权激励是对公司高层、核心员工等以股票的形式授予一定的经济权利,常见的模式有股票期权、虚拟股票、股票增值权、业绩股票和员工持股计划等等。国内外关于股权激励与企业创新绩效的研究主要有两类观点。

第一类是认为两者呈正相关关系,受到股权激

励的高管与企业具有利益一致性,同时委托代理冲突可以通过高管股权激励进行缓解,从而促使高管与企业形成利益共同体,实现企业效益与股权激励的正相关,且滞后一期依然成立,说明股权激励不仅能提高公司当期的创新绩效也能促进下一期技术创新能力^[11-18]。从员工利益与道德风险角度上看,股权激励对企业创新绩效的影响是复杂的。股权激励可以在长时间内协调核心员工以及股东之间的关系,能有效降低企业高层道德风险发生率,把企业利益和员工利益牢牢联系在一起,推动员工积极开展创新活动,进而有效提高企业在创新方面的投入和产出^[19]。从企业成本与资源配置的视角出发,实施股权激励可以使上市公司合理配置资源,推进公司有效治理,降低代理和监督成本,使管理层和股东的目标功能一致,激励管理层积极工作,提升企业绩效和竞争力^[20-21]。

另一类观点则相反,认为股权激励负向作用于企业创新绩效。管理者防御是基于持股管理者自卫自利思想而采取相应决策或行为。为更好地发挥高管才能,也为了实现公司治理专业化,大多数公司聘请职业经理人进行公司管理。这样便产生了两权分离为特点的委托代理理论,信息和资料从所有者转移到代理人手中,新时代的发展将股权作为激励高管的重要方式产生了良好的反馈,但是同时也削弱了所有者的权益,特别是知情权和监督权,企业价值也随着股权激励比例增加而下降^[22-23]。高管利用此进行自身利益获取,不断利用职位之方便增强自身利益而损公司利益,偏离所有者财富最大化的目标,不利于企业的绩效提升^[24]。特别是在科研组织衍生企业中,高管薪酬激励对企业综合绩效存在显著正向影响,而股权激励对企业综合绩效影响不显著^[25]。对中国企业进行研究发现:随着高管股权激励的增加,高管进行公司欺诈倾向越显著,这一作用效应在国有企业更为显著,将对企业创新绩效造成严重后果^[26]。基于以上研究分析,本文提出假设2。

假设2:对高管实行股权激励不利于企业创新绩效的提升。

1.3 高管风险偏好的调节效应:前景理论和高层梯队理论

前景理论认为多数人面对获利时是确定效应,面临损失时是反射效应,处于得失判断时是参考依赖,并且具有损失效应。高管作为公司的控制者和决策的制定者,会受到外部方案收益与风险的选择影响,也会依据公司或个人目标进行风险选择^[27]。

企业创新是一项全局性的高风险活动,深刻影响企业未来发展、战略落地和财务状况。当企业进行相对于行业水平较高的薪酬并且需要承担的损失相对较小时,加之该激励能影响其职业发展。高管会进行收益-损失分析以及参考对比,在追求高职位和权力欲望时,一定程度上缓解了高风险决策时的压力,进而会努力形成企业较高的创新绩效来支持自身的权利与利益追求。基于以上研究分析,本文提出假设3。

假设3: 高管风险偏好强化了高管薪酬激励对企业创新绩效的正向促进作用。

依据高层梯队理论,心理特征的异质性将使高管做出不同的经济行为,进而导致经济后果的差异化^[28]。高管决策的影响因素例如性别、教育背景等人口背景特征并不能全面地反映高管的风险偏好等心理结构,风险偏好与其心理特征息息相关^[29]。企业创新绩效的产出,往往伴随着诸多不确定性因素,且这些因素影响性尚未可知。具有高度自信和对高薪酬或高控制权有着强烈追求的高管,更愿意承担更大风险,以期开发新产品抢占市场从而实现企业的创新优势。在其他激励条件不变的情况下,承诺的股票期权的价值越高,高管愿意承担的风险越多。但是也有部分风险规避心理的高管,他们不愿意承担任何影响他们正常心理的风险,而伴随风险的这些创新项目可能会使企业迈向新的台阶,从而对这些风险规避者进行大额薪酬与股权激励或许不合时宜甚至适得其反,浪费公司资源且不利于创新绩效的产生。倾向于在组织决策中承担风险的管理者塑造了组织的冒险氛围和积极向上敢于追求高薪酬高股权的勇气,可以影响组织中高管对冒险的共同认知,最终影响企业创新绩效^[30]。基于以上研究分析,本文提出假设4。

假设4: 高管风险偏好强化了高管股权激励对企业创新绩效的负向影响作用。

2 研究设计

2.1 样本选择与数据来源

本文从国泰安(CSMAR)数据库选取2007-2021年上市公司数据为研究样本,为保证样本数据的科学性和可用性,对其进行如下筛选处理:(1)剔除掉金融行业的样本;(2)剔除主要变量严重缺失或严重异常的上市公司;(3)剔除ST、*ST、PT类样本;(4)为不受极端值的影响,本文对所有有连

续变量进行1%和99%水平上的Winsorize处理。经上述处理后,得到7279个观测样本数据。利用Stata16.0软件完成相关检验。

2.2 变量定义

1)被解释变量:企业创新绩效(CX)。衡量企业创新效应的优良,国内学者一般用研发费用或研发投入等创新投入或者创新成果产出来进行度量。由于前些年无硬性政策规定必须披露研发投入或研发费用,亦或由于企业自身考量未向市场及时公开研发投入相关数据,所以导致某些年份或者公司存在严重的缺失值。考虑数据的连续性和可获得性,故多数学者转向以专利数量来衡量企业的创新绩效^[31-33]。故以企业当年专利总量加1取自然对数作为企业创新绩效的代理变量。

2)解释变量:高管激励从两个方面进行衡量——高管薪酬激励和股权激励。

高管薪酬激励(XJ)作为现代企业激活高端人才的重要制度,也是对高管能力的认可。一般来说,高管的薪酬高低与企业战略目标或当年主要目标息息相关。在以创新为源泉的企业,创新绩效无疑是企业的重要目标,高管越能达到期望目标,越能为企业带来创新产出,其薪酬越高^[34-35]。因此,以人均高管薪酬的自然对数为衡量标准,考察高管薪酬激励的程度。

高管股权激励(GJ)是现代企业为保持公司核心人才稳定而让渡给员工一定比例的股权的长期激励机制,近些年国内学者以是否实施股权激励政策^[36-38]和高管持股比例^[39-40]来衡量。本研究以高管持股比例作为其代理变量。

3)调节变量:高管风险偏好(FX)。高管薪酬和股权持有量越多,其面临的决策更复杂更具有不确定性。不同高管的风险偏好会影响其决策,高风险偏好的管理者更乐意拥抱高收益同时具有高度不确定性的选择,从而可能带来高绩效的基础性创新成果产出。

国内多数学者采用高管风险资产占本年度资产总额的比重来度量关键高管风险偏好。其中,高管风险资产包括应收账款、交易性金融资产、投资性房地产、可供出售金融资产、债权投资、其他债权投资和其他权益工具投资^[41-43]。故以此比重作为高管风险偏好的代理变量。

4)控制变量:为控制其他因素对研究的影响,借鉴国内企业创新绩效相关文献,将5类主要影响企业创新的变量作为控制变量。即企业业绩(YJ)、

企业成长性 (GZ)、企业年龄 (Age)、资产负债率 (FZ) 和是否国企 (SG)。同时以行业 (industry) 和年份 (year) 作为本文虚拟变量。相关变量具体定义见表1。

表1 相关变量定义表

变量类型	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	企业创新绩效	CX	专利总和加1后取自然对数
	高管薪酬激励	XJ	高管薪酬总额除以高管人员数后取自然对数
解释变量	高管股权激励	GJ	高管持股总数占企业总股数的比值
	高管风险偏好	FX	高管风险资产占本年度资产总额的比重
调节变量	企业业绩	YJ	每股收益
	企业成长性	GZ	Tobin Q值
控制变量	企业年龄	Age	公司成立年份到统计年份
	资产负债率	FZ	总负债与总资产的比值
	是否国企	SG	国企赋值为1, 否则赋值为0

2.3 模型构建

通过豪斯曼检验, 结果显示拒绝原假设, 故选用固定效应模型。为了考察高管薪酬与股权激励对企业创新绩效的影响, 构建回归模型 (1)。

$$CX_{it} = a_0 + a_1 HTJ_{it} + a_2 Controls + \delta_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

进一步, 为检验高管风险偏好对高管激励与企业创新绩效关系的调节效应, 构建回归模型 (2)。

$$CX_{it} = b_0 + b_1 HTJ_{it} + b_2 FX_{it} + b_3 HTJ_{it} * FX_{it} + b_4 Controls + \delta_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式 (1) ~ (2) 中, HTJ 表示高管激励, 即高管薪酬激励 (XJ) 和高管股权激励 (GJ); i 表示企业, t 代表年份; a_0 、 b_0 为截距项; $a_1 \sim a_2$ 、 $b_1 \sim b_4$ 为相关变量对企业创新绩效的影响估计系数; δ_i 为企业固定效应; θ_t 为年份固定效应; ε_{it} 表示随机误差项。

3 实证结果分析

3.1 描述性分析

经过实证分析, 各描述性统计结果如表2, 共计7279个样本数据。企业创新绩效 (CX) 均值为3.58, 其最大值和最小值分别为10.11和0.69, 且标准差为1.47。表明不同企业间创新绩效差异大, 创新绩效好的企业远高于平均值, 而创新绩效差的企业也大大低于平均值。高管薪酬激励 (XJ) 标准差为0.7, 最大值、最小值与均值之间差异较小, 整体呈正态分布, 这表明大多数公司采取了薪酬激励

政策。高管股权激励 (GJ) 最大值为100, 最小值为19.57, 这说明股权激励并未成为激励高管的普遍手段, 部分企业对股权激励采取观望态度。高管风险偏好 (FX) 最大值、最小值与均值之间差异也较大, 这表明高管对于风险的态度不一, 有偏好风险的, 也有保守求稳的。在控制变量中, 企业业绩 (YJ) 和企业成长性 (GZ) 中的最大值与最小值之间的差距大也反映了创新绩效的差异程度, 企业年龄 (Age) 也应证了股权激励的差异性, 即老牌大企业普遍实行较成熟的股权激励, 而小微企业股权激励对象覆盖面较小。

表2 描述性统计表

variable	N	mean	sd	min	max
CX	7279	3.58	1.47	0.69	10.11
XJ	7279	13.11	0.70	10.35	16.72
GJ	7279	61.22	17.52	19.57	100.00
FX	7279	0.17	0.12	0.00	0.86
YJ	7279	2.83	127.83	-10.71	8607.42
GZ	7279	2.15	1.47	0.69	27.34
Age	7279	23.21	40.95	5.00	2022.00
FZ	7279	0.38	0.20	0.01	1.26
SG	7279	2.75	1.50	0.10	9.37

3.2 回归结果分析

1) 基准回归结果

表3为高管薪酬与股权激励对企业创新绩效的影响回归结果。从表可知, 在加入四个控制变量以及控制年份和行业固定效应的条件下, 高管薪酬激励 (XJ) 对企业创新绩效 (CX) 的回归系数是0.7059 (列 (3)), 在1%的水平下显著为正, 证实了假设1。高管薪酬水平是其在经理人才市场上的“标价”, 也是其管理能力的直接体现。高管掌握企业重要资源且拥有重要决策权, 高管的认知与偏好会影响企业的组织决策和创新方向。在现在日益激烈的市场竞争环境中, 并且随着公司规模扩大, 企业采用高薪聘用或激活高管, 促使其发挥才干用心经营, 从而促进企业创新绩效的产生。高管薪酬激励可以减少高管束手束脚、害怕承担风险, 提高高管创新活动的动力, 从而有利于增强高管进行前瞻性决策和行动, 促使企业创新活动的开展。

在列 (4) 中, 高管股权激励 (GJ) 对企业创新绩效在1%水平下显著为负, 表明高管持股比例的增加不利于企业创新绩效的提升。证实了假设2。股权激励受制于市场环境与公司现状, 过多的股权激励反而带来适得其反的结果。究其原因, 可能是高管权力不断增大并且在其自利心理的影响下, 出现追

求企业短期利益而不顾企业可持续发展,加之创新绩效的长周期性,制约了企业创新绩效的发展。高管股权激励会增加其对公司的欺诈倾向,使其醉心于控制权之争中而忽视甚至牺牲企业发展。

表3 高管激励对企业创新绩效的影响回归结果表

	(1)	(2)	(3)	(4)
	CX	CX	CX	CX
XJ	0.7428*** (30.3595)		0.7059*** (29.3583)	0.7058*** (29.4458)
GJ		-0.0074*** (-8.0760)		-0.0058*** (-6.7869)
YJ			0.0002* (1.8289)	0.0002* (1.6805)
GZ			-0.0206* (-1.8925)	-0.0155 (-1.4218)
Age			-0.0006 (-1.5848)	-0.0007* (-1.8383)
FZ			1.3882*** (17.5629)	1.3476*** (17.0535)
_cons	-7.1596*** (-19.2432)	2.4879*** (10.4859)	-7.2818*** (-19.9940)	-6.8963*** (-18.7661)
year fe	Yes	Yes	Yes	Yes
industry fe	Yes	Yes	Yes	Yes
N	7279	7279	7279	7279
r2_a	0.2486	0.1606	0.2825	0.2869
F	73.9664	43.1846	78.4515	78.0745

注:***、**、* 分别代表在 1%、5%、10%的水平上显著;()是稳健标准误。

2) 调节回归结果

表4为高管风险偏好调节效应回归结果。在列(1)中显示结果可知,在加入高管风险偏好与高管薪酬激励的交互项后,高管薪酬激励的回归系数在1%的水平下显著为正,两者的交互项(XJ*FX)在1%的水平下显著为正,这表明高管风险偏好强化了高管薪酬激励对企业创新绩效的激励作用,证实了假设3。企业鼓励高管勇于探索新领域打开新思路,敢于面对未知,勇于承担风险,促进高管追求高薪的同时培养风险意识,帮助企业不断寻求新发展实现高管和企业新的突破和成就。

在列(2)中显示结果可知,在加入高管风险偏好与高管股权激励的交互项后,高管股权激励的回归系数在1%的水平下显著为负,两者的交互项(GJ*FX)在1%的水平下也显著为负,表明高管风险偏好强化了高管股权激励对企业创新绩效的负向影响关系,证实了假设4。高管风险会放大高管股权激励的诱惑,从而使高管追求短期盈利,放弃基础研究等一些长远发展的重要资源。进一步将股权集中在高管手中,利用信息差来掩护其自利行为,而

忽视企业创新行为的产生,不利于企业创新氛围的营造,最终抹杀了创新结果的出现。

表4 高管风险偏好调节效应回归结果

	(1)	(2)
	CX	CX
XJ*FX	2.8373*** (23.2501)	
XJ	0.7115*** (29.7120)	
FX	-37.7081*** (-23.2517)	1.9886*** (7.0616)
YJ	0.0002** (2.0191)	0.0002* (1.7140)
GZ	-0.0107 (-0.9607)	-0.0150 (-1.3780)
Age	-0.0005 (-1.3858)	-0.0006 (-1.6042)
FZ	1.4657*** (18.2224)	1.3662*** (17.3533)
GJ*FX		-0.0336*** (-8.3503)
GJ		-0.0064*** (-7.4134)
_cons	2.1077*** (9.1781)	-7.3455*** (-20.2535)
year fe	Yes	Yes
industry fe	Yes	Yes
N	7279	7279
r2_a	0.2570	0.2892
F	65.5604	76.9198

3.3 异质性检验

企业性质一定程度上影响企业的经营方式、协作方式及决策选择。为进一步探讨其影响效应,按照产权性质(SOE)取值,取1则为国有企业,取0为民营企业,这样就将7279个企业样本企业划分为2278个国有企业和5001个民营企业,结果如表5。高管薪酬激励与企业创新绩效(XJ*FX)的交互项系数不论在国有企业或者民营企业均在1%水平上显著为正,但国有企业系数为0.1326,比民营企业(0.0423)更加显著。

相比于民营企业,国有企业不必面临民营企业的经济压力,从而在高管薪酬设计上更灵活;国有企业的绩效评估和激励机制更加健全,民营企业在绩效考核上相对更加注重短期经济指标;国有企业在决策权和资源配置上往往受到国家政策和行政干预的限制,高管的行动空间相对较小。因此,高管薪酬激励成为一种重要的手段来鼓励高管在创新方面积极行动,提高创新绩效。相比之下,民营企业在决策权和资源配置上更加灵活,高管有更多的选择和机会进行创新。因此,高管薪酬激励在国有企业中的影响更加显著。

在国有企业,高管股权激励与企业创新绩效

(GJ*FX)的交互项系数在1%水平上显著为正,而在民营企业不显著。说明股权激励在国有企业运用会产生不错的激励效果,而在民营企业则无明显影响效果。

高管股权激励可以改变国有企业中传统的资源配置模式,通过激励高管参与战略决策和资源配置,以市场导向的方式优化资源配置。高管股权激励可以促使高管将资源配置更加聚焦于创新投入,提高研发和创新的投入比例,提高企业的创新能力和创新产出。国有企业通常具有复杂的所有权结构和决策层级,高管股权激励能够为高管提供与企业利益直接相关的激励机制。相比之下,民营企业的所有权结构通常更为简单,高管股权激励更容易与企业利益相对应。国有企业往往具有较大的规模和复杂的治理结构,在决策过程中存在着多利益相关者的利益冲突和博弈。高管股权激励可以增强高管对企业的责任感和归属感,提高其在决策过程中的科学性和透明度。相对而言,民营企业的决策过程较为简单和灵活,高管的责任和约束也相对较少。

表5 高管激励、高管风险偏好及企业创新绩效异质性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)
	CX	CX	CX	CX
XJ*FX	0.1326*** (5.9141)	0.0423*** (3.4168)		
YJ	0.4153*** (9.2696)	0.0004*** (3.0640)	0.4169*** (9.2610)	0.0004*** (2.9842)
GZ	-0.1778*** (-7.1303)	0.0467*** (3.4564)	-0.1747*** (-6.9452)	0.0491*** (3.6249)
Age	-0.0005 (-1.1765)	-0.0146*** (-4.0568)	-0.0005 (-1.2792)	-0.0153*** (-4.2503)
FZ	1.2358*** (7.3349)	1.6196*** (15.2477)	1.2728*** (7.5298)	1.6316*** (15.3478)
GJ*FX			0.0172*** (3.8069)	-0.0007 (-0.3097)
_cons	2.4756*** (12.1915)	2.4237*** (11.5247)	2.5162*** (12.3289)	2.5296*** (12.0566)
year fe	Yes	Yes	Yes	Yes
industry fe	Yes	Yes	Yes	Yes
N	2278	5001	2278	5001
r2_a	0.1340	0.1133	0.1262	0.1112
F	19.5388	34.6255	18.3026	33.9372

3.4 稳健性检验

1) 替换被解释变量

由于变量的选取或度量方式会引起回归结果的不稳定,故将被解释变量企业创新绩效(CX)替换为W(W为发明专利、实用新型、外观设计的汇总)。从表6的列(1)中,稳健性检验结果可知,更换被解释变量后,高管薪酬激励、股权激励与企

业创新绩效依然在1%的显著水平下相关。证实了高管薪酬激励对企业创新绩效具有正向影响作用,高管股权激励对企业创新绩效产生负向影响。基于此,对高管薪酬激励、高管股权激励与企业创新绩效三者之间的关系研究通过了稳健性检验。

2) 主要变量滞后一期

由于高管决策对企业创新成果的影响需要一段时间积累后才能充分体现,故高管薪酬和股权激励对企业创新绩效的影响作用也存在一定的滞后性。如表6,在列(2)将高管薪酬激励滞后一期后,高管薪酬激励仍在1%的显著水平下正向影响企业创新绩效,在列(3)将高管股权激励滞后一期后,高管股权激励仍在1%的显著水平下负向影响企业创新绩效。以上稳健性回归结果与原结果仍保持一致,故结果通过了稳健性检验。

表6 高管激励、高管风险偏好及企业创新绩效稳健性检验

	(1)	(2)	(3)
	W	CX	CX
XJ	0.7098*** (29.0664)		0.7891*** (23.3207)
GJ	-0.0064*** (-7.3720)	-0.0080*** (-6.6778)	
YJ	0.0002 (1.4627)	0.0002 (1.3080)	0.0002 (1.2556)
GZ	-0.0100 (-0.9020)	0.0073 (0.5043)	0.0001 (0.0038)
Age	-0.0005 (-1.4183)	-0.0009 (-1.3377)	-0.0005 (-0.8503)
FZ	1.4699*** (18.2584)	1.4412*** (12.3967)	1.3851*** (11.9014)
L.XJ		0.7641*** (22.7172)	
L.GJ			-0.0059*** (-4.9144)
_cons	-7.6763*** (-20.5037)	-7.5295*** (-14.5115)	-7.9408*** (-15.2762)
year fe	Yes	Yes	Yes
industry fe	Yes	Yes	Yes
N	7279	3777	3777
r2_a	0.2895	0.2997	0.3018
F	79.0385	47.1683	47.6317

4 结论与启示

4.1 结论

以2007-2021年中国上市公司数据为样本,基于期望理论、管理者防御理论等,研究高管薪酬激励、高管股权激励对企业创新绩效的影响及作用机制,并进一步探讨了高管风险偏好在高管激励对企业创新绩效中的调节作用,实证研究得到如下结论:

第一,高管薪酬激励对企业创新绩效具有显

著促进作用,高管薪酬激励可以通过直接的经济激励、吸引和留住具有创新能力的高管、促进企业内部激励机制和文化以及实现创新目标和战略等方式,促进企业的创新绩效。

第二,高管股权激励对企业创新绩效具有负向作用,高管股权激励可能导致高管短期利益优先、风险回避和过度关注短期绩效,从而抑制了企业在创新方面的发展和绩效表现。

第三,高管风险偏好对高管薪酬激励与企业创新绩效的关系具有正向调节作用。风险偏好较高的高管可能会更加愿意承担风险,并借此获得更高的薪酬福利,从而提高了其对企业创新绩效的关注和投入程度。风险偏好较高的高管更容易接受创新和风险较高的项目,对于企业的创新绩效具有更积极的影响。风险偏好较高的高管可能更容易调整组织结构和资源配置,为创新活动提供有利的环境和支持。同时,他们也更愿意为创新活动承担更多的责任和后果,从而提高创新绩效。

第四,高管风险偏好进一步加深高管股权激励对企业创新绩效的负向影响作用。风险偏好高的高管在股权激励下可能会加剧市场压力和短期主义思想,从而限制企业的创新能力和长期竞争力。对高管实行股权激励会降低创新活动的监督和管理力度,加上高管风险偏好,可能会导致创新活动缺乏明确的目标和策略,资源分配不合理,从而影响创新绩效的实现。

4.2 建议与启示

第一,健全薪酬激励体系,促进企业健康良性发展。建立以创新为导向的薪酬制度,薪酬制度应该与企业的创新目标和绩效挂钩,明确激励高管和员工积极参与创新活动并取得创新成果。注重薪酬的长期激励和可持续性,可以考虑设置长期薪酬激励计划,以及具有阶段性目标和奖励的长期绩效评估制度,鼓励高管和员工持续投入和挑战创新活动。强化薪酬与绩效的衡量和评估,可以通过设立创新绩效评估体系,结合定量和定性指标,全面评估个人或团队在创新活动中的贡献和成果,从而确定合理的薪酬激励水平。在薪酬体系中应该设立团队奖励机制,鼓励员工间的合作和知识共享。可以设置团队绩效评估制度,将团队的创新绩效与薪酬直接挂钩,激励员工共同追求创新目标。加强对薪酬体系的监督和调整,定期对企业薪酬体系进行评估和调整,确保其与企业的战略目标和发展需要相匹配。及时发现问题和进行修正,建立有效的反馈机制,提高薪酬体系的适应性和灵活性,从而不断

优化对创新绩效的支持和激励。同时,薪酬激励只是创新激励的一种手段,还需要结合其他创新激励机制,如培训和发展机会、创新团队的组建和管理等来全面推动企业的创新。

第二,慎用股权激励,注意引导高管风险偏好。过度或不规范地使用股权激励可能导致高管风险,因此需要谨慎使用和规范。首先,在设计股权激励计划时,需要平衡高管个人的激励目标和整体企业发展的需要,确保激励效果能够对企业产生积极影响。高管通过股权激励获得企业股份后,可能会存在行为风险,如滥用授权、谋取个人利益或削弱企业利益。其次,需要建立明确的风险控制和监督机制,通过完善的股权激励合同和特定监管措施,确保高管在股权激励下的行为符合企业利益和道德原则。必须规范股权激励方案的设计和 implementation。股权激励方案的设计和 implementation 应遵循公平、公正、透明的原则,妥善处理好高管激励和员工利益的关系。应当明确股权激励的条件和标准,如股权解锁的时间、股权分配的比例等,要确保高管在一定期限内能够实现对应的业绩目标,避免一味追求短期利益而忽视长期可持续发展。此外,还应加强对高管激励方案的披露和沟通,让员工和股东了解和监督高管的激励机制,避免造成负面影响。最后,要加强法律法规和监管的监督。政府和监管机构应加强对股权激励的监管和监督,规范股权激励的设计和 implementation,保护投资者和利益相关者的权益。

第三,强化高管责任担当,促进个人与企业共同发展。首先,高管需要树立正确的责任担当意识。他们应意识到自己作为企业的领导者,承担着推动企业发展和维护企业利益的重要责任。其次,高管需要增强风险意识并制定相应的风险管理策略。企业经营中存在各种风险,如市场风险、技术风险、财务风险等,高管应该对这些风险保持敏感,并能够做出正确的判断和决策,及时采取相应的措施来降低和应对风险。此外,高管还应注重建立透明的沟通渠道和文化,以促进团队成员的责任担当和风险意识。最后,高管还应建立开放的沟通渠道,与员工保持良好的沟通,听取员工的声音和建议,提高员工对企业发展的参与度和责任感,形成共同推动企业发展的氛围。

参考文献:

- [1] Mehrabanpour M, Rahimian N. Impact of ownership structure on performance-based management compensation and corporate performance[C]. 2015 ICGS conference, copenhagen,

- Denmarks, 2015.
- [2] 俞若安. 创业板上市公司高管激励和治理结构研究[J]. 统计与决策, 2015, 434(14): 181-184.
- [3] 邱雪林, 刘豪. 高管绩效激励、管理者能力与企业绩效[J]. 财会通讯, 2019(30): 25-28.
- [4] 葛广宇, 陈佳妮, 魏向杰. 上市公司高管薪酬激励对企业绩效的影响研究——基于服装行业上市公司样本数据[J]. 现代管理科学, 2021, 329(6): 70-79.
- [5] 檀美芳. 中国上市公司高管薪酬对企业绩效的影响研究——基于沪深A股的实证分析[J]. 全国流通经济, 2022, 2337(33): 117-120.
- [6] 赵永远. 高管薪酬、行业竞争与企业绩效[J]. 江苏商论, 2023, 460(2): 104-109.
- [7] 王军生, 负欣屹, 薛勇. 企业金融化、高管薪酬激励与企业创新[J]. 管理现代化, 2022, 42(6): 38-48.
- [8] 牛建波, 李胜楠, 杨育龙, 等. 高管薪酬差距、治理模式和企业创新[J]. 管理科学, 2019, 32(2): 77-93.
- [9] 孙琪恒, 张兰霞. 最终控制人性性质、高管-员工薪酬差距与企业创新绩效[J]. 财会通讯, 2021, 867(7): 66-69+75.
- [10] 范宋伟. 高管薪酬差距对企业技术创新绩效的影响[J]. 技术经济与管理研究, 2022, 314(9): 51-56.
- [11] 丁红燕, 孟娜. 高管薪酬、企业现金持有与创新绩效——来自我国上市公司的经验证据[J]. 甘肃科学学报, 2022, 34(3): 126-133+146.
- [12] 周空, 周莹, 应雪晴. 从想法产生到想法执行: 团队绩效薪酬对团队创新的影响机制[J]. 心理科学进展, 2023, 31(6): 944-957.
- [13] 赵胜民, 于星慧. 创新失败对企业再创新绩效的影响: 高管薪酬激励的调节作用[J]. 科研管理, 2023, 44(6): 183-192.
- [14] Jensen M C, Meckling W H. Theory of the firm: managerial behavior, agency costs, and ownership structure[M]. Corporate governance. gower 2019: 77-132.
- [15] 游春. 股权激励、董事会、TMT团队与经营绩效——基于中国上市公司的实证分析[J]. 管理评论, 2010, 22(9): 3-13.
- [16] 张丽. 高管股权激励、核心员工股权激励与企业技术创新绩效[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- [17] 鲍逸颖. 创业板上市公司股权激励、创新投入与企业绩效[D]. 南京: 南京邮电大学, 2022.
- [18] 柴欣, 虎利森. 股权激励、国际研发合作与创新绩效——基于A股上市公司的经验数据[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2023, 20(2): 71-75.
- [19] 彭英, 王佳琪, 吴敏. 股权激励与企业创新绩效: 综述与展望[J]. 经济论坛, 2023, 631(2): 117-124.
- [20] 阮鑫妍. 高管股权激励、R&D投入与企业创新绩效[J]. 科技创业月刊, 2023, 36(1): 135-140.
- [21] 贾春香, 崔杰, 郝婷. 上市公司实施股权激励对公司绩效的影响分析[J]. 中国市场, 2023, 1137(2): 88-90.
- [22] Shivdasani A, Zimmerman J L, Kothari S P. Board composition, ownership structure, and hostile takeovers [J]. Journal of accounting & economics, 1993, 16(1-3): 167-198.
- [23] DeAngelo L E. Accounting numbers as market valuation substitutes: a Study of management buyouts of public stockholders [J]. The accounting review, 1986, 41: 400-420.
- [24] Fama E F, Jensen M C. Separation of ownership and control [J]. Journal of law and economic, 1983, 26: 301-326.
- [25] 肖建华, 王若凡. 薪酬、股权与晋升, 哪种高管激励模式对科研组织衍生企业更有效?——来自我国上市公司的证据[J]. 管理评论, 2022, 34(1): 79-91.
- [26] Hass L h, Tarsalewska M, Zhan F. Equity incentives and corporate fraud in china[J]. Journal of business ethics, 2016, 138(4): 723-742.
- [27] 刘国亮, 何娟. 风险决策权重的次确定性与超确定性——基于半参数法的实验验证[J]. 吉林大学社会科学学报, 2023, 63(3): 130-143+238.
- [28] 张劲松, 李宇航. 高管团队风险偏好对上市公司研发投入的影响研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2020(2): 32-42.
- [29] Richard L P, Douglas W L, Gregory G D. Inherent limitations of demographic proxies in top management team heterogeneity research [J]. Journal of management, 1999, 25(6): 935-953.
- [30] Garc í a—Granero A, Llopis ó , Fern á ndez —Mesa A, et al. Unraveling the link between managerial risk-taking and innovation: The mediating role of a risk-taking climate[J]. Journal of business research, 2015, 68(5): 1094-1104.
- [31] 范宋伟. 高管薪酬差距对企业技术创新绩效的影响[J]. 技术经济与管理研究, 2022, 314(9): 51-56.
- [32] 尉晓亮, 张庆, 杨汉明. 企业家情怀、风险承担能力与企业创新绩效[J/OL]. 科技进步与对策: 1-10 (2023-06-07).
- [33] 刘欣萌, 李随成, 张彩林, 等. 伙伴关系对企业创新绩效的影响: 有调节的中介模型[J]. 科研管理, 2023, 44(4): 154-163.
- [34] 王军生, 负欣屹, 薛勇. 企业金融化、高管薪酬激励与企业创新[J]. 管理现代化, 2022, 42(6): 38-48.
- [35] 葛广宇, 陈佳妮, 魏向杰. 上市公司高管薪酬激励对企业绩效的影响研究——基于服装行业上市公司样本数据[J]. 现代管理科学, 2021, 329(6): 70-79.
- [36] 王新红, 曹帆. 高管股权激励与企业二元创新投资: 影响与机制[J]. 财会月刊, 2022, 938(22): 38-47.
- [37] 姜帅, 龙静. 高管股权激励影响企业技术创新的机制路径分析——基于我国民营上市公司的经验证据[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 55(3): 96-106.
- [38] 刘井建, 李惠竹, 张冬妮, 等. 高管股权激励与大股东掏空抑制研究: 大股东异质特征和制度情境的调节效应[J]. 管理工程学报, 2020, 34(3): 20-31.
- [39] 王春雷, 黄庆成. 高管股权激励对企业绩效的影响研究——

- 基于中介效应模型[J].会计之友,2020,627(3):89-96.
- [40] 刘晓倩,吴圣奎.股权激励收益是否具有劳动报酬属性之法律认定:基于149个劳动关系相关股权激励判例的类案分析[J].中国人力资源开发,2020,37(9):87-100.
- [41] 王新红,孙美娟.关键高管薪酬差距、风险偏好与企业创新——基于高新技术企业的经验数据[J].华东经济管理,2023,37(2):42-52.
- [42] 刘永丽,余增辉,张方舒.董责险、高管风险偏好与企业持续创新能力[J].会计之友,2023,708(12):62-70.
- [43] 高杨,黄明东.高管教育背景、风险偏好与企业社会责任[J].统计与决策,2023,39(10):183-188.

Research on the Influence of Executive Incentive and Enterprise Innovation Performance ——Moderating Effect Based on Risk Appetite of Executives

YI Bin, CAI Hong

(Business School, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Taking Chinese listed companies from 2007 to 2021 as samples, based on the perspective of executive risk preference, the impact mechanism of executive incentives on corporate innovation performance is studied. The results show that the executive compensation incentive has a significant effect on innovation performance, but the executive equity incentive has a negative effect on innovation performance. After the inclusion of executive risk preference, executive risk preference has a significant positive moderating effect on the impact of executive compensation incentive on enterprise innovation performance, while executive equity incentive has a significant negative moderating effect on the impact of executive equity incentive on enterprise innovation performance. Further research shows that the impact of executive compensation incentive on innovation performance of state-owned enterprises is stronger than that of private enterprises; Executive equity incentive can affect the innovation performance of state-owned enterprises, but has no significant effect on private enterprises. In this regard, we should improve the compensation incentive system, prudently use equity incentive, pay attention to guide the risk preference of senior executives, strengthen the responsibility of senior executives, and promote the common development of individuals and enterprises.

Key words: executive motivation; salary incentive; equity incentive; risk appetite; innovation performance

人才聚集助推山东黄河流域高质量发展路径设计与政策研究

邵林, 梁桂香

(齐鲁工业大学(山东省科学院) 经济与管理学部, 山东 济南 250353)

摘要: 通过山东省沿黄九市的总就业人数、R&D人员数量及经费、高校数量以及人才聚集度的数据分析, 来揭示山东省沿黄九市的人才聚集现状。并结合人才聚集推动沿黄九市高质量发展的重要性, 发现山东省沿黄九市存在高等教育发展质量不高、人才结构不合理和人才聚集政策雷同的问题。因此, 提出沿黄九市应加快济南高校人才培养, 发挥引领作用; 加快培育人才、集聚青年人才和因地制宜完善人才政策的路径设计, 并从“引、育、用、留、服”方面提出优化引才环境, 完善人才激励政策; 加强企业引才活力, 鼓励企业加大研发投入; 多途径培育人才, 引领九市高质量发展; 优化人才环境, 确保留住人才的政策机制来推动山东省沿黄九市的高质量发展。

关键词: 沿黄九市; 人才聚集; 高质量发展; 路径设计; 政策

中图分类号: F127

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0076-07

我国经济已由高速发展转为高质量发展, 二十大报告指出, 高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。发展是党执政兴国的第一要务, 并把发展质量摆在更突出的位置, 经济、社会、文化、生态等各方面都体现了高质量发展的要求。^[1]此外, 习近平总书记明确提出黄河流域生态保护和高质量发展的目标任务并将其上升为重大国家战略。^[2]习近平总书记还在二十大报告中强调, 深入实施人才强国战略, 坚持尊重劳动、尊重知识、尊重人才、尊重创造, 实施更加积极、更加开放、更加有效的人才政策。^[3]《国家“十四五”期间人才发展规划》提出了“人才引领发展”战略, “人才引领发展”是做好人才工作的重大战略要求。人才在经济高质量发展过程中具有支撑引领作用, 人才聚集是驱动城市高质量发展的重要力量。^[4-5]目前, 许多城市为引进人才促进城市高质量发展推出诸多政策, 为此研究人才聚集推动黄河流域高质量发展具有重要意义。

1 沿黄九市人才聚集现状

1.1 沿黄九市总就业人数对比分析

由表1可知山东省就业人数与总人口数比率约为0.5383, 德州、东营的就业人数占总人口比率高于山东省, 菏泽、泰安和滨州基本与之持平, 而作为省会的济南以及济宁、淄博、聊城四市就业人数与总人口数比率并不乐观, 就业有待提升。就业一定程度上反应了沿黄九市地区的民生和经济状况, 就业低体现出沿黄九市人才聚集度不高。

表1 2021年沿黄九市就业人数数据

区域	总人口数(万人)	就业人数(万人)	就业人数/总人口数
山东省	10170.00	5475.00	0.5383
济南	933.61	470.80	0.5043
济宁	833.65	425.40	0.5103
泰安	543.49	295.00	0.5428
德州	560.00	323.20	0.5771
滨州	393.01	210.50	0.5356
东营	219.50	123.30	0.5617
淄博	470.88	227.00	0.4821
聊城	592.79	283.60	0.4784
菏泽	873.24	479.40	0.5490

收稿日期: 2023-09-14

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目“山东省数字贸易营商环境测度、提升路径及对策研究”(23CJJ10); 首届(2022年度)山东省人力资源社会保障课题(2022YBKT-34); 2022年度济南市哲学社会科学研究重点课题“双碳”目标下济南市能源结构转型路径及政策机制设计研究(JNSKZZB17)。

作者简介: 邵林(1980-), 男, 山东威海人, 副教授, 博士, 主要从事区域经济与绿色金融的研究。

1.2 沿黄九市研究开发(R&D)人员数量及经费对比分析

图1是2021年沿黄九市R&D人员数量和R&D经费投入额,可以看出R&D人员数量与R&D经费投入几乎呈正相关关系,济南的R&D人员数量最多,远远高于其他八个城市。可以反映出以下两个方面:一方面济南作为省会城市,良好政策的实施以及人才聚集度较高,推动R&D人员发展和吸引。^[6]另一方面济南市产业结构调整领跑山东,各方面水平高,推动创新的发展,从而增强人才聚集度。沿黄九市的R&D人员数量占据第二的是淄博市,约为4.82万人,济宁占据第三,为4.1万人,但其经费投入仅为九市中的第五,其泰安、菏泽、聊城和东营R&D人员数均不到3万人。德州经费投入仅次于济南,R&D人员数均不到3万人,其投入与产出不符合常理。而菏泽总人口达到879.9万人,其R&D人员数量仅仅只有约1.7万人,占比1.512%。

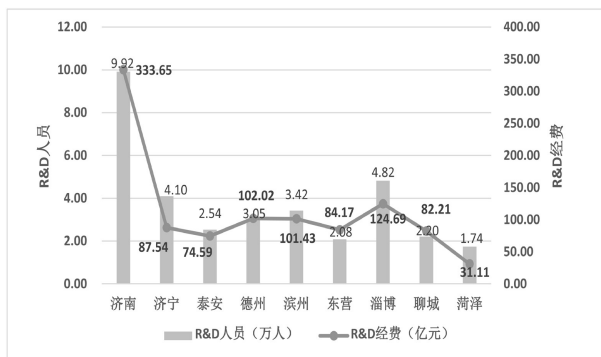


图1 沿黄九市R&D人员数量及经费支出

数据来源:山东省统计局

1.3 沿黄九市高校数量对比分析

如表2所示,沿黄九个城市除济南外,其他八个城市的高校数量均不可观,济南虽然作为山东省省

会,其地理位置有一定优势,高校数量达到四十多个,但双一流高校只有一所“山东大学”,且据近些年的数据统计,山东大学人才外流严重,学生为追求更好的发展,其毕业生就业与升学均往外省输出。因此,沿黄九市一方面要加强自身经济的发展,另一方面要提高高校教育质量,改善社会风气。

表2 沿黄九市高校数量

	济南	济宁	泰安	德州	滨州	东营	淄博	聊城	菏泽
本科	25	3	4	2	2	0	2	2	1
专科	18	3	2	2	2	1	5	1	3

数据来源:山东省统计局

1.4 沿黄九市人才聚集度分析

人才聚集度是指一个区域在一定的时间和空间里,凭借自身优势来聚集人才的能力。区域人才聚集度越高,经济发展就越好。^[7]而地区的人才聚集度可以通过多个方面来反映。在此选取山东省沿黄九市2011—2021年金融业,教育业,信息传输、软件和信息技术服务业,文化、体育和娱乐业,租赁和商务服务业以及科学研究和技术服务业六个行业从业人数占城市总人口数表示城市人才聚集度。

如表3所示,九个城市的人才聚集都均未超过0.1,只有东营和济南人才聚集度略高于其余七个城市,分别在0.07、0.09左右,且东营呈现下降趋势,济南呈现缓慢上升趋势。其余七市人才聚集度分布在0.05左右,其中2013—2018年沿黄九市的人才聚集度大多在缓慢下降,2018年以后才有所缓和,近两年来有上升的趋势。从整体来看,沿黄九市主营业务收入排在前列的轻工、化工、机械等多为资源型产业,经济发展长期依赖传统产业,产品附加值低,对人才吸引力有限。

表3 沿黄九市人才聚集度水平

时间	济南	济宁	泰安	德州	滨州	东营	淄博	聊城	菏泽
2011	0.0688	0.0604	0.0558	0.0590	0.0486	0.0864	0.0653	0.0614	0.0710
2012	0.0713	0.0547	0.0586	0.0604	0.0516	0.0809	0.0724	0.0601	0.0563
2013	0.0881	0.0461	0.0458	0.0502	0.0436	0.0698	0.0510	0.0507	0.0468
2014	0.0861	0.0464	0.0456	0.0503	0.0442	0.0729	0.0521	0.0521	0.0460
2015	0.0848	0.0434	0.0457	0.0468	0.0441	0.0709	0.0493	0.0497	0.0443
2016	0.0860	0.0422	0.0448	0.0456	0.0421	0.0682	0.0494	0.0512	0.0424
2017	0.0864	0.0380	0.0441	0.0435	0.0397	0.0665	0.0493	0.0524	0.0420
2018	0.0812	0.0401	0.0367	0.0389	0.0318	0.0620	0.0458	0.0537	0.0397
2019	0.0787	0.0437	0.0401	0.0413	0.0460	0.0676	0.0511	0.0544	0.0400
2020	0.0829	0.0508	0.0443	0.0461	0.0469	0.0670	0.0558	0.0565	0.0435
2021	0.0876	0.0519	0.0432	0.0492	0.0435	0.0631	0.0544	0.0525	0.0477

数据来源:山东省统计局

2 人才聚集推动沿黄九市高质量发展分析

2.1 人才聚集推动沿黄九市生态保护和高质量发展的重要性

1) 为新旧动能转换提供新动力

在新旧动能转换背景下,推动高质量发展不仅需要经济方面的支持,还需要人才的支撑。^[8]近年来,山东省出台人才支撑新旧动能转换20条,人才聚集和产业聚集是相伴相生的,完善的产业结构和优势可以吸引人才,而人才聚集可以为企业发展提供原动力,增强技术创新研发能力,引进更为先进的生产技术,提升企业核心竞争力,进一步推动产业的发展与升级。^[9-10]合理的人才聚集能够提高人才与产业的分配,激发各行业的创造力,推动产业结构的正确优化。促进跨部门、跨区域、跨行业的交流与发展。

2) 为科技创新提供强支撑

人才是推动高质量发展和提升创新力的关键要素。^[9]人才是技术创新的首要资源。党的十八大以来,习近平总书记多次强调,发展是第一要务,人才是第一资源,创新是第一动力。一切科技创新活动都是人做出来的。中国有几千万科技工作者和接近两亿受过高等教育或拥有专业技能的人才,这些人才都为大国重器的研发和重大创新的突破默默做出了贡献,因此,中国才能拥有现在的成就。^[11]

3) 为双招双引提供吸引力

随着人力资本的重要性日益提升,招商引资成为促进经济高质量发展的重要一环。^[12]一方面,招商计划的实施需要丰富的人力资源支撑,特别是那些具有重要支撑力、带动力和影响力的大项目对顶尖人才的需求更加迫切。另一方面,引进人才可以促进地区人才聚集效应的形成,增强企业在投资选择过程中的信心,从而提高招商引资的效果。

2.2 人才聚集推动沿黄九市生态保护和高质量发展存在的问题

1) 沿黄九市高等教育发展质量不高

山东虽然作为教育资源大省、考试大省,但山东高校资源有限,且高校质量普遍不高,其省会济南在沿黄九市中高校数量最多,但只有山东大学一所双一流高校。同时存在一定的官僚主义现象,一定程度阻碍了教学质量的提升,影响人才培养质量,导致人才外流,这也导致沿黄九市人才聚集水平并不乐观。其总就业人数、R&D人员数量、高校数量、与人才相关的六个行业从业人员测度的人

才聚集度水平也都不高,且济南近几年人才聚集水平在下降。此外,作为孔孟之乡,儒家文化的发源地,其“考大学,做大官”等传统思想让大部分的高校毕业生转向事业编、教师编等所谓铁饭碗行业。而在互联网经济大潮下,科技发展日新月异。新的经济形态不断涌出,这种守旧思想必然导致经济发展缺乏活力。^[13]

2) 沿黄九市人才结构存在问题

沿黄九市在人才结构上并不均衡,第一产业和第二产业人才短缺,创新能力和发展活力的不足影响产业结构转型。第三产业人才供给大于需求,人才和产业的矛盾较小。如图2所示,从沿黄九市三大产业从业人数占比可以看出,2016—2020年第三产业从业人数比例均高于第一产业和第二产业,且呈逐年递增趋势,而第一产业与第二产业从业人数呈下降趋势,第一产业与第二产业人员的减少可能导致农业基础不够稳固和工业制造力不够强,反之这两方面的不足又会使第一产业与第二产业的人才流出到第三产业,导致人才配置不当。产业结构的不协调以及过度依赖高耗能高污染企业,导致山东省济南市多次在中央环境评估排名位居全国诸多城市后面,这表明沿黄九市人才环境需要优化,也体现出沿黄九市人才培养与产业需求有脱节情况。人才供给的结构性短缺反映出沿黄九市有很大的提升空间,需要完善高校的课程设置来提升理论与实践的匹配度。

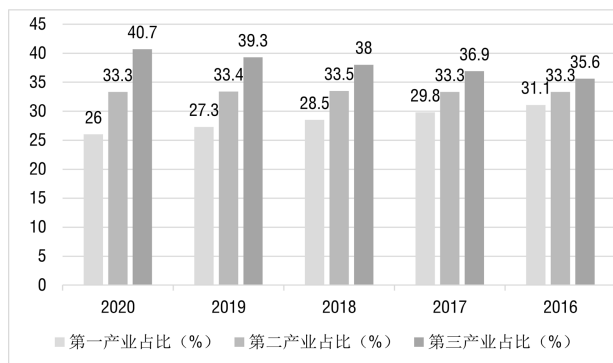


图2 沿黄九市三大产业从业人数占比

数据来源:山东省统计局

3) 沿黄九市人才聚集政策雷同

目前,沿黄九市各地对人才的政策繁多但差异并不明显,尽管各级政府不断加强引才力度以及出台一系列的引才计划^[14],但是地方政府的人才聚集政策缺乏合理规划,没有根据当地人才需求制定相应政策,导致人才集聚与产业发展的匹配度不高,从而出现部分人才没有实现效用最大化,高投入造成低产出,造成人才浪费的现象。^[15]此外,沿黄九市政策工

具较单一,主要依靠经济手段即强调物质保障进行引才,方式、待遇极其相似导致区域之间人才恶性竞争,且均在人才发展软环境方面缺乏力度。加上人才外流严重,主要是因为山东,公务员、教师、医生职业的热度只增不减,由于省内考公考事业编竞争太激烈,现在大批年轻人奔赴外省考试。^[16]还有临沂和枣庄受南方等地的影响,经商氛围较重,一部分人往北上广深苏等一线城市落户经商。

3 人才聚集推动沿黄九市高质量发展的路径分析

人才聚集对沿黄九市生态保护和高质量发展的影响存在差异性,各个城市在不同的地理位置、不同的经济发展水平等因素的影响下,城市人才聚集规模和效应表现出差异性。沿黄九市要因地制宜根据各市的的城市特点,总体定位,确立自己的发展重点。

3.1 沿黄九市因地制宜完善人才政策

黄河流域横跨山东省九个城市,济南作为山东省省会在综合经济实力、科技创新能力、工资待遇、就业机会、交通等方面均优于其他八个城市,较其他城市更容易吸引人才,更应注重提高人才聚集效应来促进生态保护和经济高质量发展。^[17]基于沿黄九市发展的异质性问题,鼓励各市按照属地原则,制定相关的人才发展政策。^[18]沿黄九市中济南、淄博、泰安三市处于山东政治、文化、历史中心区,鲁中地区人口、产业都相对密集,近年来不断发展以济南为中心建设的省会经济圈,人才竞争激烈背景下鲁中三市应该优化创新人才政策,大力聚集紧缺产业人才。淄博集聚新能源、智能化等人才,以布局新能源电池以及新能源汽车、智能卡及微机电等未来行业。而处于鲁南地区的菏泽、济宁,鲁北地区东营、滨州、德州,以及处于鲁西的聊城应找准自身发展定位,引进经济发展所需要的人才,壮大新能源、生物医药、高端化工等传统产业,打破原有壁垒,灵活制定人才政策,为人才聚集提供良好的制度保障,用具有竞争力的人才政策激发人才的创造潜能。

3.2 加快培育人才,集聚青年人才

青年人才是国家战略人才力量的源头活水,各地市按照自身物价水平,降低高校学生的生活成本,对于硕士博士留在本地工作的人才给予生活补助与住房补贴,对于签订合同的高校人才再予以额外财政支持来留住城市高校人才。同时,强化各市青年人才发展的支持,各市适当提高科学基金比例,对于有困难

的高校生加强财政支持。沿黄九市全面落实人才引进计划,大力支持现代优势产业集群聚集青年人才,重点引进高水平的青年人才和专业技术人员,并要求各职能部门做好相关组织工作。从鼓励青年科研人员从事基础科学研究、加强青年科技人才团队培育、支持青年科技拔尖人才开展关键核心技术攻关等方面出台措施,积极构建支持青年科技人才创新创造的良好机制。省科学技术奖也增设了青年科技杰出贡献奖,加大对青年科技人才荣誉激励,鼓励青年科技人才快速成长。

3.3 加强济南高校人才培养模式,发挥引领作用

沿黄九市中济南作为山东的省会也是九市中高校最多的城市,要构建多样化人才培养模式,发挥领头作用。各高校要以“教育要走在发展前面”为基准,调整专业设置和培养目标适应当地社会经济发展。按照教育部的要求,调整专业的培养方案和培养途径,使人才培养模式更加协调,提高人才培养质量与人才培养目标的匹配度。^[19]加强管理制度以确保人才培养模式的顺利实施。在课程方面,应优化课程内容,完善课程形式,构建科学的课程体系,强调厚基础、宽口径、重特色的发展原则。这不仅有利于培养高素质的创新人才,同时也可以激发学生的学习热情和兴趣。

4 人才聚集助推沿黄九市高质量发展的政策协同机制分析

4.1 优化引才环境,完善人才激励政策

1) 完善政策支持

在人才发展规划中紧跟国家要求,制定党管人才、人才优先、服务发展等指导方针。各地方政府要树立正确的人才观念,做好政策引导、协调和辅助工作,把人才发展放在重要的位置。政府作为公共管理的核心主体,要重视人才工作,做好人才引进和激励的相关工作。

目前各大城市物价上涨,引才的竞争日益激烈,需要的资金更雄厚,人才引进与人才奖励息息相关,物质有保证,人才才有期望,打造人才吸引品牌,沿黄九市要把人才工作摆在各市发展的核心位置,出台更全面和更具吸引力的激励政策。由市政府领导班子带头组成人才工作小组统筹协调和全面推进人才引进工作,并做好政策制定、宣传、执行和落实。同时强化政策激励作用,制定非山东籍人才政策、创业人才帮扶政策,完善人才入山东政策,加大海外人才政策支持。

2) 完善基础设施建设

优化“硬”、“软”环境,是实现人才集聚的关键。习近平总书记在党的十八大中强调人才环境建设对人才发展具有重要作用,要加快建立人才引进环境和人才培养环境,提高人才吸引力。优化“硬”环境就是要求有完备的现代化公共设施、较多的受教育机会、丰富的物质文化生活、优越的医疗保健条件、发达的物流体系、密布和开放的交通运输网络、便捷的科技信息资源,这些为人才提供舒适的日常生活环境。引进人才需要改善生活环境、提高公共基础设施密度。优化“软”环境,要营造宽松氛围,优化政策、用人、创新等环境,吸引优秀人才。同时要提升区域文化内涵,保留原有传统文化底蕴,融入外来文化,推动区域文化不断进步。另外,在文化交流过程中,要构建结构合理、优势互补的高端人才队伍,完善文化产业链条,创造并维护符合人才需求的就业氛围与人文环境,增强高端人才的归属感和获得感,支持人才实现自我价值。

4.2 加强企业引才活力,鼓励企业加大研发投入

1) 发挥企业引才主导作用

企业是人才聚集的载体,发挥企业引才主导作用,对于企业的引才政府应加大支持力度。同时,企业需要及时公布薪酬制定的依据,避免员工盲目攀比;细化工作岗位,从而产生更多的就业机会以吸引更多的高端人才。企业还应构建一个全面、公正的人才评估和激励体系,以业绩贡献和实际能力作为核心衡量标准,来确保各个岗位都是由具备相应能力的人来担任。在此基础上,政府可以对企业进行适度的扶持,以壮大那些具有发展潜力的企业,进而创造更多具备竞争力的岗位。还要积极引进博士后人才,建立博士后研发基地与交流平台,并及时向企业公布人才信息,促进企业与博士后科研团队的结合。

2) 重视企业海外引才工作

提倡企业扩大人才队伍,支持企业在省、市、国外设立协同创新中心和离岸创新基地。对于全职聘用的人才,享受与在鲁人才相同的政策待遇。同时,建立技术创新中心,定期举办专场招聘会和国际交流会议,以吸引更多人才。通过中国国际人才交流大会和其他网络平台发布人才引进信息,吸引海外优秀人才的注意力。企业相关部门做好追踪,积极与海外人才联系,欢迎他们到本市就业,推动技术人员的聚集。

4.3 多途径培育人才,引领沿黄九市高质量发展

1) 促进高校产教融合

培育高校人才,使其更符合地区市场需求。一是加快推进新工科、新医科、新农科、新文科的建设,增设文理、理工、医工等跨学科专业。主动布局设置物联网、大数据、智慧医疗、人工智能等一批科技前沿和新兴交叉专业,并优先考虑中医学、临床药学、家政服务、康养等社会急需紧缺的“四新”专业。在资金投入和招生指标等方面,给予这些专业一定的倾斜,以培养出更多能够满足新兴和交叉产业发展需求的人才。二是打造高水平职业院校和专业群。对接“十强产业”,优化调整专业布局,健全产业对接、动态调整、自我完善的发展机制,促进人才培养供给侧和产业需求侧结构要素的融合。三是实施职业教育和特色院校建设计划,在沿黄九市的主要高校中推行以产业需求为导向的人才培养新模式。积极推动校企合作,引导企业和高校联合培养人才。通过采用科教融合、产教结合等方式,高校应积极与当地企业合作,共同建立人才培养和实践基地。通过产学研结合的方式,满足企业对人才的需求。改革办学体制,提升教育质量。中央一直强调教育质量的改进,并倡导坚持改革创新,深化体制机制改革,将质量教育纳入教育体系。在这样的背景下,沿黄九市必须重视提高教育质量,转变传统教育观念,树立创新教育发展理念。

2) 加强企业职业技能培训

当前职业技能培训是全面提升劳动者就业创业能力、缓解就业结构矛盾的重要举措,是培育经济发展新动能的内在要求。习近平总书记对职业技能培训工作多次给出重要指示批示,要求完善技能人才培养、使用、评价和激励机制,积极发展技工教育,广泛开展职业技能培训,加快培养大批高素质劳动者和技术技能人才。李克强同志强调,要建立并推行终身职业技能培训制度,提高劳动者素质、促进高质量发展。企业需要建立健全高端人才培养机制,积极发展技工教育,大力实施职业技能提升行动,创新企业稳岗扩岗以工代训政策,全面推广“互联网+职业技能培训”模式,为公司培养大批高素质的员工。企业要与高校紧密合作,提高企业人员的专业知识和技能水平,增强公司的人才竞争力。建立校企互帮互助的良性机制,以更好地推动公司人才培养和事业发展。

4.4 优化人才环境,确保留住人才

1) 建立良好的生态环境和人才竞争环境

沿黄九市应以黄河流域生态保护和高质量发展

等重大国家战略为依托,加快产业结构调整,严格控制能耗和污染高的产业,树立环保、生态和可持续发展新理念。保护原生态的农业和绿化用地,对于经济效益差、产能低下的企业可以关闭,对于高度依赖的传统行业要在符合生态环保的条件下推动产能的发展。对于污染物和固体废弃物处理等监管不到位的问题要进一步明确整改方案,确保责任分工明确,措施到位。

吸引并留住人才,必须创造良好的人才竞争环境。这包括优化人才的经济环境、工作环境、生活环境、体制环境、法制环境、人文环境等。好的环境能够促进人才的聚集和成长,进而形成明显的人才优势。相反,恶劣的环境会对人才的聚集和成长产生负面影响,难以体现人才优势。对于沿黄九市而言,要吸引优秀的人才,必须创造良好的人才竞争环境。社会上应该提倡尊重知识、重视人才、鼓励创新的社会价值观,以激发社会人才的创新活力并培养更多高素质的人才。

2) 提供优质的人才服务环境

在新旧动能转化背景下,强化顶层设计,促进产能结构调整和新旧动能的转换,优化人才发展环境,转换发展思路,做好产权转化,发展互联网、大数据产业,为人才创造更多的创业就业环境。

沿黄九市应该注重改善人才服务中心的服务设施,为人才提供便捷的、综合的一站式服务,有效解决人才的各种问题。另外,建立人才数据库,定期与各类人才进行交流互动,帮助解决人才引进后所面临的各类困扰,并提供后续工作支持和简化入户手续办理流程。最后,需要高度关注和重视与待遇相关的工资福利、职位评定、岗位晋升等问题,提供相应的扶持。并且协助解决配偶及子女的随迁问题以及子女的入学问题等。

5 结束语

人才聚集对山东黄河流域发展具有很大推动作用,在黄河流域生态保护和高质量发展的目标任务上升为重大国家战略的背景下,依据沿黄九市的人才聚集现状,设计差异化路径推动沿黄九市生态保护和高质量发展。希望能为其他城市人才聚集推动高质量发展提供措施依据,为推动黄河流域生态保护和高质量发展提供一定的启示。

参考文献:

[1] 石碧华. 黄河流域高质量发展的时代内涵和实现路径[J].

理论视野, 2020(9): 61-66.

- [2] 秦华, 任保平. 黄河流域城市群高质量发展的目标及其实现路径[J]. 黄河流域生态保护和高质量发展专题, 2021(6): 26-37.
- [3] 金小琴, 康莹. 高质量发展背景下四川黄河流域生态治理路径研究[J/OL]. 人民黄河: 1-4[2023-06-22].
- [4] 金海燕, 刘宵, 李佩. 中国城市人才聚集的时空演化特征及影响因素研究[J/OL]. 世界地理研究: 1-16[2022-10-25].
- [5] 沈浩, 张国营, 于飞. 聚集高层次人才, 赋能高质量发展[N]. 云南日报, 2022-07-29(8).
- [6] 赵晨, 薛晔, 牛冲槐, 等. 我国科技人才空间聚集及时空异质性研究[J]. 统计与决策, 2020, 36(14): 60-64.
- [7] 王聪, 周立群, 朱先奇, 等. 基于人才聚集效应的区域协同创新网络研究[J]. 科研管理, 2017, 38(11): 27-37.
- [8] 温跃, 赵小亮. 山东金融业: 推动新旧动能转换助力经济高质量发展[N]. 金融时报, 2022-10-14(3).
- [9] 于斌斌. 区域一体化、集群效应与高端人才集聚——基于推拉理论扩展的视角[J]. 经济体制改革, 2012(6): 16-20.
- [10] 单娟. 山东省科技人才聚集对区域创新效率的影响研究[J]. 纳税, 2019, 13(16): 291-292.
- [11] 韩婷, 陈明. 人才竞争下R&D经费投入与区域创新发展关系研究——基于动态空间杜宾模型的实证分析[J]. 河南财政税务高等专科学校学报, 2021, 35(1): 1-6.
- [12] 张宏伟, 吕文媛, 胡亚君. 高质量人才引领经济高质量发展的调研思考与路径分析[J]. 山东干部函授大学学报, 2022(1): 40-44.
- [13] Zhang Z, Wang M G, Xu H, et al. Research on the co-movement between high-end talent and economic growth: A complex network approach [J]. Physica A: statistical mechanics and its applications, 2018(492):1216-1225.
- [14] 赵永乐. 建立与经济社会发展需求相适应的人才需求预测与调整机制[J]. 中国人才, 2015(19): 52-53.
- [15] 李宏宇, 张汝飞, 李军帅. 京津冀“创新三角区”科技人才集聚及空间溢出效应[J]. 商业经济研究, 2022(6): 164-167.
- [16] Zhou Y, Guo Y Z, Liu Y S. High-level talent flow and its influence on regional unbalanced development in China[J]. Applied geography, 2018(91): 89-98.
- [17] 王全纲, 赵永乐. 全球高端人才流动和集聚的影响因素研究[J]. 科学管理研究, 2017, 35(1): 91-94.
- [18] 王崇锋. 山东半岛蓝色经济区科技人才聚集效应实证研究[J]. 科技管理研究, 2014, 34(12): 100-105.
- [19] 李蕊. 中国省际R&D溢出及其经济增长效应研究[D]. 郑州: 河南财经政法大学, 2021.

Talent Gathering to Promote High-Quality Development in the Yellow River Basin of Shandong Province: Path Design and Policy Research

SHAO Lin, LIANG Guixiang

(Department of Economics and Management, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Science) ,
Jinan Shandong 250353, China)

Abstract: Through the data analysis of the total number of employment, the number of R&D personnel and expenditure, the number of universities and the degree of talent concentration in nine cities along the Yellow River in Shandong Province, the current situation of talent concentration in nine cities along the Yellow River in Shandong Province is revealed. Combined with the importance of talent gathering to promote the high-quality development of the nine cities along the Yellow River in Shandong Province, it is found that there are some problems such as low quality of higher education development, problems in talent structure and the same policy of talent gathering in nine cities along the Yellow River in Shandong Province. Based on the problems, it is suggested that they should speed up the talent training of Jinan universities and play a leading role. Accelerate the cultivation of talents, gather young talents and improve the path design of talent policy according to local conditions. From the aspects of “introduction, education, use, retention and service” , it is proposed to optimize the environment of talent introduction and perfect the talent incentive policy. Strengthen the vitality of enterprises to attract talents and encourage enterprises to increase investment in research and development; Cultivate talents in multiple ways to lead the high-quality development of the nine cities; Optimize the talent environment and ensure the policy mechanism to retain talents to promote the high-quality development of the nine cities along the Yellow River in Shandong Province.

Key words: nine cities along the yellow river; talent gathering; high-quality development; path design; policy

山东数字经济测度及其分布的动态演变研究

梁超

(德州学院 经济管理学院, 山东 德州 253023)

摘要: 数字经济已上升到国家战略, 数字技术赋能制造业成为山东省新旧动能转换的重要引擎。利用2014–2021年数据研究了山东省16个地区的数字经济发展水平, 从数字经济发展基础、互联网发展水平、数字交易水平三个层面采用NBI指数构建了山东省数字经济指数。结果表明: 山东数字经济发展水平逐年提高, 有2个城市为数字经济高发达地区、3个城市为中发达地区、9个城市为低发达地区、2个城市为欠发达地区。通过核密度函数考察数字经济分布的动态演变可知: 山东省数字经济水平不断提高, 各地区数字经济指数差异逐年减少。

关键词: 数字经济; 动态演变; NBI; 核密度函数

中图分类号: F49

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0083-05

0 引言

党的二十大报告和国家十四五发展规划将数字经济提升到国家发展战略的高度, 促进数字经济和实体经济深度融合是数字经济发展的主要目标。数字经济发展对社会的生产方式、消费模式、服务方式和营销模式产生了重大影响, 数字经济突破了地理位置的阻隔和市场割裂的束缚, 加快了区域间要素流动的速度和优化了区域间要素配置效率, 使区域经济发展趋向于经济收敛。区域间数字经济基础设施发展存在差异, 表现为区域间数字经济发展水平的差异。分析区域数字经济发展差异, 把握数字经济发展的特征, 是抢抓数字经济发展机遇, 助力山东区域经济协调高质量发展, 落实习近平总书记对山东“三个走在前”工作发展的重要保障。

山东省全面贯彻国务院制定的《“十四五”数字经济发展规划》, 并落实和制定实施了《“十四五”数字强省建设规划》、《关于深化改革创新促进数字经济高质量发展的若干措施》等文件要求, 按照“两年重点突破瓶颈、五年跨越高质量发展”战略目标, 制定了山东数字经济发展的重大战略。现今, 山东数字经济发展的趋势迅猛, 数字经济基础发展优势明显, 数字经济

产业持续优化。但山东数字经济发展中存在亟需解决的以下问题。(1)数字经济与实体经济没实现深度的融合。实体企业数字化转型比较缓慢, 跨行业融合存在不足、不深的问题;(2)数字经济的竞争优势明显不足, 高端产业的布局不合理, 在全国有影响力的龙头企业比较少;(3)数字经济企业创新能力明显不足, 数字化的平台企业、数字赋能的新业态发展处于起步阶段, 数字化企业的创新能力还有很大的潜力;(4)数字经济区域发展不均衡, 根据2022年《数字中国发展报告》, 山东省城市间数字经济发展水平参差不齐, 发展十分缓慢;(5)全省数字经济发展亟需人才, 山东不仅缺乏数字经济领域的高端人才, 还缺少产业发展的复合型人才。

本文利用国际上权威的衡量信息化发展水平的指标-网络化准备指数(Network Readiness Index, NRI)测度山东数字经济发展的水平, 考虑到区域间发展水平的差异, 利用核密度函数衡量山东区域间数字经济发展的差异。

1 研究动态

1.1 数字经济测度的相关研究

收稿日期: 2023-09-12

基金项目: 山东省社科规划研究专项项目《乡村振兴战略背景下山东省数字经济驱动共同富裕实证研究》(22CSDJ02)的阶段性成果之一。

作者简介: 梁超(1976–), 男, 山东德州人, 德州学院经济管理学院, 副教授, 经济学博士, 主要从事国际贸易理论与政策、数字经济的研究。

目前国内外学者对数字经济的测度进行了大量的研究,大致分为四种测度方法:国民经济核算方法、数字经济增加值方法、卫星账户构建方法、指数编制方法。以上四种方法处于探索阶段,不同学者对数字经济规模的测算范围和结果都存在较大差异。刘军等(2020)从信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个视角测度了数字经济的发展^[1]。王军等(2021)利用熵权法从数字经济发展载体、数字产业化、产业数字化及数字经济发展环境测度数字经济的发展^[2]。盛斌等(2022)从数字基础设施、数字产业和数字治理三个方面测度了数字经济发展指数^[3]。李春娥等(2023)从数字软硬件基础设施、产业数字化、创新驱动环境和数字通信业务量4个维度构建我国数字经济发展水平综合测度指标体系,采用熵值法和“厚今薄古”法计算各指标和年份的权重,对我国各省份数字经济发展水平进行测算和分析^[4]。李洁等(2023)基于新发展理念构建数字经济评价指标体系,应用综合加权TOPSIS法测度数字经济发展水平,运用核密度、Dagum基尼系数及ESDA解析数字经济的时空演变特征^[5]。章秀琴等(2023)依据城市层面构建数字经济发展水平测度指标体系,运用熵值法测度其数字经济发展水平^[6]。本文借助樊纲等(2003)^[7]和张彬等(2017)^[8]的研究,利用信息化水平指数与世界经济论坛构建的网络化准备指数(NBI)测度山东省地级市数字经济发展指数。

1.2 分布动态演变相关研究

研究区域经济分布的动态演变差异一般方法主要包括Dagum基尼系数, Moran's I指数、 δ 收敛系数等方法^[3],另外,用泰尔指数研究区域间、区域内数字经济发展水平的差异^[9]。核密度估计(Kernel Density Estimation,简称KDE)属于非参数统计方法,用于估计数据样本的概率密度函数,核密度函数的基本原理为:在概率分布已知的情况下,如果某一个数在样本中出现了,认为这个数的概率密度很大,和这个数距离比较近的数的概率密度也会比较大,而离这个数远的数的概率密度会比较小。本文采用非参数Kernel密度方法估计山东省区域数字经济发展的差异水平。

2 数字经济发展水平指标构建、测度与分析

2.1 数字经济指标体系的建构

1) 指标体系建立。本文在数字经济内涵定义

的基础上,从数字经济载体、互联网发展水平、数字交易水平三个维度构建数字经济指标^[10, 11]。

2) 数据来源。样本数据主要来源于山东统计局官网和《山东统计年鉴》。

表1 山东省数字经济发展水平指标体系

指 标	变 量	单 位	属 性
数字经济发展基础	互联网宽带接入用户	万户	正向
	移动电话数	万户	正向
	电信业务总量	亿元	正向
	每百人使用计算机数	台	正向
互联网发展水平	每百家企业拥有网站数	个	正向
	电子商务交易活动企业数	个	正向
数字交易水平	电子商务销售额	万元	正向
	电子商务采购额	万元	正向

3) 数据处理。考虑到数据的连续性和可得性,选取山东省2014-2021年为研究样本区间,样本为除莱芜以外的16个地级市。

2.2 数字经济发展水平综合指数的测度方法

数字经济综合指数需要将表1中八个指标变量无量纲化,也需要对其相关指标赋予相应的权重。从现有文献来看,赋权法主要包括主观赋权法和客观赋权法,主观赋权法是对指标的重要性判断给予赋权的办法,如主成分法,层次分析法等^[12]。客观赋权法是对原指标进行赋权,如熵权法,极差法等。为了方便指数之间的比较,本文采用线性无量纲法进行数据标准化^[1, 7]。

$$y_i = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i}, 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

其中 $\max x_i$ 和 $\min x_i$ 分别代表指标中的最大值和最小值。

考虑到公式(1)无量纲后有零项指标,因此将各指标进行相应的平移,由于所选取的指标都是正向指标,参照张彬(2007)和世界经济论坛构建的网络化准备指数(NBI),计算如下:

$$y_i = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \times k + q, 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

考虑到数字经济跨年度的可比较性,本文以2014年为基期,对指标进行标准化处理,使其能反映数字经济指数的发展变化,选定合适的k和q,参照计算方法如下^[1]:

$$y_i = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \times 6 + 1, 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

通过公式(3)的处理后,所有数字经济指数在1-7之间,从而反映了数字经济指标随时间变化的发展状况。

在权重选择问题上,本文借鉴NBI指数权重确定方法进行赋权。

每级指标权重 = 1 / 该级指标的个数；每个二级指标的权重 = 每个指标所属二级指标分权重 * 该指标所属一级指标分权重。

确定权重后，采用线性加权的方法计算数字经济指数（DEI），公式可表示如下：

$$DEI_{it} = \sum_{j=1}^8 x_{itj} \times w_j \quad (j=1,2,\dots,8) \quad (4)$$

其中，j 表示标准化后的二级指标，w_j 表示第 j 个二级指标相对于数字经济指数的权重。

3 山东省16个地级市数字经济指数测度和分析

为了全面分析2014-2021年山东16个地级市数字经济发展水平，对选取样本，利用NBI方法，测算出2014-2021年各地级市数字经济指数和2014-2021年各地级市数字经济平均指数，并从两个方面进行分析。

3.1 2014-2021年山东16个地级市数字经济发展指数

表2 2014-2021年山东16个地级市数字经济发展指数

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
济南	2.8857	3.0179	3.2725	3.4316	3.8514	3.9050	4.2526	4.0724
青岛	2.7993	3.0527	3.7656	4.6824	5.6820	5.0214	5.4442	5.8680
淄博	1.7336	1.8210	2.2820	2.3548	2.5304	2.5403	2.4684	2.4198
枣庄	1.3875	1.4400	1.5218	1.4570	1.6085	1.7995	1.8511	1.8024
东营	1.8830	2.0144	2.0242	2.0592	2.2544	2.2546	2.2933	2.1375
烟台	2.0804	2.1176	2.4213	2.5220	2.8078	3.1453	3.3146	2.9440
潍坊	2.2824	2.3875	2.5364	2.6713	3.0066	3.1709	3.3919	3.1832
济宁	1.9012	1.9778	2.1731	2.2911	2.3036	2.4084	2.5574	2.3153
泰安	1.4542	1.4835	1.5478	1.6319	1.8538	2.0157	2.0730	1.8792
威海	1.5724	1.5980	1.6176	1.6254	1.7720	1.9746	2.1362	2.0482
日照	1.8662	1.8847	1.8888	1.9267	1.9258	1.9074	1.9573	1.8651
临沂	1.9291	2.0416	2.1925	2.2876	2.5581	2.8118	2.9795	2.4722
德州	1.5340	1.6162	1.7059	1.7234	2.0021	2.1619	2.2651	2.2014
聊城	1.5113	1.5868	1.6346	1.6910	1.8748	2.0538	2.1294	2.0175
滨州	1.7043	1.6905	1.7829	1.7984	1.9006	1.9445	1.9478	1.8695
菏泽	1.5373	1.6474	1.7021	1.8382	2.1213	2.3470	2.5249	2.2806

3.2 2014-2021年山东省数字经济年平均指数

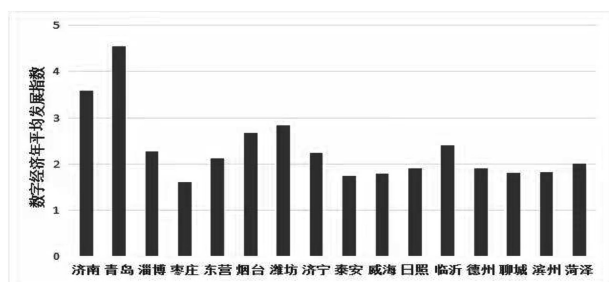


图1 2014-2021年山东省数字经济年平均指数

从图1可以看出，山东16个地级市的数字经济指数发展存在差异，济南、青岛数字经济发展水平明显高于其他地区，潍坊、临沂和烟台处于发展的第二梯队，其它地市的数字经济发展差异不大。为了

更精确地分析16个地级市的数字经济发展水平，我们按照数字经济年平均指数划分为四类：数字经济高度发达地区、数字经济中等发达地区、数字经济低发达地区和数字经济欠发达地区。参照刘军等^[1]的分类办法，数字经济高度发达地区是山东省数字经济年平均指数的1.5倍以上，中等发达地区是全省平均水平以上，低发达地区是全省平均水平的0.75倍，其余的都是数字经济欠发达地区。其结果如表3。

表3 山东省2014-2021年区域数字经济发展分类

数字经济高度发达地区	青岛 (4.5395) 济南 (3.5862)
数字经济中等发达地区	潍坊 (2.8288) 烟台 (2.6691) 临沂 (2.4091) 淄博 (2.2688) 东营 (2.1151)
数字经济低发达地区	济宁 (2.2410) 威海 (1.7930) 日照 (1.9027) 德州 (1.9012) 聊城 (1.8124) 滨州 (1.8298) 菏泽 (1.9999)
数字经济欠发达地区	枣庄 (1.6085) 泰安 (1.7424)

注：括号内的数值为2014-2021年山东省地级市数字经济年平均指数；山东省年平均数值为2.3279。

从表3可以看出，有5个地级市高于山东省数字经济的平均水平，这五个城市都是数字经济发展领先的地区，这与城市经济发展水平相符。同时，还有11个地级市的数字经济发展水平低于全省平均水平，这表明全省数字经济发展水平处于不均衡的态势，绝大部分城市的数字经济发展水平比较低。

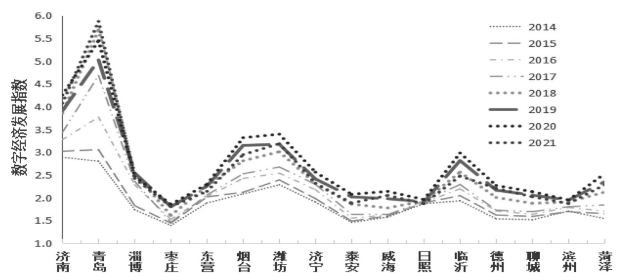


图2 2014-2021年山东省各地级市数字经济指数

为了更直观形象地反映全省各地市的数字经济发展水平，图2为各地级市的数字经济发展指数，从图2可知，各地区数字经济增长差异比较大，济南、青岛表现的尤为突出，烟台、潍坊和临沂增速较高，其余城市的增速比较平均，这与地区的数字经济发展基础密切相关。

4 核密度估计

核密度估计 (kernel density estimation) 是非参数检验方法，在经济分布动态演进问题研究中应用广泛，是根据输入要素数据计算整个区域的数据集聚状况，从而产生一个连续的密度表面。

Kernel 密度函数值的估计量为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{y_i - y}{h}\right)$$

其中, n 为研究区域个数, $i=1,2,\dots,n$, h 为窗宽(bandwidth), $K(\cdot)$ 是随机核估计核函数, 是一种加权函数或平滑函数, 主要包括正态核(高斯)、三角核和四次核等类型。本文利用经济增长理论中的收敛特性, 估计山东省数字经济发展水平演变的收敛特性。

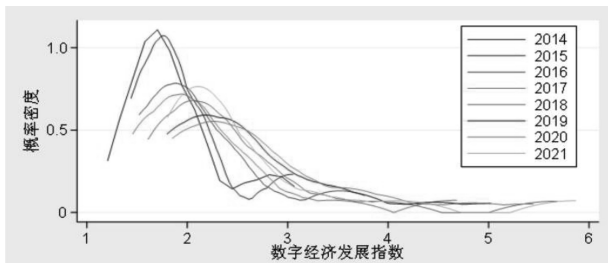


图3 山东省2014-2021年16地级市数字经济发展水平核密度图

从图3看出, 从2014-2021年核密度函数向右移动, 表明山东省数字经济水平不断提高, 从分布形态看, 核密度右尾逐年拉长, 表明各地区数字经济指数差异逐年减少, 2014-2015年出现多峰形态, 表明这两年数字经济发展水平分化严重, 2016-2021年逐步过渡到单峰, 表明数字经济发展水平分化现象减弱。核密度图水平宽度减小、波峰数量减小, 表明其核密度趋于向数值减小的方向移动, 地市之间差距呈缩小态势, 存在动态收敛性特征。

5 分析结果

本文利用2014-2021年数据研究了山东省16个地级市的数字经济发展水平, 从数字经济发展基础、互联网发展水平、数字交易水平三个层面利用NBI指数构建了山东省数字经济发展指数。结果表明: 山东数字经济发展水平逐年提高, 济南、青岛2个城市为数字经济高度发达地区, 潍坊、烟台和临沂3个城市为中等发达地区, 淄博、东营、济宁、威海、日照、德州、聊城、滨州和菏泽9个城市为低发达地区, 枣庄、泰安2个城市为欠发达地区。通过核密度函数考察了数字经济分布的动态演变, 结果表明: 山东省数字经济水平不断提高, 各地区数字经济指数差异逐年减少, 山东省数字经济发展区域差异逐渐缩小, 数字经济发展收敛趋势明显。

6 政策建议

6.1 加快数字经济不发达地区的信息网络基础设施建设

加强政府政策规划和政策协调, 加快建设城市5G网络, 依次按照热点区域—主城区—县城重点区域的次序建设, 优先建设中心城区、重点产业园区、重点旅游区、重点交通干线、重要交通枢纽场所及各地市区重点区域5G网络覆盖。加快推动5G商用和工业规模应用, 加快推动物联网建设, 推动物联网与工业制造、农业生产、公共服务、应急管理深度融合, 增强固移融合、宽窄结合的物联接入能力。

充分发挥数字基础设施的压舱石作用, 全面升级数字经济不发达地区的网络基础设施, 加快推动数字经济不发达地区的传统基础设施数字化升级, 建设高标准的全新网络、发展具有新技术的智能基础设施体系, 为数字经济发展提供强有力支撑。

6.2 加快推进数字经济不发达地区的传统基础设施智能化升级

推动数字技术与传统基础设施深度融合, 加快智慧物流、能源互联网等行业融合基础设施建设, 加强市政融合基础设施建设, 提升城市基础设施运行效率、管理效率和服务能力。建设城市“神经元”网络, 推进各地区、各部门、各领域、各行业智能感知设施的统筹部署, 升级完善视频监控体系, 强化物联感知数据共享共用, 提升城市“触觉”和“视觉”。

6.3 加快推进数字经济不发达地区的数产融合, 助力产业转型升级

加快推进第一、二、三产业数字化转型, 推动数字经济与传统产业融合渗透, 推动传统产业数字化转型升级, 推动传统产业实现新发展。推动制造业数字化发展, 深入推进工业互联网发展, 加快数字技术在制造业的深入应用。大力发展数字农业, 加快农业供给侧结构性改革, 推动数字农业新体系建设。加快服务业数字化转型, 推进数字技术与生产性服务业、生活性服务业融合发展, 加快培育山东商业新模式、新业态。

6.4 加快对数字经济不发达地区的政策帮扶力度

省政府应当对数字经济发展不发达地区提供适宜的政策帮扶, 成立山东省数字经济发展专项基金, 加大对不发达地区财政专项资金的转移支付力度, 专款专用用于不发达地区数字经济发展。完善区域数字经济发展的顶层设计, 强化数字经济发展的基本要素保障, 提升不发达地区数字经济发展所需的各要素数量和质量, 打造数字经济发展的良好环境, 为不发达地区数字经济发展提供重要的基础保障。

6.5 加快数字经济不发达地区的人才队伍建设

数字经济相关人才是数字经济不发达地区快速发展的核心力量，缺少相关人才是不发达地区数字经济发展缓慢的重要成因。政府要为数字经济不发达地区创造有利条件，消除各种影响数字经济发展潜力的问题，促进数字经济不发达地区人才队伍快速成长。

参考文献：

- [1] 刘军, 杨渊鉴, 张三峰. 中国数字经济测度与驱动因素研究[J]. 上海经济研究, 2020, 38(6): 81-96.
- [2] 王军, 朱杰, 罗茜. 中国数字经济发展水平及演变测度[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(7): 26-42.
- [3] 盛斌, 刘宇英. 中国数字经济发展指数的测度与空间分异特征研究[J]. 南京社会科学, 2022, 411(1): 43-54.
- [4] 李春城, 吴黎军, 韩岳峰. 中国省域数字经济发展水平综合测度与分析[J]. 统计与决策, 2023, 39(14): 17-21.
- [5] 李洁, 王琴梅. 数字经济发展水平测度及时空演变[J]. 统计与决策, 2022, 38(24): 73-78.
- [6] 章秀琴, 施旭东. 长三角城市数字经济发展测度及时空演变研究[J]. 财经理论研究, 2023(1): 19-34.
- [7] 樊纲, 王小鲁, 张立文, 等. 中国各地区市场化相对进程报告[J]. 经济研究, 2003(3): 9-18.
- [8] 张彬, 彭知岛, 赵磊等. 中国信息化发展的国际比较研究[J]. 信息系统工程, 2017, 282(6): 122-125.
- [9] 刘华军, 丁晓晓, 孙东旭. 中国居民收入的地区差距与分布动态演进趋势[J]. 云南财经大学学报, 2023, 39(5): 32-49.
- [10] 杨立勋, 王涵, 张志强. 中国工业数字经济规模测度及提升路径研究[J]. 上海经济研究, 2022(10): 68-81.
- [11] 陈鹤丽. 数字经济核算的国际比较: 口径界定、统计分类与测度实践[J]. 东北财经大学学报, 2022(4): 41-53.
- [12] 吕承超, 崔悦. 中国高质量发展地区差距及时空收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(9): 62-79.

Research on the Dynamic Evolution of Shandong Digital Economy Measurement and Distribution

LIANG Chao

(Department of Economics and Management, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: The digital economy has risen to the level of national strategy, deploying and promoting the development of the digital economy at the national level. Empowering the manufacturing industry with digital technology is the engine for the development of new and old driving forces in Shandong. This article uses data from 2014 to 2021 to study the development level of digital economy in 16 regions of Shandong Province. The NBI index is used to construct the Shandong Digital Economy Index from three levels: digital economy development foundation, internet development level, and digital transaction level. The results show that the development level of Shandong's digital economy has been increasing year by year, with 2 cities being highly developed areas of digital economy, 3 cities being moderately developed areas, and 9 cities being underdeveloped areas. Two cities are underdeveloped areas. The dynamic evolution of the distribution of digital economy was examined through kernel density function, and the results showed that the level of digital economy in Shandong Province is continuously improving, and the differences in digital economy indices among different regions are decreasing year by year.

Key words: digital economy; dynamic evolution; NBI; kernel density function

教育治理现代化视角下高校内部控制研究

——以 D 大学为例

郭宗睿

(德州学院 财务处, 山东 德州 253023)

摘要: 在实现教育治理现代化进程中, 健全高校内部控制体系是推进依法治校, 守住高校一方净土的一把利器。从单位层面和业务层面, 具体分析当前高校内部控制建设存在的具有代表性的问题, 并以 D 大学差旅费报销业务为例, 从组织架构、规章制度、信息技术和监督评价四个方面探究高校内部控制建设情况, 进而提出优化高校内部控制建设的策略, 提高治理水平, 助力高校高质量内涵式发展。

关键词: 高校; 治理现代化; 内部控制

中图分类号: G647.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0088-06

0 引言

《中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度、推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定》为国家现代化治理指明了方向和行动目标。国家治理体系和治理能力现代化中, 教育治理占据了关键位置。高校内部控制建设正是健全现代大学治理体系、提升治理能力的关键, 对强化制度建设、规范权力运行、优化业务流程、提升风险防控能力等都起着非常重要的作用。高校除了履行教书育人、科学研究等使命, 还承担着有效管理国有资产等社会资源的重大责任。因此, 高校应不断完善内部控制制度体系, 实时监测管控风险, 定期开展内部控制执行情况自评和内部审计、巡察, 充分运用上级部门审计、巡视等检查评估, 从而提高高校治理水平, 更好地发挥其培养人才和传播知识的作用。

高校内部控制风险评估应从单位层面和业务层面进行, 遵循全面性、制衡性等原则, 对高校风险进行管控, 最大限度地降低风险, 保障资产安全, 完成培养人才的使命。本文从高校内部控制实质和必要性展开剖析, 对高校内部控制不足之处从单位层面和业务层面进行研究。以 D 大学为例, 从组织架构、规章制度、信息技术和监督评价四个方面对

学校内部控制建设进行分析, 发现现有内部控制体系存在的薄弱点和不足之处, 最后针对问题, 提出优化高校内部控制建设路径, 使高校内部控制建设得更科学有效。

1 高校内部控制的内涵及必要性

1.1 高校内部控制的内涵

高校内部控制是指高校通过制定科学有效的控制制度、措施等, 对经济活动进行风险管控和预防, 从而使教育工作顺利开展, 有效完成办学目标。高校内部控制目标有: 确保学校所有经济活动符合法律规范, 确保财务信息可靠准确, 保护学校资产免受损失, 让教育资源得到高效利用, 避免腐败和舞弊问题出现。

1.2 高校内部控制的必要性

近年来, 我国采取了一些列措施来增加高等教育经费投入, 与此同时, 高校办学规模逐步扩大, 办学能力逐步提高, 使得高校筹措资金的渠道增加, 教育资金、科研经费和创收等不断增长并呈现多元化趋势。高校在办学、科研等过程中的工作越来越复杂, 例如, 有的高校与企业实现校企联合办学、通过共享大型仪器设备为社会提供测试服务实现共享收入、科研横向课题经费数量大而情况多

收稿日期: 2023-07-06

基金项目: 山东省教育会计学会 2022 年度一般科研课题 (sdjk2022005)。

作者简介: 郭宗睿 (1987-), 女, 山东德州人, 会计师, 硕士, 主要从事高校财务管理研究。

样等等，业务的特殊性越来越明显。这对高校内部控制提出了更高要求，要求高校不断推动内部控制建设工作，用规章制度来约束、规范高校各项涉及资金的行为，依法治校，保障高校内部控制顺利运行，实现教育公平。高校应将内部控制目标融入到高校整体发展规划中，立足科学育人目标，通过有效控制、防范风险、规范管理的内部控制体系，以促进高校教学质量水平不断提升。

2 高校内部控制建设存在的问题

2.1 单位层面

1) 高校内部控制结构不合理。对于高校内部控制系统而言，组织结构占据重要地位，对完善高校内部控制体系发挥着重要作用。高校内部控制组织结构一般包括决策机构和执行机构。决策机构即内部控制工作领导小组，负责制定学校内部控制体系实施方案、协调解决重大事项、监督内控工作全面开展。在决策机构建设中，主要建立的单位结构是工作领导小组，其职责为制定具体方案、统筹项目以及监督管理。通常在该结构体系中会建立“内部控制建设办公室”，归属于财务部门，其职责为确保和推动学校单位工作正常进行。但是经过调查分析发现，目前我国许多高校在单位层面的结构建设尚不完善，内部控制建设工作发展较慢，重视程度有待提高，很多高校内部控制工作由财务处牵头。内部控制工作是全面性较强的工作，单凭财务部门一己之力，难以形成贯穿学校事业发展全过程、全方位的内部控制机制。

2) 岗位职责不明确。大多数高校各职能部门已经完成岗位职责梳理工作，实现了岗位职责的初步落实，但仍然存在部分关键岗位职责尚未落实的情况。不相容岗位职责划分不够明确，存在关键行政管理岗位由教师一人双肩挑，身兼双职，难免精力受限影响工作效率和工作质量。从内部控制视角分析，权利泛化现象会引发一定风险和舞弊行为，不利于高校治理。

3) 信息化建设进程缓慢。目前，高校在智能化办公方面发展较慢，利用信息化转变工作方式的过程较长。目前我国部分高校在内部控制建设工作中建立了财务管理系统、科研管理系统、人事管理系统等多个系统，但是各系统之间尚未完成全面衔接。在单位信息化建设中，可能会出现高校内部各个部门以及部门内上下级在传输数据时发生断层情况，从而导致内部资金、业务以及信息存在差异

性，一定程度上限制了高校内部控制体系的统一发展，增加了信息沟通成本。

4) 监督评估机制不完善。依照《行政事业单位内部控制规范（试行）》（财会〔2012〕21号）的要求，高校在建设内部控制体系过程中应该评估各种经济活动的风险程度，同时高校内部相关部门需要科学监督管理内部体系。经过调查发现，目前我国部分高校审计部门在实践工作中存在问题，内控建设的定期风险评估机制尚未形成，很少进行内控建设执行的有效性审计，缺乏对经济活动的定期风险分析，无法对潜在的风险和漏洞进行预警和防控。

2.2 业务层面

1) 预算管理方面。虽然高校紧跟国家政策不断完善预算管理制度，但仍存在一些问题：①尚未建立项目库管理制度，有的学校即使建立了项目库，仍存在项目审核流程、审批权限等方面未明确的问题。②项目申报人对项目申报、论证准备不足，加之对财务知识的理解有限，导致预算编制不科学、不准确，从而在执行过程中频繁调整，不利于科学严谨地编制预算。③预算绩效评价的实施、运行流程不明确，缺乏刚性，降低了预算的工作效率和约束作用。④校内预算动态管理机制尚未建立，校内部门申报的项目未纳入项目库管理，不利于资金的合理、科学分配，降低了资金的使用效益。

2) 收支管理方面。高校收入支出管理办法在一定程度上已经实现制度化，但依然存在以下问题：①往来挂账处理不及时。项目经费已到账，项目负责人或部门不及时来认领，或者企业缴纳过来的质保金，未能及时办理质保金的退还工作。上述行为会造成往来款清理不及时，长期挂账的问题。②预借发票，资金跨月或跨年资金到账。③支出管理方面会发生通过真实的发票和虚假的业务套取科研经费、应政采但当年没有报政采预算等情况。④按照高校报销审批权限制度，一般超过规定额度的需要校领导进行事前审批，因此会出现将支出金额拆分，一件事情多次报销的情况。

3) 资产管理方面。①资产购置不合理。资产购置部门在购置前没有进行充分的论证，不按照实际需求进行采购，导致资产长期闲置，学校尚未建立资源共享制度，购置部门只按照各部门的需求进行购买，没有进行统筹安排，重复购置资产，造成资产浪费。②资产验收不规范。资产验收流程不严格，存在只是走走流程、签签字的情况，真实的资

产质量情况没有全面了解。③对资产管控不到位。购买、处置、领用固定资产等没有反映实际情况。④无形资产评估标准、报增登记等相关规定不完善，很多应该归为无形资产的资产归为固定资产，不利于学校资产的完整性。

4) 合同管理方面。随着高校经费不断增长，经济活动的内容更加丰富，为了提升规范化，后勤维修、资产购置、科研采购等合同大幅度增加，与此同时也带来了越来越大的合同风险。多数高校没有专门的合同管理部门，一般是在智慧校园中提交合同，通过校领导、法律顾问、财务负责人、负责合同管理的财务人员审核后即可生效。在整个流程中，财务部门是负责审批的最后一个单位，主要职责为档案管理高校所有经济合同。在管理合同过程中也会发生许多问题，例如：①很多合同签订人并不是真正了解合同内容或经济业务，很多借用合同模板稍作修改，因此会出现合同内容与实际情况不匹配的情况，或者合同中没有把经济业务的详细内容表现出来。②合同中的付款方式或资金来源未与预算、收支有效衔接，造成合同管理与预算管理、收支管理相脱节。③从合同审批流程上看合同签订

是合规的，但是很多审批人对合同具体内容并不了解。这样在合同签订过程中对合同风险的把控就大大减弱。

3 D大学内部控制建设情况分析

D大学坚持以现代化教育理念开展教育活动，不断进行改革发展，在组织架构、规章制度、信息技术以及监督评价等方面探索科学合理的内部控制系统。本文在研究过程中以D大学差旅费支出业务层面的内部控制建设为切入点，通过以点带面，对学校内部控制建设情况展开研究与分析。

3.1 组织架构方面

组织架构作为建设高校内部控制体系的基础，发挥重要的组织保障作用。就整体结构而言，高校内部控制组织架构体系是由决策、执行和监督等组织保障子系统构成，各个子系统应是既相互分离又相互制约的关系。D大学的内部控制根据校院两级管理的体制特点，建立适合本校实际情况的组织结构（如图1所示）。

D大学内部控制组织机构主要包括决策机构、

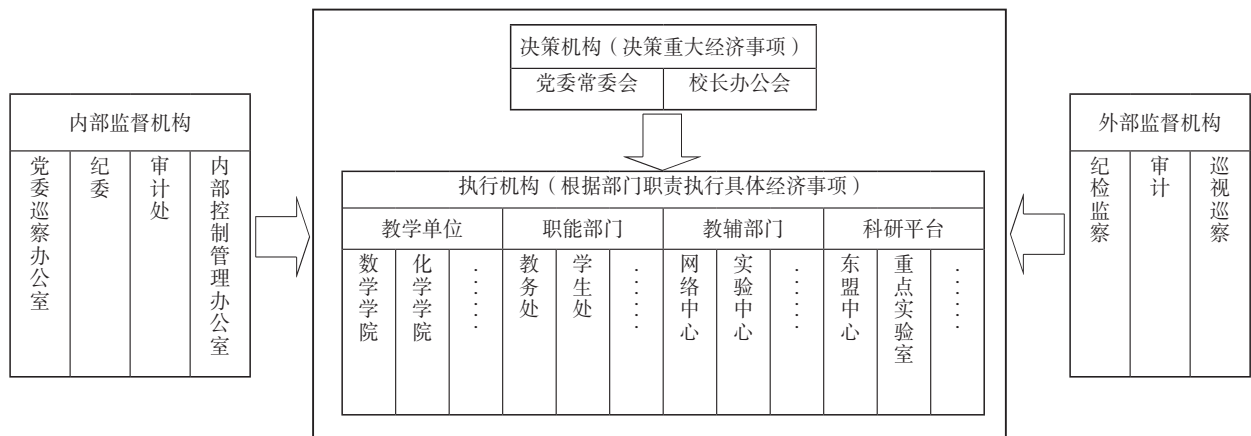


图1 D大学内部控制组织机构

执行机构以及监督机构，其中决策机构主要包括党委常委会和校长办公会，对学校的重大经济事项进行决策。教学单位、职能部门、教辅部门和科研平台等执行机构，根据学校的决策履行部门职责，执行具体的经济事项，并对其负责。学校党委巡察办公室、纪委、审计处和内部控制管理办公室对学校经济事项的决策和执行实施内部监督；上级的纪检监察、审计和巡视巡察对高校实施外部监督。

3.2 规章制度方面

规章制度是学校经济活动事项进行的依据，对顶层决策和执行机构的具体经济事项起到规范和控

制的作用。D大学在规章制度层面具体包括上级制度和学校制度。就差旅费报销业务而言，学校依据自身情况参照上级部门的管理办法自行制定，但是各类标准不能超出上级的规定。

以差旅费报销业务为例，D大学在上级制度基础上，结合本学校实际情况，围绕因公出国费用、国内差旅费、学生实习差旅费等不同情况，出台了一系列学校规章制度，具体制度体系详见表1。

3.3 信息技术方面

在AI时代，高校应充分利用信息技术为学校内部控制信息化建设提供更多便利。高校内部控制信

表1 D高校差旅费报销内部控制制度体系

<p>上级制度</p> <p>《山东省因公临时出国经费管理实施办法》的通知（鲁财行〔2014〕1号）</p> <p>《山东省省直机关差旅费管理办法》的通知(鲁财行〔2014〕4号)</p> <p>《关于做好公务机票购买管理改革工作的通知规定》（鲁财采〔2015〕1号）</p> <p>《山东省省直机关差旅费管理办法》有关问题的补充通知(鲁财行〔2015〕58号)</p> <p>《关于调整山东省省直机关住宿费标准等有关问题的通知》(鲁财行〔2015〕83号)</p> <p>《山东省省直机关工作人员差旅住宿标准明细表》的通知(鲁财行〔2016〕27号)</p> <p>《关于调整部分因公临时出国住宿费标准等有关事项的通知》（鲁财行〔2017〕74号）</p>
<p>学校制度</p> <p>《D大学关于进一步加强完善领导干部及工作人员外出报备工作的通知》</p> <p>《D大学教职工因公出国（境）管理规定》（校政字〔2018〕43号）</p> <p>《D大学教学科研人员因公临时出国（境）管理实施细则》（校政字〔2018〕44号）</p> <p>《D大学教学经费管理办法》（校政字〔2018〕58号）</p> <p>《D大学差旅费管理办法》（校政字〔2019〕25号）</p> <p>《D大学公务用车租赁管理办法》（校办字〔2021〕22号）</p> <p>《D大学财务报销管理办法》（校政字〔2021〕106号）</p> <p>.....</p>

息化建设不仅仅在财务处或某一个部门，应该包括涉及学校全面内部控制的各个部门、各个信息流和资金流的一体化管理体系，从而让各个部门全面衔接，实现数据共享，提升服务质量，提高内部控制效率，“让老师少跑腿，数据多跑路”^[1]。同时结合线上流程，进一步贯彻落实高校内部控制制度。以D大学设计的信息系统图为例，具体内容见图2。D大学在财务核算、网上报销以及资产管理等方面的信息化建设已取得一定成果，但是系统之间还未形成良好的对接，依然有很大发展空间。

3.4 监督评价方面

依照《行政事业单位内部控制规范(试行)》（财会〔2012〕21号）的要求，高校在日常管理工

作中，需要对其内部控制体系进行有效监督管理，以主体为依据进行划分，具体包括内部和外部两种监督模式。

第一，内部监督。主要是指高校内部的监督与管理。结合监督与执行二者相分离的原则，高校在建立内部监督体系和实施内部监督工作时需要相互分离，保持相对独立性。同时，内部监督有关部门及岗位应定期对单位内部管理制度和机制的建立与执行情况等进行检查，发现问题及时整改。第二，外部监督，主要是指通过国家财政部门以及审计部门，对高校工作进行检查监督。

为了能够贯彻落实高校的监督保障工作，不仅需要进行内部和外部的监督管理，同时还需要高

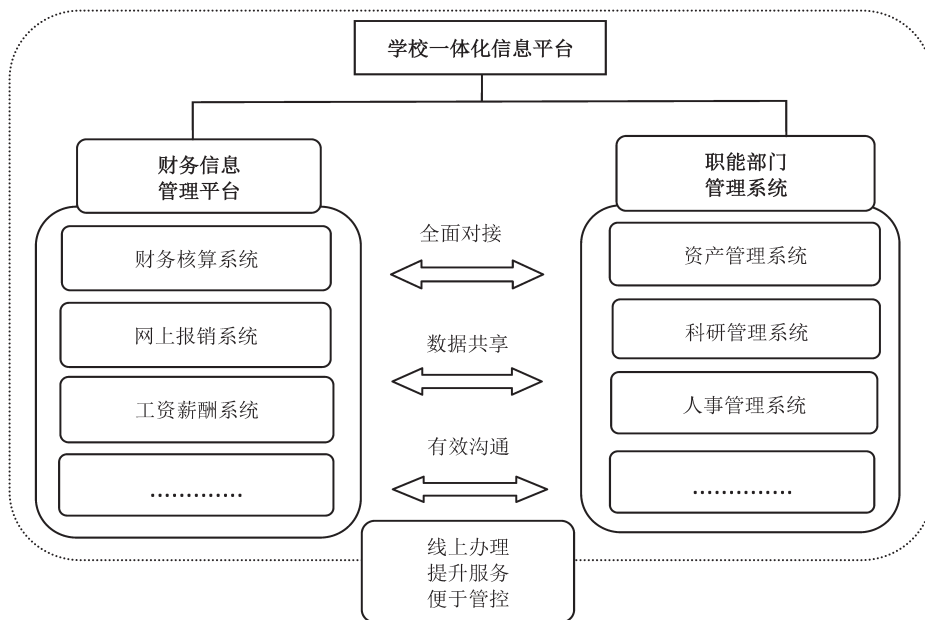


图2 D大学设计的信息系统图

校有效评估自身的工作。高校在进行自我评估过程中,负责自我评估工作的部门是内部审计部门,主要负责的工作内容为评估内部控制体系的制定与实施成效。目前,D大学的内部审计主要在收支业务、政府采购业务、资产业务、合同控制等领域开展,对内部控制设计和执行有效性方面的审计介入尚少。

4 优化高校内部控制的策略

4.1 优化顶层设计,建立科学决策机制

有效建设高校内部控制体系,有利于推动高校整体治理工作进一步发展。建设内部控制必须有一个科学的顶层设计,引领学校内部控制文化建设,为学校做出科学有效的决策。具体来说:一是优化高校内部控制的组织架构。对学校发展规划、管理协同机制和制度体系进行统一的顶层设计,并将内部控制建设的目标融入到顶层设计中,高校管理者应积极推动学校内部控制工作,带头将其纳入学校办学、业务管理和执行决策的全过程,并建立科学的内部控制考评制度,定期对学校各领域进行内部控制考核评价;二是提升内部控制决策的科学性。关于高校发展大局的重大决策问题,决策机构应召开专题会议进行论证,对风险进行评估和分析,尽量将内部控制体系运行中的风险降到最低,保障高校内部各个风险点能够得到有效监督与控制;三是发挥牵头部门的带头作用。由牵头部门负责内部控制建设、评价及整改等具体工作,建立完善的沟通机制,协调财务、资产、基建、科研等各职能部门之间的关系,坚持决策、执行和监督相互分离的原则,充分发挥审计和纪检的监督职能,构建一个科学、高效的高校内控制度体系。^[2]

4.2 保障岗位科学性,构建相关责任体系

岗位是内部控制执行体系中的各个控制节点,通过岗位权利之间的牵制来实现内部控制的实施。具体来说:一是将高校治理目标及整体发展规划进行分解、细分,逐一分配到部门、科室、具体岗位,将岗位职责明细化,对关键岗位进行重点管理。建立岗位责任落实制度,通过岗位之间的牵制关系将人为动机和道德风险弱化;二是确保不相容岗位的相互独立性。梳理岗位职责,厘清各类经济活动业务流程中各类岗位的权责边界,以制衡为目的来设置合理的岗位和匹配相应的权利,完善相关的制衡机制;三是规范审批权限和业务活动流程。根据高校规章制度,制定各个业务模块的流程图,仔细查找每一个业务流程的

风险点,科学合理地落实相关规定与制度,并对其进行审核与控制。此外还需要定期调整岗位,同时引入工作绩效考评机制,通过绩效考核,将不相容岗位分离制度落实到位。

4.3 强化防范控制风险的思维意识,健全风险评估体系

学校内部控制建设最主要、最直接的目标是进行风险防控,通过内部控制,将学校潜在的风险降到最低。降低风险的措施包括两点:第一,提高全体人员的防范控制风险意识。首先要了解业务活动,其次要熟悉规章制度,最后是能依据规章制度对业务活动进行分析,识别业务活动中是否存在风险。制定措施防范风险,如果发生风险,能够应对和规避风险,对风险进行有效管理;第二,在学校内部,建立有关部门定期开展学校内部自我评估工作,实现高校风险管理的全面化。对学校业务活动中的关键风险点进行全面系统地梳理,尤其是预算管理、收入支出、政府采购、合同管理等涉及资金、审批权限的业务。高校需要定期对重点风险点进行识别与有效评估,有效降低高校内部控制中可能存在的风险。制定风险应对机制,在出现风险时可以进行应对,合理保证高校各项活动规范运行。

4.4 推进信息化建设,建立良好沟通关系,形成数据共享模式

具体来说,一是推进跨部门信息化建设。高校应充分利用现代化信息技术,以“数字化”为导向,将财务与人事、科研、资产、后勤等部门信息模块进行互通互联,建立业财融合实时共享一体化平台,打破信息壁垒,实现资金流、信息流、数据流共享与融合,从而让部门之间的沟通更顺畅,减少重复工作,提高工作效率。资产管理系统与财务管理系统对接,能够实现资产增加、折旧数据及时有效的传输,避免出现工作反复现象;政府采购系统与财务系统对接,能够及时将项目额度进行冻结,避免采购后报销时项目余额不足;合同管理系统与财务系统对接,可以实时查看合同的执行情况,避免重复付款等等。二是将规章制度标准化,业务流程信息化。梳理规章制度、文件、办法,利用信息技术,标准化转化并传输文字内容,然后将转化后的结果嵌入到信息化业务活动流程中,从而有效监督管控高校的各项业务。^[3]根据业务流程,计算机在审批节点进行智能化提示。对出现不符合控制节点标准化的情况,系统会弹出提醒。针对一些经常出现的潜在风险,进行风险管控前置。

4.5 结合内部监督和外部监督,建立评价机制

监督是对事项发展过程的管控、结果的评价,也是对开始的导向和指引。监督在高校开展各项工

作中发挥着十分重要的作用。政策和制度在推行的同时还需要机制的约束，高校内部控制评价和监督机制就是学校现行规章制度和内部控制制度得以推行的利器。^[4]具体来说，一是要建立内外监督联动机制。高校要重视审计、巡察等内部监督工作，提高内部审计人员的专业素养和职业能力，定期或突击对学校内部控制执行进行审计监督，及时发现问题进行整改；适应省委巡视、专项审计等检查工作的常态化特点，将审计重点作为日常工作关注的重点，做到事前预防风险的发生。二是建立科学合理的评价机制，对高校内部控制体系进行合理评价。内部控制评价应该包括内部控制自我评价、内部审计、巡察和上级部门的检查评价，要充分利用各项评价结果，把评价认定的问题和缺陷作为整改重点，建立问责机制，将责任落实到具体部门，并将评价审计结果与部门年终绩效考核挂钩，将整改情况作为考评依据。这样有助于强化高校风险防控意识，各个岗位、各个部门合力推动内部控制体系建设的完善，从而达到“以评促建”的目的，切实提升高校现代化治理能力和治理水平。

5 结论

从单位层面和业务层面详细地梳理了高校内部控制建设存在的问题，并以D高校差旅费报销业务为切入点，进一步分析了目前高校内部控制体系的建设情况，有针对性地提出了优化路径。高校内部控制是提升教育治理现代水平的有效工具，是覆盖学校全部经济业务和非经济业务、从学校层面延伸至二级单位的融合与协同性体系。高校要不断完善内部控制体系建设，为高校教书育人事业的高质量发展保驾护航。

参考文献：

- [1] 郭秀云, 田巧娟. 教育治理现代化视角下的高校内部控制建设—基于P大学差旅费业务的分析[J]. 会计之友, 2020(20): 78-80.
- [2] 赵叶灵, 胡永波, 潘俊. 高校内部控制优化的框架构建与路径选择—基于《行政事业单位内部控制报告》实施驱动视角[J]. 财会通讯, 2023(20): 19-24.
- [3] 张颖萍, 张琳梓. 高校内部控制风险与对策研究[J]. 商业会计, 2021(9): 57-60.
- [4] 戴文昭. 政府会计制度背景下高校内部控制建设探析[J]. 长沙大学学报, 2022(1): 82-86.

Research on Internal Control of Universities from the Perspective of Education Governance Modernization — Take University D as an Example

GUO Zongrui

(Finance Office, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: In the process of realizing the modernization of education management, enhancing the internal control system of colleges and universities has been a sharp tool to promote the administration of universities by law and keep the pure land of the universities. This paper analyzes the representative problems existing in the internal control construction of the universities from the aspects of institution and operation, taking the travel reimbursement of D University as an example, to explore the internal control construction of colleges and universities from four aspects, they are: organizational structure, rules and regulations, information technology construction and supervision and evaluation, and then puts forward strategies to optimize the internal control construction of colleges and universities and improve the governance level so as to support the high-quality and connotative development of colleges and universities.

Key words: universities; governance modernization; internal controls

一例Co(III)配合物的综合实验教学设计

——合成、表征及理论研究

魏荣敏¹, 李刚², 杨敏¹, 张秀玲¹, 李荣春¹

(1. 德州学院 化学化工学院, 山东 德州 253023; 2. 德州聚安特安全服务有限公司, 山东 德州 253000)

摘要: 本文设计了“一例钴配合物的合成、表征及理论研究”的综合性实验。实验内容包括配合物合成、晶体数据采集、结构表征及量子化学计算四部分, 涵盖了本科生所学的无机化学、结构化学、配位化学等多方面知识。实验现象稳定, 重复性好, 结果可靠。教学实践表明, 本实验设计既能提高学生对结构化学基本理论的理解和基本实验技能的掌握, 又能提升学生的创新实践能力和综合科学素养。

关键词: 金属钴配合物; 综合实验设计; 量子化学计算

中图分类号: G642 O641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-9444(2023)06-0094-04

0 引言

实验教学在高等教育教学体系中占据了非常重要的地位, 是培养学生的动手能力、创造能力和综合科学素养的重要教学手段^[1-3]。综合性实验, 是指应用多种理论知识和操作技能、采用多种实验技术手段或方法所进行的实验项目, 注重培养学生综合应用所学知识解决实际问题的能力和创新意识与创新能力^[4,5]。

电子计算机技术和量子化学计算的不断发展极大地推动了化学及其它学科的理论研究。量子化学计算和分子模拟手段, 可以帮助人们从分子层次上理解化学物质的结构-性能关系、电子结构和反应特性等一些通过传统宏观实验教学无法完成的微观性质。为此, 将一例金属钴配合物的合成、表征与理论研究引入“结构化学”课程的实验教学^[6], 转化科研成果为实验教学内容, 采用传统实验与现代测试技术和量子计算方法相结合的方式, 研究配合物分子的几何结构和电子态结构等基础化学问题。该实验具有很强的综合性, 囊括了无机制备实验、仪器分析、结构化学、配位化学等多方面的专业知识。将量子化学软件作为可视化工具、将实验内容通过计算机实验化, 采用理论与实践相结合的方式寓研于教, 在加深学生对薛定谔方程、波函数、

分子轨道理论、晶体点阵理论等基础知识理解的同时, 亲自动手处理并分析计算结果, 真正做到学以致用, 激发学生的科研兴趣与素养, 提高教师授课效果和实验教学水平。

1 实验目的

- (1) 熟悉金属配合物单晶体的常见制备方法;
- (2) 掌握X射线单晶衍射仪、红外光谱仪等仪器的工作原理, 并学会使用仪器;
- (3) 熟悉和认知GaussianView和Gaussian的用法和界面功能。学习构建配合物模型并进行构型优化、单点能计算等任务;
- (4) 阐述电子构型和性质的一一对应关系, 激发学生科研兴趣, 为新材料的合成、制备及表征奠定基础。

2 实验原理

本实验采用最常见的溶剂挥发法由配体与过渡金属离子Co²⁺在室温下自组装得到配合物单晶体。产物的结构表征采用SMART APEX CCD 单晶衍射仪和红外光谱仪。使用单晶衍射仪收集晶体数据,

收稿日期: 2023-08-07

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2021MB059); 德州学院实验技术研究项目(SYJS21013, SYJS21014)。

作者简介: 魏荣敏(1979-), 女, 山东平原人, 副教授, 博士, 研究方向为磁性功能配合物的研究及理论计算。

然后使用SHELXL软件包进行晶体结构解析得到单晶结构。

经典力学通过位置和速度等变量来描述宏观粒子的运动状态,而微观粒子具有明显的量子力学效应,因此需通过量子力学理论由波函数描述粒子的运动状态,粒子没有确定的位置,行为表现出波粒二象性,通常用薛定谔方程表示其运动方程:

$$\hat{H}\psi = E\psi, \text{ 即 } \left(-\frac{\hbar^2}{8\pi^2m} \nabla^2 + \hat{V} \right) \psi = E\psi$$

给出哈密顿算符,则可以通过上式求解微观粒子的波函数和其对应的能量,同时还能获得体系的其他可能性质,如振动光谱,偶极矩等。所以,量子化学计算的关键问题是如何求解微观粒子的薛定谔方程。Gaussian软件是一个功能强大的量子化学计算软件,可在不同型号的各类计算机和工作站上运行,其主要功能包括:分子能量和结构、过渡态能量和结构、分子轨道、振动频率、热力学性质、反应路径等的计算,可以用来预测周期体系的能量、电子结构和分子轨道波函数。因此,Gaussian作为一个功能强大的工具,可以用来研究许多化学及相关领域的课题。本实验设计中,我们基于已获得的配合物晶体结构,采用密度泛函理论运用高斯软件对配合物分子展开计算,研究其单点能,确定中心金属离子的磁性质。

3 仪器与药品

仪器:磁力电加热搅拌器, Bruker Smart CCD 单晶X-射线衍射仪、Bruker Vector 22 型红外光谱仪,体视显微镜,烧杯,滤纸,电热套。

试剂: $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaN_3 , 2,2-联吡啶,无水乙醇。

4 实验内容

4.1 配合物的合成

配合物合成采用溶剂挥发法:配制20 mL $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (1.5 mmol, 0.36 g)的水溶液,置于磁力加热搅拌器上,将 NaN_3 (3 mmol, 0.20 g)溶于5 mL蒸馏水中,加入上述氯化钴水溶液中,继续搅拌1小时,后将10 mL 2,2-联吡啶 (2 mmol, 0.31 g)的乙醇溶液逐滴加入,继续搅拌,然后覆盖上扎有小孔的保鲜膜置于暗处缓慢挥发,大约一周后得到块状的暗红色晶体(称重为0.52 g,以金属Co为基准计算产率为65%)。

红外光谱 (KBr , ν / cm^{-1}) 数据为: $\nu(\text{O-H})$ 3396.04 s; $\nu(\text{C-H})$ 3026.33 m; $\nu(\text{N=N})$ 2031.26vs, 2018.9vs; $\nu(\text{C=C}, \text{C=N})$ 1650.7w, 1604.96m, 1560.68w, 1497.92w, 1469.63m; $\nu(\text{C-H})$ 772.17s, 727.54m。

4.2 晶体结构的表征

选取大小为0.20mm × 0.14mm × 0.20mm的适合单晶衍射实验的晶体,在室温下使用单晶衍射仪进行数据的收集和还原,射线为 $\text{MoK}\alpha$ ($\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$)射线,以 $\omega - 2\theta$ 的方式进行扫描,在2.50~27.86°范围内共收集到衍射点7618个,其中独立衍射点个数为5193。使用SMART程序进行衍射数据的收集,并得到晶体的晶胞参数,使用程序SAINT^[7]对所有的衍射点进行精修和还原,经验吸收校正运用程序SADABS^[8]进行,然后使用SHELXL-14^[9,10]采用直接法解析得到晶体结构,非氢原子各向异性精修采用最小二乘法进行精修,与碳原子相连的氢原子坐标通过理论计算方式加入。表1列出了标题配合物的部分结晶学数据,表2为其主要的键长和键角数据。

大型仪器操作由教师演示完成,学生可在教师指导下进行操作。单晶结构解析实验部分,由学生根据教师录制的操作视频和《单晶X射线衍射结构解析》^[11]完成,该部分实验可采用线上线下相结合的方式,任课教师通过QQ或微信进行在线指导。

表1 配合物的部分结晶学数据

数据	数值	数据	数值
Formula	$\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{Cl}_{0.50}\text{N}_{11.50}\text{O}_2\text{Co}$	Z	2
Formula weight	530.13	$D_f / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.551
T/K	293	F(000)	544
Crystal system	Triclinic	θ range/(°)	$2.50 \leq \theta \leq 27.86$
Crystal size/mm	0.20 × 0.14 × 0.20	Collected reflections	7618
Space group	P-1	Unique reflections	5193
a/nm	0.82254(7)	Data/restraints/parameters	4089/3/335
b/nm	1.17558(9)	Absorption correction /mm ⁻¹	0.860
c/nm	1.23706(10)	R_{int}	0.0132
$\alpha / (^\circ)$	91.3790(10)	R [$I > 2\sigma(I)$]	$R_1 = 0.0338, \omega R_2 = 0.0830$
$\beta / (^\circ)$	92.1510(10)	R[all data]	$R_1 = 0.0477, \omega R_2 = 0.0870$
$\gamma / (^\circ)$	108.1190(10)	Goodness of fit	1.098
V/nm^3	1.13527(16)		

单晶X-射线衍射分析显示,配合物分子属于三斜晶系,P-1空间群,图1a为带有原子标号的室温下的分子结构示意图。如图所示,每个配合物分子由金属钴(III)配合物阳离子、非配位 Cl^- 和 N_3^- 阴离子和两个非配位水分子构成。其中, Cl^- 和

表2 配合物主要的键长(nm)与键角(°)表

Bond	Length / nm	Bond	Length / nm	Bond	Length / nm
Co(1)-N(1)	0.19448(16)	Co(1)-N(4)	0.19372(15)	Co(1)-N(7)	0.19339(16)
Co(1)-N(10)	0.19346(15)	Co(1)-N(8)	0.19512(14)	Co(1)-N(9)	0.19495(15)
Bond	Angle / °	Bond	Angle / °	Bond	Angle / °
N(7)-Co(1)-N(10)	177.85(6)	N(7)-Co(1)-N(4)	88.53(7)	N(9)-Co(1)-N(8)	91.01(6)
N(10)-Co(1)-N(4)	91.39(7)	N(7)-Co(1)-N(1)	92.47(7)	N(1)-Co(1)-N(8)	174.97(7)
N(10)-Co(1)-N(1)	89.68(7)	N(4)-Co(1)-N(1)	92.63(7)	N(4)-Co(1)-N(8)	87.68(6)
N(7)-Co(1)-N(9)	97.16(6)	N(10)-Co(1)-N(9)	82.85 (6)	N(7)-Co(1)-N(8)	82.51(6)
N(4)-Co(1)-N(9)	173.94(7)	N(1)-Co(1)-N(9)	89.21(7)	N(10)-Co(1)-N(8)	95.33(6)

N_3^- 阴离子位置无序,各自的占有率为50%, $[Co(2,2-bipy)_2(N_3)_2]^+$ 配合物阳离子中,中心金属Co(III)离子位于 CoN_6 的压缩八面体环境中,表2给出了相应的键长和键角数据。两个结晶水分子通过强烈的 $O1-H1B \cdots O2$ 和 $O2-H2A \cdots O1$ 分子间氢键作用彼此

连接,形成了环状四核水簇结构,水簇中位于对角位置的两个水分子 $O1$ 通过 $O1-H1A \cdots N13'$ 和 $O1-H1A \cdots Cl1'$ 氢键作用与无序的非配位 Cl 和 N_3^- 离子连接,形成了阴离子水簇 $[(H_2O)_4(N_3)Cl]^-$,图1b为氢键示意图,表3中给出了相关的氢键键长与键角数据。

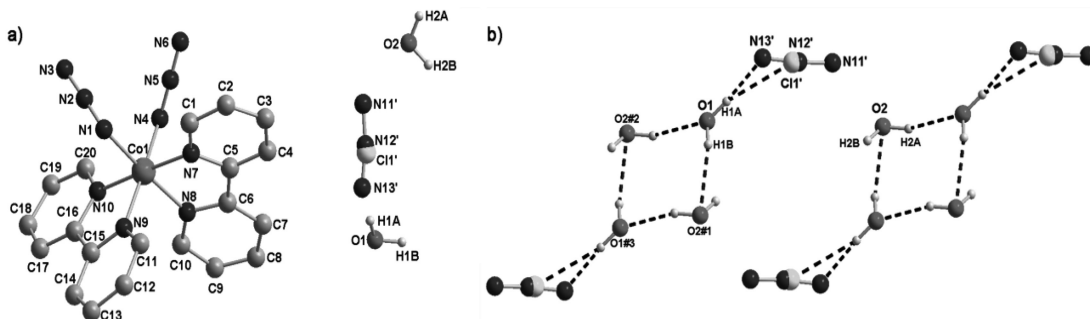


图1 a) 带有原子标号的配合物分子结构图(为了视图清晰,2,2-联吡啶配体中的H原子已略去);

b) $[(H_2O)_4(N_3)Cl]^-$ 阴离子水簇结构示意图。颜色代码: Co(III), 粉色; C, 灰色; N, 蓝色; O, 红色; Cl: 绿色。

表3 配合物水簇中氢键的键长(nm)与键角(°)表

D-H...A	D-H (nm)	D...A (nm)	D-H...A (°)
$O1-H1B \cdots O2\#1$	0.085	0.2883(4)	156.2
$O1-H1A \cdots N13'$	0.085	0.2633(8)	171.8
$O1-H1A \cdots Cl1'$	0.085	0.3242(6)	166.0
$O2\#2-H2A\#2 \cdots O1$	0.085	0.2883(4)	158.0

对称操作码: #1 $-x+1, -y+2, -z+2$; #2 $x+1, y, z$ 。

4.3 量子化学计算

为了验证配合物分子结构的稳定性和中心金属原子的电子结构,我们对配合物用密度泛函理论(DFT)和Gaussian 09软件包^[12]进行了理论计算。计算模型选用X-射线单晶衍射分析得到的 $[Co(2,2-bipy)_2(N_3)_2]^+$ 配合物阳离子晶体结构。由于晶体结构解析时,氢原子采用的是理论加氢方法,因此本实验设计只对配体中的氢原子进行了构型优化。优化时采用BP86泛函,其中,配合物模型中的C、H和N原子均采用6-31g*基组,Co(III)离子采用SDD赝势基组。此外,本实验设计分别采用PBE、TPSSH、BP86、B3LYP*、B3LYP和M06泛函,在def2-TZVP基组的计算水平下,计算了配合物中金属离子Co(III)分别处于高、低自旋态时的单点能。

在此实验设计中,学生可以选用不同的密度泛函和基组对配合物的电子结构进行探讨,分析比较其对计算结果的影响(需注意:实验过程中应使学生明确,只能在同一计算水平下进行比较,比较不同计算水平下的结果无任何意义)。表4给出了配合物阳离子在不同泛函下的单点能数据,从表中数据可以看出,配合物的低自旋态单点能在各泛函时均低于其高自旋态单点能,由此可以推断出,本实验中的配合物中心金属Co(III)离子为低自旋态、抗磁性,3d轨道价层电子排布为 $t_{2g}^6 e_g^0$,其自旋量子数S等于0,此结果与晶体结构所得的键长数据也是吻合的。

表4 配合物阳离子 $[Co(2,2-bipy)_2(N_3)_2]^+$ 的单点能 E_0 及Co(III)位于高低自旋时的能级差($\Delta E_0 = E_{HS} - E_{LS}$)

Functional	S	E_0 / a.u.	ΔE_0 / a.u.	Functional	S	E_0 / a.u.	ΔE_0 / a.u.
BP86	0	-2702.6242	0.0911	B3LYP*	0	-2701.3975	0.0799
	2	-2702.5331			2	-2701.3176	
PBE	0	-2700.5926	0.0881	B3LYP	0	-2702.3814	0.0755
	2	-2700.5044			2	-2702.3059	
TPSSH	0	-2702.4721	0.0789	M06	0	-2701.3692	0.0631
	2	-2702.3931			2	-2701.3061	

5 小结

“结构化学”课程以量子力学理论为基础,研究原子、分子和晶体的结构以及结构与性质之间的关系。其主要目的是通过探讨物质的微观结构,使学生获得原子、分子及晶体结构的基本理论和基础知识,培养学生用微观结构的主要观点和有关方法分析、解决化学问题的能力。基于以上教学目的,在实验教学中设计了一例钴配合物的合成、表征及理论研究综合性实验。教学实践结果表明:

(1) 本实验设计贯彻“学生中心、产出导向”理念,寓研于教,引导学生以科研实验的形式完成实验。该实验设计不仅能完善和提升传统的教学实验中有关“知识+能力”的培养模式,而且能提升学生的逻辑思维能力等品格方面的培养,既可以提高学生的实验兴趣,又能促进学生实践动手能力和创新意识的提升。

(2) 实验内容涵盖了配合物材料的合成、制备、X-射线单晶衍射、晶体学理论及量子力学理论等多种结构化学原理和方法,涉及无机化学、分析化学和物理化学等学科知识。该设计把量子化学计算引入到课程的实验教学中来,对配合物的电子结构进行了理论分析,并利用GaussianView软件进行了可视化展示,帮助学生进一步理解和掌握了理论知识,提高了教学效果。

参考文献:

- [1] 张树永,朱亚先,张剑荣.本科化学类专业化学实验教学体系改革的思路与实施建议[J].大学化学,2018,33(10):1-6.
- [2] 王丽梅.基于创新性应用型人才培养的实验教学模式研究与实践[J].高分子通报,2014(7):120-123.
- [3] 杜姣姣,杨国鑫,郑阿群,等.硫酸亚铁铵教学实验的改进[J].实验室研究与探索,2019,38(4):197-199+285.
- [4] 朱宝勇,任秀珍,张秀玲,等.一种Co(II)MOF材料的合成及表征综合性实验设计[J].实验技术与管理,2019,36(10):187-192.
- [5] 刘焯赫,王怡轩,刘小明,等.一种Co/Ni-MOF催化剂催化氧化还原反应的综合性实验设计[J].实验技术与管理,2022,39(1):185-190.
- [6] 李慧玲,杨敏,孙金,等.一例含阴离子水簇的钴配合物的合成、结构及理论研究[J].人工晶体学报,2021,50(12):183-189.
- [7] Bruker. SAINT v5.0-6.01. Bruker Analytical X-ray Systems Inc [CP]. Madison, Wisconsin, USA, 1998.
- [8] Krause L, Herbst-Irmer R, Sheldrick G, et al. Comparison of silver and molybdenum microfocus X-ray sources for single-crystal structure determination[J]. Journal of applied crystallography, 2015, 48(1): 3-10.
- [9] Sheldrick G. Crystal structure refinement with SHELXL[J]. Acta crystallographica section C: crystal structure communications, 2015, 71: 3-8.
- [10] Sheldrick G. SHELXT-Integrated space-group and crystal-structure determination[J]. Acta crystallographica section A: foundations, 2015, 71: 3-8.
- [11] 张俊,杜琳.单晶X射线衍射结构解析[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2017:1-20.
- [12] Frisch M J, Trucks G W, Schlegel H B, et al. Gaussian [CP], Inc., Wallingford, CT, 2009.

Design on Comprehensive Experiment of a Co(III) Compound

— Synthesis, Characterization and Theoretical Studies

WEI Rongmin¹, LI Gang², YANG Min¹, ZHANG Xiuling¹, LI Rongchun¹

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023; DeZhou JuAnTe Safety Service Co. Ltd., Dezhou Shandong 253000, China)

Abstract: A comprehensive experimental teaching design “synthesis, characterization and theoretical studies on a cobalt(III) compound” is introduced. The experiment includes four parts: synthesis, crystal data acquisition, structural characterization and theoretical calculation, covering the knowledge of inorganic chemistry, structural chemistry, coordination chemistry, and so on. The experiment is stable, reproducible and reliable. Teaching practice shows that the experiment not only helps students understand the basic theory of structural chemistry course and improve their experimental skills, but also helps to cultivate students’ innovative ability and scientific research literacy.

Key words: cobalt compounds; comprehensive experimental design; quantum chemical calculations

后疫情时代基于雨课堂的混合式课堂教学 创新应用能力提升实践

——以线性代数课程为例

任文丽, 尹秀玲, 刘耀斌

(德州学院 数学与大数据学院, 山东 德州 253023)

摘要: 伴随着三年新冠疫情的教学实践, 线上与线下相结合的混合式课堂教学取得了良好的教学效果。从线性代数课程传统教学现状出发, 基于雨课堂平台, 借助腾讯会议、微信以及Onenote等智慧教学工具, 分别从智慧教学、教学方法、课程思政元素渗入、Matlab软件辅助计算以及课程在密码学中的应用等方面进行课程教学创新能力提升, 有效地提高了教学质量, 为人才培养和教学改革提供了很好的实践。

关键词: 雨课堂; 混合式教学; 创新应用

中图分类号: O151.2 G642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-9444(2023)06-0098-04

0 引言

2010年7月, 教育部在《国家中长期教育改革与发展规划纲要(2010—2020年)》中指出: “高等教育要重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”^[1]。地方高校应以地方需求为主, 服务地方经济建设, 以培养应用型人才为主要目标。2018年, 德州学院设立数据科学与大数据技术专业(以下简称“大数据”专业), 与青岛市青软教育科技有限公司开展产教深度融合合作办学, 并根据中共中央、国务院在《深化新时代教育评价改革总体方案》中部署探索建立评价标准, 通过产教融合的方式从普通本科院校顺利转型成为地方应用型高校。大数据专业培养在信息技术、金融、电商、管理、教育等领域, 从事大数据采集存储、分析处理、挖掘、系统集成、系统开发维护等领域的专业能力强、职业素养高、具有社会责任感和创新精神的应用型人才。

1 线性代数课程的教学现状

高校专业人才培养、教学质量和教学水平的

核心内容是课程建设, 优质高效的课程建设能够促进教学体制改革, 推动教学创新, 强化学生的创新和实践能力, 是实施人才专业培养目标的重要途径。根据教育部对工程教育专业认证的要求, 德州学院制定了大数据专业人才培养方案, 培养满足社会发展需求的新型复合型人才。课程建设要符合应用型人才培养目标, 高起点、高要求的专业培养模式, 突出创新理念, 与新时代人才培养模式的课程体系相适应, 让学生受益、让教师提升、为企业服好务、为地方做贡献。线性代数是大数据专业的基础必修课, 是从事大数据采集存储、分析处理、挖掘、系统集成、系统维护与开发等后续专业理论课的基础, 在专业人才培养课程体系中具有承上启下的作用。本专业的线性代数课程开设在一年级第一学期, 课时48学时, 内容抽象, 逻辑推理性强, 运算篇幅大, 具有较强的理论性和系统性, 难以用具体的图像来直观展示。

根据地方应用型高校定位, 线性代数课程要结合大数据专业特点, 结合学生毕业要求和课程目标, 弱化数学知识的系统性, 突出在各个生产领域中的实际应用, 减少复杂证明推导, 加强解题技巧方面的教学, 调整教学内容, 重构知识结构体系,

收稿日期: 2023-08-11

基金项目: 2021年山东省本科教学改革项目重点课题项目(Z2021269)。

作者简介: 任文丽(1980-), 女, 山东陵县人, 副教授, 博士, 主要从事序列设计和代数编码研究。

用现代的数学思维来理解传统数学知识^[2]。

2 基于雨课堂的课程教学创新应用能力策略

2.1 智慧教学手段的创新

疫情防控期间,在教育部提出的“停课不停教,停课不停学”的教学措施号召下,学校全体员工精心准备线上教学工作,制订教学方案,确保线上教学与线下课堂同质等效^[3]。我校教师积极探索线上教学技巧,测试雨课堂、学习通、智慧树等多种教学平台的运行与稳定,并交流线上教学心得体会,涌现出一批混合式教学、翻转课堂、研讨式教学等优秀线上教学模式,为推动后疫情时代教学方式的创新和课堂教学的改革积累了宝贵的实践经验。

本人借助雨课堂+Onenote以及微信群等智慧工具,采用雨课堂5.2平台与腾讯会议直播方式进行教学。Onenote笔记像一个永远写不满的黑板,呈现线下板书演示功能,将课堂教学核心内容的逻辑推导和计算过程完美展现给学生,满足了不同层次学生的需求。学生普遍反映利用线上教学平台进行教学有带入感、成就感,他们乐于参与到课堂活动中。

2.2 教学手段和教学方法的创新

在借助雨课堂教学平台开展教学的同时,针对教学内容的多样性和侧重点,教师也需要时时结合日常生活常识和例子,润物无声地融入到抽象的教学内容中,帮助学生理解。向量组和线性相关是课程的重点和难点,概念和理论繁多,结论容易混淆,晦涩难懂。以往大部分学生听后感觉云里雾里,理不出头绪,容易自暴自弃,出现厌学情绪。针对这种现象,在课堂上引入新概念教学时,需要把复杂难懂的理论知识结合工农业生产中的应用范例,另辟蹊径,仔细琢磨如何让学生更容易接受。本人巧妙引入与学生日常生活息息相关的携带现金这一现象,抓住关键,搭建两者之间的桥梁,利用生活轻松欢快的语言阐述向量组线性相关与线性无关的关系。这些教学技巧可以让学生理解地更透彻,帮助学生消化知识,活跃了课堂氛围,提高了学生的精气神和学习效率。例如,讲解向量组线性相关性质“部分相关一定整体相关,整体无关一定部分无关”知识点时,打个比方引导学生联想,引导学生把一组向量组看作一个班级,每个向量相当于班级成员,这时,线性相关性质相当于学生目前随身携带现金,线性无关相当于学生没有携带现

金。这样,向量组的“整体线性无关,一定部分无关”这一性质相当于若班级所有学生没有携带现金,则班级内任一部分学生都没有携带现金;而向量组的“部分相关,一定整体相关”可以转化为“班级内部分同学携带现金,班级整体一定拥有现金”,这样学生就容易理解这一概念;类似的,在讲解“一个向量组线性无关,加入一个向量后线性相关,则加入的向量一定可以由其余向量线性表出”性质时,可以理解为班级内学生没有现金,加入一个新学生后班级就有现金了,那么,新加入的学生一定是可以分现金给班级其他成员。课后学生普遍反响良好,达到了理想的教学效果。

2.3 课堂教学思政元素的渗入

高等院校课程思政要以“立德树人”为教育的根本目标,构建“全员育人、全程育人、全方位育人”新格局^[4]。线性代数课程的思政教育必须“与思想政治理论课同向同行,形成协同效应”^[5],并在教学各个环节全方位进行“润物细无声”的渗透。数学是自然科学的重要组成部分,与哲学的辩证唯物主义相辅相成,融为有机整体。古往今来,自然科学的每个重大理论的创新都依赖于科学家对科学奥秘的不断探索,突破瓶颈,推动工业革命关键核心技术的发展。

线性代数课程在实践教学环节可以介绍国内外相关数学家的数学成就、有趣的人生经历和爱国事迹,激励学生的学习动力和爱国情怀。下面以表格形式列举课程知识模块和思政元素之间对应关系。

表1 知识模块与思政元素对应关系

知识模块	思政元素
基本概念、定义	类似于国家行政机构,都有自己的工作职责,各司其职,为社会和为人民服务。法单位凡事都有规矩约束不能恣意妄为,社会才能和谐,各项事业才能正常运转。
基本原理、定理	不以规矩,不成方圆,同理国家的各种政策法律法规,为各个部门正常运转提供依据,做到有法可依。
计算方法、计算技巧、逻辑推理	各个组织机构在法律法规的支持下,如何运用这些既定的规章制度为具体社会机构和个体单元服务。
典型案例	介绍某一项法律法规,例如交通红绿灯规则如何保障道路的正常通行。
知识点之间的联系与区别	每一项政策法规不是孤立矛盾的,各项之间是相互传承渗透和融合,以宪法为基本大法,不得逾越和践踏。
拓展专业应用与数学家趣事	适当引入数学家的事迹和成就介绍,引发学生的爱国主义情感,树立正确的人生观、价值观,引导学生为社会发展为国家发展富强贡献自己的力量。

2.4 课堂更加注重课程内容的应用

在《线性代数》课堂讲解过程中,适当加入一些课程应用背景,并提出相应实际问题,让学生充分感受到“生活中处处存在数学”,引导学生思考。例如,在讲授逆矩阵理论时,介绍逆矩阵在密码学中的应用,并引申出加强网络安全建设的重要性,从而达到思政教育的效果。密码学是为了保障网络信息传输的安全,防止网络通信过程中重要信息被泄露或者恶意篡改,人们对发送信息先加密再进行传输,接收方收到信息后再进行解密,从而还原原始信息。希尔密码学的加解密算法运用了矩阵乘法和逆矩阵的特性。在加密过程中,明文被分成若干组,每组将 n 个明文字符串 $x_1x_2\cdots x_n$ 通过线性变换转换为 n 个密文字符串 $y_1y_2\cdots y_n$,逐次进行加密^[6]。加密算法的线性变换由 n 个线性方程决定,根据语言学统计规律,字母 $a-z$ 与整数 $0-25$ 一一对应。加密算法的密钥 K 是一个变换矩阵,即:

$$\begin{cases} y_1 = k_{11}x_1 + k_{12}x_2 + \cdots + k_{1n}x_n \\ y_2 = k_{21}x_1 + k_{22}x_2 + \cdots + k_{2n}x_n \\ \dots\dots\dots \\ y_n = k_{n1}x_1 + k_{n2}x_2 + \cdots + k_{nm}x_n \end{cases} \pmod N$$

其中密钥 $K = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nm} \end{pmatrix}$ 是可逆矩阵

或记为 $\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \pmod{26}$,

其中 $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ 和 $Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$ 分别是 n 维明文向量和密文向量,其相应的解密运算为 $X = K^{-1}Y \pmod{26}$ 。

下面通过一个实例说明矩阵在密码学中的应用。

例1 通讯中敌方截获密文“emnodgmyhw”,并已知密文片段“pivw”对应明文“hefi”,问敌方能否将该密文破译?

分析:该问题属于破译问题,加密和解密本质上就是可逆矩阵求逆运算。

已知密文与明文的对应关系为 $\begin{pmatrix} p \\ i \\ v \\ w \end{pmatrix} \leftrightarrow \begin{pmatrix} h \\ e \\ f \\ i \end{pmatrix}$,

$\begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} \leftrightarrow \begin{pmatrix} f \\ i \end{pmatrix}$,通过字母与数字的一一对应关系可转化为如下的二维向量之间的对应关系

$$\beta_1 = \begin{pmatrix} 15 \\ 8 \end{pmatrix} \leftrightarrow \alpha_1 = \begin{pmatrix} 7 \\ 4 \end{pmatrix}, \beta_2 = \begin{pmatrix} 21 \\ 22 \end{pmatrix} \leftrightarrow \alpha_2 = \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \end{pmatrix},$$

即矩阵 $B = KA$, 矩阵 $B = (\beta_1, \beta_2) = \begin{pmatrix} 15 & 21 \\ 8 & 22 \end{pmatrix}$ 是

由已知密文得出的矩阵, $A = (\alpha_1, \alpha_2) = \begin{pmatrix} 7 & 5 \\ 4 & 8 \end{pmatrix}$, 由于

$$|A| = \begin{vmatrix} 7 & 5 \\ 4 & 8 \end{vmatrix} = 36 \pmod{26} = 10, \text{ 所以矩阵 } A \text{ 在模 } 26 \text{ 的意义}$$

下是可逆的,可得出密钥矩阵 $K = BA^{-1} \pmod{26} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 5 \end{pmatrix}$,

从而可以获取解密矩阵 $K^{-1} = \begin{pmatrix} 5 & -2 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}$ 。一旦敌方

通过解密运算 $X = K^{-1}Y \pmod N$, 即可破解密文。

本例对应的明文为“we love math”。

本典型案例能够密切联系学生所学大数据专业,特别是学生对谍战影视剧的痴迷,对充满神秘色彩的密码破译有强烈的好奇心,结合国内外网络安全的热点问题如5G网络问题和孟晚舟事件,切实感受到基础数学在军事、现代科技以及工业生产中的广泛应用,尤其与高科技的密切关联,适时激发学生的数学学习兴趣和爱国主义情感,树立学好本领创新科技的信心,早日实现关键核心技术技术的突破,为“科技强国”的中国梦贡献力量。

特别是在教学过程中,利用古人提出的发现日常生活中线性代数应用的问题,让学生充分感受到“生活中处处存在数学”,引导学生思考。抓住知识点,以点带面,注重联系和区别。

2.5 课堂教学借助Matlab辅助

为了加强课程与专业的紧密融合性,借助于Matlab软件,引导学生运用简单的程序语言验证课程理论知识,增加学生的直观感受,体验智能计算的便捷,同时启发学生编程兴趣,引导学生将数学知识在后续课程中渗透,感受数学知识的巨大魅力,为提高学生自主学习和编程打基础。

下面给出运用Matlab软件计算复杂线性方程组通解的例子,帮助学生更加直观地理解线性方程组解的结构。

例2 求解非齐次线性方程组

$$\begin{cases} x_1 + x_2 - 3x_3 - x_4 = 1 \\ 3x_1 - x_2 - 3x_3 + 4x_4 = 4 \\ x_1 + 5x_2 - 9x_3 - 8x_4 = 0 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解: 输入 $A=[1,1,-3,-1;3,-1,-3,4;1,5,-9,-8];\%$
系数矩阵

$b=[1;4;0];\%$ 右端常数项

$z=null(A,'r')\%$ 每一列为导出组的基础解系

$x_0=A\b b\%$ 非齐次方程组的特解

输出 $z =$

3/2 -3/4

3/2 7/4

1 0

0 1

Warning: Rank deficient, rank = 2, tol = 8.837264e-15。

$x_0 =$

0

0

-8/15

3/5

从这个辅助结果可以得出其通解为

$$X = c_1 \begin{pmatrix} 3/2 \\ 3/2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} -3/4 \\ 7/4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -8/15 \\ 3/5 \end{pmatrix}.$$

经过辅助教学可以体验到编程教学的便利, 这些都需要以数学理论为基础, 引导学生读懂简单程序语言。

3 小结

线性代数课程通过新冠疫情期间三轮的线上与线下教学实践, 基于雨课堂的课堂混合式教学创新取得了良好的教学效果, 并通过问卷调查以及学生课堂互动等反馈途径了解到学生对课程教学评价比较高, 同时课程团队针对课程内容和学生专业特点, 从教学平台、教学理念、教学模式等进行了全方位教学应用创新能力的提升, 有效地提高了教学质量, 为人才培养和教学改革提供了很好的实践经验。

参考文献:

- [1] 熊声波. 教育大众化背景下应用型大学人才培养理念与困境[J]. 当代教育理论与实践, 2016, 8(11): 98-101.
- [2] 乔兴, 马丹, 纪方, 等. 新建地方应用型高校线性代数课程改革实践研究[J]. 科教导刊, 2022, 472(4): 96-100.
- [3] 周会会, 袁锐, 韩筠, 等. 基于学习通和多种智慧工具的翻转课堂实践——以线性代数课程为例[J]. 大学教育, 2022(2): 113-115.
- [4] 王桂林, 邱川鄂. 基于全课程育人的高校思想政治教育模式建构[J]. 长江师范学院学报, 2022, 38(2): 118-124.
- [5] 史永亮, 杨秀坤. “课程思政”建设与管理的理论研究及实践探索——以东北农业大学为例[J]. 教育现代化, 2019, 6(80): 287-288.
- [6] 丁茜. 希尔密码原理及应用实例[J]. 甘肃科技纵横, 2015, 44(11): 4-5+34.

Practice of Improving the Innovative Application Ability of Classroom Mixed Teaching Based on Rain Classroom in the Post-Epidemic Era

—Take Linear Algebra as an Example

REN Wenli, YIN Xiuling, LIU Yaobin

(School of Mathematics and Big Data, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: With the teaching practice of the epidemic for three years, the online and offline mixed classroom teaching has achieved good effects. Starting from the traditional teaching situation of linear algebra, we have improved the teaching innovation ability of the course in the teaching quality, the intelligent teaching, teaching methods and adding ideological and political elements, Matlab aided computing and its application in cryptography based on the Rain classroom, Tencent conference, Wechat and other intelligent teaching tools. Therefore, all these measures can effectively provide a good practice for talent training and teaching reform.

Key words: rain classroom; mixed teaching; innovative application

新农科专业课程思政的探索与实践

——以《作物育种学》为例

张红^a, 梁淑霞^b, 潘恩敬^b, 焦德杰^b, 黄振喜^a

(德州学院 a. 乡村振兴研究院, 山东 德州 253023; b. 生命科学学院, 山东 德州 253023)

摘要: 加强新农科专业课程思政建设是社会主义核心价值观塑造和实施乡村振兴战略的必然要求。以《作物育种学》为例, 从专业认同感、爱国主义、社会责任感、无私奉献工匠精神、民族自豪感、粮食安全理念、辩证唯物主义思想、诚实守信美德、明辨是非能力等方面进行了课程思政元素挖掘, 提出了故事导入、案例分析、辩论归纳、实践体验、视频推荐、纵横对比、问题启发法等课程思政元素融入的方式方法, 并从教师、学校、学生三个层面分析了提高课程思政教学效果的有效途径, 以期为新农科专业课程思政建设提供思路 and 参考。

关键词: 新农科专业; 课程思政; 作物育种学

中图分类号: G642

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0102-05

立德树人, 培养德智体美劳全面发展的社会主义接班人是高等教育的重要使命。2016年12月, 习近平总书记在全国高校思想政治工作会议上指出: 其他各门课程都要守好一段渠、种好责任田, 使各类课程与思想政治理论课同向同行, 形成协同效应。为了适应新的形势要求, 国内高校在课程思政方面进行了一些有益的探索和实践^[1], 明确了课程思政的内涵及其与思政课程的关系^[2], 探讨了部分学科门类的思政设计^[3], 但这些研究大都集中在宏观的理论, 具体到各专业课程课堂教学设计的研究还相对较少。本文系统阐述了新农科专业进行课程思政的必要性、课程思政的设计元素挖掘、课程思政元素融入课程教学的设计和方法等, 把课程思政的理念真正落在实处, 探讨可行的新农科专业课程思政教学模式和方法, 对于提高新农科专业课程思政教学效果具有重要意义。

1 涉农专业课程进行课程思政建设的必要性

1.1 社会主义核心价值观塑造的必然要求

坚定中国特色社会主义的“道路自信、理论自信、制度自信”是党的十八大精神的核心与灵魂。

爱国敬业、明礼守信、和平友善、责任担当是社会主义核心价值观对每一个公民的基本价值要求。大学生正是世界观、人生观形成的关键时期, 社会主义核心价值观的形成离不开教育, 俗话说: “十年树木, 百年树人”, 世界上最难的事就是育人。教育是一项艰巨而系统的工程, 需要精心设计, 合理分工, 多部门协同合作, 完成各自岗位目标。加强大学生思想政治教育, 既离不开专业的思政课程, 也离不开每门课程自然融入的思想、政治理念潜移默化的影响和润物无声的滋养。为实现“三全育人”的教育目标, 高校所有课程、所有教师都有责任和义务向学生传输社会主义核心价值观, 引导学生独立思考、明辨是非, 关心国家命运和前途, 自觉维护国家的稳定与和平。

1.2 实施乡村振兴战略的必然要求

党的十九大提出实施乡村振兴战略, 确定了产业振兴、人才振兴、文化振兴、生态振兴、组织振兴五大总体目标。乡村振兴战略的推进实施需要大量农业技术人才扎根基层、服务农村。可是, 由于乡村工作环境较差、交通不便、发展空间有限、工资较低等原因, 致使高校涉农专业招生困难, 即使在校的涉农专业的学生, 也不安心于本专业的学习, 只是把这作为一个跳板, 毕业后很少有人愿意

收稿日期: 2023-08-19

基金项目: 德州学院校级教学改革研究项目(dzums21-01)。

作者简介: 张红(1971-), 女, 山东平原人, 副教授, 博士, 主要从事作物遗传育种研究。

到人才紧缺的农村工作。人才的极度缺乏已经成为制约乡村振兴战略实施的重要因素之一。因此,通过课程思政建设,对新农科专业的学生进行潜移默化的熏陶和影响,使其感受到新农科专业的发展前景,真心爱上农业,并愿意从事农业,为我国的乡村振兴和现代农业的发展贡献力量。

2 新农科专业课程思政的设计元素

2.1 专业认同感的融入

专业认同感是指学生对所学专业心理上认可,情感上是热爱的、积极的,愿意接受专业教育和学习。专业认同感是学生学习动力的源泉,直接影响其学习效果及就业创业时的行业选择和个人发展^[4]。新农科专业学生大多属于调剂到本专业的学生,专业认同感较差,因此,进行专业认同感的教育和培养尤为重要。

在讲绪论这一章时,可以通过视频播放、图片展示等呈现随着时代变迁与品种的更新换代,产量、品质、抗逆性、满足社会多方面需求等方面的巨大提升和改进,使学生认识到育种工作对社会发展、粮食安全、环境的美化、人民生活水平提高的重要性,感受到育种的魅力,从而对专业产生浓厚的兴趣,激发学习热情,把学习变成一种主动的行为。

2.2 爱国主义情怀的融入

在讲绪论这一章时,可以通过我国农业发展和人民生活水平纵向、横向比较,使学生切实感受到我国社会主义制度的优越性,培养学生的爱国主义情怀。

新中国成立70多年来,在中国共产党的领导下,从“吃不饱”到“吃得饱”再到“吃得好”,中国人民生活水平发生了翻天覆地的变化。到2020年,全国农村贫困人口全部实现了脱贫,13亿人口都过上了不愁吃、不愁穿的幸福生活,保证了国家粮食安全,其中,农业科技对粮食安全的贡献率达60%^[5]。建国初期,小麦、玉米、水稻三大主粮作物的产量只有100-200公斤,现在则达到了600-1000公斤,单位面积产量增加了5-10倍。蔬菜、水果、畜产品、水产品等农产品更是种类丰富、数量充足,早已实现了周年供应。

习近平总书记指出,党的十一届三中全会开启了改革开放历史新时期。30多年来,尽管遇到各种

困难,但我们创造了第二次世界大战结束后一个国家经济高速增长持续时间最长的奇迹^[6]。从2010到2021年的10年间,中国经济总量占世界经济总量的比重翻了一番,占美国经济总量的比重也从40.4%上升至77.1%^[7],与美国的差距进一步缩小。

印度共和国成立于1950年1月26日,略晚于我国,同样是发展中国家,世界上的人口大国,印度与我国农业有着极其相似的发展历程。发展初期,都实施“以粮为纲”,从土地制度改革着手,致力于解决人民群众的温饱问题^[8-9]。经过70多年的艰苦探索,中国农业与社会经济的发展已远远超越印度。目前,我国已消除贫困,可是,印度许多人还在贫困线上挣扎。

2.3 社会责任感的融入

俗话说:“巧妇难为无米之炊”,种质资源是育种的原材料,没有优良的种质就不可能选育出优良的品种,育种上的巨大突破,往往基于特殊优良种质的发掘和利用,可是,随着经济的发展,各种自然资源的开发利用加快,造成生态的破坏和物种的消失。世界各国越来越普遍的贸易交流也加快了国内资源往国外的流失。例如:曾轰动一时的“孟山都事件”,我们国家的一株野生大豆,被偷带到美国,收录到美国的种质资源库,美国的孟山都公司在这株大豆内发现了特有的高产基因,并把它用于大豆新品种的培育。在2002年4月,孟山都公司向全球包括中国在内的101个国家提出了国际专利申请,如果该专利获得授权,我国育种机构使用涉及该基因的任何种质材料,都得向孟山都付费^[10]。目前,我国杂交水稻种质资源由于保护意识的缺乏,很多宝贵的种质资源已流失到东南亚国家。因此,种质资源的保护刻不容缓。通过这一案例激发学生的社会责任感,从我做起,树立环保意识,保护生态环境,保护各种生物种质材料,保护我们的美丽家园。

2.4 甘于寂寞,无私奉献工匠精神的融入

通过老一辈育种学家倾心于育种事业,不问名利,耐住寂寞,默默耕耘,克服种种艰难困苦,为国家育种事业做出巨大贡献的经典故事,使学生无限钦佩的同时,能以这些科学家为榜样,热爱农业,投身农业,干一行爱一行,树立吃苦耐劳,艰苦奋斗的工匠精神。如:在讲有性杂交育种这一章时,推荐同学们课下提前观看视频《科技苑“麦痴”院士的育种故事》,该视频系统介绍了“济麦22”小麦选育者赵振东院士的故事。在讲杂种优势这一章时,推荐观看视

频《袁隆平》、《为时代而歌：袁隆平》，通过杂交水稻之父袁隆平的故事，使学生对杂交水稻技术有所了解，同时，学习其不畏艰难困苦，不懈努力奋斗的精神；在讲选种这一章时，推荐学生看“大家”栏目的《束怀瑞 陌上耕耘果满园》。

2.5 民族自豪感的融入

在植物新品种审定这一章，可以通过列举数字说明我国种业取得的成就。建国以来，尤其是党的十八大以来，我国种业经历了从无到有，从弱到强，实现了跨越式发展，取得了举世瞩目的成就。近几年，我国新品种保护申请量年年位居世界第一，小麦、玉米、水稻等主要农作物基本实现了良种全覆盖，自主选育品种市场占有率在95%以上，种子合格率保持在98%以上^[11]。中国杂交稻在国外推广种植超1亿亩，为世界粮食安全做出了突出贡献。建设了甘肃、海南、四川三大国家级育制种基地，建立了国家种质资源平台，分子育种、航天育种、基因工程等高新技术有了长足的发展。中国化工、隆平高科两大种业集团进入世界种业前10强^[12]。

在航天育种这一章，通过观看视频《航天育种简史》《中国航天育种的起步，竟起源于一个偶然》《空间诱变-神舟绿鹏航天育种》，了解航天育种发展简史和我国在航天育种方面取得的巨大成就。我国的航天育种体系已建立并且育种技术、育种模式等方面遥遥领先于世界，没有国家可以媲美，直接经济效益超两千亿元。

通过让学生了解我国种业取得的重大成就，使学生内心油然而生一种民族自豪感。

2.6 粮食安全理念的融入

民以食为天，食以俭养德。粮食安全是关系国运民生的重大问题，是国家安全稳定、国泰民安的重要保障，中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己手上。可是由于城市的扩张、工业的发展，挤占了大量的良田，使我国耕地面积逐年减少。在土地面积有限的情况下，要想获得更多的粮食，只能通过选育更加优良的品种，提高单位面积的产出效益。作物新品种的选育任重而道远，要鼓励学生加强历史使命感和社会责任感，学有所用，为国家的粮食安全贡献自己的力量。

目前，餐饮浪费情况比较严重，大学餐厅里，也经常见到吃剩的馒头、饭菜随便乱弃的现象，2020年7月，习近平总书记再次强调坚决制止餐饮浪费行为，切实培养节约习惯，在全社会营造浪费可耻、节约光荣的氛围。作为当代大学生，应积极响

应国家号召，从自我做起，爱惜粮食，勤俭节约，按量点餐，点餐必光，杜绝浪费。

2.7 辩证唯物主义思想的融入

转基因食品一直是社会关注的热点问题，以此为题，让学生查阅相关文献资料，学习相关知识，加深理解，然后组织学生开展辩论赛，通过辩论，形成对转基因的正确认识，培养学生辩证思维能力，引导学生用辩证唯物主义思想思考问题。

同时通过选种的程序及选择过程的学习，启发学生深刻领悟“物竞天择，适者生存”的自然法则，再从植物界的法则延深到人类社会生存法则，认识到作为社会个体的大学生，只有不断学习，完善自我，顺应时代的发展和潮流，满足社会发展的需要，做一个对社会、对人民有用的人，才能得到社会的认可，自身价值才能得以体现。教育学生调整心态，适应社会环境，积极进取，做一个健康、阳光、乐观、向上的人。

2.8 诚实守信美德的融入

在讲品种审定时，通过精典案例“娃娃菜品种权侵权案”^[13]，使学生认识到品种权的重要性及侵权应承担的法律责任，教育学生尊重品种权，进而延伸到尊重知识产权，做学问、做人都要诚实守信，不要弄虚作假，杜绝考试作弊、自觉抵制抄袭、伪造数据等学术不端行为。

在讲良种繁育和推广时，通过2014年驻马店假种子案、2018年横跨四省的特大假水稻种子案等经典案例，让学生认识到贩卖假种子的危害及带来的后果，教育学生要诚实守信。

2.9 明辨是非能力的培养

为了谋取利益，社会上存在科技词汇盗用、滥用，夸大其词、混淆视听等现象，如：太空种子、太空茶等概念的炒作，很多都是噱头，谋取暴利的手段。通过太空育种的学习，使学生懂得什么才是真正的太空种子，并不是飞船搭载，返回地面以后就成了太空种子，而必须经过多代选择培育，品种审定以后，才有可能成为太空种子。教育学生只有刻苦学习，勤读书、勤思考，掌握一定的科学知识，才不会被一些虚假信息、虚假宣传蒙蔽双眼，才能具有明辨是非的能力。

3 课程思政融入的教学设计和方法

当前大学生普遍存在一定的叛逆心理，如果在专业课程的学习中，思政元素的融入方式不恰当、

不合理,就会沦为简单的说教,很可能导致学生的逆反排斥心理,而恰到好处的课程思政融入,可以达到润物无声的效果。根据选定的课程思政元素特点,可以采用以下融入方式方法。

3.1 故事导入法

故事导入法是指教师在教学中通过采用一些科学故事,吸引学生的注意力,激发学习兴趣,引发学生思考。例如:在讲杂种优势这一章时,可以通过“袁隆平和杂交水稻的故事”导入,让学生认识到雄性不育株的重要性,从而对杂种优势产生兴趣。

3.2 案例分析法

案例分析法是通过对一些相关真实案例讲述分析,使学生加深对专业知识理解的同时,达到思政教育之目的。例如:讲种质资源这一章时,通过对“美国孟山都公司对中国野生大豆申请专利案”这一案例的分析,让学生深刻认识到种质资源保护的重要性。

3.3 辩论归纳法

聚焦与本课程相关的社会热点问题,让学生自愿分组,课下自行搜集整理相关资料,学习相关知识,然后利用课上或课余时间举行辩论赛,通过辩论培养学生的口才和辩证思维能力,归纳形成科学的观点。例如:针对社会上对转基因食品的偏见和谣言,让学生自行查阅资料,展开辩论,在辩论中弄清真相和事实。

3.4 实践体验法

纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行。通过加强试验、实践教学,让学生亲自体验育种工作的艰辛,使其深刻领悟一切成绩的取得都是长期艰苦奋斗、不懈努力的结果。例如:组织学生参观老师的育种试验田,并参与杂交、选种、考种等工作,培养学生吃苦耐劳、踏实肯干的工匠精神。

3.5 视频推荐法

视频资料形象生动,画面感强,能给人留下深刻印象。因此应充分利用网络资源,搜集与学科相关的优秀视频资料,推荐给学生,并督促学生课下完成观看,从而达到学习和教育的目的。例如:把中央电视台的6集纪录片《种子 种子》推荐给学生。通过观看视频,可以使学生深刻认识到作为农业芯片的种子的种子的重要性,并全面系统地了解我国种业发展现状。

3.6 纵横对比法

通过纵向、横向对比,让学生从比较中感受差异,从差异中得到启迪。例如:在讲育种取得的成

就时,可以先把目前作物的产量与建国初期做一对比,让学生切实感受到这一巨大变化,同时,把国内的种业现状和国外发达国家对比,让学生认识到差距和不足,从而产生一种民族自豪感和使命感。

3.7 问题启发法

平铺直叙容易导致听觉、视觉的疲劳,以课堂提问的方式进行师生互动,引导学生深入思考,激发学生的学习兴趣和深层次的思考,领悟专业知识中蕴含的人生哲理。例如:在讲太空育种时,可以先设问“太空飞船搭载过的种子就是太空种子吗”,激发学生的好奇心,然后再引入太空育种的概念。

4 提高课程思政教学效果的有效途径

4.1 加强教师课程思政教学能力

课程思政的实施主体是老师,接受主体是学生。要取得良好的教学效果,教师自身必须具有较高的思想政治素养,同时还要考虑到学生的生理心理特点及认知水平。在植入思政元素时,要以学生的职业规划和认知习惯为参考,不断潜移默化,润物无声地启迪学生的心灵,简单而死板的说教只能导致学生的逆反心理,这对教师的教学提出了更高的要求。实施课程思政,教师在传授专业知识的同时,还要进行看似随意,实则精心的思政元素融入。这要求教师把践行社会主义核心价值观作为思想和行动上的自觉,按照国家对高等教育的新要求,不断提高自己的教学技能,把帮助学生树立正确的人生观、价值观作为专业教学的重要目标,不断深入挖掘专业课程中的思政元素,重建课程教学体系。在课程知识架构方面,不仅注重科学知识的传授,还要注重科学精神、科学素养的教育。

4.2 制定相应的激励措施

课程思政建设是一项比较艰巨的任务,由单纯的专业知识传授到专业知识传授加思政教育。首先,对专业教师自身提出了更高的要求,需要不断学习,加强自身政治素养。其次,结合专业课程挖掘思政元素,需要教师查阅大量的文献资料,并分析整理,才能筛选出课程教学可用的思政素材。再次,思政元素如何科学融入课堂教学,达到润物无声的效果,需要周密的课程教学设计。每一环节都需要专业教师时间和精力投入,如果学校没有相应的激励政策和措施,教师进行课程思政建设的动力不足,会严重阻碍课程思政建设的推进。

4.3 把思政元素融入学生考核机制

课程思政的受体是学生,课程思政建设的最终目的是对学生进行思想政治教育,把思政元素融入课程考核可以使学生认识到思政的重要性,从而自觉加强思政建设。因此,需要在现有的专业知识考核基础上,融入思政元素的考核,如:提高学生出勤情况、作业、实习报告按时完成情况等日常行为表现在期末成绩中所占的比重;在专业知识考核的同时,适当融入人生哲理、对一些问题的看法、受到哪些启迪等类似思政元素的考核。

5 结论

新农科专业的学生是未来乡村振兴的中坚力量,只有全面贯彻落实好新农科专业课程思政建设,实现三全育人,才能培养出优秀的学农、爱农、兴农的社会主义接班人。以《作物育种学》为例,可以从专业认同感、爱国主义、社会责任感、无私奉献工匠精神、民族自豪感、粮食安全理念、辩证唯物主义思想、诚实守信美德、明辨是非能力等方面进行课程思政元素挖掘;采用故事导入、案例分析、辩论归纳、实践体验、视频推荐、纵横对比、问题启发等方式方法把课程思政元素融入日常教学中;通过加强教师课程思政教学能力,制定

相应的激励措施,把思政元素融入学生考核机制可有效提高课程思政的教学效果。

参考文献:

- [1] 高德毅,宗爱东.课程思政:有效发挥课堂育人主渠道作用的必然选择[J].思想理论教育导刊,2017(1):31-34.
- [2] 何玉梅.关于“课程思政”的本质内涵与实现路径的探索[J].思想理论教育导刊,2019(10):130-134
- [3] 郑迎飞.高校课程思政教学改革思考—以《投资学》课程为例[J].高教学刊,2019(2):141-143.
- [4] 梅莉,周志翔,王鹏程,等.林学专业大学生专业认同感的调查分析[J].中国林业教育,2012(6):9-13.
- [5] 邱晨辉.我国农业科技对粮食安全贡献率达60%[N].中国青年报,2019-09-12.
- [6] 习近平.习近平谈治国理政(第二卷)[M].北京:外文出版社,2017.
- [7] 钟飞腾.百年大变局、新发展格局与中国外交新布局[J].外交评论,2023,40(1):1-27.
- [8] 普拉迪普,冯月秋.中国与印度发展比较[J].开放导报,2007,3(132):109-110.
- [9] 姚国跃,刘胜华.中国与印度土地制度及其效能比较研究[J].世界地理研究,2015,2(24):59-66.
- [10] 王惠.“孟山都”事件的法律思考—论植物基因资源和植物新品种的法律保护[J].当代法学,2002(1):2-5.
- [11] 周怀宗,王巍.我国农作物良种覆盖率超96%自主选育品种面积占比超95%[N].新京报,2021-01-12.
- [12] 乔金亮.我国主要农作物良种基本实现全覆盖[N].经济日报,2019-12-10.
- [13] 梁欢欢.北京华耐“娃娃菜品种侵权案”一审胜诉[N].农民日报,2017-11-20.

Exploration and Practice of Curriculum Thought and Politics Education in New Agricultural Specialty — Taking 《Crop Breeding》 as an Example

ZHANG Hong^a, LIANG Shuxia^b, PAN Enjing^b, JIAO Dejie^b, HUANG Zhenxi^a

(Dezhou University a. Rural Revitalization Research Institute; b. School of life sciences, Dezhou
Shandong 253023, China)

Abstract: Strengthening the curriculum ideological and political construction of the new agricultural specialty is an inevitable requirement for shaping the socialist core values and implementing the strategy of Rural Revitalization. In the paper, taking 《crop breeding》 as an example, ideological and political elements of the course were excavated from the aspects of professional identity, patriotism, social responsibility, selfless dedication, craftsman spirit, national pride, food safety China, dialectical materialism, honesty and trustworthiness, the ability to distinguish right from wrong and so on, the ways integrating ideological and political elements to the curriculum, such as story introduction, case analysis, debate induction, practical experience Video recommendation, vertical and horizontal comparison, and problem heuristic were put forward, and the effective ways to improve the ideological and political teaching effect of the curriculum were analyzed from the three levels of teachers, schools and students, in order to provide ideas and references for the ideological and political construction of the new agricultural specialty curriculum.

Key words: new agricultural specialty; curriculum thought and politics; crop breeding

基于工程教育认证的多元协同人才培养模式研究

——以德州学院互联网产业学院为例

于士军, 朱恒伟, 胡凯, 刘豪睿

(德州学院 计算机与信息学院, 山东 德州 253023)

摘要: 工程教育认证理念对于计算机类人才培养有重要指导作用。结合创新性应用型本科高校及地方企业对人才素质的基本要求, 充分考虑当前计算机类人才培养现状, 德州学院与地方优质企业共建德州学院互联网产业学院。以成果为导向, 构建基于工程教育认证的多元协同人才培养模式, 共同为社会培养创新性应用型需求人才, 提升人才培养质量。

关键词: 工程教育认证; 多元协同; 互联网产业学院; 人才培养模式

中图分类号: G642.0

文献标识码: A

文章编号: 1004-9444(2023)06-0107-04

0 引言

国务院2014年《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》中提出“探索发展本科层次职业教育”, 号召引导一部分普通本科高校向应用技术类高校转型^[1]。要求企业参与制度的不断完善, 深化产教融合, 鼓励企业积极参与育人合作, 使企业成为重要的办学主体。以工程教育专业认证标准为指导, 以成果为导向, 培养计算机类人才, 使其既有较坚实理论基础同时又具备较强工程实践和创新能力。《国家中长期教育改革和发展规划纲要》规定了将全面提高高等教育质量和人才培养质量作为我国高等教育发展目标, 表明人才培养质量的提升是国家重视并付诸实施的长远发展教育政策^[2]。德州学院作为地方性本科高校, 要充分发挥为地方经济发展提供智力支持的作用, 与地方知名企业合作, 创建互联网产业学院, 探索新的多元协同人才培养模式, 培养创新性应用型人才, 完善创新性应用型本科教育体系。

1 研究目标

1.1 计算机类专业人才培养现状

近年来计算机技术获得了飞速发展, 伴随而来的是对计算机相关专业人才培养模式优化的需求。一方面社会和企业对于大量计算机人才的需求不断增加, 人才格局的构成却不均衡; 同时在专业课程、教学内容的设置以及人才培养模式方面也跟不上信息技术的发展。当前高校计算机类专业人才培养现状主要体现在以下几个方面^[3]:

1) 培养方式同质化比较突出, 缺乏创新点。人才培养目标及培养方式缺乏特色, 创新性人才培养成果不突出, 不能适应社会对人才的需求。

2) 课程体系灵活性不足, 缺乏及时调整机制。课程的设置不能依据产业对人才需求的改变及时进行调整, 相关基础课程及理论课程占据较大比例, 工程实践类课程较缺乏。

3) 师资队伍构成过于单一, 缺乏实践指导能力。计算机专业的许多教师缺乏工程实践能力, 在授课过程中只突出理论教学; 教师实践能力的激励机制和提升环节比较欠缺。

1.2 研究目标

德州学院以工程教育认证理念为指导, 充分发挥企业实践类办学主体优势, 创建德州学院互联网

收稿日期: 2023-08-27

基金项目: 山东省本科高校教学改革研究项目“基于OBE理念的‘政产学研用’多元协同育人机制研究——以德州学院互联网产业学院为例”(M2021156); 山东省教育教学研究课题“新工科背景下基于OBE-CDIO理念的五维一体应用型创新人才培养体系研究”(2023JXY046); 德州学院校级重点项目“基于OBE理念的地方本科应用型院校本科生导师制在教学体系构建中的应用研究”。

作者简介: 于士军(1974-), 男, 山东沂南人, 讲师, 硕士, 研究方向: 网络工程。

产业学院，构建计算机类专业多元协同人才培养模式。在构建过程中深化教学改革，提出“实基础、强实践、求创新、宽视野、高素养、重责任”和“一生一师一项目”的培养目标和培养要求。按照培养目标要求，在课程体系、教学模式与方法、师资队伍体系、评价反馈机制等方面进行创新性构建和改造，让以成果为导向的OBE理念在人才培养模式构建中起到穿针引线的引领作用。

2 多元协同人才培养模式构建

校企合作以建设互联网产业学院为目标，依托于工程教育认证理念，优化资源、融合发展，在重新架构课程体系、创新设计教学方法、建设双师师资队伍等方面开展合作，创建“政产学研用”多元协同育人模式，不断评估和改进，为社会输送急需的优秀计算机人才。通过此创新的产学研协同育人机制，为互联网产业学院的建设和发展提供保障，同时也为其他现代产业学院育人机制的改革提供借鉴。

2.1 校企共建互联网产业学院

德州学院与山东黑马集团响应国家有关战略要求，创建互联网产业学院，深化产教融合，为产业长远发展提供服务；进行优质资源整合，促进大数据技术在互联网行业应用和发展。校企进行充分协调沟通，大力加强合作深度，深度促进产教融合，在促进人才培养、强化人员培训、企业数字化转型、大数据赋能传统业务、创新创业项目培育、大数据产业发展智库等方面，全方位、多角度进行规划布局，打造德州大数据全产业链新格局，有力促进德州学院计算机类人才多元协同育人模式健康发展。

2.2 以成果为导向构建多元协同人才培养模式

1) 明确以成果为导向的培养目标

培养目标由企业创新性应用型人才的需求以及学生将来全面发展的要求所确定^[4]。德州学院互联网产业学院依据对企业需求人才类型情况的分析，并结合学生在德智体等各方面发展的培养要求，同时重点考虑学生在毕业时所应具备的能力和要 求，即创新性应用型人才在毕业五年后所应具备的知识、能力、素质等来制定培养目标。德州学院互联网产业学院以工程教育认证理念为指导，兼顾企业需求及学生全面发展要求，明确了“实基础、强实践、求创新、宽视野、高素养、重责任”的培养目标，同时也确定了人才培养模式的构建途径。具体见图1。

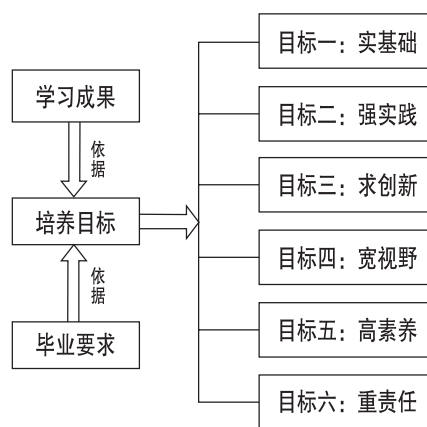


图1 培养目标

德州学院互联网产业学院通过确立培养目标，并以此指导人才培养，锻炼学生独立思考能力，培养学生批判思维意识，改变了传统教学中以教师为中心的教學理念，转换为以学生为中心^[5]，体现了创新教育、素质教育的理念，解决了“培养目标模糊和培养方式雷同”的问题。

2) 重构面向产出的课程体系

德州学院互联网产业学院从充分考虑企业所需人才类型、面临实际工程问题等情况出发，重构面向产出的课程体系。要解决以前课程中理论课程所占比例过大的问题，以面向产出为导向，结合企业技术难题，以企业项目为驱动，发挥校企合作优势，对接产业发展，增加工程实践类课程所占的比例。构建由通识类课程、专业理论类课程、专业实践类课程等构成的符合培养目标的课程体系，同时推进专业课程教材的编写。

课程体系应该从以下几个方面贴合人才培养目标：添加“实基础”课程。为达到目标要求，将与专业基础有关的《数字电子技术》《数据通信原理》等添加到课程体系中，增强学生的专业基础知识应用分析能力；添加“强实践”课程。为达到此目标要求，将《数据结构算法分析》纳入课程体系中，以增强学生建模分析能力；添加“求创新”课程。为达到此目标，将《程序设计》添加到课程体系中，增强学生创新能力；添加“宽视野”课程。为达到此目标，增加《大学英语口语》，开拓学生国际视野，便于学生了解国外科技新动态；增加《EDA设计》，拓宽学生工程项目视野；添加“高素养”课程。将《中国近代史纲要》《工程训练》等添加到课程体系中，有效提升学生综合素养；添加“重责任”课程。通过添加《软件项目开发与实践》，充分发挥团队作用，提升学生责任意识。具体见表1。

表1 课程体系

课程模块	课程名称	课程作用	实现目标
通识课程	高等数学	基础自然科学知识 外语能力与国际视野	实基础 宽视野 高素养
	大学物理		
	数字电子技术		
	大学英语口语		
	中国近现代史纲要		
专业理论	数据通信原理	基础知识原理应用分析	实基础
	传感网与物联网技术		
	离散数学		
	计算机导论		
	微机原理与技术		
	嵌入式技术及应用		
专业实践	计算机网络	软、硬件问题分析建模	强实践 宽视野 求创新
	计算机组成原理		
	大数据分析		
	Python程序设计		
	EDA设计		
能力拓展	Java程序设计应用	复杂系统设计、开发	求创新 重责任 高素养 宽视野
	Hadoop程序开发		
	软件项目开发与实践		
	工程训练		
	ARM体系结构		

3) 构建以成果为导向的教学模式和方法

德州学院互联网产业学院依托工程教育理念, 以学习成果为导向, 实行导师制, 推行项目化教学, 对教学方式进行改革, 实现人才培养目标与毕业要求相一致。具体体现在如下多元化教学方式上: 包括开展导师科研项目教学、在开放场地进行教学、借助网络教学、参加学科类竞赛、在企业开展实训教学、在社区开展服务教学等。在教学过程中, 将学生作为教学中心, 导师引导学生制定自主学习方案, 发现并培养学生的科研潜质与学习兴趣, 促进学生积极主动去探究与创新, 尤其是项目驱动教学法, 对于激发求知欲, 增强参与意识, 持续提升学生的知识获得能力、理论联系实际能力、合作交流能力都有非常好的效果。另外, 积极开展国内外科研院所的交流合作, 以满足学生的个性化持续进步需求, 同时还可以拓宽学生的视野, 促进学生保持学习与科研的兴趣。具体实施方式见图2。



图2 个性化多元教学模式

4) 完善校企师资队伍建设

针对当前德州学院师资队伍建设的现状, 德州

学院互联网产业学院注重师资队伍建设, 打造了一支理想信念坚定、教育理念先进、理论知识扎实、工程经验丰富的高水平双师型教师队伍。在队伍创建过程中, 选派任课教师进驻企业进行挂职, 获得工程项目实践经验。同时, 聘请企业经验丰富、理论扎实、技术高超的工程师从事兼职授课工作, 指导大学生进行工程项目训练。校企双方共同选出有理论及工程项目经验的成员组建教师队伍, 结合工程项目实际, 在担任导师、编写教学大纲、落实教学计划、使用维护网络设备、编写及实施实验大纲、上机分组实验操作、编写修改源代码、联合指导学生学位论文和毕业设计等方面进行交流与合作, 构建符合德州学院互联网产业学院人才培养目标的教学体系。通过校企通力合作、资源互补, 共同将教学效果和人才培养质量提升到一个新高度, 有效地促进了教师队伍教学和科研能力的提升, 促进计算机相关专业的专业发展。另外, 校企合作还有激励机制的优化功能。以能力和品德以及成果作为导向, 可促进教师的分类管理, 创立适合地方普通本科院校教师的评价与激励机制。

5) 构建持续改进评价机制

德州学院互联网产业学院根据工程教育认证理念, 结合各项评价数据, 对人才是否达到毕业要求进行评价^[6], 并根据评价结果做出改进建议。根据企业对人才需求情况、五年后毕业生的工作业绩、企业对毕业生的评价等进行分析, 即从另一角度对培养目标达成情况进行评价并给出改进建议, 包括对课程体系、教学方法、师资队伍等方面的持续改进, 使人才培养过程能够得到持续评价和改进, 促进提升人才培养质量。具体见图3。

培养目标达成度的评价依据以下这些方面: 应用型人才培养目标的达成情况, 可以通过大学生正常毕业比例、学位获取比例以及就业率、研究生的升学比例、毕业生对社会的服务能力进行跟踪调查来衡量; 培养目标的合理性通过毕业生的就业率和评价高校教务管理人员、教师对毕业生培养目标的达成度以及通过对校友、用人单位、行业专家的调查来进行评价; 对于毕业要求的评价是由负责学生工作的教师对毕业生的理论知识以及实践能力等各个指标的完成状况开展评估分析, 对收集到的各种数据进行精准分析, 获得毕业要求达成度, 同时对其进行中肯评价。学校教学管理部门的教师、骨干专职教师、企业工程师等专家对所获得的毕业要求达成度开展评估分析, 将获得的评估结果和毕业要求所对应的标准进行对比, 针对不足之处进行合理改进与完善; 另外, 可以借助教师的自评、教师

之间的互评、学生在网上的评教评学、教学督导部门的评价、毕业生对于教师及课程等的评价、学生就业单位的评价等多维度的评价方式,学校教务部门可以获得比较客观的评价参数,从而对教学情况以及教学质量问题等相关信息实时掌握,以此为基础,对教学进行持续地改进提升。

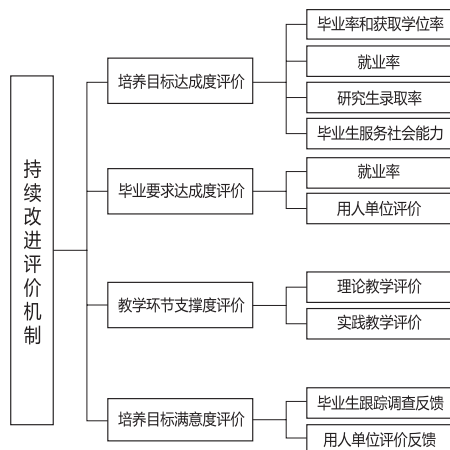


图3 持续改进评价机制

2.3 具体成果

通过多元协同育人机制充分发挥产业学院和相关平台的作用与优势,已产生如下成果:

1) 构建了特色产业班、项目导师制、CDIO项目化教学等互为协同的育人模式。

2) 构建了基于CIPP模型的“政产学研用”多元协同评估机制。

3) 出版项目化教材1部;发表相关研究论文2篇;获批教育部产学合作协同育人项目1项;指导德州学院互联网产业学院学生参加科技竞赛15项,获得省级以上奖项6项;获批大学生创新创业训练计划项目2项。

随着项目不断推进,将有更多成果得以展现。

3 结语

根据地方应用型创新性高校人才培养目标的要求,德州学院与本地优质企业合作创建德州学院互联网产业学院,将工程教育认证理念用于指导人才培养全过程,在明确培养人才目标、重新构建课程体系、改进教学模式及方法、构建师资队伍及评价机制等方面,创造性地提出并实施新理念、新方法,构建基于工程教育认证的多元协同人才培养模式。所确立的培养目标促进了以成果为导向这一理念的有效实施,有效地提升了应用型人才培养质量。通过“政产学研用”五方联动,使德州学院互联网产业学院人才培养工作更切合区域经济社会发展需求。

参考文献:

- [1] 杨欣伟,甄立常,巩晓宁,等.高职院校工业互联网产业学院组建模式研究[J].工业技术与职业教育,2021(4):24-30.
- [2] 赵瑞玉,席兵.德国工程教育认证下基于OBE理念的物联网专业人才培养模式研究与实践[J].教育教学论坛,2020(9):178-179.
- [3] 郭伟,韩海,董蕴源,等.基于工程教育专业认证的网络工程专业人才培养研究[J].当代教育实践与教学研究,2020(2):88-89.
- [4] 高迪,申林山,张立国,等.基于协同育人的工业互联网人才培养路径研究与探索[J].中国多媒体与网络教学学报,2021(5):110-112.
- [5] 董晨,戴敏,何林鸿,等.基于工程教育认证的计算机专业人才培养模式研究[J].教育教学论坛,2019(12):65-66.
- [6] 王桂录,张志永.以专业导论课程为引领的成果导向式应用型人才培养模式探索与实践[J].中国现代教育装备,2019(1):75-76.

Research on the Multi-coordinated Talent Training Mode Based on Engineering Education Certification

—Take the Internet Industry College of Dezhou University as an Example

YU Shijun, ZHU Hengwei, HU kai, LIU Haorui

(School of computer and information, Dezhou University Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: The concept of engineering education certification plays an important guiding role in the cultivation of computer talents. Based on combining with the basic requirements of innovative application-oriented undergraduate colleges and local enterprises for talent quality and considering the current status of computer talent training, a Dezhou university internet industry college was built by Dezhou University and the local high-quality enterprise. Guided by results, a multi-coordinated talent training model based on engineering education certification was built. The innovative and applied talents were jointly cultivated for social needs. The quality improvement of talent training was promoted.

Key words: engineering education certification; multi-collaboration; internet industry college; talent training model

2023 年总目录

第 1 期

- 中国共产党应对重大困难的百年华变及其基本经验 田福宁 (1)
- 从党的二十大精神中汲取乡村振兴的力量 李文静 蔡青 (7)
- 应用型高校区域国别学学科建设探索
- 基于德州学院东盟研究中心的实践 马应心 宋 霖 (10)
- 黄河—湄公河流域地方合作的文化基础和资源 张国强 (15)
- 双重比较优势下山东对东盟投资合作模式优先级判定 左 力 吕志轩 梁 超 (19)
- 列宁的法治思想探究 孙乃龙 崔珍玉 (28)
- 浅谈虚假离婚行为的效力 滕天宇 王悦霖 (34)
- 婚姻关系视角下清末女性权利的保障
- 以《大清民律草案》婚姻章为例 薛 涵 (38)
- “禹敷土，随山刊木，奠高山大川”歧解辑释录辨析 宋海燕 (42)
- 杜甫《旅夜书怀》的思想蕴含及其育人价值 黄学义 (46)
- 国内戴维·赫尔曼叙事学著作研究综述 宋 杰 (51)
- 论科幻作家的作者身份焦虑 刘霖杰 (59)
- 罗马—拜占庭、萨珊波斯间关系与丝绸之路西段贸易 高克冰 (67)
- 元代中书省户部官员额问题考析 白云敏 (74)
- 治与祸：1933 年马颊河的河流治理 周子钦 (81)
- 论董仲舒对两汉乐教的礼法化建构 张小雨 (86)
- 教师教育课程课堂教学有效性的提升研究
- 基于成人学习视角 房 敏 张 楠 (94)
- “双减”政策解读：提出、原因及定位 张兴峰 王 英 侯深燕 (101)
- 基于师范认证标准的汉语言文学专业人才培养模式
- 以德州学院为例 邵丽光 (106)

第 2 期

- Be/X射线双星X0726-260(4U 0728-25)的轨道周期性研究
.....唐廷柯 盖宁 李怀珍 董富通(1)
- Sylvester四元数矩阵方程Hankel解的半张量积方法
.....闫立梅 赵琳琳 崔连香 刘莉 刘耀斌(5)
- 一类不确定时滞系统的非脆弱 H_∞ 控制.....刘婕 张晓雪 徐丽晓(12)
- 疫情防控常态化背景下大学生心理健康状况调查及影响因素分析
——以德州学院为例.....孙晨晨 朱超 李艳龙 李士纪(18)
- 基于双目视觉的辅助喂食系统的应用研究.....李海军 刘豪睿 王振岭(26)
- 基于迁移学习的道路积水检测算法.....赵丽丽 晁鑫(31)
- 图书馆智慧服务环境中用户行为数据的隐私保护策略研究.....韩洁(36)
- 夏津黄河故道古桑树群一二三产业融合发展途径探索
.....张晶 唐艳 刘芬(41)
- 聊城市茌平区园林绿化树种调查与分析.....李冬雪 刘丽云 刘丽霞(46)
- 淮河生态经济带农业绿色发展水平测度及障碍因子分析
——以安徽省阜阳市为例.....孙晓宇 邰红艳(51)
- 基于COWA-云模型的可持续供应链合作伙伴选择.....包菊芳 刘宏程(57)
- 经济高质量发展背景下德州市推进数字经济的路径探析.....吴洁 甄颖(63)
- 基于员工满意度调查的企业留人机制管理对策
——以三岳化工有限公司为例.....王秀娟(69)
- 山东省体育产业与旅游产业耦合协调发展评价研究
.....韩志超 唐克己(74)
- 高校体育专业混合式教学的特征、问题与改进策略
.....刘源 陈翀 王海涛(79)
- 新时代应用型本科高校大学生精准资助育人模式的构建研究
.....薛文辉 刘长龙 韩英甲(84)
- 高校引导新时代大学生基层就业长效机制研究.....吕凤玲(89)
- 基于BOPPPS的混合式单片机接口技术课程教学
——以德州学院为例.....董文会 曲培树 张白云(94)
- 地方应用型高校化工人才“三位一体”培养模式的探究
——以德州学院化学工程与工艺专业为例.....冯传起 张晨韵 辛炳炜(97)
- “三维一测”智慧教学互动模式构建与应用
——以《现代教育技术》为例.....张晓蕾 王芳 王爱丽 贾春晓 李洪亮(101)
- 高校思政课教学方法探析.....李霞(106)

第 3 期

- 中国式现代化的比较逻辑·····李霞 张瀚(1)
- 巩固脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接对策研究
——以德州市为例·····赵环秀 李松雷(6)
- 越南燕行使笔下的大运河
——以阮宗室《使华丛咏集》为中心·····胡梦飞(11)
- 视觉叙事分析框架下山东运河非物质文化遗产传播研究·····刘洪静(17)
- 冀鲁边红色文化的短视频传播·····杨蕾(21)
- 打造大运河国家文化公园德州品牌研究·····杨佳慧(24)
- 革新、拓展与深化：近十年国内的《德意志意识形态》研究
·····尹江铖 董朵朵(28)
- 现象学视域下的孔子人格诠释·····张明伟(35)
- 公共服务视野下学前教育的发展问题与对策探析·····杨庆毅(42)
- 《论语·乡党》“色斯举矣”章解析·····陈玉栋(47)
- “推移的悲哀”
——试论晏殊词的时间意识与失落感·····戴凡宇(51)
- 《四库全书总目》的宋诗观·····周童(56)
- 山东“非遗”舞蹈大祁庄地秧歌的调查与研究·····韩晗 孙晓丹(61)
- 论《民法典》农村土地经营权出租制度的立法完善·····张庆华 王淑贤(65)
- 高校法律顾问制度建设刍议·····杨伟 王海鹏 刘健美(69)
- 德州市深度融入黄河国家战略法治保障的路径·····徐丽红(73)
- 天之继坎：董仲舒辩证养生观的主体意涵·····白立强(78)
- 德州运河文学
——德州董子名胜诗探微·····崔秀霞(83)
- 明朝与苏禄交往历史对高校课程思政的启示
·····苏月秋(87)
- 学前教育专业“五位一体”人才培养模式研究·····李双 刘山陵(91)
- 课程思政背景下专业基础课程教学模式探索
——以高校美术学专业为例·····李姗姗(97)
- 师范生从业技能大赛指导现状研究
——基于德州学院调研实证·····钟铎(102)
- 幼儿园课程资源整合利用的问题及对策
——基于中外幼儿园课程案例的分析·····侯瑞 王萍(107)

第 4 期

- 大数据下 Logistic 模型的最优子抽样算法研究····· 韩坤凌 (1)
- 一种新型组网雷达成像信息处理技术····· 张 涛 (5)
- 长链非编码 RNA MITA1 表达下调对肝癌细胞增殖、迁移和凋亡的影响
····· 金 雯 王 波 周健坤 施 炜 (12)
- 基于像素偏移值信号增强算法的单脉冲候选体分类方法研究····· 扈 钰 马 硕 (16)
- 元宇宙赋能图书馆高质量发展研究····· 陈立华 (22)
- 高校档案信息化建设策略研究····· 赵志杰 赵爱学 (28)
- 深孔内抛物面数控镗刀设计····· 谭德宁 (32)
- 传统桑文化对夏津椹果特优区古桑树群保护和传承的影响分析····· 尹训刚 周振亚 (39)
- “双碳”背景下海尔智家 ESG 表现对企业绩效影响研究····· 夏秀芳 姜子怡 (46)
- 经济交往与社会整合
——以喀什地区巴扎研究为例····· 梁 媛 李紫陌 (53)
- 德州市数字经济发展水平与产业融合发展的耦合度研究····· 肖风华 王金波 (58)
- 应用型本科高校建设专项资金绩效评价指标体系的设计与应用
——以 D 高校为例····· 滕 艺 (66)
- 我国青少年体育俱乐部治理实效影响因子与改进策略
——基于结构方程模型的实证研究····· 刘 丽 (75)
- 高校辅导员对大学生心理危机事件的预防与干预····· 李芳菲 (84)
- 高校学生党建样板支部引领大学生思想政治教育路径研究
····· 蔡胜男 冯立顺 武珊珊 (89)
- 气体自由膨胀的数值模拟实验设计····· 徐 雷 (93)
- 《生态学》教学中思政教育知识点解析
····· 张乃芹 贾海慧 郑 芳 刘丽云 冯建英 徐荣艳 (98)
- 跨界融合深化应用型人才培养模式改革
····· 陈 洁 许保彬 孙秀云 冉玉梅 吴延霞 (102)
- 工程教育认证背景下基于 PBL 的教学改革与实践
——以数据结构课程为例····· 戎丽霞 吕文志 徐志敏 (107)

第 5 期

- “三环三色三育”党建品牌引领推动样板支部建设
- 以德州学院化学化工学院第一教师党支部为例·····伊连云 贾春晓(1)
- 试论姜夔的诗学思想与词序创作·····王雨晨(4)
- 明代王门学者王宗沐刊刻《传习录》的礼教思想·····杜梅(10)
- 鲁迅笔下的“堂吉诃德”与“庄子”
- 从译作《解放了的董吉诃德》谈起·····高闻(14)
- 解放区减租土改小说的叙事形态
- 以李束为作品为例·····李慧(21)
- 埃默切塔《为母的快乐》中的非洲女性困境·····高文惠(27)
- 资深媒体人作为网络大V的传播行为研究·····游雨欣(34)
- 指示词“这”充任主语的受限性及其原因·····马超(38)
- 辜鸿铭《论语》翻译的跨文化互释·····史青玲(44)
- 儿童幻想小说中戏仿诗歌翻译的美学阐释
- 以《爱丽丝漫游奇境记》为例·····王焕(49)
- 清代黄运引河刍议·····郑民德 田昭煜(55)
- 夏津方言俗词俗语例释·····贺同赏(60)
- 面向德州对接东盟联络陪同口译人才培养研究·····崔静静(66)
- 重黎—羲和氏族女子婚姻考·····张德苏(69)
- 浅论民国时期中小学教师的日常社会交往·····姜朝晖 李敏(75)
- 冀鲁边区—渤海区的文化建设述论·····张立胜 王瑞(80)
- 19世纪中后期英属印度贝拉尔地区棉花种植推广探析·····毛锐 白景旭(86)
- 高校制度文化的建构
- 基于“立德树人”根本任务的视野·····王丽(91)
- 建设生育友好型社会的现实困境与优化路径
- 以福利多元主义为视角·····常进锋 刘畅(95)
- 新时代我国家庭养老的主要矛盾与应对·····李松雷(100)
- 基于反向课程矩阵学理的世界现代史教学设计探究·····王延敏(104)

第 6 期

- 带有 p -拉普拉斯算子的非线性 q -差分方程的正解问题……董华营 李秋萍 吴顺军 刘 婕 (1)
- 古代玻璃制品属性及化学成分数学建模的研究
…………… 解 慧 张建国 郭 磊 车建坤 员乐乐 王美琪 (6)
- 基于高维删失数据的分布式惩罚平均经验欧氏似然 …………… 朱彦霖 于海生 (15)
- 氧化海藻酸钠交联羧甲基壳聚糖凝胶的制备及其性能研究
…………… 康明臻 苏顺洁 刘书霞 陈新钰 李 燕 杨效登 (23)
- 包皮手术患儿家长参与围术期照护的知信行现状及影响因素分析…………… 张 鑫 万晶晶 盛建民 (28)
- 局部浸润麻醉在前臂自体动静脉内瘘狭窄腔内治疗中的临床应用
…………… 孙志俭 王海庆 高 峰 闫文科 张文凯 侯向前 项丹丹 (33)
- PMO管理模式高校应用型科研项目进度风险评价研究
…………… 桂郦娜 林佳楠 武 斌 陆 露 (37)
- 基于变分贝叶斯与子空间辨识的融合定位算法…………… 夏金凤 刘延旭 (44)
- 一种柔性仿生手指创新设计与运动分析…………… 张灿果 朱承科 陈 海 张健伟 (50)
- 京津冀协同发展背景下德州市城乡融合协调发展的路径…………… 刘富刚 (56)
- 德城区河流缓冲区生态空间变化研究…………… 安文明 张 霞 张东旭 李洋洋 (62)
- 高管激励与企业创新绩效影响研究
——基于高管风险偏好的调节效应…………… 易 斌 蔡 红 (67)
- 人才聚集助推山东黄河流域高质量发展路径设计与政策研究…………… 邵 林 梁桂香 (76)
- 山东数字经济测度及其分布的动态演变研究…………… 梁 超 (83)
- 教育治理现代化视角下高校内部控制研究
——以D大学为例…………… 郭宗睿 (88)
- 一例Co(III)配合物的综合实验教学设计
——合成、表征及理论研究…………… 魏荣敏 李 刚 杨 敏 张秀玲 李荣春 (94)
- 后疫情时代基于雨课堂的混合式课堂教学创新应用能力提升实践
——以线性代数课程为例…………… 任文丽 尹秀玲 刘耀斌 (98)
- 新农科专业课程思政的探索与实践
——以《作物育种学》为例…………… 张 红 梁淑霞 潘恩敬 焦德杰 黄振喜 (102)
- 基于工程教育认证的多元协同人才培养模式研究
——以德州学院互联网产业学院为例…………… 于士军 朱恒伟 胡 凯 刘豪睿 (107)