

高校城市轨道交通相关专业学生综合素质 评价体系的构建及应用^{*}

盛知恒

(上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海//讲师)

摘 要 为了科学、全面、精准地对高校学生进行综合素质评价,在多方调研数据的基础上构建了契合专业、满足企业需求的城市轨道交通相关专业大学生综合素质评价指标体系。运用基于层次分析法及熵权法的主客观组合赋权来确定综合素质的指标权重,并引入正态云模型分析评测结果。以上海工程技术大学城市轨道交通学院为实例,应用上述评价指标体系,通过组合赋权法的计算及正态云模型的分析,发现个人修养和创新实践是轨道专业学生较为薄弱的部分。提出了加强社会主义核心价值观的引导,提升专业教师及企业导师协同育人的实效,完善综合素质型人才培养的机制等针对性措施。

关键词 轨道交通;专业教育;学生综合素质评价

中图分类号 G40-058.1:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.12.006

Construction and Application of University Students Comprehensive Quality Evaluation System for Urban Rail Transit Related Major

SHENG Zhiheng

Abstract To carry out comprehensive quality evaluation scientifically, comprehensively and accurately on university students, a comprehensive quality evaluation index system for university students majoring in urban rail transit based on multi-party research data is constructed, so as to meet the needs of the enterprises. The subjective and objective combination weighting of AHP (analytic hierarchy process)-Entropy method is used to determine the index weights of comprehensive quality, and the normal cloud model is introduced to analyze the evaluation results. Taking the School of Urban Railway Transportation of Shanghai University of Engineering Science as an example, by applying the above evaluation index system, through calculation of combined weighting method and analysis of the normal cloud model, it is found that self-cultivation and innovative practice are the relatively weak parts of rail transit major students. Therefore, specific measures are put forward

such as strengthening the guidance of core socialist values, improving the effectiveness of collaborative education of professional teachers and enterprise mentors, and completing the mechanism of training talents of comprehensive quality.

Key words rail transit; professional education; student comprehensive quality evaluation

Author's address School of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

2021年3月,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》(以下简称《纲要》)提出,要深化新时代教育评价改革,建立健全教育评价制度和机制,发展素质教育^[1]。在当前我国全面深化教育改革的外部要求和现实环境下,轨道交通相关专业的人才培养要面向未来的技术发展,主动对标《交通强国建设纲要》,着力培养一批复合型人才,服务于加快建设交通强国、完善综合交通枢纽和物流网络、建设城市群和都市圈轨道交通网络化。而城市轨道交通领域的高层次人才培养需要与之对应的综合教育评价体系。这是发展素质教育、转变育人方式、提升育人成效的重要支撑和保障。

在新时代整个教育评价体系中,学生综合评价是最重要、最基础、最核心的部分,能为促进学生的全面发展、建立科学且正确的育人模式指明方向。学生综合素质评价体现了高校对教育功能、教育内容及教育质量的诉求,在学生全面发展和培养高精尖复合型人才体系中,发挥着越来越重要的作用。为实现专业人才的全面、复合、个性化培养,须按照《纲要》中的教育评价改革总体要求,加快构建适合时代特征、体现行业特色、满足企业需求的学

^{*} 教育部人文社会科学研究专项任务项目(高校辅导员研究)(21JDSZ3134)

生综合评价体系。本文从行业特点及专业特点出发,基于学生综合素质评价需求,构建城市轨道交通相关专业学生综合素质评价指标体系(以下简为“城轨学生评价指标体系”),并在实际教学中应用。

1 构建城轨学生评价指标体系

1.1 目前学生素质评价体系存在的问题

当前,高校学生培养更注重学生的学业成绩指标的考核,缺少对学生综合全面素质的客观评价^[2-3]。尽管各高校都在完善学生素质评价体系,但仍存在诸多问题:

- 1) 评价指标过于简单片面。评价指标多集中在学业、道德和社会工作等方面,往往忽略了对学生创新实践、终身学习等能力的评价。
- 2) 综合评价方法过于主观、笼统。目前,多数高校采用学生自评、班级互评及班导师评价等打分形式进行评价,未能将定性分析与定量评价相结合。
- 3) 未从行业背景、专业契合度、企业需求等多角度,进行综合性、系统性、交叉性的研究,缺少相

应的评价工具及评价标准。

1.2 城轨学生评价指标体系

针对上述问题,本文从城市轨道交通的专业特点出发,设计了层次清晰、结构完整、全方位覆盖的城轨学生评价指标体系。

参考国内外大学生综合素质评价指标体系建立的相关理论及方法文献,以《深化新时代教育评价改革总体方案》及《上海市深化新时代教育评价改革实施方案》为主要依据,辅以 2021 年城市轨道交通现代产业学院专家咨询会研讨成果、《基于企业需求的城市轨道交通学院大学生综合素质调查问卷》《上海工程技术大学学生德育素质评价实施办法》及《交通强国建设纲要》,建立城轨学生指标体系框架。通过行业内专家深度座谈、企业用人单位访谈、专业教师小组研讨等方式,对城轨学生指标体系的具体内容进行补充和完善,进而形成了以行业发展和企业需求为导向的城轨学生评价指标体系。城轨学生评价指标体系架构及内容见图 1。

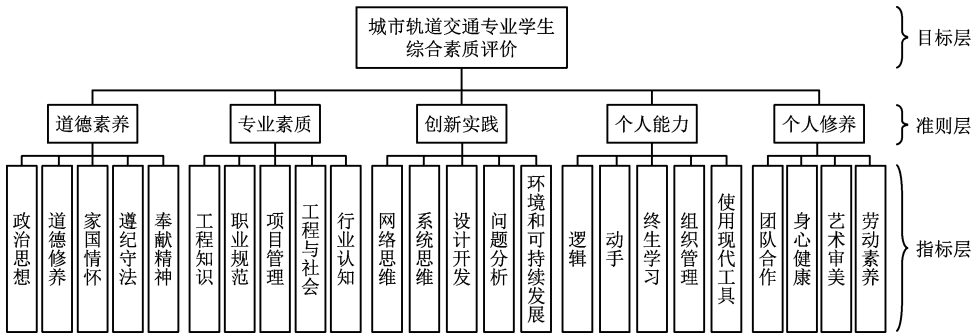


图 1 城轨学生评价指标体系的架构及内容

Fig. 1 Structure and content of urban rail transit student index system

2 城轨学生评价指标体系的主要技术

城轨学生评价指标体系采用两大主要技术:

1) 组合赋权。采用 AHP(层次分析法)和熵权法来计算各指标的主客观权重,并通过博弈论理论来确定综合权重。

2) 云模型。基于现有的学生综合素质评价方法建立了云模型,用于分析各指标的评价结果及特征。

2.1 组合赋权

2.1.1 主客观权重

本文使用 AHP 来计算各指标的主观权重,并采用 Saaty 教授提出的 1~9 标度法对同层的指标进

行两两对比^[4-5],构建判断矩阵 A 为

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中:

a_{ij} ——相对于指标 j 的指标 i 重要性标度; $a_{ij} > 1$ 表示指标 i 比指标 j 重要, $1 > a_{ij} > 0$ 表示指标 i 没有指标 j 重要; $a_{ij} = 1$ 表示指标 i 与指标 j 同样重要;且有 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 。

根据矩阵 A 的第 i 行数据计算,可得指标 i 的重要性参数 b_i ,即:

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

对 b_i 进行量纲一化处理,即得到各指标的主观权重 w_{si} :

$$w_{si} = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \tag{3}$$

此外,还需要做判断矩阵的一致性检验。引入判断矩阵的随机一致性指标 R_1 ,其取值如表 1 所示。根据式(4)一式(5)计算一致性比率 C_R 。当 $C_R < 0.1$ 时,即可认为判断矩阵具有一致性且权重有效。

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \tag{5}$$

式中:

- λ_{\max} ——最大特征根;

n ——矩阵阶数;

C_1 ——一致性指标。

表 1 R_1 取值表

Tab.1 Values of R_1

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
R_1 值	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41

2.1.2 客观权重

在评价决策中,原始数据的信息量是评价精度和可靠性大小的决定性因素之一。熵权法基于各评价指标的信息量,通过计算熵值来衡量评价指标的有效信息量,进而计算综合指标。作为一种客观赋权方法,熵权法基于评价指标值混乱程度,根据各指标传递给决策者的信息量来确定指标权数^[6]。对 k 个专家、 l 个指标的原始评分来求解权重,建立评分矩阵 B :

$$B = (x_{pq})_{k \times l} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1l} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{kl} & \cdots & x_{kl} \end{pmatrix} \tag{6}$$

式中:

- x_{pq} ——第 p 个专家对第 q 项指标的原始评分;

$p = 1, 2, \cdots, k, q = 1, 2, \cdots, l$ 。

对评分进行规范化处理,即:

$$\bar{x}_{pq} = \frac{x_{pq} - \min(x_{pq})}{\max(x_{pq}) - \min(x_{pq})} \tag{7}$$

式中:

- \bar{x}_{pq} —— x_{pq} 经规范化处理后得到的分值。

由此,将原始矩阵 B 转换为标准矩阵 \bar{B} 。

$$\bar{B} = (\bar{x}_{pq})_{k \times l} = \begin{pmatrix} \bar{x}_{11} & \cdots & \bar{x}_{1l} \\ \vdots & & \vdots \\ \bar{x}_{kl} & \cdots & \bar{x}_{kl} \end{pmatrix}, \text{计算第 } p \text{ 名专家}$$

对第 q 项指标的规范化分值占有所有专家的比重为 z_{pq} ,再计算第 q 项指标的信息熵 e_q ,最后求解各指标的客观权重 w_{oq} :

$$z_{pq} = \frac{\bar{x}_{pq}}{\sum_{p=1}^k \bar{x}_{pq}} \tag{8}$$

$$e_q = -\frac{1}{\ln k} \sum_{p=1}^k z_{pq} \ln z_{pq} \tag{9}$$

$$w_{oq} = \frac{1 - e_q}{\sum_{q=1}^l (1 - e_q)} \tag{10}$$

2.1.3 综合赋值

博弈论组合赋权,要同时考虑主观与客观的常权权重,通过二者的偏差最小化,使其既相互竞争又协调一致^[7]。计算步骤为:首先,建立基本权重向量集,对 l 个指标采用 m 种赋权法,得权重集 $w = \{w_1^T, w_2^T, \cdots, w_m^T\}$;然后,确定最优综合权重, m 组权重向量的任意线性组合为 $w = \sum_{r=1}^m \alpha_r w_r$, (α_r 为第 r 个权重 w_r 的组合系数,且 $\alpha_r > 0$),对 α_r 进行优化使 w 和 w_r 的离差极小化,即 $\min \left\| \sum_{r=1}^m \alpha_r w_r^T - w_r \right\|_2$, $r = 1, 2, 3, \cdots, m$ 。由矩阵的微分性质导出该公式的最优一阶导数为:

$$\begin{pmatrix} w_1 w_1^T & \cdots & w_1 w_m^T \\ \vdots & & \vdots \\ w_m w_1^T & \cdots & w_m w_m^T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 w_m^T \\ \vdots \\ w_m w_m^T \end{pmatrix} \tag{11}$$

由式(11)求得 $(\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_m)$,量纲一化后得权重最优分配比系数 α_{ur} ,则最优综合权重 w_u 为:

$$w_u = \sum_{r=1}^m \alpha_{ur} w_r^T \tag{12}$$

2.2 云模型

云模型是一种处理不确定知识定性定量转换的新模型,能实现定量数值和定性语言之间的转换,较好地解决了评价过程中模糊性和随机性的问题。由于正态云模型具有很好的普适性,且能得出比较直观的结论,故本文采用正态云模型进行评价^[8-10]。

2.2.1 云的基本概念及数字特征

云模型的整体特性可以用云的数字特征来反映。期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 E_e 为云的数字特征,用来整体表征 1 个概念。期望值 E_x ,是云滴在论域空间

U 中分布的中心,是最能代表定性概念的点。熵值 E_n ,是用来度量定性概念的模糊度,反映定向概念被接受的程度。超熵值 H_e ,是熵的熵,其不仅可以表示云滴的离散程度,还可以表示云图的准确性。云滴是定义概念 C 向数域空间 U 中映射1次所形成的。云由许多个云滴组成。若云滴数过少,则误差较大,无法清晰描述定性概念,因此本文设置云滴的个数 $N=5\,000$ 个^[11]。

2.2.2 构建云标尺

构建云标尺一般建立在评价集的基础上。每个风险评价区间的云模型数字特征可由专家根据实际情况评分给出。有:

$$\begin{cases} E_x = \frac{s_{\max} + s_{\min}}{2} \\ E_n = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{6} \\ H_e = K \end{cases} \quad (13)$$

式中:

s_{\max} ——等级标准的最大边界值;

s_{\min} ——等级标准的最小边界值;

K ——常数。

2.2.3 综合云特征值

本文选取等级综合云的方法,将多个独立等级的云集成1个更广义的云。相应的,各指标综合成1个综合云特征值,即:

$$\begin{cases} \bar{E}_x = \sum_{f=1}^h w_f E_{xf} \\ \bar{E}_n = \frac{\sum_{f=1}^h w_f E_{xf} E_{nf}}{\sum_{f=1}^h w_f E_{xf}} \\ \bar{H}_e = \left(\sum_{f=1}^h (w_f H_{ef})^2 \right)^{0.5} \end{cases} \quad (14)$$

式中:

E_{xf} ——第 f 个云集的期望值;

E_{nf} ——第 f 个云集的熵值;

H_{ef} ——第 f 个云集的超熵值;

\bar{E}_x ——综合云的期望值;

\bar{E}_n ——综合云的熵值;

\bar{H}_e ——综合云的超熵值;

w_f ——第 f 个云集的权重。

3 实例应用

本文以上海工程技术大学城市轨道交通学院

为例,应用轨道学生评价指标体系,通过综合赋权和云模型对该学院的城市轨道交通相关专业大学生(以下称为“案例学生”)进行评价。

3.1 指标权重的计算

邀请城市轨道交通领域的专家,城市轨道交通学院的教师及上海申通地铁集团有限公司、杭州地铁运营有限公司等用人单位结合实际情况对案例学生进行评分。经过统计分析后,运用组合赋权法得到综合权重,并建立准则层对应的判断矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 4 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 2 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 1/4 & 1/2 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1/3 & 1 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

计算各指标的主观权重、客观权重及综合权重,结果如表2所示。

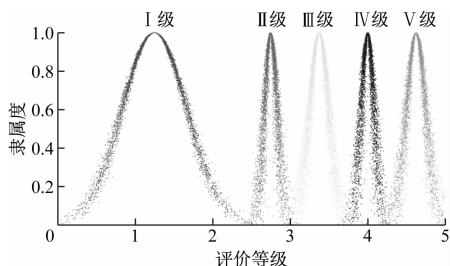
3.2 评测结果

3.2.1 指标云特征值

根据专家对各指标的评分,计算得到各指标的云特征值,如表3所示。

3.2.2 指标云特征值计算

将大学生综合素质评价等级划分为很差、较差、合格、良好和优秀5个级别,对应评价集 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ 。以论域 $[0, 5]$ 作为值域,并在评价集的基础上构建云标尺。根据专家评分,由式(15)确定每个风险评价区间的云模型数字特征。通过计算,大学生综合素质评价等级划分标准如表4所示。根据正态云发生器理论,基于表4中的标准云参数,利用MATLAB软件得到评价等级标准云图(见图2)。



注: I级—V级为等级云,下同。

图2 评价等级标准云图

Fig.2 Nephogram of evaluation level standard

3.2.3 评价结果分析

根据计算所得的各指标综合权重及各指标云参数,由式(14)计算得出综合云的数字特征值为

表 2 各评价指标的权重

Tab.2 Weight of each evaluation index				
准则层		评价指标	主观权重	客观权重
指标	权重			
道德素养	0.457	政治思想	0.069	0.030
		道德修养	0.112	0.019
		家国情怀	0.069	0.030
		遵纪守法	0.174	0.027
		奉献精神	0.033	0.016
专业素质	0.185	工程知识	0.048	0.029
		职业规范	0.028	0.052
		项目管理	0.014	0.107
		工程与社会	0.019	0.077
		行业认知	0.076	0.077
创新实践	0.066	网络思维	0.011	0.040
		系统思维	0.028	0.020
		设计开发	0.006	0.024
		问题分析	0.017	0.064
		环境和可持续发展	0.004	0.076
个人能力	0.107	逻辑	0.027	0.029
		动手	0.017	0.052
		终生学习	0.047	0.022
		组织管理	0.010	0.075
		使用现代工具	0.006	0.016
个人修养	0.185	团队合作	0.071	0.019
		身心健康	0.071	0.029
		艺术审美	0.017	0.019
		劳动素养	0.026	0.051

(4.112,0.707,0.057)。通过 MATLAB 软件程序可以得到大学生综合素质评价云图(见图 3)。再分别计算各准则层指标的云数字特征值,可得各准则

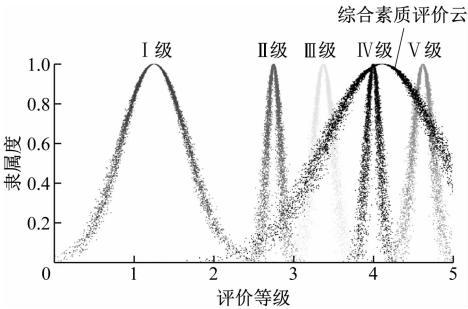


图 3 案例学生综合素质评价云图

Fig.3 Nephogram of case student comprehensive quality evaluation

层指标的评价云图(见图 4—图 8)。

表 3 各评价指标的云特征值

Tab.3 Cloud characteristic value of each evaluation index											
评价指标			E_x	E_n	H_e	评价指标			E_x	E_n	H_e
政治思想			4.222	0.650	0.067	设计开发			3.833	0.952	0.231
道德修养			4.389	0.681	0.308	问题分析			4.056	0.789	0.147
家国情怀			4.222	0.650	0.067	环境和可持续发展			3.833	0.696	0.125
遵纪守法			4.500	0.766	0.295	逻辑			4.167	0.580	0.214
奉献精神			4.000	0.557	0.527	动手			4.056	0.658	0.305
工程知识			4.167	0.580	0.214	终生学习			3.722	0.843	0.166
职业规范			4.056	0.658	0.305	组织管理			3.778	0.650	0.067
项目管理			3.722	0.805	0.288	使用现代工具			4.111	0.619	0.438
工程与社会			3.944	0.789	0.147	团队合作			4.278	0.604	0.187
行业认知			4.000	0.836	0.084	身心健康			4.333	0.743	0.285
网络思维			4.111	0.619	0.274	艺术审美			3.722	0.743	0.114
系统思维			3.944	0.797	0.355	劳动素养			4.000	0.557	0.401

表 4 评价等级划分

Tab.4 Evaluation level classification			
评价等级	等级划分区域	标准云参数	评语
I 级	[0.00,2.50)	(1.250,0.417,0.050)	很差
II 级	[2.50,3.00)	(2.750,0.083,0.050)	较差
III 级	[3.00,3.75)	(3.375,0.125,0.050)	合格
IV 级	[3.75,4.25)	(4.000,0.083,0.050)	良好
V 级	[4.25,5.00]	(4.625,0.125,0.050)	优秀

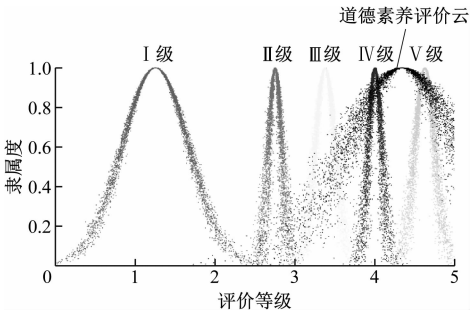


图 4 案例学生道德素养评价云图

Fig.4 Nephogram of case students ethical literacy evaluation

由图 3—图 8 可见,案例学生综合素质评价云和各准则层指标评价云整体呈明显的正态分布,云滴较分散,但波动较小。这与实际情况相符,说明评价方法合理,具有可行性。

由图 3 可见,当隶属度大于 0.8 时,云滴分布最为集中,且集中区域为 IV 级等级云的范围。由此可

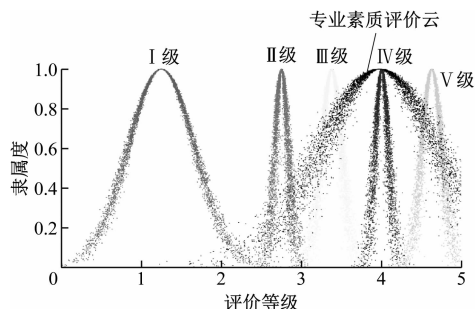


图5 案例学生专业素质评价云图

Fig. 5 Nephogram of case students professional quality evaluation

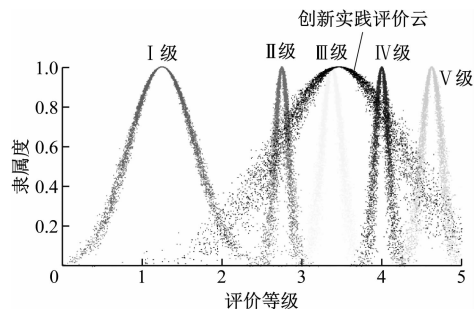


图6 案例学生创新实践评价云图

Fig. 6 Nephogram of case students innovative practice evaluation

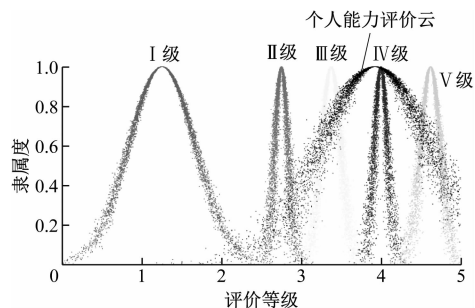


图7 案例学生个人能力评价云图

Fig. 7 Nephogram of case students personal competence evaluation

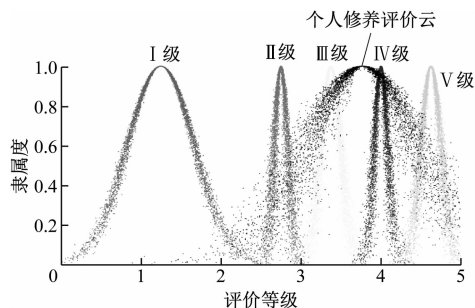


图8 案例学生个人修养评价云图

Fig. 8 Nephogram of case students self-cultivation evaluation

知,该学院绝大多数学生的综合素质评价为良好,但仍有部分学生的评价等级与期望评价等级存在

一定差异,其云滴并非完全集中在Ⅳ级等级云附近。此外,案例学生综合素质的评价云云滴较厚,说明个体的偏差较大,即该学院学生整体综合素质有强有弱。这也符合学生个体差异化表现。

由式(14)计算得出准则层指标道德素养的数字特征值为(4.341,0.693,0.135),云图如图4所示,其评价云中有超过大半的云滴落在Ⅳ级、Ⅴ级的等级云上,且道德素养的评价期望为4.341,在优秀等级范围内。这表明该学院的学生道德素养整体优秀,绝大多数学生的道德素养达到了良好及以上。

由式(14)计算得出准则层指标创新实践的数字特征值为(3.464,0.752,0.101),云图如图6所示,其创新实践评价最终落在Ⅲ级等级云上。这说明该学院学生的整体创新实践能力仅达到合格水平,且学生个体间差异较大。

图5、图7与图8的分布特征非常接近,其评价等级主要落在Ⅳ级等级云范围内。这说明该学院学生的专业素质、个人能力及个人修养水平整体表现良好。

通过对综合评价等级云、各准则层的评价等级云及标准评价等级云的对比分析,得到了案例学生的综合素质评价结论:①上海工程技术大学城市轨道交通学院大学生整体综合素质良好,但存在个体偏差较大、发展不均衡的情况;②学生的道德素养评价最好,专业素质评价、个人能力评价与个人修养评价均为良好,学生个人修养相较于其他两项略显不足;③相较其他指标,案例学生的创新实践能力整体表现较弱,且学生间个体差异较大,有待进一步提升。

当前,城市轨道交通相关专业的内涵与外延发生了深刻的变化,专业知识加快交叉融合,广度和深度不断加强,对此提出以下建议:①收集分析学生学习成绩、第二课堂等学业指标数据生成学生整体发展“画像”,有针对性地对学生知识、能力、素质进行培育;②强化实践体验,加强美育与德育、智育、体育、劳动教育相融合,建设高雅艺术进校园及融媒体美育公开课,开发一批美育课程优质数字教育资源,引导学生完善个人修养,增强文化自信;③不断丰富和完善创新育人平台建设,依托上海申通地铁集团有限公司与学院建立的“三师工作室”与“研究生工作站”,全面拓展学生创新创业教育平台,以“互联网+”等大赛为载体,培养学生创新创业精神和实践能力。

4 结语

本文构建了城轨学生评价指标体系,通过组合赋值和云模型,计算评价指标的权重和云特征值,进而有效地将定性分析和定量计算结合起来。以具体实例对该评价指标体系进行应用。由实例应用结果可见,本文构建的城轨学生评价指标体系,将评价的模糊性和随机性有机结合起来,能有效弥补学生素质评价体系存在的不足之处,能更加准确、具体、公正、客观地评价学生综合素质。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[N]. 人民日报, 2021-03-13(1).
Outline of the 14th Five-Year Plan (2021—2025) for national economic and social development and the long-range objectives through the year 2035 of the PRC[N]. People's Daily, 2021-03-13(1).
- [2] 戴国立. 大学生综合素质测评体系构建[J]. 中国青年研究, 2011(10):92.
DAI Guoli. The construction of university students' comprehensive quality assessment system[J]. China Youth Study, 2011(10):92.
- [3] 林莉, 杜潇, 宋明灿. 基于职业生涯规划的轨道交通装备制造企业人才培养体系构建[J]. 城市轨道交通研究, 2012(11):32.
LIN Li, DU Xiao, ZHU Mingcan. Talent training system of rail transit equipment manufactures based on career planning[J]. Urban Mass Transit, 2012(11):32.
- [4] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012(7):93.
DENG Xue, LI Jiaming, ZENG Haojian, et al. Research on computation methods of AHP weight vector and its applications[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012(7):93.
- [5] 高玉根, 张力, 梁晓娟. 汽车社会背景下汽车类专业大学生综合素质与评价[J]. 高教学刊, 2020(11):75.
GAO Yugen, ZHANG Li, LIANG Xiaojuan. Comprehensive quality and evaluation of college students majoring in automobile

in the automobile society[J]. Journal of Higher Education, 2020(11):75.

- [6] 王立彦, 陈赛珊. 基于 AHP-熵权法组合赋权的高职院校大学生创新创业能力评价指标体系研究[J]. 产业科技创新, 2020(36):124.
WANG Liyan, CHEN Saishan. Research on evaluation index system of innovation and entrepreneurship ability of higher vocational college students based on AHP-entropy weight method[J]. Industrial Technology Innovation, 2020(36):124.
- [7] 吴风山, 吴凌峰, 兰乾玉, 等. 基于博弈论的地铁车站恐怖袭击风险定量分析方法[J]. 城市轨道交通研究, 2016(10):110.
WU Fengshan, WU Lingfeng, LAN Qianyu, et al. Quantitative analysis of terrorist attack risk at subway station based on game theory[J]. Urban Mass Transit, 2016(10):110.
- [8] 李爽, 缪红益. 基于主客观赋权和云模型的大学生综合素质评价方案[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2020(4):28.
LI Shuang, LIAO Hongyi. A comprehensive quality evaluation scheme for undergraduates based on subjective and objective empowerment and cloud model[J]. Journal of Lanzhou University of Arts and Science (Natural Sciences), 2020(4):28.
- [9] 胡昌桂, 杨安玉, 虞翔, 等. 基于云模型的磁浮道岔使用寿命状态评估[J]. 城市轨道交通研究, 2021(5):222.
HU Changgui, YANG Anyu, YU Yi, et al. Lifespan evaluation of maglev turnout based on cloud model[J]. Urban Mass Transit, 2021(5):222.
- [10] 郭晓凡, 李林波, 王艳丽, 等. 基于熵权法-云模型的公交服务满意度评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018(9):101.
GUO Xiaofan, LI Linbo, WANG Yanli, et al. Satisfaction evaluation of public transit service based on entropy weight method and cloud model[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2018(9):101.
- [11] 黄莺, 王轲, 雷俊. 基于优化赋权-云模型的地铁站消防安全评价[J]. 消防科学与技术, 2020(1):110.
HUANG Ying, WANG Ke, LEI Jun. Fire safety evaluation of subway station based on combined weight-cloud model[J]. Fire Science and Technology, 2020(1):110.

(收稿日期:2022-01-20)

(上接第 17 页)

- [16] FUJIKAKE T. A prediction method for the propagation of ground vibration from railway trains[J]. Journal of Sound and Vibration, 1986, 111(2):357.
- [17] 闫维明, 张伟, 任珉, 等. 地铁运营诱发振动实测及传播规律[J]. 北京工业大学学报, 2006(2):149.
YAN Weiming, ZHANG Yi, REN Min, et al. In situ experiment and analysis of environmental vibration induced by urban subway transit[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006(2):149.
- [18] 夏禾, 张楠. 车辆与结构动力相互作用[M]. 2 版. 北京: 科

学出版社, 2005.

- XIA He, ZHANG Nan. Dynamic interaction of vehicles and structures[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2005.
- [19] Acoustical Society of America. Guide to the evaluation of human exposure to vibration in buildings; ANSI S3.29: 1983[S]. New York: Acoustical Society of America, 1983.
- [20] BSI. Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz); BS 6472-1: 2008[S]. Brussels: BSI, 2008.
- [21] DIN. Vibrations in buildings-part 2: effects on persons in buildings; DIN 4150-2:1999[S]. Berlin: DIN, 1999.

(收稿日期:2020-11-25)