

基于网络层次分析法的跨学科创新能力评价研究

樊 祺¹, 陆海华^{2*}

¹南通大学教师教育学院, 江苏 南通

²南通大学数学与统计学院, 江苏 南通

收稿日期: 2024年3月29日; 录用日期: 2024年6月19日; 发布日期: 2024年6月27日

摘 要

跨学科创新能力是创新人才的必备能力, 其评价研究在教育界有着广泛的应用价值。本文分析了跨学科创新能力的重要影响因素, 在此基础上构建了一个科学合理的评价指标体系。在明确各指标相互影响的前提下, 选择网络层次分析法构建跨学科创新能力评价模型, 确定各指标的权重, 进行综合评价。结果表明: 创新思维和创新人格对跨学科创新能力影响显著; 基于网络层次分析法的评价模型具有一定的推广价值。对比传统的层次分析法, 文章建立的模型能够考虑到不同指标组元素间的相互影响, 使评价更加客观, 贴合实际。

关键词

网络层次分析法, 跨学科创新能力, 评价指标

Research on Interdisciplinary Innovation Ability Evaluation Based on Analytic Network Process

Qi Fan¹, Haihua Lu^{2*}

¹School of Teacher and Education, Nantong University, Nantong Jiangsu

²School of Mathematics and Statistics, Nantong University, Nantong Jiangsu

Received: Mar. 29th, 2024; accepted: Jun. 19th, 2024; published: Jun. 27th, 2024

Abstract

Interdisciplinary innovation ability is a necessary ability of innovative talents, and its evaluation

*通讯作者。

文章引用: 樊祺, 陆海华. 基于网络层次分析法的跨学科创新能力评价研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(3): 720-731.

DOI: 10.12677/orf.2024.143308

research has a wide range of application value in the educational field. This paper analyzes the important influencing factors of interdisciplinary innovation ability, and constructs a scientific and reasonable evaluation index system on this basis. Under the premise of making clear the mutual influence of each index, the evaluation model is constructed by the analytic network process, and the weight of each index is determined for comprehensive evaluation. The results show that: innovative thinking and innovative personality have significant influence on interdisciplinary innovation ability; this evaluation model has a certain extension value. Compared with the traditional analytic hierarchy process, the model established in this paper can take into account the interaction between the elements of different index groups, so that the evaluation is more objective and realistic.

Keywords

Analytic Network Process, Interdisciplinary Innovation Ability, Evaluation Index

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

跨学科是指超出一个已知学科边界而进行的涉及两个及以上学科的实践活动[1],具有知识整合性、方法迁移性、情境性等特点,成为培养创新能力的有效途径。创新作为新时代人才必备的关键能力之一,受到广泛关注。诸多证据表明,跨学科不仅是创新能力的源头活水,也是创新人才的必由之路。因此,本文将跨学科背景下培养的创新能力称为“跨学科创新能力”。近年来,随着跨学科教育(STEM)的推广,国内诸多学者对跨学科创新能力进行研究,集中于跨学科创新能力的培养研究,对培养质量关注较少,评价研究更是少之又少。王冲等[2]构建高校科技创新能力评价指标体系,运用灰色关联分析法和CRITIC法构建评价模型;段军红等[3]运用层次分析法构建电网企业科技创新能力评价模型;徐会强等[4]以中学物理为例,基于文献研究法和德尔菲法,构建了中学生创新能力评价指标体系;周蓓蓓等[5]以图书馆学为例,在文献计量角度下,构建了跨学科创新能力指标体系;宋乃庆等[6]依据STEAM教育理念下创客教育的内涵,结合国内外基础教育人才培养原则,构建中小学创客教育测评指标体系;钟柏昌等[7]通过文献分析确定跨学科创新能力的核心指标,结合德尔菲法进行两轮修订,构建跨学科创新能力指标体系。综上所述,对跨学科创新能力的综合评价还需不断完善。就此问题,本文通过文献分析法构建评价指标体系,鉴于各指标之间的相互影响关系,以层次分析法在处理多指标相互关联时的不足为切入点,运用网络层次分析法对跨学科创新能力进行综合评价。首先,通过文献分析构建指标体系;其次基于网络层次分析法构建评价模型,即通过分析各项指标之间的关联,构建网络结构模型,按照优势度原理构建矩阵确定各级指标权重,对跨学科创新能力进行综合评价。具体评价流程见图1。

2. 指标体系的选择与建立

为获取高质量论文,在中国知网(CNKI)期刊数据库中使用关键词“(创新能力或创新素质或创客教育或创新素养)和(评估或评价或测试或测评或测量)”进行检索,检索字段为“篇名”,检索范围为“中文核心期刊”,截至2024年2月29日,共检索到1250篇相关文献。将研究领域设定为教育、研究对象为学生、研究内容为评价方案、评价落脚点为创新能力,进行二次筛选,得到25篇文献。

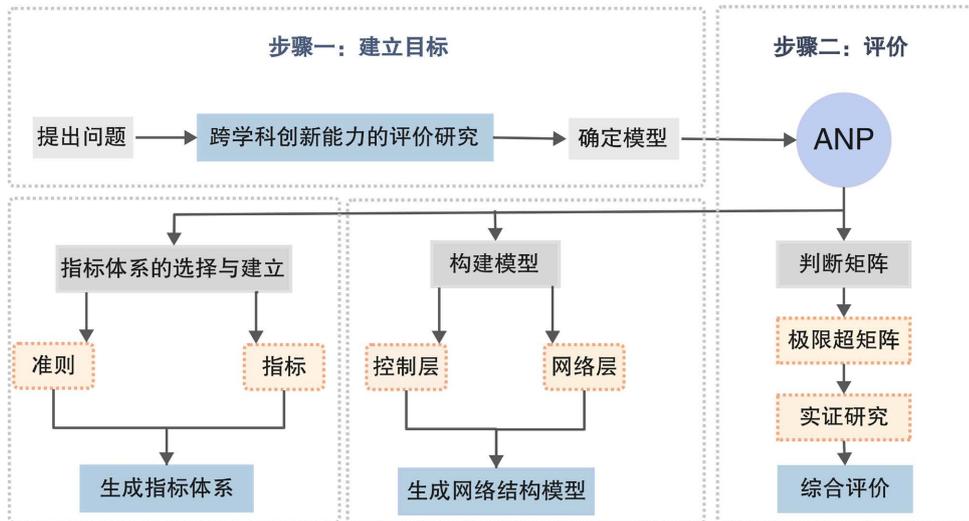


Figure 1. Flow chart of interdisciplinary innovation capability evaluation
图 1. 跨学科创新能力评价流程图

创新能力评价必须以教育需求为目标，当下全球普适的核心素养理念是值得采纳的参照。《中国学生发展核心素养》以培养全面发展的人为核心，分为文化基础、自主发展、社会参与三个维度[8]，综合表现为六大素养，其中科学精神、学会学习和实践创新三大素养与创新能力高度相关，具有良好的包容性且具体指标分布均衡。鉴此，本文选取了《中国学生发展核心素养》中详细列出的 26 个评价指标作为参考，提取了 25 篇论文中涉及的评价内容，并将超过 1/3 的文献中涉及的指标视为创新能力的重要评价指标。经统计和分析，得到柱状图，见图 2。

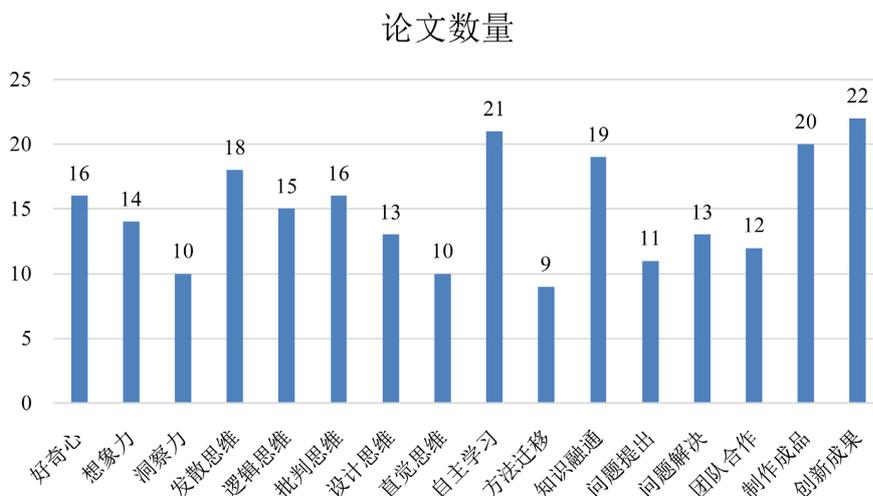


Figure 2. Distribution of the number of papers of important indicators
图 2. 重要指标的论文数量分布

2.1. 创新人格：关注好奇心、想象力和洞察力

共有至少 14 项研究涉及对好奇心和想象力的考察。例如，钟柏昌等[7]将好奇心、想象力列为创新人格的核心指标；赵昊昱等[9]将想象力和求知欲作为高职院校大学生创新心理素质的重要指标。有 10 项研究以洞察力为考察指标。例如，陆静丹等[10]将表象观察、本质观察作为大学生观察力的测量变量，指出

本质观察是在表象思考的基础上多了思考。无论是创新品质还是心理素质都隶属于创新人格, 这表明大多数研究者认为好奇心、想象力和洞察力是创新人格的重要评价指标。

2.2. 创新思维：关注发散思维、逻辑思维、批判思维、设计思维和直觉思维

经统计, 考察五种思维的评价研究均不少于 10 项。例如, 刘甜甜等人[11]将发散与集中思维细化为多路思维、逆向思维、立体思维等多个指标; 李艳坡等[12]将逻辑思维细化成归纳总结能力、逻辑推理能力和逆向思维能力三个指标进行考察; 周蓓蓓等[5]用批判精神和质疑精神来考察批判思维; 宋乃庆等[6]将设计思维作为中小学学生创新思维的重要指标; 张瑞林等[13]将直觉思维和分析思维作为创新思维的评价指标。整体而言, 五种思维各司其职, 构成创新思维能力评价的重要指标, 但创新思维需结合学生的创新学习来形成创新技能。

2.3. 创新学习：关注自主学习、方法迁移和知识融通

共有至少 19 项研究以自主学习和知识融通为指标。例如, 李艳坡等[12]通过信息检索能力和知识更新能力评价高职院校学生创新学习能力; 赵昊昱等[9]将活学活用专业知识解决一般性问题作为创新学习能力的评价指标。共有 9 项研究涉及到方法迁移。例如, 陆静丹等[10]将运用他创和自创的创新方法作为大学生创新能力的测量变量。由此, 自主学习、方法迁移和知识融通构成创新学习能力评价的关键。

2.4. 创新技能：关注问题提出、问题解决、合作交流和制作成品

至少 11 项研究考察了问题提出和问题解决能力。例如, 刘雷等[14]用分析判断能力、计划组织能力、实验操作能力考察研究生的问题提出和解决能力。12 项研究将团队交流看作重要考察指标。例如, 侯锡林等[15]用理解沟通及协同解决科研问题来评价合作交流能力。20 项研究以制作成品为重要指标。例如, 邹浩等[16]将计划组织能力和实验操作能力作为理工科研究生创新技能的指标。显然, 研究者们将问题提出、问题解决、团队合作和制作成品作为创新技能评价指标的意见达到很大程度的统一。

2.5. 创新成果：关注成果产出与优化

创新成果受到最多关注, 共有 22 项研究涉及这一指标。其表现形式以论文、专利、比赛、课题为主。创新成果具有可视性, 下设指标新颖性、艺术性、价值性; 为了体现跨学科背景, 新增跨学科性指标。

基于此, 在遵循评价指标体系构建原则的条件下, 确定创新人格、创新思维、创新学习、创新技能、创新成果等 5 个一级指标, 好奇心、想象力、洞察力等 19 个二级指标, 各指标组包含的指标见表 1。

Table 1. Evaluation index system of interdisciplinary innovation ability

表 1. 跨学科创新能力评价指标体系

目标	一级指标	二级指标
跨学科创新能力 C	创新人格 C ₁	好奇心 C ₁₁
		想象力 C ₁₂
		洞察力 C ₁₃
	创新思维 C ₂	发散思维 C ₂₁
		逻辑思维 C ₂₂
		批判思维 C ₂₃
		设计思维 C ₂₄
		直觉思维 C ₂₅

续表

跨学科创新能力 C	创新学习 C ₃	自主学习 C ₃₁
		方法迁移 C ₃₂
		知识融通 C ₃₃
	创新技能 C ₄	问题提出 C ₄₁
		问题解决 C ₄₂
		团队合作 C ₄₃
		制作成品 C ₄₄
	创新成果 C ₅	艺术性 C ₅₁
		新颖性 C ₅₂
		跨学科性 C ₅₃
		价值性 C ₅₄

3. 基于 ANP 的模型构建

3.1. 网络层次分析法

网络层次分析法(Alytic Network Process, ANP)是一种多准则决策方法,用于处理具有依赖性和反馈性的复杂结构的决策问题,是 Satty 教授在层次分析法基础上的改进,已被应用于各领域的评价研究之中。传统的层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)呈现层次结构,认为上层指标对下层指标存在着支配关系,同级指标之间是彼此独立的[17]。而实际问题中,各级指标往往是相互依存的,ANP 整体呈现网络结构,很好地反应各指标之间的相互关系和影响程度。其评估思路是首先对指标进行关联分析,构建网络结构模型,其次根据优势度原理构建未加权矩阵、加权矩阵、加权超矩阵等判断矩阵,并进行一致性检验,最后计算极限超矩阵,得到各指标的权重,进行综合评价,得到结论。

3.2. ANP 模型的建模思路

3.2.1. 构建网络结构模型

通过分析各项指标之间的关联,建立网络内部具有相互依赖关系的结构模型,其中双向箭头表示相互影响,单向箭头表示单向影响。

3.2.2. 构建未加权超矩阵

由于网络层元素之间存在相互依赖关系,所以在构造判断矩阵时,按照优势度原理进行,见表 2。

Table 2. Principle of dominance

表 2. 优势度原理

名称	定义	使用范围
直接优势度	给定一个准则,两个元素对于该准则的重要程度进行比较	适用于元素之间相互独立的情形
间接优势度	给定一个准则,两个元素在准则下对第三个元素(次准则)的影响程度进行比较[18]	适用于元素之间相互依赖的情形

ANP 控制层中有元素 C,网络层中有元素组 C₁,C₂,...,C_n,其中 C_i 包含元素 C_{i1},C_{i2},...,C_{in_i}, i=1,2,...,n, n_i 为元素组 C_i 中元素的个数。以控制层元素 C 为准则,以元素组 C_i 中的元素

C_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n_j$) 为次准则, 按照 1~9 级标度方法元素组 C_j 中的元素按其对 C_{ij} 的影响力大小进行间接优势度比较, 构造判断矩阵。

在为避免判断矩阵构建错误, 需进行一致性检验[19], 即要求一致性比例 $CR < 0.1$, 计算公式:

$$CI = \frac{CI}{RI}, RI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

其中, CI 为一般一致性指标, λ_{\max} 为最大特征根, n 为判断矩阵阶数, RI 为平均随机一致性指标。

运用特征法求解得到特征向量 $(w_{i1}^{(j1)}, w_{i2}^{(j2)}, \dots, w_{in_i}^{(jn_i)})$, 并得到元素组 C_i 中各元素的权重矩阵 W_{ij} :

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & \cdots & w_{i1}^{(jn_j)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & \cdots & w_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{in_i}^{(j1)} & w_{in_i}^{(j2)} & \cdots & w_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix}.$$

其中, W_{ij} 中的列向量 $[w_{i1}^{(j1)}, w_{i2}^{(j2)}, \dots, w_{in_i}^{(jn_i)}]^T$ 表示以 C_{ij} 为准则, 元素组 C_i 中元素 $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in_i}$ 对 C_j 中元素 $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jn_j}$ 的影响程度排序向量[20]。当 C_j 中元素不受 C_i 的元素影响时, $W_{ij} = 0$ 。则在控制准则 C 下的超矩阵 W :

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix}.$$

3.2.3. 构建加权超矩阵

构造控制准则 C 下网络层元素集 C_i 的判断矩阵, 并进行归一化处理得到加权矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix},$$

其中, 与 C_i 无关的元素组向量等于零[21]。加权超矩阵是跨因素组分析各因素对某次准则因素的影响, 通过对 W 进行加权, 即

$$\bar{W}_{ij} = a_{ij} W_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

进一步得到二级因素 C_{ij} 的加权超矩阵 \bar{W}_{ij} , 定义总加权超矩阵为 $\bar{W} = (\bar{W}_{ij})$:

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} a_{11}W_{11} & a_{12}W_{12} & \cdots & a_{1n}W_{1n} \\ a_{21}W_{21} & a_{22}W_{22} & \cdots & a_{2n}W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}W_{n1} & a_{n2}W_{n2} & \cdots & a_{nn}W_{nn} \end{bmatrix},$$

其中, 其列和为 1, 故该矩阵为列随机矩阵。

3.2.4. 构建加权超矩阵

为了计算各级指标之间的相互关系, 则需要对总加权超矩阵 \bar{W} 做稳定性处理, 即将总加权超矩阵 \bar{W}

不断进行自乘, 直到乘积收敛为止[22]。每一列向量都归一化后, 就可以得到最后的权重值。公式如下:

$$\bar{W}^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} \bar{W}^k \tag{3}$$

其中, \bar{W}^∞ 为极限超矩阵, 其任意的列向量是相等的, 且其列向量反映各指标的全局权重。

4. 基于 ANP 的算例分析和权重确定

鉴于 ANP 法计算复杂且难度较大, 本研究借助超级决策软件(Super Decision)进行评价计算[23]。

4.1. 构建网络结构模型

通过对表 1 内各指标(组)进行分析, 发现该指标体系内各指标(组)并不完全独立, 而是存在相互影响、相互反馈的关系。采用德尔菲法, 邀请 5 名专家填写问卷, 经过多次填写, 最终确定网络层各指标间关联表, 见表 3。其中, 当左侧因素影响顶部因素时, 在对应方格打“√”。

Table 3. Association table between network layer indicators

表 3. 网络层指标间关联表

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄
C ₁₁		√	√	√			√	√	√	√		√				√	√		
C ₁₂	√	√	√	√			√	√	√							√	√		
C ₁₃	√	√		√			√	√	√			√				√	√		
C ₂₁	√	√	√				√	√				√				√	√	√	
C ₂₂						√	√		√	√	√		√	√	√				
C ₂₃					√		√			√	√	√	√	√	√				
C ₂₄		√		√						√	√		√		√	√	√	√	√
C ₂₅		√	√									√	√		√	√	√		
C ₃₁	√	√	√	√	√					√	√	√	√		√				
C ₃₂		√	√	√	√		√		√		√	√	√		√				√
C ₃₃		√	√	√	√		√		√	√		√	√		√				√
C ₄₁		√	√	√		√	√		√	√	√		√						√
C ₄₂		√	√	√	√		√		√	√	√	√			√				√
C ₄₃		√	√	√		√	√				√	√	√	√	√				
C ₄₄		√	√	√			√		√		√		√		√	√	√		
C ₅₁		√	√	√			√				√	√			√	√	√	√	√
C ₅₂		√	√	√			√				√	√			√	√		√	√
C ₅₃		√	√	√							√	√	√			√	√		√
C ₅₄		√	√	√			√					√	√		√		√	√	√

根据表 1 和表 3, 建立跨学科创新能力评价指标体系的 ANP 网络结构模型, 见图 3。

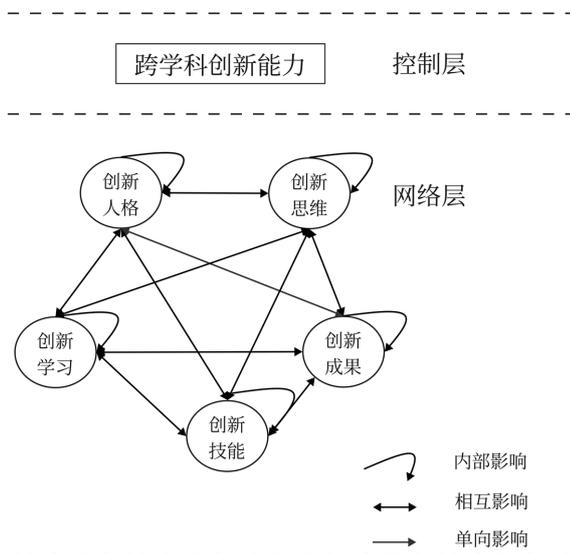


Figure 3. ANP network structure model
图 3. ANP 网络结构模型

4.2. 计算未加权超矩阵

Table 4. Table of judgment matrix inside C_1 under C criterion

表 4. C 准则下 C_1 内部的判断矩阵表

评判准则	C_{ij}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	特征向量	最大特征值及一致性比率
C/C_{11}	C_{11}	1	6	2	0.5876	$\lambda_{\max} = 3.0092$ $CR = 0.0088$
	C_{12}	1/6	1	1/4	0.0890	
	C_{13}	1/2	4	1	0.3234	
C/C_{12}	C_{11}	1	1/2	2	0.2764	$\lambda_{\max} = 3.0055$ $CR = 0.0053$
	C_{12}	2	1	5	0.5954	
	C_{13}	1/2	1/5	1	0.1283	
C/C_{13}	C_{11}	1	3	1/2	0.3196	$\lambda_{\max} = 3.0183$ $CR = 0.0176$

由表 4, 得到 W_{11} :

$$W_{11} = \begin{bmatrix} 0.5876 & 0.2764 & 0.3196 \\ 0.0890 & 0.5954 & 0.1220 \\ 0.3234 & 0.1283 & 0.5584 \end{bmatrix},$$

由此得到 $W_{ij} (i, j = 1, 2, 3, 4, 5)$, 整理得到 19×19 的未加权矩阵 W :

$$W = \begin{bmatrix} 0.5876 & 0.2764 & 0.3196 & \dots & 0 \\ 0.0890 & 0.5954 & 0.1220 & \dots & 0.6667 \\ 0.3234 & 0.1283 & 0.5584 & \dots & 0.3333 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.6833 \end{bmatrix}$$

4.3. 计算加权超矩阵

Table 5. Judgement matrix of each factor set under *C* criteria
表 5. *C* 准则下各因素集的判断矩阵表

评判准则	C_i	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	特征向量	最大特征值及一致性比率
C/C_1	C_1	1	4	7	4	9	0.5251	$\lambda_{\max} = 5.3299$ $CR = 0.0736$
	C_2	1/4	1	6	3	7	0.2589	
	C_3	1/7	1/6	1	1/2	4	0.0705	
	C_4	1/4	1/3	2	1	4	0.1129	
	C_5	1/9	1/7	1/4	1/4	1	0.0326	
C/C_2	C_1	1	1/2	1/2	6	7	0.2342	$\lambda_{\max} = 5.3451$ $CR = 0.0770$
	C_2	2	1	2	5	8	0.3819	
	C_3	2	1/2	1	4	7	0.2743	
	C_4	1/6	1/5	1/4	1	5	0.0784	
	C_5	1/7	1/8	1/7	1/5	1	0.0313	
C/C_3	C_1	1	1/2	1/3	5	7	0.2048	$\lambda_{\max} = 5.2177$ $CR = 0.0170$
	C_2	2	1	1/2	4	7	0.2700	
	C_3	3	2	1	5	8	0.4212	
	C_4	1/5	1/4	1/5	1	3	0.0699	
	C_5	1/7	1/7	1/8	1/3	1	0.0341	
C/C_4	C_1	1	1/4	1/2	1/3	7	0.1226	$\lambda_{\max} = 5.2780$ $CR = 0.0621$
	C_2	4	1	2	1/2	6	0.2847	
	C_3	2	1/2	1	1/3	5	0.1616	
	C_4	3	2	3	1	8	0.3967	
	C_5	1/7	1/6	1/5	1/8	1	0.0343	
C/C_5	C_1	1	1/5	1/3	1/6	1/8	0.0396	$\lambda_{\max} = 5.0833$ $CR = 0.0186$
	C_2	5	1	2	1/2	1/3	0.1606	
	C_3	3	1/2	1	1/4	1/5	0.0870	
	C_4	6	2	4	1	1/2	0.2756	
	C_5	8	3	5	2	1	0.4372	

由表 5, 得到加权矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 0.5251 & 0.2342 & 0.2048 & 0.1226 & 0.0396 \\ 0.2589 & 0.3819 & 0.2700 & 0.2847 & 0.1606 \\ 0.0705 & 0.2743 & 0.4212 & 0.1616 & 0.0870 \\ 0.1129 & 0.0784 & 0.0699 & 0.3967 & 0.2756 \\ 0.0326 & 0.0313 & 0.0341 & 0.0343 & 0.4372 \end{bmatrix},$$

由此可知, 所有判断矩阵都满足 $CR < 0.1$, 故通过一致性检验。由公式(2)得到加权超矩阵 \bar{W} :

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} 0.3086 & 0.1453 & 0.1477 & \dots & 0 \\ 0.04673 & 0.3130 & 0.0564 & \dots & 0.0289 \\ 0.1698 & 0.2032 & 0.1992 & \dots & 0.0145 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0.3272 \end{bmatrix}$$

4.4. 计算极限超矩阵

根据公式(3)得到极限超矩阵 \bar{W}^∞ :

$$\bar{W}^\infty = \begin{bmatrix} 0.1165 & 0.1165 & 0.1165 & \dots & 0.1165 \\ 0.1260 & 0.1260 & 0.1260 & \dots & 0.1260 \\ 0.0718 & 0.0718 & 0.0718 & \dots & 0.0718 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.0022 & 0.0022 & 0.0022 & \dots & 0.0022 \end{bmatrix}$$

由极限加权超矩阵 \bar{W}^∞ , 可知在 C 准则下各指标的权重排序, 见表 6。

Table 6. Weight ratio of each indicator

表 6. 各指标权重占比

目标	一级指标	二级指标	局部权重	全局权重	排序	权重	排序
跨学科创新能力 C	创新人格 C ₁	好奇心 C ₁₁	0.3707	0.1165	3	0.3143	2
		想象力 C ₁₂	0.4007	0.1260	2		
		洞察力 C ₁₃	0.2285	0.0718	5		
	创新思维 C ₂	发散思维 C ₂₁	0.5216	0.1786	1	0.3424	1
		逻辑思维 C ₂₂	0.0722	0.0247	14		
		批判思维 C ₂₃	0.0428	0.0147	15		
		设计思维 C ₂₄	0.2511	0.0860	4		
		直觉思维 C ₂₅	0.1124	0.0385	10		
	创新学习 C ₃	自主学习 C ₃₁	0.3901	0.0599	6	0.1536	3
		方法迁移 C ₃₂	0.3600	0.0553	8		
		知识融通 C ₃₃	0.2499	0.0384	11		
	创新技能 C ₄	问题提出 C ₄₁	0.4397	0.0595	7	0.1353	4
		问题解决 C ₄₂	0.3366	0.0456	9		
		团队合作 C ₄₃	0.0378	0.0051	18		
制作成品 C ₄₄		0.1859	0.0252	13			
创新成果 C ₅	艺术性 C ₅₁	0.2532	0.0138	16	0.0543	5	
	新颖性 C ₅₂	0.5370	0.0292	12			
	跨学科性 C ₅₃	0.1695	0.0092	17			
	价值性 C ₅₄	0.0403	0.0022	19			

对跨学科创新能力的评价结果进行分析: 一级指标的权重比例大小关系为: 创新思维(0.3424) > 创

新人格(0.3143) > 创新学习(0.1536) > 创新技能(0.1353) > 创新成果(0.0543), 五个因素对跨学科创新能力的影响逐步减少, 创新思维排在首位, 是衡量一个人的创新能力的核心和基础。只有开放和联想能力强的思维, 才能产生新的想法和见解。创新成果排在末位, 是创新行为的外在表现, 但并不是创新能力的直接体现。二级指标中发散思维(0.1786) > 想象力(0.1260) > 好奇心(0.1165) > 设计思维(0.0860) > 洞察力(0.0718) > 自主学习(0.0599), 发散思维和设计思维是创新思维对跨学科创新能力影响的主要内容, 影响着创新思维的权重占比。洞察力在创新人格排名末位的情况下仍在二级指标中排名第 5, 其重要性可见一斑。

创新思维和创新人格的占比都超过了 30%, 分别占比为 31.43%、34.24%, 这也说明二者的重要程度占有绝对优势。创新人格和创新思维相互影响, 形成正向循环。良好的创新人格会激发出更丰富的创新思维, 而运用创新思维又会再强化和提升个人的创新人格特质。两者相辅相成, 为跨学科创新奠定心理和思维基础。同时, 创新人格又是跨学科创新能力的重中之重, 因为它决定一个人是否具有开放和勇于探索的心理品质, 这是跨学科工作的前提。其他因素如思维、学习等都建立在这个基础之上发挥作用。

创新成果权重占比为 5.43%, 虽然对跨学科创新能力有影响, 但比重最低, 究其原因是创新成果是在创新人格、创新思维、创新学习和创新技能等四个因素作用下产生的外显行为, 对跨学科创新能力产生间接影响。

5. 总结

通过研究分析跨学科创新能力的相关文献, 结合专家经验, 构建跨学科创新能力指标体系, 确定 5 个一级指标 19 个二级指标。同时以 AHP 在处理多指标相互关联时的不足为切入点, 运用网络层次分析法对各级指标进行量化研究。结论如下:

1) 基于 ANP 的跨学科创新能力评价模型符合实际, 通过将各级指标定量化, 得出了各个指标对跨学科创新能力的影响程度。

2) 一级指标中创新思维是跨学科创新能力的最主要影响因素。二级指标中洞察力在创新人格中排名末位的情况下仍排名前列, 是跨学科创新能力评价值得关注的问题。

3) 此评价体系具有现实意义, 一方面从整体性的角度分析了跨学科创新能力的评价指标体系, 另一方面通过对跨学科创新能力的综合评价为其培养提供了建议。当然, 该评价模型可根据教学实际进行适当的改进和完善, 以求更准确、客观地评价学生的跨学科创新能力。

参考文献

- [1] Mansilla, V.B. (2010) Learning to Synthesize: The Development of Interdisciplinary Understanding. In: Frodeman, R., Klein, J.T. and Mitcham, C., Eds., *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*, Oxford University Press, 288-306.
- [2] 王冲, 刘鹏飞, 孙磊. 高校科技创新能力评价指标体系构建与实证分析——以吉林省为例[J]. 统计与决策, 2023, 39(24): 84-88.
- [3] 段军红, 甄文喜, 夏常明, 等. 基于 AHP 的电网企业科技创新能力评价指标体系研究[J]. 农电管理, 2024(2): 54-56.
- [4] 徐会强, 杨美娟, 高嵩. 中学生创新能力评价指标体系的构建与应用研究[J]. 物理教师, 2023, 44(9): 25-28, 33.
- [5] 周蓓蓓, 周敏华. 基于文献计量的跨学科创新能力评价体系构建——以图书馆学为例[J]. 图书馆理论与实践, 2018(10): 66-69, 74.
- [6] 宋乃庆, 沈光辉, 高鑫. 基于 STEAM 教育理念的中小学创客教育测评指标体系构建[J]. 中国考试, 2022(10): 74-83.
- [7] 钟柏昌, 龚佳欣. 跨学科创新能力评价指标体系的构建与实证研究[J]. 中国电化教育, 2022(12): 27-34.
- [8] 核心素养研究课题组. 中国学生发展核心素养[J]. 中国教育学报, 2016(10): 1-3.
- [9] 赵昊昱, 陈小祥, 蒋涛, 等. 高职院校大学生创新能力多元化评价方法的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(3):

204-207.

- [10] 陆静丹, 陈培玲. 基于 SEM 的大学生创新能力测量模型[J]. 统计与决策, 2011(3): 71-73.
- [11] 刘甜甜, 陈洪, 杜焜瑜, 等. 农林院校大学生创新能力培养模式评价指标体系研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(17): 245-247, 250.
- [12] 李艳坡, 范海荣, 何尚琴, 等. 高职院校大学生创新能力评价指标体系与评价方法研究[J]. 中国成人教育, 2010(16): 29-31.
- [13] 张瑞林, 闻兰, 路锋辉. 体育专业研究生创新素质评价体系研究[J]. 成都体育学院学报, 2007, 33(3): 111-113.
- [14] 刘雷, 詹一虹, 黄英辉. 基于物元可拓的研究生创新能力评价研究[J]. 贵州财经大学学报, 2018(2): 54-59.
- [15] 侯锡林, 柳森, 赵希男. 基于个体优势识别的学术型研究生创新能力评价[J]. 现代教育管理, 2018(9): 99-105.
- [16] 邹浩, 周恒洋. 理工科硕士研究生创新能力评价体系构建研究[J]. 高等工程教育研究, 2015(4): 126-128, 153.
- [17] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- [18] 王宇, 欧宗伟, 程立. 网络层次分析法在光电防护战斗效能评估中的应用[J]. 国防科技大学学报, 2023, 45(6): 48-55.
- [19] Saaty, T.L. (1996) Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications.
- [20] 李学平. 用层次分析法求指标权重的标度方法的探讨[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2001, 3(1): 25-27.
- [21] 王莲芬. 网络层次分析法(ANP)的理论与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(3): 44-50.
- [22] 宗宇航, 迟亚欣, 张西华, 等. 基于网络层次分析法的废电路板树脂粉典型利用处置技术综合评价[J]. 化工进展, 2024, 43(4): 2117-2125.
- [23] 刘睿, 余建星, 孙宏才, 等. 基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(8): 141-143.