

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2025.03.006

欢迎按以下格式引用:黄艳,吕昶.基于云模型的工程硕士创新能力评价研究[J].高等建筑教育,2025,34(3):49-60.

# 基于云模型的工程硕士创新能力评价研究

黄 艳, 吕 昶

(武汉工程大学 马克思主义学院, 湖北 武汉 430205)

**摘要:**随着国家政策导向转变与相关产业的快速发展,培养高素质创新型工程人才已成为工程硕士研究生教育的当务之急。为科学评价我国工程硕士的创新能力水平,本文基于素质冰山模型构建并优化了工程硕士创新能力评价模型,运用层次分析法与熵权法建立了涵盖创新技能、创新知识、创新思维、创新人格与创新成果5个因素层、16个指标层的工程硕士创新能力评价指标体系。基于该评价指标体系,以全国1821名工程硕士为研究对象,运用云模型技术评测并分析了我国工程硕士创新能力的整体水平。研究发现:从整体看,我国工程硕士创新能力总体处于良好水平,但个体间仍存在一定的差异性;从各维度看,工程硕士在创新知识、创新人格与创新成果这三个维度上的表现较为良好,而在创新思维与创新技能维度上的表现一般;从各项指标看,工程硕士在综合知识基础、创新成果优化与知识习得能力三项指标上表现最好,而在批判性思维、复杂工程问题解决与复杂工程问题提出指标上的表现最弱,亟需进一步提升。本文基于此,进一步提出对策:完善工程硕士创新能力评价体系,促进工程硕士创新能力的全面提升;聚焦工程硕士的创新技能与创新思维,着力补长其创新能力短板;强化工程硕士的创新主体意识与作用,实现其创新能力的自主提升。

**关键词:**工程硕士;创新能力;云模型;组合赋权;评价指标体系

**中图分类号:**G643    **文献标志码:**A    **文章编号:**1005-2909(2025)03-0049-12

## 一、问题提出与文献梳理

2023年5月29日,习近平总书记在中共中央政治局第五次集体学习时强调,进一步加强科学教育、工程教育,加强拔尖创新人才自主培养,为解决我国关键核心技术攻关提供人才支撑<sup>[1]</sup>。当前,

修回日期:2023-11-04

基金项目:湖北高校省级教学研究项目“基于产教深度融合的工程硕士国际化人才培养模式创新与实践”(2022306);中国学位与研究生教育学会研究课题“地方高校‘154321’研究生教育体系改革与实践”(2020MSB2)

作者简介:黄艳(1975—),女,武汉工程大学马克思主义学院教授,博士生导师,主要从事高校科技政策与科技创新研究,(E-mail)316678481@qq.com;(通信作者)吕昶(1999—),武汉工程大学马克思主义学院硕士研究生,主要从事高校科技政策与科技创新研究,(E-mail)1057750223@qq.com。

新兴技术如大数据、人工智能和元宇宙的出现,为全球经济生产和社会发展带来了重大变革,也对工程人才的创新能力提出了全新挑战。我国研究生工程教育分为工程硕士教育与工学硕士教育。不同于工学硕士强调理论和知识创新,工程硕士重于新技术、新方法和新工艺的应用性开发研究,注重实践探索创新,突出研究成果的社会性、经济性和实用价值,是提升我国科技创新能力的重要有生力量<sup>[2]</sup>。近年来,教育部提出了多项政策促进工程硕士研究生教育的发展。2010年6月,教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”(以下简称“卓越计划”)<sup>[3]</sup>;2018年,教育部启动了“六卓越一拔尖”计划2.0<sup>[4]</sup>,主要目的是改革工程人才的教育培养机制,通过建立高校和企业联合培养的新机制,培养创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量工程技术人才。各高校也相应开展了大量的工程硕士研究生课程教学改革。比如,推行STEAM项目式教学模式,集科学、技术、工程、艺术、运算于一体,全面推进工程硕士通过学习跨学科知识打破学科壁垒提升创新思维、通过发现与解决现实工程问题提升创新技能的改革<sup>[5]</sup>。总体来看,工程硕士研究生教育已经成为我国自主培养高素质创新型工程技术与管理人才的主要途径。那么,应如何提升工程硕士研究生的培养质量与创新能力,助力我国高端制造业和科技行业的转型升级呢?

开展工程硕士创新能力的科学评价,通过构建一套全面系统的评价指标体系,科学客观地评估工程硕士的创新能力,并在此基础上推动我国研究生工程教育模式改革,对于提升工程硕士研究生的培养质量与创新能力,以及国家科技创新整体水平具有极其重要的意义。当前,国内学者在研究生创新能力评价方面已从多个角度进行了深入研究并取得了丰富的研究成果。杭祖圣等综合考虑了创新主体(高校和企业)间合作创新所产生的影响效果,构建了涵盖创新知识积累、创新思维、创新技能、创新个性与团队、创新环境,以及创新成果等维度的研究生创新能力评价指标体系<sup>[6]</sup>;刘雷等运用物元可拓模型构建了研究生创新能力评价指标体系并进行了评价,研究发现创新知识的灵活运用能力与创新实践能力最能体现研究生创新能力的素质教育特征<sup>[7]</sup>;姚威等通过对工程创造力评价方法的梳理,从流畅性、丰富性、原创性、可行性、经济性、可靠性六个维度建立了工程硕士创造力评价体系,并进行了应用验证<sup>[8]</sup>;钟柏昌等运用TRIZ理论,设计并开发了一套用于评价研究生的创新思维、创新学习和创新技能水平的跨学科创新能力测试题,并对该套测试题的难度、区分度、信度、效度等进行了检验<sup>[9]</sup>;蒋晓光等通过构建评价指标体系进行了工程人才创新能力培养的实证研究,发现各高校在新型工程人才创新能力培养评价上各具教育特色,且在培养过程中呈现出了多种不同的培养模式<sup>[10]</sup>;彭术连等认为高校研究生创新能力评价面临诸多挑战,评价主体需要由单一走向多元,评价内容需要由遮蔽走向全面,评价范式需要由同行走向跨界<sup>[11]</sup>。纵观已有文献可知,评估工程硕士的创新能力是当前学术界一个新兴且活跃的研究领域,但现有研究对相关核心概念尚未进行清晰界定,也未形成成熟的评价测量工具。已有的工程硕士创新能力评价指标体系存在科学性和应用性不足的问题;因此,本文旨在构建工程硕士创新能力评价指标体系,通过聚焦科学评价工程硕士创新能力这一核心问题,揭示工程硕士创新能力培养的内在机制,为提升工程硕士的创新能力提供有益的策略。

## 二、工程硕士创新能力评价指标体系的构建

工程硕士创新能力是指工程硕士研究生在接受工程教育和参与企业实践的过程中,形成的由创造性认知活动产生创新性成果的能力<sup>[12]</sup>。工程硕士创新能力的内涵不同于工学硕士,后者强调理论与知识的创新,前者强调面向现代工程问题,解决复杂工程问题,通过个体的充分实践以突破旧的思想和常规的观念,进而使新产品、新程序实现一定突破,或在一定程度上推动技术进步,以及

生产效率的提升,具有显著的突破性与实践性的特征。

### (一) 评价指标体系构建的理论基础

1993年,斯宾塞创造性地提出了素质冰山模型,该模型刻画了个体素质的四个层次:技能;知识;思维、自我概念、价值观;动机、人格特质。斯宾塞认为个体的综合素质如同一座冰山,在海平面以上的表层部分能够清晰地呈现出个体的知识与技能,而思维、价值观、自我概念,以及动机与人格特质埋藏在海平面下方,这些构成了素质冰山的基础。这四个层次的素质共同影响个体综合素质的形成。基于素质冰山模型,结合工程硕士创新能力的概念内涵与特征,本文构建了工程硕士创新能力评价模型,如图1所示。

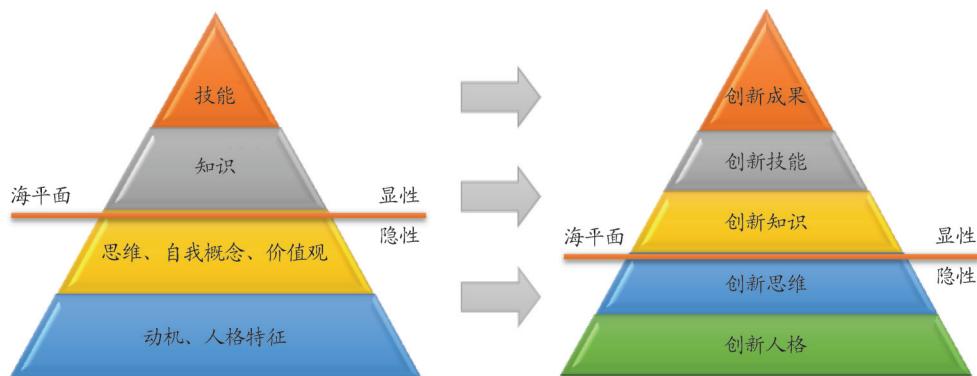


图1 素质冰山模型与工程硕士创新能力评价模型

工程硕士创新能力具有外显性与内隐性并存的特征。外显性创新能力可以通过工程硕士是否掌握创新知识、是否具备创新技能等方面进行评价;而内隐性创新能力具有不确定性和无法定性等特征,比如创新思维是否活跃、创新人格倾向是否强烈等,需要选取合理的指标进行科学评价。此外,鉴于工程硕士在实践过程中所创造的成果往往具有学术价值、应用价值和社会价值,这些成果能够全面反映其创新能力的总体水平。因此,本文将创新成果纳入工程硕士创新能力评价模型中。

### (二) 评价指标的选取

基于工程硕士创新能力的内涵、特征与评价模型,结合已有相关文献,经过15位教育学与工程学领域的专家反复多轮讨论与筛选,从工程硕士创新能力实现的结构角度,构建了由1个目标层、5个因素层和16个指标层组成的工程硕士创新能力评价指标体系,各项指标及其来源如表1所示。

创新技能主要指工程硕士在工程活动中为实现新颖的、有价值的创新活动或解决工程活动中遇到的现实问题所需具备的一种综合能力。自我国加入《华盛顿协议》以来,解决复杂工程问题逐渐成为工科生毕业要求的重要标准。复杂工程问题往往综合性强,包含非工程因素,需借助创新手段解决<sup>[35]</sup>。具备创新技能的工程硕士应具有提出和解决复杂工程问题的能力,因此本文将复杂工程问题的提出与解决作为评价工程硕士创新能力高低的标准。

创新知识主要指工程硕士开展创新活动所需具备的各种知识及其相关能力,本文主要包含综合知识基础、知识习得能力与知识运用能力这三个指标。首先,丰富的知识储备是工程硕士提升自身创新能力的重要前提<sup>[36]</sup>,工程硕士应具备一定深度与广度的工程基础知识、专业知识和跨学科知识,从而打造深厚的综合知识基础;其次,通过不断学习掌握更多的知识是工程硕士创新能力形成的重要保障,知识习得能力是工程硕士从外界学习、吸收新知识的能力;最后,知识只有运用起来才能形成创新,知识运用能力指灵活运用知识储备,解决工程活动中实际问题的能力。

创新思维是一种高级的、特殊的思考方式和思维活动,它强调以全新的认知方式与方法从不同视角、不同思路对客观事物进行认识、概括与掌握<sup>[37]</sup>,具有极强的综合性与开创性。在本文中,创新

思维涵盖了系统性思维、批判性思维、工程伦理思维、逻辑思维与数理思维这五个指标。其中,系统性思维具有全局性、整体性和多维性的特点,它要求工程硕士在思维活动中把工程对象作为一个整体来思考,动态平衡整体与局部的关系;批判性思维强调独立思考,它要求工程硕士敢于对已有的工程方案提出批判性的看法;工程伦理思维要求工程硕士具备较好的职业道德与职业操守,积极规避工程风险;逻辑思维与数理思维强调工程硕士应具备工程过程系统化能力与多源数据分析能力。

表1 工程硕士创新能力评价指标及其来源

目标	因素层	指标层	指标层来源
工程硕士创新能力	创新技能	复杂工程问题提出	尚元明等 <sup>[13]</sup> ,2003;李志义 <sup>[14]</sup> ,2020
		复杂工程问题解决	钟柏昌等 <sup>[15]</sup> ,2022;王珺楠等 <sup>[16]</sup> ,2023
	创新知识	综合知识基础	吕科建等 <sup>[17]</sup> ,2012;张建功等 <sup>[18]</sup> ,2022
		知识习得能力	修光利等 <sup>[19]</sup> ,2020;杭祖圣等,2021
		知识运用能力	高敏等 <sup>[20]</sup> ,2017;刘雷等,2018
	创新思维	系统性思维	林健 <sup>[21]</sup> ,2010;郭献章等 <sup>[22]</sup> ,2019
		批判性思维	《华盛顿协议》 <sup>[23]</sup>
		工程伦理思维	郑庆华 <sup>[24]</sup> ,2021;张炜等 <sup>[25]</sup> ,2021
		逻辑思维	刘甜甜等 <sup>[26]</sup> ,2016;林健等 <sup>[27]</sup> ,2019
		数理思维	章丽辉等 <sup>[28]</sup> ,2019;林忠钦等 <sup>[29]</sup> ,2022
	创新人格	想象力	
		冒险性	
		好奇心	威廉斯创造力倾向测量表 <sup>[30]</sup>
		挑战性	
	创新成果	创新成果产出	邹浩等 <sup>[31]</sup> ,2015;徐吉洪等 <sup>[32]</sup> ,2018
		创新成果优化	杨蕙馨 <sup>[33]</sup> ,2012;李玉飞 <sup>[34]</sup> ,2022

创新人格是指工程硕士在工程创新实践活动中所体现出的具有一定倾向性且较为稳定而独特的心理特征。本文基于威廉斯创造力倾向测量表,从想象力、冒险性、好奇心与挑战性四个维度评价工程硕士在创新人格指标上的表现。想象力是创新、创造和生产能力的源泉;冒险性要求工程硕士具备探索新想法和尝试新事物的开拓精神;强烈的好奇心能够驱使工程硕士在工程活动中进行自由探索,以寻求复杂工程问题的解决方案;挑战性人格要求工程硕士对社会惯例加以质疑,突破已有规范进行创新创造,具备挑战性人格的工程硕士往往是富有创造力和创新精神的工程型人才<sup>[38]</sup>。

创新成果是工程硕士在创新实践中产出的兼具新颖性与实用价值的工程产品,直接体现其创新能力,并融合了创新人格、创新思维、创新知识与创新技能。倘若用一棵树作为比喻,创新人格好似树根,汲取所需养分;创新思维是树干,吸收营养向上生长;创新知识则是树枝,朝着不同方向前进;创新技能像树枝所到之处长出的茂盛树叶;创新成果便是树叶下的果实<sup>[39]</sup>。从某种程度上讲,工程硕士创新成果的多少、创新成果层次的高低,在很大程度上影响其创新能力评价结果。本文主要从产出和优化两个方面对工程硕士的创新成果进行评价。其中,创新成果的产出着重考量工程硕士在论文发表、专利申请等方面的情况;创新成果的优化强调工程硕士对已有成果或过往经验在

多大程度上进行了改造与完善。

### (三) 评价指标体系的赋权

考虑层次分析法的系统性和熵权法的客观性,本文综合运用AHP-熵权法这种组合赋权法展开对工程硕士创新能力评价指标体系的赋权。邀请参与评价指标选取的15位专家,进一步对工程硕士创新能力评价指标体系中各项指标的重要程度综合打分,采用Yaahp 12.3软件中的群决策功能与Excel软件分别对指标权重进行了测算,再通过求取两者的均值确定各项指标的最终权重,在一定程度上避免了层次分析法主观性太强而熵权法不够系统等问题。运用熵权法对评价指标体系赋权的具体步骤如下。

步骤一:计算特征比重

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad (1)$$

式中: $f_{ij}$ 为特征比重; $x_{ij}$ 为第*i*个系统中的第*j*项指标数据。

步骤二:计算熵值

$$e_i = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln(f_{ij}) > 0, \quad (2)$$

式中: $e_i$ 为熵值。

步骤三:得到最终权重

$$w_j = \frac{1 - e_i}{n - \sum_{i=1}^n e_i}, \quad (3)$$

式中: $w_j$ 为熵权。

工程硕士创新能力评价指标体系权重最终结果的计算公式为 $w = 0.5w_a + 0.5w_b$ ,其中, $w_a$ 为层次分析法测算的权重; $w_b$ 为熵权法测算的权重; $w$ 为综合权重。工程硕士创新能力评价指标的赋权结果如表2所示。

## 三、工程硕士创新能力评价指标体系的实例应用

结合上述工程硕士创新能力评价指标体系,本文设计了工程硕士创新能力评价问卷,从内部一致性出发,对问卷信效度进行了检验。结果显示,问卷整体的Cronbach's  $\alpha$ 系数为0.859,巴特利特球形检验KMO值为0.844,表明该问卷的信效度良好,可进行后续分析。进一步利用工程硕士创新能力评价问卷,面向我国工程硕士采用线上问卷星平台与线下纸质问卷两种方式展开调研,共发放问卷2 240份,回收有效问卷1 821份,回收率达81.29%。调研对象来自北京、上海、重庆、湖北、广东五个地区的25所高校。其中,985高校3所,211高校5所,“双一流”高校(不含985与211高校)5所,其他高校12所,占比分别为12%、20%、20%、48%;男性1 354人,女性467人,占比分别为74.35%、25.65%;有工程专业相关工作经历的工程硕士共1 164人,占比为63.92%。基于调研结果,运用云模型技术对工程硕士的创新能力水平进行了测评,并展开了可视化分析。

### (一) 综合测评的关键技术

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,较好地解决评价过程中模糊性和随机性的问题<sup>[40]</sup>。近年来,云模型理论越来越多地应用于教育评价。比如,张园等通过构建高校科研创新能力综合评价的可拓理论—云模型,运用改进的层次分

析法和确定度矩阵计算指标等级的综合云关联度,确定了高校科研创新能力的评价等级<sup>[41]</sup>;盛知恒构建了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观组合赋权确定了综合素质的指标权重,并引入正态云模型分析了大学生综合素质的评测结果<sup>[42]</sup>。工程硕士创新能力评价是一项复杂性高且系统性强的评价研究,云模型的引入为开展工程硕士创新能力评价研究提供了崭新的视角。

表2 工程硕士创新能力评价指标的权重

因素层		指标层			
评价指标	综合权重	评价指标	主观权重	客观权重	综合权重
创新技能	0.139	复杂工程问题提出	0.047	0.080	0.063
		复杂工程问题解决	0.053	0.098	0.076
创新知识	0.178	综合知识基础	0.062	0.064	0.063
		知识习得能力	0.077	0.056	0.066
创新思维	0.369	知识运用能力	0.043	0.056	0.049
		系统性思维	0.066	0.043	0.055
创新人格	0.191	批判性思维	0.098	0.095	0.096
		工程伦理思维	0.040	0.105	0.072
创新成果	0.123	逻辑思维	0.115	0.033	0.074
		数理思维	0.070	0.073	0.072
创新人格	0.191	想象力	0.054	0.032	0.043
		冒险性	0.020	0.031	0.025
创新成果	0.123	好奇心	0.067	0.090	0.078
		挑战性	0.057	0.031	0.044
创新成果	0.123	创新成果产出	0.108	0.038	0.073
		创新成果优化	0.025	0.075	0.050

由于正态云模型能得出较为直观的结论,且具有较好的普适性,本文采用正态云模型展开工程硕士创新能力评价研究。云模型的数字特征可以体现其整体特性,期望 $E_x$ 、熵 $E_n$ 、超熵 $H_e$ 为云的数字特征。期望值 $E_x$ 作为云滴在论域空间 $U$ 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,不仅可以表示云滴的离散程度,还可以表示云图的准确性<sup>[43]</sup>。云滴是定义概念 $C$ 向数域空间 $U$ 中映射所形成的,云由许多个云滴组成,若云滴数过少,则无法清晰描述定性概念<sup>[44]</sup>。因此,本文设置云滴的个数 $N = 5000$ 。

运用云模型开展工程硕士创新能力水平的科学测评首先需基于评价集构建云标尺,并由专家根据实际情况进行评分,赋予每个评价区间云模型的数字特征。具体公式如下:

$$\begin{cases} E_x = \frac{s_{\max} + s_{\min}}{2} \\ E_n = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{6}, \\ H_e = K \end{cases} \quad (4)$$

式中: $s_{\max}$ 与 $s_{\min}$ 分别代表等级标准的最大边界值与最小边界值; $K$ 代表常数。

进一步采取等级综合云的方法,将多个独立等级的云集合成1个更广义的云,各项指标也相应地综合成1个综合云特征值,具体公式如下:

$$\begin{cases} \bar{E}_x = \sum_{f=1}^h w_f E_{xf} \\ \bar{E}_n = \frac{\sum_{f=1}^h w_f E_{xf} E_{nf}}{\sum_{f=1}^h w_f E_{xf}}, \\ \bar{H}_e = \left( \sum_{f=1}^h (w_f H_{ef})^2 \right)^{0.5} \end{cases}, \quad (5)$$

式中: $E_{xf}$ 为第f个云集的期望值; $E_{nf}$ 为第f个云集的熵值; $H_{ef}$ 为第f个云集的超熵值; $E_x$ 为综合云的期望值; $E_n$ 为综合云的熵值; $H_e$ 为综合云的超熵值; $w_f$ 为第f个云集的权重。

## (二) 综合评测结果与分析

基于调研数据,结合工程硕士创新能力评价指标体系中指标层各项指标的权重,运用云模型技术计算得到各指标的云特征值,结果如表3所示。

表3 指标层云特征值

评价指标	期望值	熵值	超熵值
复杂工程问题提出	3.294	1.032	0.218
复杂工程问题解决	3.140	1.070	0.055
综合知识基础	3.943	0.666	0.088
知识习得能力	3.795	1.010	0.262
知识运用能力	3.787	1.052	0.216
系统性思维	3.706	1.039	0.390
批判性思维	2.792	1.091	0.314
工程伦理思维	3.525	1.146	0.425
逻辑思维	3.778	1.160	0.404
数理思维	3.389	1.223	0.359
想象力	3.624	0.861	0.297
冒险性	3.538	1.109	0.391
好奇心	3.692	0.878	0.305
挑战性	3.643	0.832	0.267
创新成果产出	3.787	1.102	0.237
创新成果优化	3.833	1.160	0.377

由表3可知,在工程硕士创新能力评价指标体系中大多数指标的期望值集中在[3.10~3.80]区域内。其中,期望值最高的三个指标分别是综合知识基础、创新成果优化与知识习得能力,而期望值最低的三个指标分别为批判性思维、复杂工程问题解决和复杂工程问题提出。为了进一步区分工程硕士创新能力水平的评价等级,采用数字分级的方式将其划分为差、较差、一般、良好和优秀五个等级,设定各评价等级得分区间为(0.00~2.50],(2.50~3.00],(3.00~3.50],(3.50~4.25],(4.25~5.00],数值越大代表工程硕士的创新能力水平越高。工程硕士创新能力评价等级划分标准如表4所示。

结合正态云发生器算法,运用Matlab编程软件制作了工程硕士创新能力评价等级标准云图,如

图2所示。进一步根据工程硕士创新能力各项评价指标的权重及其指标云参数,测算出综合创新能力的云特征值,即期望值、熵值与超熵值分别为3.544、1.029和0.303,并通过Matlab编程绘制了工程硕士创新能力综合评价云图,如图3所示。

表4 工程硕士创新能力综合水平评价等级划分

评价等级	得分区间	标准云
差	(0.00~2.50]	(1.250,0.417,0.050)
较差	(2.50~3.00]	(2.750,0.083,0.050)
一般	(3.00~3.50]	(3.250,0.083,0.050)
良好	(3.50~4.25]	(3.875,0.125,0.050)
优秀	(4.25~5.00]	(4.625,0.125,0.050)

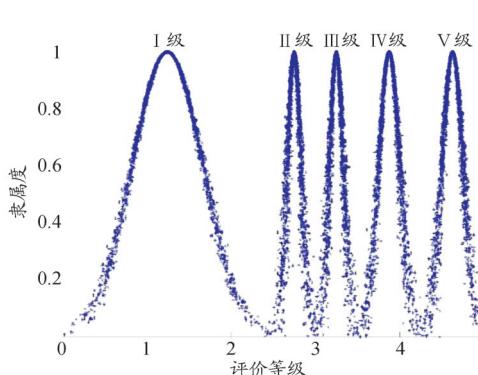


图2 工程硕士创新能力评价等级标准云图

注: I级—V级为等级云,下同。

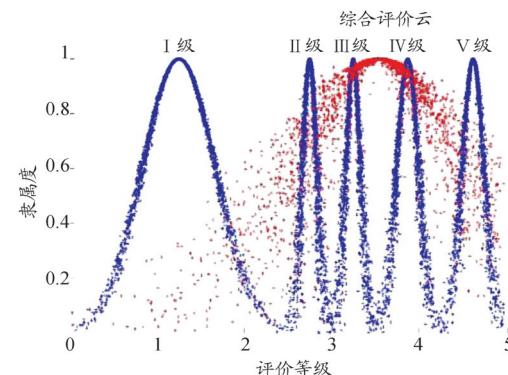


图3 工程硕士创新能力综合评价云图

由图3可知,在实际案例应用分析中,工程硕士创新能力综合评价云整体呈正态分布,云滴较分散,波动较小,这一研究结果与实际情况基本相符,当前工程硕士的创新能力水平基本服从正态分布,这也一定程度上表明本文开展评价研究的方法合理可行。研究还发现,当反映云滴离散程度的隶属度>0.8时,云滴分布最为集中,且集中的区域为良好等级云的范围,表明大多数工程硕士的创新能力评价等级为良好。研究还发现,云滴并非完全集中在良好等级云附近,仍有部分工程硕士的评价等级处于一般等级云范围,且在这一范围内反映工程硕士创新能力综合评价云的云滴聚集较厚,这表明在该范围内个体间的差异性较大。

本文进一步测算了工程硕士创新能力评价指标体系中五项因素层指标的云特征值,并通过Matlab编程绘制了工程硕士创新能力因素层各项指标的评价云图,如表5和图4所示。

由表5与图4可知,创新技能与创新思维的云特征值均<3.5,均处于一般等级云上,且这两个维

表5 因素层云特征值

评价指标	期望值	熵值	超熵值
创新技能	3.210	1.052	0.153
创新知识	3.845	0.897	0.202
创新思维	3.385	1.135	0.376
创新人格	3.645	0.893	0.308
创新成果	3.806	0.926	0.302

度反映在评价云图中的云滴有超过大半位于一般等级云上,这表明工程硕士在创新技能与创新思维这两个维度上的表现仅达到一般水平;创新知识、创新人格及创新成果的数字特征值均 $>3.5$ ,且反映在评价云图中的云滴有超过大半位于良好等级云上,表明大多数工程硕士在这三个维度上的创新能力达到了良好水平。此外,创新人格与创新思维的熵值均 $>1$ ,反映出云滴集中度的稳定性较差,且反映创新人格与创新思维的云滴聚集较厚,这些均表明工程硕士在这两个维度上表现出来的差异性较其他维度更为显著。

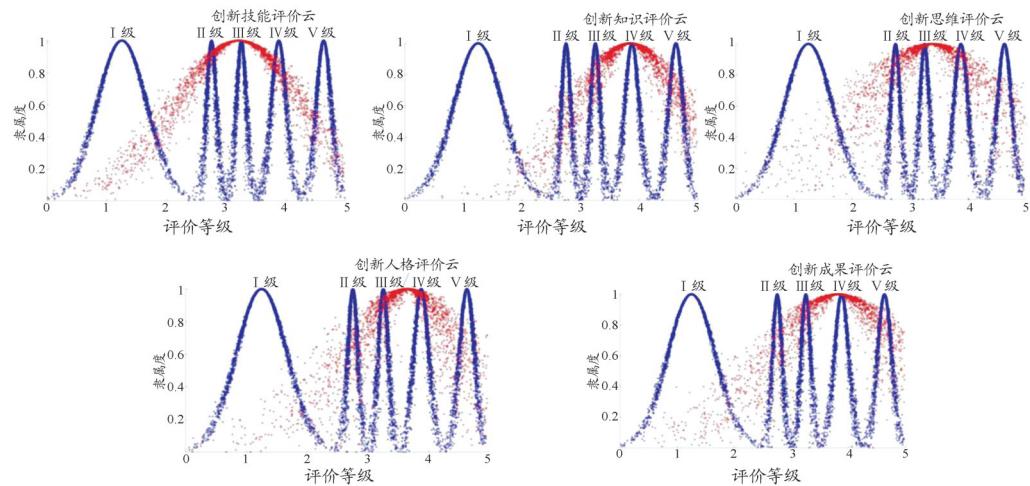


图4 因素层各指标评价云图

#### 四、结论与对策建议

基于素质冰山模型构建并优化了工程硕士创新能力评价模型,在此基础上科学选取工程硕士创新能力评价指标,运用层次分析法与熵权法组合赋权测算了工程硕士创新能力各项评价指标的权重,构建了较为客观全面的工程硕士创新能力评价指标体系。进一步以1821位工程硕士的调研数据为研究样本进行了实例研究,利用云模型技术测算了工程硕士在各项评价指标上的云特征值。基于云特征值与评价云图的研究发现,工程硕士的创新能力水平整体表现良好,但个体之间仍存在一定的差异性;工程硕士在创新知识、创新人格与创新成果这三个维度上的表现均为良好,而在创新思维与创新技能维度上的表现一般;工程硕士在综合知识基础、创新成果优化与知识习得能力三项指标上表现最好,在批判性思维、复杂工程问题解决与复杂工程问题提出指标上的表现最弱,亟需进一步提升。针对工程硕士创新能力评价研究结论提出以下三点建议。

(1)完善工程硕士创新能力评价体系,促进工程硕士创新能力的全面提升。评价是工程硕士创新能力提升的关键性激励手段。工程硕士创新能力的提升是一个渐进的过程,需要通过科学完善的评价体系推进工程硕士经历由外至内、“冲突—适应—内化—协调”螺旋式复杂变化,实现其在创新知识、创新思维、创新技能、创新人格与创新成果五个维度的逐步提升。一方面,需要不断完善工程硕士创新能力评价体系的修订制度,确保评价指标体系能够及时反映新时期国家对工程硕士创新能力的新要求,在增强评价指标体系成长性的同时,强化其适应性和有效性,以保证工程硕士创新能力评价结果的客观性和准确性;另一方面,合理使用先进的技术与方法,充分利用现代化、信息化系统,构建并完善工程硕士创新能力评价数据库。通过对工程硕士进行多维度、全过程、立体式、全景式的科学评价<sup>[45]</sup>,努力实现对工程硕士创新知识、技能与成果的准确评价,同时也能评价其内

隐的创新思维与人格,从而全面促进工程硕士创新能力水平的不断提升。

(2) 聚焦工程硕士的创新技能与创新思维,着力补长其创新能力短板。首先,应积极鼓励高校联合企业搭建校外实践基地,鼓励工程硕士深入企业参与专业实习。这将为工程硕士学习前沿知识、掌握前沿方法、探索前沿问题提供平台,从而增强工程硕士提出和解决复杂工程问题的能力。其次,积极完善双导师制,实现校内导师与企业导师在理论和实践指导方面的优势互补,推进工程硕士参与工程实践活动。最后,创新思维是工程硕士培养目标定位的逻辑起点,针对其薄弱点可以考虑引入批判性思维网络训练课程,鼓励工程硕士合理质疑、审慎评估、不断创新,为其在工程实践中有效运用批判性思维奠定坚实基础。

(3) 强化工程硕士的创新主体意识与作用,实现其创新能力的自主提升。工程硕士只有主动参与创新活动,才能实现创新能力的提升。首先,工程硕士要有创新主体意识,加强自身创新行为的训练,对前沿科学问题与具体工程问题进行积极探索与实践分析,培养并激发自身潜在的创新思维与创新型人格特质。其次,持续拓展和丰富工程硕士创新能力的培养路径,将创新理念融入校园文化,举办专业的学术论坛、创新创业大赛等活动,营造积极向上的工程学习环境,形成一个鼓励创新、勇于创新的文化氛围。最后,持续完善和发展工程硕士创新能力培养的相关政策和措施,鼓励工程硕士进行自主创新,通过内外部激励充分挖掘创新潜能,激发创新动力,帮助其在创新活动中实现自我完善与超越。

#### 参考文献:

- [1] 习近平在中共中央政治局第五次集体学习时强调 加快建设教育强国 为中华民族伟大复兴提供有力支撑[N]. 人民日报,2023-05-30(1).
- [2] 马永红,马万里. 泾渭何当分? ——工程硕士与工学硕士研究生培养差异性研究[J]. 学位与研究生教育,2022(11): 9-18.
- [3] 林健.“卓越工程师教育培养计划”通用标准研制[J]. 高等工程教育研究,2010(4):21-29.
- [4] 教育部:实施“六卓越一拔尖”计划2.0建设高水平本科教育[EB/OL]. (2018-10-18)[2023-03-18]. [https://www.gov.cn/xinwen/2018-10/18/content\\_5331923.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2018-10/18/content_5331923.htm).
- [5] 齐成龙,李玉颖. STEAM项目式教学:内涵意蕴、价值向度与运用示例[J]. 自然辩证法通讯,2023,45(11):106-113.
- [6] 杭祖圣,张凯铭,王经逸,等. 产学研合作背景下基于组合赋权模糊Topsis法的大学生创新能力评价[J]. 高分子通报,2021(11):71-80.
- [7] 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.
- [8] 姚威,储昭卫,胡顺顺,等. 工程硕士创造力评价体系构建与应用研究——以浙江大学工程师学院为例[J]. 研究生教育研究,2022(4):42-48.
- [9] 钟柏昌,龚佳欣. 基于TRIZ的跨学科创新能力评价:试题编制与证实[J]. 现代远程教育研究,2023,35(4):75-82,112.
- [10] 蒋晓光,李文俊.“新工科”背景下工程人才创新能力培养评价研究——基于CIPP模型的7所地方高校实证分析[J]. 中国高校科技,2022(8):5-9.
- [11] 彭术连,肖国芳,刘佳奇. 知识生产模式转型下的研究生创新能力评价变革[J]. 科学管理研究,2022,40(1): 146-152.
- [12] 李枫,于洪军. 产教融合培养高层次创新型应用人才——以“双层次螺旋协同工程硕士创新能力培养模式”为例[J]. 中国高校科技,2018(7):44-47.
- [13] 尚元明,崔景贵,王碗. 大学生创造性素质评价的初步研究[J]. 现代教育科学,2003(1):54-57.
- [14] 李志义. 对毕业要求及其制定的再认识——工程教育专业认证视角[J]. 高等工程教育研究,2020(5):1-10.
- [15] 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.
- [16] 王珺楠,郑博文,张丽娟,等. 基于系统思维和灰色关联法的新工科大学生创新能力评价体系构建[J]. 系统科学学

- 报,2023,31(2):123-126.
- [17] 吕科建,王东东,杨立芳. 大学生创新能力“六性”培养的评价及思考[J]. 科技管理研究,2012,32(24):140-143,153.
- [18] 张建功,谢子敏,黄丽娟. 基于PDCA理论的全日制工程硕士校外实践基地评价研究[J]. 现代教育技术,2022,32(4):78-87.
- [19] 修光利,郭宇杰,侯丽敏. 工程教育专业认证中非技术能力达成的教学研究——以环境工程专业为例[J]. 高等工程教育研究,2020(3):74-79.
- [20] 高敏,王丽娜,赵明. 隐性知识视角下研究生创新能力的培养策略[J]. 中国成人教育,2017(6):29-31.
- [21] 林健. 新工科人才培养质量通用标准研制[J]. 高等工程教育研究,2020(3):5-16.
- [22] 郭献章,张淑梅,杨惠芳,等.“系统性创新思维”在实践教学中的应用[J]. 实验技术与管理,2019,36(1):28-32.
- [23] International Engineering Alliance. Graduate Attributes and Professional Competences[EB/OL]. (2021-06-21)[2022-02-10]. [https://www.ieagreements.org/assets/Uploads/IEAGraduate-Attributes\\_and-Professional-Competencies-2021-1Sept-2021.pdf](https://www.ieagreements.org/assets/Uploads/IEAGraduate-Attributes_and-Professional-Competencies-2021-1Sept-2021.pdf).
- [24] 郑庆华. 高等工程教育发展:守正与创新[J]. 高等工程教育研究,2021(5):44-49,81.
- [25] 张炜,沈锦璐,徐沛鋆. 应对全球性挑战的工程教育系统创新暨第十五届科教发展战略国际研讨会综述[J]. 高等工程教育研究,2021(3):197-200.
- [26] 刘甜甜,陈洪,杜焰瑜,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.
- [27] 林健,彭林,JesiekBrent. 普渡大学本科工程教育改革实践及对新工科建设的启示[J]. 高等工程教育研究,2019(1):15-26.
- [28] 章丽辉,钟圣怡,赵加强,等. 新工科视域下数理基础课程的跨学科教学[J]. 高等工程教育研究,2019(6):44-49.
- [29] 林忠钦,王亚光,李智,等. 需求引领产教协同培养卓越工程科技人才——上海交通大学的实践与探索[J]. 学位与研究生教育,2022(10):12-18.
- [30] 威廉斯. 威廉斯创造力倾向测量表[J]. 中国新时代,2003(22):89-90.
- [31] 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(04):126-128,153.
- [32] 徐吉洪,郭石明,洪滔,等. 多学科视阈下研究生创新能力评价指标体系的构建[J]. 研究生教育研究,2016(3):67-71.
- [33] 杨蕙馨. 管理学研究生创新能力评价体系构建及培养机制变革对策[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版),2012,14(2):116-121,128.
- [34] 李玉飞. 国内工科研究生创新能力影响因素探讨——基于过程管理的模型构建分析[J]. 中国高校科技,2022(3):57-61.
- [35] 林健. 如何理解和解决复杂工程问题——基于《华盛顿协议》的界定和要求[J]. 高等工程教育研究,2016(5):17-26,38.
- [36] 王洪才,孙佳鹏. 我国研究生创新能力评价研究现状与前瞻[J]. 研究生教育研究,2022(6):1-7.
- [37] 詹泽慧,梅虎,麦子号,等. 创造性思维与创新思维:内涵辨析、联动与展望[J]. 现代远程教育研究,2019(2):40-49,66.
- [38] 林健. 国家卓越工程师学院建设:校企全方位深度合作培养高层次卓越工程师[J]. 高等工程教育研究,2023(5):7-17.
- [39] 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.
- [40] 付斌,李道国,王慕快. 云模型研究的回顾与展望[J]. 计算机应用研究,2011,28(2):420-426.
- [41] 张园,郑志学,李华清. 基于可拓理论-云模型的高校石油与天然气工程一级学科科研创新能力评价[J]. 系统科学学报,2023,31(4):107-112.
- [42] 盛知恒. 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[J]. 城市轨道交通研究,2022,25(12):32-38.
- [43] 刘常昱,李德毅,杜鹃,等. 正态云模型的统计分析[J]. 信息与控制,2005(2):236-239,248.
- [44] 梁力,邢观华,吴凤元. 基于云理论的评估模型和方法[J]. 东北大学学报(自然科学版),2019,40(6):881-885.
- [45] 左惟. 深化评价制度改革大力推进高校高质量内涵式发展[J]. 中国高等教育,2022(8):12-14.

## Research on evaluation of innovation ability of master of engineering based on cloud model

HUANG Yan, LYU Chang

(School of Marxism, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, P. R. China)

**Abstract:** With the change of national policy orientation and the rapid development of related industries, training high-quality innovative engineering talents has become an urgent task for engineering postgraduate education. In order to scientifically evaluate the innovation ability of engineering masters in China, an evaluation model of innovation ability of engineering masters is constructed and optimized based on the quality iceberg model, and an evaluation index system of innovation ability of engineering masters is established by using analytic hierarchy process (AHP) and entropy weight method, which covers 5 factor layers and 16 index layers, including innovative skills, innovative knowledge, innovative thinking, innovative personality and innovative results. Based on the evaluation index system, with 1821 engineering masters as the research object, cloud model technology is used to evaluate and analyze the overall level of innovation ability of engineering masters in China. The results show that: on the whole, the innovation ability of engineering masters in China is at a good level, but there are still some differences among individuals. From the perspective of various dimensions, the performance of master of engineering in the three dimensions of innovative knowledge, innovative personality and innovative achievements is relatively good, but in the dimension of innovative thinking and innovative skills, the performance is not good. In terms of various indicators, master of engineering has the best performance in the three indicators of comprehensive knowledge base, innovation achievement optimization and knowledge acquisition ability, while the weakest performance in the indicators of critical thinking, complex engineering problem solving and complex engineering problem raising, which needs to be further improved. Based on this, the following countermeasures are proposed: improve the evaluation system to promote the overall improvement of innovation ability of master of engineering, focus on the innovation skills and innovative thinking to strengthen its innovation ability, strengthen the innovation subject consciousness and function to realize the independent improvement of its innovation ability.

**Key words:** master of engineering; innovation ability; cloud model; combinatorial empowerment; evaluation index system

(责任编辑 梁远华)