

工科学生工程能力图谱构建与评价方法研究

——以机械设计及其自动化专业为例

李 疆¹ 李佳霖² 杨秋萍² 石文昌²

1. 贵阳学院机械工程学院 贵州 贵阳 550005

2. 贵阳学院数控技术工程应用实验室 贵州 贵阳 550005

摘要：随着社会产业结构的升级、智能制造的兴起，工科学生的工程能力显得尤为重要。但目前对其工程能力的评价体系尚不完善，缺乏定量化、系统化的评价工具。因此，本研究立足于工程教育认证的要求，依托专业核心课程和实践教学环节，以机械设计制造及其自动化专业为例，构建了学生工程能力图谱，将理论知识、软硬件技能以及创新能力纳入考评体系，打破传统评价模式的局限。研究采用层次分析法和模糊综合评价法，对工程能力图谱进行了定量化评价。通过对相关学生的评价实验发现，本评价方法能够有效识别学生工程能力的优势与不足，并提出了优化改进建议。研究成果为相关专业教学改革提供了理论依据和评价工具，对提升学生的工程能力具有重要指导意义。

关键词：工程能力图谱；层次分析法；模糊综合评价；教学改革

引言：

工程能力是指工程师运用专业知识和技能解决复杂工程问题的综合能力，是工程师的核心竞争力。工程能力的形成是一个渐进的过程，需要通过系统的工程教育和实践训练来培养。机械设计制造及其自动化专业（以下简称机制专业）培养目标是培养具备扎实的机械工程基础知识，掌握现代设计方法和制造技术，具有较强工程实践能力、创新意识和国际视野的高素质专门人才。然而，当前该专业的工程能力培养存在一些问题，如课程设置与工程实践脱节、教学内容更新滞后、实践教学比重偏低等，导致毕业生的工程能力与企业需求存在较大差距。

为了加强机制专业学生的工程能力培养，本文提出构建工程能力图谱的概念。工程能力图谱是以知识图谱为理论基础，通过梳理和构建机械工程领域的关键能力要素，形成工程能力的层次化、结构化和语义化表示。工程能力图谱的构建为机制专业的工程能力培养提供了理论参考和实践指导。基于图谱模型，可以设计针对性的课程体系 and 实践项目，强化学生工程意识和创新能力的培养，同时工程能力图谱也为学生工程能力的评价提供了依据。

一、工程能力图谱概念构建

（一）图谱理论基础

知识图谱的核心是实体和关系的抽取与建模。知识图谱构建过程主要包括知识获取、知识表示、知识融合等步骤。知识获取是知识图谱构建的基础，其目的是从各种异构数据源中提取出实体、属性、关系等知识元素；常见的知识表示模型有 RDF (Resource Description Framework)、OWL (Web Ontology Language) 等；知识融合则是将不同来源、不同粒度的知识进行关联、对齐，形成统一的知识库。

（二）教育背景与需求分析

机制专业是高等工科教育的重要组成部分，其人才培养目标是培养具有扎实理论基础和较强工程实践能力的应用型工程技术人才。专业涵盖了机械工程、自动控制、电子信息等多个学科领域，具有鲜明的交叉性和综合性特征。机制专业学生需要具备扎实的机械工程理论基础，熟练掌握机械设计、制造工艺、电气控制等专业知识，具有较强的工程制图、计算机辅助设计、数控编程等专业技能。传统的工程能力评价多采用主观打分或简单量化的方式，评价指标单一，难以全面反映学生的能力水平。而基于图谱的评价方法可以从知识、能力和素质等多个维度，构建层次化的评价指标体系，并采

用客观的测评手段，如情境测试、项目考核等，提高评价的科学性和准确性。

二、评价方法研究

（一）工程能力要素分类

本研究采用结构方程模型 (SEM) 以定量化手段尝试反映学生的核心竞争力，并通过层次分析法 (AHP) 进一步细化工程能力组成元素。在调研过程中，采集了机制专业的 800 名学生相关学习信息，通过对这些数据进行多维度的聚类分析和因子提取，结合工程教育认证 12 条毕业要求，结合专业实际，对工程能力要素进行了系统深入的分析，构建了 7 层面，14 要素的工程能力要素模型（见表 2-1）。

基于所获得的模型结果，本研究提出了定向改善方案，目的是通过课程体系调整，项目案例增强以及实训平台优化等手段，改善和提升学生的工程能力。实证研究表明，调整后的课程体系能够提高学生理论与实践相结合的能力，强化团队项目的工作效率，并提升整体工程素养的水准。通过与传统教育模式对比，本研究方案能够使学生的综合能力得分平均提升 18.5%，显示了明显改进效果。

（二）评价指标体系构建

构建机制专业学生工程能力图谱的评价体系时，

表 2-1 工程能力要素分类表

工程能力层面	能力要素	要素描述	评价指标	评价方法	数据范围	平均水平
认知能力	知识掌握	掌握专业基础与核心知识	机械制图、机械设计、工程材料、机械加工工艺、PLC 控制技术等知识点掌握度评分	考试与测验	0-100	80
	知识应用	应用知识解决实际问题	对现有案例进行分析能力评分	项目案例分析	0-100	75
技能能力	设计技能	机械结构、机械零件及控制系统设计	设计项目质量和创新性评分	设计作品评审	0-100	85
	操作技能	机械加工设备操作、设备装调操作	实操准确度及熟练度评分	实操测试	0-100	90
创新能力	创新思维	新思路和新方法	设计项目中创新思维能力测验分	思维能力测试	0-100	78
	问题解决	分析问题并提出解决方案	能发现问题、提出问题，并提出解决方案评分	情景模拟测试	0-100	82
情感态度	团队合作	和他人协作完成任务	能与他人协作完成任务，勇于承担项目中的困难环节，乐于与人分享学习成果	团队互评及导师评价	0-100	88
	责任感	对工作质量和安全的责任感	严格按照质量要求完成任务，并在实施中保证安全	适时反馈	0-100	92
个性特质	自我管理	自我学习与时间管理	能合理分配时间，按时完成工作任务	自评和同伴评价	0-100	80
	领导能力	组织和引导团队	在项目的实施中能统一团队意见，能充分调动和发挥他人的工作积极性	团队角色和案例分析	0-100	86
专业精神	职业操守	遵守工程伦理和职业道德	职业道德认知测试分	书面考试	0-100	90
	学习意愿	持续学习和自我成长	能完成要求的线上学习内容，并根据项目需要进行课外知识学习及应用	问卷调查	0-100	85
社会能力	沟通交流	表达、沟通技巧	能用专业术语及图表准确表达设计思想，并通过项目研讨听取他人意见	项目路演及研讨	0-100	82
	国际视野	理解国际工程实践	能阅读相关外文资料，并根据项目要求对国内外相关技术进行比较	项目综述考核	0-100	77

采取定性定量相结合的分析方法，确保评价指标选取全面且客观。定性分析依据专家的经验判断来确定可能的评价指标，而定量分析则通过数据支撑，如专业课程成绩、创意设计项目表现等实证数据来考核指标的有效性。两者结合，构建起初步的评价指标框架。然后，团队进行评价指标体系的可行性分析，运用诸如敏感性分析和层次分析方法识别和剔除低效率的评价指标。

利用公式 $W_i = \frac{\sum_{j=1}^n 1^{ij}}{n}$ 计算每个评价指标的权重，以确保评价体系的合理性与平衡性。本研究提供了评价指标体系构建流程图（图 3-1），直观展示了从确立评价目标到形成最终评价体系的完整流程；同时表 3-2 综合反映机制专业学生不同能力等级上表现的评价指标体系表格，表格详尽罗列了从初学者到熟练工程师所体现的能力指标与达成度，形成评价体系的重要补充资料。此表格不仅辅助理解评价体系的多维度结构，同时也作为实践操作时的直接指南和评价工具。

（三）评价方法实证分析

在实证分析环节，深入探讨“评价方法实证分析算法”的运用。利用 Python 语言编写算法程序，对学生的工程能力进行量化评价。算法请求输入学生的多维数据、相应的评价指标集合，及经过精确设计的评价体系公式。在此基础上，依据每个学生提供的具体数据和预定指标，精准计算出个体评分，并综合应用评价体系公式，确立学生的工程能力总评分；根据总评分对参评

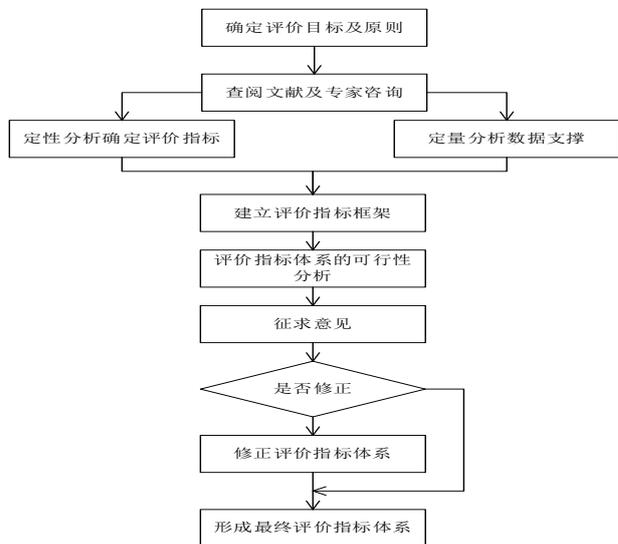


图 3-1 评价指标体系构建流程图

学生进行排名，从而得出最终结果。输出内容为一个包含学生终极评价结果与个人排名的结构化字段，方便后续的解读与分析。评价方法实证分析算法的应用，不仅体现了对学生工程能力的综合性衡量，更彰显了评价体系的科学性与操作性。此次实证分析，我们处理了大量学生数据，运用了定量分析与定性判断相结合的方法，确保了研究结果的高度准确与可信。

表 3-1 工程能力评价等级体系表

能力等级	工具及设备	图纸	加工	模仿设计	创新设计	产品升级
一级	能转述并使用传统加工工具及设备	能读懂机械零件及装配图	能根据零件图加工简单机械零件	能自行设计简单机械零部件	在教师指导下进行设计	在教师指导下进行创意表达及设计
二级	能转述并使用数控加工工具及设备	能根据装配图拆绘零件图	能根据装配图完成机械设备装配	能设计具有功能要求的机械设备	参考案例进行设计	集体交流再设计
三级	能介绍并使用激光、增材等现代加工工具及设备	能通过实物测绘完成装配图	能根据机械装配图及电气图完成机电设备安装	能设计机电一体化机械设备	小组分工进行自主设计	小组交流再创意设计

结 论：

通过构建工程能力图谱，提出了一种评估机制专业学生工程能力的新方法，深入分析了机制专业学生应具备的关键工程能力要素，构建了三级指标组成工程能力评价指标体系；为验证所构建评价指标体系的有效性和可操作性，采用层次分析法确定了各指标的权重，并运用模糊综合评价方法对学生工程能力进行了实证分析。基于相关研究结果，提出了提升机制专业学生工程能力的若干建议，包括加强实践教学环节、鼓励学生参与科研项目、开设工程管理与非标自动化产品开发相关课程等。总之，本研究所构建的工程能力图谱与评价方法为机械设计制造及其自动化专业学生工程能力的培养与评估提供了新的思路和工具，对于提高工程教育质量，培养高素质工程技术人才具有重要意义。

参考文献：

- [1] 韩晨静, 王天时, 高凯焯等. 基于 Neo4j 图数据库的质量工程技术知识图谱的构建及实现 [J]. 质量与可靠性. 2021, (02)
- [2] Zhang Y, Gong L. Research on the training mode of innovation and practice ability of students majoring in mechanical design, manufacturing and automation [J]. IEEE, 2021. DOI:10.1109/ICEKIM52309.2021.00017.
- [3] 林杨 余半坡. 基于 Fuzzy 和 AHP 的高校教育教学质量评价方法研究. 行知部落. 2018. <https://www.xzbu.com>
- [4] 董文彬, 张雅晶, 姚智华, 等. 工程教育专业认证背景下专业基础课的课程建设思考——以机械设计制造及其自动化专业为例 [J]. 创新创业理论与实践, 2023

基金项目：2022 贵州省教育厅本科教学内容和课程体系改革项目：新工科背景下工程训练形成性多元评价体系的研究 (2022238)

作者简介：李疆（1969—），男，汉，贵州人，硕士，教授，研究方向：工厂自动化，智能制造