

新工科背景下城市地下空间工程教学评价改革与实践

李 涛, 武海鹏, 单仁亮, 殷 飞

中国矿业大学(北京)力学与土木工程学院, 北京

收稿日期: 2025年5月15日; 录用日期: 2025年6月16日; 发布日期: 2025年6月23日

摘 要

随着城市地下空间工程建设发展, 传统教育评价体系与国家战略提出的培养创新型、复合型、应用型人才的要求不匹配, 学生暴露出工程实践能力不足、创新能力缺乏的问题。在这种形势下, 对新工科背景下的人才培养战略进程进行梳理, 面对专业课程融合一体化评价的新挑战, 考虑人才培养的新要求、大中城市地下空间建设发展的新需求, 提出了集工程理论知识、工程实践能力、工程素养能力为一体的三级评价指标体系, 并通过层次分析法和熵权法组合赋权确定了各指标的重要性, 降低传统层次分析法的主观性。新的评价体系获得了多个项目支持, 促进了课程教学及实践教学的发展, 有利于构建多学科交叉融合体系, 培养实践应用型人才, 为新工科背景下工程人才培养评价提供新思路。

关键词

新工科地下空间, 素质评价, 层次分析法, 组合赋权

Reform and Practice of Teaching Evaluation of Urban Underground Engineering in the Context of Emerging Engineering Education

Tao Li, Haipeng Wu, Renliang Shan, Fei Yin

School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing

Received: May 15th, 2025; accepted: Jun. 16th, 2025; published: Jun. 23rd, 2025

Abstract

With the development of urban underground space engineering, the traditional education evalua-

文章引用: 李涛, 武海鹏, 单仁亮, 殷飞. 新工科背景下城市地下空间工程教学评价改革与实践[J]. 教育进展, 2025, 15(6): 665-675. DOI: 10.12677/ae.2025.1561044

tion system fails to meet the requirements set by national strategies for cultivating innovative, interdisciplinary, and application-oriented talents. As a result, students are showing deficiencies in engineering practice and lack of innovation capabilities. In response to this situation, this paper reviews the talent cultivation strategy under the new engineering education paradigm, addressing the new challenges of integrated evaluation across professional courses. Considering the new demands of talent cultivation and the evolving needs of urban underground space development, a three-tier evaluation framework has been proposed, encompassing engineering theoretical knowledge, engineering practical skills, and engineering literacy. The importance of each indicator is determined through a combination of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Entropy Weight Method, reducing the subjectivity inherent in traditional AHP. The new evaluation system has received support from multiple projects, promoting the development of both curriculum and practical teaching. It is conducive to the establishment of an interdisciplinary integration system and the cultivation of application-oriented talents, offering new insights for evaluating engineering talent development under the new engineering education paradigm.

Keywords

Underground Space under Emerging Engineering Education, Quality Evaluation, The Analytic Hierarchy Process (AHP), Combination Weighting

Copyright © 2025 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

新工科建设注重实践与理论结合及学科交叉协同创新。我国为积极推动“新工科”人才培养，先后形成了“复旦共识”、“天大行动”、“北京指南”等多项文件[1][2]，助力高等教育强国建设。目前，如何结合学校自身学科特色，建立有效的人才培养模式和评价体系，落地以需为引、以质为核的培养理念仍是改革的重点。标准制定原则和思路，为各层次新工科教育质量标准的制定提供基础。孙峻[3]提出创新能力是新工科土木工程人才培养的核心目标，交叉融合的创新实践是提高新工科人才创新能力的根本途径。为实现新工科与人才培养的融合，学者们从不同角度创新了教育改革方法和措施。吴爱华等[4]主张推进“新工科”建设应对新一轮科技革命和产业变革，以“新工科”建设引领高等教育变革。赵彪等[5]等分析了教研相融和翻转课堂与新工科课程的结合方法，完成了教学改革成效分析。值得注意的是，培养要素的提出和发展为创新传统工科人才培养模式提供了新思路。张华等[6]基于学习表现开展了教学和评价实践，构建了基于课程标准的学习表现体系，提升了“标准-教学-评价”一致性，推进了科学教育的深度变革。房方等[7]分析了人才培养质量评价要素，设计了定量评价与定性评价相结合的人才培养质量评价指标体系，建立了持续改进机制。教育评价作为教育实践的重要组成，是对教育的重要反馈和调节依据。各大高校在革新评价模式上取得了明显成效，但如何将教育评价用于优化学科专业建设仍需思考与探索。

城市地下空间工程发展对人才素质提出更高要求。传统以理论和课堂为主的培养模式，难以满足国家战略和社会发展对创新复合型人才的需求。为此，本文以该专业教学改革为研究对象，通过文献调研、问卷调查和专家咨询确定人才培养指标，构建基于层次分析法与熵权法的人才素养评价体系，运用组合赋权得到三级指标中各能力培养重要性差异，根据重点核心素质有指导性地开展新工科背景下城市地下工程课程改革和实践创新，为新工科专业实践教学改革和人才培养质量提升提供参考。

2. 新工科背景下城市地下空间工程专业人才培养成效评价

2.1. 专业人才培养质量提升面临新问题

2.1.1. 新工科背景下人才培养的新要求

当前评价体系多以试卷笔试评估教学效果，该体系对实践性强的城市空间工程专业，难以体现学生工程素质。因此，亟需转向发展性过程评价，注重学生综合素质评估，并构建长效反馈调节机制以促进其全面发展。

2.1.2. 专业课程融合的一体化评价的新挑战

当前教学多采用单门课程独立评价，割裂专业知识体系联系，且课程教学无法体现学生对人文、社会及行业的全面认知。因此，需以城市地下工程为核心开展综合评价，横向融合基础与专业课程，纵向贯通理论教学与课程实践，打破不同专业课程界限，引导学生向基础理论与工程应用相结合的方向发展。

2.1.3. 大中城市地下空间建设发展的新需求

深层化开发利用地下空间、建设紧缩性城市是研究的重难点，以地铁建设为例，截至 2023 年底，全国地铁运营线路 8543.11 公里，占轨道交通运营线路总长度的 76.11%。面对城市地下空间工程需求的转型升级，地下空间人才需具备坚实的自然科学和人文社科基础，以及从事工程建设的管理能力。

2.2. 以工程素质评价为核心的人才培养体系革新思路

为应对新工科背景下城市地下空间专业的新需求，提出以素质评价为核心的人才评价体系。在明确核心素养的基础上，利用层次分析法将影响人才素质进一步进行划分为能力素养，即要素层，构建层次型评价体系。通过组合赋权确定各指标的权重，计算的结果明确了各要素对于城市地下空间工程人才工程素质评价体系的影响程度。根据二级指标指导课程融合以及沙盘实践的展开，对于重要的能力要素在课程改革的实验设计时重点突出；三级指标作为人才评价标准，以对接新工科内涵要求、适应学生多元个性化发展、满足行业对复合型人才的需求。工程素质评价体系革新思路如图 1 所示。

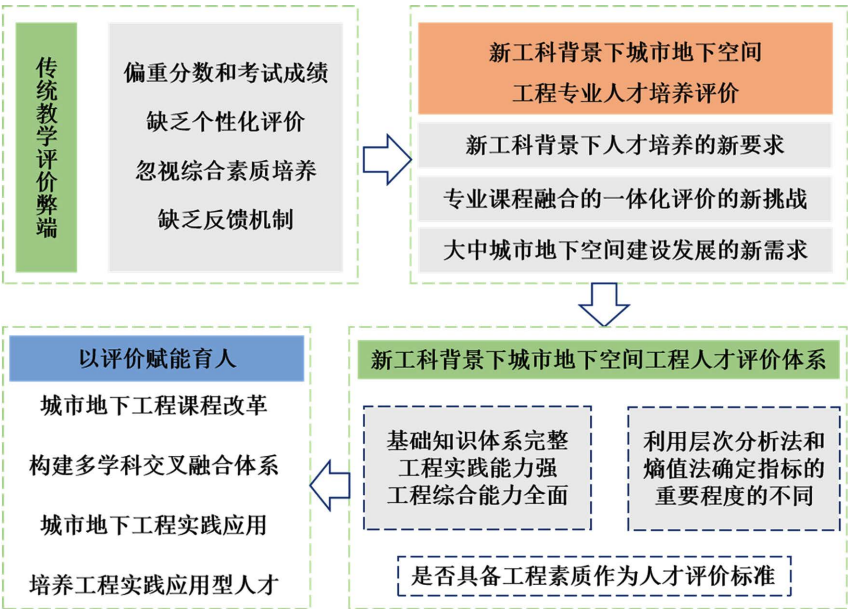


Figure 1. Ideas for reforming the engineering competency evaluation system
图 1. 工程素质评价体系革新思路

3. 新工科理念下城市地下空间工程人才素质评价体系的构建

3.1. 指标层次逻辑

工程人才不仅要掌握科学知识,更要具备理论实践转化能力,以及统筹人与社会、工程与环境的系统能力,因此以工程素养构建评价模型十分合理。

3.2. 指标确定

为保证评价体系的科学性和合理性,将“新工科”建设行动路线、CDIO 工程教育理念、《全国工程教育专业认证标准》以及城市地下空间工程专业培养方案作为人才培养的基础,得到普适性的评价指标,培养目标的能力要求设置三级指标点,初步筛选的指标基本覆盖毕业生应具备的素养能力。

本文采用文献调研、问卷调查、专家咨询多维度筛选城市地下空间工程专业能力素养。文献调研聚焦 2018 年以来教学改革与素质评价相关成果,问卷调查广泛收集用人单位、毕业生、本硕学生建议,对地下空间工程人才能力素养进行初步汇总与分级。专家咨询邀请 34 位土木教指委专家、学院负责人及学科权威参与。经首轮筛选,专家对新工科背景下人才评价指标意见高度一致,最终确立由 3 个一级指标、9 个二级指标、27 个三级指标构成的评价体系,层级之间的关系见图 2、图 3 所示。

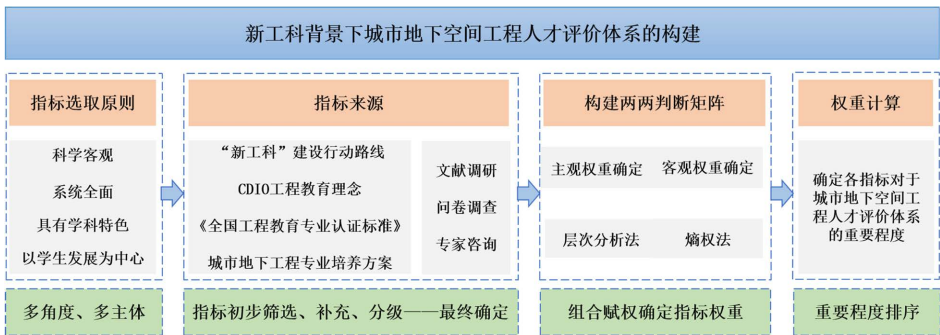


Figure 2. Diagram of establishing the talent evaluation system

图 2. 人才评价体系建立流程图

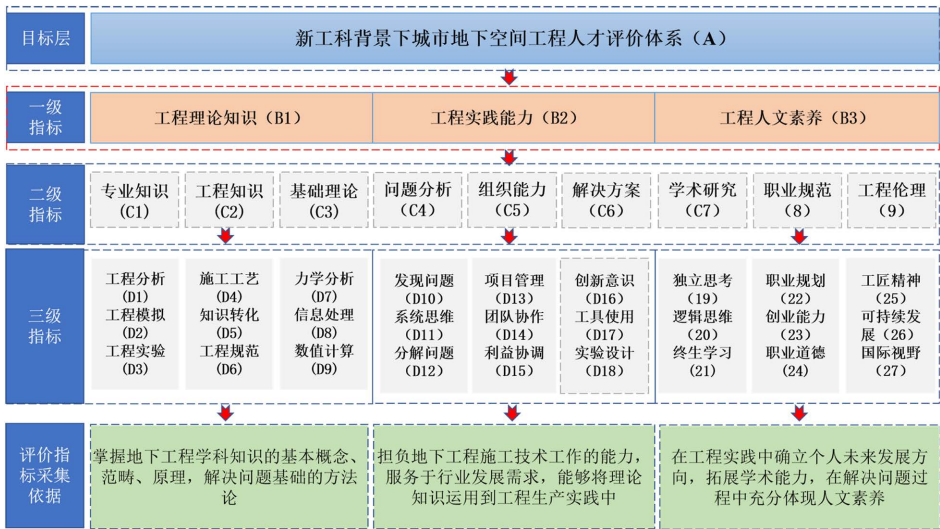


Figure 3. Talent evaluation system for urban underground space engineering under the background of emerging engineering education

图 3. 新工科背景下城市地下空间工程人才评价体系

3.3. 建立评价矩阵

利用 Delphi 法确定不同两个元素相对上一层元素的重要性比，按照 1~9 标度方法(表 1)确定 i 、 j 元素的相对重要性比值为 a_{ij} ，构建两两比较的判断矩阵 $A=(a_{ij})_{m \times n}$ ，其中 a_{ij} 为因素 i 相对于因素 j 的重要程度； n 为指标个数。针对上一层要素，其下一层的元素在进行两两比较时，采取 8 位专家组成的专家组多次共同判断，选取两两重要性比较(表 2~4)，采用了率最高的一项作为比例标度。

Table 1. 1~9 scaling method
表 1. 1~9 标度法

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样的重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2, 4	上述两相邻判断的中值
6, 8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素交换次序比较的重要性

Table 2. Judgment matrix of first-level indicators
表 2. 一级指标判断矩阵

A	B1	B2	B3
B1	1	1/2	6
B2	2	1	9
B3	1/6	1/9	1

Table 3. Judgment matrix of second-level indicators
表 3. 二级指标判断矩阵

B1	C1	C2	C3	B2	C4	C5	C6	B3	C7	C8	C9
C1	1	1	2	C4	1	2	2	C7	1	5	6
C2	1	1	2	C5	1/2	1	1	C8	1/5	1	3
C3	1/2	1/2	1	C6	1/2	1	1	C9	1/6	1/3	1

Table 4. Judgment matrix of third-level indicators
表 4. 三级指标判断矩阵

C1	D1	D2	D3	C2	D4	D5	D6	C3	D7	D8	D9
D1	1	2	3	D4	1	2	2	D7	1	2	3
D2	1/2	1	3	D5	1/2	1	2	D8	1/2	1	2
D3	1/3	1/3	1	D6	1/2	1/2	2	D9	1/3	1/2	1
C4	D10	D11	D12	C5	D13	D14	D15	C6	D16	D17	D18
D10	1	2	2	D13	1	2	4	D16	1	4	4
D11	1/2	1	2	D14	1/2	1	3	D17	1/4	1	1
D12	1/2	1/2	1	D15	1/4	1/3	1	D18	1/4	1	1

续表

C7	D19	D20	D21	C8	D22	D23	D24	C9	D25	D26	D27
D19	1	6	6	D22	1	5	7	D25	1	4	8
D20	1/6	1	1	D23	1/5	1	3	D26	1/4	1	3
D21	1/6	1	1	D24	1/7	1/3	1	D27	1/8	1/3	1

3.4. 组合赋权

目前确定指标权重的方法主要有主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法采用层次分析法(AHP), 并采用熵权法进行客观赋权弥补因 AHP 主观判断造成的误差。组合赋权将新工科背景下城市地下空间工程人才评价指标主客观权重的差异程度和重要程度相匹配, 计算组合权重值, 确保权重值贴合实际情况的同时减少人为因素的影响, 提高评价结果的合理性和客观性[8]。

3.4.1. 主观赋权法——层次分析法

主要计算步骤如下:

(1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积, 并求解其 $1/n$ 值:

$$x_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_{ij}} \quad (1)$$

(2) 对所有 x_i 进行归一化处理, 即获得了每个指标的权重:

$$w_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (2)$$

(3) 求最大特征根, 计算 CI、CR, 检查判断矩阵的一致性:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (3)$$

3.4.2. 客观赋权法——熵权法

(1) 每个指标的量纲和单位是不同的, 需先进行标准化再进行权重计算:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (4)$$

(2) 为消除负值进行平移处理。

$$x'_{ij} = H + x'_{ij} \quad (5)$$

(3) 利用比重法对数据进行无量纲化

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (6)$$

(4) 计算第 j 个指标的熵值:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij} \quad (7)$$

(5) 第 j 个指标的差异系数为:

$$g_j = 1 - e_j \quad (8)$$

其中, $j=1, 2, \dots, p$

(6) 第 j 个指标的权重为:

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^p g_j}$$

(9)

其中, $j=1,2,\cdots,p$

3.4.3. 组合赋权

$$\lambda_j = \frac{w_j v_j}{\sum_{j=1}^n w_j v_j}$$

(10)

其中 w_j 是层次分析法的权重, v_j 是熵权法的权重。

3.5. 权重体系的计算

Table 5. Combined weights and rankings of indicators
表 5. 指标组合权重及排序

指标层	权重	指标层	权重	指标层	层次分析法权重	熵权法权重	组合权重	排序
工程理论知识	0.3337	专业知识	0.4	工程分析	0.5247	0.2206	0.3687	12
				工程模拟	0.3338	0.4569	0.4859	7
				工程实验	0.1416	0.3224	0.1454	22
				施工工艺	0.4905	0.2290	0.3477	13
		工程知识	0.4	知识转化	0.3119	0.5109	0.4933	6
				工程规范	0.1976	0.2601	0.1591	20
				力学分析	0.539	0.2820	0.4704	9
				信息处理	0.2973	0.4009	0.3689	11
工程实践能力	0.6049	基础理论	0.2	数值计算	0.1638	0.3170	0.1607	19
				发现问题	0.4905	0.2290	0.3477	14
		问题分析	0.5	系统思维	0.3119	0.5109	0.4933	5
				分解问题	0.1976	0.2601	0.1591	21
				项目管理	0.5571	0.2723	0.4751	8
		组织能力	0.25	团队协作	0.3202	0.3967	0.3978	10
				利益协调	0.1226	0.3310	0.1271	23
				创新意识	0.6667	0.3333	0.6666	3
		解决方案	0.25	工具使用	0.1667	0.3333	0.1667	17
				实验设计	0.1667	0.3333	0.1667	18
工程系统能力	0.0614	学术研究	0.7071	独立思考	0.75	0.3333	0.7500	1
				逻辑思维	0.125	0.3333	0.1250	24
				终生学习	0.125	0.3333	0.1250	25
				职业规划	0.7235	0.2820	0.6652	4
		职业规范	0.2014	创业能力	0.1932	0.3901	0.2457	15
				人文素养	0.0833	0.3279	0.0890	26
				工匠精神	0.7146	0.2965	0.6740	2
				可持续发展	0.2064	0.3685	0.2419	16
		工程伦理	0.0915	国际视野	0.0789	0.3350	0.0841	27

邀请所选择的 34 名专家,对工程理论知识、工程实践能力、工程系统能力三个维度参照表 1 进行打分。按照得到的结果,利用层次分析法获得影响层和因子层各项指标的主观权重,熵权法得到影响层和因子层的客观权重,代入公式(10)得到每个指标的组合权重[9],结果见表 5。

结果中对于工具使用、实验设计、数值计算等具有固定流程的能力指标,在未来工作和学习中较容易获得,影响程度落于独立思考、工匠精神、创新意识等高素质人才需具备的能力指标之后,符合目前的培养方向和行业需求。同时为匹配城市地下空间工程的国际化发展与个人全面发展,创新性加入思维逻辑、终生学习、人文素养、国际视野,可根据行业发展调节其比重。

4. 案例应用

本文以工程素质模型为指导,分环节强化专业能力培养:在课程教学中,依据二级指标优化重组课程体系,着重培养学生独立思考、创新意识与系统思维等核心素养;实践教学环节引入 ERP 沙盘创新模式,通过模拟工程场景,重点提升项目管理、力学分析及团队协作等实践能力,确保学生满足毕业要求,成长为卓越工程人才打下坚实的基础。

4.1. 城市地下空间课程教学——构建多学科交叉融合体系

4.1.1. 理论课程教学——以评促教

以素质评价为课程改革导向,反向构建工程知识体系与课程目标,完善本科培养及评价体系。教学中,以公共必修课与通识课程培育的科学素养为根基,搭建专业基础、工程基础及专业核心课程的理论框架。课程内容采用“一主多辅”模式,以专业课为核心,融合关联知识,提升专业课程比重,构建多元动态知识结构,契合行业对复合型人才需求。基于中国矿业大学(北京)办学特色及城市地下空间工程专业发展要求,兼顾用人单位需求,设置专业课程,帮助学生夯实基础理论,拓展专业技能。

4.1.2. 专业课程实验——以评促建

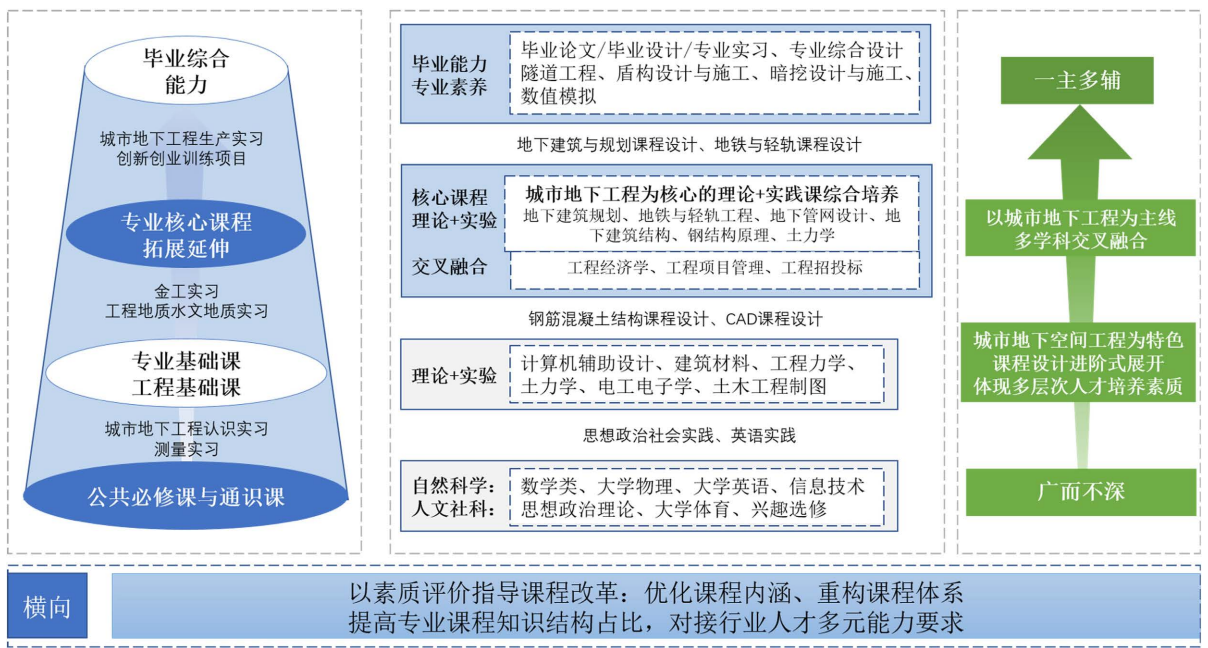


Figure 4. Ability-oriented hierarchical knowledge system
图 4. 能力为导向的层次型知识体系

课程实验通过将理论知识转化为实践操作，重点培养学生工具使用、实验设计、数值计算的能力。本专业依托学校城市地下空间工程专业实验创新平台，对城市地下空间工程专业部分涉及的专业问题，进行模拟实验并给出解决方案。为保证课程实验的高质量开展，在每学年第二学期阶段末实行“实践教学周”制，利用课程实践贯穿联动不同学期的素质能力，做到培养核心竞争力的同时实现学生的全面发展。图4展现了以能力为导向的层次型知识体系。

4.1.3. 评价体系的执行保障

为保障课程教学的质量,强化“厚基础,强实践,重研究”培养特色,构建“本科生全程导师制”人才培养模式,为评价体系的执行确定了主体。学院给每位本科生配备指导教师,为团队中学生提供以城市地下空间专业发展、科学研究与实践为主要内容的个性化指导,充分发挥教师的主导作用和学生主体作用。在课堂教学习得不同工程素质的过程中,深度融合信息技术与教育教学,改革传统课堂教学方式,将传统教学和数字化教学的优势结合,倡导以学习者为中心,主动探索式的学习。并对学习成果以工程素质的习得程度的角度进行评判,真正做到破除“唯分数论”。

4.2. 城市地下空间实践教学——培养实践应用型人才

本文提出城市地下工程各类施工工法与 ERP 沙盘情景结合的教学方法。如图 5 所示, ERP 沙盘实践教学首先由校内指导老师完成《城市地下工程》课程理论部分讲授, 然后在城市地下空间工程沙盘实践教学创新平台上对施工工艺进行模拟, 工法模拟采用小组形式开展, 模拟过程中采用“双导师制”进行指导, 校内导师对工程理论知识部分进行指导, 企业指导老师对工程实践能力和工程人文素养进行指导。最后学生结合实践成果向每部分指导老师进行汇报, 指导老师按照三级指标中的各能力素养对学生进行综合评价(如图 6 所示)。

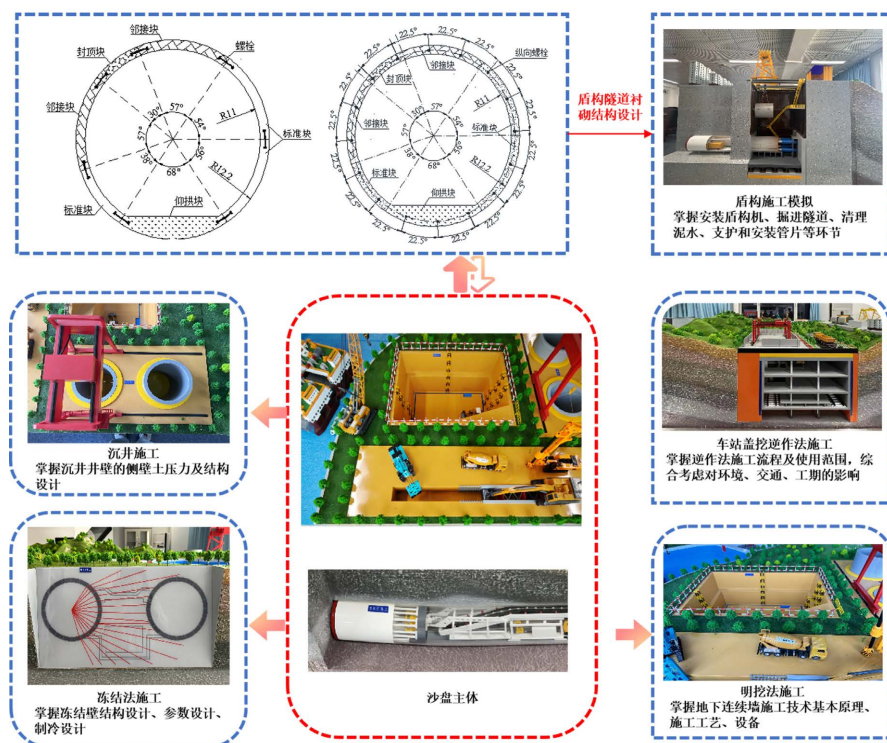


Figure 5. Innovative platform for sand table practical teaching of urban underground engineering
图 5. 城市地下工程沙盘实践教学创新平台

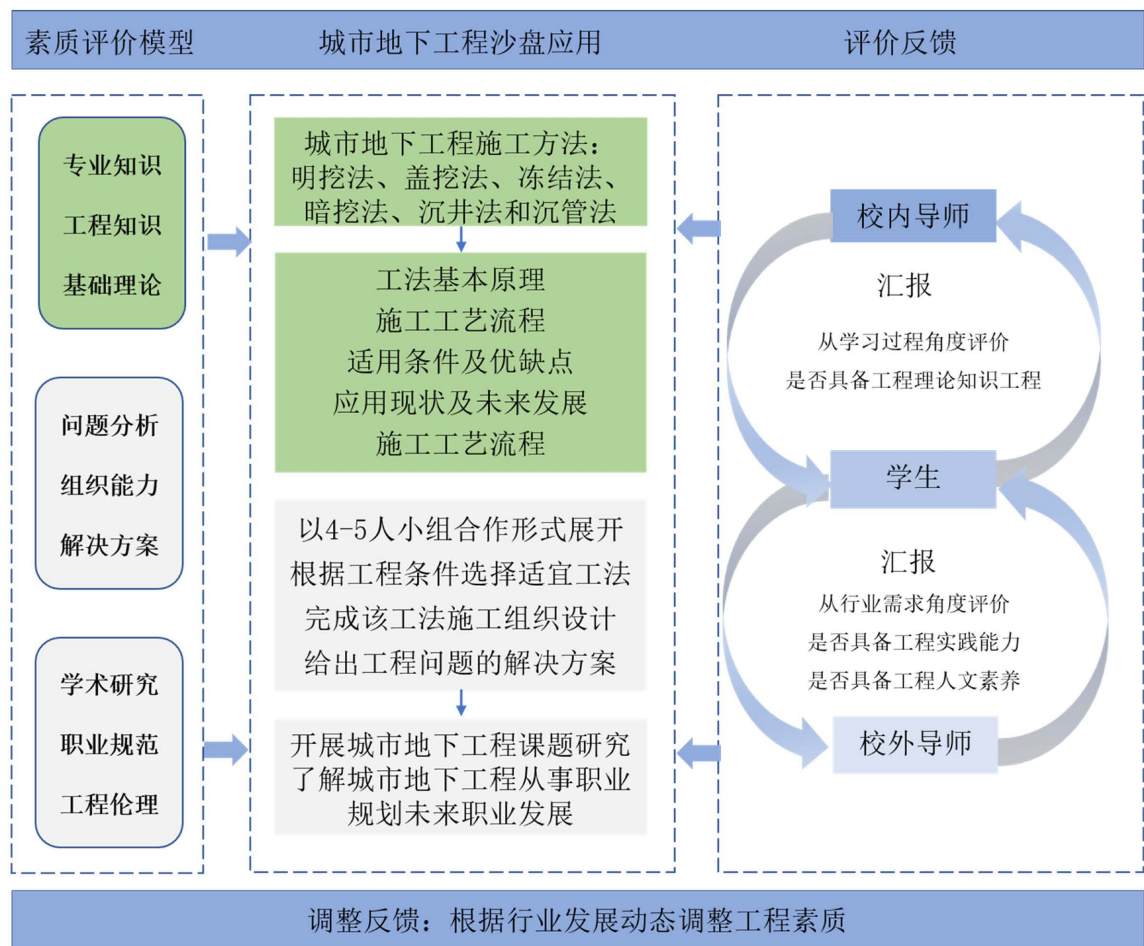


Figure 6. Sand table practical teaching guided by quality evaluation: Taking the shield method as an example
图 6. 以素质评价为指导的沙盘实践教学——以盾构法为例

4.3. 城市地下空间工程人才素养评价体系的应用成果

本专业自实施教育评价改革以来，先后获得了“坚持立德树人，构建城市地下空间工程一流人才培养体系”、“从矿山建设到城市地下空间工程的专业升级改造与卓越人才培养路径探索与实践”、“面向学生能力培养的课程多元化考核研究与应用”、“城市地下空间工程专业综合设计平台建设”等多个项目支持。学生在“大学生创新创业”、“学科竞赛”、“挑战杯”、“互联网+”等大赛中屡创佳绩，城市地下工程教学团队 2022 年荣获北京市优秀本科育人团队。取得的各项成就反映了城市地下空间工程人才素养评价体系的價值，为后续教学改革开展提供了借鉴。

5. 结束语

传统的城市地下空间工程人才评价体系存在弊端，依据城市地下空间工程建设发展的新需求，提出了新工科理念下的指标评价体系，并采用主客观相结合的组合赋权法求得各评价指标的重要性。新的指标体系不仅促进了城市地下空间课程教学的发展，实现了以评促教、以评促建，而且完善了实践教学过程，将城市地下工程各类施工工法与 ERP 沙盘情景教学结合，培养了学生的实践能力、创新能力以及自主学习能力。实际应用成果显示新的教学评价体系符合城市地下空间工程专业应用型人才的需求，有助于提高我国工程教育专业认证下的人才质量及完善具备地下工程特色的人才培养模式。

基金项目

2024 年北京高等教育本科教学改革创新项目(2024141); 智能建造专业多学科交叉融合人才培养与实践教学建设(J24ZD09); 城市地下空间工程专业思政教学团队建设(ZYSZ2408); 教育部产学研合作协同育人项目(240703132183637)。

参考文献

- [1] 周珂, 赵志毅, 李虹. “学科交叉、产教融合”工程能力培养模式探索[J]. 高等工程教育研究, 2019(3): 33-39.
- [2] 邢欣欣. 高校科技人才评价改革的困境与应对策略——基于评价指标重构的视角[J]. 中国高校科技, 2021(8): 36-39.
- [3] 孙峻. “新工科”土木工程人才创新能力培养[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(2): 5-9.
- [4] 吴爱华, 杨秋波, 郝杰. 以“新工科”建设引领高等教育创新变革[J]. 高等工程教育研究, 2019(1): 1-7, 61.
- [5] 赵彪, 余占清, 朱桂萍, 等. 基于教研相融和翻转课堂的新工科教学改革实践——以“能源互联网中能量转换与互联设备”课程为例[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(9): 3490-3501.
- [6] 张华, 杨杰, 姚建欣. 以学习表现统领核心素养的教学与评价——国际科学课程“标准-教学-评价”一致性提升策略的启示[J]. 中国教育学刊, 2023(9): 75-80.
- [7] 房方, 吕游, 师瑞峰. 基于多维度培养质量评价的电力特色自动化类专业工程人才培养改革实践[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(23): 9352-9362.
- [8] 李洁, 刘邱琪, 张欣宇, 等. 基于组合赋权-云模型的高速公路网交通韧性评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2023, 50(11): 224-234.
- [9] 张明旺, 侍克斌, 朱跃亮. 基于云模型和组合赋权的水库泥沙淤积影响多级模糊综合评价[J]. 武汉大学学报(工学版), 2023, 56(2): 170-178.