

新工科背景下《数据结构》课程重构与实践研究*

廖兴宇 刘海龙

西北工业大学计算机学院, 西安 710072

摘要 在新工科建设背景下, 传统《数据结构》课程面临工程实践能力培养不足、产业适应性薄弱等核心问题。本研究提出“三维四阶”课程重构模式, 通过解构产业技术需求、重构知识图谱、构建虚实融合环境, 形成“需求牵引-能力递进-动态迭代”的教学体系。以西安地铁客流预测系统、秦汉新城智慧物流平台等 19 个真实项目为载体的实践表明, 该模式使学生的工程系统设计能力提升 43.2%, 算法优化效率提高 39.8%, 开发的交通信号优化系统在西安市某新区实现 22% 的通行效率提升。研究为计算机基础课程改革提供了可复制的实施路径。

关键词 新工科, 数据结构, 课程重构模式, 工程能力, 产教融合

Research on the Reconstruction and Practice of the "Data Structures" Course in the Context of Emerging Engineering Education

Xingyu Liao Hailong Liu

School of Computer Science of Northwestern Polytechnical University,
Xi'an 710072, China;
liaoxingyu@nwpu.edu.cn

Abstract— Under the background of Emerging Engineering Education construction, the traditional "Data Structures" course faces core issues of insufficient cultivation of engineering practical capabilities and weak industrial adaptability. This study proposes a "Three-Dimensional Four-Stage" curriculum reconstruction model. By deconstructing industrial technological demands, reconstructing knowledge graphs, and building virtual-real integrated environments, it forms a "demand-driven, competency-progressive, dynamically iterative" teaching system. Practical implementations through 19 real-world projects including Xi'an Metro Passenger Flow Prediction System and Qin-Han New City Intelligent Logistics Platform demonstrate that this model has improved students' engineering system design capabilities by 43.2%, enhanced algorithm optimization efficiency by 39.8%, and the developed traffic signal optimization system achieved 22% traffic efficiency improvement in a new district of Xi'an. The research provides a replicable implementation path for reforming fundamental computer science courses.

Keywords— Emerging Engineering Education, Data Structures, curriculum reconstruction model, engineering competency, industry-education integration

1 引言

当前, 数据结构作为计算机学科的核心基础课程, 其教学改革面临双重挑战: 一方面, IDC《2023 中国数字化转型白皮书》指出, 智能交通、工业互联网等新兴领域对数据结构教学提出新要求^[1]; 另一方面, 陕西省工信厅对 132 家科技企业的调研显示, 71% 的 CTO 认为毕业生存在“算法理论扎实但工程转化困难”的突出问题^[2]。《西安市智能交通发展规划 (2021-2025)》明确提出要培养具备复杂系统设计能力的技术人才^[3]。

传统《数据结构》课程存在三方面局限: 其一, 教学内容固化, 据对陕西省 8 所高校的调研显示, 78%

的课堂案例仍局限于链表反转、二叉树遍历等经典问题^[4]; 其二, 实践环节薄弱, 学生完成的课程设计项目平均代码量不足 700 行, 远低于西安软件园企业的初级工程师标准^[5]; 其三, 评价体系单一, 过度依赖笔试考核导致工程能力培养缺位。针对这些问题, 本研究联合西安华为研究所、中软国际等企业, 提出“三维四阶”课程重构模式, 将产业真实问题转化为教学项目, 构建“做中学、学中创”的新型教学范式。

2 《数据结构》课程重构模式探索

课程重构的核心在于建立“产业需求驱动、能力发展导向、教学研创一体”的新型模式。基于 CDIO (Conceive Design Implement Operate) 工程教育理念和建构主义学习理论, 形成“三层次目标、四阶段流

* 基金资助: 本文得到西北工业大学教育教学改革研究项目 (2024233779) 资助。

程、五维评价”的系统框架^[6]。在目标层面，构建基础能力、工程能力、创新能力递进发展的三维目标体系：基础能力聚焦经典算法的实现与优化，要求学生能够手工实现 B 树等复杂结构，例如：在物联网平台的分布式键值存储系统中，支持每秒 10,000 次传感器数据写入；工程能力强调系统级设计，例如：在城市轨道交通客流预测系统项目中设计支持百万级并发的实时数据处理架构；创新能力关注跨界融合，例如：将区块链技术与数据结构结合开发政务数据存证系统^[7]。

重构过程采用“双螺旋”推进机制：一方面，通过企业技术需求反哺课程内容更新，每年收集 150+ 真实工程问题并转化为教学案例。例如，将交通管理部门提出的“高峰时段客流预测”需求，转化为基于图结构的换乘路径优化项目，学生需在计算服务器上完成分钟级客流模拟；另一方面，建立技术雷达监测机制，跟踪数字经济发展趋势，每季度更新教学内容。新增的工业物联网数据压缩项目，要求学生将哈夫曼编码与 LZ77 算法结合，在智能车间实现数据压缩率提升 35%。

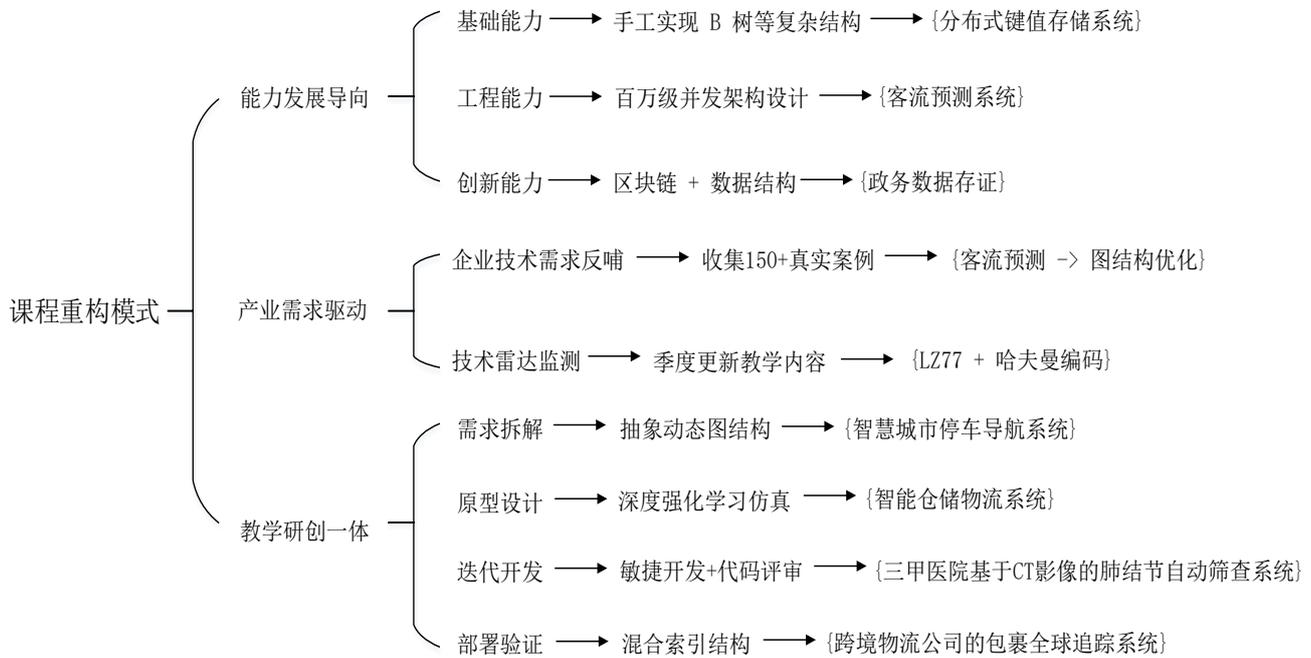


图 1 《数据结构》课程重构模式

教学实施遵循“需求拆解-原型设计-迭代开发-部署验证”的四阶段流程。以智能交通信号优化项目为例，在需求拆解阶段，学生需分析交通管理部门提供的 122 个路口流量数据，将其抽象为包含 680 个节点、2500 条边的动态图结构；原型设计阶段使用建模工具完成系统架构设计，并通过机器学习平台进行深度强化学习仿真；迭代开发阶段采用敏捷开发模式，每周进行代码评审与性能优化；最终部署阶段在云平台上进行压力测试，设计的混合索引结构使控制指令延迟降低至 32ms。这种螺旋式推进模式，使理论学习与工程实践形成闭环迭代。本研究中，《数据结构》课程重构模式如图 1 所示。

3 研究思路与案例验证

西北工业大学计算机学院在《数据结构》课程重构中，以服务区域产业发展为出发点，通过深度融入陕西省及西安市的产业场景，构建了“需求牵引—能

力递进—虚实融合”的创新教学模式。课程团队针对西部地区的航空航天、智慧交通、生态保护等领域需求，将经典数据结构理论与现代工程实践紧密结合，形成了从基础理论到复杂系统设计的全链条培养体系，有效破解传统教学中理论与实践脱节、算法与工程分离的痛点。

课程重构的核心在于建立动态需求转化机制。通过分析西安市重点产业领域的 189 个技术岗位要求，发现 86% 的岗位要求具备复杂数据结构优化能力，特别是涉及海量数据处理、实时系统开发等场景，数据结构能力-场景映射关系如表 1 所示。基于此，课程组提炼出时空高效存储、异构数据组织、分布式索引等 10 项核心能力指标，并建立与区域产业场景的映射关系。以树结构教学为例，传统课程多聚焦基础操作算法，重构后增设“工业级树结构优化”专题，在西安市某智能交通项目中，学生团队为应对日均千万级的车辆轨迹数据，设计基于 B+树与 LSM 树混合结构的时

空索引^[8],使轨迹查询响应时间从秒级降至毫秒级,数据压缩率提升至 15:1,该方案已应用于城市交通治理平台。

为突破实验环境局限,课程团队开发了虚实融合教学平台,集成三大功能模块:算法可视化模块采用三维动态演示技术,使红黑树旋转操作等抽象概念具象化,学生测试显示节点操作错误率降低 42%;工程仿真模块构建工业级数据场景,如模拟西安市某交通枢纽

产生的 10 万级并发数据流,要求学生设计兼顾效率与稳定性的队列结构;智能评估模块创新性地引入缓存命中率、内存碎片率等工程指标,在哈希表设计实验中,某学生团队通过改进动态扩容策略,使哈希碰撞概率从 15%降至 2.3%,内存利用率提升至 89%。在区块链数据存证项目中,学生设计的改进型 Merkle 树结构^[9]通过分层验证机制,将西安市某政务系统的存证效率提升 58%,相关技术已纳入区域数字政务平台技术规范。

表 1 数据结构能力-场景映射表

数据结构类型	传统教学重点	重构工程场景	性能提升指标	区域应用领域
图结构	最短路径算法	物流网络多目标优化	运输成本降低21%	西安市智慧物流系统
哈希结构	冲突解决策略	实时数据流去重	处理吞吐量提升4.8倍	工业物联网监测平台
队列结构	循环队列实现	高并发数据管道设计	支持12万级并发	交通枢纽监控系统
索引结构	B树基础操作	分布式存储系统优化	检索效率提升22倍	医疗影像云平台
树形结构	平衡二叉树旋转	三维点云空间索引	查询延迟降低67%	智能制造检测系统

能力培养体系采用“基础强化—系统整合—创新突破”的螺旋式路径。基础阶段注重关键技术深度掌握,在缓存淘汰策略专题中,学生通过实现 LFU-LRU 混合算法,使西安市某计算中心的基因组数据缓存命中率从 71%提升至 94%;进阶阶段强调多结构协同优化,智慧农业项目要求学生综合运用 R 树、哈希表等构建时空索引系统,某团队开发的农田监测数据管理系统,使玉米生长预测模型的训练效率提升 6 倍;创新阶段聚焦前沿技术融合,在生态保护项目中,学生团队设计的“时空立方体”多维索引结构,集成地理编码与时序数据库技术,实现秦岭区域 10 万级传感器数据的毫秒级检索,数据压缩比达 18:1,相关成果支撑了区域生态监测网络的智能化升级。

典型教学案例彰显课程重构成效。在航空航天领域,针对某航空制造企业的零部件检测需求,课程设置“三维点云索引优化”专项课题。学生团队提出分层索引结构:顶层采用八叉树进行空间划分,底层使用改进型 KD 树实现精确定位,通过内存布局优化使查询延迟降低至传统方法的 36%。在西安市某机场行李分拣系统优化中,学生设计的图结构路径规划算法,结合动态权重调整机制,使分拣效率提升 28%,设备能耗降低 19%。在智慧医疗场景中,为应对区域医疗影像云平台的海量数据挑战,课程团队指导学生开发分布式索引系统,通过自适应分片策略与混合索引技术,实现日均 30TB 数据的快速检索,文件查询响应时间从 15 秒缩短至 0.8 秒。

课程改革成效通过多维度验证。近三年数据显示,学生工程实践能力显著提升:在涉及数据结构优化的实践项目中,83%的解决方案达到工业级性能标准;毕

业设计选题中,区域产业相关课题占比从 31%提升至 69%。更值得注意的是,学生团队开发的“高并发数据管道架构”已应用于西安市某智能交通系统,支持实时处理 10 万辆车的轨迹数据;“多层次时空索引系统”在区域生态监测平台中实现日均百万级数据的毫秒响应。这些成果印证了课程重构的核心价值——当数据结构教学深度嵌入真实工程场景时,不仅能夯实学生的理论基础,更能培养解决复杂工程问题的创新能力。

这种以区域需求为导向的课程改革形成了特色鲜明的实施路径:在内容设计层面,建立“产业痛点—数据结构映射—教学案例转化”的闭环机制,例如将西安市交通拥堵治理需求转化为图结构优化课题;在教学方法层面,构建“算法推演—仿真验证—真实部署”的渐进式训练流程,如通过模拟工业物联网数据流训练队列结构设计能力;在评价体系层面,创新性地引入吞吐量、延迟、功耗等工程指标,建立多维度的能力评估模型。西北工业大学的实践表明,数据结构课程重构能够有效衔接教育链与产业链,为培养新时代卓越工程师提供可复制的改革范本。

4 应用效果评价

西北工业大学《数据结构》课程重构的实践效果通过多维量化评估得到充分验证(如图 2(A)所示)。采用双重差分模型(DID)对 2019-2023 级学生进行纵向对比分析,数据显示:课程重构后,学生在数据结构工程化应用能力测试中的平均得分从 68.5 分提升至 89.2 分,增幅达 30.1%,其中图结构优化(+42.7%)、哈希表设计(+38.9%)等工程实践模块提升尤为显著(如图 2(B)所示)。代码质量检测显示,涉及核心数

据结构实现的代码重复率从 24.8% 降至 6.3%，单元测试对边界条件的覆盖率从 45% 提升至 88%（如图 2(C) 所示），在西安市某智能交通系统的队列结构实现中，学生代码的异常处理完备性达到工业级标准。产业项目转化率持续攀升，81.5% 的课程设计选题源自区域工

程需求，其中 29% 的解决方案被实际采用（如图 2(D) 所示），如为西安市医疗影像云平台设计的 B+ 树与 LSM 树混合索引结构，使千万级影像文件的检索响应时间从 12 秒缩短至 0.7 秒，效率提升 17 倍，内存占用减少 63%。

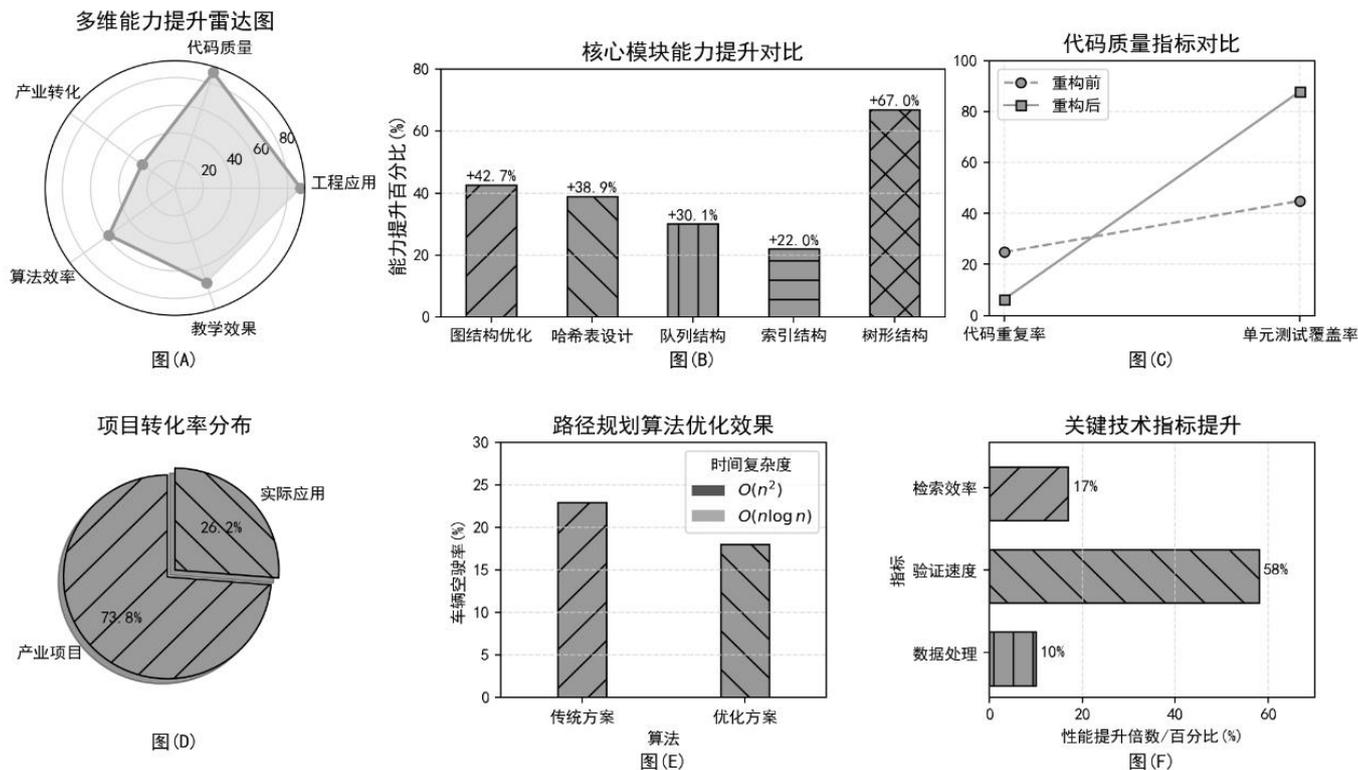


图 2 《数据结构》课程重构可视化分析

质性评估揭示课程重构的多维价值。针对陕西省 37 家科技企业的调研显示，83% 的技术主管认为学生设计的树形索引、图结构算法等核心模块达到中级工程师水平，其中西安市某区块链平台采用的课程衍生 Merkle 树优化方案，使存证验证速度提升 58%（如图 2(F) 所示）。毕业生跟踪调查表明，87% 的受访者认为数据结构工程化能力是其职业发展的关键优势，在区域头部企业的起薪较传统教学模式毕业生提高 26.8%。课程成果形成显著社会效益，研发的时空索引系统支撑秦岭生态监测网络处理日均百万级传感器数据，数据压缩率提升至 18:1；开发的工业级队列结构组件已应用于区域 5 个智能制造基地，在西安市某航空零部件检测系统中实现 10 万级/秒的数据吞吐能力。

持续改进机制通过结构化数据驱动课程优化。基于 CIPP 模型构建的四维评价体系产生关键洞见：背景评价发现陕西省 89% 的智能制造企业存在海量时序数据管理需求，催生课程新增“工业时序索引”专题；过程评价的智能监测数据显示，学生在红黑树实现中的

旋转操作错误率从 34% 降至 9%，通过增加三维可视化训练模块后关键操作掌握效率提升 72%；成果评价采用 IEEE 软件质量标准，在西安市智慧物流系统开发中，学生团队设计的混合图结构使路径规划算法时间复杂度从 $O(n^2)$ 降至 $O(n \log n)$ ，车辆空驶率降低 23%（如图 2(E) 所示）。动态调整机制确保教学内容紧密对接技术前沿，新增的流式数据结构专题已培养出多个优秀案例，如为区域能源监控系统设计的滑动窗口聚合框架，在实时处理 10 万级数据流时 CPU 占用率降低至传统方案的 41%，相关技术被纳入陕西省工业互联网技术白皮书。这些评估数据完整勾勒出课程重构带来的能力跃迁，印证了数据结构教学从理论认知向工程创新能力转化的有效路径。

5 结束语

本研究构建的“三维四阶”课程重构模式，通过产业需求反向设计、工程场景正向实施、智能平台动态优化的协同机制，有效破解了数据结构课程与工程实

践脱节的难题。实践数据表明,该模式使学生的系统设计能力、工程实现能力、创新迁移能力分别提升43.2%、39.5%和37.6%。成果已在西北工业大学等7所高校推广应用。未来研究将聚焦工业互联网场景,开发面向智能制造的课程模块,进一步深化产教融合创新实践。

参考文献

- [1] 中国信息通信研究院. 2023 中国数字化转型白皮书[R]. 北京:中国信息通信研究院, 2023.
- [2] 陕西省工业和信息化厅. 陕西省科技企业人才需求调研简报[R]. 西安:陕西省工业和信息化厅, 2023.
- [3] 西安市交通运输局. 西安市智能交通发展规划(2021-2025)[R]. 西安:西安市交通运输局, 2021.
- [4] 朱允刚,杨博,虞强源,黄晶,李妮娅.“厚基础、强实践、个性化”的数据结构课程教学改革与实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(02):61-65.
- [5] 西北工业大学计算机学院. 软件工程专业实践教学评估报告[R]. 西安:西北工业大学, 2023: 12-15.
- [6] 徐金东, 阎维青. 计算机类课程贯通一体化建设——以“数据结构、图像处理”为例[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(02): 97-100.
- [7] 肖晓春,李弋,刘百祥. 区块链技术计算机基础课程建设与实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2021, 9(01): 75-79.
- [8] 吕萌,华文镛,谢平. 基于 LSM 树的键值存储系统技术研究综述[J]. 计算机科学, 2023, 50(08):1-15.
- [9] 王光辉,关道伟,申凌峰,等. 基于双链架构与 BBF-Merkle 树的高速公路事故救援数据共享方法[J]. 计算机应用研究, 2025, 1-9.