

产教融合视域下基于项目式学习的卓越工程师培养探索——以结构设计竞赛为例

张菊辉, 龚卓, 周崇伟, 宋劭勋, 祝青鑫
上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093
DOI: 10.61369/ETR.2026150039

摘 要 : 随着我国基础设施建设向智能化、数字化方向迈进, 对具备创新能力和工程实践素养的卓越工程师需求日益迫切。本文以全国大学生结构设计竞赛上海分区赛题为载体, 探讨了如何将项目式学习与产教融合理念融入桥梁结构设计的教学实践中。基于有限元分析与实物制作相结合的技术路线, 完成了张弦梁 + 空间桁架组合结构的设计与优化。更重要的是, 深入分析了竞赛过程中“变参数”设计、虚实结合制作等环节对学生高阶思维能力、工程决策能力和数字化素养的综合培养作用。研究表明, 以复杂工程问题为驱动的竞赛教学模式, 能够有效弥合理论与实践的鸿沟, 为新工科背景下的教学改革提供有益参考。

关 键 词 : 产教融合; 项目式学习; 卓越工程师; 结构设计竞赛

Exploring the Cultivation of Excellent Engineers through Project-Based Learning in the Context of Industry-Education Integration — A Case Study of the Structural Design Competition

Zhang Juhui, Gong Zhuo, Zhou Chongwei, Song Shaoxun, Zhu Qingxin

School of Environment & Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093

Abstract : As China's infrastructure construction advances towards intelligent and digital directions, there is an increasingly urgent demand for excellent engineers equipped with innovative capabilities and engineering practice literacy. This paper, using the Shanghai divisional competition topic of the National Structural Design Competition for College Students as a vehicle, explores how to integrate project-based learning and the concept of industry-education integration into the teaching practice of bridge structural design. Based on a technical route combining finite element analysis and physical model fabrication, the design and optimization of a combined structure of a beam string structure and a spatial truss were completed. More importantly, this paper deeply analyzes the comprehensive cultivation effects of aspects such as "variable parameter" design, and the combination of virtual and physical fabrication during the competition process on students' higher-order thinking skills, engineering decision-making abilities, and digital literacy. The research indicates that a competition teaching model driven by complex engineering problems can effectively bridge the gap between theory and practice, providing a valuable reference for teaching reform under the context of Emerging Engineering Education.

Keywords : industry-education integration; project-based learning; excellent engineer; structural design competition

随着我国科技发展, 桥梁的设计和建造不断挑战极限, 有力推动了我国交通强国建设。据统计^[1], 我国建成的公路桥梁已超过107万座, 高铁桥梁总长达1万余千米, 跨越大江、大河及海洋的桥梁日益增多。与此相对应, 桥梁被撞事故也逐年增加^[2]。2007年九江大桥桥墩被撞事故导致200米桥面垮塌、数人死亡的重大安全事故, 引发了社会各界对大型船舶撞击桥梁事故严重性的广泛关注。这些现实工程问题向高等教育提出了深刻拷问: 传统的以知识传授为主的教学模式, 能否培养出应对如此复杂挑战的卓越工程师? 事实上, 传统的“教师讲授—学生听讲—期末考核”模式, 难以使学生真正理解荷载不确定性、结构冗余度、节点构造等工程核心问题。面对这一困境, 第六届上海市大学生结构设计竞赛进行了有益探索。该届赛题以《撞击荷载下变参数两跨四车道桥梁结构设计与制作》为题^[3], 在传统结构设计基础上, 引入“现场抽签确定车道”、“随机撞击角度”等变参数, 并增加现场设计环节, 强调对未来卓越工程师综合能力的全面要求。本文以此竞赛为案例, 探讨如何在教学实践中将工程技术与教育理论有机结合, 实现对学生综合能力的系统培养。

基金项目: 2022年上海高校市级重点课程《桥梁工程》建设项目(1022307401), 教育部产学合作协同育人项目(230801324094724)。

第一作者: 张菊辉, 博士, 教授, 研究方向: 桥梁抗震和混凝土耐久性。

一、产教融合理念下的竞赛模式创新

（一）基于真实工程问题的赛题设计

根据建构主义学习理论^[4]，知识的有效建构发生在真实情境中。本次竞赛的赛题设计充分体现了这一理念。如图1所示，加载装置模拟了真实桥梁的受力环境，包括桥面移动荷载和桥墩撞击荷载双重考验。赛题要求设计一座两跨四车道桥梁（桥型不限），主跨跨度 $L_1=850\text{ mm}$ ，主跨桥下净空顶标高 $H_{\min}=-100\text{ mm}$ ，撞击高度 $H=600\text{ mm}$ 。加载分为三级：第一级单辆小车载重 50 N ，模拟正常通车；第二级两辆小车各载重 60 N ，车道现场抽签确定，模拟偏载工况；第三级在保留荷载基础上增加小球撞击桥墩，模拟船撞工况。赛题规定桥面挠度不得超过 15 mm 。此外，赛题设计深刻体现了产教融合理念^[5]。车道随机和撞击角度随机模拟了实际交通流和偶然作用的随机性，让学生直面工程实践中普遍存在的不确定性。刚度限值对应了桥梁服役性能规范的要求，体现了工程设计与使用性能的关联。三级加载由简到繁、逐级递进，模拟了桥梁在全生命周期中可能遭遇的不同工况。值得注意的是，赛题中主跨跨高比大于等于 8.5 的设计要求，本身就是对结构选型的约束——若采用纯梁桥，如此大的跨高比很难满足刚度要求，这就迫使学生在方案构思阶段就必须跳出常规思维，探索更优的结构体系。

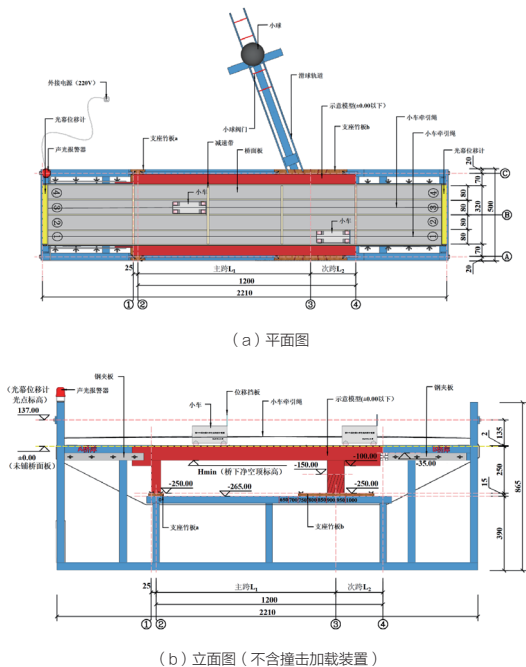


图1加载装置与模型示意图（单位：mm）

（二）项目式学习的全过程设计

项目式学习^[6]的核心在于让学生在完整的项目周期中获得系统性训练。本次竞赛的设计体现了从方案构思、理论分析、模型制作到加载验证的全过程闭环。在问题识别与方案构思阶段，学生需要深入解读赛题，识别核心挑战——在满足各项约束条件下实现承载能力与刚度的双重目标，同时尽可能减轻自重。本团队在方案比选过程中，系统评估了多种桥型的适用性。梁桥构造简单但刚度难以保证，斜拉桥与悬索桥^[7]受力优越但主塔及拉索

会大大增加质量且可能触碰小车，最终选定的张弦梁与空间桁架组合体系，上弦为刚性压弯构件，下弦为柔性索，通过撑杆形成自平衡受力体系，兼具受力合理和节材高效的优点。在理论分析与数值模拟阶段，本团队采用盈建科软件建立了精细化模型（图2），主跨和次跨均采用三根纵梁，在关键部位设置横隔梁以加强横向联系。通过反复试算优化截面尺寸和杆件布置，使结构受力性能达到最优。

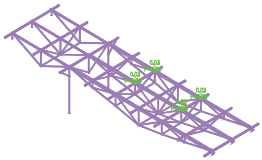


图2有限元模型

在实物制作与工艺探索阶段，学生逐渐认识到，理论分析中往往被简化的节点构造、材料离散性、施工误差等因素，在实际工程中恰恰是决定成败的关键。在加载验证与反思改进阶段，最终的加载环节是对整个设计过程的综合检验，形成强烈的反馈闭环，促使学生反思设计中的得失。

（三）虚实结合的综合能力培养

CDIO工程教育模式^[8]强调“构思—设计—实施—运作”的全过程培养。本竞赛形成了“虚拟仿真→实体建造→实体验证”的完整闭环。有限元分析结论直接指导了模型制作参数：主梁采用箱型截面，横梁采用T形杆件，桥墩采用工字形杆件。然而从虚拟到实体的转化并非简单的按图施工，学生必须面对竹材纤维方向、胶水固化时间、多杆件精确交汇等现实问题。制作中发现多杆件交汇处是薄弱环节^[9]，为此采取了多种加固措施（图3）——节点粘结处加入竹粉增强强度，主梁变截面处采用插入式榫卯连接，横隔梁挖凹槽卡住主次跨连接处。这种虚实结合使学生获得了宝贵的隐性知识——对材料韧性的直观感知、对节点构造重要性的理解、对制作误差的预估与控制。



图3杆件制作

二、工程思维训练的过程剖析

（一）基于建构主义的方案构思

根据建构主义理论^[4]，知识是个体在与环境交互中主动建构的。本次竞赛中，学生面对开放性问题，基于已有知识通过主动探索建构出最优方案。方案比选过程本身就是一次完整的工程决策训练。梁桥构造简单但跨高比约束使刚度难以保证；拱桥受力

合理但拱脚水平推力大，赛题未提供抗推条件；斜拉桥和悬索桥跨越能力强但主塔及拉索增加质量且可能触碰小车。经过反复权衡，最终选定的张弦梁与空间桁架组合体系，通过撑杆形成自平衡受力体系，减小梁内弯矩、节省材料、有效传递荷载。

（二）问题导向的决策与优化

工程教育的核心是培养解决复杂问题的能力^[9]。在有限元分析中，学生面临强度、刚度、稳定性、质量等多重相互制约的目标，必须进行多目标优化。针对柱腿失稳风险，采用 X 形支撑方案提高稳定性。针对偏载挠度过大的问题，采用预应力起拱技术；针对节点破坏风险，采取竹粉填充、竹皮包裹、榫卯连接三重保障。最终模型质量为 156 克（图 4），成功通过三级加载，获得市赛一等奖。



图 4 实物模型

（三）从理论到现实的跨越

加载过程中出现了一个意外——由于制作疏忽，模型在安装过程中柱脚脱离了支座板。按照理论计算这应导致结构失效，但模型自身的强度和冗余度保证了三级加载顺利通过。这一意外成为宝贵的教学资源：让学生理解了为什么工程规范强调冗余度，认识到实际结构中摩擦力、杆件间相互约束提供了额外的安全储备，体会到工程师必备的心理素质。

三、教学成效与反思

（一）综合能力培养成效分析

通过本次竞赛教学，学生在多个维度实现了能力跃升。在基础技能层面，掌握了有限元软件操作、手工制作、测量放样等技能；在工程思维层面，学会了多目标权衡、不确定性应对、风险意识培养；在创新实践层面，提出了混合结构体系，探索了预应力起拱技术。有学生感言：“为了让结构更稳定 0.1 毫米，我们一点点推动项目往前走。加载成功那一刻的成就感，是任何考试高分都给不了的。”

（二）产教融合的深化路径

尽管本次教学实践取得了良好效果，但在产教融合深度上仍有提升空间。企业参与度有限，教学情境与真实工程仍有距离。评价体系以竞赛成绩为主，过程性评价不足。未来有待在人工智能深度融合方面引入基于强化学习的优化算法，在数字化孪生方面实现实时监测应力与预测的闭环反馈，在产教协同方面邀请企业工程师参与指导，在全过程评价方面建立多元评价体系。

四、结论

本文基于第六届上海市大学生结构设计竞赛，设计并制作了张弦梁与空间桁架组合结构，通过有限元分析与实物制作的有机结合，实现了理论教学与实践训练的深度融合。结果表明，结构设计竞赛不仅是一次技术比拼，更是一个微型的工程教育创新载体。通过将项目式学习、产教融合理念相结合，能够有效培养具备数字化素养和创新能力的卓越工程师。这种“做中学、学中研、研中创”的模式，使学生在解决真实工程问题的过程中，不仅掌握了专业知识，更重要的是形成了工程思维、积累了实践经验、塑造了工程师品格。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2023 年交通运输行业发展统计公报 [R]. 北京, 2023.
- [2] 王永祥, 李文英, 贾小龙. 既有防撞设施桥梁抗撞性能评估方法及应用 [J]. 公路交通科技, 2024, 41(5): 61-68.
- [3] 全国大学生结构设计竞赛委员会秘书处. 关于公布 2023 年第十六届全国大学生结构设计竞赛题目的通知 [EB/OL]. (2023-03-31). <http://www.structurecontest.com/datacenter/news/detail?id=2254>.
- [4] 赵大伟. 建构主义学习理论视角下研究生“五位一体”课程思政体系研究 [J]. 思想政治教育研究, 2023, 39(6): 79-86.
- [5] 高云茜, 宋改敏. 产教融合共同体运行保障体系构建及提升策略——基于扎根理论与层次分析法 [J]. 职业技术教育, 2026, 47(6): 44-50.
- [6] 王天平, 王燕. 项目式学习的“教—学—评”一致性及其实现 [J]. 教学与管理, 2026(07): 1-6.
- [7] 陈进昌, 雷俊卿, 金令, 等. 千米级大跨公铁两用悬索桥结构特性及刚度指标研究 [J]. 铁道标准设计, 2022, 66(6): 54-61.
- [8] 及炜煜, 刘占省, 杨璐. 基于新工科建设的高等工程实践教育模式创新——以智能建造专业为例 [J]. 中国高等教育, 2025 (Z1), 76-80.
- [9] 陈宇轩, 李波, 黄梓聪等. 三重木塔结构模型设计与分析 [J]. 低温建筑技术, 2023, 45(5): 98-102.