

虚拟仿真技术在混凝土配合比设计教学中的应用研究

彭博 张磊 李浩宇

绥化学院, 黑龙江 绥化 152000

摘要: 混凝土配合比设计涉及材料性能、规范计算、试验验证和施工修正, 传统教学容易受到课时、材料消耗和实验周期限制, 学生对参数联动关系和现场调整依据理解不足。虚拟仿真技术能够呈现水胶比、砂率、用水量、外加剂掺量及含水率修正对拌合物状态和强度结果的影响, 为教学提供可视化、可重复、可记录的训练环境。课程建设应从计算模型、工程场景、课堂组织和质量保障等方面展开, 形成虚拟推演与实体试验相衔接的教学方式。该路径有助于提升学生的配合比设计能力、试验分析能力和工程质量意识。

关键词: 虚拟仿真技术; 混凝土配合比; 实验教学; 建筑材料课程

DOI: 10.64649/yh.jydk.issn3080-2660.202606016

0 引言

混凝土配合比设计是建筑材料课程的重要内容, 连接材料性能、规范计算与工程施工。学生既要掌握配制强度、水胶比、砂率、单位用水量和施工配合比修正方法, 又要根据坍落度、泌水、黏聚性、强度离散及材料波动作出判断^[1]。传统课堂以讲授和少量试拌为主, 工况呈现不足, 异常现象难以连续观察。教育数字化推进后, 虚拟仿真资源为实验教学提供了新条件。将其引入该环节, 可拓展参数推演、场景还原和过程评价空间, 补足实体试验受课时、耗材和周期限制造成的不足。

1 混凝土配合比设计教学的现实问题

1.1 配合比参数关系难以直观呈现

混凝土配合比设计包含强度、工作性、耐久性和经济性等多项要求。水胶比关系到强度增长和抗渗能力, 用水量直接影响拌合物流动状态, 砂率变化会改变黏聚性和保水性, 外加剂掺量又与坍落度保持时间相关。矿物掺合料加入后, 胶凝材料体系和早期强度发展也会发生变化。课堂讲授若停留在公式代入和表格查取, 学生容易把配合比设计看成固定计算程序, 难以理解各参数之间的相互牵制。以配制强度为例, 常用表达为

(1)

式中, f_{cu} 为混凝土配制强度, $f_{cu,k}$ 为设计强度标准值, σ 为强度标准差。

1.2 实体试验训练机会相对有限

实体试验往往受课时安排和实验室容量限制。混凝土从称量到抗压检验需要经历拌合、成型和养护过程, 材料消耗与场地周转压力较大。课程通常只能安排标准试拌, 砂石含水率偏差、骨料级配异常和外加剂适应性不足等情

况较少进入课堂。学生虽然能够完成记录, 却难以判断坍落度偏小、拌合物泌水和强度离散背后的具体原因。

1.3 教学评价难覆盖设计全过程

评价环节多集中在计算结果和实验报告, 学生的参数判断过程较难呈现。配合比设计包含方案设定、材料修正、试拌观察和数据解释, 某一环节处理不当都会影响结果。教师若只依据报告给分, 容易忽略称量误差、读数偏差、拌合顺序和方案逻辑中的真实问题。部分报告接近标准答案, 但学生对数据来源和调整依据的理解并不充分。

2 虚拟仿真资源的教学建构

2.1 基于规范流程嵌入计算模型

虚拟仿真资源的核心不在画面精细程度, 而在计算规则是否可靠。混凝土配合比设计应以《普通混凝土配合比设计规程》和拌合物性能试验标准为依据, 将强度等级、环境类别、坍落度要求、胶凝材料强度、砂石表观密度、细度模数、含水率和减水率纳入模型。学生输入工程条件后, 系统应按配制强度确定、水胶比初选、单位用水量取值、砂率确定、材料用量换算和施工配合比修正的顺序展开^[2]。计算过程不能只呈现最终数值, 还要保留取值理由和参数来源。水胶比偏高时, 系统应提示强度和耐久性风险; 砂率偏低时, 系统应显示离析、泌水和包裹不足现象; 外加剂掺量偏离合理范围时, 系统应呈现坍落度损失、泌水或凝结异常等结果。规范条文、计算公式和拌合物状态建立对应关系后, 学生才能把公式理解为工程判断依据, 而不是机械代入步骤。

2.2 面向工程情境还原试配场景

场景设计不宜堆砌工况名称, 应从课堂能

够验证的任务切入。普通泵送混凝土可设置为基础场景,目标坍落度限定在施工常用范围内,学生需要判断用水量和外加剂掺量是否匹配。地下室底板场景可加入抗渗要求,系统在水胶比偏大时显示渗透风险。雨后砂堆含水率升高的情形更贴近现场,学生输入原配合比后会看到实际用水量被改变。粗骨料级配偏差可表现为拌合物包裹不足,画面中不必追求炫目效果,关键是让异常现象与参数变化对应清楚。

2.3 依托学习数据形成反馈闭环

学习数据要服务课堂改进,不能停留在登录次数和完成率。系统应记录学生在含水率修正、砂率调整和外加剂选择中的具体错误,并保留每次修改前后的数值。教师课后导出班级错误表,便能看出学生集中卡在哪个位置。当含水率修正错误人数较多时,下一次课可增加现场砂样称量和烘干演示。当学生反复用增加用水量解决坍落度问题时,讲评应转向强度损失和耐久性风险。分层任务可依据记录安排,基础薄弱学生补做标准试配,掌握较好的学生进入成本和抗渗约束更强的任务。

3 虚拟仿真技术的课堂应用路径

3.1 课前开展参数推演与方案预判

课前环节应承担问题唤醒和基础准备功能。教师可依据课程进度发布具体设计任务,如普通泵送混凝土、地下结构混凝土或预制构件混凝土配合比设计。任务条件应写明强度等级、坍落度目标、施工方式、环境类别、砂石含水率和外加剂减水率。学生进入虚拟平台后,需要完成材料参数读取、配制强度计算、水胶比初选、单位用水量确定和砂率判断。平台在关键节点设置提示,但不直接给出完整答案。学生只有完成前一项判断,才能进入下一项计算,避免课前学习停留在浏览界面。

参数推演应突出“选择理由”。水胶比取值偏大时,学生需要说明强度和耐久性风险;用水量偏高时,学生需要解释坍落度改善与强度下降之间的关系;砂率调整后,平台应展示拌合物黏聚性、泌水倾向和粗骨料包裹状态的变化。此类预判训练能够把抽象数值转化为可观察结果。课前任务完成后,教师可查看学生在含水率修正、砂率取值和外加剂掺量判断中的错误集中点。课堂讲授由此获得更明确的切入位置,学生进入实验课前已具备基本方案意识。

3.2 课中实施虚拟操作与实体试验联动

课堂环节应把虚拟方案与实体试验放在同一教学单元内。虚拟仿真技术应用到教育行业后,推进了教学体系、教学方法的改革,为土木工程的教学提供了新的技术手段^[3]。学

生可先在平台中形成两组或三组配合比方案,并比较各方案的强度储备、坍落度预测、材料用量和风险提示。小组讨论后,选择一组进入实体试拌。实体环节包括原材料称量、投料顺序控制、拌合时间记录、坍落度测定、拌合物观察和试件成型。教师在现场观察学生操作,重点检查称量精度、含水率修正、加水顺序和外加剂掺入方式。虚拟平台给出的是方案预期,实体试验呈现的是材料真实状态,两类结果需要在课堂中进行对应分析。

联动教学的关键在偏差解释。若虚拟预测坍落度达到目标,而实体测定值偏低,学生需要核查砂石实际含水率、拌合时间、外加剂适用性和用水量修正。若实体拌合物出现泌水或离析,学生需要重新判断砂率、粉体含量和外加剂掺量。若坍落度满足要求但黏聚性较差,单纯追求流动性便会暴露出质量控制不足。教师不宜只判定结果对错,应要求学生依据现场现象说明调整方向。课堂讨论可选取差异较大的小组案例展开,学生在比较中理解同一强度等级下存在多种可行方案,但每一种方案都必须接受材料状态和施工条件检验。

实体试验完成后,数据应及时回填平台。坍落度、扩展度、拌合物状态、试件编号和成型时间均应形成记录。平台可以把学生原始方案、实体检测数据和风险提示并列展示。教师据此讲解配合比设计中常见的判断误区,如以增加用水量代替综合调整,以单次坍落度结果替代工作性评价,以强度冗余掩盖经济性问题。课堂中的虚实联动并非简单增加技术环节,而是让学生在计算结果、材料现象和工程要求之间建立稳定联系。

3.3 课后依据偏差数据开展校正分析

课后环节应围绕试验偏差展开深层分析。学生需要整理虚拟初始方案、实体测定结果和修正方案,说明每一次参数调整的依据。报告内容应包括材料条件、计算过程、试拌现象、偏差来源和调整逻辑。若坍落度不足,学生应判断问题来自用水量、砂率、外加剂或骨料状态;若强度预测冗余过大,学生应讨论胶凝材料用量、成本和水化热影响;若试件强度离散较大,学生应检查成型质量、振捣方式和养护记录。此类分析能够避免实验报告只罗列数据。

平台记录可作为课后评价的重要依据。教师可查看学生是否反复依赖同一种调整方式,是否忽视耐久性要求,是否能把异常现象与材料参数对应起来。对于错误集中度较高的环节,教师可在下一次课程中安排针对性讲评^[4]。基础较弱学生可重新完成标准工况训练,掌握规范流程和基本计算;能力较强学生可进入多目标任务,如在坍落度、强度、成本和抗渗要求之间进行方案比较。课后校正分析不应停留在

分数反馈层面,重点应放在错误原因、数据证据和调整判断上。学生在连续比较中能够认识到,混凝土配合比设计不是一次计算完成的静态结果,而是材料条件、施工要求和质量控制共同作用下的动态决策过程。

4 教学质量提升与运行保障机制

4.1 构建过程导向的学习评价体系

学习评价应覆盖方案判断、实验行为和数据分析。混凝土配合比设计不能只看最终材料用量,更不能只按报告格式给分。课程可将系统记录、现场操作、结果说明和答辩表现纳入同一评分框架。系统记录呈现计算路径和参数调整痕迹,现场操作反映称量、拌合、测定、成型等环节的规范程度,结果说明检验异常数据解释能力。答辩环节应聚焦水胶比、砂率、外加剂掺量与工程要求之间的对应关系。评分细则需要提前公布,分值分配应落到具体行为和证据,避免成绩判断过度依赖主观印象。

4.2 强化教师数字化实验教学能力

虚拟仿真课程对任课团队提出复合要求。教师需要熟练掌握数字化教学工具,且要注重应用的实效性,防止陷入技术表演的误区,切实服务于教学质量的提升。建筑材料教师需熟悉配合比设计规程、拌合物性能试验标准和工程质量控制要求。实验人员负责材料保管、设备状态、试验安全和现场记录。技术人员承担系统维护、账号配置和数据导出工作。课程组应定期核对系统参数、案例条件和课堂目标,减少资源内容与教学安排脱节。企业工程人员可提供施工现场中的材料波动、坍塌度损失、外加剂适应性等案例。培训内容不宜停留在软件按钮操作层面,应纳入案例改写、数据判读和课堂调度训练。

参考文献:

- [1] 庄燕,章晓兰.中职理实一体类专业课程思政建设探索与实践——以“建筑工程材料性能检测”课程为例[J].教育教学论坛,2024,(20):155-158.
- [2] 吴亮,段卫东,蔡路军,等.混凝土烟囱爆破拆除工程教学的虚拟仿真实验建设[J].爆破,2023,40(3):229-235.
- [3] 魏明汉.虚拟仿真在土木工程施工PBL教学改革中的应用[J].创新创业理论与实践,2023,6(2):184-187.
- [4] 韩锡斌,李米雪,郭文欣.以数字化战略赋能职业教育的新突破——2024年职业教育数字化研究与实践新进展[J].中国职业技术教育,2025,(2):39-48+75.

作者简介: 彭博(1990.06—),男,汉族,黑龙江省,博士研究生,讲师,研究方向:建筑材料。

项目信息: 2025年度黑龙江省“优秀青年教师基础研究支持计划”,寒冷地区冻融环境下纤维混凝土低温断裂韧性及结构耐久性提升机制研究,(项目编号YQJH2025296)。

4.3 完善平台资源更新与运维管理

稳定运行依赖清晰的管理制度。学校应建立资源审核、账号分配、数据备份、设备巡检和故障报修机制。混凝土材料、外加剂性能和施工工艺会随行业发展产生变化,系统中的材料参数、任务条件和评价规则需要定期校准。资源修订应由课程负责人、实验室人员和技术维护人员共同确认,防止参数随意改动造成教学口径混乱。学习记录、实验成绩和报告内容属于教学数据,管理中需限定访问权限,明确保存周期,避免无关人员接触相关信息。

4.4 明确虚拟仿真应用的工程边界

虚拟仿真适合方案推演、错误识别和工况比较,其结果不能等同于工程检测结论。混凝土质量关系结构安全,配合比进入生产前仍需完成标准试验、技术审核和现场验证。课堂中应明确系统功能定位,仿真结果可辅助学习者理解参数变化,却不能替代真实材料检测。实验记录应保持客观,参数来源、异常现象和调整依据都要写清楚。质量责任需要进入课程要求,水胶比失控、含水率修正错误、外加剂误用等问题均应与结构安全后果相联系。

5 结语

虚拟仿真技术应用于混凝土配合比设计教学,能够拓展学生接触材料变量、试配偏差和工程场景的机会。课程实施中,计算模型应依据规范流程建立,试配场景应贴近施工条件,课堂组织应将虚拟推演与实体试验衔接起来。学习评价也需从最终结果扩展到方案判断、操作规范和数据分析。相关建设还要重视教师能力、资源更新、平台运维和工程边界,避免虚拟仿真停留在演示层面。只有把技术资源嵌入真实教学任务,混凝土配合比设计训练才能更好地服务工程能力培养。