

数字孪生理念下的高职隧道实训系统架构研究

——以云南交通职业技术学院为例

彭 锐 刘丽丽 李 凯

云南交通职业技术学院, 中国·云南 昆明 650500

【摘 要】本文研究了数字孪生技术在高职道桥专业隧道实训系统架构中的应用,以云南交通职业技术学院为案例。本文提出了高职道桥专业隧道实训系统构建的框架。案例研究展示了云南交通职业技术学院如何构建数字孪生隧道实训系统,包括物理实体模型、虚拟模型、数据关联方法、孪生数据和服务平台系统。研究旨在通过数字孪生技术提升高职教育的实践教学效果,增强学生的实际操作能力和创新思维。

【关键词】数字孪生;隧道实训;系统架构

【基金项目】项目依托云南省教育厅省级示范性虚拟仿真实训基地项目,云南省教育厅科学研究基金项目,项目编号:2023J1566

1 研究意义

实训基地建设是技术技能型人才培养的关键。国家发展改革委、教育部、人力资源社会保障部、国家开发银行联合印发了《关于加强实训基地建设组合投融资支持的实施方案》,提出实训基地是培养技术技能型人才培养的主要场所。实训基地建设是加强技术技能人才培养的关键环节。

发达国家的高职教育机构正探索数字孪生技术在实训室的应用,以提升学生的实践和创新能力。相比之下,中国高职教育对数字孪生技术的应用尚处初期,多集中于理论探讨和初步实践。

2 研究内容

本文重点数字孪生理念下的高职道桥专业隧道实训系统架构研究云南交通职业技术学院数字孪生隧道实训系统,构建内容包括:物理实体、虚拟实体、链接、孪生数据、服务系统,五个维度。选择云南交通职业技术学院作为案例,分析其实训室构建的过程和效果。

3 数字孪生技术概述

3.1 数字孪生技术定义

数字孪生(Digital Twins)理论是通过数字化的方式,建立物理实体对应的多维度,多时空,多学科,多物理的动态虚拟模型,来仿真和刻画物理实体在真实环境中的属性、行为与规则。无论是国际还是国内,数字孪生技术与教育的融合都是一个跨学科领域,需要不同领域的专家共同参与。

3.2 数字孪生技术在教育领域的应用

数字孪生技术在土木专业教育中应用于虚拟仿真实训、设计与施工教学、结构分析评估、施工管理、安全教育、监测维护、环境影响评估、团队合作、创新研究和技术技能认证。它通过模拟实际工程环境,增强学生的实践能力、项目管理、安全意识和决策制定能力,同时促进跨学科学习和创新思维的培养,为适应未来工程挑战提供支持。

4 高职道桥专业实训室现状分析

传统实训室存在问题与改进需求资源和空间有限,更新速度跟不上技术发展;存在实际操作的安全风险;交互性和个性化学习体验不足;数据收集与分析能力弱,难以实现精准教学;环境模拟能力有限,无法覆盖多样化工况;设备维护成本高且易受损耗;教学方法可能单一,缺乏创新;团队协作空间受限;教学内容与行业需求可能脱节,影响学生就业适应性。

5 数字孪生隧道实训系统构建框架

5.1 构建目标

构建道桥专业基于“数字孪生”理念的,依托互联网技术、建筑信息模型(BIM)技术、云平台储存与整合技术、大数据技术、VR技术,形成虚、实一体(即实体实训室和BIM虚拟实训室一体化)的现代交通土木工程智慧高水平建筑工程实训基地。同时创新实训基地设计、建设、运营维护理念;提高实训基地管理水平,加强专业能力培养与职业技能训练、形成建筑行业高新技术推广,应用为一体的

序号	项目	分项	细目
1	数字孪生实体及虚拟模型的关联性构建	隧道实体模型 包括（隧道结构实体、路基路面、机电）	隧道单元实体
			结构体系、附属设施体系、机电设备体系
			隧道设计、施工、运维阶段的物流能量流与信息流
		隧道数字虚拟模型 包括（隧道结构实体、路基路面、机电）	隧道构造BIM及实景模型
			结构实体楼宇模型（实体模型节点）BIM及三维扫描点云模型
			通风、电力、给排水BIM及三维扫描点云模型
2	孪生数据	实体模型数据	结构、机电实体数据，物理数据、测量数据、监测数据，运行维护数据，影像数据等大数据
		虚拟模型数据	结构、机电虚拟数据、图纸数据、文档数据，图表数据、分析数据、属性数据、虚拟实景模型数据、教学评价数据
3	数字孪生隧道服务平台系统	建筑设计、施工维护教学平台及服务端口、测试端（学生端、教师端）	VR、AR虚拟端口、学生机端口、手机端、校园网、教师机端口、智能端
4	链接	链接端	实体与实体、实体与虚拟、虚拟与服务、服务与实体 孪生数据与虚、实体

新型高职实践教学场所。

5.2 构建框架

6 案例研究：云南交通职业技术学院数字孪生隧道实训系统构建

6.1 案例项目概况

云南交通职业技术学院数字孪生隧道实训系统是云南高原山区道桥虚拟仿真示范性实训基地建设的一部分，构建内容包括：物理实体、虚拟实体、链接、孪生数据、服务系统，五个维度。

6.2 数字孪生实体及虚拟模型的关联性构建

6.2.1 虚实一体构建项目及类别

（1）物理实体模型：隧道实体

①单元级物理实体：构成隧道基本结构的单元，如单独的构件或结构物单元，它们是隧道结构的基本组成部分。

②系统级物理实体：隧道被视为由多个系统组成的整体，包括结构体系、附属设施体系、机电设备体系等。这些系统共同支撑着隧道的建造和运营，涵盖了从施工到维护的全过程。

③复杂系统物理实体体系：进一步将隧道视为一个综合

的复杂系统，涉及不同系统间的组织协调、物料流、能量流与信息流的管理。它强调了在隧道建造和维护阶段，各系统之间的相互作用和管理的重要性。



（3）虚拟模型：隧道数字孪生模型

隧道数字孪生模型是物理实体在电脑数字软件空间中真实、客观、完整的映射，是孪生数据的载体。包括：

①隧道几何属性模型：反映隧道的三维形状、尺寸、位置等几何参数，通过BIM和实景建模软件创建，与实体模型保持时空一致性。

②隧道实体物理属性模型：涵盖隧道的物理特性，如结构分析和机电流体仿真，同样通过BIM软件实现。

③形变行为模型：描述隧道模型随时间变化的演化、动态功能和性能退化。

6.2.2 关联方法

①BIM模型构建关联：利用BIM软件根据隧道工程各阶段特点构建实训空间的几何和功能模型，反映其真实状况。

②点云模型构建关联：通过三维激光扫描仪或无人机采集数据，结合BIM软件生成点云模型。

③实景模型关联：使用无人机或激光扫描仪对实训设施进行多角度拍摄，并用三维实景建模软件处理生成实景三维模型。

6.2.3 孪生数据

孪生数据主要包括六部分，分别是：1、体现物理实体的数据，主要包括隧道实体能够观测的所有实体数据；2、虚拟模型的数据，针对建筑信息模型中的虚拟参数数据；3、服务，包括隧道专业的算法、数据处理方法等；4、知识数据，包括行业标准、规则约束、推理推论、常用算法、模型库等；

6.2.4 链接

①物理实体与虚拟模型数据链接：通过物联网协议传输传感器收集的实体数据，虚拟模型仿真结果转换为控制指令，实现隧道数字化和云端迁移，为教学提供仿真环境，构建多功能道桥虚拟仿真实训基地。

②物理实体与孪生数据链接：使用传感器和物联网通信协议收集实体数据，完成数据传输。

③虚拟模型与孪生数据链接：仿真数据通过数据库接口存储，用于历史分析。

6.2.5数字孪生隧道服务平台系统

云岭隧道的数字孪生智能监测实训教学平台一期主要包括隧道基本信息介绍、隧道监测、人车流量、设备信息等三大功能模块。

①隧道监测模块：集成多种传感器，如孔隙水压力计和多点位移计，实现隧道结构实时监控，并通过专业软件对接，实时分析形变，预测安全风险，以图表形式直观展现。

②人车流量模块：整合监控摄像头和事件报警，实时监控隧道交通状态，快速响应交通事件，增强应急处理能力，保障隧道运营安全。

设备信息模块：针对隧道风机设备，与运行系统对接，实时监控设备状态和性能指标，辅助设备管理和维护。

6.3实施成果与效果

案例的事实成果：

云南交通职业技术学院成功构建了数字孪生隧道实训系统，实现了物理实体与虚拟模型的关联性构建，包括隧道结构实体、路基路面、机电等。

通过BIM、实景建模、点云技术和力学分析软件，建立了隧道的几何属性模型、物理属性模型、形变行为模型和规范与规则模型。

孪生数据的集成，实现了实体数据、虚拟模型数据、服务数据、知识数据和融合衍生数据的整合。

构建了数字孪生隧道服务平台系统，包括隧道监测、人车流量、设备信息等模块，提升了实训教学的互动性和实

时性。

参考文献：

- [1] 夏子立, 景强, 孙守旺, 等. 基于数字孪生理念的跨海桥梁智能维养系统架构研究[J]. 公路, 2023, 68(4): 383-391.
- [2] 黄昂, 沈毅, 喻树洪. 数字孪生在高端工业制造的智能辅助应用[J]. 计算机产品与流通, 2019(11): 117-118.
- [3] 蒋爱国, 王金江, 谷明, 于昊天, 常开顺. 数字孪生驱动半潜式钻井平台智能技术应用[J]. 船海工程, 2019, 48(05): 49-52+55.
- [4] 智能制造与数字孪生：关键技术与发展趋势[J]. 互联网经济, 2019(Z2): 40-43.
- [5] 'Digital twin' to extend life of hydro plant[J]. Utility Week, 2019.
- [6] 江海凡, 丁国富, 张剑. 数字孪生车间演化机理及运行机制研究[J/OL]. 中国机械工程: 1-10 [2019-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1294.TH.20191012.1722.004.html>.
- [7] 孙惠斌, 颜建兴, 魏小红, 常智勇. 数字孪生驱动的航空发动机装配技术[J/OL]. 中国机械工程: 1-8 [2019-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1294.TH.20191107.1720.013.html>.
- [8] Harry Millwater, Juan Ocampo, Nathan Crosby. Probabilistic methods for risk assessment of airframe digital twin structures[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2019, 221.

作者简介：

彭锐（1975.01-）男，汉族，昆明，硕士，教授，教师，研究方向：建筑工程。

刘丽丽（1973.03-）男，汉族，昆明，硕士，副教授，教师，研究方向：教育教学。

李凯（1996.03-）男，汉族，昆明，本科，工程师，技术经理，研究方向：建筑工程。