

面向施工的设计（DFC）技术创新与工程行业数字化转型融合路径研究—以轨道交通机电设备安装工程为例

栾治国 钟 敏 鄢 猛

中车城市交通规划设计研究院有限公司 江苏 南京 211800

摘 要：本文聚焦面向施工的设计（DFC）技术创新与轨道交通机电设备安装工程数字化转型融合路径。先阐述DFC理论体系，分析工程特征与传统模式矛盾，明确融合需求。接着剖析融合机理与瓶颈，进而构建“技术-流程-管理”三位一体的融合路径，涵盖技术创新、流程重构、管理升级等方面。通过集成DFC与数字化技术、优化全周期流程、构建保障体系，为轨道交通机电设备安装工程提供融合实践指导，推动行业数字化转型与效益提升。

关键词：面向施工的设计（DFC）；轨道交通；机电设备安装；数字化转型；融合路径

1 面向施工的设计（DFC）理论体系

面向施工的设计（DFC）理论体系以施工可行性、效率提升与成本优化为核心目标，构建“设计-施工-反馈”闭环架构。该体系涵盖核心原则、关键方法与评价体系三大模块，核心原则包括施工导向性、协同性、经济性与可操作性，强调设计阶段即充分考量施工环境、工艺要求与资源配置。关键方法包含施工工艺仿真模拟、构件标准化设计、施工难点预分析等技术手段，通过将施工经验参数融入设计流程，实现设计方案与施工实践的深度匹配。评价体系则围绕施工效率、成本控制、质量保障等指标，建立量化评估模型，对设计方案进行施工适应性审核^[1]。DFC理论打破传统“设计先行、施工后续”的割裂模式，通过设计阶段提前介入施工要素分析，为工程全周期协同奠定理论基础，其核心价值在于通过设计优化降低施工难度、减少返工损耗，提升工程实施的科学性与经济性，为轨道交通机电设备安装等复杂工程提供系统性的设计指导框架。

2 轨道交通机电设备安装工程 DFC 与数字化转型融合需求分析

2.1 轨道交通机电设备安装工程特征分析

轨道交通机电设备安装工程具有系统集成度高、施工环境复杂、工期约束严格、质量标准严苛等显著特征。该工程涵盖供电、通信、信号、通风空调、给排水等多个专业系统，各系统设备型号多样、接口关系复杂，需实现多专业协同安装。施工环境多位于地下隧道、车站站厅等密闭或半密闭空间，作业面狭窄且交叉作业频繁，对施工组织与安全管理要求极高。工期方面受轨道交通整体开通节点刚性约束，各施工工序衔接紧凑，需精准把控施工进度。质量标准上不仅需符合国家

与行业规范，还直接关系到轨道交通运营安全，对设备安装精度、系统调试稳定性要求严格。另外，工程后期运维需求提前嵌入施工环节，要求安装过程兼顾后续维护便利性，这些特征决定了工程对设计与施工协同、过程管控精细化的高需求，为DFC与数字化转型融合提供了应用场景基础。

2.2 传统模式下设计与施工的核心矛盾

传统模式下轨道交通机电设备安装工程设计与施工存在显著的割裂性矛盾，首要矛盾为设计方案施工适应性不足。设计阶段多侧重规范符合性与功能实现，未充分结合现场施工条件，导致部分设计方案存在构件吊装空间不足、管线走向与其他专业冲突等问题，施工阶段需频繁进行设计变更，增加返工成本与工期延误风险。其次是信息传递不畅，设计图纸多以二维形式呈现，专业间接口关系表达模糊，施工人员对设计意图理解存在偏差，且设计变更信息无法及时、准确传递至施工一线，引发施工错漏^[2]。再者是协同机制缺失，设计单位与施工单位在工程前期缺乏有效沟通，施工单位的现场经验与工艺优势无法融入设计过程，设计单位也未参与施工阶段的技术指导，导致设计与施工形成“两张皮”现象。最后是进度与质量管控脱节，设计方案未充分考量施工工序衔接，施工过程中出现工序冲突时缺乏快速调整的设计支撑，影响施工进度与工程质量，这些矛盾直接制约工程效益提升。

2.3 DFC与数字化转型融合的核心需求

轨道交通机电设备安装工程对DFC与数字化转型融合的核心需求源于解决传统模式痛点与提升工程综合效益的现实诉求。首要需求是实现设计与施工信息协同共享，通过数字化平台打破信息壁垒，将施工工艺、现

场条件等数据融入设计流程,同时确保设计变更信息实时传递至施工环节,提升信息传递效率与准确性。其次是施工导向的设计优化需求,借助数字化仿真技术对设计方案进行施工可行性模拟,提前预判管线冲突、吊装难题等问题,通过DFC原则优化设计方案,降低施工难度。再者是全周期过程管控需求,需构建覆盖设计、施工、调试、运维全阶段的数字化管控体系,实现施工进度、质量、安全等指标的实时监测与动态调整,提升工程管控精细化水平。另外,还存在多专业协同需求,通过数字化集成平台实现供电、通信等多专业设计与施工的协同联动,解决交叉作业冲突问题,同时满足数据可追溯需求,为工程质量追溯与后期运维提供数据支撑,这些需求构成融合应用的核心导向。

3 DFC 技术创新与工程数字化转型融合机理与瓶颈

3.1 融合机理分析

DFC技术创新与轨道交通机电设备安装工程数字化转型融合遵循“数据驱动-协同优化-价值输出”的核心机理。数据驱动是融合基础,通过数字化技术采集施工工艺参数、现场环境数据、设备属性信息等多源数据,建立标准化数据库,为DFC设计优化提供数据支撑,实现设计方案从“经验驱动”向“数据驱动”转变。协同优化是融合核心,借助BIM、数字孪生等数字化工具构建协同平台,设计单位基于DFC原则利用平台数据进行施工适应性设计,施工单位通过平台反馈现场问题与施工需求,形成“设计-施工-反馈-优化”的动态协同闭环,实现设计方案与施工实践的精准匹配。价值输出是融合目标,通过数据驱动的设计优化降低施工返工率,协同平台提升多专业协作效率,最终实现工程工期缩短、成本降低、质量提升的综合价值。同时,融合过程中形成的设计与施工数据资产,还能反哺后续工程的DFC设计优化,形成持续改进的良性循环,推动技术创新与数字化转型的深度耦合。

3.2 融合过程中的现实瓶颈

DFC技术创新与轨道交通机电设备安装工程数字化转型融合过程中面临多重现实瓶颈。其一为数据壁垒问题,各参与单位使用的设计软件、施工管理系统存在兼容性差异,导致多源数据格式不统一,供电、通信等专业数据难以实现高效共享,制约数据驱动设计的开展。其二为技术集成难度大,DFC设计方法与BIM、数字孪生等数字化技术的集成缺乏成熟标准,不同技术的核心逻辑与应用场景存在差异,技术融合过程中易出现功能冲突,影响应用效果。其三为人才储备不足,既掌握DFC设计理念又精通数字化技术的复合型人才稀缺,设计人

员对数字化工具应用能力不足,施工人员对DFC设计方案的理解与执行存在偏差,阻碍融合落地^[3]。其四为协同机制不完善,传统工程管理模式各单位权责划分清晰但协同意识薄弱,缺乏统一的融合管理标准与利益分配机制,导致协同过程中推诿扯皮,影响融合效率。其五为投入成本较高,数字化平台搭建、技术研发与人才培养需大量资金投入,部分企业投入意愿不足,制约融合进程。

4 DFC 技术创新与工程数字化转型融合路径构建(轨道交通机电设备安装工程)

4.1 总体融合框架:“技术-流程-管理”三位一体

“技术-流程-管理”三位一体总体融合框架以技术创新为核心支撑,流程重构为实施载体,管理升级为保障手段,构建相互支撑、协同联动的融合体系。技术层面聚焦DFC与数字化技术的集成创新,搭建统一数据标准与技术接口,实现BIM、数字孪生等技术与DFC设计方法的深度耦合,为融合提供技术工具与数据支撑。流程层面以全周期协同为导向,重构从设计策划、方案设计、施工实施到竣工验收的全流程,将DFC设计要求与数字化管控节点嵌入各流程环节,建立“设计-施工-运维”全周期协同机制,打破传统流程割裂局面。管理层面围绕融合落地构建保障体系,明确各参与单位权责分工,建立融合专项管理制度与考核评价机制,通过人才培养、资金保障与风险管控,为技术集成与流程重构提供支撑。三者形成闭环联动:技术创新为流程重构提供工具支撑,流程重构为技术应用提供实施路径,管理升级为前两者落地提供保障,共同推动DFC技术创新与数字化转型在轨道交通机电设备安装工程中高效融合。

4.2 技术创新路径:DFC与数字化技术的集成应用

技术创新路径聚焦DFC与数字化技术的精准集成,构建“数据采集-模型构建-仿真优化-现场应用”的技术链条。首先建立多源数据集成系统,制定统一数据标准,采集施工工艺、设备参数、现场环境等数据,通过数据清洗与结构化处理,形成支撑DFC设计的标准化数据库。其次构建DFC-BIM集成模型,在BIM平台中融入DFC设计模块,设计人员基于数据库数据进行施工导向的设计,实现设备安装空间优化、管线碰撞检查等功能,确保设计方案施工可行性。再者应用数字孪生技术构建工程虚拟仿真场景,对DFC设计方案进行施工过程仿真模拟,预判施工难点与工序冲突,通过仿真结果优化设计方案与施工工艺。同时开发移动端协同应用,将优化后的设计方案与施工指令实时推送至现场作业人员,实现设计与施工的现场实时联动。引入人工智能算

法对施工过程数据进行分析,为DFC设计方案优化与施工工艺改进提供智能决策支持,形成“数据-模型-仿真-应用-优化”的技术创新闭环,提升融合技术应用实效。

4.3 流程重构路径:全周期协同流程优化

流程重构路径紧紧围绕全周期协同这一核心要点,对轨道交通机电设备安装工程原有流程展开全面且系统的优化工作,最终构建起“前期协同策划-设计施工协同-过程动态调整-竣工验收协同”的完整全流程体系。在前期协同策划阶段,精心组建由设计、施工、监理以及设备供应商共同参与的协同团队。明确各单位的具体职责与关键协同节点,依据DFC原则和数字化要求,制定出科学合理的协同方案。同时,同步推进设计策划与施工准备工作,确保从项目起始就形成紧密的协作态势。设计施工协同阶段大力推行“并行工程”模式。设计单位借助数字化协同平台,实时共享设计成果,让施工单位能够第一时间获取最新信息。施工单位则同步开展施工可行性分析,并及时反馈意见。通过这种紧密互动,实现设计方案与施工计划的同步优化,有效避免后期出现大量变更,节省时间和成本。过程动态调整阶段充分利用数字化管控平台,实时采集施工进度、质量等关键数据。将这些数据与DFC设计方案及施工计划进行细致比对,一旦发现偏差,立即通过协同平台快速启动设计调整或施工工艺优化流程,保障工程始终有序推进。竣工验收协同阶段全面整合设计、施工、调试等全周期数据,借助数字化平台构建工程竣工模型。实现验收标准数字化、验收流程线上化,同时将验收数据同步至运维系统,为后期运维提供坚实的数据支撑,达成全周期流程的无缝衔接与协同优化。

4.4 管理升级路径:融合落地的保障体系建设

管理升级路径通过构建“制度-人才-资金-风险”四维保障体系,确保DFC技术创新与数字化转型融合落地。制度保障方面,制定《DFC与数字化融合管理办

法》《数据共享管理规范》等专项制度,明确各参与单位协同职责、数据使用规范与考核评价标准,将融合成效纳入项目绩效考核,强化制度约束。人才保障方面,建立“校企合作+内部培训”的人才培养机制,与高校共建复合型人才培养基地,针对设计、施工人员开展DFC理念与数字化技术专项培训,同时引进外部高端人才,打造专业人才团队。资金保障方面,设立融合专项资金,用于数字化平台搭建、技术研发、设备采购与人才培养,建立多元化资金投入机制,鼓励社会资本参与,确保资金充足^[4]。风险管控方面,建立融合风险预警系统,识别技术集成、数据安全、协同冲突等风险点,制定风险应对预案,定期开展风险评估与排查;同时建立数据安全管理体系,采用加密存储、访问控制等技术,保障工程数据安全。通过四维保障体系形成全方位管理支撑,推动融合工作稳步推进。

结束语

DFC技术创新与轨道交通机电设备安装工程数字化转型融合意义重大,是解决传统模式痛点、提升工程效益的关键举措。尽管融合面临数据壁垒、技术集成难等瓶颈,但通过构建“技术-流程-管理”融合路径,可有效突破困境。未来,需持续推进技术创新、完善流程与管理,培养复合型人才,加大资金投入,以实现融合的深度发展,为轨道交通工程高质量发展注入新动力。

参考文献

- [1]沈军.地铁工程项目机电设备的安装及调试研究[J].电脑采购,2021(31):65-67.
- [2]王志.BIM技术在轨道交通工程项目群管理中的应用探索[J].智能建筑与智慧城市,2021,(07):163-164.
- [3]纵磊.城市轨道交通工程物资集中采购风险管理分析[J].中国物流与采购,2024,(06):69-70.
- [4]赵文龙.城市轨道交通工程决策阶段的采购管理实践[J].招标采购管理,2023,(04):43-45+48.