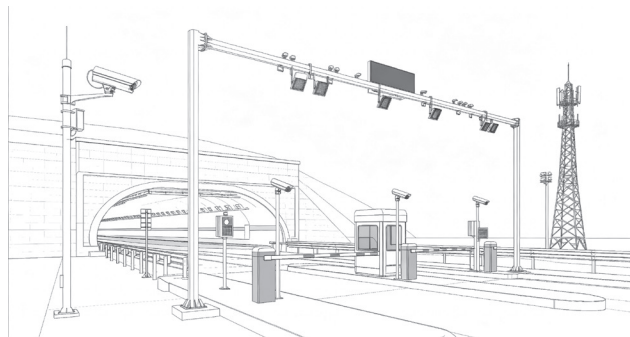


基于 IFC 标准的高速公路机电设施 BIM 数据结构优化与应用分析

文 | 王华斌

随着交通基础设施数字化转型的深入推进，如何在多专业协同且多阶段交叉的复杂工程环境中实现数据的规范流转与智能应用，成为行业关注的核心议题，IFC (Industry Foundation Classes, 工业基础类) 标准作为开放 BIM (Building Information Modeling, 建筑信息模型) 协作体系的数据基础，为打通各软件平台间信息壁垒提供了可行框架，将其引入高速公路机电设施的数据结构优化与智能化应用研究，具备较强的工程参考价值。



(配图由 AI 生成)

高速公路机电设施 BIM 数据管理的现状与挑战

高速公路机电工程的复杂性与“数据孤岛”问题

高速公路机电工程在专业构成方面涵盖监控、通信、收费等多个系统，各系统在建设周期内由不同专业团队分阶段推进，专业间的数据交互频率相当高，但长期缺乏统一信息流转规范。BIM 技术的推广为这一困境提供了新的解题思路，其核心优势在于将规划、设计、施工、运维等全周期信息整合至统一的三维模型载体中。然而各参建单位在建模方式上存在差异，模型在几何表达精度、属性信息深度等维度缺乏一致性约束，导致下游环节难以对上游数据成果进行有效复用，使得 BIM 技术的协同价值大打折扣。

IFC 标准在交通基础设施领域的适配现状

IFC 标准由国际组织 buildingSMART International 提出并维护，其目的是为建筑与基础设施领域不同软件平台提供开放的数据交换语言，从 1997 年首版发布后，IFC 经过多轮迭代演进，到 IFC4.3 版本，已将领域覆盖范围拓展至道路、桥梁、铁路等基础设施领域，新增的 IfcAlignment 路线描述实体意味着 IFC 标准向交通工程场景适配迈出实质性步伐。不过高速公路机电设施在设备类型方面高度专业化，隧道消防系统、情报板、交安标志牌及供电设备等构件在现行 IFC 标准中缺少精细化的实体定义，实际操作中多用代理实体进行概括性表达，信息粒度粗糙无法满足运维阶段资产管理精细化需求。

面向智能化的 IFC 数据结构优化策略

机电设施构件的 IFC 分类编码体系设计

供电、通信、监控、收费、照明、隧道环控等专业，彼此逻辑清晰关联紧密层次多样，在 IFC 标准框架内，为高速公路机电设施构件建立统一编码映射关系，是解决建模阶段分类混乱问题的可行办法，系统能依据内嵌编码规则在构件上传时自动完成赋码，以保证每一类构件标识具有唯一性与可追溯性。编码体系设计需要兼顾机电工程的专业层级结构，把系统级、设备级、部件级的分类逻辑清晰映射到 IFC 的实体层次中，让构件编码和几何模型、属性集及外部关联资源形成稳定的绑定关系。标准化编码体系为构件数据与施工进度管理、质量巡查、资产台账等业务系统自动对接提供索引基础，进而推动机电设施管理从被动响应转变为主动预判。

大数据驱动下的属性信息扩展机制

IFC 标准资源层为几何材料、成本属性等信息资源提供了基础性的表达框架，但在设备运行状态、能耗监测及维护周期等动态信息的结构化描述上存在空白，大数据技术的引入为属性信息的针对性扩展提供了数据依据。通过对运维阶段的传感器采集数据、巡检记录及设备故障档案的挖掘分析，系统能识别不同类型机电设施在各应用场景下的关键属性需求，进而以“属性名称 - 属性值”结构将其纳入 IFC 的 IfcPropertySet 框架，形成可扩展的属性信息模板。经过结构化处理的属性数据可与机器学习 (Machine Learning,

ML)模型对接,支持设备使用寿命预测、能耗异常识别等智能运维功能的工程化落地,属性模板设计应保持开放性,预留扩展接口以适应未来新型设备接入与业务需求变化。

多源异构数据的 IFC 融合方法

设计阶段的 CAD (Computer-Aided Design, 计算机辅助设计) 图纸与 BIM 模型、施工阶段的现场影像以及传感器采集数据等,分别存放在格式不同且平台不一的系统里,IFC 标准依靠层次化的数据模型结构以及开放的交换规范,为上述多源异构数据的融合,提供了语义统一的基础框架。通过 IFC 解析接口把各软件平台导出的模型数据转化成标准格式,再依靠构件匹配机制将几何模型和技术手册、出厂验收资料等非结构化资源,用链接方式关联到对应 IFC 实体,能够构建起以 IFC 数据为核心的集成构件数据集。倾斜摄影技术与 BIM 可视化技术的深度融合进一步拓展了数据融合的空间维度,让机电设施的空间定位精度和环境感知能力得到显著提升,融合后的 IFC 数据还能作为数字孪生平台的底层数据源,支撑机电设施运行状态的实时映射与仿真推演,为高速公路智慧运营管理提供可靠的数据底座。

基于 IFC 标准的高速公路机电 BIM 智能应用实践

BIM+ 工程管控平台的数字化协同应用

以 IFC 标准为数据底座构建的 BIM+ 工程管控平台,将分散在各参建方的进度、质量、安全等业务数据统一关联到三维模型构件上,原本孤立的信息流在可视化空间里形成有机整体。施工进度管理模块通过将模型构件和施工组织计划进行绑定,支持管理人员以构件为粒度开展任务派发与完成情况填报工作,实际进度和计划进度之间的偏差在模型视图中实时呈现并且触发预警。在质量与安全管理方面,施工人员可借助移动端对现场问题进行影像采集、信息填报以及责任指派,相关记录经过审核后自动归档到平台数据库,并和对应模型构件形成关联,为后续的质量溯源与安全巡查提供结构化的数据支撑。平台所积累的多维度过程数据能用于施工资源消耗规律的挖掘分析,推动工程管理从经验驱动朝着数据驱动方向转型。

智能监控与碰撞检测的数据支撑

碰撞检测属于高速公路机电工程中 BIM 技术发挥实际效益的重要应用场景,其有效性依赖各专业模型数据在 IFC 框架下的规范化表达与精准融合,将土建、机电及交安专业的 IFC 模型集成到统一平台后,系统能够自动识别管线交叉、设备干涉等空间冲突点,经过专业人员核验后形成碰撞报告并反馈给设计单位。交安标志牌、情报板与摄像机等设备的遮挡关系检测同样可以在三维模型环境中预先完成,夜间标识、可见性模拟等分析结果为现场安装方案的合理性提供了

量化的验证依据。在智能监控层面,基于 BIM 的三维监控管理系统将综合监控平台与倾斜摄影技术结合起来,让设备运行状态的空间定位从抽象的坐标数值转变为可交互的三维场景,使得管理人员能够快速定位异常设备并调取关联数据。随着物联网 (Internet of Things, IoT) 技术向机电设施管理场景渗透,实时采集的设备状态数据持续反哺 IFC 模型的属性信息,推动静态模型朝着动态数字孪生体演进。

全生命周期数据传递与运维智能化展望

IFC 标准对全生命周期数据传递的支撑能力高低,决定了高速公路机电设施建设阶段积累的信息资产能否在运维阶段有效继承与深化利用。设计阶段形成的构件几何模型与属性信息、施工阶段补充的安装记录与验收资料、设备厂商提供的产品技术手册,均以链接或内嵌方式归集到统一的 IFC 构件数据集,运营单位接收的不再是零散纸质文档,而是承载完整信息脉络的结构化数字资产。以 IFC 模型为索引,企业资产管理系统可实现设备台账的自动同步与资产状态的动态追踪,巡检人员通过扫描构件二维码,调取该设备的全周期档案,维修记录、备件消耗与保养计划在同一数据入口完成闭环。面向未来,基于 IFC 属性数据与历史运维数据训练的预测模型,将具备对机电设施健康状态主动评估的能力,高速公路机电运维管理有望从定期巡检被动模式,向状态感知驱动的预防性维护模式转变。

结束语

围绕高速公路机电设施 BIM 数据结构的优化与智能化应用研究,从数据管理现状和 IFC 标准适配问题着手开展,提出了面向机电设施的 IFC 分类编码体系设计思路、大数据驱动的属性信息扩展机制以及多源异构数据融合方法,并进一步探讨了 BIM+ 管控平台协同应用、智能碰撞检测与全生命周期数据传递等实践路径。IFC 标准在高速公路机电领域的深化应用仍有较大拓展空间,后续研究可推进机电设施专属 IFC 实体的扩展定义工作,推动数字孪生技术与预防性运维模式实现工程化落地。

作者简介: 王华斌 浙江数智交院科技股份有限公司

责任编辑: 徐培炎 投稿邮箱: zhouhl@staff.ccidnet.com