

基于BIM技术的电力工程建设全过程管理应用研究

王栓柱

华润新能源（沧州）有限公司 河北 沧州 061018

摘要：BIM技术借助三维可视化建模与全生命周期数据集成，为风电土建工程建设带来了创新的管理模式。其关键作用在于打破设计、施工、运维等环节的信息阻碍，达成多维度协作与动态优化。在风电土建工程中，BIM技术能够有效解决传统管理模式出现的空间冲突、进度拖延、资源浪费等问题，同时通过虚拟仿真与智能化分析提高工程的可控程度。然而，目前的应用仍面临数据标准缺乏、跨专业协作效率低、技术适配性欠佳等挑战。本文从风电土建工程全流程的角度出发，探讨BIM技术在标准化体系构建、多学科协同机制优化、安全风险预控等方面的实施路径，提出基于全生命周期数据驱动的管理框架，为风电行业数字化转型提供理论依据与实践参考。

关键词：BIM技术；风电土建工程；多学科协同；数字化运维

1 引言

风电土建工程系统复杂，传统管理模式难满足精细化需求。BIM技术可集成建筑信息、协同管理，在设计优化等方面优势显著，能整合工程数据、提供可视化支持。但风电土建工程的风机基础设计等特殊需求，对BIM技术适配性要求更高。本文聚焦其在风电土建工程全过程的应用瓶颈与解决策略，探索管理创新路径，助力行业智能化、集约化发展。

2 基于BIM技术的风电土建工程建设全过程管理应用研究的意义

BIM技术整合风电土建工程设计、施工、运维阶段数据流，构建全生命周期信息模型。设计阶段，三维可视化建模精准呈现风机基础布局、塔筒位置等复杂空间关系，消除二维图纸认知偏差。^[1]施工阶段，基于BIM的进度模拟与资源调度系统，实时对比计划和实际工程量，动态调整施工方案，降低工序冲突延误风险。运维阶段，关联设备参数、检修记录等数据形成数字化资产台账，支撑故障预测与预防性维护，提升工程透明度与管理效率。

风电土建工程涵盖电气、结构、岩土等多领域，专业交叉性极强，各环节紧密关联又极易产生协调难题。BIM技术凭借统一数据标准与协同平台，搭建起各专业沟通桥梁，有效打破专业壁垒。以风机基础建设为例，借助其碰撞检测功能，能敏锐察觉电气预埋与钢筋布置的潜在冲突，提前预警，大幅减少返工，节省时间与成本。不仅如此，BIM模型融合GIS、IoT，让宏观规划与微观操作得以联动。比如风电场选址，叠加地质、生态数据，可优化风机布局，有力推动风电土建工程从孤立的单一项目管理迈向区域资源整合的新阶段，挖掘更大

发展潜力。

3 基于BIM技术的风电土建工程建设全过程管理应用研究的问题

3.1 数据标准化体系缺失

风电土建工程涉及大量异构数据，包括风机设备参数、施工日志、监测信号等，但目前BIM应用缺乏统一的数据分类与编码标准。设计单位使用不同软件生成的模型难以兼容，导致施工阶段需要重复建模。^[2]此外，风机设备厂商提供的产品数据格式差异较大，模型轻量化处理时容易丢失关键属性，影响运维阶段的数据调用。这种碎片化的数据管理加剧了信息孤岛现象，制约了BIM技术在跨阶段、跨系统场景中的深度应用。

3.2 跨专业协同机制低效

风电土建工程设计需要协调电气、土建、岩土等多专业团队，但传统协作模式依赖阶段性成果交付，难以实现实时交互。例如，电气专业修改电缆敷设路径后，土建专业未能同步调整预埋套管位置，导致施工阶段返工。BIM协同平台虽然可以提供共享模型，但缺乏权限分级与冲突预警机制，设计变更常常引发连锁反应。同时，部分专业人员对BIM技术理解不足，仍然依赖二维图纸进行沟通，降低了协同效率。

3.3 技术适配性不足

通用BIM软件对风电土建工程特殊需求的支持有限。例如，风机基础的承载能力计算、塔筒的垂直度监测等专业分析模块缺失，需要依赖第三方插件或二次开发。此外，大型风电场项目模型包含大量构件，现有硬件难以承受实时渲染与数据运算，导致操作卡顿甚至崩溃。这种技术断层使得BIM应用大多停留在可视化展示层面，未能充分发挥其决策支持价值。

3.4 信息安全风险突出

BIM 模型集成了工程设计图纸、风机设备参数等敏感信息,但目前风电土建工程 BIM 平台普遍缺乏分级加密与访问控制机制。施工承包商、设备供应商等第三方机构可以通过模型获取核心数据,存在商业机密泄露风险。此外,云端协同模式下,模型传输容易受到网络攻击,导致数据篡改或丢失。例如,某大型风电场项目曾因模型服务器遭受恶意入侵,延误了关键节点验收。

3.5 运维阶段延伸不足

目前 BIM 技术应用大多集中在设计施工阶段,运维管理仍然依赖传统台账系统。竣工模型未与设备传感器、SCADA 系统对接,无法实现实时状态监测。例如,风机塔筒出现倾斜时,运维人员需要手动调取历史图纸定位故障点,延误抢修时机。此外,BIM 模型更新机制缺失,设备改造后未同步修正模型数据,导致“数字孪生”与物理实体脱节。

4 基于 BIM 技术的风电土建工程建设全过程管理应用研究的对策

4.1 构建风电土建工程 BIM 标准体系

在风电土建工程里,数据异构极大地限制了 BIM 技术的高效运用,故而构建专用 BIM 标准刻不容缓。此标准囊括模型精度、数据接口和属性编码等重要部分。

《风电土建工程三维设计建模规范》对风机基础模型的 LOD 有明确界定。重力式风机基础因对风机稳定运行至关重要,构建模型时需达到 LOD400 精度。像海上风电项目,该精度模型能清晰展现钢筋布置和预埋件与混凝土的连接细节,为施工提供精确参照,保障基础施工质量。不过,场内道路这类附属设施,对风电整体功能影响较小,LOD200 精度便足够。在内陆风电项目中,以此精度构建的场内道路模型,能清晰呈现道路走向、坡度等关键信息,避免资源浪费。

为解决数据格式不统一的问题,开发风电设备族库意义非凡。统一厂商数据格式后,风机叶片、塔筒等关键部件参数能顺利导入模型。^[3]例如,大型风电设备制造企业与项目建设方合作时,借助统一族库,可把不同批次采购的风机塔筒数据准确整合到 BIM 模型中,提升设计与施工协同效率,减少设计返工。

依托 IFC 标准构建数据交换中间件,是实现不同软件与风电管理系统无缝对接的关键。Revit、Bentley 等主流设计软件与风电管理系统常因数据格式和接口差异产生信息割裂,数据交换中间件可对不同格式数据进行转换适配。在风电工程设计项目中,设计团队用 Revit 建模,经中间件将模型数据传输至风电管理系统,为后续

施工进度管理、成本控制等提供完整数据支持,避免信息孤岛现象。

4.2 优化多学科协同管理机制

在大型风电场项目里,多学科协同作业的高效管理直接关乎项目成败。“主模型+专业子模型”的协同模式成效显著。电气专业基于对风电系统架构的深刻认知搭建主模型,像在风电场升压站设计中,明确电气设备布局与电力传输线路走向,为土建专业开展建筑设计奠定基础。土建、岩土等专业通过子模型提交成果,各子模型既与主模型关联又相对独立。系统运用算法自动检测各专业模型空间冲突,一旦发现,立即生成预警报告,定位冲突位置与涉及专业。比如在风电场项目中,及时发现风机基础与地下电缆铺设路径冲突,有效避免施工返工,节省成本与时间。

基于 BIM 建立变更追踪链,是有序管理设计变更的得力手段。设计修改时,系统自动检查关联构件,以红绿灯标识影响范围。红色代表需即刻调整的构件,黄色表示有潜在冲突部分。例如调整风机机位布局,系统能迅速捕捉到对场内道路走向与基础位置的影响,并自动提示相关专业负责人同步修改,保障变更信息准确传达,避免设计失误与施工延误。在风电项目施工中,因地质条件变化调整风机基础形式,该追踪链可快速反馈对周边设施的影响,助力项目顺利推进。

BIM+VR 联合评审为各专业团队开辟全新沟通协作途径。专业人员借助虚拟现实设备核查模型,能直观发现设计问题,探讨风机布局、基础施工及设备安装的合理性与便利性。相比传统评审,大幅降低沟通成本,提升评审效率与质量。在风电场项目评审中,通过此联合评审发现风机基础施工场地狭窄不利于大型设备作业问题,及时优化设计方案,规避施工阻碍。

4.3 开发风电土建工程专用 BIM 工具箱

风电土建工程有独特技术需求,现有 BIM 技术适配欠佳,研发集成风电分析功能的 BIM 插件成为当务之急。

在风机基础设计环节,插件嵌入承载能力计算模块。此模块综合风机重量、风荷载、地震作用等因素,运用力学算法生成力学仿真结果,直观呈现风机基础在不同工况下的受力状态,并反馈至三维模型,为设计人员优化基础设计提供有力数据支撑,确保风机基础安全稳定承载风机。以高海拔风电项目为例,设计人员借助该模块模拟分析不同基础方案,从而确定合适的基础形式,保障风机安全运行。

塔筒施工时,插件集成垂直度监测工具。通过高精度传感器实时采集塔筒垂直度数据并传输至 BIM 模型,

一旦垂直度偏差超出预设范围,系统即刻报警并定位偏差位置,指导施工人员及时调整,保障塔筒安装精度与安全性。在风电塔筒安装项目中,该工具及时发现并纠正垂直度偏差,有效避免安全隐患,保证安装质量。

对于大型风电场模型,插件采用轻量化引擎(如 WebGL)进行 LOD 动态加载。远景时自动显示简化模型,减少数据加载量,提升浏览流畅度;聚焦特定风机或基础设备时,依预设 LOD 规则加载精细构件,展示详细信息,为设计、施工、运维各阶段提供便捷模型应用体验。在超大型风电场运维管理中,运维人员可借助轻量化模型快速浏览全场风机分布,当需了解某台风机基础状况时,通过动态加载获取详细信息,大幅提高运维效率。

4.4 强化全生命周期数据安全

在风电土建工程全生命周期中,数据安全至关重要。构建分级授权管理体系是保障数据安全访问的基础。设计阶段,核心设计信息仅对内部设计团队开放编辑权限,如风机基础创新性设计方案,确保保密性和完整性。施工阶段,根据项目需求向承包商开放局部视图,提供必要信息,限制敏感设计数据访问,防止整体设计数据外流。运维阶段,对外提供只读访问权限,保护原始设计和核心数据安全。

采用区块链技术实现数据溯源,是确保数据真实性、防篡改的重要手段。BIM 模型每次修改都会生成唯一哈希值并记录在区块链上,基于其分布式账本特性,数据难以被篡改,可追溯模型数据变更的时间、人员及具体内容。例如在风机叶片更换项目中,能追溯叶片型号变更过程,为全生命周期管理提供数据安全保障。

部署边缘计算节点可有效应对数据传输安全风险。风电土建工程存在诸多敏感数据,在本地服务器部署边缘计算节点,能在数据源头实时处理和分析敏感数据,减少向云端传输需求,降低网络传输导致的数据泄露风险。在偏远地区风电场,因网络信号不稳定且有安全风险,部署边缘计算节点在本地完成风机运行数据的分析处理,有力保障数据安全与项目稳定运行。

4.5 延伸 BIM 运维应用场景

建立 BIM + IoT 融合的智能运维平台,是风电设施高效运维的创新路径。该平台紧密关联 BIM 模型与实时监测数据,能实时掌控风机设备运行状况。以风机塔筒为例,嵌入振动、应变等传感器,其采集的振动、应力

数据实时传输至平台。一旦参数超出安全阈值,平台依 BIM 模型定位,精准锁定故障点,自动生成检修工单并推送给运维人员。在风电场,借助此平台及时察觉塔筒应力集中问题,运维人员迅速检修,避免塔筒损坏,提升风机运行可靠性,降低故障率与维修成本。

开发基于 BIM 的 AR 巡检系统,为运维人员带来便捷高效的巡检方式。运维人员佩戴智能眼镜,设备参数、历史维护记录等 BIM 模型信息可与现场设备叠加显示。靠近设备时,智能眼镜自动展示设备名称、型号、运行状态及过往维护情况,无需翻阅资料,大幅提升巡检效率,减少人为失误,保障设备良好运行。风电场巡检中,运维人员借此系统快速发现风机基础螺栓松动,及时处理,确保风机安全。

构建模型版本管理机制,是确保数字孪生与实体工程一致的关键。风电设备改造后,运维人员及时将新设备参数、安装位置等改造信息更新至 BIM 模型。系统自动比对前后版本,生成详细变更报告,记录变化内容与原因。无论实体工程如何变动,BIM 模型都能实时准确反映实际,为后续运维提供可靠依据,实现风电土建工程全生命周期精细化管理。如风机叶片升级改造项目,通过该机制详细记录叶片更换后的参数变化,助力后续运维。

5 结束语

BIM 技术正深刻地重构风电土建工程管理模式,从碎片化管控转向全流程协同,从经验驱动转向数据驱动。通过标准化体系建设、多学科协同优化、安全防护强化等策略,可以有效突破当前应用瓶颈。未来,随着数字孪生、人工智能等技术的融合,BIM 将更深度地赋能风电场规划、灾害应急、碳足迹追踪等场景,推动风电土建工程向智能化、绿色化方向演进。行业需要加快技术迭代与生态共建,释放 BIM 在新型风电系统建设中的核心价值,为我国能源转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1]莫世燕.基于BIM的建设工程全过程造价管理研究[J].工程技术(引文版),2016,000(003):00047-00047.
- [2]蒋毅敏,张敏.工程全生命周期造价管理中BIM技术的应用研究[J].江西建材,2019(8):2.DOI:CNKI:SUN:JXJC.0.2019-08-129.
- [3]李珺;黄东.浅谈BIM技术在电力工程数字化管理中的应用[J].2024.