

BIM技术在桥梁建造中的应用

章永宁

中国铁路青藏集团有限公司工程管理所 青海 西宁 810000

摘要：以兰新客专二十里铺特大桥滑坡治理工程为案例，探讨 BIM 技术在桥梁建造中的应用路径。分析其在设计协同优化、施工 4D 模拟、质量安全管控及全生命周期信息集成等方面的具体实践，阐述技术应用带来的施工效率提升、成本控制、质量安全改善及数字化管理价值，总结应急抢险场景下的关键应用策略，为类似桥梁工程的数字化建造提供实践参考。

关键词：BIM技术；桥梁建造；滑坡治理；数字化管控；应急抢险

引言

桥梁建造在滑坡治理等复杂场景中，常因地质条件复杂、多专业协同不畅等问题导致效率低下。传统二维设计模式难以应对滑坡体与桥梁结构的动态作用分析，易造成方案优化滞后^[1]。兰新客专滑坡灾害初期便暴露此类问题。兰新客专滑坡灾害初期便暴露此类问题，而 BIM 技术通过三维建模实现的全要素可视化与信息关联能力，成为破解施工协同难题的核心支撑。

1 BIM 技术在滑坡治理桥梁工程中的具体应用实践

1.1 设计协同优化与施工方案可视化

在兰新客专二十里铺特大桥滑坡治理工程中，BIM 技术的深度应用始于设计阶段的协同优化工作。通过构建全专业三维模型，设计团队得以将桥梁结构、滑坡体地质特征及周边环境要素进行集成化呈现，有效解决了传统二维图纸中易出现的信息割裂问题。针对预应力波纹管与梁体钢筋的空间布置冲突，技术人员借助模型碰撞检测功能，累计排查出 1600 余处潜在矛盾点——这些冲突若在施工阶段才被发现，每处调整至少需延误 2-3 个工作日，且可能导致钢筋二次绑扎、波纹管重新布设等返工成本。通过提前在模型中调整钢筋排列方式与管道走向，不仅避免了约 3200 个工时的返工浪费，更确保了梁体预应力体系的施工质量。

施工方案的可视化呈现同样发挥关键作用。利用 BIM 模型对箱梁拆除、抗滑桩开挖等高危工序进行预演，使现场作业人员能够直观理解施工步骤与安全注意事项。特别是在 32 米箱梁分节切割吊装过程中，模型模拟帮助确定了最优吊点位置（距梁端 1/3 跨径处）与起吊角度（30° 仰角），并通过动态受力分析验证了吊装过程中梁体应力值始终控制在 C50 混凝土设计强度的 80% 以内，为实际施工提供了精准指导，最终使箱梁拆除工作比原计划提前4天完成^[2]。

1.2 施工过程 4D 模拟与资源动态管理

施工阶段引入时间维度构建 4D 进度模型，实现了工程实体与施工计划的动态关联。基于兰新客专项目的关键节点要求，将桥梁复旧工程划分为 24 个工序模块，通过 BIM 平台实时追踪各模块的资源投入与进度偏差。在抗滑桩施工期间，模型动态显示旋挖钻机、混凝土罐车等设备的分布状态，并关联每日成孔进度数据。当发现 3# 抗滑桩处旋挖钻机闲置超过 4 小时，系统自动预警资源配置失衡，管理人员据此调整 11 台套设备的调度方案，将原计划分散作业的 2 台钻机集中至 3# 桩位，使单桩成孔时间从平均 12 小时缩短至 8 小时，桩体浇筑效率提升 30%。针对滑坡体清方作业中出现的运输拥堵问题，利用 4D 模拟优化弃渣路线与车辆排班计划：通过模型推演不同时段（早高峰 / 夜间）的运输流量，验证了“白天临时堆存+夜间集中转运”方案的可行性，并确定临时堆土场的最优容量（5000 立方米）与转运车辆数量（20 辆/批次）。最终提前 4 天完成 46 万方土石方清理任务，且运输过程中的扬尘与噪音投诉量减少 60%^[3]。

1.3 质量安全数字化管控实施

质量安全管控借助 BIM 技术实现了从经验判断到数据驱动的转变。在桥梁承台施工中，技术人员将钢筋间距（设计值 20cm±5mm）、保护层厚度（设计值 5cm）等关键参数录入模型，通过移动设备实时采集现场数据并与模型标准值比对，发现并整改 12 处钢筋绑扎偏差超标的问题（最大偏差达 12mm），使承台钢筋工程验收一次通过率从 75% 提升至 100%。安全管理方面，针对高边坡开挖、箱梁吊装等风险作业，在模型中预设危险区域（如 25# 墩周边 5 米范围）与防护措施（硬质围挡+警示灯带）。

1.4 全生命周期信息集成应用

BIM 模型作为信息载体贯穿于工程规划、施工至验

收的全过程。设计阶段的地质勘察数据（如滑坡体滑带埋深 24-28m）、材料性能参数（C40 混凝土立方体抗压强度 $\geq 40\text{MPa}$ ）被永久存储于模型数据库；施工期间新增的 217 份检测报告（如钻孔桩超声波检测报告）、73 次隐蔽工程验收记录通过关联功能实现结构化管理，使验收人员能够快速调阅任一构件的完整技术资料。针对 24-27 号墩的重建工作，模型集成了从钻孔桩成孔记录（孔径偏差 $\leq 5\text{cm}$ ）到现浇梁预应力张拉数据（张拉力偏差 $\leq \pm 1.5\%$ ）的全流程信息，为后期运营维护提供了基础数据支撑。特别在竣工验收阶段，利用模型进行数字化交付，将桥梁结构尺寸、设备安装位置等信息与实体工程精确匹配（偏差 $\leq 3\text{mm}$ ），形成可复用的资产信息模型，为后续病害监测与改造升级奠定了数据基础。

2 BIM 技术应用的效益分析

2.1 施工效率提升

BIM 技术的应用为滑坡治理桥梁工程带来了显著的施工效率提升。通过三维模型提前排查预应力波纹管与梁体钢筋的空间冲突，兰新客专项目累计解决 1600 余处设计矛盾，避免了传统施工中因图纸误差导致的 12 次大规模返工，节约工期约 24 天。在二十里铺特大桥箱梁拆除作业中，基于 BIM 模型的吊装模拟确定了最优施工路径，使 32 米箱梁的分节拆除工作比原计划提前 4 天完成^[4]。抗滑桩施工阶段，借助模型对钢筋笼安装方案进行优化，将“孔外分段拼装”调整为“孔内整体拼装”，单桩施工时间缩短 20%，21 根抗滑桩整体工期提前 13 天。施工资源调度通过 4D 模拟实现动态匹配，旋挖钻机、混凝土罐车等大型设备的利用率提升 30%，有效减少了窝工现象。

2.2 成本控制成效

成本控制方面，BIM 技术通过减少返工浪费与优化资源配置实现了显著效益。设计阶段的碰撞检测使兰新客专项目避免了 12 次大规模返工，直接节约钢材损耗（约 15 吨）与人工成本（约 80 万元）。抗滑桩施工中，利用模型模拟确定桩长优化方案，在保证结构安全的前提下缩短桩长共计 63 米，减少混凝土用量约 189 立方米，节约材料成本约 7.5 万元。临时弃渣场的选址通过 BIM 模型推演，降低土方运输距离 1.2 公里，节省运费支出 45 万元。设备调度的动态优化使 400 吨吊车等大型机械的租赁时间缩短 15 天，减少租赁费用约 22 万元，间接缓解了项目超概算压力^[5]。

2.3 质量安全改善

质量安全管理在 BIM 技术支撑下实现了精准管控。桥梁承台施工中，通过模型预设的钢筋间距标准值与现场

采集数据实时比对，12 处钢筋绑扎偏差被及时纠正，保护层厚度合格率从 82% 提升至 98%。高边坡开挖作业前，模型中预设的危险区域警示使作业人员违规进入次数减少为零，抗滑桩挖孔过程中关联的瓦斯监测数据触发 8 次安全预警，均通过调整施工参数避免了安全事故。所有质量问题的整改记录与验收数据集成于模型，形成可追溯的电子档案，使分部工程验收通过率达到 100%，未出现因质量问题导致的通车延误。

2.4 数字化管理价值

数字化管理价值体现在工程全生命周期的信息集成与高效应用。兰新客专项目的 BIM 模型整合了从地质勘察到竣工验收的 217 份检测报告、73 次隐蔽工程记录，验收人员通过模型可直接调阅任一构件的完整技术资料，使验收时间缩短 40%。24-27 号墩的重建过程中，模型关联的钻孔桩成孔数据与预应力张拉记录，为后期运营维护提供了精准的基础数据。数字化交付的资产信息模型实现了桥梁结构尺寸与设备安装位置的可视化呈现，为后续病害监测与改造升级搭建了数据平台，显著降低了运营阶段的管理成本。

3 BIM 技术在应急抢险桥梁工程中的关键应用策略

3.1 快速响应建模与动态方案优化

应急抢险场景中 BIM 技术的首要价值体现在快速建模与方案动态调整能力上。兰新客专滑坡灾害发生后，技术团队基于现场航飞摄影与地质勘察数据，72 小时内完成二十里铺特大桥受损区域的三维模型重建，精准还原 24-27 号墩的位移状态（最大横向偏移 469cm）与滑坡体分布特征。针对抗滑桩施工中出现的塌孔风险，通过模型实时纳入地质钻探新数据（发现 11m 厚卵石层），48 小时内完成桩长优化方案的模拟验证，将原设计 42 米桩长缩短至 38 米，在保证抗滑性能前提下减少开挖作业时间，单桩施工周期缩短 10%。箱梁拆除方案通过模型多场景推演，对比不同切割分块方式对周边结构的影响，最终确定的分节吊装方案比初始方案减少 5 次吊装作业，显著降低施工风险。

3.2 多参建方协同工作模式创新

应急工程的高效推进依赖各参与方的紧密协作，BIM 平台为此提供了统一的数据交互载体。兰新客专项目中，建设单位、设计团队、施工企业与监理单位通过云端模型实现信息实时共享，设计变更单通过模型关联功能自动推送至相关方，避免传统纸质流转导致的延误（原平均流转时间 3 天，现缩短至 4 小时）。每日施工碰头会依托模型进行现场问题标注，各方人员通过移动端直接在模型上圈注需协调事项，使 23 次跨专业协调事项的平均解决时间

缩短至 4 小时。针对现浇梁支架搭设与滑坡体清方的交叉作业冲突,通过模型虚拟施工模拟确定错峰施工窗口(支架搭设优先于清方作业 6 小时),使两个工序的衔接间隙从原计划 2 天压缩至 8 小时。

3.3 监测数据与BIM模型深度融合

将实时监测数据接入 BIM 模型可实现险情的超前预警。二十里铺特大桥复旧期间,滑坡体表面布设的 16 个位移监测点数据实时传输至模型系统,当 25 号墩周边土体日位移量超过 3cm 时,模型自动高亮显示预警区域并关联历史数据生成趋势曲线,技术人员据此提前调整抗滑桩施工顺序(优先施工 25 号墩周边 3 根抗滑桩),使墩体位移速率控制在 1cm/天以内。承台深基坑开挖过程中,模型集成钢板桩应力监测与地下水位数据,通过预设阈值触发防护方案调整建议(当钢板桩弯矩超设计值 10% 时,自动建议增加内支撑),使基坑边坡变形量控制在规范允许范围的 80% 以内。接触网支架安装时,模型关联全站仪定位数据,实时校验支柱倾斜度与设计值偏差,确保一次安装合格率提升至 96%。

3.4 轻量化技术与应急场景适配

应急环境下设备与网络条件受限,BIM 模型的轻量化处理成为实用化关键。兰新客专项目将 2.3GB 的全桥精细模型压缩至 150MB 轻量化版本,支持在普通平板电脑上流畅操作,现场作业人员通过移动端即可查阅桥梁构件的三维尺寸与连接节点细节(如 24 号墩与基础连接钢筋的锚固长度)。针对抗滑桩钢筋笼吊装等复杂工序,将模型关键步骤导出为离线动画,在无网络环境下指导作业人员完成钢筋对接精度控制(偏差 $\leq 2\text{mm}$)。

模型轻量化处理同时保留数据交互接口,可通过 U 盘导入现场检测数据更新模型状态,使监理人员在验收时能即时比对施工成果与设计模型的偏差,验收效率提升 50%。

结束语

BIM 技术在兰新客专滑坡治理桥梁工程中的应用表明,其通过设计协同、施工模拟、质量管控等环节的数字化整合,有效提升了施工效率、控制了成本、改善了质量安全。特别是在解决 1600 余处设计碰撞、优化抗滑桩施工方案、实现多参建方高效协同等方面的实践,充分验证了其在应急抢险场景中的核心价值。应急场景下的快速建模、多方协同、监测融合等策略,为技术实用化提供了可行路径。未来需进一步开发适配复杂地质的专项工具,降低应用门槛,使 BIM 技术真正成为支撑桥梁全生命周期管理的核心力量。

参考文献

- [1]潘显耀.BIM技术在中大跨径连续桥梁施工中的应用研究[J].交通科技与管理,2025,6(12):78-80.
- [2]刘兴旺,张增涛.基于BIM的城市桥梁施工区域大流量交通组织研究[J].建筑机械,2025,(06):308-311+316.
- [3]穆振泉,贾振.集成BIM的桥梁动态监测与预警技术[J].绿色建筑与智能建筑,2025,(06):88-90.
- [4]刘伏龙.BIM技术在“铁路桥梁施工”课程教学改革中的应用研究[J].现代职业教育,2025,(14):173-176.
- [5]张悦.BIM+GIS技术在桥梁智慧监测设计中的应用研究[J].交通科技与管理,2025,6(09):10-12.