

大型水利枢纽施工安全管理的难点分析及数字化改进方案

朱广超

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：大型水利枢纽工程关系到国民经济和社会发展，因此突出了工程施工安全管理的重要性，不仅保证了施工人员的安全性，同时直接关系到施工质量和进度。但是大型水利枢纽施工安全管理的难度较大，为了规避工作问题，需要实现施工安全管理的数字化改进，实时监测和预警施工安全风险，提高整体安全管理水平。本文结合大型水利枢纽施工安全管理的难点，提出针对性的数字化改进方案，为类似工程的安全管理工作提供参考。

【关键词】：大型水利枢纽；施工安全管理；难点；数字化改进方案

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.091

在大型水利枢纽工程建设中施工安全管理发挥重要作用，有利于保障施工人员安全和施工进度以及工程质量等。因为大型水利枢纽工程规模较大，涉及较多的影响因素，因此增加了安全管理的难度。如果发生安全事故，将会威胁人员安全，增加工程经济损失。因此研究大型水利枢纽施工安全管理数字化改进方案具有重要的意义，有利于降低施工中安全隐患发生率，保障工程经济效益和社会效益。

1 大型水利枢纽施工安全管理的难点

1.1 施工现场环境复杂

(1) 地理环境的影响：大型水利枢纽工程的施工区域地理条件复杂，例如在山区和河流交汇区、峡谷等地带修建工程，这些地理环境增加了工程施工难度^[1]。山区地形条件十分复杂，地质构造缺乏稳定性，很容易出现各种地质灾害，威胁施工人员和设备的安全性。此外河流区域水流条件很容易发生变化，因为水流冲刷影响，将会引发河岸坍塌和地基失稳等问题，在提高施工难度的同时增加了安全隐患。因此施工单位要结合地质条件和水文变化，采取科学的技术措施应对风险因素。

(2) 气候条件的影响：气候条件直接影响水利枢纽工程施工安全，例如出现暴雨和洪水以及大风等极端天气，将会直接影响施工安全性。例如强降雨天气会引发施工现场积水问题，不利于正常地使用机械设备，甚至会引发触电事故。而发生洪水灾害，将会破坏工程临时设施，还会威胁施工人员的安全性。此外大风天气会威胁高空作业的安全性，很容易引发物体坠落和设备倾覆问题，对施工安全管理提出较高的要求。因此在气候条件的影响下，增加施工安全管理的复杂性，需要施工单位采取合适的措施，积极应对潜在风险。

1.2 施工工序复杂且交叉作业频繁

(1) 工序复杂性：大型水利枢纽工程的施工规模较大，整体施工工序十分复杂。在工程施工各环节涉及复杂的技术措

施和施工流程，不同施工工序之间的联系十分紧密，增加了施工组织难度，同时要求提高安全管理水平。例如在水利工程枢纽工程施工过程中，要协同推进混凝土浇筑和金属结构安装以及电气系统调试等工序，某个环节出现问题，将会直接影响整体施工进度和安全性^[2]。此外不同工序的技术标准和质量要求是不同的，因此要提高施工管理人员的专业性，顺利衔接每个施工环节，但也因此增加了安全管理的难度。

(2) 交叉作业风险：大型水利枢纽工程存在普遍的交叉作业情况，提高了安全事故发生率。例如同时开展土建施工和机电安装，如果没有合理协调将会引发机械伤害和物体打击等问题。此次同时进行高空作业和地面作业，如果施工单位没有采取隔离措施，可能会引发高空坠物等问题。此外交叉作业中还会引发设备使用问题，例如在同一区间使用多台大型机械设备，如果施工单位没有做好调度指挥工作，将会提高设备故障发生率。因此合理安排不同施工队伍的作业，有利于减少交叉作业安全问题。这也是当前工程施工安全管理的重点。

1.3 人员和设备管理难度较大

(1) 人员管理问题：大型水利枢纽工程施工中要配置较多的施工人员，而且具有较大的流动性，此外施工团队综合素质有待提高，因此增加了安全培训和监督的难度。首先施工人员的流动性特点，将会降低施工培训的覆盖面，新员工缺乏安全知识直接工作，将会加剧施工安全事故风险。其次不同工种的人员专业性差异性较大，一些施工人员没有深入了解复杂工艺，存在操作失误和违规等问题^[3]。因为劳动力庞大且分散，不利于管理人员及时处理安全隐患，提高了安全管理的难度。完善系统化人员管理机制，有利于增强施工人员的安全意识，保障整体施工安全性。

(2) 设备管理问题：在实际施工中需要利用较多类型和数量的设备，因此增加了维护和操作管理的难度。一方面在施工中要利用各种起重设备和挖掘设备等，因此增加了设备维护

的压力。如果没有及时维护设备，将会提高设备故障发生率。另一方面需要提高设备操作的安全性，操作人员的技术水平和工作经验关系到设备使用效果。因为在施工现场密集地布置各种设备，如果没有做好规划调度工作，将会增加设备干扰。因此完善设备管理体系，有利于提高设备运行的正常性，提高工程安全管理水平。

2 大型水利枢纽施工安全管理的数字化改进方案

2.1 数字化监测系统

(1) 传感器技术应用：大型水利枢纽工程施工条件十分复杂，涉及地质变形和水位变化以及气候条件等影响因素，通过利用传感器技术有利于实时监测各种环境参数，有利于提高施工安全管理的科学性。例如利用分布式光纤传感器精准地监测坝基和边坡的变形，及时处理地质灾害。此外利用水位传感器动态采集水位数据，并利用气象传感器获取降雨量和风速等数据，完善整体预警模型，提高灾害预测水平。基于传感器技术完成监测工作，通过精准采集数据，有利于提高安全管理水平，有效防控施工风险问题。传感器技术的灵敏度和实时性较强，同时也增加了技术挑战。例如地质条件十分复杂，要求施工单位精准布置和校准传感器，同时要长期做好传感器维护工作^[4]。因此在实际工作中要结合工程特点合理设计传感器网络，完善数据处理和分析机制，提高监测结果的科学性。

(2) 视频监控技术：在数字化监测系统各种视频监控技术发挥重要的作用，有利于全面、实时监督工程施工现场的安全性。在关键部位布置高清摄像头和智能分析设备，方便管理人员掌握施工现场实际情况，精准识别施工中的安全隐患。例如综合利用视频监控系统 and 人工智能算法，有利于精准监测施工人员和设备状态，如果发现异常问题将会立即发出报警信息，提醒施工人员及时处理问题，降低安全事故发生率。

利用视频监控技术有利于高效地响应突发事件，发生自然灾害和安全事故之后，管理人员要利用远程监控平台掌握现场实际情况，制定科学的救援方案。利用这项技术有利于高效管理施工，同时无需管理人员进入危险区域。但是在使用视频监控技术的过程中也存在挑战，例如数据传输带宽和存储需求等都会限制技术推广。因此要结合实际施工需求优化设计和部署监控系统，切实提高施工安全管理水平。

2.2 基于 BIM 技术的安全管理

(1) 基于 BIM 的安全监控：在工程安全管理中利用 BIM 技术自动化监控施工过程，有利于提高施工安全性和施工效率。利用 BIM 模型有利于可视化展示施工项目，同时有利于增加施工信息类型。例如结合 BIM 模型和物联网传感器，有利于获取施工现场的各种信息，并利用无线网络向中央监控服

务器传输数据，提高数据实时分析和处理水平。为了提高现场监控的自动化水平，可以选用基于机器学习的异常检测算法，通过历史数据训练模型，及时发现异常数据模式。

在实际工作中，系统首先预处理历史数据，采取的预处理措施包括数据清洗和归一化以及特征提取。随后利用数据对异常检测模型进行训练，完成训练之后，在中央监控服务器中部署模型，有利于对新的监控数据实时处理。如果发现异常问题，系统将会发出预警信息，提醒管理人员处理问题。此外在系统中融合预警系统，有利于高效处理安全问题。例如传感器发现湿度或者温度较高，系统将会发出预警。为了优化系统使用性能，利用数据融合算法对不同传感器的数据进行整合，该算法利用加权平均方式，对不同的传感器数据合理结合，有利于提高监控精准性。融合之后的数据如下式所示：

$$S = \sum_{i=1}^M W_i \times S_i$$

上式中， S 代表融合之后数据； S_i 代表第 i 个传感器的数据； W_i 代表权重； M 代表传感器数量；权重 W_i 以传感器准确性和可靠性实时调整，保证融合的数据将施工现场的实际情况准确地反映出来。

(2) 基于 BIM 的施工自动化管理平台：利用 BIM 技术监控施工安全，可以综合 BIM 模型和物联网传感器以及自动化算法构建自动化管理平台，将 BIM 技术优势充分发挥出来。在设计平台架构中利用模块化和层次化设计模式，突出不同功能模块的独立性和可操作性。整体平台包括数据层和服务层以及应用层，其中数据层负责对工程数据存储和管理，服务层负责处理和分析数据，并提供可视化服务，有利于实时更新数据，便利地查询历史数据。应用层为操作界面，有利于施工单位可视化监控施工过程，提高进度和质量管理的水平^[5]。结合大型水利枢纽施工要求，在该平台中部署了专项功能模块，例如高边坡支护监测模块和深基坑水位监测模块等，不同模块可以直接调用多源监测数据，再利用服务层运算分析数据，最终通过应用层将风险点的安全状态直观地呈现出来。自动化管理平台的架构图如下图 1 所示。

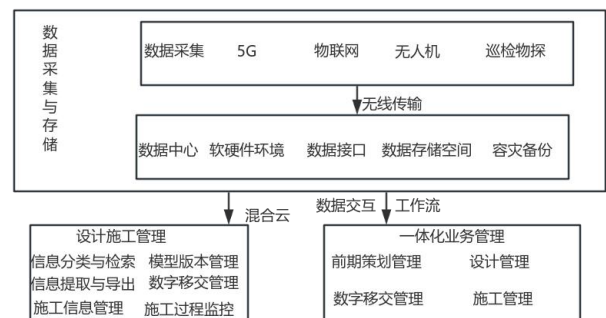


图 1 基于 BIM 的施工自动化管理平台架构图

结合上图,数据层利用混合云存储架构,综合利用私有云和公有云的优势,有利于提高数据安全性。私有云存储敏感数据,公有云负责存储非敏感数据。服务层利用 BIM 数据引擎,对 BIM 模型的复杂数据结构合理解析和处理。通过采用自定义 BIM 解析器高效处理 BIM 数据,并转换数据为适合平台的格式。此外在服务层中利用 GIS 服务,有利于融合 BIM 模型和地理信息数据,直观地展示出施工现场。在应用层中综合利用用户界面和交互工具,有利于接入多个终端。平台界面具有直观性和简单性特点,有利于实现拖拽和旋转等操作,方便用户使用 BIM 模型。此外在平台中利用物联网技术,向平台实时传输现场的传感器数据,有利于动态监控施工过程。如果发现异常问题,平台将会发出预警信息,提醒管理人员采取合适的处理措施。总之利用这一平台,有利于衔接设计和施工,高效完成施工任务,降低施工风险,有利于推动大型水利枢纽施工安全管理数字化转型。

2.3 数字化管理平台搭建

(1) 平台功能设计:建设数字化管理平台,有利于提高大型水利枢纽施工安全管理水平。在该平台中综合各种功能模块,全面覆盖安全管理过程。首先利用人员管理模块,综合利用人脸识别和 RFID 等技术,有利于实时定位施工人员,同时提高考勤记录的便利性,保证每名员工接受安全培训。其次利用设备管理模块实时监控施工设备的运行状态,并对设备维护记录实时记录,精准预测潜在故障,降低设备故障发生率。

此外在安全培训模块中利用虚拟现实技术模拟安全事故情况,有利于增强施工人员的安全意识,使其掌握灵活的应急处理方法。利用隐患排查治理模块,管理人员通过移动端及

时发现安全隐患,并对整改措施的落实情况跟踪分析,构建闭环管理机制。利用模块化设计模式,有利于精准管理施工安全,同时有利于协同各部门的工作。总之利用数字化管理平台,有利于提高施工安全管理水平,保障整体工作效率。

(2) 数据整合和共享:利用数字化管理平台有利于优化数据整合和共享效果,规避数据孤岛问题,无缝协作不同部门和不同层级。在统一平台中整合传感器监测数据和 BIM 模型信息以及现场巡查记录等数据,有利于保证施工安全管理数据库的全面性。例如利用工程质量验评数字化平台,综合利用表单电子化和 BIM 轻量化等技术,有利于实时上报和共享验评数据和现场图片以及视频资料等,顺利完成工作任务。

为了优化数据共享效果,需要完善标准化数据接口和访问权限管理机制。一方面统一数据格式和编码规则,紧密对接不同来源的数据。另一方面以用户角色为基础,对数据访问权限合理分配,提高数据安全性。此外利用大数据分析技术深度挖掘平台历史数据,有利于提取安全管理经验,为类似的工程工作提供借鉴。

3 结语

本文结合大型水利枢纽施工安全管理的难点,提出针对性的数字化改进方案,包括数字化监测系统和基于 BIM 的安全管理以及数字化管理平台,提高安全管理水平,可以为大型水利枢纽施工安全管理工作提供指导。在今后发展过程中,相关技术人员要积极探索人工智能和区块链技术的应用,同时要完善施工安全管理标准体系,规范应用数字化技术,持续性优化和发展大型水利枢纽施工安全管理。

参考文献:

- [1] 杨涛,杨晨.智能技术下的水利工程施工质量安全管理路径分析[J].中国品牌与防伪,2026,(06):218-220.
- [2] 曾玲.BIM 技术在水利水电施工安全管理中的应用[J].湖北应急管理,2026,(04):45-47.
- [3] 李侠军.基于大数据分析的水利水电建设施工安全管理平台设计[J].中国高新科技,2026,(01):45-47.
- [4] 邱峰.风险管理技术在水利水电工程施工安全管理中的应用研究[J].水上安全,2025,(22):148-150.
- [5] 龙潜.BIM 技术在水利施工安全管理中的应用研究[J].自动化应用,2025,66(22):248-250+254.