

大型水利项目输水隧洞施工管理探索

郑光义

中国水利水电第十四工程局有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16788

[摘要] 本文聚焦大型水利项目输水隧洞施工管理,从进度、质量、安全、成本四个维度展开探索思考。进度管理借助数字孪生模拟优化、智能监控预警；质量管理依托区块链追溯与人工智能检测评估；安全管理采用无人机巡检、大数据分析干预；成本管理运用BIM动态控制与供应链金融。多维度举措有效提升了施工管理的科学性、高效性与精准性,为保障输水隧洞施工质量、安全、进度与效益,推动大型水利项目顺利建设提供必要参考了有力支撑。

[关键词] 大型水利项目；输水隧洞；施工管理

中图分类号：TV672 文献标识码：A

Exploration of Construction Management for Water Conveyance Tunnels in Large-Scale Water Conservancy Projects

Guangyi Zheng

China Fourteenth Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the construction management of water conveyance tunnels in large-scale water conservancy projects, exploring and reflecting on four key dimensions: schedule, quality, safety, and cost. Schedule management leverages digital twin simulation optimization and intelligent monitoring with early warnings. Quality management relies on blockchain traceability and artificial intelligence for inspection and evaluation. Safety management employs drone inspections and big data analysis for intervention. Cost management utilizes BIM-based dynamic control and supply chain finance. These multi-dimensional measures effectively enhance the scientific, efficient, and precise nature of construction management, providing valuable references and robust support for ensuring the quality, safety, schedule, and cost-effectiveness of water conveyance tunnel construction, thereby facilitating the successful execution of large-scale water conservancy projects.

[Key words] large-scale water conservancy project; water conveyance tunnel; construction management

引言

大型水利项目输水隧洞施工组织复杂且关键风险高,其施工管理水平直接关乎项目的成败。传统管理模式在应对复杂地质、多变环境及严格质量安全要求时,逐渐暴露出效率低、精度差等问题。随着数字技术、智能技术等快速发展,探索新型施工管理模式迫在眉睫。本文深入剖析输水隧洞施工进度、质量、安全、成本管理,旨在为提升管理水平、保障项目顺利推进提供有益参考。

1 大型水利项目输水隧洞施工进度管理

1.1 基于数字孪生的进度模拟与优化

构建输水隧洞数字孪生模型,需运用三维激光扫描、BIM(建筑信息模型)与地理信息系统(GIS)等技术^[1]。此模型涵盖隧洞几何形状、结构尺寸等详细信息,还融入周边地质条件、地形地

貌、穿越建构筑物等环境因素。高精度模型为施工过程模拟提供可靠基础,能提前发现潜在问题。将施工计划输入数字孪生模型,包含各工序起始时间、持续时间与先后顺序等内容,可模拟输水隧洞施工过程。借助动态展示功能,能直观呈现不同工序间的空间与时间关系,及时察觉工序冲突与干扰,像不同作业面施工空间重叠、设备调度冲突等情况。依据模拟结果对施工计划优化调整。合理变动工序先后顺序,规避施工冲突;优化设备调度方案,提升设备利用率;合理安排劳动力投入,保障施工进度均衡。经过多次模拟与优化,制定出最优施工计划,为实际施工提供科学指引,减少施工不确定性,提高施工效率与质量。

1.2 智能进度监控与预警系统

在输水隧洞施工现场,需布置各类传感器,如位移传感器、应力传感器、水位传感器等,实时监测隧洞围岩变形、支护结构受

力、地下水位变化等关键参数。同时,在施工设备上安装定位传感器与状态监测传感器,实时掌握设备位置与运行状态,确保施工设备正常运行,为进度管理提供准确数据支持。通过无线通信技术,将传感器采集的数据实时传输至项目管理平台。采用大数据存储和管理技术,对海量数据高效存储与分析,保证数据准确性与及时性,为进度监控与预警提供坚实数据保障。建立进度预警模型,设定合理预警阈值。当实际进度与计划进度偏差超过阈值,或监测数据出现异常时,系统自动发出预警信号,提醒管理人员及时采取措施。利用数据分析技术,为管理人员提供决策支持,如分析进度滞后原因、推荐调整方案等,助力管理人员快速做出科学决策,及时调整施工计划,确保施工进度按计划推进。

2 大型水利项目输水隧洞施工质量管理

2.1 基于区块链的质量追溯体系

区块链的分布式账本特性,赋予其不可篡改、可追溯、去中心化独特优势,在输水隧洞施工质量追溯方面大显身手。施工期间,利用区块链构建质量追溯体系,将原材料采购、检验检测、施工过程记录、质量验收等各环节信息完整准确地记录在链上。原材料供应商、施工单位、监理单位等每个参与方都拥有独立节点,可实时记录自身相关质量信息,也能随时查询其他环节信息,确保质量信息在工程全生命周期内的真实性与完整性。借助区块链平台,输水隧洞工程实现了从设计、施工到运营的全生命周期质量追溯^[2]。在工程漫长的使用过程中,一旦出现质量问题,区块链的追溯功能便能迅速启动。以某段隧洞衬砌管片出现裂缝为例,通过区块链平台,可快速查询到该段衬砌管片的原材料供应商信息,判断原材料质量是否达标;获取施工班组操作记录,查看施工过程是否规范;调取检验检测报告,确认检测结果是否准确。这些详细信息有助于精准定位问题源头,明确责任主体,为质量整改和责任追究提供有力依据,有效避免问题扩大,保障工程整体质量。区块链技术的透明性和可信性,还极大地增强了各参建单位之间的质量信任。传统施工模式下,信息壁垒导致信息不对称,容易引发质量纠纷。而区块链技术实现了质量信息实时共享,各方能及时全面了解工程质量真实状况。原材料供应商了解产品使用效果,施工单位掌握原材料质量和检测要求,监理单位更好履行监督职责。这种透明化的信息共享机制促进了各单位在质量管理上的协同合作,共同为保障工程质量贡献力量。

2.2 基于人工智能的质量检测与评估

人工智能中的图像识别技术在输水隧洞施工质量检测中发挥着关键作用。在现场安装高清摄像头,持续采集混凝土外观、钢筋焊接等部位图像数据,利用深度学习算法分析识别,可自动检测出质量缺陷。对于混凝土表面,能精准识别裂缝、蜂窝麻面等问题;对于钢筋焊接,可发现漏焊、虚焊等缺陷。这种实时检测方式能第一时间发现质量问题,避免问题积累恶化。结合大量历史质量数据和专家经验建立的智能质量评估模型,能根据检测到的质量缺陷信息,自动评估工程质量等级,并给出整改建议。例如,对于混凝土表面轻微裂缝,模型会综合考虑裂缝长度、宽度、深度等因素,评估其对结构安全的影响,推荐合适的

修补方案。人工智能技术借助图像识别等手段,能实时精准检测质量缺陷,结合智能模型评估等级并给出整改建议。这不仅极大提升了质量检测效率与准确性,更推动施工质量朝着智能化、精细化大步迈进。

3 大型水利项目输水隧洞施工安全管理

3.1 无人机巡检与安全监测

在大型水利项目输水隧洞施工中,安全管理至关重要,而无人机巡检与安全监测技术为保障施工安全提供了高效、精准的手段。无人机巡检系统配置是开展全面巡检的基础。配备集高清摄像、热成像、激光雷达等多种功能于一体的无人机,能定期对输水隧洞施工现场进行巡检。其具备快速覆盖大面积区域的能力,可迅速获取施工现场的全貌信息。对于隧洞洞口、边坡等人员难以到达的区域,无人机凭借灵活机动的优势,能够轻松抵达并进行细致检查,有效弥补了传统人工巡检的不足,大大提高了巡检效率,降低了安全风险。安全隐患识别环节充分利用了现代科技。借助图像识别和数据分析技术,对无人机采集的图像和数据进行深度处理。系统能够自动识别施工现场存在的各类安全隐患,如违规操作、安全防护设施缺失、边坡不稳定等。以图像识别算法为例,它可以精准检测施工人员是否佩戴安全帽、安全带等防护用品,还能判断施工现场的脚手架、模板支撑等是否搭设牢固,为安全管理人员提供了准确、及时的隐患信息^[3]。实时安全监测方面,在隧洞内部关键部位布置无人机停机坪,实现无人机的定点起降与实时监测。通过无人机搭载的传感器,可实时监测隧洞内的气体浓度、温度、湿度等环境参数,以及围岩的变形情况。建立安全激励机制十分关键。对安全表现优异者,及时给予奖金、奖品等物质奖励,或颁发证书、奖状等荣誉表彰。通过此举激发全员遵守安全规定的积极性,营造人人重视安全的氛围,确保输水隧洞施工安全有序推进。

3.2 安全行为大数据分析与干预

在输水隧洞施工安全管理中,安全行为大数据分析与干预是重要举措。数据采集与整合是基础。全面收集施工人员安全行为数据,考勤记录能反映出勤情况,培训记录体现知识掌握程度,违规行为记录则直接关联安全意识与操作规范。同时整合施工现场安全监测数据,如设备运行状态、安全防护设施使用情况,以及环境数据,像隧洞内气体浓度、温湿度等。建立大数据平台,将这些分散数据集中存储管理,为后续分析提供全面且准确的数据支撑。安全行为分析模型建立是关键。运用数据挖掘和机器学习技术构建模型。此模型可深入剖析施工人员安全行为模式,精准识别高风险行为与潜在安全隐患。例如,分析考勤和违规行为记录,能找出经常迟到早退且违规操作多的施工人员,这类人员发生安全事故概率高,需重点关注。模型还能通过大量数据挖掘出其他不易察觉的风险模式,为安全管理提供科学依据。个性化安全干预是保障。依据分析结果,对施工人员开展个性化干预。针对存在高风险行为的人员,采取针对性安全培训,讲解安全操作规程和事故案例,进行警示教育,强化其安全意识,提升操作技能。建立安全激励机制至关重要。对安全表现优秀者,

及时给予物质奖励，如奖金、奖品，或进行荣誉表彰，如颁发证书、奖状。以此激发全员遵守安全规定的热情，形成人人重安全的良好氛围，保障输水隧洞施工安全稳步推进。

4 大型水利项目输水隧洞施工成本管理

4.1 基于BIM的成本动态控制

在BIM模型构建过程中，把输水隧洞的各个构件与成本信息紧密关联。材料成本涵盖混凝土、钢筋等各类建材的采购价格；人工成本涉及不同工种施工人员的工资、社保及福利；机械成本则包括挖掘机、盾构机等施工设备的租赁或购置费用。同时，建立专门的成本数据库，将各类成本信息详细录入。通过这一数据库，管理人员可实时查询任意构件或施工阶段的成本数据，还能进行统计分析，如计算某段时间内材料成本占总成本的比例，为成本控制提供基础数据支持。BIM模型具有强大的可视化和模拟功能。在施工前，利用该功能对不同施工方案和资源配置进行模拟，模拟采用不同型号盾构机施工的成本，对比不同施工顺序下的人工和机械使用成本。通过比较各方案的成本差异，选择成本最低、效益最优的方案^[4]。施工过程中，依据实际进度和成本消耗情况，及时更新BIM模型中的数据，调整成本预测。若某阶段材料实际消耗超过计划，就重新评估后续成本，为成本控制提供准确依据。定期将实际成本与计划成本进行对比分析。若发现成本偏差，深入探究原因，如材料价格波动、施工效率低下等。针对不同原因采取相应纠偏措施，若材料价格上涨，可优化采购计划，寻找更优质低价供应商；若施工效率低，就优化施工方案，加强现场管理，提高工人操作技能，确保成本始终控制在预算范围内。

4.2 供应链金融助力成本管理

在大型水利项目输水隧洞施工中，成本管理是项目成功的关键要素，供应链金融的融入为其带来了全新的管理思路与有效手段。引入供应链金融模式，能为输水隧洞项目供应链上下游企业提供坚实的融资后盾。与金融机构紧密合作，针对材料供应商，开展应收账款融资业务。供应商在将材料交付后，往往面临资金回笼周期长的问题，通过应收账款融资，能快速获得资金，缓解资金压力，进而保障材料能够稳定、及时地供应到施工现场，

避免因材料短缺导致的施工停滞和成本增加。对于施工企业，预付款融资可解决其资金周转难题。在项目前期，施工企业需要大量资金用于筹备工作，预付款融资能及时提供资金支持，确保施工按计划顺利开展。供应链金融手段在优化供应链成本方面发挥着重要作用。借助金融工具，与供应商协商更优惠的采购价格和付款条件。合理的付款条件能减少资金占用成本，让资金更高效地流转。同时，优化物流配送方案，根据施工进度和材料需求，精准规划运输路线和批次，降低运输过程中的损耗和费用，从而减少运输成本，实现供应链整体成本的降低。建立供应链风险共担与利益共享机制，能鼓励上下游企业共同投身成本管理。各方加强合作与沟通，实现信息共享和资源整合。在面对市场波动、价格变化等风险时，共同应对、共担风险；在利益分配上，根据各方的贡献进行合理分配，形成利益共同体。这能提高供应链的效率和竞争力，最终有效降低输水隧洞项目的成本。

5 结语

大型水利项目输水隧洞施工管理意义重大。可通过数字孪生、区块链、人工智能、无人机、BIM及供应链金融等先进技术与理念的应用探索，在进度、质量、安全、成本等方面取得显著成效提出一点建议。未来，应持续创新管理方法，强化技术融合，提升施工管理的智能化、精细化水平，以更好地应对复杂工程挑战，推动大型水利项目输水隧洞建设高质量发展，为水利事业进步贡献力量。

【参考文献】

- [1] 谢玉轩.水利工程输水隧洞施工安全管理分析[J].建材发展导向,2022,20(16):102-104.
- [2] 杨一洋,潘宇哲,魏鹏程.水利工程输水隧洞施工安全管理探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(10):90-93.
- [3] 邢润义.水利工程输水隧洞施工安全管理分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2022(3):76-78.
- [4] 樊文林,万光义,卢远富,等.某水利工程隧洞开挖支护施工方案浅析[J].黑龙江水利科技,2020,47(8):195-197.