

复杂地形下供水泵站设备运输与安装施工技术研究

——以山区泵站施工便道受限场景为例

沈志刚

上海海德隆流体设备制造有限公司 上海 201415

摘要: 本文聚焦于山区复杂地形下供水泵站设备运输与安装施工面临的挑战,以山区泵站施工便道受限场景为研究对象。深入分析了山区泵站施工环境特征及设备运输安装的难点,提出了施工便道受限场景下的运输方案优化措施,探讨了设备安装技术难点与现场管理策略,并研究了智能化辅助技术在复杂场景中的应用。通过实际工程应用案例分析,验证了相关技术和策略的有效性,为类似山区泵站工程提供了参考。

关键词: 复杂地形; 供水泵站; 设备运输; 安装施工技术

随着我国山区水利建设的不断推进,供水泵站工程在山区供水保障中发挥着重要作用。然而,山区复杂的地形条件给泵站设备的运输与安装施工带来了诸多困难。施工便道作为设备进场的关键通道,其状况直接影响着施工进度和质量。因此,研究山区泵站施工便道受限场景下的设备运输与安装施工技术具有重要的现实意义。

1 山区泵站施工环境特征与设备运输安装挑战

1.1 山区复杂地形对泵站设备运输的限制性分析

山区地形起伏大、坡度陡、地质条件复杂,存在大量的悬崖、峡谷、陡坡等地形障碍。这些地形特征使得传统的运输车辆难以直接到达泵站施工现场,限制了大型设备的整体运输。例如,大型水泵机组、变压器等设备尺寸较大、重量较重,在山区狭窄、崎岖的道路上运输时,容易发生刮擦、侧翻等事故。此外,山区地质灾害频发,如山体滑坡、泥石流等,会进一步破坏道路,阻断运输通道,增加设备运输的难度和风险。

1.2 施工便道损坏对设备进场效率的影响机理

施工便道是连接外界与泵站施工现场的重要通道,其损坏会直接影响设备进场的效率。一方面,便道损坏会导致道路通行能力下降,运输车辆行驶速度减慢,甚至无法通行,从而延长设备运输时间。另一方面,便道损坏需要进行修复,修复过程中需要占用道路,进一步阻碍设备运输。此外,便道损坏还可能引发二次灾害,如道路塌陷、路基下沉等,增加设备运输的安全隐患,降低设备进场的可靠性。

2 施工便道受限场景下的运输方案优化

2.1 山区施工便道评估与修复技术

山区施工便道的评估与修复是确保运输安全与效率的基础环节。评估工作需涵盖道路的物理参数与环境因素,包括宽度是否满足运输车辆的最小转弯半径要求,坡度是否在车辆爬坡能力范围内,路面是否存在塌陷、裂缝或松散等问题。地质条件评估需关注边坡稳定性、岩土类型及地下水活动情况,避免因地质灾害导致道路中断。修复方案需根据评估结果分级实施,对于结构性损坏的路基,需采用换填、压实或注浆等方式加固;路面修复材料的选择需兼顾耐久性与施工便捷性,水泥混凝土适用于重载路段,沥青混凝土则更适合快速修补。坡度治理需结合力学计算,通过增设挡土墙、排水沟或台阶式降坡措施降低滑坡风险。安全设施的布设需符合行业规范,如减速带的间距与高度需根据车辆制动距离调整,防滑槽的密度与深度需适应当地降水特点。日常维护应建立巡检制度,利用数字化工具记录道路状态变化,对易损路段实施预防性养护,确保便道在全周期施工中的可靠性。

2.2 设备分段运输与人工搬运协同方案

大型设备的分段运输与人工搬运协同需基于精细化拆解与路径优化。拆解方案需由专业工程师制定,确保部件分割后不影响设备重组后的功能完整性,同时满足单件运输的重量与尺寸限制。运输工具的选择需动态匹配道路承载能力,例如狭窄路段采用铰接式拖车,泥泞区域选用履带式运

输平台。人工搬运环节需引入人体工程学分析,通过计算搬运力矩与疲劳阈值,确定单次作业的合理时长与负荷。辅助设施的设计需因地制宜,如斜坡路段部署绞盘牵引系统,狭窄弯道使用转向助力装置。人员培训需覆盖力学原理与应急操作,强调团队协作中的信号传递与风险规避。路线规划需利用三维建模技术预演搬运过程,识别潜在障碍点并提前清除。协同机制的核心在于实时调度,通过无线通信设备协调运输车辆与搬运小组的进度,确保分段部件按序抵达组装点位,避免现场积压或延误。

2.3 应急运输路径设计与风险防控

应急运输路径的设计需以冗余性与快速响应为原则。路径选址应避开已知的地质敏感区,优先利用既有林道或废弃矿道,通过遥感影像与实地踏勘验证其通行可行性。路线清理需标准化,明确树木砍伐、乱石清除的作业流程,并预留会车点与临时停车区。车辆监控系统需集成 GPS 定位与车载传感器,实时反馈路况变化至指挥中心,动态调整行驶速度或改道路线。风险防控需建立分级预警机制,针对暴雨、塌方等不同场景预设处置预案,如为车辆配备防滑链、应急照明及卫星通讯设备。巡查人员的配置需覆盖全天候时段,重点监测边坡位移与路面渗水情况,利用便携式检测仪快速评估风险等级。应急演练需模拟极端条件,测试路径通行极限与救援响应时效,通过复盘优化资源配置与处置流程。

3 设备安装技术难点与现场管理策略

3.1 受限空间下的设备精准安装技术

山区泵站施工现场通常面临空间狭小、地形复杂等问题,设备安装的精度要求极高,这对技术手段和管理能力提出了严峻考验。激光测量技术的应用能够有效解决传统测量方法在受限空间中的局限性,通过高精度激光测距仪和全站仪,可以快速获取安装位置的精确坐标数据,为设备定位提供可靠依据。三维建模技术的引入进一步提升了安装方案的可行性,通过 BIM 软件构建泵站三维模型,可以直观展示设备与周围结构的空间关系,提前发现潜在的干涉问题。在模型中进行安装过程仿真,能够优化吊装路径和作业顺序,减少现场调整时间。高精度起重设备的选型与操作是确保安装质量的关键环节。针对山区泵站特点,需选用具备微调调节功能的液压提升装置或智能同步吊装系统,这些设备能够实现毫米级的定位控制。安装过程中需建立严格的测量监控体系,采用电子水平仪、激光对中仪等仪器进行实时校准,

形成测量-调整-复核的闭环控制流程。同时要重视基础预埋件的精度管理,在混凝土浇筑前采用钢制调节支架固定预埋件,浇筑后立即进行复测,避免因基础偏差导致后续安装困难。

3.2 多设备进场施工衔接与进度管控

山区泵站工程涉及水泵机组、电气设备、管道阀门等多专业设备的协同安装,需要构建科学的进度管理体系。基于关键路径法(CPM)编制四级进度计划网络图,将总工期分解为设备采购、运输进场、就位安装、调试运行等子节点,明确各环节的逻辑关系和浮动时间。特别要重点规划大型设备的吊装窗口期,考虑山区道路运输限制和天气影响因素,设置合理的进度缓冲区间。建立基于 BIM 的施工协同平台实现可视化进度管理,将三维模型与进度计划关联,通过不同颜色直观显示各区域的施工状态。每日召开跨专业协调会,使用 LastPlanner 系统进行周作业计划细化和承诺管理,解决接口冲突问题。引入无人机航拍技术定期获取现场全景图像,通过图像比对分析实际进度与计划的偏差。当出现进度滞后时,采用资源平衡法重新分配劳动力与机械,或通过快速跟进优化施工逻辑关系,确保关键线路不受影响。

3.3 加氯系统匹配性设计与参数优化

加氯系统的设计需要综合考虑水力特性、消毒效率和运行安全等多重因素。基于计算流体动力学(CFD)模拟分析加氯点选择,确保氯剂与水流充分混合的同时避免产生死水区。在设备选型阶段进行水力学计算,校核加氯机注入压力与管道工作压力的匹配度,防止出现倒流或注入不足现象。特别要注意山区泵站的水压波动特点,设计带有缓冲功能的真空加氯系统,配置压力自适应调节装置。建立基于 PLC 的智能加氯控制策略,将余氯在线监测仪、流量计、pH 计等传感器的信号接入控制系统,构建多参数前馈-反馈复合控制模型。开发自适应模糊 PID 算法处理水质参数的时变性,通过机器学习分析历史运行数据,自动优化加氯速率调节曲线。定期进行加氯效率测试,采用示踪剂实验验证接触时间 CT 值的达标情况,根据季节水温变化动态调整保持余氯浓度。设置冗余消毒单元和应急投加系统,当主要加氯设备故障时能立即启动备用消毒方案,保障供水安全。

4 智能化辅助技术在复杂场景中的应用

(1) 水池液位联动控制系统开发:水池液位联动控制系统是泵站智能化运行的核心模块,其设计需兼顾控制精

度、响应速度和系统可靠性。采用高精度超声波液位传感器或雷达液位计进行连续监测,传感器需具备抗干扰能力,避免因水面波动、泡沫或蒸汽影响测量准确性。信号传输采用工业级 RS485 或 HART 协议,确保数据在长距离传输中的稳定性和抗电磁干扰能力。控制单元选用可编程逻辑控制器(PLC),内置 PID 调节算法,根据液位变化动态调整水泵转速,实现平滑过渡而非阶跃式启停,减少水锤效应。系统需建立多级液位阈值管理机制,设置超高、高、正常、低、超低五档液位区间,不同区间触发差异化控制策略。超高液位时联动排水泵启动,超低液位时强制停止取水泵并启动备用水源。控制逻辑中嵌入延时判断功能,避免因瞬时波动导致误动作。报警模块采用声光报警与短信推送双通道通知,关键报警需人工确认复位。系统预留 ModbusTCP 或 OPCUA 接口,便于与上级调度系统集成,实现远程设定值修改和运行模式切换。

(2) 施工过程数字化监控平台构建:施工数字化监控平台需构建,端、边、云的协同架构,实现海量异构数据的融合处理。终端层部署智能安全帽、UWB 定位信标、振动传感器等物联网设备,实时采集人员位置、机械状态、环境参数等数据。边缘计算节点部署在施工现场,通过 5G 专网或工业 WiFi6 实现数据就近处理,对视频流进行 AI 分析识别安全违规行为,对振动数据做 FFT 变换诊断设备异常。云端平台采用微服务架构,提供 BIM 模型轻量化渲染、进度偏差预警、资源消耗热力图等分析功能。平台需建立统一数据标准,将 BIM 模型进度计划、物联网采集数据、人工填报日志进行时空关联,形成数字孪生体。开发预测性维护模块,基于设备运行数据训练 LSTM 神经网络,提前预警潜在故障。人员管理子系统集成电子围栏和生物识别技术,自动核验特种作业人员资质。材料管理采用 RFID 跟踪技术,实现从进场验收到安装完成的全流程追溯。指挥中心配置 AR 眼镜辅助远程专家会诊,通过三维标注指导现场人员处理复杂问题。系统安全体系需满足等保三级要求,建立区块链存证机制保障关键操作不可篡改。

5 工程应用案例分析

(1) 案例背景:某山区供水泵站位于山区深处,施工便道狭窄、崎岖,且在施工过程中遭遇了山体滑坡,导致便道部分损毁,设备运输和安装面临巨大困难。泵站主要设备包括大型水泵机组、变压器、加氯设备等,需要在有限的空

间内进行精准安装。

(2) 技术实施效果评估:在施工过程中,采用了上述提出的运输方案优化措施、设备安装技术和管理策略,以及智能化辅助技术。通过对施工便道的评估和修复,保证了设备运输通道的畅通。采用设备分段运输与人工搬运协同的方案,成功将大型设备运输到施工现场。在设备安装过程中,利用激光测量技术和三维建模技术实现了设备的精准安装。通过施工过程数字化监控平台,加强了对施工过程的管理和监控,确保了施工进度和质量。水池液位联动控制系统的应用,提高了泵站的运行效率和供水安全性。工程竣工后,经过实际运行测试,泵站各项性能指标均符合设计要求,供水水质稳定,为山区居民提供了可靠的供水保障。

结束语:本文以山区泵站施工便道受限场景为例,对复杂地形下供水泵站设备运输与安装施工技术进行研究。通过分析山区泵站施工环境特征和设备运输安装挑战,提出施工便道受限场景下的运输方案优化措施、设备安装技术和管理策略及智能化辅助技术的应用方法。工程应用案例分析表明,采用这些技术和策略能有效解决山区泵站设备运输与安装施工中的难题,提高施工效率和质量,保障泵站的稳定运行。

参考文献:

- [1] 徐玲玉.长距离输水系统泵站供电设备自启动优化方法[J].自动化技术与应用,2025,44(05):48-51+84.
- [2] 李宏亮.泵站设计方案与主要机电设备定型要点——以托里县供水工程为例[J].水电站机电技术,2024,47(07):128-131.
- [3] 孙宏伟.供水泵站机电设备安装与检修探析[J].河北水利,2022,(12):42-43.
- [4] 王洋.HKWG 加压泵站负压供水设备.浙江省,杭州杭开环境科技有限公司,2022-10-15.
- [5] 马拉加.农田水利工程泵站供水设备的检修和运行调度[J].当代农机,2022,(08):84+87.
- [6] 王正军.关于供水泵站机电设备的安装及检修探讨[J].中国设备工程,2021,(16):207-208.
- [7] 武志兰.壶关县八泉峡供水工程泵站机电设备选配[J].山西水利,2021,37(04):30-32.

作者简介:沈志刚,(1981-08-31),男,汉族,江苏省南通市海门区,一级建造师,本科,研究方向:建筑设备(管道给排水)。