

抽水蓄能电站施工期高程控制网优化设计

高旭春

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350000

摘要: 本文聚焦抽水蓄能电站施工期高程控制网优化设计。先阐述电站地形特点及施工期对高程控制的特殊要求,分析传统水准测量方案的问题。接着从基准点布设、观测方法、平差模型三方面提出优化设计,还给出隧道/竖井内高程传递等特殊情况的控制策略,旨在构建科学高程控制体系,为电站施工提供可靠高程保障。

关键词: 抽水蓄能电站; 施工期; 高程控制网; GNSS技术; 精密水准测量

引言: 抽水蓄能电站作为高效储能电源,多选址于地形复杂的高山峡谷地带。施工期工序复杂、工期长,对高程控制网要求极高,需满足毫米级精度、具备高稳定性和适用性等。然而,传统水准测量方案在此类地形下存在诸多局限,难以满足施工需求。因此,开展抽水蓄能电站施工期高程控制网优化设计研究具有重要的现实意义。

1 抽水蓄能电站地形特点及对高程控制的要求

1.1 工程概况与地形特征

抽水蓄能电站作为一种高效的储能电源,通常选址于地形起伏较大、沟谷深切、山体雄厚的区域,其核心由上水库、下水库、输水系统及发电厂房等组成,地形条件直接决定工程布局与施工难度。此类电站多分布在高山峡谷地带,地形高差显著,上、下水库高程差普遍在数百米甚至上千米,且区域内山体坡度陡峭,坡面多为岩质或风化岩土,地形破碎程度较高,存在较多的冲沟、陡崖等复杂地形。同时,电站选址需兼顾水源条件与地质稳定性,往往位于地质构造复杂区域,地形起伏不规则,局部区域存在地形突变现象^[1]。另外,上水库多为山顶洼地或人工筑坝形成,下水库多利用原有河谷或洼地改造,两者之间的输水隧道、竖井等构筑物穿越山体,进一步增加了地形的复杂性。这种地形特征不仅对工程选址、设计提出了严格要求,更直接影响高程控制网的布设、观测精度及后续施工质量,是高程控制工作需重点考虑的基础条件。

1.2 施工期对高程控制网的特殊要求

抽水蓄能电站施工期工序复杂、工期长,且受地形条件影响显著,对高程控制网提出了不同于普通工程的特殊要求。首先,精度要求极高,高程控制网需满足上、下水库大坝、输水隧道、发电厂房等关键构筑物的施工放样、沉降监测及竣工验收需求,误差需控制在毫米级,确保各构筑物衔接精准,避免因高程偏差导致结

构安全隐患。其次,控制网需具备良好的稳定性和适用性,施工期间山体开挖、爆破作业、降水施工等会对周边地形及基准点造成扰动,要求基准点布设需避开扰动区域,具备抗干扰能力,同时能适应施工各阶段的需求,可灵活扩展和复测。再者,需兼顾时效性和连续性,施工各工序衔接紧密,高程数据需及时更新,满足实时施工放样和监测需求,且需持续跟踪基准点稳定性,定期复测,确保数据的准确性和连续性。

2 现有高程控制方案及问题分析

2.1 传统水准测量方案

目前抽水蓄能电站施工期高程控制多采用传统水准测量方案,该方案以国家高程基准为依据,结合工程实际布设高程控制网,分为首级控制网和加密控制网两个层次。首级控制网主要布设水准基点,多选择在工程区域外地质稳定、不受施工干扰的高地,采用二等水准测量精度进行观测,作为整个工程高程控制的基准;加密控制网则根据施工需求,在施工区域内布设加密水准点,采用三等或四等水准测量精度,为施工放样、沉降监测等提供直接依据。传统水准测量方案的核心流程为:首先进行基准点选址与布设,然后通过往返观测、闭合水准测量等方式获取高程数据,经平差计算后得到各控制点的准确高程,后续根据施工进度定期进行复测和加密。该方案技术成熟、观测精度稳定,在地形相对平缓的工程中应用广泛,但在抽水蓄能电站高山峡谷、地形复杂的场景下,其局限性逐渐凸显,需结合工程实际进行优化完善。

2.2 现有方案存在的问题

结合抽水蓄能电站的地形特点和施工需求,传统水准测量方案存在诸多问题,难以完全满足工程施工的高精度、高效率要求。一是观测效率低下,高山峡谷地区地形陡峭、交通不便,水准测量需人工携带仪器往返作业,观测路线长且难度大,尤其是在陡坡、冲沟区域,

观测速度缓慢,无法满足施工进度对高程数据的时效性需求^[2]。二是基准点稳定性不足,部分首级基准点虽选址在施工区域外,但受山体蠕动、降水渗透等自然因素影响,仍可能发生沉降或位移,而现有方案对基准点的监测频率不足,难以及时发现基准点异常,影响高程数据的准确性。三是观测精度受外界干扰大,施工期间的爆破作业、机械振动、大气垂直折光等因素,会对水准观测产生较大影响,导致观测误差增大,难以达到毫米级精度要求。四是适应性较差,对于隧道、竖井等地下构筑物的高程传递,传统水准测量方案操作困难、效率极低,且无法适应特殊天气条件下的观测需求,易导致施工进度滞后。

3 高程控制网优化设计方案

3.1 优化总体思路

针对现有高程控制方案存在的问题,结合抽水蓄能电站地形特点和施工需求,高程控制网优化设计的总体思路是以“高精度、高效率、高稳定性”为核心,立足工程实际,整合传统测量技术与现代测绘技术,构建科学、合理、适用的高程控制体系。首先,明确优化目标,确保高程控制网精度满足工程施工及监测要求,提升观测效率,增强控制网的抗干扰能力和适应性,降低施工成本。其次,统筹考虑基准点布设、观测方法、平差模型三大核心环节,结合电站地形高差大、施工干扰强、观测条件复杂等特点,进行系统性优化。同时,兼顾施工各阶段的需求,实现控制网的动态调整与完善,确保在隧道/竖井施工、特殊天气等复杂场景下,高程控制工作能顺利开展。建立完善的基准点监测机制和数据处理体系,及时发现并处理高程数据异常,保障高程控制网的稳定性和数据的准确性,为工程施工提供可靠的技术支撑。

3.2 基准点布设优化

基准点布设优化是提升高程控制网稳定性和精度的基础,核心是结合抽水蓄能电站地形特征和施工干扰情况,科学选址、合理布局。首先,首级基准点选址需避开施工扰动区、地质不稳定区域,优先选择山体雄厚、地质条件良好、不受降水和地下水影响的高地,确保基准点长期稳定,同时需保证基准点之间观测视线畅通,便于后续观测。其次,优化基准点数量和分布,根据工程规模、地形条件及施工需求,合理增加首级基准点数量,形成闭合或附合水准路线,提升控制网的可靠性和冗余度;加密水准点则结合施工区域布局,布设在施工场地周边、隧道进出口、大坝基坑等关键位置,确保每个施工区域都有足够的加密点,方便施工放样和监测。

另外,对基准点进行防护设计,采用混凝土浇筑固定,设置防护围栏和警示标志,防止人为破坏和施工干扰,同时定期对基准点进行沉降监测,建立基准点稳定性档案,及时发现并处理基准点位移问题,确保高程基准的可靠性^[3]。

3.3 观测方法优化

观测方法优化的核心是提升观测效率和精度,结合抽水蓄能电站的观测条件,整合传统水准测量与现代测绘技术,实现观测方法的多元化和高效化。首先,对于首级控制网,保留传统二等水准测量的核心流程,优化观测工艺,采用往返观测、偶数测站观测等方式,减少大气垂直折光、仪器误差等因素的影响,提升观测精度;同时,引入三角高程测量技术,作为水准测量的补充,在地形陡峭、水准观测难度大的区域,采用三角高程测量替代传统水准测量,缩短观测时间,提升效率。其次,对于加密控制网,根据施工需求,采用三等水准测量与GPS高程测量相结合的方式,GPS高程测量具有观测速度快、不受地形限制等优势,可快速完成加密点的高程测量,满足施工进度需求,同时与水准测量数据相互验证,提升数据准确性。此外,针对隧道、竖井等地下构筑物,采用悬挂水准测量、光电测距三角高程测量等专用方法,优化观测路线和操作流程,解决地下高程传递困难的问题,确保地下构筑物施工的高程精度。

3.4 平差模型优化

平差模型优化是消除观测误差、提升高程控制网精度的关键,需结合观测数据特点和工程需求,构建科学合理的平差模型,实现观测数据的精准处理。摒弃传统简单的单一平差模型,采用加权最小二乘平差模型,根据不同观测方法的精度差异,赋予观测数据不同的权重,充分利用各观测数据的优势,减少观测误差对平差结果的影响。引入误差补偿模型,针对高山峡谷地区大气垂直折光、温度变化、仪器沉降等主要误差来源,建立相应的误差补偿公式,对观测数据进行修正,提升平差结果的准确性。同时,构建动态平差模型,结合基准点监测数据和施工进度,定期对高程控制网进行平差计算,实现平差结果的动态更新,及时调整控制点高程,确保高程数据与施工进度同步。建立平差数据检验机制,对平差结果进行精度检验,若超出允许误差范围,及时查找原因并重新观测、平差,确保高程控制网的精度满足工程要求,为工程施工提供精准的高程数据支撑。

4 特殊情况下的高程控制策略

4.1 隧道/竖井内高程传递

抽水蓄能电站的隧道、竖井等地下构筑物,具有施

工空间狭窄、光线昏暗、通风条件差、地形复杂等特点,传统水准测量难以开展,需采用专用的高程传递策略。首先,隧道内高程传递采用悬挂水准测量法,在隧道进出口布设水准控制点,将水准尺悬挂在隧道顶部,通过水准仪观测隧道内不同断面的高程,结合隧道坡度和长度,计算出各施工断面的准确高程;同时,采用光电测距三角高程测量作为补充,利用全站仪观测隧道内控制点与施工断面的距离和竖直角,计算高程数据,与悬挂水准测量数据相互验证,确保高程传递精度。其次,竖井内高程传递采用长钢尺水准测量法,将经过检定的长钢尺悬挂在竖井内,一端固定在井口水准控制点上,另一端连接重锤,通过水准仪观测井口和井底的水准读数,结合钢尺温度修正、拉力修正等,计算出井底高程;对于深度较大的竖井,采用分段传递的方式,在竖井中部布设中间控制点,减少高程传递误差。另外,加强隧道、竖井内的通风和照明,减少环境因素对观测的影响,定期对传递数据进行复测,确保高程传递的准确性和连续性。

4.2 施工干扰下的快速复测

抽水蓄能电站施工期间,爆破作业、山体开挖、机械振动等施工活动会对高程控制网产生较大干扰,易导致基准点位移和高程数据偏差,需建立施工干扰下的快速复测策略,及时修正高程数据。明确复测范围和频率,针对施工干扰强烈的区域(如大坝基坑、隧道进出口、爆破作业区周边),加密复测频率,每1-2周进行一次复测;对于干扰较小的首级基准点,每月进行一次复测,确保能及时发现基准点异常。优化复测方法,采用GPS高程测量与水准测量相结合的方式,GPS高程测量可快速完成控制点的高程复测,效率高、不受施工干扰影响,水准测量则用于对GPS复测数据进行验证和修正,提升复测精度;同时,简化复测流程,针对重点控制点,采用快速观测模式,缩短复测时间,满足施工进度需求。建立复测数据预警机制,将复测数据与历史数据进行对比,若高程偏差超出允许范围,及时发出预警,分析偏差原因,采取重新布设控制点、修正高程数据等措施,确保高程控制网的稳定性,为施工提供可靠的高程保障。

4.3 特殊天气条件下的应急方法

抽水蓄能电站多位于高山峡谷地区,特殊天气(如暴雨、暴雪、大雾、高温)频发,会严重影响高程观测工作的开展,需制定相应的应急方法,确保高程控制工作不中断。首先,针对暴雨天气,提前对基准点进行防护,加固防护围栏,清理基准点周边的排水渠道,防止雨水冲刷导致基准点沉降或损坏;暴雨过后,及时对基准点进行检查和复测,重点排查基准点是否存在位移、损坏等情况,对受损基准点进行修复,对位移基准点进行高程修正^[4]。其次,针对暴雪、大雾天气,采用红外水准测量仪替代传统水准仪,红外水准测量受天气影响较小,可在能见度较低的情况下开展观测工作;同时,对观测仪器进行保暖、防潮处理,避免仪器故障影响观测精度。针对高温天气,选择清晨或傍晚气温较低的时段开展观测工作,减少温度变化对仪器和观测数据的影响,同时对观测数据进行温度修正,提升观测精度。另外,建立特殊天气应急预案,提前储备应急观测设备和物资,明确应急观测流程和责任分工,确保在特殊天气条件下,高程观测工作能快速、有序开展,保障施工进度不受影响。

结束语

抽水蓄能电站施工期高程控制网优化设计意义重大。通过基准点布设、观测方法及平差模型的优化,结合特殊情况下的高程控制策略,有效提升了高程控制网的精度、效率和稳定性,克服传统方案的不足。这为抽水蓄能电站的顺利施工提供了坚实的技术支撑,保障了工程质量与安全,值得在类似工程中推广应用。

参考文献

- [1]任立祺,雷发霄,樊应祥,等.抽水蓄能电站施工质量管控[J].电力安全技术,2024,26(5):7-8,11.
- [2]张超,王建平,张伟锋,等.道孚抽水蓄能电站施工总布置规划[J].水利水电快报,2025,46(1):68-74.
- [3]汪威,潘少华,罗立哲,等.石台抽水蓄能电站施工供电系统设计[J].水利水电工程设计,2024,43(3):66-68,72.
- [4]张松.抽水蓄能电站施工管理与安全控制[J].建筑与装饰,2025(17):166-168.