

抽水蓄能电站施工测量控制网建设流程关键技术

沈默, 王洋, 苏秀永

(浙江华东测绘与工程安全技术有限公司, 杭州 310014)

摘要: 为确保抽水蓄能电站的顺利建设, 需要建立施工测量控制网并定期复测, 以统一施工平面和高程测量基准。施工测量控制网建设全生命周期, 会涉及到诸如如何选点建造、观测计算等技术问题, 也会遇到征地用地、砍伐赔偿等经济问题。结合以往工作实践, 详细阐述了施工测量控制网建设流程关键技术及各环节注意事项, 以期为同行今后类似工作提供借鉴。

关键词: 抽水蓄能电站; 施工测量控制网; 复测和数据维护

中图分类号: P221; P224

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023038

沈默, 王洋, 苏秀永. 抽水蓄能电站施工测量控制网建设流程关键技术[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 141-144.
SHEN Mo, WANG Yang, SU Xiuyong. Key Technology for Construction Process of Construction Survey Control Network of Pumped Storage Power Station[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 141-144.

0 引言

作为储能电站的一种, 抽水蓄能电站工作原理比较简单, 即在用电低谷时用电网上的富余电量把水抽到高处, 到用电高峰时, 再放水发电, 进而起到调峰、填谷、调频和调相等作用。抽水蓄能电站启停时间短、调节速度快、工况转换灵活, 具有双倍调节能力, 是当前技术成熟、运行可靠且较为经济的调节电源和储能电源^[1]。

抽水蓄能电站具有落差大、地形陡峭、植被覆盖率高等特点。抽水蓄能电站枢纽工程主要建筑物由上水库、下水库、输水系统、地下厂房和地面开关站等组成。上水库、下水库高差数百米不等, 库盆多是利用天然的山川沟涧加以人工改造而成。另有类型各异的主坝、副坝、溢洪道、导流泄放洞等构造物。各建(构)筑物在施工前, 需要布设统一的工程施工测量控制网, 以确保工程整体施工顺利衔接、工程计量和复核。

近年来, 抽水蓄能电站建设项目呈井喷式增长, 截止目前全国已规划了 183 个抽水蓄能项目, 其中 73 个抽水蓄能电站项目已开工, 110 个抽水蓄能电站项目拟建设。直面当前形势, 勘测单位将有多个施工测量控制网项目待建, 作者单位曾参建国内外抽水蓄能电站若干座, 有着丰富的建设经验。本文从图上网形设计结合现场踏勘情况调整、网点微观选址建造、观测方法选择和观测技术执行、观测数据处理、项目

检查, 到控制网复测和数据维护, 逐一介绍, 并提出浅见, 供同行参考。

1 施工测量控制网建设

传统的施工测量控制网, 将平面控制网和高程控制网分别布设。平面系统、高程基准一般与勘测设计阶段一致, 联测精度不低于四等平面、四等水准测量的精度要求^[2-4]。

抽水蓄能电站的平面控制网一般布设为二等, 高程控制网一般分级布设, 分级平差。其中一等水准点作为基准点, 二等水准点作为工作基点, 个别平面观测墩采用光电测距三角高程方法代替三等水准测量。

1.1 图上网形设计、现场踏勘调整

根据抽水蓄能电站枢纽工程布置图、征地红线图等, 进行图上控制网网点选择及布网工作。点位的选择需考虑植被覆盖情况、与其他网点通视情况、地质稳定情况、交通便利情况、施工爆破开挖影响区以外、便于施工放样及控制加密等因素; 采用 GNSS 测量的点, 还需考虑卫星截止高度角、到高压线路、微波站最小距离^[5]; 位于库区内的点, 网点高程须在正常蓄水位以上; 尽可能选择在永久或临时征地红线范围内, 以减少后期的征地工作及砍伐赔偿; 点位一般选在山脊、山顶上, 便于网点间通视; 在坝址、厂房等枢纽附近, 网点密度适当大些。光电测距边长宜在 500~1 000 m 之间, 网点与施工布置区、相关网点之间高差不宜过大, 各边天顶距宜在 75°~105°之间, 超过时, 不便观测, 且影响测量精度。

图上设计好网形后, 在实地踏勘前, 根据地形图上等高线, 在两网点之间画断面线, 绘制断面图, 进

收稿日期: 2023-02-07 修回日期: 2023-02-07

作者简介: 沈默(1990-), 男, 湖北天门人。工程师, 主要从事摄影测量与遥感。E-mail: 362456689@qq.com.

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

行通视判断;也可使用 DOM、DEM 叠加而成的三维模型进行点位可视域分析和通视分析。根据分析结果进行初步点位调整。

非常有必要到现场踏勘,根据地表植被情况、交通情况和地质条件,以及当地村民的态度,适当调整控制网点位置,方便控制网点建造和观测、利于较长时间内保存。综合考虑点位建造的可行性、经济性。

随着无人机航测技术应用普及,全景影像(照片)、三维视频可供勘测设计人员在室内全过程查看现场实际情况,根据三维模型设计好踏勘选点路线,减少现场踏勘工作量,提高网形设计效率。

根据以上步骤设计的施工控制网点间边长、角度,进行精度估算、优化控制网,直至达到、优于相应等级技术指标。

1.2 网点微观选址、建造

根据设网点计图,结合实地的地表植被和地址条件,选择具体位置。微观选址期间,需要充分与当地村民沟通协调用地和植被砍伐赔偿事宜。

平面控制网点统一埋设具有强制对中装置的混凝土观测墩。混凝土观测墩按基础分为基础落入土中的深埋标和基础落在裸露岩石上但需要特别锚固的基本基岩标。

一等水准点组(3个一等水准点组成)统一埋设岩层基本水准标石,普遍埋设在坝址下游 1 km 左右施工区域外基岩上,有利于点位稳定及保存;二等水准点埋设岩层或普通水准标石,布设在施工区域外基岩或且不易遭到破坏的地方、正常蓄水位线以上,一般埋设在平面观测墩底盘上、上下库连接公路、隧洞口等施工布置区附近。

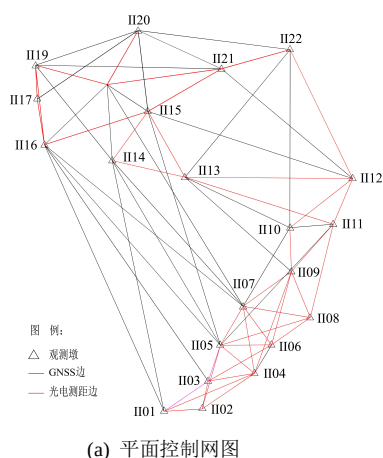
岩层基本水准标石请专业石匠协同施工,在牢固坚实的裸露基岩上,请专业石匠打凿出平面,中间打

凿出孔洞,用水泥镶嵌标芯;普通水准标石,选在基础稳定的地方,按规范^[6]开挖基坑,夯实基底,立模浇筑混凝土标石,或在岩层表面,用风钻钻 4 个角眼,灌浆锚入钢筋,再立模浇筑混凝土标石;而在观测墩底盘浇注时,在底盘表面适当位置镶嵌水准标芯。

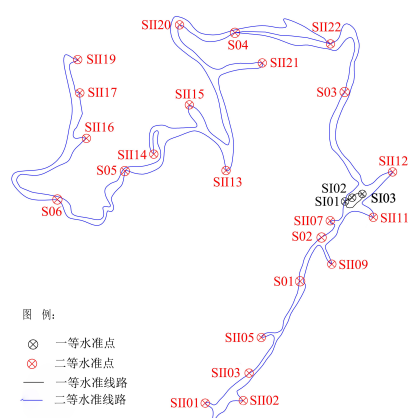
1.3 观测方法选择和观测技术执行

为取得平面控制网的起算数据,使用勘测设计阶段的已知点不少于 3 个(四等以上),与布设的平面控制网点不少于 2 个组网,按四等 GNSS 技术要求观测。高程联测按不低于四等水准观测技术要求,从勘测设计阶段的已知高程点(四等以上),测至布设的高程控制网起算点。平面、高程联测时,均需要对联测的已知点可靠性进行检查。

抽水蓄能电站上、下水库之间距离一般为 3~5 km,输水系统多为山洞,若布设较多中间过度点,即不实用也不经济,加上地形、植被影响全站仪通视,采用 GNSS 测量成为首选方法。而在坝址、厂房等施工工作面附近,为方便施工测量,控制网点一般布设较密,边长较短。大量实践表明:小于 500 m 的 GNSS 观测边长,相对比例误差难以达到二等网边长相对精度要求。文献[7]对于边长 2 km 以下高精度工程控制网,精密测角量边技术,精度比 GNSS 测量要高些。为此,在电站施工工作面附近布设的平面控制网点,宜选用高精度全站仪观测边、角。由此组成不同观测值的边、角平面控制网,如图 1(a)所示,布设成以大地四边形为主的边角网,按二等平面控制网观测技术要求进行观测,采用的全站仪测角精度不低于 1"级,测距精度优于 1 mm+1 ppm;不通视的长边按二等 GNSS 观测技术要求进行静态观测,采用的接收机精度不低于 5 mm+1 ppm。



(a) 平面控制网图



(b) 水准网路线图

图 1 施工测量控制网示意图

Fig.1 Construction survey control network diagram

位于交通方便的水准点,采用几何水准测量,观测等级分为一等、二等,采用的电子水准仪标称精度

不低于 ± 1 mm/km。一等水准网网形为单一闭合水准路线;二等水准网由若干个二等水准点、1 个一等水

准点组成结点网。在部分观测墩附近增设普通水准标石并纳入二等水准路线,如图 1(b)所示。对接测水准困难的观测墩,采用三等光电测距三角高程代替,采用的全站仪测角、测距精度同上。

1.4 观测数据处理

解算联测的四等 GNSS 观测数据,获取施工测量控制网的平面起算坐标;平差计算联测的四等水准数据,获取施工测量控制网的起算高程。

施工测量控制网的边长、方向观测数据、高差观测数据分别进行概算、平差。其中,经过各项改正后的部分斜距用于计算光电测距三角高差。

1.4.1 平面数据概算、平差

经过测站平差的全站仪所测多测回方向值,取平均数。全站仪所测的斜距,经过气象、加常数、乘常数等修正后,按式(1),采用经平差后的高差进行改平;按式(2)将改平后的边长投影到选定的高程面上。

$$D = \sqrt{(S^2 - h^2)}, \quad (1)$$

$$D_0 = D \left(1 + \frac{H_p - H_m}{R_A} \right), \quad (2)$$

式(1)、式(2)中, D 为测距边水平距离; S 为经过各项修正后的斜距; h 为测距边两端点之间的正常高高差; D_0 为归算到选定高程面上的长度; H_p 为选定的投影面高程; H_m 为测距边两端点的平均高程(正常高); R_A 为测距边所在法截线的曲率半径,可使用测区平均曲率半径代替。

GNSS 观测数据经过基线解算、重复基线、同步环和异步环检验合格后,对基线进行无约束平差,再按式(3)用两端点之间的大地高差进行改平,按式(4)将改平的 GNSS 基线边投影到选定的高程面上。

$$D = \sqrt{(S^2 - h_G^2)}, \quad (3)$$

$$D_0 = D \left(1 + \frac{H_p - (H_G - \zeta)}{R_A} \right), \quad (4)$$

式(3)、式(4)中, D 为 GNSS 基线边水平距离; S 是 GNSS 无约束平差后基线边长; h_G 为 GNSS 基线边两端点之间的大地高高差; D_0 为归算到选定高程面上的长度; H_p 为选定的投影面高程; H_G 为 GNSS 基线边两端点的平均高程(大地高); ζ 为测区平均高程异常; R_A 为 GNSS 基线边所在法截线的曲率半径,可使用测区平均曲率半径代替。

平面控制网含有不同种类观测值,观测值精度不同。大量实践表明,全站仪的测角、测距的实际精度往往低于仪器标称精度,GNSS 测量的精度往往高于仪器标称精度,所以按观测的先验中误差(由标称精

度求得)确定的先验权并不十分可靠。文献[8-9]提出的联合平差,是把各类观测值通过平差随机模型的验后估计,统一定权、统一分配偶然误差,平差成果合理,精度评定更为客观。文献[10]讨论了验后定权平差方法的可靠性。

为控制边长投影变形在 2.5 cm/km 以内,根据上、下库区高差,选定的投影高程面一般为 1~3 个。一般采用工程枢纽附近点为起算点,以该点至另一工程枢纽附近点的方向作为起算方向,进行经典自由网平差,最终生成含各项平差精度指标、平差成果的报告。

需要说明的是,这种工程坐标系,不再考虑边长的高斯投影变形^[11],是挂靠在勘测设计阶段的平面坐标系下的一种挂靠坐标系。

1.4.2 高差观测数据概算、平差

查验加入各项改正后的各测段往、返测水准高差,合格后,取其中数。利用平面观测时经各项改正后的斜距和天顶距、仪高和镜高,计算三角高差,查验往、返测合格后,取其中数。

一、二等水准高差、三等光电测距三角高差,分级平差。一等闭合水准网平差计算时,将起算点高程固定,直接高差设定为 0.001 m;二等结点水准网平差计算时,将起算点高程固定,直接高差设定为 0.002 m;三等三角高差附和网平差时,将联测了二等水准的平面控制点高程固定,间接高差设定为 0.006 m。以测段距离定权,间接平差,最终生成含各项平差精度指标、平差成果的报告。

1.5 项目检查

执行规范二级检查一级验收方式进行质量控制。两级检查互相独立、按顺序进行,形成检查记录、检查报告。最后由项目建设管理单位组织或委托第三方具有资质的质量检验机构进行质量验收,出具质检报告。

2 施工测量控制网复测和数据维护

受区域地质构造和施工环境影响,控制网点随着时间推移可能会发生位移,影响施工测量准确性,甚至造成工程质量缺陷、质量事故。因此,施工测量控制网需要进行复测,并分析网点点位的稳定性,进行数据维护、更新。

复测频率:筹建期,控制网建成 1 年以后复测 1 次;土建高峰期,根据施工情况复测 1~2 次;机电安装工程开始前复测 1 次;完建期复测 1 次。发现网点有明显位移或被撞击的迹象时应进行复测,根据施工需要,进行网点加密及恢复被破坏点,技术方案另行设计。

复测的方法同首次建网,复测数据一般采用拟稳

平差。以前次平差结果为近似值,结合本次观测数据,进行有特类值的拟稳平差。以拟稳平差成果作为更新资料,维护数据的现势性。

3 结 语

基于施工测量控制网点进行的抽水蓄能电站各阶段施工,控制网点布设合理性、稳定性和数据现势性,关乎工程各部位施工顺利衔接。文中所述,是施工测量控制网建设的全生命周期,从技术上可靠性和先进性、经济上可行性综合考虑,对流程的每个环节都进行了细致挖掘,并在工程实践中持续检验和不断改进。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 张博庭. 大力发展抽水蓄能是实现我国“双碳”目标的当务之急[J]. 水电与抽水蓄能, 2021, 7(6): 1-3, 10.
- [2] 国家能源局. 水电水利工程施工测量规范: DL/T 5173—2012[S]. 北

京: 中国电力出版社, 2012.

- [3] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程测量规范: SL 197—2013[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [4] 国家能源局. 水电工程测量规范: NB/T 35029—2014[S]. 北京: 新华出版社, 2014.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 全球定位系统(GPS)测量规范: GB/T 18314-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [6] 国家测绘局. 国家一、二等水准测量规范: GB/T 12897—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [7] 施一民. 现代大地控制测量[M]. 2 版. 北京: 测绘出版社, 2008.
- [8] 何仕群. 基于坐标模式的全站仪数据与 GPS 向量网联合平差[D]. 西安: 西安科技大学, 2016.
- [9] 李邱林, 杜全维. GPS 与全站仪数据联合平差方法研究[J]. 地理空间信息, 2017, 15(7): 73-75, 85, 10.
- [10] 苏秀永, 胡俊凯, 吴文超, 等. 多源数据联合平差以及合理的定权方法实践—以某抽水蓄能电站施工测量控制网为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(3): 176-179.
- [11] 苏秀永, 邵火峰, 吴磊, 等. 水利工程控制测量中几种平面坐标系统建立方法的实践分析[J]. 小水电, 2021(1): 50-53, 101.

Key Technology for Construction Process of Construction Survey Control Network of Pumped Storage Power Station

SHEN Mo, WANG Yang, SU Xiuyong

(Zhejiang Huadong Mapping and Engineering Safety Technology Co., Ltd, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to ensure the smooth construction of the pumped storage power station, it is necessary to establish a construction survey control network and regularly resurvey to unify the construction plane and elevation survey datum. The whole life cycle of the construction of the construction survey control network will involve technical issues such as how to select and construct sites, observation and calculation, as well as economic issues such as land acquisition and compensation for deforestation. Combined with previous work practice, this paper expounds in detail the key technologies and precautions of each link in the construction process of construction survey control network, in order to provide reference for similar work in the future.

Key words: pumped storage power station; construction survey control network; retest and data maintenance

责任编辑: 赵宇龙