

# 水电站工程测量技术及测绘新技术探讨

刘琪<sup>1</sup>, 李萌<sup>2</sup>, 蒲平新<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 硬梁包监理中心, 四川 泸定 626100;

2. 四川华能泸定水电有限公司, 四川 泸定 626100)

**摘要:** 随着时代的进步, 科技的创新, 我国的水电工程勘察设计和施工技术 etc 已居世界先进水平。测绘作为工程的眼睛, 伴随越来越多的测绘新技术涌现, 水电站的发展也得到新的发展助力。笔者针对测绘工程在水电站中的应用进行探讨及分析, 以及对未来测绘技术的发展及展望作以分析, 以供参考。

**关键词:** 水电站; 测量技术; 测绘

中图分类号: TB22

文献标识码: A

文章编号: 1001-2184(2023)01-0076-04

## Discussion on Surveying Technology and New Technology of Surveying and Mapping for Hydropower Projects

LIU Qi<sup>1</sup>, LI Meng<sup>2</sup>, PU Pingxin<sup>2</sup>

(1. China Northwest Water Conservancy Hydropower Engineering Consulting Co., Ltd.,

Yingliangbao Supervision Center, Luding Sichuan 626100;

2. Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Luding Sichuan 626100)

**Abstract:** With the progress of the times and the innovation of science and technology, the survey, design and construction technology of hydropower projects in China have reached the advanced level in the world. Surveying and mapping is the eye of engineering, and with the emergence of more and more new surveying and mapping technologies, the development of hydropower stations has also received new assistance. This paper discusses and analyzes the application of surveying and mapping engineering in hydropower projects, and analyzes the development and prospect of surveying and mapping technology in the future, which could be used as reference.

**Key words:** Hydropower station; Surveying technology; Surveying and mapping

## 1 工程测量技术概述

工程测量作为工程基础服务工作, 为工程提供数据支撑, 在勘察、设计、施工阶段都发挥着重要的作用。近年来科技的进步, 人类的不停探索, 测绘行业迎来巨大的变化。从传统的水准测量、角度测量、三角高程测量及距离测量, 发展到三维激光扫描测量、倾斜摄影测量、遥感测量、全球定位测量系统、智能测量机器人等; 测绘计算从传统的手算或计算器计算发展到智能软件运算分析及智能云计算等; 从传统的绘图板绘图、CAD 简单制图到全自动化绘图及地理信息系统等; 行业的发展提高了测绘的精度和效率, 水电站上的应用也提高了水电站建设的安全性和合理性。

## 2 水电站的测绘技术应用分析

### 2.1 施工控制测量

控制网是建设水电站工程前期最重要的工作, 控制网的精度直接影响电站的建设精度。控制测量即测量原则“从整体到局部”中整体的概念, 控制测量一般指导线测量, 水电站控制测量一般需要做首级控制网及加密控制网。

首级控制网主要运用全球定位技术(GPS)进行测量, 前期需要在电站建设的整个场地进行踏勘, 为使卫星信号有所保证, 选取稳固视野范围宽阔的地方作为控制点位置, 不要有成片遮挡物和障碍物的区域, 选取的位置最好远离高压输电线路和平静的水面, 在选取的位置上布设永久控制桩。按照工地范围大小选取合适的测量等级, 根据全球定位系统(GPS)测量规范 A 级或 B 级或其他等级导线网测量技术要求, 同时使用多台 GPS 静态基站在控制桩上设站, 同步静态观测或者异步静态观测 4~6 h 以上, 获得观测卫星数

收稿日期: 2022-08-05

据。经过GPS静态数据处理软件进行同步环或者异步环基线解算及分析,获得经纬度坐标,经过四参数或七参数转换获得大地测量坐标。

在施工前需要做二级加密控制网,加密导线网测量即测量原则“从整体到局部”中局部的概念;根据场地范围大小及测量规范,选取国家三等或者四等导线测量技术规范要求进行测量;布置形式一般采用闭合导线,观测方式可采用双向观测或多向观测。已知点即首级控制网控制点,需将通视条件良好的已知点作为导线网的起点,一般不少于两个;外业利用全站仪进行测量,根据规范等级要求一般观测三到六个测回,获得每个测站点的角度,天顶距,斜距或平距,导线网每站观测中要遵循“步步检核”的测量原则,计算每观测测回的指标差,记录好每站的观测数据;内业经过导线网测量平差分析软件进行平差分析计算获得大地测量坐标。高程一般采用三角测量高程或者水准测量高程,水准测量等级一般采用二等及以上水准测量规范要求进行测量,获得的数据经过平差计算获得该控制点的高程数据,水准测量的高程点数据可以和导线测量三角高程平差数据进行对比,获得更高精度数据<sup>[1]</sup>。

首级控制网一般需要一年或半年复测一次,加密控制网一般要求一个季度复测一次,保证导线网的精度,施工过程中要对导线控制点做好防护,要有明显的标识,防止被破坏。水电站控制测量成果需报监理审核批准后方可使用。

## 2.2 施工地形测量

地形测量是对地形地貌的测绘,是对地球表面的地物、地形在水平面上的投影位置和高程进行测定,并按一定比例缩小,用符号和注记绘制成地形图的工作。地形测量应遵循“先控制后碎部”的测量原则。施工期的开挖及填筑,需要计算其工程量或对其验收,开挖或填筑前后需测量其现状地形,为工程计量和验收做数据支撑。水电站地形测量一般按照1:1 000或者1:500地形测量规范进行测量,外业采集数据可以使用全站仪或者RTK(GPS动态测量技术)进行数据采集,按照地形测量规范,外业采集数据遇到沟坎必须采集特征点数据,平坦的地域根据地形图的比例尺采集不同间距的地形点。内业使用CASS或者Civil3D绘制地形图,建立地形数据库。地形图需

要绘制出高程点位置、三角网、等高线等,等高线需要绘制出首曲线和计曲线。需要表明地形图的比例尺,绘制单位或者绘制人<sup>[2]</sup>。水电站原始地形测量需要经“四方”现场联合测量及签字确认,以备后查。

## 2.3 施工放样测量

施工放样测量是施工中最常用的测量,放样是将图上的点经过仪器测定表现在实地。测量放样的方法一般采用极坐标法,一般放样需要放出图纸上的特征点,水电站大坝特征点包含构筑物的角点,曲线段的变曲点,放坡的坡顶点和坡脚点等;隧洞放样主要是掌子面的放样,特征点包含底板位置点,起拱点,顶拱点等;然后根据开挖情况加密放样点位置。放样的设站一般采用后方交会法或前方交会法设站,交会点必须是从导线网控制点上引测,一般后视点不少于三个,交会的角度不宜小于 $30^\circ$ 及大于 $120^\circ$ ;按照测量的原则,设站是必须检查设站的残差大小,设站完成后必须反测交会点坐标,保证设站精度。现场施工测量放样需绘制测量放样单,放样单上表示出放样的简图,放样的每个点位的坐标和放样后的偏差,用来指导现场施工;隧洞内放样,需表示出放样的超欠情况,用油漆在掌子面或边墙上画出超欠值,用来指导钻工的钻孔角度和钻进方向。测量放样必须熟知图纸,反复验算,保护好后视点,保证放样精度,避免放样差错。放样的点位坐标误差需满足水电站施工测量规范及设计相关要求。

## 2.4 施工验收测量

水电站某部位开挖、填筑结束或者开挖一个单元后就需对开挖体型进行测量验收,测量验收一般采用断面法测量。对于不规则的开挖或填筑地形,需要先测量其地形图,外业测量使用全站仪或者RTK(GPS动态测量技术)采集开挖或填筑后的现状地形数据,内业使用CASS或Civil3D绘制地形图,在地形图上绘制特定的断面轴线,在轴线上绘制横断面线,特殊位置可以增加横断面线,利用专业绘图软件切割出该区域的横断面图。在横断面图上相同高程、桩号及轴线中线位置绘制开挖前后的横断面图及设计横断面图,标注开挖超欠值,根据超欠值结合规范及设计要求评定开挖质量。验收测量一般要通知监理、业主到场参与测量或检查,保证测量数据的准确性,验收合

格后才可进行下一道工序的施工。

## 2.5 施工工程量计算断面的测量

施工中经常需要计算工程量,对于不规则的地形开挖,无法运用常规的数学公式进行计算的时候,就需要使用工程测量的方式进行计算。一般在计算时需要收集开挖前后的地形图及数据。类似于验收测量的方式用 CASS 软件剖切某桩号位置的横断面图,在某桩号位置的断面图上的绘制开挖前后的断面线,用断面线相交的中间部分计算出开挖前后此部位的开挖断面(或填筑断面)

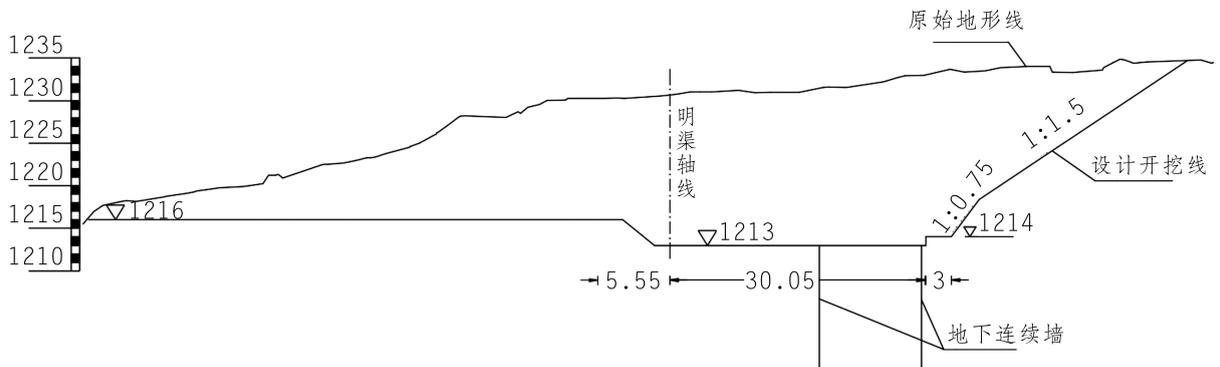


图 1 某电站大坝开挖(闸)0+40.00 断面图(单位:m)

施工期为了保证施工安全,必须要进行变形监测,变形监测一般分为永久安全监测和临时安全监测,是施工期一项非常重要的工作。永久安全监测一般使用专业的安全监测传感器或监测仪器埋设在需要监测的位置,用专业的数据采集仪器测量实时监测数据,传输或输入到安全监测自动化分析软件中,经过一段时间的监测,分析出该时间段的数据变化,用回归曲线的方法分析该部位监测的变形收敛情况。临时安全监测一般需要外业采集监测部位的坐标、高程或相邻两部位的长度等数据,现场一般采用全站仪测量某两点或者多点的坐标,计算出该部位间长度和自身的高程;或利用水准仪测量某位置的高程,统计某段时间内的该部位的长度及高程数据变化情况,利用回归曲线的方法分析该工程部位的变形收敛情况<sup>[3]</sup>。变形监测要及时形成简报并报送监理及业主审核,发现问题要及时上报以采取加固措施,保证水电站的安全。某水电站引水隧洞及支洞开挖临时变形监测点位布置示意图见图 2。

## 3 水电站的测绘新技术探讨

### 3.1 倾斜摄影测量技术

近些年发展起来一项新测绘技术—倾斜摄影

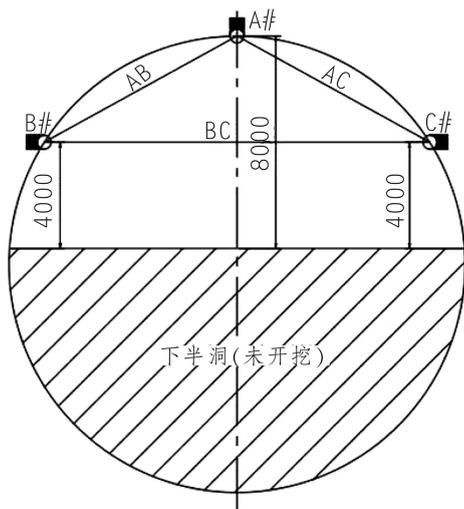
面积,利用桩间距及断面面积使用棱台法或者平均法计算出某桩号段的开挖方量,即为开挖工程量;计算设计开挖工程量,需在断面图上绘制出设计结构开挖(填筑)线,按相同方法,即可计算出设计开挖(填筑)工程量。工程量计算需熟知结构图纸,了解工程范围及参数,也可以使用 Civil3D 绘制该结构的三维模型,建立专业数据库,保证计算区域不会重叠。计算结果需报监理及业主审核。某电站大坝开挖(闸)0+40.00 断面图见图 1。

### 2.6 施工变形监测

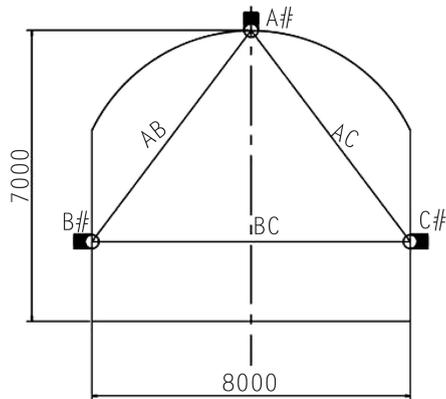
测量技术,改变了传统的航测遥感影像只能从垂直方向进行拍摄的限制,倾斜摄影测量技术利用多台传感器从不同的角度对数据采集,高效快速地获取海量的数据信息,真实可靠的反应地面的客观情况。具体来讲,倾斜摄影测量包含如下技术:得到外业数据、将各类影像数据匹配、对平差纠正并处理、对正射影像进行处理。倾斜摄影测量主要依赖无人机,从根本上将测量精度提升。倾斜摄影测量技术测量的数据带有空间位置信息和各种影像数据,同时还可以输出 DSM、DOM、DLG 等的成果数据,应用到水电站上可以降低设计成本及测绘成本<sup>[4]</sup>,实时监测电站建设的变化及防洪减灾分析。

### 3.2 全自动绘图技术

数字化绘图技术近些年也发生了巨大的变化,全自动绘制技术一般采用 3D 软件或 GIS 软件及相关的数字云图软件与云计算结合等,加之近年来 BIM 技术的高速发展,使绘图变得更加快捷,电子图元素特性更加丰富;传统的测量技术及制图方法,往往需要投入大量的人力、物力、财力及时间等,而且采集到的数据精度也不高。现代化测绘方式结合数字化成图技术,建立专业的数



引水隧洞监测收敛断面布置示意图



支洞监测收敛断面布置示意图

图2 某水电站引水隧洞及支洞开挖临时变形监测点位置布置示意图(单位:mm)

数据库,根据数据库数据生成专业的三维地形图,可以对数据进行实时的筛选及分析;也可以在地形图上进行实时设计、组织工程建设、计算工程量等,在数据实时变化的过程中设计可以实时改动,工程量可以实时计算出来,使工作更加高效,降低了测绘难度,节省了更多的成本,提高了工程的整体效益。

### 3.3 RS 遥感测量技术

遥感技术是利用遥感器从空中通过探测物体与特定波段电磁波的相互作用识别地物及其物、化性质的技术,而有别于探测力场,弹性波等特性的地球物理方法。在水电站上利用遥感、地理信息系统为主要平台,采用高分辨率卫星遥感图像,结合构造地质、工程地质及地震地质等技术方法,开展电站上地形地貌、岩性构造、不良地质现象和水文地质等遥感信息的提取以及滑坡、泥石流为主的地质灾害及其发育地质环境遥感调查;为电站提供工程设计、实施提供基础地质资料和科学的决策依据<sup>[5]</sup>。根据遥感影像特征,结合常规地质资料能快速圈定地层界线,分析工作区地形地貌、地层、岩土体的基本特征和分布规律,以及工程地质岩组、分区的位置及特征,分析主要断裂构造。采用红外波段的遥感影像图,查出探测区的富水构造、地热异常带、温泉等的分布。采用遥感技术开展水电站地质灾害调查、监测、预警、评估。

## 4 结 语

水电站是国家清洁能源建设的一项重大举措,是百年大计,工程测量是工程建设的重要保障,必须获得较高精度的数据,为电站建设的安全和数字化做好勘察、设计、施工及数据分析的科学依据。近些年国家不断加大对工程测绘的投入,测绘技术高速发展,人工智能的加持,相信未来会更高精度,更高效,更安全、更节省成本。

### 参考文献:

- [1] 刘文军. 隧洞洞内施工控制测量技术浅析[J]. 建材发展导向(下), 2021, 19(6): 83-84.
- [2] 马力, 白峰, 周传松, 等. 巴基斯坦卡洛特水电站地形测量的组织实施[J]. 水利水电快报, 2020, 41(3): 33-35, 46.
- [3] 王晓华, 徐卫国. 地下工程施工变形监测的研究[J]. 商丘师范学院学报, 2009, 25(3): 118-121.
- [4] 康建业. 探究倾斜摄影测量技术的应用及展望[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017, 6: 177-178.
- [5] 陈立强, 张慧. 遥感技术在工程勘察中的研究应用[C]. // 中国水力发电工程学会第五届地质及勘探专业委员会第二次工程地质学术研讨会论文集. 2014: 295-300.

### 作者简介:

- 刘 琪(1989-),男,陕西商洛人,中国水利水电建设工程咨询西北有限公司,工程师,大专,从事工程测量工作;  
李 萌(1992-),男,河南漯河人,四川华能泸定水电有限公司,工程师,硕士,从事水利水电工程管理工作;  
蒲平新(1998-),男,四川巴中人,四川华能泸定水电有限公司,学士,从事水利水电工程管理工作。

(责任编辑:吴永红)