

# 位于高山峡谷地区的水电站平面控制网建设

付庆伟

(四川中水成勘院测绘工程有限责任公司,四川成都 610072)

**摘要:**静态GPS相对定位技术在大型结构体的平面控制网建设中应用广泛,较大地提高了测绘工作的效率。但对于高山峡谷地区,GPS的测量精度受到了很大限制。通过攀枝花金沙水电站施工控制网的工程实践,探讨了高山峡谷地区GPS测量的精度是否能够满足大型结构体平面控制网的建设要求。根据该工程的实际情况,对测量数据进行了质量控制,保证了工程专用平面控制网精度满足要求。

**关键词:**金沙水电站;GPS;控制网;建设;精度统计

中图分类号:TV7;TV221.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)03-0076-03

## 1 概述

由于GPS在布设控制网方面具有可全天候观测、观测时间短、布设灵活、控制点之间相对精度高、观测处理自动化等优点,已被广泛应用到各类工程的施工控制网建设中。常规控制网要求相邻点之间必须保证互相通视,但高山峡谷地区由于地形条件限制,往往不能完全满足互相通视的要求,而GPS控制网在此方面具有非常明显的优势。高山峡谷地区水电资源丰富,水电工程一般都在峡谷的谷底布置,但GPS测量的天空角条件特别差,而河谷左岸和右岸控制点的天空角条件又处于完全相反的方向,不仅使接收到信号的相同卫星数量较少而导致多余观测值较少,而且由于天空角较小,使得交会的精度受到严重影响。因此,在高山峡谷地区建立高精度GPS带状控制网有一定的困难,需要进行试验和探讨。笔者通过金沙水电站平面控制网的建设,探讨了施工控制网的布设、数据处理、质量控制和精度统计等方面的内容。

## 2 金沙水电站工程控制网建设

### 2.1 工程概述

金沙水电站位于金沙江干流中游末端的攀枝花河段上,是上游观音岩水电站和下游乌东德水电站之间金沙江干流河段的衔接梯级电站,为《金沙江干流综合规划报告》中推荐梯级开发方案中的重要枢纽,坝址位于四川省攀枝花市西区,控制流域面积25.89万km<sup>2</sup>,多年平均流量1 870

收稿日期:2013-12-11

m<sup>3</sup>/s,年径流量590亿m<sup>3</sup>。

金沙水电站设计正常蓄水位高程1 022 m,电站装机容量560 MW,保证出力110.1 MW,多年平均发电量23.18亿kW·h。金沙水电站发电为其主要功能,兼有供水、改善城市水域景观和取水条件及对观音岩水电站具有反调节作用等。

金沙水电站工程的概略位置:东经101°37'~101°40',北纬26°34'~26°36',地处深山峡谷,测区内高程约1 000 m以上,地形交通条件十分复杂,从而给控制网布设和观测工作带来不利影响。

### 2.2 布网原则

建网过程中,充分考虑了控制网精度需要,尽可能地优化了首级控制网的网型,减小了由于网型结构带来的系统误差;同时,考虑到测区内边坡稳定性及不均匀沉降对控制点稳定性的影响,以及测区的气象、水文、地质条件对确定建网时间和测量作业时间的影响;控制网除满足布网要求外,还考虑了施工加密控制网布测的需要。其网型结构见图1。

### 2.3 施测方案

结合项目现场情况,为保证控制网的精度,采用6台Trimble双频接收机对控制网按照静态相对定位方式进行施测。施测前,依据测区的平均经、纬度和作业日期编制了GPS卫星可见性预报表,根据该表进行了同步观测环设计及观测时间段设计,编制了作业计划进度表。卫星高度角大于15°,有效卫星数大于5颗,几何强度因子

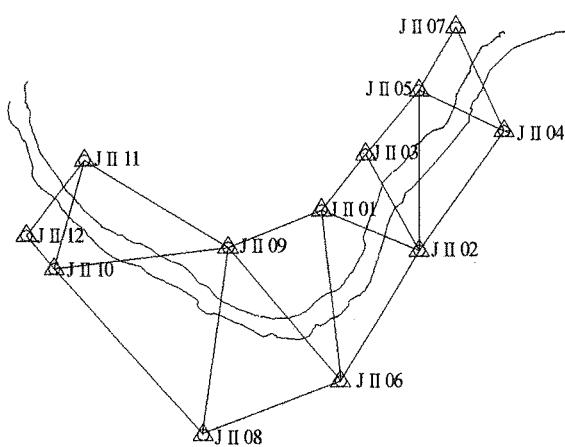


图1 攀枝花金沙水电站平面控制网示意图

PDOP 小于 6, 数据采样间隔为 15 s。控制网采用边连接形式布测且遵循以下原则:重复设站率不小于 2, 网中每点至少有 3 条独立基线与之相连接。观测分两步进行:(1) 控制网联测:选取首级控制网的 3 个网点(J II 02、J II 07、J II 11)与 3 个Ⅱ等国家三角点同步观测, 观测 2 个时段, 每个时段长度不少于 4 h, 将国家点坐标引至测区;(2) 首级施工控制网观测:采用 6 台 GPS 接收机按二等 GPS 网的要求按边连接实施, 观测 2 个时段, 每个时段长度不少于 4 h, 天线高量取至天线标志中心, 每时段观测前后各量取天线高一次, 两次较差小于 2 mm, 取平均值至 0.1 mm。

#### 2.4 技术指标

该施工控制网按二等网布设, 平面精度应满足最弱边相对中误差 1/150 000、最弱点点位中误差  $\pm 5$  mm 的要求。

### 3 数据处理

#### 3.1 平面坐标系统

根据工程特点和甲方需要, 施工控制网采用以下坐标系统:

(1) 国家坐标系:1954 年北京坐标系,3 度分带, 中央子午线  $102^{\circ}$ , 高斯正形投影成果;

(2) 抵偿坐标系:1954 年北京坐标系, 中央子午线  $102^{\circ}$ , 边长投影至 990 m 高程面坐标成果;

(3) 工程独立坐标系:大坝坐标系(Y 轴平行于坝轴线指向右岸, X 轴垂直于坝轴线指向下游坐标系), 投影高程面为 990 m(图 2)。

#### 3.2 起算数据检验

起算数据为国家Ⅱ等三角点, 分别为“杨家

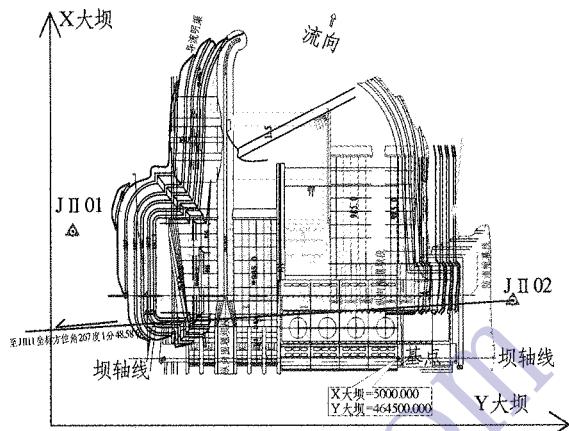


图2 大坝独立坐标系示意图

、坪”、“小营盘”和“力子非”。经过对起算点设站观测进行检验, 确认“力子非”与“杨家坪”和“小营盘”的兼容性较差, 因此在平差计算时以“力子非”为检查点, 以“杨家坪”和“小营盘”为起算点。

#### 3.3 基线解算和观测数据检验

GPS 观测数据的基线处理采用美国 Trimble 公司商业办公软件 TBC 进行。外业检验中相邻点间的弦长精度按下式进行计算。

$$\delta = \pm \sqrt{A^2 + (B \times d)^2} = \sqrt{5^2 + (1 \times d)^2}$$

GPS 网共测量基线 90 条, 其中重复基线 32 条, 各长度较差满足  $\Delta d \leq 2\sqrt{2}\delta$  的精度要求。全网构成同步闭合环共 946 个。

同步环各坐标分量闭合差及环线全长闭合差满足以下规定:

$$W_x \leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma, W_y \leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma, W_z \leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \leq \frac{\sqrt{3n}}{5} \sigma$$

异步环各坐标分量闭合差及环线全长闭合差满足以下规定:

$$W_x \leq 2\sqrt{n}\sigma, W_y \leq 2\sqrt{n}\sigma, W_z \leq 2\sqrt{n}\sigma$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \leq 2\sqrt{3n}\sigma$$

GPS 控制网复测基线和环线闭合差较差均满足《水电水利工程施工测量规范》(DL/T 5173—2012)相关精度要求, 表明外业观测数据正确、可靠。

#### 3.4 控制网平差

(1) 在 1954 年北京坐标系下控制网平差:以国家Ⅱ等三角点“杨家坪”和“小营盘”作为起算

点使用Power Adj4.0软件进行约束平差计算,TBC软件进行校核计算,求得坝区施工控制网12个点(JⅡ01~JⅡ12)的1954年北京坐标系成果。

以所求得的JⅡ02坐标为起算坐标,JⅡ02至JⅡ11的方向角( $286^{\circ}33'28.98''$ )为起算方位角,对施工控制网中12点进行无约束平差,从而求得1954年北京坐标系,中央子午线 $102^{\circ}$ ,3度分带,高斯正形投影成果。

(2)在高程面990m上控制网平差:以(1)中JⅡ02的1954年北京坐标系下的成果作为起算坐标,JⅡ02至JⅡ11的方向角( $286^{\circ}33'28.98''$ )为起算方位角,将GPS观测边及TCA2003往返精密测距边平均值投影至990m,采用长江勘测科技大学研究所研制的软件“平差数据处理系统”进行无约束网平差,得到抵偿系坐标中的成果。

(3)在大坝独立坐标系下控制网平差:取大坝最右岸导流孔右侧坝段间分缝线与坝轴线交点为基点(设坐标为 $X_{\text{大坝}}=5000$ 、 $Y_{\text{大坝}}=464500$ ),对枢纽进行旋转,使坝轴线与大坝坐标系坐标轴正交,Y轴平行于坝轴线指向右岸,X轴垂直于坝轴线指向下游,以旋转后的JⅡ02大坝坐标( $X=5064.3563$ , $Y=464654.5243$ )作为起算坐标,旋转后的JⅡ02至JⅡ11方向角( $267^{\circ}01'48.58''$ )为起算方位角(将GPS观测边及TCA2003往返精密测距边平均值投影至990m),采用“平差数据处理系统”进行统一平差(采用Power Adj4.0进行校核计算),得到工程独立坐标系的成果。

#### 4 精度统计

表1列出了“力子非”1954年北京坐标系下的检验成果,将其与原有成果相比,该点位在东西方向出现了较大的位移。

表2列出了1954年北京坐标系下控制网中相邻最弱边JⅡ01-JⅡ03的边长相对中误差,其

(上接第64页)

在对两种方法进行对比、分析以及生产性试验后发现,“湿拌法”在设备投入、生产效率、生产制备能力、料物利用等方面都优于“干拌法”,通过“湿拌法”生产制备粘土心墙料,既节约了成本,又提高了效率,还缩短了工期。在苏丹上阿特

表1 起算点检核表

项目	X/m	Y/m
LZF检测坐标	2 926 358.847 1	461 819.012 6
LZF原坐标	2 926 358.83	461 818.96
差值/m	0.017 1	0.352 6

相对精度满足技术要求。表3为1954年北京坐标系下的加密点位精度统计,各点位均满足5mm的技术要求。

表2 最弱边长相对中误差表

项目	实测值	允许值
最弱边(JⅡ01-JⅡ03) 边长相对中误差/mm	1/158 961	1/150 000

表3 点位精度统计表

点名	JⅡ01	JⅡ02	JⅡ03	JⅡ04	JⅡ05	JⅡ06
点位中误差 /mm	1.15	1.16	1.16	1.15	1.15	1.16
点名	JⅡ07	JⅡ08	JⅡ09	JⅡ10	JⅡ11	JⅡ12
点位中误差 /mm	1.14	1.18	1.16	1.17	1.15	1.17

#### 5 结语

大型结构体如水电站大坝或轨道交通的施工、运营和维护离不开平面高精度控制网的建设,因此,布设并维持高精度控制网是非常有必要的。笔者通过金沙水电站的平面控制网建设,介绍了高精度控制网布设、观测和内业数据处理的流程,最后对成果进行了精度统计。结果表明,控制网精度满足设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 水电水利工程测量规范,DL/T 5173-2003[S].
- [2] 全球定位系统(GPS)测量规范,GB/T 18314-2009[S].
- [3] 李庆航,黄劲松. GPS测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2010.
- [4] 刘大杰,施一民,过静琨. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M]. 上海:同济大学出版社,2003.

#### 作者简介:

付庆伟(1978-),男,四川成都人,副主任,工程师,从事水电工程测量技术及管理工作。  
(责任编辑:李燕辉)

巴拉水利枢纽博达纳大坝工程中,目前采用“湿拌法”进行粘土心墙料的生产制备。

#### 作者简介:

王元印(1987-),男,贵州黔西人,处长,助理工程师,学士,从事土石坝工程施工技术和质量管理工作。  
(责任编辑:李燕辉)