

二滩水电站大坝水平位移基准网及校核网系统稳定分析

何涛, 田超, 李晓波

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:基于二滩水电站定检过程中监测系统评价的相关技术要求,通过对大坝水平位移基准网及校核网的现场检查、精度分析和网点的稳定性分析,给出了基准网稳定性的评价意见并提出了应结合多种监测技术手段对基准网的计算平差进行优化的建议,以提高基准网的稳定性。

关键词:稳定性分析;水平位移基准网;监测评价;二滩水电站

中图分类号:TV7;TV698.1;TV22

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2022)01-0010-04

Analysis on the Stability of Horizontal Displacement Monitoring Reference Network and Calibration Network System for the Dam of Ertan Hydropower Station

HE Tao, TIAN Chao, LI Xiaobo

(PowerChina Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Based on relevant technical requirements for evaluation of monitoring system in the process of regular inspection of Ertan Hydropower Station, evaluation on stability of the reference network is given in this paper through on-site inspection, accuracy analysis and network stability analysis on the horizontal displacement reference network and calibration network for the dam. Optimization of the calculation adjustment of the reference network is suggested to be done with a variety of monitoring techniques, so as to improve the stability of the reference network.

Key words: stability analysis; horizontal displacement reference network; monitoring evaluation; Ertan Hydropower Station

1 概述

二滩水电站位于四川省攀枝花市雅砻江干流,系雅砻江流域水电梯级开发的第一座水电站。二滩水电站为一等工程,拦河坝、泄洪建筑物、输水建筑物和地下厂房为 1 级建筑物;大坝下游消能建筑物中二道坝为 2 级建筑物,水垫塘为 3 级建筑物;过水建筑物为 3 级建筑物。二滩水电站以发电为主,水库正常蓄水位高程 1 200 m,总库容 58 亿 m^3 ,调节库容 33.7 亿 m^3 ,水库具有季调节能力。电站总装机容量为 3 300 MW,多年平均发电量为 170 亿 $kW \cdot h$ 。

大坝安全监测系统是监测大坝运行状况、及时发现工程隐患的重要设施之一,是大坝运行管理的耳目。因此,大坝安全监测系统评价亦被列为水电站大坝安全定期检查专题项目之一。为保证大坝安全监测信息的可靠性,按照国家法令和

规程规范中对大坝安全定期检查的有关规定和要求,需要对大坝现有的监测设施定期进行全面检查、测试和评价,在检查考证施工资料、现场检查和测试并对历年监测资料进行对比分析等工作的基础上,对整个监测系统作出综合评价,为大坝安全定期检查提供技术资料。

对大坝水平位移基准网及校核网的系统稳定性进行分析的步骤:首先,通过历年取得的监测数据分析判断控制网的工作状态及可靠性;其次,通过现场检查和测试查看测点的布置形式、工作环境和保护情况等,评价监测系统是否具备反映建筑物性态的能力;最后,通过对监测数据进行对比分析,结合建筑物的结构特性和运行情况,对整个监测系统的完备性、监测精度和可靠性作出系统的稳定性分析和评价。阐述了对二滩水电站大坝水平位移基准网及校核网系统进行的稳定分析过程。

收稿日期:2022-01-18

2 水平位移基准网及校核网的现场检查与测试

2.1 大坝水平位移基准网及校核网的布置情况

二滩水电站水平位移基准网由原水平位移校核网点 C0~C4、原水平位移基准网点 C5~C12 以及原临时平面监测网点 III 06、III 11 共同组成,

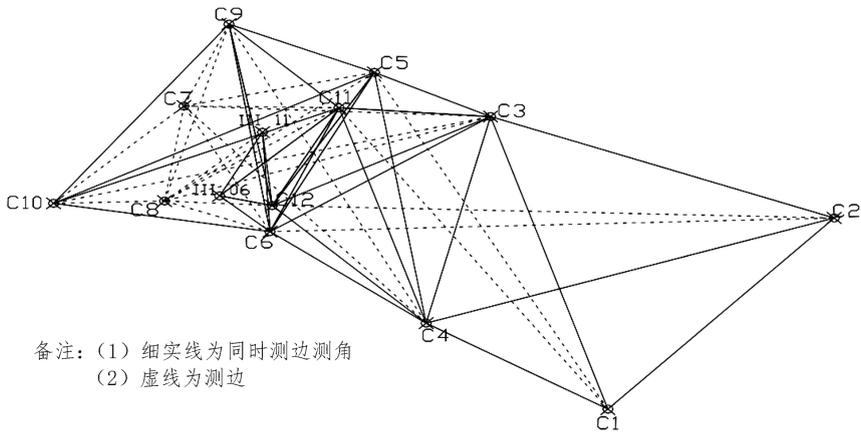


图1 大坝水平位移基准网及校核网示意图

破坏,后于2001年恢复,并将原水平位移校核网与水平位移基准网统一观测,起算方向改为C3至C1方位。C4点作为工作基点,用于监测其附近地下煤层采空区的岩体变形。对原网中与C7、C8相连的边改为只进行边长测量。恢复C4后,于2001年2月至3月进行了观测,此次观测视作重建水平位移基准网,独立观测了两次。以后每年均对控制网进行了复测,复测均以C3为固定点,C3至C1方向为固定方向进行平差^[2]。水平位移基准网节点的布置满足规范要求及该工程需要,网形结构较好,网点基本覆盖监测区域,满足规范对网形的要求^[3]。

2.2 监测方法检查

二滩水电站大坝水平位移基准网及校核网于2000年3月首次观测后,按照1次/a的频次进行复测。通过查阅电站基准网及校核网的年度报告和测绘成果质量检查报告,对控制网观测的合法性、执行标准的合理性、成果真实有效性等方面进行了检查,具体检查了复核基准网及校核网的观测限差、外业观测质量统计、平差计算及精度评定等内容。

2.3 现场检查

按照安全监测系统鉴定的检查要求对二滩水电站大坝水平位移基准网及校核网点位情况进行了现场巡查,并对现场观测进行了现场检查。主

全网共15个网点。大坝水平位移基准网及校核网见图1。水平位移基准网于2000年2月至4月间完成首次观测,起算点为C3点,起算方向为C3点至C4点方位^[1]。

2000年10月,原水平位移校核网点C4遭到

要对使用全站仪对水平角、天顶距和边长进行观测的外业施测、全站仪机载软件进行外业数据采集、气象元素的观测等项目进行了现场检查。

2000年至2015年施测方使用徕卡TCA2003全站仪对水平角、天顶距和边长进行了观测^[4]。仪器标称精度为测角中误差 $\pm 0.5''$,测边精度 $\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ 。2016年至2019年施测方使用TM50全站仪对水平角、天顶距和边长进行了观测。仪器标称精度为测角中误差 $\pm 0.5''$,测边精度 $\pm (0.6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ 。观测时仪器自动读数和记录,内业处理时导入计算机进行数据处理,观测仪器在检定有效期内。

水平位移基准网和水平校核网以C3为固定点,以C3~C1为固定方向进行经典自由网平差。平差计算前首先对观测边长进行了气象改正、加乘常数改正,再用各自的二等水准高程将斜距改化为平距。气象元素为现场测定的测站和镜站的干湿温度和气压。在平差计算中,两类观测量纲的权先按方向值的先验权以仪器标称精度确定,即 $\sigma_m = \pm 0.5''$;距离先验中误差按测距仪的标称精度确定,即固定误差 $a = 1 \text{ mm}$,比例误差 $b = 1 \text{ ppm}$ (a 与 b 均为仪器出厂标称精度), $\sigma_s = 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$,其先验权按和给出(先验权为平差计算先选定的常数值)。为了正确解决边角同测网涉及两类观测值权比,使测角和测边的精度做到整

体、真实的表达,程序计算时按赫尔默特法对两类观测值的权进行了迭代求算,迭代趋近值 P 的限值设定为 0.01。最终取经迭代求算后的两类观测网量权代替先验权按经典自由网平差求得成果。

3 水平位移基准网及校核网的稳定性分析及评价

3.1 起算基点稳定性分析及精度分析

水平位移基准网和校核网中各网点的稳定性分析建立在较多期的复测成果基础上,所采用的基准不同,相应网点的位移量亦会不同。采用不同基准、使用不同类型自由网平差计算方法求出的各点位移量也存在一定的差异。

二滩水电站水平位移基准网和校核网点位的稳定性分析采用变形误差椭圆检验法。变形误差椭圆法即在每一点上作变形误差椭圆和取 k 倍中误差为极限变形误差椭圆,根据该点位移向量的分布是否落在这些椭圆之内判断位移是否显著。

水平位移基准网的精度分析主要以基准网外业观测质量统计表和基准网平差计算后精度指标(2014 年至 2019 年)统计表为主,水平位移基准网外业观测质量统计情况见表 1,水平位移基准网平差计算精度指标统计情况见表 2。水平位移基准网和校核网点位复测平差后点位精度满足技术要求的要求。

表 1 水平位移基准网外业观测质量统计表

项 目	观测时间 /a					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
三角形个数 /个	29	29	29	27	27	27
三角形闭合差限差合格比例 /%	100	100	100	100	100	100
极条件个数 /个	35	35	35	35	35	35
极条件限差合格比例 /%	100	100	100	100	100	100
边长条数 /条	54	54	54	54	54	54
对向观测平均值误差(± mm)	0.37	0.29	0.37	0.32	0.28	0.28
边长条件限差合格比例 /%	100	100	100	100	100	100
边角条件个数 /个	29	29	87	81	81	81
边角条件限差合格比例 /%	100	100	100	100	100	100

表 2 水平位移基准网平差计算精度指标统计表

项 目	观测时间 /a					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
测角中误差 /"	0.56	0.65	0.62	0.63	0.54	0.56
最弱点	C10	C10	C10	C10	C10	C10
最弱点中误差 /mm	2	1.9	1.85	1.95	1.87	1.93

水平位移基准网和校核网点位在每期测量成果报告中均经过了变形误差椭圆法对各点位的变形量显著性检验,发现个别点位位移量比较显著(该点位移向量的 k 值中误差为极限变形误差椭圆之内的分布情况,判断位移是否显著),其余点

位移量不显著或在某个观测期内发现显著。位移量显著性检验统计(2014 年至 2019 年)情况见表 3 和表 4,水平位移校核网相对于首期位移量显著性检验统计情况见表 3,水平位移基准网相对于首期位移量显著性检验统计情况见表 4。

表 3 水平位移校核网相对于首期位移量显著性检验统计表

点号	方位	2003 年 /mm	2014 年 /mm	2015 年 /mm	2016 年 /mm	2017 年 /mm	2018 年 /mm	2019 年 /mm
C0	δx	0	4.7	4.7	5	6.3	8.8	9.6
	δy	0	-4.9	-5.1	-5.5	-5.3	-6.5	-7.1
C1	δx	0	1.6	1.7	3.7	4.6	5.3	5.1
	δy	0	0.7	0.4	2.6	1	-2	2
C2	δx	0	1.4	2.0	1.9	0.7	0.3	0.6
	δy	0	1.9	1.2	2.3	2.1	0.7	-0.2
C3	δx	0	-5.8	-5.6	-4.0	-4.5	-6.8	-7
	δy	0	1.5	1.8	2.9	3.6	4.6	5.3
C4	δx	0	-2	-2.9	0.5	-0.1	-0.6	-1.4
	δy	0	0.9	1.8	4.1	4.9	5.6	6.3

表4 水平位移基准网相对于首期位移量显著性检验统计表

点号	方位	2003年 /mm	2014年 /mm	2015年 /mm	2016年 /mm	2017年 /mm	2018年 /mm	2019年 /mm
C3	δx	0	1.1	2.8	1.6	5.1	4.5	3.5
	δy	0.0	-1.7	-2.7	-2.8	-3.8	-5.9	-5.3
C4	δx	0	-1.8	-1.9	-2.4	0.1	0.2	6.7
	δy	0	-10.2	-8.9	-9	-6.7	-5.8	-3.2
C5	δx	0	0.1	1.0	-0.7	1.6	1.3	1.1
	δy	0	-3.2	-4.6	-5	-5.3	-6.7	-6
C6	δx	0	-1.5	-0.8	-0.3	-1.4	-1.4	-1.3
	δy	0	-0.4	-0.1	-0.2	0.4	1.5	0.3
C9	δx	0	-6.5	-7.6	-7.6	-7.6	-9	-9.1
	δy	0	-4.2	-6.4	-6.3	-7.8	-8.4	-6.7
C10	δx	0	10.4	11.6	13.8	10.3	11.5	15.2
	δy	0	27.8	31	32.8	35.4	37.8	37.1
C11	δx	0	-4.1	-3.9	-4.2	-5.6	-6	-9.4
	δy	0	-7.6	-8.9	-10	-13.1	-13.8	-13.3
C12	δx	0	2.7	1.6	2.3	1.6	2.4	1.4
	δy	0	2.8	3.5	3	4.6	4.8	3.7
Ⅲ11	δx	0	-1.9	-3.3	-3.8	-4.2	-4.3	-6.4
	δy	0	-2.4	-1.5	-1.9	-3.4	-3.9	-4.7
Ⅲ06	δx	0	1.6	0.6	1.4	-0.1	0.7	-1.9
	δy	0	-1.2	-1.7	-0.9	-0.7	0	-1.8

从位移量显著性检验对网点的稳定性进行分析得知:各网点每期位移量比较显著的点主要集中在C3点、C4点、C10点和C11点,其余各基准网点不存在显著位移,但每期位移量显著性不统一,整体规律性不强。

3.2 评价意见

水平位移基准网和校核网施测使用的观测仪器在检定有效期内。历次校测采用的仪器合理合法,符合测量规范要求的精度^[5]。水平位移基准网和校核网是以一个固定点(C3)、一个(C3~C1)固定方向进行经典自由网平差。历次校测的测量方法是延续和统一的,是现有网形中合理并满足设计要求的。水平位移基准网和校核网的数据平差处理、精度评定和监测成果满足技术设计书要求,通过了国家测绘部门所要求的检查验收,满足现行国家测绘管理部门对测绘成果的要求。

4 结语

二滩水电站水平位移基准网按照一点一方向作为起算基准对计算成果进行复核和分析取得的结果表明:二滩水电站水平位移基准网和校核网整体稳定。对水平位移基准网和校核网各次监测精度进行分析取得的结果表明:网点精度符合控制网的误差传递理论;最弱点点位精度满足《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178—2016要

求^[6];水平位移基准网网形强度和成果数据可靠。由于水平位移基准网的初始起算条件的稳定性有观测误差的引入,导致水平位移基准网点点位变化量显著且规律性不强。随着监测技术的不断进步,建议结合不同的监测技术手段开展该电站基准网专项的长周期资料分析,并对基准网的计算平差进行优化。

参考文献:

- [1] 王方华,吴常栋.二滩大坝监测平面基准网两期观测成果分析[J].水电站设计,2005,21(3):81-84.
- [2] 王渊,郭火元,李胜才.二滩水电站大坝变形监测—临时性大地测量监测网的布置及首次观测[J].水电站设计,2001,17(3):55-58.
- [3] 韩沙鸥,程岳峰,汪仁银,等.二滩大坝外部变形监测及资料分析[J].四川水利,2019,42(6):54-58,66.
- [4] 赵景瞻.TCA2003全站仪及其在二滩大坝外部变形监测中的应用[J].水电自动化与大坝监测,2002,26(2):34-38.
- [5] 国家三角测量规范,GB/T 17942—2000[S].
- [6] 混凝土安全监测技术规范,DL/T 5178—2016[S].

作者简介:

- 何涛(1979-),男,吉林通化人,高级工程师,从事水利水电工程安全监测工作;
- 田超(1988-),男,湖北宜昌人,工程师,从事水利水电工程安全监测工作;
- 李晓波(1982-),男,山西运城人,工程师,从事水利水电工程安全监测工作。

(责任编辑:李燕辉)