宝瓶水电站砼面板堆石坝表面垂直位移观测评价

Observation and Evaluation of Surface Vertical Displacement of Concrete Rockfill Dam with Face Slab of Baoping Hydropower Station

周国伟
Guowei Zhou

甘肃电投河西水电开发有限责任公司 中国·甘肃 张掖 734000
Gansu Power Investment Hexi Hydropower Development Co., Ltd., Zhangye, Gansu, 734000, China

摘要: 论文通过对宝瓶水电站砼面板堆石坝表面垂线位移进行现场核查、检验和观测精度分析,评价坝顶垂直位移监测项目是否能达到原设计的监测的目的,并对大坝垂直位移监测系统的完备性、监测设施的可靠性和稳定性等做出评价。结果表明,宝瓶水电站砼面板堆石坝表面垂直位移观测系统测点布置观测方法的观测频次满足规范要求,能够全面、准确地反映大坝表面垂直位移。

Abstract: Through on-site verification, inspection and observation accuracy analysis of concrete rockfill dam with face slab of Baoping hydropower station, this paper evaluates whether the vertical displacement monitoring project of the dam crest can achieve the original design monitoring purpose, and evaluates the completeness of the dam vertical displacement monitoring system, the reliability and stability of the monitoring facilities, etc. The results show that the observation frequency of concrete rockfill dam with face slab of Baoping hydropower station meets the requirements of the specification, and can comprehensively and accurately reflect the vertical displacement of the dam surface.

关键词: 面板堆石坝;垂直位移;观测评价

Keywords: rockfill dam with face slab; vertical displacement; observation and evaluation

DOI: 10.36012/etr.v2i7.2190

1 工程概况

宝瓶水电站位于中国甘肃省肃南裕固族自治县境内和青海省祁连县境内的黑河上游,距张掖市约 120km。工程主要任务是发电,大坝为混凝土面板堆石坝,最大坝高 93.5m,坝顶高程 2528.6m,防浪墙顶高程 2529.8m,坝顶长 147m,坝顶宽 8m。上游坡比为 1:1.45,下游坝坡 2497m 高程以上为 1:1.5,2497m 高程以下为 1:1.4。工程设计洪水位和正常蓄水位均为 2521m($P=1\%$),校核洪水位 2522.72m($P=0.05\%$),对应水库总库容 $2.219 \times 10^7 \text{m}^3$,为日调节水库^[1]。电站安装 3 台混流式机组,总装机容量 123MW。

2 表面垂直位移监测布置情况

在坝前坝横 0+007.00m 断面共布置了 10 个垂直位移测点,编号为 A1~A10,工作基点为 LS2(2527.5m 高程);2018

年 6 月后,将其中 5 个测点 A2、A4、A6、A8 和 A10 改造为水准仪架设观测墩,其余 5 个测点 A1、A3、A5、A7 和 A9 作为垂直位移测点;在坝顶坝横 0-001.20m 断面布置了 7 个垂直位移测点,编号为 A11~A17,2 个工作基点为 LS3~LS4(2528.6m 高程),2016 年在坝顶上游靠近防浪墙设置垂直位移测点,与坝顶垂直位移测点对应布置,共 7 个测点,编号为 F1~F7,工作基点与坝顶水准工作基点相同;在坝后坝横 0-026.25m 断面布置了 5 个垂直位移测点,编号为 A18~A22,工作基点为 LS5(2513.2m 高程);在坝后坝横 0-073.00m 断面布置了 3 个垂直位移测点,编号为 A29~A31,工作基点为 JY1(2482.7m 高程),2015 年 8 月在坝后坝横 0-026.25m、坝横 0-073.00m 两个断面的每两个水准测点之间中点处理设水准仪架设观测墩 1 个。工作基点的校核用坝址区高程控制网进行。宝瓶水电站大坝表面位移观测布置图,如图 1 所示。

【作者简介】周国伟(1976~),男,甘肃山丹人,工程师,从事水电厂运行研究。

图1 宝瓶水电站大坝表面位移观测布置图

3 观测方法及频次

大坝垂直位移按二等水准测量要求进行观测。观测仪器采用徕卡 DNA03 型电子水准仪 (标称精度 0.3mm/km) 和配套钢钢水准尺, 仪器选用满足规范要求。从电厂编制的水工技术规程和现场了解到, 采用的垂直位移观测方法, 都按指定的水准基点和固定的水准线路进行观测, 水准观测的记录方法正确, 限差规定和超限处理的要求合适, 观测精度控制合理, 满足规范要求。目前每月观测一次, 具体施测路线如下。

①坝前坝横 0+007.00m 断面: LS2 (工作基点)→A9→A7→A5→A3→A1→A3→A5→A7→A9→LS2(工作基点)。

②坝顶坝横 0-001.20m 断面: LS3 (工作基点)→A11→A12→A13→A14→A15→A16→A17→LS4(工作基点), 往返观测。

③坝顶上游靠近防浪墙: LS3 (工作基点)→F1→F2→F3→F4→F5→F6→F7→LS4(工作基点), 往返观测。

④坝后坝横 0-026.25m 断面: LS5 (工作基点)→A18→A19→A20→A21→A22→A21→A20→A19→A18→LS5(工作基点)。

⑤坝后坝横 0-073.00m 断面: JY1 (工作基点)→A29→A30→A31→A30→A29→JY1(工作基点)。

4 现场检查情况

①工作基点 LS3、LS5 和 JY1 为基岩标, 工作基点 LS2 和 LS5 埋设在相应水平位移工作基点观测墩脚, 基本处于稳定状态, 建议进行校测。

②坝顶几何水准测点采用地面嵌心标, 坝前及坝后水准

测点设置在水平位移观测墩脚, 水准标心嵌入混凝土内, 与相应坝体结合精密, 能够反映所在部位的沉降变形。

③工作基点 LS3、LS5、JY1 及几何水准测点 A11~A17 顶部设有活动钢盖加以保护, 但在雨季会有雨水流入形成积水, 其余测点及工作基点露天布置, 未设其他保护装置。

④水准仪每年送检, 各项指标均满足规范要求。

5 理论观测精度分析

用水准测量测定高差的精度受到水准测量中偶然误差 (水准尺读数误差、水准管气泡居中误差、补偿摆的置平误差等) 和系统误差 (仪器误差、系统性折光误差等) 的影响。根据大量的实测资料进行研究分析, 对于 DNA03 型水准仪, 一测站上单程所测高差中误差 M_d 的精度估算公式为

$$M_d = 0.025 + 0.0029d \quad (1)$$

式中, d 为相应等级的最长视线长度, 根据 SL 197—2013《水利水电工程测量规范》的规定, 二等水准测量 d 为 50m。代入计算, 得

$$M_d = 0.025 + 0.0029d = 0.17mm \quad (2)$$

往返测时, $M_w = M_d / \sqrt{2}$; 其余路线, $M_w = M_d$ 。

水准路线中最弱点相对于起测工作基点的高程中误差 $M_{弱}$ 可计算公式为

$$M_{弱} = \pm M_w \sqrt{R} \quad (3)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{n} \quad (4)$$

式中, R 取最弱点的测站数。

根据分析, 支线水准线路, 最弱点为最远点; 对附(闭)合路线, 最弱点为距离两工作基点测站数最接近的测点; 最弱 R 点测站数等于起测点至该点的单程测站数 n 。

垂直位移量是两次测得高程值之差, 所以垂直位移量中误差 M 为

$$M = \pm \sqrt{2} M_{弱} \quad (5)$$

经计算, 各条水准线路最弱点垂直位移中误差成果如表 1 所示。由表 1 可知, 各条测线的水准测量高程中误差最大不超过 $\pm 0.27mm$, 垂直位移中误差最大不超过 $\pm 0.38mm$, 精度满足规范要求。

6 实测精度分析

由几何水准法观测得到的坝体表面垂直位移测值过程线如图 2 至图 9 所示。

表 1 水准路线最弱点位移中误差成果表

线路名称	最弱点	最弱点测站数 n	最弱点高程中误差 $M_{\text{测}}/\text{mm}$	位移中误差 M/mm
坝前坝横 0+007.00m 断面	A1	5	± 0.27	± 0.38
坝顶坝横 0-001.20m 断面	A14 和 A15	4	± 0.24	± 0.34
坝顶上游靠近防浪墙	F4 和 F5	4	± 0.24	± 0.34
坝后坝横 0-026.25m 断面	A22	5	± 0.27	± 0.38
坝后坝横 0-073.00m 断面	A31	3	± 0.21	± 0.29

图 2 坝前水准(坝横 0+007.00m)测点测值过程线

图 3 坝前水准(坝横 0+007.00m)测点测值过程线

图 4 坝顶水准(坝横 0-001.20m)测点测值过程线

图 5 坝顶水准(坝横 0-001.20m)测点测值过程线

①坝后测点垂直位移在 2015 年 10 月之后采用几何水准法观测,之前为三角高程法观测。②坝体各测点垂直位移除存在个别明显异常数据外,测值过程线基本平滑,总体精度较好,能反映坝体垂直位移的实际变化情况。③坝体各测点垂直位移过程线都反映了大坝沉降量随时间逐渐增大的总趋势,其中河床部位的测点沉降速率较大,靠近左右岸测

图 6 坝顶水准(上游靠近防浪墙)测点测值过程线

图 7 坝顶水准(上游靠近防浪墙)测点测值过程线

图 8 坝后水准(坝横 0-026.25m)测点测值过程线

图 9 坝水准(坝横 0-073.00m)测点测值过程线

点的沉降速率小,后期已逐渐趋缓,符合堆石坝垂直位移变形一般规律。

7 垂直位移检修总体评价

①水准测点布置合理,设计目的明确,可满足工程安全监测要求。②根据测点及工作基点的位置,选用的观测方法合适,观测频次满足规范要求。③从现场检查来看,各工作基点和测点工况尚可,但有部分基点和测点缺少有效保护装置。④通过几何水准法观测坝体垂直位移的理论精度满足规范要求。⑤通过几何水准法观测得到的坝体垂直位移实测精度较好,能反映坝体垂直位移的实际变化情况。⑥工作基点应定期校测,并根据校测成果对各测点测值进行修正。

参考文献

- [1] 汪文波,陈得鹏.宝瓶水电站大坝表面位移变形分析[J].通信技术,2020,37(10):139-140+144.