

锅浪跷水电站大坝变形监测网复测及稳定性分析

白 雷 雷

(大唐雅安电力开发有限公司,四川 雅安 625500)

摘 要:大坝变形监测网是大坝安全监测的坐标基准,包括垂直位移监测网和平面位移监测网。结合锅浪跷水电站大坝监测网复测工作和相关规范,阐述了一等监测网的外业观测、观测成果整理与计算、起算数据选取、约束平差以及监测网点的稳定性分析等问题,为同类项目提供参考。

关键词:大坝变形监测网;垂直位移;平面位移;稳定性分析

中图分类号:TV74;TV42+1.1;TV698.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)04-0076-05

Repeated Measurement and Stability Analysis of Dam Deformation Monitoring Network of GUolangqiao Hydropower Station

BAI Leilei

(Datang Ya'an Electric Power Development Co., Ltd., Ya'an Sichuan 625500)

Abstract: Dam deformation monitoring network is the coordinate reference of dam safety monitoring. It contains vertical and horizontal displacement monitoring network. Combined with repeated measurement of dam monitoring network and relative specification of Guolangqiao hydropower station, this paper introduces the field observation, data reduction and calculation, initial data selection, constrained adjustment of first-class monitoring network, and stability analysis of monitoring network points discussed, which can provide a reference for similar projects.

Keywords: Dam deformation monitoring network; Vertical displacement; Horizontal displacement; Stability analysis

0 引 言

大坝变形监测网是在坝址区开展各种安全监测的坐标基准,它由垂直位移监测网和平面位移监测网组成,但大坝监测网点要受施工、交通、泄洪、地震、滑坡等外部环境的影响。为了保证安全监测的精度,需要按照相关规范定期对大坝监测网进行复测。《土石坝安全监测技术规范》^[1]规定,坝区平面和垂直位移监测网在施工期、首次蓄水期、初蓄期、运行期都要定期复测。

锅浪跷水电站位于四川省雅安市天全县喇叭河镇境内,系青衣江一级支流天全河梯级开发中的龙头电站。电站总库容 1.84 亿 m³,调节库容 1.31 亿 m³,具有年调节能力。电站正常蓄水位 1 280.00 m,设计洪水位 1 280.56 m,校核洪水位 1 282.34 m,挡水建筑物为混凝土面板堆石坝,最大坝高 186.30 m。大坝工程按Ⅰ级建筑物设计,泄水建筑物按Ⅱ级设计,引水发电系统及厂房按

Ⅲ级建筑物设计。锅浪跷水电站 2022 年 10 月通过一期蓄水验收,2022 年 12 月四台机组全部投产。

水电站大坝监测网建立于 2021 年 11 月。2022 年 9 月 5 日泸定县发生 6.8 级地震,电站枢纽区有明显震感,所以,开展大坝监测网的复测工作对保持大坝监测基准的稳定性、监测成果的准确性和一致性具有重要意义。电站大坝监测网复测工作于 2023 年 5 月下旬至 6 月上旬完成。由于监测网精度等级高和复测的专业性强,故将复测经验加以总结,可为类似项目提供有益参考。

1 锅浪跷水电站大坝监测网概况

锅浪跷水电站大坝监测网包括平面位移监测网和垂直位移监测网。为了保证水电站各个阶段监测资料的有效衔接和监测工作的一致性,大坝监测网沿用了前期监测工作采用的平面坐标系统和高程系统。平面坐标系统为挂靠在北京坐标系下的独立坐标系,中央子午线 102°31′,

收稿日期:2023-07-03

地球平均曲率半径 $R=6\,367\,500\text{ m}$,边长投影面高程 $H_{\text{m}}=1\,200\text{ m}$;高程系统为 1956 年黄海高程系统。

1.1 垂直位移监测网

水电站垂直位移监测网布设为水准网,水准路线见图 1。它由附和水准线路Ⅲ₀₅—BM₀₂₋₁—BM₀₂—G_{05x}—G_{03x}—G_{01x}—BM₀₄₋₁—G_{06x}—BM₀₃—BM₀₃₋₁和支水准线路 BM₀₄₋₁—G_{04x}—G_{02x}组

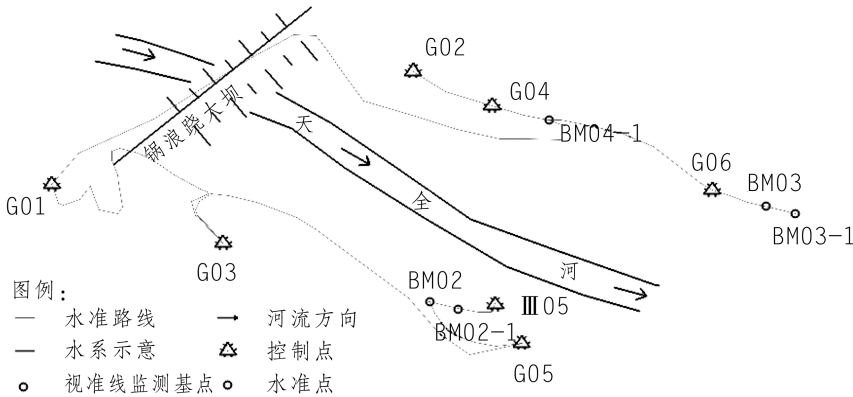


图 1 水准路线

1.2 平面位移监测网

电站平面位移监测网布设为边角网。本网包含 G₀₁、G₀₂、G₀₃、G₀₄、G₀₅、G₀₆、Ⅲ₀₅、Ⅲ₂₀ 等 8 点,各点预埋了强制对中盘的观测墩,平面位移监测网形见图 2。Ⅲ₀₅ 和 Ⅲ₂₀ 为施工控制网点,Ⅲ₀₅ 本年度新纳入平面位移监测网,G₀₁—Ⅲ₂₀ 为建网时的起算方向,Ⅲ₂₀ 仅和 G₀₁ 通视,在日常监测中未使用。

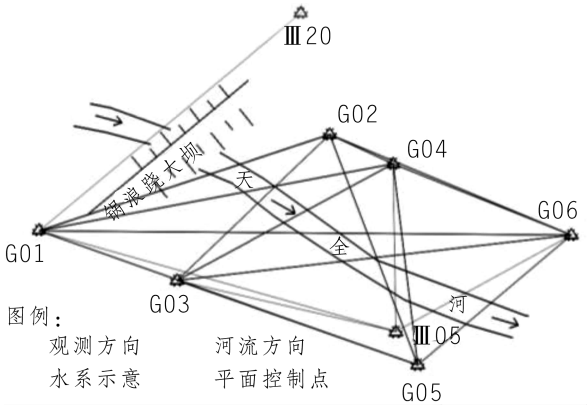


图 2 平面位移监测网形

平面位移监测网的等级为一等。主要精度要求^[3]为点位中误差±1.5 mm,平均边长 300~700 m,测距中误差≤(1+1ppm×D)mm,测边相对中误差≤1/300 000,测角中误差≤±0.7″。

成。其中 G_{01x}、G_{02x}、G_{03x}、G_{04x}、G_{05x}、G_{06x} 为平面监测网点 G₀₁、G₀₂、G₀₃、G₀₄、G₀₅、G₀₆ 的下标;Ⅲ₀₅ 为施工期平面控制网点,也是首次观测时的高程起算点。

水准测量的等级为一等,主要精度要求^[2]为每千米水准测量的偶然中误差不应超过±0.45 mm。

2 垂直位移监测网复测

垂直位移监测网复测包含水准观测、观测成果整理与计算、起算数据的选取、平差计算等内容。

2.1 水准观测

投入的仪器为 DINI03 水准仪和因瓦水准标尺。DINI03 水准仪的标称精度为±0.3 mm/km,满足一等水准对水准仪精度的要求。水准仪和水准标尺的鉴定证书在有效期内。水准仪使用前、中、后进行了 i 角测定,i 角小于限差 15″。

一等水准测量采用单线路往返测,同一测段的往返测沿同一线路进行,往测和返测的测站数为偶数。往测转向返测时,两支标尺互换位置并重新整平仪器后进行观测。

水准观测在标尺分划成像清晰稳定时进行,测站主要技术要求见表 1。

表 1 测站主要技术要求

视线长度 /m	前后视 距差 /m	任一测站 前后视距差 累积 /m	视线高度 /m	重复测 量次数
≥4 且 ≤30	≤1.0	≤3.0	≤2.80 且 ≥0.65	≥3 次

对数字水准仪,同一标尺两次读数差不设限差,两次读数所测高差的差执行基辅分划所测高差之差的限差。

DINI03 水准仪观测时,照准标尺的顺序为奇数站“后—前—前—后”、偶数站“前—后—后—前”。测站观测限差见表 2。

表 2 测站观测限差

基辅分划读数的差 /mm	基辅分划所测高差 的差 /mm	检测间歇点高差 之差 /mm
0.3	0.4	0.7

2.2 观测成果的整理与计算

一等水准测量测段的往返测高差不符值、环闭合差和检测高差之差的限差应不超过水准测量成果检验标准(表 3)。

表 3 水准测量成果检验表

测段往返测 高差不符值 /mm	环闭合差 /mm	检测已测测段 高差之差 /mm
$1.8\sqrt{k}$	$2\sqrt{F}$	$2\sqrt{R}$

注:表中 k 为测段长度,km,当 $k<0.1$ km 时,按 0.1 km 计算; F 为环线长度,km; R 为检测测段长度,km。

本次水准测量线路长度为 5.447 km,共有 41 个测段。往返测高差不符值小于 1/3 限差的测段 25 个,占 61%;不符值在 1/3~2/3 限差的测段 14 个,占 34%;不符值在 2/3~1 限差的测段 2 个,占 5%。由 $M_{\Delta}=\pm\sqrt{[\Delta\Delta/R]/(4\cdot n)}$ 计算的每千米水准测量的高差中误差为 ± 0.38 mm,小于 ± 0.45 mm,满足 GB/T 12897—2006 的要求。

测段高差在平差前还进行了尺长改正和温度改正。一测段高差的尺长改正计算公式为:

$$\delta=f\times h \tag{1}$$

式中 f 为往测或返测高差值,m; f 为标尺改正系数,mm/m。本次使用水准标尺的尺长改正系数为 0.010 mm/m。

一测段水准高差的标尺温度改正计算公式为:

$$\partial=\sum[(t-t_0)\times a\times h] \tag{2}$$

式中 t 为标尺温度,℃; t_0 为标尺长度检定温度,℃; a 为标尺钢瓦带膨胀系数,mm/(m·℃), h 为测温时段中的测站高差,m。检定证书中给出 t_0 为 20℃,河北珠峰仪器仪表设备有限公司生产的精密因瓦水准标尺的因瓦合金带线膨胀系数 $a\leq 1.3\times 10^{-6}$ mm/(m·℃),本处 a 取经验值 1.0×10^{-6} mm/(m·℃)。

本次测量时测段标尺温度改正的最大数值为

0.17 mm。

测段高差经过尺长改正和温度改正,取往返测高差中数作为测段高差参与平差计算。

2.3 起算数据的选取

2021 年监测网建立时新建了 6 个水准点,分别为 BM₀₂、BM₀₂₋₁、BM₀₃、BM₀₃₋₁、BM₀₄、BM₀₄₋₁。本次复测时 BM₀₄ 被渣土遮挡,其余 5 个点位保存完好。采用测段高差比较的方法来判断水准点的稳定性。BM₀₂—BM₀₂₋₁、BM₀₃—BM₀₃₋₁、BM₀₂—BM₀₃ 测段 2021 年测量高差、复测高差及较差见表 4。

表 4 2021 年测量高差、复测高差及较差

测段	2021 年高差 /m	2023 年高差 /m	较差 /mm	限差 /mm
BM02—BM ₀₂₋₁	2.500 0	2.500 1	0.1	±0.45
BM ₀₃ —BM ₀₃₋₁	-0.765 2	-0.765 0	0.2	±0.47
BM ₀₂ —BM ₀₃	125.051 0	125.052 6	1.6	±6.58

从表 4 可知测段 BM₀₂—BM₀₂₋₁、BM₀₃—BM₀₃₋₁、BM₀₂—BM₀₃ 高差较差较小,由此判断 BM02、BM02—1、BM03、BM03—1 等四点稳定,可以作为垂直位移监测网平差的起算点。

2.4 平差计算

采用 EpsNas2016 测量控制网平差系统平差时,输入各测段的高差和长度、固定 BM₀₂、BM₀₂₋₁、BM₀₃、BM₀₃₋₁ 等 4 点的 2021 年高程成果,约束平差后得到了其余各点高程成果和精度信息。平差后的单位权中误差为 ± 0.74 mm,精度最弱点为 G₀₁,精度为 ± 0.78 mm。

3 平面位移监测网复测

平面位移监测网复测包含数据采集、外业成果整理与计算、起算数据的选取、平差计算等内容。

3.1 数据采集

投入的主要仪器有 TM60 全站仪、徕卡圆棱镜、干湿温度计、气压计。TM60 全站仪的标称测角精度为 $\pm 0.5''$,测距精度为 $\pm(0.6\text{ mm}+1\text{ ppm}\times D)^{[4]}$ 。它是精度最高的全站仪之一,是一种可以自动搜索、跟踪、识别和精确照准目标,获取并记录水平角、垂直角、边长、三维坐标等信息的高精度智能全站仪,能满足一等边角网对全站仪的要求。所使用全站仪的检定证书在有效期内,加常数为一 0.67 mm,乘常数为一 1.69 mm/km。

仪器状态良好,并在观测前后对仪器的主要性能指标进行必要的检验和校正。

水平角观测时采用方向观测法观测 12 测回,水平方向观测限差见表 5^[5]。

表 5 水平方向观测限差

序号	项目	限差
1	两次照准目标读数之差	4″
2	半测回归零差	5″
3	一测回 2C 互差	9″
4	同一方向各测回角值互差	5″
5	三角形最大闭合差	2.5″
6	按菲列罗公式计算的测角中误差	0.7″
7	极条件自由项	$1.4\sqrt{[\delta\delta]}$
8	边条件自由项	$2\sqrt{0.49[\delta\delta]+m_{\text{gs1}}^2+m_{\text{gs2}}^2}$

当照准点的垂直角大于±3°时,该方向的 2C 互差可与同一观测时间段内的相邻测回进行比较。

每条边需要对向观测,边长观测时一测回中各次读数差限差为 1 mm、一时段内测回差限差 2 mm。边长读数至 0.1 mm,计算至 0.01 mm。干湿和湿温读至 0.1℃,气压读至 0.1 mbar。仪器高和棱镜高量取基点为高程标志顶部,对于高程标志已经破坏的点位,量至盘面中心处。仪器高和棱镜高需二次量取,读至 0.1 mm。

垂直角按中丝法观测,分别进行对向观测。垂直角观测限差为二次照准目标读数差 4″、一测回中各方向指标互差 8″、测回差 5″。对向观测高差不符值按三等三角高程测量的精度要求。

TM60 全站仪自动测量时,测量边长为气象改正等于零的边长,边长、水平角、垂直角都测量 12 测回。测回数 and 边角观测限差在“三维变形监测软件”中预置,当测值超限时全站仪自动重新测量。

3.2 外业成果整理与计算

3.2.1 实测斜距的气象、加乘常数改正

TM60 全站仪实测边长的气象改正公式为:

$$S_1 = S_0 + S_0(286.338 - \frac{0.29535p}{1 + \alpha \cdot t} + \frac{4.126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{1 + \alpha \cdot t} \cdot 10^x) \times 10^{-6}$$

(3)

式中 p 为气压,mbar; t 为空气温度,℃; h 为相

对湿度,%; $\alpha=1/27\ 315$, $x=[7.5\times t/(237.3+t)]+0.785\ 7$

加乘常数改正^[6]:

$$S_2 = S_2(1 + R/1\ 000\ 000) + K/1\ 000$$

(4)

式中 加常数 $K=-0.67\ \text{mm}$ 、乘常数 $R=-1.69\ \text{mm/km}$ 。

3.2.2 计算折光系数和三角高差

经过气象、加乘常数修正后的边长可以计算平距、折光系数、三角高差。

平距计算公式:

$$D = S_2 \sin \alpha$$

(5)

单向三角高差计算公式:

$$h_{AB} = D \tan a_{AB} + i_A - V_B + \frac{1 - k_{AB}}{2R} D^2$$

(6)

对向观测时折光系数 K 的计算公式:

$$k = R(h_{AB} + h_{BA})/D^2$$

(7)

式中 D 为平距; α 为垂直角; h_{AB} 为 A 、 B 间的三角高差; i 为仪器高; V 为棱镜高; k 为折光系数, R 为地球平均曲率半径。本次 k 取值测区各边折光系数的平均值 0.84; R 取值 6 367 500 m。

一共对向观测了 21 段三角高差,每段高差对向观测较差小于 35D。

3.2.3 斜距化平

实测斜距改正后才能化算为水平距离。对于 3 km 以内的短距离,用两端点间高差计算水平距离按下式计算^[7]:

$$D = \sqrt{S^2 - \Delta H^2}$$

(8)

3.2.4 高程面投影边长计算

斜距边水平距离归算到 H_p 高程面上的长度按下式计算:

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

(9)

式中 D_0 为归算到某一高程面上的长度; H_p 为投影面高程,取值 1 200 m; H_m 为测距边两端点的平均高程; R_A 为测距边所在法截线的曲率半径,取值 6 367 500 m。

边长化算到投影面后比较往返测较差,较差限差为 $2\times(0.6\ \text{mm}+1\ \text{ppm}\times D)$ 。一共测量了 21 条边长。往返测较差小于 1/3 限差的边长有 16 条,占 76%;较差在 1/3~2/3 限差的边长 4 条,占 19%;较差在 2/3~1 限差的边长 1 条,占 5%。

3.2.5 三角形闭合差统计和测角中误差计算

在 EpsNas2016 测量控制网平差系统中进行三角形闭合差统计。一共有 12 个三角形,每个三角形闭合差都小于 2.5″。由菲列罗公式计算的测角中误差为 0.65″,小于 0.7″。

水平角和投影边长观测质量满足一等边角网的要求,可以用于平差计算。

3.3 起算数据的选取

平面位移监测网复测涉及的点位为 G₀₁、G₀₂、G₀₃、G₀₄、G₀₅、G₀₆、Ⅲ₀₅、Ⅲ₂₀ 等 8 点。Ⅲ₀₅ 首次观测时未纳入平面位移监测网;G₀₁—Ⅲ₂₀ 为起算方向,Ⅲ₂₀ 仅和 G₀₁ 通视、且位于大坝上游;从水准测量数据可以看出 G₀₁ 有较明显位移,故 Ⅲ₀₅、Ⅲ₂₀、G₀₁ 都不适合做复测的起算点。用边长比较的方法从 G₀₂、G₀₃、G₀₄、G₀₅、G₀₆ 中选择起算点。2021 年边长、复测边长及较差见表 6。

表 6 2021 年复测边长及较差

名称	2021 年边长 /m	2023 年边长 /m	较差 /mm
G ₀₂ —G ₀₃	310.011 0	309.997 6	−13.4
G ₀₃ —G ₀₄	362.871 1	362.857 8	−13.3
G ₀₃ —G ₀₅	377.385 9	377.378 6	−7.4
G ₀₃ —G ₀₆	588.046 3	588.035 7	−10.6
G ₀₂ —G ₀₄	103.383 5	103.380 1	−3.4
G ₀₂ —G ₀₅	358.092 7	358.091 6	−1.1
G ₀₂ —G ₀₆	386.053 4	386.051 4	−1.9
G ₀₄ —G ₀₅	293.427 3	293.428 1	0.8
G ₀₄ —G ₀₆	282.758 2	282.757 6	−0.6
G ₀₅ —G ₀₆	294.975 3	294.975 7	0.5

从表 6 可知,和 G₀₃ 相关的边长较差数值为 7.4~13.4 mm,G₀₃ 位移明显。G₀₄、G₀₅、G₀₆ 等三点的边长较差数值都在 1 mm 以内,G₀₄、G₀₅、G₀₆ 点位较稳定。考虑到各点在网形中的位置、视线高度等因素,本次选取 G₀₄、G₀₅ 为平面位移监测网平差的起算点。

3.4 平面平差计算

EpsNas2016 测量控制网平差系统中输入水平角和投影边长,固定 G₀₄ 和 G₀₅ 的平面坐标,约束平差得到其余各点的复测成果和精度信息。

平差后的精度最弱点 G₀₁,精度为 ±0.7 mm;平均边长为 408 m;测距中误差为 ±(0.33+0.56×D)ppm,精度最弱边为 G₀₄—G₀₂,比例误差为 1/339 557。各项指标满足一等平面位移监

测网的要求。

4 监测网点的稳定性分析

采用 T 检验法和最小二乘测量平差法检验监测网点的稳定性。T 检验法如下:

用 σ_N 、 σ_{N+1} 表示第 N 次、第 N+1 次测量的点位精度,ΔS 表示坐标差,令 $t = \Delta S / \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_{N+1}^2}$ 。双侧检验时,选定显著水平 $\alpha = 0.05$ 、多余观测数(自由度)=观测总数 n 为必要观测数 r,查 t 分布表 $t(\frac{\alpha}{2}, n-r)$, $|t| > t(\frac{\alpha}{2}, n-r)$ 时认为点位有位移,否则认为点位稳定。

最小二乘测量平差法是:当两次独立观测成果的较差绝对值 $|\Delta S| < 2\sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_{N+1}^2}$ 时,可认为点位稳定。

4.1 垂直位移监测网点的稳定性分析

BM₀₂、BM₀₂₋₁、BM₀₃、BM₀₃₋₁ 等 4 点经测段高差比较方法检验后认为是稳定点,下面检验 BM₀₄₋₁、G_{01x}~G_{06x} 的稳定性。BM₀₄₋₁、G_{01x}~G_{06x} 的高程精度、高程较差及稳定性检验结果见表 7。

从表 7 可知,采用最小二乘检验和 T 检验时 G₀₂ 点稳定性分析的结论不同,其原因是 T 检验时样本数量太少造成结论不一定正确。其余各点采用两种方法稳定性分析的结论相同。G₀₂ 的稳定性还需要进一步分析。

4.2 水平位移监测网点的稳定性分析

Ⅲ₀₅ 为本次复测时新增点位,Ⅲ₂₀ 仅在建网时供定向所用,G₀₄ 和 G₀₅ 已经被判断为稳定点。下面检验 G₀₁、G₀₂、G₀₃、G₀₆ 等 4 点的稳定性。自由度(n-r)=39,查得 t(0.025,39)值为 2.02。水平位移监测网的稳定性检验结果见表 8。

从表 8 可知,G₀₁、G₀₂、G₀₃ 不稳定,G04 稳定。

综合垂直位移监测网和水平位移监测网点的稳定性检验可知,水准网点 BM₀₂、BM₀₂₋₁、BM₀₃、BM₀₃₋₁、BM₀₄₋₁ 和平面网点 G₀₄、G₀₅、G₀₆ 稳定,G₀₁、G₀₂、G₀₃ 发生了位移。

5 结 语

锅浪跷水电站 2023 年度垂直位移监测网复测的每千米高差中数偶然中误差为 ±0.38 mm,平差后的单位中误差为 ±0.74 mm,最弱点点位精度为 ±0.78mm;平面位移监测网复测的最弱

(下转第 105 页)

工平台优势明显,在类似工程中值得推广。

参考文献:

[1] 杨韩刚. 锅浪跷水电站引水隧洞取水口闸门竖井开挖和支护方案概述[J]. 城市建设理论研究(电子版),2018,(2)3:13-15.

[2] 张兵,杨茂. 竖井升降式钻灌施工平台的研制与应用[J]. 中国水电三局施工技术,2020,(1):12-17.

[3] 卢立春,叶仕国,邱捷宁. 浅析竖井台车在混凝土浇注施工中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版),2013,(33):85-

88.

[4] 罗宝湘. 深大竖井施工及设备配置探讨[J]. 城市建设理论研究,2013,(04):121-123.

[5] 刘红旗. 龙潭隧道深大竖井衬砌混凝土滑模施工技术[J]. 铁道建筑,2007,12(47):96-99.

作者简介:

韩小利(1985-),男,内蒙古赤峰人,工程师,学士,从事水电站项目施工现场安全环保管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 80 页)

表 7 高程精度、高程较差及稳定性检验结果

点名	精度 /mm		最小二乘检验			T 检验		
	2021 年	本次	较差 /mm	限差 /mm	结论	t 值	临界值	结论
BM04—1	±1.0	±0.44	0.0	2.19	稳定	0.00	1.96	稳定
G _{01x}	±0.9	±0.78	6.5	2.38	不稳定	5.46	1.96	不稳定
G _{02x}	±1.0	±0.60	—2.4	2.33	不稳定	2.06	1.96	不稳定
G _{03x}	±0.7	±0.72	0.1	2.01	稳定	0.10	1.96	稳定
G _{04x}	±1.0	±0.50	0.4	2.24	稳定	0.36	1.96	稳定
G _{05x}	±0.5	±0.41	0.6	1.29	稳定	0.93	1.96	稳定
G _{06x}	±0.9	±0.21	—0.2	1.85	稳定	0.22	1.96	稳定

表 8 水平位移监测网的稳定性检验结果

点名	点位精度 /mm		最小二乘检验			T 检验		
	2021 年	本次	较差 /mm	限差 /mm	结论	t 值	临界值	结论
G ₀₁	0.0	0.7	25.8	1.3	不稳定	39.63	1.96	不稳定
G ₀₂	0.5	0.3	1.3	1.2	不稳定	2.16	1.96	不稳定
G ₀₃	0.7	0.5	13.3	1.7	不稳定	15.94	1.96	不稳定
G ₀₄	0.4	0.4	0.7	1.1	稳定	1.30	1.96	稳定

点位精度为±0.7 mm,测距中误差为±(0.33 mm+0.56 ppm×D),精度最弱边的边长比例误差为1/339 557;复测精度达到了一等监测网的要求。

应用 T 检验法和最小二乘测量平差法分析了各监测网点的稳定性,结论为 G₀₁、G₀₂、G₀₃ 等三点不稳定,其余各点稳定。

本次大坝监测网复测方案合理、结果准确、结论正确。建议后续监测时使用本次复测成果,并在日常工作中加强监测网点的保护和网点成果的检查,确保监测成果的精度和可靠性。

参考文献:

[1] 国家能源局. DL/T 5259-2010,土石坝安全监测技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,2010.

[2] 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. GB/T 12897-2006,国家一、二等水准测量规范[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[3] 中华人民共和国水利部. SL 197-2013,水利水电工程测量规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2013.

[4] Leica TS60/MS60/TM60 用户手册 4.0 版.

[5] 国家能源局. DL/T 5178-2016,混凝土坝安全监测技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,2016.

[6] 刘明波,何为聪,鹿恩锋. TM30 全站仪精密测距的相对湿度修正[J]. 西北水电,2018,(2):30-31+57.

[7] 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. GB/T 16818-2008. 中、短程光电测距规范[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

作者简介:

白雷雷(1985-),男、蒙古族,四川成都人,学士,从事水电站工程建设工作。

(责任编辑:卓政昌)