

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2020.05-07

山口岩水利枢纽工程变形监测工作基点稳定性分析

谢长江

(中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:大坝变形监测是大坝运行管理中一项非常重要的工作内容,而基准控制点是否稳定是大坝变形准确监测的前提。该文以萍乡山口岩水利枢纽工程控制网复测测值为分析基础,介绍了平面控制网的布设要求及外业观测时应注意的事项,对其基准控制点的稳定性进行了分析。通过复测测值与首次测值比较,测量控制点的固定角和固定边满足规范要求。基准控制点的稳定对提高大坝变形监测点的观测精度和准确预报大坝的安全运行提供了保障。

关键词:变形监测;基准控制点;控制网;复测;稳定性分析;山口岩水利枢纽工程

中图分类号:TV698.1*1 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2020)05-0349-05

0 引言

山口岩水利枢纽工程地处江西省萍乡市上游芦溪县上埠镇境内,位于赣江支流袁河上游。坝址位于芦溪县上埠镇山口岩村上游1km处,距芦溪县城7.6km,距萍乡市约30km。坝址以上控制集雨面积为230km²,正常蓄水位为黄海高程244.00m,库容为1.0481×10⁸m³,设计防洪库容0.121×10⁸m³,是一座以供水、防洪为主,兼顾发电、灌溉等综合利用的大(2)型水利枢纽工程。其拦河大坝采用碾压砼双曲拱坝,最大坝高99.10m,坝底最大宽度30.00m,坝顶宽度5.00m,坝顶长度为268.23m。

拦河大坝在山口岩枢纽工程中起着挡水形成水库以及泄放水库容纳不下的洪水等重要作用,其安全不仅关系到工程本身更关乎整个下游的公共安全。除了在设计 and 施工上确保大坝结构安全外,须通过安全监测实时反映大坝结构的真实性态,并由此揭示施工及运行过程中可能出现的问题,以便及时采取相应的工程措施确保大坝安全。

变形是反映大坝结构性态的重要监测对象,山口岩碾压混凝土拱坝布置有齐全的变形监测系统来反映

拱坝在各种环境因素作用下其坝体及基础变形状况,其中坝体表面变形主要利用工作基点通过大地测量的方法观测监测点位置平面坐标及高程变化来反映坝体的变形情况,工作基点稳定与否对大坝变形观测成果有直接影响。因此,工作基点自身一定要稳定并要定期进行校测和稳定性分析。

根据《工程测量规范》(GB50026-2007)10.1.5规定:“监测基准网,应由基准点和部分工作基点构成。监测基准网应每半年复测一次;当对变形监测成果发生怀疑时,应随时检核监测基准网。”本文主要通过对山口岩水利枢纽工程变形工作基点的校测及成果分析,对其稳定性作出客观评价。

1 变形监测基点及稳定性校测控制网布置

山口岩碾压混凝土拱坝和发电引水进水口建筑物通过安全监测得到的实测表面变形为各次观测到的平面坐标及高程值与其首次观测值之差值。以TN1、TN2、TN5为工作基点采用交会法来观测坝体及发电引水进水口建筑物的水平位移,垂直位移则分别以TN1和TN6为工作基点采用几何水准方法观测。因上述工作

收稿日期:2020-06-05

作者简介:谢长江(1982-),男,大学本科,高级工程师。

基点有可能位于大坝作用影响范围内易产生位移而不稳定，对相应表面位移的观测成果精确可靠性造成不利影响，所以应定期对其进行校测，判断其稳定性，必要时根据工作基点实际位移情况对变形监测成果进行修正。

校核位移监测工作基点的方法有多种，本工程通过建立水平位移监测控制网及垂直位移监测控制网来分别校测水平及垂直位移监测工作基点。山口岩水利枢纽变形测点、水平及垂直位移监测控制网布置示意图分别见图1和图2。

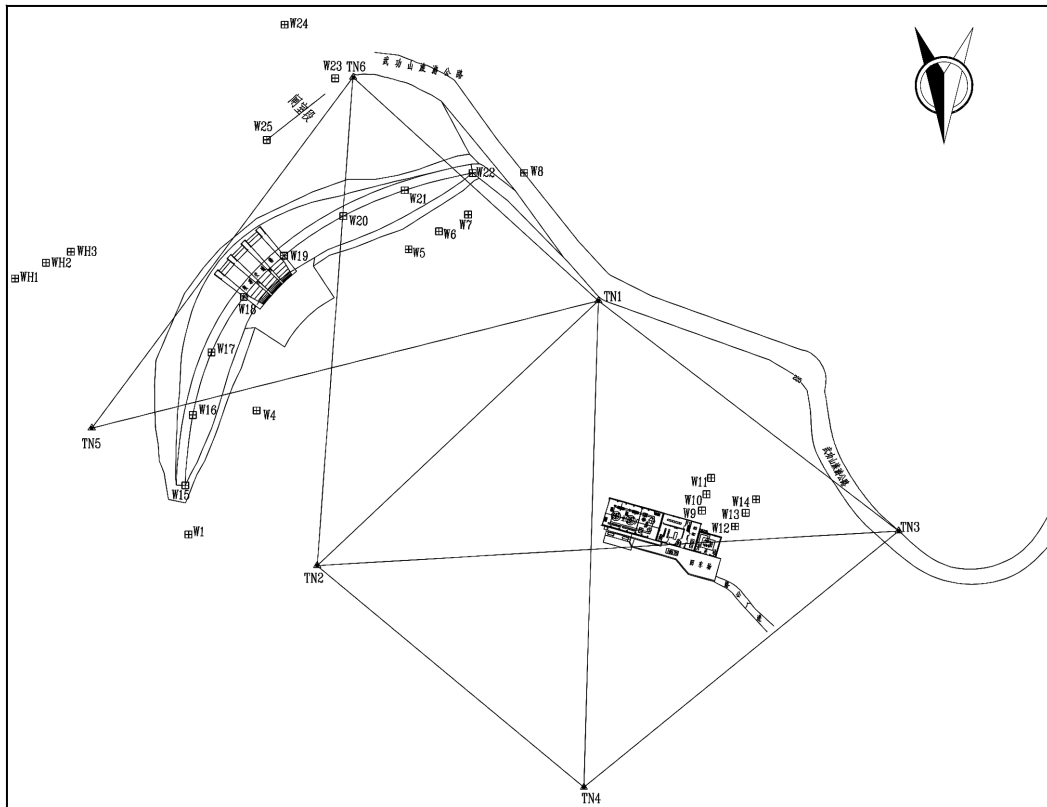


图1 山口岩水利枢纽水平位移监测控制网布置示意图

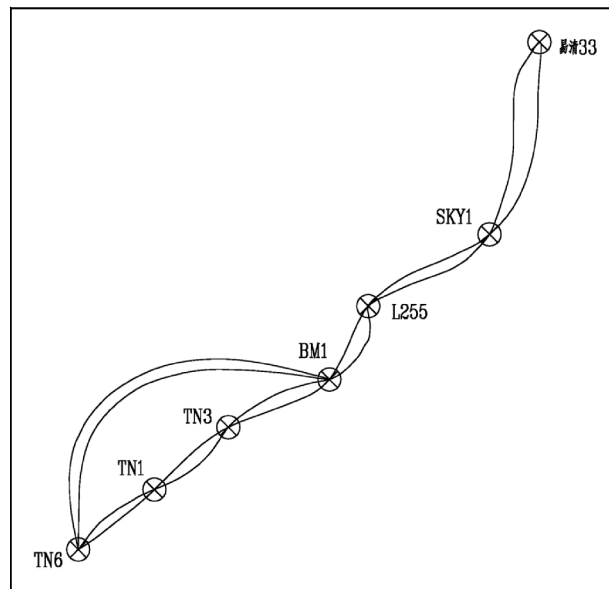


图2 山口岩水利枢纽变形监测二等水准路线布置示意图

平面位移监测控制网由 TN1~TN6 等 6 个基点组成二等边角网,采用 1954 年北京坐标系。垂直位移监测控制网则是由 1 个水准基点、2 个工作基点、12 个变形监测点组成的二等网,高程系统采用 1985 年国家高程基准。

2 变形监测控制网观测及精度分析

2.1 平面监测控制网观测精度分析

平面控制网观测采用精度为 $\pm 0.6\text{mm} + 1\text{ppm}$ 的 TM50 全站仪,在没有云雾的阴天或者夜间进行观测,阴天或夜间气象条件相对较好能提高观测精度,边长测量时同时记录测站和镜站的温度、湿度和气压;垂直控制网观测使用自动安平电子水准仪 DNA03、1 副 3m 钢瓦标尺^[2]。

平面位移监测控制网采用边角网进行观测,仪器设 6 个测站,共观测 22 个方向值,11 条边。测站方向观测按二等三角测量标准执行,采用 TM50 全站仪进行全自动化观测。根据《国家三角测量规范》(GB/T 17942-2000)要求,二等三角测量精度测角中误差、方位角中误差、最弱边边长相对中误差分别按 $\pm 1.0''$ 、 $\pm 1.5''$ 、 $1/120000$ 控制。三角测量采用全圆方向观测法,共观测 9 测回,其观测限差两次照准目标读数差、上下半测回归零差、一测回 2C 互差、一方向值各测回互差及三角形最大闭合差分别按 $3''$ 、 $5''$ 、 $9''$ 、 $5''$ 和 $3.5''$ 控制。

三角高程检查项目包括测回差及限差、高差闭合差、高差闭合差限差、高程中误差等。由图 1 所示平面监测控制网共有 6 个基点,实线连接 11 条边,统计各边长观测往返差最小为 0.14mm (边长 TN1~TN4),最大为 2.37mm (边长 TN1~TN2),皆在相应允许值内。其对向观测平均值中误差 $m_d = \pm 0.55\text{mm}$,边长观测单位权中误差 $\mu = \pm 0.77\text{mm}$,平均边长相对中误差 $M = 1/501\ 679$,边长观测精度完全符合规范要求。

根据 n 个三角形组合的 3 个观测内角 A 、 B 、 C ,按式(1)计算三角形闭合差 W :

$$W = 180^\circ - (A + B + C) \quad (1)$$

式中, W 为三角闭合差; A 、 B 、 C 为三角形 3 个观测内角。

由式(2)计算测角中误差^[3]:

$$m''_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{[WW]}{3n}} \quad (2)$$

式中, n 为三角形个数; W 为三角闭合差。

经计算统计,平面监测网本次测量三角形最大闭合差 $1.88''$ (TN3、TN4、TN2),三角形最小闭合差 $0.12''$ (TN3、TN5、TN1),在二等测量三角形闭合差限差 $\pm 3.5''$ 范围内。测角中误差为 $m_{\beta} = \pm 0.314''$,小于 $\pm 1''$,符合规范要求。

根据平面网图形所构成的大地四边形、中点多边形和扇形结构,以大地四边形任意顶点为极,中点多边形中点为极,扇形的外点为极验算各项极条件:

$$W = [\log \sin a_i] - [\log \sin b_i] \quad (3)$$

$$\text{限差: } W = \pm 2m_{\beta} \sqrt{[\delta \delta]}$$

式中, a_i 、 b_i 为传距角; m_{β} 为测角中误差; δ 为传距角的正弦对数秒差,以对数第六位为单位。

得到最大自由项 6.2770 (TN3-TN4、TN2、TN1),最小自由项 -0.3877 (TN2-TN1、TN3、TN4),均在规定的限差内。

平面网三角形测量由边长测量反算角度与实测角之差:

$$W_{\text{余}} = \arccos \left(\frac{-S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}{2 \times S_2 \times S_3} \right) - A_i \quad (4)$$

限差:

$$W = \pm 2 \sqrt{2 \times \left(\frac{m_s}{s} \times \rho \right)^2 \times (\text{ctg}^2 A_2 + \text{ctg}^2 A_3 + \text{ctg} A_2 + \text{ctg} A_3) + m_{\beta}^2} \quad (5)$$

式中, S_i 、 A_i 为边长和观测角; m_{β} 为测角中误差; m_s 为测距中误差。

进行三角形组合余弦条件验算,其中最大自由项 -2.201 (三角形 TN3、TN2、TN,以 TN3 为顶点,限差 ± 3.258);最小自由项 -0.040 (三角形 TN1、TN5、TN6,以 TN1 为顶点,限差 ± 2.137),无超限余弦条件。

2.2 垂直变形监测控制网观测精度分析

山口岩水利枢纽工程二等水准网由 3 个基准点(TN1、TN3、TN6)、坝顶及公路旁 9 个变形点(W8、W15、W16、W17、W18、W19、W20、W21、W22)、进水口 3 个变形点(W23、W24、W25)3 个部分组成 4 个闭合环。按二等水准测量观测,测段最大往返差为 0.88mm (测段为 TN3 下标~TN1 下标,限差 $\pm 2.31\text{mm}$);最大环闭合差为 -0.5mm ,限差为 $\pm 3.9\text{mm}$;一站水准测量高差中数的偶然中误差 $M = \pm 0.05\text{mm}$;每公里往、返测高差中数的偶然中误差 $M_{\Delta} = \pm 0.30\text{mm}$,均满足规范要求。

3 工作基点稳定性分析及评判

3.1 水平位移监测控制网稳定性分析

通过定期对山口岩变形监测网校测,由各次校测成果分析比较可知各网点尤其是工作基点的稳定状况。校测时,一般先分析 TN1、TN3、TN4 的内符合性,本次校测成果的边长和角度与首次观测坐标成果反算边长和角度比较表明, TN1-TN3、TN1-TN4、TN3-TN4 各边长较差分别为 0.90mm、1.09mm 和 2.94mm; 以 TN1、TN3、TN4 为三角形顶点的各三角形内角差值分别为 $-1.4''$ 、 $0.7''$ 和 $0.8''$ 。

以 TN3 为固定点, TN3→TN4 为已知方向, 进行经典自由网平差, 其平面监测网平差结果方向测量中误差为 $0.314''$; 最弱边长相对中误差为 $1/400\ 000$ (TN1~TN6); 最弱点位中误差为 0.82 (TN5), 均满足规范要求。所以本监测网的灵敏度和内外部可靠性均满足设计要求, 保证了平面监测网观测成果的正确可靠以及较高的测量精度。

通过对 TN1、TN3、TN4 的对比分析, 可以基本确定这 3 个点处于稳定状态, 存在少量的差值是由于观测误差及作业方法的不同所至。

3.2 垂直位移监测网稳定性分析

使用徕卡 DNA03 数字水准仪施测了 22km 水准路线^[2], 由国家一等水准点易清 33 起测, 严格按照《国家一、二等水准测量规范》进行, 采用每测段往返观测。在

接测的 6 个水准点中, 各测段往返测不符值均满足要求, 往返测不符值最大测段为易清 33 至 SKY1, 不符值为 3.2mm, 测段长度为 5.88km, 限差为 9.69mm。

由于 TN2、TN4、TN5 位于山坡上, 水准测量无法施测, 故采用测距三角高程法获取高程值。外业作业中, 在 TN1、TN2、TN3、TN4、TN5、TN6 分别设站进行对向观测, 由于各点间距离大部分都在 500m 之内, 在进行各测站点高差解算时选取大气折光系数为经验值 0.13, 根据往返测高差和平距进行平差计算, 从而获得各点三角高程值。

通过对 TN1、TN3、TN6 三点间所测得的高差与原水准高程反算高差比较, 其间高差最大较差为 -0.5 mm。可认定这三个点是稳定的。

3.3 工作基点稳定性判断

组成变形监测控制网的各基点尤其是作为观测山口岩碾压混凝土拱坝表面变形的工作基点, 其稳定性可以通过各次校测成果与初始观测成果比较得出相应估计和判断。本次监测网观测值与首次观测比较见表 1。

从表 1 统计分析得出, 本次观测成果与首次观测成果比较, 平面位移量变化较大的点是 TN5。

TN5 的 X 坐标方向(向南)变动 2.8mm、Y 坐标方向(向西)变动 3.3mm、点位位移距离为 2.2mm, TN5 点位变化量超出 SL 197-2013《水利水电工程测量规范》11.13.2 条款中规定的“变形比较敏感的大中型水工建筑物、大型高边坡与高切坡、大型岸坡崩塌滑坡体

表 1 山口岩水利枢纽工程变形监测控制网各次观测值比较表

基点	首次观测值						当次观测值			ΔX /mm	ΔY /mm	ΔH /mm
	首次观测值			当次观测值								
	X	Y	H	X	Y	H						
TN3	3 052 725.969 2	500 675.070 5	230.941 0	3 052 725.969 2	500 675.070 5	230.941 0				起算点		
TN1	3 052 606.124 1	500 871.164 5	249.323 0	3 052 606.123 0	500 871.164 0	249.323 5	-1.1	+0.5	-0.5			
TN2	3 052 751.289 2	501 014.936 0	272.550 3	3 052 751.287 2	501 014.935 6	272.551 6	-2.0	+0.4	-0.13			
TN4	3 052 936.073 2	500 873.021 0	233.156 2	3 052 936.071 2	500 873.020 0	233.156 9	-2.0	+1.0	-0.7			
TN5	3 052 682.644 2	501 112.840 7	258.861 7	3 052 682.641 4	501 112.837 4	258.859 9	-2.8	+3.3	+1.8			
TN6	3 052 471.910 9	500 982.641 6	250.660 0	3 052 471.911 5	500 982.641 9	250.660 1	+0.6	-0.3	-0.1			

注: X 向表中位移向北为正, Y 向位移向西为正, H 向下沉为正。

等^[3]水平位移量允许中误差 $\pm 3\text{mm}$ 的要求;

TN4的X坐标方向(向南)变动2mm、Y坐标方向(向西)变动1mm、点位位移距离为4.3mm, TN4点位变化量满足SL 197-2013《水利水电工程测量规范》11.13.2条款中规定的水平位移量允许中误差 $\pm 3\text{mm}$ 的要求;

TN1、TN2、TN6三个点的X、Y方向坐标变动值较TN4都小,故TN1、TN2、TN6三点的水平位移量允许中误差变化值均在规范允许范围之内。由此说明TN5有少量位移,水平位移监测网其余各点平面位置基本稳定的。

高程位移变化最大TN5上升1.8mm,说明平面监测网各点垂直位移变化很小,总体来看基本上是稳定的。

通过对控制网点TN1、TN2、TN3、TN4、TN5、TN6平面和垂直测值的对比分析计算,各测点观测成果与首次观测成果比较均较小,说明测点稳定,变形量小,测量控制点的固定角和固定边满足规范要求。基准控制点的稳定对提高大坝变形监测点的观测精度,为准确预报大坝的安全运行提供了保障^[4]。

4 结 论

大坝表面变形是反映大坝结构性态的主要监测效应量,所以作为保证其测值精度及可靠性的工作基点稳定性至关重要。变形监测控制网是校测大坝变形监测工作基点稳定性的一种有效手段,山口岩水利枢纽工程从自身实际情况出发建立相应的控制网定期校测相应工作基点的稳定性,收到了良好效果,可为类似工程变形监测控制提供参考。

参考文献:

- [1] GB50026-2007 工程测量规范 [S]. 中国计划出版社出版, 2008.
- [2] 黄会宝,江德军,乔蓓. 某水电站库岸边坡变形监测工作基点稳定性分析[J]. 水电能源科学, 2016(9): 71~75.
- [3] SL 197-2013 水利水电工程测量规范 [S]. 中国水利水电出版社, 2013.
- [4] 杨小平. 大坝变形监测控制网布设及其基准控制点稳定性分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2010.4.

编辑: 张绍付

Stability analysis of deformation monitoring base point of Shankouyan water control project

XIE Changjiang

(Sinohydro Bureau 8 Co.,Ltd, Changsha 410000, China)

Abstract: Dam deformation monitoring is a very important work in dam operation and management, and whether the benchmark control point is stable is the premise of accurate dam deformation monitoring. Based on the analysis of the measured values of the control network of Shankouyan water control project in Pingxiang city, this paper introduces the layout requirements of the horizontal control network and the matters needing attention in field observation, and analyzes the stability of the reference control points. Compared with the first measured value, the fixed angle and fixed edge of the measurement control point meet the specification requirements. The stability of the benchmark control points can improve the observation accuracy of the dam deformation monitoring points and accurately predict the safe operation of the dam.

Key words: Deformation monitoring; Datum control point; Control network; Stability analysis; Shankouyan water control project

翻译: 谢长江