

珊溪面板堆石坝平面变形控制网 稳定性分析

林国良

(紧水滩水力发电厂,浙江 丽水 323000)

【摘要】 珊溪面板堆石坝平面变形控制网由8个控制点组成,自2001年1月至今共监测十期,每期均进行边角同测。利用拟稳平差和经典平差等理论对珊溪面板堆石坝平面变形控制网10期监测资料进行数据处理和稳定分析,找出了基准点和工作基点,为监测坝体时效位移可靠性提供了基准依据。

【关键词】 边角网;稳定分析;面板堆石坝

中图分类号: TV641.4+3

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)01-012-04

Analysis on stability of plane deformation control networks for Shanxi Concrete Face Rockfill Dam

LIN Guoliang

(Jishuitan Hydroelectric Power Station, Lishui 323000, China)

Abstract: The horizontal deformation control network of Shanxi face rockfill dam is composed of 8 control points. It is monitored for a total of ten periods since January 2001 to present. Both data processing and stability analysis are conducted on the ten phases of monitoring data of plane deformation networks for Shanxi Face Rockfill Dam by applying such theories as quasi-stable adjustment and classical surveying adjustment, finding out the reference point and work base point. This will provide standard bases for monitoring the stable time-effect displacement of dam body.

Key words: triangulation network; stability analysis; concrete face rockfill dam (CFRD)

1 工程概述

珊溪水库工程位于浙江省文成县境内的飞云江干流中段河流,其坝址位于珊溪镇上游1km,距温州市117km。珊溪水库的正常蓄水位为142.00m,总库容为18.24亿 m^3 ,电站装机容量为200MW。主要建筑物由钢筋混凝土面板堆石坝、溢洪道、泄洪洞、发电隧洞及厂房等组成,其中钢筋混凝土面板堆石坝最大坝高132.5m,坝顶长度448.0m,坝顶高程156.80m。工程于1996年动工,2000年5月蓄水,2001年底主体工程完工。

2 控制网的布置

水平位移平面变形控制网由 S_{1-1} 、 S_{1-2} 、 S_{2-1} 、 S_{2-2} 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 共8点组成,左右岸各4点,其中 S_{1-1} 、 S_{1-2} 、 S_{2-1} 、 S_{2-2} 点距大坝较近(约120~260m不等),下游最远点 S_6 位于鲤鱼山,距大坝约1.32km,网中共有43个方向,22条观测边,最大边长约1.21km,最短边长约0.75km,平均边长0.86km,网点平均高程约135.80m,相对下游河边高差平均约82m,网形见图1。

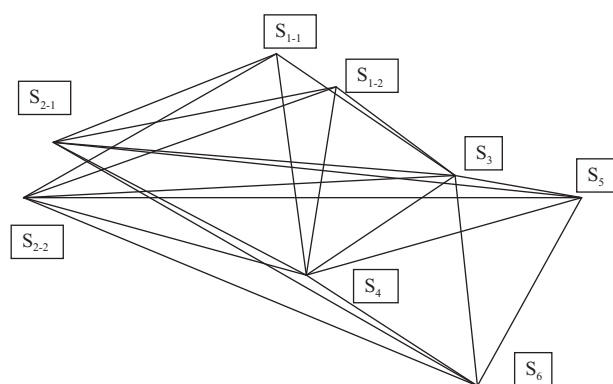


图1 平面变形控制网

3 控制网监测及其精度

自2001年1月—2015年12月共监测10期,分别在2001年1—2月、2001年11—12月、2002年12月、2003年12月、2005年11月、2007年11—12月、2009年11—12月、2011年10—11月、2013年12月、2015年12月共10个时段。为了满足高精度要求,采用徕卡TPS1000全站仪对控制网进行测边和测角,水平角采用全组合测角法测量,方向权 $P = n \times m = 42(40)$,其中 n 为方向数, m 为测回数,所有测回数平均分配在两个不同时段内;边长观测时记录气压和气温,在计算时进行气象改正和常数改正计算;垂直角按平面变形监测网网形进行观测,观测时观测目标的两个位置,每个位置观测2测回,往返高差平均后得到高差观测值,计算得的三角形高差闭合差 W 满足 $W \leq 0.0136(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)^{1/2}$,式中 L_1, L_2, L_3 为三角形三边长,以m计,三角形高差闭合差 W 以mm计;改正后的边长用三角高程网平差后的高程进行改平,改平后的边长投影至135.80m高程面。

为了对每一期监测精度进行评价,每期均进行经典平差计算,以 S_6 为起始点、 S_6S_5 方向为起始方向(每期均取相同值),采用 $\pm(0.2\text{mm} + 1\text{ppm})$ 和 $\pm 0.5''$ 精度指标作为边长和方向观测的先验中误差进行边角网严密平差,平差后各期的单位误差分别为 $\pm 0.43''$ 、 $\pm 0.45''$ 、 $\pm 0.39''$ 、 $\pm 0.44''$ 、 $\pm 0.43''$ 、 $\pm 0.46''$ 、 $\pm 0.44''$ 、 $\pm 0.42''$ 、 $\pm 0.38''$ 、 $\pm 0.41''$,均小于 $\pm 0.5''$ 、最弱点 S_{1-1} (或 S_{1-2})的点位精度分别为 $\pm 0.93\text{mm}$ 、 $\pm 0.94\text{mm}$ 、

$\pm 0.85\text{mm}$ 、 $\pm 0.93\text{mm}$ 、 $\pm 0.94\text{mm}$ 、 $\pm 0.99\text{mm}$ 、 $\pm 0.94\text{mm}$ 、 $\pm 0.93\text{mm}$ 、 $\pm 0.85\text{mm}$ 、 $\pm 0.89\text{mm}$,均小于 $\pm 1.0\text{mm}$,说明各期监测精度高,控制网布设合理。

4 稳定分析

在观测了多期平面变形控制网以后,总是希望能在网中发现一定数量的稳定点,使得观测成果的计算有一个比较稳定可靠的基准。

4.1 利用拟稳平差成果进行稳定分析

拟稳平差时边长先验中误差取 $\pm(0.2\text{mm} + 1\text{ppm})$ 、方向先验中误差取 $\pm 0.5''$ 、单位权先验中误差取 ± 0.5 ,分别对首期(2001年1—2月)、第9期(2013年2月)、第10期(2015年12月)的观测数据进行拟稳平差,平差时三期共同点作为拟稳点并取相同的坐标作为近似坐标。平差后可以得到这些共同点的坐标差、坐标差中误差,另外计算坐标差与坐标差中误差的比值,其结果见表1、表2,从表1和表2中可以看出,除 S_{1-1} 、 S_{2-1} 点外,其余各点比值都小于2。下面剔除 S_{1-1} 点,以第一次拟稳平差成果为起算点进行第二次拟稳平差,结果见表3、表4,从表3、表4中可以看出,剔除 S_{1-1} 点后, S_{2-1} 点比值仍然较大,其余各点比值都小于2;下面剔除 S_{2-1} 点,再次以第一次拟稳平差结果为起算点进行第二次拟稳平差,结果见表5、表6,从表5、表6中可以看出,剔除 S_{2-1} 点后, S_{1-1} 点比值仍然较大,其余各点比值都小于2。经过以上拟稳平差分析可以看出, S_{1-2} 、 S_{2-2} 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 六个点保持稳定状态,而其余两个点 S_{1-1} 和 S_{2-1} 存在不同程度的位移。

表1 第一次拟稳平差后第10期与首期数据比较

点名	X差值/ mm	Y差值/ mm	点位差/ mm	点位差中 误差/mm	比值(点位差/ 点位差中误差)
S_{1-1}	-1.3	-2.8	3.09	0.95	3.25
S_{1-2}	-0.4	-0.1	0.41	0.92	0.45
S_{2-1}	1.6	2.1	2.64	0.90	2.93
S_{2-2}	0.3	-0.1	0.32	0.92	0.35
S_3	0.4	-0.2	0.45	0.88	0.51
S_4	0.3	0.2	0.36	0.72	0.50
S_5	0.3	0.4	0.5	0.82	0.61
S_6	-0.2	-0.5	0.54	0.89	0.61

按上面相同方法,分别对其余各相邻二期和首期之间的资料进行各自拟稳分析,经分析, $S_{1,2}$ 、 $S_{2,2}$ 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 点自首期(2001年1—2月)开始至今始终保持稳定,可视为基准点; $S_{1,1}$ 、 $S_{2,1}$ 点在首期(2001年1—2月)至第5期(2005年11月)时间段内存在不同程度的位移,而自第5期(2005年11月)开始至今时间段内保持相对稳定状态,可视为工作基点。

表2 第一次拟稳平差后第10期与第9期数据比较

点名	X 差值/ mm	Y 差值/ mm	点位差/ mm	点位差中 误差/mm	比值(点位差/ 点位差中误差)
$S_{1,1}$	0.2	-0.3	0.36	0.81	0.44
$S_{1,2}$	-0.2	0.3	0.36	0.78	0.46
$S_{2,1}$	0.2	-0.3	0.36	0.68	0.53
$S_{2,2}$	0.1	-0.4	0.41	0.78	0.53
S_3	0.2	0.4	0.45	0.73	0.62
S_4	0.2	0.2	0.28	0.64	0.44
S_5	0.3	-0.2	0.36	0.66	0.55
S_6	-0.4	0.3	0.50	0.78	0.64

表3 第二次拟稳平差后(剔除 $S_{1,1}$ 点)第10期与首期数据比较

点名	X 差值/ mm	Y 差值/ mm	点位差/ mm	点位差中 误差/mm	比值(点位差/ 点位差中误差)
$S_{1,2}$	-0.4	-0.3	0.50	0.98	0.51
$S_{2,1}$	1.3	2.0	2.39	0.92	2.60
$S_{2,2}$	0.2	0.0	0.20	0.94	0.21
S_3	0.3	-0.3	0.42	0.89	0.47
S_4	0.1	0.2	0.22	0.78	0.28
S_5	0.2	0.2	0.28	0.87	0.32
S_6	0.1	-0.4	0.41	0.94	0.44

表4 第二次拟稳平差后(剔除 $S_{1,1}$ 点)第10期与第9期数据比较

点名	X 差值/ mm	Y 差值/ mm	点位差/ mm	点位差中 误差/mm	比值(点位差/ 点位差中误差)
$S_{1,2}$	-0.10	0.30	0.32	0.80	0.40
$S_{2,1}$	0.40	-0.40	0.57	0.71	0.80
$S_{2,2}$	0.00	-0.40	0.40	0.79	0.51
S_3	0.3	0.2	0.36	0.77	0.47
S_4	0.20	0.20	0.28	0.66	0.42
S_5	0.20	-0.20	0.28	0.73	0.38
S_6	-0.30	0.60	0.67	0.79	0.85

表5 第二次拟稳平差后(剔除 $S_{2,1}$ 点)第10期与首期数据比较

点名	X 差值/ mm	Y 差值/ mm	点位差/ mm	点位差中 误差/mm	比值(点位差/ 点位差中误差)
$S_{1,1}$	-0.9	-2.5	2.66	0.98	2.71
$S_{1,2}$	-0.4	0.2	0.45	0.94	0.48
$S_{2,2}$	0.3	0.5	0.58	0.94	0.62
S_3	0.3	0.0	0.30	0.89	0.34
S_4	0.2	0.6	0.63	0.73	0.86
S_5	0.2	0.2	0.28	0.83	0.34
S_6	0.1	0.0	0.10	0.94	0.11

表6 第二次拟稳平差后(剔除 $S_{2,1}$ 点)第10期与第9期数据比较

点名	X 差值/ mm	Y 差值/ mm	点位差/ mm	点位差中 误差/mm	比值(点位差/ 点位差中误差)
$S_{1,1}$	0.3	-0.3	0.42	0.83	0.51
$S_{1,2}$	-0.1	0.1	0.14	0.79	0.18
$S_{2,2}$	0.0	-0.4	0.40	0.80	0.50
S_3	0.3	0.1	0.32	0.76	0.42
S_4	0.3	0.1	0.32	0.66	0.48
S_5	0.1	-0.4	0.41	0.72	0.57
S_6	-0.3	0.5	0.58	0.79	0.73

4.2 以平差后的坐标差进行稳定分析

每期均以 S_6 为起始点、 S_6S_5 方向为起始方向(有关数据的选取同前3控制网监测及其精度中所述)进行边角网严密平差,计算出各控制点在第1、第10两期间的坐标差(表7)。用 t 检验法对各控制点点位进行分析,在检验前先将差值所在两期的监测精度作 F 检验,以检验是否来自方差 μ^2 的同一母体, $F = \mu_1^2/\mu_{10}^2 = 0.43^2/0.41^2 = 1.10$,选定显著性水平 $\alpha = 0.05$,按分子、分母自由度均为75查 F 分布表得 $F_{\alpha/2} = 1.61$,由于 $F < F_{\alpha/2}$,故可以认为第1、第10两期的监测精度是相同的,然后根据坐标差绝对值 d ,对下面的 t 变量进行检验: $t_x = d_x/[(\mu(2Q_{xx}))^{1/2}]$, $t_y = d_y/[(\mu(2Q_{yy}))^{1/2}]$,式中 Q_{xx} 、 Q_{yy} 为各相应坐标的协因数,本网两期的协因数相同,可由平差成果的协因数阵查出,位移统计量 t 的计算见表7。按显著性水平 $\alpha = 0.05$,自由度为75,由 t 分布表查得 $t_{\alpha} = 1.6$,如果 $t > t_{\alpha}$,认为位移显著可信,否则认为变形不可信。经检验, $S_{1,2}$ 、 $S_{2,2}$ 、 S_3 、 S_4 、 S_5 点保持稳定, $S_{1,1}$ 、 $S_{2,1}$ 点存在位移。每期以 S_5 点为起始点, S_5

S_6 方向为起始方向进行边角网严密平差,按上述相同的方法,同样得到 $S_{1,2}$ 、 $S_{2,2}$ 、 S_3 、 S_4 、 S_6 点保持稳定, $S_{1,1}$ 、 $S_{2,1}$ 点存在位移。

同理,以平差后的坐标差对其余各期间资料进行稳定分析,经检验分析同样可以看出, $S_{1,2}$ 、 $S_{2,2}$ 、 S_3 、 S_4 、

S_5 、 S_6 点自首期(2001年1—2月)开始至今始终保持稳定,可视为基准点; $S_{1,1}$ 、 $S_{2,1}$ 点在首期(2001年1—2月)至第5期(2005年11月)时间段内存在不同程度的位移,而自第5期(2005年11月)开始至今时间段内保持相对稳定状态,可视为工作基点。

表7 第1、第10两期间控制网点位移统计量 t 的计算

	$S_{1,1}$		$S_{1,2}$		$S_{2,1}$		$S_{2,2}$		S_3		S_4		S_5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
d/mm	1.0	2.3	0.5	0.5	1.1	2.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.5	0.2	0.2	0.3
Q	0.971	2.357	0.969	2.301	0.748	2.577	0.719	2.698	0.882	1.424	1.045	0.771	0.784	0.638
t	1.7	2.5	0.9	0.6	2.1	2.4	0.5	0.1	0.5	0.7	0.8	0.3	0.4	0.6
稳定情况	位移		稳定		位移		稳定		稳定		稳定		稳定	
$\mu = (0.43 + 0.41) / 2 = \pm 0'' .42$														
$\alpha = 0.05$														
$t_{\alpha} = 1.6$														

5 结 语

通过对珊溪面板堆石坝平面变形控制网10期实测资料进行数据处理和稳定性分析,控制网网型结构合理,各期监测精度高,能满足大坝安全监测要求;平面变形控制网点 $S_{1,2}$ 、 $S_{2,2}$ 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 位移量甚小,一直保持稳定,可视为基准点;其他网点 $S_{1,1}$ 、 $S_{2,1}$ 与运行初期相比,存在不同程度的位移,而自第5期(2005年11月)开始至今,保持相对稳定状态,可视为工作基点;为了进一步掌握基准点的稳定状况和工作基点的变形情况,建议今后每3~5年进行复测。◆

参考文献

[1] 林国良. 珊溪水电站大坝变形监测中的若干问题[J]. 水力发电, 2005(4): 79-81.

- [2] 王黎敏, 林国良, 毛小平, 等. 珊溪大坝安全监测现状及展望[J]. 西北水电, 2004(1): 32-34.
- [3] 林国良, 林周成. 紧水滩平面变形控制网监测中的几点思考[J]. 西北水电, 2002(3): 55-58.
- [4] 林国良. 紧水滩电厂平面变形控制网监测中的几点思考[J]. 四川水力发电, 2003(4): 101-105.
- [5] 宋恩来. 大坝变形监测应注意的几个问题[J]. 大坝与安全, 2002(1): 12-14.
- [6] 林国良. 紧水滩拱坝平面变形控制网稳定分析[J]. 大坝观测与土工测试, 2000(2): 29-31.
- [7] 陶本藻. 自由网平差与变形分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1984.
- [8] 吴子安. 工程建筑物变形观测数据处理[M]. 北京: 测绘出版社, 1982.
- [9] 任权. 大坝变形观测[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989.

(上接第23页)对比能相同;台阶溢洪道断面比能随流程长度先增加后平稳,而相对比能随流程长度呈线性递增,相关系数为0.9981~0.9997且与单宽流量无关;同一断面不同流量时,每级台阶对滑行水流产生的旋滚消能为定值。相对比能会随台阶高度增加而增加,等流程相对比能随坡角增大而增大。◆

参考文献

[1] 秦广莉. 台阶式溢洪道消能率影响因素分析[J]. 水利规划与设计, 2016(2): 49-51.

- [2] 白雪莲, 刘云贵. 浅谈竖井式溢洪道设计计算[J]. 水利建设与管理, 2016, 36(6): 21-24.
- [3] 伍平, 王波, 陈云良, 等. 大落差多级阶梯泄槽水流稳定平衡态研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(2): 190-194.
- [4] 王莉艳. 斯木塔斯水电站台阶式溢洪道消能设计[J]. 中国水能及电气化, 2014(4): 65-67.
- [5] 文明宜, 刘韩生, 范灵芝. 台阶式溢洪道水流比能与剩余能量关系研究[J]. 人民黄河, 2016, 38(4): 82-84.
- [6] 文明宜, 刘韩生, 范灵芝, 等. 台阶式溢洪道水流能量特性的研究[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(7): 60-62.