

天荒坪上水库平面监测基点网优化讨论

岳建平 许捍卫

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 根据测量控制网优化设计理论,对天荒坪抽水蓄能电站平面监测基点网的监测方案进行深入的讨论,而且根据大坝安全监测规范的要求考虑了控制网的可靠性问题、精度问题,并提出了满足工程要求的、能节省大量观测工作量的一种观测方案.

关键词 控制网 精度 可靠度

中图号 P221

1 工程概况

天荒坪抽水蓄能电站位于浙江省西北部的安吉县,工程接近华东电网的负荷中心,电站装机容量为 180 万 kW,是一座纯抽水蓄能电站,电站按日调节运行.工程所在的区域为崇山峻岭,河道落差很大.电站枢纽包括上水库、下水库、输水系统和厂房等部分,上、下水库库底天然高差约 590 m,筑坝形成水库后平均水头约 570 m. 电站为一等工程,枢纽主要建筑物为一级,坝型为混凝土堆石坝.

工程的上水库位于大溪左岸山顶的一块沟源洼地,由一座主坝和四座副坝所围成,东库岸风化覆盖较厚,西库岸和主坝位置覆盖层及全风化岩层底深约 10~35 m.

2 平面基点网介绍

天荒坪上水库平面基点网共有 10 个三角点组成(基点网网形见图 1),其中,基准点 3 个(TS01, TS02, TS03),工作基点 7 个(TS04, TS05, TS06, TS07, TS08, TS09 和 TS10). 该网按二等边角网设计^[1],其观测精度为 测角中误差 $\leq \pm 1.0''$,起始边边长相对中误差 $\leq 1/250\,000$,最弱边边长相对中误差 $\leq 1/120\,000$,点位中误差 $\leq \pm 5.0\text{ mm}$. 水平角观测采用 DJ1 经纬仪按方向观测法观测 9 个测回,边长采用 1 km 测距、中误差不大于 $\pm 2\text{ mm}$ 的测距仪进行观测. 各三角点均浇筑混凝土观测墩,并埋设强制归心设备,大部分观测墩建立在弱风化基岩上,点位的稳定性较好. 各观测墩的标顶高程采用精密三角高程对向观测法观测,整个三角网投影到统一高程面上进行计算.

建立上水库平面基点网的目的是为上水库大坝的水平位移监测建立统一的基准,由于监测网中有 3 个基准点,且 3 个基准点中的两个建立在稳固的基岩上,离库区有相当一段距离,另一基准点因覆盖层很厚只能建立在稳固的原状土中,三个基准点稳定性都较好,可相互检核. 7 个工作基点主要用于上水库四周及坝体水平位移的监测,工作基点可根据需要定期和基准点进行联测.

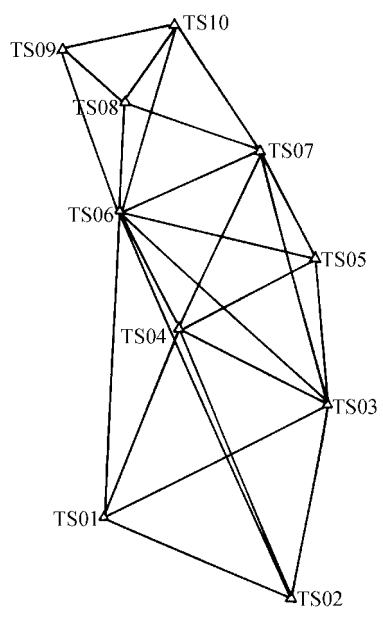


图 1 平面基点网布置
Fig.1 Designed network

根据设计方案对该监测网进行精度估算,结果如下:该网平均边长约 750 m,最弱点(TS10)的点位中误差

为： $\pm 3.60\text{ mm}$ ，最大相对点位中误差（TS 06 ~ TS 09）为： $\pm 1.91\text{ mm}$ ，最大边长相对误差（TS 08 ~ TS 09）为： $1/269\,000$ ，从以上数据可以看出，该网的设计在精度上有较大的富裕。因此，从节省工程费用、提高工作效率出发，该网的观测方案有优化的必要。

3 优化设计基本思想

变形监测网是测量控制网中的一种，它和常规的测量控制网相比，有精度要求高、可靠度高和对点位位移反应灵敏等特点，由于变形监测网必须以一定的周期复测，外业耗资较大，因此，监测网的经济性指标也应得到较高的重视。

控制网的质量是优化设计的核心问题，它主要包括精度、可靠度、灵敏度和费用等，优化设计的最终目的是要使优化后的方案既满足设计要求，又花费最少。对网的质量要求一般可用平差参数的协因数阵来表示，或者利用不同的最小准则形成各种不同的纯量标准，或者人为地构造一个理想的协因数阵作为准则矩阵^[2]。准则矩阵法是目前优化设计中较好的一种方法，它是使未知数协因数阵 Q_X 与准则矩阵 C_X 无限逼近，以求得最优的网形和观测方案。为了衡量两矩阵的逼近程度，可使两矩阵差的某一纯量函数最小，即：

$$\|G\| = \|Q_X - C_X\| = \min$$

(1)

式中 $\|\cdot\|$ 为矩阵范数。

4 基点网优化讨论

4.1 边角测值对精度的影响

控制网优化的目的是用尽可能少的工作量来达到设计的意图，同时满足规范规定的各项技术要求。为此，我们先对该基点网分别用测边网、测角网和边角网进行精度估算，以确定边、角观测量对基准点精度的影响，估算时测角中误差取 $\pm 1''$ ，测距中误差取 $\pm (1 + 1 \times 10^{-6} \cdot D)$ ，计算结果见表 1 和表 2。

表 1 基准网点点位中误差

Table 1 Designed accuracy of points mm

测点	边角网	测角网	测边网	建议的边角网
TS02	2.1	5.1	2.4	2.4
TS04	1.4	3.5	1.8	1.6
TS05	1.6	3.8	2.2	1.8
TS06	1.9	5.9	2.5	2.4
TS07	2.1	6.1	2.7	2.5
TS08	2.9	9.1	3.9	3.4
TS09	3.4	11.1	4.7	4.0
TS10	3.6	11.8	4.9	4.3

表 2 主要边相对中误差

Table 2 Relative accuracy of main sides

边号	边角网	测角网	测边网	建议的边角网
9 ~ 10	1/371 000	1/84 000	1/291 000	1/359 000
8 ~ 10	1/405 000	1/85 000	1/365 000	1/382 000
7 ~ 10	1/605 000	1/114 000	1/458 000	1/573 000
6 ~ 10	1/869 000	1/122 000	1/735 000	1/714 000
8 ~ 9	1/269 000	1/80 000	1/218 000	1/268 000
6 ~ 9	1/630 000	1/120 000	1/478 000	1/586 000
7 ~ 8	1/510 000	1/122 000	1/386 000	1/496 000
6 ~ 8	1/570 000	1/121 000	1/459 000	1/522 000
6 ~ 7	1/634 000	1/155 000	1/427 000	1/570 000

从表 1 和表 2 可以看出，就边角网来说，由于边角同时进行了观测，且网形复杂，观测量多，其点位精度和可靠度指标已大大高于监测网的要求，也就是说，存在一定程度的精度浪费。对于测角网来说，其点位中误差已大大超过规定的数值，精度不能满足监测要求，但其可靠度指标已满足要求，说明该网已有足够多的多余观测数，见表 3。对于纯测边网，其精度已满足监测的设计要求，但其可靠度不满足规定的指标。

表 3 多余观测分量

Table 3 Elements of redundant observations

多余观测分量	边角网	测角网	测边网	建议的边角网
最大值	0.72	0.72	0.65	0.70
最小值	0.33	0.32	0.11	0.30
平均值	0.59	0.48	0.36	0.58

根据上述精度分析可知，单纯的测角网或测边网都难以满足监测网的要求，只有边角网能满足监测的设计要求，测角网由于其点位精度离要求相差较大，难以再作进一步的优化处理，而测边网的精度已满足设计要求，仅在可靠度方面有些不足，因此，可在测边网的基础上作进一步的优化设计。

4.2 准则矩阵法优化讨论

为使观测工作量尽可能地减少,并使观测精度达到规范的要求,我们利用准则矩阵法对各观测量的权进行优化设计,设计的目标是各点的点位中误差满足精度要求.优化后可取消的观测测量见表 4.

从表 4 可以看出,距离和方向观测值都可以进行优化,且可以减少的观测工作量比重较大,对需要进行多期重复观测的变形监测网来说是相当有意义的.但就上述优化结果来说,由于许多方向只进行单向观测,对控制网的几何图形有一定的影响,有些地方不利于外业成果的质量检查,另外,考虑到习惯的外业作业方式,一般不采用单向观测作业,故上述优化结果仅作为优化设计的参考.

4.3 建议的控制网形式

对该监测网的优化设计,主要考虑其精度和可靠度应满足设计要求,另外,监测网的网形要力求简单,以方便实际施测.根据优化设计理论,对该监测网进行优化设计,并根据实际工作的操作方便程度,建议控制网网形如图 2 所示,其精度和可靠度指标分别列于表 1,2,3 中,从表中可看出,经优化后的监测网,其精度和可靠度都满足设计的要求,且网形比原网大大简化,减少了 5 条观测边长和 10 个观测方向,观测工作量减少了约四分之一.建议的基点网仍采用边角网形式,边长和方向全部观测(不采用单向观测),边长和方向的观测精度与原设计精度相同.建议的边角网最弱点(TS10)的点位中误差为:±4.3 mm,最大边长的相对误差(TS08~TS09)为 1/268 000.

5 实测结果分析

利用实测数据对该监测网进行数据分析处理,其结果列于表 5 和表 6 中.从表中可以看出,实测结果与理论分析很接近,达到了设计的精度要求.

表 4 可取消的观测量

Table 4 Canceled observed values

序号	方向	距离	序号	方向
1	1~3	2~4	7	6~8
2	2~4	4~5	8	7~5
3	3~6	4~6	9	7~8
4	3~4	6~7	10	9~8
5	6~3	8~9	11	10~8
6	6~4	8~10	12	

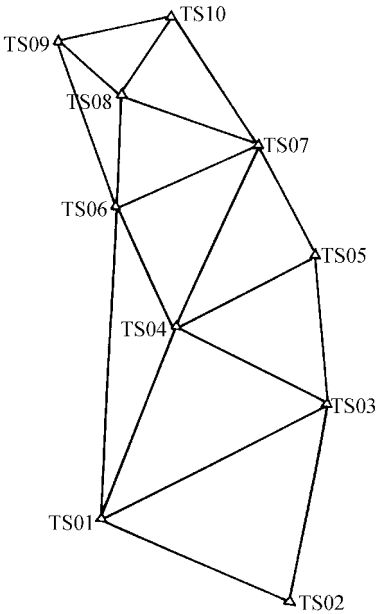


图 2 建议采用的基点网布置
Fig.2 Recommended network

表 5 实测点位精度

Table 5 Real accuracy of points mm

测点	原基点网	优化后基点网
TS02	1.8	2.0
TS04	1.2	1.3
TS05	1.4	1.5
TS06	1.7	2.0
TS07	1.8	2.1
TS08	2.6	2.8
TS09	3.0	3.3
TS010	3.2	3.5

表 6 实测边长相对精度

Table 6 Real relative accuracy of main sides

边号	原基点网	优化后基点网
9~10	1/419 000	1/431 000
8~10	1/458 000	1/458 000
7~10	1/643 000	1/678 000
6~10	1/891 000	1/856 000
8~9	1/304 000	1/322 000
6~9	1/712 000	1/703 000
7~8	1/535 000	1/595 000
6~8	1/644 000	1/626 000
6~7	1/681 000	1/683 000

6 结 论

- a. 大坝安全监测网的优化设计,不仅对提高监测网的质量、减少观测工作量有重要意义,而且对提高工作效率、降低工程费用有很大的帮助作用.
- b. 为了有效地剔除粗差,消除粗差对观测成果的影响,在监测网设计时,除考虑精度因素外,还应充分考虑监测网要有足够的多余观测,使各观测量的多余观测分量达到规范规定的值^[3].
- c. 由于电磁波测距仪的广泛使用,使距离测量工作变得容易且精度越来越高,测边网在精度上已完全能达到监测的要求,且其工作效率要比测角高得多,但测边网的多余观测数一般较少,各观测量的多余观测分量一般达不到规范规定的要求. 因此,建议监测网仍采用边角网的形式,但测角精度可降低,或减少测角数,以测距保证点位精度,以测角保证监测网的可靠度.

参 考 文 献

1 土石坝安全监测技术规范编写组. SL60—94 土石坝安全监测技术规范. 北京 水利电力出版社,1994. 1 ~ 10
2 崔希璋. 广义测量平差. 北京 测绘出版社,1991. 40 ~ 50
3 章书寿,华锡生. 工程测量学. 北京 水利电力出版社,1994. 120 ~ 130

Optimization of Monitoring Networks for
Tianhuangping Reservoir

Yue Jianping Xu Hanwei

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Abstract On the basis of optimization design theory of surveying control networks the monitoring methods of monitoring networks for Tianhuangping pumped storage power station are discussed. The accuracy and the reliability of control networks are studied according to the “Dam Safety Monitoring Norm”, and a new surveying method which can satisfy engineering needs and reduce much surveying work is put forward.

Key words control networks ; accuracy ; reliability