

江垭水利枢纽工程垂直变形监测与特异性分析

刘晓俭

(水利部·湖南省水利水电勘测设计研究院,湖南长沙 410007)

摘要:阐述垂直变形观测的设计原则、作业方法,分析了观测精度、基准网的稳定性;对有限的观测数据进行了大量的分析和研究,在变形态势、变形量值、变形速率上对大坝和岩体的变形进行了描述,为研究大坝与岩体抬升提供了专业基础资料。

关键词:变形监测;特异变形;精度及变形分析;江垭水利枢纽

中图分类号:P258

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)07-0142-03

水工建筑物长期受自重、水库庞大水体静水、渗水压力等其它荷载产生的垂直与水平力的作用,使得大坝与近坝区岩体发生变形;同时,库区季节性温度与水位的变化会使坝体及基础产生时效性变形。变形会削弱建筑物及其基础和岸坡的强度与稳定性,甚至造成严重后果。变形观测的意义和作用,就是为预防水利枢纽失事或者使失事的后果缩小到最低程度。测量监测是变形监测与研究的重要手段。

1 垂直变形监测系统的建立

1.1 观测点位布置原则及水准环(网)构成

垂直变形观测布点布网的原则是三级布点,分级布网。垂直变形观测按基本水准点、工作水准点和监测水准点三级进行布点与观测。

根据规范要求,基准点必须埋设在坝下受力区以外的稳定区域,以求得变形的绝对值。在本工程中,设计人员及地质工程师认为大坝蓄水对岩体产生的主要影响延伸至坝下游约1~3 km处;根据两岸地质地貌条件将基准点埋设在距大坝约8 km(直线距离)的刘家湾。基准点包含I江垭06包含上、中、下3个组标,整个基准网由10个混凝土基岩标和2个过河水准固定标组成,每个水准点都埋设了上、下标。基准网构成一个一等水准环线,环线长26.5 km,通过对坝下一等环线的复测,可测量坝下地壳在大坝蓄水后的沉陷及监测工作基点的稳定情况。

工作基点是进行变形观测的起算点,为方便观测的实施,一般埋设在大坝附近及相对稳定的基岩上。在右岸距大坝约1 km的地方设置了一组工作基点洞BM01、洞BM02,埋设在平硐内的基岩上。

洞BM01、洞BM02纳入了坝下一等环线的测量。洞BM03、洞BM04也是作为工作基本点来设置的,该组标建造在距大坝仅约300 m处的平硐里,且与洞BM01、洞BM02处于同岸,因此设置的意义不大,实际观测中,暂作为测点使用。在坝顶高程面上,分别在左、右坝肩岩体上埋设了BDJ01、BDJ02,是作为大坝坝顶紧急监测时使用的一对工作基点标。在现已进行的观测中仅作测点使用。

测点即埋设在变形体上的观测点,测点是根据监测的对象和监测的目的来进行布置的。本项目是按以下几个部位来布置的:①基础廊道。在大坝下闸蓄水时(1998年6月),在120基础廊道镶埋了LD4-2, LD4-1, LD5-1, LD6-1, LD7-1, LD8-1, LD8-2共7个点,分别代表了4, 5, 6, 7, 8五个坝段。②坝顶。2000年6月在坝顶设置了12个监测点,位于视准线墩标旁边,其编号分别为BD01~BD12。③坝体。为监测坝体倾斜变形及大坝下游面上坝体的沉降,于2000年6月,在下游坝面挑流鼻坎左右两侧墙上镶嵌了两个墙上水准点BT01、BT02。④近坝区岩体。1998年9月在坝上游两岸布设了坝区安全监测网,共埋设水准标石24个。⑤特征点。为研究不同高程面上岩体的变形特性,于2000年6月,在140 m高程面上设置了三个测点ST01, ST02, ST03;在300 m以上高程面上埋设了测点ST04, ST05, 两点分布在坝轴延长线上左、右岸。

1.2 监测水准路线及水准网的构成

大坝及近坝区岩体垂直位移监测水准路线主网由以下两个闭合环线组成:①120廊道环线,测自洞BM02依次经ST01, BM03(04), ST02, BT01, LD4-2~

表1 坝下环线观测精度统计

观测周期	环闭合差		每千米偶然中误差 /mm	往返测不符值少于1/3的比例/%	往返测不符值小于1/2的比例/%	最大不符值与限差的比值	不符值正比例/%	不符值负比例/%	不符值累积/mm	测段同平率/%
	闭合差/mm	占容许闭合差的比								
首次观测	1.1	0	±0.32	53.8	92.31	4/9	46.15	-53.85	-0.8	11.0
第一次复测	2.1	1/5	±0.35	61.5	76.92	1	61.54	-38.46	3.8	12.0
第二次复测	3.1	1/3	±0.40	46.2	69.23	1	69.23	-30.77	9.3	16.1
第三次复测	1.5	1/7	±0.30	53.8	76.92	3/5	53.85	-46.15	4.6	9.0

LD8-2, BT02, ST03, BM13JY, BM15JY 闭合到洞 BM02, 环线长度约 2.8 km; ②坝顶环线, 测自洞 BM03(04)依次经 BDJ01, BD01 ~ BD12 闭合到 BM13JY, 环线长度(自洞 BM02 经坝顶到洞 BM02)约 5 km。

为保证主网精度, 将山体监测点组成支线: ①右岸山体支线, 测自 BDJ01 经 BM10JY, BM08JY 到 ST04 再闭合到 BDJ01, 右岸单程长 580 m; ②左岸山体支线, 测自 BDJ02 经 BM09JY 到 ST05 再闭合到 BDJ02, 左岸单程路线长 448 m。

1.3 精度等级的确定

依据 SDJ36-89《混凝土大坝安全监测技术规范》(试行), 坝下环线与基础廊道、坝顶按一等水准精度观测, 对坝顶高程以上岩体按二等水准精度观测。

2 坝下环线观测精度与点位稳定性分析

闭合环线某点的高程中误差的估计值为

$$M_i = \frac{u}{\sqrt{(S_1 + S_2)/S_1 S_2}} \quad (1)$$

式中: u 为全中误差 m_w ; S_1 为环线左路线长; S_2 为环线右路线。

该点两期高程测量变化值中误差:

$$m_{\Delta H} = \sqrt{2} m_i \quad (2)$$

2.1 坝下环线最适宜的长度

国家一、二等水准测量规范对最弱高程中误差未提出限制, 但作为安全监测的水准网而言, 应满足岩体位移中误差 ± 2 mm 要求, 结合式(2)可算得坝下环线各水准点的高程中误差 $m_H = \pm 1.4$ mm, 在理论上取 $u = \pm 1$ mm 时, 坝下环线最佳路线长度为 8 km。当然, 如果能严格按照规范操作, 把握观测要领, 是可以适当放长的。

2.2 基准网稳定性分析

由于各种原因, 使得江垭环线的长度达到 26.5 km, 作为监测基准网而言, 显然不理想。事实上, 通过三期复测, 有些点的高程变化值均超过 ± 2 mm, 如洞 BM02, I 江垭 01 其最大变化值分别为 +2.6 mm 和 +2.7 mm, 是否能判断该两点发生了沉陷? 通过对环线上所有点的高程位移变化值中误差用 $u = m_w$ 与 $u = m_{\Delta}$ 进行估算, 如果取 $u = m_{\Delta}$, 则洞 BM02 与 I 江垭 01, I 江垭 02(即大坝近点)存在沉陷, 但必

须考虑到偶然误差、系统误差对测量成果的综合影响的, 取 $u = m_w$ 对三期复测结果进行分析, 则除 I 江垭 07 存在沉陷外(为过河水准临时标石, 未埋设到基岩上), 其它各点的三次复测的变化值都处于测量误差允许范围内。再根据第二、三期复测结果对比, 相对变化很小(洞 BM02 变化 0.5 mm)。因此就现已测量的结果来看, 坝下一等水准网是稳定的。

2.3 坝下环线观测精度评定

坝下环线观测精度统计结果见表 1。从表 1 可以看出坝下一等环线的观测质量良好。

3 监测网精度预估与观测精度

灵敏度是监测网技术设计的一个重要指标, 它能反映监测网检测最小变形的能力, 它是根据变形模型采用概率统计原理来进行计算的。在垂直监测的水准网中, 只要预先估算路线上最弱点的位移中误差, 看其是否满足规范要求(表 2)。

表2 位移中误差预估

路线名称	路线长/km	最大位移中误差估值/mm	限值/mm
120 基础廊道环线	2.80	0.5	1
坝顶环线	5.00	0.7	
左岸支线	0.45	0.3	2
右岸支线	0.58	0.5	

从表 2 可看出, 各监测水准路线上最弱位移中误差均满足限差要求, 对大坝垂直监测网进行了 13 期复测, 各点的位移中误差均小于 1 mm, 偶然中误差平均值为 ± 0.27 mm, 最大环闭合差为 1.4 mm, 全部往返误差小于 1/2, 外业观测质量优良。

4 垂直变形观测结果分析

4.1 120 基础廊道

120 廊道首次观测于 1998 年 12 月进行的, 测时大坝已下闸蓄水, 水位升高了 35 m, 达到 170 m, 1999 年 11 月进行了第一期观测, 复测后发现基础廊道抬升 15.2 mm。于是在两岸又新增加了一些测点, 制订了新的观测方案, 加密了观测频次, 根据专家意见, 确定了一些特别观测水位表(如 188 m, 218 m, 228 m, 236 m, 221 m, 210.6 m 等)。至 2001 年 6 月 9 日止, 已

对廊道进行了 13 次复测,将测时水位与廊道变形值按合适的比例绘成历时曲线图,可以看出,廊道变形与水位的变化存在密切的关系,总的趋势是水位升高、廊道抬升,水位降低,廊道回落,但廊道变形存在滞后。中央坝段(7.8 坝段)变形是最大的,两端相对较小,且左端抬升比右端大。如果将水位由升至降这一变化过程称为一个观测周期,那么现在仅获得了两个周期的观测结果。目前,对大坝已进行了 13 次观测,大坝总的抬升量为 30 mm。尽管第十三次观测结果有所下沉,但 30 mm 仍不是大坝抬升的最大值。

4.2 大坝坝顶

大坝坝顶于 2000 年 6 月获得首次观测值(相当于廊道第七次复测),共进行了七次复测。根据坝顶垂直变形与水位变化的关系曲线图可知,坝顶的变形与水位的变化存在密切的关系,总的趋势是:水位升高时,发生抬升,水位降低时,缓慢回落;坝顶中段变形相对较大,左岸相对右岸变形大;在高水位时,左岸变形速率比右岸要快。BD06, BD07, BD08 所在坝段变形最大,与其对应的 120 廊道坝段是 LD06-1, LD07-1, LD08-1 所代表的坝段,该三坝段也正是廊道变形最大的坝段。由此说明大坝 120 廊道与坝顶的变形目前存在相同的趋势。由于各监测体获得的首次观测时间不同,因而不能判定出各监测体总的变形量是否相同,也不能判定出变形是否同步。将廊道的第七次观测值作为初始值来分析,发现廊道、坝顶自第七次开始各自的变形量是基本相等的,进一步说明了目前坝顶与廊道变形的同步性、整体性。从以上分析看,坝顶与基础廊道以相同的速率、幅度和趋势表现着抬升。如果追溯到 1998 年 170 m 水位,坝顶的平均抬升量也应是 30 mm。

4.3 坝肩两岸及坝下岩体的变形

对江垅水库近坝区两岸岸坡岩体的监测点进行了七次复测。复测的结果表明岩体也发生了抬升变形。岩体的抬升对于不同的高程面及与大坝距离远近不同的测点,其抬升值是不一样的。从变形曲线图表可看出岩体的变形也与库水位的变化有关系,总体的变形趋势还是水位升高山体抬升,但岩体的变形比水位的变化滞后一些,抬升的速率相对坝体而言也缓慢一些,同时山体回落较山体的抬升而言表现要缓慢些。

分析坝下游距大坝远近不同及高低不同的测点的变形情况是很重要的,从监测数据可得出,距大坝不同距离的岩体,其变形大小是不同的。总的趋势是距大坝远时,其抬升量变小。直至坝下约 600 m 距离时,抬升消失。

同样,分析不同高程面上的岩体变形也是很重

要的,从近坝区岩体监测点位移与所在高程面关系可以看出山体的变形在不同的高程面上及离坝两端远近不同的位置表现不一样,抬升主要集中在坝顶高程面上下 30 m 和 145 m 高程面的岩体上,左岸坝顶以下变形区内测点仅有 ST03,坝顶以下变形曲线较平缓,坝顶以上则随高程的增大而降低;右岸坝顶以下高程面降低时岩体抬升逐渐减少,到 145 m 高程面上时 ST02 出现异常,坝顶以上同样随高程的增大而抬升逐渐变小。

4.4 抬升速率分析

将各监测体的平均变形量与历时月份整理,绘成变形速率柱状图(图 1)。

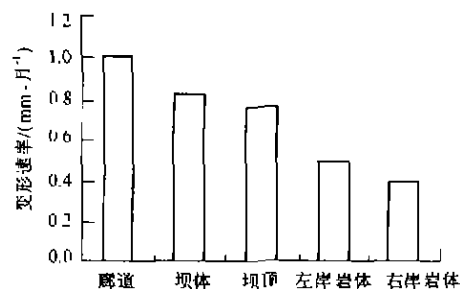


图 1 监测体变形速率柱状图

5 结 论

a. 大坝与近坝区岩体自大坝下闸蓄水以来发生了抬升,抬升与水位和温度的变化有明显的关联,水位升高时大坝、山体均发生抬升,水位降低时趋向回落,但回落相对抬升来说总是微小的(每次回落小于 2 mm);大坝基本上是整体抬升,中坝段(6, 7, 8 坝段)变形稍大,左岸变形比右岸大;山体变形集中在两岸坝肩附近及大坝坝下约 700 m 的范围内,变形的大小与离大坝的远近及高低有关。

b. 通过坝下环线的 3 次复测,说明大坝蓄水后对坝下河段两岸岩体影响不大,同时,作为基准网而言也是基本稳定的,尽管工作基点洞 BM01、洞 BM02 在 3 次复测后,其高程变化最大达 +2.6 mm,并呈现下沉的趋势,但在测量误差容许范围内,认为工作基点目前是稳定的。

c. 在江垅水利枢纽工程中,采用精密几何水准进行垂直变形监测,及时、科学地监测到了大坝及近坝区岩体的特异变形,并利用有限的观测周期资料,编制了大量的变形分析图表,为设计和地质人员进行抬升研究提供了重要的基础资料。

(收稿日期:2001-07-03 编辑:张志琴)