

三峡水库蓄水后茅坪溪大坝基座段变形分析

袁知茂¹, 吴世泽², 赵 岚², 曹伟轩²

(1. 葛洲坝集团公司, 湖北 宜昌 443002; 2. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

摘要 根据三峡水库蓄水前后的变形观测资料,以坝地质条件为基础,分析茅坪溪防护大坝基座段在三峡水库蓄水前后的变形与坝基弱风化岩体的对应关系。讨论和分析了 2003 年 5 月 20 日三峡水库开始蓄水至 135.9 m,最高蓄到 139 m 以后大坝基座段的变形特征。结果表明,三峡水库蓄水到高程 135 m 时其变形量远小于设计变形量,总体趋势是弱风化带上部岩体厚度大的地段其变形量也相对大,说明变形符合客观规律,但是,相邻两点间垂直变形量之差都为毫米级,对沥青混凝土心墙的变形影响较小,不会导致大坝沥青混凝土心墙的剪切破坏。

关键词 茅坪溪大坝 三峡水库 水库蓄水 坝基变形分析

中图分类号 TV62 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2007)S2-0106-03

1 工程概况

茅坪溪防护工程由大坝和泄水建筑物两部分组成。防护大坝位于长江右岸茅坪溪出口段,至茅坪溪口直线距离约 2 000 m,与三峡大坝最小水平距离 1 050 m。坝型为沥青混凝土心墙土石坝,坝轴线方向 320°,坝长 902 m 坝顶高程 185 m,顶宽 20 m,坝体上游坡比 1:2.25~1:3.0,下游坡比 1:2.0~1:2.25;坝体最大底宽 520 m,最大坝高 106 m。沥青混凝土心墙与基座、垫座接触部位宽 3.0 m,坝顶沥青混凝土心墙宽 0.8 m。坝址河谷走向约 25°,两岸谷坡不对称,右岸(以三峡水库水流方向为参照物,下同)山体雄厚,但冲沟较发育,右坝肩紧接秭归新县城,谷坡较平缓,平均坡角为 10°~12°;左岸谷坡基本顺直,坡角较陡,平均 30°~35°。河谷底宽 200 m 左右,高程 89~95 m。河床段心墙底部为混凝土基座,长 230 m,其内设基础廊道,并在左岸背水侧基岩和坝体中布置进出廊道的交通洞和涵洞。

2 基座段地质条件

河床基坑开挖成槽状,其中混凝土基座段建基面高程 81~84 m,局部超挖处理至高程 79 m,桩号 0+570~0+631 和 0+780~0+800 的高程为 84 m,其余部位高程 79~82 m。建基面上以弱风化带上部闪云斜长花岗岩为主,桩号 0+584~0+647 和 0+702~0+800 处为花岗岩体,局部沿断层风化加

剧,呈半疏松半坚硬状,共发育有 5 条花岗岩脉,宽度多数小于 0.2 m,仅 1 条宽度为 0.9 m,与围岩一般呈突变紧密接触,有 2 条辉绿岩脉,分别与 f_{m32} 和 f_{m283} 断层伴生延伸,前者宽 0.5 m,后者宽 3.5~4.1 m,脉体破碎,呈块状、次块状结构^[1]。

断层以宽度小于 0.2 m 的裂隙性断层为主,与轴线一般呈大锐角斜交,其中 f_{32} 与坝轴线近正交,规模较大,呈上窄下宽,底部 4.5~5.0 m,构造岩以碎裂闪云斜长花岗岩(或闪长岩)为主,局部有角砾岩,碎粉岩胶结较差。裂隙较发育,以陡倾角裂隙为主,一般数米至 10 几米,最长 45 m。

3 挡水前后变形分析

茅坪溪防护土石坝变形监测分两个标段进行,分别在廊道内和坝体(壳)上布设有一、二等水准测量,本文涉及的廊道一等水准环线测量由 11 段组成,线路全长 17.5 km,测量水准点 23 个,其中廊道内布设有一等水准点 10 个。自 1999 年 7 月,即基座建成后的 11 个月开始实施观测,观测时间为每月 1 次,测量成果以下沉为正,上升为负^[2]。

测量成果受外界影响因素较多,如温度、气压、不同的观测者等,只要其观测成果在测量规范要求以内,本文所采用的数据未作其他处理,将其测量资料视为大坝基础的变形——坝基压缩量。在此基础上分三峡工程蓄水前后两个阶段,对应坝基的地质条件及大坝填筑高度进行分析。

作者简介 袁知茂(1965—),男,湖北通山人,高级工程师,从事工程管理工作。E-mail: yuanzhimao@shou.com

3.1 蓄水前后垂直变形特征

资料分析表明,在三峡水库蓄水前,自 1999 年 7 月至 2000 年 9 月第一标段施工期间,大坝由高程 118 m 填筑到高程 142 m,即大坝高度上升了 24 m 时,垂直变形随大坝坝体的增高以 0.32 mm/月的速率下沉,大坝平均上升 1 m,其下沉量为 0.19 mm,累计垂直变形量在 4.6 mm 以下。2000 年 9 月至 2001 年 12 月,在第二标段开始填筑期间,大坝高程从 142 m 填筑到 150 m 时,即大坝高度上升了 8 m。其间 2000 年 10 月至 2001 年 5 月底大坝填筑间歇了 8 个月,垂直变形量基本无变化,累计垂直变形量保持在 4.6 mm 附近;2001 年 5 月底,第二标段大坝开始填筑,到 2001 年 12 月,大坝填筑到高程 150 m,垂直变形仍无明显的变化,表明垂直变形与坝高的增加有一个滞后时间。2001 年 12 月至 2003 年 5 月中旬,大坝高程由 150 m 填筑到高程 182 m,即大坝高度上升了 32 m 时,垂直变形量随大坝坝体的增高而继续以 0.34 mm/月的速率下沉,大坝平均上升 1 m 其下沉量约为 0.2 mm,累计垂直变形量在 9.5 mm 以下。

2003 年 5 月中下旬,三峡水库开始蓄水,至 2003 年 9 月大坝由高程 182 m 填筑到高程 185 m,即大坝高度上升了 3 m 时,加上蓄山水头压力,垂直变形量以 0.32 mm/月的速率下沉,大坝累计垂直变形量在 11.2 mm 以下。到 2004 年 9 月后,各监测点垂直变形趋于稳定,且各点之间的变形量差值不大,以 2006 年 1 月资料为例,10 个测点中最大者,大坝右侧的 LD09 测点,累计变形量为 19.21 mm,最小者为大坝左侧的 LD03 测点,累计变形量为 14.19 mm,两者相距 170 m 而变形量相差 5.02 mm(表 1)。LD09 和 LD10 两个观测点,从 2001 年 6 月开始变形量就和其他点相差 2~5 mm,相邻两点之间变形量最大者为 LD08 与 LD09 测点,相差 3.77 mm,相邻两点之间变形量最小者为 LD05 与 LD04 测点,相差 0.04 mm,经分析认为与蓄水无关,其原因将在下面进行分析。

表 1 茅坪溪大坝基座段弱风化带上部
(II₂)岩体厚度与垂直变形量统计

测点编号	桩号	II ₂ 岩体 厚度/m	h _i 变形 量/mm	$\Delta h = h_{i+1} - h_i / m$
LD10	0+579	13.5	18.36	0.85
LD09	0+592	8.5	19.21	3.77
LD08	0+623	5.2	15.44	0.16
LD07	0+646	6.5	15.60	0.59
LD06	0+673	6.8	16.19	1.10
LD05	0+706	3.6	15.09	0.04
LD04	0+734	0	15.05	0.86
LD03	0+762	2.8	14.19	0.86
LD02	0+780	5.0	15.05	0.08
LD01	0+790	5.1	15.13	

注: $h_{\max} - h_{\min} \quad h_{09} - h_{03} = 19.21 - 14.19 = 5.02(m)$ 。

3.2 垂直变形与地质条件的关系

廊道内垂直变形量最大相差 5.02 mm,最小者仅差 0.04 mm,根据各观测点垂直变形资料统计分析,三峡水库蓄水后,2004 年和 2005 年的测量成果各月垂直变形一直很稳定,表明测量资料受外界因素影响较小,统计 2004 年和 2005 年各月垂直变形的变化量都在 ± 0.5 mm 之间,在每年的 4 月~9 月份内变化量更小,一般在 ± 0.25 mm 之间,并且大部分为正值,而 1~3 月、10~12 月的变化量则以负值为主,仅少量正值。除了有上述特征外,各观测点的累计变形量与各点所对应的地质条件关系密切,特别是与岩体的风化厚度相关性较好,即弱风化带上部岩体厚度大的地段,对应的测点变形量也相对大,经回归分析^[3]其相关系数为 -0.86。现根据各观测点所对应的地质条件对垂直变形资料分别予以叙述。

a. 桩号 0+570~0+610 段。该段长 40 m,建基面高程起伏不平,高程一般在 82.0~83.6 m,最低处高程 81.5 m,岩性以闪云斜长花岗岩为主,岩体为浅褐色,半坚硬及疏松状岩石夹坚硬状岩石,沿裂隙风化较明显,坚硬岩石边缘风化严重,一般宽 0.07~0.11 m,最宽处有 0.85 m,疏松物含量达 10%~20%。建基面为弱风化带上部岩体,根据钻探孔和帷幕灌浆孔岩心揭示,建基面以下弱风化带上部岩体厚度最大为 13.5 m,本段断层发育,宽度大于 1 m 的断层有 3 条,且构造岩性状差,岩体破碎。在该部位布置的 LD10 和 LD09 2 个测点,混凝土厚度为 5~5.5 m,在整个廊道内垂直变形量最大,累计垂直变形量分别为 18.36 mm 和 19.21 mm,两者差值为 0.85 mm。

b. 桩号 0+610~0+645 段。该段长 35 m,建基面总体较平整,高程一般在 83.6~84.0 m,局部最低处高程 80.8 m,岩性以花岗岩体为主,其次为闪云斜长花岗岩,岩体为灰白色、浅褐色,建基面为弱风化带上部半坚硬及疏松状岩石夹坚硬状岩石,沿裂隙风化较明显,坚硬岩体边缘风化严重,一般宽 0.05~0.10 m,最宽处有 75 cm,疏松物含量在 15% 左右;局部为弱风化带下部浅灰色坚硬状岩夹少量风化岩体,风化宽一般为 0.01~0.04 m。根据钻探孔和帷幕灌浆孔岩心揭示,建基面以下弱风化带上部岩体厚度最大为 6.5 m,一般为 2~4 m。LD08 测点布置在弱风化带下部岩体与弱风化带上部岩体交汇处,布测点处弱风化带上部岩体厚度为 5.2 m,混凝土厚度为 2.2~2.5 m,累计垂直变形量分别为 15.44 mm,该点与 LD09 测点相距 31 m,累计垂直变形量相差 3.77 mm。

c. 桩号 0+645~0+770 段。该段长 125 m,建基面总体较平整,高程一般在 83.6~84.0 m,局部最

低处高程 80.8 m,岩性以花岗岩体为主,穿插几条花岗岩脉和辉绿岩脉,岩石为灰白色、浅褐色,建基面上弱风化带上部半坚硬及疏松状岩石夹坚硬状岩石和弱风化带下部浅灰色坚硬状岩夹少量风化岩体,交替出露,局部为微风化岩体。其中,LD07 测点布置在弱风化带上部岩体上,布点处弱风化带上部岩体厚度为 6.5 m,混凝土厚度为 2.0~2.3 m,累计垂直变形量为 15.60 mm;LD06 测点布置在弱风化带上部岩体上,布点处弱风化带上部岩体厚度为 6.8 m,混凝土厚度为 2.8~3.1 m,累计垂直变形量为 16.19 mm;LD05 测点布置在弱风化带上部岩体上,布点处弱风化带上部岩体厚度为 3.6 m,混凝土厚度为 2.1 m 左右,累计垂直变形量为 15.09 mm;LD04 测点布置在微风化岩体上,混凝土厚度为 2.5 m,累计垂直变形量为 15.05 mm,LD03 测点布置在弱风化带上部岩体上,弱风化带上部岩体厚度为 2.8 m,混凝土厚度为 2.5 m,累计垂直变形量为 14.19 mm,其中 LD04 测点与 LD05 测点的累计垂直变形量差值最小,只有 0.04 mm。

d. 桩号 0+770~0+800 段。该段长 30 m,建基面为北西低、南东高的斜面和平面的,高程为 81.3~84 m,最低处高程为 81.3 m,岩性以闪云斜长花岗岩为主,岩体为浅褐色,由半坚硬及疏松状岩石夹坚硬状岩石组成,沿裂隙风化较明显,坚硬岩体边缘风化较严重,一般宽 0.05~0.10 m,最宽处有 0.65 m,疏松物含量达 12% 左右。建基面为弱风化带上部岩体,根据钻探孔和帷幕灌浆孔岩心揭示,建基面以下弱风化带上部岩体厚度最大为 6.8 m,一般只有 3~5 m,本段断层不发育,仅有 1 条宽度小于 1 m 的断层,其构造岩性状较差,岩体较破碎。在该部位布置的 LD02 测点和 LD01 测点的弱风化带上部岩体厚度分别为 5.0 m 和 5.1 m,混凝土厚度为 5~5.5 m,累计垂直变形量分别为 15.05 mm 和 15.13 mm。本段两点累计垂直变形量差异相对较小,只有 0.08 mm,变形量从 1999 年开始观测至 2006 年几乎是同步的。

4 结果与结论

综上所述,廊道内垂直变形累计变形量与岩体的性状有密切联系,特别是与弱风化带上部岩体的厚度关系更为明显,由表 1 可以看出,弱风化带上部岩体厚度大的部位,其累计垂直变形量也较大,如 LD09 测点和 LD10 测点处,弱风化上部岩体厚度在 8.5~13.5 m 之间,累计垂直变形量分别为 19.21 mm 和 18.36 mm,其余各部位弱风化上部岩体厚度相对较小,一般只有 2.8~6.5 m,累计垂直变形量也相对较小,只有 14.19~16.19 mm。

从不均匀变形的角度分析,相邻两测点之间的累计垂直变形量之差一般在 0.8 mm 左右,它们与所对应的岩体风化厚度基本一致。如 LD01 测点与 LD02 测点,相距 10 m,所在位置弱风化,上部岩体厚度分别为 5.1 m 和 5.0 m,LD05 测点与 LD06 测点,相距 33 m,所在位置弱风化上部岩体厚度分别为 6.8 m 和 3.6 m,最大差值是 LD09 测点和 LD08 测点,累计变形量分别为 15.44 mm 和 19.19 mm,远小于完建运行期的沉降量设计值(75.5 mm)^[4];累计变形量之差为 3.77 mm,它们所对应的岩体风化厚度分别为 5.2 m 和 8.5 m,厚度相差 3.3 m,最小差值是 LD04 测点和 LD05 测点,相距 28 m,前者建基面岩体为弱风化带下部岩体,弱风化带上部岩体厚度为 0 m,后者弱风化带上部岩体厚度为 3.6 m,两者累计变形量之差为 0.04 mm。

就局部变形而言,北西端 LD09 测点至 LD08 测点垂直变形量最大为 3.77 mm,两点间距离是 31 m,垂直变形量平均 0.12 mm/m,其余都很小,垂直变形量平均只有 0.002 mm/m,与所对应的地质条件一致。相邻两点间垂直变形量之差,总体趋势是弱风化带上部岩体厚度大的地段其变形量也相对大,表明压缩变形符合客观规律。但是,相邻两点间垂直变形量之差都为毫米级,对沥青混凝土心墙的变形影响较小,因此,对沥青混凝土心墙的变形影响也较小,坝基的少量变形不至于影响整个大坝沥青混凝土心墙的剪切破坏而导致渗漏,更不会导致大坝沥青混凝土心墙的剪切破坏,这为当地材料坝,尤其是沥青混凝土心墙土石坝基座建基面的选择积累了经验,也为三峡水库蓄水到 156 m 提供了可靠的依据。

参考文献:

- [1] 舒华波,陈又华,曹伟轩.三峡水库蓄水后茅坪溪大坝渗漏分析[J].水利技术监督,2007(1):41-42.
- [2] SL60—94,土石坝安全监测技术规范[S].
- [3] 中国科学院数学研究所统计组.数理统计[M].北京:科学技术出版社,1979:83-88.
- [4] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院.三峡工程设计论文集[C]//北京:中国水利水电出版社,2003:560-561.

(收稿日期 2007-02-27 编辑 高建群)

