

深覆盖层对土石坝应力应变的影响

彭成山¹, 王志会^{1*}, 潘永胆² (1. 华北水利水电学院, 河南郑州 450011; 2. 长江工程职业技术学院, 湖北武汉 430212)

摘要 安宁水电站沥青混凝土心墙堆石坝, 填筑在厚度高达 90 多米的深厚覆盖层基础上, 地质结构条件复杂, 因此研究坝体及深覆盖层的应力变形尤为重要。针对坝体和深厚覆盖层坝基应力应变问题, 采用有限元应力变形计算分析方法, 研究坝体、坝基覆盖层在竣工期、蓄水期的应力和变形规律。在给定计算参数的前提下, 通过有限元应力变形计算分析, 进行验证结果表明, 坝体、覆盖层的应力、变形特征符合一般规律。

关键词 沥青混凝土心墙; 坝基深覆盖层; 应力变形分析

中图分类号 S27 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)23-09868-03

1 工程概况

安宁水电站枢纽位于四川阿坝州境内的大渡河干流上^[1]。安宁水电站枢纽以发电为主, 电站装机可用容量 400 MW。拦河坝拟为沥青混凝土心墙堆石坝, 设计坝顶高程为 2 135.00 m, 最大坝高 62 m, 坝顶轴线总长度 336 m, 坝顶宽度 10 m。采用的沥青混凝土心墙厚度为 0.8 m, 心墙基础位于混凝土垫座上, 垫座宽 3 m, 高 3 m。坝体下面的河床覆盖层最大深度约为 92 m。坝基防渗型式采用混凝土防渗墙(坝基覆盖层)和帷幕灌浆(坝基基岩), 混凝土防渗墙最大深度为 87 m, 厚度为 1.0 m。

水库设计正常蓄水位高程为 2 130.00 m, 死水位高程为

2 127.00 m, 设计洪水位高程为 2 130.00 m。

2 计算方法

采用邓肯 E-B 模型^[2]对典型横断面坝体及覆盖层进行了二维静力有限元分析, 模拟了拦河坝填筑施工过程, 模拟水库蓄水过程, 并连续计算了坝体、覆盖层在竣工期、初次蓄水期, 以及库水位由正常蓄水位骤降到死水位的应力和变形, 并计算了 2 个升降循环。

2.1 计算参数 计算中, 土石料用邓肯 E-B 模型模拟, 并假定强度为非线性公式。坝体堆石和覆盖层各岩层土体, 以及心墙沥青混凝土等材料的计算参数由委托方提供, 见表 1。

2.2 计算模型 坝体、覆盖层、心墙及防渗墙, 共剖分 2 671

表 1 覆盖层及坝体土石料计算参数

序号	材料	容重 KN/m ³	邓肯 E~B 模型参数							
			c//kPa	$\varphi_0//^\circ$	$\Delta\varphi//^\circ$	R _f	K	N	K _b	M
1	⑦ 含砂含砾漂、卵石	23.0	0	47.3	6.4	0.79	960	0.25	500	0.34
2	⑥ 含卵含砾中粗砂	18.5	0	35.0	1.0	0.71	320	0.38	200	0.39
3	⑤ 含砂含砾卵、砾石	21.0	0	43.5	3.6	0.93	500	0.48	280	0.15
4	④ 含卵含砾中砂	18.5	0	35.0	1.0	0.71	300	0.38	180	0.39
5	③ 含砂砾石、卵石	21.0	0	43.5	3.6	0.93	500	0.48	280	0.15
6	② 含砾粉细砂	17.5	0	35.4	1.4	0.68	300	0.42	180	0.53
7	① 含砂含砾卵、漂石	23.0	0	47.3	6.4	0.79	960	0.25	500	0.34
9	上游堆石I	21.0	0	52.0	10.0	0.72	1 300	0.21	700	0.10
10	下游堆石I	21.0	0	53.0	11.0	0.73	1 450	0.23	750	0.10
11	下游堆石II	21.0	0	51.0	9.5	0.70	1 200	0.20	600	0.15
12	反滤料	20.5	0	48.0	10.5	0.85	750	0.45	440	0.21
13	过渡料	21.0	0	50.0	12.5	0.88	840	0.43	480	0.12
14	沥青混凝土心墙	24.0	300	30.0	0.0	0.60	400	0.20	1 000	0.70

个结点, 2 615 个单元, 有限元网格如图 1 所示。项目计算分析的目的是研究坝基覆盖层、坝体在竣工期、运行期的应力变形规律。

有限元计算时, 采用分级加荷对大坝施工逐层填筑及蓄水过程进行模拟。先填筑围堰, 然后填筑坝体。计算初次蓄水到正常库水位后, 然后计算库水位由正常蓄水位降至死水位, 并计算两个升降循环。共分 16 级荷载计算, 覆盖层作为第 1 级荷载, 围堰分 2 级荷载, 坝体施工到坝顶分 8 级荷载,

初次蓄水分 2 级蓄水到正常水位, 降至死水位作为 1 级, 然后再作一个蓄水升降循环, 即 2 级荷载计算^[3]。

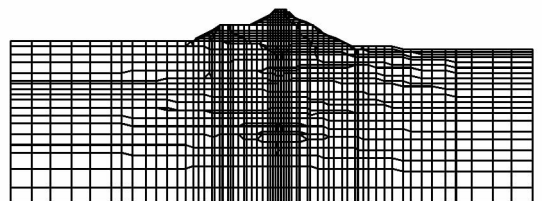


图 1 安宁沥青混凝土心墙堆石坝二维有限元网格

设计拟定的方案中, 对部分坝基进行振冲碎石桩处理。在有限元计算过程中, 对振冲碎石桩处理后的坝基计算参数 K、K_b 值取 2 倍的原坝基参数 K、K_b 值, 参数 40 取原坝基参

作者简介 彭成山(1957-), 男, 河北磁县人, 教授, 硕导, 从事水工结构、岩土工程数值分析和结构模拟试验方面的研究, E-mail: pengcs01@qq.com。* 通讯作者, E-mail: wzh8651@qq.com。

收稿日期 2013-07-26

数值的 1.3 倍。

按照土力学的惯例,正应力以压为正,拉为负;应变以压缩为正,膨胀为负。计算取定的坐标系: x ——顺河向,指向下游; y ——竖直向,向上。

3 结果与分析

计算结果表明,竣工期坝体最大沉降为 45.80 cm,占最大坝高(62 m)的 0.67%,发生在上、下游坝体中部与覆盖层邻近的位置处,如图 2 所示。向上游水平位移最大值为 7.80 cm,占最大坝高的 0.13%,发生在上游覆盖层内;向下游水平位移最大值为 11.70 cm,占最大坝高的 0.19%,发生在下游覆盖层内,如图 3 所示。

围堰的水平位移是向下游移动,围堰顶部向下游移动了 4 cm。其原因是围堰下部坝基覆盖层向上游滑移,而且在围堰坝脚处的坝基土体单元的应力水平接近 1.0,趋于破坏,坝基覆盖层的向上游移动难以带动大体积的围堰位移,同时坝基覆盖层的向上游运动也正好为围堰向下游移动提供了空间。

初次蓄水后坝体的最大沉降为 54.30 cm,与竣工时相比沉降了 12.50 cm,发生的位置仍然是在上、下游坝体中部与覆盖层邻近的位置处,见图 7 所示。与竣工期相比,蓄水后坝体及覆盖层的水平位移变化较为明显,覆盖层的向下游水平位移达到了 19.90 cm,占最大坝高 0.32%。

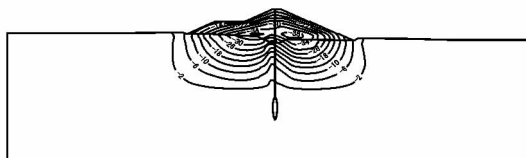


图 2 竣工时坝体及覆盖层沉降等值线(单位:cm)

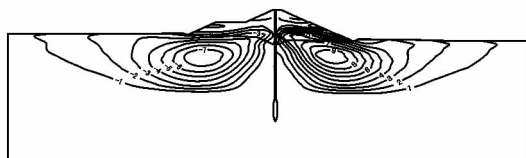


图 3 竣工时坝体及覆盖层水平位移等值线(单位:cm)

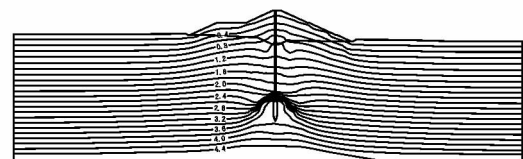


图 4 竣工时坝体及覆盖层大主应力等值线(单位:MPa)

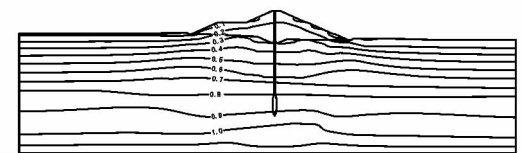


图 5 竣工时坝体及覆盖层小主应力等值线(单位:MPa)

图 4 和图 9 是竣工期和蓄水后坝体及覆盖层的大主应力等值线图。从 2 图中可以看出,无论是在竣工期还是在蓄水后,在混凝土垫座附近,以及防渗墙与基岩接触部位附近,有应力集中现象。

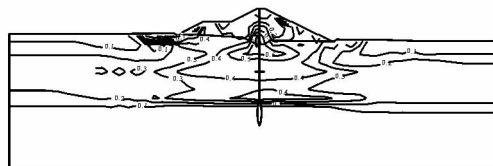


图 6 竣工时坝体及覆盖层应力水平等值线

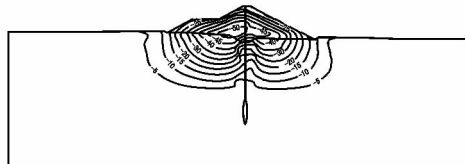


图 7 正常蓄水位时坝体及覆盖层沉降等值线(单位:cm)

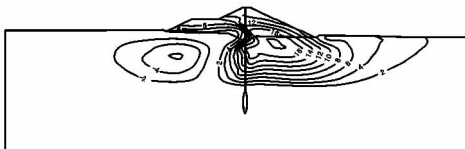


图 8 正常蓄水位时坝体及覆盖层水平位移等值线(单位:cm)

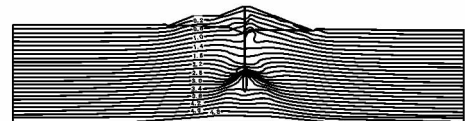


图 9 正常蓄水位时坝体及覆盖层大主应力等值线(单位:MPa)

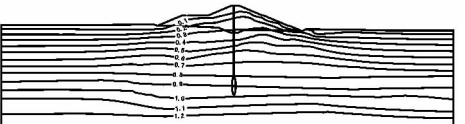


图 10 正常蓄水位时坝体及覆盖层小主应力等值线(单位:MPa)



图 11 正常蓄水位时坝体及覆盖层应力水平等值线(单位:MPa)

图 5 和图 10 是竣工期和蓄水后坝体及覆盖层的小主应力等值线图。从 2 图中可以看出,竣工期内,小主应力大致关于心墙及防渗墙对称分布,蓄水后,由于水荷载的作用,上游坝壳内的小主应力急剧减少,心墙及下游坝壳内的小主应力有所增大。

图 6 和图 11 是竣工期和蓄水后坝体及覆盖层的应力水平等值线图。从 2 图可以看出,竣工期坝体及覆盖层的应力水平总体不大,相比之下,在心墙底部与混凝土垫座连接部位的应力水平较大,达到 0.80 左右。另外,在竣工期,上游围堰顶部及围堰上游坡面局部单元的应力水平^[4]接近 1.0。蓄水至正常蓄水位后,上游坝壳及上游围堰的小主应力急剧减小,而大主应力变化不大,从而导致上游坝壳及上游围堰的应力水平显著增加;相反的是,心墙及下游坝壳的应力水平有所减小。由图 11 可以看出,在蓄水至正常蓄水位后,靠近心墙的上游坝体局部单元,以及上游围堰的局部单元,应力水平达到了 0.9。应该指出的是,上游坝壳及围堰内的这

种较大应力水平并不会导致上游坝壳的失稳,因为心墙和下游坝壳内的应力水平较小,对上游坝壳的变形有着约束的作用,只要心墙和下游坝壳稳定,上游坝壳就是稳定的。这里心墙及下游坝壳相当于挡土墙,而上游坝壳相当于挡土墙后的填土,当挡土墙上产生主动土压力时,墙后填土处于主动破坏状态,但只要挡土墙稳定,墙后填土就是稳定的。

4 结语

通过二维静力有限元应力变形计算分析研究,得到以下结论及建议:

(1) 竣工期,坝体及覆盖层发生的最大沉降发生在上、下游坝体中部与覆盖层表面相连接的位置附近;向上游水平位移最大值发生在上游覆盖层内;向下游水平位移最大值发生在下游覆盖层内。

(2) 初次蓄水至正常蓄水位后,坝体及覆盖层的最大沉降与竣工时相比沉降增大 12.50 cm,发生的位置仍然是在上、下游坝体中部与覆盖层表面相连接的位置附近;与竣工期相比,蓄水后坝体及覆盖层的水平位移变化较为明显。

(3) 竣工期,坝体及覆盖层的应力水平总体不大,相比之下,心墙底部与混凝土垫座连接部位的应力水平较大。当蓄水到正常蓄水位后,上游坝壳及上游围堰的小主应力都减小,而大主应力变化并不大,从而导致上游围堰及上游坝壳的应力水平明显增加;相反的是,下游坝壳及心墙的应力水平却有所减小。

(4) 坝体、覆盖层的应力、变形特征符合一般规律。

坝体建在峡谷之中,实际上处于空间应力状态,该文计算时将其简化为平面应变问题,可能会与实际状态有一定差异。建议进一步作三维有限元应力变形计算分析研究。

参考文献

[1] 彭成山,张学菊. 土坝防渗墙设置摩擦单元对墙体应力变形的影响[J]. 华北水利水电学院学报,2007,28(4):1-4.
 [2] 王复来,陈洪天. 土石坝变形与稳定分析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:40-51.
 [3] 白俊岭. 沥青混凝土心墙堆石坝设计[M]. 郑州:黄河水利出版社,2004:30-33.
 [4] 丁树云,毕庆涛. 深厚覆盖层上沥青混凝土心墙土石坝的应力变形特征[J]. 水力发电,2011(4):1-4.

(上接第 9867 页)

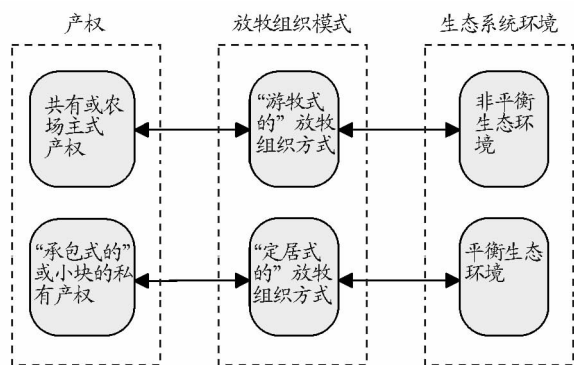


图 1 生态环境及产权和放牧模式间的关系

决定着该区域放牧模式和产权。从表 1 可以看出,西藏的生态环境属于典型的非平衡生态环境(林芝特殊,属于平衡生态

表 1 西藏生态环境的特点

西藏草原特点	草的特点	需要的放牧形式	空间要求	排它成本
海拔高度差异大	草的生长存在时间差、种类有差别	从低海拔向高海拔放牧(游牧)	距离长、范围大	高
生产力低	营养较低	大范围游动	距离长、范围大	高
雨量不均衡	不同季节、不同区域产出差距大	游牧	距离长、范围大	高
突发因素多	草量在空间和时间上差异大	游牧	距离长、范围大	高
脆弱而敏感		游牧来减少对草的践踏(游牧)	距离长、范围大	高
水资源分布不均		大范围游动和集中	距离长、范围大	高

态系统),因此与其相契合的放牧组织模式应为游牧放牧模式,其产权应是共有产权(部落或农场主式的私有产权)。正如奥斯特罗姆指出的,资源的产权制度应受制于资源的特征,也即不同的资源适应不同的产权制度^[6]。

事实上,传统的高寒草原区草地可持续利用“产权”就是部落的共有形式,在这种产权形式下,草场的管理权下放到社区,这样有利于应对复杂多变的环境^[7]。应该尊重西藏几千年留下的共有和游牧的传统,让草场的利用回归到生态环境的本质。

参考文献

[1] HARDIN G. The Tragedy of the Commons[J]. Science, 1968, 162: 1243-1248.
 [2] LI W, ALI S H, ZHANG Q. Property rights and grassland degradation: A study of the Xilingol Pasture, InnerMongolia, China[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85: 461-470.
 [3] 王晓毅,张倩,苟丽丽. 非平衡、共有和地方性——草原管理的新思考[M]. 北京:中国社会科学出版社,2010:6.
 [4] 张倩,李文军. 分布型过牧:一个被忽视的内蒙古草原退化的原因[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(12):8-15.
 [5] OBTA G, STENSETH N C, LUSIGI W J. New perspectives on sustainable grazing management in arid zones of subsaharan Africa[J]. Bio Science, 2000, 50(1): 35-51.
 [6] 埃莉诺·奥斯特罗姆. 公共事物的治理之道[M]. 余逊达,陈旭东,译. 上海:三联书店,2000.
 [7] 伊安·斯库恩斯. 不确定性下的生活:非洲草原发展新方向[M]. 中级技术出版社,1994.
 [8] 刘卫国,常浩娟. 新疆沙湾县草场资源承载力分析和生态保护研究[J]. 畜牧与饲料科学,2011,32(2):28-29.
 [9] 宗子贺,李俊有,赵红. 赤峰市 2011 年天然草场牧草营养成分监测评估[J]. 内蒙古农业科技,2012(3):110.