

冶勒堆石坝沥青混凝土心墙型式及尺寸研究

李同春¹, 刘晓青¹, 夏颂佑¹, 李玉池²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 成都勘测设计研究院, 四川成都 610072)

摘要 对拟建在深厚覆盖层上的冶勒沥青混凝土心墙堆石坝进行了非线性有限元分析,研究了折线形与直线形心墙型式及直线形心墙型式不同底部尺寸对防渗体系应力状态和工作性态的影响.结果表明 直线形心墙由蓄水引起的坝体垂直位移变化大于折线形心墙,相应蓄水后心墙与基础接触面上的法向应力也稍大,从接触面防渗及施工方便的角度考虑,以采用直线形心墙为宜.直线形心墙底部宽度在 0.9 ~ 1.2 m 之间变化时,心墙、防渗墙及两者结合部的应力变化不大,可在满足渗径长度前提下尽量选择较小的底宽尺寸,以降低工程造价.

关键词 覆盖层 沥青混凝土心墙 堆石坝 尺寸

中图分类号 TV641.4

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2000)02-0109-04

冶勒水电站位于南桷河上游,装机容量为 240 MW. 其拦河大坝为沥青混凝土心墙堆石坝,最大坝高 125 m. 水库正常蓄水位、设计洪水位及校核洪水位均为 2650 m,死水位为 2600 m,坝顶高程为 2654.5 m,上游坝坡 1:1.8. 拦河大坝的坝址处于冶勒盆地边缘,左岸为石英闪长岩,山体雄厚. 基岩面自左岸向右岸往下深切,河床下部及右岸由第四系中、上更新统卵砾石层、粉质壤土及块碎石土夹硬质土层等岩组组成,最大厚度达 420 m. 河床下部基岩面最小埋深 55 ~ 160 m. 大坝的主要持力层为卵砾石层与粉质壤土互层,层厚 15 ~ 24 m,河床部分为块碎石土夹硬质土层,层厚 31 ~ 46 m,硬质土层深度约占 20% ~ 40%,此层为坝基深部相对隔水抗水层.

冶勒沥青混凝土心墙堆石坝主要由坝体、坝基防渗体及坝壳堆石组成,在心墙和坝壳堆石之间设有碎石过渡层. 由于坝基相对隔水层承受压力较大(将近 70% 上下游水头差),在坝址下游增设了 215 m 的盖重,其平均厚度为 22 m. 坝基防渗体主要由混凝土防渗墙和帷幕灌浆构成. 在如此深厚覆盖层上修建高土石坝如何保证防渗体系的正常工作,国内外可借鉴的经验并不多. 文献[1]对该坝沥青混凝土心墙与防渗墙接头型式进行了研究,提出了较为合理的硬接头方案. 本文在文献[1]工作的基础上主要进行了以下两个方面的工作:(a)心墙底宽取为 1.2 m 时,比较折线形心墙和直线形心墙对防渗体系应力状态和工作性态的影响,以探讨将折线形心墙改为直线形心墙型式的可能性;(b)对于直线形心墙,比较不同底宽对防渗体系应力状态和工作性态的影响,以寻求在保证防渗体系安全工作前提下尽可能降低造价的可能性.

本文研究成果可为设计单位选用施工方便、经济合理的心墙型式及相应的底部尺寸提供科学的依据.

1 沥青混凝土心墙堆石坝防渗体系形式

冶勒沥青混凝土心墙堆石坝防渗体由坝基防渗墙、坝体沥青混凝土心墙及两者的结合部——接头三部分构成. 经研究,基本选定坝基防渗墙与坝体沥青混凝土心墙结合的硬接头型式(图 1). 坝体沥青混凝土折线形心墙上部为斜心墙,坡度 1:0.3,折坡点高程 2620 m,下部垂直. 心墙顶部最小厚度为 0.6 m,向下逐渐加厚. 计算采用的直斜心墙型式计算简图如图 2 所示.

2 计算模型及方法

坝体堆石、地基覆盖层和沥青混凝土材料的应力应变关系采用工程常用的双曲线邓肯模型^[2],其切线变形模量及切线泊松比分别为

$$E_t = KP_a(\frac{\sigma_3}{P_a})^n(1 - R_fS)^2 \qquad \mu_t = \mu_i + (\mu_{if} - \mu_i)S$$

其中

$$S = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin\varphi)}{2C\cos\varphi + 2\sigma_3\sin\varphi} \qquad \mu_i = G - Flg(\frac{\sigma_3}{P_a})$$

卸载条件下用 E_{ur} 代替 E_t ,

$$E_{ur} = K_{ur}P_a(\sigma_3/P_a)^n$$

以上各式中 : $C, \varphi, K, n, R_f, G, F, \mu_{if}, K_{ur}$ ——计算参数 ; P_a ——大气压力.

接触面采用无厚度古德曼单元.其法向劲度,当接触面受压时取较大值,尽量保证接触面不互相嵌入,受拉时取较小值 ;切向劲度为

$$K_s = (1 - \frac{R_f\tau}{\sigma_n\tan\varphi})^2 K_l\gamma_w(\frac{\sigma_n}{P_a})^n$$

式中 : τ, σ_n ——接触面上的剪应力和法向应力 ; K_l, n, φ, R_f ——试验确定的参数 ; γ_w ——水的容重.

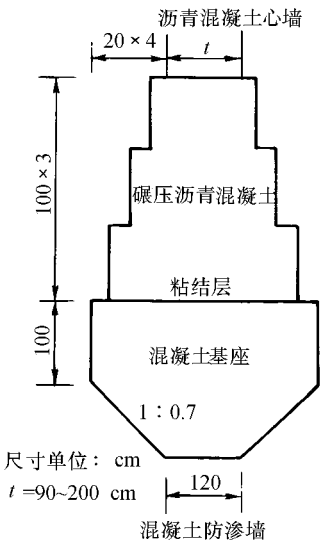


图 1 沥青混凝土心墙与防渗墙连接型式

Fig.1 Connector between asphalt concrete and impervious wall

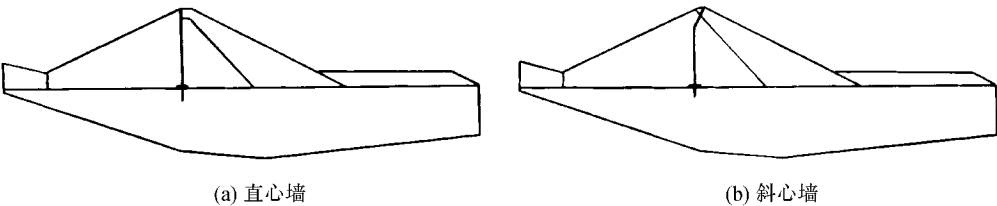


图 2 直、斜心墙计算简图

Fig.2 Simplified computational diagram of straight,inclined core

计算采用的材料参数见表 1.

表 1 材料参数

Table 1 Material parameters

材料参数	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$\varphi/(^{\circ})$	C/kPa	R_f	K	n	G	F	μ_{if}	K_{ur}
主堆石	23.0/14.7	45	0	0.65	1200	0.45	0.31	0.05	0.5	2000
次堆石	22.5/14.0	43	0	0.72	1000	0.50	0.32	0.06	0.5	1600
过渡层	22.0/14.0	40	0	0.68	800	0.52	0.34	0.08	0.5	1600
沥青混凝土心墙	24.3/14.3	27	400	0.76	850	0.33	0.32	0.05	0.5	1200
混凝土防渗墙	24.0/14.0	40	450	0.0	30000	0.0	0.17	0.0	0.0	30000
浇筑式沥青混凝土	20.0	20	100	0.88	400	0.5	0.46	0.03	0.5	800
坝脚压重料	20.0/12.6	32	0	0.80	300	0.4	0.30	0.0	0.5	600
地基下部岩体	24.2/14.2	40	0.7	0.65	1950	0.63	0.25	-0.023	0.5	1950
地基上部岩体	24.5/14.5	38	0.6	0.68	1200	0.5	0.36	-0.026	0.5	1200
沥青玛蹄脂接触面	18.0	20	500	0.85	4500	0.45				
沥青混凝土与过渡层接触面		23	0	0.75	1500	0.8				
混凝土与卵砾石接触面		12	0	0.70	1400	0.66				

注 容重一栏 $A/B, A$ 为湿容重, B 为浮容重 混凝土 K 值即为弹模,单位为 MPa.

计算采用平面非线性有限单元法,分析对象为河床中部剖面.为模拟施工过程,坝体分 9 层填筑,蓄水分 2 级.蓄水后上游库水直接作用于沥青混凝土心墙与底座的上游面.混凝土防渗墙受到上下游两面水荷载作用,根据三维电模拟试验,将其上下游水头差作为面荷载施加到防渗墙上.下游地基相对隔水层承受较高

的向上渗透压力,其强度(根据三维电模拟试验)为 $0.7H$ (H 为上下游水头差). 另外约 $0.3H$ 的渗透水压由混凝土防渗墙上游的相对弱透水层承受,作为向下作用的面力施加. 计算时在防渗体与地基或坝体之间、沥青混凝土心墙与混凝土底座之间均设置了无厚度接触面单元.

3 计算成果分析

3.1 直线形、折线形心墙计算成果比较分析

表 2 给出了两种心墙型式下的主要计算结果. 竣工期两种形式下坝体最大垂直、水平位移相差不大. 由蓄水引起的两种形式下的最大水平位移改变量相差不大,但直线形心墙最大垂直位移改变量要大一些. 其主要原因是坝体最大位移发生在心墙下游坝壳内,蓄水后由于下游地基相对不透水层承受较大的向上渗透压力,因此坝体最大垂直位移蓄水后减小. 由于折线形心墙上部有一段倾向上游,限制了坝体的向上变形,因此其位移改变量相对直线形心墙要小一些. 图 3 所示为蓄水前后直线形、折线形心墙型式下心墙与防渗墙的变形状况.

表 2 直线形、折线形心墙计算结果比较
Table 2 Straight and broken line cores

心墙型式	工况	坝体最大位移/m		沥青混凝土防渗墙底部中心压应力 /MPa	混凝土防渗墙最大压应力 /MPa	心墙与基座接触面						
		水平方向	垂直方向			法向荷载/kN					平均法向应力 /MPa	平均剪应力 /MPa
						自重	上游坝壳摩擦力	下游坝壳摩擦力	水荷载垂直分量	合计		
直线形	竣工	0.517	1.382	2.73	17.38	2774.5	522.8	5681.4	0	8979.7	3.74	0.0014
	蓄水	0.759	1.097	2.61	15.91	2774.5	4546.8	228.6	826.7	8376.8	3.49	-0.0940
折线形	竣工	0.516	1.389	2.61	17.39	2778.5	15.2	6155.4	0	8949.1	3.73	0.0440
	蓄水	0.755	1.161	2.48	15.14	2778.5	2463.6	541.5	2091.2	7874.8	3.28	-0.0390

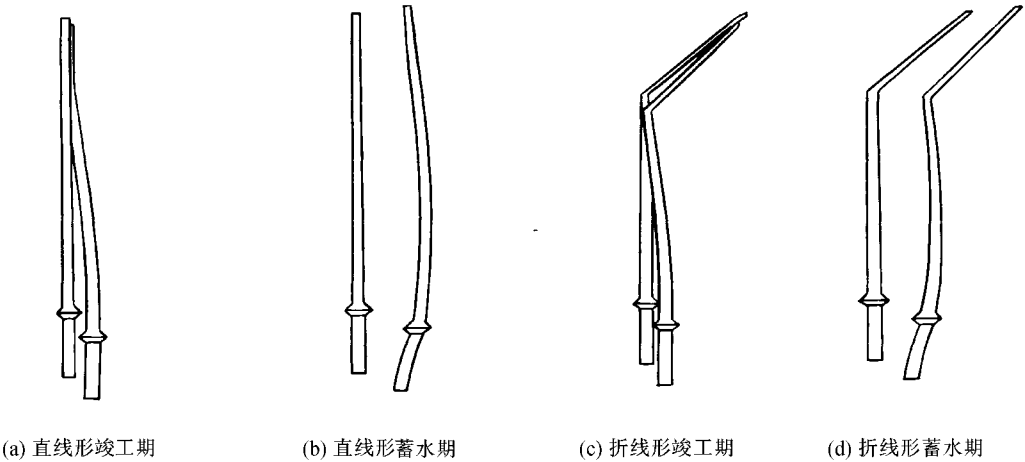


图 3 直线形、折线形心墙防渗体系的变形

Fig.3 Deformation of straight and broken line core impervious system

计算结果表明,心墙与防渗墙基本上处于受压状态,竣工期折线形心墙与防渗墙最大压应力相差不大,而蓄水后折线形心墙与防渗墙的最大压应力略小一些. 两种心墙型式下作用在心墙与基座接触面上的剪应力均较小,而平均法向应力则显示出蓄水后折线形心墙的平均压应力比直线形心墙略小一些,但总体量值不大,在允许范围之内. 这种变化规律与坝体蓄水前后最大垂直位移的规律是一致的. 表 2 给出了作用在心墙与接触面上法向荷载的量值及其构成. 竣工期该值主要由心墙自重、心墙上下游坝壳作用在心墙上的摩擦力构成. 由于心墙下游地基覆盖层深度较大,引起的坝壳沉降较大,相应地心墙上产生较大的垂直向下摩擦力,而心墙上游坝壳产生的摩擦力较小,直线形心墙几乎为零. 蓄水后下游地基相对隔水层受到较高的向上渗透压力,引起下游坝壳和心墙上抬,因此下游坝壳引起的摩擦力急剧减小,上游坝壳引起的摩擦力急剧增加,其变化值与位移的变化有关. 计算结果表明,蓄水后作用在心墙与基座接触面的总荷载以折线形心墙为小,但差别不大. 从接触面防渗角度考虑,以接触面上压应力较大为好.

3.2 直线形心墙底宽不同尺寸计算结果比较分析

直线形心墙顶部尺寸为 0.6 m,底宽尺寸分别取为 0.9 m,1.2 m,1.5 m 和 2.0 m,顶部与底部间线性变化时的计算结果见表 3.由表 3 可以看出,不同底部尺寸对坝体位移及心墙底部中心压应力影响不大.防渗墙中心压应力及心墙与底座之间接触面上的剪应力随底部尺寸的增大略有增加.虽然作用在心墙与底座接触面的总体法向荷载随底部尺寸的增大而增大,但其平均正应力则随底部尺寸的增大略有减小.总的来说,当心墙底部尺寸在 0.9~1.2 m 之间变化时,心墙、防渗墙及心墙与基座接触面上的应力变化幅度不大,且均在允许范围内.

表 3 直线形心墙不同底宽尺寸计算结果比较
Table 3 Comparison of results for different bottom sizes of straight-line core

底宽 尺寸 /m	工况	坝体最大位移/m		沥青混凝土 防渗墙 底部中心 压应力 /MPa	混凝土防 渗墙最大 压应力 /MPa	心墙与基座接触面						平均法 向应力 /MPa	平均剪 应力 /MPa
		水平 方向	垂直 方向			法向荷载/kN							
						自重	上游坝壳 摩擦力	下游坝壳 摩擦力	水荷载垂 直分量	合计			
0.9	竣工	0.517	1.382	2.73	17.04	2320.4	276.7	5428.2	0	8024.7	3.82	0.005	
	蓄水	0.759	1.098	2.59	15.82	2320.4	4363.5	-13.3	747.8	7418.4	2.53	-0.055	
1.2	竣工	0.517	1.382	2.73	17.38	2774.5	522.8	5681.4	0	8978.7	3.74	0.014	
	蓄水	0.759	1.097	2.60	15.91	2774.5	4546.8	228.6	826.7	8376.8	3.49	-0.094	
1.5	竣工	0.517	1.382	2.73	17.66	3225.3	826.9	5937.9	0	9990.1	3.70	0.010	
	蓄水	0.759	1.097	2.61	16.24	3225.3	4712.6	389.0	905.5	9232.4	3.42	-0.104	
2.0	竣工	0.516	1.382	2.75	18.14	3970.3	1292.1	6450.2	0	11677.6	3.65	0.012	
	蓄水	0.759	1.097	2.62	16.44	3970.3	5006.3	802.6	1036.9	10816.1	3.38	-0.118	

4 结 论

a. 直线形心墙与折线形心墙相比,由蓄水引起的坝体垂直位移改变以前者为大,相应蓄水后心墙与基础接触面上的法向应力前者大于后者.无论竣工期还是蓄水期,心墙、防渗墙及两者结合部的应力均在允许范围内,因此从接触面防渗及施工方便的角度考虑,建议采用直线形心墙.

b. 直线形心墙底部宽度在 0.9~1.2 m 之间变化时,心墙、防渗墙及两者结合部的应力变化不大,可在满足渗径长度前提下尽量选择较小的底宽尺寸,以降低工程造价.

参考文献：

[1] 邓德生,夏颂佑,任旭华等.堆石坝沥青混凝土心墙与防渗墙接头型式研究[J].河海大学学报,1997,25(水利水电专辑):7~11.
[2] 郭诚谦,陈慧远.土石坝[M].北京:水利电力出版社,1992.583~589.

Study on Asphalt Concrete Core Type and Size of Yele Rockfill Dam

LI Tong-chun¹, LIU Xiao-qing¹, XIA Song-you¹, LI Yu-chi²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. Chengdu Hydroelectric Exploration and Design Institute, Chengdu 610071, China)

Abstract Presented in this paper is an FEM analysis for Yele asphalt concrete core rockfill dam to be built on a deep overburden. The influence of the core of the shape of inclined line and straight line and the influence of different bottom sizes of the straight-line core on the stresses and characteristics of the dam and the impervious system are studied. The computational result shows that the change of the vertical displacement of the straight-line core induced by storage is larger than that of the inclined line core and the normal stress on the interface between the core and the foundation is also larger. For anti-seepage and convenience of construction, the straight-line core is suggested.

Key words overburden ; asphalt concrete core ; rockfill dam ; size