

# 接头型式对冶勒沥青混凝土心墙堆石坝 防渗体系工作性态的影响

刘晓青<sup>1</sup>, 李同春<sup>1</sup>, 夏颂佑<sup>1</sup>, 李玉池<sup>2</sup>

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 国家电力公司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, 深入研究了沥青混凝土心墙与防渗墙接头处可以采用的软、硬两种接头型式对防渗体系工作性态的影响, 为最终选择合理的接头型式提供了依据。

关键词: 覆盖层; 沥青混凝土心墙; 接头型式; 工作性态

中图分类号: TV 22

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)增-0036-03

## 1 工程概况

冶勒水电站位于南桷河上游, 电站总装机容量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、设计洪水位以及校核洪水位均为2 650 m, 死水位为2 600 m, 坝顶高程为2 654.5 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, 河床下部及右岸地层由第四系中、上更新统卵砾石层、粉质壤土及块碎石土夹硬质土层等五大岩组组成, 最大厚度达420 m以上。河床下部基岩面最小埋深约55~160 m。大坝的主要持力层为第三岩组卵砾石层与粉质壤土互层, 该层厚15~24 m, 河床部分为第二岩组块碎石土夹硬质土层, 厚约31~46 m。硬质土层深度约占该岩组厚度的20%~40%。此层为坝基深部相对隔水抗水层。沿坝轴线方向, 地基的基岩面从左岸向右岸往下深切, 倾斜坡度大, 在顺河流向, 基岩面在左岸部分也往下游方向有较大深切; 而在河床中部及右岸, 基岩面在顺河向深切较小, 在坝轴线下游则基本上呈水平。

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压水头较大, 接近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。左岸部分只进行帷幕灌浆; 河谷覆盖层部分使用混凝土防渗墙防渗, 墙体插入基岩或相对隔水抗水的第二岩组内; 右岸部分采用混凝土防渗墙和灌浆帷幕联合防渗形式。由于

第二岩组也向右岸下切, 垂直防渗墙超过100 m部分采用灌浆帷幕解决, 混凝土防渗墙向右岸伸入350 m。坝体防渗采用沥青混凝土直心墙。经比较分析基本选定顶部最小厚度为0.6 m, 向下逐渐加厚, 墙底部的最大厚度为1.2 m。

## 2 沥青混凝土心墙与防渗墙接头型式

研究结果表明, 混凝土防渗墙与沥青混凝土心墙之间的接头型式是影响防渗体系安全工作与否的关键所在。在深厚覆盖层上究竟应使用何种接头型式, 目前国内外还没有借鉴的先例。文献[1]对4种可能的接头型式进行了初步研究, 得出了一些有益的理论。根据以往研究结果及工程经验, 倾向于采用如下两种接头型式:

(1) 心墙根部取为碾压沥青混凝土, 断面逐渐放大至2.4 m与下设混凝土基座相连, 在碾压沥青混凝土与混凝土基座之间设粘结层, 具体尺寸见图1。这种接头型式简称为硬接头。

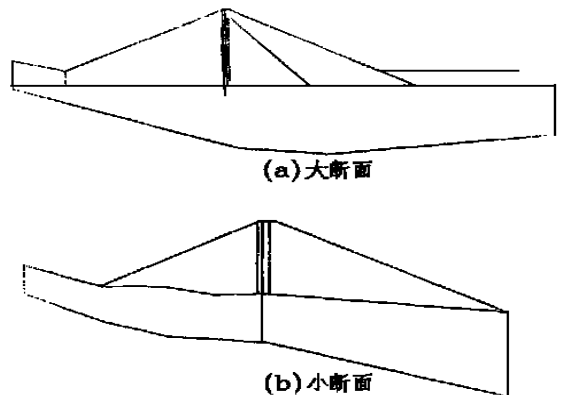


图1 大小断面计算简图

(2) 心墙根部的碾压沥青混凝土直接与防渗墙相连, 在连接处的防渗墙上、下游各设一块混凝土基座。在碾压沥青混凝土与防渗墙, 混凝土基座及防渗

墙与混凝土基座间均设粘结层。相应尺寸见图2。这种接头型式简称为软接头。

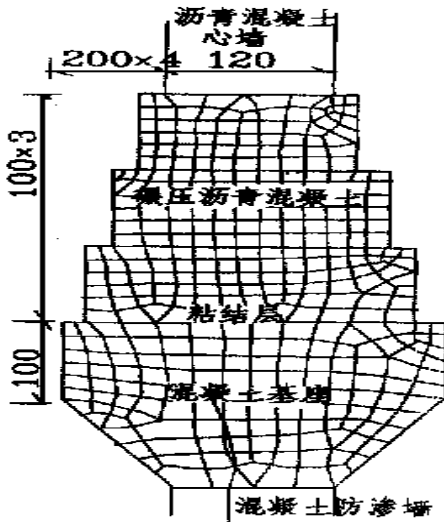


图2 大断面硬接头处单元网格图

笔者就两种接头型式碾压沥青混凝土对防渗体工作性态的影响进行了精细的比较分析,从而为最终确定合理、可靠、施工简便的接头型式提供了依据。研究选择了两个典型断面,一个为坝体最大剖面(以下简称大断面),其混凝土防渗墙为悬挂式;另一个为左岸坝段,其混凝土防渗墙浇筑至基岩剖面(以下简称小断面)。图1、2中混凝土防渗墙宽度 $B$ 对大、小断面分别取为1.2m和1m。

### 3 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上常用的双曲线模型,即以切线变形模量 $E_t$ 和切线泊松比 $\mu_t$ 为参数的 $E \sim \mu$ 模型。切线变形模量为:

$$E_t = K P_a \left( \frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n (1 - R_f S)^2$$

式中  $K$  为初始切线模量;  $\sigma_3$  为最大主应力;  $P_a$  为大气压力;  $n, R_f$  为由试验确定的计算系数;  $S$  为应力水平。

$$S = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin \psi)}{2C \cdot \cos \psi + 2\sigma_3 \sin \psi}$$

式中  $\sigma_1$  为最小主应力;  $\psi$  为摩擦角;  $C$  为凝聚力。

切线泊松比:

$$\mu_t = \mu_i + (\mu_{if} - \mu_i) S$$

式中  $\mu_i$  为初始切线泊松比:

$$\mu_i = G - F \lg(\sigma_3 / P_a)$$

$\mu_{if}$  为破坏时的泊松比;  $G, F$  为由试验确定的计算参数。在卸载条件下用 $E_{ur}$ 代替 $E$ 。

$$E_{ur} = K_{ur} P_a \left( \frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n$$

式中  $K_{ur}$  为卸载模量。

接触面采用无厚度古德曼单元,其切向劲度为:

$$K_s = \left( 1 - \frac{R_f \tau}{\sigma_n \tau_g \psi} \right)^2 K_1 \gamma_w \left( \frac{\sigma_n}{P_a} \right)^n$$

式中  $\tau, \sigma_n$  为接触面上的剪应力和法向应力;  $K_1, n, \psi, R_f$  为试验确定的参数;  $\gamma_w$  为水的容重。

法向劲度矩阵 $K_n$ 一般在接触面受压时取一很大的值,以保证接触面不互相嵌入,而受拉时 $K_n$ 取较小值。混凝土材料采用线弹性模型。

计算方法采用平面非线性有限单元法。为模拟施工过程,坝体浇筑分层施加,蓄水也分期上升至正常蓄水位。蓄水后大断面悬挂式混凝土防渗墙下游地基相对不透水层要承受较高的向上渗透水压力,计算时把它作为面力施加在相应单元上。在沥青混凝土心墙与过渡层之间;接头周围堆石与碾压沥青混凝土及混凝土基座之间;粘结层及防渗墙与地基土层之间均设置有接触面单元。

非线性计算参数见表1。大、小断面计算简图分别见图1(a)、(b)。图2和图3分别为硬、软接头处的局部单元网格。

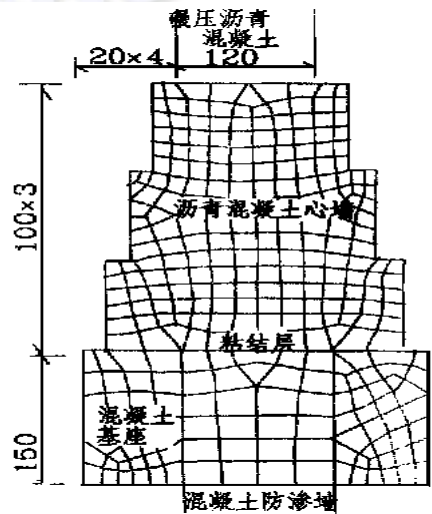


图3 大断面软接头处单元网格图

### 4 计算结果分析

由于心墙与防渗墙接头的尺寸相对于整体结构来说是很小的,改变接头型式对坝体、坝基的应力、变形影响很小。坝体与地基的应力、变形规律同三维分析<sup>[2]</sup>是一致的。本文主要分析上述两种接头型式对心墙、防渗墙及其联结部位的应力、变形及工作性态的影响。

图4、图5分别给出了大断面软、硬接头处接触面上正、剪应力的分布。软接头方案中的混凝土基座与碾压混凝土粘结层上靠近防渗墙头部区域处于受拉状态,这主要是由混凝土基座与防渗墙间的变形不一致产生的,这一状况对接头处的防渗是不利的。硬接头方案在基座下部与堆石接触部位出现了一定

表 1 材料参数表

材 料	参 数										
	$\gamma$ /10kN·m <sup>-3</sup>	$\psi$ /°	$C$ /t·m <sup>-2</sup>	$R_f$	$K$	$n$	$G$	$F$	$V_{if}$	$K_{ur}$	
主堆石	2.30/1.47	45	0	0.65	1200	0.45	0.31	0.05	0.05	2000	
次堆石	2.25/1.40	43	0	0.72	1000	0.50	0.32	0.06	0.5	1600	
过渡层	2.20/1.40	40	0	0.68	800	0.52	0.34	0.08	0.5	1600	
沥青混凝土心墙	2.43/1.43	27	40.0	0.76	850	0.33	0.32	0.05	0.5	1200	
混凝土	2.40/1.40	40	450.0	0	3.0E5	0	0.17	0	0	3.0E5	
浇筑式沥青混凝土	2.00	20	10.0	0.88	400	0.5	0.46	0.03	0.5	800	
坝脚压重料	2.00/1.26	32	0	0.80	300	0.40	0.30	0	0.5	600	
第一岩组 Q <sub>2</sub>	2.42/1.42	40	0.07	0.65	1950	0.63	0.25	-0.023	0.5	1950	
第二岩组 Q <sub>3</sub>	2.45/1.45	38	0.06	0.68	1200	0.5	0.36	-0.026	0.5	1200	
第三岩组 Q <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	2.24/1.28	38	0.095	0.75	1450	0.434	0.30	0.04	0.5	1450	
第四岩组 Q <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	2.35/1.35	39	0.06	0.59	1400	0.65	0.38	-0.035	0.5	1400	
沥青玛蹄脂接触面	1.8	20	50.0	0.85	4500	0.45					
沥青混凝土与过渡层		23	0	0.75	1500	0.80					
混凝土与卵砾石		12	0	0.7	1400	0.66					

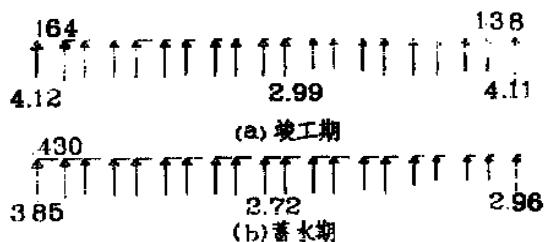


图 4 大断面硬接头接头处接触面上正、剪应力分布图

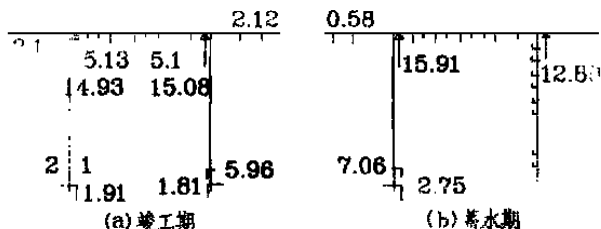


图 5 大断面软接头接头处接触面上正、剪应力分布图

的受拉区,但这并不影响接头附近的抗渗能力。无论是硬接头,还是软接头,相应的受拉区域蓄水期均比施工期有所减小。

对硬接头而言,竣工期接触面上应力分布中间小两边大。正应力变化幅度不大,在 2.99 MPa 和 4.12 MPa 之间。剪应力总体数值较小,最大为 0.146 MPa。蓄水后正应力略有减小,其分布规律不变,而剪应力值略有增加,且分布规律为上游大,下游小。

软接头方案下接头处接触面上剪应力分布极不均匀,由于两侧基座处于受拉状态,导致防渗墙顶部两侧有较大的压应力集中。混凝土基座承受的荷载不大,未能充分发挥应有的作用。

表 2 给出了两种接头型式下心墙和防渗墙最大压应力。结果表明硬接头方案压应力大于软接头方案,这主要是由于硬接头方案下防渗墙的刚度大于软接头方案,因此,其堆石通过接触面摩擦传递给心墙和防渗体的荷载要大一些,但总体而言差别不大,

且应力值均在容许应力范围内。

表 2 两种接头型式主要计算结果表

断面	接头型式	工 况	心墙最大压应力 防渗墙最大压应力	
			/MPa	/MPa
大断面	硬接头	竣工期	2.21	17.38
		蓄水期	2.12	15.91
	软接头	竣工期	2.10	14.97
		蓄水期	2.04	14.37
小断面	硬接头	竣工期	1.73	24.26
		蓄水期	1.71	22.36
	软接头	竣工期	1.57	23.52
		蓄水期	1.36	22.49

### 5 结 论

笔者对软、硬接头两种方案的研究表明,硬接头方案比软接头方案具有明显的优点。软接头方案在心墙与基座的接触面上及防渗墙与基座接触面上有较大的拉应力区,同时,软接头方案中防渗墙顶部应力分布较为复杂,具有较大的应力集中,这对保障防渗体系的正常工作是不利的。硬接头方案竣工期在基础下方有一定范围的受拉区域,但这并不影响防渗体系的抗渗能力,且应力均在容许应力范围之内。

### 参考文献:

- [1] 邓德生,等.堆石坝混凝土心墙与防渗墙接头型式研究[J].河海大学学报,1997,25(12):7-11.
- [2] 邓德生,等.剧变的深厚覆盖层上堆石坝的工作性态[J].河海大学学报,1996,24(6):94-97.

### 作者简介:

- 刘晓青(1965年-),女,四川成都人,河海大学讲师,博士,从事水工专业教学与科研工作;  
 李同春(1963年-),男,江苏泰县人,河海大学教授,博士,从事水工结构计算与试验工作;  
 夏颂佑(1932年-),男,浙江宁波人,三峡技术委员会专家组成员,教授,从事水工结构科研与教学工作;  
 李玉池(1939年-),男,四川简阳人,国家电力公司成都勘测设计研究院设总,教授级高工,从事水工设计工作。