

混凝土防渗墙开裂对坝基渗透稳定性的影响

盛金昌 赵 坚 速宝玉

(河海大学水利水电工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :采用渗流有限元方法分析混凝土防渗墙开裂对坝基土体渗透稳定性的影响。以冶勒水电站工程为例 ,分析在坝基地层地质条件复杂、各岩层的渗透特性差别较大的情况下 ,在坝基混凝土防渗墙开裂时 ,坝基覆盖层各土层渗透破坏区的范围 ,同时还对坝基渗透破坏区域进行了渗透扩展过程分析。计算结果表明 :若防渗墙不开裂 ,设计防渗工况能满足工程安全要求 ,若防渗墙开裂 ,则坝基土体可能会发生渗透破坏 ,而且防渗墙裂缝宽度和条数对坝基渗透稳定性和渗透破坏区范围的大小具有重要影响。

关键词 :渗流 ;防渗墙 ;土石坝 ;开裂 ;渗透稳定性 ;冶勒水电站

中图分类号 :TV223.4+2 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2006)01-0023-04

Effects of cracking of anti-seepage concrete wall on seepage stability of dam foundation//SHENG Jin-chang , ZHAO Jian , SU Bao-yu(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : A case study on the Yele Hydropower Station was performed by use of the finite element method. In consideration of the complicated geological condition of the dam foundation and great differences in seepage property of different rock strata , the ranges of seepage failure zones in different soil layers of overlying strata of the dam foundation were analyzed when the cracking of the anti-seepage wall occurred , and the seepage extension in these zones was also discussed. The result shows that the anti-seepage property of the concrete wall can meet the safety requirement of the project when the cracking of the anti-seepage wall does not occur , however , the cracking of the anti-seepage wall might result in seepage failure in soil layers of the dam foundation. It is also indicated that the number and width of cracks are of great influences on the seepage stability and ranges of seepage failure zones of the dam foundation.

Key words : seepage ; anti-seepage wall ; earth-rock dam ; cracking ; seepage stability ; Yele Hydropower Station

混凝土防渗墙在水利工程中有广泛的应用 ,人们对防渗墙开展了多方面的研究工作 ,主要有 :防渗墙的施工方法和技术研究 ,防渗墙施工过程中的质量控制和检测 ,讨论各种条件下防渗墙的应力变形分析 ,防渗墙的渗透特性研究 ,研制适用于防渗墙的“高强度、低模量”的柔性材料和塑性混凝土等等^[1-4]。

目前人们还较少考虑工程运行期混凝土防渗墙开裂所带来的一系列问题。由于西南地区为高地震频发地区 ,且地理地质条件复杂 ,随着西南水电资源的进一步开发 ,这一问题已引起设计者的高度重视。已有的结构计算表明 :由于地震、坝基不均匀沉降等因素 ,高土石坝坝基混凝土防渗墙可能会产生规模不等的裂缝 ,这样势必会对水库的蓄水效益、坝基的渗透稳定性产生严重的影响 ,甚至会威胁整个工程的安全 ,特别是在高地震频发地区。因此 ,开展防渗墙开裂情况下坝基土体的渗透稳定性分析就显得十

分重要。目前这方面的研究工作还不多见。

本文以冶勒水电站工程为背景 ,讨论防渗墙在不同开裂工况条件下坝基土体的渗透稳定性以及坝基渗透破坏区域的扩展过程。冶勒水电站坝址区的覆盖层深厚(超过 500m) ,地层地质条件复杂 ,各岩层的渗透特性差别较大 ,且左右岸地质条件差别很大 ,左岸为岩体 ,右岸为深覆盖层 ,已有的结构计算分析认为 ,大坝建成后将产生不均匀沉降和变形 ,引起坝基混凝土防渗墙开裂破坏 ,特别是在岩体和覆盖层交界的地方 ,将产生众多裂缝 ,且裂缝计算宽度可达 4.0~5.0 cm ,甚至更大。在这种情况下 ,防渗墙的防渗效果将如何变化 ,坝基土体能否保持渗透稳定 ,需采取什么样的措施 ,这些都是需要进一步分析研究的问题。

1 渗流有限元分析的基本控制方程

首先假定介质中水流运动为层流 ,服从线性达

作者简介 :盛金昌(1969—) ,男 ,安徽枞阳人 ,副教授 ,博士 ,从事岩体水力学与岩土渗流控制分析等研究。E-mail :sh901@sina.com

$$v_i = -k_{ij}h_{,j} \quad (i,j = 1,2,3) \quad (1)$$

式中: v_i 为流速分量; k_{ij} 为渗透张量分量; h 为水头。

将式(1)代入渗流的连续性方程 $v_{i,i} = 0$,可得稳定渗流基本微分方程:

$$(k_{ij}h_{,j})_{,i} = w \quad (i,j = 1,2,3) \quad (2)$$

式中 w 为源项或汇项。

根据式(2)并结合一定的边界条件,利用变分原理可得三维渗流有限元计算的基本格式。本文所用渗控计算分析方法见文献[5]。

2 工程概况及计算模型

冶勒水电站位于四川省大渡河支流南桷河上,坝址位于冶勒盆地边缘峡谷中。坝体采用沥青混凝土心墙堆石坝,最大坝高125.5 m,坝轴线长400 m,水库正常蓄水位2650 m。枢纽渗控系统主要由左岸防渗帷幕和防渗墙、右岸防渗墙和防渗帷幕、坝基排水垫层以及坝基岸坡的排水井、孔幕等构成。

坝址两岸地层呈不对称分布,坝址区各地层分布见图1。左岸为晋宁期石英闪长岩体,岩体以弱风化、微风化为主,在铅直深度26~70 m范围内,岩体透水性强,该深度之下为中等至微透水岩体。河床及右岸由第四纪堆积层组成,主要由中、上更新统卵砾石层、粉质壤土及块碎石组成,结构紧密,具有成岩特征。该堆积层自下而上由5个岩组构成,其在坝轴线剖面上的分布见图1(图中 δO_2 为基岩; Q_2^{2-1} 为1岩组下层; Q_2^{2-2} 为1岩组上层; Q_3^1 为2岩组; Q_3^{2-1} 为3岩组; Q_3^{2-2} 为4岩组; Q_3^{2-3} 为5岩组)。五大岩组的透水性不均一,以卵砾石为主的4岩组透水性相对较强,以粉质壤土或块碎石为主的1、3岩组透水性相对较弱,而纯粉质壤土或黏性土层的2、5岩组则更弱。各岩组渗透系数值见表1。

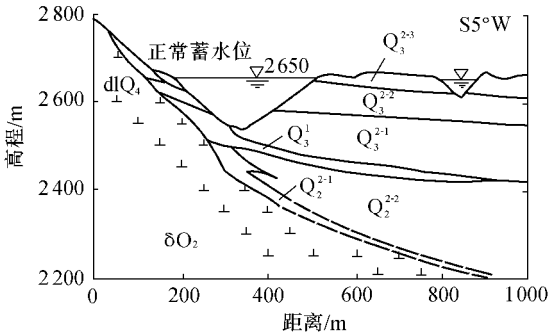


图1 冶勒电站坝址区地层分布简图

计算模型的范围:顺河流方向长1050.0 m,左右岸方向长1460.0 m。在深度方向,向下取至2200 m高程,基本上达到不透水层(基岩),向上一直到地表。根据对坝区水文地质条件的分析,该计算范围

表1 计算采用的各介质渗透系数

介质	渗透系数/(10 ⁻⁵ cm·s ⁻¹)	允许坡降
δO_2	1	
Q_2^{2-1}	1	10.4
Q_2^{2-2}	100	1.1~1.6
Q_3^1	1	10.4
Q_3^{2-1} (卵砾石)	100	1.0~1.1
Q_3^{2-2} (粉质壤土)	1	4.0~5.0
Q_3^{2-3} (漂卵砾石)	500	1.0~1.1
Q_3^{2-4} (粉质壤土)	1	4.0~5.0
坝体沥青混凝土防渗墙	0.01	
混凝土防渗墙	0.05	
左岸防渗帷幕	1	
右岸防渗帷幕	5	
dlQ ₄ (风化层)	100	2.0

既能反映坝区的水文地质条件,又适合进行防渗结构的细部构造分析。边界条件为:由于水库周围山地基岩裂隙水分布高程均高于水库正常蓄水位,并向库内排泄,水库不存在相邻谷永久渗漏的可能,且1岩组下游封闭条件好。因此将上游垂直边界、下游垂直边界和底边界设为不透水边界。左、右岸垂直边界设为定水头边界,其水位值根据水文观测资料反演确定,反演方法见文献[6]。大坝下游计算水位为2540 m。各介质的渗透系数见表1。混凝土防渗墙裂缝的渗透系数根据裂隙的立方定律进行计算。

3 坝基防渗墙开裂对坝基覆盖层渗透稳定性的影响

坝体、坝基的防渗排水布置情况如下:左岸地质条件较好,坝肩及坝坡设灌浆帷幕,坝肩帷幕深入山内150 m。坝基和基岩之间为混凝土防渗墙。河床及右岸均为混凝土防渗墙。防渗墙现浇段在(坝)0+150.0 m至(坝)0+260.0 m范围内每隔10 m左右设置一条结构缝并埋设铜片止水 and 橡胶止水,结构缝位置可根据防渗墙槽段长度作适当调整,缝的位置应与槽段接缝对齐。

3.1 设计渗控条件下渗流场分析

先给出设计渗控条件下混凝土防渗墙不开裂时的渗流计算结果。图2为典型剖面的渗流场等势线分布图,从图中可以看出,坝体心墙及混凝土防渗墙下游的地下水位大幅降低,坝体部位下游的水位在2560 m左右。计算结果表明,坝体沥青混凝土心墙以及坝基混凝土防渗墙的作用是明显的,心墙及防渗墙后的水压力值明显降低,通过坝轴线断面总的渗流量计算值为7467.7 m³/d,右岸是主要的渗流通道。从渗透梯度的分布来看,坝基混凝土防渗墙上下游各覆盖层土体的渗透梯度总体上均未超过其允

许梯度值,坝基覆盖层土体应不会发生渗透破坏。因此若防渗墙不开裂,则设计情况下的防渗排水系统是可以发挥有效作用的。

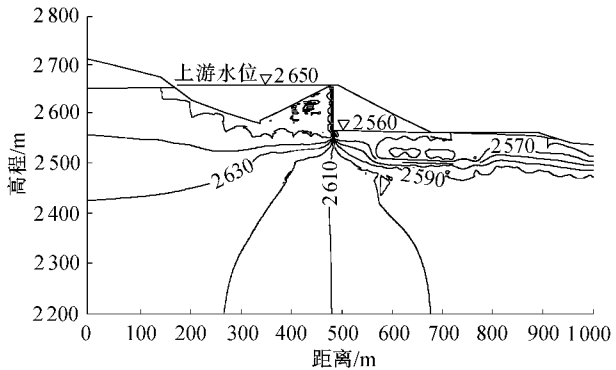


图2 设计渗控条件下典型剖面的渗流场等势线分布

3.2 坝基混凝土防渗墙开裂后各岩组渗透稳定性分析

这里从裂缝的宽度和裂缝条数这两方面来研究防渗墙开裂对渗流场及其周围土体渗透稳定性的影响。

3.2.1 裂缝宽度的影响

已有专项课题研究了在地震和坝基不均匀沉降作用下冶勒水电站工程坝基混凝土防渗墙开裂的形式、裂缝宽度及裂缝的条数等。本文假设裂缝形式为“顶底贯通”这种对渗透最不利的情况进行分析。

为方便讨论,先假设只有一条裂缝,该裂缝设在坝0+160.00m处,这个部位处在软硬过渡区,且该部位库水压力也较大(坝体建基面约在2560m高程)。假设混凝土防渗墙裂缝为从顶端一直开裂到底端的“顶底贯通”裂缝,且上下等宽。分别假设裂缝宽度为1.0cm、2.5cm、4.0cm三种情况,以考察裂缝宽度的影响。

表2给出了不同裂缝宽度条件下裂缝上下游土体发生渗透破坏区的范围,从表中可以看出,裂缝宽度越大,土体渗透破坏区的范围越大。

表2 裂缝宽度对渗透破坏区的影响		
裂缝宽度/cm	$dI Q_4$	Q_5^1
1.0	没有单元发生渗透破坏。但裂缝本身渗透梯度值较大,达60以上	没有单元发生渗透破坏
2.5	在裂缝上游2.0m至裂缝下游4.0m,高程2550m至建基面范围内发生渗透破坏	该岩组土体渗透稳定
4.0	裂缝上游4.5m至下游7.0m,高程2550m至建基面范围内发生渗透破坏	在裂缝上游2.0m至下游4.0m,高程2543~2550m范围内发生渗透破坏

裂缝宽度对整体渗流场的分布影响不大,但在裂缝附近渗流等势线分布疏密有变化,裂缝越宽,土体上的等势线分布越密,而墙体上的越疏。裂缝宽

度为1.0cm、2.5cm和4.0cm时防渗墙裂缝下游处的水位分别为2562m、2567m和2570m。

以上分析表明,裂缝宽度越大,土体渗透破坏的单元越多,裂缝上下游土体的渗透梯度值显著增大,并有部分超过允许坡降,而墙体本身的渗透梯度越小。当裂缝宽度在1.0cm左右时,缝上下游土体不会发生渗透破坏,渗流量也不增大。当裂缝宽度超过2.5cm时,附近土体就可能要发生渗透破坏,渗流量开始增大。因此混凝土防渗墙开裂是有一定隐患的,设计中应充分注意墙体裂缝带来的影响。

3.2.2 裂缝条数的影响

这里计算了坝基混凝土防渗墙有5条裂缝时的工况,这5条裂缝布置在坝0+150.0m、0+160.0m、0+180.0m、0+200.0m和0+220.0m处,即左右岸过渡区。宽度均为4.0cm。

计算结果表明,由于裂缝的增多,其上下游土体的渗透梯度值接近或超过其允许梯度的单元也大大增多,坝基上部的 $dI Q_4$ 层和3岩组将发生大面积的渗透破坏。坝轴线下游的地下水位也有一定的抬高,防渗墙下游水位比没有裂缝时高14.62m。另外,通过坝轴线的渗流量达到10730.7m³/d,增幅较大。很显然,随着裂缝的增多,坝基的渗流场会有一些的变化,渗流量以及超过允许梯度的单元也会明显增加。

3.3 坝基混凝土防渗墙裂缝前后土体渗透破坏区的扩展分析

从以上分析可知,防渗墙开裂后,裂缝上下游土体将发生渗透破坏。在这种情况下,当土体单元发生渗透破坏后,其渗透系数将迅速增大,它所能承担的渗透比降将大幅度减小,因此它原来所承担的渗透比降将转移给周围的土体承担,这样就带来一个问题:它周围的土体单元是否也会跟着发生渗透破坏?即渗透破坏区的扩展问题。本文用以下思路来粗略地分析该问题。首先进行有裂缝时的渗流场分析(称扩展分析0),统计渗透梯度超过其允许梯度的单元,对于渗透梯度超过允许值的单元,其土体将发生渗透破坏,土体的细颗粒将被水流带走,其渗透系数将增大,允许梯度则将降低。假设将这些单元的渗透系数增大10倍,而其允许梯度降为1/10,在此基础上进行第一次发生渗透破坏后的渗流场分析(称扩展分析1),再统计渗透梯度超过其允许梯度的单元。这些单元中,若是第一次破坏,则渗透系数增大10倍,允许梯度降为1/10,若是以前已破坏的单元,则渗透系数增大5倍,允许梯度降为1/5。在此基础上,进行第二次发生渗透破坏后的渗流场分析(称扩展分析2),然后统计渗透梯度超过其允许

值的单元。这些单元中,若是第一次破坏,则渗透系数增大10倍,允许梯度降为1/10,若是在扩展分析1中破坏的单元,则渗透系数增大5倍,允许梯度降为1/5,若是在扩展分析0中破坏的单元,则渗透系数增大2倍,允许梯度降低1/2。在此基础上,进行第三次发生渗透破坏后的渗流场分析(称扩展分析3)。

通过以上分析,可以粗略地研究土体渗透破坏区的扩展情况。以缝宽为4.0 cm为例进行上述过程的计算分析。不同扩展阶段各岩组的渗透破坏区范围归纳于表3中。从表中可以看出,渗透破坏发生后,岩组的渗透破坏区有所扩展,但最后趋于稳定。

表3 不同扩展阶段渗透破坏区的范围		
渗流场分析	dIQ_4	Q_3^1
扩展分析0	裂缝上游4.5 m至裂缝下游7.0 m,高程2550 m至建基面范围	在裂缝上游2.0 m至裂缝下游4.0 m,高程2543~2550 m范围
扩展分析1	裂缝上游9.0 m至裂缝下游12.0 m,高程2550 m至建基面范围	在裂缝上游4.5 m至裂缝下游7.0 m,高程2543~2550 m范围
扩展分析2	裂缝上游11.0 m至裂缝下游15.0 m,高程2550 m至建基面范围	在裂缝上游4.5 m至裂缝下游7.0 m,高程2543~2550 m范围
扩展分析3	裂缝上游11.0 m至裂缝下游15.0 m,高程2550 m至建基面范围	在裂缝上游4.5 m至裂缝下游7.0 m,高程2543~2550 m范围

图3为裂缝所处剖面的渗流场等势线分布及扩展过程的下游水位对比图,从图中可以看出,渗透破坏区的扩展,裂缝上游的水压力值有降低的趋势,下游区域的水压力升高。渗流量也随着渗透破坏区的扩展而快速增大,很显然这一部位产生了集中的渗透通道。

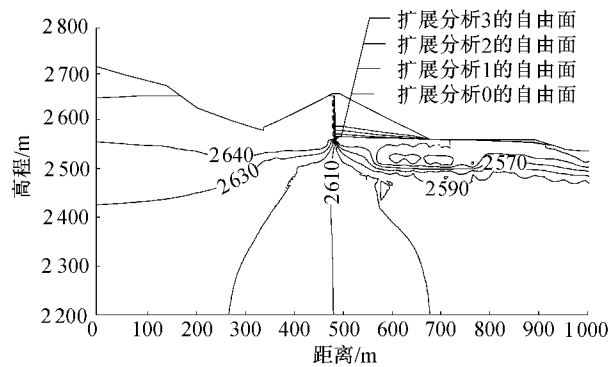


图3 扩展分析裂隙所处剖面的地下水位分布及渗流场等势线

4 结 论

本文研究了由于地震和坝基不均匀沉降条件下高土石坝工程运行期坝基混凝土防渗墙开裂对坝基土体渗透稳定性的影响,详细研究了裂缝宽度、裂缝

条数等因素的影响,同时也进行了土体发生渗透破坏的扩展过程分析。

计算结果表明,防渗墙开裂对坝基土体渗透稳定性的影响对工程的安全运行具有重要影响。若防渗墙裂缝宽度超过一定值的时候,坝基土体将发生一定的渗透破坏,渗流量将增大。随着混凝土防渗墙裂缝宽度的加大,可能发生渗透破坏的土体单元会增多,渗流量及下游水位均会随之增加。因此设计时必须针对坝基土特性做好渗流出口的反滤保护,并应通过试验来检验设计的反滤保护是否可靠,这项措施关系到坝基的安全,必须给予高度重视。

本文的工作还需进一步的深入研究,如本文在研究土体渗透破坏过程中,破坏区的渗透系数和允许梯度值的变化都是假定的。实际上若在渗流出口区采用一定的反滤措施,随着土体颗粒的移动,土体有可能自愈。因此需要研究在不同的渗流出口反滤保护措施条件下,在土体发生渗透破坏扩展过程中,随着土体颗粒的移动,土体不同部位的渗透系数的真实演化过程。

参考文献:

[1] 赵超,许庆伟,朱建奎.堤防防渗墙施工工艺探讨[J].中国水利,200X(8):65-68.
[2] 何学国,鞠其凤.治勒水电站防渗墙施工监理质量控制[J].四川水力发电,200X(4):17-20.
[3] 马青春.三峡船闸右岸山体防渗墙施工及质量控制[J].人民长江,200X(9):2-3.
[4] 张小平,包承纲,张劲松.三峡工程二期围堰防渗墙变形规律及运行状况分析[J].水利学报,200X(9):91-94.
[5] 史迅,何宗彬.塑性混凝土防渗墙在三峡二期围堰中的应用[J].水利水电科技进展,2000,20(5):47-49.
[6] 朱俊高,姜朴.防渗墙接头止水材料的防渗性能试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,1998,26(4):65-69.
[7] 盛金昌,詹美礼,张春生,等.泰安抽水蓄能电站控渗系统的优化设计分析[J].水电能源科学,200X(2):26-28.
[8] 盛金昌,速宝玉,詹美礼.三维天然渗流场反演分析及工程应用[J].岩石力学与工程学报,2003,2X(2):203-207.

(收稿日期 2004-12-13 编辑 熊水斌)

