

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.02.030

新疆阜康抽水蓄能电站工程上水库渗流 三维有限元分析

卞能飞¹,胡大朋²,王同泰¹,柴先墩³

[1.邳州市水利工程管理总站,江苏 徐州 221300;2.徐州市水利工程建设管理中心,江苏 徐州 221000;

3.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:为分析各水位工况下阜康抽水蓄能电站上水库坝体及坝基渗流场,获得坝体和坝基的位势分布、库区渗透流量等要素,根据工程坝址区地质、地形条件,建立渗流三维有限元模型并进行计算。计算结果表明,由于全库盆混凝土面板防渗方案库盆四周均布置了混凝土面板,库周和库底混凝土面板底下分别设有透水性较强的无砂混凝土垫层和碎石垫层用以排水,库区地下水位低于库盆防渗面板及其底下垫层。因此,无砂混凝土垫层和碎石垫层及其库底回填区和上部岩体均处于非饱和状态,不会直接作用在防渗结构上,因此库周及库底混凝土面板的抗浮安全性可以得到保证,本方案技术上是合理的。

关键词:阜康抽水蓄能电站;三维有限元法;稳定渗流;渗透坡降;渗透流量

中图分类号: TV698

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0132-03

0 引言

新疆阜康抽水蓄能电站工程位于昌吉州阜康市境内,电站的开发任务主要是承担乌昌电网调峰、填谷、黑启动、调频、调相和紧急事故备用等任务。

由于工程上水库选址区岩体裂隙发育,在总结了类似工程基础上,对全库盆防渗体系进行研究,为类似水库项目设计提供参考价值。

1 工程概况

本文根据阜康抽水蓄能电站坝体防渗排水总体方案,建立了上水库有限元模型,计算分析各典型工况下坝体及坝基的稳定渗流场,分析各种渗流要素,进而对防渗方案进行有效性评价。上水库平面布置见图1,面板堆石坝典型剖面见图2。

2 计算原理

根据变分不等式原理,引入罚函数^[1],并采用Ualerkin逼近方法和截止负压法^[2]进行求解。

3 模型建立

根据渗流分析的一般原则和计算要求,结合工

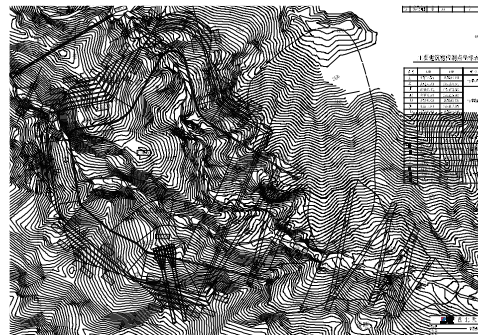


图1 上水库平面布置图

程的实际情况,构建三维有限元分析模型,见图3、图4。上水库计算区域为:上水库库盆混凝土面板顶部周边300m,大坝下游边界外200m。

在稳定渗流期,渗流分析的边界类型主要有出渗边界及不透水边界、已知水头边界3种^[3,4],见表1。

4 计算参数及工况

4.1 计算参数

根据地质勘察资料和室内试验结果并经过反演分析^[5],坝体各料区、坝基岩体各层渗透参数分别见表2、表3。

4.2 计算工况

根据研究目的和计算要求,计算分析正常蓄水位、设计洪水位和校核洪水位下库渗流场的位势分布和渗流量的大小,见表4。运行期上库拦沙坝前不蓄水,此处为安全计,考虑坝前积水水头2m。

收稿日期:2023-03-02

作者简介:卞能飞(1989—),男,学士,工程师,从事工程规划设计及建设管理工作。

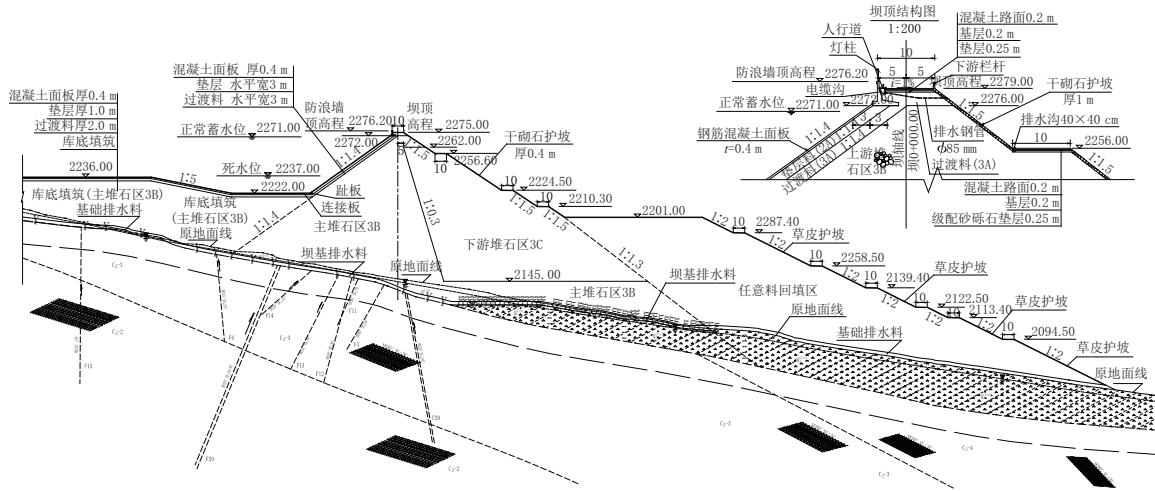


图2 上水库面板堆石坝典型剖面图

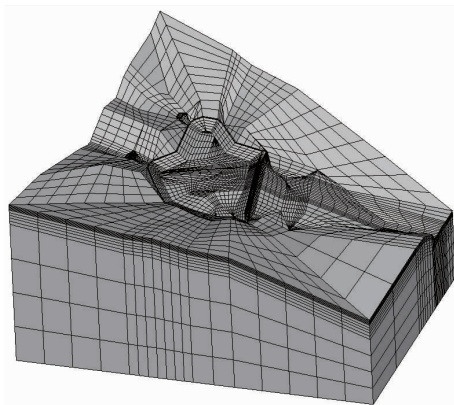
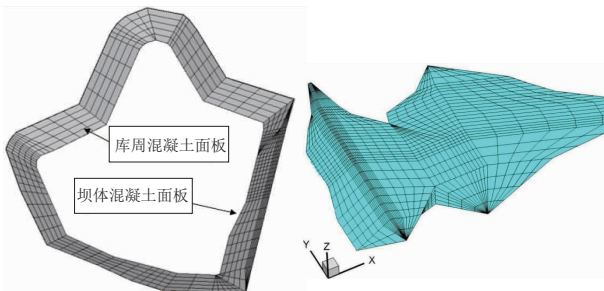


图3 有限元模型网格图



(a) 坝体、库周及库尾面板有限元网格
(b) 坝体有限元网格

图4 上水库主要结构有限元网格图

表1 模型边界类型表

位置	边界类型	备注
模型四周	已知水头边界	取值为天然地下水钻孔
库内	已知水头边界	各工况下蓄水位
坝体下游坡面	出渗边界	
模型内部	不透水边界	

5 坝址区渗流特性分析

5.1 位势分布

经过计算,各典型工况下防渗体和重要部位岩体的最大渗透坡降见表5,校核洪水位工况下地下水

表2 坝体各料区渗透参数

坝料分区	渗透系数 / $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	坝料分区	渗透系数 / $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
基础排水料	1.00×10^{-2}	大坝天然砂砾石	5.0×10^{-4}
库底回填(主堆石)	1.00×10^{-4}	面板	1.0×10^{-9}
次堆石	1.00×10^{-3}	土工膜	1.0×10^{-13}
任意回填料	1.00×10^{-3}	砂砾石保护层	3.0×10^{-4}
过渡料	1.00×10^{-4}	混凝土防渗墙	1.0×10^{-8}
碎石垫层	5.00×10^{-4}	沥青混凝土面板	1.0×10^{-10}
无砂混凝土垫层	1.0×10^{-4}		

表3 坝基岩体各分层渗透系数

坝基	岩层分类	渗透系数 / $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	备注
中等透水	$10Lu \leq q < 100Lu$	1.1×10^{-3}	弱风化线以下岩体
		2.9×10^{-3}	弱风化线以上岩体
弱透水	$3Lu \leq q < 10Lu$	2.3×10^{-4}	
相对不透水	$1Lu \leq q < 3Lu$	3.1×10^{-5}	
不透水	$q < 1Lu$	1.3×10^{-5}	1Lu线以下50m范围内
		1.2×10^{-3}	1Lu线以下50m范围外
含漂石砂卵砾石层		6.1×10^{-2}	

表4 防渗设计方案计算工况

工况	工况说明
正常蓄水位	上库库水位为2271.00m,下游为自然河床高程
设计洪水位	上库库水位为2273.10m,下游为自然河床高程
校核洪水位	上库库水位为2274.00m,下游为自然河床高程

位等值线见图5,最大坝高断面位势分布见图6。

由运行期库区地下水位等值线、坝体及库周剖面地下水位势分布图可见,库区渗流场的位势分布规律明确,库尾地下水位较正常蓄水位高,左右库岸及两坝肩地下水位较正常蓄水位低,且库左岸地下

表5 防渗体和重要部位岩体各材料分区的最大平均渗透坡降表

工况	材料分区	最大渗透坡降	位置	允许渗透坡降
正常蓄水位	面板	122.5	坝前库盆面板底部	200
	库区岩体	0.255	库尾库岸 y=672 m 处	>1
设计洪水位	面板	125.0	坝前库盆面板底部	200
	库区岩体	0.260	库尾库岸 y=672 m 处	>1
校核洪水位	面板	127.4	坝前库盆面板底部	200
	库区岩体	0.265	库尾库岸 y=672 m 处	>1

注:允许渗流坡降为试验得出。

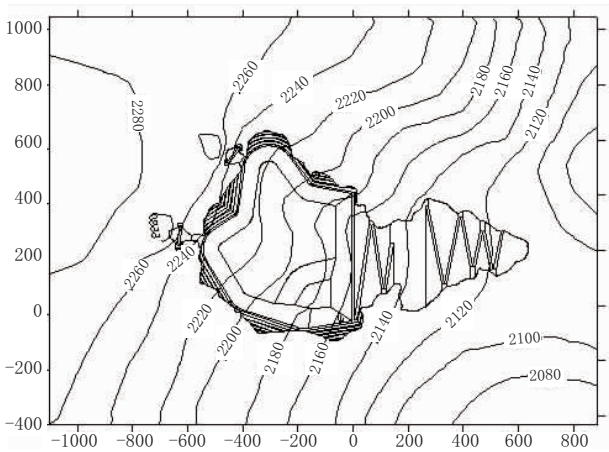


图5 校核洪水位工况下地下水水位等值线(单位:m)

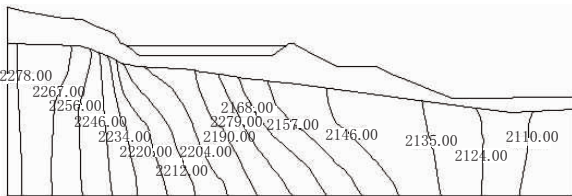


图6 校核洪水位工况下最大坝高断面位势分布(单位:m)

水位高于库右岸,由此可见,地下水由库左岸通过库盆及右岸山体渗向下游白杨河,并主要由上游向下游排泄。

本方案库盆均布置了混凝土面板,库周和库底混凝土面板底下分别设有透水性较强的无砂混凝土垫层及碎石垫层用以排水,库区地下水位低于库盆面板及其底下的垫层。因此,由库盆面板渗漏的水会及时被垫层排走,垫层及其底部过渡层、库底回填区和上部岩体均处于非饱和状态,不会有扬压力直接作用在防渗结构上,因此,库底及库周混凝土面板的抗浮安全性可以得到保证。

5.2 渗透坡降

由于地下水位很低,浸润面低于库盆及坝体建基面,故坝体堆石区全部处于非饱和状态,不存在渗透稳定问题。因而此处仅重点分析面板及库区岩体的渗透坡降。

由表5以及各剖面的位势分布图可见,各工况下坝体混凝土面板的最大渗透坡降均小于面板允许渗透坡降;库区岩体的最大渗透坡降为0.265,小于其允许渗透坡降。因此,坝体各分区及面板、库区岩体等均满足渗透稳定要求。

5.3 渗透流量

由地下水位等值线可见,库区地下水位低于库盆底高程,库内蓄水只能通过库盆面板向库外渗漏,地下水并不能向上库进行补给,因而补给流量为0。

由于本工程上库渗流场的特殊性,这里只能根据混凝土面板的渗透系数、渗透坡降和面积计算上库渗透流量,见表6。

工况	库底混凝土面板	库周混凝土面板	总渗透流量
正常蓄水位	12.35	3.23	15.58
设计洪水位	13.59	3.55	17.14
校核洪水位	14.94	3.91	18.85

6 结语

(1)全库盆混凝土面板防渗方案计算结果表明,库区渗流场的位势分布规律明确,由运行期库区地下水位等值线、坝体及库周剖面地下水位势分布图可见,库区渗流场的位势分布规律明确,库尾地下水位高于正常蓄水位,左右库岸及两坝肩地下水位均低于正常蓄水位,且库左岸地下水位高于库右岸,由此可见,地下水由库左岸通过库盆及右岸山体渗向白杨河,并主要由上游向下游排泄。

(2)本方案库盆均布置了混凝土面板,库周及库底混凝土面板底下分别设有透水性较强的无砂混凝土垫层及碎石垫层用以排水,库区地下水位低于库盆防渗面板及其底下垫层。因此,由库盆渗漏的水会及时被无砂混凝土垫层及碎石垫层排走,垫层及其底部过渡层、库底回填区和上部岩体均处于非饱和状态,不会有扬压力直接作用在防渗结构上,因此,库底及库周混凝土面板的抗浮安全性可以得到保证。

(3)各工况下库底及库周混凝土面板渗透流量均较小,参照类似工程情况,满足水库蓄水要求。

(4)该大坝防渗排水系统的设计技术上是合理的。

参考文献:

[1] Lacy S J,Prevost J H.Flow through Porous Media; A Proce-dure for Locating the Free Surface[J].International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics,1987(11):585-601.

(下转第139页)

施,可有效解决安全隐患。

综上所述,水闸除险加固,在保持主体结构不变,对防洪标准、金属结构、机电设备等方面的问题可通过工程措施有效解决。上海市水闸水头差较小,消能防冲仅少数水闸存在安全隐患,可通过工程措施有效解决。对于结构稳定及强度问题通过工程措施虽然可一定程度上降低隐患风险,但并不能彻底解决隐患,日常运行过程中需加强监测。对于工程质量存在的问题,通过工程措施可满足近期工程运行需要,但随着时间推移,工程质量仍然会出现问题,需在日常运行养护中对发现的问题及时修复。

4 上海市水闸安全鉴定及其应用思考

鉴于上海水闸在防洪、挡潮、排涝、航运、灌溉、改善水环境及保护水资源等方面发挥了重要作用,一方面积极推进水闸安全鉴定工作,充分发挥水闸的综合效益,另一方面加快推进三、四类的水闸除险加固和更新改造工作。

上海境内多为小型水闸,占全市水闸的97.6%,且结构简单。现行的《水闸安全评价导则》(SL 214—2015),标准适用于大、中型水闸的安全评价,小型水

闸和水利部门管理的船闸的安全评价可参照执行,鉴定内容包括现状调查、现场安全检测、复核计算、安全评价四部分^[6]。若所有水闸均参照《水闸安全评价导则》(SL-214—2015),安全鉴定程序复杂,且鉴定费用巨大,经济效益较差,故有必要针对上海市小型水闸特点,适当简化安全鉴定内容,制定符合本市小型水闸的安全鉴定法规。

注重鉴定为三、四类的水闸除险加固效果评估,对于未能彻底解决隐患的部位建议加强监测,同时结合运行情况开展单项鉴定工作,确保水闸设施运行安全。

参考文献:

[1] 上海市水利管理事务中心.2022年度上海市水闸设施年报[R].上海:上海市水利管理事务中心,2022.

[2] 程松明,卢伟华.上海市水闸安全鉴定规划研究[J].城市道桥与防洪,2016(6):192-194.

[3] 上海浦河工程设计有限公司.上海市水闸、水利泵站安全鉴定规划(2021—2030年)报告[R].上海:上海浦河工程设计有限公司,2020.

[4] 梁民阳,吴兴龙.浙东海塘上水闸病害成因分析及对策[J].中国农村水利水电,2006(7):107-108.

[5] 李红健.温州市中小型病险水闸的原因分析及处理对策[J].中国农村水利水电,2001(9):98-99.

[6] SL 214—2015,水闸安全评价导则[S].

~~~~~  
(上接第 134 页)

[2] 速宝玉,沈振中,赵坚.用变分不等式理论求解渗流问题的截止负压法[J].水利学报,1996(3):22.

[3] 金伟,姜媛媛,沈振中,等.两河口心墙堆石坝渗流特性及其控制方

案[J].水电能源科学,2009,27(3):45-48.

[4] 李琛亮,沈振中,张华.乌塔沟分洪道试验段堤防渗流场分析与渗控研究[J].水电能源科学,2009(5):55-57.