

# 基于 AutoBank 渗流稳定计算的粘土心墙坝安全评价

周乐<sup>1</sup> 王鹤男<sup>2</sup>

1 吉林省水利水电勘测设计研究院 2 吉林省安农水利技术服务有限公司

DOI:10.12238/hwr.v6i1.4183

**[摘要]** 为保障水库大坝安全运行、确保病险水库除险加固的针对性和科学性,大坝运行管理单位及其主管部门必须按期进行水库大坝的安全鉴定工作<sup>[1]</sup>。而作为设计部门,在充分收集相关资料的前提下编写的水库大坝安全评价报告是开展安全鉴定工作的前提。根据有关规范,安全评价报告中的渗流安全评价和抗滑稳定安全分析则是评价报告中计算部分的关键问题。本文针对某粘土心墙坝工程实例,采用有限元分析软件Autobank对土石坝进行渗流稳定分析,并对其边坡抗滑稳定进行分析,进而评价坝体安全性。

**[关键词]** 渗流稳定分析; 边坡抗滑稳定分析; 粘土心墙坝; 安全评价

中图分类号: TU 文献标识码: A

## Evaluation on Safety of Clay Core Dam Based on AutoBank Seepage Stability Calculation

Le Zhou<sup>1</sup> Henan Wang<sup>2</sup>

1 Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute of Jilin Province

2 Jilin Annong Water Conservancy Technology Service Co., Ltd

**[Abstract]** In order to ensure the safe operation of reservoir dams and ensure the pertinence and scientificity of the danger eliminating and reinforcement of dangerous reservoirs, the dam operation management unit and its competent department must conduct the safety appraisal of reservoir dams on schedule<sup>[1]</sup>. As a design department, a reservoir dam safety evaluation report compiled on the premise of fully collecting relevant information is the premise of carrying out safety appraisal work. According to relevant specifications, seepage safety evaluation and anti-sliding stability safety analysis in the safety evaluation report are the key issues in the calculation part of the evaluation report. In this paper, according to an example of a clay core dam project, the finite element analysis software AutoBank is used to analyze the seepage stability of the earth-rock dam and the anti-sliding stability of its slide slope, so as to evaluate the safety of the dam body.

**[Key words]** analysis of seepage stability; analysis of side slope anti sliding stability; clay core dam; safety evaluation

### 引言

我国现有大多数水库均兴建于上世纪50~70年代,受当时技术水平及经济条件限制,多采用土石坝结构形式。土石坝按照土料在坝身内配置情况又分为均质坝、粘土心墙坝、粘土斜墙坝和非土料防渗体坝等多种类型<sup>[2]</sup>。其中,粘土心墙坝由于其可以有效减少材料用量、施工受季节影响较小及抗震性能较好等优点成为土石坝中的一个重要分类。

在进行大坝安全评价过程中,渗流安全分析及基于渗流计算的边坡抗滑稳定

分析均具有重要意义,具体计算结果会直接影响大坝安全鉴定评级,进而指导后续大坝运行管理维护或除险加固工作。

### 1 大坝渗流分析计算原理

二维渗流问题的基本方程和边界条件为:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0 \quad \text{在 } \Omega \text{ 内}$$

$\Omega$  内

$$H(x, y)|_{S_1} = f(x, y) \quad \text{在 } S_1 \text{ 上}$$

$$H(x, y)|_{S_3+S_4} = y(x) \quad \text{在 } S_3$$

和 $S_4$ 上

$$k_x \frac{\partial H}{\partial x} \cos(n, x) + k_y \frac{\partial H}{\partial y} \cos(n, y) - q = 0$$

在 $S_2$ 上

式中:  $H$ 为水头函数,  $k_x$ 、 $k_y$ 分别为 $x$ 、 $y$ 主方向渗透系数,坐标轴方向与渗透方向一致,  $\Omega$  渗流区域,  $S_1$ 为已知水头值的边界曲线,  $S_2$ 为给定流量边界曲线,  $S_3$ 为浸润线,  $S_4$ 为逸出段,  $q$ 为边界上的单宽

表1 大坝土层计算参数表

土层名称	密度		抗剪强度		渗透系数 K(cm/s)
	湿密度 $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	干密度 $\gamma$	凝聚力 c (kPa)	内摩擦角 $\phi$	
抛石	2.18	2.15	0	35	$1.0 \times 10^{-2}$
堆石	1.84	1.62	0	35	$1.0 \times 10^{-2}$
砂砾碎石含粘性土(1-4)	1.95	1.64	5	27	$5.0 \times 10^{-5}$
粘土(1-9)	1.96	1.61	20	18	$8.37 \times 10^{-6}$
砾石(2-2)	1.85	1.65	0	33	$1.0 \times 10^{-2}$
壤土(2-1)	1.85	1.49	15	20	$1.0 \times 10^{-5}$
粘性土含碎块石(3-1)	1.92	1.62	16	20	$1.0 \times 10^{-4}$
花岗岩基(4)	2.18	2.15	0	35	$1.0 \times 10^{-5}$

表2 土坝渗流计算工况

工况	计算条件		
	渗流状态	上游水位(m)	下游水位(m)
1	稳定渗流	正常蓄水位 245.50	228.92(下游侧无水)
2		设计洪水位 248.09	
3		校核洪水位 253.39	
4	非稳定渗流	校核洪水位(253.39m)	228.92(下游侧无水)

表3 大坝渗流量计算成果表

序号	计算工况	渗流量 $q$ (m <sup>3</sup> /s·m)	坝长(m)	渗流量(L/s)
1	正常蓄水位	$2.13 \times 10^{-6}$	511	1.08
2	设计洪水位	$2.62 \times 10^{-6}$	511	1.34
3	校核洪水位	$4.57 \times 10^{-6}$	511	2.34

表4 大坝各部位渗透比降统计表

土层名称	渗透比降				允许渗透比降
	正常蓄水位	设计洪水位	校核洪水位	水位骤降	
堆石(上游坡面)	0.003	0.006	0.007	0.009	0.15
砂砾碎石含粘性土(1-4)	0.139	0.172	0.721		0.75
粘土(1-9)	1.153	1.472	1.645		4
砾石(2-2)	0.015	0.019	0.034		0.15
壤土(2-1)	0.928	1.042	1.325		1.5
粘性土含碎块石(3-1)	0.262	0.348	0.383		0.6

表5 土坝坝坡抗滑稳定计算成果表

计算工况		坝坡抗滑稳定安全系数		
		允许安全系数	典型断面	
			上游坡	下游坡
正常运用条件	正常蓄水位(245.50m)	1.35	2.02	1.50
	设计洪水位(248.09m)		2.27	1.49
非常运用条件 I	校核洪水位(253.39m)	1.25	2.93	1.48
	校核洪水位(253.39m)		1.36	-
	骤降到死水位(236.00m)			

流量,这里 $q=0$ 表示为不透水边界。 $n$ 为边界的法线方向。

本文选用南京水准科技有限公司研制Autobank7.7软件来进行大坝二维渗流模拟, Autobank7.7采用节点流量平衡法通过迭代计算自动确定浸润线位置和渗流量<sup>[3]</sup>。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

某水库总库容 $2.60 \times 10^8 \text{m}^3$ ,设计洪水标准为200年一遇,校核洪水标准为5000年一遇,正常蓄水位为245.50m,设计洪水位为248.09m,校核洪水位为253.39m,是一座以灌溉为主,结合防洪、

发电、养鱼、旅游等综合利用的大(2)型水库。枢纽工程主要由粘土心墙坝、泄洪洞、输水洞、电站等组成,其中粘土心墙坝最大坝高33.2m,全长510m,顶宽6m。

根据地勘报告中土层指标建议值,各土层的计算参数见表1。

### 2.2 渗流稳定分析

(1)计算工况。根据《碾压式土石坝设计规范》(SL274-2020)关于渗流计算的相关要求,本次选定设计工况表2所示。

(2)计算结果分析。经有限元法计算分析,大坝渗流量计算成果详见表3,其中总渗流量按照单宽渗流量乘以坝长近似得到。各部位渗透比降统计详见表3。

从渗流量计算成果来看,在正常蓄水位、设计洪水位及校核洪水位情况下,通过大坝及基础的总渗流量分别为1.08L/s、1.34L/s、2.60L/s。水库多年平均流量为 $6.79 \text{m}^3/\text{s}$ ,校核洪水位时占多年平均流量的0.04%,水库渗漏问题不大。

从坝体及坝基渗透比降计算成果来看,在正常蓄水位、设计洪水位及校核洪水位、水位骤降情况下,各层土体渗透比降均小于允许渗透比降,坝体及坝基无渗透稳定问题。综上所述,大坝从渗流稳定分析角度是安全的。

### 2.3 边坡抗滑稳定分析

#### 2.3.1 计算工况

由于大坝已建多年,所以不存在施工期稳定问题,不计算施工期稳定情况;本区地震基本烈度为VI度,亦不进行抗震工况设计。故本次计算工况如下。

(1)正常运行条件:①正常蓄水位(245.50m)工况稳定渗流期一上、下游坝坡的稳定;②设计洪水位(248.09m)工况稳定渗流期一上、下游坝坡的稳定;

(2)非常运行条件 I:①校核洪水位(253.39m)工况稳定渗流期一上、下游坝坡的稳定;②校核洪水位(253.39m)骤降到死水位(236.00m)工况一上游坝坡稳定。

#### 2.3.2 计算结果分析

利用以上渗流稳定分析计算中求得各运行工况条件下浸润线,结合以上

大坝土层计算参数进行大坝抗滑稳定安全计算。土坝典型断面上、下游坝坡各种运用条件下的抗滑稳定计算结果列于表5。

由以上计算成果可以看出,在各计算工况条件下,典型断面土坝的坝坡抗滑稳定安全系数均大于规范要求的相应安全系数最小值。综上所述,大坝从边坡抗滑稳定分析角度是安全的。

### 3 结论及建议

(1) 本文结合粘土心墙坝工程实例,利用有限元分析软件Autobank简单梳理了渗流稳定分析及坝坡抗滑稳定分析的计算过程,并给出了从以上两方面进行

大坝安全评价的具体方法,以期为实际工程设计提供参考。

(2) 当然,在实际进行大坝安全评价时,不仅仅需要进行渗流稳定分析和坝坡抗滑稳定分析,还需在结合现场安全检查、收集相关设计资料的基础上,进行安全监测资料分析、工程质量评价、运行管理评价、防洪能力复核、结构安全评价、抗震安全评价以及金属结构安全评价等各项评价工作<sup>[4]</sup>。大坝安全评价是一项工作量较大、专业性较强且需各专业紧密配合的综合性设计工作。本文由于篇幅所限,仅针对渗流稳定分析和坝坡抗滑稳定分析两方面进

行分析。

### [参考文献]

[1] 中华人民共和国水利部公告2019年第7号[J].中华人民共和国国务院公报,2019,(25):68.

[2] 赵延红,沙成刚.病险土石坝加固后安全性分析[J].水利与建筑工程学报,2014,12(2):71-75.

[3] 周乐,高崇,孙依.吉林省永吉县星星哨水库大坝安全评价报告[R].吉林省:吉林省水利水电勘测设计研究院,2021.

[4] 王旭.定国山水库大坝安全评价分析[J].黑龙江水利科技,2021,49(8):233-235.

## 中国知网数据库简介:

### CNKI介绍

国家知识基础设施(National Knowledge Infrastructure, NKI)的概念由世界银行《1998年度世界发展报告》提出。1999年3月,以全面打通知识生产、传播、扩散与利用各环节信息通道,打造支持全国各行业知识创新、学习和应用的交流合作平台为总目标,王明亮提出建设中国知识基础设施工程(China National Knowledge Infrastructure, CNKI),并被列为清华大学重点项目。

### CNKI 1.0

CNKI 1.0是在建成《中国知识资源总库》基础工程后,从文献信息服务转向知识服务的一个重要转型。CNKI1.0目标是面向特定行业领域知识需求进行系统化和定制化知识组织,构建基于内容内在关联的“知网节”、并进行基于知识发现的知识元及其关联关系挖掘,代表了中国知网服务知识创新与知识学习、支持科学决策的产业战略发展方向。

### CNKI 2.0

在CNKI1.0基本建成以后,中国知网充分总结近五年行业知识服务的经验教训,以全面应用大数据与人工智能技术打造知识创新服务业为新起点,CNKI工程跨入了2.0时代。CNKI 2.0目标是将CNKI 1.0基于公共知识整合提供的知识服务,深化到与各行业机构知识创新的过程与结果相结合,通过更为精准、系统、完备的显性管理,以及嵌入工作与学习具体过程的隐性知识管理,提供面向问题的知识服务和激发群体智慧的协同研究平台。其重要标志是建成“世界知识大数据(WKBD)”、建成各单位充分利用“世界知识大数据”进行内外脑协同创新、协同学习的知识基础设施(NKI)、启动“百行知识创新服务工程”、全方位服务中国世界一流科技期刊建设及共建“双一流数字图书馆”。