

陕西黄龙县尧门河水库大坝的渗透稳定分析*

王治中¹, 王建林¹, 李德君¹, 孙拴厚²

(1 杨凌职业技术学院, 陕西 杨陵 712100; 2 陕西省桃曲坡水库灌溉管理局, 陕西 耀县 727100)

[摘 要] 针对陕西黄龙县尧门河水库大坝坝体单薄、后坡坡比不符合规范要求及坝体浸润线过高的问题, 用二维渗流有限元程序对坝体渗流场进行了计算, 探讨了当前坝体浸润线过高的原因, 并进行了渗透稳定分析, 为大坝的安全论证提供了依据。

[关键词] 尧门河水库; 大坝渗透; 稳定分析

[中图分类号] TV 697. 2⁺ 3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)04-0175-04

黄龙县尧门河水库位于石堡川支流尧门河华塔村, 距县城 7.5 km, 控制流域面积 65 km², 设计总库容 177.5 万 m³, 兴利库容 119 万 m³。该库肩负着防洪、调蓄、县城供水、农业灌溉等任务, 在黄龙县起着举足轻重的作用。水库大坝为有大棱体排水的均质坝, 背水坡有较厚的堆石护坡。由于尧门河水库溢洪道左岸山体滑坡, 使溢洪道断面变窄, 严重影响了水库的泄洪能力, 威胁库坝自身安全, 制约水库的防洪、供水和灌溉效益的发挥, 并直接影响水库下游人

民群众的生命财产安全。尧门河水库除滑坡问题外, 其坝体单薄, 未按原设计施工, 后坡坡比不符合规范要求^[1], 故其坝体稳定安全成为亟需解决的问题^[1]。在 1999 年进行的大坝安全论证中, 试验单位派人前往工地取样(取样位置见图 1)和测量时发现该坝后坡坡比只有 1:1.5, 不符合规范要求; 填筑质量十分不均匀, 渗透系数相差较大; 从取样含水量及饱和度变化情况看, 坝体内浸润线较高, 从坝后坡出逸, 对坝体安全极为不利^[2]。

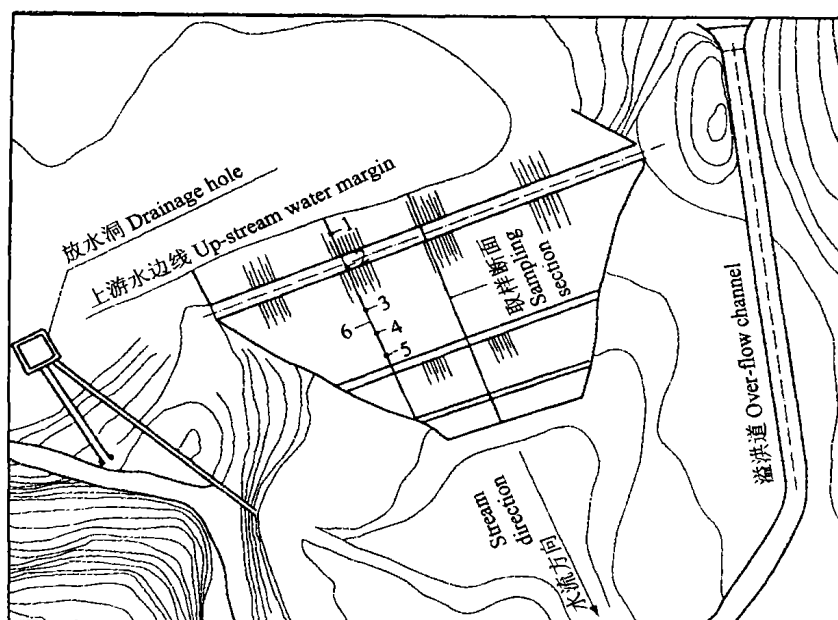


图 1 尧门河水库取样及浸润线探测断面位置示意图

1~5 孔 1~5; 6 浸润线探测断面

Fig 1 Diagram for sampling and exploration section of permeation line in Yaomenhe reservoir

1- 5 is hole No. 1- 5; 6 is permeation line exploration section

[收稿日期] 2003-03-07

[作者简介] 王治中(1952-), 男, 陕西洋县人, 讲师, 主要从事水利水电工程教学与研究及高职教育研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

因此,本研究试就其坝体的渗流浸润线高的原因及坝体渗流场、坝体内最大渗透坡降和坝坡出逸段最大渗透坡降进行二维渗流有限元计算,分析大坝的渗透稳定性及坝坡的渗流安全,同时为坝坡稳定计算提供依据。

1 计算原理

符合达西定律的二维均质土坝稳定渗流基本方程式^[3]为

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0, \quad (1)$$

式中, h 为水头函数; x, z 为空间坐标; k_x, k_z 为以 x, z 轴为主轴方向的渗透系数。

其定解条件为

$$\text{边界条件: } \begin{cases} h = \text{const}, \\ h = z_0. \end{cases} \quad (2)$$

式(1), (2)就是该坝二维稳定渗流计算的基本微分方程和定解条件。

对(1)式微分方程用有限元方法作渗流场离散,引用三维点的三角形单元和线性插值函数,同时考

虑坝基无潜流,得到稳定渗流有限元计算公式^[4,5]:

$$[k]\{h\} = \{f\}. \quad (3)$$

式中, $\{f\}$ 是已知常数项,由已知水头结点得出。

(3)式是由(1)式转换而成的线性方程组,再引入相应的边界条件即可求得稳定渗流场。为了保证自由面的惟一性,渗透自由面还应满足水头等于位置高程的条件。

2 计算边界范围及参数的选取

2.1 计算边界范围的确定

根据对渗流场计算精度的要求,断面上、下游河床长度应取其透水地基厚度的2倍以上。从原坝体设计剖面图可知^[6],坝体内设有截流槽,其底部已至基岩,截断了河床砂卵石层。为计算结果安全起见,将截流槽底部高程1 186.5 m以下按相对不透水层考虑。透水地基厚为7.5 m,上游河床长度自坝脚向上游取50.0 m,下游河床长度自坝脚向下游取50.0 m。上游水位取正常蓄水位1 216.3 m,下游水位取下游河床顶面高程1 194.0 m。详见图2。

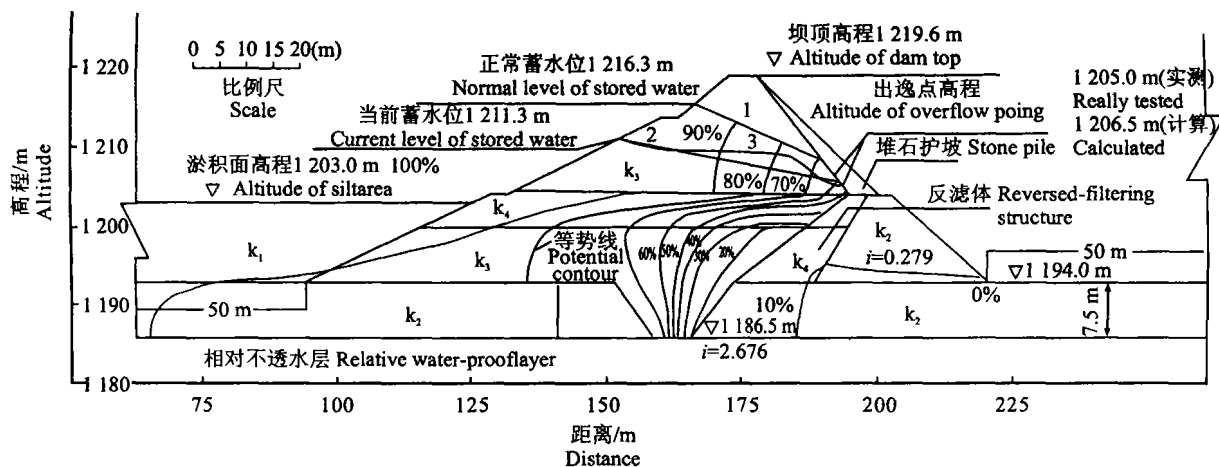


图2 尧门河水库大坝渗流等势线和浸润线

1, 2 计算浸润线; 3 实测浸润线; k_1 淤积层渗透系数; k_2 砂卵石层、堆石体渗透系数; k_3 坝体土渗透系数; k_4 隔水层渗透系数

Fig 2 Potential contour of permeation/flow and permeation line in Yaomenhe reservoir dam

1, 2 Permeation line calculated; 3 Really tested permeation line coefficient; k_1 Silt layer coefficient; k_2 Sandily gravel layer coefficient, stone pile coefficient; k_3 Dam soil coefficient; k_4 Water-proof layer coefficient

2.2 计算参数的选取

渗流场的计算结果与实际情况是否相符,取决于所选计算参数是否与实际相同。从所取试样含水率和饱和度的变化情况看(表1),在水位降落到1 211.3 m时,坝体浸润线基本处于1 213 m左右(坝体内的孔隙水向外排的速度滞后于库水位的降落速

度,所以此时坝内的浸润线高于库水位),并在1 211 m高程左右从坝后坡出逸。按常规,有棱体排水的均质坝,若坝后反滤排水体运行正常,其浸润线的型式都将从尾部跌落在排水棱体内,不会从坝坡出逸。即使考虑坝体土渗透的各向异性 k_x/k_y 达到100倍,浸润线后部也会交于排水体内,不会形成浸

润线从下游坡出逸的现象。出现以上现象估计有以下 3 个方面的原因: 均质坝填筑过程中, 坝下有一层, 使渗透水流沿其上层填筑质量差的部位水平渗出坝体; 棱体排水前部的反滤层未按设计施工, 渗透系数小; 上述两种情况同时存在, 联合作用。填筑质量较好的区域, 渗透系数小, 形成一相对隔水

表 1 尧门河水库大坝浸润线探测孔不同深度含水率的变化

Table 1 Tested moisture levels at different depth in test holes in pemreation line of Yaomenhe reservoir dam

孔号 No. hole	位置 Position	孔口高程/m A ltitude of hole mouth	深度/m Depth	干密度/ (g · cm ⁻³) Dry density	含水率/% Moisture	饱和度/% Saturation degree
1	迎水坡 Front slope	1 215 315	0 8	1 71	11 2	51 6
			1 6	1 59	13 8	53 2
			2 4	1 70	14 0	64 3
			3 2	1 48	18 8	61 0
			4 0	1 55	21 3	77 2
2	坝顶 Dam top	1 219 600	0 6	1 67	13 7	59 9
			2 0	1 47	12 9	54 4
			3 0	1 48	19 9	65 3
			4 0	1 73	18 1	86 1
			5 0	1 58	18 2	69 1
3	背水坡 Back slope	1 211 857	0 7	1 47	29 8	95 4
			1 4	1 48	26 9	87 2
			2 1	1 58	25 7	96 6

为了探求出现以上现象的主要原因, 首先根据现状水位和实测浸润线, 采用不断改变渗透区渗透系数, 用渗流有限元计算的方法求得与现状浸润线相符的边界条件和参数。在试求渗流场参数过程中发现, 若只单独考虑反滤体失效或只考虑坝体内有相对隔水层, 都不可能使浸润线在下游坝坡处出逸, 只有当两种原因同时存在时, 才会形成当前实测的浸润线。计算求得的隔水层的渗透系数见表 2, 隔水层上下部位的渗透系数采用试验实测结果, 坝前淤积层和坝基砂卵石的渗透系数参考相关资料^[7~ 9)]选用, 详见表 2。

表 2 二维渗流计算渗透区渗透系数取值

Table 2 A doped pemreation coefficients of pemreation section for pemreation/flow calculation on a plane

渗透区号 No. pemreation of section	材料 Materials	渗透系数/(cm · s ⁻¹) Pemreation coefficients		k_x/k_y	备注 Remarks
		k_x	k_y		
k_x	淤积 Silt	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1	参考文献[5] Reference [5]
k_2	砂卵石 Gravel	1×10^{-2}	1×10^{-2}	1	参考文献[8] Reference [8]
k_3	坝体土 Dam soil	2×10^{-4}	6.59×10^{-5}	3.03	实测结果 Tested results
k_4	坝体土(隔水层) Dam soil (water-proof layer)	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1	计算求得 Calculated results

3 计算方法与结果

采用二维渗流有限元程序对大坝正常蓄水位下的渗流场进行计算。计算结果详见表 3 及图 2。

根据以上计算原理和边界范围及选定的参数,

表 3 二维渗流有限元计算结果

Table 3 L imited-element calculation for two-dimensional pemreation and flow

1 211.3 m 水位高程浸润线坐标 Pemreation line coordinate at the altitude of 1 211.3 meter			1 216.3 m 水位高程浸润线坐标 Pemreation line coordinate at the altitude of 1 216.3 meter		
x	z	h	x	z	h
151.2	1 211.30	1 211.3	166.52	1 216.30	1 216.30
159.5	1 210.55	1 210.58	169.54	1 215.26	1 215.31
169.0	1 208.82	1 208.84	174.53	1 214.22	1 214.18
176.52	1 208.13	1 208.16	180.00	1 212.53	1 212.51
185.03	1 207.48	1 207.44	186.54	1 210.78	1 210.81
192.55	1 206.35	1 206.35	192.49	1 206.50	1 206.50

渗流计算结果表明, 由于大坝填筑质量不均匀, 形成相对隔水层, 棱体排水前部的反滤层未按设计施工, 在渗透系数小的情况下, 设计正常蓄水位条件下浸润线将从背水坡 1 206.5 m 高程处出逸, 出逸段最大出逸坡降为 0.88, 反滤体后坡坡脚与排水体砂卵石接触面上渗透坡降最大为 0.267, 截流槽后与坝基砂卵石接触部位最大渗透坡降为 2.676。从等势线分布上看, 1 205 m 高程以上, 渗透水流水平流向坝后坡; 1 205~1 200 m 高程为隔水层, 渗透水流垂直下渗; 坝基砂卵石层以上至 1 200 m 高程渗透水流水平流向下游排水体。截流槽附近区域为一渗流集中区, 等势线密集; 截流槽与下游砂卵石层及基岩交界面处的渗透坡降最大为 2.676, 但由于截

流槽填筑材料为重粉质壤土, 在有砂卵石保护的条件下抗渗强度远大于 $2^{[8]}$, 一般情况下不会引起渗透破坏, 但坝体内浸润线偏高, 并从坝后坡出逸, 对坝体稳定产生影响。

4 结 论

土坝填筑过程的成层性, 各层填筑质量相差大, 透水性相差太远, 不按设计施工都是造成坝体内浸润线过高的原因, 对坝坡稳定不利。但从二维稳定渗流计算结果看, 坝体内等势线分布均匀, 没有出现集中渗流区, 坝体内及渗流出逸段的渗透坡降都不大, 不会产生渗透变形, 大坝渗流是安全的。

[参考文献]

- [1] SDJ218-84, 碾压式土石坝设计规范[S](修改和补充规定). 北京: 水利电力出版社, 1984
- [2] 陕西省石头河水库大坝安全鉴定坝坡稳定分析报告[R]. 陕西杨陵: 西北水利科学研究所, 1998
- [3] 毛昶熙. 电模拟试验及渗流研究[M]. 北京: 水利出版社, 1981
- [4] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990
- [5] 毛昶熙, 段祥宝, 李祖貽. 渗流数值计算与程序应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990
- [6] 陕西省黄龙县尧门河水库除险加固工程可行性研究报告[R]. 陕西杨陵: 西北水利科学研究所, 1999
- [7] 陕西省吴旗县周湾水库大坝安全鉴定土工试验报告[R]. 陕西杨陵: 西北水利科学研究所, 1999
- [8] 陕晋两省水坠坝试验研究工作组. 水坠坝研究成果汇编[R]. 陕西杨陵: 西北水利科学研究所, 1979
- [9] 刘 杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992

A nalysis of pemeation stability of the Yaomenhe Reservoir Dam in Huanglong County of Shaanxi Province

WANG Zhi-zhong¹, WANG Jì-n-lìn¹, L I De-jun¹, SUN Shuan-hou²

(1 Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Irrigation Management Bureau of Taoqupo Reservoir, Yaodian County, Shaanxi 727100, China)

Abstract: The dam body of the Yaomenhe reservoir was poorly built. Its falling gradient of the back slope did not comply with the regulations and the permeation line is too high. So the stability of the dam remained as a serious problem. To solve the problem the permeating and flowing field of the dam body was calculated by means of the limited-element program. The calculation showed the reasons for the over-rising permeation line of the dam, conducted the stability analysis, and provided basis for safety argumentation of the dam body.

Key words: Yaomenhe reservoir; dam permeation; stability analysis