

平原多级储灰复合坝滑坡分析和加固治理

王国体, 王婉娣

(合肥工业大学, 安徽 合肥 230009)

摘要: 本文基于位于平原上的粉煤灰场二级复合储灰坝的二次滑坡过程, 对土坝的勘察、论证、设计、加固的过程分析, 提出对平原上的多级复合坝稳定分析的应力扩散的稳定验算, 据此进行滑坡加固处理并经过蓄洪的考验获得成功, 并大大地节省了治理的费用。

关键词: 多级复合坝; 粉煤灰储灰场; 滑坡治理

中图分类号: TV641

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2006)04-0545-04

作者简介: 王国体(1951-), 男, 教授, 从事岩土工程教学与科研工作。

Analysis and stabilization of landslide of compound dams for storage of flash at plain

WANG Guo-ti, WANG Wan-di

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Measures were given for consolidation of landslide of the dams and the method of stability analysis of stress diffused by a compound dam at plain, which stored flash for a power plant. The step dams with two grades have a flash dam and a soil dam, and landslide occurred two times. There are many times of geological prospecting for analysis and stabilization of dam landslide. According to the information of soil exploration, design and correction, consolidation measures had made landslide correction successful in lower cost and the dams suffered from stored floodwater around.

Key words: steps compound dam; flash store field; landslide correction; diffuse stress method

0 工程概况

某电力集团所属发电厂的三角湾储灰坝, 为典型的平原灰场多级坝——二级储灰坝。场地处淮河南岸(右岸), 平面呈梯形状, 南坝东西长约 1160 m, 北坝东西长 210 m, 东坝南北长 1500 m, 西坝南北长 1600 m。东坝一级坝高 10.5 m, 二级坝高 7.5 m。二级坝顶高程 33.0 m, 设计储灰水位高程 32.5 m, 二级坝位于一级坝内, 二级坝脚距一级坝顶水平距离 5.0 m。一级坝自然地面高程 16.5 m, 坝顶高程 27.0 m (坝体内 22 m 高程为农民自筑土坝), 22 m 高程以下坝坡 1:2.5, 1 m 马道; 22 m 以上边坡为 1:2.0。坝顶宽为 3.0 m。设计储灰高度 26.5 m。

该灰场一级坝于 1988 年底建成投用, 库容 $950 \times 10^4 \text{ m}^3$, 储灰于 1998 年排满。后期二级坝的建设经过可行性研究报告和设计批复后, 二级坝建在原储灰库内, 由所储粉煤灰水力冲填修筑, 加高增容工程库容 $410 \times 10^4 \text{ m}^3$, 可行性研究报告 $950 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。1998 年 10 月投入使用。

1 一级坝二次滑坡的时空现象

1998 年 10 月开始启用增容 $410 \times 10^4 \text{ m}^3$, 2002

年 10 月 20 日, 储灰水位 31.4 m, 一级坝出现第一次滑坡: 位置在一级坝南段, 见图 1 所示, 约 160 m 范围内出现坝体滑坡, 坝顶下沉约 2 m。2002 年 12 月 27 日经专家对一级坝坝体加固及坝体修复方案进行了方案审查。根据审查意见进行了施工图设计。2003 年 3 月 20 日, 对一级坝加固工程施工。加固方案主要是水平排水膜袋加强坝体排水和水泥搅拌桩加固坝体。

5 月 17~18 日夜间滑坡段滑移下挫加剧出现第二次滑坡, 该段滑坡沿坝轴向长 127 m。滑坡位置见图 1 所示, 滑坡表现现象可见图 2。其中在坝坡脚处可观测点 GC7 向窑河移动了 75.3 cm, 见图 3。

东坝初级坝所出现的二次滑坡的过程, 使得储灰坝的安全运行的重大隐患暴露出来: ①是对于一个在平原地区的储灰量达一千多万方的粉煤灰储灰场, 一旦多级储灰坝的滑坡继续发展, 其粉煤灰将会污染淮南以北淮河以南的所在的土地与村庄; ②是局部的可能的滑坡地继续发展将使部分粉煤灰滑入下临的窑河 2, 窑为淮河水系, 将对淮河产生污染, 后果很严重;

③江淮地区即将进入雨季,而且淮河也面临出现汛期,对滑坡来说,天时不期、地时不利,因此,如何找出滑坡的真正原因和采用有效的、经济的治理方法并如期加固,在时间上是十分紧迫的。

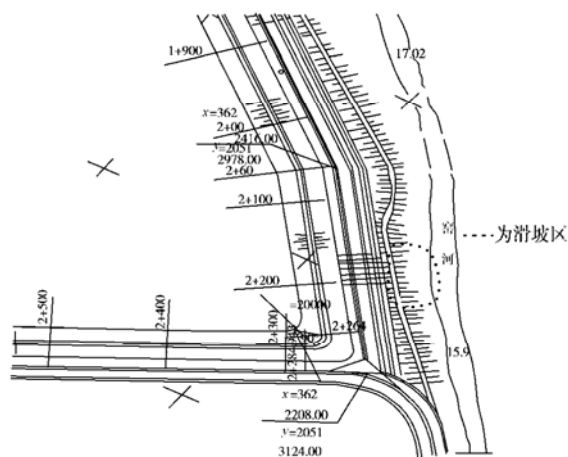


图1 多级储灰坝东南一隅——滑坡位置示意图

Fig. 1 The southeast part of dams at plane—the position of land slide



图2 一级坝坝顶的滑坡状况

Fig. 2 The situation of slide at the top of dam



图3 坝脚处的土体推移

Fig. 3 Pushed soil at dam toe

2 第一次滑坡原因分析和加固方案

2.1 坝体建造过程

该复合储灰坝经历了3次建造的历史过程。第一次是修建的蓄水库,地面一般在高程16.50 m,坝顶高程22.00 m,边坡比均为1:2.5。1984年6月,进

行了地质勘察和设计,同年10月,经过在原坝的基础上加宽加高,建设库容1050万方,设计坝顶高程27 m,22 m高程以下边坡1:2.5,22 m高程以上边坡比1:2.0,1 m宽马道,坝顶宽3.0 m。1997年,由于扩容的需要,对储灰坝场等进行了加固增容改造的可行性和论证,在原库内修建粉煤灰水力冲填二级坝高程33.0 m,坝顶宽3.0 m,边坡均为1:2.0。这样就构成了平面梯形状的二级储灰坝。设计运行储灰水位32.5 m。总库容 $1360 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2.2 先期一级土坝工程勘察

在进行一级初期坝建设时,进行了第一次工程地质勘察,并对原坝坝体的勘察;为了论证二级坝建设时,进行了第二次工程勘察;二级坝建造后,发现西坝出现坝渗漏和可能滑坡时,又进行了第三次工程勘察,并对整个坝区进行了可能性滑坡和治理进行了分析。当东初级坝出现第一次滑坡后,又进行一次滑坡治理的勘察。典型的结论表现为四次勘察的结论在东一级坝的认识上明显不能统一,在原22.0 m高程土坝的认识也不一致。这样,对东坝的安全运行就有一定的隐患和盲目性。

2.3 第一次滑坡原因分析与加固方案

基于出现东初级坝滑坡的事实,初步分析的原因是:①东初期一级土坝的质量差,在施工中存在先天不足;②二级子坝的渗透浸润线高,建设时在坝段未铺碎石透水层;③长期高水位运行的浸泡和渗透,坝体土层的物理力学性质减低;④一级坝(初级坝)顶的车辆荷载运行,使得荷载使用不利。加固措施设计的重点是坝体的排水措施和强化加固。

因为滑坡的出现是在多级坝运行储灰水位高程31.4 m,在东坝南部发生160 m长度范围滑坡的,基于对于初级坝认为是筑坝填土的土力学性质差的原因,并主要在22.0~27.0 m高程内,局部不均,主要重点集中东坝在排水措施和加固坝体两部分。加固费用高达数百万元。

3 滑坡原因的分析与最终的加固

3.1 先期坝的工程质量评估依据

依据东坝设计图纸,筑坝为#2淤泥质粘土和#3亚粘土,要求筑坝土样含水率控制30%,干容重不小于 1.43 g/cm^3 ,并对施工、排水、清基、质量控制提出了要求。以第2次勘察特殊段(含姜结石)、500段由于使用了未采用的#4土,对东坝的勘察27~22 m结论如下:干容重均值 $1.43 \sim 1.42 \text{ g/cm}^3$,含水量均值为32%,固结系数在 $3.12 \sim 3.43 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$;快剪指标 $30.7 \sim 74.4 \text{ kPa}$, $8.2 \sim 10.2^\circ$ 。22 m以下比较稳定。经

钻孔注水试验、标贯、槽探等室内、现场试验, 未发现大裂隙或孔洞, 渗透性未出现较大差异。

应该说, 随着先期坝储灰任务的完成, 先期坝从设计、施工、使用上已完成了它的历史使命。稳定安全也受到了工程使用期的考核与验证。

3.2 后期坝的可行性论证场地条件

由于扩容的需要, 1997 年 12 月, 灰场加固增容改造工程进行可行性研究阶段,《可行性研究报告(兼初步设计方案)》从后期坝的论证, 从库容、水文、气象、场址、先期坝工程质量、筑坝材料、增容改造设计方案、地基处理、后期坝设计、渗透分析、等进行了全面的分析。其中涉及东初级坝的安全问题主要如下: 子坝修建在粉煤灰上的软弱地基处理为沉积灰耐特龙防渗、碎石垫层加筋法处理。并满足水平抗滑验算的稳定。对渗透的处理为上堵(反滤土工布)下排(垫层、排水棱体)。对稳定分析的结果可见表 1。

表 1 东坝稳定分析结果

Table 1 The result of stabilization of east-dams

项目	BISHOP 法	瑞典圆弧法	改良圆弧法	复合滑动法
初期坝	1.196	1.156	1.236	1.204
子坝	1.637	1.446	1.668	1.621
东坝整体	1.213	1.123	0.254	1.233

注: ①稳定标准一般工况安全系数为 1.15, 特殊工况安全系数为 1.05; ②粉煤灰 2 层、初级坝层和坝下地基 2 层的 CU 强度指标 (%) 依次为 20/20、10/15、25/5、10/10 和 15/10, c 的单位为 kPa, φ 的单位为(°)。

3.3 东初级坝坝坡的稳定验算

对于坝上坝的这样的结构, 采用圆弧稳定分析的方法显然是不够的, 表 2 所示的安全系数却未保证设计储水位以下的运行安全, 必须找出可能滑坡的真正原因。东初期坝所出现 2 次滑坡现象, 按运行时的库水位、覆土等情况, 将水力充填的坝体一起视为对初级坝的作用荷载, 依据设计控制密度条件和库内粉煤灰的重度, 可以视为如图 4 所示的荷载分布。

其他坝体部分的物理力学指标见表 2。

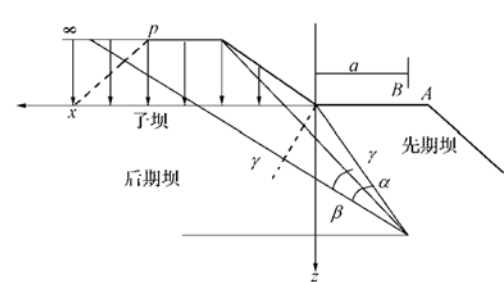


图 4 子坝运行期荷载作用示意图
Fig. 4 Load acting on dam during operation

表 2 坝体物理性指标的分散性特点

Table 2 Scattering characteristic of physical and index in dam

指标	分布范围	均值	方差	可信取值
含水率/%	31.45~42.76	35.67	4.67	36
密度 / (kN · m ⁻³)	17.71~19.80	18.84	2.36	19
孔隙比	0.70~1.212	0.937	0.121	0.94
c _{cu} /kPa	15.8~97.4	34.78	8.90	30
φ _{cu} /(°)	9.8~27.1	12.46	2.32	11

按下列公式校核计算坝体边坡范围内点的安全与破坏性任意点位置参见坐标系图 2, 按下式计算任意点的主应力状态,

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{bmatrix} = \frac{p}{\alpha\pi} \left[\alpha\beta + x\alpha + z \ln \frac{r_2}{r_1} \pm z(\ln^2 \frac{r_2}{r_1} + a^2)^{1/2} \right], \quad (1)$$

其中

$$r_0 = \sqrt{x^2 + z^2}; \quad r_1 = \sqrt{(x-a)^2 + z^2}, \quad (2)$$
$$r_2 = \sqrt{(x-b)^2 + z^2}, \quad (3)$$
$$p = \gamma H = 95 \text{ kPa}, \quad (4)$$
$$\alpha = \arccot \frac{x}{z} - \arccot \frac{x-a}{z}, \quad (5)$$
$$\beta = \arccot \frac{x-a}{z} - \arccot \frac{x-b}{z}, \quad (6)$$
$$a = Hm, \quad b = a + L/2. \quad (7)$$

应用摩尔-库仑极限平衡条件:

$$\sin \varphi = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \cot \varphi}. \quad (8)$$

按此得到的计算结果和滑坡的深度和位置是完全一致的吻合。

按表 3 的参数表, 依据邓肯-张模型的有限元分析的多级坝内的水平位移在 30~40 mm 的区域在初级坝坝坡的中部下位, 见图 5。剪应力分布见图 6 所示。

表 3 邓肯-张模型参数表

Table 3 The parameters of Duncan-Zhang model

参数	E	R _f	K	n	G	F	D	μ
数值	104~115	0.85~0.90	110~150	0.5	0.35	0.10~0.15	0.10~0.15	0.35

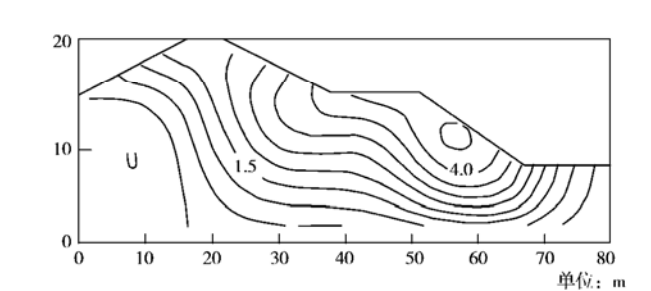


图 5 有限元计算分析的水平位移分布
Fig. 5 The distribution of horizontal displacement of dam by FEM

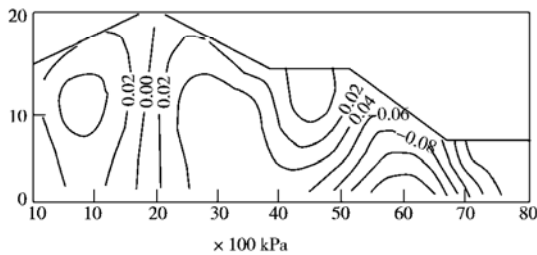


图 6 有限元计算分析的剪应力

Fig. 6 The distribution of shear stress in dam by FEM

3.4 滑坡的加固方案

依据对所有计算和文件的过程审核和相关的验算,立即采取以下 3 点措施:①停止所有的排水措施的施工;②重点加固坡面体和坡脚;③窑河临空面处局部可以采用支护桩的形式。由于采取措施及时,即开始抢险施工,在 2003 年 7 月上旬完成施工。恰恰遇上 2003 年度淮河大水,在确保淮河下游安全的决策下,该灰场地区也是其中淮河分洪的蓄洪区之一,使得处于坝下的窑河水位上升 2.6 m,这样,也同时使得加固后东坝边坡的滑坡以及整个东坝的安全经受了历史性的考验。

4 结 语

(1) 平原上储灰多级坝的稳定分析,即使是均质(本案例中接近均质),采用圆弧稳定分析的安全系数方法评价其稳定性,面临着工程实际的严峻挑战。这本身存在着稳定分析方法的局限性和近似性,也存在着强度指标选用的局限性。在安全性动态评价中,设计时采用的强度等指标选取虽然在试验方法上可以确定,但在实际具体工程中的分散性、时效性、变化性是难以准确确定的。

(2) 本文从现场和照片上可以断定的坡体滑动,

对于在平原上的多级坝,应用应力扩散的方法和摩尔库仑准则作判断,简单便利,其计算结果与破坏的位置相当吻合,而有限元的分析结果仅有一定的参照性。

(3) 本文滑坡加固的工程实践经受了所在淮河蓄洪区蓄洪的特殊考验,类比原加固方案极大地减少和节省了治理费用。

(4) 对既有土坝的安全性的评价特别是具有缺陷工程评价是工程应用的难点,有待于进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 王国体, 赖焕枫, 陈登伟. 边坡支护应力重塑方法的数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(6): 729 - 732. (WANG Guo-ti, LAI Huan-feng, CHEN Deng-wei, Numerical simulation of stress restituting in slope supporting[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(6): 729 - 732.)
- [2] 王国体, 陈名昭, 等. 土坡稳定可靠性指标分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2002, 25(3): 398 - 402. (WANG Guo-ti, CHEN Ming-zhao, et al. Reliability index analysis of stability of soil slope[J]. Journal of Hefei University of Technology(natural science), 2002, 25(3): 398 - 402.)
- [3] 王国体, 等. 滑坡防治的应力重塑方法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2001, 24(3): 374 - 377. (WANG Guo-ti, et al, The method of renewing stress on the slope in landside correction[J]. Journal of Hefei University of Technology(natural science), 2001, 24(3): 374 - 377.)
- [4] 王国体. 高填土公路边坡的稳定分析[J]. 岩土工程学报, 1994, 20(1): 99 - 101. (WANG Guo-ti. Analysis of stability of slope in highway roadbed [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 20(1): 99 - 101.)