湖积软土地基上尾矿坝的稳定性分析

张 波[1],陈晓平[2],崔红军[1],程小俊[1]
(1. 武汉大学土木与建筑学院,湖北 武汉 430072; 2. 暨南大学土木工程学院,广东 广州 510632)

摘 要:塑料排水板法在软土地基处理工程中应用广泛,本文工程中的湖积软土地基采用此法处理,施工速度快,投资小,据观测数据表明,加固地基效果显著。同时,以毕肖普简化法原理为基础,运用 Fortran 语言编写程序来分析尾矿坝的整体稳定性。

关键词:湖积软土;塑料排水板;尾矿坝;稳定性分析
中图分类号:TU447 **文献标识码**:A **文章编号**:1008 - 1933(2004)04 - 0076 - 02

1 前言

尾矿库用来存放选矿或有用矿物提取后剩余的排弃物,即尾矿。尾矿是浆体形态产生和排放的破碎磨细的岩石颗粒,是矿物加工的最终产物。尾矿库如果发生溃坝或坝体破坏,将会造成严重的危害。1962 年火谷都尾矿坝破坏,死亡近 200 人,将近半个县的农田被破坏;1985 年野鸡尾尾矿坝发生洪水溃决,数十人伤亡;1986 年黄梅山铁矿尾矿坝溃坝,覆盖良田 14 hm^2,伤亡近 200 人[1]。确保尾矿坝的稳定是消除矿山尾矿坝隐患的重要措施[2]。

尾矿坝是一种特殊的水工构筑物,其坝体结构松散,抗变形、抗液化能力差。湖积淤泥软土的工程性质差,在其上修建尾矿坝,必须对软基进行加固处理。施工中和施工后要进行地基孔隙水压力测试、地基水平位移测试、地表总沉降测试和深层沉降测试,确保坝体的稳定安全,并对坝体的整体稳定性进行分析。

2 工程概况与地质条件

某铜矿新尾矿库 1# 尾矿坝的初级堆石坝位于湖边,坐落在两小山丘之间,东西走向,建在湖底新近沉积软土之上。根据工程地质勘察资料表明,坝底土层为新近沉积的淤泥~淤泥质土,厚度 8~12 m。随着深度的增加,淤泥由软塑~流塑状态过渡为可塑~硬塑状态,浅层淤泥的含水量、孔隙比和压缩系数都比较大,地基承载力小;深层淤泥的含水量、孔隙比和压缩系数都有较大的降低,如表 1 所示。初级堆石坝坝长约 280 m,坝底宽 47 m,堆石坝起始标高 13.3 m,坝顶设计高程 23 m,总荷载量约 220 kPa,由于地基的沉降,实际坝高大于 11 m。本工程工期要求短,每层堆筑荷载量、总荷载量均较大。

表 1

物理力学指标	浅层淤泥	深层淤泥
含水量 W/ %	80.3	35.1
渗透系数 k/ (cm/ s)	$k_h = 1.28 \times 10^{-5}$ $k_v = 1.14 \times 10^{-5}$	$k = 1.6 \times 10^{-7}$
压缩系数 a/ MPa^{-1}	$a_h = 2.26$ $a_v = 1.96$	$a_{1-2} = 0.76$
孔隙比 e	2.23	0.98
承载力/ kPa	50	

3 地基处理与施工

(1) 由于坝底湖积淤泥承载力低,如果进行加固处理,直接修建初级堆石坝,运用简化毕肖普法粗略计算得出稳定系数 $k = 0.658$,显然不能满足稳定安全要求,坝体会产生滑动破坏,所以必须对地基进行处理。本工程针对实际情况,采用塑料排水板法加固地基。我国 20 世纪 70 年代末开始进行塑料排水板的研究,在公路特别是高速公路建设中,用塑料排水板排水固结原理来处理软土地基的方法已经广泛应用[3~8],并取得成功。塑料排水板法是一种行之有效的方法,特别是针对超软土地基、吹填土地基的加固效果更为明显,且塑料排水板法施工速度快、投资小、排水效果好[9]。

(2) 初级堆石坝坝底表层淤泥承载力很低,排水板插板机械无法正常工作,采用围堰法施工,截污堤作为外围堰。先用泥浆泵抽走湖底流态淤泥,再填上一层粘性土以保证场地强度能满足施工要求,粘性土上铺一层 30 cm 厚中粗砂,作为水平向排水通道,这样就可用插板机械来插入排水板。塑料板长度平均为 8~10 m,施工中为确保地基稳定性,塑料排水板的平面布置取为间距 1.5 m 的正三角形排列,点距 1.5 m,排距 1.3 m,排水板露出地表约 20 cm,折转埋入砂层,再盖上一层 600 g/ m^2 的无纺土工布以保护砂层,如图 1 所示。截污堤地基采用抛石挤淤法加固,未插排水板。

图 1 塑料排水板布置

收稿日期:2003-10-20
作者简介:张 波(1979 -),男,山东临沂人,硕士研究生,主要从事软土工程性质方面的研究。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

按设计要求,施工过程中同步进行 4 项稳定性测试:地基孔隙水压力测试、地基水平位移测试、地表总沉降测试和深层沉降测试。测试资料及时整理,成果反馈给监理和施工人员,以地基稳定性测试资料(主要是孔隙水压力测试数据)来指导施工,控制堆载强度与进度。坝体采用分层碾压法填筑,从西到东,逐次逐层填筑碾压。由于工期短,而筑坝块石材料比较容易达到设计要求的密实度,每层填筑厚度选取为 0.8～1.2 m(约 20 kPa)。

(3)经试验和计算知,加固后的淤泥质粘土的抗剪强度有了很大的提高,完全符合地基承载力要求,加固效果明显。据施工进行中和完成后的 4 项观测数据表明,加固后的地基符合安全要求,水平位移和竖向沉降位移符合设计要求。初级堆石坝主体工程完成近 2 个月,大坝运行情况良好。

4　尾矿坝的整体稳定计算

(1)尾矿库设计使用 10 年,在尾矿坝施工完成后,按 1∶4.5 的坡比堆载尾矿,每 5 m 设一宽为 2.5 m 的马道,最终到的设计标高 45 m,具体情况如图 2 所示。

图 2　尾矿坝剖面

本文运用 Fortran 语言编写程序来分析堆载满尾砂后尾矿坝的整体稳定情况。程序先采用优化法寻找安全系数最小的滑弧的位置,将滑弧圆心 x, y 和滑弧出露位置 x 坐标作为 3 个变量,进行滑弧的三维优选。然后计算各条带的重量、浮力/滑面粘聚力和内摩擦角,运用简化 Bishop 法,迭代计算优选出的滑弧的安全系数。按正常运行和洪水运行两种情况来分析尾矿坝的整体稳定性。考虑到一些实际情况可以做以下简化(见图 3 和图 4)。

图 3　正常运行下计算简图

图 4　洪水运行下计算简图

①将初级堆石坝以上的坡面折线看成一条直线。

②整体分为 10 个条带,拐点 6 个,根据设计要求,洪水水位定为 17 m。

③由于加固后的淤泥质粘土层和含砾粉质粘土层的物理力学指标相近,为了简便,可看为一层。

④土层划分情况及所用物理力学指标:

a 尾砂层;b 堆石层;c 淤泥质粘土层;d 加固后的淤泥质粘土层和含砾粉质粘土层看作一层;e 粘土质砾卵石层。

本程序中所取的各层的物理力学指标(据工程经验和试验)见表 2。

表　2

土层编号	天然容重 / (g/cm³)	饱和容重 / (g/cm³)	抗剪强度			
			c/ kPa	φ/ (°)	c'/ kPa	φ'/ (°)
1	2.0	2.2	9.8	28	8.6	35
2	1.82	2.1	0	34	0	40
3	1.86	1.86	10.7	6.2	6	12
4	1.92	1.94	36	12	28	18
5	1.95	1.96	16	30	10	35

(2)将所需参数输入程序,经过优选得出结果。

正常运行下,安全系数最小的滑弧的 F_s = 1.324,滑弧圆心坐标 x = 68.0, y = 107.4,半径 r = 99.6 m。滑弧起点坐标(151.40,53.00),终点坐标(18.28,21.10),经过滑面寻优,最危险滑面不经过截污堤,如图 2 所示。

洪水运行下,安全系数最小的滑弧的 F_s = 1.208,滑弧圆心坐标 x = 68.6, y = 106.00,半径 r = 98.0 m。滑弧起点坐标(105.04,53.00),终点坐标(19.86,21.10),最危险滑面不经过截污堤,如图 3 所示。

由计算结果可以看出,采用塑料排水板法处理软土地基后,整个尾矿坝的安全系数合理且符合规范要求,能够保证坝体的稳定运行。

5　结语

(1)软土工程性质差,一般都要进行地基处理才能符合工程要求。对于超软土、吹填土等淤泥质粘土,塑料排水板法是一种很有效的方法,相对其它加固方法,它施工速度快、投资小、排水效果好。本工程采用此法处理软基,设计合理,效果显著。据此合理安排施工进度,施工方便,缩短了工期,并且保证了地基的稳定。同时,软土具有土体强度随固结过程逐步增加的特性,如果工程允许有较大的变形量和一定的工期,可以利用软土的这种工程特性,取得较好的经济效益。

(2)本文所采用的程序运用优化法和毕肖普原理,程序设计简便,结构合理,操作方便。与根据工程设计给出的资料对比,程序计算所得最危险滑面的稳定系数较设计稳定系数大一点,结果合理并且符合安全要求。可用此程序来分析类似稳定问题。

(3)本程序计算结果显示最危险滑动面不经过截污堤,所以就没有考虑截污堤的反压作用,实际上截污堤对计算结果有一点影响。本工程中截污堤主要防止尾矿有毒污水渗出到湖水中造成环境污染危害人们的健康,截污堤的污水经

(下转第 79 页)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4　实心小块砌体抗压强度的第二种推定方法

混凝土小型空心砌块(简称空心小块)的几何尺寸为390 mm ×190 mm ×190 mm,孔洞率约为38 %～40 %,国标GBJ 3—88(GB50003—2001)给定了该种块材的砌体抗压强度设计值,详见该标准的表3.2.1～3。实心小块的几何尺寸同空心小块相比,高度相当,长度和宽度略有区别,但因无孔洞率这一影响因素,其砌体强度应相当于或高于空心小块砌体,套用空心小块砌体计算指标是偏于安全的。

5　砌筑质量的影响

砌筑质量是影响砌体抗压强度的一项重要因素。对于尺寸为240 mm ×240 mm ×180 mm的实心小块,上下皮块体搭接长度偏小,再加上施工误差,易形成纵向通缝或接近于纵向通缝,从而降低了墙体的整体性,对墙体强度亦是一项不利因素。对于尺寸为240 mm ×370 mm ×180 mm的实心小块,搭接长度可满足要求,一般不会形成纵向通缝。实心小块的单块重量较大,工人劳动强度大,不易采取"挤揉"使水平灰缝中的砂浆饱满而均匀。又因为块体较高,竖向灰缝普遍不能饱满,外墙易出现渗水问题,引起内墙面潮湿。

砌筑质量较好的砌体结构工程,对尺寸为240 mm ×370 mm ×180 mm的实心小块,砌体抗压强度指标可在空心小块砌体强度指标的基础上,乘以1.1的系数,以反映"空心"和"实心"小块的区别;对尺寸为240 mm ×240 mm ×180 mm的小块,则宜乘0.9的系数,以反映上下皮块体搭接长度偏小和墙体整体性较差的缺陷。

6　结语

对已建实心小块工程进行安全性评估时,必然涉及砌体强度这一指标。在对实心小块墙体承载力进行复核验算时,除按原有方法复核验算外,建议按本文第2种推定砌体强度指标方法,推定计算指标 f 值,再次进行墙体承载力辅助验算。两种计算方法的计算结果,均应满足安全性使用要求。

(上接第77页)
过处理后再回收到尾矿库里。

参 考 文 献:

[1] 李家瑞,等. 工业企业环境保护[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.

[2] 卫修保. 凹山尾矿库的安全管理与治理措施[J]. 中国矿业,1999,(2).

[3] 苏　云. 塑料排水板处理软基的效果分析[J]. 中南汽车运输,1999,(3).

[4] 王保兴,范小娟. 塑料排水板固结法在软土地基中的应用[J]. 西部探矿工程,2000,(3).

[5] 任少英. 塑料排水板在高速公路软基处理中的应用[J]. 内蒙古公路与运输,2000,(3).

[6] 曲　斌. 塑料排水板处理公路软土地基的设计与施工[J]. 中南公路工程,2001,(3).

[7] 赵光明. 沿海地区软土地基处理技术在路桥工程中的应用[J]. 中南公路工程,1997,(3).

[8] 王秀莲. 塑料排水板超载预压法处理软基在环胶州湾公路工程中的应用[J]. 海岸工程,1999,(9).

[9] 许建瑞,刘　俊. 塑料板排水处理软土地基的研究现状[J]. 科技情报开发与经济,2001,(1).

Stability analysis of tailings dam on lacustrine soft soil foundation

ZHANG Bo[1],CHEN Xiao-ping[2],CUI Hong-jun[1],CHENG Xiao-jun[1]

(1. College of Civil & Construction Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China;
2. College of Civil Engineering,Jinan University,Guangzhou 510632,China)

Abstract: Plastic drain band method is widly applied to strengthen soft foundations. In this paper,it is used to strengthen lacustrine soft soil foundation with high construction speed and little money. The observation results indicate that the soft foundation is well strengthened. And,this paper provides a program based on simplified Bishop method. This program edited by fortran language is used to analyse the stability of tails dam.

Key words: lacustrine soft soil;plastic drain band method;tails dam;stability analysis

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net