

尾矿坝浸润线干滩监测预警值的计算

林雪松^{1a}, 陈殿强², 何峰^{1b}

(1. 辽宁工程技术大学 a. 理学院; b. 力学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁有色勘察研究院, 辽宁 沈阳 110013)

摘 要: 为了更全面的发挥尾矿坝在线监测系统的各项功能, 需要给该系统提供各监测指标的预警值。其中浸润线和干滩预警值可以在渗流理论和极限平衡理论的基础上得出, 其计算过程通过 geo-studio2007 的相关模块实现。采用 SEEP/W 模块计算出浸润线, 根据 SIGMA/W 模块计算出原位应力, 在 SLOPE/W 模块中计算出坝体的安全系数, 将计算出的安全系数与标准值对比来判断是否需要预警, 这是一个循环搜索的计算过程。安全系数的标准值通过《尾矿库安全技术规程》(AQ2006-2005) 和《碾压式土石坝设计规范》(SL274-2001) 这两个文件来确定, 各监测指标以三级预警为宜。通过该方法计算出的某五等尾矿坝的浸润线干滩预警值, 目前使用效果良好。

关键词: 尾矿坝; 在线监测; 浸润线; 干滩; geo-studio2007

中图分类号: TV139.1; O359

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0065-04

Calculation of monitoring warning value of tailing dam's seepage line and dry beach

LIN Xuesong^{1a}, CHEN Dianqiang², HE Feng^{1b}

(1. a. College of Science; b. College of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. Liaoning Nonferrous Exploration and Research Institute, Shenyang 110013, China)

Abstract: In order to comprehensively play various functions of online monitoring system of tailing dam, it is necessary to supply warning values of monitoring items of the system. Among all the items, the warning value of seepage line and dry beach can be gotten on basis of seepage theory and limit equilibrium theory and its calculation process can be realized by geo-studio2007's relative modules. The seepage line can be computered in SEEP/W module and the situ stress can be computered in SIGMA/W module, and safety factor be in SLOPE/W module. It can be decided whether to warn by comparing the safety factor with the standard value. This is a calculation process of cycle search. The standard value of safety factor can be extracted from two documents of Safety technical regulations for the tailings pond (AQ2006-2005) and Design code for rolled earth-rock fill dam (SL274-2001). All of the monitoring items is reasonable to use three grades warning. The warning values of seepage line and beach width of a grade five tailing dam were calculated through above the process. The effect of these warning values are good now.

Key words: tailing dam; online monitoring; seepage line; dry beach; geo-studio2007

尾矿坝是金属矿山的重大危险源, 一旦发生溃坝将会给国家和下游人民带来重大损失^[1]。近些年, 我国曾经发生过多起尾矿坝事故, 从以往的统计数据来看, 尾矿坝事故成上升趋势, 这种趋势很不利于社会稳定和经济发展。为加强尾矿坝的管理, 许多地区的尾矿坝安装了在线监测系统^[2-5]。该系统是通过网络通信、传感器和视频图像等现代科技手

段, 自动实时监测与尾矿坝安全运行相关的坝体位移^[6]、浸润线、干滩长度等指标数据, 使安全监督部门能够及时了解尾矿坝的运行状况和安全现状, 提高事故预警和应急响应能力。为了使该系统能够更全面的发挥作用, 需要对所有监测指标建立预警值, 本文主要讨论如何基于 geo-studio2007 软件计算浸润线和干滩距离的预警值。尾矿坝的浸润线被称

为坝体的生命线^[7],如果浸润线超过一定高度,坝体的安全系数会变得很小,此时坝体处于危险状态。同时浸润线的计算又是与干滩长度紧密联系在一起的,因此应将浸润线和干滩放在一起计算。

1 计算模型的建立

模型的建立包括两项工作。①建立计算的几何模型和有限元模型,针对这一点只要将已有的 AutoCAD 格式的截面图导入 geo-studio2007 中,然后利用该软件的建模功能就可以实现。②确定模型的渗透系数。尾矿坝内部材料性质不均匀,造成渗透系数的分布纷繁复杂,精确的给出各个点的渗透系数不现实,也没有必要。本文计算时先将模型分成几个区域并假设在同一区域内渗透系数保持恒定,然后将实验测得的各个区域渗透系数的均值加到模型上作为初值,再加入各种所需边界条件计算出浸润线,如果计算的浸润线与实际测量的浸润线存在明显差异,则需要调整渗透系数的值重新计算,直到计算浸润线与真实浸润线拟合的很好为止,此时整个计算模型即可用来进行新边界条件下浸润线计算。这种方法在工程上被称为拟合法确定渗透系数,该项工作可利用 geo-studio2007 的 SEEP/W 模块来完成^[8]。渗流模型建立以后可以自由导入 geo-studio2007 的其他模块进行相应计算。

2 预警值计算过程和预警类型

整个预警值的计算过程可以大致分成 3 步:①渗流计算,要在 SEEP/W 中计算出浸润线的分布;②将渗流计算的结果导入 SIGMA/W 模块进行原位应力分析^[9];③将前一步的计算结果导入 SLOPE/W 模块得出坝体的安全系数^[10]并决定是否预警。这是一个不断循环的过程,其中会涉及到许多细节,下面就其中一些主要细节加以说明。

2.1 预警值建立的依据

对于尾矿坝来说,它的安全状况主要通过安全系数来判断,因此在实际工作中也通过安全系数的计算结果来寻找预警状况。工程中的安全系数多用极限平衡理论来计算。如果采用极限平衡理论来计算,那么选择预警状态需要做两方面工作,①估计出圆弧滑面的位置;②确定滑面预警时的安全系数。

2.1.1 滑面位置的选取 在计算过程中,滑面的选择是一项重要而又复杂的工作。在选择滑面时主要依据两个方面。①参考以往的计算经验和尾矿坝实地考察结果判断坝体滑面的可能位置。一般来说堆

积到一定高度的尾矿坝很可能在堆积坝上滑动。②对坝体进行原位应力分析,识别坝体不同位置的应力情况。根据土工原理,坝体的张力区通常会形成滑坡的剪入口,而坝体坡脚的压力区会形成剪出口。找到滑面后改变不同的干滩距离和浸润线高度,查看可能滑面的安全系数,从而确定此时是否需要预警。

2.1.2 预警安全系数的确定 对于预警状态的安全系数,应以《尾矿库安全技术规程》(AQ2006 - 2005)和《碾压式土石坝设计规范》(SL274 - 2001)为依据来确定^[11-12]。在这两个文件中指出坝体运行可划分的 3 种状态,即正常运行、非常运行条件 1 和非常运行条件 2,并给出运行条件下的最小安全系数。在计算中应使坝体处于地震状态下,然后以这些运行条件的最小安全系数为分界线建立预警值。只要坝体安全系数稍微低于这些安全系数即开始预警。

2.2 预警级别

监测指标均采用三级预警,分别称为绿色预警,橙色预警和红色预警,其级别由低到高。各种预警值的意义分别阐述如下。

2.2.1 绿色预警 当安全系数稍微小于正常运行条件时坝体进入绿色预警,此时坝体总体来说是安全的,但是此时也应加强对指标的观察,同时注意坝体的运行情况,防止坝体的安全状况下降。

2.2.2 橙色预警 当安全系数稍微小于非常运行条件 1 时进入橙色预警状态,从该指标的角度来讲坝体已经进入警戒阶段。这意味着坝体已经脱离完全安全阶段。建议此时增加对坝体的观察频次,组织相关人员分析指标观察值恶化的原因,同时拿出改善指标值的方案,及时采取措施。

2.2.3 红色预警 当安全系数稍微小于非常运行条件 2 时坝体进入红色预警阶段,此时坝体已经处于危险状态,甚至有溃坝的可能。建议此时以最快的速度采取措施保证坝体的安全。同时观察其他监测指标的变化速度和发生地震的可能性。若有必要还要组织下游居民转移以保证安全。

3 实例计算

以某上游式筑坝的 5 等尾矿库的主坝为例进行计算分析。主坝上共有 3 个监测剖面,每个剖面上安装 3 个浸润线监测点。各个监测剖面共用一个干滩监测装置。每个监测剖面需计算一个干滩预警值和 3 个浸润线监测点上的浸润线预警值。本文以其中一个监测剖面为例进行分析计算。

3.1 模型的建立

首先将 AutoCAD 格式的截面图导入 geo - studio2007 的 SEEP/W 模块中,依据勘察报告将坝体分成 4 个区域,分别是素填土、尾粉砂、碎石、基岩。然后利用拟合法确定各个区域的渗透系数。本次计算中的模型和测量浸润线、计算浸润线见图 1。从图 1 可以看出计算浸润线与测量浸润线拟合的较好,本模型可以用来进行渗流计算。

3.2 浸润线干滩预警值的计算

按照前面叙述的求解过程,搜索到 3 种预警状态分别见图 2、3、4。可以看出在原位应力图中,坝

体的顶部都出现了明显的张力区(即应力值为负),坡脚处压应力梯度都相对比较大,可以识别为压力区,这样坡顶张力区都作为滑面的剪入口区而坡脚作为剪出口区,并且查阅以往的有关计算选择的滑面也大致是这样分布。在 SLOPE/W 中设置剪入口和剪出口的范围后即可找到滑面。

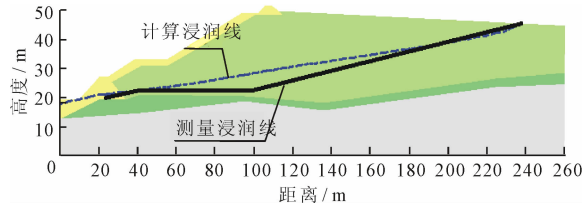


图 1 浸润线对比图

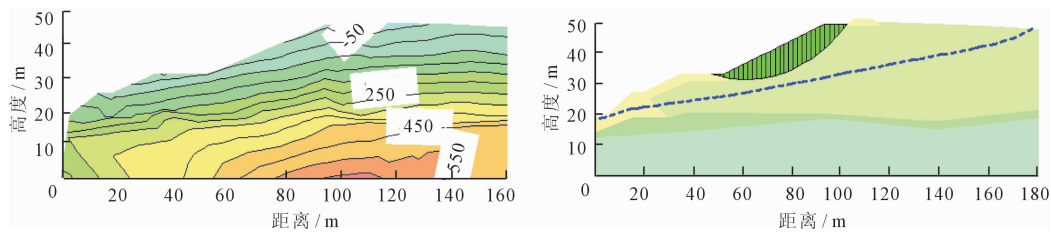


图 2 绿色预警原位应力图和滑面图(应力单位:kPa)

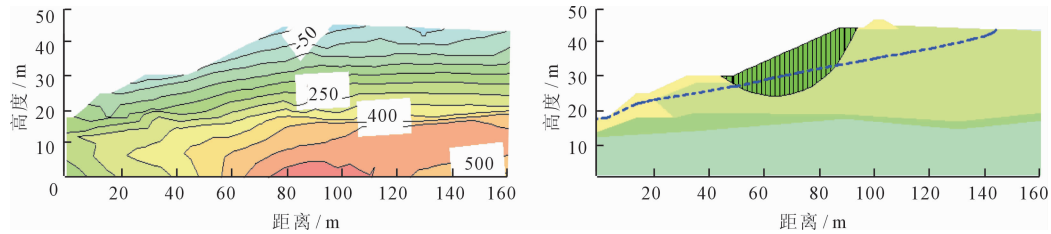


图 3 橙色预警原位应力图和滑面图(应力单位:kPa)

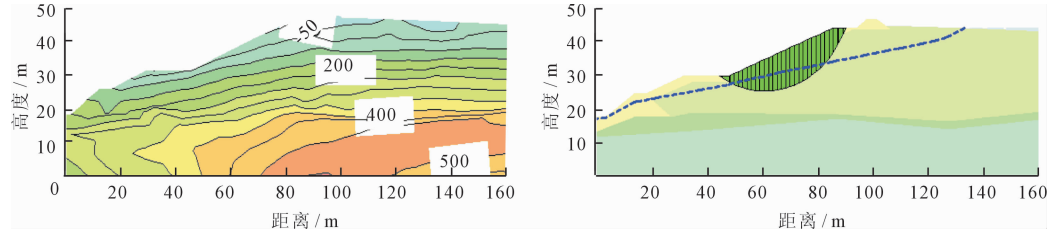


图 4 红色预警原位应力图和滑面图(应力单位:kPa)

以上各图中滑面安全系数结果见表 1。

表 1 各预警状态安全系数		
预警类型	计算方法	安全系数
绿色预警	瑞典圆弧法	1.149
	Bishop 法	1.236
橙色预警	瑞典圆弧法	1.049
	Bishop 法	1.358
红色预警	瑞典圆弧法	0.999
	Bishop 法	1.234

将以上各种预警状态下的浸润线图导入 Auto-CAD2009 中可以分别读出各种状态下的浸润线干滩预警值见表 2。

从 2011 年开始将以上计算的预警值输入尾矿坝在线监测系统中,到目前为止这些数据和实际情况符合的还是比较好的。

浸润线出现的最高预警级别是橙色预警,发生在 J-P-2-3 监测点,当时正值降雨,降雨结束后一天左右的时间,该点预警状态由橙色变为绿色。

表 2 各监测点预警值 m

预警类型	监测指标	监测点	预警值
绿色预警	浸润线	J-P-2-1	14.817
		J-P-2-2	8.1988
		J-P-2-3	4.5074
橙色预警	干滩		65.062
		J-P-2-1	10.457
		J-P-2-2	5.4999
红色预警	浸润线	J-P-2-3	2.5243
			50.000
		J-P-2-1	9.4089
	干滩	J-P-2-2	5.0076
		J-P-2-3	2.1737
			36.256

4 结 语

(1)尾矿坝浸润线和干滩的预警值可以通过 geo-studio2007 的 SEEP/W, SIGMA/W 和 SLOPE/W 模块耦合计算得出,首先在 SEEP/W 模块中完成渗流计算得出浸润线,然后进入 SIGMA/W 模块得出应力分布图,最后在 SLOPE/W 模块中计算出在该浸润线下坝体的安全系数,以此来决定是否需要预警。

(2)预警状态的评判与识别是所有预警工作中最为重要的部分,本文以《尾矿库安全技术规程》(AQ2006 - 2005)和《碾压式土石坝设计规范》(SL274 - 2001)为依据识别预警状态,得出的结果到目前为止还是比较实用的。

(3)在利用极限平衡法进行工程计算时,滑面的选取除了依靠经验之外,考虑了土力学中的应力分布理论,坝体的张力区通常会形成滑坡的剪入口,而坝体坡脚的压力区会形成剪出口。如果确定了剪入口和剪出口的范围,利用 SLOPE/W 模块的滑面搜索功能将能够得到比较符合实际的滑面。

(4)通过分析计算,实例论证,本文的计算法对

于类似工程浸润线和干滩预警值的计算具有一定的推广应用价值。

参考文献:

[1] 刘向峰,孙艳南,缪海滨,等. 洪水入渗尾矿坝边坡渗流稳定性数值分析[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(3): 13 - 16.

[2] 张永明. 矿山尾矿库自动监测技术的应用[J]. 中国矿山工程,2010,39(6): 11 - 14.

[3] 李青石,李庶林,陈际经. 试论尾矿库安全监测的现状 & 前景[J]. 中国地质灾害与防治学报,2011,22(1): 99 - 106.

[4] 李晓新,王吉宇,牛昱光. 基于高密度电阻率法的尾矿坝浸润线监测系统设计[J]. 工矿自动化,2013,39(4): 20 - 23.

[5] 朱陈明,赵力彬. GPS 技术在尾矿库安全监测中的应用[J]. 测绘科学,2013,38(2): 178 - 180.

[6] 王永全,苏 军. 尾矿坝位移在线监测技术及其发展方向[J]. 有色金属(矿山部分),2011,63(5): 4 - 7.

[7] 吕 斌,周东文,孙立伟,等. 铁矿尾矿库在线监测方案浅析[J]. 山东冶金,2010,32(5): 41 - 42.

[8] 加拿大 GEO - SLOPE 国际有限公司. 非饱和土体渗流分析软件 SEEP/W 用户指南[M]. 北京:冶金工业出版社, 2011.

[9] 加拿大 GEO - SLOPE 国际有限公司. 岩土应力变形分析软件 SIGMA/W 用户指南[M]. 北京:冶金工业出版社, 2011.

[10] 加拿大 GEO - SLOPE 国际有限公司. 边坡稳定性分析软件 SLOPE/W 用户指南[M]. 北京:冶金工业出版社, 2011.

[11] 中国有色工程设计研究总院 秦皇岛冶金设计研究总院. AQ 2006 - 2005,尾矿库安全技术规程[S]. 北京:煤炭工业出版社,2005.

[12] 中国水电顾问集团西北勘测设计研究院 武汉大学. SL274 - 2001,碾压式土石坝设计规范[S]. 北京:科学出版社,2001.