

基于改良渗透系数的尾矿库污染物运移模拟

谢学斌¹, 饶宝文¹, 罗海霞¹, 王莎莎¹, 林晓光¹, 刘四进²

1. 中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083
2. 西南交通大学土木工程学院, 成都 610031

摘要 采用 Fredlund 解析关系式描述渗透系数与基质吸力之间的关系, 对渗透系数取值进行函数方式改进, 探讨了渗流条件下重金属运移过程。基于渗流理论建立起尾矿库污染物迁移的二维数值渗流场模型, 应用有限元方法进行运算求解, 将计算得到的渗流场结果作为母模型, 引入溶质迁移子模型进行耦合运算。计算结果表明, 尾矿库服役期间周围土壤中重金属离子污染物的迁移范围不断扩大, 污染物浓度随着迁移距离的增大而逐渐变小。计算显示, 从第 2750 天开始重金属污染物在渗流的作用下开始在土壤边坡中显露, 并对周围环境产生影响, 并得出污染源在渗流条件下的迁移路径。渗透系数经改良之后的计算结果与该尾矿库重金属污染监测情况相符, 在模型误差允许的情况下其计算结果可靠。

关键词 尾矿库; 渗透系数; 重金属; 迁移

中图分类号 TD862

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.27.007

Research on Transport of Tailings Contaminant Based on Improved Permeability Coefficient

XIE Xuebin¹, RAO Baowen¹, LUO Haixia¹, WANG Shasha¹, LIN Xiaoguang¹, LIU Sijin²

1. School of Resource and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China
2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract Fredlund analytic relations function was used to describe the relationship between the coefficient permeability and the matrix suction, through which the permeability coefficient was improved to be a function, and heavy metal migration process under the seepage conditions was explored. A two-dimensional numerical migration model of tailings contaminants was established based on the percolation theory, and the finite element method was used to solve the model. Coupled with the solute transport sub-model, the seepage results were used for calculation as the parent model. The results show that, during the service of the tailings, the migration of heavy metal ion contaminants expands their scope and size in the surrounding soil, the concentration of the contaminants becomes smaller and smaller with the distance of migration increases. The contaminants exposed beyond the slope begins to impact on the surrounding environment when the migration of heavy metal contaminant model is calculated under seepage by 2750 days, and the migration paths of the contaminant are concluded under the seepage conditions. The results calculated by the improved permeability coefficient conform to the environmental monitoring data of the tailings. Under the condition of the allowed model error, the computation results are reliable, which can provide a theoretical basis for the safety management and environmental monitoring of tailings.

Keywords tailings; permeability coefficient; heavy metal; migration

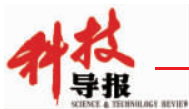
0 引言

尾矿库是矿山企业的重要环保设施, 对防治尾矿流失、加强尾矿水的自然净化及径流调节都有重要的作用。尾矿库

内常年储放采选冶过程中的毒性物质, 其中以重金属污染物为主, 如管理不当则容易引发各种安全环保问题。由于近些年尾矿库安全环保责任事故频发, 尾矿库的污染问题日益得

收稿日期: 2013-03-22; 修回日期: 2013-06-06

作者简介: 谢学斌, 教授, 研究方向为环境岩土工程理论及数值计算, 电子邮箱: xbxie@csu.edu.cn



到重视。尾矿库的重金属含量高,在进入尾矿池、经过尾矿坝和堆放过程中易发生迁移和再分配。目前,在污染运移研究方面,污染物运移机理、污染物运移模拟模型、污染物处理技术等取得了一定的进展^[1-3],这几方面都是近年来学者们研究的热点。陈永贵等^[4]采用一维对流-弥散计算模型,研究了重金属污染物的运移规律。李毅等^[5]运用变单元渗透系数法对非饱和区的渗透系数进行较为严格的理论修正,求解出饱和-非饱和渗流场。鲍瑞雪等^[6]运用传质原理,引入尾矿废水与污染物之间的曳力系数,结合公式推测污染情况和浸润线变化。前期研究中,当涉及模型渗透系数取值时,大部分学者对渗透系数值的设定较为单一或者对尾矿库内堆积的渗透介质进行分层假定渗透系数进行研究^[7],其中包括土壤固结理论-溶质迁移模型耦合研究、对流弥散-溶质吸附-热质迁移模型研究、温度场-地下水迁移耦合研究等。此类研究的局限性表现在尾矿库堆存的尾矿沙并非是一层或几层界限明显的尾矿物质堆积而成,渗透系数值采取连续变化取值较符合实际情况。因此,所假设的渗透系数不能适应随着尾矿的堆积其渗透属性发生改变的情况。可见采用设定一种或者几种渗透系数值进行研究,其渗透系数值衔接性差,不能很好地适应数值软件的仿真计算,造成研究结果与实际结果偏差较大。因此,必须对数值模型的渗透系数取值进行改良,使之更加适应有限元软件的计算要求。

目前,基于污染物定时定量的迁移扩散分析是一种新的研究趋势,具有广阔的发展前景,大型的有限元分析软件正被越来越多地应用于工程中。这种有限元软件一般都具有良好的前后处理功能和强大的计算内核。Geostudio软件模拟地下水污染物迁移,具有强大的有限元计算能力和直观实用性,具有其他大型数值软件所没有的参数处理的优越性。目前该软件在国内运用于尾矿库污染物迁移的计算尚处在探索阶段,本文利用该软件对渗透系数进行解析函数方式的改良,进而对尾矿库污染物迁移进行运算,使之更加接近尾矿库的工程实际情况。

1 基本方程

1.1 渗流方程

19世纪50年代,法国工程师Darcy通过对装在圆筒中的均质砂土进行渗透试验发现达西定律,其表达式为

$$v = -k \frac{\Delta h}{L} = kJ \quad (1)$$

式中, v 为渗流速度, h 为测压管水头, k 为反映土粒结构及流体性质的系数,即渗透系数, J 为渗透坡降。

根据质量守恒定律,引用文献[8]~[10]中公式得渗流连续方程,再将达西定律微分式代入连续方程,即可导出瞬态控制二维渗流基本方程

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2)$$

等式右端项给出土体储水变化率,等式右端项等于0,即稳态

分析。式中, H 为总水头, t 为时间, θ 为含水率, Q 为源汇项, K_x, K_y 分别为 x, y 方向的渗透分量。公式对应的应力是常量,即土体没有加载也没有卸载。假定孔隙空气压力在非稳定流中是常量,因此体积水容量的变化与孔隙水压力变化的关系为

$$\partial \theta = m_w \partial u_w \quad (3)$$

式中, m_w 为土-水关系函数的斜率。

动力总水头表达式为

$$H = \frac{p_w}{\gamma_w} + y \quad (4)$$

式中, p_w 为孔隙水压力; γ_w 为水的容重; y 为高度。

将式(3)和(4)代入式(2),整理得到渗流计算方程

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t} \quad (5)$$

1.2 溶质迁移方程

重金属污染物在土壤中的迁移包括对流和弥散。对流即污染物随着流动水的运动、时间的延长,污染物的浓度逐渐降低,并且以恒定速度运移的过程;弥散即污染物在流动水系统里表现地混合和散布。本次数值模型采用二维的可混合带的对流弥散模型,可根据文献[11]和[12]中的推导得到弥散方程、不可压缩流体质量守恒方程,得到参数之间的关系,结合溶质运移模型耦合如下

$$\frac{\partial^2 H_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_f}{\partial z^2} = \frac{1-E}{\rho_f} \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{n}{k} \frac{1-E}{\rho_f} \frac{\partial c}{\partial t} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - (v_x \frac{\partial c}{\partial x} + v_z \frac{\partial c}{\partial z}) \\ c(x, z) \Big|_{r_i} = c_1(x, z) \\ \frac{\partial c}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, x, y, z 分别为横纵坐标, ρ_f 为密度, n 为孔隙率, H_f 为水头; c 为污染物的浓度; D_L, D_T 分别为纵、横向水动力弥散系数。

1.3 渗透函数理论

Fredlund等^[13]给出了体积含水量与基质吸力之间的解析关系式,其表达式为

$$\theta_w = C(\psi) \frac{\theta_s}{\left\{ \ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right] \right\}^m} \quad (8)$$

$$C(y) = 1 - \frac{\ln(1+y/\gamma_r)}{\ln(1+10^6/\gamma_r)} \quad (9)$$

其中, θ_w 为体积含水量; $C(\psi)$ 为修正函数; γ_r 为残余含水量; θ_s 为饱和体积含水量; e 为常数; y 为自变量; a, m, n 为拟合系数,其中 a 为进气值函数的土性参数。该式适用范围较广,基质吸力在0到数千兆帕之间都可使用。

2 算例分析

2.1 算例概况

以某尾矿库作为工程算例,该尾矿库库容为 $9.78 \times 10^5 \text{m}^3$,至今已累计堆存尾矿 $4.5 \times 10^5 \text{m}^3$ 。尾矿库主要污染物为镉、铜、锌、

铅等重金属离子污染物,该尾矿库所处的工程地质参数如表 1 所示。

表 1 岩土体物理力学参数
Table 1 Physical and mechanical parameters of rock

岩土体	弹性模量/ GPa	泊松比	容重/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	渗透系数/ ($10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
尾砂充填物	0.01	0.37	15.8	33.00
强风化泥岩	0.11	0.35	22.5	1.00
中风化泥岩	1.14	0.30	22.6	0.12
强风化砂岩	0.15	0.35	22.1	2.00
中风化砂岩	1.32	0.30	22.6	0.39
断层带	0.03	0.35	22.0	10.00

由于该地区属丘陵地带,降雨丰沛,自投产以来给尾矿库周围的土壤及村庄造成比较严重的环境问题。尾矿库重金属污染物处于地下渗流状态,重金属污染物的迁移过程十分复杂,部分学者认为尾矿库重金属污染物向周围环境的迁移类似于选矿中的溶浸采矿的逆过程,矿山尾矿环境系统中各种金属元素的迁移都随固体矿物及溶液化学性质不同而变化。其迁移机理并不单一,甚至连同种金属的迁移形式也随时间和空间位置的不同而产生差异,这给尾矿库污染物的检测及防治造成困难。该尾矿库下游为农田,重金属污染物在土壤层地下水的渗流作用下扩散积累至周边河沟及农田。经调查,其 2011 年周边河沟的环保监测数据见表 2。

表 2 2011 年某尾矿库周边河沟环保监测数据
Table 2 Environmental monitoring data of a tailings by 2011 in the surrounding rivers

序号	监测项目	排放标准/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	取样监测 结果/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
1	氰化物	≤ 0.5	0.0092
2	总铜	≤ 0.5	0.0082
3	总锌	≤ 2.0	0.0251
4	总隔	≤ 0.1	0.0002
5	总铅	≤ 1.0	0.0029
6	总砷	≤ 0.5	0.0084

2.2 建立渗流模型

根据该尾矿库地质条件,通过设置相应材料属性、边界条件以及有限单元网格的划分,为重金属离子污染物在土壤中的迁移传输分析建立 SEEP 渗流模型。尾矿库内为尾矿砂堆积而成,模拟标高 11m,尾矿库边界坡角 45° ,尾矿库内重金属污染物池底标高为 10m(图 1),单元选用平面 4 节点矩形单元和 3 节点三角形单元相结合。

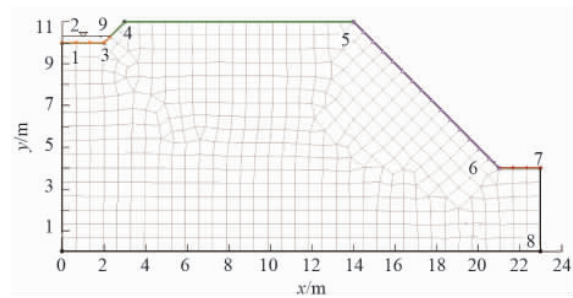


图 1 重金属离子污染物 SEEP 渗流模型

Fig. 1 SEEP model of heavy metal contamination

2.3 渗透系数改良

由于尾矿中的充填物为饱和-非饱和的状况,需要定义合适的渗透系数函数方程反应不同饱和度的变化^[14,15]。本文在定义渗透系数的过程中,通过程序的嵌入函数功能,采用渗透系数方程替代一个或几个渗透系数值,即采用 Fredlund 渗透函数方程定义整个渗透介质的渗透性。该函数表示基质吸力和 x 方向渗透系数的关系,可以用两点式确定,也可以利用绘制实验函数定义保证模拟的准确性^[16,17]。本文采用两点式(表 3)进行定义,其中序号 1 中输入的为最小值,序号 2 中输入的为最大值,软件自动把定义的渗透系数方程默认为类型 1,如果再定义两种以上的渗透系数方程,系统自动将此种渗透系数方程默认为类型 2,依次类推,就可以在随后的材料属性定义中区分开来。

表 3 两点式确定渗透系数

Table 3 Two-point method to determine the permeability coefficient

序号	压力/kPa	渗透率/($10^{-6}\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	0	1.000
2	100	1.000

输入表 1 中相应的岩土体物理力学参数可得基质吸力变化的 x 方向渗透函数曲线,渗透函数值与基质吸力(suction)的关系。在软件函数功能 Fn 选项中调用 Fredlund 函数功能,该软件可根据该尾矿库的岩土体物理力学参数(表 1)对渗透函数值与基质吸力(suction)的关系进行动态拟合调整(图 2)。

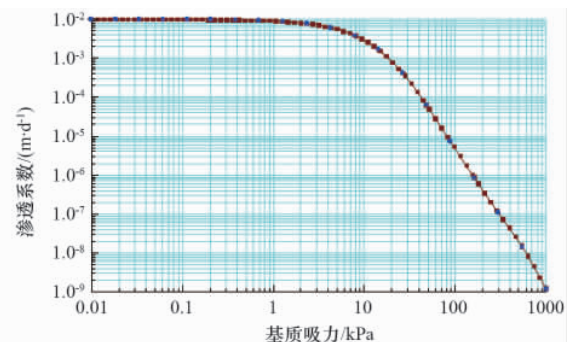


图 2 基质吸力-渗透函数曲线

Fig. 2 Curve of matrix suction-permeability function



水土特征曲线是体积含水量随基质吸力的关系曲线,水力渗透系数是渗透系数随基质吸力的关系曲线。本文先根据岩土体力学参数在 Geostudio 软件数据库中定义水土特征曲线,再定义水力渗透系数曲线选用的函数理论为 Fredlund 理论,在此基础上进行渗透函数的改良,计算过程中程序将自动调用水土特征曲线进行渗流计算。

2.4 模型条件

假定土体处于等温条件、各向同性、小变形及土颗粒和孔隙水不可压缩等理想状态。在 SEEP/W 里面定义材料及渗透系数和空隙水压力关系,建立对流扩散分析并且在 CTRAN/W 模块中添加粒子迁移模型,同时定义纵向扩散性和横向扩散性。如图 1 所示,其中左侧库内底部选取若干控制点(橙色点)为尾矿库重金属污染物污染源,右侧边坡为土坡自然边界。其模型条件如表 4 所示,表中“—”为无边界。

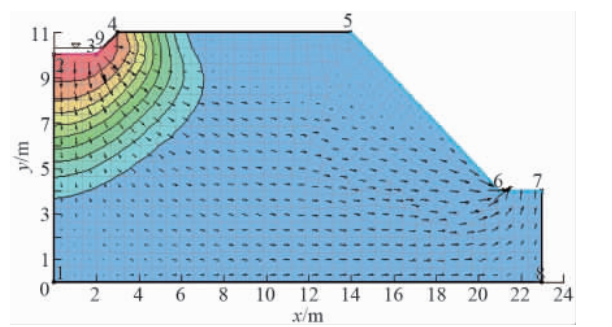
表 4 粒子迁移模型边界条件

Table 4 Boundary conditions of particle migration model

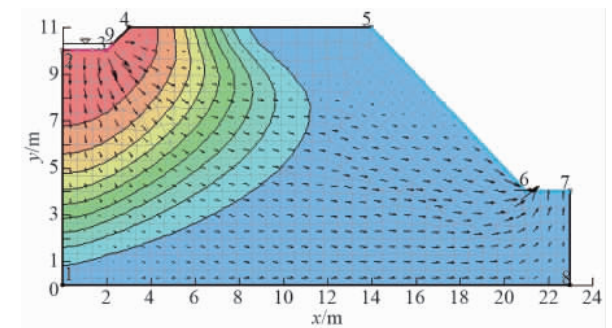
直线	始点	末点	水力边界
直线 1	1	2	—
直线 2	2	3	总水头=11m
直线 3	4	5	—
直线 4	5	6	潜在渗流界面
直线 5	6	7	渗流无压面
直线 6	7	8	—
直线 7	8	1	—
直线 8	3	9	总水头=11m
直线 8	9	4	—

3 求解及结果分析

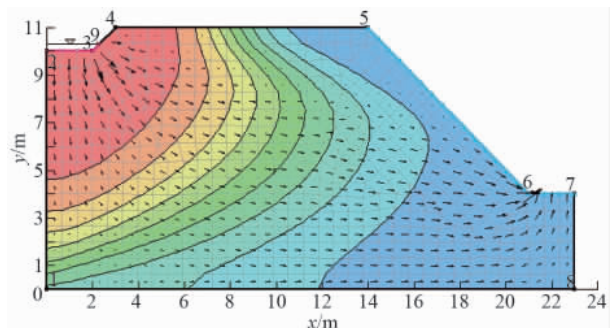
模型的边界条件和参数定义完成后,用上述渗流模型作母模型建立颗粒污染物传输分析子模型,取该尾矿池监测总铜污染物的浓度为 4.41mg/L,设定污染物迁移模型模拟时间起始于 0d,计算步骤分为 55 步,每隔 5 步保存 1 次。在尾矿库底部边界截面上选取 1、2、3、4 点作为重金属污染传输源。经计算得出重金属污染物在渗流条件下进入尾矿库土壤的对流扩散迁移情况,其污染物浓度等势图如图 3 所示。重金属离子污染物是矿区尾矿堆放过程中主要污染物,其扩散范围广、深度大,给土壤污染程度的检测与评估带来巨大不便,因此数值模拟成了提供分析的有力工具。图 3(a)~(d)阴影轮廓的颜色深浅即污染物浓度的大小,尾矿库底部周边颜色最深,表明该处重金属离子污染物的浓度最高,随着横轴向右颜色逐渐变浅,污染物的浓度在地下水等的作用下被稀释,这主要是由于重金属离子污染物在土壤中运移时水动力弥散造成的^[8],污染物在渗流场的作用下总体的扩散方向朝着该尾矿库渗流方向移动,即沿着该尾矿库所在的地形地势出露的边坡处迁移。模拟结果显示,随着时间的推移,重金属污染物在尾矿库土壤中的迁移范围不断扩大,当污染物迁移范围扩大到出露边坡境界时就应该加强对尾矿库重金属污染物泄漏的检测,以防止污染事故的发生与扩散。



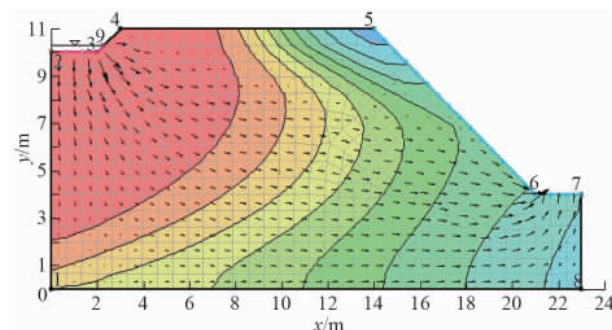
(a) t=250d



(b) t=750d



(c) t=1500d



(d) t=2750d

图 3 模拟重金属污染物在 0~2750d 内的迁移范围
Fig. 3 Migration range of the heavy metal contaminants during 0~2750d simulation

图 4 显示了重金属污染物进入尾矿库土壤中的迁移路径,该计算结果进一步反应出污染物在尾矿库土壤层里的扩散情况。计算得出在第 2750 天时,污染物粒子 4(总铜)从尾

矿池迁移到出露边坡处,其质量浓度为 0.0093mg/L ,即尾矿库重金属污染物在渗流的作用下污染源已经开始在土壤边坡中显露,借此在矿山环保工程中可将尾矿库重金属粒子扩散路径作为依据,选用电渗或注浆等各种环保工程来阻断迁移路径防止污染物的进一步扩散,以达到保护环境的目的。

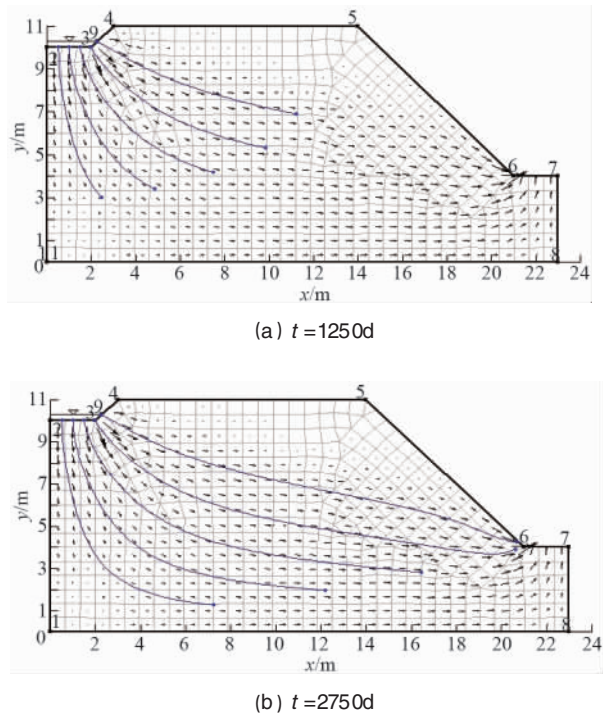


图4 污染物扩散粒子迁移追踪情况(0~2750d)
Fig. 4 Migration tracking of contaminant diffusing particles (0-2750d)

在计算结果中截取尾矿库污染源粒子4在网格节点56号(出路边坡点6号节点)得到迁移时间为 $1.3342 \times 10^3\text{d}$, x 坐标为 10.239m ,总迁移距离为 9.8172m ,迁移的平均速度为 $7.3583 \times 10^{-3}\text{m/d}$,总水头为 4.71m , x 坐标为 6.5m , y 坐标为 6.0m ,液体质量为 0.0041kg ,铜离子的质量浓度为 0.0093mg/L ,其值大于表2中铜离子环保监测数据 0.0082mg/L ,这是由于该模拟是在等温条件、各向同性、小变形及土颗粒和孔隙水不可压缩等理想条件下进行求解的,其结果存在误差。其求解误差为 0.12 ,在模型误差允许范围内,可以接受,结果可信。通过结果分析,在宏观上,可依据污染物扩散图把握重金属离子污染物整体的扩散情况;在微观上,可查看节点和单元的高斯区计算结果值对污染物运移结果作进一步分析^[9],如坐标值,各方向上的速度,浓度,边界流量,水头,压力,各方向上的梯度,水溶度和边界总质量,流体质量,固体质量,各方向上的弥散系数和流体中的质量流量等诸多信息。

通过该软件的仿真计算,污染物扩散的宏观和微观方面的情况都可直观地得到表达,模型计算结果可为该尾矿库环境检测提供依据,以此加强尾矿库污染防治的管理工作。

4 结论

(1) 尾矿库重金属污染物迁移距离和范围随着时间的推移而变大,利用Fredlund理论改良的渗透系数计算得出,第2750天开始尾矿库重金属污染物在渗流的作用下开始在土壤边坡中显露并对周围环境产生影响,与该尾矿库周围土层重金属污染物的监测数据相比,改良渗透系数的模型求解结果在模型误差允许的范围接近库区的环保监测数据,其结论可靠,并得出污染物粒子沿着连续光滑的曲线路径进行迁移的结论。

(2) 通过对尾矿库重金属污染物在土壤中的迁移模拟进行研究,可以预测尾矿库周围土壤中污染浓度变化的趋势,对评价环境影响具有指导意义。

(3) 数值模拟方法为预测和评价尾矿库污染物对地下水及环境的影响提供了有力的工具。通过改良的渗透系数函数模型探讨了尾矿库内重金属污染物的迁移规律,可为矿山企业污染防治的规划、设计、施工、保护矿区环境和后续尾矿库的选址研究以及污染的控制提供决策依据。

参考文献 (References)

- [1] 冯效毅,滕洁,刘春阳,等. 污染物在土壤中运移模型的研究进展[J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(3): 30-34.
Feng Xiaoyi, Teng Jie, Liu Chunyang, et al. Environmental Monitoring Management and Technology, 2006, 18(3): 30-34.
- [2] 陈云敏,叶肖伟,张民强,等. 多场耦合作用下重金属离子在黏土中的迁移性状试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(12): 1371-1375.
Chen Yunmin, Ye Xiaowei, Zhang Minqiang, et al. Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(12): 1371-1375.
- [3] Cui Y J, Delage P, Alzoghbi P. Retention and transport of a hydrocarbon in a silt[J]. Geotechnique, 2003, 53(1): 83-91.
- [4] 陈永贵,邹银生,张可能. 重金属污染物在黏土固化注浆帷幕中的运移规律[J]. 岩土力学, 2007, 28(12): 2583-2588.
Chen Yonggui, Zou Yinsheng, Zhang Keneng. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(12): 2583-2588.
- [5] 李毅,伍嘉,李坤. 基于FLAC3D的饱和-非饱和渗流分析[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 2183-2186.
Li Yi, Wu Jia, Li Kun. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(2): 2183-2186.
- [6] 鲍瑞雪,吴超,龚彬彬. 基于Fluent软件的尾矿坝体渗流污染模拟研究[J]. 工业安全与环保, 2012(1): 26-29.
Bao Ruixue, Wu Chao, Gong Binbin. Industrial Safety and Environmental Protection, 2012(1): 26-29.
- [7] Smith D W. One dimensional contaminant transport through a deforming porous medium: Theory and a solution for a quasi-steady-state problem [J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2000, 24(8): 693-722.
- [8] Arega F, Hayter E. Coupled consolidation and contaminant transport model for simulating migration of contaminants through the sediment and a cap[J]. Applied Mathematical Modelling, 2008, 32(11): 2413-2428.
- [9] 张志红,李涛,赵成刚,等. 考虑土体固结变形的污染物运移模型[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1435-1439.
Zhang Zhihong, Li Tao, Zhao Chenggang, et al. Rock and Soil



- Mechanics, 2008, 29(6): 1435-1439.
- [10] 廖国礼, 吴超, 冯巨恩. 矿坑废水污灌区河流重金属离子污染综合评价实践[J]. 矿冶, 2004(1): 65-68.
Liao Guoli, Wu Chao, Feng Juen. Mining and Metallurgy, 2004(1): 65-68.
- [11] 姜利国, 梁冰. 非饱和-饱和区域中重金属污染物运移数值模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006(9): 74-76.
Jiang Ligu, Liang Bing. Liaoning University of Engineering Science, 2006(9): 74-76.
- [12] 柴军瑞, 李守义, 李康宏. 米箭沟尾矿坝加高方案渗流场数值分析[J]. 岩土力学, 2005(6): 2160-2162.
Chai Junrui, Li Shouyi, Li Kanghong. Rock and Soil Mechanics, 2005(6): 2160-2162.
- [13] Fredlund D G, Xing A. Equations for the soil water characteristic curve [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31(3): 521-532.
- [14] 刘万钟, 周志芳. 基于 GEO-SLOPE 的土石坝应力场-渗流场耦合分析[J]. 勘察科学技术, 2005(2): 26-28.
Liu Wanzhong, Zhou Zhifang. Investigation Science and Technology, 2005(2): 26-28.
- [15] 王峻岭, 杨利乐. 基于 Geostudio 的黄河大堤渗流稳定性分析 [J]. 中国水运, 2008, 8(8): 86-89.
Wang Junling, Yang Lile. Waterway, 2008, 8(8): 86-89.
- [16] 程彬, 卢靖. 基于 GeoStudio 的边坡渗流场与应力场耦合分析 [J]. 山西建筑, 2010, 36(3): 46-48.
Cheng Bin, Lu Jing. Shanxi Building, 2010, 36(3): 46-48.
- [17] 姬永尚, 储春妹. 基于 GeoStudio 的新疆某水库坝基渗流有限元计算 [J]. 中国西部科技, 2011, 10(10): 78-82.
Ji Yongshang, Chu Chunmei. Technology of West China, 2011, 10(10): 78-82.
- [18] 栾茂田, 张金利, 杨庆. 非平衡-非线性吸附情况下填埋场污染物运移分析[J]. 岩土力学, 2004, 10(10): 1855-1858.
Luan Maotian, Zhang Jinli, Yang Qing. Rock and Soil Mechanics, 2004, 10(10): 1855-1858.
- [19] 胡政, 冯志泽, 何钧, 等. 山东省莱州湾地区海水入侵灾害及其综合防治[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(1): 104-108.
Hu Zheng, Feng Zhize, He Jun, et al. Natural Disasters, 1995, 4 (1): 104-108.

(责任编辑 赵业玲)

· 学术动态 ·



第 27 次中国科技论坛聚焦“智能卡芯片安全技术和产业发展”

2013年8月28日,由中国科协主办、中国密码学会承办,主题为“智能卡芯片安全技术和产业发展”的第27次中国科技论坛在北京召开,中国科协党组成员沈爱民、国家密码管理局副局长何良生、工业和信息化部电子信息司司长丁文武出席论坛并致辞,中国科协学会学术部副部长刘兴平主持开幕式。来自智能卡芯片学术界、产业界、检测认证机构等的专家学者100余人参加会议。

本次论坛围绕“发挥自主智能卡芯片的信息保障和应用支撑作用”这一重大战略目标,邀请了包括6位院士在内的30多位产学研方面的专家,从智能卡芯片现状及发展思路、安全技术和应用现状、市场分析、密码检测标准与技术、攻击和防护技术、全球芯片安全技术发展趋势等方面进行了交流。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/15011397.html>。