

文章编号: 1673-193X(2015)-05-0070-08

# 考虑干密度影响的尾矿材料土水特征曲线模型及其应用\*

刘海明<sup>1</sup> 姚美良<sup>1</sup> 曹净<sup>1</sup> 张超<sup>2</sup> 杨春和<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学建筑工程学院, 云南 昆明 650500;

2. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 尾矿坝在运行过程中, 堆积尾矿处于干湿交替环境, 进行稳定性分析需要确定其抗剪强度和渗透系数。直接测量上述参数存在价格昂贵、耗时等缺点, 而土水特征曲线是研究土的非饱和特性的重要工具。针对典型的尾矿材料, 分别进行不同干密度尾矿样的脱水试验, 测量不同吸力下尾矿样的含水量。在此基础上, 整理得到不同干密度下尾矿样的土水特征曲线, 采用 Gardner 模型对其进行拟合, 得到考虑干密度影响的尾矿材料土水特征曲线模型。最后, 将其应用于尾矿边坡的稳定性分析中, 探求基质吸力对边坡稳定性的影响。研究成果可为尾矿材料的力学特性以及非饱和尾矿坝稳定性分析提供理论基础。

**关键词:** 尾矿坝; 干密度; 尾矿; 土水特征曲线; 模型

中图分类号: X936 文献标志码: A doi: 10.11731/j.issn.1673-193x.2015.05.011

## Study on soil-water characteristic curve modeling of tailings material considering the effect of dry density and its application

LIU Hai-ming<sup>1</sup>, YAO Mei-liang<sup>1</sup>, CAO Jing<sup>1</sup>, ZHANG Chao<sup>2</sup>, YANG Chun-he<sup>2</sup>

(1. Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650224, China;

2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan Hubei 430071, China)

**Abstract:** The tailings is at the alternate wetting and drying environment during the process of operation, and it is necessary to obtain the shear strength and permeability coefficient of the unsaturated tailings material for the stability analysis of tailings dams. However, direct measurement of the above parameters are expensive and time-consuming. The SWCC (Soil-water Characteristic Curve) is a very important instrument to study the property of unsaturated soil. Based on a typical tailings material, the dehydration tests of saturated tailings samples under different dry density were conducted. The water contents under different matric suction were accurately measured during the test. On this basis, the SWCC of tailings sample under different dry density was obtained. The measured data was fitted with Gardner model, and a new SWCC model considering the effect of dry density was obtained. Finally, this model was used to analyze the slope stability, and the effect of matric suction on slope stability was researched. The above research results can provide theoretical basis for the mechanical property of tailings and the stability analysis of unsaturated tailings dams.

**Key words:** tailings dams; dry density; tailings; soil-water characteristic curve; model

收稿日期: 2014-06-03

作者简介: 刘海明, 博士。

\* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51234004); 国家自然科学基金青年项目(51304088)

## 0 引言

尾矿坝是一个非常复杂的岩土工程构筑物<sup>[1]</sup>,包括初期坝和堆积坝。尾矿坝是一个处于高势能的泥石流流源,一旦失事,常常损失惨重<sup>[2]</sup>。当向库内排放尾矿后,水会不断地从尾矿浆中流出来,部分渗入先前沉积的尾矿中,增加了堆积尾矿的含水量,部分流入沉淀池。在降雨作用下,降落在尾矿库的雨水将部分渗入尾矿沉积滩,使尾矿含水量增加。在蒸发作用下,水分不断通过蒸发作用返回到大气中,减小了堆积尾矿的含水量。同时,堆积尾矿在自重作用下将不断固结,含水量不断减少。综上所述,在尾矿坝运行过程中,堆积尾矿处于干湿交替环境,在饱和状态和非饱和状态不断转化。

尾矿材料的非饱和力学强度指标是进行非饱和尾矿坝坝坡稳定性分析的基础<sup>[3]</sup>。但是,直接测量非饱和强度指标不仅耗时,常常需要2~3个月,而且价格昂贵,再加上测试过程比较复杂,对测试人员的素质要求高,这些因素极大地限制了非饱和土理论的应用。

土水特征曲线(Soil Water Characteristic,简称SWCC)描述了土中吸力与饱和度之间的关系。在非饱和土力学中,是研究非饱和性质的一种非常重要的工具<sup>[3]</sup>,土水特征曲线可用于估算土的抗剪强度<sup>[4]</sup>、渗透系数<sup>[5]</sup>、扩散系数<sup>[6]</sup>和吸附系数<sup>[7]</sup>等。通过土水特征曲线来估算土的非饱和抗剪强度具有可靠性高、费用低、操作相对简单的特点,且在此基础上发展了许多预测模型。

影响土水特征曲线的因素比较多,如土的矿物成分、孔隙结构、土的应力状态、变形、滞回效应和温度等<sup>[8]</sup>。其中,土的矿物成分和孔隙结构是基本因素,其他因素往往通过这两个基本因素而起作用。为了研究孔隙比或干密度对土水特征曲线的影响,国内外学者针对不同类型的土进行了的试验研究,但对于堆积尾矿鲜有研究。Kawai<sup>[9]</sup>对不同初始孔隙比的粉质粘土进行了试验研究,建立了进气值、孔隙分布指数与孔隙比之间的关系,在此基础上修正了Brooks & Corey方程。Assouline<sup>[10]</sup>研究了土体压密过程中干密度变化对土水特征曲线的影响。王铁行等<sup>[11]</sup>通过测试不同密度和温度黄土扰动土样的

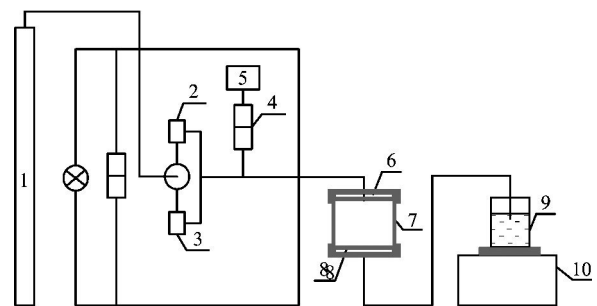
土—水特征曲线,得到了考虑密度和温度影响的土—水特征曲线方程。

为了预测尾矿材料的土水特征曲线,选择典型的尾矿材料,进行不同干密度饱和尾矿样的脱水试验,测定不同吸力下的含水量,获得不同干密度尾矿样的土水特征曲线。试验结果分析表明,土水特征曲线接近于双曲线,因此,采用Gardner模型对其进行曲线拟合,得到考虑干密度影响的土水特征曲线Gardner模型。最后,通过对一尾矿边坡进行稳定性分析,揭示基质吸力对边坡稳定性分析结果的影响。

## 1 试验概况

### 1.1 试验设备

测试系统主要由气源供给系统、控制面板、称量系统、数据采集系统等部分组成(如图1所示),下面分别对其各主要组成部分进行简要介绍。



1 - 高压氮气; 2 - 气压微调器; 3 - 气压调节器;  
4 - 差分传感器; 5 - 大气; 6 - 密封圈; 7 - 装样容器;  
8 - 陶土板; 9 - 盛水杯; 10 - 电子天平

图1 土水特征曲线测试系统

Fig. 1 The testing system of SWCC

1) 气源供给系统由装有高压氮气的氮气瓶、减压阀、调压阀及管线等部分组成。其工作原理是将高压氮气经过减压阀变成低压气体,然后低压气体通过管线输送给调压阀,通过调压阀调整到指定气压输出,对试样施加气压。

2) 控制面板主要包括压力差分传感器、数字显示屏及快速接口。其中,气压力由差分传感器进行测量,并将其测量值在数字显示屏上显示。

3) 称量系统由精密电子天平和盛水杯组成。其中,盛水杯的杯盖上开有一小孔,这样可以有效地

减少盛水杯中水的蒸发,电子天平采用的测量精度为 0.01g。

4) 数据采集系统主要由数据采集器及数据采集软件组成。其中,数据采集可采集基质吸力及天平读数随时间的变化情况,在采集过程中可根据需要设置采集时间间隔。一般在测量土水特征曲线时,可以将时间设置为每分钟采集一次数据。

### 1.2 试验步骤

#### 1) 试样制备

根据试验测得的比重  $G_s$ ,并结合尾矿试样的孔隙率  $n$  或孔隙比  $e$ ,计算装入内径  $d$ 、高度  $l$  的圆柱形装样容器中所需的土样质量  $m$ ,其计算公式如下:

$$m = \frac{(1 + w)\rho_w G_s (1 - n)\pi d^2 l}{4} \quad (1)$$

式中,  $w$  为土样初始含水量;  $\rho_w$  为水的密度,  $g/cm^3$ 。

随后称量所需尾矿样的质量后(多称量 20g 左右),按设计的含水量进行加水,精确测量加入的水;将试样拌制均匀,装入保鲜膜中静置 24h 以上,让水分均匀、充分地浸入到试样中;测量试样的含水量,并按测量的含水量计算所需装样的尾矿样;将制备好的尾矿样分多层装入环刀中,层与层之间刮毛,以避免两层之间由于接触产生软弱面,再用千斤顶压实成样。

#### 2) 试样及陶土板的饱和

试样和陶土板是否饱和关系到试验的成败,因此,试样和陶土板的饱和工作必须认真对待。试样采用抽真空饱和法进行饱和,而高进气值陶土板采用脱气压力水(400kPa 左右)进行饱和。

#### 3) 溢出水蒸发量的测量

由于盛水杯的杯盖上开有一小孔,在长时间的测试过程中水分的蒸发是不可忽略的。因此,必须对各级基质吸力作用下溢出水的蒸发量进行测量和修正。

#### 4) 试验系统的组装

试样饱和完成后应取掉两端的滤纸,迅速称量试样的质量,并将试样放于装样器下盒中的陶土板表面,拔掉快速接口上的接头;再将装样器上盒中的陶土板与试样接触,并将固定装样器的三个螺栓拧紧,然后拔掉上部快速接口上的接头。随后,将装样器上、下盒中的快速接口饱和,将装样器上的各接口

与控制面板上的相应接口连接,完成试验系统的组装。

#### 5) 土水特征曲线的测量

施加一定的气压力,将控制面板的供气接口与装样器侧壁的接口进行连接,此时水会从试样中排出,再调整气压力值,使其等于要施加的气压力值,待达到平衡后(一般为连续 2 个小时天平的读数没有变化),记录此时天平的读数。不断施加下一级气压,每一级气压都使其达到平衡,并记录相应的天平读数。试验结束后,测量试样质量及含水量。

### 1.3 试验方案

堆积尾矿取自江西德兴铜矿四号尾矿坝,该尾矿采用中线法堆积,为亚洲最大的尾矿坝。尾矿堆积的平均干密度为  $1.58g/cm^3$ ,其典型的颗粒级配曲线见图 2 所示。按照文献 [12] 的操作方法对尾矿堆积坝的尾矿材料进行轻型击实试验,得到该尾矿材料的最优含水量为 12%,最大干密度为  $1.93g/cm^3$ 。

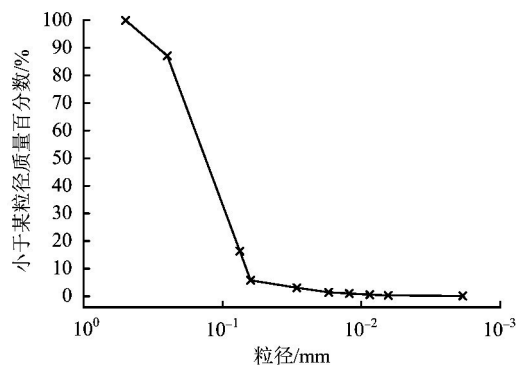


图 2 堆积尾矿的典型颗粒级配曲线

Fig. 2 The grain size distribution curve of stacking tailings

为了考虑干密度对非饱和尾矿的土水特征曲线的影响,取同级配的尾矿样进行 4 组不同密度的脱水试验。各组试样的干密度分别为  $1.84g/cm^3$ 、 $1.69g/cm^3$ 、 $1.58g/cm^3$ 、 $1.50g/cm^3$ ,为了便于比较,每组试样的初始含水量按最优含水量进行制样,按照 1.2 所述步骤测定其土水特征曲线。具体的试验路径和初始状态如下:

- 1) 干密度为  $1.50g/cm^3$  的试样吸力路径 3kPa→10kPa→20kPa→30kPa→40kPa→50kPa;
- 2) 干密度为  $1.58g/cm^3$  的试样吸力路径 3kPa

→10kPa→20kPa→30kPa→40kPa→50kPa→70kPa;

3) 干密度为 1.69g/cm<sup>3</sup> 的试样吸力路径 5kPa →10kPa→20kPa→30kPa→ 50kPa→90kPa;

4) 干密度为 1.84g/cm<sup>3</sup> 的试样吸力路径 5kPa → 10kPa → 30kPa → 50kPa → 80kPa → 120kPa →170kPa。

## 2 试验结果

### 2.1 排水量与时间的关系

为了加快排水速率,陶土板采用高进气值陶土板。图3是干密度为 1.69g/cm<sup>3</sup> 的饱和尾矿样在各级吸力路径下脱水过程中的排水量,由图3可知,对于施加相同大小的吸力,前期的排水量明显高于后期,如在第一级吸力下(吸力差为 5kPa),排出了 5.3g 水,而在第五级吸力作用下(吸力差为 40kPa),试样仅排出了 0.8g 水左右。

在每级吸力的平衡过程中,试验开始时排水速率较快,随着时间增长排水速率不断减小,最终趋于平衡状态。由于试样开始时的饱和度较高,大孔隙中的水首先向外排水,此时,排水速率受土中大孔隙的渗透速率控制,排水速率较快;随着时间的进行,大孔隙中的水被排出,小孔隙中的水在较高的吸力下开始排水,由于小孔隙的渗透速率较慢,排水所需时间加长。

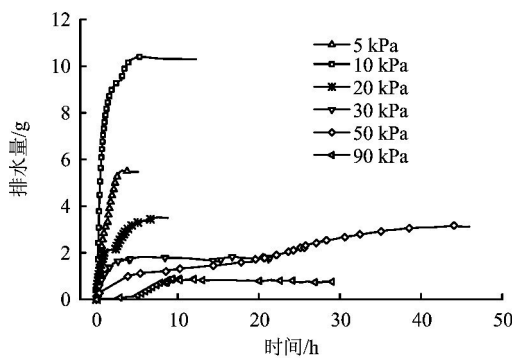


图3 不同吸力下试样的排水量随时间的变化曲线  
Fig.3 The curve between water discharge and time of the samples under different matrix suction

### 2.2 土水特征曲线

测得不同干密度试样在各级吸力下的排水量

后,图4是用含水量表示的土水特征曲线,由图可知,随着吸力的增大,含水量迅速减小,当吸力超过某一值后,含水量的减小速率迅速递减。不同干密度下的含水量变化没有规律,一方面,在相同吸力作用下,虽然干密度大的试样的保水能力强;另一方面,由于干密度大的试样内的孔隙有限,所能容纳的水量有限,其含水量较小。因此,不同干密度下试样的含水量土水特征曲线更趋向于统一。

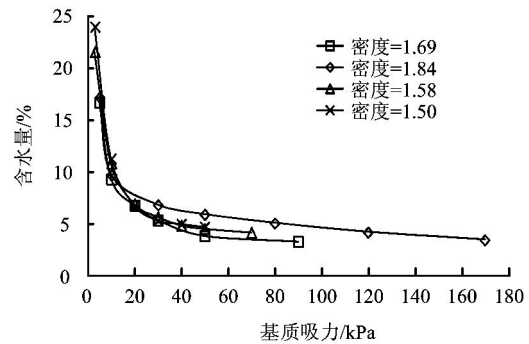


图4 含水量表示的不同干密度的土水特征曲线  
Fig.4 The SWCC of the samples under different dry density used water content

图5是用饱和度表示的土水特征曲线,由图可知,干密度对土水特征曲线的影响很大,与用含水量表示的土水特征曲线不同,用饱和度表示的土水特征曲线差异明显。当饱和度相同时,试样的干密度越大,其基质吸力也越大,这是因为干密度大的试样,其整体孔隙尺寸较小,具有较强的吸水能力。

由图5可知,试样的进气值均小于 5kPa,试样的干密度越大,其进气值也越大。将土水特征曲线外推,可以推测得出:试样的干密度越大,残余饱和度也越大。

## 3 土水特征曲线拟合模型

### 3.1 拟合方法

土水特征曲线源于土壤学,应用于岩土工程已有 60 多年的历史了,在这期间,提出了许多土水特征曲线的模型。按照建模思想的不同,可将这些模型分为四大类:①统计法,代表性的工作如: Hutson & Cass<sup>[13]</sup>。②物理模型与统计结合法, Arya & Par-

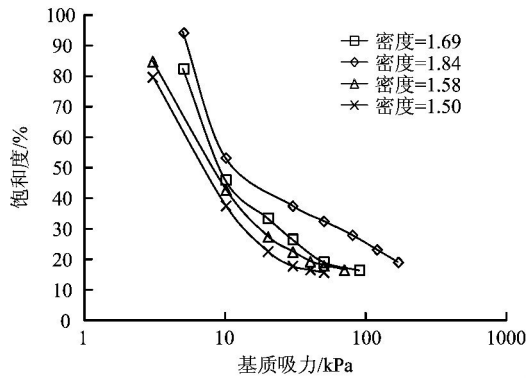


图 5 饱和度表示的不同干密度的土水特征曲线  
Fig. 5 The SWCC of the samples under different dry density used saturation degree

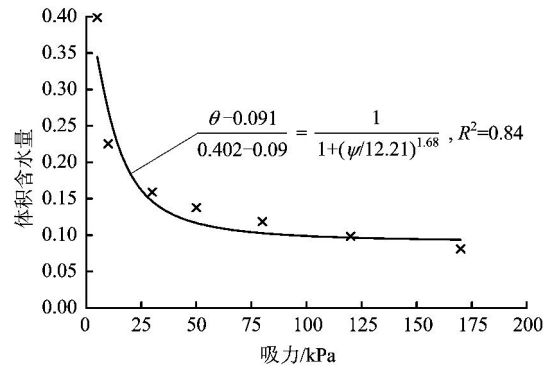


图 6 干密度为 1.84g/cm<sup>3</sup> 的 Gardner 拟合模型  
Fig. 6 The Gardner fitting model of tailings whose dry density is 1.84g/cm<sup>3</sup>

is<sup>[14]</sup>。③物理模型法,代表性的工作如: Simms & Yanful<sup>[15]</sup>。④人工智能方法,代表性的工作如: Johari 等<sup>[16]</sup>。

### 3.2 Gardner 拟合模型

Gardner<sup>[17]</sup>于 1956 提出的模型可广泛适用于多种土,具有参数较少,且各参数都有明确地物理意义。Gardner 模型的方程如下:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\psi}{a}\right)^\kappa} \quad (2)$$

式中,  $\theta$  为体积含水量,  $\theta = n \cdot S$ ;  $n$  为孔隙率;  $S$  为饱和度;  $\theta_r$  为残余体积含水量;  $\theta_s$  为饱和体积含水量;  $\psi$  为基质吸力;  $a$  为与进气值有关的参数;  $\kappa$  为在基质吸力大于进气值之后与土体脱水速率有关的参数。

采用 Gardner 模型对不同干密度下尾矿材料的土水特征曲线进行拟合,拟合结果见图 6~9,由图可知,采用 Gardner 模型拟合效果较好。

通过对 Gardner 拟合模型的分析,可发现  $\theta_s$ 、 $\theta_r$ 、 $a$  与试样的干密度具有很好的线性关系,如式(3)至式(6)所示,而  $\kappa$  与试样干密度无关,因此可通过如下关系式将干密度考虑到 Gardner 模型中去。

$$\theta_s = 0.954 - 0.3 \cdot \rho \quad (3)$$

$$\theta_r = -0.032 + 0.067 \cdot \rho \quad (4)$$

$$a = -19.72 + 17.20 \cdot \rho \quad (5)$$

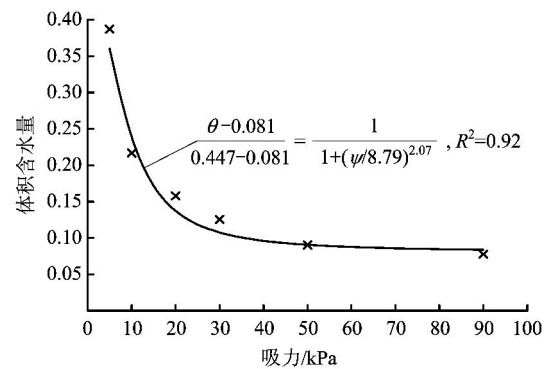


图 7 干密度为 1.69g/cm<sup>3</sup> 的 Gardner 拟合模型  
Fig. 7 The Gardner fitting model of tailings whose dry density is 1.69g/cm<sup>3</sup>

$$m = \frac{1}{4}(1.68 + 2.07 + 1.83 + 1.86) = 1.86 \quad (6)$$

将式(3)至式(6)代入至 Gardner 模型中,得到考虑不同干密度的土水特征曲线模型,称为修正的 Gardner 模型。该模型可适用于铜矿尾矿坝,其尾矿干密度为 1.50~1.84。

$$\frac{\theta - (-0.032 + 0.067 \cdot \rho)}{(0.954 - 0.3 \cdot \rho) - (-0.032 + 0.067 \cdot \rho)} = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\psi}{(-19.72 + 17.20 \cdot \rho)} \right]^{1.86}} \quad (7)$$

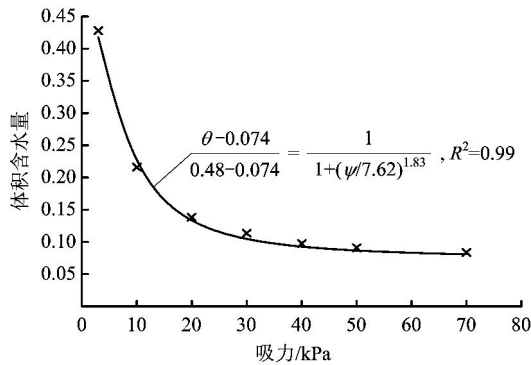


图8 干密度为 1.58g/cm<sup>3</sup> 的 Gardner 拟合模型  
 Fig.8 The Gardner fitting model of tailings whose dry density is 1.58g/cm<sup>3</sup>

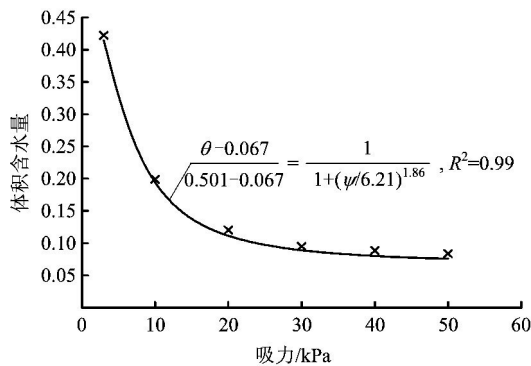


图9 干密度为 1.50g/cm<sup>3</sup> 的 Gardner 拟合模型  
 Fig.9 The Gardner fitting model of tailings whose dry density is 1.50g/cm<sup>3</sup>

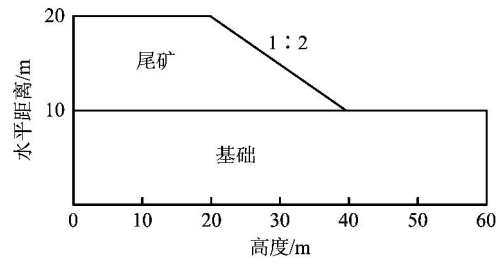


图10 简化的尾矿边坡模型  
 Fig.10 The simplified model of tailings slope

由式(7)得到相应的土水特征曲线模型:

$$\psi = 6.94 \left\{ \frac{0.489 - 0.0719}{(\theta - 0.0719)} - 1 \right\}^{\frac{1}{1.86}} \quad (8)$$

采用两种方法计算不同深度处的抗剪强度,计算结果见图11。对抗剪强度沿深度求得合力,不考虑基质吸力法在10m范围内抗剪强度的合力为484.70kN/m,考虑基质吸力法在10m范围内抗剪强度的合力为498.78kN/m,考虑基质吸力法比不考虑基质吸力法的抗剪强度大,两者相差仅为2.9%。

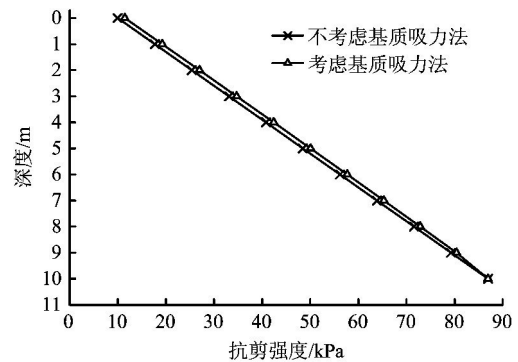


图11 不同计算方法下抗剪强度随深度的变化规律  
 Fig.11 The relationship between shear strength and depth under different calculation methods

## 4 算例

### 4.1 边坡模型

图10为一简化的铜矿尾矿材料组成的边坡,尾矿材料的力学指标如下:有效重度为16.5kN/m<sup>3</sup>,干密度为1.55g/cm<sup>3</sup>,尾矿材料的孔隙率n为0.447,有效应力抗剪强度的粘聚力c'、摩擦角φ'分别为10kPa、25°。基础材料为强风化基岩,认为其具有较高强度,滑动面发生在尾矿材料内,水位线在基础面上,毛细水上升高度为10m,并假设表面的尾矿含水量为10%。

### 4.2 稳定性分析结果

采用 Morgenstern - Price 法计算边坡的稳定性,计算结果见图12~13。由图可知,采用不考虑基质吸力法的安全系数为1.804,而采用考虑基质吸力法的安全系数为1.915,两者相差6.2%。另外两者的滑动面的形状和位置也基本一致。

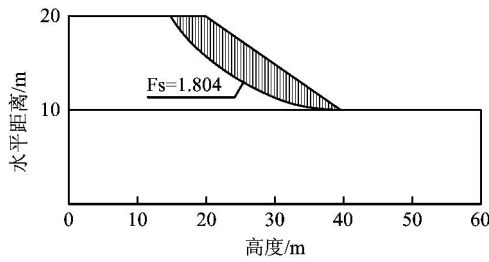


图 12 不考虑基质吸力法的安全系数

Fig. 12 The safety factor of the slope without considering matrix suction

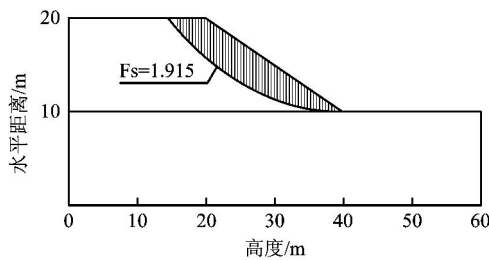


图 13 考虑基质吸力法的安全系数

Fig. 13 The safety factor of the slope considering matrix suction

### 4.3 结果分析

现考虑距地表 3m 处一点内的应力状态,绘制在  $\tau - \sigma$  坐标系上,见图 14 所示。由图可知,虽然不考虑基质吸力法与考虑基质吸力法的抗剪强度指标相差不多,但是由于考虑基质吸力法使摩尔应力圆向右移动,朝着离开极限平衡状态运动,显著地改善了坡体的应力状态,提高了尾矿边坡的稳定性。

## 5 结论

1) 堆积尾矿的土水特征曲线呈双曲线形态,在初始条件下,土体含水率随基质吸力增大降低幅度较快,土体进入快速失水状态。随着基质吸力增大,土样的失水速率不断降低,直至最后达到残余含水率而不再变化。

2) 尾矿试验的干密度越大,其进气值也越大。高初始干密度的试样在饱和度降低过程中脱水速率要低于低密度的试样,同时,试样的干密度越大,残

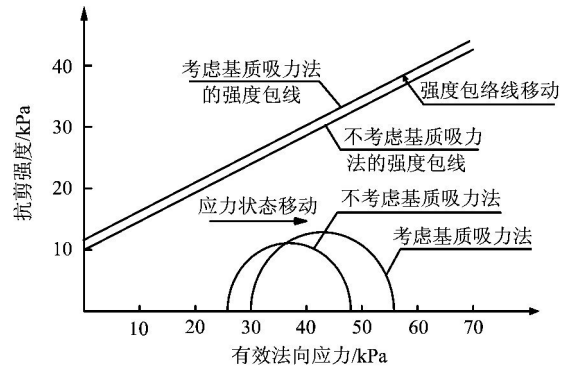


图 14 不同计算方法得到的地表下 3m 处的应力状态

Fig. 14 Stress state of the point which is at 3m by different calculation methods

余饱和度也越大。

3) Gardner 模型的拟合曲线与堆积尾矿的实测土水曲线十分接近,拟合相关性高,修正后的 Gardner 模型可以很好地描述和预测非饱和尾矿材料的土水特征曲线,但本文的尾矿为铜选厂尾矿,对于其他类型的尾矿其适用性需要进一步的研究来确定。

4) 考虑基质吸力贡献法提高边坡稳定性表现在两方面,一是改变应力状态,使摩尔应力圆右移,这是主要作用;二是由于孔隙水压为负,土体产生拉力,从而提高其抗剪强度。

### 参考文献

[1] VICK S G. Planning, design, and analysis of tailings dams [M]. New York: John Wiley and Sons, 1983

[2] 郑欣,秦华礼,许开立. 导致尾矿坝溃坝的因素分析 [J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(1): 51-54  
ZHENG Xin, QIN Hua-li, XU Kai-li. Analysis of the factors inducing the tailing dam falling [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(1): 51-54

[3] Fredlund D G. Unsaturated soil mechanics in engineering practice [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2006, 132(3): 286-321

[4] VANAPALLI S K, FREDLUND D G, PUFAHL D E et al. Model for the prediction of shear strength with respect of soil suction [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(3): 379-392

[5] MUALEM Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media [J]. Water Re-

- sources Research ,1976 ,12( 3) : 513-522
- [6] HUANG S ,BARBOUR S L ,FRELUND D G. Dvelopment and verification of a coefficient of permeability function or a deformable unsaturated soil [J]. Canadian Geotechnical Journal ,1998 ,35( 3) : 411-425
- [7] LIM P C ,BARBOUR S L ,FRELUND D G. The influence of the degree of saturation on the coefficient of aqueous diffusion [J]. Canadian Geotechnical Journal ,1998 ,35( 5) : 811-827
- [8] Lu Ning ,Likos W J( 著) ,韦昌富 ,侯龙 ,简文星( 译) . 非饱和土力学[M]. 北京: 高等教育出版社 ,2012
- [9] KAWAI K ,KATO S ,KARUBE D. The model of water retention curve considering effects of void ratio [C]. Rahardjo H ,Toll D G ,Leong E C. Proceeding of the Asian conference on unsaturated soils [A]. Singapore ,2000 ,329-334
- [10] ASSOULINE S J ,TAVARES-FILHO J ,TESSIER D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling [J]. Soil Science Society of America Journal ,1997 ,61( 2) : 390-398
- [11] 王铁行 ,卢靖 ,岳彩坤. 考虑温度和密度影响的非饱和黄土土一水特征曲线研究 [J]. 岩土力学 ,2008 ,29( 1) : 1-5
- WANG Tie-hang ,LU Jing ,YUE Cai-kun. Soil-water characteristic curve for unsaturated loess considering temperature and density effect [J]. Rock and Soil Mechanics ,2008 ,29( 1) : 1-5
- [12] 中华人民共和国国家标准( GB/T 50123-1999) . 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社 ,1999
- [13] HUTSON J L , and CASS A. A retentivity function for use in soil water simulation models [J]. Soil Science ,1987 ,38( 1) : 105-113
- [14] ARYA L M ,and PARIS J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data [J]. Soil Science Society of America Journal ,1981 ,45( 6) : 1023-1030
- [15] SIMMS P H ,and YANFUL E K. Predicting soil water characteristic curves of compacted plastic from measured pore size distributions [J]. Geotechnique ,2002 ,52( 4) : 269-278
- [16] JOHARI A ,HABIBAGAHI G ,and GHAHRAMANI A. Prediction of soil-water characteristic curve using genetic programming [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ,ASCE ,2006 ,132( 5) : 661-665
- [17] GARDNER W R. Calculation of capillary conductivity from pressure plate outflow data [J]. Soil Science Society of America Journal ,1956 ,20( 3) : 317-320

## 国家安全监管总局修改 《〈生产安全事故报告和调查处理条例〉 罚款处罚暂行规定》等四部规章

为了贯彻落实新修改的《中华人民共和国安全生产法》,国家安全监管总局对《〈生产安全事故报告和调查处理条例〉罚款处罚暂行规定》等四部规章进行了修改( 国家安全生产监督管理总局第77号令)。《〈生产安全事故报告和调查处理条例〉罚款处罚暂行规定》名称修改为《生产安全事故罚款处罚规定( 试行)》;《安全生产违法行为行政处罚办法》内容作出修改 《安全生产监管监察职责和行政执法责任追究的暂行规定》名称修改为《安全生产监管监察职责和行政执法责任追究的规定》;《建设项目安全设施“三同时”监督管理暂行办法》名称修改为《建设项目安全设施“三同时”监督管理办法》。四部规章的有关内容都进行了修改。