

文章编号: 1671-6833(2006)04-0018-04

# 非稳定渗流对水泥土挡土墙稳定性的影响

刘忠玉, 张庆伟

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 通过模拟降水过程中基坑的非稳定渗流场, 分析了降水过程中作用于水泥土挡土墙上的水压力的变化规律, 探讨了非稳定渗流对此类挡墙稳定性的影响. 分析结果表明, 墙四周的水压力都随时间而减小, 而抗倾覆和抗水平滑动抗力分项系数却不断增大, 且明显大于不考虑渗流、二维稳定渗流和一维简化渗流的计算结果. 因此, 在基坑支护设计中应该考虑非稳定渗流的影响.

**关键词:** 非稳定渗流; 水压力; 水泥土; 挡土墙; 稳定性

**中图分类号:** TU 413.6 **文献标识码:** A

## 0 引言

近年来随着深基坑工程规模和基坑深度的不断加大和设计方法的改进, 对基坑支护结构的设计提出了更高的要求. 工程实践表明, 土中水的问题是支护结构设计的难点, 也是关系其稳定的重要因素. 现行设计中多采用不考虑渗流的水土分算或水土合算<sup>[1,3]</sup>, 事实上, 仅当支护结构进入不透水层, 挡墙两侧的孔隙水不产生渗流时, 孔隙水对挡土墙的作用力才可视为静水压力, 多数情况下由于开挖降水等因素的影响, 基坑内外有水头差存在, 渗流的影响是不能忽视的<sup>[1,9]</sup>. 因此, 文献<sup>[5,6]</sup>把地下水渗流简化为一维情况, 推导出了考虑渗流的水压力简化计算公式, 并系统分析了考虑渗流时水泥土挡墙的稳定性. 文献<sup>[3,7~10]</sup>利用流网分析了在基坑周围存在二维稳定渗流时支护结构上水土压力的变化规律和支护结构的稳定性, 并与不考虑渗流时的计算结果相比较, 得出一些实用的结果. 但这些研究大多都基于一维和二维稳定渗流. 事实上, 在基坑降水过程中, 地下水渗流也是非稳定的, 按稳定渗流分析支护结构的稳定性显然不能真实地反映地下水的影响.

作者以水泥土挡土墙为例, 不考虑土体分层和各向异性, 应用有限元软件 Geo-slope 中的 SEEPW 模块, 考虑降水方案和降水过程的影响, 对基坑内外的非稳定渗流进行模拟, 进而分析按

不同降水方案降水的过程中作用于支护结构上的水压力变化, 并据此探讨水泥土挡土墙的抗倾覆和抗水平滑移稳定性的变化规律.

## 1 基本理论

### 1.1 二维非稳定渗流理论

简便起见, 不考虑开挖过程的影响, 假定基坑无限长, 并且沿长度方向土的各种参数不变, 则基坑降水过程中的非稳定渗流可采用饱和一非饱和二维非稳定渗流数学模型进行模拟, 其方程为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{V_w}{V} \quad (2)$$

式中:  $H$  为饱和一非饱和水流总水头;  $\theta$  为土体体积含水率, 用以表示非饱和土的饱和度;  $Q$  为汇源项;  $t$  为降水时间;  $x$  和  $y$  分别为水平向和竖向坐标;  $k$  为饱和一非饱和土的渗透系数, 其中非饱和土的渗透系数可根据文献<sup>[1]</sup>建议的基于土一水特征曲线的方法进行估算.

### 1.2 边界条件处理及模型的建立

考虑对称性, 取基坑一半进行模拟, 计算简图如图 1 所示. 边界条件取为: 水泥土挡土墙底下一定深度处为不透水边界, 水平方向无穷远处为给水边界. 由于水泥挡土墙透水性与土相比可以忽略, 定义其周边为不透水边界. 假定基坑内外初始

收稿日期: 2006-06-20; 修订日期: 2006-09-12

基金项目: 河南省教育厅科技攻关资助项目(2004601068)

作者简介: 刘忠玉(1968-), 男, 河南延津人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事岩土力学方面的教学和科研工作.

水位为天然水位. 开始降水后, 基坑内外水位均降低, 建模时基坑外水位定义为自由边界, 基坑内水位变化按不同降水方案进行, 即假定基坑内水位在  $n$  天内降到设计水位, 并保持水位不变.

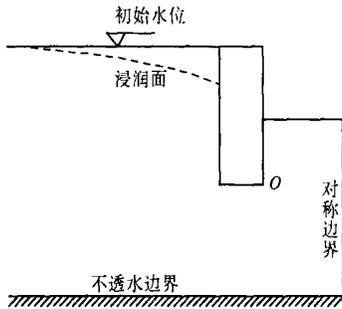


图1 计算简图  
Fig.1 Schematic diagram

1.3 方程的求解

有限元软件Geo slope 中的模块SEEPW 首先对计算区域  $A$  边界  $L$  进行离散, 应用辽辽金法建立有限元渗流方程为

$$\int_A [B]^T [k] [B] dA \{H\} + \int_A \lambda \{N\}^T \{N\} dA \left\{ \frac{\partial H}{\partial t} \right\} = q \int_L \{N\}^T dL \quad (3)$$

式中  $[B]$  为梯度矩阵  $[k]$  为单元渗透系数矩阵;  $\{H\}$  为节点水头向量;  $\{N\}$  为插值函数向量;  $\{N\}^T \{N\} = [m]$  为质量矩阵;  $q$  为边界流量;  $\lambda = m_w \gamma_w$ , 其中,  $m_w$  为土体体积含水率  $\theta$ -孔隙压力  $u$  曲线的斜率,  $\gamma_w$  为水的重度.

其中浸润面根据饱和与非饱和法进行确定. 因为, 土中水的各势之间存在下列关系:

$$\phi = H - \gamma \quad (4)$$

式中:  $\phi$  在饱和区为压力势, 值为正; 在非饱和区为基质势, 值为负. 所以, 首先假定全域饱和, 然后根据求得的  $\phi$  调整渗透系数, 重新进行计算, 直到计算结果达到精度要求, 即可确定渗流场, 进而求出  $\phi=0$  的等势线, 即为浸润面.

1.4 挡土墙稳定性分析

本文对水泥土挡土墙进行稳定性分析时, 作用在墙体周围的压力按考虑渗流的水土分算进行计算, 其中, 挡土墙前后水压力及墙下浮力可由有限元模型直接求得, 挡土墙前后土压力按朗金理论计算. 挡土墙抗倾覆和抗水平滑动稳定抗力分项系数按照《建筑基坑工程技术规范》<sup>[13]</sup> 定义为

$$\chi = \frac{\sum M_p + G \frac{B}{2} - U_w}{\sum M_a + \sum M_w} \quad (5)$$

$$\chi = \frac{E_q + (G - U)\tan \varphi' + c' B}{E_a + E_w} \quad (6)$$

式中:  $M_p, M_a$  分别为被动土压力与主动土压力绕墙前趾  $O$  点的力矩和;  $M_w$  为墙前与墙后水压力对  $O$  点的力矩和;  $G$  为墙身重量;  $U$  和  $U_w$  分别为作用与墙底面上的水浮力及其合力作用点距  $O$  点的距离;  $E_p, E_a$  分别为被动和主动土压力的合力;  $E_w$  为作用于墙前墙后水压力的合力;  $\varphi', c'$  为墙底土的有效应力强度指标.

2 算例分析

某基坑深 5 m, 宽 20 m. 采用水泥土挡土墙, 墙高 10 m, 宽 4.2 m, 场地土层为粉土, 饱和渗透系数  $k = 0.864 \text{ m/d}$ , 对非饱和区, 渗透系数  $k$  与孔隙水压力  $u$  的变化关系及土体体积含水率  $\theta$  与孔隙压力  $u$  曲线分别示于图 2 和图 3, 抗剪强度指标  $\varphi' = 30^\circ, c' = 0$ , 土的重度水位以下为  $18.5 \text{ kN/m}^3$ , 挡墙重度取为  $19 \text{ kN/m}^3$ . 计算范围取为挡墙底向下 20 m, 挡墙外 40 m. 假定降水前水位与地面相平, 坑内水位按如下 3 种降水方案进行模拟:

- ① 基坑内水位 1 天降低 5 m;
  - ② 基坑内水位 5 天降低 5 m;
  - ③ 基坑内水位 10 天降低 5 m.
- 3 种方案以后均继续抽水以保持坑内水位不变.

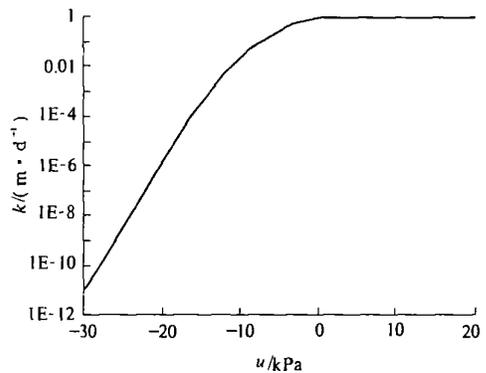


图2 渗透系数与孔隙水压的关系

Fig.2 Relationship between  $k$  and  $u$

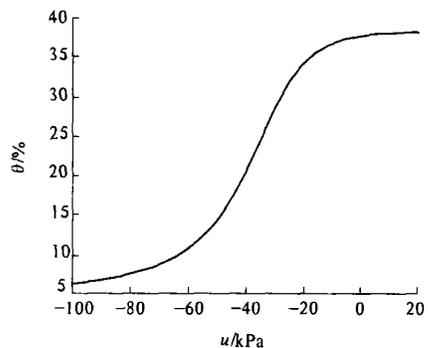


图3 体积含水率与孔隙水压的关系

Fig.3 Relationship  $\theta$  and  $u$

### 2.1 水压力的变化规律

利用有限元软件Geo slope 计算的墙前后水压力  $E_{wp}$ 、 $E_{wa}$  及墙基下浮力的合力  $U$  大小与降水时间  $t$  及降水方案的关系分别示于图 4~6。为便于比较,图中也标出了分别按不考虑渗流、一维简化渗流和二维稳定渗流计算的相应值。

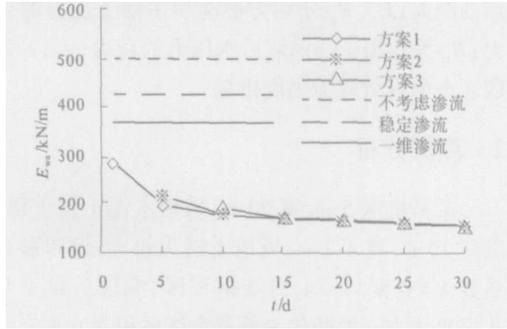


图 4  $E_{wa}$  与时间  $t$  的关系曲线

Fig. 4 Relationship between  $E_{wa}$  and  $t$

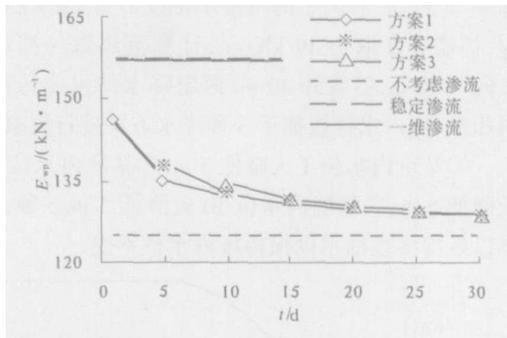


图 5  $E_{wp}$  与时间  $t$  的关系曲线

Fig. 5 Relationship between  $E_{wp}$  and  $t$

从图 4 可以看出,由于基坑降水使得坑外水位不断降低,故墙后水压力  $E_{wa}$  随之不断减小.随着时间的推移,坑外水位趋于稳定,则墙后水压力也逐渐趋于定值.很明显,按静水压力和二维稳定渗流的计算值偏大,按照文献 [5] 的方法考虑一维渗流的计算值较接近按非稳定渗流的计算值,但偏差仍非常大.

图 5 表明,在整个降水过程中,不论降水速度如何,墙前水压力  $E_{wp}$  始终都大于不考虑渗流的静水压力,但明显小于二维稳定渗流和一维渗流的计算值.随着降水过程中坑外水位不断下降,坑内外水头差逐渐减小,墙前水压力逐渐接近不考虑渗流的静水压力.

图 6 表明,墙基下浮力的合力  $U$  与墙前后水压力的变化趋势一致,随时间逐渐变小且趋于定值.数值比较也表明,其他方法的结果均偏大.

另外,从图 4~图 6 中不同降水速度的有关曲线可以看出,降水速度在降水初期对各种计算

值影响较大;随着时间的推移,降水速度的影响将会越来越小.

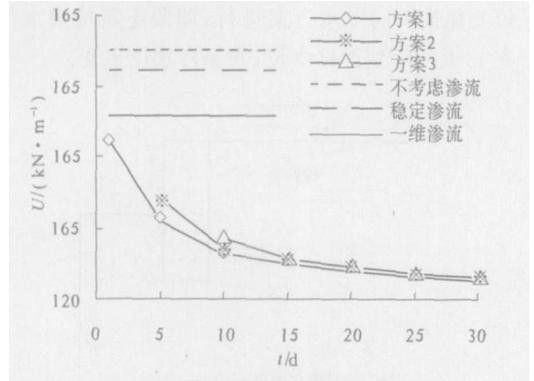


图 6  $U$  与时间  $t$  的关系曲线

Fig. 6 Relationship between  $U$  and  $t$

### 2.2 挡土墙稳定性的变化规律

按式 (5)、(6) 计算的水泥土挡土墙抗倾覆抗力分项系数  $\gamma$  和抗水平滑动抗力分项系数  $\gamma_1$  的变化规律分别示于图 7 和图 8。很明显,降水初期,不同的降水速度对挡土墙抗倾覆和抗水平滑动抗力分项系数的影响较大,随着时间的推移,坑外水位不断降低,降水速度对两种抗力分项系数的影响越来越小.另外,这两种系数都随时间逐渐增大,最后趋于定值,且都明显大于按静水压力、二维稳定渗流以及一维简化渗流的计算值,这说明这些方法计算挡墙的稳定性都过于保守.

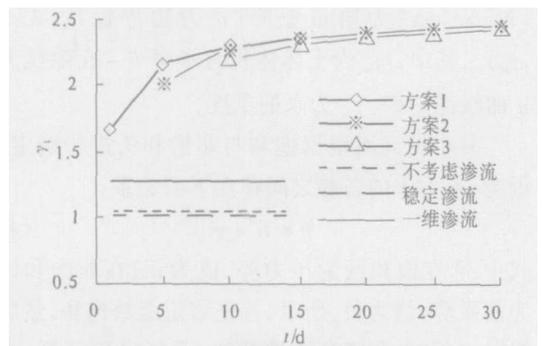


图 7  $\gamma$  与时间  $t$  的关系曲线

Fig. 7 Relationship between  $\gamma$  and  $t$

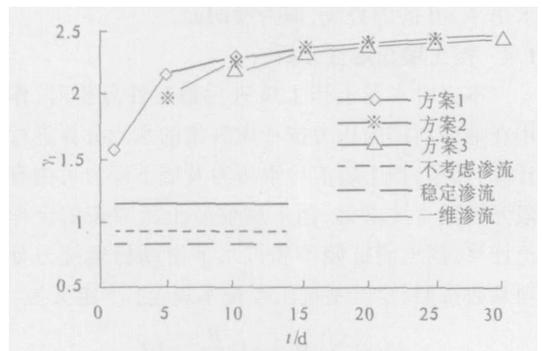


图 8  $\gamma_1$  与时间  $t$  的关系曲线

Fig. 8 Relationship between  $\gamma_1$  and  $t$

### 3 结论

作者通过模拟降水过程中基坑周围的非稳定渗流场,分析了水泥土挡土墙前后水压力和墙基下浮力随时间的变化规律,进而讨论了非稳定渗流对挡土墙抗倾覆、抗水平滑移稳定抗力分项系数的影响程度,并与按静水压力、二维稳定渗流和一维简化渗流的计算结果进行了比较.初步结果表明:墙前后水压力及墙下浮力都随降水的进行逐渐减小,最后趋于稳定,而且均与不考虑渗流、二维稳定渗流和一维简化渗流的计算结果有较大差别.抗力分项系数在整个降水过程中不断增大,且明显大于其它方法的计算结果.因此,在基坑设计中考虑降水历程的影响有很重要的现实意义.

### 参考文献:

- [1] 李广信. 高等土力学[M]. 北京:清华大学出版社, 2004. 195~218.
- [2] 蒋希雁, 梁崇智, 李敏. 土工分析中水土分算与合算的概念、原理及其工程应用探讨[J]. 河北建筑工程学院学报, 2004, 22(2): 40~42.
- [3] 张在明. 地下水与建筑基础工程[M]. 北京:中国建筑

- 筑工业出版社, 2001. 171~189.
- [4] 王洋, 汤连生, 杜赢中. 地下水渗流对基坑支护结构上水土压力的影响分析[J]. 中山大学报(自然科学版), 2003, 42(2): 107~110.
- [5] 刘忠玉, 李永振, 崔国游. 考虑渗流影响的水泥土挡土墙稳定性分析[J]. 河南科学, 2003, 21(5): 520~523.
- [6] 李玉岐, 谢康和. 考虑渗流作用的基坑围护结构稳定性分析[J]. 科学通报, 2005, 21(4): 440~444.
- [7] 刘忠玉, 尚仰宏, 崔国游. 渗流引起的水压力及对水泥土挡土墙的影响[J]. 郑州工业大学学报, 2001, 22(1): 36~39.
- [8] 胡其志. 稳定渗流时基坑支护结构上水土压力的研究[J]. 西部探矿工程, 2003, (8): 36~38.
- [9] 刘早云, 李广信. 考虑渗透力的基坑水土压力计算[J]. 工业建筑, 2002, 32(9): 34~36.
- [10] 郭玉荣, 邹银生, 王贻荪. 基坑开挖整体稳定性分析的孔隙水压力计算[J]. 工业建筑, 1998, 28(9): 12~13, 17.
- [11] GREEN R E, COREY J C. Calculation of hydraulic conductivity: a further evaluation of some predictive methods [J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1971, 35, 3~8.
- [12] YB 9258—97, 建筑基坑工程技术规范[S].

## Influence of Unsteady Seepage on the Stability of Cement-soil Retaining Wall

LIU Zhong-yu, ZHANG Qing-wei

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** The condition of water pressure acting on the cement-soil retaining wall and the influence of unsteady seepage on its stability are discussed by simulating the unsteady seepage field in the process of lowering the ground water level. It is illustrated that, while the water pressure is gradually decreasing with time, the subitem coefficients of resisting its overturn and horizontal slipping are increasing and evidently greater than those by the methods with non-seepage, two-dimensional steady seepage and one-dimensional simplified seepage. Therefore, the influence of unsteady seepage should be taken into account in the design of retaining wall.

**Key words:** unsteady seepage; water pressure; cement-soil; retaining wall; stability