

DOI: 10.11779/CJGE2014S2003

# 考虑不同土压力模式的水泥土重力式围护墙抗倾覆稳定性分析

毛明强<sup>1, 2</sup>, 熊巨华<sup>2</sup>

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092)

**摘要:** 墙前开挖区土压力和墙后土压力模式的确定是水泥土重力式挡土墙抗倾覆稳定性验算的关键, 不同土压力模式下抗倾覆系数曲线形态有一定的差异。根据墙体竖向力的平衡确定抗倾覆验算点位置, 根据墙体的变形特征, 同时考虑由于基坑开挖引起的上覆有效土压力变化引入修正系数  $\alpha$  修正墙前后土压力, 推导了修正土压力模式下墙体的抗倾覆稳定计算公式, 对比分析三种不同土压力模式下  $K_q$  曲线的形态特征及其影响因素, 结果表明墙前后土压力修正模式更能反映实际状态下墙的倾覆失稳形态, 其抗倾覆稳定系数也更加合理。

**关键词:** 土压力模式; 水泥土重力式围护墙; 有效上覆压力; 抗倾覆稳定性

中图分类号: TU43 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2014)S2-0012-06

作者简介: 毛明强(1988-), 男, 研究生, 主要从事复杂地质下嵌岩桩竖向承载力和风险评估等方面的研究。E-mail: 1232671@tongji.edu.cn。

## Anti-overturning stability analysis of cement-soil gravity retaining wall under different earth pressure modes

MAO Ming-qiang<sup>1, 2</sup>, XIONG Ju-hua<sup>2</sup>

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The mode of earth pressures acting on the front wall and behind the wall plays a key role in checking the anti-overturning stability of cement-soil gravity retaining wall after excavation. The curve of anti-overturning safety factor somewhat varies under different earth pressure modes. The turning point can be determined according to the balance of vertical force. In order to consider the characteristics of wall deformation and the change of effective vertical earth pressure, a coefficient is introduced to modify the earth pressure on the wall, meanwhile a formula for calculating the safety factor is proposed under the new mode. Through analysis of the morphological characteristics of the curve and the influencing factor under three different earth pressure modes, the calculated results show that the anti-overturning safety factor is more reasonable, and the modified method can better reveal the real state of wall overturning.

**Key words:** earth pressure modes; cement-soil gravity retaining wall; effective vertical earth pressure; anti-overturning stability

## 0 引言

水泥土重力式围护墙是以水泥系材料为固化剂, 通过搅拌机械采用湿法(喷浆)施工将固化剂和原状土强行搅拌, 形成连续搭接的水泥土柱状加固体挡墙, 由于墙顶最大位移的限制, 水泥土重力式围护墙开挖深度一般控制在 6 m 范围内。由于这种围护结构下部嵌固, 上部悬臂, 设计时必须满足抗倾覆验算要求, 其抗倾覆稳定性不同于传统重力式挡土墙完全依赖自身重力, 随着墙入土深度的增加, 很大程度上依赖于墙前被动土压力的急剧增大, 但是被动土压力的发挥需要比较大的土体位移, 因此墙前土压力模式的选择

和土体参数直接影响水泥土重力式围护墙抗倾覆稳定性验算。

文献[1]指出, 相比于基坑未开挖状态, 基坑开挖使土体由正常固结状态变为超固结状态, 墙前后土体应力路径发生变化, 土体抗剪强度提高, 土体被动土压力产生的抗倾覆力矩增大, 抗倾覆稳定性提高。熊巨华等<sup>[2]</sup>提出在主动侧开挖面下采用矩形土压力分布模式来减小未考虑基坑开挖面下土体残余应力对被动土压力的影响; 孙玉永等<sup>[3]</sup>通过砂土的卸荷试验研究

了土体在卸荷过程中竖向应力和侧压力的变化规律, 并提出了计算砂土和上海第4层淤泥质黏土残余应力公式; 魏纲<sup>[4]</sup>等则认为开挖后土体有效上覆压力是从原地面算起的自重应力与开挖卸载引起的负附加应力的叠加, 并采用超固结指标来计算坑内被动土压力。

通过文献[5]和[6]对比发现, 传统理论方法不考虑抗倾覆验算点的变化而假定在墙趾, 不仅会得到抗倾覆稳定性随墙入土深度增加而减小的不合理结论, 其参数的简单性更容易造成抗倾覆系数偏离实际值; 而经过改进的方法大多集中在对墙后主动土压力的修正, 往往忽略开挖侧被动土压力的位移特性和开挖效应的影响, 过分夸大了地基反力对抗倾覆弯矩的贡献, 在摩擦角比较大的硬土中其地基反力比重力大了好几倍, 竖向力严重不平衡, 抗倾覆系数往往在10以上, 与实际工程不相符。由此可见, 抗倾覆验算点位置的确定和开挖区墙前土压力及墙后土压力模式的确定是分析水泥土重力式挡土墙的关键。因此, 本文分析了不同土压力模式下水泥土重力式围护墙抗倾覆稳定性曲线的特性, 确定了抗倾覆验算点的位置, 推导了墙前后土压力修正模式的抗倾验算公式, 分析了影响挡墙抗倾覆稳定性的主要因素, 提出了水泥土重力式围护墙抗倾覆稳定性的新观点。

## 1 倾覆失稳不同土压力模式的讨论

**土压力模式一:** 墙前被动土压力采用梯形模式, 墙后主动土压力采用三角形模式。

**土压力模式二:** 墙前被动土压力采用梯形模式, 墙后主动土压力采用三角形-矩形模式。

**土压力模式三:** 墙前主动土压力采用梯形修正模式, 墙后主动土压力采用修正折线模式。

图1中 $h$ 为基坑开挖深度,  $h_0$ 为墙入土深度,  $z_0$ 为墙后土体张拉裂缝深度,  $b$ 为墙体宽度,  $x$ 为抗倾覆验算中心与墙趾的距离, 在墙趾右侧为正, 左侧为负,  $W_1$ 为抗倾覆验算中心右侧墙体自重,  $W_2$ 为左侧墙体自重,  $E_a$ 、 $E_p$ 为墙后土体主动土压力合力和墙前土体被动土压力合力,  $T_a$ 、 $T_b$ 为墙后土体摩擦力和墙前土体摩擦力,  $E_1$ 、 $E_2$ 为修正后的墙后土压力合力和墙前土压力合力,  $T_1$ 、 $T_2$ 为修正土压力后的墙后摩擦力和墙前摩擦力,  $P_b$ 、 $T_b$ 为地基土反力合力和墙底摩擦力。

土压力模式一主要是根据经典抗倾覆计算采用的模式, 挡土墙发生倾覆失稳时墙后土压力完全转化为主动土压力, 墙前土压力完全转化为被动土压力<sup>[7]</sup>; 土压力模式二主要是考虑基坑开挖墙前土体残余应力的影响, 不加强被动土压力而削弱主动土压力达到间接增大抗倾覆力矩的目的; 土压力模式三考虑基坑开

挖上覆有效土压力变化加强被动土压力, 同时由于墙后土压力处于静止土压力和主动土压力之间, 墙前土压力处于静止土压力和被动土压力之间, 引入修正系数 $\alpha_0$ 对墙前墙后土压力进行修正<sup>[8]</sup>, 使之尽可能与实际情况相符。不同土压力的分析简图如图1所示, 前两种土压力模式的计算方法已经很明确, 此处不再累述。

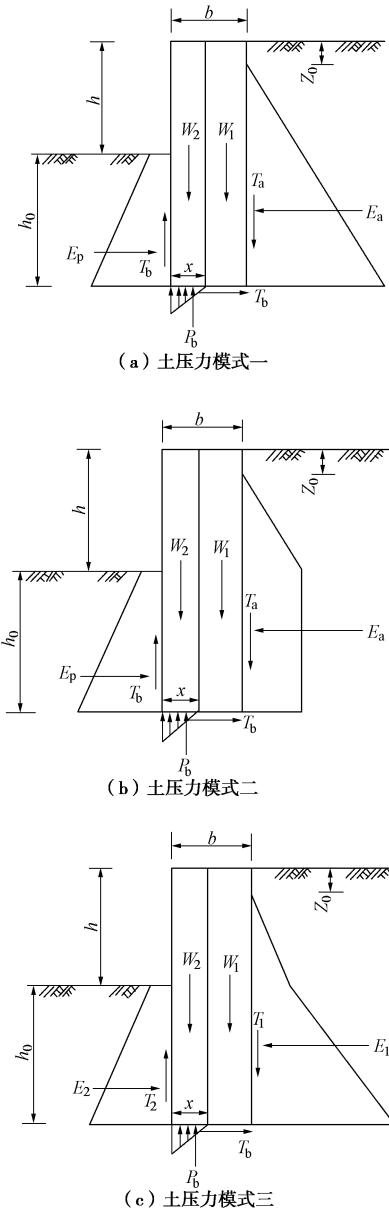


图1 不同土压力模式下的抗倾覆稳定性分析图

Fig. 1 Anti-overturning stability analysis of different earth pressure modes

对于第3种土压力模式, 为了修正开挖面以下墙前后的土压力, 引入修正系数 $\alpha_0=h/(h+h_0)$ ,  $h$ 为基坑开挖深度,  $h_0$ 为墙入土深度。对于墙后土压力开挖面以上土体位移一般能达到主动土压力要求, 计算时采用主动土压力, 对于开挖面以下土体, 由于墙前土体

的约束，其变形沿深度变化越来越小，土压力介于静止土压力和主动土压力之间。墙前土体变形远远达不到被动土压力的变形要求，土压力介于静止土压力和被动土压力之间。但是由于基坑开挖，开挖面下土体由正常固结状态转化为超固结状态，土体有效上覆压力大于以现有地面算起的自重应力小于以原有地面算起的自重应力，有效上覆压力的计算采用魏纲等<sup>[3]</sup>提出的方法：

$$(\sigma_z) = \gamma(h + h_0) - \sigma_q = \gamma(h + h_0) - \alpha\gamma h, \quad (1)$$

其中， $\alpha$  为矩形均布荷载下的应力系数。两者修正后的结果如下：

墙后土压力（墙后底部）

$$p_1 = \alpha_0 [\gamma(h + h_0)K_a - 2c\sqrt{K_a}] + (1 - \alpha_0)K_0\gamma(h + h_0); \quad (2)$$

墙前土压力（墙前底部）

$$p_2 = \alpha_0 [(\sigma_z)'K_p + 2c\sqrt{K_p}] + (1 - \alpha_0)K_0\gamma h_0. \quad (3)$$

当  $\alpha_0$  为 0 时，即  $h=0$ ，基坑处于未开挖状态， $p_1$ 、 $p_2$  表现为静止土压力，符合初始边界状态；当  $\alpha_0$  为 1 时，即  $h_0=0$ ，挡墙转化为重力式挡墙，只存在墙后土压力且完全转化为主动土压力，符合初始边界条件。

假设土压力在各分界点之间线性变化，据此就可以计算墙前土压力合力  $E_1$ 、倾覆力矩  $M_1$  和墙后土压力合力  $E_2$ 、抗倾覆力矩  $M_2$ 。

## 2 土压力模式三下抗倾覆稳定性计算

地基反力分布可假定为三角形分布，由偏心荷载下受压公式

$$P_{\min}^{\max} = \frac{N}{A} \left( 1 \pm \frac{6e}{b} \right). \quad (4)$$

可知，当  $e=b/6$  时，基地压力刚好呈三角形分布，由此可反推当上部荷载合力作用点与地基反力分布长度中点距离为  $x/6$  时，基础有效宽度  $b'=x-2e=x-x/3=2x/3$ ，由魏西克公式得偏心荷载下地基极限承载力：

$$\begin{aligned} p_u &= \frac{1}{2}\gamma(x-2e)N_\gamma d_\gamma + cN_c d_c + qN_q d_q \\ &= \frac{1}{3}\gamma x N_\gamma d_\gamma + cN_c d_c + qN_q d_q. \end{aligned} \quad (5)$$

有效长度上其地基反力为均布地基反力，偏心极限荷载：

$$\begin{aligned} P_b &= p_u b' = \left( \frac{1}{3}\gamma x N_\gamma d_\gamma + cN_c d_c + qN_q d_q \right) \times \frac{2}{3}x \\ &= \frac{2}{9}\gamma x^2 N_\gamma d_\gamma + \frac{2}{3}(cN_c d_c + qN_q d_q)x. \end{aligned} \quad (6)$$

地基反力提供的极限力矩：

$$M_b = P_b \times \frac{2}{3}x = \frac{4}{27}\gamma x^3 N_\gamma d_\gamma + \frac{4}{9}(cN_c d_c + qN_q d_q)x^2. \quad (7)$$

右侧墙体提供的抗倾覆力矩：

$$M_{w1} = W_1 \times \frac{1}{2}(b-x) = \frac{1}{2}\gamma(h+h_0)(b-x)^2; \quad (8)$$

左侧墙体提供得倾覆力矩：

$$M_{w2} = W_2 \times \frac{1}{2}x = \frac{1}{2}\gamma(h+h_0)x^2. \quad (9)$$

由竖向力平衡  $W+T_1=P_b+T_2$ ，未知量  $x$  应满足下列条件：

$$2\gamma N_\gamma d_\gamma x^2 + 6(cN_c d_c + qN_q d_q) - 9(W+T_1-T_2) = 0. \quad (10)$$

由二元一次求根公式得：

$$x = \frac{-3(cN_c d_c + qN_q d_q)}{2\gamma N_\gamma d_\gamma} + \frac{3\sqrt{(cN_c d_c + qN_q d_q)^2 + 2\gamma N_\gamma d_\gamma (W+T_1-T_2)}}{2\gamma N_\gamma d_\gamma}. \quad (11)$$

式中  $\gamma$  为地基土重度， $c$  为土体黏聚力， $q$  为墙前超载压  $h_0$ ， $N_c$ 、 $N_q$ 、 $N_\gamma$  为魏西克承载力系数， $d_c$ 、 $d_q$ 、 $d_\gamma$  为墙体埋深修正系数， $W$  为墙体自重， $T_1$  为墙前土体与墙之间的摩擦力  $T_1=c(h+h_0-z_0)+E_1\tan\varphi$ ， $T_2$  为墙后土体与墙之间的摩擦力  $T_2=ch_0+E_2\tan\varphi$ ， $z_0$  为墙后土体张拉裂隙深度。

根据抗倾覆稳定系数定义（抵抗倾覆力矩与倾覆力矩之比）得：

$$\begin{aligned} K_q &= \frac{W_1 \times \frac{1}{2}(b-x) + T_2 x + T_1(b-x) + M_p + M_u}{M_a + W_2 \times \frac{1}{2}x} \\ &= \frac{\frac{1}{2}\gamma(h+h_0)(b-x)^2 + T_2 x + T_1(b-x) + M_p + M_u}{M_a + \frac{1}{2}\gamma(h+h_0)x^2}. \end{aligned} \quad (12)$$

当采用不同的土压力模式时，将计算得到的参数带入式中即可求得抗倾覆稳定系数  $K_q$ 。

## 3 结果分析

### 3.1 不同土压力模式下抗倾覆验算点位置的变化及影响因素

表 1 和表 2 分别是不同土压力模式下抗倾覆稳定性计算采用的墙体参数和土体参数。

表 1 墙体计算参数

Table 1 Parameters of wall

开挖深度 /m	墙入土深度 /m	墙宽度 /m	墙重度 /(kN·m <sup>3</sup> )
6	7	4	20

通过计算发现 3 种不同土压力模式下抗倾覆验算点位置基本是重合的，这说明在保持地基土内摩擦角不变和竖向力平衡的基础上，不同的土压力模式不会

影响抗倾覆验算点的位置。从图 2 可以看出当内摩擦角在  $10^\circ$  到  $35^\circ$  之间时, 抗倾覆验算点沿着墙底变化, 随着内摩擦角的增大, 抗倾覆验算点以指数衰减形式由墙踵向墙趾快速移动, 当土体内摩擦角较大时即土体比较硬时抗倾覆验算点越靠近墙趾, 我们认为这是合理的, 且与李卫超<sup>[9]</sup>等得出的结论一致。同时图 2 显示随着黏聚力的增大, 抗倾覆验算点近似以直线形式背离墙踵靠向墙趾, 这与内摩擦角的变化是一致的, 即土性越好抗倾覆验算点越靠近墙趾, 在一般情况下都是出现在墙底某一点而不是墙趾或墙踵, 这说明按规范直接假定抗倾覆验算点位于墙趾对于土性较差的土体是不恰当的。

表 2 土体计算参数

Table 2 Parameters of soils

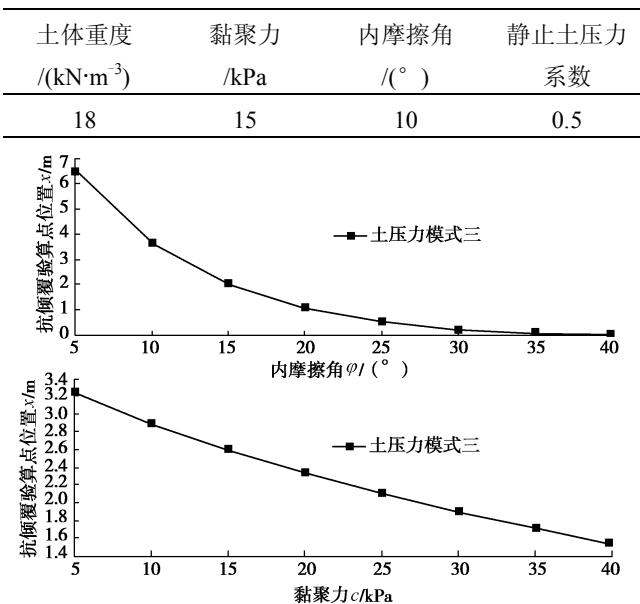
图 2 抗倾覆验算点位置与土体参数  $\varphi$ 、 $c$  的关系

Fig. 2 Relationship between checking point and parameters of soils

从图 3 可以看出随着墙入土深度的增加, 抗倾覆验算点位置以指数形式偏离墙踵并不断向  $b_0/2$  即墙底中心位置逼近, 即使入土深度很深也不会出现在墙趾, 在入土深度很浅的时候在墙踵附近, 一般情况下都在墙体后半段移动。入土深度增加, 此时抗倾覆验算点向前移动, 墙体自重产生的抵抗弯矩增大, 相应的墙体抗倾覆稳定性提高, 墙体不容易失稳。

### 3.2 不同土压力模式下 $K_q$ 曲线的特征及影响因素

从图 4 可以看出, 随着内摩擦角的增大, 抗倾覆系数成指型增加, 在内摩擦角比较大时,  $K_q$  急剧上升, 因此土体的内摩擦角  $\varphi$  是影响  $K_q$  的重要因素, 在实际工程中当土体强度较低时, 通过地基处理不仅可以提高土体强度, 也能较大程度地提高挡土墙的抗倾覆稳定性。当土体  $\varphi$  值小于  $15^\circ$  时, 土压力模式三略

大于前两种模式, 当土体  $\varphi$  值大于  $30^\circ$  时, 土压力模式三比前两种模式更加保守, 其倾覆模式更接近于实际。

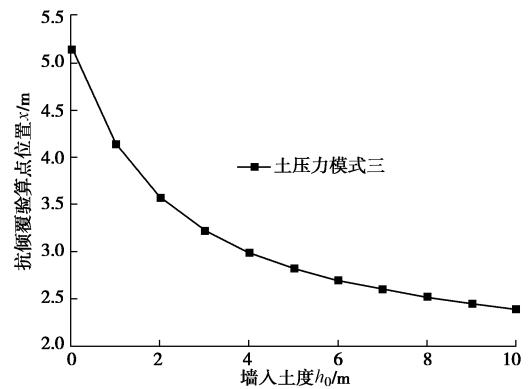
图 3 抗倾覆验算点位置  $x$  与墙入土深度  $h_0$  的关系

Fig. 3 Relationship between checking point and embedded depth of wall

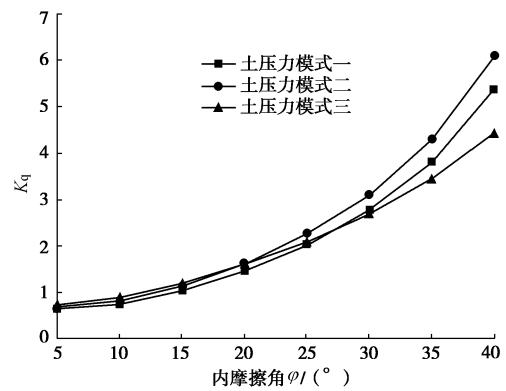
图 4  $K_q$  与土体内摩擦角  $\varphi$  的关系

Fig. 4 Relationship between anti-overturning safety factor and internal angle of soils

从图 5 可以看出, 采用土压力模式二计算土体黏聚力比较大的挡墙稳定性时其增长趋势太大, 主要是由于当墙入土深度较大时,  $c$  值可以明显地增大被动土压力而对主动土压力的影响不大, 过分夸大了被动土压力的作用, 因此采用土压力模式二计算时要注意其适合黏聚力比较小的土体, 从土压力模式一和模式三可以看出  $K_q$  随  $c$  值变化基本线性缓慢增加。由上述分析可知, 内摩擦角对抗倾覆稳定性的影响要比黏聚力大, 这与文献[10]中考虑抗倾覆验算点在开挖面以下墙体内部分析得出的结论是一致的。

从图 6 可以看出,  $K_q$  随着墙入土深度的增加而增大, 但不是无限制的增大, 当墙入土深度大于  $6 m$  (即一倍开挖深度) 时,  $K_q$  基本保持不变。我们将这一深度称为抗倾覆临界深度  $h_z$ 。它与基坑开挖深度有着直接的关系, 当抗倾覆性验算不符合要求时, 墙入土深度达到一倍开挖深度时再增加墙入土深度效果是不明

显的。在采用土压力模式二计算中,当墙入土深度较大时,不考虑被动土压力修正的墙前被动土压力增大的趋势远大于墙后主动土压力增加的趋势,导致  $K_q$  曲线不收敛,超出正常工程预估的范围,因此当墙入土深度较大时,不应采用土压力模式二来验算抗倾覆稳定性。采用土压力模式三计算  $K_q$  具有很好的收敛性且能考虑由于基坑开挖有效上覆压力增加导致稳定性提高,符合现行基坑开挖的抗倾覆验算要求。

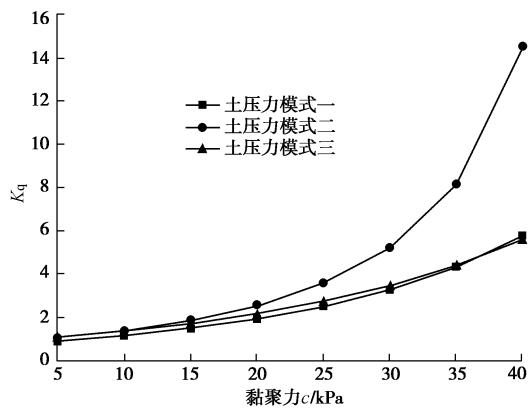


图 5  $K_q$  与土体黏聚力  $c$  的关系

Fig. 5 Relationship between anti-overturning safety factor and cohesion of soils

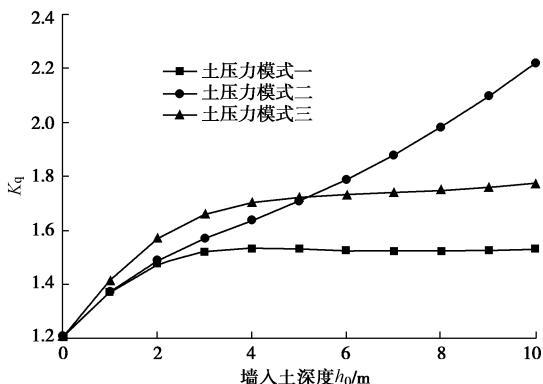


图 6  $K_q$  与墙入土深度  $h_0$  的关系

Fig. 6 Relationship between anti-overturning safety factor and embedded depth of wall

从图 7 可以看出,当墙体宽度为 0 及没有挡土墙时,其抗倾覆系数为 0。随着墙体宽度的增加,3 种土压力模式下都呈现出线性缓慢变化,单纯增加墙体宽度对提高抗倾覆稳定性作用不显著。土压力模式三计算结果位于另两者之间。在实际工程中由于施工区域的限制,增加墙宽度不现实,同时增加墙宽度工程费用也相应增加,在技术满足的条件下可通过增加内支撑平衡墙后土压力或者通过地基处理来提高墙体稳定性。

除了以上因素对水泥土重力式围护墙抗倾覆稳定性的影响外,基坑开挖的规模也是不可忽视的因素,

以往的抗倾覆稳定性验算都不能很好地考虑到这一因素。文献[11]指出基坑开挖的规模越大,墙顶墙体位移越大,抗倾覆稳定性越差。基坑开挖规模比较大,即基坑开挖的长度和宽度比较大,此时深宽比减小,应力系数  $\alpha$  减小,开挖土体卸载引起的负附加应力增大,土体有效上覆压力减小,挡墙抗倾覆稳定性降低。这与众所周知的基坑挖的越大,其墙顶位移越大,其稳定性越差是一致的。这在一定程度建立了土体抗倾覆稳定性与墙顶位移的关系。文献[12]指出在桩顶设置钢筋混凝土冠梁可以有效限制墙顶位移并推导了考虑这种弹性效应的位移计算公式。

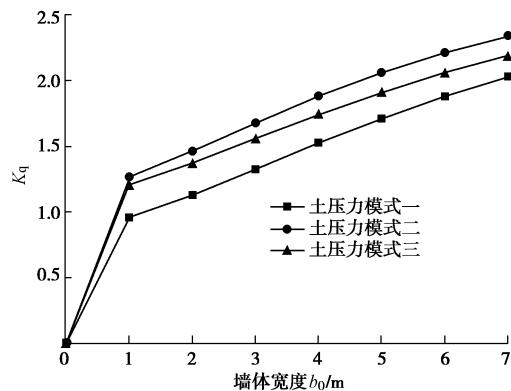


图 7  $K_q$  与墙宽度  $b_0$  的关系

Fig. 7 Relationship between anti-overturning safety factor and width of wall

## 4 结 论

传统抗倾覆稳定性验算不考虑挡墙前后土体应力的实际状态,墙后土压力采用主动土压力,墙前土压力采用被动土压力,或者对主动土压力进行修正建立起来的抗倾覆稳定性存在竖向力的不平衡,夸大了地基反力和被动土压力的抵抗倾覆弯矩。本文根据不同的土压力模式对水泥土重力式挡土墙的抗倾覆稳定性进行分析,得出以下结论:

(1) 在保持地基土内摩擦角  $\varphi$  不变和竖向力平衡的基础上,不同的土压力模式不会影响抗倾覆验算点的位置。对于一般性黏性土其抗倾覆验算点出现在基底某一位置,而不是只在墙趾或者墙踵。

(2) 抗倾覆验算系数  $K_q$  随着土体内摩擦角  $\varphi$  的增大呈指数型增加,随着黏聚力  $c$  的增大呈线性增加,内摩擦角的影响更加明显,在技术允许的情况下进行地基处理提高土体参数可以增大抗倾覆稳定性。

(3) 存在一个抗倾覆临界深度  $h_z$ ,超过这个深度后,继续增加墙入土深度不能提高抗倾覆稳定性,一般情况下临界深度为一倍开挖深度。

(4) 通过 3 种不同土压力模式下抗倾覆稳定性的

对比分析, 土压力模式三采用的对土压力的修正更加接近实际, 不仅可以考虑到由于基坑开挖有效上覆压力的增大引起抗倾覆稳定性的增加, 还考虑了挡土墙在实际变形中的土压力分布形态。

### 参考文献:

- [1] 蔡建, 周健. 土的卸载抗剪强度[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(5): 606 - 610. (CAI Jian, ZHOU Jian. Unloading shear strength of soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(5):606 - 610. (in Chinese))
- [2] 熊巨华, 杨敏. 水泥土桩墙挡土结构抗倾覆稳定性验算讨论[J]. 工业建筑, 1998, 28(5):1 - 4. (XIONG Ju-hua, YANG Min. Discussion on the calculation of safety factor of anti-overturn for deep-mixing-column retaining wall[J]. Industrial Construction, 1998, 28(5):1 - 4. (in Chinese))
- [3] 孙玉永, 周顺华, 庄丽. 考虑残余应力的基坑被动区土压力及强度计算[J]. 土木工程学报, 2011, 44(7): 94 - 99. (SUN Yu-yong, ZHOU Shun-hua, ZHUANG Li. Calculation of passive earth pressure and shear strength in foundation pits considering residual stress[J]. China Civil Engineering Journal, 2011, 44(7): 94 - 99. (in Chinese))
- [4] 魏纲, 郑金涛. 考虑开挖效应的基坑被动土压力计算[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增刊 1): 1493 - 1496. (WEI Gang, ZHENG Jin-tao. Calculated method of passive earth pressure in deep pit engineering considering excavation effect[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(S1): 1493 - 1496. (in Chinese))
- [5] 李卫超, 熊巨华, 杨敏. 分层土中水泥土围护结构抗倾覆验算方法的改进[J]. 岩土力学, 2011, 32(8): 2435 - 2440. (LI Wei-chao, XIONG Ju-hua, YANG Min. Improve method for calculating anti-overturning safety factor of cement-soil retaining wall in layered soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(8):2435 - 2440. (in Chinese))
- [6] 熊巨华, 杨敏. 水泥土桩墙支挡结构抗倾覆稳定性验算新方法[J]. 工程勘察, 1998(3): 1 - 4. (XIONG Ju-hua, YANG Min. New checking technique for capsizing resisting and stability of bracing structure with soil cement pile wall[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1998(3): 1 - 4. (in Chinese))
- [7] 魏汝龙. 基坑开挖与墙前土压力计算[J]. 地基处理, 1996, 7(2): 61 - 62. (WEI Ru-long. Deep excavation and soil pressure calculation before wall[J]. Ground Treatment, 1996, 7(2): 61 - 62. (in Chinese))
- [8] 崔国游, 刘忠玉. 水泥土挡土墙抗倾覆稳定性分析[J]. 河南科学, 2003, 21(5): 540 - 542. (CUI Guo-you, LIU Zhong-yu. Analysis of overturning stability of cement-soil retaining wall[J]. Henan Science, 2003, 21(5): 540 - 542. (in Chinese))
- [9] 李卫超, 熊巨华, 杨敏. 水泥土围护结构抗倾覆验算转点位置探讨[J]. 低温建筑技术, 2010, 32(2): 28 - 30. (LI Wei-chao, XIONG Ju-hua, YANG Min. Discussion on the turning point location of the cement-soil retaining wall during the anti-overturn safety factor calculation[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2010, 32(2): 28 - 30. (in Chinese))
- [10] 李卫超, 熊巨华, 周明琪, 等. 水泥土围护结构抗倾覆稳定性验算方法的改进[J]. 结构工程师, 2010, 26(1): 87 - 90. (LI Wei-chao, XIONG Ju-hua, ZHOU Ming-qi, et al. Improved method to calculate anti-overturn safety factor of cement-soil retaining wall[J]. Structure Engineers, 2010, 26(1): 87 - 90. (in Chinese))
- [11] 熊巨华, 杨敏, 冯又全. 上海市搅拌桩挡墙的稳定和位移分析及设计建议[J]. 上海地质, 1998(1): 46 - 50. (XIONG Ju-hua, YANG Min, FENG You-quan. Analysis on displacement and stability of DMP retaining wall and design suggestions in Shanghai City[J]. Shanghai Geology, 1998(1): 46 - 50. (in Chinese))
- [12] 熊巨华, 裴健勇, 杨敏. 考虑桩顶冠梁效应的水泥土挡墙变形计算方法[J]. 岩土力学, 1999, 20(1): 84 - 86. (XIONG Ju-hua, PEI Jian-yong, YANG Min. Method for calculating deformation of DMP retaining wall considering effect of beam at the top[J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, 20(1): 84 - 86. (in Chinese))

(本文责编 明经平)