

基坑悬臂式拱形围护结构性状

Behavior of arched cantilever retaining structures in foundation pits

张仪萍, 张土乔

(浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对悬臂式拱形围护结构的性状作了较系统的分析, 考虑了插入深度、坑底土质、拱形状、拱壁刚度等因素对悬臂式拱形围护结构性状的影响, 详细分析了各因素对悬臂式拱形围护结构性状的影响规律, 这些规律对悬臂式拱形围护结构的设计与应用具有重要的参考价值。

关键词: 悬臂式拱形围护结构; 性状分析; 影响因素

中图分类号: TU 472

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2001)05-0614-04

作者简介: 张仪萍, 男, 1973年生, 2000年于浙江大学获岩土工程专业博士学位, 现在浙江大学市政工程研究所从事市政基础工程、软基处理、岩土工程监测等的教学与科研工作。

ZHANG Yi-ping, ZHANG Tu-qiao

(College of Civil Engineering and Architecture of Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The behavior of arch cantilever retaining structure is analyzed. The influence factors include the embedded depth, the character of soil under the bottom of excavation, the shape of arch, the stiffness of buttress, and so on. The influence of these factors, which are important to guide the design and application of arch cantilever retaining structure, are illuminated in detail in this paper.

Key words: cantilever arch retaining structure; behavior analysis; influence factors

1 引言^y

拱形围护结构(见图1)是近年来才开始应用的一种新型围护结构形式^[1], 它具有挡土止水效果好、受力合理、结构变形小、成本低等优点。目前这种围护结构已有多种设计计算方法^[2], 文献^[3]将拱形围护结构划分成一系列的水平拱和垂直梁, 根据拱坝分析中拱梁法的原理来分析拱形围护结构。计算时根据反力参数法(拱梁法的一种)的思想, 以拱座反力为未知量, 以梁为计算单位, 将每根梁处的拱内力、变形和拱荷载表示成反力的线性函数, 计算每根梁处的拱内力、变形和拱荷载时都利用前一根梁的计算结果(即已将前一根梁的拱内力、变形和拱荷载表示成反力的线性函数), 并利用拱梁变形一致条件, 这样也可将该梁处的拱内力、变形和拱荷载表示成反力的线性函数, 逐步由拱座向中间计算, 最后在拱冠梁上建立左右侧拱变形一致、拱梁变形一致和内力平衡方程, 解出反力, 然后将反力回代就可计算出拱内力、变形和拱荷载, 进而可计算梁内力、拱壁应力等。计算时考虑到基坑围护结构自身的特点, 梁的计算采用围护结构设计中常用的弹性抗力法计算。通过将弹性抗力法与拱梁法有机地结合, 把拱梁法改造成拱形围护结构内力变形计算的一种新方法。工程实例计算表明^[4], 该方法能较有效地分析拱形围护结构。

文献^[5]曾采用这种方法针对单支撑拱形围护结构的性状作了研究, 本文则针对悬臂式拱形围护结构

的性状进行了较系统的分析。分析中, 考虑了插入深度、坑底土质、拱形状、拱壁刚度等因素的影响, 这些分析为悬臂式拱形围护结构更好地应用于工程实际提供了有参考价值的依据。

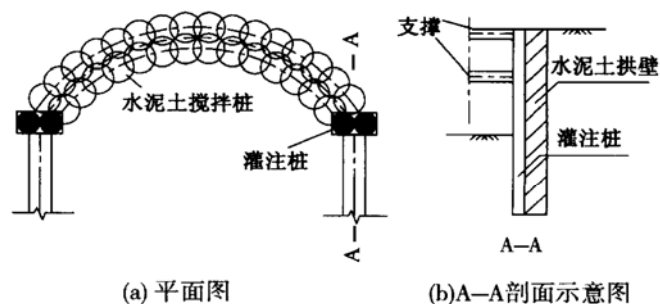


图1 水泥土拱形围护结构示意图
Fig. 1 Arched soil-cement retaining structure

2 算例基本参数

悬臂式拱形围护结构基本参数如下: 基坑宽20 m, 长50 m, 开挖深度6.0 m。围护结构采用三排水泥土搅拌桩, 平面排列成圆弧形, 圆弧半径3.0 m, 单拱跨度(弦长)4.5 m, 桩径 $\phi 500$, 桩长12.0 m, 桩与桩搭接150 mm。拱脚处设2根 $\phi 600$ 的钻孔灌注桩。均质土层, 土的强度指标 $c_{cu} = 10$ kPa, $\varphi_{cu} = 10^\circ$, 重度 $\gamma = 17.0$ kN/m³, 采用被动区加固, 取地基抗力系数的比例

^y 基金项目: 浙江省城乡建设厅资助项目
收稿日期: 2000-10-26

系数 $m = 4000 \text{ kN/m}^4$ 。计算时取拱壁厚度 1.2 m , 拱壁材料弹性模量 $1.20 \times 10^5 \text{ kPa}$, 拱脚桩弹性模量 $2.55 \times 10^7 \text{ kPa}$, 墙后超载 30 kPa 。墙后土压力沿深度分布假定在开挖面以上为朗肯主动土压力, 在开挖面以下为定值, 等于开挖面处的土压力值^[6]。

与常用直线型围护结构作比较, 同时计算一悬臂式单排桩围护结构, 用于比较同一影响因素对两种不同形式围护结构的影响规律。单排围护结构采用 $\phi 800$ 的钻孔灌注桩, 桩长 12.0 m , 桩中心间距 1.0 m , 土质条件等与拱形围护结构相同。计算方法采用弹性抗力法中的“ m ”法。

3 悬臂式拱形围护结构性状

3.1 插入深度的影响

图 2(a), (b) 分别为不同插入深度下拱形围护结构拱冠处和单排桩的变形曲线。从图中可以看出, 两种围护结构的最大变形都发生在桩顶, 插入深度对单排桩围护结构影响较大, 对拱形围护结构影响却很小。在插入深度较小时(如 4 m) 单排桩桩顶位移很大, 最大变形接近 60 cm , 是不能完成围护功能的, 而对拱形围护结构无论插入深度大小如何, 其变形相差不大。

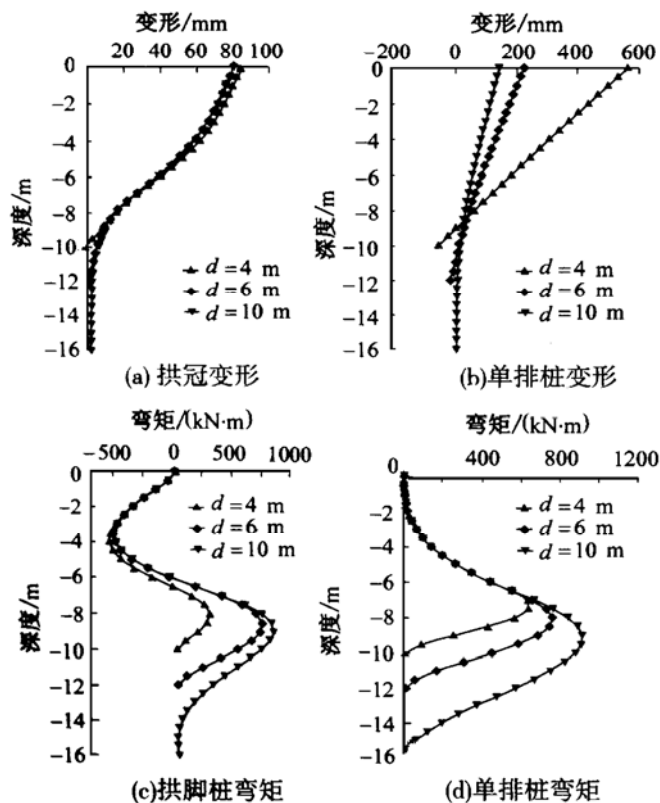


图 2 不同插入深度下的变形和弯矩

Fig. 2 Deformation and moment with different embedded depth

图 2(c), (d) 分别为拱脚桩和单排桩弯矩图。比较这两张图可知, 同是悬臂式结构, 拱形围护结构拱脚桩的弯矩分布规律与单排桩完全不同, 拱脚桩弯矩分

布存在一个反弯点, 而单排桩却没有, 说明拱脚桩和单排桩的各自受力机理完全不同。拱脚桩弯矩反弯点的存在有效地减小了桩身最大弯矩, 使拱脚桩受力处于合理状态。插入深度对开挖面以下的桩身弯矩分布有一定影响, 插入深度越大弯矩越大, 对于拱形围护结构当插入深度较小时最大弯矩发生在开挖面以上, 插入深度较大时最大弯矩与悬臂式单排桩一样, 发生在开挖面以下。

图 3 是最大变形和最大弯矩随插入深度的变化关系。图 3(a) 表示悬臂式拱形围护结构, 从图可知, 插入深度对变形影响很小, 最大变形随插入深度增大首先略有减小, 最后趋于稳定。开挖面以上的最大弯矩随插入深度增大首先略有减小, 最后趋于稳定, 而开挖面以下的最大弯矩随插入深度增大而增大, 最后也趋于稳定。图 3(b) 表示悬臂式单排桩围护结构, 对悬臂式单排桩围护结构而言, 最大变形随插入深度增大而减小, 而且首先减小的幅度很大, 最后也趋于稳定, 同时可以看到插入深度不宜小于 1 倍开挖深度, 否则变形太大, 最大弯矩随插入深度增大而增大。

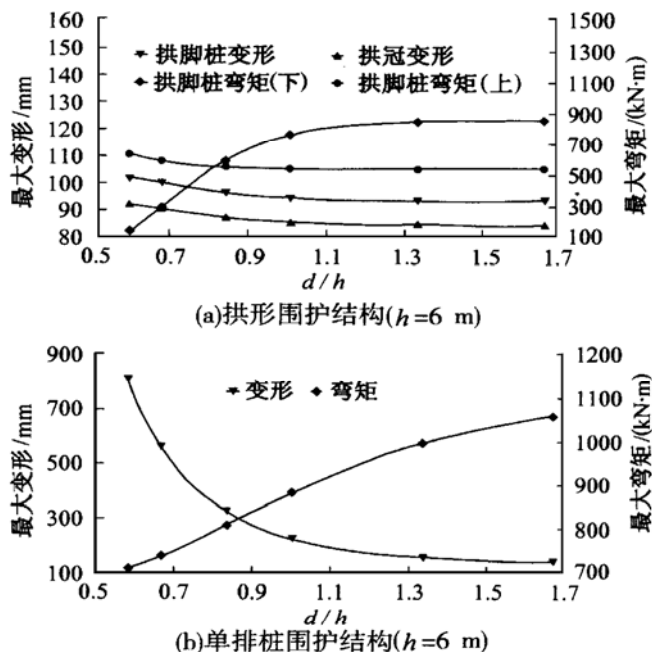


图 3 插入深度与最大变形和弯矩的关系

Fig. 3 Relationship of maximum deformation and moment with embedded depth

3.2 坑底土质的影响

坑底土质的影响通过地基抗力系数的比例系数 m 值来反映。图 4(a) 为拱冠处的变形曲线, 图 4(b) 为单排桩变形曲线。从图中可以看出, 无论那种围护结构, m 值越大, 变形越小。当 m 值较小时, 单排桩变形很大(约 40 cm), 变形随 m 值增大而急剧减小, 而对拱形围护结构而言, m 值对变形的影响幅度要小得多。图 4(c) 为拱脚桩弯矩图, 在拱脚桩上部弯矩随 m 值增大而减

小,在拱脚桩下部弯矩随 m 值增大而增大。图 4(d) 为单排桩弯矩图, m 值对单排桩弯矩的影响很小。

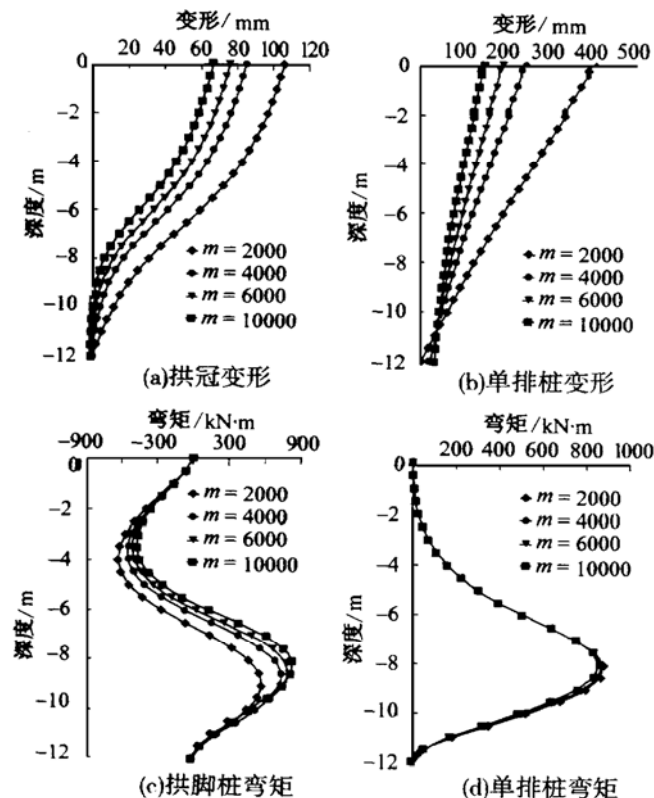


图 4 不同 m 值下的变形和弯矩

Fig. 4 Deformation and moment with different value of m

图 5(a) 为拱形围护结构最大变形和最大弯矩随 m 值的变化曲线, 最大变形随 m 值增大而减小, 最大弯矩随 m 值增大而增大。图 5(b) 为单排桩最大变形和最大弯矩随 m 值的变化曲线, 最大变形随 m 值增大而减小很快, 但 m 值对最大弯矩的影响非常有限。

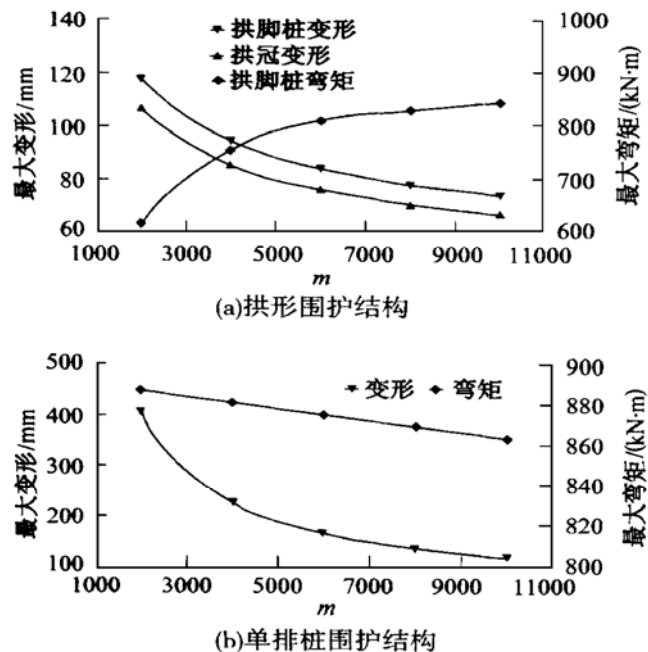


图 5 m 值与最大变形和弯矩的关系

Fig. 5 Relationship of maximum deformation and moment with m

3.3 拱形状的影响

拱形状的影响包括两个方面: 一是矢跨比相同情况下拱形的影响; 二是相同拱形下矢跨比的影响。计算所用拱形包括圆弧拱、抛物线拱、悬链线拱、椭圆拱、双曲线拱和对数螺线拱。计算时发现, 在矢跨比相同的情况下, 不同拱形的影响非常有限, 而矢跨比的影响很大。图 6(a) 为不同矢跨比下拱冠处的变形曲线, 对于同种拱形, 矢跨比越大, 变形越小。图 6(b) 为不同矢跨比下的拱脚桩弯矩图, 从图中可知, 随着矢跨比增大, 弯矩减小。图 7 为拱脚桩和拱冠处最大变形、拱脚桩最大弯矩与矢跨比的关系, 从图中可知, 最大变形和最大弯矩均随矢跨比增大而减小, 而且首先减小的幅度很大, 当矢跨比大于 0.3 以后, 其影响幅度已小得多了。考虑到矢跨比越大, 所需起拱的场地越大, 因此综合考虑两方面的因素, 对悬臂式拱形围护结构矢跨比不宜小于 0.3, 也不宜取得过大, 在 0.3~0.35 之间较为合适。

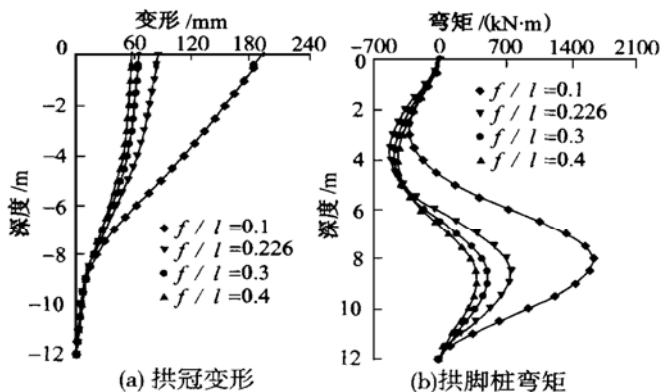


图 6 不同矢跨比下的变形和弯矩

Fig. 6 Deformation and moment with different value of f/l

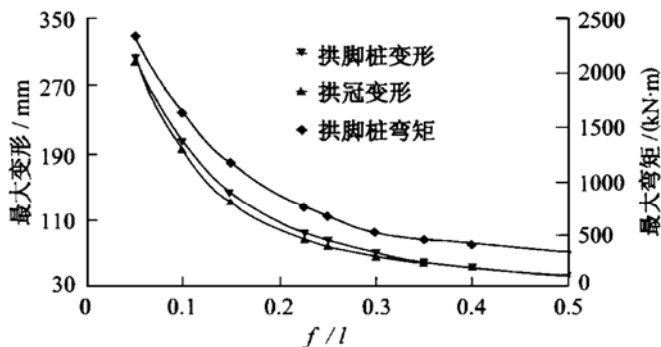


图 7 矢跨比与最大变形和弯矩的关系

Fig. 7 Relationship of maximum deformation and moment with f/l

3.4 拱壁刚度的影响

拱壁刚度的变化可以通过拱壁弹性模量或拱壁厚度的变化来反映。图 8(a) 为不同拱壁模量下拱冠处的变形曲线, 拱壁弹性模量越大, 变形越小。图 8(b) 为不同拱壁厚度下拱冠处的变形曲线, 拱壁厚度越大, 变形越小。图 9(a) 为拱壁弹性模量对拱脚桩弯矩的

影响, 拱壁弹性模量越大弯矩越小。图 9(b) 为拱壁厚度对拱脚桩弯矩的影响, 拱壁厚度越大, 弯矩越小。

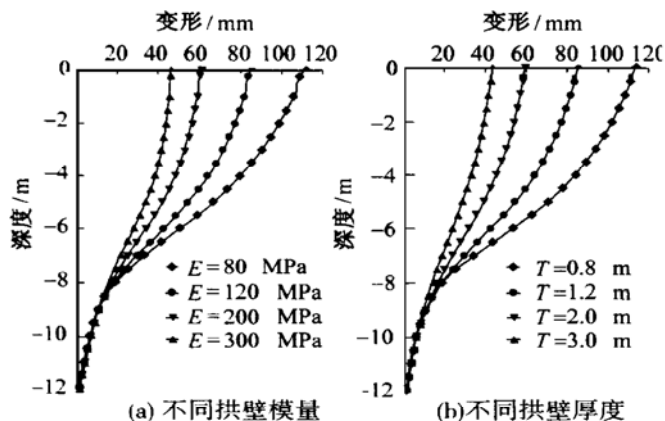


图8 拱冠变形

Fig. 8 Deformation of arch crest

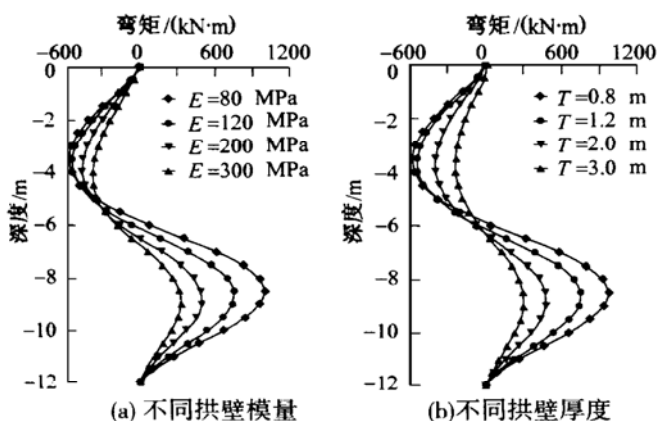


图9 拱脚桩弯矩

Fig. 9 Moment of arch foot pile

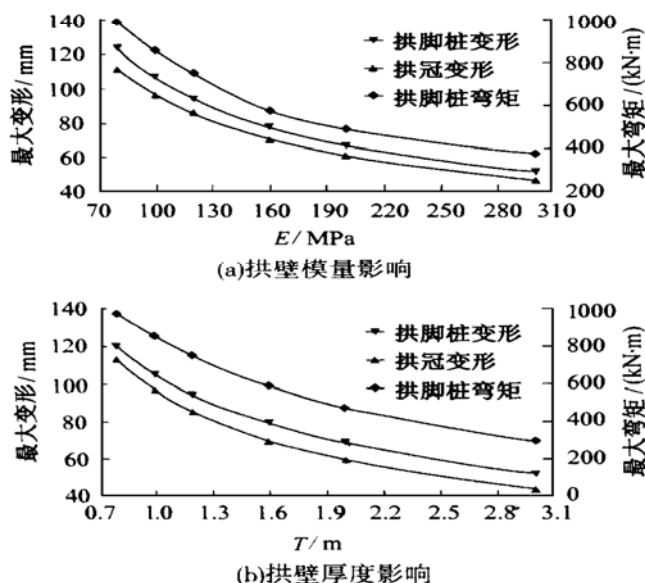


图10 拱壁刚度与最大变形和弯矩的关系

Fig. 10 Relationship of maximum deformation and moment with buttress stiffness

图 10 为拱脚桩、拱冠处最大变形及拱脚桩弯矩三者随拱壁刚度变化的关系。由图 10 可知: ①拱壁刚度越大, 最大变形和最大弯矩越小, 无论是通过增大拱壁模量还是通过增大拱壁厚度来增大拱壁刚度都是一样的; ②最大变形和最大弯矩随拱壁刚度增大首先减小较快, 当刚度增大到一定程度时, 其减小速率已小得多。

4 结 语

(1) 插入深度对悬臂式拱形围护结构的性状影响很小, 插入深度只需满足结构稳定性要求, 因此可取小些。

(2) 坑底土质的值对变形的影响大于对弯矩的影响, 对单排桩的影响大于对拱形围护结构的影响, m 值在较小时的影响大于 m 值较大时的影响, 在 m 值小于 6000 kN/m^4 时影响更大。

(3) 矢跨比相同的情况下, 不同拱形对悬臂式拱形围护结构内力和变形的影响非常有限, 但矢跨比的影响很大, 围护结构的矢跨比在 $0.3 \sim 0.35$ 之间比较合适。

(4) 增大拱壁刚度可较大幅度地减小结构的变形和拱脚桩弯矩, 增大拱壁材料弹性模量或增加拱壁厚度都可达到增大拱壁刚度的目的, 但在实际中通过增加拱壁厚度来增大拱壁刚度更容易实现。

(5) 拱形围护结构的变形一般较小, 究其原因因为拱形围护结构是一种受力合理的围护结构形式, 部分荷载通过水平拱传向拱座, 而传到拱座的荷载又大部分左右相互抵消, 这部分荷载引起的结构变形很小, 因此整个围护结构的变形较小。拱壁主要处于受压状态, 充分发挥了水泥材料受压性能好的特点。

(6) 拱形围护结构是一种自立能力较强的围护结构, 即使在插入深度较小、坑底土质较差的情况下, 只要能保证围护结构不发生整体失稳和隆起破坏, 悬臂式拱形围护结构一般不出现桩顶变形过大的情况。

参考文献:

- [1] 蔡伟铭, 李有成. 拱形水泥土槽壁支护[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(2): 21~27.
- [2] 张仪萍, 张士乔. 基坑拱形围护结构设计与应用综述[J]. 建筑技术, 待刊.
- [3] 张仪萍. 深基坑拱形围护结构拱梁法分析及优化设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2000.
- [4] 张士乔, 张仪萍, 龚晓南. 基于拱梁法原理分析深基坑拱形围护结构[J]. 土木工程学报, 待刊.
- [5] 张士乔, 张仪萍, 龚晓南. 基坑单支撑拱形围护结构性状分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1): 99~103.
- [6] 龚晓南, 高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.