

# 地铁车站洞桩法开挖中板下土体的侧向作用研究

耿东阳, 赵文, 周永伟, 李艺

(东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

**摘要:**为得到在开挖过程中围护桩受到的弯矩和侧向位移随开挖深度变化的规律,对比分析不同断面在开挖中板下土体过程中加撑与不加撑对围护桩内力和位移的影响,采用了 GTS 软件对中街车站 PBA 法开挖中板下土体进行二维分析,确定了钢支撑的间距和位置,得出了加撑后围护桩所受的最大弯矩及侧向位移都有较大幅度的减小的结论,其中最大弯矩能减少 27.8%,侧向偏移最多能减少 31.7%。

**关键词:**稳定性;有限元;加撑;弯矩;位移;地铁车站

**中图分类号:**U231+.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0071-03

**Research on the Soil Lateral Effect during the Excavation with PBA Method in a Subway Station/GENG Dongyang, ZHAO Wen, ZHOU Yong-wei, LI Yi (School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China)**

**Abstract:** In order to get the moment of retaining pile during the excavation and the regulation of lateral displacement changing with excavation depth, comparative analysis was made on the internal force and displacement of retaining pile both with and without steel support during the excavation in different crossing-sections. Two-dimensional analysis was made on the excavation soil in Zhongjie Station with PBA method by MIDAS-GTS to determined the location and the spacing of the steel support and the conclusion was got that the largest moment of piles and the displacement would be reduced 27.8% and 31.7% respectively with steel support.

**Key words:** stability; FEM; steel support; moment; displacement; subway station

暗挖车站基坑在开挖过程中,稳定性受多种因素共同制约,且各种因素之间又相互影响<sup>[1]</sup>。车站开挖在拱圈二衬已达到设计强度,中隔板已经形成且能起支撑作用的前提下,分步开挖下部土体过程中,随开挖深度的增加围护桩承受的弯矩必定不断的变化,桩身的水平位移也会发生改变,这些都是极易导致支护结构破坏或整体失稳的因素<sup>[2-6]</sup>。目前这方面的研究比较少<sup>[7]</sup>,本文以沈阳地铁工程实例为背景,运用 GTS 软件,通过数值模拟可以获得围护桩的弯矩、位移,从而较系统地分析出施工对导洞内护桩的影响方式和影响水平,确定钢支撑的间距和位置,为后续地铁车站施工提供科学的依据<sup>[8]</sup>。

面为同仁堂药店—女人世界断面,跨度为 23.5 m,开挖深度为 10.15 m,分 4 个施工段开挖,开挖深度分别为 2.5、2.7、2.2、2.75 m;第二断面为商业城—0101 流行馆断面,跨度为 19.7 m,开挖深度为 8.56 m,分 3 个施工段开挖,开挖深度分别为 3.0、2.45、3.11 m。计算模型如图 1,主要参数见表 1。

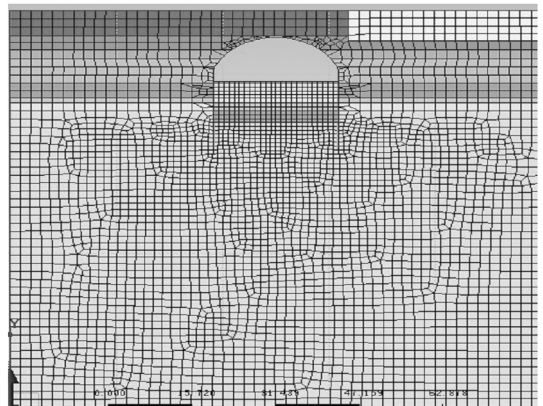


图 1 计算模型图

## 1 力学模型与参数

模型模拟的是在拱圈二次衬砌已经完成,中板强度达到设计要求且已起支撑作用的情况下,开挖中板下部土体的施工过程,研究在不加钢支撑与加钢支撑情况下开挖土体过程中围护桩所受的内力和变形的对比。断面选取了其中的 2 个断面:第一断

收稿日期:2010-02-08

基金项目:国家自然科学基金项目(项目编号:50508008)

作者简介:耿东阳(1982-),男(汉族),河北邢台人,东北大学博士研究生在读,工程力学专业,从事地铁工程及地下空间的研究工作,辽宁省沈阳市东北大学 424 信箱,dbdxgdy@163.com。

表1 模型中物理参数取值表

材料名称	厚度 $h$ /m	弹模 $E_0$ /Pa	泊松比 $\mu$	容重 $\gamma$ /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力 $c$ /kPa	摩擦角 $\varphi$ /( $^\circ$ )
杂填土	6.2	$7.94 \times 10^6$	0.45	20.1	26	13
中粗砂	3.4	$1.98 \times 10^7$	0.28	17.36	8.8	30.7
砾砂	2.4	$2.74 \times 10^7$	0.26	18.15	21.5	34.7
中板	0.45	$3.0 \times 10^{10}$	0.167	25		
围护桩	$\varnothing 0.8$	$3.0 \times 10^{10}$	0.167	25		
拱圈	0.75	$3.0 \times 10^{10}$	0.167	25		

## 2 数据分析

### 2.1 第一断面分析

第一断面在开挖完成后,由模拟数据可知围护桩的最大弯矩值发生在左侧桩体为  $1459.99 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,大于设计弯矩,在开挖过程中应该架设钢支撑。分别取钢支撑的间距为 1.5、2、2.5 m,模拟不同间距下钢支撑承受的轴力,模拟得到的轴力分别为  $-913.07$ 、 $-1536.8$  和  $-2279 \text{ kN}$ ,通过对比选择合适的钢支撑间距。

从钢支撑所受的轴力图分析可知:当钢支撑间距为 2.5 m 时,在开挖土体结束后,钢支撑所受轴力为  $2279.04 \text{ kN}$ ,大于设计能力  $1395 \text{ kN}$ ,钢支撑在开挖过程中会发生失稳,最终会导致主体结构发生断裂;当钢支撑的间距为 2 m 时,开挖完成后钢支撑所受轴力为  $1536.83 \text{ kN}$ ,略大于设计轴力,所以理论上应该选择钢支撑的间距为 1.5 m。考虑竖直面与水平面各构件刚度的匹配问题,加上上方建筑的荷载偏于安全的加载会使模拟的结果比实际值偏大,再考虑施工的便易性,实际工程中可以将钢支撑的间距适当放大到 2 m。

#### 2.1.1 弯矩

将钢支撑的间距设置为 2 m,模拟施工过程,得到开挖完成后围护桩所受的弯矩,与不加钢支撑时围护桩所受的弯矩进行比较。得出钢支撑的间距为 2 m 和 不加钢支撑时左、右侧桩体受到的弯矩曲线图(如图 2 所示)。图 2(a) 为左侧桩体弯矩比较图,图 2(b) 为右侧桩体弯矩比较图。

弯矩的符号代表其方向,正值代表开挖一侧,负值则是车站外侧。最大正弯矩出现在拱脚处(桩顶),右侧桩体反之。最大弯矩值发生在第五施工阶段,大小为  $1459.99 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,大于围护桩的抗弯承载力  $M$  值,架设钢支撑后,左侧围护桩所受最大弯矩处所受弯矩为  $1053.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,比不架设钢支撑时减少 27.8%。右侧围护桩所受最大弯矩为  $863.014 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,比不架设钢支撑时减少近 31.7%。

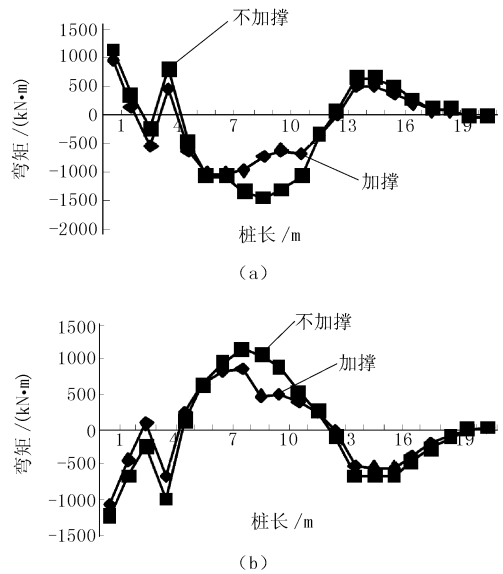


图2 加撑与不加撑弯矩比较图

#### 2.1.2 位移

将钢支撑的间距设置为 2 m,模拟得到开挖完成后围护桩的位移,与不加钢支撑时围护桩的位移进行比较,得出钢支撑的间距为 2 m 和 不加钢支撑时左、右侧桩体在开挖完成后位移曲线比较图(如图 3 所示)。图 3(a) 为左侧桩体位移比较图,图 3(b) 为右侧桩体位移比较图。

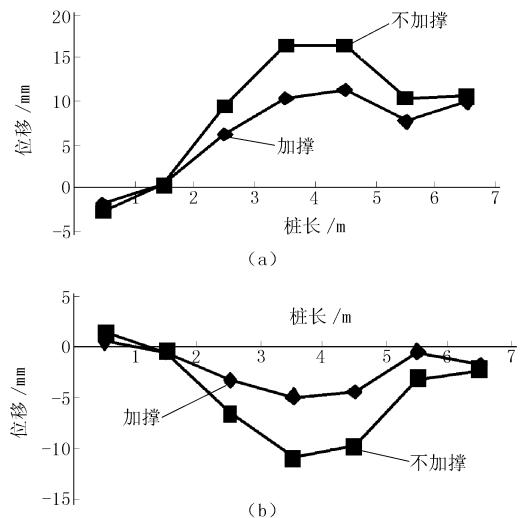


图3 加撑与不加撑位移比较图

从图 3 可见,当基坑在开挖过程中无钢支撑支护时,第一断面侧向位移最大值  $16.339 \text{ mm}$ ,发生在左侧桩身,为基坑开挖深度的 0.08%。第二断面最大侧向位移发生在右侧桩身,大小为  $22.29 \text{ mm}$ ,为基坑开挖深度的 0.13%,符合规范的建议最大值(0.3%~0.5%)。架设钢支撑后,左侧桩体最大偏移量比不架设钢支撑的最大偏移量要减少 5.19

mm。右侧桩体最大偏移量比不架设钢支撑的最大偏移量要减少 6.18 mm。

### 2.2 第二断面分析

从工程概况中可知第二断面在开挖完成后右侧围护桩发生最大弯矩为 1446.21 kN, 大于设计弯矩, 开挖过程中必须架设钢支撑。根据经验值, 钢支撑的预加轴力取设计轴力的 30% ~ 50%, 本工程中预加轴力取 500 kN。在模拟时分别取钢支撑的间距为 3、4 m, 得到开挖下部土体完成后所受轴力分别为 -710.78 kN 和 -1151.13 kN。当钢支撑间距为 4 m 时, 在开挖结束后, 钢支撑所受轴力达 2503.59 kN, 大于其设计承载力 1710 kN, 即钢支撑在开挖过程中会发生失稳, 而钢支撑间距取 3 m 时, 开挖完成后, 钢支撑的内力为 1547.19 kN, 小于钢支撑的极限承载力, 所以在本断面应该控制钢支撑的间距为 3 m。

#### 2.2.1 弯矩

将钢支撑的间距设置为 3 m, 模拟得到开挖完成后围护桩所受的弯矩, 与不加钢支撑时围护桩所受的弯矩进行比较, 得出钢支撑时左、右侧桩体受到的弯矩曲线图(如图 4 所示)。图 4(a)为左侧桩体弯矩比较图, 图 4(b)为右侧桩体弯矩比较图。

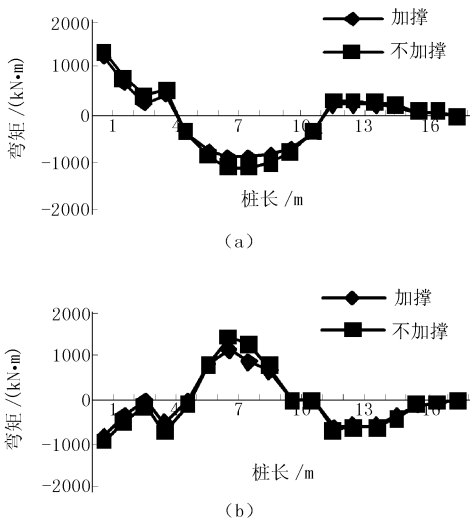


图 4 加撑与不加撑弯矩比较图

从图 4 可见, 架设钢支撑后, 左侧围护桩所受最大弯矩为 885.759 kN·m, 比不架设钢支撑时减少 21.2%。右侧围护桩所受最大弯矩为 1093.7 kN·m, 比不架设钢支撑时减少 10.2%。由此可见弯矩在中隔板位置都发生突变。随开挖深度的增加, 最大弯矩值不断变大, 且该值发生在开挖结束后。

#### 2.2.2 位移

将钢支撑的间距设置为 3 m, 模拟得到开挖完

成后围护桩的位移, 与不加钢支撑时围护桩的位移进行比较, 得出钢支撑的间距为 3 m 和 不加钢支撑时左、右侧桩体在开挖完成后曲线比较图(如图 5 所示)。图 5(a)为左侧桩体位移比较图, 图 5(b)为右侧桩体位移比较图。

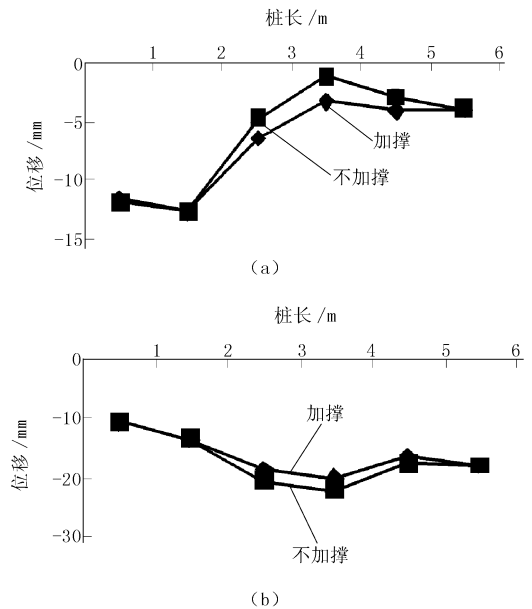


图 5 加撑与不加撑位移比较图

由图 5 可见, 架设钢支撑后, 左侧桩体最大偏移量与不架设钢支撑时的最大偏移量相比变化不大(有少量增加)。右侧桩体最大偏移量比不架设钢支撑的最大偏移量减小 2.25 mm。

### 3 结论

(1) 在开挖过程中围护桩受到的弯矩和侧向位移随开挖深度的增加而增加, 在开挖完成后围护桩的弯矩达到最大值, 且该数值大于围护桩本身的抗弯承载力, 所以在开挖过程中必须及时架设钢支撑。

(2) 对第一断面, 宜按 2 m 间距架设钢支撑, 加撑后左侧围护桩的最大弯矩减少 27.8%, 侧向偏移减少 31.7%; 右侧围护桩最大弯矩减少 23.7%, 侧向偏移减少 51.5%。

(3) 对第二断面, 宜按 3 m 间距架设钢支撑, 与不加钢支撑相比减少 21.2%, 但侧向位移变化不大; 右侧围护桩侧向位移与不加撑时相比减少 10.2%, 最大桩身弯矩减小 24.3%。钢支撑作用较明显。

(下转第 81 页)

重大危险源的识别,是一个动态管理的过程,应根据现场工程的实际情况进行调整。同样,重大危险源的控制措施也是一种动态管理,应根据重大危险源的实际控制情况,适时调整管理方法。

## 6 工程实践

我公司按《职业健康安全管理体系—规范》(GB/T 280001 - 2001)建立职业健康安全管理体系,在各爆破工程项目部积极进行推广,要求各项目部建立相应的职业健康安全管理体系。福建福清核电工程项目部、田湾核电扩建工程项目部按公司管理体系要求,针对项目实际情况对工程危险源进行辨识、风险评价,确定项目重大危险源,并针对重大危险源制定详细的控制措施,取得了良好的安全运行绩效。截止到2008年9月底,田湾核电扩建工程共计爆破376次,使用炸药1300余吨,雷管13余万发,爆破石方量300余万立方米;福清核电工程共计爆破500次,使用炸药2800余吨,雷管9余万发,爆

破石方量700余万立方米,均未出现安全事故。

## 7 结语

爆破行业作为特种行业,安全管理是企业管理的重要组成部分。如何建立企业的安全管理体系,各爆破施工单位有各自的管理经验。随着国际交往的增加,国际先进标准越来越被国内优秀企业所采用。职业健康安全 OHSAS 18001 标准提供了一套安全管理的应用模式,在国内各行业中广泛应用。本文提出的危险源的辨识、风险评价方法和风险控制措施,是 OHSAS 18001 标准体系的重要组成部分,是标准体系中的精髓。希望能给同行提供一定的借鉴。

## 参考文献:

- [1] GB 6722 - 2003, 爆破安全规程[S].
- [2] 工程爆破施工与安全(全国工程爆破作业人员统一培训教材)[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
- [3] GB/T 280001 - 2001, 职业健康安全管理体系—规范[S].
- [5] 杨伟,李佩. 管道穿越方案的模糊层次优选[J]. 油气储运, 2007, 26(1): 44 - 46.
- [6] 苏欣,黄坤,杨华,等. 模糊层次分析法在优选管道穿越方案中的应用[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(6): 801 - 802.
- [7] 郝海,踪家峰. 系统分析与评价方法[M]. 北京:经济科学出版社, 2007. 23 - 35.
- [8] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 2000. 1 - 49.
- [9] T. L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw - Hill, 1980.
- [10] Saaty T. L. A Scaling Method for priorities in Hierachy Structures[J]. Journal of Math, Psychology, 1997, (15): 234 - 281.
- [11] 王英凯. 基于德尔菲法和层次分析法原理的科研项目评价模型[J]. 山西财经大学学报, 2001, 23(S1): 148 - 149.
- [12] 李工农,阮晓青,徐晨. 经济预测与决策及其 Matlab 实现[M]. 北京:清华大学出版社, 2007. 144 - 195.

(上接第 65 页)

属度原理判断穿越工程项目风险的等级。所以层次分析法和模糊综合评价法结合在一起,可以达到互补,比原来的单一方法有所改进,是一种有效的风险评估方法。

## 参考文献:

- [1] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社, 2008. 3 - 15.
- [2] 颜纯文,蒋国盛,叶建良. 非开挖铺设地下管线工程技术[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2005. 3 - 22.
- [3] 郑海中. 地质工程项目风险管理研究及应用[D]. 长沙:中南大学, 2008. 1 - 7.
- [4] 许家雄. 建设工程项目的风险管理的研究与应用[D]. 南昌:南昌大学, 2006. 1 - 10.

(上接第 73 页)

## 参考文献:

- [1] 赵文,李慎刚,徐岩. 地铁基坑施工稳定性监测分析[J]. 岩石力学, 2007, 10(S1): 643 - 646.
- [2] 李慎刚,赵文,杜嘉鸿. 微硅粉应用于砂性土层注浆工程的可行性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(2): 21 - 23.
- [3] 徐岩,赵文,李慎刚. 地铁建设中的环境岩土工程问题分析[J]. 工程勘察, 2007, (7): 11 - 13.
- [4] 孙海霞,赵文,赵文赞. 地铁车站施工方案模糊决策研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2003, 25(5): 438 - 441.
- [5] Richard. J. Finno, Michele Alvello. Analysis and Performance of the Excavation for the Chicago - State Subway Renovation Project and its Effects on Adjacent Structures[D]. Northwestern University, 2002.

- [6] Wolfgang Krajewski. Ability and limits of numerical methods for the design of deep construction pits[J]. Computers and Geotechnics, 2001: 425 - 444.
- [7] R. Kerry. Rowe, Graeme. D. kinner. Numerical analysis of geo-synthetic reinforced retaining wall constructed on a layered soil foundation[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2001, 19: 387 - 412.
- [8] Ou CY, ChiouDC, WuTS. Three dimensional finite element analysis of deep excavation[J]. Journal of geotechnical engineering, ASCE, 122(5): 337 - 345.
- [9] D. K. H, Smith. I. M. Analysis of Construction Processes in Braced excavations[J]. Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1991, (1): 213 - 217.