

文章编号: 1673- 9469(2010) 04- 0005- 04

基于 ANSYS 的地铁车站深基坑支护设计

孟文清¹, 秦志伟¹, 张亚鹏¹, 张笑珠²

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 集瑞联合重工有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 针对广州地铁三号线永泰站深基坑平面尺寸较长, 地下溶洞较多, 地质条件较差的特点, 制定了地连墙和内支撑相结合的基坑支护方案, 以确保基坑和周围建筑物的安全。通过 ANSYS 建立三维有限元模型, 分析了地连墙厚度、内支撑刚度和预加轴力等主要因素对于基坑变形的影响, 并根据地连墙厚度和内支撑刚度与墙体最大位移的关系曲线, 确定了地连墙厚度和内支撑刚度的合理取值, 同时调整钢支撑的预加轴力值, 使地连墙的最大侧移值控制在允许的范围之内。从施工监测结果可以看出, 地连墙侧移和基坑周边沉降基本都在 30mm 左右, 表明本基坑支护方案合理可行。

关键词: ANSYS; 长条形深基坑; 地连墙; 内支撑; 支护设计

中图分类号: TU 753

文献标识码: A

Deep foundation pit support design of the subway station based on ANSYS

MENG Wen-qing¹, QIN Zhi-wei¹, ZHANG Ya-peng¹, ZHANG Xiao-zhu²

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Jirui Joint Heavy Industries Co., Ltd, Anhui Wuhu 241000, China)

Abstract The foundation pit support scheme of diaphragm with inner support was made according to the characteristics of Yongtai station for Guangzhou metro line, where the deep foundation pit was long and with many underground karst caves and bad geological conditions. The effect of the major factors to the diaphragm deformation, including the thickness of diaphragm, the stiffness of the inner support and the pre-axial force, were analyzed by use of the ANSYS. The thickness of diaphragm and the stiffness of inner support are confirmed according to the relationship curves of the two versus the maximum displacement. And then, the pre-axial force of the steel support is adjusted to make the maximum displacement of diaphragm acceptable. The monitoring results show that the displacements of the diaphragm and the settlement are about 30mm, therefore the supporting scheme of the deep excavation is reasonable and can serve as a reference for similar projects.

Key words: ANSYS; long rectangle pit; diaphragm; inner support; supporting design

近年来,随着地下空间的开发利用,深基坑工程在我国城市中大量涌现。然而作为一个复杂的岩土工程问题,在深基坑开挖过程中,不仅会遇到设计阶段难以预测到的问题,而且地质情况与勘察报告不一致的情况也非常常见,因而基坑事故时有发生^[1]。传统的基坑支护结构设计通常采用等值梁法、m 法等近似计算方法^[2-3]。近年来,也有不少学者采用二维有限元方法,考虑了支护结

构与土体的相互作用^[4]。工程实践表明,深基坑两端壁处存在明显的空间效应,二维有限元分析有着很大的局限性,于是陆新征等人采用三维有限元法研究了深基坑开挖过程中的空间效应问题,研究结果表明,基坑的空间几何尺寸和施工过程对支护结构的受力状态有着重要影响^[5-9]。

本文根据广州市某地铁车站深基坑工程的具体特点,通过 ANSYS 建立三维有限元模型对基坑

收稿日期: 2010- 09- 11

作者简介: 孟文清(1966-),男,河北临漳人,教授,从事岩土工程与结构工程的教学与科研工作。

施工过程进行动态模拟,考虑了土体与支护结构的相互作用以及空间效应的影响,计算结果更加符合实际情况。

1 工程概况

1.1 工程背景

广州地铁三号线永泰站深基坑位于白云区尖彭路与广从路交叉口西南侧,深为 17.5m。基坑西南侧有一单层仓库,距基坑最近约 1m,北侧为正在施工的华南路三期高架桥桥墩,距基坑约 3m;此外,由于工期处于雨季地下水位高,且地下溶洞较多地质条件差,所以对基坑的变形控制也有较高要求。基坑场地各层土体的基本力学参数见表 1。

1.2 基坑支护设计

鉴于基坑场地地质情况及复杂的周围环境,采用钢筋混凝土地下连续墙与内支撑相结合的支护体系。地连墙的平均嵌岩深度为 1.5m。该车站主体结构为地下 2 层,在钢支撑及钢围檩拆除过程中,为了将内支撑所承受的侧向土压力安全地转移至主体结构,分别在主体结构的顶板、中板和底板以上 0.5m 处设 3 道内支撑,分别距离地表 2m, 7.5m 和 13.5m。此外,考虑到内支撑的整体刚度和土方开挖机械的工作半径等因素,支撑的最小水平间距取为 3m。内支撑的平面布置如图 1 所示。

结合基坑平面的几何形状和内支撑的特点,内支撑采用钢筋砼支撑和圆钢管支撑相结合的方式。第 1 道支撑使用钢筋砼支撑,刚度比较大,其水平布置间距可以适当放大,有利于充分发挥土方开挖机械的工作能力,而在第 2、3 道支撑中采用易于安装和拆除的钢支撑。

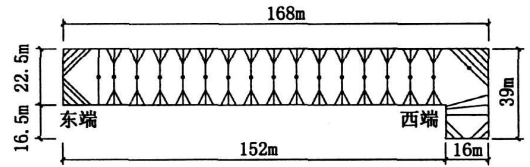


图1 基坑内支撑平面布置图

Fig.1 Arrangement of internal supports

在地下连续墙施工完成之后开始基坑开挖,基坑开挖的水平施工顺序沿线路走向,从东向西分区单向前退式进行。土方开挖沿竖向根据内支撑的布置分 3 层进行开挖,内支撑随挖随撑。为了确保支护方案的合理性,对基坑进行了开挖过程的三维有限元分析,以确定支护方案的主要参数。

2 计算模型的建立

计算软件采用通用有限元软件 ANSYS 进行分析。土体采用空间六面体八节点单元 Solid45 来模拟,其本构模型选用 Druck-Prager 理想弹塑性模型。钢筋砼地下连续墙采用 4 节点壳单元 Shell63,钢筋砼支撑及钢管内支撑采用空间梁单元 Beam188,均假设为线弹性材料。

2.1 初始地应力场的模拟

基坑由于土体自重作用而存在初始应力场,由初始应力引起的位移在基坑开挖之前就已经发生并且稳定,对基坑的开挖不产生影响。根据以往的工程经验及有限元计算结果,基坑开挖影响宽度约为开挖深度的 3~4 倍,影响深度约为挖深的 2~4 倍^[10-12]。所以在有限元模型中,基坑开挖的影响深度取为 55m,影响宽度取为 45m。基坑的初始地应力场采用读入初应力文件的方式来模拟。

表 1 各层土体的力学参数

Tab. 1 Mechanical parameters of soil layers

土层编号	土体密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	变形模量 /MPa	泊松比	内聚力/ kPa	内摩擦角 $\varphi/ (^{\circ})$	平均厚度/ m
1	1 800	10	0.25	20	15	2.0
2	1 900	30	0.25	5	30	9.0
3	1 940	13	0.30	24.5	13.5	2.5
4	1 940	18	0.30	28	15.3	8.0
5	1 950	55	0.30	31	29	8.5
6	1 950	100	0.30	33	31	35.0
7	2 680	1 500	0.30	750	35	17.0

2.2 钢支撑预应力的施加

在 ANSYS 中, 钢支撑预应力的施加主要有初始应变法和降温法 2 种方式, 经过计算后都会发现, 钢支撑的实际预应力总是远远小于需要施加的预应力, 可能是由于结构在施加预应力后产生变形而导致了预应力损失。为了避免此类情况的发生, 采用初始应变法并结合 ANSYS 单元生死功能给钢支撑施加预应力。

2.3 基坑开挖与支护的具体步骤

步骤 1: 建立整个基坑开挖影响区范围内的土体及支护结构模型, 基坑的单元网格划分如图 2 所示。

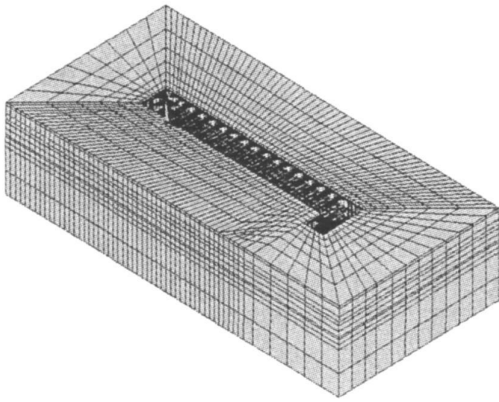


图2 单元网格及支撑

Fig.2 Mesh and supports

步骤 2: “KILL”所有支护结构单元, 并施加重力荷载, 生成初始地应力文件。

步骤 3: 读入初始地应力文件, 并激活地下连续墙与冠梁。

步骤 4: 逐层“KILL”土体单元并“激活”相应的内支撑与围檩单元, 模拟开挖与支撑施工。

步骤 5: 重复步骤 4 直至开挖至基坑底部。

3 支护参数的确定

3.1 地下连续墙厚度的确定

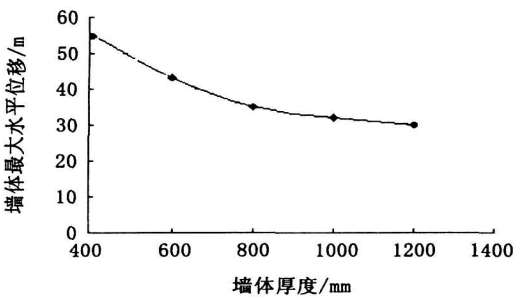
在有限元分析中, 通过改变地连墙的厚度来调整地连墙的刚度, 研究基坑长边中间点的最大侧向位移和墙身最大弯矩与地连墙厚度之间的关系(图 3)。

从图 3 可以看出, 地连墙的侧向位移随着墙体厚度的增加而减小, 而墙体内的最大弯矩随着墙体厚度的增加而增加。当墙体厚度达到 0.8m 时, 继续增加墙体厚度对控制墙体侧向位移的效果已不明显; 而当墙体厚度超过 0.8m 时, 墙体最大弯矩增量比较明显。因此, 地连墙厚度取 0.8m。

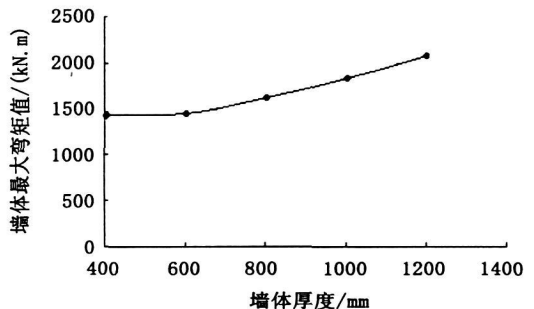
3.2 内支撑刚度的确定

在广州市地铁车站基坑工程中, 比较常用的两种钢管内支撑是 $\phi 600 \times 14$ 和 $\phi 600 \times 16$ 圆钢管。在有限元分析中, 通过改变内支撑的截面大小来调整内支撑的刚度, 当内支撑取 $\phi 600 \times 14$ 时, 设其刚度为 K。当调整内支撑截面时, 基坑长边中点的最大侧向位移与内支撑刚度的关系如图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 在 0.2K ~ 1.0K 之间, 地连墙向基坑内的侧移随着内支撑刚度的减小而迅速增大, 当内支撑刚度为 0.2K 时, 墙体的最大侧移为 388mm, 明显向基坑内倾覆; 当支撑刚度超过 1.2K 时, 继续增加支撑刚度对于控制地连墙侧向位移作用已经不大; 当内支撑刚度从 2.0K 增加到



(a) 厚度-最大水平位移曲线



(b) 厚度-最大弯矩曲线

图3 墙体厚度与墙体最大水平位移、墙体最大弯矩的关系

Fig.3 Relationship between the diaphragm thickness and the maximum displacement, the maximum moment

3.0K 时,地连墙的最大侧移仅仅减小了 6mm。因此为了将地连墙的最大水平位移控制在 30mm 以内,可以取圆钢管内支撑 $\phi 600 \times 16$, 即内支撑刚度为 1.14K。

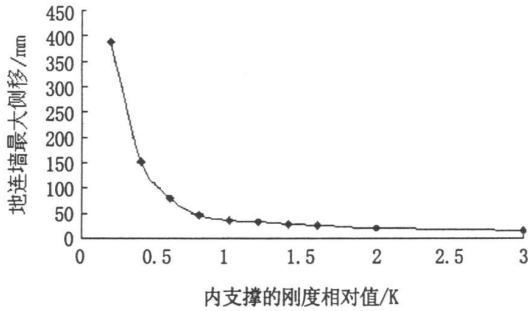


图4 内支撑刚度-墙体最大水平位移曲线

Fig.4 Curve of the stiffness of support structure vs. maximum diaphragm displacement

3.3 内支撑预加轴力的确定

在有限元分析中,第 2、3 道钢支撑的预加轴力初始值分别为 1 200kN 和 900kN,在预加轴力初始值作用下,地连墙侧向位移的坑内收敛值为 33mm。为了将其控制在允许值 30mm 以内,将钢支撑预加轴力调整为 1 300kN 和 1 000kN,此时地连墙的侧向位移变化曲线如图 5 所示。

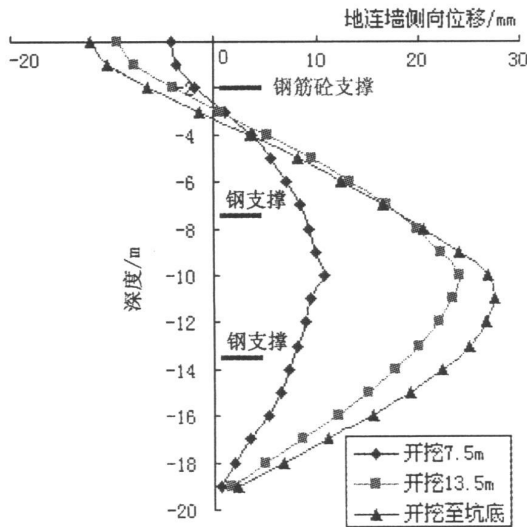


图5 钢支撑预加轴力调整后地连墙的侧向位移

Fig.5 Calculated displacement of diaphragm wall after the pre-axial force be adjusted

从地连墙的侧移曲线可以看出,在基坑的分层开挖过程中,地连墙的坑内最大侧移逐渐向墙体的下部移动;随着下层支撑的架设,地连墙顶部一定区域内的墙体逐渐向基坑外侧移动。所以在基坑开挖过程中,倘若第 1 道支撑采用钢支撑时需注意其内力变化,以便在内力减小时能够及时

进行预应力补充。

4 施工监测结果

从地连墙的侧移监测结果可以看出(图 6),在基坑的东端和西端,由于基坑空间效应的作用,地连墙的侧移量都较小,最终的坑内收敛值都在 20mm 以内,位置在距离坑底约 3m 处;在基坑长边的中间段,地连墙的坑内侧移值也都控制在 30mm 左右,与有限元分析结果较为接近。

从沉降监测结果中(图 7)可以看出,基坑西南角单层仓库的沉降收敛值基本都在 30mm 左右,保证了该仓库的安全。

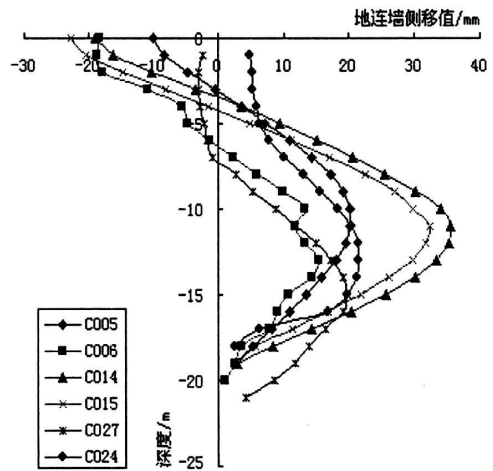


图6 地连墙的侧移监测结果

Fig.6 The monitoring results of the diaphragm's displacement

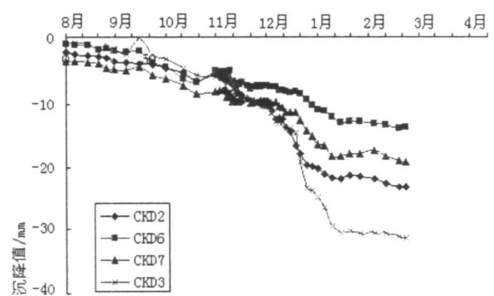


图7 单层仓库沉降监测结果

Fig.7 The monitoring results of the single-layer warehouse

5 结论

1) 采用初始应变法并结合单元生死功能给钢支撑施加预应力,避免了由于支护结构变形引起的预应力损失。

(下转第 22 页)

- 践及理论研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(7): 117-122.
- [7] 刘梅, 余渊, 张武. CCTV主楼桩基后压浆施工[J]. 施工技术, 2006, 35(7): 4.
- [8] 朱炳寅, 陈富生. 水下钻孔灌注桩桩底压浆的工程实践及分析[J]. 建筑结构, 1998(3): 29-32.
- [9] 刘金砺, 祝经成. 泥浆护壁灌注桩后注浆技术及其应用[J]. 建筑科学, 1996(2): 13-18.
- [10] 杨红民, 吕海林, 蔡军, 等. 从天津港某工程静载试桩结果浅析后压浆的处理效果[J]. 中国港湾建设, 2008(3): 18-20.
- [11] 李飞, 祝经成. 泥浆护壁钻孔灌注桩后压浆技术在软土地区的应用[J]. 建筑科学, 2000, 16(1): 44-45.
- [12] 施颖, 姚君. 天津塘沽海河大桥主塔墩桩基方案选型研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2009(1): 112-115.
- [13] 何宗义, 汪潜平. 钻孔灌注桩桩端后压浆在上海裕景明珠广场的应用[J]. 探矿工程, 2007(1): 36-38.
- [14] 朱庆涛, 王俊伙, 李广, 等. 灌注桩后注浆技术在超高层建筑桩基工程中的应用[J]. 建筑施工, 2006, 28(2): 97-99.
- [15] 唐坚. 软土地基钻孔灌注桩桩端后注浆试验成果分析[J]. 中国市政工程, 2010(3): 81-83.
- [16] 黄蔚. 桩端后注浆技术在软土地基泥浆护壁钻孔灌注桩施工中的应用实践[J]. 建筑施工, 2008, 30(3): 659-661.
- [17] 罗银禄. 钻孔灌注桩后压浆技术在上海软土地基中的应用[J]. 建筑结构, 2005, 35(2): 45-47.
- [18] 陈飞. 钻孔灌注桩后压浆技术的研究和应用[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [19] 龚维明, 戴国亮, 张浩文. 桩端后压浆技术在特大桥梁桩基中的试验与研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2007, 37(6): 1066-1070.

(责任编辑 刘存英)

(上接第8页)

2) 地连墙厚度取 0.8m, 内支撑刚度取 1.14K, 将第 2、3 道钢支撑的预加轴力调整为 1300kN、1000kN, 能够使地连墙的侧向变形控制在 30mm 以内, 保证了基坑工程和周围环境的安全。

3) 地连墙的侧移值和基坑周围沉降基本都在 30mm 左右, 与有限元分析结果吻合较好, 表明本基坑支护方案合理可行。

参考文献:

- [1] 陈忠汉, 程丽萍. 深基坑工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [2] 熊智彪, 陈振幅, 段仲沅. 建筑基坑支护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [3] 唐孟雄, 陈如桂, 陈伟. 深基坑工程变形控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [4] 白永学. 支护结构与土体共同作用的深基坑二维有限元分析[J]. 岩土工程, 2006, 26(5): 75-80.
- [5] 陆新征, 宋二祥, 吉林, 等. 某特深基坑考虑支护结构与土体共同作用的三维有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(4): 488-491.
- [6] 吴晓娜. 深基坑支护结构的三维空间变形有限元分析[J]. 路基工程, 2008(5): 61-63.
- [7] 杨宝珠, 仲晓梅. 基于 FLAC-3D 的深基坑开挖过程数值分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(3): 15-18.
- [8] 马露, 李琰庆, 蔡怀恩. FLAC3D 在深基坑支护优化设计中的应用[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2007, 24(4): 35-38.
- [9] 安景波, 赵思远, 邓志辉. 长抗拔灌注桩优化设计方法[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(4): 295-297.
- [10] 刘健航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [11] 温发明, 黄新贤, 张凯健. 采动区 CFG 桩复合地基计算方法[J]. 黑龙江科技学院学报, 2010, 20(1): 40-43.
- [12] 王桂平, 刘国彬. 考虑时空效应的软土深基坑变形有限元分析[J]. 土木工程学报, 2009, 42(4): 114-118.

(责任编辑 马立)