

文章编号: 1007-2993(2010)03-0151-05

明挖车站深基坑支护结构受力变形分析

张钦喜^{1,2} 韩银山^{1,2} 张明聚^{1,2}

(1. 北京工业大学城市与工程安全减灾教育部重点实验室, 北京 100124;

2. 北京工业大学工程抗震与结构诊治北京市重点实验室, 北京 100124)

【摘要】 人口众多、建筑物密集的城市中心修建地铁时, 地铁明挖深基坑支护结构的变形直接影响到周围建筑物的安全使用。以某地铁深基坑为工程依托, 监测基坑支护结构的变形和钢支撑轴力。通过工程实际计算结果、Geo-Slope 数值模拟结果、原设计数据与实际监测数据的比较, 研讨了各类施工因素对支护结构变形的影响及信息化施工的意义。

【关键词】 基坑工程; 支护结构; 钢支撑轴力; 数值模拟

【中图分类号】 TU 942

【文献标识码】 A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2010. 03. 011

Research and Analysis of Axial Force and Deformation in Retaining Structures of Deep Foundation Engineering

Zhang Qinxi^{1,2} Han Yinshan^{1,2} Zhang Mingju^{1,2}

(1. The Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering, Ministry of Education, Beijing 100124, China;

2. Beijing Key Lab of Earthquake Engineering and Structural Retrofit, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

【Abstract】 A large population and dense urban centers of the construction of the building subway, Subway Deep Foundation Pit engineering of deformation and the structure directly affects the safe use of surrounding buildings. Taking the practical project for example, monitoring the deformation and steel support axial forces of foundation pit structure. Through the practical engineering calculations, Gen-Slope numerical simulation data, design data and comparison of the actual test data, Discuss the various types of construction factors on the deformation of Retaining Structure and Construction of the significance of information technology

【Key words】 Foundation Pit engineering; retaining structure; Steel support axial force; Numerical Simulation

0 引言

深基坑工程涉及到的学科多, 是一项综合性很强的工程, 同时影响基坑工程的不确定性因素较多, 又是一项风险性很大的工程^[1]。基坑支护结构变形、受力一定程度上反应土压力分布形式及大小^[2], 因此重视工程监测, 准确地评估地质条件、较好地模拟真实土压力、合理计算支护结构变形和支撑轴力, 对于工程的安全性和经济性至关重要。

信息化施工可修正土的力学参数, 预测下一步工程活动可能出现的新动态^[3]。本文以某工程为依托, 通过支护结构的变形和内支撑轴力的现场监测以及现场施工跟踪计算、数值模拟、监测数据分析等工作, 研究了地铁明挖深基坑支护结构变形和支撑轴力变化的发展规律, 以及现场监测可指导施工, 并

全面实现了基坑信息化施工。

1 工程条件

1.1 工程概况

地铁车站位于深圳市新洲路与红荔西路交叉路口东南角, 车站大致成南北走向。车站东南侧有维多利亚幼儿园, 三层砼房屋, 条形基础, 距离车站基坑最近处约 3.93 m; 车站西侧为新洲路, 呈南北走向, 双向 8 车道, 路宽约 40.5 m; 北侧为红荔西路, 呈东西走向, 双向 6 车道; 东侧为运动场。

本站为地下两层岛式站台车站。基坑总长 177.3 m, 开挖深度 18.3~20.05 m, 标准段宽 19.1 m, 岛站台宽度 10 m, 车站总建筑面积 10 996 m², 有效站台中心里程处顶板覆土厚度 5.55 m。本站采用明挖顺筑法施工, 车站两端接盾构区间。

1.2 工程地质条件

根据《深圳地铁2号线东延线莲花山西站详细勘察报告》，本车站所在场地原始地貌为台地及其间沟谷区，其地势平坦。车站范围上覆地层主要为第四系全新统人工填筑土(Q_4^{pl})、冲洪积(Q_4^{al+pl})粉质

粘土、砂层，残积粘性土层(Q_4^d)，下伏基岩为震旦系(P_d)花岗片麻岩。

结合本站址场地的工程地质性质，划分为7个岩土层，各岩土层的主要物理及力学指标见表1。

表1 地层参数一览表

序号	地层名称	地层厚度/m	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	变形模量 E_0/MPa	泊松比 μ
①	素填土	1	19	15	10	3.7	0.32
②	粉质粘土	4.5	18.8	24	15	5.2	0.30
③	中砂	2.3	19.2	0	32	37	0.23
④	砾砂	4.2	22	0	35	37	0.20
⑤	粉质粘土	3.2	18.5	22	19	19	0.30
⑥	全风化花岗片麻岩	5	18.6	26	23	30	0.26
⑦	强风化花岗片麻岩	9.3	21	30	27	50	0.27

车站范围地下水主要有第四系孔隙水、基岩裂隙水。第四系孔隙水主要赋存于冲洪积细砾砂及残积层砾(砂)质粘土层中。地下水埋深2.7~6.5m，含水层厚度3.2~11.0m，主要由大气降水补给。

2 基坑支护方案及监测方案

2.1 基坑支护方案

车站主体支护结构采用800mm厚地下连续墙，地下连续墙基本墙幅宽度采用6m，墙幅间接头采用锁口管。基坑内支撑主要采用 $\phi 609$ mm的Q235钢管支撑，壁厚 $t=16$ mm。钢支撑安装位置：一道支撑在-2.3m处，二道支撑在-6.1m处，三道支撑在-9.9m处，四道支撑在-13.9m处。除第1道钢支撑所支撑在600mm \times 800mm的冠梁上外，第2、3、4道支撑均支撑在2H400 \times 400 \times 13 \times 21的钢腰梁上。基坑开挖深度18.0m，冠梁高程-2.0m(地面高程为0.0m)，地下连续墙高22.0m，地下连续墙基坑底插土埋入深度6m。基坑横断面布置见图1。

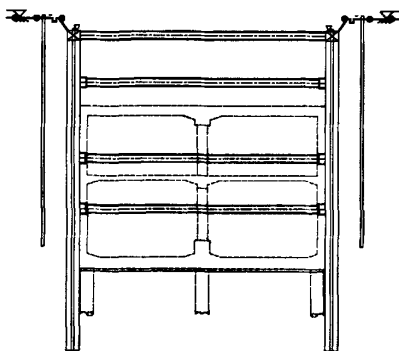


图1 基坑横断面布置图

2.2 基坑监测方案

本工程施工拟实施动态控制及安全管理，通过现场监控量测，掌握基坑地层、地下水、围护结构与支撑体系等的工作状态信息。通过对量测数据的整理和分析，及时确定采取相应的施工措施，确保工程安全和施工工期。

基坑与幼儿园紧邻，荷载较大，变形敏感。为了控制幼儿园的变形及发展，幼儿园与基坑中间布置两个回灌井和两个水位观测孔，墙体测斜管安装于受力最不利、变形最大的区段，钢支撑轴力应变计安装若干个。所需的监测仪器为：电子全站仪、滑动式测斜仪、弦式数码应变计、电子水位计等。

现场具体布置见图2。

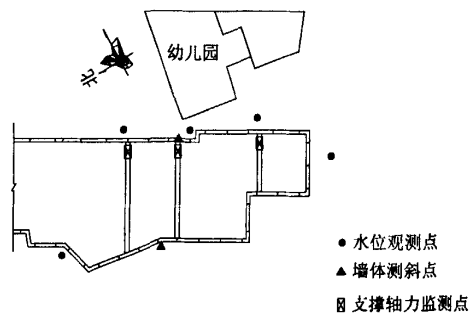


图2 监测点布置图

3 实测数据

专家统计分析发现，任何一起基坑事故无一例外地与监测不力或险情预报不准确有关^[4]。现场监测是保证工程信息化施工的重要内容，将现场监测结果及时反馈，对于及时修正支护结构设计和施工

方法意义重大^[5]。本文分析地铁车站明挖深基坑变形规律及受力特点,重点对支护结构变形和钢支撑轴力进行了监测和分析。

3.1 支撑轴力

钢支撑轴力随着基坑开挖呈动态变化,根据监测资料绘制而成的典型变化曲线见图3,具体数值见表2。

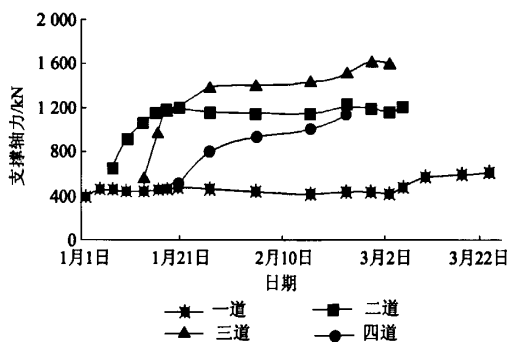


图3 轴力变化曲线图

3.2 支护结构

随着基坑开挖深度的加大,墙体变形也逐渐增加。根据监测资料绘制而成的典型变化曲线见图4,具体数值见表2。

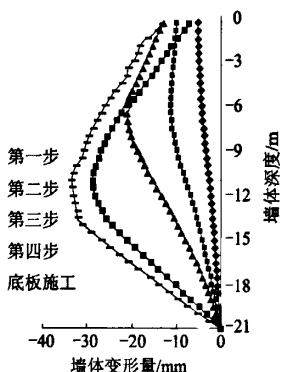


图4 墙体变形曲线图

4 现场跟踪计算

目前对多层支撑支护结构的计算方法较多,一般有等值梁法(连续梁法)、支撑荷载1/2分担法、弹性地基梁法等^[6]。这些理论均采用了大量的假设,这样致使计算得出的结论和实际情况有所偏差,所以取得与现场地质条件完全符合的计算方法或计算参数是非常困难的。现场跟踪计算方法是基于设计方法和实际施工方法结合的一种计算方法,它可以更具体地反应随着基坑开挖,支护结构受力和变形情况,也可以弥补设计时没有考虑到的影响因素。

本方法依据已经监测过的数据来不断修正计算中的各类参数,使计算方法更接近实际情况。

4.1 计算方法

研究土中应力计算和分布规律是判断基坑变形量及稳定性的基础^[7]。本文内力计算方法采用增量法,依据《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》(SJG 05—96)规范,弹性法土压力分布模式矩形分布和一般分布计算数据很接近,本文采用弹性法矩形分布土压力模型(见图5)m法计算。基坑等级为一级,施工荷载按10 kPa、地面超载按10 kPa计算。土层数为7层,内侧降水最终标高为-19 m,外侧水位标高-3.5 m。粘性土,粉质土及各种风化花岗岩为水土合算,砂类土为水土分算。支锚类型为4道钢管内支撑形式,水平间距3 m,第一道支撑位置为-2.3 m,各支撑竖向间距分别为3.8 m、3.8 m、4.0 m。四道支撑分别预加力为397 kN、653 kN、574 kN、502 kN。钢支撑刚度52 MN/m计。基坑第一步开挖深度标高-4.3 m后安装第一道支撑,第二步开挖深度标高-7.7 m后安装第二道支撑,第三步开挖深度标高-11.3 m后安装第三道支撑,第四步开挖深度标高-15.3 m后安装第四道支撑,开挖深度标高-18.0 m后基坑开挖完毕。

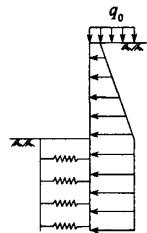


图5 矩形分布图

4.2 计算结果

第一步开挖后-2 m深度处墙体变形-5.3 mm,第一道支撑轴力551 kN;第二步开挖后-8.5 m深度处墙体变形-10.61 mm,第二道支撑轴力1 020 kN;第三步开挖后-10 m深度处墙体变形-18.56 mm,第三道支撑轴力1 259 kN;第四步开挖后-12.5 m深度处墙体变形-32.13 mm,第四道支撑轴力1 179 kN;基坑土方开挖及主体结构底板施工完毕时,-14 m深度处墙体变形-42.03 mm,见表4。

4.3 超挖变形计算

为了减少地下连续墙在基坑开挖过程中的变形,减少对邻近建筑物的影响,基坑土方开挖应沿纵向分段分层开挖。但实际中,基坑土方开挖工作的

影响因素较多,开挖过程中避免不了局部超挖现象。为了更符合实际工程情况,计算分析了土方超挖对支护结构变形的影响。

5 数值模拟

5.1 数值分析

Geo-Slope 平面数值模拟也能很好的模拟计算基坑开挖变形及内支撑受力特点,数值模拟中土的内摩擦角、粘聚力、变形模量、泊松比等根据工程勘察报告提供的参数取,见表 1。土体中存在弹性变形和塑性变形,本数值计算采用弹-塑模型(理想的弹性 M-C 模型);钢筋混凝土连续墙厚度 0.8m、弹性模量取为 2.4×10^{10} Pa;变形模量是在现场原位测得的,是无侧限条件下应力与应变的比值,可以比较准确的反映土在天然状态下的压缩性,所以选用变形模量来计算更为准确。模型形式选取一半区域建立对称模型,既满足求解精度要求,也满足计算速度要求^[8]。所以基坑横断面边界尺寸为 45m×30m,基坑开挖深度 18.0m、宽 20.0m,对称取 1/2 模型。数值分析模型见图 6。

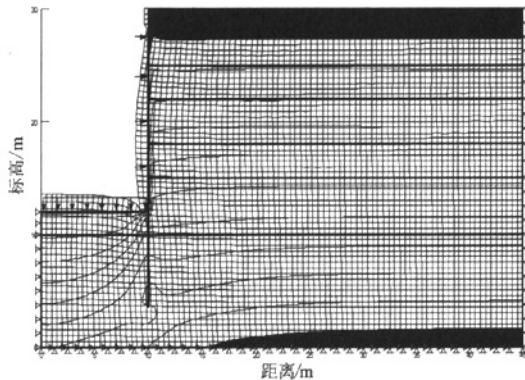


图 6 数值分析模型

5.2 数值模拟结果

基坑开挖过程与现场跟踪计算开挖工况一样,开挖到设计标高的过程中,对应钢支撑轴力出现最大数值从一道到四道支撑分别为 652、1 524、1 853、1 342 kN。连续墙变形最大位置为 -12.5m 处,变形量为 -31.9 mm,与现场监测数据基本一致(见图 7)。

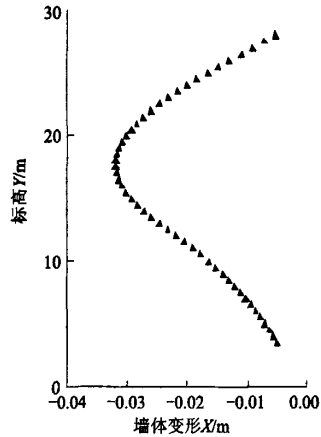


图 7 墙体变形曲线图

6 结果分析研究

现场施工监测、现场跟踪计算、数值模拟等三个方法的计算结果及数据对比如下:

1)支撑各种类型轴力大小见下表 2,可见跟踪计算结果、数值模拟结果都和监测结果较为吻合,而原设计则和监测结果相差近乎 2 倍,说明现行的静态计算方法值得进一步改进和完善,同时也充分表明了现场监测的重要意义。

表 2 钢支撑轴力一览表

支撑位置	第 1 道	第 2 道	第 3 道	第 4 道
设计轴力/kN	1 000	2 000	3 000	2 800
设计预加轴力/kN	500	1 000	600	850
实际预加轴力/kN	397	653	574	502
初始支撑轴力/kN	288	434	413	325
预加力损失率/%	27.4	33.6	28.1	35.3
开挖最大实测轴力/kN	612	1 212	1 621	1 136
现场最大计算轴力/kN	551	1 271	1 521	1 179
数值模拟支撑轴力/kN	652	1 524	1 853	1 342
设计与实测轴力比	1.63	1.65	1.85	2.46
现场计算与实测轴力比	0.90	1.05	0.94	1.04
数值模拟与实测轴力比	1.07	1.26	1.14	1.18

2)各工况下的支撑轴力见表 3。

3)钢筋混凝土连续墙变形最大位置及变形量见表 4,可见跟踪计算结果、数值模拟结果都和监测结果吻合很好。

表 3 各工况轴力对比表

道 数	kN											
	第 1 步开挖			第 2 步开挖			第 3 步开挖			第 4 步开挖		
	监测	计算	模拟	监测	计算	模拟	监测	计算	模拟	监测	计算	模拟
第 1 道	455	551	652	440	469	603	460	403	587	433	346	552
第 2 道				924	1 020	1 181	1 172	1 217	1 486	1 208	1 271	1 524
第 3 道							1 296	1 259	1 679	1 506	1 521	1 853
第 4 道										1 136	1 179	1 342

表4 墙体变形对比表

工 况	实测监测数据		跟踪计算数据		数值模拟值	
	变形位置/m	变形量/mm	变形位置/m	变形量/mm	变形位置/m	变形量/mm
第1步	-2	-4.9	-2	-5.3	-2	-4.1
第2步	-8	-11.3	-8.5	-10.6	-7.5	-9.6
第3步	-9.5	-21.3	-10	-18.6	-9.5	-17.2
第4步	-12	-31.8	-12.5	-32.1	11.5	-26.3
挖到基底	-14	-39.2	-14	-42	12.5	-31.9

注:变形量中,“-”符号表示向基坑内方向的位移

7 结 论

1) 基坑土方超挖对支护结构变形有很大影响。如本文中超挖 1.0 m 时,支护结构变形量平均增大 4.1 mm;超挖 2.0 m 时,支护结构变形量平均增大 9.6 mm。因此在工程施工中合理运用先撑后挖和先挖后撑方法,保证支护结构变形和施工工期。

2) 内支撑明挖深基坑连续墙支护结构的最大变形不是发生在基底,而是在中间某一高度处,支护结构变形呈抛物线型。

3) 钢支撑预加压应力损失平均 31.1%。工程施工中要改进钢支撑预加力的施工工艺,降低预应力损失率,限制支护结构变形,最大地发挥支撑轴力。

4) 本工程的监测和分析显示,数值模拟或现场跟踪计算,无论是轴力还是变形,都能得到较为符合实际的结果。而基于传统土压力理论的静态计算方法得出的轴力比实际值多 1 倍左右。

5) 通过现场监测、现场跟踪计算来不断优化计算方法和计算参数,准确判断基坑变形情况及受力特点,以数值模拟的方法来预测基坑变化,真正意义上的监测指导施工,实现信息化施工。

参 考 文 献

- [1] 王卫东,王建华. 深基坑支护结构与主体结构相结合的设计、分析与实例[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 张钦喜,樊绍峰,王 磊. 土城住宅楼工程锚杆拉力监测及数值模拟分析[J]. 岩土工程技术,2008,22(2):67-70.
- [3] 张 成,贺跃光. 基坑信息化施工中的工程监测技术[J]. 测绘工程,2000,9(4):43-45.
- [4] 唐业清,李启民. 基坑工程事故分析与处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 任建喜,高 涛. 地铁换乘站深基坑围护结构变形规律 FLAC 模拟研究[J]. 铁道工程学报,2008(9):80-84.
- [6] 闫富有. 基础工程[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [7] 姜晨光. 基坑工程理论与实践[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [8] 姜忻良,宗金辉,孙良涛. 天津某深基坑工程施工监测及数值模拟分析[J]. 土木工程学报,2007,34(3):120-125.

收稿日期:2010-04-09