

复杂环境下城市地铁深基坑开挖实测与分析

杨华伟^{1,2} 李 亮²

(1. 天津地铁集团, 天津 300051; 2. 中南大学土木建筑学院, 湖南长沙 410075)

【摘 要】 城市地铁施工中由于周边环境复杂, 基坑开挖引起的土层扰动, 可能会造成建筑物及地下管线破坏, 甚至引起基坑失稳。以深圳地铁中心公园停车场深基坑工程为例, 介绍了该基坑工程的设计与施工, 讨论了基坑开挖监测方案, 并结合施工中出现的问题, 对现场监测结果进行了分析和总结。结果表明, 在复杂环境下进行基坑开挖工程, 选用合理的监测方案, 对基坑开挖过程中周边环境及支护结构进行实时动态控制, 确保了支护结构及周边环境的安全。

【关键词】 地铁; 深基坑; 监测; 变形

【中图分类号】 TU 443

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2011.06.003

Monitoring and Analysis of Deep Excavation of Subway in Complicated Environment

Yang Huawei^{1,2} Li Liang²

(1. Tianjin Metro Group Co., Ltd, Tianjin 300051, China;

2. School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, Hunan China)

【Abstract】 Because of the complexity of ambience, in the construction of city subway, foundation pit excavation can cause disturbance to the soil, and bring damage to the building and underground pipe, even the stability of foundation pit can be lost. Based on the project of Shenzhen metro, introduced the design and construction of the deep foundation pit, discussed the monitoring scheme of foundation pit excavation, also analyzed and summarized the monitoring result. Project example shows that choosing reasonable monitoring scheme and carrying out real-time dynamic control to environment and retaining structure ensured the safety of the excavation process.

【Key words】 subway; urban deep pit; monitor; deformation

0 引言

随着地铁建设的迅猛发展, 出现了很多复杂环境下修建的地铁深基坑工程。城市中修建基坑工程, 危险性比较高^[1-3], 据统计, 深基坑工程中事故的发生率占基坑工程数量的 10% 以上, 而高地下水位软土地区甚至可高达 30%; 同时, 因基坑周围地层变形过大而引起附近建筑物、构筑物开裂破坏的实例也屡见不鲜。因此, 在基坑施工过程中, 须对基坑支护结构、周边环境进行系统而全面的监测, 并将信息及时反馈给相关单位, 才能确保工程的顺利进行^[4-6]。

1 工程概况

深圳地铁 3 号线中心公园停车场位于莲花二村站与华强北站之间的中心公园处, 整个停车场设置在地面以下, 沿南北向, 靠笋岗西路南侧、红荔路北

侧布置。停车场由停车库及出入线两部分组成, 停车库基坑长约 487.0 m, 宽约 88 m, 底板埋深约 8 m, 局部埋深 14 m, 开挖深度为 8~15 m。出入线西连停车库, 东接华强北站, 长约 216 m, 开挖深度 7~18 m 不等。主体结构为地下单层多跨矩形框架结构, 柱(墙)下设置抗拔桩辅助抗浮, 建筑面积 4 万 m²。

1.1 地质概况

建筑场地范围内上覆人工素填土、冲洪积淤泥质土、粘性土、砂层及残积粘性土, 下伏基岩为燕山期花岗岩。根据岩土类别、成因及其所处的状态, 将开挖深度范围内的土层分为 9 层, 各主要土层物理力学参数^[7]见表 1。由于基坑开挖面积较大, 各土层厚度不均匀, 且基坑开挖范围内人工填土均匀性及自稳性差, 加上该层管线较多, 会给基坑开挖增加难度。

1.2 水文地质条件

基坑开挖范围地下水主要有第四系孔隙水、基岩裂隙水。前者主要赋存于冲洪积砂层及沿线砂(砾)质粘土层中,埋深0.8~10.1 m,以孔隙潜水为主,局部地段微承压,靠大气降水补给。后者广泛分布在花岗岩的中~强风化带及构造节理裂隙密集带中,富水性随基岩裂隙发育程度、贯通度及胶结程度、与地表水源的连通性而变化,主要由大气降水、孔隙潜水补给,局部具有承压性。

1.3 周边环境情况

基坑北侧紧邻深圳交通主干道笋岗西路,车流量大,交通繁忙,道路下埋有市政管线,依次为1000给水管(2.8 m)、电缆沟(9.0 m)及200给水管(12.0 m)。东侧紧邻多栋5层80年代居民住宅楼,为砖混结构,浅埋基础,距基坑边缘最近处约13 m,住宅楼和基坑之间为施工期间材料运输通道。基坑南侧华富路下有埋深约5.6 m的雨水管和深约8.7 m的220 kV电力管线,均为控制性管线。紧临

基坑西侧分布一小池塘,宽约30 m,长约90 m,该池塘有小部分已侵入停车场基坑开挖边缘范围内,水深0.9~1.0 m。施工期间沿基坑西侧设置便道,作为土方外运及其他材料运输的主要通道。基坑平面布置图见图1。

表1 土层物理力学参数指标

层号	土层名称	厚度/m	含水量/%	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1-1	素填土	0.2~8.4	19.2	16	12
3-1	淤泥质土	0.5~3.5	32	8	6
3-2	粉(细)砂	0.6~3.5	20.4		32
3-3	中(粗)砂	0.7~7.6	29.5		33
3-6	粉质粘土	0.5~7.9	31.4	25	14
3-7	粉质粘土	1.7~3.4	26.3	20	10
6-1	砂(砾)质粘土	0.8~16.3	30.5	21	14
6-2	砂(砾)质粘土	2~15	28.8	22	17
12-1	全风化花岗岩	1.4~16.1	24.9	23	22

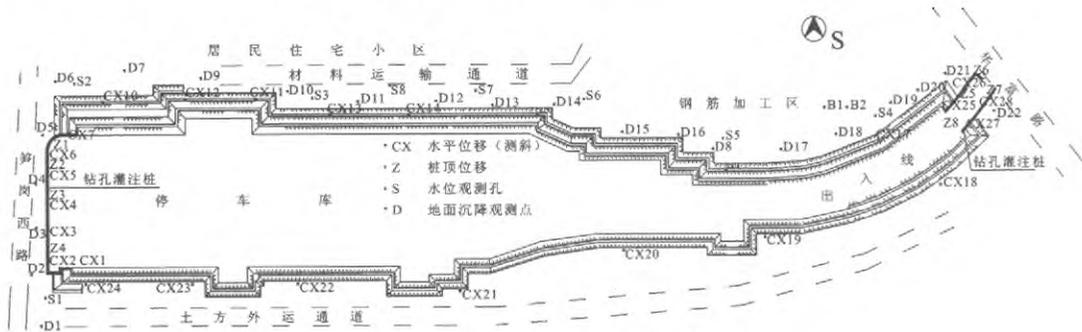


图1 基坑平面与量测点布置图

2 支护结构体系

停车场位于深圳市中心公园内,基坑狭长,占地面积大,考虑到周边环境等级保护的差异,采用多种支护结构结合形成支护体系。基坑北侧紧邻交通主干路,地下管线众多,开挖深度超过15.0 m,对变形要求严格,故采用钻孔灌注桩与预应力锚索结合的支护形式,桩身设置4道可回收预应力锚索,间距2.7 m,水平方向夹角为30°,桩顶设置一道800 mm×600 mm钢筋混凝土冠梁,以增强其横向刚度。南侧紧邻道路,且此处基坑开挖宽度较小,采用排桩与钢支撑联合支护,设置3道φ609 mm、Q235钢管支撑,厚度t=14 mm。排桩体外侧均设施喷桩止水。东西两侧场地相对开阔,为节约成本,采用分级放坡开挖、坡面挂网喷射混凝土的形式,外侧以双排深层搅拌桩作为止水帷幕。

3 现场量测

本基坑占地面积大、开挖深度深,且紧邻交通主干道及居民住宅楼,地下管线密集,为保证开挖过程中基坑本身及周边环境的安全,须对支护结构、周边建筑物及地下管线加以监测。施工中,根据监测到的信息,随时掌握基坑及周边环境所处的状态,及时优化施工方案,以达到节约成本、保证安全和避免事故发生的目的^[8-9]。

3.1 量测内容与测点布置

根据工程特点及周边环境情况,确定主要对下列内容加以量测(基坑主要测点见图1):

3.1.1 桩体深度水平位移

钻孔灌注桩施工时,将测斜管固定在钢筋笼内迎土面一侧,孔深同桩体深度。基坑北侧设置7个测斜点(CX1~CX7),南侧设置4个点(CX25~CX28),测斜孔深度17~21 m,基坑开挖前取得基数值。

3.1.2 土体侧向变形

为了测定基坑东、西侧分级放坡开挖土体侧向变形情况,沿基坑周边埋设测斜管。东侧设置 9 个测斜点(CX10~CX18),西侧设 6 个测点(CX19~CX24),孔深为开挖基底下 1.0 m,基坑开挖前取得基数值。

3.1.3 锚索拉力量测

根据设计要求,每道锚索设置 3 个测点,测力计放置于锚索端部。测点编号为第一道:1#-1~1#-3,第二道为 2#-1~2#-3,第三道为 3#-1~3#-3。锚索预应力张拉后测得初始值。

表 2 监测警戒值及控制值

量测项目	警戒值	控制值	备注
桩体深度水平位移	0.2% <i>H</i>	0.25% <i>H</i>	<i>H</i> 为基坑开挖深度
土体侧向变形	0.2% <i>H</i>	0.25% <i>H</i>	<i>H</i> 为基坑开挖深度
锚索拉力	80%设计值	100%设计值	—
建筑物沉降	20 mm	30 mm	大于 10 mm,预警
地下水位	0.8 m	1.0 m	—

3.1.4 周边建筑物沉降观测

基坑东侧有 16 栋居民住宅楼,开挖前沿楼房四周布置沉降观测点,共 89 个测点。同时在基坑开挖影响范围外布置基准点,基准点不少于 2 个^[10],开挖前取得上述测点的初始值,并定期对基准点加以复测。

3.1.5 坑外地下水位观测

为检验止水帷幕效果,同时保证周边建筑安全,沿基坑共布设了 8 个地下水位观测点,编号为 S1~S8,在基坑降水前测得水位初始值。

3.2 量测警戒值及控制值

表 2 为各量测项目警戒值及控制值。施工中应保证量测值在警戒值范围内,当量测值大于预警控制值时,应采取相应措施,保证基坑及周边环境安全。

4 量测结果与分析

4.1 桩体深度水平位移

根据图 1 的测点布置图,取 CX1、CX3、CX6 加以分析,三点分别位于围护结构端部、拐角处及中间位置。图 2~图 4 分别为其各开挖步水平位移随深度变化曲线。

比较图 2~图 4 可以看出,在各开挖步中测点 CX6 的位移明显小于其余两点,在开挖到基底时,其最大位移为 5.7 mm,与 CX3 最大位移 16.9 mm 相比,位移减小 66.3%。我们已经知道,CX6 点位于围护结构拐角处,且结构呈拱形,拐角两侧的结构

可以看成互为彼此的横向支撑,使得结构的整体刚度增大,抗变形能力增加;同时结构后土体也由于相互的支撑作用,作用于结构上的压力减小。因此,在上述两点综合作用下,拐角处抗变形能力得到强化,位移较小。

CX1 位于桩锚结构和分级放坡开挖结合处,可以看出其水平位移随开挖深度近似呈线性变化,且相对于其他测点位移变化较为明显。这是由于该测点位于两种结构结合处,结构整体性相对较差,抗变形能力欠佳。因此,在考虑采用两种或多种支护形式时,应在其结合处采取一定的加固措施,以增强结构稳定性。

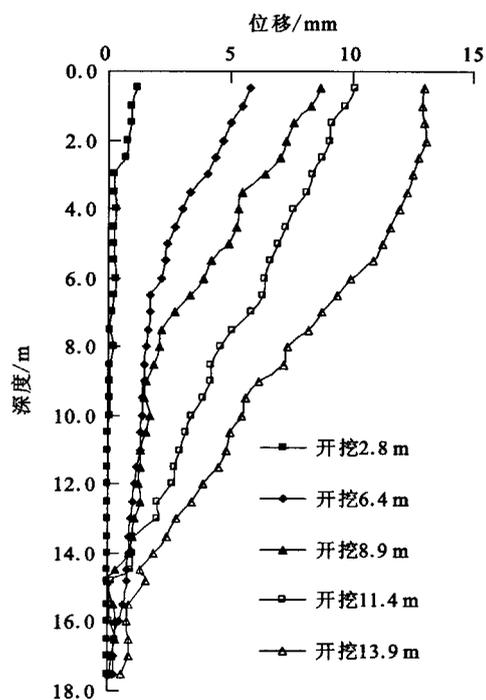


图 2 CX1 孔水平位移沿深度分布

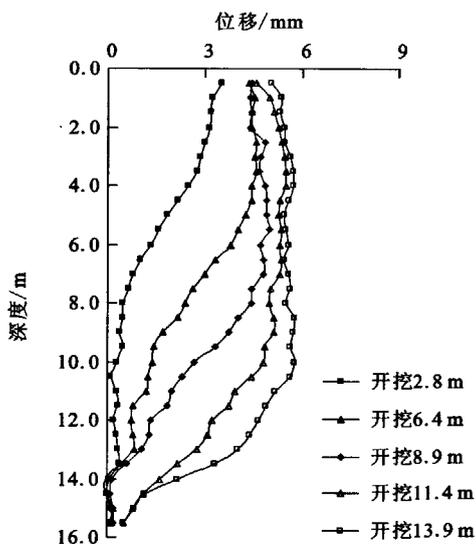


图 3 CX6 孔水平位移沿深度分布

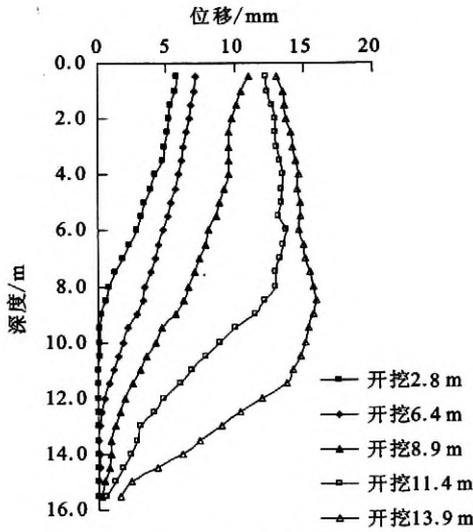


图4 CX3孔水平位移沿深度分布

4.2 土体侧向变形

放坡开挖土体水平位移随深度变化曲线见图5、图6,其中,CX13位于基坑东侧,CX22位于西侧。可以看出,随着开挖深度的加深,各点的水平位移逐步加大。但二者相比,CX13最大位移点出现在坡体中部,呈现鼓肚式特征。而CX22最大位移点出现在坡顶处,各层土体呈现绕底部向坑内倾斜的特征。一方面,这和基坑东侧开挖深度相对较大(12.0 m)有关,此时坡体中出现潜在滑动面,滑动面处位移较大,而基坑西侧开挖深度相对较小(8.0 m);另一方面,CX22位于土方分段开挖的交界处,测点北侧土体开挖时,南侧结构底板已经完成,在一定程度上限制了坡体变形。可见,分段开挖对控制基坑变形意义重大。

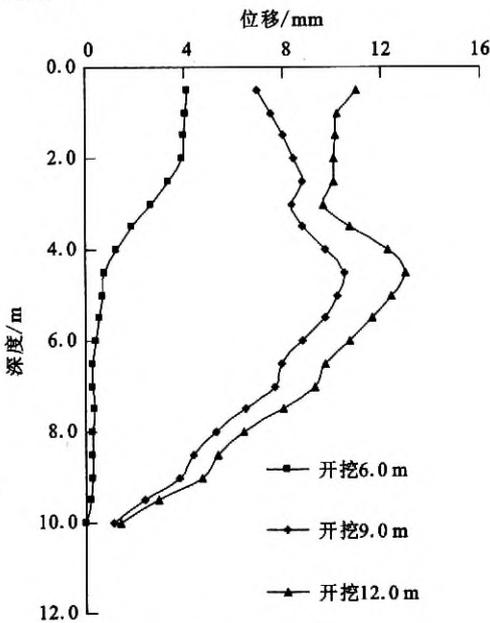


图5 CX13孔水平位移沿深度分布

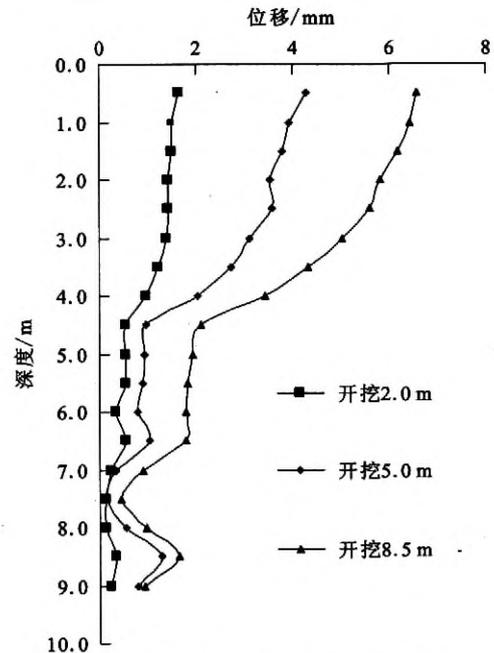


图6 CX22孔水平位移沿深度分布

4.3 锚索拉力

图7为锚索拉力随时间变化曲线,可以看出:随着基坑开挖深度的增大,各测点拉力值逐步加大,且增大时间与土方开挖时间基本吻合,说明随开挖深度的增加,支护结构变形相应增加,而围护桩体通过锚索的背拉作用,可以有效地控制变形。同时,2#-3点拉力值在5月26日突然增大后骤降,然后逐步稳定,经分析此段时间内坑内进行土方开挖作业,可能是施工机械不小心碰到锚索引起拉力发生异常变化。因此在施工过程中必须加强对锚索结构的保护。

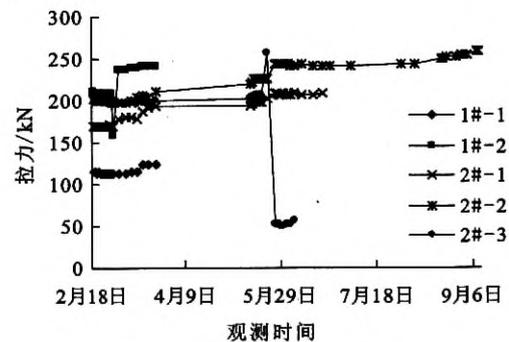


图7 锚索拉力时变曲线

4.4 周边建筑物沉降监测

整个基坑开挖期间,周边建筑物最大沉降量为13.66 mm,且各点沉降量随开挖进行而逐步加大^[11]。同时,各点沉降量与距基坑的远近有密切关系(见图8),可以看出,二者间相互变化规律可以近似由图8中公式表示。因此,对于城市深基坑周边

的狭长型老旧建筑物受距离基坑的远近影响较大,应密切关注其差异沉降,防止建筑物开裂破坏。

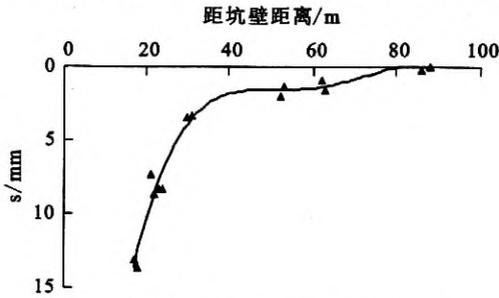


图8 建筑物沉降量与距基坑距离关系

4.5 坑外地下水位观测

为保证基坑开挖期间坑外地下水位稳定,坑外设置水位观测孔。结果表明(见图9):开挖期间坑外地下水位稳定,说明采用深层搅拌桩起到很好的止水作用。

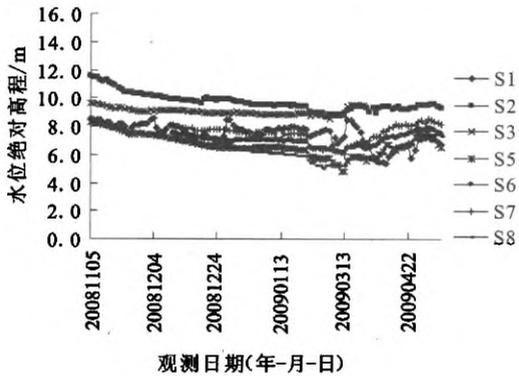


图9 地下水位变化曲线

5 结论

本工程占地面积大,周边环境复杂,支护形式多样,对变形要求较为严格,为保证施工安全在开挖过

程中进行了全面系统的监测。监测工作的实施为施工的安全顺利进行提供了依据,达到了信息化施工的目的,保证围护结构及周边环境始终处于安全受控状态;同时为类似工程提供有益的参考,有利于提高基坑工程的设计与施工水平。

参 考 文 献

[1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
 [2] 侯学渊,刘国彬,黄院雄. 城市基坑工程发展的几点看法[J]. 施工技术,2000(1),5~7.
 [3] 唐业清,李启民,崔江余. 基坑工程事故分析与处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
 [4] 李耀良,徐安军,王建华. 上海 M8 线西藏南路站 6 区基坑的监测与分析[J]. 地下空间与工程学报,2005(4),603-606.
 [5] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
 [6] 陈生东,简文斌. 复杂环境下基坑开挖监测与分析[J]. 岩土力学,2007(27):1188-1191.
 [7] 深圳地铁三号线西延段岩土工程勘察报告. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2007.
 [8] 王曙光. 深基坑支护事故处理经验录[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
 [9] 宋建学,郑 仪,王原嵩. 基坑变形监测及预警技术[J]. 岩土工程学报,2006,28(增):1889-1893.
 [10] JGJ 120-99. 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
 [11] 杨华伟. 城市地铁深基坑现场实测与周边环境安全控制研究[D]. 长沙:中南大学,2010.

收稿日期:2011-08-18

(上接第 280 页)

[3] Bishop A W, Alpan I, Blight G E, et al. Factors controlling the shear strength of partly saturated cohesive soils[A]. In: Proc. of ASCE Research Conference On the Shear Strength of Cohesive Soils[C] Colorado; A. A Balkema, 1960, 503~532.
 [4] Fredlund D G, Morgenstem N R-Widger R A. The shear strength of unsaturated soils [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1978, 15(3) :313~ 321.
 [5] 卢肇钧. 非饱和土抗剪强度的探索研究[J]. 中国铁

道科学,1999,20(2):10~15.

[6] 徐永福,龚友平,殷宗泽. 非饱和膨胀土强度的分形特征[J]. 工程力学,1998,15(2):76~81.
 [7] 沈珠江. 当前非饱和力学研究的若干问题[A]. 区域性的岩土工程问题学术讨论会论文集[C]. 北京:原子能出版社,1996.

收稿日期:2011-08-29