

武汉市宝通寺地铁站基坑工程监测与分析

徐 升 肖铭钊

(1. 中国地质大学(武汉),湖北武汉 430074; 2. 武汉市政建设集团有限公司,湖北武汉 430000)

【摘 要】 介绍了武汉市轨道交通二号线一期工程第 20 标段宝通寺地铁站基坑工程的支护设计和监测方案,并对监测结果中基坑周围岩土体侧向水平位移和内支撑轴力进行了初步分析。监测结果表明:土层和岩层在基坑开挖过程中的侧向水平变形程度相差较大,且不同状态的土层侧向水平变形程度亦不相同;由于土层相对于岩层侧向变形较大,其支护时所表现出来的内支撑轴力亦比较大。因此,对于不同地层,进行基坑支护方案选择时应根据其不同变形性质进行合理的优化设计,对土层和岩层可采取不同的支护形式,以达到既安全又经济的目的。

【关键词】 基坑;水平位移;内支撑轴力;监测变形

【中图分类号】 TU 433

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.01.003

The Monitoring and Analysis of the Baotong Temple Subway Station Foundation Pit Engineering in Wuhan

Xu Sheng Xiao Mingzhao

(1. China University of Geosciences Wuhan, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Wuhan Municipal Construction Group co., LTD, Wuhan 430000, Hubei, China)

【Abstract】 This paper has introduced the foundation pit supporting design and monitoring program of the wuhan rail transit line 2 at a phase of the project section of 20, the Baotong temple subway station, And also made a preliminary analysis for the monitoring results of geotechnical engineering foundation pit lateral horizontal displacement and strut axial forces. The result indicated: soil layer and rock layer in the process of foundation pit excavation in the lateral deformation degree level is large, and the state of the different soil lateral level have different deformation degree. Due to the relative to the rock soil lateral deformation is bigger, the supporting shown by the inside of the strut axial forces are also relatively large. So, for different formation, carries on the soil foundation pit support scheme should choose reasonable design for optimization purpose according to their different deformation properties, soil and rock strata can take on different support form to get to both safe and economic purposes.

【Key words】 foundation pit; horizontal displacement; strut axial forces; deformation monitoring

0 引 言

随着城市建设规模的不断发展,基坑工程呈现出开挖面积大、深度深、形状复杂、支护结构形式多样和周边环境保护要求严格等特点。由于城市建设用地的局限性、周边环境的严峻性以及深基坑在开挖过程中所涉及场地地质条件的复杂性和不确定性、深基坑工程仍然是一项极具挑战性、高风险性、高难度的岩土工程技术热点课题^[1-4]。作为一个复杂的综合性岩土工程,施工的每一个阶段,结构体系和外荷载的变化对支护结构的变形、内力有很大的影响^[5]。工程实践表明,信息化施工对基坑工程起

着极其重要的作用,通过施工监测与信息反馈,可以直接服务于现场信息化施工,确保工程施工的安全与高效,并及时预报下一阶段工程施工中可能出现的新行为、新动态,及时优化设计参数,实现设计与施工的信息化^[6-7]。本文结合武汉市轨道交通二号线一期工程第 20 标段宝通寺地铁站基坑工程,介绍了其支护方式,并主要分析了采用相应支护方式的基坑周围岩土层水平位移和基坑内支撑轴力的监测结果,提出了基坑支护形式或强度应根据不同地层而有所区别的观点,为基坑支护方式经济性提供了优化的依据。

1 工程概况

武汉市轨道交通二号线一期工程第20标段宝通寺站位于东西走向的武珞路地下、武珞路和南北走向的石牌岭路交汇路口以西约250 m处。车站主体基坑长度约219 m,宽度约19 m,基坑平面呈长方形,包括东、西端头井及标准段。其中东、西端头井基坑尺寸为14.9 m×24.3 m,开挖深度东端头井达18.8 m,西端头井达17.7 m;标准段基坑尺寸为189.4 m×18.5 m,开挖深度16.14~16.60 m。基坑围护结构采用 $\phi 800@1100$ 、 $\phi 1000@1300$ 钻孔灌注桩+ $\phi 800@600$ 高压旋喷桩止水+内支撑方

案。内支撑采用钢支撑,钢支撑设于冠梁及围檩处。基坑内竖向设三道横向(或斜向)钢支撑,钢支撑平面位置上下对齐,其中第一道钢支撑直径609 mm,壁厚12 mm;第二道以及第三道钢支撑直径609 mm,壁厚16 mm。钢支撑水平间距3 m,局部间距略有调整。

由于基坑面积较大,周围环境复杂,其所在区域是武汉市近几年发展起来的商业圈,交通流量极大;同时区域内还有广州军区总医院和宝通禅寺等重要建筑,周边环境非常复杂。综合判定该基坑的安全等级为一级。基坑周边环境及监测图见图1。

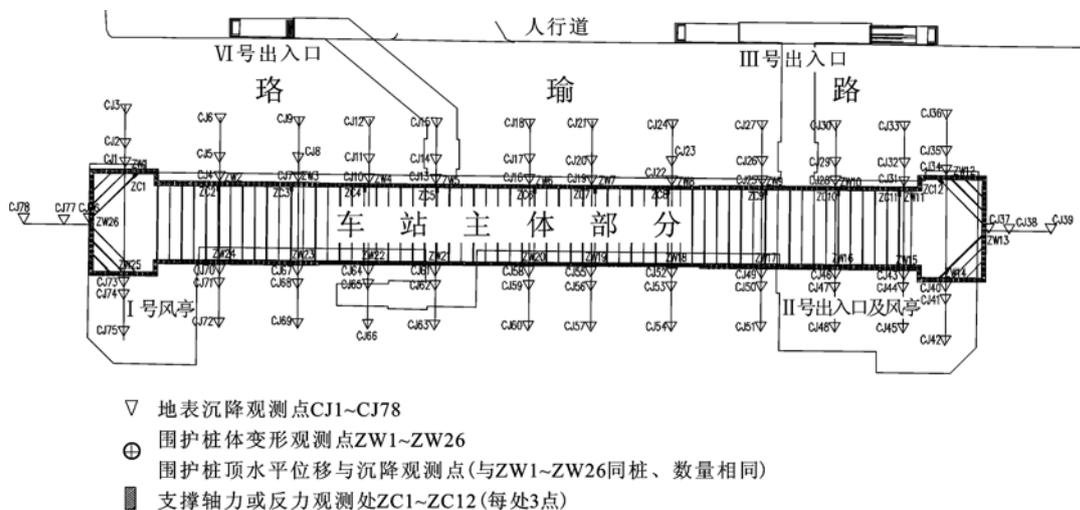


图1 基坑周边环境及监测图

2 场地工程地质与水文地质条件

2.1 工程地质条件

根据武汉市基岩地质图,宝通寺站处于锅顶山—王家店倒转背斜核部。锅顶山—王家店倒转背斜自汉阳锅顶山,向东经大东门至王家店。长约55 km,宽约2.4 km,核部为志留系,两翼为泥盆、三叠系岩层。北翼正常,倾向北,倾角 $52^{\circ}\sim 75^{\circ}$;南翼倒转,倾向北,倾角 50° 左右。宝通寺处于背斜核部,岩层产状为 $0^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 。

本标段通过地段属长江Ⅲ级阶地地貌,场地的主要土层有杂填土 $\textcircled{1}_1$:表面为沥青路面,其下为矿渣、碎石及粘性土垫层,湿,中密。厚度为0.30~2.80 m,平均厚度为1.00 m;素填土 $\textcircled{1}_2$:黄褐色,主要由粘性土组成,含少量碎石、角砾等硬杂质,湿,中密。厚度为0.50~2.50 m,平均厚度为1.21 m;粉质粘土 $\textcircled{6}_1$:灰褐色—黄褐色,含黄色铁锰氧化物花斑,饱和、可塑,局部为软塑。分布于冲沟地段。厚度为1.90~4.70 m,平均厚度为3.18 m;粉质粘土

$\textcircled{7}_2$:褐黄—黄褐色,含黑色铁锰氧化物及灰白色高岭土,饱和、硬塑。厚度为2.50~5.00 m,平均厚度为3.83 m;含碎石粘土 $\textcircled{10}_2$:棕红色,含黑色铁锰氧化物,碎石含量5%~30%左右,粒径大小一般为20~300 mm,岩性为坚硬的石英岩状砂岩。湿,硬塑。厚度为1.20~3.50 m,平均厚度为2.70 m。粉质粘土 $\textcircled{13}_3$:黄色—棕黄色,含有少量母岩岩屑,饱和,硬塑。中南路—武珞路地段厚度为0.50~2.30 m,平均厚度为1.01 m;粉砂质泥岩 $\textcircled{20}_a$:灰黄—灰—绿黄色,强风化及中等风化岩石多为灰黄色,微风化岩石多为灰色。主要成分为水云母,并含少量石英粉砂、长石、绿泥石等矿物,泥质结构、层状构造。强风化岩石裂隙发育,层面及裂隙面上有黑色氧化铁薄膜,RQD值小于20%;中等风化岩石裂隙较发育,层面及裂隙面上有黑色氧化铁薄膜,RQD值为20%~50%;微风化岩石完整性好,RQD值大于90%。倾向北,倾角 65° 。概化地层剖面见图2。

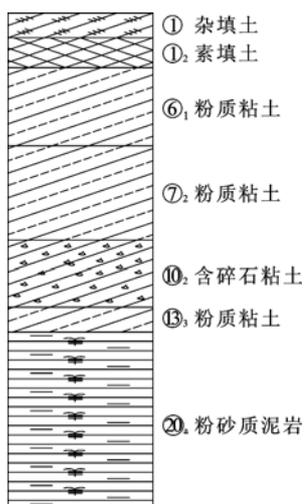


图2 地层概化图

2.2 水文地质条件

场地地下水类型为上层滞水和基岩裂隙水两种类型。上层滞水主要赋存于人工填土之中,大气降水及附近居民生活用水是其主要补给来源。其地下水位埋深 0.85~2.30 m,相当于标高 27.75~29.60 m。向宝通寺地势较低地段排泄;车站基坑开挖时,宜设置止水帷幕,阻断该地下水的来源。基岩裂隙水主要存在于裂隙发育的强风化及中等风化粉砂质泥岩之中,水量较小。微风化岩石完整性好,仅有少量裂隙发育,水量更小。

该处承压水对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋均无腐蚀性,对钢结构具有弱腐蚀性。

3 基坑围护结构监测数据分析

由于车站基坑工程深度较大,周边环境复杂,因此,对宝通寺车站基坑支护结构、基坑周围的土体、地下管线和相邻的建筑物进行了全面、系统地监测,为分析判别基坑施工过程中支护结构和周围建、构筑物及地下管网的安全性提供科学依据,并对基坑的稳定性进行评价,了解施工对周边环境的影响情况,通过获得的围护结构及周围环境在施工中的综合信息,进行施工的日常管理,为优化和合理组织施工提供可靠信息,指导施工、改进施工工艺、合理安排施工进度,实现动态设计和信息化施工,同时积累资料,以提高深基坑工程的设计和施工水平。

3.1 基坑监测项目

根据拟建工程的重要性等级、工程地质条件、设计支护及施工方法等,参照设计要求,确定车站基坑施工监测项目如下:①主体围护结构与周边环境观察;②基坑周围地面沉降;③周边建筑物沉降、倾斜

及裂缝;④地下水位;⑤周边管线沉降;⑥围护桩桩顶水平位移与沉降;⑦围护桩桩体变形;⑧钢支撑轴力;⑨围护桩桩体应力;⑩桩侧土压力;⑪爆破过程中保护对象的振动速度。

3.2 监测结果分析

根据以往经验,由于基坑工程是在地面以下进行的工程建设活动,基坑周围属于岩土体的临空面,其往往受到很大的侧向土压力而使基坑四周发生向坑内的侧向变形,造成基坑岩土体的垮塌、滑落以及支护结构的变形破坏,因此,在众多监测项目中,基坑四周围护桩桩体的侧向变形以及水平内支撑的轴力变化是需要重点关注的信息,它直接反映了基坑周围岩土体在基坑开挖过程中应力应变的变化程度和趋势,是保证基坑在工程施工期间能否安全稳定的重要指标。正是基于此种因素,本文主要就该基坑工程中的围护桩桩体侧向变形和水平内支撑的轴力监测数据进行分析研究。

3.2.1 水平位移

在基坑周围的围护桩体上共设置了 26 个桩体变形观测点 ZW1~ZW26,各监测点在基坑四周每隔 15 m 布置一个,围护桩桩体水平位移通过活动式测斜仪进行监测,监测范围为坑内桩体全高,检测精度为 0.02 mm/0.5 m。将在围护结构中同一测斜管的不同深度处所测得的累计变位值点在坐标纸上连接起来,从而得到位移-历时曲线,孔深-位移曲线,当水平位移速率突然过分增大是一种报警信号,收到报警信号后,应立即对各种量测信息进行综合分析,判断施工中出现了什么问题,并及时采取保证施工安全的对策。

选取基坑北侧和南侧的桩体变形观测点各一个(北侧取 ZW1,南侧取 ZW25),其测斜管随时间所测的的基坑土体侧向位移变形曲线见图 3 和图 4。

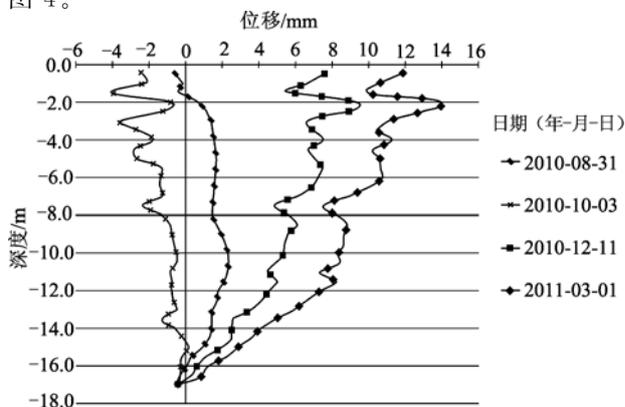


图3 ZW1点深度-水平位移关系曲线图

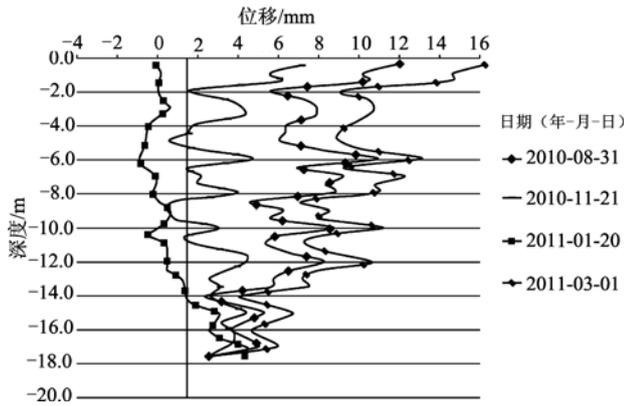


图4 ZW25点深度-水平位移关系曲线图

由图可知,随着基坑深度的增加,围护桩的侧向水平位移逐渐减小,且随深度的变化,不同岩土层的水平位移变化趋势呈现出明显的区别。因此,根据基坑周边已有的测斜孔监测数据和基坑的工程地质条件,综合同一地层在基坑不同位置测斜孔的监测数据,可求得不同地层的平均最大水平位移,计算结果见表1。

表1 部分岩土层平均最大水平位移统计表

地层名称及编号	地层观测点	平均最大水平位移/mm
粉质粘土⑥ ₁	ZW25	14.19
粉质粘土⑦ ₂	ZW9、ZW14、ZW15、ZW17、ZW18	11.93
含碎石粘土⑩ ₂	ZW1、ZW2、ZW4、ZW24	13.11
粉质粘土⑬ ₃	ZW4、ZW22、ZW24、ZW25	11.38
强风化粉砂质泥岩⑳ _{a-1}	ZW1、ZW2、ZW14、ZW15、ZW17、ZW18、ZW25、ZW26	9.74
中等风化粉砂质泥岩⑳ _{a-2}	ZW1、ZW2、ZW4、ZW9、ZW14、ZW15、ZW17、ZW18、ZW22、ZW24、ZW25、ZW26	6.33
微风化粉砂质泥岩⑳ _{a-3}	ZW2、ZW4、ZW9、ZW22、ZW17、ZW24、ZW25	2.63

由于⑦₂层、⑩₂层和⑬₃层土体的塑性状态均成硬塑,组成大体相似,故可将其概化成一种土体以方便对不同地层水平位移的研究。将这三层土的平均最大水平位移进一步求均值得到综合土层的平均最大水平位移为12.14 mm。由表1中数据可知,基坑开挖地层中,最大水平位移均值为14.19 mm,最小水平位移均值为2.63 mm,均在基坑监测报警值范围内(围护桩桩体变形报警值为30 mm)。随着地层深度的增加,不同岩土层的平均最大水平位移呈明显逐步减小的趋势。上部土层比下部岩层在

基坑开挖和基础施工过程中向坑内的侧向水平位移大,而呈软塑状态的粉质粘土⑥₁层比呈硬塑状态的土层(⑦₂层、⑩₂层、⑬₃层)向坑内的水平位移大。进一步进行数据分析,可求得各地层的平均最大水平位移随深度的减小率,分析结果见表2。由表2可知,随着深度的增加,地层的最大水平位移减小率逐渐增大,最大减小率到达了58.45%,最小也有14.45%,由此可见,对于不同的地层,土层和岩层在基坑开挖和基础施工过程中的侧向水平变形程度相差较大,且不同状态的土层侧向水平变形程度亦不相同。

表2 部分岩土层平均最大水平位移减小率统计表

地层名称及编号	平均最大水平位移/mm	位移减小率/%
粉质粘土⑥ ₁	14.19	
粉质粘土⑦ ₂		
含碎石粘土⑩ ₂	12.14	14.45
粉质粘土⑬ ₃		
强风化粉砂质泥岩⑳ _{a-1}	9.74	19.77
中等风化粉砂质泥岩⑳ _{a-2}	6.33	35.01
微风化粉砂质泥岩⑳ _{a-3}	2.63	58.45

3.2.2 钢支撑轴力

该基坑采用竖向三道水平钢支撑作为基坑维护体系的一部分,钢支撑水平间距3 m,局部间距略有调整。监测点沿基坑四周每隔15 m布置一排,共有12个(ZC1~ZC12,每处3个点),监测数据由轴力计应变仪获取。第一道支撑位于冠梁标高以下0.4 m处,第二道支撑位于冠梁标高以下5.9 m处,第三道支撑位于冠梁以下10.55 m处。结合基坑的工程地质剖面图和支护结构施工图可知,第一道和第二道钢支撑基本都位于上部土层中,第三道钢支撑均位于中等风化粉砂质泥岩⑳_{a-2}层。取ZC1处三道钢支撑轴力监测数据,其随时间变化的轴力值见图5。从图5中可以看出,随着施工天数的增加,第一道支撑轴力起初呈逐渐增大的趋势。当第二道支撑施工完毕后,其轴力也随着施工的不断进行而迅速增大,而此时第一道支撑轴力则呈趋于平稳。随着工程结构底板的完工,混凝土结构强度逐渐体现,为控制基坑周围岩土层的侧向变形做出了贡献,第二道及第三道支撑的轴力呈显著下降趋势,与此对应的是第一道支撑轴力则进一步上升,之后又进入稳定阶段。而根据三道支撑轴力的监测数据,不

难得出,位于土层中的第一道和第二道支撑其轴力明显比位于岩层中的第三道支撑轴力大得多,轴力的大小实际反映的是基坑周围岩土层侧向变形的程度。由此可得,土层的变形较岩层的变形更大,是基坑工程中应重点关注的内容。

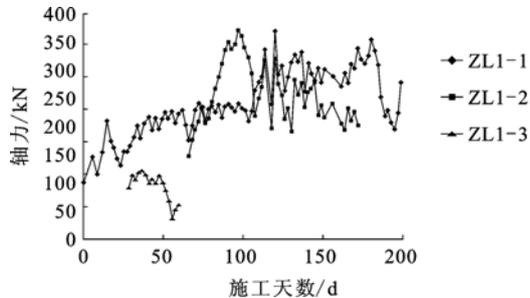


图5 ZC1处钢支撑轴力-时间实测曲线图

4 结论

通过对基坑周围岩土体侧向水平位移和基坑内支撑轴力的监测,可以得到如下结论:

1)对于不同的地层,土层和岩层在基坑开挖和基础施工过程中的侧向水平变形程度相差较大,且不同状态的土层侧向水平变形程度亦不相同。

2)由于土层相对于岩层侧向变形较大,其支护时所表现出来的内支撑轴力亦比较大。

3)对于基坑周围不同的地层,进行支护方案选择时应根据不同地层的变形性质进行合理优化的设计,对土层和岩层可采取不同的支护形式,以到达既安全又经济的目的。

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] 孙 钧. 城市环境土工学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2005.
- [3] 龚晓南. 基坑工程实例[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 王建华,徐中华,陈锦剑,等. 上海软土地区深基坑连续墙的变形特性浅析[J]. 地下空间与工程学报, 2005,1(4):485-489.
- [5] 贾彩红,杨国忠,张雪颖. 苏州地铁超宽超深基坑工程监测与分析[J]. 铁道建筑,2010(10):61-65.
- [6] 李元海,朱合华. 岩土工程施工监测信息系统初探[J]. 岩土力学,2002,23(1):103-106.
- [7] 杨国祥,李 侃,赵锡宏,等. 大型超深基坑工程信息化施工研究[J]. 岩土工程学报,2003,25(4):483-487.

收稿日期:2011-11-22

(上接第8页)

- [4] 田廷山,李明朗,白 冶. 中国地热资源及开发利用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.
- [5] 汪集旸,龚宇烈,马伟斌,等. 我国发展地热能面临问题的分析及建议[J]. 地热能,2011(6):14-17.
- [6] 刘冬生,孙友宏. 浅层地能利用新技术—地源热泵技术[J]. 岩土工程技术,2003(1):57-59.
- [7] 马如凤,林 黎,王颖萍,等. 天津地热资源现状与可持续性开发利用问题 [J]. 地质调查与研究,2006(3):222-228.
- [8] 任书才,赵 虹,张中祥,等. 山东省地热资源特征及勘查对策[J]. 地热能,2006(6):21-22.
- [9] 高 柏,孙占学,刘金辉. 江西省地热温泉开发利用与保护[J]. 水资源保护,2006,22(2):92-94.
- [10] 袁玉松,马永生,胡圣标,等. 中国南方现今地热特征[J]. 地球物理学报,2006,49(4):1118-1126.
- [11] 王奎峰. 山东莘县凹陷(聊城段)地下水化学特征及成因[J]. 岩土工程技术,2009(2):90-94.
- [12] 陈文林. 应用地球化学温标估算热储温度[J]. 闽煤地勘,2000(1):29-32.
- [13] 周立岱. 中低温地热系统形成机制及评价研究[D]. 沈阳:辽宁工程技术大学,2005.
- [14] 赵 璐,邬 立,罗湘赣. 由地球化学温标推算贵阳市乌当区地热田热储温度[J]. 工程勘察,2010(S1):832-836.
- [15] 王绍林,姚 强,李文章. 矿泉对人体某些生理作用的研究进展[J]. 中国疗养医学,2003,12(2):82-84.

收稿日期:2011-11-09