

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.06.036

富水砂层区地铁车站基坑变形过大原因分析

金建申

(中交投资有限公司, 北京 100029)

摘要:以某明挖地铁车站基坑工程为例,结合工程地质和水文地质、基坑围护结构设计和施工情况,以及基坑开挖期监控量测数据,分析总结了基坑支护结构及周边环境变形规律、变形产生原因及可采取的风险管控措施,分析认为:富水砂层地层地铁车站基坑自身及周边变形控制的主要因素包含支撑架设及时性及轴力预加、土方开挖方式、坑内疏干降水效果、坑边动静荷载等;富水砂层区基坑桩(墙)体水平位移监测,应以管顶为起算点,并将对应墙顶水平位移值代入进行修正;同时,类似地层区地铁车站基坑支护结构设计应重点考虑第一道支撑采用钢筋混凝土支撑、增加基坑围护桩(墙)体嵌固深度的必要性。

关键词: 地铁车站; 基坑工程; 支护结构; 监控量测; 风险控制

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)06-0191-06

Analysis of Excessive Deformation of Foundation Pit of Metro Station in Rich Water Sand Layer Area

JIN Jianshen

(CCCC Investment Company Limited, Beijing 100029, China)

Abstract: Taking an open cut metro station foundation pit project as an example, combined with engineering geology and hydrogeology, foundation pit retaining structure design and construction, as well as monitoring and measuring data of foundation pit excavation period, this paper analyses and summarizes the deformation law, causes and possible risk control measures of foundation pit supporting structure and surrounding environment. The analysis shows that the main factors controlling the deformation of subway station foundation pit in water-rich sand stratum include the timely erection of support and pre-loading of axial force, the excavation method of earthwork, the effect of drainage and dewatering in the pit, and the dynamic and static load at the pit edge. In monitoring horizontal displacement of foundation pit pile (wall) in rich water sand layer area, the pipe top should be taken as the starting point and the corresponding horizontal displacement value of wall top should be substituted for correction. The design of foundation pit supporting structure of subway station in similar strata should focus on the necessity of using reinforced concrete as the first support and increasing the embedded depth of retaining pile (wall) of foundation pit.

Keywords: metro station; foundation pit engineering; support structure; monitoring measurement; risk control

明挖法作为一种常用的地铁车站施工工法,在地铁工程建设中得到广泛应用,已积累了丰富的施工和安全管理经验^[1-2]。北京、兰州等地质条件较好地区,深基坑支护结构多采用灌注桩加钢管内支撑体系。上海、宁波等南方软土地区,深基坑支护结构大都采用地下连续墙结合多道钢筋混凝土支撑和钢支撑组合内支撑体系。文献[3-12]通过实

际工程现场监测资料或数值模拟技术,研究基坑开挖方式、无支撑暴露时间、降水方式等的变化与基坑自身、周边环境变形的关系。但是不同的地质条件、支护体系、施工方案,施工引起的基坑自身和周边环境变形规律也存在一定差别。

太原轨道交通2号线一期工程为山西省第一条轨道交通工程建设线路,如何快捷有效的积累经验

意义重大。太原市地下水位埋深浅,车站基坑开挖深度范围内土层主要为杂填土、素填土、粉质黏土、黏质粉土和粉细砂,其中局部粉质黏土层和粉细砂层具有液化性,土体自稳能力介于北京、上海两者之间。同时,受“三面环山、北高南低、中间地层属河漫滩和 I 级阶地”地形地貌特点影响,区域水文地质性质差异较大。本文以某站基坑监控量测数据为依据,通过反复验证,在基坑采用悬挂式止水帷幕+坑内疏干降水的截排水方式下,研究该类型地层地铁车站基坑开挖施工引起的基坑自身及周边环境变形特点,为后续地铁车站设计、施工、监测工作提供经验借鉴。

1 工程概况

1.1 设计概况

某车站结构形式为地下两层双柱三跨矩形钢筋混凝土框架结构岛式车站^[13],采用明挖顺作法施工。基坑围护结构采用地下连续墙+内支撑支护形式,辅以基坑内疏干降水,地连续插入比在 1:0.4~1:0.5 之间,地下水位埋深 3.1 m~4.5 m,属悬挂式止水。

车站地下连续墙厚度为 800 mm,车站基坑标准段第 3~13 轴部位采用三道 $\Phi 800$ mm 钢管内支撑;标准段第 13~16 轴部位采用三道 $\Phi 800$ mm 钢管内支撑+一道倒撑;标准段第 16~26 轴部位采用四道 $\Phi 800$ mm 钢管内支撑+一道倒撑;盾构端头井均采用第一道混凝土斜支撑+三道 $\Phi 800$ mm 钢管内支撑+一道倒撑。车站主体基坑标准段横断面图见图 1。

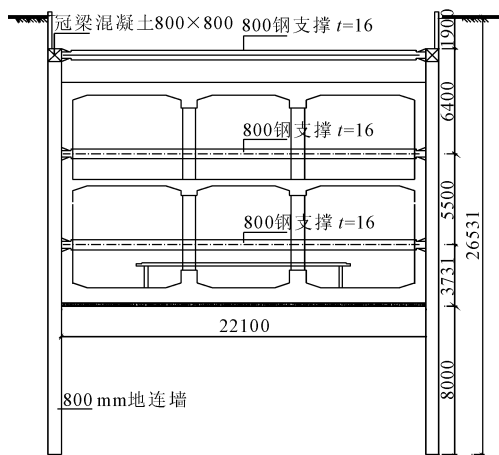


图 1 车站主体基坑标准段 3~13 轴横断面图

1.2 水文地质情况

1.2.1 地层情况

本站站位属汾河东岸 I 级阶地地区,地势北高南

低,地面高程为 794 m~797 m,钻探揭露深度范围的地层为第四系全新统填土、粉质黏土、粉土、砂土和第四系上更新统粉质黏土、粉细砂、砂质粉土和细圆砾土透镜体^[14]。

车站底板主要坐落于 2-2-1 粉质黏土、2-3-1 黏质粉土。

1.2.2 水文情况

地下水为第四系松散层孔隙潜水,含水层为第四系全新统人工填土、冲积粉土及砂、砾石层,水位埋深 3.1 m~4.5 m,高程 790.024 m~793.415 m,主要靠大气降水及侧向径流和城市供水、排水渗漏补给,排泄方式以蒸发、人工抽取地下水及侧向径流补给为主。

勘察期间稳定水位埋深 3.1 m~4.5 m,地下水位变幅 0.8 m~1.4 m。

2 基坑开挖监控量测结果及分析

2.1 监测平面图

监测数据分析应结合监测主断面上所有监测项目对基坑的整体稳定性和周边环境变形情况进行分析,由于测点布设原因,该站主断面上监测项目布设不全,本文就墙体水平位移、墙顶水平位移、周边地表(管线)沉降监测数据进行分析。

本文对该站 1~13 轴基坑土方开挖过程中围护结构及周边环境变形监测情况进行分析。监测点平面布置图见图 2。

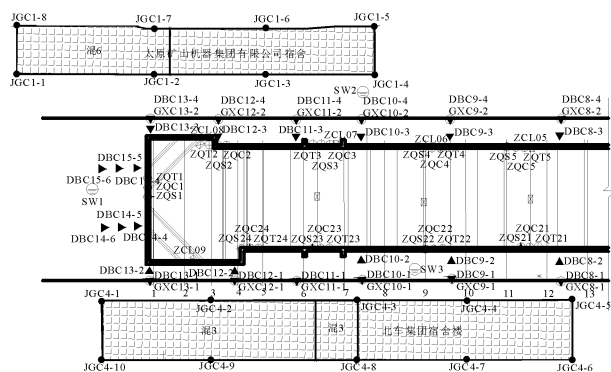


图 2 某站主体基坑 1~13 轴监测点平面布置图

2.2 施工进展情况

2016 年 9 月 22 日该站主体基坑开始土方开挖,开挖方向由南向北,采用中拉槽开挖方式。2016 年 9 月 22 日至 2016 年 11 月 29 日土方开挖对应工况见表 1。

表 1 主体基坑土方开挖工况表

日期 (月-日)	对应工况
09-22	基坑未正式开挖,仅进行了南盾构井段局部 5 m 深试挖
09-26	正式开始基坑土方开挖
09-29	南盾构井段 1~3 轴挖至 5 m
10-05	南盾构井段 1~3 轴开挖深 8 m~10 m,第二道斜撑架完成,对撑未架设;开挖放坡至 9 轴,4~9 轴首层钢支撑未架设
10-11	由于坑内疏干降水效果不佳,暂停开挖,南盾构井段 1~3 轴开挖深 8 m~12 m,第二道斜撑架完成,对撑仍未架设;4~9 轴首层钢支撑架设 1 根
10-15	南盾构井段第二道双拼对撑架设完成,支撑封闭成环
10-19	1~4 轴开挖深约 12 m 至第三道撑位置,第三道斜撑架完成,对撑未架设;4~9 轴第一道钢支撑架设 1 根,第二道 1 根
10-31	1~4 轴开挖深约 14 m,第三道对撑仍未架设;4~6 轴开挖深度约 12 m,4~9 轴第一道钢支撑架设 3 根,第二道 4 根
11-04	1~4 轴开挖深约 16 m,至第 4 道钢支撑下 1 m,第三道对撑仍未架设;4~6 轴开挖深度约 14 m,4~9 轴第一道钢支撑架设 3 根,第二道 4 根,各道撑均不同程度缺失
11-10	1~4 轴基坑开挖见底,深 18.5 m,该段各道支撑补架完成;4~6 轴见底,深 17 m,支撑全部架设完成;开挖放坡至 13 轴
11-18	土方开挖暂停,施工单位开始 1~4 轴底板钢筋绑扎,4~6 轴清底
11-29	1~4 轴底板混凝土 11 月 26 日浇筑完成

2.3 典型测点监测结果及分析

2.3.1 墙顶水平位移/墙体水平位移

1) 墙顶水平位移监测结果见表 2。

2) 墙体水平位移时程曲线:在此选择三个有代表性的墙体水平位移监测点 ZQT-01、ZQT-03、

表 2 桩顶水平位移监测数据统计表

测点	不同日期(月-日)累计变形量/mm								
	09-29	10-05	10-11	10-21	10-27	11-04	11-10	11-22	11-29
ZQS-01	-0.60	-1.25	-1.90	-1.20	-2.30	-1.50	-0.80	0.20	0.20
ZQS-03	2.20	-2.10	1.10	6.60	12.30	18.30	24.70	26.20	25.50
ZQS-23	-2.90	1.30	3.10	11.40	6.10	14.40	24.30	30.10	30.40

注:“+”值代表向基坑内变形。

② 墙顶水平位移情况:测斜管测得的墙体变形时程曲线反映墙顶向基坑外位移 10.08 mm。

③ 墙体变形过大原因分析:支撑架设滞后(且未完全到位),每道钢支撑架设都存在滞后情况;土

ZQT-23 随着土方开挖的变形时程曲线进行分析,三个测点的变形时程曲线见图 3~图 5。

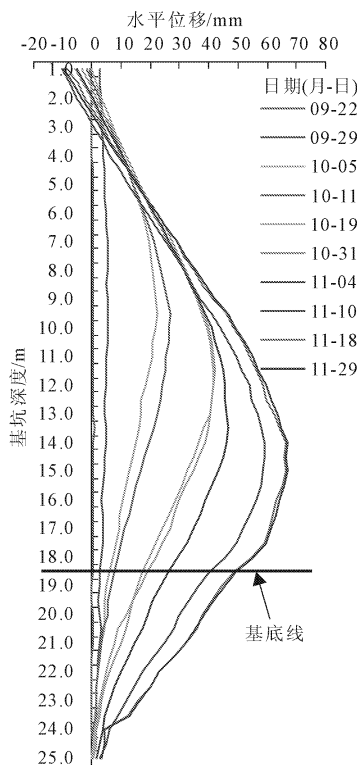


图 3 ZQT-01 监测时程曲线

3) 监测数据分析。

(1) 监测点 ZQT-01 变形情况分析

① 该点墙体变形情况:该点处在基坑南端头墙的中部,端头墙总长 26.2 m,两端阴角,沿基坑深度设 4 道斜支撑(其中第一道为钢筋混凝土支撑),该种支护体系应能较好的限制连续墙(特别是短边)的水平位移,但是该测点在深度 15 m 处向基坑内位移达到 66.87 mm,变形值过大,且变形最大部位较正常情况偏下。

方开挖过程,基坑内积水情况较严重,基坑内(含基坑外)的积水沿连续墙向下渗透,造成土体含水率增加,土体的工程性能降低,特别是造成嵌固端的土体嵌固力减弱,因而墙体向基坑内的变形过大。

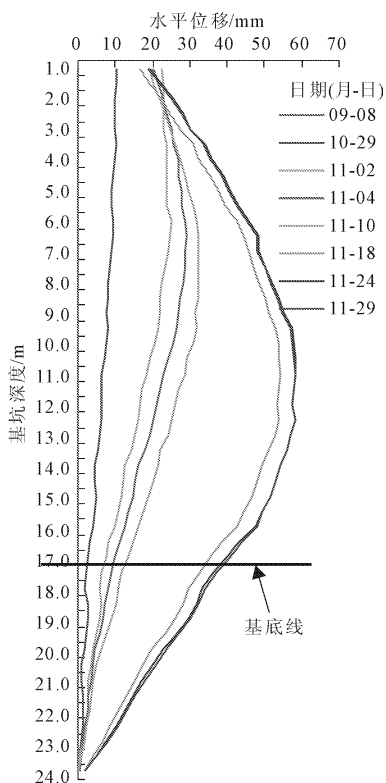


图 4 ZQT-03 监测时程曲线

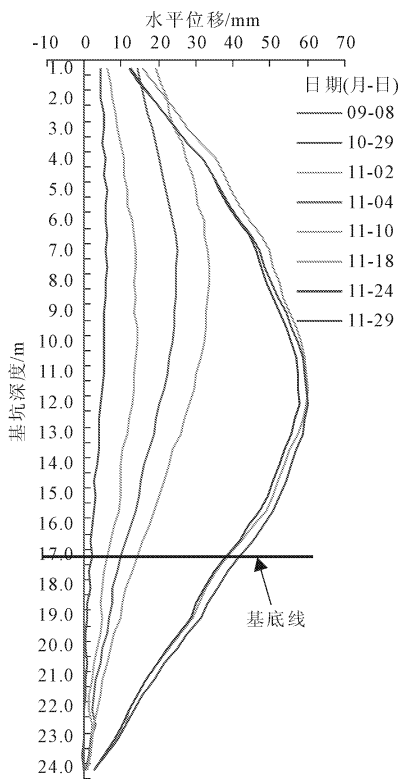


图 5 ZQT-23 监测时程曲线

向基坑外位移 10.08 mm,分析认为墙顶水平位移监测值是可靠的。墙体变形时程曲线反映的墙顶向基坑外位移值存在错误,分析如下:

④ 连续墙下部向基坑内变形过大,造成墙体向基坑外倾斜,而不是墙顶向基坑外位移。

⑤ 初次监测后,连续墙底端被锁定,但实际情况是连续墙嵌固端的嵌固力不足,底端向基坑内产生了一定量的位移,因而应将变形时程曲线向基坑内平移一定量进行变形分析。按此分析连续墙向基坑内的位移量实际大于目前的监测值。

(2) 监测点 ZQT-03、ZQT-23 变形情况分析。

11月10日该两测点所在部位土方仅开挖到基坑深度的中部,且已经停止土方开挖,墙体变形虽然暂时稳定,但是已经产生的变形量过大,主要是施工因素所致。

① 墙体变形情况分析:两测点深度 12.5 m 部位向基坑内位移接近 60 mm;墙顶向基坑内位移接近 20 mm,两处变形值均过大。

② 两侧墙体变形过大原因分析:① 已开挖到底部位的围护结构变形过大;② 支撑架设缺失过多(见图 6、图 7)。



图 6 第一道支撑缺失情况



图 7 下两道支撑缺失情况

④ 监测点 ZQT-01 墙顶向基坑外位移原因分析:墙顶向基坑内水平位移监测值最大 0.2 mm(见表 2),而测斜管测得的墙体变形时程曲线反映墙顶

2.3.2 地表(管线)沉降

地表(管线)沉降监测结果见表 3。

基坑周边地面沉降量随着土方开挖深度而增加,

9月29日1~3轴开挖深约5m时,变断面以北基坑两侧的地面沉降值均很小,10月11日1~3轴开挖深8m~12m时,变断面以北基坑两侧的地面沉降值开

始增加,11月29日扩大端底板结构混凝土浇筑完成,变断面以北基坑两侧的地面沉降值达到最大值,停止土方开挖后上述地面沉降趋于稳定(见表3)。

表3 地表(管线)沉降监测数据统计表

测点	不同时间(月-日)累计变形量/mm								
	09-29	10-05	10-11	10-19	10-31	11-04	11-10	11-18	11-29
DBC10-1	-0.6	-0.4	—	-5.0	-11.8	-19.3	-25.7	-62.7	-71.5
DBC10-2	—	—	—	—	-9.0	-19.6	-25.2	-79.7	-88.9
DBC10-3	-1.7	-1.9	—	1.8	-5.5	-21.9	-27.0	-75.5	-83.0
DBC10-4	-0.5	—	—	-1.6	-3.9	-11.6	-15.2	-22.6	-24.6
DBC11-1	—	-0.8	—	-8.8	-15.5	-24.3	-37.7	-76.9	-84.2
DBC11-3	0.8	0.4	1.1	-9.0	-22.4	-37.4	-47.6	-65.5	-68.9
DBC11-4	-0.7	—	—	-6.2	-13.0	-27.5	-38.2	-57.7	-60.6
DBC12-1	0.5	0.4	—	-6.2	-15.2	-24.1	-37.4	-59.3	-63.3
DBC12-2	—	1.9	1.2	1.6	-3.4	-8.4	-21.2	-38.8	-43.3
DBC12-3	1.4	0.9	1.1	-6.2	-10.9	-20.1	-31.4	-39.7	-42.1
DBC12-4	0.2	—	—	-8.2	-12.7	-21.8	-35.3	-44.4	-46.8

基坑周边地面沉降变形值远大于设定的控制值,除地质条件因素外,主要由施工原因造成:

(1) 南端采用大锅底形土方开挖(见图8)方法,不符合设计要求的分段、分层开挖的要求,导致土方开挖过程中基坑及周边环境急剧变形。

(2) 每步土方开挖均存在支撑架设滞后的现象,均未按照先撑后挖的设计要求实施(因挖掘机及运土车辆均在基坑内作业),扩大端内对撑未及时架设,不能封闭成环,起不到支撑作用,且土方超挖后,局部支撑架设仍然滞后(见图9)。



图8 锅底形开挖



图9 支撑架设情况

3 监测值超标原因分析

通过对每日安全风险巡视情况及对应基坑变形监控量测结果的分析,本站基坑监测值超标原因为:

(1) 支撑架设不及时。每道钢支撑架设都存在滞后情况,扩大端内支撑未及时封闭成环,未按照设计图纸要求及时预加轴力或预加轴力过小。

(2) 土方开挖方式不合理。采用锅底土方开挖,挖掘机及渣土车均在基坑内作业,导致大面积缺撑。

(3) 坑内疏干降水效果不佳。积水沿连续墙向下渗透,造成土体含水量增加,土体的工程性能降低,基坑内被动区土压力减小,嵌固端向基坑内位移。

(4) 坑边动静荷载影响。基坑两侧距离市政道路距离较近,东侧仅2.5m,全线北段大多数渣土及混凝土运输车辆从该路段通过。同时,两侧浅基础建筑距离基坑南段水平距离约12m,静载对基坑变形存在一定影响。

(5) 工序衔接因素。施工组织不合理,土方开挖、支撑架设、结构施作未形成流水作业。从土方开挖开始后2个月,才浇筑完成第一流水段底板浇筑,基坑大面积开挖,暴露时间过长。

(6) 水文地质因素。车站底板主要坐落于2-2-1粉质黏土、2-3-1黏质粉土,其中2-2-1粉质黏土层在呈软塑状,在遇水情况下,抗地连墙侧向变形能力严重降低。

(7) 地连墙嵌固深度不足。地连续插入比在1:0.4~1:0.5之间,加之坑底土体本身自稳性差,监

测数据反馈地连墙墙趾向基坑内产生较大位移。

4 采取的风险应对措施

为准确分析引起基坑围护结构及周边环境变形过大的主要原因,分阶段采取如下措施:

措施一:基坑第二道支撑以上土方开挖采用中拉槽放坡开挖(第一道支撑由于为便于渣土车驶入基坑,挖掘机能通行,局部架设不及时),第二道支撑以下土方采用垂直出土方式开挖;钢支撑及时架设,并按照设计要求预加轴力;提前开启基坑内降水井抽水,尽最大可能保证坑内疏干效果。

措施二:对基坑周边进行限载,限制基坑两侧重型运输车辆通行;加强现场施工组织管理,合理组织施工节拍,形成流水作业,在具备基坑封底条件下,及时完成底板施作,负二层侧墙、中板、负一层侧墙、顶板施工紧密衔接。

5 结 论

(1) 通过信息化施工管理得出支撑架设及时性及轴力预加、土方开挖方式、坑内疏干降水效果、坑边动静荷载是类似地层区基坑自身及周边环境变形控制重点,施工过程中应重点加强管理。

(2) 太原地区地层性质更接近软土地层,基坑桩(墙)体水平位移监测,应以管顶为起算点,并将对应墙顶水平位移值代入进行修正。

(3) 基坑工程土方开挖作业,不宜采用中拉槽土方开挖方式,宜采用分层分段短台阶法开挖。对于较厚填土层、粉质黏土层等不良地层土方开挖作业宜采用垂直出土方式。尽可能避免运土车辆进入基坑内作业,以免影响支撑架设。

(4) 类似水文地质基坑工程设计中,应重点考虑第一道支撑采用钢筋混凝土支撑、增加基坑围护桩(墙)体嵌固深度的必要性。

参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通地

下工程建设风险管理规范:GB 50652—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.

- [2] 北京市质量技术监督局、北京市住房和城乡建设委员会.城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范:DB11/T 1316—2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [3] 徐 凌,张顶锋,张 昊.北京地铁明挖车站典型支护结构的变形规律研究[J].城市快轨交通,2016,29(1):47-50.
- [4] 张明聚,李云刚,李 方,等.明挖地铁车站围护结构内支撑力学参数研究[J].北京工业大学学报,2014,40(10):1512-1517.
- [5] 郭 楠,陈正汉,杨校辉.兰州地铁深基坑围护结构选型分析[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):65-69.
- [6] 朱彦鹏,杨校辉,周 勇,等.兰州地铁车站深基坑支护结构选型分析与数值模拟研究[J].水利与建筑工程学报,2016,14(1):55-59.
- [7] 谭 勇,康志军,卫 彬,等.上海软土地区某地铁风井深基坑案例分析[J].浙江大学学报(工学版),2016,50(6):1048-1055.
- [8] 高永琪.宁波地铁深基坑围护结构变形控制研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2014.
- [9] 何学科,陈 斌.软土地层地铁深基坑施工变形控制技术[J].建筑工程技术与设计,2017(10):1019-1020.
- [10] 王义盛.软土地区地铁车站超深基坑变形控制技术[J].工程建设与设计,2018(4):69-71.
- [11] 黄 沛,刘国彬,霍润科.软土地区基坑分区开挖参数分析[J].中南大学学报(自然科学版),2015,46(10):3859-3864.
- [12] 刘展羽,马际首,李镜培,等.基于开挖施工进程的软土基坑变形监测规律研究[J].结构工程师,2016,32(6):148-154.
- [13] 杨 峥.初步设计修编矿机站设计说明书[R].天津:铁道第三勘察设计院集团有限公司,2016.
- [14] 唐 沛.详细勘察阶段矿机站岩土工程勘察报告[R].中铁第五勘察设计院集团有限公司,2015.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.