

第三方监测工作在城市轨道交通建设中的风险管控

李江舟

北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101

[摘要] 针对北京地铁 17 号线工程未来科技城北区站及相邻的区间地质条件复杂, 周边管线风险较多, 基坑开挖过程中地表、管线及车站围护结构变形较大, 多次出现较大风险。通过对车站结构自身及周边环境的监控量测, 分析各阶段变形规律, 总结变形原因, 从而做到信息化施工, 保证了施工安全和周边风险源安全。其监测数据的相关分析资料和风险管控流程可作为今后同类工程风险管控的参照。

[关键词] 地铁车站; 明挖法; 管线沉降; 围护结构变形; 监测分析; 管控措施

DOI: 10.33142/ec.v3i3.1585

中图分类号: F832.9

文献标识码: A

Risk Management of Third-party Monitoring Work in Urban Rail Transit Construction

LI Jiangzhou

Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100101, China

Abstract: In view of the complex geological conditions of the North Station of the Future Science and Technology City and the adjacent section of Beijing metro line 17 project, there are many risks in the surrounding pipelines. During the excavation of foundation pit, the deformation of the ground surface, pipelines and the enclosure structure of the station is large, and many times there are large risks. Through the monitoring and measurement of the station structure itself and its surrounding environment, the deformation law of each stage is analyzed, and the causes of deformation are summarized, so as to achieve information construction and ensure the safety of construction and surrounding risk sources. The relevant analysis data and risk control process of the monitoring data can be used as a reference for risk control of similar projects in the future.

Keywords: subway station; open excavation method; pipeline settlement; deformation of enclosure structure; monitoring analysis; control measures

引言

近年来, 随着城市地下空间的发展, 尤其是轨道交通、地下综合体等大型地下建筑的实施, 明挖法作为地下工程中诸多施工方法中最为经济, 且技术安全可靠均能确保的一种施工方法, 是地下工程常用的施工方法, 为人们所关注并采用。但由于周边风险源及地层因素的影响及施工工艺管控的缺漏, 实际施工过程中往往伴随着施工风险的发生, 此时第三方监测工作在风险管控中的作用就尤为重要。

1 工程概括

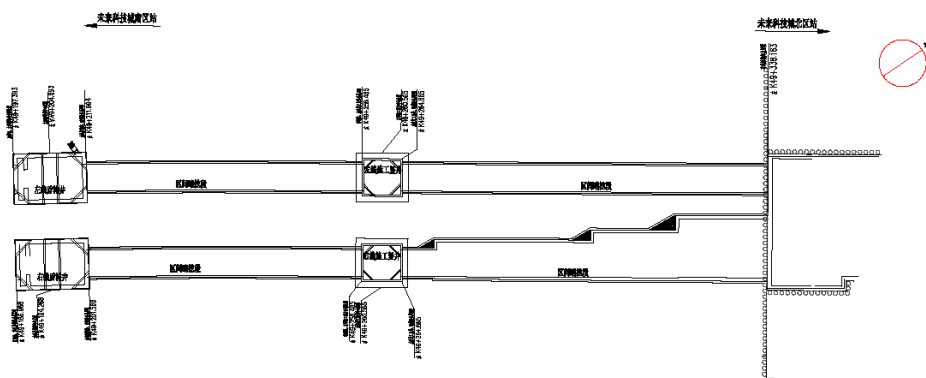


图 1.1 未来科技城北区间及相邻区间平面位置图

未来科技城北区间位于北京市昌平区北七家镇土沟村未来科技城, 线路呈东北-西南走向, 站址位于滨河路以北, 全长 338 米, 基坑南端头深度为 22 米, 地下 7 米东西侧为放坡开挖 (端头部位采用桩锚开挖), 7 米以下采用桩撑结构

垂直开挖，围护桩伸入底板以下 7 米，南侧接未～未区间主体暗挖段。未来科技城南区站～未来科技城北区站暗挖区间地处北京市昌平区未来科技城内，线路呈南北走向，位于鲁疃西路西侧未来科技城开挖地块南侧。线路自未～未区间盾构始发井，向北穿越滨河路后到达未来科技城北区站。暗挖区间长约 137m，左线及右线均设施工竖井，近北区站处设置单渡线。工程平面位置如图 1.1 所示。

根据地质勘察报告，场区开挖范围内地层由上至下主要有：砂质粉土粉质粘土填土①层、杂填土①1层、砂质粉土粘质粉土②层、粉质粘土②1层、粉细砂②3层、中粗砂②4层、砂质粉土粘质粉土③层、粉质粘土③1层、粉细砂③3层、粉质粘土④层、砂质粉土粘质粉土④2层、粉细砂④3层。区间暗挖穿越地层主要为砂质粉土粘质粉土③层、粉质粘土④层及粉细砂④3层，基底主要位于粉质粘土④层及粉细砂④3层。

地质剖面图见图 1.2 所示。

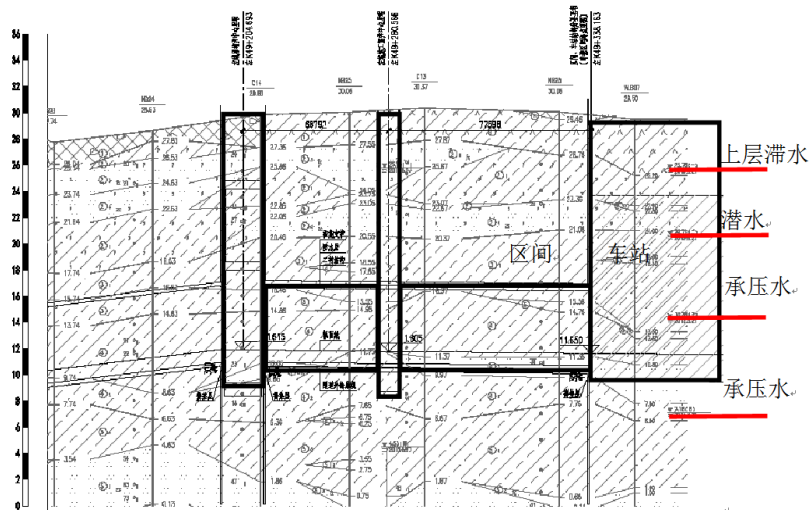


图 1.2 地质纵剖面图

根据地质勘察报告，本工程场地范围内共观测到五层地下水：上层滞水（一）、潜水（二）、承压水（三）、承压水（四）和承压水（五）。上层滞水（一）、潜水（二）及承压水（三）位于明挖基坑开挖范围内及暗挖段隧道底板以上。

2 结构形式与施工方法

车站主体基坑采用明挖法施工，基坑主要采用放坡+支护桩+钢管撑、土钉+支护桩+钢管撑、支护桩+锚索+钢管撑三种支撑体系，地下两层段明挖基坑开挖深度约 20.3m~21.2m，采用放坡+支护桩+钢管撑体系，单层段基坑开挖深度约 19.7m，采用土钉+支护桩+钢管撑体系，基坑南侧端墙采用支护桩+锚索+钢管撑体系。基坑支护桩采用 $\varnothing 800@1200$ 钻孔灌注桩。车站结构横纵剖面图如图 2.1、图 2.2 所示。

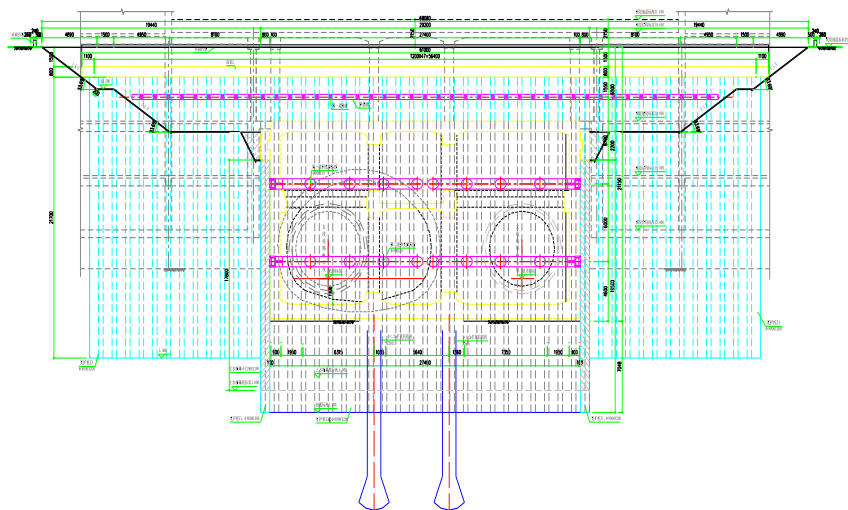


图 2.1 车站结构横断面图

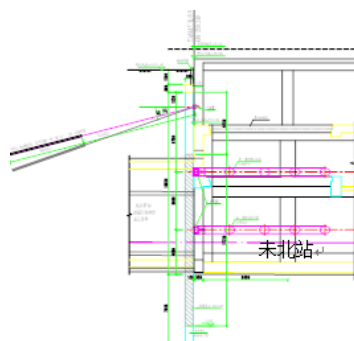


图 2.2 车站结构纵剖面图

区间隧道结构 1 型断面尺寸 6.48m (宽) × 6.86 (高) m, 2 型断面尺寸 8.6m × 7.8m, 3 型断面尺寸 10.9m × 8.65m 和 4 型断面尺寸 14.1m × 10.88m。1 型标准断面采用台阶法施工, 2、3 型断面采用 CRD 法施工, 4 型断面采用双侧壁导坑法施工。区间暗挖初支结构横断面图见图 2.3 所示。

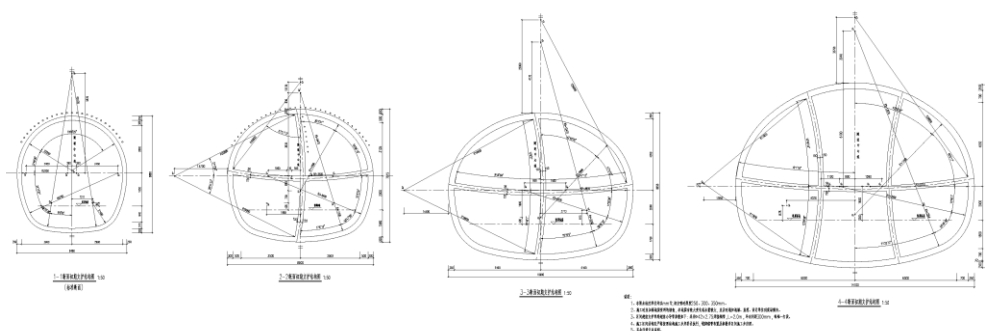


图 2.3 区间暗挖初支结构横断面图

3 风险工程情况

未来科技城北区站主体明挖基坑自身风险等级为二级, 未未区间标准段自身风险等级为三级, 环境风险主要为基坑南侧滨河路上的地下管线, 环境风险等级为一、二级, 风险源详细情况见表 3.1, 管线平面位置关系如图 3.1 所示。

表 3.1 风险源工程统计表

风险工程名称	风险工程基本状况	风险等级
Φ300 中水管	覆土 2.59m, 水平距离基坑 11.7m, 与隧道垂直净距 7.8m	二级
Φ600 给水管	覆土 1.94m, 水平距离基坑 13.4m, 与隧道垂直净距 8.2m	一级
Φ400 热力管	覆土 2.87m, 水平距离基坑 17.2m, 与隧道垂直净距 9.0m	一级
Φ800 污水管	覆土 4.39m, 水平距离基坑 22.4m, 与隧道垂直净距 7.0m	一级
Φ1600 雨水管	覆土 3.66m, 水平距离基坑 26.93m, 与隧道垂直净距 8.6m	二级

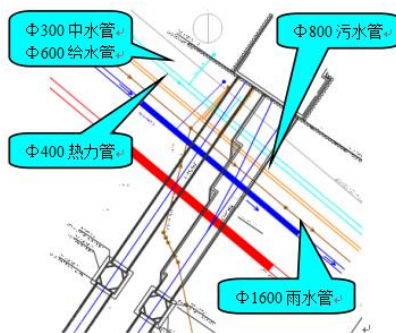


图 3.2 地下管线平面位置关系图

4 典型风险管控情况

4.1 施工进度情况

未末区间左线竖井向北标准段施工导洞自 2017 年 4 月 25 日开始破除初支进行土方开挖，未北站南侧基坑桩撑段自 5 月 10 日开始进行土方开挖，工程进度情况如下表所示。

表 4.1 施工进度统计表

时间	工程进度
2017. 4. 25	未~未区间左线向北标准段施工导洞破除初支进洞施工
2017. 5. 10~2017. 6. 19	未北站南侧基坑开挖至第一道钢支撑下 0.5m，开挖长度约 100m
2017. 6. 22~2017. 7. 14	未北站南侧基坑开挖至第一道钢支撑下 4.5m，开挖长度约 70m
2017. 8. 18~2017. 8. 25	未北站南侧基坑开挖至第二道钢支撑下 0.5m，开挖长度约 40m
2017. 8. 27~2017. 8. 30	未北站南端头局部开挖至基底
2017. 8. 30	未北站南端头垫层完成，未末区间左线施工竖井向北导洞封面（距离未北站南侧围护桩约 28m）
2017. 9. 8	未北站南端头底板完成
2017. 9. 16	未北站南端头侧墙完成
2017. 9. 21	未北站南端头中板完成

4.2 监测预警处置情况

4.2.1 预警阶段一、Φ600 给水管、Φ300 中水管预警阶段

(1) 监测预警情况

Φ600 给水管、Φ300 中水管自 6 月底开始沉降效应逐步显现，处于持续缓慢下沉状态，截至 7 月 14 日，该管线累计沉降最大-10.7mm。此时区间暗挖施工掌子面距离该管线约 37m。7 月中旬至 8 月 18 日，进入雨季施工，明挖基坑土方进度缓慢基本处于停工状态，此期间地下管线沉降测点 SSG-01-02~SSG-01-07 等 6 个监测点产生多次红色监测预警，多发生在降雨之后，截至 8 月 18 日，该管线累计沉降最大-62.2mm，阶段沉降-51.5mm，沉降变形较大。此时区间暗挖施工掌子面距离该管线约 27m。

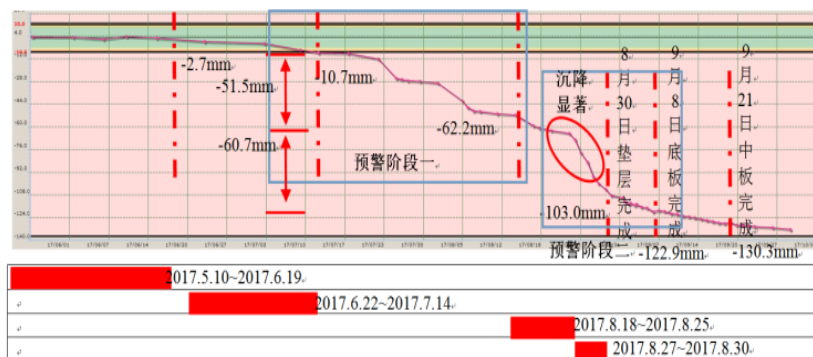


图 4.2.1 Φ600 给水管线测点 SSG-01-05 沉降变形曲线图

(2) 现场响应、处置情况

Φ600 给水管、Φ300 中水管红色监测预警期间，监理单位多次组织建设单位、设计单位、第三方监测单位与施工单位对预警进行响应与原因分析。分析原因是根据空洞普查资料，滨河路周边地层存在几处松散和空洞，在铺设公路时碾压不够密实，且非机动车道旁的路面现场可见裂缝和空洞，下雨时存在雨水倒灌现象，是该区域发生沉降预警的主要原因。

现场处置措施如下：

- ①在地面采取深孔注浆稳固地层；
- ②加强周边注浆区域的监测，防止注浆压力过大导致周围管线变形或者破裂；

③对沉陷区进行局部挖探。



主路沉陷区



北侧辅路与绿化带地表空洞



地面深孔注浆



沉陷区域局部挖探

4.2.2 预警阶段二、未北站南侧地表、管线、桩顶水平位移预警阶段

4.2.2.1 监测预警情况

8月18日，未北站南端头恢复土方开挖，8月25日，开挖到第二道钢支撑下0.5m，8月27日，施工单位架设完斜撑后继续向下开挖剩余土体至基底，此期间周边地表管线沉降显著，围护桩顶（墙顶）水平位移、钢支撑轴力显著增大，产生多次红色监测预警。

图4.2.2为未北站基坑南端头临近DB-03地表沉降监测断面DB-03-09沉降变形时程曲线图。8月27日，沉降速率达-11.69mm/d，8月30日，沉降速率急速增大至-54.56mm/d，此时区间左线竖井向北施工掌子面距离车站基坑围护桩约28m，已封端。自南端头恢复土方开挖至底板施工完成，地表阶段沉降量达-139.7mm，管线阶段沉降量达-103.0mm，沉降变形显著，随底板侧墙中板结构施工完成，沉降趋势逐步趋于平稳。

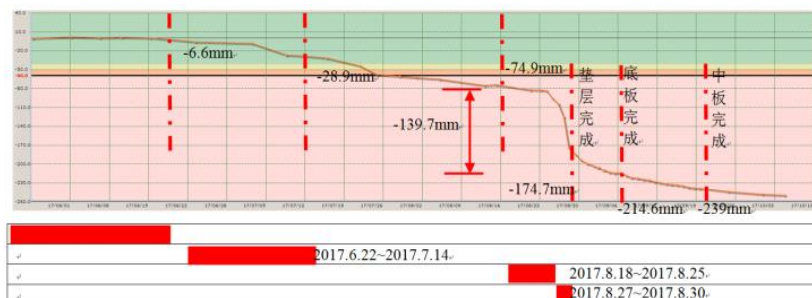


图 4.2.2 地表沉降测点 DB-03-09 沉降变形曲线图

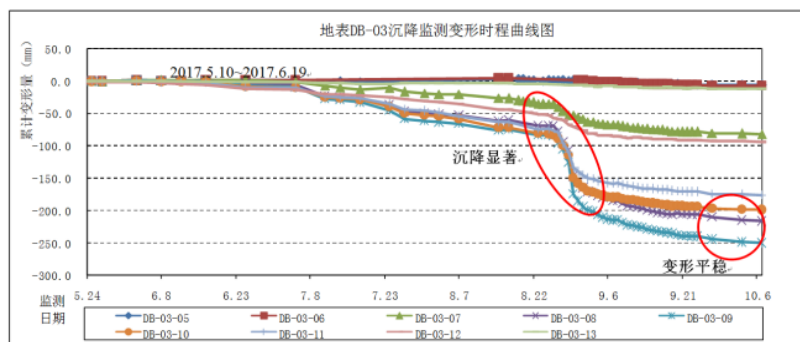


图 4.2.3 地表 DB-03 沉降监测断面沉降变形曲线图

图4.2.4为未北站桩顶水平位移测点ZQS-24变形时程曲线图。水平位移自6月16日起呈线性增长，处于向基坑内缓慢变形状态，8月27日，施工开挖第二道钢支撑下剩余土方时，变形显著增大，8月29日，桩顶水平位移累计变

形+61mm，速率+7mm/d，达红色监测预警标准。9月16日，随南端头负二层侧墙结构完成变形逐步趋于稳定。

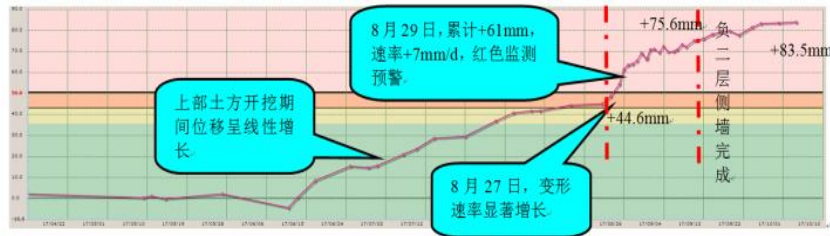


图 4.2.4 桩顶水平位移测点 ZQS-24 变形曲线图

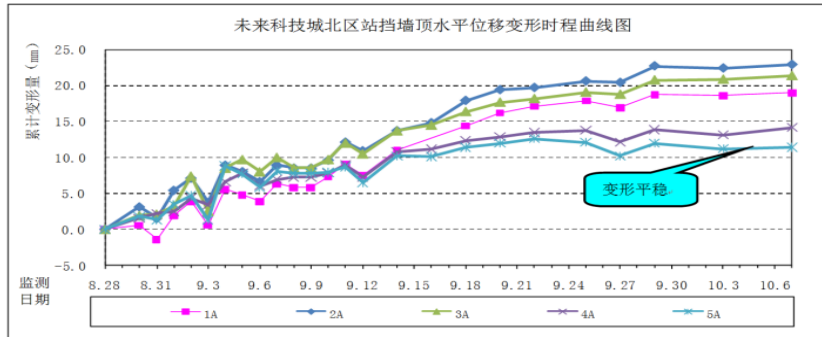


图 4.2.5 未北站挡墙顶部水平位移变形时程曲线图

图 4.2.6 为未北站南端头斜撑 ZL-02-01 轴力变化时程曲线图。8月25日~8月29日，受基坑南端头剩余土方开挖施工影响，钢支撑轴力显著增大，阶段增大约 200kN；8月30日，增加斜撑后轴力有较大减小，阶段减小约 400kN，底纵梁与底板施工期间轴力逐步回升，9月2日~9月8日，轴力处于 750kN~850kN 之间，9月8日，底板施工完成，9月10日，第二道钢支撑拆除后，轴力处于缓慢增大状态。目前，中板施工完成，轴力变化较平稳。

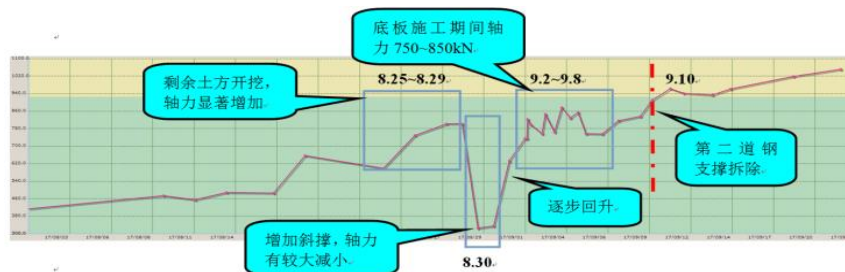


图 4.2.6 支撑轴力测点 ZL-02-01 应力变化时程曲线图

4.2.2.2 现场响应、处置情况

项目管理中心：

8月24日，北京市轨道交通建设管理有限公司第一项目管理中心对17号线01标的安全、质量、进度进行了专项检查，就有关工作安排如下：

(1) 未来科技城北区站

- 1) 鉴于车站土方开挖进度及其缓慢，应加强对支撑轴力、水平位移等项目的监测，必要时重新施加支撑轴力。
- 2) 重点控制作业安全，针对进场设备验收、围护保养及作业人员上岗情况进行严格把控。

(2) 未~未区间

1) 对地层松散区域的加固效果进行检验，根据管线沉降情况确定注浆参数，施工单位制定切实可行的地面注浆方案报监理审批后实施。

2) 针对隧道内拱脚沉降过大，制定相应措施，严格按照设计及方案施工。

3) 针对管线沉降过大的情况，施工单位应分析原因，必要时联系设计单位研究处理方法，在开挖面到达该部位前采取措施对管线基础进行加固，加固完成后，再研究是否有必要对监测点重新进行初始值采集，施工过程中加强沉降控制，确保管线安全。

8月28日、8月29日，由北京市轨道交通建设管理有限公司第一项目管理中心、监理单位组织召开了五方会，甲代、设计单位、施工单位、第三方监测单位参加了会议，会议提出以下处置措施：

- 1) 未~未区间左线竖井向北掌子面封端；
- 2) 未北站基坑南端头每层增加一对斜撑，斜撑预加轴力40~50kN；
- 3) 联系管线产权单位对 $\Phi 600$ 上水管进行渗漏探测；
- 4) 对 $\Phi 600$ 上水管周边地层进行袖阀管注浆加固，控制注浆压力；
- 5) 施工监测与第三方监测加密监测频率，施工、监理派人24小时现场值守；
- 6) 做好降水井施工排查。

监控中心咨询组：

8月29日，关于17号线未~未区间连续产生红色监测预警的建议：

近期17号线未~未区间北部区域连续产生红色监测预警，该部位存在多条市政管线，目前累计沉降及倾斜均超过控制值，采取处置措施后未见控制效果，且近期沉降区域扩大，沉降速率增大，最近处距离左线掌子面约10m，存在地面塌陷，管线断裂风险，因此我咨询组建议：

- 1) 施工单位应封闭掌子面临时停工，对沉降区域进行地质空洞普查，对管线安全现状进行详细调查；
- 2) 施工、监理、第三方监测应对异常沉降区域进行详细变形分析；
- 3) 针对调查结果及分析情况采取针对性措施，制定应急预案；
- 4) 加强沉降异常区域的监测及巡视工作。

9月1日，未来科技城北区站发布红色巡视预警后现场拟采取处置措施的意见：

1) 基坑南侧地表及管线累计沉降及沉降速率持续不收敛，围护结构及挡墙监测变形继续发展，基坑南侧边坡有局部失稳风险。建议施工会同设计单位对基坑围护结构及挡墙结构稳定性进行验算分析，采取针对性措施确保结构及施工作业安全；

2) 基坑南侧补降水井，降水降压，短期内效果不易实现，且降水井施工可能会对原锚索体系造成破坏，反而对南侧边坡土体造成扰动。建议采取坡顶土体开挖卸载方式，减少围护结构侧土压力；

3) 建议在基坑边坡及地表变形稳定前，除应急处置外基坑内施工作业暂停，作业面做好封闭（架设支撑并加载）；

4) 加强现场巡视与监测频率，及时对监测数据进行分析，根据监测数据变化制定后续处置措施。

监理单位：

8月30日下午，由监理单位召开未北站基坑南端预警处理专题会，会议形成意见如下：

1) 要求施工单位结合现场实际情况在未来科技城北区站南端增设钢支撑（每层增加2道角撑），对南侧围护结构进行进一步加强，钢支撑架设之后预加轴力根据基坑情况进行施加，原则上不得超过30kN；

2) 为确保基坑安全，施工单位首先在基坑南侧打设9口降水井（围挡内3口，围挡外辅路上6口），施工参数参照原降水设计，降低土体含水量，减小桩后主动土压力，施工前做好挖探工作；根据需要在基坑内适量打设降水井，以确保车站结构正常施工；

3) 要求施工单位在地表监测点周边补充深层点，会同第三方监测单位对深层点进行监测，并对深层点及原监测点数据进行比较，如原监测点与深层点规律不一致，以深层点进行后续监测；

4) 鉴于该区域 $\Phi 600$ 上水管及 $\Phi 300$ 中水管监测数据沉降较大，要求施工单位会后立即对上述管线上土体进行开挖，对管线进行暴露处理，开挖过程中做好场地安全及文明施工。待未来科技城北区站南端第一单元中板结构施工完成后及时对管线进行回填并会同设计研究进行注普通水泥浆加固处理

5) 加大监测频率（每天不得少于2次），并及时按监测程序上报；

6) 设计单位会后对下反梁结构优化方案进行研究并及时反馈，施工现场按照设计反馈意见进行施工；

7) 施工单位及时排查周边排水系统；

8) 施工单位尽快编写处理方案并按程序报审，严格按照审批后的方案加快现场施工。监理单位严格按照方案进行监督指导，并加强现场巡视检查并及时反馈。

第三方监测单位：

1) 启动应急响应程序，由城勘院专业院院长统一指挥，项目经理现场组织协调，项目总工程师根据现场实际情况，制定应急监测方案，自动化研究所提供自动化非接触测量技术支持，由经验丰富的技术人员与外业人员进行监测数据采集并及时将监测成果上报；

2) 8月28日,对南端头挡墙顶部增设5个墙顶水平位移监测点,加大各监测项目监测频率每天2~3次,并将监测成果通知各方,以便施工单位及时采取相应抢险措施;

3) 8月30日,考虑桩锚段高挡墙急剧变形对基坑及作业人员存在的安全风险隐患,架设地基合成孔径雷达对桩锚段挡墙进行24小时连续监测(合同外监测项目),并派人24小时值守,对现场情况及时进行汇报;

4) 跟踪施工单位处置工作的进度与效果,结合监测数据与现场巡视情况指导施工;

5) 参加预警响应、分析、处置会议,提供监测咨询意见。

地基合成孔径雷达变形曲线显示挡墙处于向基坑内持续缓慢变形状态,无突变情况,截至9月8日,累计最大变形+8~+9mm。

施工单位:

施工单位根据未来科技城北区站基坑南端预警处理的专题会各方意见,编制未来科技城北区站南端应急处理措施方案,施工现场主要采取如下措施:

1) 成立应急处置机构,由公司总经理、书记为组长,公司副经理、公司副总工、项目经理为副组长;

2) 封闭暗挖掌子面:为避免暗挖对车站锚索的影响,需进行临时封堵。为保证降水施工过程中掌子面的稳定,需对封堵进行加强处理;

3) 端头增设钢支撑:根据现场实际情况,有条件架设钢支撑,在未北站南端头增加4根角撑,用于基坑支护加强;

4) 南端头降水井施工:为减少桩后主动土压力,在未北站南端打设降水井,对桩后土体进行降水。考虑围挡内3口降水井易对锚索造成影响,故降水井主要分布在围挡外侧滨河路北侧辅路上,降水管井的数量为6口,井深26米,比设计基坑底深约5米,降水井间距6米,降水井分布情况如下图4.2.7所示。

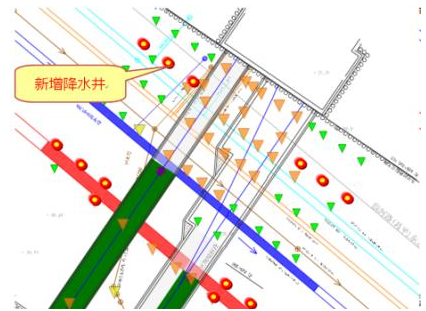


图 4.2.7 降水井分布情况图

5) 地面裂缝封堵:安排专人对基坑周边进行巡视,发现地面裂缝后,首先采用1:1水泥浆进行灌浆处理,待浆液无法灌入后,采用沥青麻筋进行嵌缝处理。



8月30日基坑南侧垫层完成



8月1日区间左线封堵



8月31日基坑南侧增设斜撑



8月31日增设降水井



9月8日基坑南侧底板完成



9月21日基坑南侧中板完成

4.3 现场巡视情况

现场巡视发现未来科技城北区站南侧滨河路主路、绿化带、围挡内产生多条地表裂缝,围护桩、挡墙向基坑内变

形明显，南侧桩墙存在渗水情况。



滨河路北侧主路纵向裂缝，3cm 宽，深 20cm



绿化带与路基纵向裂缝，3cm 宽



基坑南侧硬化面开裂 6m 长，5mm 宽



基坑南侧硬化面纵向裂缝 14m 长 4.5mm 宽



基坑南端头硬化路面与挡墙竖向裂缝，最大时宽 5cm



围护桩、挡墙向基坑内变形明显

4.4 预警原因分析

(1) 未北站南侧桩撑段自 5 月中旬施工至今，施工工期较长，基坑处于长时间暴露状态，周边地层应力松弛；且未北站南端头为桩间喷射止水施工，止水效果差，南侧桩间一直存在渗流水情况，地下水软化地层；

(2) 未北站南端头围护桩南侧 4m 范围内为回填土，高约 2m，施工碾压不密实，在周边荷载作用下土体自身压缩变形较大，导致南端头硬化路面沉降开裂；

(3) 8 月中旬施工开始大范围开挖南端头剩余土方（深约 6m），大范围卸载导致坑内被动土压减小速度过快，且基底存在粉细砂层，降水效果不佳，适逢雨季，8 月 27 日当日降雨，在下部土方开挖过程中存在流砂情况，开挖面土质呈流塑状，导致地层存在局部损失，加剧桩后地层倾向基坑开挖面的移动变形；

(4) 根据空洞普查资料，滨河路周边地层存在几处松散和空洞，在铺设公路时碾压不够密实，非机动车道旁的路面现场可见裂缝和空洞，下雨时存在雨水倒灌现象，施工单位采取地面注浆加固方式进行处理，但效果不佳。滨河路北侧地表与地下管线受车站基坑土方开挖与区间隧道导洞施工综合影响，沉降效应叠加，导致沉降变形显著；

(5) 未北站南侧基坑采用桩锚、桩撑、放坡支护型式，多种支护型式集中位于南端头，应力转换复杂，施工难度较大，开挖期间围护桩顶水平位移处于持续向基坑内变化状态，地表处于持续下沉状态，过程中施工控制不佳。

5 总结

未来科技城北区站典型风险期间，建设方、施工监理方、第三方严格按照《北京轨道交通工程安全风险管理体系》要求进行响应与处置，施工单位按照处置措施意见积极组织进行抢险施工，及时加设斜撑、周边降水卸载、尽快封闭基坑施作结构。但前期过程施工管理较差，风险意识不强，预警后处置效果不佳，今后的工作重点仍在加强施工单位的现场管理与监督上。

《北京轨道交通工程安全风险管理体系》内容详尽，能够有效的对施工过程风险进行有效预控，在轨道公司监控中心、项目管理中心统一领导下，咨询组监理第三方各方协助监督管理下，施工单位能够按照体系与处置会议要求及时采取处置措施，将工程风险控制在萌发状态，防微杜渐，为北京地铁 17 号线工程提供安全保障。

【参考文献】

- [1]王福龙. 浅谈城市轨道交通建设中第三方监测的管理[J]. 现代装饰(理论), 2014(3): 187-187.
 - [2]江文林, 张志权, 郝宏伟. 轨道交通第三方检测质量管理的相关研究[J]. 建筑技术开发, 2018(02): 48.
- 作者简介: 李江舟 (1984-), 男, 湖北十堰市人, 汉族, 大学本科学历, 工程师, 研究方向为工程测量变形监测工作。