

# 薄壁地连墙明挖基坑变形趋势分析及总结

柏岩

北京敏于行工程勘测有限公司

DOI: 10.12238/ems.v5i9.8444

**[摘要]** 某市新建地铁工点为明挖法车站,采用0.6m厚度地连墙加钢支撑的支护形式。针对施工过程中单侧围护结构变形过大发生监测预警的情况,本文结合相关设计措施落实效果及现场风险的管控过程,通过对比各施工阶段不同监测项目的变形趋势,找出数据间变化的内在联系,总结出变形原因并提出相关建议。其监测数据和相关分析资料可作为今后同类工程设计、施工的类比依据。

**[关键词]** 明挖法施工; 0.6m厚地连墙; 变形过大; 数据分析

## Analysis and summary of deformation trend of thin-walled continuous wall open excavation foundation pit

Baiyan

Beijing Minyuxing Engineering Survey Co., Ltd

**[Abstract]** A newly built subway station in a certain city is a station using open cut method, which adopts a support form of 0.6m thick ground connecting wall and steel support. In response to the situation of monitoring and early warning of excessive deformation of the single-sided enclosure structure during the construction process, this article combines the implementation effect of relevant design measures and the control process of on-site risks. By comparing the deformation trends of different monitoring items in each construction stage, the internal connections between data changes are identified, and the causes of deformation are summarized and relevant suggestions are proposed. The monitoring data and related analysis data can serve as analogical basis for the design and construction of similar projects in the future.

**[Key words]** Open cut construction method; 0.6m thick continuous wall; Excessive deformation; Data analysis

### 引言

近年来,随着城市建设的发展,轨道交通作为缓解城市交通压力的交通工具起着举足轻重的作用,明挖法作为轨道交通建设中的常用工法具有施工技术简单、快速、经济及主体结构受力条件较好等特点。但明挖法基坑的开挖会引起围护结构的侧向位移,并引起坑外地层沉降,导致周边环境也随之沉降<sup>[1]</sup>。施工条件复杂或控制措施不当发生风险事故的情况也时有发生,其中不乏杭州湘湖站这类重大责任事故。

因此对明挖法工点施工过程中监测数据变化情况进行详细分析是有十分重要的实际意义的,下面就某事地铁建设过程中的实例进行展开介绍。

### 1 工程概况

#### 1.1 工程简介

某地铁站沿道路南北向布置。车站西向为居民楼,东向为郊野公园。

车站纵向主要管线有:直径4m的电力隧道、Φ400、Φ

500 雨水管、 $\Phi 500\sim 800$  雨水管、 $\Phi 400$  污水管、 $\Phi 400$  燃气管、 $\Phi 1000$  上水管、 $\Phi 500$  上水管、电力线、通信电缆等。车站施工时要将管线沿着车站基坑东西两侧进行迁改。

该车站为地下二层岛式车站, 车站总长 363.7m, 站台宽度为 12m, 标准段宽度 21.1m, 车站有效站台中心里程处顶板覆土 3.0m, 底板埋深 16.65m。车站主体结构为地下二层二跨岛式车站, 采用明挖顺作施工。有效站台中心里程 K38+097.049。

基坑开挖深度约为 16.350~18.828m, 基坑宽度为 21.3~25.4m。标准段围护结构采用 0.6m 厚地下连续墙, 嵌固深度 7.5~8m。

本站标准段采用三道钢支撑+换撑。车站中部采用对撑、角部及端部采用斜撑。第一道钢支撑采用  $\Phi 609\text{mm}$ ,  $t=14\text{mm}$  钢支撑, 第二、三道钢支撑及换撑采用  $\Phi 800\text{mm}$ ,  $t=16\text{mm}$  钢支撑。第一道支撑架设在冠梁上, 第二、三道支撑通过预埋钢板撑在地下连续墙上。轨排井段设置 5 道锚索。

## 1.2 水文地质概况

### 1.2.1 地质概况

车站基坑开挖范围内主要为粉质黏土填土①层、杂填土①<sub>1</sub>层、砂质粉土黏质粉土②层、粉质黏土②<sub>1</sub>层、黏质粉土砂质粉土③层、粉质黏土③<sub>1</sub>层、黏质粉土砂质粉土④<sub>2</sub>层。

### 1.2.2 水文概况

在勘察深度范围内, 共观测到四层地下水, 地下水类型分别为潜水(二)、承压水(三)、承压水(四)和承压水(层间水)(五)。车站开挖范围地下水为潜水(二)及承压水(三)。

## 2 工程重难点

### 2.1 自身风险

该车站标准段宽度 21.1m, 底板埋深 16.65m, 采用明挖顺作施工。围护结构采用 0.6m 厚地下连续墙, 嵌固深度 7.5~8m, 3 道钢支撑。风险等级为二级。车站地连墙厚度较薄为 0.6m, 若施工过程中若发生架撑不及时或土方开挖不规范的情况极易导致围护结构发生变形。车站范围内设置轨排井, 上下共设置 5 道锚索进行支护, 轨排井与基坑钢支撑段交界的过渡段由于受力体系的转换存在着较大的风险, 施工过程中应加强监测。

### 2.2 环境风险

基坑西侧临近  $\Phi 1000$  上水管、 $\Phi 400$  污水管、 $\Phi 500$  雨水管及高层居民楼。

$\Phi 1000$  上水管为带压管线,  $\Phi 400$  污水管、 $\Phi 500$  雨水管为带水管线, 施工过程中若发生架撑不及时或土方开挖不规范的情况, 并可能导致结构失稳和管线开裂渗漏, 对结构自身及周边环境造成较大影响。

高层居民楼为地上 21 层, 裙房 2~3 层, 地下 2 层建筑, 框架剪力墙结构, 筏板基础, 开挖边线与基础水平距离 22.1m。

## 3 监测要求

### 3.1 监测内容及测点布置

#### (1) 监测内容

本工程监测项目包括地表沉降、地下管线沉降、建筑物沉降、桩顶水平位移、桩体水平位移、支撑轴力、锚索拉力。

#### (2) 测点布置

车站明挖基坑墙体水平位移及支撑轴力测点按 40m 间距布置, 其他测项按 20m 间距布置, 为便于监测数据的分析各测项统筹布设为断面形式。

### 3.2 监测控制标准

预警按黄橙红三级预警进行管理<sup>[2]</sup>。

黄色监测预警为:“双控”指标(变化量、变化速率)均超过监控量测控制值(极限值)的 70%时, 或“双控”指标之一超过监控量测控制值的 85%时。

橙色监测预警为:“双控”指标均超过监控量测控制值的 85%时, 或“双控”指标之一超过监控量测控制值时。

红色监测预警为:“双控”指标均超过监控量测控制值, 或实测变化速率出现急剧增长时。

## 4 施工各阶段变形情况分析

根据现场施工情况选取了两个变形情况比较典型的施工流水段进行了监测分析, 分别为三号流水段及十三号流水段。

### 4.1 三号流水段监测分析

三号流水段位于车站基坑南侧, 长 21.3m, 基坑西侧 2m 距离即为市政道路, 施工期间该道路为土方运输通道。该施工段于 2019 年 12 月 20 日开挖, 2020 年 1 月 14 日开挖至第二道撑深度停止施工, 停工期间未架设第二道钢支撑。受疫情影响, 基坑于 2020 年 3 月 25 日恢复土方作业, 开挖过程中二道撑在 4 月 3 日与三道撑同时架设, 反压土台留设厚度不足、坡度过陡, 一次开挖深度过大, 土体支撑作用失效, 同时西侧道路受拉土车碾压路面出现龟裂及凹陷, 外部荷载与坑内支撑体系的滞后综合影响导致西侧围护结构变形过大

发生红色监测预警。监理4月4日及时组织了红色监测预警影响会,会后施工单位变更了土方运输路线,规范了土方开挖作业,至4月8日,该部位开挖完成平整基底。

#### ①周边沉降监测分析

基坑2020年1月14日开挖至二道撑深度后停工(未架撑),西侧第一排地表沉降测点DB-06-01自1月13日起发生较大沉降,至1月19日阶段沉降-14.2mm,沉降速率-2.36mm/d,之后沉降趋于稳定,基坑东侧沉降测点DB-06-02未见明显沉降。

3月25日复工后,基坑西侧沉降测点沉降趋势明显,管线沉降测点SSG-01-06 4月4日沉降速率达到-2.3mm/d发生红色监测预警。至4月7日基坑开挖到底后沉降趋缓。东侧地表沉降测点DB-06-02未见明显沉降。

#### ②墙顶水平位移监测分析

基坑西侧墙顶水平位移测点ZQS-04-01在1月14日开挖至二道撑阶段变化约+4.0mm,东侧测点ZQS-04-02阶段变化约-6.2mm,基坑上口呈现整体轻微向东侧发展的趋势。

在3月25日复工后墙顶水平位移测点ZQS-04-01、02整体继续呈现向东变化的趋势,至4月3日第二、三道支撑架设时达到了峰值+8.9mm、-11.3mm,4月4日管线测点发生红色监测预警后施工单位变更了土方运输路线,基坑两侧荷载逐渐达到平衡,基坑上口呈现整体向西的变化趋势,至5月上旬底板施工完成时基坑西侧墙顶水平位移累计值为+0.6mm,东侧为-2.2mm,基本处于稳定状态。

#### ③墙体水平位移监测分析

西侧墙体水平位移测点ZQT-04-01自1月14日停工后在第二道撑深度发生明显变形(二道撑未架设),至1月21日深7.0m位置阶段变形+11.94mm,变形速率+1.71mm/d。

3月25日复工后测点在12m深度发生较大变形至3月30日阶段变化+19.71mm,4月3日架设第三道钢支撑后变形趋缓,基坑封底后墙体测点仍有一定幅度的变化,至7月7日12m深度阶段变化+8.08mm。东侧测点ZQT-04-02开挖阶段变形较小,15.5m深度累计变形+4.32mm,上口由于西侧荷载偏压的影响向东侧有一定变形,挡墙顶端累计变形-11.63mm。结构施工期间由于基坑两侧荷载达到平衡状态,东侧墙体坑底以上区域整体向坑内方向偏移约+7.63mm。

#### ④支撑轴力监测分析

开挖部位南侧第一道支撑轴力测点GZL-04-01在基坑开

挖至第二道撑深度停工后自1月15日起应力明显增大,至1月21日达到峰值+736.25kN,阶段变化+369.73kN,变化速率+61.62 kN/d。疫情期间应力值稳定在500kN左右。

轴力测点GZL-04-02、03于4月3日同时架设,自4月4日起GZL-04-03应力快速上升,至4月16日达到+1516.44kN,阶段变化+576.06kN,结构施工期间该测点未见异常变化。GZL-04-02架设后无明显变化,在三道撑拆除后应力有一定增长。

从数据变化情况可以看出,基坑变形的主因是基坑支撑体系建立的滞后及西侧重型车辆的荷载,同时南侧相邻第二流水段长期未封底一定程度上减弱了下部墙体的抗变形能力,东西两侧荷载的不平衡导致了西侧墙体受到较大偏压,通过第一道钢支撑的传导造成东侧墙体上部向东存在一定偏移。第二、三道撑未能及时架设导致西侧墙体下部鼓肚变形,进而引起西侧地表、管线的下沉发生红色监测预警。随着二、三道撑的架设及土方运输通道的导改墙体的变形得到了有效地控制,但在结构施工期间受西侧道路社会车辆荷载的影响地表及结构仍然存在一定程度的变形,东西两侧荷载平衡后东侧墙体呈现出与之前相反的变化。

#### 4.2 十三号流水段监测分析

基坑第十三流水段位于基坑北侧,长度24.7m,自2020年4月24日拉槽开挖部分土体,至5月7日架设第二道撑,至5月12日架设第三道撑,5月19日开挖到底。开挖过程中钢支撑架设较为及时,无明显超挖情况,反压土留设较为合理。

开挖采用长臂挖掘机从基坑侧边出土,挖掘机下铺设两块6\*2.25m的钢板降低荷载,按照施工方案拉土车应远离基坑边,在轨道梁外施工便道行走。土方必须随挖随运,坑边严禁堆土和堆载。但在实际操作中并未严格执行上述要求,拉土车直接停留在基坑边缘装载土方,时有坑边推土等情况发生。

#### ①周边沉降监测分析

基坑东侧测点DB-19-01由于位于出土通道周边,现场车辆由北侧进场,受南侧流水段来往车辆荷载影响开挖之前沉降量约为-16.0mm,开挖后最大沉降速率达到-1.50mm/d,至5月19日土方开挖完成时阶段沉降量-37.9mm,累计沉降量-53.9mm。结构施工期间该测点仍有沉降趋势,截止到8月3日累计沉降量达到-73.8mm。基坑西侧管线测点SSG-01-30、

WSG-01-19 自基坑开挖出现沉降,随着基坑的开挖沉降速率趋势增大最大速率达到 $-1.25\text{mm/d}$ ,至基坑开挖到底后趋于稳定,累计沉降量 $-21.6\text{mm}$ 。

### ②墙顶水平位移监测分析

墙顶水平位移测点 ZQS-17-01、02 在土方开挖阶段呈现整体向西侧变形趋势,至基坑开挖到底 ZQS-17-01 累计变形 $-0.9\text{mm}$ ,ZQS-17-02 累计变形 $+10.5\text{mm}$ 。结构施工阶段测点仍保持缓慢向西侧变形的趋势,至中板完成后趋于稳定,ZQS-17-01、02 当前累计变形量分别为 $-5.0\text{mm}$ 、 $+16.5\text{mm}$ 。

### ③墙体水平位移监测分析

墙体水平位移测点 ZQT-17-01、02 自土方开挖至二道撑架阶段变形主要发生在 12m 以上的部位,最大变形位于深度 10m 处,ZQT-17-01、02 累计变形值分别为 $+10.62\text{mm}$ 、 $+11.29\text{mm}$ 。随着二道撑下土方的开挖,变形的深度主要集中在 10~16m 的区域,至土方开挖完成,ZQT-17-01 最大累计变形值为 $+19.09\text{mm}$  (11.5m 深度),ZQT-17-02 最大累计变形值为 $+19.19\text{mm}$  (12.0m 深度)。

基坑结构施工期间,受周边荷载影响墙体在第三道撑的深度仍有一定的变形,ZQT-17-01 主要受西侧市政道路社会车辆荷载的影响,变形相对较小,12m 深度 72 天内阶段变形 $+4.57\text{mm}$ ,累计变形 $+23.36\text{mm}$ 。ZQT-17-02 主要受东侧拉土车荷载影响,重量大,扰动时间长,变形相对较大,11.5m 深度 72 天内阶段变形 $+13.71\text{mm}$ ,累计变形 $+31.50\text{mm}$ 。

### ④支撑轴力监测分析

三道撑支撑轴力测点 ZQT-11-03 在架撑后应力值上升趋势明显,至 5 月 20 日开挖到底后达到峰值 597.48kN,垫层浇筑后应力值逐渐稳定未见异常变化。

第十三流水段土方开挖施工相对第三流水段较为规范,支撑架设较为及时,但由于现场出土车辆由北侧进场,该流水段土方开挖的方向是由北至南,施工区域在土方完成即成为下一个流水段的出土通道,在重载车辆长期的影响下周边地表及基坑围护结构仍有较大的变形。经统计地表测点 DB-19-01 土方开挖阶段的沉降占总沉降量的 73%,结构施工阶段的沉降占总沉降量的 27%,由于后续段落土方施工仍在进行,地表测点受荷载影响仍有沉降趋势。墙顶水平位移测点 ZQT-17-01 在土方开挖完成后受西侧道路社会车辆的荷载影响仍有较小的沉降趋势,土方开挖阶段的变形占总变形量

的 80%,结构施工阶段的变形占总变形量的 20%。ZQT-17-02 在土方开挖完成后受东侧重载车辆影响沉降趋势较为明显,土方开挖阶段的变形占总变形量的 58%,结构施工阶段的变形占总变形量的 42%。由于土方施工未结束东侧仍受拉土车荷载影响,东西两侧土压力的不平衡导致基坑上口存在整体向西偏移的情况。

## 5 结论

通过归纳分析该车站施工过程中数据变化及现场施工情况,可以确定该基坑围护结构产生变形的主要因素为施工的不规范及周边重型车辆的荷载,其中第三流水段受施工不规范及荷载的综合影响,最大墙体变形达到了 $+44.45\text{mm}$ ,第十三流水段的变形绝大部分是由出土车辆及机械的荷载影响导致,最大墙体变形为 $+31.50\text{mm}$ ,约为南侧墙体变形量的 71%。同时墙顶位移测点与测斜管顶端位置高度一致的变形趋势,反映出东西两侧荷载的失衡导致南北两段基坑上口分别存在向东、向西的整体位移。南侧流水段墙体由于出土路线的变更排除了车辆荷载的影响上口位置逐渐复位,北侧基坑墙体由于荷载的持续存在仍然保持偏移状态。

该车站基坑围护结构的变形情况反映出 600mm 厚度的地连墙对外在因素的扰动反应较为敏感,土方开挖不规范及架撑不及时在短时间内即造成围护结构的变形,在荷载的影响下支撑体系建立后仍有持续的变形趋势。结合上述情况提出相关建议如下:

①类似的基坑项目应合理规划出土路线,将荷载对基坑的影响降到最低;

②严格按照设计及施工方案施工,及时架设钢支撑,杜绝超挖;

③以增加厚度或加筋的形式提高硬化层刚度及承载力,降低地面荷载对地层的影响;

④在周边环境条件较为复杂风险较高的情况下建议设计提高围护结构刚度,采用 600mm 以上厚度的地连墙。

## [参考文献]

[1]秦长利.城市轨道交通工程测量.北京.中国建筑工业出版社,2011年.

[2]北京市轨道交通建设管理有限公司.北京轨道交通建设工程安全风险技术管理体系(2018版).北京,2018年.