

武汉地铁 3 号线一期工程车站基坑施工风险控制分析

唐传政¹, 彭晓秋², 熊秋梅¹, 王越¹

(1. 武汉市市政工程质量监督站, 湖北 武汉 430015; 2. 武汉市建设工程设计审查办公室, 湖北 武汉 430015)

摘要: 针对武汉市地铁3号线一期工程车站基坑施工技术特点,结合沿线工程地质和水文地质特征,分析车站基坑施工过程中存在的可能风险,并提出相应的处理对策,以控制和减少施工风险,保证基坑施工安全。

关键词：基坑施工；风险；对策；地铁

中图分类号: TU473 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2012)09-0415-04

作者简介: 唐传政(1966-), 男, 安徽池州市, 教授级高级工程师, 注册岩土工程师, 全国基坑工程专业委员会委员, 长期从事岩土工程和市政工程施工技术管理研究工作。E-mail: tangcz@whis.gov.cn。

Control and analysis of construction risk in excavations of stations of project stage No. 1 of Metro Line 3 in Wuhan

TANG Chuan-zheng¹, PENG Xiao-qi², XIONG Qiu-mei¹, WANG Yue¹

(1. Wuhan Municipal Engineering Quality Supervision Station, Wuhan 430015, China; 2. Wuhan Bureau of Civil Engineering Design
Examination, Wuhan 430015, China)

Abstract: Aiming at the technical characteristics of constructing excavations of stations of project stage No.1 of Metro Line 3 in Wuhan, combined with the geological and hydrogeological characteristics, the possible risks during construction process of excavations are analyzed, and the corresponding countermeasures are put forward so as to control and reduce the construction risks and to ensure the safety of excavation construction.

Key words: construction of excavation; risk; countermeasure; metro

0 引 言

武汉市地铁3号线是武汉市首条过汉江地铁，也是武汉市第一条连接汉口和汉阳的地铁。根据规划，武汉地铁3号线分两期建设。一期从沌口到后湖，全长27.9 km。一期工程设车站23座，其中换乘车站11座。3号线一期概算投资总额为214.23亿元。武汉地铁3号线从2012年3月起将全线开工建设，拟于2015年底建成通车。武汉地铁3号线线路走向见图1。



图 1 武汉地铁 3 号线线路走向

Fig. 1 Trend of Metro Line 3 in Wuhan

由于武汉市地铁 3 号线一期工程横跨汉阳和汉口，沿线地层分布复杂，具有多种地貌单元，工程地质条件、水文地质条件等均有明显差异，使地铁 3 号线车站基坑所涉及环境岩土工程问题更复杂。而沿线交通干道纵横交错，地面交通流量大，高层建筑鳞次栉比，地下管线错综复杂，给地铁 3 号线车站基坑开挖带来了风险。为了确保车站基坑开挖的安全，因此有必要对车站基坑开挖的风险因素进行分析，本文就是针对武汉市地铁 3 号线一期工程车站基坑施工技术特点，结合沿线工程地质和水文地质特征，分析车站基坑施工过程中存在的可能风险，并提出相应的处理对策，以控制和减少施工风险，保证基坑施工安全。

1 工程地质和水文地质概况

武汉市地铁3号线一期是第一条连接汉口和汉阳的地铁，而武汉市汉口和汉阳不同的特殊地形地貌特征，造成不同的工程地质和水文地质特征。

1.1 工程地质概况

汉阳地区属长江三级阶地;汉口地区主要属长江、汉江一级阶地,张公堤外属长江二级阶地^[1]。武汉地铁3号线一期地形地貌特征如图2所示。

一级阶地地貌单元呈现典型的二元结构,上部由填土层及第四系全新统冲洪积成因的黏性土组成;中部为稍密—中密的粉细砂、中密—密实的中粗砂夹砾石,粉细砂层中分布黏性土透镜体;下部基岩为白垩系一下第三系砾岩、砂岩及志留系粉砂岩、泥岩组成^[2]。

长江二级阶地地貌单元上部为薄层填土和厚度变化较大的全新统冲积成因的软塑—可塑状态的一般黏性土;中部为第四系上更新统硬塑状老黏性土及密实状黏质砂土及含砾细砂;下部为白垩系一下第三系东湖群的砂岩和砾岩。

长江三级阶地场地上覆土层主要为第四系近代人工填土层、第四系全新统一般黏性土和中更新统冲洪积相黏性土、第四系残坡积黏性土、红黏土,下伏基岩由石炭系中统黄龙组灰岩、泥岩和砂岩,泥盆系上统五通组砂岩、石英砂岩,志留系中统坎头组泥岩和泥质粉砂岩构成。



图2 武汉地铁3号线一期地形地貌特征示意

Fig. 2 Topographic and geomorphic features of project stage No. 1 of Metro Line 3 in Wuhan

1.2 水文地质概况

一级阶地第四系全新统砂土层中承压水水头高,水量丰富,与长江、汉江水力联系密切。

二级阶地上更新统砂土层中含承压水,其水量小于一级阶地区,一般埋深3.0~4.5 m。

王家湾地区古河道砂层中含承压水,水头标高一般在地面下6.5~7.5 m,水量较小。

三级阶地残坡积层中潜水,水量较小,与周边地表水及基岩裂隙水有联系。

碎屑岩类裂隙水,水量贫乏。岩溶裂隙水,未见大型岩溶水系。

2 基坑施工方法

根据武汉地铁3号线一期初步设计方案,地下车站除王家墩中心站为盖挖逆做法外,其它车站均采用明挖法,基坑开挖深度一般为16 m左右,除王家湾站18 m、王家墩中心站19.5 m和范湖站24.4 m、香港路站28.7 m外。位于长江三级阶地的汉阳地区车站,基坑支护形式为钻孔桩+内支撑结构。汉口地区长江一级、二级阶地的汉口地区车站,支护形式为地下连续墙+内支撑结构,支撑多采用钢筋混凝土和钢管。武汉地铁3号线一期车站基坑施工方法详见表1。

表1 武汉地铁3号线一期车站基坑施工方法

Table 1 Construction methods of excavations of stations of project stage No. 1 of Metro Line 3 in Wuhan

序号	站名	施工方法	基坑深度/m	围护形式
1	沌阳大道站	明挖法	12.6~17.2	钻孔桩
2	体育中心南站	明挖法	25.1	钻孔桩
3	体育中心北站	明挖法	17.6	钻孔桩
4	升官渡站	明挖法	16.1	钻孔桩
5	客运中心站	明挖法	15.9	钻孔桩
6	四新大道站	明挖法	16.1	钻孔桩
7	王家畈站	明挖法	16.0	钻孔桩
8	蔡家湾站	明挖法	16.2	钻孔桩
9	王家湾站	明挖法	18 (28.2)	地下连续墙
10	宗关站	明挖法	22.5	地下连续墙
11	双墩站	明挖法	16.3	地下连续墙
12	王家墩中心站	盖挖逆作法	19.5 (25.9)	地下连续墙
13	王家墩北站	明挖法	16.9	地下连续墙
14	范湖站	明挖法	24.4	地下连续墙
15	菱角湖路站	明挖法	17.1	地下连续墙
16	香港路站	明挖法	28.7	地下连续墙
17	惠济二路站	明挖法	16.1	地下连续墙
18	赵家条站	明挖法	16.7 (24.2)	地下连续墙
19	科技馆站	明挖法	16.6	地下连续墙
20	二七路站	明挖法	16.2 (22.8)	地下连续墙
21	兴业路站	明挖法	16.9	地下连续墙
22	后湖大道站	明挖法	16.8	地下连续墙
23	市民之家站	明挖法	17.2	地下连续墙

2.1 明挖顺作法

明挖顺作法是目前武汉地铁车站采用最多的一种施工方法,主要有放坡明挖和支护结构内的明挖(即基坑开挖)两种方法。目前,武汉地铁3号线主体站基坑的支护结构主要有地下连续墙、钻孔灌注桩等,再加上支撑结构,支撑多采用钢筋混凝土和钢管。

2.2 盖挖逆作法

王家墩中心站拟采用盖挖逆作法施工。与明挖法相比,其优势在于减少交通封堵时间,减轻施工对于环境的干扰,其区别在于主体结构的施工顺序上。武汉地铁二号线一期中南站和洪山广场站成功采用盖挖逆作法施工,通过分期围挡、倒边施作,能较好的解

决道路交通问题, 同时也解决了施工场地的问题。

3 主要施工风险与对策

武汉地铁3号线一期工程车站明挖基坑施工可能遇到的主要风险表现为: 基坑侧壁渗漏, 引起基坑侧壁涌水、流砂及其引起的地面沉陷; 基坑涌水引起的地面沉降、道路开裂、房屋开裂; 基坑坑内纵坡开挖出现滑移等。

3.1 基坑侧壁渗漏水的风险

(1) 地下连续墙渗漏

从表1中可以看出, 3号线一期工程车站明挖基坑施工多采用地下连续墙, 其是否渗漏直接关系到整个工程质量以及施工期基坑的稳定和安全。

a) 风险分析 采用地下连续墙的车站为位于汉口地区一级阶地上, 基坑侧壁或下部地层多为粉砂层, 其地下水位高, 具有承压性质, 如地下连续墙未达到止水效果, 则会出现漏水、漏砂等, 可能导致周边环境的破坏和地下连续墙的变形。在武汉地铁二号线一期工程车站施工中就发生过多起地下连续墙渗漏, 由于及时采取了回填等封堵措施, 才免于事故的发生。连续墙渗漏主要是墙缝渗漏和预埋接驳器部位渗漏。纵观以往同类工程, 根据长期的地铁工程经验, 可以认为这两部位的渗漏正是连续墙施工的两大顽症, 主要与施工质量有关。

b) 风险应对 地下连续墙渗漏较严重的部位集中在接缝处以及预埋接驳器等部位, 防渗漏方案的设计以及施工, 应以此为重点。为保证地下连续墙接缝处的渗漏, 可采用复合锁口管连接或刚性十字钢板接头工艺是预防地下连续墙接缝渗漏水非常有效的方法。另外, 在接头处接头内预埋注浆管, 也可在接头处外侧采用2根高喷桩进行止水加强措施。对于预埋接驳器等部位, 一般在预埋接驳器部位迎土面焊接防水钢板, 则可以大幅度减少接驳器部位的渗漏水。另外, 加强地连墙施工质量, 如穿越上部软土层段, 可考虑在墙的两侧进行超前加固, 以利保证成槽质量, 防止槽壁坍塌, 为地连墙顺利施工创造条件; 施工时保证其垂直度、接头刷壁处理质量等; 合理安排土方开挖顺序, 控制连续墙的变形, 这样可以降低可能出现的接缝漏水程度。

(2) 基坑桩间侧壁漏水的风险

a) 风险分析 对于车站明挖基坑采用钻孔桩+内支撑, 桩间采用止水措施。虽然上述车站位于三级阶地, 但由于是处于老城区, 往往存在一些不明地下构筑物和管线, 而该地区填土比较厚, 经常会出现不明水源, 如果采取的止水措施不当, 可能形成流土、流水。如果处理不及时, 对基坑边坡及周围地面、已有浅基础建筑具有极强的破坏力, 在几个小时或1~2

天里, 由于局部地层掏空引起上部土层下陷, 导致建筑(构)筑物地基破坏。

b) 风险应对 目前, 武汉地区对于三级阶地中采用钻孔桩, 桩间止水措施主要是封闭和阻隔地下水通过桩间流入基坑。因此采取措施主要是针对杂填土中的上层滞水的处理, 武汉地铁二号线多采用高压旋喷作为止水措施, 防止上层滞水渗入。采用此方法效果是可以的, 但不是最合理的和最经济的, 由于高压注浆造价高、设备占用空间大且一般处理深度较浅, 因此不经济。对于三级阶地中钻孔桩间的上层滞水, 笔者曾在文献[3]中指出, 采用挂网喷射混凝土封闭即可。对于填土较厚地段辅以静压注浆就可以达到止水效果。

3.2 基坑涌水风险

从宗关站到后湖大道站之间的13座车站均位于长江一级阶地。基坑深度范围, 侧壁上部一般为软黏土, 中部和下部为粉质黏土、粉细砂、细砂、中粗砂夹砾石层, 下伏岩层。地下水与长江水系联系紧密, 地下水位高, 承压水位高。对于长江一级阶地的明挖基坑通常采用降水措施。

(1) 风险分析 地下水突涌对基坑工程的影响很大, 岩土工程界历来都有“十祸九水”的说法。对于开挖过程中如果降水不及时或不到位, 或者围护结构止水不严, 或者止水围护结构插入深度不够等, 容易引起突涌或管涌现象, 引发基坑安全事故。武汉基坑发生事故多与地下水突涌有关。

(2) 风险应对 对于长江一级阶地的明挖基坑, 一方面采取有效的隔渗帷幕, 另一方面采取降水来降低承压水头, 可以防止基坑涌水的风险。在设计上合理设计围护结构的插入深度, 地下连续墙的深度应结合隔渗帷幕要求确定, 防止管涌风险; 作为悬挂式帷幕, 地下连续墙深度应超过交互层底深度以下。对于基坑深度较大的地下三层车站, 围护墙底应嵌岩, 减小降水难度, 降低施工风险。基坑施工采取坑内降水措施时, 应进行专业设计和施工; 保证每口降水井的出水量和含砂量, 单井完成后应逐井验收, 并进行群井试抽水。在降水运行过程中应根据车站基坑所处场地水文地质情况、土方开挖情况及周边环境监测情况, 调整降水方案, 减小对周边环境影响的同时满足工程施工的需要。实践证明, 武汉地区基坑采用降水是防止地下水突涌的很成熟、很有效的方法。

3.3 基坑开挖风险

(1) 风险分析 主体车站基坑的长度较大, 开挖时设置了纵坡, 进行分段、分块、分层开挖。因此, 纵坡的稳定性是引发开挖风险的主要因素之一, 确保纵坡稳定是防止基坑工程事故的关键所在; 同时, 由于基坑开挖深、工期紧、周围建筑物距离基坑近、周

围构筑物的保护要求严格, 土方开挖不当则往往造成支护变形结构大、支撑内力集中等; 另外基坑开挖过程中对支撑、降水井等设施的破坏, 给基坑带来风险。

(2) 风险应对 车站长条形深基坑开挖施工根据工程地质条件、基坑周边环境条件、围护结构条件等做好施工组织设计, 精心施工。按“时空效应”土方开挖, 减少土方开挖对基坑的影响。控制开挖段纵坡坡度, 分析边坡安全坡度, 并注意及时排除流向土坡的水流, 防止滑坡。当边坡需长期暴露时, 边坡可浇筑素混凝土或采取其他加固方法。在一级阶地软土地层和市区建筑群中进行地铁车站深基坑施工, 可采取可靠合理的坑内土体加固措施, 以控制地层位移和保护周边环境, 并在施工过程中实行动态风险管理, 制度风险预警机制和应急体系。

3.4 支撑体系失效风险

由于地铁车站基坑开挖深度大, 需要加设内支撑, 一般采用钢筋混凝土支撑和钢管支撑。但是在采用钢支撑时, 往往由于安装不当造成支撑失效, 给基坑带来风险^[4]。

(1) 风险分析 钢支撑安装过程中存在活络头脖子太长、水平方向存在偏心现象, 楔子安装不正确未穿过轴心、造成轴心与挡板不垂直, 法兰变形、造成两法兰面无法全接触, 钢楔子安装不正确等问题, 而造成支撑体系松弛、失效。中间立柱因隆起而使支撑失稳; 支撑受力过大、或偏心, 支撑体系变形导致支护结构失稳; 围檩因设计不当, 架设不当而变形等风险。拆除时应避免瞬间预加应力释放过大而导致结构局部变形、开裂。

(2) 风险应对 钢管横撑的设置时间必须严格按照设计工况条件掌握, 土方开挖时应分段分层, 严格控制安装横撑所需的基坑开挖深度, 并及时施加预应力; 千斤顶预加轴力必须对称同步, 以平衡横撑杆的自重下落和开挖预放的初应变; 所有支撑连接处, 均应垫紧贴密, 防止钢管支撑偏心受压; 对于支撑长度较大的, 可按一定间距在两对顶撑之间加设联系杆件组合成桁架型式, 以加强支撑系统的稳定性; 为了增强内支撑的整体刚度和稳定性, 第一道采用钢筋混凝土支撑; 应加强钢支撑与围护结构的连接构造处理, 防止施加预应力时和两侧位移不对称时支撑脱落事故的发生; 加强对内支撑结构的监测, 实施信息化施工。

4 结 语

武汉地铁3号线一期是第一条连接汉口和汉阳的地铁, 全长27.9 km, 共设明挖车站23座, 其基坑施

工技术难度大、施工风险高、质量要求高、复杂的工程地质和水文地质条件、不可预测因素多, 给车站基坑施工带来了严峻的考验, 必须对主体车站基坑施工风险给予足够的重视。

(1) 对于长江一级阶地的明挖车站基坑, 可以采取坑内降水和隔渗帷幕相结合的方法, 一方面可以防止基坑侧壁渗漏, 另一方面可以降低承压水, 以防止基坑涌水的风险。对于三级阶地中支护桩间的上层滞水, 可以采用挂网喷射混凝土封闭。

(2) 对于长条形车站基坑土方开挖施工, 要根据工程地质条件、基坑周边环境条件、围护结构条件等做好施工组织设计, 精心施工。按“时空效应”土方开挖, 减少土方开挖对基坑的影响。

(3) 对于采用钢支撑的车站基坑, 一定要注意安装质量, 及时施加预应力; 同时, 加强对内支撑结构的监测, 实施信息化施工。

参 考 文 献:

- [1] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 武汉市轨道交通3号线一期工程初步设计阶段工程安全质量风险评估报告[R]. 2012. (China Railway Siyuan Survey And Design Group Co., LTD. Project preliminary design stage engineering risk assessment of safety and quality reports in Wuhan Rail Transit line No.3[R]. 2012. (in Chinese))
- [2] 唐传政, 彭晓秋. 武汉轨道交通二号线一期车站基坑支护方案探讨[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(增刊). (TANG Chuan-zheng, PENG Xiao-qiu. Investigate on excavation supporting scheme of the first-stage project of station in Wuhan Rail Transit[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(S0). (in Chinese))
- [3] 唐传政, 彭晓秋. 武汉地铁基坑工程地下水问题及其处理对策[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增刊 1). (TANG Chuan-zheng, PENG Xiao-qiu. Wuhan metro excavation and treatment of the groundwater[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1). (in Chinese))
- [4] 唐传政, 熊秋梅. 浅议武汉地区地下空间建设中的施工技术问题[C]// 中国城市地下空间开发高峰论坛论文集. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2011. (TANG Chuan-zheng, XIONG Qiu-mei. Discussion on construction of technical problems in construction of underground space in Wuhan region[C]// Proceedings of the Summit Forum on Urban Underground Space Development in China. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2011. (in Chinese))

(本文责编 明经平)