

富水砂层落底式止水帷幕深基坑开挖安全风险控制要点

刘 律

武汉市市政建设集团有限公司, 湖北 武汉 430023

[摘要] 本论文以武汉地铁某地下车站施工为例, 该站基坑地处长江一级阶的富水砂层。主体基坑围护结构为落底式止水帷幕, 基坑开挖最大深度为 18.4m, 坑内外最大水头差在 11m 以上, 基坑周边有房屋和自来水、排水等管线, 对基坑变形控制要求高, 基坑施工安全风险大。本论文主要针对富水砂层落底式止水帷幕深基坑开挖安全风险进行了分析, 并提出了关键性控制要点。

[关键词] 富水砂层; 落底式止水帷幕; 深基坑开挖; 施工安全风险控制

DOI: 10.33142/sca.v6i7.9595

中图分类号: U448.25

文献标识码: A

Key Points for Safety Risk Control of Deep Foundation Pit Excavation with Water Rich Sand Layer Bottom Falling Water Stop Curtain

LIU Lv

Wuhan Municipal Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430023, China

Abstract: This paper takes the construction of an underground station in Wuhan Metro as an example. The foundation pit of the station is located in a water rich sand layer on the first terrace of the Yangtze River. The main foundation pit enclosure structure is a bottom falling water stop curtain. The maximum depth of the foundation pit excavation is 18.4m, and the maximum water head difference inside and outside the pit is above 11m. There are houses, water supply, drainage and other pipelines around the foundation pit, which have high requirements for deformation control of the foundation pit. The safety risk of foundation pit construction is high. This paper mainly analyzes the safety risks of deep foundation pit excavation with water rich sand layer bottom falling water stop curtain, and proposes key control points.

Keywords: rich water sand layer; falling bottom type water stop curtain; deep foundation pit excavation; construction safety risk control

引言

武汉地铁某车站位于汉阳区鹦鹉大道, 为地下二层岛式车站。车站主体基坑围护结构采用地下连续墙。墙缝采用高压旋喷桩止水, 围护结构水平受力体系采用砼内支撑和钢支撑。该站所处长江一级阶地富水砂层。主体基坑围护结构为落底式止水帷幕, 基坑开挖最大深度为 18.4m, 坑内外最大水头差在 11m 以上, 基坑周边有房屋和自来水、排水等管线, 对基坑变形控制要求高, 基坑施工安全风险大。本文主要针对富水砂层落底式止水帷幕深基坑开挖安全风险进行了分析, 并提出了关键性控制要点。

1 工程概况

1.1 设计概况

该工程主体基坑开挖深度标准段约为 16.7m, 盾构下沉段约为 18.4m。围护结构采用连续墙加内支撑的支护形式。连续墙厚 800mm, 连续墙墙缝、基坑阳角部位均采用 $\phi 800$ 三重管高压旋喷桩加固。旋喷桩加固深度为从地下连续墙顶至主体基坑底以下 3m。围护结构水平受力体系第一道采用砼内支撑, 其他各道均采用钢支撑。地下连续墙结构参数见表 1。

表 1 地下连续墙技术参数表

序号	幅数	连续墙厚度 (mm)	连续墙深度 (m)	混凝土强度等级
1	89	800	35.22	C30 (水下 P6)

1.2 工程地质情况

该站场地地形较平坦, 地面高程一般在 22.66 ~ 22.90 米之间。车站距长江直线距离约 0.7Km 左右, 地貌单元属长江一级阶地。基坑主要处于 (1-1) 杂填土、(2) 粉质黏土夹粉土、(3-4) 粉质黏土夹粉土、(3-5) 粉质粘土夹粉砂、粉土、(4-1) 粉细砂、(4-2) 中细砂层, 基底主要位于粉细砂层, 地下连续墙墙底位于 (10-1) 层粉质黏土不透水层。

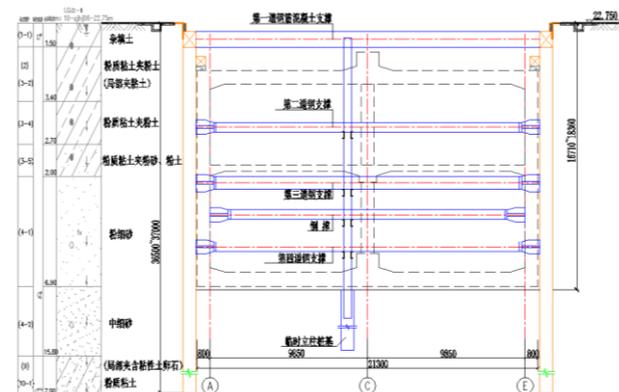


图 1 基坑地质断面图

1.3 水文地质情况

(1) 地下水的类型。对基坑施工有影响的地下水有

上层滞水、孔隙承压水。上层滞水主要赋存于填土层中，孔隙承压水主要赋存于(3-5)层、(4-1)层及(4-2)层，地下水位位于地面以下7.5m左右。

(2) 渗透性。场区内(2)层为弱透土层，(3-2)层为相对隔水层，(3-4)层为弱透土层，(3-5)层、(4-1)层及(4-2)层为含水层，(9)层为中等透土层，(10-1)层为相对隔水层，(10-2)层为弱透土层，基岩为相对隔水层。各土层渗透性指标如下表所示。

表2 岩土渗透性指标

岩土名称	地层代号	渗透系数 (cm/s)		渗透性分析
		垂直	水平	
粉质黏土夹粉土	2	5.0×10^{-6}	5.8×10^{-5}	弱透土层
粉质粘土	3-2	4.5×10^{-6}	2.9×10^{-6}	微透土层
粉质黏土夹粉土	3-4	5.7×10^{-6}	4.8×10^{-5}	弱透土层
粉质黏土夹粉砂、粉土	3-5	2.5×10^{-5}	6.5×10^{-4}	弱透土层
粉细砂	4-1	8.0×10^{-3}	1.2×10^{-2}	强透土层
中细砂	4-2	2.0×10^{-2}	2.2×10^{-2}	强透土层
含黏性土卵石	9	5.1×10^{-4}	6.5×10^{-3}	中透土层
粉质黏土	10-1	5.8×10^{-7}	6.3×10^{-7}	不透土层
粉质黏土夹碎石	10-25.1	4.3×10^{-6}	7.5×10^{-5}	弱透土层

2 工程风险分析及技术控制要点

该站所处长江一级阶地富水砂层。主体基坑围护结构为落底式止水帷幕，基坑开挖最大深度为18.4m，坑内外最大水头差在11m以上，基坑周边有房屋和自来水、排水等管线，对基坑变形控制要求高，基坑施工安全风险大。综合本站的特点、周边环境、工程及水文地质条件，富水砂层落底式止水帷幕深基坑开挖安全风险需要重点控制以下几个方面。

2.1 加强地下连续墙施工质量控制

地下连续墙施工质量的好坏直接决定深基坑开挖过程中的安全风险，尤其是常见的渗漏水施工质量控制。

(1) 泥浆质量的控制。根据富水砂层的地质条件，为确保地下连续墙施工质量，建议按下表泥浆质量控制标准进行控制。

表3 泥浆质量控制指标 (普通泥浆)

泥浆指标 泥浆类别	漏斗黏度 (秒)	比重 (g/cm ³)	酸碱度 (PH值)	失水量 (cc)	含砂率 (%)	滤皮厚 (mm)
新鲜泥浆	22-30	1.05-1.10	8.0-8.5	<10	<1	<1.5
再生泥浆	30-40	1.08-1.15	7.0-9.0	<15	<4	<2.0
挖槽时泥浆	22-60	1.05-1.25	7.0-10.0	<20	可以不测	可以不测
清孔后泥浆	22-30	1.05-1.15	7.0-10.0	<20	<4	<2.0
劣化泥浆	>60	>1.30	>14	>30	>10	>3.0

地下连续墙施工应优化新制泥浆配比，在泥浆配合比中加入CMC，以增加泥浆稠度，提高泥浆的携渣性能。建议新鲜泥浆配合比如下表4。

表4 新鲜泥浆配合比

泥浆材料	膨润土	纯碱	CMC	清水
1m ³ 投料量 (kg)	116.6	4.664	0.583	949.3

施工过程中，为保证循环泥浆的质量，建议选用黑旋风泥沙分离器对循环泥浆进行除砂，使除砂后的泥浆含砂率小于4%。

(2) 地连墙接头处的施工质量控制。地下连续墙墙幅之间一般采用工字钢接头，接头处往往是地连墙的薄弱点。为提高接头处的抗渗及抗剪性能，对先行幅墙体接缝处采用刷壁器刷除附在板面上的泥皮，以保证砼浇注后接头密实、不渗漏。

(3) 保证地连墙各工序连接顺畅，尽量缩短各工序时间，确保施工质量。作为富水砂层基坑围护结构的地下连续墙具有槽深、地下水位高、地质情况复杂、工序多等特点，施工过程风险大。为确保施工质量、避免风险，地下连续墙施工中必须合理安排，各工序衔接紧密，尽量缩短各工序时间，如地下连续墙成槽、刷壁后要及下方钢筋笼、安装导管，以及浇筑砼，避免槽壁缩颈、沉渣过厚等质量缺陷。

另外，地连墙施工完毕后，需进行声波或低应变检测，质量满足要求后方可进行基坑开挖。

2.2 确保墙缝高压旋喷桩止水施工质量

地下连续墙墙缝是防水的薄弱点，因此在施工中应重点加强墙缝高压旋喷桩止水质量控制，确保施工过程中浆压、气压、水压、提升速度、水泥用量等参数达到设计要求，建议按下表控制相关施工参数。

表5 高压旋喷桩施工参数表

项目		技术参数
高压水	水压 (MPa)	25-28
压缩空气	气压 (MPa)	0.7-1
水泥浆	压力 (MPa)	1-3
	浆量 (l/min)	26~31
提升速度 (cm/min)		10-20
喷嘴直径 (mm)		2

为检验墙缝施工质量，高压旋喷桩施工完成达到龄期后，应进行取芯检测，验证其强度和渗透性，如不能满足设计要求，应采取补加固措施。

2.3 保证基坑降水效果和重视基坑周边排水工作

(1) 保证基坑降水效果。降水井施工完毕后按照设计要求逐井验收，验收合格后方可进行坑内，以及坑内外连通试验及正常施工降水。

坑内群井降水试验可以验证降水设计参数，核实降水效果是否能满足施工要求；坑内外连通性抽水试验可对基坑止水帷幕是否存在渗漏情况进行验证，从而提前预测到地连墙及接缝处高压旋喷桩止水帷幕施工质量，为后期基坑开挖做好应急准备。对于质量较难控制的转角幅地连墙

或在成槽、浇筑砼施工过程中有异常的墙幅可在基坑外适当增设备用井，以作为基坑开挖时应急使用。

在基坑开挖前，建议提前一周开启坑内降水井，以疏干互层土（如粉质黏土及粉土、粉质粘土及粉砂等土层）中的含水，确保挖机设备顺利开挖。由于基坑是落底式帷幕，降水井开启几天后，抽水量会明显减少，此时可根据基坑开挖部位、开挖深度、降水井的抽水量和静水位适当关闭部分降水井，以避免超降或水泵掉泵被烧坏。

(2) 重视基坑周边排水工作。在长江一级阶地施工中，基坑降水工作一般都比较重视，基坑降水方案往往与基坑围护结构图纸同时论证，而后按论证完善后的方案实施。基坑排水工作却容易被忽视，有不少基坑在雨季施工时，因基坑周边排水不畅或降、排水管渗漏甚至破裂，造成排水倒灌基坑或从基坑围护结构薄弱处冲开，造成基坑涌水涌沙。因此，在基坑开挖前应高度重视基坑周边排水工作，建议在开工前把市政排水管线（尤其是大型市政雨污水箱涵）尽量改迁距基坑远处。另外，基坑周边的降水排水、雨水排水也应距基坑尽量远一些。为便于日常检修，建议采用明排（明管或明沟）的排水措施；为防止渗漏，应重点做好排水管或排水沟的施工质量。

2.4 针对性的技术、安全交底，并进行应急演练

富水砂层落底式止水帷幕深基坑开挖风险大，施工前应针对基坑开挖过程中常见的停电、地连墙渗漏、涌水涌沙、基坑变形过大或超标等风险进行全员交底，让参与基坑施工的每个管理人员、作业工人都清楚处理方法和应对措施。为进一步验证基坑风险应急的处置能力，应针对上述基坑施工风险点逐项进行应急演练工作，以提高各部门、各岗位协作和实际应急处置能力。



图2 基坑施工应急演练

2.5 基坑开挖过程中的风险预控及信息化施工

(1) 基坑开挖过程中应24小时派人值守，时时注意地下连续墙有无渗漏等情况。对于一般渗漏，应第一时间用快干水泥或堵漏网及时封堵，并预留引流管；对于渗漏较大，暂时无法封堵或引流的，应及时在坑内用黏性土反压，在坑外开启降水井减压、注浆封堵等措施。为确保基坑开挖安全，现场管理人员，除留意地连墙渗漏点外，还

应注意地连墙接缝是否紧密，墙体砼表面外观质量，对墙体可能有渗漏风险的位置，应先沿地墙边部挖一条探槽，仔细观察渗漏情况，若有渗漏，则根据渗漏情况分别进行处理；若无渗漏水情况方可继续向下开挖。因基坑下部土体均为粉细砂层，根据基坑开挖情况，可在基坑底部或顶部适当预留一部分基坑上半部分的黏性土，作为应急使用。

(2) 及时架设支撑。基坑周边有房屋和管线，再加上砂性土基本没有黏结力，地下水位高，地连墙所承受的水土压力大，在基坑开挖过程中应严禁超挖，建议及时架设支撑（建议在土方开挖完成后6小时内完成支撑架设），以免地连墙的侧向变形增大，给基坑和周边建构筑物带来安全风险。

(3) 加强施工监测，及时反馈监测数据，实行信息化施工。监测是基坑施工的眼睛，在基坑开挖期间，应严格按监测规范要求的监测项目、频率进行监测工作。对于基坑变形异常点或超标点，应综合各监测项目的数据互相对比，分析其原因，预测发展方向，提出建设性处理意见，并加密监测或跟踪监测，直至监测数据稳定、风险消除为止。为确保基坑施工安全，推行基坑信息化施工，监测项目测量结束后，应第一时间计算、第一时间整理数据，第一时间将数据反馈至施工现场和作业人员手里。

3 控制效果

项目部主要通过加强地下连续墙渗漏施工质量控制、降排水、基坑开挖24小时监控及应急交底演练、及时架设支撑与加强监测等措施确保基坑与建筑物、管线施工安全。目前，前进村站主体结构全部封顶，整个基坑施工过程中没有出现过一次险情，周边房屋与管线沉降数据均符合要求。

4 结语

富水砂层落底式止水帷幕深基坑开挖安全风险控制的要点主要是做好地下连续墙渗漏施工质量控制、降排水、基坑开挖24小时监控及应急交底演练、及时架设支撑与加强监测等工作。在实际施工中，如能重视上述工序，严格按照要求把每道工序落到实处，就能很大程度地降低或避免此类深基坑的施工风险，减少不必要的损失。上述安全风险控制措施不仅对地铁车站，对于类似处于长江一级阶地的深基坑开挖同样具有指导意义。

[参考文献]

- [1] 马加志, 廖正根, 李聪. 富水砂层超深基坑开挖突涌应急处置技术[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(2): 102.
 - [2] 智慧渊, 厉风, 高金铭. 地铁车站富水砂层地连墙施工风险分析[J]. 工程技术研究, 2020, 5(21): 110.
- 作者简介: 刘律 (1988.10—), 男, 华东交通大学, 建筑与土木工程, 武汉市市政建设集团有限公司, 工程师。