

某泵站基坑地下水控制设计与应用

蔡清¹, 和礼红², 刘堰陵², 李海军¹

(1. 武汉设计咨询集团有限公司, 湖北 武汉 430022; 2. 武汉市市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430023)

摘要: 以武汉某临江泵站基坑工程为研究对象, 详细阐述了该泵站基坑的工程概况、工程地质及水文地质条件, 通过对多种地下水控制方案优缺点及适用条件的综合比选, 结合基坑支护设计, 最终确定采用5m厚三轴搅拌桩封底结合侧壁三轴搅拌桩止水帷幕, 并辅以坑内降水井减压降水的措施。相较于临江泵站基坑常采用的单纯封底或落底式止水帷幕而不降水的方案, 该地下水控制设计方案降低了施工难度与风险, 节约了工程造价, 同时保障了基坑及长江大堤的安全, 为类似临江泵站基坑的地下水控制提供了借鉴与参考。

关键词: 泵站基坑; 地下水控制; 封底; 止水帷幕; 降水井; 减压降水

中图分类号: TU46

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)02-0324-04

Design and Application of Groundwater Control in Foundation Pit of a Pumping Station

CAI Qing¹, HE Lihong², LIU Yanling², LI Haijun¹

(1. Wuhan Design and Consulting Group Co., Ltd., Wuhan 430022, China; 2. Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430023, China)

Abstract: Taking a foundation pit project of a riverside pumping station in Wuhan as the research object, the engineering overview, engineering geological and hydrogeological conditions of the foundation pit of the pumping station are set forth in detail. By comprehensively comparing the advantages, disadvantages and applicability of various groundwater control schemes, and in combination with the foundation pit support design, it is finally determined to adopt the measures of 5m-thick three-axis mixing pile bottom seal combined with a three-axis mixing pile water-stop curtain on the side wall, and supplemented by the pressure reduction and dewatering in the pit dewatering well. Compared with the commonly used schemes of pure bottom sealing or end-bearing waterproof curtains without dewatering for the foundation pits of the riverside pumping station, this groundwater control design scheme can reduce the construction difficulties and risks, save the engineering costs, and also ensure the safety of the foundation pit and the Yangtze River embankment, which provides a reference for groundwater control of foundation pits in the similar pumping stations.

Keywords: foundation pit of pumping station; groundwater control; bottom sealing; waterproof curtain; dewatering wells; depressurization dewatering

0 引言

近年来,随着城市化进程的加快和基础设施建设的不断推进,临江泵站工程的数量不断增加。自20世纪90年代以来,武汉地区分布在长江一级阶地上的深基坑有近千座,曾先后发生数起由于基坑渗透破坏引起的重大事故,有效控制地下水成为长江一级阶地深基坑成败的关键^[1]。

临江泵站基坑工程的地下水控制一直是岩土工程领域的研究热点与难点,国内在临江泵站基坑地

下水控制方面已开展诸多研究,在长江、黄河等大江大河沿线地区,针对不同类型的临江基坑,探索了多种地下水控制技术。如单纯的封底^[2-5]或落底式止水帷幕^[6-9]这些传统的地下水控制方法,虽然在某些情况下能够满足要求,但在临江基坑工程中,往往存在施工难度大、风险高以及造价昂贵等问题^[10]。因此,探索更加高效、经济且安全的地下水控制方案成为当前研究的重要方向。

本文以武汉某临江泵站基坑工程为研究对象,通过对多种地下水控制方案优缺点及适用条件综合比选,结合基坑支护设计,最终确定采用5m厚三轴搅拌桩封底结合侧壁三轴搅拌桩止水帷幕,并辅以坑内降水井减压降水的地下水控制方案。

收稿日期: 2025-06-04

作者简介: 蔡清(1986—),男,硕士,高级工程师,从事岩土工程设计工作。

1 工程概况

拟建泵站场地位于武汉青山区,泵站基坑呈喇叭形布置,总长度约 110 m,基坑宽度最大处约 57.6 m,最小处约 37.8 m,基坑深度最深约 13.0 m。

如图 1 所示,基坑北侧为现状渠道,渠顶距离基坑边线约 6.0~30.0 m;东侧为长江堤防,堤脚距离基坑边线约 41.0 m;南侧为荒地;西侧为现状道路,距离基坑边线约 39 m。

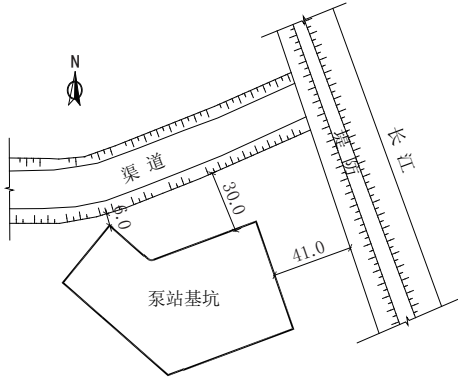


图 1 泵站基坑与周边环境关系示意图(单位:m)

2 工程地质条件及水文地质条件

2.1 工程地质条件

在勘探孔所揭穿的深度范围内,场地地基土主

要由人工填土、第四纪全新统湖冲积、冲洪相黏性土、粉土、粉砂、细砂构成。基坑的地质纵断面见图 2。基坑坑底基本位于 5-1 粉质黏土夹粉土和 5-2 粉土夹粉砂、粉质黏土层。

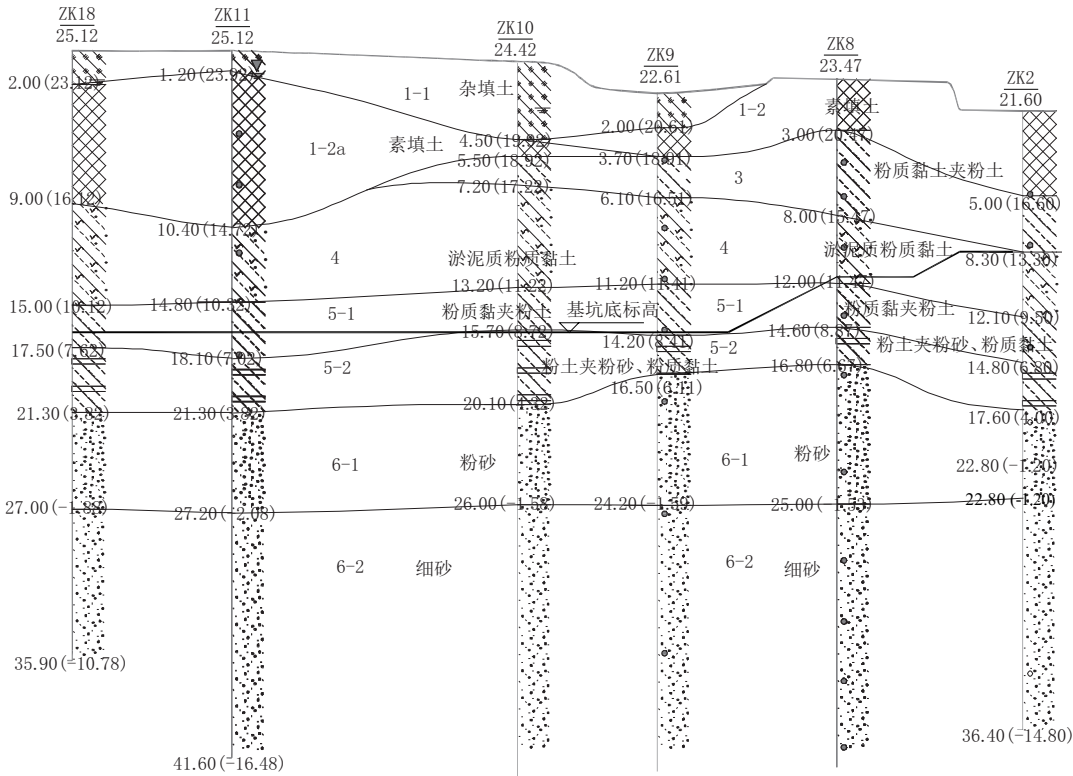


图 2 基坑地质纵断面图

根据试验及现场原位测试结果,结合湖北省地方标准 DB42/T 159《基坑工程技术规程》^[11],综合确定基坑工程各土层的参数建议值见表 1。

2.2 水文地质及条件

在勘探孔揭穿的深度范围内,拟建工程场地地下水为上层滞水、层间水和孔隙承压水。

上层滞水主要赋存于场地沿线分布的人工填土中,主要接受大气降水的入渗补给,并与长江构成互补关系,水位及水量受降水及地表水体影响明显。

层间水主要赋存于 3 粉质黏土夹粉土、4 淤泥质粉质黏土及 5-1 粉质黏土夹粉土的粉土、砂土中,与

长江水具有一定的水力联系,水量较为丰富。

孔隙承压水主要赋存于 5-2 互层及 6 大层中,主要接受侧向地下水的补给及侧向排泄,与长江水具有一定的水力联系,水量较为丰富。勘察期间实测场地孔隙承压水水位 16.58 m。拟建工程紧邻长江,孔隙承压水丰水期测压水位标高可达 21 m。

3 地下水控制方案比选

3.1 敞开式降水

敞开式降水通过在基坑内设置降水井,利用水

表1 土体参数综合成果表

地层编号	地层名称	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	E_s/MPa	f_{ak}/kPa	渗透系数/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
1-1	杂填土	8	18			2.0×10^{-3}
1-2	素填土	10	8	3.0	80	2.0×10^{-5}
1-2a	素填土	14	10	5.0	115	2.0×10^{-5}
1-3	冲填土	10	8	3.4	90	2.0×10^{-5}
2-1	淤泥质黏土	9	6	3.0	40	3.0×10^{-6}
2-2	黏土	13	7	4.7	90	2.5×10^{-6}
3	粉质黏土夹粉土	15	12	5.0	95	5.0×10^{-4}
4	淤泥质粉质黏土	11	6	3.5	85	2.5×10^{-6}
5-1	粉质黏土夹粉土	13	11	4.5	85	5.0×10^{-4}
5-2	粉土夹粉砂、粉质黏土	10	18	7.0	105	5.0×10^{-4}
6-1	粉砂	0	30	15.0	170	1.0×10^{-2}
6-2	细砂	0	34	23.0	240	2.0×10^{-2}

泵将地下水抽出以降低水位。此方法施工简便、成本较低,但降水深度有限,难以满足深基坑需求,且对周边环境的影响较大,可能导致地面沉降和周边建筑物不均匀沉降。本工程基坑深度较深,且地下水与长江存在水力联系,单纯采用敞开式降水难以有效控制地下水位,同时可能对长江大堤和周边环境造成不利影响^[12-13],设置一定深度的悬挂式止水帷幕可减小基坑降水对周边环境的影响^[14-15]。

3.2 落底帷幕

落底帷幕通过在基坑周围设置深度较大的止水帷幕,将基坑与外部地下水完全隔绝。该方法适用于较深基坑,然而落底帷幕的施工难度较大,需要深入地下较深的部位,施工成本较高,且在复杂的地质条件下,止水帷幕的完整性难以保证。本工程基坑下覆隔水层埋深较深,落底帷幕的施工难度和风险较高,同时可能因帷幕缺陷等因素导致地下水渗入基坑。

3.3 基坑完全封底

基坑完全封底通过在基坑底部设置一层较厚的封底结构(如搅拌桩、高压旋喷桩等),将基坑底部与地下水隔绝,该方法适用于基坑较浅或承压水位不高的情况。封底施工需要对基坑底部进行满堂加固,施工成本高,难度大,工期长,且在复杂的地质条件下,封底质量难以控制。本工程泵站基坑较深,基底位于互层土中,地下水与长江存在水力联系,单纯采用基坑封底难以有效控制地下水的渗入。

3.4 部分封底加侧壁帷幕结合坑内减压降水

部分封底加侧壁帷幕结合坑内减压降水综合了基坑封底和落底帷幕的优点,通过在基坑底部设置部分封底结构,同时在基坑侧壁设置止水帷幕,并辅以坑内降水井减压降水,从而有效控制地下水的渗

入和水位。该方法适用于基坑较深且地质条件复杂的工程,能够有效降低施工难度和风险,同时减少工程造价。

3.5 地下水控制方案确定

综合考虑上述各种地下水控制方案的优缺点及适用条件,结合武汉某临江泵站基坑工程的具体情况,推荐采用部分三轴搅拌桩封底结合侧壁三轴搅拌桩止水帷幕,并辅以坑内降水井减压降水的方案。

4 地下水控制设计

4.1 部分封底设计

泵站基坑底采用 $\phi 850@600$ 三轴水泥土搅拌桩部分封底,厚度5 m,抗渗系数小于 $1\times10^{-7}\text{ cm/s}$,见图3。三轴搅拌桩封底空桩水泥掺量不小于8%,实桩水泥掺量不小于20%。封底搅拌桩与侧壁止水帷幕搅拌桩中心间距0.6 m,咬合0.25 m,平面位置关系见图4、图5。

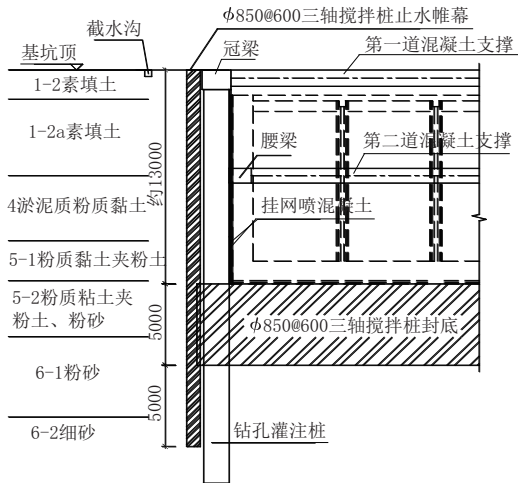


图3 基坑支护典型横断面图(单位:mm)

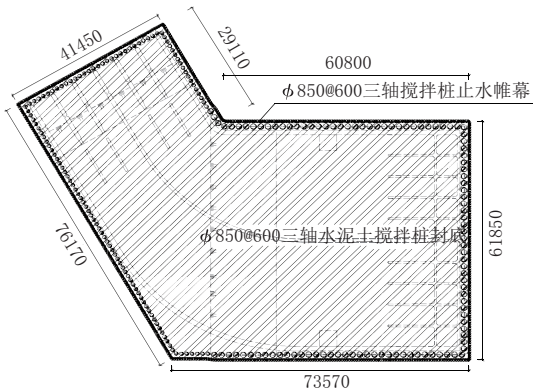


图4 侧壁止水帷幕及基坑封底平面示意图(单位:mm)

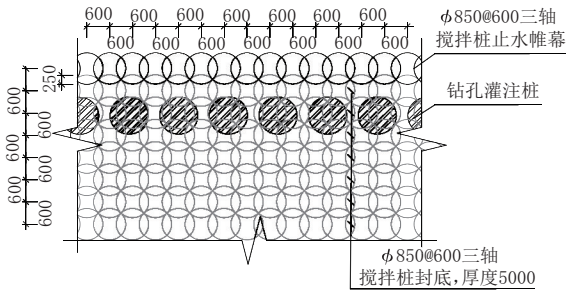


图5 止水帷幕桩、钻孔灌注桩和封底桩平面关系详图(单位:mm)

4.2 止水帷幕设计

泵站基坑外侧采用 $\phi 850@600$ 三轴搅拌桩止水帷幕,长度深入封底以下5.0 m,搅拌桩距离支护冠梁边线0.1 m,见图3。止水帷幕渗透系数应小于 1×10^{-7} cm/s。三轴搅拌桩侧壁止水帷幕水泥掺量不小于20%。

4.3 减压降水设计

减压降水采用管井降水,管井孔径为550 mm,管径为250 mm,管井长度为30 m,降水井设计抽水量50 t/h。降水井间距约20 m,共设置降水井15口、观测井5口,承压水水位应降至12.0 m标高以下。观测井结构同降水井,必要时可作为备用降水井使用,施工时可根据基坑开挖情况按需开启降水井。当后浇带施工完毕及基坑周边回填后,方可结束降水工程维持阶段,并进行井孔回填处理。

降水井及观测井位置可根据现场实际情况适当调整,以不影响工程桩、立柱、支撑及结构梁、板施工为原则,见图6。

按照该方案,本工程基坑已顺利实施完成,根据监测结果,承压水水位、基坑及周边大堤等建构筑物变形均满足要求。

5 结 语

(1)针对临江泵站基坑,综合比选多种地下水控制方案,提出了部分三轴搅拌桩封底结合侧壁三轴

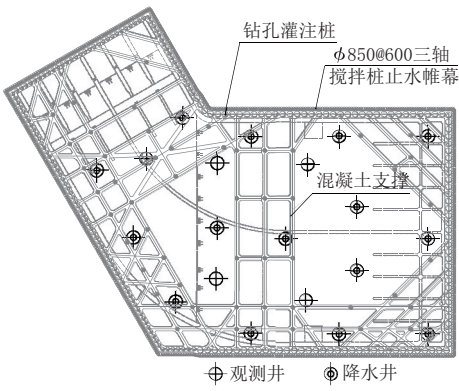


图6 基坑降水井平面布置图

搅拌桩止水帷幕,并辅以坑内降水井减压降水的优化方案。

(2)阐述该工程地下水控制设计细节与施工要点,为类似工程提供了可借鉴的技术方案。

(3)通过工程实践,验证了该方案的有效性,基坑施工过程稳定,承压水水位、基坑及周边大堤等建构筑物变形均满足相关要求。地下水控制方案安全可靠,经济合理。

(4)未来可进一步研究封底厚度和帷幕深度与周边环境影响之间的量化关系,以提高方案的经济性和适用性。此外,可收集更多采用该方案的工程案例,进行系统分析和总结,将进一步验证方案的普适性和可靠性,为后续工程提供更丰富的参考依据。

参考文献:

[1] 范士凯,杨育文.长江一级阶地基坑地下水控制方法和实践[J].岩土工程学报,2010,32(增刊1):63-68.
[2] 周铮.深基坑工程采用RJP工法封底加固以取代抽降承压水的方法及工程应用[J].建筑结构,2016,46(增刊1):742-745.
[3] 宋建禹.临江高承压水超深基坑支护方案研究[J].隧道建设(中英文),2018,38(9):1529-1537.
[4] 胡云华.临江高承压水超深基坑开挖抗突涌分析与对策——以南京纬三路长江隧道梅子洲风井基坑为例[J].隧道建设,2015,35(11):1194-1201.
[5] 郭勇军.N-JET工法桩在超深基坑封底加固施工中的应用[J].工程技术研究,2023,8(5):71-73.
[6] 方毅,王刚,张双龙,等.临江深基坑工程TRD落底式止水帷幕效果研究[J].黑龙江科学,2025,16(4):144-146.
[7] 范卫琴,张红章,熊宗海,等.落底式止水帷幕条件下临江深基坑渗流特性分析[J].建材技术与应用,2024(2):1-5.
[8] 魏祥,梁志荣,罗玉珊.软土地区临江深大基坑工程地下水综合控制技术实践[J].上海国土资源,2022,43(4):39-43;66.
[9] 魏祥,梁志荣,李博,等.TRD水泥土搅拌墙在武汉地区深基坑工程中的应用[J].岩土工程学报,2014,36(增刊2):222-226.
[10] 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):410-414.
[11] DB42/T 159—2024,基坑工程技术规程[S].

(下转第332页)