

深基坑承压水降水控制方案与效果分析

马伟, 周知

(扬州洁源环境股份有限公司, 江苏 扬州 225000)

摘要: 基于扬州市某污水厂深基坑实例,探讨了在复杂水文地质及环境条件下承压水的控制方案。在详细阐述工程地质条件、基坑支护设计及周边环境情况的基础上,结合现状条件,提出了一套以“坑内降水为主、坑外观测回灌为辅”的优化降水方案:通过设置坑内深井、坑外降水井及观测兼回灌井,并辅以严格的动态监测与应急措施。通过数值模拟与实际监测验证,成功将承压水降至安全标高,确保了基坑后续施工的顺利进行,并将邻近敏感建筑的沉降影响控制在安全范围内,为扬州市地质条件下的深基坑承压水治理提供了可借鉴的工程经验。

关键词: 深基坑;承压水;降水控制;悬挂式帷幕;模拟计算;沉降分析

中图分类号: TU46*3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)03-0327-05

Analysis of the Control Scheme and Effect of Confined Water Dewatering in Deep Foundation Pits

MA Wei, ZHOU Zhi

(Yangzhou Jieyuan Environment Co., Ltd., Yangzhou 225000, China)

Abstract: Based on a case study of a deep foundation pit at a wastewater treatment plant in Yangzhou, the control scheme for confined water under complex hydrogeological and environmental conditions is explored. After detailing the engineering geological conditions, foundation pit support design, and surrounding environment, and considering the existing site conditions, an optimized dewatering scheme of "predominantly internal dewatering supplemented by external observation and recharge" is proposed. This involves setting up deep wells inside the pit, dewatering wells outside the pit, and observation wells that also function as recharge wells, supported by strict dynamic monitoring and emergency measures. Validation through numerical simulation and field monitoring confirms that the scheme successfully lowered the confined water level to a safe elevation, ensuring the smooth progress of subsequent pit construction. It also effectively controlled the settlement impact on adjacent sensitive structures within safe limits. This provides valuable engineering experience for managing confined water in deep foundation pits under similar geological conditions in Yangzhou.

Keywords: deep foundation pit; confined water; dewatering control; hanging waterproof curtain; simulation analysis; settlement analysis

0 引言

在城市污水厂的建设过程中,部分构筑物的基坑工程具有“深、大、难”的特点^[1]。结合扬州市特殊的地质条件,承压水问题已成为制约工程安全、工期与成本的关键风险因素之一,对其进行有效控制是基坑工程建设成败的核心技术挑战之一。

承压水是指充满于两个稳定隔水层(或弱透水层)之间、具有静水压力的地下水^[2-3],具有分布范围

广、水头压力高、补给来源相对稳定但径流缓慢等特点^[4]。在基坑工程中,当坑底开挖面与下部承压含水层顶板之间的隔水土层厚度不足时,巨大的承压水头可能“顶破”或“击穿”相对隔水层,导致突发性的突涌、管涌、流沙等渗透破坏现象^[5]。扬州市位于长江下游,承压水现象在基坑工程中普遍存在,已严重威胁基坑底板稳定、支护结构安全及周边环境。

鉴于上述风险,如何安全、经济、环保地对基坑下的承压水进行有效处理,已成为岩土工程领域的重要研究课题。现阶段,工程实践中主要形成了“降、隔、堵、疏、回”相结合的综合处理思路与技术体系^[6-7]。

收稿日期: 2025-12-25

作者简介: 马伟(1970—),男,大专,高级工程师,从事建设工程管理工作。

(1)降水法

通过在承压含水层中布设减压井,依据地下水渗流理论有计划地抽水,将承压水头降至安全水位以下。其核心在于优化井群布置、控制降水速率与幅度^[8-9]。

(2)隔水法

采用地下连续墙、高压旋喷桩、搅拌桩帷幕等竖向隔水结构,深入至承压含水层以下的相对隔水层,形成封闭的止水帷幕,从根本上切断坑内外承压含水层的水力联系^[10-11]。此法对环境干扰小,但对施工工艺和地层适应性要求高。

(3)封底加固法

通过注浆、搅拌桩加固等方式,增加坑底隔水层的厚度与抗渗强度,提高其抵抗承压水头的能力,属于被动式加固处理^[12]。

(4)组合法

在实际复杂工程中,常采用“隔降结合”或“帷幕+疏干”等组合工艺^[13],例如,以悬挂式帷幕延长渗流路径、减小降水影响范围,内部辅以疏干井;在条件允许时,探索利用回灌技术,控制沉降^[14]。

目前,该领域的研究正从单一的技术应用转向精细化控制与环境保护,强调基于精准水文地质勘察与实时监测反馈的动态设计与管理^[15]。然而,在深基坑、复杂水文地质条件及高度敏感环境(如紧邻保护建筑、重要管线等)下,如何实现承压水治理的安全性、经济性与环境友好性的最优统一,仍是亟待深入研究的难题^[16]。

因此,本文旨在结合具体工程案例,探讨一种优化组合的承压水控制方案及模拟分析计算,以期为扬州市的不良地质条件下的深基坑工程设计与降水实践提供有益参考。

1 工程概况

某污水厂扩建工程位于江苏省扬州市,位于长江下游平原水文地质区(Ⅲ)—长江三角洲平原水文地质亚区(Ⅲ₁)。其中,粗格栅及进水泵房位于整个工程场地的南侧,整体呈近似矩形垫层底标高为-8.100 m(标高采用绝对标高:1985国家高程系)。需要进行深基坑设计。

1.1 工程地质条件

拟建场地北侧分布邗江河,东侧分布3号河。场地水位埋深较浅,受大气降水补给及河流侧向补给,排泄方式主要为自然蒸发等。如图1所示,基坑基

底位于④层,表1所示为地勘提供土层参数。

场地内分布③层土、④层土及⑥层土,基坑开挖过程中,由于上部卸荷以及粉质黏土垂直渗透系数相对较小,可能会出现下部较大渗透系数土层中地下水微承压现象,造成底板隆起、突涌破坏等不利影响。

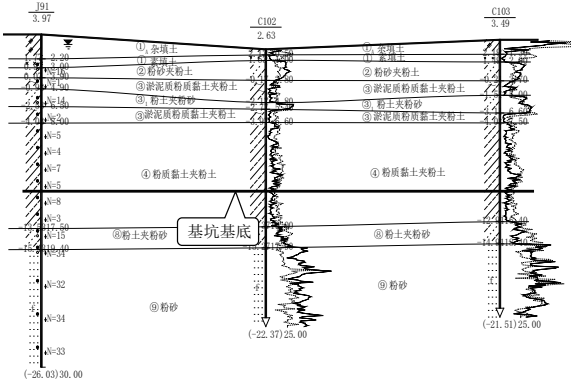


图1 典型地质剖面图(单位:m)

表1 土的物理指标

层号	土层名称	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	渗透系数 $/ (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	
			K_v	K_h
① _A	杂填土	(18.0)	(2.00×10^{-3})	(3.00×10^{-3})
①	素填土	17.9	(6.00×10^{-4})	(1.00×10^{-3})
②	粉砂夹粉土	18.6	9.94×10^{-4}	2.11×10^{-3}
③	淤泥质粉质黏土夹粉土	17.7	7.04×10^{-5}	1.88×10^{-4}
③ ₋₁	粉土夹粉砂	18.7	9.63×10^{-4}	2.08×10^{-3}
④	粉质黏土夹粉土	18.6	6.78×10^{-5}	1.65×10^{-4}
④ ₋₁	粉土	18.6	1.16×10^{-4}	2.95×10^{-4}
⑤	粉砂夹粉土	19.0	8.14×10^{-4}	1.65×10^{-3}
⑤ ₋₁	粉土夹粉质黏土	18.5	7.04×10^{-5}	1.51×10^{-4}
⑥	粉质黏土夹粉土	18.8	6.44×10^{-5}	1.35×10^{-4}
⑦	粉砂夹粉土	19.0	9.03×10^{-4}	1.81×10^{-3}
⑧	粉土夹粉砂	18.9	8.13×10^{-4}	1.72×10^{-3}
⑨	粉砂	19.0	8.03×10^{-4}	1.91×10^{-3}

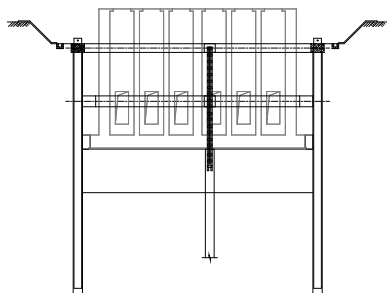
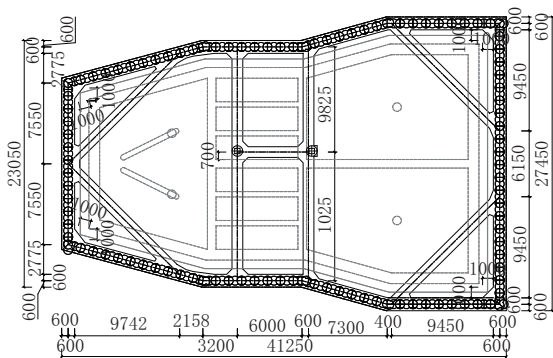
1.2 基坑设计概况

表1所示为本工程基坑围护详细方案。基坑设计东西向长约49 m,南北向长约35 m,面积约1 700 m²,整体基坑呈方形。

表1 本工程基坑围护详细方案

基坑	深度/m	围护结构	支撑形式	坑底加固
粗格栅及进水泵房	11.70	SMW工法桩+放坡	2道钢筋混凝土支撑	三轴搅拌桩-满堂加固

如图2和图3所示,根据设计要求,地面整平后标高为3.600 m,坑底标高为-8.100 m,开挖深度为11.7 m。基坑支护设计安全等级为二级,基坑设计使用年限为1年。



1.3 基坑周边环境描述

如图4所示,本基坑南侧有已施工完成的顶管和沉井,沉井底标高-5.600 m,顶管的底标高为-3.600 m。基坑南侧另有现状仓库一,主体为钢结构,基础形式为钢筋混凝土混合基础,距基坑约20.74 m;西侧,粗格栅距鼓风机房基础15.4 m,距塔吊基础12.2 m,距2#变电所基础16 m,2#变电所及鼓风机房基础为独立基础,下设水泥搅拌桩,塔吊基础为桩筏基础;北侧为生物反应池,暂未施工完成;东侧为细格栅,暂未施工。



1.4 基坑降水分析

根据本工程的工程地质及水文地质特征,结合本工程围护工况及目前现场的工况,对本基坑的降水工程分析如下。

(1)④层土下存在微承压现象,需要采用更有效的降水措施。

(2)周边现状建、构筑物与基坑距离较近,尽量减少降水及基坑开挖的不利影响是本基坑后续施工的重点工作。

2 基坑降水设计

2.1 基坑降水说明

针对本工程目前的困难及现场特点,采用以下措施解决本基坑降水工程中的难点。

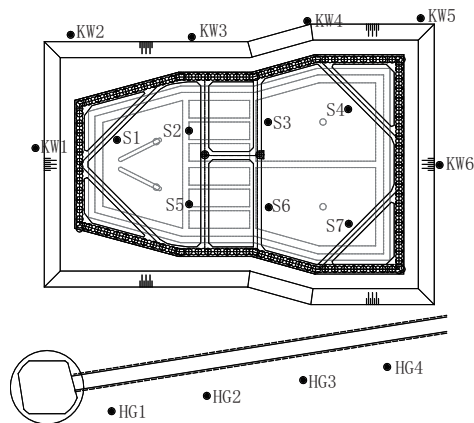
(1) 针对基坑下部⑧层土、⑨层土微承压水,由于围护桩桩底标高为-21.400 m,进入⑨层约8.0 m,为了减小降压对坑外的沉降影响,降水井宜以坑内降压为主,坑外降压观测为辅,目标控制水位在基坑开挖面以下1.0 m。

(2)为了防止成孔过程中坍孔,成孔过程中宜采取长护筒跟进,护筒底宜深于原基坑开挖面2 m以下,以防止成孔上部的不稳定。

(3) 为了充分利用围护的隔水效果,防止过滤器进入含水层太浅,进场后,优先完成2个井,井深分别为24.0 m和30.0 m,进行抽水试验,以指导后续成井的深度。

2.2 降水设计

如图5所示,基坑内布置7口降水井(S1~S7),井深36 m,坑外布置6口降水井(KW1~KW6)。鉴于基坑周边环境情况复杂,坑外南侧设置4口观测井兼应急回灌井(HG1~HG4),井深30 m,间距约10 m。



施工过程中,加强坑外水位、现状顶管、房屋沉降变化观测。现状顶管、房屋沉降较大时及时采取回灌措施。基坑开挖至坑底标高,应立即浇筑素混凝土垫层、铺设底板钢筋、浇筑钢筋混凝土底板,上述工作完成时间不应超过1周。

如图6所示,具体井结构为:降水井及回灌井泥孔径550 mm,井管为 $\phi 273 \times 4$ 钢管,滤管为同规格桥

式滤水管,外包一层80目尼龙滤网,滤料为中粗砂,回填至滤管顶部以上2 m,上部再回填黏土固井,具体参数详如表2所示。

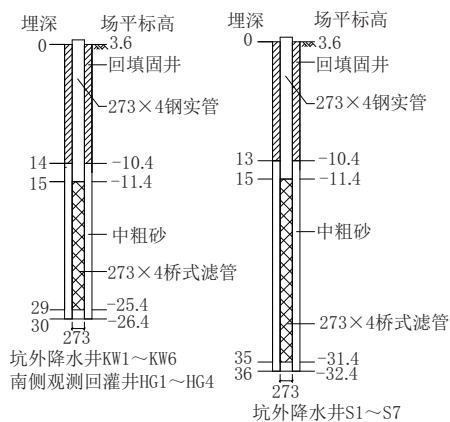


图6 降水井示意图(单位:m)

表2 降水井技术参数

类型	编号	数量	井深/m	延米/m	管材
坑外降水井	KW1~KW6	6	30	180	φ273×4 钢管
坑内降水井	S1~S7	7	36	252	φ273×4 钢管
南侧观测兼回灌井	HG1~HG4	4	30	120	φ273×4 钢管

2.3 降水量模拟分析与实测结果对比

根据已有的岩土工程勘察报告、水文地质条件及基坑设计信息,借助 Visual MODFLOW 软件进行模拟分析计算,图 7 所示为模拟分析结果,模型运行分析共布置 7 口坑内降水井,可以使水位整体降至基底(标高-9.1 m)以下 1 m。基坑总涌水量约为 5 040 m³/d,单井水量 720 m³/d。

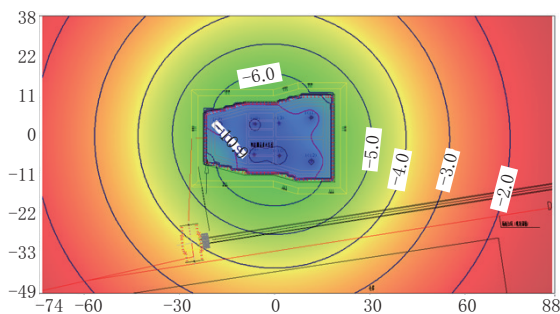


图7 坑内降水预测水位标高等值线图

据现场监测与统计,降水井稳定工作后,可以使水位整体降至基底以下 1 m,基坑总涌水量约为 4 730 m³/d,单井水量约 680 m³/d,与模拟结果相近。

2.4 周边环境影响模拟与监测结果对比

仓库一位于场地红线外,距基坑约 20.74 m,属于重点监测对象。使用 Visual MODFLOW 模拟仅基坑降水对仓库一的影响,对降水 5 d 后地面沉降量进行模拟计算。如图 8 所示,仓库一北侧沉降量约为

7.8 mm,东西侧沉降量约为4.3 mm。

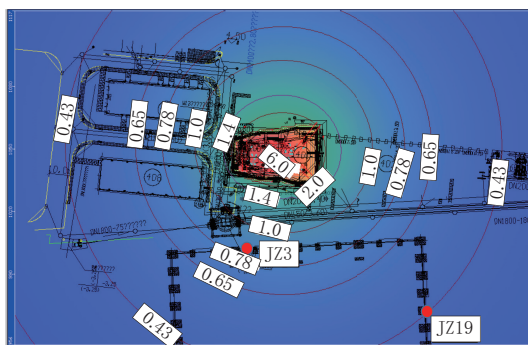


图8 周边建筑物竖向位移模拟图

图9所示为仓库一上竖向位移监测点布置示意图。图10所示为本基坑施工后各监测点位移累计变量图(因其他单体先施工,各监测点已有部分沉降量)。仅降水时间为第1~6 d,从图中可以看出,在基坑开挖前,仅降水后,邻近基坑的建筑物一侧竖向位移变化较大,期间仓库一北侧JZ3点沉降量约为7.1 mm,东侧JZ19点沉降量约为3.2 mm,模拟结果与监测结果接近。

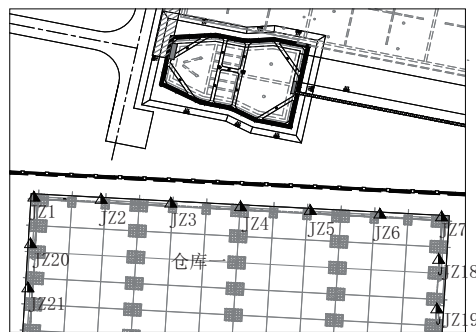


图9 竖向位移监测点分布示意图

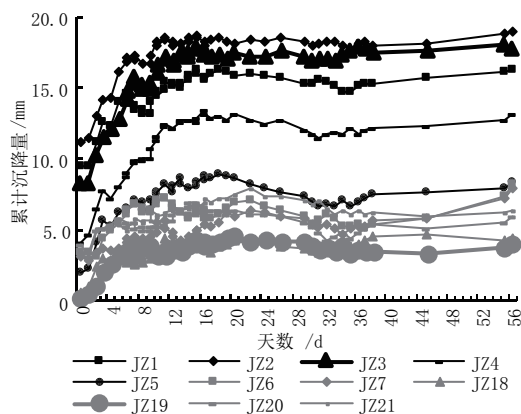


图 10 周边建筑物竖向位移累计变量图

3 结 语

本文基于工程实例,并探讨了一种优化后的组合承压水控制方案,以模拟及实践论证了其在扬州市的可行性及有效性,主要结论如下。

(1) 针对本工程“悬挂式止水帷幕”和扬州特殊

“微承压”水文地质条件,所采用的“坑内深层减压为主、坑外观测回灌为辅”的组合方案被证明是安全、有效的。

(2)数值模拟可以有效的分析计算扬州市基坑工程的降水量及降水对周边环境的影响,为扬州市的基坑设计及施工提供参考。

(3)承压水控制是深基坑工程的核心风险点之一,其成功管理需要勘察、设计、施工各单位紧密协作。需进行更为精细系统的水文地质勘测,为工程提供严谨、可靠的设计参数。

参考文献:

[1] 邢丹. 建筑工程深基坑支护施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(9): 211-213.
 [2] 贾清军. 关于基坑工程承压水问题的研究[J]. 建材与装饰, 2018 (26): 44.
 [3] 林必明. 上海市某深基坑突涌原因分析及治理措施[J]. 建筑技术, 2023, 54(7): 840-842.
 [4] 贾清军. 关于基坑工程承压水问题的研究[J]. 建材与装饰, 2018 (26): 44.
 [5] 王宝德, 高海彦, 陈学光. 高承压水地区超深基坑突涌分析与处置

[J]. 施工技术, 2012, 41(22): 98-100.
 [6] 王生林. 深基坑承压水降水施工技术[J]. 四川水泥, 2020(9): 180; 196.
 [7] 李富尧, 金字宣, 王浩洋, 等. 深基坑微承压水地层基坑降排水施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024(20): 193-195.
 [8] 庄群虎, 顾家慧. 深基坑群井降水法效果研究与实例分析[J]. 山西建筑, 2021, 47(20): 55-57.
 [9] 崔广芹, 徐煌华. 承压水深大基坑不同降水及支护数值模拟分析[J]. 工程建设, 2022, 54(9): 8-12; 47.
 [10] 晏姝. 深基坑悬挂式止水帷幕地下水控制研究[J]. 土工基础, 2025, 39(3): 455-458; 463.
 [11] 李瑛, 陈东, 刘兴旺, 等. 悬挂式止水帷幕深基坑减压降水的简化计算方法[J]. 岩土力学, 2021, 42(3): 826-832; 862.
 [12] 夏春亮, 谢伟东, 吴建. 承压水富水砂层深基坑的坑底抗突涌加固措施研究[J]. 市政技术, 2019, 37(1): 201-205; 208.
 [13] 穆亦龙, 康林, 杨雪菲, 等. 考虑止水帷幕的承压含水层基坑涌水量计算[J]. 地基处理, 2024, 6(3): 235-241.
 [14] 赵志航, 郭栋. 深层承压水降水回灌的数值研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2016, 34(6): 873-878.
 [15] 徐进. 基于 ANSYS 的深基坑承压水降压对周边环境影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2021(7): 341-345.
 [16] 李其隆. 承压水地层基坑开挖对基坑与场地的影响分析[J]. 四川建材, 2025, 51(3): 141-143; 154.

(上接第 326 页)

2023(13): 192-194.
 [3] 吴浩. 全宽预应力预制桥面板接缝力学性能研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2022.
 [4] WU H. Investigation of the Flexural Behavior of a Steel-concrete Composite Simply Supported Girder Bridge with Full-width Prestressed Precast Decks[C]//The 12th International Symposium on Project Management, ISPM 2024. Beijing: Beijing Engineering Management

Science Institute, 2024: 1274-1288.
 [5] 谢正元, 苏强. 自锁式预应力锚固体系的研究[J]. 上海公路, 2012 (3): 46-48; 56.
 [6] 张兴志, 朴泷, 余允锋, 等. 跨海桥梁大型预制墩身施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2020, 50(5): 113-118.
 [7] 程健, 宋杰. 跨海桥梁装配式墩身竖向自锁式预应力施工技术研究与应用[J]. 天津科技, 2021, 48(12): 56-60; 63.