

北拒马河调蓄工程基坑降水参数反演研究

韩永席, 陈国冬

(安能集团第一工程局, 广西 南宁 530000)

摘要:北拒马河调蓄工程作为京津冀防洪体系的关键设施,其基坑降水面临强透水卵石地层、临河边界复杂及传统涌水量预测方法失效三大技术挑战。本研究采用抽水试验-基坑降水试验-数值模拟三重交叉验证方法,实现渗透系数的精准反演;通过降水井抽水试验获取初始参数;结合基坑降水试验中36口井协同明排系统验证高强度抽排可行性;基于GMS平台构建三维渗流模型,通过水位残差反馈机制反演确定渗透系数。研究证实针对卵石地层深基坑,数值模拟驱动的参数反演方法可实现复杂边界精准刻画与参数-效果闭环验证,为涌水量预测提供科学依据。

关键词:临河基坑;卵石地层;降水试验;参数反演;涌水量预测;数值模拟;GMS

中图分类号:TV551.4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2026)S1-0406-04

Research on parameter inversion for foundation pit dewatering in the Beijuma River Regulation and Storage Project

HAN Yongxi, CHEN Guodong

(China ANENG Group First Engineering Bureau Co., Ltd., Nanning Guangxi 530000, China)

Abstract: As a key facility of the Beijing-Tianjin-Hebei flood control system, the Beijuma River Regulation and Storage Project faces three major technical challenges in foundation pit dewatering: highly permeable pebble strata, complex riverside boundaries, and the ineffectiveness of traditional water inflow prediction methods. In this study, a triple cross-validation method combining pumping tests, foundation pit dewatering tests and numerical simulation is adopted to realize accurate inversion of hydraulic conductivity. Initial parameters are obtained through pumping tests of dewatering wells; the feasibility of high-intensity pumping and drainage is verified by a collaborative open drainage system with 36 wells during foundation pit dewatering tests. A three-dimensional seepage model is built on the GMS platform, and the hydraulic conductivity is determined via inversion using a water level residual feedback mechanism. The study verifies that for deep foundation pits in pebble strata, the numerical simulation-driven parameter inversion method can accurately characterize complex boundaries and realize closed-loop verification between parameters and dewatering effects, providing a scientific basis for water inflow prediction.

Key words: riverside foundation pit; pebble strata; dewatering tests; parameter inversion; water inflow prediction; numerical simulation; GMS

0 引言

随着现代工程发展,越来越多的工程面临着基坑尺寸大、地层渗透性高、跨度大等特征,导致降水设计困难,如何解决降水问题成为工程的重大难点^[1-3]。北拒马河调蓄工程是缓解河北涿州市区洪涝

灾害的关键设施,通过在河道北支、南支修建挡水建筑物,采用梯级滞洪方式截滞洪水。工程区位于太行山冲积扇前缘,基坑面积大、地下水补给充沛,挡水建筑物建于深厚卵石层上,需实施河道内基坑降水及开挖。因基坑临河且处于高渗透地层,地下水

收稿日期:2026-07-29; 修回日期:2026-09-07 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.S1.055

基金项目:水利部重大科技项目(编号:SKS2022147)

第一作者:韩永席,男,汉族,1986年生,高级工程师,主要从事水电工程建设相关工作,广西南宁市良庆区春华路8号,2667585412@qq.com。

引用格式:韩永席,陈国冬.北拒马河调蓄工程基坑降水参数反演研究[J].钻探工程,2026,53(S1):406-409.

HAN Yongxi, CHEN Guodong. Research on parameter inversion for foundation pit dewatering in the Beijuma River Regulation and Storage Project[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1):406-409.

补给强烈,加之水文地质边界条件复杂,难以直接应用行业规范公式精确预测基坑涌水量。

渗透系数作为表征岩土体输水能力的关键参数,直接影响着基坑涌水量的预测精度与降水方案的经济性^[4-5],在北拒马河调蓄工程中,传统单一方法已无法满足复杂水文地质条件的精度需求。为此,本研究拟采用降水井抽水试验、基坑降水试验和数值模拟三种方法计算地层渗透系数,相互验证,消除单一方法导致的预测失真风险,为后续基坑涌水量的精准预测与降水方案优化奠定基础。

1 区域地质概况

工程区地貌属于太行山山前倾斜平原,地势西高东低,工程区主要河流有北拒马河、小清河及白沟河等。地表以下 50 m 深度范围内主要分布第四系全新统与上更新统冲洪积地层。岩性以卵石为主,含量达 60%~80%,粒径多为 2~12 cm,磨圆中等,充填中细砂,呈稍密—密实状态,分布广泛且连续。上部覆盖砂壤土、粉细砂及黄土状砂壤土,局部夹壤土和人工填土,厚度不均,分布不连续。整体地层结构呈现典型的冲洪积相特征,卵石层为主要含水层,工程性质总体良好。工程区地下水类型属于孔隙潜水,地下水主要受上游太行山附近的地下水渗流补给及地表降雨补给,通过地下径流向下游排泄。

2 抽水试验

2.1 试验场地

本次试验选择工程区附近一处鱼塘进行基坑降水模拟试验,抽水场地地面高程一般 22.4~33.7 m,现状地表为鱼塘和荒地,试验现场见图 1。本次抽水试验主要是利用该基坑降水试验的 16 号降水井与 16-1 和 16-2 号两口观测井开展多孔稳定流抽水试验,两口观测井位于垂直河岸的同一条测线上,与降水井的距离分别是 5 和 10 m。降水井设计参数见表 1,井位布置如图 2 所示。

2.2 试验方法

正式抽水试验前,先对主抽水井及各观测孔进行洗井作业,清除井内泥浆与细颗粒充填物,洗井完成后静置,待水位不受洗井扰动影响,测得抽水前测压管初始静止水位埋深为 1.11 m。

启动抽水设备后,保持水泵出水量恒定在 50 m³/h,按时间序列同步观测测压管水位、堰箱流量读



图 1 抽水试验场地

表 1 降水井设计参数

井径/ mm	深度/ m	井底标 高/m	滤水管 直径/ mm	抽水管 直径/ mm	抽水量/ (m ³ ·h ⁻¹)
377	16.58	14	273	90	50

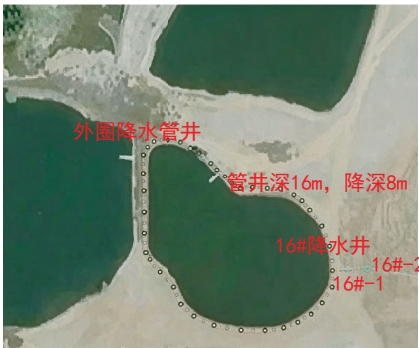


图 2 试验井位布置示意

数。抽水初期含水层响应迅速,测压管动水位快速下降,降深持续增大;抽水前期流量也处于较高水平,随含水层逐步补给,水位与流量逐步趋于平稳。规程规定稳定流判别条件为连续观测时段水位波动 $\nless 5$ cm。本次抽水持续 240 min 后,测压管动水位稳定至 2.585 m;后续 270、300 min 观测时刻水位保持不变,水位无明显波动,判定达到稳定抽水状态,此时稳定降深 1.475 m,堰箱流量读数趋于稳定。

2.3 试验结果

抽水场地试验类型为非完整井多孔稳定流抽水试验,垂直河岸布置 1 条观测线,考虑邻河侧向补给。选用《水利水电工程钻孔抽水试验规程》(SL320—2005)多孔抽水渗透系数计算公式进行计算。

垂直河岸测线方向,根据计算得到的渗透系数范围值为 36~71 m/d,平均值为 53 m/d。

3 基坑降水试验

3.1 试验场地

与抽水试验在同一场地,本试验在基坑内安置

离心泵明排抽水并在周围布置36口降水井(参见图2)。首先启动离心泵排干坑内明水,紧接着启动外围降水井降水,将水排入南侧排水沟内,同步观测记录降水井、观测坑内水位高程、集水井降深。试验中基坑的开挖深度在7.95~8.68 m之间。

3.2 试验方法

基坑初期排水采用高强度离心泵强排方案,配置多台大功率离心泵对坑内明水实施快速疏干,排水方向导流至下游区域;经常性排水则以明排系统为主导、降水井截渗为辅助的协同模式运行。试验期间,在基坑内布设离心泵系统进行明排抽水,同步于外围设置36口降水井形成截渗网络。操作流程遵循分阶段联动机制,即首先启动离心泵排干坑内明水,随即激活降水井群抽排外围地下水,双系统排水汇流至南侧天然排水沟统一导排。

降水井布设于库岸顶部,井深按井底低于基坑基础面8 m的技术标准控制。离心泵系统部署于鱼塘东南角两艘浮船:1号船配置75 kW与132 kW离心泵各1台,2号船布设75 kW离心泵2台及37 kW离心泵1台。5台泵均采用法兰软管进口连接,其中75 kW离心泵抽水量为1000 m³/h,132 kW离心泵的抽水量为2000 m³/h,37 kW离心泵的抽水量为500 m³/h,所有离心泵扬程均为6 m,出口通过3节软管衔接12 m法兰焊管/螺纹管,延伸至南侧排水沟,施工现场见图3。



图3 浮船明排施工现场

在试验过程中对设备运行状态、观测孔地下水位、基坑水位和周围鱼塘水位进行实时监测,实时掌握水位的变化情况,确保降水效果符合设计要求,定期检查水泵、降水井等关键部件的状态,记录运行数据。实时监测基坑水位和观测孔水位可以跟踪基坑水位和地下水位的变化,评估降水效果,确保水位降至安全水平。监测周边鱼塘水位变化,能够评估基坑降水对周边环境的影响,特别是地下水位下降可

能对周边水体造成的间接影响。

4 基于基坑降水试验的数值模拟

“大井法”作为基坑降水方案设计中常采用的方法,也是国内实际工程中基坑设计规范采用的方法。该方法将井群简化为一口大井,分别计算基坑总涌水量和单个降水井出水量,从而得出降水管井数量^[6]。国内的基坑降水设计标准主要有《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120—2012)和《管井技术规范》(GB 50296—2014),其中《建筑基坑支护技术规程》未给出临河基坑降水方案的设计标准。受限于试验场地的复杂条件,无法找到合适的公式计算基坑涌水量,本节根据试验数据,利用数值模拟法计算渗透系数。数值反演计算采用GMS软件,GMS(Groundwater Modeling System)是由美国Brigham Young University的环境模型研究实验室开发的一款综合性的地下水模拟系统软件,旨在为地下水模型的建立、分析和可视化提供全面的解决方案。

本次基坑降水过程的数值模拟旨在利用抽水试验反演的渗透系数结果,计算基坑降水最终状态水位。为了确保模型的准确性,建模过程中综合考虑了试验场地环境与井群影响半径,以北拒马河南岸为边界,刻画基坑及周边鱼塘的水文特征。根据抽水试验过程的实际平衡状态数据,建立研究区地下水三维渗流数值模型,以抽水试验的参数计算结果为初始值,通过降水过程的模拟最终确定研究区渗透系数及模拟大降深涌水量^[7-11]。

基于抽水试验场地的地形特征,模型将地层系统概化为水平展布的潜水含水层单元。模型边界依据井群的影响半径及周边水文系统特征设定,北侧为北拒马河南岸,南侧与东侧的排水沟与北拒马河相连,根据实测水位设置为定水头边界,西南侧为干涸的古河道,设置为常水头边界。研究区内为卵石地层且空间变异性低,故将含水层概化为均质各向同性介质。模型采用结构化正交网格系统,水平面剖分为500×500个矩形单元,垂向定义为单层,有效计算网格126872个。模型源汇项中,降水井群通过WELL模块定义,离心泵通过DRAIN模块定义,流量和位置均根据实际工况设置。数值模拟概念模型见图4。

在参数反演中,以抽水试验结果为初始值,同时通过降水试验基坑的实测水位和模拟水位的差值来



图4 概念模型示意

调整水文地质参数,渗透系数的数值模拟反演结果为75 m/d。从图5中可以看出,通过调整水文地质参数,实测水位和模拟水位拟合效果较好,井场范围平均水位模拟值与实际降深的误差在0.1 m之内。试验场地水文地质参数见表2。

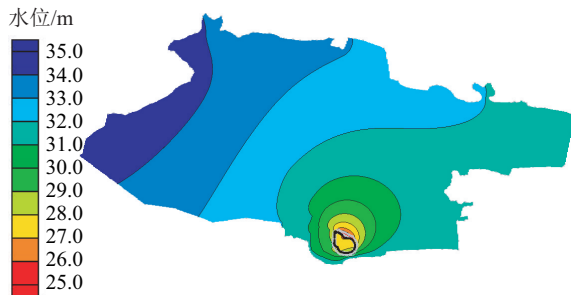


图5 水位模拟结果示意

表2 水文地质参数表

渗透系数/ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	给水度	孔隙度	水平各向 异性	垂直各向 异性
75	0.5	0.3	1	1

5 结论

本文首先通过抽水试验初步估算地层渗透系数,再根据基坑降水试验数据构建了基于实际试验场地的基坑降水模型,计算分析地层渗透系数,得出如下结论:

(1)本研究综合降水井抽水试验、基坑降水试验数值模拟反演,确定工程区卵石层渗透系数最优解为75 m/d。其中抽水试验因抽水井和观测孔距离鱼塘较近,干扰较明显,造成渗透系数计算结果偏小,结果代表性不足;数值模型以水位误差 <0.1 m的高

精度拟合降深,验证了反演参数的可靠性。

(2)传统的技术规范计算公式在本次试验场地中,受限于边界条件和明排加降水井的复合降水体系,无法概化过滤器长度,且由于排水沟长度不足无法量化临河距离,无法通过公式精准反算渗透系数。

(3)利用数值模型法构建了基于实际抽水试验情景的三维模型,通过构建定水头边界,动态耦合地表-地下水流,实现复杂边界的精准刻画;以抽水试验渗透系数为初始值,通过水位残差反馈机制动态修正,最终达到模拟值与实测值平均误差 <0.1 m的效果。该方法突破了传统经验公式受到的限制,完成了参数-效果的闭环验证,为后续基坑降水涌水量的计算提供了参考。

参考文献:

- [1] 武志远,方若全,余雪娟,等.水平封底隔渗帷幕作用下的临江深大基坑突涌水机制研究[J].勘察科学技术,2025(3):50-55.
- [2] 冯晓腊,熊文林,胡涛,等.三维水-土耦合模型在深基坑降水计算中的应用[J].岩石力学与工程学报,2005(7):1196-1201.
- [3] Guo Y, Zhang Z, Du C, et al. An analytical solution for groundwater inflow of circle foundation pit with suspended water-proof curtains in the unconfined aquifer[J]. Environmental Earth Sciences, 2024,83(17):1-15.
- [4] 朱亚飞,徐菲雪,底朝斌,等.南水北调中线干线工程沙河段地下水研究[J].水科学与工程,2025(3):22-25.
- [5] 邓鹏,冯晓腊,唐彦,等.深基坑降水设计及降水对周边环境影响的分析[J].安全与环境工程,2012,19(3):116-120.
- [6] 李再兴,梁杏,郭付三,等.大井法在基坑涌水量计算中的应用[J].人民长江,2009,40(15):50-52,55.
- [7] 骆祖江,刘昌军,瞿成松,等.深基坑降水疏干过程中三维渗流场数值模拟研究[J].水文地质工程地质,2005(5):48-53.
- [8] Dong Z, Xie M, Chai C, et al. Design of dewatering scheme for deep foundation pit with a multi-objective optimization approach based on cost controlment[J]. Water, 2025,17(6):857.
- [9] Ahmad I, Tayyab M, Zaman M, et al. Finite-difference numerical simulation of dewatering system in a large deep foundation pit at Taunsa Barrage, Pakistan[J]. Sustainability, 2019,11(3):694.
- [10] 刘明龙,夏源,肖茂原,等.基于改进量子遗传算法的地下水参数反演[J].科学技术与工程,2026,26(1):421-432.
- [11] 谭云龙.利用抽水试验研究地下水参数及水力联系[J].信息化建设,2016(4):356.

(编辑 王文)