

深基坑降水与支护技术在泵站扩建工程中的应用与参数优化研究

卢良席

湖北腾升工程管理有限责任公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8902

[摘要] 泵站扩建工程大多紧邻原有构筑物、水文地质的条件较为复杂，深基坑施工有着涌水、边坡失稳和周边的土体沉降等的风险，降水和支护体系的适配性与参数设置的合理性决定着工程的安全和施工的效益。文章以某滨河泵站在建工程的深基坑项目为载体，分析深基坑降水和支护联合施工技术在应用上的要点，使用大井法和三维渗流数值模拟相结合的方式，对于传统的施工参数开展优化和迭代，并分析降水井布置的间距、支护桩嵌固的实际深度、精神和锚索预应力等的主要参数对基坑稳定性和降水效率及地表沉降的影响规律。研究结果表明，优化之后的降水体系使用周边均匀布景的方式，井间距为 12m，井深超过坑底 4m，支护体系使用排桩+锚索复合的结构，嵌固的深度为 8.5m、锚索的预应力为 180kN，可以实现基坑水位稳定降到坑底以下 0.5m，地表最大的沉降量控制在了 8mm 之内，和传统的方案相比较，降水的能耗降低了 18.2%，基坑的边坡稳定性系数提升了 21.5%。这样的参数优化的方案，较为适配富水滨河泵站基坑施工的场景，可以给同类的水利改扩建工程的深基坑施工提供更多参考。

[关键词] 泵站扩建；深基坑；降水技术；支护技术；参数优化；数值模拟

Research on Application and Parameter Optimization of Deep Foundation Pit Dewatering and Support Technologies in Pump Station Expansion Projects

Lu Liangxi

Hubei Tengsheng Engineering Management Co.,Ltd.

[Abstract] Most pump station expansion projects are adjacent to existing structures with complex hydrogeological conditions, where deep foundation pit construction faces risks such as water inflow, slope instability, and surrounding soil settlement. The compatibility between dewatering systems and support systems, along with the rationality of parameter settings, critically determine project safety and construction efficiency. Using a deep foundation pit project at a riverside pump station as a case study, this paper analyzes key aspects of integrated dewatering and support construction techniques. By combining the large-well method with three-dimensional seepage numerical simulation, traditional construction parameters were optimized through iterative adjustments. The study examined how critical parameters—including well spacing, actual embedding depth of support piles, pile height, and anchor cable prestress—affected foundation pit stability, dewatering efficiency, and surface settlement. Results demonstrate that the optimized system employing uniformly distributed wells at 12 m intervals with depths exceeding 4 m below pit bottom, combined with a composite pile-and-anchor structure featuring 8.5 m embedding depth and 180 kN anchor cable prestress, achieved stable water level control 0.5 m below pit bottom while limiting maximum surface settlement to 8 mm. Compared to conventional methods, this approach reduced dewatering energy consumption by 18.2% and improved foundation pit slope stability by 21.5%. This parameter optimization approach is particularly well-suited for foundation pit construction at water-rich riverside pumping stations and can serve as a valuable reference for deep foundation pit projects in similar water conservancy renovation and expansion initiatives.

[Key words] Pump station expansion; Deep foundation pit; Dewatering technology; Support technology; Parameter optimization; Numerical simulation

随着城市防洪排涝和水资源调配工程的不断升级,原有打帮战扩容和改造及扩建工程的数量逐年增加。泵站扩建工程大部分在滨河和滨湖等区域,场地的整体含水层较厚、地下水位较高、水力的渗透性较强,且施工的区域紧邻着原有的泵站主体结构、机电设备和管线的设施,对于基坑施工的稳定性和沉降控制的精度要求远远高于普通建筑的基坑工程。深基坑施工是泵站扩建工程的主要工序,降水的效果不佳容易引发基坑涌砂、管涌和渗水等的病害,支护的参数不合理则会出现边坡滑移或者土体坍塌,从而破坏既有的构筑,进而影响泵站的后续运行安全。文章以某滨河泵站扩建深基坑工程为主要载体,充分结合场地的复杂水文地质条件,系统地分析深基坑降水和支护联合施工在技术上的实际应用流程,额记住数值模拟正交试验进行核心参数的优化研究,比较分析传统方案和优化方案不同的施工效果,以此确定适配于泵站扩建工程的最优参数组合,以此实现基坑施工安全、质量和效益的同步提升,给同类水利改扩建深基坑工程提供更多参考。

一、工程概况与水文地质条件

(一) 工程概况

本次研究的主要对象为某滨河泵站的扩建工程,项目的扩建目的为提升所在区域的防洪和排涝的能力,新建的泵房基坑为矩形的深基坑,其开挖吃寻味 $68\text{m}\times 42\text{m}$,最大的开挖深度为 9.2m ,属于二级的深基坑工程。基坑北侧紧邻原有的泵站主体厂房,最小的间距为 3.5m ,东侧分布着原有的输水管道和检修的通道,周边构筑物对于沉降和变形非常敏感,施工的过程中要严格地控制土体的位移和地下水的变化。工程的施工难点为:场地中的地下水较为丰富、水力的联系非常活跃,深开挖过程中非常容易产生渗流破坏;邻近的一些既有的结构,施工的荷载和降水的沉降容易引发原有的设施变形和损坏;降水和支护的施工作业相交叉,参数的适配难度比较大。

(二) 水文地质条件

借助于现场地质勘查和抽水试验的结果可以知道,场地的底层从上到下依次为素填土、粉质黏土、粉细砂、淤泥质黏土和粗砂层。其中、粉细砂层和粗砂层为主要的承压含水层,厚度为 4.2m 和 6.8m ,渗透的系数分别为 3.2m/d 和 8.6m/d 地下水主要接受河水的侧向补给,水位会受到季节径流的影响,稳定的地下水埋深为 $1.8\text{--}2.5\text{m}$ 。场地的粉质黏土层为相对的隔水层,连续性交叉,局部存在着透水通道,基坑开挖的过程中非常容易出现不均匀渗流和局部涌水等问题。与此同时,含水层渗透性差异比较大,单一的降水参数很难适配全场的降水需求,常规的支护结构容易受到渗流的作用产生附加变形,对于参数的优化提出了比较高的要求。

二、深基坑降水与支护技术方案设计

(一) 降水技术方案选型与设计

充分结合场地富水、厚含水层和深开挖工程特点,比较明

沟排水、轻型井点降水、喷射井点降水和管井降水等的常规工艺适配性。明沟的排水方式仅适合用在浅开挖、小水量的场地,没有办法满足本工程要求的深基坑降水的要求;轻型的井点降水,在降水的深度上较为有限,很难控制深层承压水的渗流;管井降水有着降水的深度大、效率高、较为适配厚含水层等的优势,可以实现分区降水,较为适配于本工程的实际施工条件^[1]。所以,本工程最终使用深井管井降水+周边截水沟止水的联合降水方案。

传统的施工方案使用基坑内外混合的布井方式,降水井的直径为 300mm ,井深为 10m ,间距为 15m ,这一方案存在着内部井干扰主体施工、各井抽水量差距较大、降水能耗偏高的问题。为了兼顾降水效果和施工的便捷性,优化的基础方案使用基坑周边的均匀布井,以此取消基坑内部的降水井,并规避后续泵房土建施工方诸多干扰。与此同时,设置基坑外围的截水沟,以此阻断地表径流和浅层地下水的补给,降低深部降水的压力。

(二) 支护技术方案选型与设计

本次工程的基坑开挖深度比较大且周边的荷载约束较为严格,地下水的渗流作用显著,单一的支护结构很难同时地满足稳定性和沉降控制的相关要求,在比较了重力式挡土墙、钢板桩、复合土钉墙和排桩+锚索等的支护方式之后,发现,重力式挡土墙的占地面积比较大,不适合用在临近原有结构的受限场地;钢板桩的刚度比较小,抗形变的能力不足;符合土钉墙在富水砂层中容易出现锚固失效等问题^[2]。在经过了综合的比较在会后,确定使用钻孔灌注桩+预应力锚索+止水帷幕的复合的支护体系,其兼具了刚度较大、变形较小、稳定性较高且适配于复杂地层等的优势。

在支护体系的具体设计方面:使用 $\phi 800\text{mm}$ 钻孔灌注桩作为主要的支护结构,桩中心的间距为 1.2m ,桩顶设置冠梁来连接整体;桩间设置了高压旋喷的止水帷幕,厚度为 600mm ,以此阻断桩间的渗流;竖向设置了两道预应力的锚索,第一道锚索在桩顶下的 2.5m 位置,第二道锚索在桩顶之下的 5.5m 位置,锚固段嵌入了涂层,以此锁定基坑土体的变形,并提升边坡整体的稳定性。

三、核心施工参数优化研究

(一) 优化方法与评价指标

使用 MIDAS GTS NX 有限元软件创建基坑的三维渗流一应力的耦合模型,并结合正交试验进行参数的优化研究,以此规避单一参数分析的诸多局限性。选择降水井的间距、深度和支护桩嵌固的深度及锚索预应力这四个主要参数为优化变量,以深基坑降水达标的时长、边坡稳定性系数、地表最大沉降量和施工总能耗作为综合的评价指标,兼具了施工安全和质量及经济性^[3]。

其模型边界的条件设置为:模型的尺寸为 $200\text{m}\times 150\text{m}\times$

30m, 包含了基坑施工影响的全部范围, 底部设置了固定约束, 侧面设置了透水的边角, 以此模拟地下水自然的渗流状态; 涂层的参数按照现场勘察的实验结果赋值, 支护的结构和降水井使用实体单元进行模拟, 以此还原真实的施工工况。在此基础上, 使用大井法对基坑总涌水量开展实体单元的模拟, 以此表征数值模拟结果的准确性。

(二) 单参数影响规律分析

1. 降水参数影响分析

降水井的间距会直接影响基坑降水的均匀性和效率。模拟的结果为: 在井间距为 15m 的时候, 基坑中心区域的水位下降得较为缓慢, 存在着降水的盲区, 局部的水位没有办法达到坑底以下 0.5m 的施工要求; 在井间距缩小到 12m 的时候, 全场的水位下降较为均匀, 没有降水的盲区, 降水达标时长比 15m 间距缩短了 22.3%; 继续缩小间距到 9m, 降水的效果提升幅度非常大, 但是降水的数量增加了 33%, 施工能耗和成本明显上升, 经济性较为不理想。

降水井的深度决定着深层承压水控制的效果。在井深为 10m 的时候, 尽可以覆盖到浅层的含水层, 深层粗砂层的地下水渗流没有得到有效地控制, 基坑底部有着较为轻微的管涌风险; 井深提升到 13.2m (超过坑底 4m) 的时候, 可以完全的穿透主要承压的含水层, 以此阻断深层渗流的通道, 基坑水位的稳定性会大幅提升; 在井深超过 15m 之后, 降水的效果没有显著的提升, 单井的出水量过剩, 能耗的浪费较为严重。

2. 支护参数影响分析

支护桩嵌固的深度是控制基坑边坡滑移和土体沉降的主要参数。嵌固的深度为 6.5 锚点时候, 边坡的稳定性系数仅为 1.23, 小于规范的安全值, 基坑底部的土体龙骑变形较为明显, 最大的沉降量达到了 14.6mm, 容易对周边的既有结构形成不同程度的损伤; 嵌固的深度提升到 8.5m 的时候, 稳定性系数提升到 1.49, 满足了二级基坑安全的标准, 地表的沉降量控制在 8mm 之内; 嵌固的深度超过了 10m 之后, 稳定性提升的幅度区域平缓, 桩基施工的成本大幅增加, 整体的性价比比较低。

锚索预应力直接影响支护结构抗变形能力。预应力 120kN 时, 支护桩顶部位移偏大, 土体松弛变形明显; 预应力提升至 180kN 时, 可有效抵消地下水渗流压力与土体侧压力, 桩体位移均匀可控; 预应力超过 200kN 后, 易引发桩体局部应力集中, 造成支护结构轻微变形, 反而不利于基坑长期稳定。

(三) 最优参数组合确定

经过多组正交试验极差和方差的分析, 综合平衡施工的安全性、施工的效率和经济性这三个要素, 最终确定适配于本泵站扩建工程的最优参数组合, 具体为: 降水井的间距为 12m、降水井的深度为 13.2m、支护桩的嵌固深度为 8.5m、锚索预应力为 180kN。以上参数的组合可以实现降水的均匀高效、支护结构受力合理及沉降精准可控, 有效规避了传统方案的参数冗

余和适配性不足等问题^[4]。

四、工程应用效果验证

(一) 降水效果验证

在优化方案实施之后, 对于基坑全场的地下水开展实时的监测, 其结果表明: 基坑降水在启动之后的 45h 之内, 全程的水位稳定下降到坑底以下的 0.5—1.0m, 满足了土方开挖施工的相关要求, 没有局部的积水、渗流和管涌等的病害。和传统的方案相比较, 降水达标的时长缩短了 21.8%, 单井抽水量均匀且稳定, 设备的运行能耗降低了 18.2%, 有效地解决了传统方案降水不均匀且能耗偏高等的问题, 周边的河水水位没有异常的波动, 没有对区域的水文环境形成不良的影响。

(二) 基坑稳定性与沉降控制效果

基坑开挖全过程对于边坡位移、支护桩变形和地表沉降开展的动态监测结果显示, 在优化方案实施之后, 基坑边坡最大的水平位移为 4.2mm, 支护桩最大的挠度为 3.8mm, 地表最大的沉降量为 7.6mm, 全部的变形指标均远远低于规范的限制值。基坑边坡的稳定性系数稳定地维持在 1.49 以上, 和传统方案相比提升了 21.5%, 边坡没有出现滑移和开裂等隐患。与此同时, 周边的既有泵站厂房和输水管道变形量都控制在 3mm 之内, 完全满足既有结构物保护的相关要求。

(三) 施工效益分析

参数优化方案取消基坑内部的降水井, 减少了施工交叉的干扰, 大幅度提升了土方开挖、主体结构施工效率, 整体的工期缩短了 12%; 优化之后的降水和支护的参数能够精准地适配于场地的相关条件, 有效规避了材料和设备冗余的消耗, 综合施工成本降低了 9.6%。在此基础上, 全程没有出现安全和质量隐患, 不需要后期病害整改, 施工的安全性和工程的耐久性大幅提升, 综合效益优势较为显著。

结束语

研究所提出的富水滨河泵站深基坑降水和支护参数的优化方案, 可以给同类的水利改扩建工程提供更多参考。后续可以深入研究不同水文地质条件之下参数的动态调整方式, 以此探索降水和支护的实时协同控制技术, 以此提升深基坑施工的智能化和精细化的水平。

[参考文献]

- [1]赵亚南,宗杰,张宇. 泵站深基坑施工变形特性及本构模型适用性分析[J]. 吉林水利, 2026, (6):47-52.
- [2]邝志华. 复杂环境下深基坑支护施工技术与安全风险管控措施[J]. 四川水泥, 2026, (5):132-134.
- [3]宋清明. 复杂地形环境水利深基坑支护设计与研究[J]. 城市建筑, 2026, 23 (8):160-164.
- [4]高兴和,陈兴奎,王飞,等. 阳澄湖通江大型泵站扩建关键技术研究与实践[J]. 人民长江, 2019, 50 (2):47-52.