

基于承压水层特性的水利工程泵站深基坑降水设计

梁怀伟

临泉县城防管理所, 安徽 临泉 236400

[摘要]水利泵站工程大多沿江、河、湖修建, 场地内普遍存在多层承压含水层。深基坑开挖过程中, 极易出现坑底突涌、流砂、管涌以及围护结构失稳等安全问题。当前行业内泵站深基坑承压水降水设计仍存在针对性不强、参数选取偏保守或偏差大、降水方案与工程工况匹配度不足等问题。文章系统梳理承压水赋存规律、渗流特性与开挖扰动下的水力响应特点, 结合基坑规模大、开挖深、降水周期长的施工特征, 明确设计准则、水文参数选取方法、涌水量及降水深度计算方法, 完善承压水风险防控和动态调控措施, 有效规避承压水引发的基坑风险, 保障基坑施工安全和工程整体质量, 以供参考。

[关键词]承压水层; 水利泵站; 深基坑; 降水设计; 渗流特性; 基坑稳定性

DOI: 10.33142/hst.v9i6.20070

中图分类号: TV551.4

文献标识码: A

Design of Deep Foundation Pit Dewatering for Hydraulic Engineering Pumping Stations Based on the Characteristics of Confined Water Layers

LIANG Huaiwei

Linquan County Defense Management Office, Linquan, Anhui, 236400, China

Abstract: Water conservancy pump station projects are mostly built along rivers, lakes, and lakes, and there are generally multiple layers of confined aquifers in the site. During the excavation process of deep foundation pits, safety issues such as sudden surges at the bottom of the pit, sand flow, pipe surges, and instability of the retaining structure are highly likely to occur. There are still problems in the current industry of pump station deep foundation pit pressurized water dewatering design, such as weak targeting, conservative or biased parameter selection, and insufficient matching between dewatering schemes and engineering conditions. The article systematically sorts out the occurrence law, seepage characteristics, and hydraulic response characteristics of confined water under excavation disturbance. Combined with the construction characteristics of large foundation pit scale, deep excavation, and long precipitation cycle, it clarifies the design criteria, hydrological parameter selection method, water inflow and precipitation depth calculation method, improves the risk prevention and dynamic control measures of confined water, effectively avoids the risk of confined water induced foundation pit, ensures the safety of foundation pit construction and the overall quality of the project, for reference.

Keywords: confined aquifer; water conservancy pumping station; deep foundation pit; precipitation design; seepage characteristics; stability of foundation pit

引言

泵站是水利工程, 主要用来防洪排涝、调配水资源、改善水环境。绝大多数泵站都建在临水、地势低洼的地方, 这些区域地下土层沉积层多, 分布着多层承压水, 地下水情况复杂^[1]。传统设计只用固定的水文数据, 没有考虑地下承压水和地面河湖水体是互通的, 也没兼顾到不同土层之间的水流渗透、地下水渗流随时变化的情况。这就容易出现降水效果达不到施工要求、地面不均匀沉降、大量地下水被白白抽排浪费等问题^[2]。文章结合泵站实际施工场

景, 针对承压水持续补水、土层透水能力不均匀、地下水渗流动态变化等实际特点, 搭建了一套精细化的承压水降水设计方法。

1 泵站场区承压水层核心特性及工程危害机理

1.1 承压水层基本赋存特性

水利泵站场地地层大多具备“上部隔水层-中部承压含水层-下部隔水层”三层结构, 部分区域存在多层承压含水层相互叠置的情况。上层粉质黏土、淤泥质土透水能力较差, 能够阻碍承压水向上渗透; 中部砂层、砂砾石层

孔隙相互贯通,是地下水主要渗流路径;底层黏土或是基岩形成不透水底板^[3]。相较于潜水,场地承压水特点十分显著:水位长期保持稳定,和周边河湖之间持续存在水体补给联系;地层透水能力存在明显方向性差异,地下水以水平方向流动为主;不同含水层之间容易发生越流补水,加大基坑降水施工难度;坑底土层对水压变动反应敏感,基坑开挖卸荷之后,水位小幅起伏都有可能引发突涌、土体变形等安全隐患。

1.2 承压水对泵站深基坑的危害机理

水利泵站深基坑最主要的安全风险,来源于承压水水头压力破坏和渗流破坏的共同影响,发生机理和普通潜水基坑有很大区别。普通潜水基坑大多只是地表积水、边坡向外渗水,采用常规排水把土体疏干,基本就能控制风险;承压水带来的破坏藏在地下、爆发突然,典型问题有坑底突涌、渗流剪切破坏,其中坑底突涌是头号危险。基坑持续开挖后,坑底上方的隔水土层不断变薄,土层自身有效压重随之降低^[4]。一旦承压水向上的顶托力,超过隔水层自重和土层抗剪能力,坑底就会向上隆起、出现裂缝,水夹杂泥沙大量喷涌形成突涌。泥沙被持续带走会掏空坑底土体,进一步造成围护结构受损,严重时直接引发基坑垮塌。渗流剪切破坏常见形式就是流砂、管涌。上下游水位差形成渗透水流,当水力梯度超过临界限度,土里细小颗粒不断被水流带走,慢慢形成贯通的渗漏通道,导致基坑土体变形、支护结构发生偏移。承压水降水调控很难把握分寸:抽水力度太大,容易引发地面沉降,威胁附近房屋、管线;降水幅度不够,又抵挡不住突涌风险。如果基坑开挖速度和降水节奏对不上,土层反复干湿交替,土质强度还会持续降低,从整体上影响基坑安全稳定。

2 承压水水文参数精准取值与验算

2.1 核心水文参数取值方法

承压含水层相关水文地质参数取值是基坑降水设计关键。承压含水层厚度 M 依据场区详细勘察钻孔数据确定,精确划分含水层顶底板高程,剔除隔水层、弱透水层厚度,区分单层与多层承压含水层有效厚度,多层地层分层统计、分层开展水力计算,防止多层叠加取值产生误差。承压水头高度 H 选用现场长期水位监测资料,采集丰水期、平水期、枯水期多时段数据,区分瞬时水位,确定最大、最小及稳定水头,以最不利最大承压水头作为设计控制条件。渗透系数 K 存在明显各向异性,通过现场抽水试验获取,利用单孔稳定流抽水试验得到水平渗透系数。同时依托多孔抽水试验求取弱透水层越流系数,结合水体连通试验明确侧向补给强度,充分考虑越流与侧向补给,

精准计算总涌水量,避免降水设计参数偏保守或不足。

2.2 基坑抗突涌稳定验算

结合现行规范和场地承压水分布情况,主要对比坑底下隔水土层自身重量产生的抵抗力与承压水向上的顶托力,以此判断基坑底部稳不稳定,进而算出需要降水的深度。抗突涌稳定安全系数是最关键控制标准,简单来说就是隔水土层自重抵抗能力和承压水上顶压力的比值。水利泵站深基坑施工周期长,还会持续受到渗流影响,安全系数一般取 1.1~1.3。计算步骤通俗来讲:先算出基坑开挖之后,底下剩下隔水土层自重带来的压应力,这是抵挡突涌的主力;再根据承压水水位高度、水的重度,算出水压向上顶基坑底部的作用力。两者相除满足设定的安全系数,坑底才安全;要是达不到要求,承压水向上的顶力大于土层承受极限,就极易出现突涌险情,必须降水压低承压水水头。所有计算参数都按照最危险工况选取,安全系数控制区间 1.1~1.3,同时统一规定土体天然重度、剩余隔水层厚度、水重度、承压水水头各项参数的取用要求。

3 基于承压水特性的降水计算模型优化

3.1 承压水基坑总涌水量计算模型

泵站深基坑承压水涌水来源主要分为三类:承压含水层侧向稳定来水、层间越流补水以及基坑四周渗流水。遇到无边界承压含水层、存在越流补给且使用悬挂止水帷幕的工况,可选用优化后的群井涌水量计算公式,解决传统计算方式不考虑越流补给带来的误差。多层承压地层基坑总涌水量,等于侧向稳定渗流量叠加弱透水层越流补给水量。侧向补给是外围承压水水平流入基坑,大小受土层渗透系数、含水层厚度、降水降幅、等效半径和降水影响半径影响。越流补给是多层地层独有的竖向补水,分层计算后汇总,依靠越流系数、层间水位差和降水范围确定。这套算法兼顾水平渗流与竖向越流,在经典完整井公式基础上增加越流项,避免涌水量估算偏低。基坑靠近河湖时,额外计入地表水补给,能让降水方案设计更加合理可靠。

3.2 降水影响半径优化计算

结合承压水稳定渗流特性以及水位线性衰减规律,运用优化修正算法计算降水影响半径,弥补潜水经验公式适用范围有限的短板。承压水降水影响半径由渗透系数和设计降深共同决定,符合承压水稳态渗流变化特点,能够准确算出单井、群井降水的影响区域。

3.3 群井降水降深计算模型

泵站基坑开挖范围大,降水能够影响到的区域也更广,工程上大多布置多口井一起抽水。各井抽水产生的降水效果会互相叠加,基坑内部地下水渗流场呈现多井共同作用

的特征,某一处水位下降幅度,不能简单当成单口井抽水形成的水位降深。基于承压水稳定渗流叠加理论构建群井降深计算方法,先算出单井稳定抽水造成的水位降幅,再叠加所有降水井对目标点位带来的降深影响。计算过程充分考虑承压含水层渗透性质存在各向异性,区分水平、垂直方向地下水流动能力差别;同时纳入止水帷幕的挡水效果以及含水层之间越流补给的影响,改善传统计算方法存在的缺陷。

4 适配承压水特性的泵站深基坑降水方案体系设计

4.1 止水帷幕适配性选型与布设设计

止水帷幕能够挡住承压水从侧面流入基坑、减少不同土层之间水体相互渗透,同时把降水范围控制在合理区间,是基坑围护里十分关键的构造。帷幕类型和布置方案,需要结合承压水埋藏深度、土层透水能力以及地下水连通情况综合确定。如果场地内承压水埋藏浅、厚度小,地下水和地表水水力联系不强,可以选用深层搅拌桩,性价比高,整体密封性较好,用来阻挡水平方向的渗水。泵站区域经常遇到承压水埋藏深、厚度大,地层为透水性很强的砂卵石层,或是靠近河湖、地下水补给充足的情况,这种场地优先选用地下连续墙,凭借更大施工深度和优秀防渗能力,切断外侧地下水的侧向补给通道。存在多层承压水、层间水体渗透现象突出的区域,帷幕布置要因地制宜:隔水层埋深不大时,设置落地式止水帷幕,把帷幕底端嵌入隔水层彻底阻断水流;隔水层埋深过大难以施工落地帷幕,就采用悬挂式止水帷幕,搭配减压降水措施协同控制水压力。另外基坑转角、紧邻河道湖泊这类容易集中渗水的位置,需要强化密封处理,调整桩体咬合搭接尺寸、补充注浆加固。

4.2 降水井型组合与分区布设设计

结合泵站基坑跨度大、开挖面积广的特征,针对承压水单层、多层以及越流补给不同情况,搭建以减压井为主体、疏干井做辅助、观测井协同调控的降水井组合方案,弥补单一井型的不足,同时稳住承压水水头、排干浅层土体积水。减压井是降水核心,选用完整井处理厚层高透水承压含水层;遇到多层承压水和越流地层,采用分层非完整井精准分层泄压,防止坑底发生突涌。疏干井用来排出基坑浅层潜水、上层滞水,井底不打通承压含水层,做到深浅地下水分开治理。基坑内外及止水帷幕外侧分层布置观测井,持续监测各层水位,既能检验降水效果、指导开挖,也能跟踪外围水位变化,减少地面沉降和周边建构筑物变形。井位按照外围密、内部疏、临水区域加密、分区块布设的思路安排,水源补给处增设井位,基坑中间适当

拉大井距。超大基坑划分为多个独立降水区块,配套专属井组与监测设施,改善大范围渗流不均衡、局部水位超标问题。

4.3 降水运行动态方案设计

采用分层、分级、分时的动态降水方式,不一次性全力抽水,既能节约设备、电力等施工资源,又能减少土层扰动,让降水作业和基坑施工精准适配。施工前期提前开展预降水,在土方开挖前开启减压井,缓慢降低承压水水位,将水头控制在安全范围并预留富余空间,彻底规避基坑突涌、泡水风险。同时严控抽水速度,避免土体快速沉降、支护结构受力突变变形。分层挖土阶段坚持挖多少、降多少、逐级降压的原则,根据现场土层厚度调整抽水量,依托实时监测数据随时优化降水参数。浅层土方挖完后,开启疏干井排净坑内积水。底板浇筑及养护期间保持稳压降水,在底板达到设计强度前,让减压井低负荷持续运行,防止地下水顶翻底板。待主体结构满足抗浮标准后,再逐步关停降水井,避免水位骤升造成结构开裂、变形。

5 承压水降水施工关键技术

承压水埋藏隐蔽,水源补给持续稳定,普通降水施工方法很难满足施工要求,降水效果好坏直接影响整个基坑安全稳定。在钻井打井施工阶段,承压含水层多为砂性土、砂砾石这类松散土层,容易出现塌孔、孔径缩小等情况,因此选用泥浆护壁钻孔施工。结合土层砂石颗粒组成实时调整泥浆指标,精准控制钻孔直径和深度,确保钻孔对准各个承压水目标含水层。安放井管时,结合地层条件挑选合适滤水管、搭配对应的滤料,分层均匀回填滤料并控制压实程度,避免后期出现渗流问题。钻孔完工后第一时间洗井,清理孔内泥浆沉淀物,保证降水井出水能力。另外还要做好整套降水系统的密封工作,井管之间使用密封套接方式连接,井口采用黏土分层封堵搭配混凝土封顶的双重密封手段,防止外界水体、空气产生不良影响。各类输水管道铺设要平整顺直,所有接口逐一检查密封情况。全部施工结束后开展整体抽水试验,及时查出渗漏、管道堵塞等隐患,确保降水系统能够平稳、可靠运行。

6 承压水降水动态监测与风险调控体系

承压水渗流场会受到河湖水位涨跌、地层越流补给、工程施工扰动等多种条件共同作用,水位一直处在动态变化当中。建立一套动态监测预警和闭环调控系统,搭建多维度监测网络,把承压水水头监测作为核心内容,同步监测基坑围护结构变形、周边地面沉降以及基坑渗漏水情况;测点布置遵循“重点区域加密、整体范围全覆盖”的思路,灵活调整监测频率,及时发现渗流、土体变形带来的安全

隐患。结合实时监测数据动态优化降水运行方案,根据汛期、枯水期水文条件变化调节降水强度,采用分层精准泄压、局部控制水位下降搭配地下水回灌等手段,缓解地层越流补水、地面沉降等难题。

7 结论

泵站场区承压水存在水头稳定、各向异性渗流、层间越流、应力响应敏感等特征。建立分层降水、逐级控压设计思路,优化水文参数取值与稳定性验算方法,完善兼顾侧向补给、层间越流的涌水量与群井降深计算体系,提高降水设计精度。构建“帷幕控水+群井减压+分区调控+动态监测”一体化降水方案,有效防范坑底突涌、管涌、基坑变形及周边地层沉降风险。

[参考文献]

- [1]郑永兰.国外某泵站工程砂基高地下水深基坑降水设计研究[J].湖南水利水电,2023(4):6-9.
- [2]葛蒙.浅析泾惠渠徐木泵站更新改造工程主副厂房基坑降水施工设计[J].陕西水利,2023(3):133-134.
- [3]孙芝琪.内河排涝泵站深基坑降水设计[J].四川建材,2023,49(2):81-83.
- [4]雍刚.西江某水泵站基坑设计实例分析[J].水利技术监督,2022(6):242-246.

作者简介:梁怀伟(1970—),男,安徽省阜阳市临泉县人,现就职于临泉县水利局城防管理所,长期从事水利泵站工作。