

水利工程施工中的地下水控制与排水系统设计

丁祥云 李 娟 曹昌月

如皋市新濬水利市政工程有限公司 江苏 如皋 226500

摘 要：水利工程施工中，地下水控制与排水系统设计至关重要。不当的地下水处理会引发诸如基坑坍塌、地基沉降等诸多问题，严重影响工程进度、质量及安全。本文深入剖析了水利工程施工中地下水的来源与特性，详细阐述了常见的地下水控制方法，包括明沟排水、井点降水、截水帷幕等，并结合实例对排水系统设计要点展开探讨，旨在为水利工程施工中的地下水有效管控提供理论支撑与实践指导，确保工程顺利实施。

关键词：水利工程；地下水控制；排水系统设计

引言：水利工程多处于水域周边或地下水位较高区域，地下水的存在给施工带来诸多挑战。在基础开挖、混凝土浇筑等关键施工环节，若不能合理控制地下水，将会导致基坑积水、土体失稳、结构物受浮力作用等不利情况，进而危及整个工程的稳定性与耐久性。因此，科学规划地下水控制与排水系统是水利工程施工前期筹备及实施过程中的核心任务之一。

1 地下水来源与特性分析

1.1 地下水来源

1.1.1 层滞水。主要来源于大气降水在地表浅层的人渗积聚，局部隔水层阻碍其下渗，使其滞留于近地表土层中。在水利工程场地平整初期，这部分水易受扰动渗出，水量受降水强度、持续时间及地表覆盖情况影响显著。

1.1.2 潜水。埋藏于地表以下第一个稳定隔水层之上，具有自由水面，通过含水层孔隙与大气相通。其补给源广泛，除大气降水外，还包括地表水的侧向补给、含水层间的越流补给等。潜水水位随季节、区域水文条件波动，在靠近江河湖泊的水利工程施工区，潜水与地表水水力联系紧密，水位变化更为复杂。

1.1.3 承压水。存在于两个隔水层之间的含水层中，承受一定静水压力，当井孔穿透上部隔水层时，承压水便会在静水压力作用下上升。其补给区通常较远，径流缓慢，水质相对稳定。水利工程若涉及深层基础施工，承压水的处理不当极易引发突涌等灾难性事故^[1]。

1.2 地下水特性

1.2.1 水位动态变化。受气象、水文地质及人类活动等因素交织影响，地下水水位呈现季节性、年际周期性波动，还可能因周边水利设施运行（如水库放水、灌溉抽水）瞬间改变。施工中需持续监测水位，以便及时调整控制措施。

1.2.2 水流速度差异。不同含水层的渗透系数各异，

致使地下水在其中的流速差别极大。粗砂、砾石含水层水流速度快，细粒黏土含水层水流缓慢。这决定了排水系统的排水效率设计及堵水方法选择，流速快区域需强化排水能力，流速慢区域要注重防止细颗粒随水流失造成土体结构破坏。

1.2.3 水质腐蚀性。部分地区地下水富含硫酸盐、氯离子等腐蚀性离子，对混凝土结构、金属支护构件有侵蚀作用。在排水系统选材、基础混凝土配合比设计时，必须考虑水质腐蚀性因素，采取抗腐蚀措施保障工程耐久性^[2]。

2 地下水控制方法

2.1 明沟排水

（1）原理。利用在基坑底部或周边开挖的明沟，将地下水、地表水汇集至集水井，再通过水泵抽排出施工场地。明沟有一定坡度，以确保水流顺畅流向集水井，依据地形与汇水面积合理布局沟网。**（2）适用范围。**适用于地下水位浅、水量较小、土质透水性较好的基坑工程，如小型水闸基础开挖、渠道衬砌基础施工前期排水。在黏土含量较高、渗透系数低的土层，辅以松土、井点辅助降水等措施也能发挥一定作用。**（3）优点与局限性。**优点是施工简易、成本低廉，能迅速排除基坑表面积水，直观可见排水效果。局限性在于排水深度受限，一般不超3-5米，对深层地下水控制乏力；且长期大流量排水易造成基坑周边土体流失，需加强边坡防护。

2.2 井点降水

2.2.1 轻型井点降水。**（1）原理：**通过沿基坑四周布置井点管，井点管底部滤管插入含水层，利用真空泵抽吸使井点管内形成负压，地下水在大气压与负压差作用下经滤管涌入井点管，再由集水总管排出。**（2）适用范围：**常用于地下水位较高、粉砂-细砂土层、基坑深度不超6米的水利工程，如中小型泵站基础施工。在软土地

层,能有效降低土体含水量,提高土体强度,利于基坑开挖与边坡稳定。(3)优点与局限性:可较大范围降低地下水位,降水深度相对明沟排水更深;能改善基坑土体力学性能。但设备安装复杂,运行需持续供电,维护成本较高,井点管易堵塞,对含砂量大的地下水适应性欠佳^[3]。

2.2.2 喷射井点降水。(1)原理:在井点管内部增设喷射器,高压水流经喷射器产生高速射流,在井点管内形成负压,抽吸地下水,原理类似轻型井点但真空度更高。(2)适用范围:适用于地下水位较深(一般8-20米)、渗透系数较小的黏性土、粉质黏土含水层,在大型水利枢纽船闸基坑等深大基坑工程中应用,为深层基础施工创造无水条件。(3)优点与局限性:降水深度大,对深层低渗透地层降水效果好;能减少井点数量,节省占地面积。不过设备投资大,运行能耗高,喷射器易磨损,对施工技术与管理要求严格。

2.2.3 管井井点降水。(1)原理:在含水层中钻孔成井,井内安装滤水管,地下水在重力作用下流入井内,再用深井泵抽取排出。各管井独立运行,可按需调整抽水量。(2)适用范围:广泛用于各种含水层类型、地下水位降幅大(可达数十米)的水利工程,尤其在粗粒土层、富水地区大型水利建筑物基础施工,如大坝坝基处理。(3)优点与局限性:单井出水量大,降水深度不受限制,能适应复杂水文地质条件;井距大,便于施工布置。缺点是成井工艺复杂,对周边环境的影响范围,可能引起地面沉降,需合理控制抽水量与回灌。

2.3 截水帷幕

2.3.1 深层搅拌桩帷幕。(1)原理:利用深层搅拌机将水泥浆与地基土原位强制搅拌,形成连续搭接的水泥土柱状加固体,构成隔水帷幕阻挡地下水侧向径流。(2)适用范围:适用于软土地层、地下水位较高且周边环境对沉降要求严格区域,如城市内河水利整治工程靠近建筑物侧基坑支护,可减少基坑降水对相邻建筑地基扰动。(3)优点与局限性:施工振动小、噪声低,对周边环境的影响小;墙体防渗性能较好。但水泥土强度增长慢,早期防渗能力有限,不适用于强透水性砂砾石地层。

2.3.2 高压旋喷桩帷幕。(1)原理:通过高压泵将水泥浆液以高速喷射切削土体,同时钻杆旋转提升,使浆液与土体充分混合、凝固,形成圆柱状凝结体帷幕。(2)适用范围:可用于各类土层,尤其对砂性土、砾石层有较好适应性,常用于水利工程基坑防渗、堤坝基础截渗加固,在复杂地质条件下能有效截断地下水通道。(3)优点与局限性:成桩直径大、防渗效果佳,能灵

活调整桩长、桩距满足不同防渗需求;施工速度相对较快。不过浆液浪费较严重,施工过程有一定污染,造价偏高。

2.3.3 地下连续墙。(1)原理:使用专用挖槽设备,沿基坑周边逐段开挖狭长槽孔,在槽内吊放钢筋笼并浇筑混凝土,形成连续的钢筋混凝土墙体,兼具挡土与截水功能。(2)适用范围:在深大基坑、地下水位高且地质条件复杂、对基坑稳定性与防渗要求极高的水利枢纽核心建筑施工中应用,如大型水电站厂房基坑围护。(3)优点与局限性:整体刚度大,防渗性能卓越,能承受较大水土压力,对周边环境变形控制效果突出。但施工技术难度高、成本高昂,需配备大型专业设备,混凝土浇筑质量控制环节多^[4]。

3 排水系统设计要点

3.1 排水流量计算

3.1.1 基坑涌水量计算。依据水文地质勘察资料,选用合适的计算公式,如潜水完整井基坑涌水量计算公式(适用于潜水含水层且井壁进水的情况)、承压水完整井涌水量公式等。考虑含水层厚度、渗透系数、水位降深、井半径、井间距等参数,结合基坑形状(圆形、矩形、不规则形)进行修正计算,准确预估基坑开挖过程中的涌水量,为排水设备选型提供依据。

3.1.2 地表径流量估算。根据施工场地汇水面积、当地暴雨强度公式、径流系数计算施工期地表径流量。水利工程施工场地开阔,大量临时堆土、开挖坡面改变地表径流路径,需合理规划排水明沟、截水沟尺寸与坡度,确保暴雨期间场地积水及时外排,防止流入基坑造成积水隐患。

3.2 排水系统布局

3.2.1 基坑内排水。在基坑底部依地形设纵横交错的主、支排水沟,主沟沿长边或汇水主流向布置,支沟连通主沟,沟底向集水井保持0.1%-0.5%坡度。集水井置于基坑边角等较低洼处,间距依涌水量与排水设备能力而定,一般20-50米,井深超基坑底1-2米,确保有效汇集基坑内积水。

3.2.2 基坑外排水。围绕基坑周边开挖截水沟,拦截地表水与浅层地下水侧向径流,截水沟距基坑坡顶边缘不小于3-5米,以防沟壁坍塌影响基坑稳定;沟深、宽依汇水量设计,沟底坡度不小于0.3%-0.5%,将水引至远离施工区的排水渠道或天然水系,避免回流冲刷基坑边坡。

3.3 排水设备选型与配置

3.3.1 水泵选型。根据计算所得的排水流量、扬程需求选泵。常见有离心泵、潜水泵等,离心泵流量大、

扬程范围广,适用于大流量、低扬程排水场景,如基坑明沟排水;潜水泵结构紧凑、可潜入水中工作,便于移动,对深井降水、复杂基坑局部排水灵活高效,扬程可选高、中、低不同规格满足水位降深要求。

3.3.2 备用设备设置。考虑排水系统可靠性,配备适量备用泵,数量一般为工作泵的1/3-1/2,定期轮换运行,确保关键时刻主泵故障时备用泵能及时投入,维持排水不间断,防止基坑因排水中断引发险情。

3.4 排水系统维护管理

3.4.1 定期清淤。为了确保排水系统的正常运行,定期清淤是必不可少的。明沟、集水井、管井等关键部位容易淤积泥沙、杂物,因此必须每周或每半月进行一次清理。这一措施不仅能保证排水通道的畅通,维持排水效率,还能有效避免泥沙等杂质磨损水泵部件,延长设备的使用寿命^[5]。

3.4.2 设备巡检。排水设备的运行状况直接关系到排水系统的稳定性和效率。因此,每日对排水设备进行巡检至关重要。巡检内容包括电机温度、声响、振动情况的检查,水泵流量、压力的监测,以及管路连接密封性的检查等。通过及时发现并修复故障隐患,记录设备运行参数,可以为后续的设备维护保养提供有力的数据支撑,确保排水系统的持续稳定运行。

3.4.3 水位监测。在基坑内、外及不同含水层设置水位观测井,是保障排水效果稳定的重要手段。通过实时监测水位变化,并与设计水位降深进行对比,可以准确判断排水系统的运行效果。据此调控排水设备的开启数量和抽水量,既能确保降水效果稳定,又能防止过度降水引发的周边环境问题,如地面沉降、地下水位下降等。

4 工程实例分析

4.1 工程概况

某中型水库除险加固工程,主坝为均质土坝,坝高30米,坝基位于粉质黏土层,地下水位埋深5-8米,坝址区年降水量丰富,施工期正值雨季。工程需对坝基进行防渗加固处理,包括坝基帷幕灌浆、新建排水棱体等项目,基坑最大开挖深度10米。

4.2 地下水控制方案

鉴于地质条件与工程要求,采用上部明沟排水结合下部井点降水方案。在基坑上部3米深度范围内,沿周边

与底部设明沟,沟底坡度0.3%,每30米设一集水井,用离心泵抽排地表水与浅层滞水;下部7米采用轻型井点降水,井点管间距1.5米,呈环形布置,真空泵抽吸降低地下水位,为坝基处理创造干地施工条件。

4.3 排水系统设计实施

4.3.1 排水流量计算。综合考虑基坑涌水量、雨季地表径流量,经潜水完整井公式与当地暴雨径流计算,确定总排水流量需达150m³/h。

4.3.2 排水系统布局。基坑内主排水沟沿坝轴线方向布置,支沟连通,集水井位于四角及长边中点;基坑外设截水沟,拦截周边山坡汇水,引入下游排水渠。

4.3.3 排水设备选型配置。选用5台流量30m³/h、扬程15米的离心泵用于明沟排水,4套轻型井点降水设备(配真空泵、离心泵),每套井点管20根,另配2台同型号离心泵作备用,依水位变化灵活调配。

4.3.4 维护管理。施工期间安排专人每日清淤、巡检,每4小时观测水位,根据水位波动调整水泵运行,保障施工全程未因地下水问题受阻,坝基处理质量优良。

结论:水利工程施工中的地下水控制与排水系统设计是一项系统工程,需紧密结合工程地质、水文气象、周边环境及施工工艺等多因素综合考量。精准剖析地下水来源特性,科学选取控制方法,严谨设计排水系统各环节,辅以严格维护管理,方能有效应对地下水难题,保障水利工程基础稳定、施工安全与质量可靠,为水利设施长期高效运行奠定坚实基础。未来,随着工程实践深入与技术创新,地下水控制技术将持续优化升级,为水利事业蓬勃发展赋能添力。

参考文献

- [1]刘胜利,陈建国.岩土工程勘察设计与施工中水文地质问题探析[J].建筑技术开发,2023(17):121-123.
- [2]陶宏亮,范士凯.深基坑工程地下水控制综述[J].岩土工程学报,2024(03):498-506.
- [3]王强,赵刚.水利工程施工中地下水排水系统精细化设计探讨[J].水利水电技术,2024(04):78-83.
- [4]李明,孙悦.新型材料在水利工程地下水控制设施中的应用[J].中国水利,2024(05):62-65.
- [5]张勇,刘辉.基于数值模拟的水利工程基坑降水优化方案[J].水利科技与经济,2024(07):38-42.