水利工程深基坑排水控制技术与安全管理要点分析

王培铭

(平凉市水利水电工程有限责任公司, 甘肃 平凉 744000)

摘要 随着水利工程建设规模不断扩大, 深基坑工程施工日益普遍, 其安全管理和技术控制的重要性日益凸显。深基坑排水控制作为施工过程中的关键环节, 直接影响工程质量和施工安全。目前, 深基坑施工过程中常面临地下水控制不当、支护结构受力不均、周边环境影晌等技术难题, 这些问题严重威胁工程安全和施工进度。针对这些挑战, 本文指出通过采取科学的排水控制技术措施和完善的安全管理体系, 可以有效确保深基坑施工安全, 保障水利工程建设质量, 最终实现工程建设的经济效益和社会效益的统一。

关键词 水利工程; 深基坑排水控制技术; 安全管理

中图分类号: TV551.41

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.07.035

0 引言

水利工程深基坑施工是现代水利工程建设中的重要组成部分, 其施工过程涉及地下水控制、支护结构稳定和周边环境保护等多个技术难点。深基坑排水是整个施工过程中的关键环节, 其控制效果直接决定着基坑开挖的安全性和施工质量。近年来, 水利工程规模的不断扩大和施工难度的增加, 深基坑排水过程中出现的地下水涌出、土体失稳等问题日益突出。为此, 必须通过科学的技术手段和严格的管理措施, 确保深基坑排水系统的可靠运行, 从而实现工程建设的安全、高效开展。

1 水利工程深基坑排水控制对工程安全的影响分析

1.1 对周边地层稳定性的影响

在深基坑排水过程中, 地下水位的变化会显著影响周边地层的稳定性。当基坑进行降水作业时, 地下水位下降导致土体有效应力增加, 使周边土体产生附加应力和变形。地下水位骤降会引起土体结构改变, 特别是在粉土、细砂等易液化土层中, 容易造成土颗粒重新排列, 进而引发地层压密沉降。同时, 基坑降水会形成降落漏斗, 改变地下水流场, 产生水力梯度, 在水头差作用下可能导致土体中细颗粒物流失, 形成管涌或流砂现象, 严重威胁基坑及周边地层的整体稳定性^[1]。基坑降水对地层稳定性的影响具有累积性和滞后性特征。持续的降水作业会逐步扩大影响范围, 使土体固结变形逐渐发展。在软土地层中, 由于渗透性较差, 超孔隙水压力消散缓慢, 即使停止降水后,

地层变形仍会持续一段时间。因此, 在深基坑排水过程中, 必须通过合理控制降水速率和水位降深, 采用分层降水、分区降水等科学方法, 建立完善的监测系统, 及时掌握地层位移和孔隙水压力变化情况, 确保周边地层稳定性始终处于可控状态。

1.2 对基坑支护结构安全性的影响

深基坑排水控制对支护结构安全性的影响主要体现在水土压力的变化方面。在基坑降水过程中, 地下水位的降低会导致土体有效应力增加, 改变作用在支护结构上的侧向土压力分布。当降水不均匀或控制不当时, 支护结构可能承受不均衡的水土压力, 引发结构变形和位移。尤其在深基坑支护采用地下连续墙或钢板桩等刚性支护结构时, 不均匀的水压力分布会导致支护结构产生额外的弯矩和剪力, 增加结构内力, 影响支护体系的整体稳定性。基坑排水还会影响支护结构与土体之间的相互作用关系。降水引起的土体固结变形会改变支护结构与周围土体的接触应力状态, 可能导致支撑系统受力重分配。在深厚软土地层中, 由于土体渗透性差, 降水过程易造成支护结构背后形成负压区, 增加支护结构的受力不确定性。因此, 在支护结构设计和施工过程中, 需要通过设置合理的降水井布置, 采用分层降水技术, 并辅以完善的支护结构位移监测系统, 实时监控支护结构的变形状态和内力变化, 及时调整降水方案, 确保支护结构始终处于安全受力状态。

1.3 对周边建筑物沉降变形的影响

在深基坑排水过程中, 地下水位的变化会对周边

建筑物产生显著的沉降变形影响。基坑降水会在周边形成降落漏斗,导致建筑物地基土层的有效应力增加,引起地基应力状态改变。在软土地层中,这种应力变化会引起土体压缩变形,造成建筑物不均匀沉降。地下水位的急剧下降还可能引起土体结构重组,特别是在砂性土层中,容易发生土体结构性破坏,导致建筑物基础承载力降低,加剧建筑物的变形程度。深基坑排水引起的建筑物变形具有累积性和差异性特征^[2]。随着降水工程的持续进行,建筑物的沉降变形会逐步加大,且不同结构类型的建筑物表现出不同的变形敏感性。对于砖混结构建筑,由于整体性较差,容易出现墙体开裂;而对于框架结构建筑,则可能出现梁柱节点开裂、楼板变形等现象。因此,在深基坑排水过程中,需要建立完善的建筑物沉降观测网,采用水准测量、倾斜观测等手段,对周边建筑物的沉降、倾斜、裂缝等变形指标进行动态监测,并根据监测数据及时调整降水方案,确保周边建筑物的变形控制在允许范围内。

2 水利工程深基坑排水控制技术

2.1 地下水位监测与控制方法

地下水位监测与控制是深基坑排水工程的核心环节,需要通过科学的监测手段和控制方法确保基坑施工安全。在监测方面,主要采用自动化监测系统,包括水位观测井、孔隙水压力计、渗压计等专业监测设备,实时掌握基坑内外地下水位变化情况。监测点的布置需遵循“重点突出、统筹兼顾”的原则,在基坑周边、降水井附近、支护结构关键部位等重要区域设置监测点,形成完整的监测网络。同时,需要建立定期巡查制度,对监测设备进行维护保养,确保监测数据的准确性和连续性。地下水位控制方法主要包括降水井法、轻型井点法和管井法等。降水井法适用于渗透性较好的砂性土层,通过布设大口径深井,利用水泵抽排地下水,降水井的位置宜设置在坡顶或放坡平台处,距离坡脚不应小于0.5米。轻型井点法则适用于粉细砂层,通过真空泵系统进行降水;管井法适合深层承压水的控制,通过设置滤水管段进行降水。在实际应用中,往往需要根据地层条件和工程特点,采用多种降水方法相结合的综合降水系统,确保基坑底面水位控制在开挖面以下0.5~1.0米的安全范围内。地下水位控制过程中,需要建立动态反馈机制。通过实时监测数据分析,及时掌握地下水位变化趋势,调整降水参数。降水速率和水位降深的控制尤为关键,需要严格控制在设计允许范围内,避免过度降水引起地层失稳。基坑开挖接近地下水位时,应在基坑边线外侧开挖排水沟,沟底设置0.3%~0.5%的坡度,引导地下水有序

排出。同时,还需要建立完善的监测数据管理系统,对监测数据进行分析处理,绘制等水位线图和降水漏斗图,为降水方案的优化调整提供科学依据。在承压水影响显著的深基坑工程中,更需要结合地质勘察资料,制定针对性的监测方案,确保地下水位得到有效控制。

2.2 降水井系统布设与优化技术

降水井系统布设是深基坑排水工程的重要技术环节,其布置方案直接影响降水效果和工程安全。降水井的布设需要综合考虑地质条件、基坑规模和地下水特征等因素,通常采用环形布置方式,在基坑周边形成封闭的降水包络线。降水井的间距需要通过降水半径计算确定,在砂性土层中一般控制在8~12米,粉土层中则需要适当减小至5~8米。井深应超过基坑开挖面以下3~5米,确保形成有效的降水漏斗,防止基坑底部涌水。降水井系统优化设计需要重点关注井管结构和过滤层设置。井管结构包括固壁管和滤水管两部分,滤水管段长度应根据含水层厚度确定,一般不小于含水层厚度的2/3。过滤层采用级配砾石或砂砾,其粒径应与周围土体颗粒级配相适应,避免发生土体颗粒迁移。同时,降水井的成井质量控制至关重要,井壁垂直度偏差应控制在1%以内,孔径偏差不应超过10厘米,并需进行抽水试验验证井的出水能力。降水井系统运行过程中需要进行动态优化调整。通过监测各降水井的出水量和降深情况,及时发现局部降水不均匀现象。对于降水效果不理想的区域,可采取加密井距、增设辅助井点或调整抽水参数等措施^[3]。在承压水发育区域,还需要考虑设置观测井监测承压水位变化,必要时增设深层降水井,形成多层降水系统。降水井的维护保养同样重要,定期进行反冲洗作业,清除井管周围的淤积物,确保降水系统持续有效运行。

2.3 止水帷幕施工与防渗处理技术

止水帷幕施工与防渗处理是深基坑排水控制的重要技术手段,其主要目的是阻断地下水的渗流通道。高压旋喷注浆法是常用的止水帷幕施工方法,适用于淤泥、淤泥质土、流塑、软塑可塑粘性土、粉土、砂土等地层。帷幕施工时,旋喷桩需进入相对不透水层不少于1.5米,确保形成连续完整的止水体系。在布孔设计方面,通常采用双排或三排布孔方式,孔距应为旋喷桩直径的0.866倍,形成正三角形分布,以保证帷幕的连续性和止水效果。防渗处理技术的选择需要综合考虑地质条件和施工环境。当土层中含有大粒径块石、坚硬粘性土或大量植物根茎时,需要通过现场试验确定适用的防渗处理方案。地下连续墙法和高

压旋喷注浆法是两种主要的防渗处理技术,其中地下连续墙具有强度高、防渗效果好的特点,适用于深层止水;而高压旋喷注浆则具有施工灵活、适应性强的优势,特别适合复杂地层条件。竖向止水帷幕一般应穿过透水层进入粘性土层,当透水层厚度较小时,止水帷幕的设置相对简单且造价较低。止水帷幕施工质量控制是确保防渗效果的关键。施工过程中需要严格控制喷浆压力、提升速度和旋转速度等工艺参数,确保帷幕的均匀性和连续性。通过预降水过程中观测坑内外水位变化情况,可以有效检验帷幕的止水效果。

3 水利工程深基坑排水安全管理要点

3.1 排水系统运行监控与维护管理

排水系统运行监控与维护管理是确保深基坑施工安全的重要环节,需要建立完善的监控体系和管理制度。排水系统运行监控主要包括水泵运行状态监测、管网系统压力监测和排水量监测等方面。水泵运行监测需重点关注电机温度、振动频率和电流变化,并实时记录运行参数;管网系统压力监测通过压力传感器实时采集数据,确保管网压力始终保持在设计范围内;排水量监测则通过流量计和水位计等设备,掌握基坑排水情况,及时发现异常变化^[4]。同时,需要建立 24 小时值班制度,配备专业技术人员进行巡查,发现问题及时处理。排水系统的维护管理需要制定详细的检修计划和应急预案。定期对水泵、管道、阀门等设备进行检查和维护,重点检查设备磨损情况、管道接头密封性和排水沟淤积情况。水泵检修周期一般为每月一次,检查内容包括轴承润滑、机械密封和电机绝缘等;管网系统维护则需要每周进行一次系统性检查,及时更换损坏的管件和密封圈。

3.2 突发涌水应急处置与防范措施

深基坑突发涌水事故的应急处置需要建立快速响应机制和科学的处置流程。在发生涌水情况时,现场管理人员需立即启动应急预案,组织施工人员有序撤离危险区域,同时启动备用水泵系统增加排水能力。对于局部涌水点,可采用袋装砂石或膨润土等速凝材料进行封堵,必要时在涌水部位设置导流沟,引导涌水有序排出。涌水量较大时,需及时投入移动式应急水泵,并根据涌水情况调整降水井运行参数,加大排水强度。同时,需密切监测支护结构变形情况和周边建筑物沉降状况,防止涌水造成次生灾害。突发涌水的防范措施需要从源头抓起,做好施工前的地质勘察工作。通过详细的水文地质调查,准确掌握地下水分布特征和含水层情况,特别是对可能存在的承压水层、

岩溶发育区域等重点部位进行针对性勘察。在施工过程中,需要建立完善的监测预警系统,包括设置水位观测井、渗压计等监测设备,制定合理的预警指标。同时,在重点区域预先布设应急排水设备和防渗材料,配备足够数量的应急水泵和发电机组,定期开展应急演练,提高施工人员的应急处置能力。

3.3 施工现场排水安全保障体系建设

施工现场排水安全保障体系建设需要从组织架构、制度建设和技术保障等多个层面进行系统规划。在组织架构方面,需要成立专门的排水安全管理小组,明确各级人员职责分工,建立责任追究制度。安全管理小组应配备专业技术人员负责排水系统运行维护,设置 24 小时值班制度,确保发生突发情况时能够及时响应。同时,建立完善的安全检查制度,定期开展排水设施安全隐患排查,对排水沟、集水井、水泵房等重点部位进行巡查,做好检查记录和整改落实工作。技术保障方面需要建立健全监测预警系统和应急处置机制。在基坑周边布设完善的监测设备,包括水位观测井、沉降观测点和倾斜仪等,实时监控基坑及周边环境变化情况。配备足够数量的备用水泵和发电设备,确保在设备故障或停电情况下排水系统能够正常运行^[5]。制定详细的应急预案,明确各类突发事件的处置流程和应对措施,定期组织应急演练,提高施工人员的应急处置能力。

4 结束语

水利工程是基础设施建设的重要组成部分,在很多方面发挥着重要作用,对经济发展和社会进步具有重要意义。随着水利工程技术的不断发展,深基坑排水控制技术将向智能化、精细化方向迈进。通过物联网技术和大数据分析,实现排水系统的智能监控和预警;采用新型止水材料和防渗技术,提高基坑防渗效果;建立更加完善的安全保障体系,为工程建设保驾护航。

参考文献:

- [1] 李建勋. 水利工程深基坑施工质量的控制措施[J]. 产品可靠性报告, 2023(09):101-102.
- [2] 郭有为. 水利工程深基坑排水控制技术要点分析[J]. 吉林水利, 2023(02):42-45.
- [3] 轩敏超. 水利工程深基坑施工质量管理研究[J]. 河南水利与南水北调, 2021,50(03):64-65.
- [4] 祁源. 深基坑排水施工节水及生态保护措施[J]. 绿色科技, 2020(10):239-241.
- [5] 卜祥禹. 水利工程施工中深基坑施工技术的运用研究[J]. 中华建设, 2020(04):104-105.