

高层建筑深基坑降水对周边水文地质环境的扰动效应及控制技术

王利军

中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘查院

DOI:10.32629/btr.v8i8.4948

[摘要] 高层建筑深基坑降水作业对周边水文地质环境扰动显著,主要体现为地下水位下降引发地面沉降、土壤结构破坏与渗透性变化、地下水污染与生态破坏。地质条件、降水方案、施工工艺是影响扰动效应的关键因素。控制技术包括分层分段降水、支护结构优化、回灌、动态监测与信息化施工等。未来,新型材料、智能化技术将深度融入降水工程,绿色可持续理念也将引领降水技术发展方向,以实现工程建设与生态环境的和谐共生。

[关键词] 高层建筑; 深基坑降水; 水文地质环境; 扰动效应; 控制技术

中图分类号: TU463 文献标识码: A

Disturbance Effects and Control Technologies of Deep Foundation Pit Dewatering on Surrounding Hydrogeological Environment in High-Rise Buildings

Lijun Wang

Hydrogeological Engineering Geological Environmental Geological Exploration Institute of China Coal Geology Administration

[Abstract] Deep foundation pit dewatering operations in high-rise buildings cause significant disturbance to the surrounding hydrogeological environment, mainly manifested as ground settlement caused by groundwater level decline, soil structure damage and permeability changes, and groundwater pollution and ecological damage. Geological conditions, dewatering schemes, and construction techniques are key factors affecting disturbance effects. Control technologies include layered and sectional dewatering, support structure optimization, recharge, dynamic monitoring, and information-based construction. In the future, new materials and intelligent technologies will be deeply integrated into dewatering engineering, and the concept of green sustainability will also lead the development direction of dewatering technology to achieve harmonious coexistence between engineering construction and the ecological environment.

[Key words] high-rise building; deep foundation pit dewatering; hydrogeological environment; disturbance effect; control technology

引言

随着城市化进程加快,高层建筑不断涌现,深基坑工程日益增多。深基坑降水作为保障施工安全的关键环节,对周边水文地质环境产生了复杂扰动。地下水位变化、土壤结构改变、地下水污染及生态破坏等问题接踵而至,给周边建筑物、道路等基础设施安全及生态环境带来严重威胁。深入研究深基坑降水对周边水文地质环境的扰动效应,并研发有效的控制技术,已成为当前工程建设领域亟待解决的重要课题,对保障工程安全与生态环境稳定意义重大。

1 深基坑降水对周边水文地质环境的扰动效应

1.1 地下水位下降与地面沉降

深基坑降水作业主要依靠抽排地下水来降低坑内水位,这

一过程会在以降水井为核心的区域形成漏斗状的水位降深区。在砂卵石与粉质黏土相互交错的地质条件下,降水的影响范围较为广泛,影响半径通常能达到50-100米,进而造成周边地下水位出现显著下降。通过数值模拟能够清晰看到,降水引发的地面沉降呈现出“漏斗状”分布态势,沉降量与距离基坑的远近呈负相关关系。一般情况下,最大沉降往往出现在基坑边缘10-20米的范围内,对周边建筑物、道路等基础设施的安全稳定构成严重威胁。

1.2 土壤结构破坏与渗透性变化

在降水过程中,土体中的孔隙水不断排出,这会导致土壤的压缩性明显增加。特别是在松散土壤地区,降水引发的土体有效应力增大,极易引发土体位移或者局部沉降现象。例如,南京地

铁深基坑施工采用井点降水方式,就导致周边土体有效应力增加,地面沉降差超过3%,使得沥青混凝土面层出现了反射裂缝,严重影响了道路的使用性能。另外,降水还可能改变土壤的渗透性。对于高渗透性土壤而言,降水后容易积水,进而增加支护结构所承受的水压力;而低渗透性土壤则可能因排水不畅,在局部形成内涝,进一步加大支护结构的压力,给基坑施工安全带来诸多隐患^[1]。

1.3 地下水污染与生态破坏

降水过程中,基坑周边土壤中原本存在的污染物,如重金属、有机物等,可能会随着水流的运动进入地下水层,从而导致地下水水质恶化。以有些工业区附近的基坑工程为例,基坑附近土壤中若含有大量重金属或有机污染物,降水会促使这些污染物向下渗透,严重污染地下水,影响地下水的正常使用。此外,地下水位下降会直接改变植物根系的吸水条件,使得植物无法获取足够的水分,进而导致植被枯萎或死亡,破坏了原有的生态平衡。降水还可能对地表水体水质产生不良影响,在降水过程中,地表污染物可能被雨水冲刷带入水体,造成水体污染,破坏水生生物的生存环境,对整个生态系统的稳定造成严重冲击。

2 深基坑降水扰动效应的影响因素

2.1 地质条件

地质条件在深基坑降水扰动效应中扮演着举足轻重的角色,是影响其的关键因素。地层结构、岩土体的渗透性以及压缩性等参数,如同精密的调控器,直接决定着降水的影响范围与程度。以砂卵石地层为例,其颗粒较大、孔隙较多,渗透性强,降水时地下水能够快速流动,使得降水影响半径较大,周边地下水位下降明显,进而导致地面沉降更为显著。而在黏性土地层中,由于土颗粒细小、孔隙小,渗透性差,降水影响半径相对较小。但黏性土固结时间长,在降水后土体内部水分缓慢排出,长期沉降风险较高,可能对周边建筑物造成持续性的损害。此外,地下水的流向与流速也不容忽视,在流向不稳定或流速较大的区域,基坑渗水现象会更加严重,增加了支护结构承受的水压力,可能引发支护结构变形甚至破坏,威胁基坑施工安全。

2.2 降水方案

降水方案的设计参数犹如深基坑降水工程的“指挥棒”,对扰动效应有着显著影响。降水井布置方式、降水强度以及运行时间等参数的合理与否,直接关系到降水效果与环境效应。例如,降水井间距设置过小,会导致各井之间的降水影响相互叠加,使得水位降深过大,进而增加地面沉降风险,对周边建筑物和地下管线造成破坏。降水强度过高时,强大的抽吸力可能引发土体流失,使基坑周边土体出现空洞,导致基坑失稳,引发安全事故。降水时间的选择也至关重要,在雨季降水,雨水会补充地下水,增加降水难度和影响范围;而在建筑物使用高峰期降水,可能会加剧对周边环境的影响,如引起周边建筑物沉降、道路开裂等,因此需避开这些敏感时段,确保降水工程的安全与环保。

2.3 施工工艺

施工工艺水平是深基坑降水工程中影响降水效果与环境效应的重要因素,其质量高低直接决定了降水工程能否顺利进行以及是否会对周边环境造成不良影响。成井质量、洗井效果以及降水设备运行状况等都是关键环节。在成井过程中,如果孔壁坍塌,会导致滤管堵塞,使得地下水无法顺利进入井内,降低出水量,影响降水效果。洗井不彻底会残留泥浆等杂质,这些杂质会附着在滤管表面,影响水井的透水性,导致降水效率低下。降水设备在运行过程中如果出现故障,如水泵损坏、电路故障等,会导致水位控制不稳定,时而水位过高,可能引发基坑渗水;时而水位过低,会增加地面沉降风险,引发一系列环境问题^[2]。因此,提高施工工艺水平,确保各环节质量,对于控制降水扰动效应至关重要。

3 深基坑降水扰动效应的控制技术

3.1 分层分段降水技术

分层分段降水凭借对降水深度与影响范围的精准把控,能够有效削弱降水作业对周边环境的不利影响。基坑开挖作业开展期间,核心采用“按需降水”的核心策略,结合开挖进度逐步下调地下水位,杜绝因一次性大幅降水引发地面沉降问题。在软土地基分布区域,一次性降水幅度若突破3米,周边土体有效应力会急剧攀升,极易造成地面出现明显的沉降裂缝。分层分段降水模式则可结合不同开挖阶段的实际需求,将地下水位调控至合理深度,比如首层开挖作业时,将水位控制在基底以下0.5—1米,后续每完成一层开挖,再对应调整水位高度。与此同时,设置减压井与回灌井协同调控地下水位,是该技术发挥作用的关键环节。这种协同调控模式,既满足了基坑开挖所需的降水要求,又有效维持了周边地下水位的稳定状态,大幅减轻降水作业对周边环境的扰动程度。

3.2 支护结构优化技术

控制降水作业引发的环境扰动,支护结构的刚度与整体稳定性起着决定性作用。选用钢支撑、地下连续墙等刚性支护形式,能够有效限制土体位移,减少地面沉降现象的发生。其中,钢支撑具备高强度、高刚度的特点,可快速提供支护反力,在基坑开挖全过程中有效约束土体变形,避免变形扩散。上海某深基坑工程施工期间,通过增设两道预应力锚索,显著提升了支护结构的整体稳定性,将支护结构水平位移严格控制在25毫米以内,周边建筑物沉降量也降至8毫米以下,有效规避了安全隐患。除此之外,在基坑与周边建筑物之间设置隔断桩或隔断墙,可有效切断土体变形的传播路径,为周边环境提供可靠保护。这类隔断设施如同一道坚固屏障,能够阻挡基坑开挖引发的土体变形向周边建筑物传递。以上海外滩源项目为例,施工单位对区域内11栋历史建筑实施锚杆静压桩加固处理,同时在基坑与历史建筑之间设置800毫米厚的地下连续墙隔离带,成功阻断了变形传播,使历史建筑最大沉降量仅为6.3毫米,为历史建筑保护提供了坚实的技术保障。

3.3 回灌技术

作为缓解降水沉降的有效技术,回灌技术通过向地下水含水层补充水分、恢复土壤湿度,可显著减少降水作业引发的地面沉降问题。其核心应用方式为,在降水井与周边建筑物之间合理布设回灌井,通过持续回灌作业,使降水井点的影响半径控制在回灌井点覆盖范围内,防止地下水过度流失导致的环境扰动。值得注意的是,回灌水应优先选用清水,避免水中含有的杂质堵塞井点,进而影响回灌效果与降水作业的正常开展。回灌水量与回灌压力的确定,需通过科学计算得出,重点考虑土体渗透性、降水强度等核心影响因素,确保回灌效果达标。同时,通过布设观测井实时监测地下水位变化,依据监测数据及时调整回灌参数,可进一步保障回灌技术的应用效果^[3]。

3.4 动态监测与信息化施工技术

动态监测作为深基坑降水扰动控制的重要支撑手段,核心通过在基坑内外合理布设水位观测井、沉降监测点及位移监测点,实现对地下水位、地面沉降、支护结构变形等关键参数的实时监测,全面掌握降水作业对周边环境的影响情况。借助长期积累的监测数据,能够精准掌握降水作业对周边环境的影响规律,为施工方案的调整优化提供科学、可靠的依据。监测过程中,若发现地下水位降深未达到预期标准,或出现异常回升现象,需立即排查原因,重点检查井点是否堵塞、回灌效果是否达标等问题,并采取针对性调整措施,避免扰动效应扩大。施工人员可依据实时监测数据,灵活调整降水方案、支护结构参数等,确保施工安全与环境质量达标。信息化施工技术的应用,有效提升深基坑降水施工管理的精细化水平,使降水工程施工更加科学、合理、安全,进一步降低了扰动风险。

4 深基坑降水扰动效应控制技术的创新发展与展望

4.1 新型材料在降水控制中的应用前景

随着材料科学的不断进步,新型材料在深基坑降水扰动效应控制中展现出巨大潜力。例如,高性能的透水混凝土材料,具有优异的透水性能和强度。在降水井的建造中,使用这种透水混凝土制作滤管,能有效提高透水效率,减少泥沙堵塞,保证降水作业的持续稳定进行。另外,纳米材料在土壤改良方面也有广阔应用空间。将纳米材料添加到土壤中,可改变土壤的微观结构,增强土壤的稳定性和抗压缩性。在降水过程中,能有效减少因土壤压缩导致的地面沉降问题。而且纳米材料还可用于处理地下水中的污染物,通过吸附、催化等作用,降低污染物浓度,改善地下水水质,减少降水对生态环境的不利影响。

4.2 智能化技术在降水工程中的深度融合

智能化技术正逐渐成为深基坑降水工程发展的重要趋势。

借助物联网技术,可在降水井、支护结构以及周边关键位置布置大量传感器,实时采集地下水位、土体应力、支护结构变形等数据,并将这些数据传输至云端平台。通过大数据分析和人工智能算法,对这些数据进行深度挖掘和分析,提前预测降水可能引发的扰动效应,为施工决策提供精准依据。智能化控制系统可实现对降水设备的远程监控和自动调节。根据实时监测数据,自动调整降水强度、回灌水量等参数,确保降水过程始终处于最佳状态。例如,当监测到地下水位下降过快时,系统自动降低降水设备的运行功率,减少抽水量;当发现支护结构变形异常时,及时发出预警并调整支护参数,保障施工安全。

4.3 绿色可持续理念引领降水技术发展方向

在环保意识日益增强的今天,绿色可持续理念已成为深基坑降水技术发展的重要指引。未来的降水工程将更加注重资源的循环利用和生态环境的保护。例如,在降水过程中,收集的地下水经过处理后可用于施工现场的洒水降尘、混凝土养护等,实现水资源的循环利用,减少对城市供水系统的依赖。另外,降水方案的设计将充分考虑对周边环境的影响,尽量减少对地下水和地表水体的扰动。采用生态友好的降水技术和材料,降低施工过程中的噪音、粉尘等污染。同时,加强对降水区域的生态修复工作,在施工结束后及时恢复植被,重建生态平衡,实现工程建设与生态环境的和谐共生。

5 结束语

高层建筑深基坑降水对周边水文地质环境的扰动效应不容忽视,其控制技术的研究与应用至关重要。当前,分层分段降水、支护结构优化等技术已取得一定成效,但随着工程需求提升,仍需不断创新。新型材料为降水控制带来新契机,智能化技术助力施工精准决策,绿色可持续理念引领发展方向。

[参考文献]

- [1] 闫保卫. 高层建筑深基坑施工研究[J]. 房地产导刊, 2023(6): 128-129, 132.
- [2] 吴蓉. 复杂环境下富水地层深基坑降水试验研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(2): 13-16.
- [3] 李洪运. 磁浮线保护区深基坑降水技术研究[J]. 地基处理, 2025, 7(2): 177-184.

作者简介:

王利军(1976--),男,汉族,河北邯郸人,本科,高级工程师,现任职中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘察院,职务:副院长,主要研究方向为:水文地质、工程地质、环境地质等领域。