

# 建筑工程中基坑降水对周边地表沉降的影响

胡瑞云

鄂托克前旗政府投资项目代建中心 内蒙古 鄂尔多斯 016200

**摘要:** 随着城市地下空间开发的不断深入,深基坑工程日益增多。在地下水位较高的地区,基坑开挖前通常需进行降水作业以保障施工安全与基底干燥。然而,基坑降水会改变原有地下水渗流场,引起土体有效应力增加,进而导致周边地表发生不同程度的沉降,严重时可能危及邻近建(构)筑物、地下管线及道路的安全。本文系统分析了基坑降水诱发地表沉降的物理机制,探讨了影响沉降量的关键因素,综述了当前常用的沉降预测方法,并在此基础上,提出了针对性的沉降控制与风险防控措施。研究成果可为深基坑降水设计与施工提供理论支撑和实践指导,对保障城市地下工程建设安全具有重要意义。

**关键词:** 基坑降水;地表沉降;渗流-固结耦合;沉降预测;环境保护;风险控制

## 引言

近年来,随着我国城镇化进程加速和土地资源日益紧张,高层建筑、地铁车站、地下商业综合体等大型地下工程不断涌现。这些工程往往需要开挖深度超过10米甚至20米以上的深基坑。在软土、砂土或高水位地区,地下水的存在不仅增加了基坑支护结构的侧向水压力,还可能导致基底隆起、管涌、流砂等工程灾害。因此,基坑降水成为确保施工安全与顺利进行的关键技术环节。基坑降水主要通过是在基坑周围布设降水井(如管井、轻型井点、真空井点等),将地下水位降至开挖面以下一定深度。然而,这一过程不可避免地改变了区域地下水的天然渗流场,形成以基坑为中心的降落漏斗。地下水位下降导致土体孔隙水压力降低,有效应力相应增大,在土体压缩性和渗透性的作用下,引发土层固结变形,最终表现为地表沉降。尤其在城市密集建成区,周边存在大量既有建筑、重要基础设施和地下管网,微小的地表沉降也可能造成不可逆的损害,如墙体开裂、管道破裂、轨道变形等。因此,深入研究基坑降水对周边地表沉降的影响机理、量化预测方法及有效控制策略,已成为岩土工程领域的重要课题。

## 1 基坑降水诱发地表沉降的机理分析

### 1.1 渗流场变化与有效应力原理

根据Terzaghi有效应力原理,土体中的总应力 $\sigma$ 由有效应力 $\sigma'$ 和孔隙水压力 $u$ 共同承担,即:

$$\sigma = \sigma' + u$$

在天然状态下,地下水位稳定,土体处于平衡状态。当基坑开始降水后,降水井抽水导致周边含水层水位下降,孔隙水压力显著减小。由于上覆土层自重(总应力)基本不变,有效应力必然增大。有效应力的增加促使土

颗粒骨架进一步压缩,土体发生固结变形。

### 1.2 土体固结与沉降过程

对于饱和黏性土,其固结过程遵循Terzaghi一维固结理论。降水引起的超静孔隙水压力消散需要时间,沉降呈现时间依赖性。而对于砂性土等高渗透性地层,孔隙水压力消散迅速,沉降几乎即时发生,主要表现为弹性或弹塑性变形<sup>[1]</sup>。在三维空间中,基坑降水形成的降落漏斗呈漏斗状分布,其影响范围通常可达基坑开挖深度的1~3倍。沉降曲线一般呈“盆形”或“碗形”,最大沉降位于基坑边缘附近,随距离增加而逐渐衰减。

### 1.3 渗流-固结耦合作用

实际工程中,地下水渗流与土体变形相互影响,构成复杂的渗流-固结耦合问题。降水引起的水力梯度变化驱动水流,水流又改变孔隙水压力分布,进而影响有效应力和土体变形;而土体变形又反过来改变渗透系数和孔隙率,影响渗流路径。这种双向耦合作用使得沉降预测更为复杂,需借助数值模拟手段进行精确分析。

## 2 影响地表沉降的主要因素

### 2.1 地质与水文地质条件

地质与水文地质条件是决定基坑降水引发地表沉降程度的基础性因素。不同类型的土层在水位变化下的响应特性差异显著。例如,饱和软黏土具有高压缩性与低渗透性,虽然孔隙水压力消散缓慢,但长期固结变形累积量大,易造成持续性沉降;而粉细砂层虽压缩模量较高,但由于渗透性强,水位骤降可迅速引发土体有效应力突增,导致短时间内产生可观的沉降。若地层中存在淤泥质夹层或有机质土等软弱层,则在降水引起的附加应力作用下极易发生不均匀压缩,进而诱发差异沉降,对邻近结构构成更大威胁。此外,含水层的厚度、给水

度以及是否存在连续稳定的隔水层,也深刻影响降水的影响深度与范围。当基底下伏有完整隔水层时,降水作用被限制在浅部含水层内,深层土体不受扰动,整体沉降量较小;反之,若为多层含水系统且层间存在越流通道,则降水可能引发多个含水层同步疏干,导致沉降叠加效应,显著放大环境风险。

## 2.2 降水方案参数

降水方案的具体设计参数直接决定了地下水位降落漏斗的形态与强度,从而对地表沉降产生决定性影响。降水深度越大,意味着目标含水层水位降幅越大,土体有效应力增量越高,沉降自然更为显著。降水井的布置密度、深度及滤管长度共同决定了降水的均匀性与效率。若井距过大,局部区域可能因抽水不足而形成渗流集中带,导致该处水力梯度陡增,加剧局部沉降;而井距过密虽能提升降水均匀性,却可能因过度抽水扩大影响半径,波及更广区域。此外,抽水速率与持续时间亦不可忽视<sup>[2]</sup>。高强度、长时间的连续抽水会使降落漏斗不断扩展并趋于稳定,沉降随之持续累积,尤其在邻近敏感设施区域,可能突破安全阈值。因此,合理的降水方案应在满足施工干作业要求的前提下,尽可能减小抽水量与影响范围,实现“精准降水”。

## 2.3 基坑几何与支护结构

基坑的几何尺寸与形状对其周边沉降分布模式具有显著影响。大型或狭长形基坑由于影响范围广,沉降分布往往呈现非对称性,角部区域因应力集中效应更易出现较大变形。而支护结构的形式及其止水性能则直接决定了坑内外水力联系的强弱。采用地下连续墙、TRD水泥土搅拌墙或SMW工法桩等具备良好隔水功能的围护体系,可有效阻断外部地下水向基坑内的渗流路径,将降水影响限制在坑内或极小范围的坑外区域,从而大幅抑制地表沉降。相反,若采用普通排桩且未设置有效止水帷幕,或地下连续墙接缝处理不当存在渗漏通道,则坑外地下水将持续补给基坑,导致大范围水位下降,沉降问题将显著加剧。因此,支护结构不仅是承载体系,更是控制环境影响的关键屏障。

## 2.4 周边环境敏感性

即使地表沉降的绝对值较小,其后果的严重性仍高度依赖于周边环境的敏感程度。邻近建(构)筑物的基础形式、结构类型、使用年限及既有损伤状况,均影响其对沉降的容忍能力。例如,采用浅基础的老旧砖混结构对不均匀沉降极为敏感,毫米级的差异沉降即可引发墙体开裂;而深基础或桩基础结构则相对稳健。地下管线的材质与接口形式亦至关重要,铸铁管或混凝土管因刚性

大、延性差,在沉降作用下易发生断裂,而高密度聚乙烯(HDPE)等柔性管材则具备较好适应变形的能力<sup>[3]</sup>。此外,地铁隧道、精密仪器厂房、历史保护建筑等特殊设施对变形控制要求极高,往往需制定严于常规的沉降控制标准。因此,在评估降水风险时,必须结合具体环境对象的脆弱性,实施差异化、精细化的风险管理策略。

## 3 地表沉降预测方法

### 3.1 经验公式法

基于大量工程实测数据,学者们提出了若干经验关系式。其中最具有代表性的是:

(1) 沉降与水位降深关系:

$$S = \alpha \cdot \Delta h$$

其中,S为地表沉降量, $\Delta h$ 为对应位置的水位降深, $\alpha$ 为沉降系数(通常取0.1~0.5,黏土取高值,砂土取低值)。

(2) Peck公式修正:

虽然Peck公式原用于开挖引起的沉降,但有研究将其扩展至降水沉降,假设沉降槽呈高斯分布:

$$S(x) = S_{\max} \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right)$$

其中,x为距基坑中心的距离,i为沉降槽宽度参数,与土质和基坑深度相关。

经验公式简单实用,适用于初步估算,但难以反映复杂边界条件和土层非均质性。

### 3.2 解析解法

基于Biot固结理论或简化的一维/二维模型,可推导出特定条件下的解析解。例如,Hantush(1964)提出的非稳定流井函数可用于计算单井抽水引起的水位降深,再结合分层总和法计算沉降:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{C_{c,i}}{1 + e_{0,i}} H_i \log\left(\frac{\sigma_{0,i}' + \Delta\sigma_i'}{\sigma_{0,i}'}\right)$$

其中, $C_{c,i}$ 为第*i*层土的压缩指数, $e_{0,i}$ 为初始孔隙比, $H_i$ 为土层厚度, $\Delta\sigma_i'$ 为有效应力增量(由水位下降换算)。

解析法物理意义明确,但仅适用于理想化地层(均质、各向同性、无限延伸等),工程适用性有限。

### 3.3 数值模拟法

随着计算技术的发展,有限元(FEM)和有限差分(FDM)方法成为主流预测工具。常用软件如PLAXIS、MIDASGTS、ABAQUS等,可建立考虑渗流-应力耦合的三维模型。建模步骤通常包括:建立几何模型,定义土层、基坑、支护结构;设置材料本构模型(如Mohr-Coulomb、HardeningSoil);定义水文边界条件(初始水位、降水井流量);进行稳态或瞬态渗流分析,获取孔隙水压力场;耦合固结分析,计算位移场。当然,数值模拟的可靠性高

度依赖于输入参数的准确性与本构模型的适用性,因此在实际应用中常需结合现场监测数据进行反演校正,实现“预测—监测—反馈—优化”的闭环管理,从而为动态设计与风险控制提供科学依据。

#### 4 地表沉降控制与风险防控措施

##### 4.1 优化降水设计方案

优化降水设计是控制沉降的源头措施。这要求在详尽水文地质勘察的基础上,精准识别含水层分布与水力联系,避免“一刀切”式降水。可考虑实施分区、分阶段降水策略,根据基坑不同区域的开挖进度与支护状态,动态调整抽水强度与范围,从而减少不必要的水位扰动。对于环境敏感区域,应积极推广回灌技术,在基坑外围设置回灌井,将部分抽出的地下水经简单处理后回注至目标含水层,以维持坑外水位相对稳定<sup>[4]</sup>。同时,优先选用具备优异止水性能 of 的支护形式,如地下连续墙、TRD水泥土搅拌墙等,从源头上切断坑内外水力通道,是控制沉降最有效的结构性措施。

##### 4.2 加强监测与信息化施工

必须强化全过程监测与信息化施工管理。应建立涵盖地表沉降、深层水平位移、地下水位、支护结构内力等多参数的自动化监测网络,设定科学合理的预警阈值(如累计沉降超过30毫米或日变形速率大于2毫米/天)。通过实时数据采集与智能分析平台,实现对降水—变形响应的动态感知,并据此及时调整降水方案,做到“以测控降、以控保安”,将风险控制在萌芽状态。

##### 4.3 邻近建构筑物保护

针对邻近重要建构筑物,应提前制定专项保护方案。可通过微型桩托换、注浆加固等方式增强既有结构的基础刚度与整体性;或在保护对象与基坑之间设置隔离桩、地下连续墙等物理屏障,阻断沉降影响的传递路径。对于地下管线,可视情况采取悬吊保护、增设柔性接头或临时改迁等措施,提升其适应变形的能力,确保城市生命线工程安全运行。

##### 4.4 推广绿色降水理念

长远来看,应倡导绿色、可持续的“最小干预”降水理念。在条件允许时,优先采用明排、集水井等非主动降水方式;在必须降水的情况下,应精确计算所需降水深度,避免过度疏干;同时,对抽出的地下水进行沉淀、过滤后用于工地降尘、混凝土养护或绿化灌溉,实现水资源的循环利用,体现工程建设的生态责任与可持续发展导向。

#### 5 结语

基坑降水作为深基坑施工不可或缺的技术手段,在保障工程安全的同时,亦对周边环境构成潜在威胁。本文系统阐述了降水诱发地表沉降的物理本质——即水位下降引起有效应力增加,进而驱动土体固结变形。研究表明,沉降量受地质条件、降水参数、支护性能及环境敏感性等多重因素交织影响,其预测需结合经验、解析与数值方法,并以现场监测为校验依据。展望未来,基坑降水沉降研究应向更高精度、更智能化方向发展。一方面,需深化对多层含水系统中越流-固结耦合机制的理解,提升复杂水文地质条件下沉降模拟的真实性;另一方面,可探索融合大数据与机器学习技术的智能预测模型,实现基于历史工程库的沉降趋势快速推演。更重要的是,应大力研发低碳、低扰动的新型降水技术,朝着“零沉降”或“微扰动”目标迈进,推动城市地下空间开发与生态环境保护的和谐共生。

#### 参考文献

- [1]鲍广涛.深基坑井点降水回灌对周边土体变形影响规律研究[D].山东科技大学,2023.
- [2]李飏,杨喜林,赵国光.某基坑开挖及降水施工对周边房屋安全性的影响分析[J].工程质量,2025,43(10):68-71.
- [3]乔大宽,王鹏,马俊杰,等.临江砂壤土基坑降水与开挖对周边地层变形的影响研究[J].江淮水利科技,2025,(03):37-41.
- [4]闫会良,李杨,王荣兴,等.深基坑降水对周边土体和建筑物的影响及控制策略[J].中国建筑装饰装修,2025,(08):154-156.