

# 岩土工程中基坑降水引发地面沉降控制研究

何江 331082199009116935

**摘要：**在城市岩土工程施工过程中，基坑降水是保障地下作业顺利开展的常用技术手段，但降水过程中引发的地面沉降会对周边建筑、地下管线及市政设施造成安全威胁。本文从基坑降水引发地面沉降的作用机理出发，分析了水位降速、地层压缩特性、降水深度等关键影响因素，梳理了当前工程领域常用的沉降控制技术路径，结合实际工程需求提出了分级降水、回灌补压结合帷幕隔水的联合控制方案，研究结果可为城市密集区基坑工程的沉降防控提供技术参考。

**关键词：**岩土工程；基坑降水；地面沉降；沉降控制

随着我国城镇化建设的快速推进，城市地下空间开发规模不断扩大，深大基坑工程数量逐年增长。在富水地层开展基坑施工时，为了保障坑壁稳定、消除地下水渗透破坏风险，通常需要通过降水作业将基坑内地下水位降至基坑开挖面以下，然而大面积、大幅度的降水会改变原有的地层应力平衡，引发土体固结压缩，进而产生区域性地面沉降。近年来多个城市基坑工程因降水控制不当，出现周边道路开裂、建筑倾斜、地下管线断裂等安全事故，造成了严重的经济损失和社会影响，因此探究基坑降水引发地面沉降的控制方法，对保障城市工程施工安全具有重要意义。

## 一、基坑降水引发地面沉降的作用机理

基坑降水引发地面沉降的核心机理是有效应力原理，天然状态下的含水地层中，土体颗粒骨架承受的有效应力与孔隙水压力之和等于上覆土层的总应力，三者保持平衡状态。当开展基坑降水作业时，基坑内外地下水位逐渐下降，原有的水位差会引发地下水向基坑方向渗流，孔隙水压力随之降低，在总应力保持不变的前提下，孔隙水压力降低产生的应力差会转移到土体颗粒骨架上，导致有效应力增大，土体颗粒发生压缩变形，宏观上表现为地面沉降。

从变形发展过程来看，沉降可以分为两个阶段：第一阶段是降水初期的瞬时沉降，该阶段主要是孔隙水快速排出引发的土体骨架弹性变形，沉降发展速度较快；第二阶段是降水后的固结沉降，由于粘性土体渗透性较低，孔隙水压力消散速度慢，固结过程会持续较长时间，沉降会逐步发展，甚至在降水停止后仍然会持续数月。对于多层复合地层，透水层水位下降后会通过越流作用影响相邻隔水层的孔隙水压力，引发隔水层的滞后固结沉降，这也是很多基坑周边沉降在施工

结束后仍然持续发展的主要原因。

## 二、基坑降水引发地面沉降的主要影响因素

### 2.1 地层地质条件

不同土体的压缩特性差异直接决定了沉降规模，松散的粉土、粉质粘土层压缩性高，水位下降后产生的压缩变形量更大，而密实的砂卵石层压缩性低，产生的沉降量相对较小。此外，地层的渗透性也会影响沉降发展速度，渗透性好的地层中孔隙水压力消散快，沉降发展速度快，反之粘性地层沉降发展滞后性明显。

### 2.2 降水参数设置

降水深度、降水速度与降水范围是影响沉降的核心参数，降水深度越大，地下水位下降幅度越大，孔隙水压力降低值越大，有效应力增量也就越大，最终产生的地面沉降量也就越大。而降水速度过快会导致地层中水力梯度骤然增大，引发土体渗透变形，同时短时间内孔隙水压力大幅下降，容易产生不均匀沉降。此外，降水范围越大，受影响的土体体积越大，整体沉降规模也就越大。

### 2.3 隔水帷幕性能

很多工程中会设置隔水帷幕阻断基坑内外的水力联系，减少基坑外地下水位的下降幅度，从而控制地面沉降。如果隔水帷幕存在接缝渗漏、深度不足等缺陷，基坑外地下水会大量流入基坑，导致坑外水位异常下降，进而引发更大规模的地面沉降，因此隔水帷幕的施工质量直接关系到沉降控制效果。

## 三、基坑降水引发地面沉降的常用控制技术

### 3.1 优化降水方案控制沉降

优化降水方案是从源头上控制沉降的基础措施，首先可采用分级降水技术，根据开挖进度分阶段降低地下水位，避免一次性大幅降水引发应力突变，控制土体固结变形速度，减少不均匀沉降的产生。其次可调整降水井布置位置，将降水井布置在基坑内部，减少对坑外地下水的影响，同时结合坑内抽水、坑外水位监测的方式，动态调整抽水量，将坑外水位下降幅度控制在允许范围内。

### 3.2 隔水帷幕阻隔技术

设置隔水帷幕是阻断基坑内外水力联系，减少坑外水位下降的核心技术，目

前常用的隔水帷幕包括地下连续墙、咬合灌注桩、水泥土搅拌桩帷幕等，其中地下连续墙整体性好、隔水性能优异，适用于深度较大的深基坑工程，而水泥土搅拌桩帷幕成本较低，适用于中等深度的基坑工程。隔水帷幕的设计深度需要穿透主要透水层，进入下卧隔水层一定深度，避免降水过程中帷幕底部发生绕流，导致坑外水位下降。同时施工过程中需要严格控制帷幕施工质量，避免出现咬合不足、接缝渗漏等问题，保障隔水效果。

### 3.3 地下水回灌补压技术

地下水回灌是主动控制地面沉降的有效技术，当坑外地下水位下降超出预警值时，通过在基坑外侧设置回灌井，将地下水注入受影响地层，恢复孔隙水压力，减少有效应力增量，从而控制土体压缩变形。回灌技术需要根据坑外水位下降范围布置回灌井，回灌压力需要根据地层孔隙水压力设定，避免回灌压力过大引发地层隆起，同时需要动态调整回灌量，维持坑外水位稳定在允许范围内。回灌技术通常与隔水帷幕配合使用，在帷幕外侧设置回灌带，形成“帷幕阻隔+回灌补压”的双层防控体系，沉降控制效果更为显著。

## 四、工程应用与效果分析

某城市中心区深基坑工程，基坑开挖深度 12.5m，场地地层自上而下依次为人工填土、粉质粘土、粉土、中粗砂，地下水埋深 2.1m，周边距离基坑 30m 范围内存在多栋既有居民建筑，地下管线密集，对地面沉降控制要求较高，允许沉降量为 20mm。工程采用“地下连续墙帷幕+坑内分级降水+坑外回灌”的联合控制方案，地下连续墙深度 18m，进入下卧粉质粘土层 3m，完全阻断了坑内外主要透水层的水力联系；降水作业分为三个阶段，对应三次开挖进度，每阶段水位下降幅度控制在 4m 以内，降水速度控制在 0.5m/d；坑外沿基坑边线每隔 15m 设置一口回灌井，实时监测坑外水位，当水位下降超过 1m 时自动启动回灌。工程施工全过程监测结果显示，坑外最大地面沉降量为 13.2mm，不均匀沉降差小于 5mm，满足周边建筑与管线的安全控制要求，未出现开裂、倾斜等安全问题，说明联合控制方案对降水引发的地面沉降具有良好的控制效果。

## 五、结语

基坑降水引发的地面沉降是岩土工程领域常见的工程问题，其产生的根源是水位下降引发的孔隙水压力降低与有效应力增大，沉降规模受到地层条件、降水参数、帷幕性能等多重因素的共同影响。在城市密集区基坑工程中，单一的沉降控制技术往往难以满足严格的沉降控制要求，采用优化降水方案、设置隔水帷幕、配合回灌补压的联合控制体系，能够从源头上减少水位下降幅度，维持地层应力

平衡，有效将沉降控制在允许范围内。未来随着城市地下空间开发向更深方向发展，还需要进一步完善动态降水与智能化回灌技术，提升沉降控制的精准性，保障基坑工程施工安全。

## 参考文献

- [1] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [2] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [3] 王卫东, 吴江斌, 翁其平. 深基坑降水引起的周边地面沉降计算与控制[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(10): 1462-1468.