

# 深基坑施工过程中变形控制技术优化研究

朱凤海

北京鑫大禹水利建筑工程有限公司，北京，101300；

**摘要：**深基坑施工需开挖至地下较深区域，易扰动周边土体结构与地下水位，引发基坑边坡坍塌、围护结构位移及周边建筑沉降等变形问题，直接威胁施工安全与周边环境稳定。变形控制技术是保障深基坑施工安全的核心，通过优化现有技术，可提升变形管控的精准性与时效性，减少变形风险。本文从深基坑施工对变形控制的核心需求出发，分析施工中变形产生的关键诱因，梳理变形控制技术的优化方向，进而提出技术优化落地的保障要点，为提升深基坑施工安全水平提供支撑。

**关键词：**深基坑；施工过程；变形控制技术；技术优化；施工安全

**DOI：**10.64216/3080-1508.26.01.016

## 引言

深基坑在建筑、市政等工程里用得很多，施工时要挖透表层土，往地下挖出又深又宽的空间。这个过程会打破原本土壤的受力平衡，让钢板桩、排桩这类围护结构受力变形，基坑边坡的土也容易因为稳不住而坍塌。以前的变形控制技术，大多只用一种防护方法，或者没跟着施工进度调整管控办法，容易出现控制不准、反应慢的问题，对付不了复杂地质条件下的变形风险。所以，优化深基坑施工的变形控制技术，让技术更适配不同情况、管控效果更好，就成了保障施工安全和周边环境稳定的重要工作。

## 1 深基坑施工过程中变形产生的关键诱因

深基坑变形是地质条件、施工操作、环境因素一起影响的结果，核心原因主要有三个，这三个原因直接决定了变形控制技术该往哪个方向优化。

### 1.1 土体应力失衡与结构破坏

具体来说，它会分三个阶段慢慢加重变形风险：第一阶段，坑内外受力不一样，让围护结构开始变形。挖深基坑之前，地下的土壤处于受力平衡状态，土壤的横向力、竖向力相互抵消，不会出现变形；开始开挖后，坑里面的土被慢慢挖走，土壤对围护结构的横向支撑力就没了，但坑外面土壤的横向力没变，这样一来，围护结构两边就出现了明显的受力差。在这个受力差的持续作用下，围护结构会往坑里面挪，挪的距离会随着开挖深度增加而变大——比如开挖深度从3米挖到6米，围护结构可能会从挪5毫米变成挪15毫米，只要挪的距离在安全范围内（一般是20到30毫米，具体要看地质情况），只是刚开始的小变形，风险还能控制。第二阶

段，围护结构承受不住压力，变形变大还会损坏。如果围护结构的设计和施工没考虑到坑内外的受力差，承受不了压力，变形就会进一步变大：一是围护结构不够结实，比如选的钢板桩太薄、排桩之间的距离太宽，挡不住坑外土壤的横向力，会被压得往坑内挪很多，甚至弯掉；二是围护结构埋进地下的深度不够，比如钢板桩、排桩埋深只到开挖深度的1.2倍（规范要求软土地区要埋到1.5到2倍），没办法靠地下深层土壤的摩擦力平衡上面的压力，底部也会往坑内挪，导致整个围护结构倾斜；要是受力差一直超过围护结构的承受极限，结构就会裂开，比如排桩之间的止水层裂了、钢板桩因为弯曲导致焊接的地方裂开，之后可能会漏水，还会让变形更严重。第三阶段，土壤结构被破坏，边坡稳不住会坍塌。挖深基坑时，挖掘机的铲斗碰到土壤、履带压过土壤，都会直接撞乱基坑边坡的土，破坏土壤原本的颗粒结构——比如砂质土的颗粒本来就粘得不紧，撞乱后颗粒间的空隙变大，抵抗滑动的能力会从15千帕降到8千帕以下；黏质土被撞乱后会变“软”，抵抗滑动的能力也会大幅下降。如果边坡土里有淤泥层、粉土层这类比较软的夹层，抵抗滑动的能力更差，在坑外土壤的横向力和自身重量作用下，边坡的土会沿着这个软夹层慢慢滑，先出现小范围的坍塌，要是没及时制止，坍塌范围会越来越大，最后整个边坡都塌了，引发严重的安全事故。

### 1.2 地下水位变化与水力作用

通过三种常见情况引发变形，每种情况都会直接加重深基坑的问题：第一种情况，施工抽水形成水位差，导致周边土壤下沉、边坡出现渗透变形。深基坑施工要

保证坑里面没有水，方便干活，所以大多要抽水（比如装井点抽水设备），把坑内水位降到开挖面以下 0.5 到 1 米。这个过程会让坑内外的水位差变得很明显——比如坑内水位降到地下 6 米，坑外水位还在地下 2 米，两者差了 4 米，在这个水位差的作用下，坑外的地下水会往坑内流。水流的时候，会把土壤里的细颗粒（比如砂质土里的粉粒、黏粒）带走，进而引发两种风险：一是周边土壤下沉，坑外土壤因为细颗粒少了，空隙变大，会慢慢压实下沉，下沉范围能到基坑周边 1 到 3 倍开挖深度的地方，导致旁边的路、房子跟着下沉变形；二是基坑边坡出现渗透变形，要是水流速度太快，会在边坡上形成“管涌”（地下水带着细颗粒从边坡某个地方冒出来）或者“流砂”（边坡的土跟着地下水一起涌进坑内），直接破坏边坡的稳定性，让边坡塌掉。第二种情况，围护结构漏水，冲刷土壤还会让结构变形。深基坑的围护结构（比如排桩、地下连续墙）如果施工质量不好（比如排桩之间没做好防水、地下连续墙浇筑时出现孔洞），就会出现漏水的地方。地下水位高的时候，地下水会顺着漏水的地方渗进坑内，渗水过程中会一直冲刷围护结构周边的土，把细颗粒带走，导致围护结构周边出现空洞或者土壤变松的区域。一方面，变松的土没办法支撑围护结构，会让围护结构往坑内挪得更多，还会下沉；另一方面，漏水的地方冲刷范围会越来越大，要是漏水量大（比如每小时漏 5 立方米以上），会直接让基坑边坡的土稳不住，先塌一小块，进而破坏整个围护结构的整体性。第三种情况，暴雨导致地下水位突然升高，土壤稳定性下降。深基坑施工大多是在露天进行的，要是遇到暴雨，雨水会大量渗进地下，让项目区的地下水位在短时间内快速升高（比如 12 小时内升 1 到 2 米）。水位突然升高会带来两个问题：一是土壤变重，地下水位上升后，土壤颗粒间的孔隙里都是水，会增加土壤的整体重量，进而让基坑边坡的土更容易往下滑；二是土壤内部压力变大，孔隙里的水压力升高后，会抵消土壤颗粒间的有效受力，导致土壤抵抗滑动的能力大幅下降（比如黏质土的抵抗能力可能从 20 千帕降到 10 千帕以下）。一边是土壤更容易下滑，一边是土壤抵抗滑动的能力变弱，两者叠加会让基坑边坡和围护结构周边的土变得很不稳定，很容易出现边坡变形、围护结构挪位，甚至直接坍塌。

### 1.3 施工操作不当与进度失衡

深基坑变形，除了地质和水文因素，人为的施工操

作和进度管控也很关键。如果施工操作不规范、开挖和支护的进度没衔接好，会放大地质和水文因素的影响，让变形更快出现，这是深基坑变形最主要的人为原因，而且这类原因能通过规范化管理避免，可控性很强。具体来说，它主要有三个方面的表现，每个方面都会给变形“创造机会”：第一方面，开挖顺序和深度不对，增加土壤暴露的风险。挖深基坑要遵循“分层开挖、分层支护、按时开挖、不能多挖”的规范要求，要是不按这个要求来，会让土壤长时间暴露在外面、受力不均衡，进而引发变形：一是一次性挖得太深，比如规范要求每次最多挖 2 米，实际却一次挖了 4 米，会让基坑边坡的土暴露得太高，没有支护的情况下，土挡不住坑外的横向力，容易往下滑；二是开挖顺序乱，比如没按“从中间往两边”“从周边往中间”的顺序挖，而是随便挖某一块，会让坑内外的受力分布不均，导致围护结构某一部分挪得太多；三是挖超了深度，比如设计要求挖 6 米，实际挖到了 6.5 米，多挖的部分会进一步削弱围护结构底部的支撑，让底部挪得更多，同时多挖的地方没有支护，土暴露在外面，容易塌掉。第二方面，机械操作撞乱土壤和结构，破坏稳定性。深基坑施工时，挖掘机、装载机、渣土车等大型机械如果操作不规范，会直接撞乱围护结构和边坡的土，加重变形：一是机械撞到围护结构，比如挖掘机挖土时，铲斗碰到钢板桩、排桩，会破坏结构的完整性，让结构出现小裂缝，承受压力的能力下降，之后变形会更严重；二是机械在边坡顶部碾压，比如渣土车违规在基坑边坡顶部开车、停车，会压乱边坡的土，破坏颗粒结构，降低抵抗滑动的能力，同时还会增加边坡土的重量，让土更容易滑；三是机械挖乱坑底的土，比如挖掘机在坑底挖土时，把土搅得太乱，会让坑底的土变“软”，要是之后没及时浇筑垫层（规范要求挖到设计深度后 24 小时内浇筑），坑底的土会往上鼓，进而推着围护结构往坑外挪，形成“坑底鼓起来、围护结构往外移”的连锁变形。第三方面，支护和开挖进度没衔接好，给变形留了时间。挖深基坑时，“开挖”和“支护”要紧紧配合，挖完一层土后，要在规定时间内（通常是 8 到 12 小时，软土地区不能超过 8 小时）装好这一层的支护结构（比如装锚杆、挂网喷浆），靠支护结构平衡坑内外的受力，避免土长时间暴露。要是支护和开挖进度没跟上，比如挖完土后 24 小时还没装支护，土会长时间处于“没保护”的状态——这段时间里，坑外土壤的横向力会一直压着暴露的边坡土和围护结构，同时地下水渗透、土的自重都会慢慢削弱稳定性，

给变形留了足够的时间，边坡的土会慢慢往下滑，围护结构挪的距离也会越来越大，等之后再装支护时，变形已经超过安全范围，没办法挽回了。

## 2 深基坑施工过程中变形控制技术的优化方向

针对上述诱因，需从“支护结构、水位管控、施工流程”三个维度优化变形控制技术，实现“主动防控、精准管控、动态适配”。

### 2.1 优化支护结构技术，强化应力平衡能力

以“更结实、适配地质”为核心，优化支护结构的选择和施工，平衡坑内外土壤的受力。一方面，选对支护结构。根据地质（土的类型、土层厚度）、基坑深度和周边环境来定，软土地优先用地下连续墙或咬合桩，又结实又防水；砂土地用排桩加锚杆，抗滑效果好。同时，优化参数，比如把围护结构埋得更深、锚杆拉得更长，提升抗变形和抗滑能力。另一方面，改进施工工艺。打支护构件时控制垂直度和拼接精度，避免错位导致受力不均；做地下连续墙、咬合桩时，把接缝处的防水做好，减少漏水隐患，让支护既挡土又防水，双重防变形。

### 2.2 优化地下水位管控技术，减少水力扰动

围绕“精准抽水、严控漏水”，优化水位管理，降低地下水对土和支护的影响。其一，优化抽水方案。分层抽水、按需抽水，挖多深就抽多深的水，不一次性抽太多；在坑外打回灌井，往土里补水，稳住坑外水位；实时监测水位，根据情况调整抽水强度，不抽过头。其二，加强漏水检测和处理。支护做好后，用无损检测找漏水点；施工中，在围护结构内侧设观测井和监测点，发现漏水，用高压注浆、封堵材料堵上，不让水渗进来加剧变形。

### 2.3 优化施工流程与动态管控技术，衔接进度与防控

按“流程适配、随时调整”的原则，优化施工安排和管控，避免操作不当引发变形。一方面，规范开挖和支护衔接。严格分层开挖、分层支护，挖完一层马上做支护，缩短暴露时间；优化开挖顺序，先挖周边再挖坑心，或对称挖，避免受力不均导致倾斜。另一方面，搞动态监测联动。在围护结构、边坡、周边建筑和管线上装传感器，实时测变形；数据快到安全值就自动预警，同时调整施工，比如放慢开挖速度、提前加强支护，及

时止住变形。

## 3 深基坑施工变形控制技术优化落地的保障要点

### 3.1 完善动态监测体系

构建全范围监测网络，覆盖基坑本体、支护结构及周边建筑、管线等环境区域，明确不同施工阶段的监测频率（如开挖期每1小时1次）与各指标安全阈值。监测数据实时上传管控平台，以折线图、地图标注等图表形式呈现变形趋势，为支护参数调整、降水强度优化提供精准数据支撑，避免技术调整盲目。

### 3.2 提升人员专业能力

针对优化后的支护、水位管控、动态施工技术，开展专项培训，确保施工、技术、管理人员掌握操作要点与执行标准。同步建立考核机制，定期核查人员操作规范性，对未按标准执行的情况及时纠正，避免因操作不当导致技术优化效果打折扣。

### 3.3 建立多环节协同机制

组建技术、施工、监测专项协同小组，形成“技术调参—施工执行—监测反馈”闭环：技术人员依据监测数据调整控制参数，施工人员按调整后方案推进，监测人员跟踪变形效果。定期召开协同会议，梳理技术执行问题，及时优化调整，保障技术与现场施工需求精准适配。

## 4 结语

深基坑施工变形控制技术的优化，是保障施工安全、保护周边环境的核心。当前，需正视土体应力失衡、水位变化、施工不当等变形诱因，从支护结构、水位管控、施工流程维度优化技术；同时，通过完善监测、提升人员能力、建立协同机制，确保技术落地见效。唯有让变形控制技术实现精准化、动态化与协同化，才能有效遏制施工中的变形风险，推动深基坑施工安全、高效推进。

## 参考文献

- [1]陈志刚.深基坑工程地层变形监测技术研究[J].岩土工程学报,2019,41(1):1-7.
- [2]赵宏.城市地下空间开发中深基坑工程安全问题探讨[J].地下空间与工程学报,2018,14(3):345-351.
- [3]李强.深基坑工程地层变形控制技术研究[J].同济大学,2017.