

# 深基坑支护结构变形控制与环境影晌评估

李俊芳

重庆亚太工程建设监理有限公司 重庆 400000

**【摘要】**：深基坑工程的支护结构不仅承受土压力和地下水作用，还直接影响周边建筑物、道路管线和地表环境的安全状态。支护体系一旦发生变形累积，往往会通过地表沉降、围护位移和地下水扰动等路径传导至周边区域，进而放大风险。本文从支护结构变形控制与环境影晌评估两条主线展开，分析地层条件、开挖卸荷、监测维度和控制参数之间的耦合关系，提出分层开挖、动态监测、预警分级和参数复核相结合的控制思路，以提升深基坑施工的稳定性和周边环境适应性。

**【关键词】**：深基坑；支护结构；变形控制；环境影晌评估；监测预警

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.006

## 引言

深基坑支护结构是城市地下工程的关键受力体系，其变形控制直接关系到基坑稳定、周边建筑安全和地下管线运行。由于地层条件、地下水位、开挖深度和支护形式差异较大，同一类控制指标在不同工程中的敏感程度并不一致。尤其在软土和复杂环境下，支护结构的位移、地表沉降和地下水扰动常常并不同步出现，单纯依赖终态验收难以及时识别风险。把变形控制与环境影晌评估结合起来，才能将“看见变形”推进到“理解变形、预测影晌和提前修正”的阶段。

## 1 深基坑支护结构变形控制的技术基础

### 1.1 地层条件与支护形式约束

深基坑支护结构的变形控制，首先受地层条件和支护形式约束。软土、砂层、填土、地下水和周边荷载不同，都会改变围护墙的受力模式和侧向位移发展过程。若支护方案只按统一模板布置，而没有结合开挖深度、环境敏感点和周边荷载差异进行校正，后续监测即使合格，也可能掩盖局部变形累积。支护形式选择不能只看造价和施工速度，还要看其对变形约束的连续性和对周边环境的适应性<sup>[1]</sup>。支护控制的难点还在于地层条件并不会保持静止。开挖推进后，土体应力重新分布，地下水和土压力也会随施工阶段变化，因此同一参数在不同阶段的约束效果并不相同。这意味着支护设计不能只给出一次性答案，而要给出阶段性的校核逻辑。不同支护形式对变形控制的侧重点并不相同。悬臂式、内支撑式和锚拉式体系在刚度、传力路径和施工空间上存在明显差异。复杂环境下的深基坑工程往往需要把支护墙、支撑、立柱和围檩一起作为整体分析对象，而不是拆开看单一构件。只有明确结构刚度、连接节点和施工顺序之间的关系，变形控制才有工程落点。

支护形式的选取还会影晌施工组织方式。内支撑体系往往更强调空间占用和分层闭合，锚拉体系则更依赖外部条件和施工边界，二者在周边环境敏感性较高的项目中表现并不一样。支护方案不能只看名义刚度，还要看它在特定施工场景中的可实施性和可调整性。在基坑工程中，支护形式和地层改良往往

是配套关系。如果土体加固、降水控制和结构支护之间没有同步设计，单纯增加构件刚度并不能消除变形累积。所以，支护控制的有效性取决于结构约束和地层处理是否形成同向作用。

### 1.2 开挖卸荷与时空效应

深基坑变形并非只在最终开挖深度达到后集中出现，而是在分层开挖和卸荷过程中逐步累积。开挖步距过大、支撑闭合偏晚或监测反馈滞后，都可能使围护墙位移在某一阶段突然放大。时空效应意味着同一套支护结构在不同开挖阶段中的响应并不一致，必须结合开挖节拍进行动态分析<sup>[2]</sup>。这种时空差异还会影晌监测判断。如果只拿某一时点的位移值与控制值比较，就容易忽略增长速度和累计趋势，而后者往往更能反映结构接近临界状态的程度。时空效应分析不仅服务于施工组织，也服务于风险识别。

分层开挖的本质，是用有限的变形增量换取整体稳定。如果每一层开挖后都能够及时闭合支撑、完成观测和数据复核，围护结构的受力就不会长时间处于单向累积状态。反之，开挖节拍一旦被工序穿插打乱，时空效应就会从可控规律转化为不可控放大。开挖卸荷带来的影晌并不只体现在结构本体位移上。随着土体应力释放，支护外侧土压力、地下水压力和邻近地层的稳定状态都会同步变化。时空效应分析不能只看围护墙位移曲线，还要把支撑反力和周边土体反应一并纳入判断。

### 1.3 变形指标与控制边界

变形控制不能只停留在是否超限的判断上，还要明确控制边界和趋势阈值。侧向位移、地表沉降、支撑轴力和变形速率都应纳入同一评价框架，避免单看某一个指标造成误判。对敏感环境下的工程，控制值设置还要考虑周边建筑物耐受能力、地下管线埋深和施工阶段的风险叠加效应<sup>[3]</sup>。控制边界还要与施工记录配套。同样的位移数值，如果对应的是不同开挖深度、不同降水状态或不同支撑阶段，风险等级并不完全相同。因此，边界判断必须结合工况背景，才能避免把阶段性波动误判为整体失稳。

控制边界一旦明确，就应与现场处置动作直接对应。例如

位移速率上升时，现场应同步加密监测、核查支撑轴力并评估是否需要减缓开挖速度，而不是仅在资料中作记录。只有把控制边界变成可执行命令，变形管理才不会停留在书面层面。控制指标还要和预警等级形成映射关系。当数值接近阈值时，不同岗位应知道对应的停工、会商、复核和加固动作，而不是等到超限后再统一处置。这样，变形管理才能从单一数值判断转化为分级控制流程。

## 2 环境影响评估的监测维度与方法

### 2.1 周边建构筑物沉降与倾斜

深基坑施工对周边建构筑物的影响，最直接的表现就是沉降和倾斜。道路、桥台、邻近住宅和既有地下管线对变形十分敏感，一旦地表沉降与支护位移叠加，就容易把局部变形放大为区域风险。环境影响评估不能只记录最大值，还要看变形扩散路径、发展速率和相邻构筑物的受力反馈<sup>[4]</sup>。对环境影响的判断还要区分短时扰动和持续响应。有些构筑物在开挖初期反应不明显，但随着卸荷持续和地下水变化，沉降可能在后续阶段逐步累积。因此，评估不能只看某一次检测结果，而要看变形曲线在多个阶段中的演化趋势。

环境用途的不同会直接影响评价结论的权重。即使是相同程度的沉降，其后果在不同环境中也存在显著差异：在普通绿地可能影响不大，而发生在交通主干道则可能带来严重安全和运营问题。因此，评估时必须同时考虑使用功能和承载压力，使环境影响评估从单纯依赖数值的判断转向关注实际后果的分析。在复杂的城市环境中，沉降和倾斜通常不会孤立出现，它们往往与周边道路荷载、地下管线受力及交通振动共同作用，形成叠加效应，最终表现为持续性的环境扰动。环境影响评估应综合考虑周边荷载、施工时段以及观测频率，才能科学判断风险是否真正扩散，并为风险管理提供可靠依据。

### 2.2 地表位移、地下水与管线响应

支护结构变形往往会通过地表位移和地下水变化继续向外传递。地下水位下降会改变土体有效应力，进而影响围护墙外侧土体稳定性和管线沉降状态。评估时应同步关注水位、孔压、管线变形和地表沉降，不宜只把变形归因于围护结构本身<sup>[5]</sup>。地下水响应与结构响应之间通常存在时间差。如果只在某个单点时间判断风险，往往会低估后续渗流变化和土体软化带来的影响。环境评估要把结构变形、渗流状态和周边设施反应连成连续过程来看。

地下水评估必须关注恢复阶段的变化。有些项目在施工降水期间表面上似乎稳定，但一旦停泵、回灌或调整降水策略，地层含水状态会重新发生变化，可能导致早期沉降被再次放大或延续发展。环境影响评估不能仅限于施工中段的观测和判断，而应延伸至施工后期的恢复过程，确保对地层水文变化和沉降动态进行连续监测和评估。通过关注恢复阶段，可以更全

面地掌握地下水与地层响应的连续性规律，为后续风险管理和工程维护提供科学依据，从而有效降低潜在的环境影响和安全隐患。

### 2.3 多源监测与分级预警

环境影响评估需要多源监测共同支撑。测斜、沉降点、支撑轴力、孔压计和周边建筑监测应形成同一时间轴，才能把结构响应和环境响应对应起来。预警不应只有一次性阈值，还应分级设置黄、橙、红三个响应层级，并与停工、复核和加固措施挂钩<sup>[6]</sup>。多源监测的另一个作用，是交叉识别噪声和真实异常。当某个测点突然变化时，需要同时核对周边点位、施工工况和天气条件，否则很容易把瞬时扰动误判为持续风险。把监测结果连成一张网，预警才会真正服务于现场控制。

多源监测的价值还在于可以校验异常是否真实存在。当某个测点突然变化时，应结合周边点位、施工工况和天气条件做交叉核对，避免误把噪声当成风险。只有把监测、判断和响应串联起来，预警才会真正服务于风险控制。分级预警的关键不是阈值数量，而是响应动作是否明确。黄、橙、红三个层级如果只是换颜色而没有对应处置权限，预警仍然停留在提示层面。只有把预警等级和停工、复核、加固、通报四类动作对应起来，监测系统才算真正进入控制环节。

## 3 控制措施与风险管理闭环

### 3.1 支护参数优化与分层开挖

深基坑变形控制的第一步，是把支护参数与开挖节奏匹配起来。支撑间距、锚固长度、围檩刚度和预加力设置都应根据地层条件和开挖深度动态校正。分层开挖、分段成环和及时闭合支撑，可以减少卸荷突变对围护结构的冲击，使变形发展更加平缓。参数优化并不是一次性完成的设计动作，而是随着施工推进持续修正的过程。当某一阶段变形增幅明显大于预期时，应回看支撑受力、开挖长度和土体状态，重新判断参数组合是否适用。这种边施工边修正的机制，才能让控制参数真正起到抑制变形的作用。

参数修正还要考虑监测频率与调整时机。如果观测间隔过长，就算参数已经偏离当前工况，也可能因为反馈滞后而错过最佳修正窗口。参数优化和监测布点必须协同设计，才能提高修正效率。参数优化还需要和监测频率同步。如果观测间隔过长，即便参数已经不再适合当前工况，也可能因为反馈滞后而错过最佳修正时点。参数调整和监测布点应该一起考虑，避免设计与现场脱节。

### 3.2 监测反馈与动态调整

监测反馈是变形控制从静态设计转向动态治理的关键环节。当监测数据出现连续增长或与预测值偏差较大时，现场应及时调整开挖步距、支撑安装顺序和支护参数，而不是等到超限后再补救。围护结构的纠偏、支撑复核和注浆加固都应基于

监测趋势判断,动态调整才能真正落地。动态调整还要兼顾施工组织的连续性。如果现场频繁切换方案,班组容易陷入重复交底和重复确认,反而增加交叉作业风险。调整动作应优先选择对整体工序影响最小、对变形抑制最直接的措施。

动态治理还离不开明确的会商机制。监测、设计、施工和监理若没有固定的会商节奏,调整指令就容易在传递中被弱化,执行动作也会出现偏差。因此,动态调整本质上是一种技术协同和组织协同的双重管理。动态调整的实施还要看沟通链条是否顺畅。当监测、设计、施工和监理之间缺少统一会商机制时,调整指令很容易在传递过程中被弱化。动态治理不仅是技术动作,更是组织协同动作。

### 3.3 环境风险复核与交底

环境影响评估最终要回到复核和交底。对周边构筑物、道路管线和地下空间的敏感点,应形成专项复核清单,并把监测点位、预警责任和应急措施写入交底文件。这样既能保证现场人员清楚知道控制边界,也能在出现异常时迅速定位影响源和处理路径。交底内容还应与应急演练联动。只有停工、复测、加固和通知流程被现场反复演练过,异常发生时相关人员才知

道如何按步骤处置。深基坑环境风险控制最终要落到责任可追踪和处置可执行上。

交底之后的复核也不能缺失。若没有签收、抽查和演练反馈,交底很容易停留在文书层面,现场人员对边界和责任的理解决也会逐步模糊。复核与演练应当成为交底闭环的延伸,而不是额外附加动作。交底后的检查也不能缺位。如果只是发了一次文件而没有后续抽查,交底内容很快就会停留在纸面,现场人员也难以形成一致理解。因此,复核和演练应构成交底的闭环延伸,而不是额外附加的管理动作。

## 4 结语

深基坑支护结构的变形控制,不能只围绕围护墙位移本身展开,还要把地表沉降、周边构筑物响应和地下水变化一并纳入评估。控制效果是否稳定,取决于支护参数、开挖节奏、监测频率和动态调整是否形成闭环。对于复杂环境下的深基坑工程,只有把分层开挖、预警阈值和复核机制同步到现场执行中,变形控制才不只是结果验收,而是贯穿施工全过程的风险管理过程。

## 参考文献:

- [1] 汪子奇,蔡记华,徐俊.基于多源监测的深基坑组合支护结构时变演化与环境影响分析[J].岩土工程技术,2026,40(02):193-201.
- [2] 郑礼群.基于 LNG 项目基坑支护设计对深厚软土地区深基坑变形及稳定控制研究[J].福建建设科技,2025,(05):47-51.
- [3] 毕延伟,吕杰.市政工程深基坑开挖与支护关键技术研究[J].工程与建设,2025,39(03):568-570+579.
- [4] 陈攀.基于时空效应软土深基坑开挖施工监测变形研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(11):115-116+119.
- [5] 杨幼江,胡偲,席明军,等.考虑周边建/构筑物变形控制的大型深基坑变形管理等级制定方法研究[J].土工基础,2021,35(04):429-433.
- [6] 邓鸣银,姚文卓,张成龙,等.复杂环境下深基坑工程支护结构变形监测分析[J].四川建筑,2026,46(02):113-116.