

# 地铁车站深基坑支护结构与施工稳定性分析

曹天祺

北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司天津分公司 天津 300450

**【摘要】**：聚焦地铁车站深基坑工程特点，针对地质适配与环境约束等设计难题，从支护选型、参数计算、工艺管控、动态监测及工序协同五个维度优化技术方案，构建设计与施工动态衔接的协同控制体系。本文通过精准计算、精细化施工与全方位监测，有效解决支护失稳、周边沉降等风险，实现深基坑工程安全与环境兼容的双重目标，为同类工程提供技术参考。

**【关键词】**：地铁车站；深基坑；支护结构设计；施工稳定性；协同控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.022

## 引言

城市化进程推动地铁建设快速发展，深基坑工程作为地铁车站施工的核心环节，面临复杂地质、密集周边环境带来的多重挑战。支护结构失稳、土体变形引发的安全隐患，直接威胁工程推进与周边设施安全。支护结构设计的科学性与施工过程的稳定性控制，成为破解这一难题的关键，其技术优化与协同管控对提升地铁工程建设质量、保障城市地下空间开发安全具有重要意义。

## 1 地铁车站深基坑支护结构设计核心问题剖析

### 1.1 地质条件适配性不足的突出矛盾

地铁车站深基坑多位于城市复杂地质环境中，地层分布的不均匀性、土体物理力学参数的离散性直接影响支护结构设计的科学性。不同地层对支护体系的承载要求存在显著差异，软土地区的高压缩性、高含水量易导致支护结构产生过大变形，而岩层区域的坚硬特性则对支护结构的破岩能力与锚固效果提出更高标准。地质勘察数据的精准度不足会进一步加剧设计矛盾，若未能充分掌握地下水赋存状态、断层分布等关键信息，易造成支护结构选型偏差，难以平衡支护强度与变形控制的双重需求，为后续施工稳定性埋下隐患<sup>[1]</sup>。

### 1.2 周边环境约束下的设计平衡难题

城市地铁车站深基坑周边往往密集分布既有建筑物、地下管线、交通枢纽等敏感设施，支护结构设计需兼顾基坑自身安全与周边环境保护的双重目标。支护结构的刚度、支护深度及施工荷载等参数设置，需严格控制基坑开挖引发的地层位移，避免对周边构筑物基础造成扰动，同时需协调支护结构与地下管线的空间布局，防止管线破损引发次生灾害。此外，不同区域的环境安全控制标准存在差异，支护设计需适配特定区域的沉降控制阈值、振动限制要求等，如何在满足环境约束条件的前提下，实现支护结构的经济性与安全性优化，成为设计阶段需重点攻克的核心难题。

## 2 基于施工稳定性的深基坑支护技术优化方案

### 2.1 支护结构类型的针对性选型优化

支护结构类型的选择直接决定深基坑施工稳定性的基础

保障能力，需基于地质条件、基坑深度、周边环境约束等核心因素进行针对性优化。对于软土、淤泥质土等承载力低、变形量大的地层，应优先采用刚度大、整体性强的支护形式，通过增强结构对土体的约束能力，抑制基坑开挖过程中的侧向位移与沉降。此类地层中，地下连续墙结合内支撑体系的选型优势尤为显著，地下连续墙的防渗性与抗侧移能力可有效应对软土的流变性，内支撑的布设则能进一步分散墙体受力，避免局部应力集中导致的结构开裂。

在岩层或硬土层地区，可结合基坑深度与受力特点，采用锚杆支护与喷锚网联合体系，利用锚杆的锚固力传递土体压力，降低支护结构自身荷载，同时减少基坑开挖对周边岩体的扰动。锚杆的锚固段需深入稳定岩层，通过高压注浆形成牢固的粘结界面，喷锚网则可及时封闭开挖面，防止岩体风化剥落引发的局部坍塌<sup>[2]</sup>。针对周边存在密集建筑物或重要地下管线的场景，支护选型需兼顾安全冗余与空间适配性，避免支护结构施工对周边设施造成破坏。此时可采用排桩支护与高压旋喷桩止水帷幕组合方案，排桩的柔性特性可适应小范围变形，高压旋喷桩形成的连续止水帷幕能有效阻隔地下水渗流，减少对周边土体含水量的影响，通过选型优化实现支护效果与环境兼容性的平衡。同时，选型过程中需充分考量施工空间的限制，避免大型支护设备进场对周边交通与建筑物造成二次干扰。

### 2.2 支护结构关键参数的精准计算优化

支护结构关键参数的精准度是保障施工稳定性的核心，需通过精细化计算模型与多因素耦合分析实现优化。入土深度计算需综合土层抗倾覆力矩、抗滑移能力及地下水渗流影响，采用极限平衡法与数值模拟相结合的方式，既快速确定最低阈值，又精准模拟结构与土体相互作用及动态变化，避免失稳风险与资源浪费。截面尺寸与材料强度参数需依据开挖最大受力工况确定，结合土体侧压力、施工荷载等动态因素，通过应力应变分析优化配筋与选型。土体侧压力计算采用修正后的朗肯或库仑土压力理论，兼顾开挖速度、结构变形影响；施工荷载涵盖各类临时荷载，经组合分析明确最不利状态，确保结构承载与变形刚度达标。锚杆相关参数计算需适配地层特性，通过试验数据校准模型。锚杆长度按锚固段与自由段受力需求分别

设计,满足锚固力与拉力传递要求;间距经群锚效应分析优化,平衡稳定性与经济性;注浆参数结合地层渗透性确定,通过高压注浆提升锚固体强度与锚固力精准度,保障支护体系协同受力。

### 2.3 施工工艺的精细化管控优化

施工工艺的精细化管控是将设计方案转化为稳定支护效果的关键环节,需从施工流程、操作规范、质量控制等方面进行全面优化。基坑开挖工艺需遵循“分层、分段、对称、限时”的原则,控制每层开挖厚度与开挖速度,避免因一次性开挖深度过大导致土体应力突变,引发支护结构受力失衡。对于深度超过10米的深基坑,每层开挖厚度宜控制在2-3米,分段长度根据支护结构的承载能力确定,一般不超过10米,且开挖后需在规定时间内完成支护作业,减少土体暴露时间。支护结构施工过程中,需强化对关键工序的质量管控,确保支护构件的安装精度与连接强度。钢板桩沉桩过程中,需采用经纬仪与水准仪实时监测垂直度与入土深度,偏差控制在规范允许范围内,沉桩完成后需进行桩间密封处理,防止渗水漏砂;混凝土灌注桩施工前需进行孔位偏差校正,成孔后及时清孔,控制孔底沉渣厚度,浇筑过程中采用导管法连续浇筑,避免出现断桩、夹渣等质量缺陷;锚杆施工需严格控制钻孔角度与深度,钻孔完成后及时插入锚杆体并进行注浆,注浆过程中需全程监测注浆压力与注浆量,确保注浆饱满度。

针对地下水丰富的基坑工程,需优化降水与排水工艺,采用井点降水与明沟排水相结合的方式,控制地下水位在基坑底面以下0.5-1.0米。井点降水系统的布设需根据基坑形状、大小及地下水分布情况确定,井点间距与埋深需通过计算优化,确保降水效果均匀;明沟排水需在基坑周边与内部设置排水沟与集水井,及时排除基坑内积水,避免地下水渗流引发流沙、管涌等灾害,为支护结构施工创造稳定的作业环境。同时,施工过程中需加强对降水效果的监测,根据地下水位变化动态调整降水参数,避免过度降水导致周边土体沉降<sup>[3]</sup>。

### 2.4 施工全过程动态监测与预警技术优化

施工全过程的动态监测与预警是防范稳定性风险的重要手段,需构建覆盖支护结构、周边土体及环境的全方位监测体系。监测指标应包括支护结构的位移、沉降、应力应变,周边土体的沉降、侧向位移,以及地下水位、周边建筑物沉降等关键参数,通过布设高精度监测设备,实现数据的实时采集与传输。位移监测可采用全站仪、测斜仪等设备,全站仪用于监测支护结构顶部水平位移与沉降,测斜仪则可精准测量支护结构深层侧向位移;应力应变监测需在支护结构关键部位布设应变计、压力传感器,实时捕捉结构受力变化;地下水位监测采用水位计,通过钻孔布设实现对不同深度地下水位的动态跟踪;周边建筑物沉降监测需在建筑物基础及墙体布设沉降观测点,确保及时发现异常沉降。监测频率需根据施工阶段动态调整,

在基坑开挖关键阶段与地质条件复杂区域加密监测频次,一般情况下,基坑开挖期间监测频率为1-2次/天,开挖完成后可适当降低频率,但需保持每周不少于2次,确保及时捕捉数据异常变化。

同时,建立监测数据的实时分析与预警机制,通过设定分级预警阈值(如黄色预警、橙色预警、红色预警),结合大数据分析机器学习算法,对监测数据进行趋势预测。利用机器学习算法可构建支护结构变形与受力的预测模型,通过历史监测数据训练模型,提升预测精度,当数据接近或超出预警值时,自动触发预警信号,并通过短信、平台推送等方式及时通知相关负责人。预警信号发出后,需快速启动应急响应机制,组织技术人员分析数据异常原因,制定针对性的处置措施,如调整施工工序、加强支护强度、控制开挖速度等,为施工决策调整与应急处置提供及时支撑,避免风险扩大。此外,监测数据需进行系统化整理与归档,形成完整的监测报告,为后续工程复盘与技术优化提供数据支撑。

### 2.5 支护与施工工序的协同适配优化

支护结构与施工工序的协同适配是保障整体稳定性的重要环节,需通过工序衔接优化与动态调整实现二者的高效配合。支护施工与基坑开挖工序需遵循“先支护、后开挖”的基本原则,合理安排支护作业与开挖作业的时间间隔,确保前一层支护结构达到设计强度后,再进行下一层土体开挖,避免因工序衔接不当导致支护体系受力过早。对于混凝土支护结构,需根据混凝土强度增长规律确定开挖间隔时间,一般情况下,混凝土强度达到设计强度的70%以上方可进行下一层开挖,可通过现场同条件试块强度试验确定具体时间节点。针对复杂地质条件或基坑形状不规则的情况,需动态调整施工工序与支护节奏,例如在基坑转角等应力集中区域,提前加强支护措施并放缓开挖速度,可采用增设斜撑、加密排桩等方式增强局部支护强度,通过工序优化分散受力集中点的荷载。在软硬交互地层中,需根据地层变化及时调整开挖方式与支护类型,避免因地层特性突变导致支护结构失稳。

此外,需协调支护结构施工与周边环境保护工序的衔接,例如在临近地下管线区域,采用精细化施工工艺减少振动与土体扰动,可选用静压桩、螺旋钻孔桩等低振动施工设备,控制施工速度与力度,避免对管线造成挤压或拉扯;在临近建筑物区域,需在支护施工前对建筑物进行预处理,如设置隔离桩、加固基础等,同时加强施工过程中的监测,根据监测数据动态调整施工参数,通过协同适配实现施工稳定性与环境安全的双重保障。同时,需建立工序协同沟通机制,确保支护施工、基坑开挖、环境保护等各工序间的信息畅通,及时解决施工过程中出现的协同问题,保障工程顺利推进<sup>[4]</sup>。

### 3 深基坑支护结构与施工稳定性协同控制实践

#### 3.1 设计与施工的动态衔接机制构建

深基坑支护结构与施工稳定性的协同控制，核心在于建立设计方案与施工实施的动态衔接机制，实现二者的实时响应与适配调整。设计阶段需预留施工调整空间，在支护结构参数设计中纳入施工过程中的动态变量，充分考虑施工工艺、场地条件等因素对设计效果的影响，避免设计方案与实际施工脱节。施工阶段需及时反馈现场地质条件变化、支护结构受力状态等关键信息，为设计优化提供实时数据支撑。通过建立技术交底与现场沟通闭环，确保设计意图精准传递至施工环节，施工中的突发问题也能快速反馈至设计端进行针对性调整，形成“设计-施工-反馈-优化”的动态循环，保障支护结构在复杂工况下始终保持稳定状态。

#### 3.2 多维度协同控制体系的落地实施

多维度协同控制体系的落地需整合设计、施工、监测等多

方面资源，形成全方位的稳定性保障网络。在设计层面，需将施工过程中的荷载变化、工序衔接等因素纳入整体设计考量，确保支护结构具备适应施工动态变化的冗余能力；施工层面需严格遵循设计方案的核心要求，通过精细化施工工艺减少对支护结构稳定性的不利影响，同时主动配合监测数据反馈进行工序优化。监测数据作为协同控制的核心支撑，需实现设计参数验证与施工风险预警的双重作用，通过监测数据与设计预期值的对比分析，及时发现偏差并触发协同调整措施<sup>[5]</sup>。

### 4 结语

围绕地铁站深基坑支护结构与施工稳定性核心问题，通过设计难题剖析、技术方案优化及协同控制实践，形成一套涵盖选型、计算、施工、监测、协同的完整技术体系，有效应对地质与环境约束带来的风险。未来可进一步结合智能化技术，深化监测数据与设计施工的动态耦合，优化支护材料与工艺创新，推动深基坑工程向更高效、安全、经济的方向发展，为城市地下工程建设提供更坚实的技术支撑。

### 参考文献：

- [1] 任冬旭,肖会敏.地铁站深基坑支护结构稳定性分析与优化设计研究[J].工程机械与维修,2025(5):47-49.
- [2] 汪盼.复杂环境下地铁站深基坑施工长期稳定性监测及分析[J].工程技术研究,2025,10(20):161-163.
- [3] 房国华,刘浩然,赵乙丁,刘守花.上软下硬地层地铁站深基坑支护结构设计研究[J].工程建设,2025,57(10):69-74.
- [4] 龙浩东,李波,王明山.顺逆作结合施工工艺在深基坑围护工程中稳定性设计分析[J].建筑技术,2025,56(4):428-432.
- [5] 师梁艳,何众颖.地铁站深基坑钢支撑结构设计及稳定性研究[J].工程机械与维修,2023(2):211-215.