

减少深基坑支护与开挖对周边地铁隧道影响探析 ——以ZJ项目为例

赵红旗

重庆赛迪工程咨询有限公司 重庆 400013

摘要：深基坑支护与开挖工程中，土体变形、地下水变化、支护结构变形及施工振动等因素，会对周边地铁隧道的结构安全与运营稳定构成威胁。通过深入剖析各影响因素作用机理，提出优化深基坑设计、精准控制地下水、强化支护结构监测及降低施工振动等技术措施。研究成果为深基坑与地铁隧道近接施工风险防控提供理论依据与实践指导，对保障地铁安全运营、提升城市地下空间协同开发水平具有重要意义。

关键词：深基坑；支护开挖；周边地铁隧道

引言

随着城市建设的快速发展，深基坑工程与地铁隧道近距离并行或交叉的情况日益增多。深基坑支护与开挖过程中产生的土体扰动、地下水流失、结构位移及振动等问题，极易引发地铁隧道产生变形、裂缝甚至影响正常运营。本文基于工程实际，系统分析深基坑施工对周边地铁隧道的影响机制，探讨减小不利影响的技术措施，旨在为保障地铁安全运行、优化城市地下空间开发提供科学支撑，推动相关工程技术的进步与发展。

1 深基坑支护与开挖概述

深基坑工程是地下空间开发利用过程中重要的基础工程，涉及岩土力学、结构工程、施工技术等多学科知识的综合运用。深基坑支护与开挖旨在确保基坑周边土体稳定、控制变形，为地下结构施工创造安全作业环境，同时避免对周边建（构）筑物、地下管线等造成不利影响。随着城市化进程加速，高层建筑与地下空间开发规模不断扩大，深基坑的深度和复杂性显著增加。基坑开挖卸荷导致土体应力场改变，引发土体变形与位移，若支护措施不当，易产生边坡失稳、基底隆起、渗流破坏等问题。支护结构作为深基坑安全的核心保障，需依据地质条件、周边环境、基坑深度及开挖方式等因素合理选型。常见支护形式中，咬合桩支护通过钢筋混凝土桩形成连续挡土结构，适用于各类土质条件；地下连续墙则以钢筋混凝土墙体作为挡土防渗结构，具有整体性强、防渗效果好的特点，但成本较高，常用于复杂地质和环境要求高的区域；土钉墙依靠土钉与土体协同作用形成复合土体，适用于地下水位低、土质较好的基坑。ZJ项目的基坑支护是采用咬合桩支护形式的施工方式，设计方式更具有可靠性、经济性、耐用性、稳定性。

成熟型工艺。基坑开挖是动态施工过程，开挖顺序、分层厚度、降水措施等均对支护结构受力和土体稳定性产生影响。分层分段开挖能有效控制土体暴露时间和空间效应，减少基坑变形；合理的降水方案可降低地下水位，改善土体力学性能，增强土体抗剪强度。施工监测贯穿深基坑支护与开挖全过程，通过对支护结构位移、土体沉降、地下水位等关键指标的实时监测，可及时掌握基坑安全状态，为施工决策提供数据支持，确保深基坑工程安全顺利实施。

2 深基坑支护与开挖对周边地铁隧道的影响分析

2.1 土体变形对地铁隧道的影响

深基坑开挖过程中，原有的土体应力平衡状态被打破，基坑周边土体应力重新分布，引发土体的卸载与变形。在开挖初期，基坑周边土体因侧向约束减小，产生向基坑内的位移，这种位移会以一定的扩散角度向远处传递。随着开挖深度增加，土体卸荷范围和变形量不断增大，导致地铁隧道所处地层产生沉降或隆起。当土体变形量超过隧道结构的允许变形阈值时，隧道结构会受到附加应力作用，引发隧道衬砌开裂、管片错台等病害。例如，隧道顶部土体沉降会使隧道顶部承受更大的土压力，底部土体隆起则会顶推隧道向上位移，造成隧道整体几何形态发生改变。不同区域土体变形的不均匀性，会使隧道结构产生纵向弯曲和横向扭曲，严重威胁地铁隧道的运营安全。基坑开挖引起的土体变形还具有时效性，在开挖完成后的一段时间内，土体仍会因次固结等原因持续发生变形，进一步影响地铁隧道的长期稳定性^[1]。

2.2 地下水变化对地铁隧道的影响

深基坑施工往往伴随着降水作业，这会改变基坑周

边地下水的流场分布。降水导致地下水位下降，含水层孔隙水压力降低，土体有效应力增加，进而引起土体压缩变形。对于地铁隧道而言，当地下水位下降范围波及隧道所处地层时，隧道周围土体产生固结沉降，对隧道结构产生向下的拖拽力，使隧道承受额外的荷载。降水过程中地下水的渗流作用也不容忽视，地下水在渗流过程中会对土体颗粒产生拖曳力，引发土体的渗透变形。如果渗流力过大，可能导致土体发生流砂、管涌等现象，破坏隧道周边土体的完整性，使隧道失去稳定的支撑环境。地下水的变化还可能引起水质的改变，当地下水水位下降后，周边土体中的有害物质可能会随着地下水的渗流迁移至隧道附近，对隧道结构的混凝土产生侵蚀作用，降低隧道结构的耐久性，缩短其使用寿命。基坑施工结束后停止降水，地下水位回升过程中，也可能因水位上升速度不均匀等因素，对地铁隧道产生新的不利影响。

2.3 支护结构变形对地铁隧道的影响

深基坑支护结构作为保障基坑稳定的重要屏障，其变形情况直接关系到周边地铁隧道的安全。在基坑开挖过程中，支护结构承受着来自基坑外侧土体的压力、水压力等荷载作用。当支护结构的刚度不足或设计不合理时，会发生侧向变形，如墙体水平位移、倾斜等。支护结构的侧向变形会挤压周边土体，使土体产生附加应力并向地铁隧道方向传递，导致隧道产生水平位移和变形。支护结构的竖向沉降或隆起也会影响周边土体，使地铁隧道产生相应的竖向位移。例如，支护结构的不均匀沉降会使隧道下方土体受力不均，造成隧道局部下沉或上抬，破坏隧道的平顺性。支护结构在长期的荷载作用下，可能会出现局部损坏或连接部位松动等情况，导致其对土体的约束能力下降，进一步加剧土体变形，从而对地铁隧道产生更严重的影响。支护结构的变形还可能引发周边土体的二次扰动，增加土体变形的复杂性和不可预测性，给地铁隧道的安全带来更大威胁^[2]。

2.4 施工振动对地铁隧道的影响

深基坑施工过程中，诸如机械开挖、桩基施工、爆破等作业会产生不同程度的振动。这些振动以波的形式在土体中传播，随着传播距离的增加，振动能量逐渐衰减，但仍可能对周边地铁隧道产生影响。当振动波传递至地铁隧道时，会使隧道结构产生强迫振动。如果振动频率与隧道结构的固有频率相近，可能引发共振现象，导致隧道结构的振动响应急剧增大，对隧道结构造成严重破坏。即使未发生共振，持续的施工振动也会使隧道结构的材料疲劳性能下降，降低结构的承载能力。例

如，振动会使隧道衬砌混凝土内部产生微裂缝，并随着振动次数的增加而不断扩展，削弱混凝土的强度。施工振动还可能影响隧道内轨道的平顺性，导致轨道几何参数发生变化，影响列车的运行安全和乘坐舒适性。振动引起的土体颗粒重新排列和土体密实度变化，会改变隧道周边土体的力学性质，使土体对隧道的约束作用发生改变，进而影响隧道结构的稳定性。

3 减小深基坑支护与开挖对周边地铁隧道影响的技术措施

3.1 优化深基坑设计

(1) 在深基坑设计阶段，需综合考虑地质条件、周边环境及施工需求，合理确定基坑支护形式。对于临近地铁隧道的深基坑，采用刚度大、变形小的支护结构，如咬合桩结合内支撑体系，具有良好的挡土和止水性能，通过精确计算咬合桩的直径与配筋，能有效限制基坑变形，减少对地铁隧道的挤压影响；基坑底部位于隧道中心，基坑深度没有大于隧道底部，更具有安全性；内支撑体系可根据基坑深度和平面形状，采用混凝土支撑，优化支撑布置间距与角度，平衡基坑侧向土压力，降低隧道位移风险。并且为了保险期间，在坑中坑上方又设计一道一道支撑，进一步确保了5号线隧道的稳定性。

(2) 优化基坑开挖方案，采用分层分段开挖方法，避免大面积一次性开挖。根据基坑地质情况和支护结构承载能力，合理划分开挖分层厚度和分段长度，每段开挖完成后及时进行支护和支撑施工，使基坑土体应力逐步释放，减少土体变形对地铁隧道的扰动。对开挖顺序进行科学规划，优先开挖远离地铁隧道一侧的土体，利用土体自身的抗力作用，减小隧道附近土体的变形。

(3) 引入数值模拟技术对深基坑开挖过程进行分析，建立包含基坑、支护结构及地铁隧道的三维有限元模型，

模拟不同工况下基坑开挖对隧道的影响，预测隧道位移、内力变化趋势。通过模拟结果，对基坑设计参数进行优化调整，如调整支护结构刚度、改变支撑布置形式等，确保设计方案在满足工程安全的前提下，最大限度降低对地铁隧道的不利影响。

(4) 考虑到隧道离咬合桩距离仅为5米，设计师对咬合桩施工直径进行优化处理，原设计为1.2米，最终设计为1.4米进行咬合，进一步确保了靠近隧道的稳定性。

3.2 控制地下水变化

(1) 准确掌握基坑周边水文地质条件，采用合理的降水方案，避免过度降水引发地面沉降波及地铁隧道。根据含水层分布、地下水补给来源及渗透系数等参数，选择合适的降水方式，如采用管井降水时，精确计算管

井数量、间距和深度，控制降水范围和降深，使基坑内地下水位降至开挖面以下合理高度，同时减少对周边地下水环境的影响。（2）设置回灌系统是控制地下水变化的有效措施。在基坑与地铁隧道之间布置回灌井，通过回灌井向地下注入适量清水，维持隧道周边地下水位稳定，补偿因基坑降水引起的地下水流失，防止隧道周围土体因失水产生固结沉降。回灌过程中，实时监测回灌量、地下水位变化情况，根据监测数据动态调整回灌水量，确保回灌效果。（3）对基坑支护结构的止水性能进行严格把控，采用高压旋喷桩、水泥土搅拌桩等止水帷幕，截断基坑内外地下水的水力联系，阻止地下水向基坑内渗流，避免因基坑内水位下降导致周边地下水产生过大的水力梯度，进而减少对地铁隧道的影响。施工过程中，严格控制止水帷幕的施工质量，确保其连续性和完整性，防止出现渗漏通道^[3]。

3.3 加强临近隧道、支护结构监测与控制

（1）在隧道内布置自动化监测体系，对双向隧道左右上下布置全自动监测点，每天对地铁隧道的位移、变形、收敛情况进行监测，如有异常立刻报警，停工进行处理；在深基坑支护结构关键部位布置监测点，构建全面的监测体系。对支护结构的水平位移、竖向沉降、内力变化等进行实时监测。采用高精度的监测仪器，如全站仪、水准仪、应变计等，确保监测数据的准确性和可靠性，为及时掌握基坑及隧道状态提供数据支持。（2）建立监测数据实时分析与反馈机制。将现场获取的各类监测数据进行系统整理、深度分析，绘制精准变形曲线和内力变化图，与设计控制值细致比对，及时发现异常情况。当监测数据达到预警值时，立即启动应急预案，采取增加支撑、注浆加固等措施，控制基坑变形发展，防止对地铁隧道造成进一步破坏。（3）基于监测数据对基坑施工过程进行动态调整。根据支护结构和地铁隧道的实际变形情况，优化后续施工方案，如调整开挖速度、改变支撑施加时间等，使施工过程更加贴合实际工况，确保基坑施工安全的同时，降低对地铁隧道的影响。通过监测数据验证设计参数的合理性，为后续类似

工程提供经验参考。（4）隧道与基坑咬合桩边仅为5米，隧道监测的控制值如：预警值为3.6mm，报警值为4.8，超极限值为6mm，需要停工专家论证加固处理。

3.4 降低施工振动影响

（1）选择低振动的施工设备和工艺，减少施工过程中产生的振动能量。在深基坑土方开挖和支护施工中，优先采用液压振动锤、静音液压钳等低噪声、低振动设备，替代传统的冲击式破碎设备。对于灌注桩施工，采用旋挖成孔工艺，相比冲击成孔工艺，能有效降低施工振动对周边环境的影响。（2）合理安排施工时间和顺序，避免多工序同时作业产生振动叠加效应。制定详细的施工计划，错开振动较大的施工工序，如避免在同一时间段进行大面积土方开挖和混凝土浇筑振捣作业。控制单次施工振动持续时间，采用间歇性施工方式，给土体足够的时间恢复，减少振动对地铁隧道的累积影响^[4]。

结语

综上所述，深基坑支护与开挖对周边地铁隧道的影响是多因素耦合作用的复杂过程。土体变形、地下水变化、支护结构位移及施工振动等均会威胁地铁隧道安全。通过优化设计、严格控制地下水、加强监测及降低振动等技术措施，可有效降低深基坑施工对地铁隧道的不利影响。未来，随着城市地下空间开发强度的增加，需进一步深化研究，探索更高效、精准的技术手段，保障深基坑与地铁隧道工程的协同安全建设。

参考文献

- [1] 伯洋洋.深基坑开挖对邻近地铁隧道及民房变形的影响分析[J].中国房地产业,2022(26):14-17.
- [2] 陈海丽,英旭,周游,等.地铁车站软土深基坑开挖变形全过程数值模拟研究[J].江苏建筑,2024(1):116-120,137.
- [3] 孙兵,陶然,周文波.地铁车站深基坑开挖全过程的三维数值模拟分析[J].盐城工学院学报(自然科学版),2023,36(3):34-40.
- [4] 黄军华,周志健,刘鑫坤,等.邻近运营地铁的深基坑开挖风险及控制措施[J].施工技术,2021,50(24):35-39.