

# 地铁施工对周边建筑物影响及减震措施研究

文 / 张笛笛 青岛地铁集团有限公司第三建设分公司

**摘要：**随着城市地铁系统的迅速扩展，其施工对周边建筑物的影响及相应的减震措施成为城市规划和工程建设的关键问题。本文系统分析了地铁施工的主要方式及其对周边建筑的影响，包括地面沉降、振动传播和长期结构影响。进一步探讨了施工中影响因素，如地质条件、施工技术与管理、建筑物类型及环境因素。文章针对地铁施工前后提出了一系列切实可行的减震措施，旨在为地铁施工期间及之后的风险管理和建筑物保护提供科学依据和技术支持。本文展示了这些减震措施在实际工程中的应用效果和操作细节，强调了综合风险评估与动态监控的重要性。

**关键词：**地铁施工；建筑物影响；减震措施；地面沉降；振动控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.027

## 引言

伴随城市化发展的进程，交通工具变得更加多元化。为满足人民群众便捷出行的要求，地铁的修建更加普遍化。地铁的建设可消解陆地上的交通压力，但与此同时，地铁的施工过程也对周边的环境和邻近的建筑物带来了相应的风险和压力。地铁施工存有潜在的安全风险，若未能进行合理严格安全评估，地铁工程的质量将会大打折扣，也对行人的出行造成安全困扰<sup>[1]</sup>。对此，本文将通过分析地铁施工引发的地面沉降、结构裂缝及振动等问题，探讨如何通过科学的施工技术和合理的减震措施，有效减轻这些影响。

## 一、地铁施工及其对周边建筑物的主要影响

### （一）地铁施工方式概述

地铁建设常见的施工方式包括盾构法、明挖法以及矿山法（如图1所示）。盾构法以盾构机为核心设备，通过刀盘切削土层并同时在隧道内拼装预制管片，适用于地层相对稳定、地下水位较高或施工区域周边环境要求严格的情形。由于盾构机能够在掘进过程中平衡土压，掘进效率较高，且对地表扰动相对可控。明挖法多见于浅埋隧道或车站施工，通过开挖基坑后再进行围护结构与主体结构施工，具有工序清晰、空间利用率高等特点，但其对地表建筑物的影响与周边交通的干扰相对显著，需在开挖过程中采取周密的支护和防排水措施。矿山法，也被部分文献称为传统暗挖法，主要依托拱形或马蹄形断面开挖，再辅以初期支护与二次衬砌，通常适用于岩层较硬或地质围岩较好的区段。相较于明挖法，该方法对地表影响往往较小，但开挖风险和技术要求较高，需要配合严谨的监控量测与施工管理。

施工方式的选择往往取决于多重因素，包括地质条件、地下水分布、建（构）筑物密集程度以及工程预算等。盾构法因其机械化程度高，在我国沿海城市的地下空间开发中应用范围逐渐扩大。明挖法通常适合于地质较简单且深度不大的路段，但必须充分考虑对沿线建筑物和周边管线的保护。矿山法在穿越复杂岩层或地质断裂带

时或能发挥优势，不过其安全管控难度较大，需施工人员具备一定的专业技术素养与丰富经验。

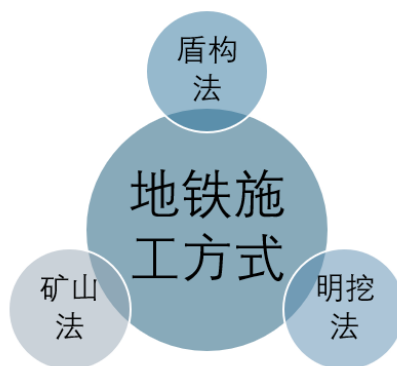


图1 地铁施工方式

### （二）地铁施工引发的地质变形

#### 1. 地面沉降及隆起

地铁施工常引发地面沉降或局部隆起。盾构掘进时，若土压控制不当或渣土平衡失效，土层可能发生流动或被过度挖空，从而使地表形成下沉带。施工参数设置欠妥时，开挖截面与注浆量失衡亦会造成边墙或拱顶部位塌陷。与此同时，土质中局部硬层或断层带的存在，可能在施工过程中产生差异沉降或不均匀变形，进而影响相邻建筑物的整体稳定。地面沉降若达一定程度，建筑基础或承重结构就可能出现裂缝，甚至发展为倾斜，严重情形下会影响其使用寿命<sup>[2]</sup>。至于短期隆起，主要出现于盾构盾尾止水效果不佳或反向注浆力度过大时，周边土体被额外挤压而发生局部隆起，建筑物若正好处于该区域，可能面临基础顶推以及变形过大的风险。

#### 2. 地层扰动

地铁施工难免扰动原状土体，尤其在粘土层与砂土层交界处，地层整体性易遭到破坏。明挖基坑开挖时，如围护桩与锚索布设不严谨，土体的侧向移动会危及毗邻建筑的基础，甚至诱发倾斜和开裂。此外，矿山法在岩层中进行开挖时，一旦初期支护滞后或岩层结构破碎，围岩将失去足够支撑，进而引起塌方或裂缝扩散。土层扰动对于建筑基础的影响更为深远，尤其当建筑物地基

存在软弱土层或承载力不足的隐患，长期累积的扰动效应会加剧结构风险。

### （三）地铁施工产生的振动传播

施工机械、盾构刀盘转动以及局部爆破作业都会产生不同程度的振动。盾构刀盘对土层的切削动作和同步注浆等环节会引起低频振动，这类振动易通过土介质向周边传递。明挖法如需使用破碎锤或爆破方式剥离岩层，振动幅度相对显著，并能波及较远范围。振动的传播深受地质条件影响，若遇密实砂层或高饱和黏土，波动能量衰减较慢，则对周边建筑的扰动可能扩大。

振动对建筑物的影响体现为构件变形、墙体裂纹扩张以及室内环境舒适度下降等。混凝土框架结构通常较为坚固，但某些老旧砖混结构在反复振动下更易出现荷载应力集中，加剧既存裂缝扩展。若振动作用频率与建筑物的自振周期接近，还会出现共振现象，进一步放大结构应变。影响振动传播的因素主要包括施工设备功率、爆破药量、地层波阻抗差异以及建筑物自身刚度<sup>[3]</sup>。若施工方缺乏有效的振动监测或忽视预警指标，就可能造成对周边环境的不可逆损害。

### （四）地铁施工对建筑结构的长期影响

施工完成后，建筑物有时会在运营期间继续承受地铁运行所带来的微振或土体应力重分布。长期影响可能表现为结构裂缝范围不断扩大，或因地基微沉降而导致整体倾斜。在隧道投入使用后，列车高速通过隧道产生动态荷载，隧道衬砌与周围土层之间的交互作用可能延伸到一定范围，令某些易损构件承受周期性应力，并在长时间的累积下出现疲劳损伤。此外，如果地下水位发生变化，土层密实度也会相应调整，间接影响建筑基础的承载能力。

当建筑物位于隧道上方或者距离较近时，施工引发的土体松动和后期列车振动累加效应更需警惕。若建筑物自重大、抗拉与抗剪性能一般，承受反复扰动后，内部损伤可能日渐积聚。虽然多数城市在地铁设计时预估了一定的安全冗余，但缺乏监测与管理仍可能导致局部构件超限。综上所述，地铁施工对周边建筑物的影响不只体现在施工期，还会涉及后续多年运营阶段的沉降、裂纹和振动耦合作用，需要在施工前、中、后各环节做好全生命周期的风险管控。

## 二、地铁施工影响的关键因素

### （一）地质条件

地铁施工中地质条件对工程的影响至关重要。不同地质条件对地铁施工的影响表现在地下施工安全、施工难度及成本等多个方面。软土具有承载力低、压缩性大的特性，施工时易发生沉降；砂土的渗透性较强，施工时需采取特别的防水措施；而岩层则因其硬度不同，影响盾构机的切削速度和刀具磨损程度。青岛地区地质多变，沿海地区广泛分布着淤泥质软土，这对于盾构隧道

施工提出了更高的要求。例如，盾构推进过程中，过大的盾尾间隙容易导致软土流失，进而引起地面沉降。因此，对青岛地区的施工技术选择及施工参数调整需基于深入的地质勘探数据和实地监测，以确保施工安全和工程质量。

### （二）施工工艺与参数

盾构掘进参数对隧道施工的影响显著。推进速度、刀盘转速和土压控制是盾构施工中最为核心的技术参数，它们直接关系到施工安全、效率以及对周边环境的影响。合理的推进速度能够保证施工的连续性和土体的稳定性，避免因推进过快造成土体坍塌或因推进过慢导致的施工效率低下。刀盘转速的选择需考虑到地质条件，适当的转速可以减少刀具磨损和振动，延长设备使用寿命。土压控制的精准性则直接影响到盾构前方土体的稳定性，不当的土压可能导致地面沉降或隧道涌水。此外，施工过程中的地面监测也至关重要，实时监测数据可以帮助工程师调整施工参数，及时发现并处理可能的风险。

### （三）建筑物类型

建筑物的结构类型和基础形式对地铁施工的响应具有显著影响。不同的建筑结构如框架结构、剪力墙结构和砖混结构，其抗震和抗变形能力各不相同，这直接影响其在地铁施工中的稳定性表现。框架结构因其较好的弹性和延展性，能够较好地适应由于施工引起的地面振动和小范围的沉降；剪力墙结构则因其刚性较大，对振动和沉降的敏感性更高；而砖混结构则因结构连续性差，最容易在施工中受损。因此，对于不同类型的建筑物，在地铁施工前需进行详尽的风险评估，并采取相应的加固措施。

### （四）环境因素

环境因素如地下水位和气象条件也会对地铁施工产生重要影响。地下水位的高低直接关系到施工时的防水和排水措施，水位高的区域施工风险大，对施工方法和围护结构的要求也更高。气象条件，尤其是降雨量，也会影响施工安全和进度。例如，强降雨可能引起地基的瞬时沉降或滑移。此外，城市交通和周边建筑密度也是不可忽视的因素。繁忙的交通和高密度的建筑环境要求施工中必须严格控制振动和噪音，同时还需考虑施工对周围建筑和交通的潜在影响。在这种环境下施工，需要制定更为严格的施工计划和应急预案，确保工程顺利进行而不对城市生活造成重大干扰。

## 三、地铁施工对周边建筑物的减震措施

### （一）施工前的风险评估与防护

#### 1. 建筑物安全性评估

在地铁正式开工之前，可对受影响区域内的建筑物进行全面排查。结构检测通常涉及混凝土强度测定、钢筋锈蚀检查及裂缝监测等环节，目的是为后续加固方案提供依据。若现场勘测结果表明某些构件存在承载力不足或裂纹集中等隐患，需考虑对柱、梁等关键部位采用

局部加固或灌浆技术,帮助分散应力。风险评估体系中,可在潜在沉降或振动带布设监测点,一方面能够记录地面和结构的变形量,另一方面可结合数据分析制定预警等级,当监测值趋于超限时,可即刻调整施工方案<sup>[4]</sup>。

## 2. 优化施工方案

施工方式的选择应依据工程现场条件和建筑物具体特征。若地质较为复杂,便可通过盾构法减少对地表的扰动;如有大面积开挖需求,则明挖法可能更加直接,但须配合严格的支护措施。与此同时,施工过程参数应随时结合实地监测进行调整。盾构推进速度、土压平衡数值或爆破药量等细节需要紧密联动监测结果,加以修订。工程管理者还可引入可视化平台,实现对掘进刀盘转速及土压控制状态的远程跟踪,力求在各种工况下维持地层稳定。

## (二) 施工中的振动控制措施

### 1. 盾构施工的振动控制

盾构作业过程中,刀盘转速与推进力存在协同关系。刀盘转速过快会加剧土层扰动;推进力不足又可能导致盾构姿态失稳。为降低振动传播,可在盾构掘进区域设置隔振沟或简易围护,同时对土压平衡系统进行动态管理,确保土仓内外压差处于受控区间。施工人员需要实时观察盾构姿态和土舱压力数据,一旦出现压力失衡迹象,可暂缓推进并同步调整注浆量。

### 2. 明挖施工的振动抑制

明挖法可能带来大范围的地层松动,需要采用多层次支护,如排桩、内支撑以及钢筋网喷射混凝土等方式,抑制基坑周边土层位移。开挖时可尝试分段或浅层开挖,避免大规模一次性土方移除。在基坑支护稳定的前提下,再加以排水或截水体系,减弱因地下水渗流而引起的土体松散。减少开挖深度对周边建筑的影响时,需事先结合地质勘探报告设计合理的基坑轮廓,并利用试验段挖掘评估实际土体反应。

### 3. 爆破施工的振动缓解

若工程设计包含小规模的岩石爆破,可在爆破区域预留足够的安全隔离带,并在围护结构上设置减振垫层。控制爆破参数时,应精心测算装药量、起爆顺序及微差时间,用以限制爆破波的峰值速度。微差爆破在相邻炮孔间隔上进行精确设计,能够分散瞬时能量释放。爆破期间应派专人检测周边建筑物的动应力水平和地表振动指标,观察是否存在异常声响或地面裂缝。

## (三) 施工后的补偿与加固措施

### 1. 建筑结构加固

当建筑物出现裂缝扩大或局部构件强度不足时,可及时采取桩基础加固与地基注浆处理。桩基础加固包括在原有基础周边设置增补桩体,以提高整体抗沉降能力。地基注浆则需根据地质实况选用适合的浆液配比,并在沉降集中区域实施分段注浆。通过控制注浆压力,可在建筑物底部形成相对均匀的承载层。

### 2. 地面沉降补偿

地面沉降补偿建议与建筑结构加固同步进行。反压回填方法可在沉降凹陷部位添加密实填料,填充空隙并防止次生下沉。地基压密注浆技术能够在土层内部构建致密硬壳,使整体地基强度得到提升。此类技术的实施须配合严谨的沉降量测,持续追踪回填后地表变化。

### 3. 长期监测与维护

建筑物的使用寿命往往涵盖多个运营阶段,持续监测能够提供必要的风险管控数据。监测范围通常包括基础沉降、建筑物倾斜以及振动幅度等方面。后续养护与维修措施应根据监测结果做出针对性方案,比如当发现基础开裂初露端倪,可先行实施小范围灌浆;若振动值在列车运营高峰期出现阶段性波动,可在结构承重部位增设缓冲层<sup>[5]</sup>。通过这些手段,可在一定程度上减少长期荷载累积的不利影响,为周边建筑物提供更有效的安全屏障。

## 结语

本文通过系统分析地铁施工对周边建筑物的影响,深入探讨了减震措施的实施策略。地铁施工对周边建筑物的结构安全、地质稳定性及长期使用功能产生显著影响。针对这些影响,提出了从风险评估到振动控制、再到后期补偿与加固等一系列减震措施,以保障建筑物的安全与功能完整性。在具体的工程实践中,尤其是青岛等沿海多软土地区的地铁施工,建议采用实时监测与动态调整策略,以应对不确定的地质风险。建议未来地铁施工采纳跨学科的风险评估模型,集成地质、结构工程与城市规划等多方面的数据,从而提升施工安全性和效率。此外,应重视建筑物的长期维护与监测,确保施工引起的潜在问题能够得到及时的识别与处理。这些措施的提出和实施,不仅为青岛地区的地铁施工提供了具体的操作指南,也为其他地区类似工程提供了参考与借鉴,预示着未来地铁施工安全管理向更科学、系统的方向发展。

## 参考文献

- [1] 张伟,马树隽.地铁施工对周边建筑物的影响分析研究[J].山东工业技术,2019(11):1.
- [2] 罗飞.地铁施工对地上建筑物的影响[J].安徽建筑,2020,27(11):2.
- [3] 赵歆,刘彦坡,赵俊妍,等.天津某地铁车站地连墙施工对周边建筑物影响分析[J].山西建筑,2020,46(5):71-72.
- [4] 李潇俊.地铁施工振动监测及机理分析[D].长沙理工大学,2020.
- [5] 徐孟起.断层错动、地震不同时序组合作用对隧道结构的影响及减震措施研究[D].石家庄铁道大学,2024.