

地铁施工对地面不均匀沉降的技术分析

张 遥

哈尔滨地铁集团有限公司 黑龙江哈尔滨 150000

【摘 要】在地铁施工中，由于对地面不均匀沉降的忽视或控制不当，导致地面结构受损、管线断裂及建筑物倾斜等严重后果。为提升地铁施工的安全性和地面稳定性，从地层结构、地下水条件及隧道埋深等关键因素出发，针对地面不均匀沉降的成因进行归纳。同时，分析了不均匀沉降段的标定要求，提出土压平衡控制、矿山法施工中的沉降控制以及基坑降水引起的沉降控制等关键技术措施。结合具体工程项目实例，本研究进一步分析这些技术措施在实际应用中的效果。

【关键词】地铁工程；地层结构；不均匀沉降；控制技术

引言

地铁施工过程中极为严重的地质问题为地面不均匀沉降，对地铁结构的稳定性、安全性产生不利影响，也会威胁周边环境以及建筑物的安全。目前很多研究人员重点展开地铁施工的地面不均匀沉降技术研究，已经取得一系列先进成果。在地铁不均匀沉降技术应用阶段，采取数值模拟、现场监测、试验分析等多样化手段精准分析不均匀沉降的机理和影响因素，并采取科学合理的控制措施，利用地基处理技术、降水控制技术、施工控制技术等消除不均匀沉降问题。但是地铁施工中针对复杂的地质条件和施工环境还需要深入探索地面不均匀沉降技术，才能满足现场施工需求。本文以此作为基础，深入研究地铁施工中地面不均匀沉降技术，探讨止水帷幕、土压平衡控制跟踪注浆加固的多样化技术以保证地铁施工中稳定性合格，预防发生地面不均匀沉降等严重问题。

1 地面不均匀沉降的成因分析

1.1 地层结构影响

地铁项目施工阶段地质条件影响较大，特别是岩土体力学性能、节理发育程度、地层分层特性。如果没有采取科学合理的措施，不良地质条件引发严重地面不均匀沉降问题。软土地质条件发生概率较高，由于软土颗粒粘结性差、压缩性强，施工阶段容易出现地面沉降问题导致地层结构性能下降。根据地铁工程施工经验，地铁隧道建设阶段遇到软土地层条件，其地表沉降量达到几十毫米，有些甚至达到几百毫米。同时，地铁施工中地层中存在软弱夹层或者不良地质体，常见的是断层、破碎带，也会导致地面不均匀沉降发生概率较高。软弱夹层施工阶段容易受到扰动影响，其发生滑移、坍塌等情况造成地面沉降严重而影响地铁工程运营安全性^[1]。

1.2 地下水条件影响

地铁工程施工时地下水的影响不容忽视，也是造成不均匀沉降的主要原因之一。地铁隧道施工时通常在地下水位以下进行，所以施工过程降水处理比较普遍。但是在降水处理过程中极易造成土层应力变化，应力重新分布而引发地面不均匀沉降。根据以往工程经验，在降水井施工阶段地下水持续补给到降水井中，而且地下水含有较多的细小土体颗粒流失而引发地层沉降。此外，地下水水位不断下降的情况下造成土层固结现象，也会导致地面沉降严重。同时，饱和粘性土、弱透水层中由于降水而引发地面沉降问题，特别是水压力不断减小的情况下，整体压力保持不变导致土层压密沉降而引发地面不均匀沉降问题。

1.3 隧道埋深影响

隧道施工阶段埋深对于上覆土层的厚度、重量有直接影响，也会关系到整个土层结构的地层应力变形状态。通常情况下，隧道埋深增加，上覆层厚度加大，施工阶段地面不均匀沉降问题更加严重。但是对浅埋阶段，即隧道埋深小于隧道直径，地面沉降问题也会严重，主要是因为浅埋段地层受到约束较小，施工扰动过大而引发土地结构出现较大变形。根据研究结果显示，如果隧道埋深超过隧道直径，地面沉降通常处于特定范围内，而浅埋阶段地面沉降量极大概率超过其控制标准，甚至达到几十毫米至几百毫米。

2 不均匀沉降段标定

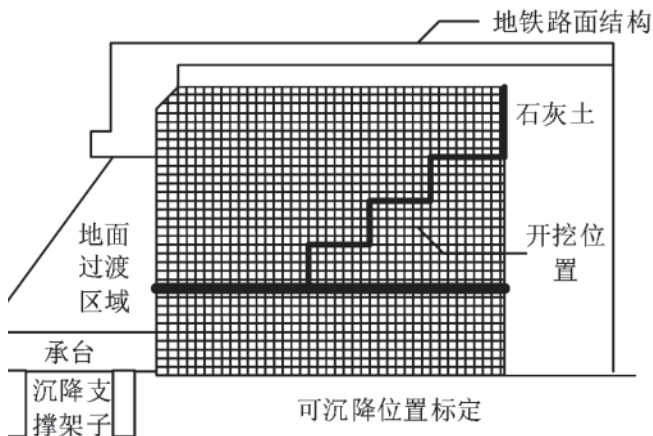
地铁项目施工过程中针对地面不均匀沉降的控制，目前可供选择的措施相对较少，形式比较单一。如果地铁隧道施工中针对地面不均匀沉降选择的处理方法不合理，没有达到预期效果导致施工质量下降，也难以满足地铁运行需求。基于此，结合地铁项目施工建设状况，对于不均匀沉降发生概率较高的区段做好标记，再采取针对性的处理措施。经过对地铁施工材料、技术、位置、内容等方面分析，从多个角度出发采取质量控制和监测措施。根据地铁

隧道施工获取的数据信息,精准计算地面不均匀沉降参数值,具体见式(1):

$$D=k \cdot \alpha \cdot u \cdot w$$

式中, D 为预设沉降值, k 为可控沉降位置, α 为标定区域, u 为区段间距, w 为沉降转换比。

根据上述参数的设置进行沉降值计算分析,将其设定为沉降控制参数值,并和地铁隧道施工方案综合分析,从而形成科学合理的沉降控制结构。与此同时,精准标记地面不均匀沉降的位置,其具体组成结构见图1。



经过对图1展开分析,确定地铁施工中地面不均匀沉降结构设计方案,明确施工覆盖范围,并在现场设置必要的支撑结构体系,从而确保各区段位置沉降点精准标记。而在现场施工阶段需精确测定各位置沉降量,通过汇总整合为后续沉降控制方案的制定提供有力支持。

3 地铁施工控制地面不均匀沉降的技术

3.1 盾构法施工中的控制措施

3.1.1 土压平衡控制

地铁施工中盾构法应用比较普遍,通过采用土压平衡控制方法能够解决地面不均匀沉降问题,减轻影响程度。土压平衡控制技术应用阶段,根据现场勘测结果以及统计数据明确土压控制参数值以保证其控制效果达到技术标准。通常情况下,土压力设定参数值应稍高于开挖面静止土压力,从而保证开挖作业面具备稳定性。对于软土地层来说,土压控制值一般为静止土压力的1.05~1.1倍。同时,地铁隧道施工时加强盾构机推进速度控制,确保其速度设定为50mm/min以内,以免对周边土体产生过大扰动影响。地铁隧道掘进施工实时监控土层内土压变化情况,调节螺旋输送机的转速以及出土量,确保仓内土压处于动态平衡。如果土压波动变化超出规定标准,需及时查明原因,确保土压平衡效果合格,防止发生地面不均匀沉降^[2]。

3.1.2 盾尾同步注浆

盾尾同步注浆作为盾构法施工中地面不均匀沉降控制措

施,对减少不均匀沉降量有积极作用。盾构机在现场掘进施工时应进行盾尾建筑空隙的注浆填充,以提高结构稳定性。注浆施工前选择合适注浆材料,主要采用早期强度水泥或双液浆,压力达到0.2~0.6MPa,从而使空隙填充紧密性合格。同时,加强注浆量控制,结合现场地质条件和监测参数确定,通常每环注浆量应超过设计标准的95%。注浆施工阶段采取同步注浆方式,确保和掘进同步进行。注浆施工完成后及时封堵处理,避免出现浆液外泄的情况。此外,盾构掘进阶段加强现场注浆效果评估,一旦不能符合施工标准及时调整注浆技术参数。

3.1.3 地面加固与跟踪注浆

根据地铁施工中地面不均匀沉降情况,采取地面加固与跟踪注浆措施,主要是在盾构机通过前对地面重要建筑物和地下管线采取加固处理。加固阶段选用注浆加固、桩基加固比较普遍,需结合地质条件确定注浆压力、注浆量、注浆材料。加固过程中考虑到建筑物荷载、地质条件,确定最为适宜的桩基类型以及注浆量参数。盾构掘进阶段监测地面沉降数据,如果发现不均匀沉降愈发严重,需及时采取注浆措施弥补处理。跟踪注浆施工时实时监控注浆位置、注浆量,保证注浆压力处于合理范围内,并评估注浆加固效果以便调整施工方案。

3.2 矿山法施工中的控制措施

3.2.1 超前大管棚

地铁施工过程中采用矿山法进行地面不均匀沉降处理产生良好效果,尤其是超前大管棚技术应用可控制沉降量。超前大管棚施工时采取如下措施:第一,加强现场监测。根据地铁施工需求确定管棚规格、数量,按照以往工程经验,在管棚施工时选用热轧无缝钢管比较常见,广泛应用的是直径108mm、厚度6mm的钢管,单节长度3m或6m,环向间距40cm。第二,确定超前大管棚施工位置。按照工程施工方案,在隧道口或关键位置开展管棚施工,需进行导向墙和导向孔口钢管施工,保证管棚钻进进度符合施工需求。超前大管棚施工时采用顶进方法,将钢管顶入地层内,并保证其方向、倾角符合技术标准,通常仰角为1°,和线路中线保持平衡设置。钢管前部设置为尖锥状,并且布置注浆口。钢管顶入后将内部泥沙清理掉,再开展管棚注浆作业。注浆施工时选择使用水泥浆或双液浆,压力0.5~2.0MPa,使内部扩散填充空隙。注浆结束后对加固效果展开检测,以便调整施工技术参数。

3.2.2 小导管注浆支护

小导管注浆支护方式是矿山法中比较常见的地面不均匀沉降控制措施,其包含如下几个施工步骤:第一,对现场展开地质勘查,根据开挖断面技术参数明确小导管规格以

及数量。根据工程经验,小导管通常选择热轧无缝钢管,直径48mm或50mm,长度35m,环向间距根据现场条件确定。第二,开挖隧道前进行隧道周边钻孔并设置小导管。施工阶段加强深度、角度控制,使其能够插入到地层规定范围内。小导管安装环节同时进行现场注浆施工,选用水泥浆或水玻璃双液浆,压力为0.21MPa^[3]。

3.2.3 断裂涌水地段的止水

地铁施工中断裂、涌水地段的地面不均匀沉降严重,为施工控制难点。第一,针对断裂带开展地质勘察分析检测,确定涌水来源、涌水量等参数。第二,根据勘测结果确定止水方案,比较普遍应用的是注浆堵水、帷幕注浆等。注浆堵水方式应用时确定最为适宜的注浆材料、注浆压力,使其能够有效填充整个空隙。帷幕注浆施工时在周边完成注浆帷幕,从而形成隔水屏障。帷幕注浆的厚度、压力考虑到现场地质条件以及涌水量确定,并且加强止水效果评估以便采取有效应对措施。此外,对现场进行监测和预警,并及时处理异常情况。

3.3 基坑降水引起的沉降控制措施

针对地铁施工中基坑降水造成的地面不均匀沉降问题,需采取合理有效控制措施,特别发挥止水帷幕施工技术的优势,以消除地面不均匀沉降问题。止水帷幕施工开始前做好现场勘测作业,明确桩位定位,确定桩顶径、桩长、桩间距参数。止水帷幕施工阶段桩径尺寸较大,常见的旋喷桩直径为800mm或者更大,从而提高止水性。桩长则考虑到水位、基坑深度、地质条件等参数确定,通常需进入到隔水层或者规定深度范围内。桩位定位确定后即可开展成孔作业,选用泥浆护壁方式,成孔后进行钢筋笼的生产制作,使其结构尺寸和强度达到技术标准。同时,钢筋笼施工时加强位置精度控制,并且采取焊接方式连接固定使钢筋笼强度、稳定性达标。钢筋笼安装完成后进行注浆施工,选用水泥浆或双液浆,并加强注浆压力控制,使其填充周边空隙。注浆结束后,当强度符合技术标准开展开挖作业。开挖过程中监测基坑周边情况,加强沉降参数监测,并且检查止水帷幕施工效果以便采取有效应对措施。

4 案例分析

4.1 工程背景与概况

某地铁项目需要穿越城市核心区域,经过现场勘测发现地质条件复杂性高,包含粘性土、沙土,其透水性强、压缩性高,容易发生沉降问题。同时,监测发现本项目所在地区地下水位较高,地下水开采量过大,极易发生地面不均匀沉降问题。为确保本项目施工顺利进行,提高运营安全性,采取合理有效的措施控制地面不均匀沉降问题。

4.2 采取的具体技术

经过对本地地铁项目施工区域地质勘测,掌握地面布局云沉降问题,采取如下应对措施:

第一,加强基坑周边地质勘测,掌握地质条件、地下水位以及潜在不均匀沉降风险以便采取科学合理的应对措施。按照勘测结果最终选择止水帷幕控制方案,以旋喷桩作为基础,直径800mm,长度根据勘测结果确定为20m,桩间距1.2m。施工阶段钻孔质量、注浆压力、注浆量严格控制,确保止水效果满足技术标准。第二,盾构法施工时采用土压平衡控制方式消除地面不均匀沉降问题。根据施工技术方方案确定螺旋输送机转速、出土量、土仓压力,设定参数值的±10%以内以提高开挖作业面的稳定性。同时,盾尾同步注浆选用双液浆,压力0.4~0.6MPa,注浆量则根据现场实际情况确定,保证其孔隙填充强度合格。第三,对于地面不均匀沉降发生的位置进行跟踪注浆加固处理。注浆施工时孔间距1.0m,选用水泥浆加固,注浆压力0.2~0.5MPa。同时,加固施工时加强现场地面沉降量监测,以便调整施工参数和工艺方案。

4.3 沉降控制效果

经过上述各项措施的应用,有效控制地铁施工中地面不均匀沉降问题,防止造成恶化的情况。经过现场施工状况监测,发现在止水帷幕、土压平衡控制、跟踪注浆加固方式应用后,地面不均匀沉降速率明显下降,沉降量有效控制,确保地铁施工中具备较高的稳定性、安全性,且不会给周边建筑物以及地下管线造成任何破坏影响。

5 结语

地铁工程施工受到周边环境以及地质条件的影响,造成地面不均匀沉降,对整个地铁项目建设和运营造成不利影响。基于此,分析地面不均匀沉降的原因,结合地质勘察结果以及施工方案采取必要应对措施,进而有效控制不均匀沉降问题。同时,对地面不均匀沉降情况全面监测,尤其是加固施工后进行施工效果监控,采取有效控制措施、调整施工工艺方案以提高地铁施工安全性。

参考文献:

- [1] 钱嘉,芮凯军.临近地铁深基坑支护优化设计实践分析[J].安徽建筑.2023,30(10):140-141,163.
- [2] 乐师军.大型基坑施工对临近运营地铁影响分析[J].现代城市轨道交通.2020,(1):55-59.
- [3] 陈平,黄海涛,安刚建,等.软弱地层深大基坑富水特性及组合支护控制[J].科学技术与工程.2022,22(15):6278-6290.

作者简介:

张遥(1977.7—),女,汉,吉林,硕士研究生,高级工程师,研究方向:建筑工程。