

地下空间开发对既有地下构筑物影响的分析

刘道俊^{1,2} 闫 革^{1,2} 朱 沐² 杨永强²

1.武汉市汉阳市政建设集团有限公司 湖北武汉 430050; 2.武汉钟鑫建设集团有限公司 湖北武汉 430050

摘要:目前,我国地下空间开发有效地推动了城市的基础设施和生活服务设施向更广阔的层面扩展,同时避免了对宝贵的地面空间的过度消耗。因此,城市得以保持地表层的关键公共区域,而地下空间的开发在地表资源已被利用的情况下仍然具有可行性。地下空间的复杂结构和多样的建筑形式相互交织,对现有建筑物的结构稳定性产生了显著影响。本文对既有建筑结构受力和变形的深入分析,并通过实际工程案例,全面分析对既有构筑物的加固策略。

关键词:地下空间;地下构筑物;影响

引言:

当前,城市化进程的加速导致城市用地消耗速率屡创新高,进而加剧了土地需求与供给之间的矛盾。我国当前在地下空间的规划和设计阶段仍处于初步阶段,根据建设部发布的《城市地下空间开发利用管理规定》,城市人民政府在编制城市总体规划时,应考虑城市发展的实际需求,制定相应的地下空间开发和利用规划,在制定城市详细规划时,须参照地下空间开发利用规划,对地下空间的扩展利用给予明确的指导。

一、研究内容与方法

本文聚焦于当前基坑开挖对既有地铁系统影响的议题,首先详细分析地铁因基坑开挖所面临的多种影响因素,将基坑支撑结构、相邻地层及地铁隧道视为一个整体系统,深入研究它们之间的形变相互作用,发展出一种简洁且实用的预测方法,深化对深基坑挖掘对邻近地铁影响的理解,为制定基坑支护结构的形变控制标准提供依据,以增强设计的可靠性和经济性,有效减少因施工导致的地铁过度形变风险,具有重要的现实意义,利用 MIDAS/GTS 地质力学分析工具,针对广州市珠江新城金穗路以北的地下开发项目,研究基坑施工对现有隧道稳定性的影响,获取与实际工程相符的数值模拟数据,以揭示结构内应力变化的规律,为工程设计和现场监测提供科学指导和建议。

第一,进行基础数据采集。(1)包括对现场进行详细的形态勘察,汇编和解析工程地理和水文地质数据;对周边环境进行全面调查,特别是地下设施的位置;收集和评估地质与水文地质信息,以确定用于后续三维数字仿真的土层力学参数,这些参数将作为仿真模型设定的依据。(2)通过深入分析相关文献和制图资料,明确了基坑施工、地下结构和集散输送系统的盾构隧道在立体空间中的布局,为建立三维数值仿真模型提供了牢固的基础。(3)研究基坑工程的建设方案及其边坡支护的详细参数,包括具体的施工步骤,并对运输系统中盾构隧道的施工过程和管片结构特性进行了深入研究,为基坑工程的三维动态仿真模拟以及运输系统施工全过程的精确模拟提供了可靠的数据支持。

第二,实施集运系统盾构隧道施工的三维数值模拟。(1)在进行大规模的三维数值仿真时,为减少网格划分的复杂性,打算利用壳体结构来等效表示管片环的构建。此方法将基于既有地铁管片结构的理论与实践经验,以确立适用于集运系统的盾构隧道(即盾构管片)的等效壳体结构的力学特性。(2)遵循集装箱运输系统的盾构法隧道建设规范,利用三维数字仿真技术对隧道建设过程进行模拟分析,以评估盾构隧道在施工期间及竣工后的应力状态。(3)通过将盾构法施工完成的结构承受的力视为开挖地基前的初始应力,同时将隧道建造完成后的应力分布作为挖掘前的参考应力场,为后续研究奠定基础。

第三,近距离人工挖孔桩对盾构隧道的影响分析。(1)实施临近盾构隧道两旁的手挖掘桩基三维动态施工仿真,研究了手挖掘桩基紧邻施工对盾构隧道造成的效应,旨在为确立桩基与盾构隧道间的安全最短距离提供科学参考。(2)以人为开凿孔洞后形成的应力区域作为挖掘基坑之前的起始应力环境,为进一步的评估提供基石。

第四,基坑施工的三维数值模拟与评估。(1)以地铁建设完成后的应力场为初始条件,对基坑施工过程进行全方位动态模拟分析,涵盖围护结构的逐步构建以及土壤的逐层逐段挖掘作业。(2)深入研究基坑施工期间盾构隧道的纵向伸缩和横向压缩变化,确定隧道构件在整个施工过程中的变形极限及累积量,同时对因非均匀收缩引起的隧道构件纵向变形进行评估,并运用数学模型预测盾构管片接缝的开裂状况,以及基坑建设对管片接缝张力的具体影响数值。(3)以基坑工程完成后的新应力状态作为后续三维模型分析的起始应力状态。

第五,地下室施工对盾构隧道的三维数值模拟及分析。地下室所承担的重量经由顶部隧道的板状结构、支柱根基以及土壤之间的互相影响向底层地质传递,进而可能会对下层的盾构体系在承重及形变方面造成变化。因此,有必要深入考察在地下室负荷影响下,板状构件、支柱基础、土质以及位于其下的隧道构造之间的综合互动。

第六,盾构隧道受基坑施工和地下室荷载的影响分析。将盾构作业、挖坑作业以及地下室负荷影响的计算数据综合起来,全面考察盾构隧道的承压、形变与接缝扩张情况。

二、地下空间开发对既有地下构筑物影响

(一)盾构隧道变形影响因素分析及隧道变形控制标准

1.盾构隧道变形影响因素分析

目前,位于珠江新城的地下空间开发项目中,其下部的盾构隧道建设阶段已经完成,但尚未投入运营,由于该工程的地理和水文特性,本文将重点分析影响盾构隧道结构承载力及变形的关键因素。

第一,人工挖孔桩的近距离施工可能引发隧道变形。依据本工程中人工开挖桩的设计与施工特性,由于这些桩体紧邻盾构隧道的侧墙,施工过程中必然会对隧道产生影响,挖孔和桩体的设置会改变隧道周围土体的应力分布,从而导致隧道结构的变形和受力状态的变化。

第二,基坑开挖对隧道变形的影响不容忽视。隧道顶部的基坑建设会导致上方地层应力的减小,造成隧道拱起,同时在基坑两侧沿隧道的纵向和横向产生侧向压力差,引起盾构结构的非正常形变,甚至可能引发隧道的渗水等结构问题。

第三,地下室施工及上方覆土荷载对隧道变形的影响。地下空

间体系的建设以及其上方的土层重量,通过顶部的承重板层传递至两侧的支撑柱,同时土壤层也分担了一定的荷载,综合因素将导致相邻区段的隧道结构产生变形。

2.隧道变形控制标准

依据各类装卸作业对地铁隧道运营产生的影响范围,必须达到以下要求:(1)地铁基础构造的垂直下沉及水平偏移不超过20毫米;(2)隧道形变轨迹的曲率半径应不小于15000米;(3)相对曲折度须 $\leq 1/2500$ 。

(二)基坑大开挖对下方盾构隧道的影响分析

为充分评估基坑开挖作业对下方盾构隧道结构力学特性和变形情况的影响,运用三维全局有限元模拟方法进行了深入研究。

在设定的模型边界条件下,模型底面在Z轴方向的自由度被约束,前后侧边界则限制在Y轴方向的位移,而侧面边界在X轴方向受到约束。根据已有工具书记录的地层和结构的计算参数,在模拟过程中对结构进行了适当的等效处理,以确保计算的精确性。进行大规模基坑开挖的三维模拟主要包括以下关键步骤:评估原始土壤应力状态,构建盾构隧道模型,建造支撑墙和桩基,分层移除土壤,安装转换梁和连接板,继续下层土壤开挖以及处理转换梁顶部的荷载管理。

(三)计算结果及其分析

第一,隧道的形变主要发生在挖掘过程中,尤其是当土壤挖掘深度达到8.3米时,顶部土壤移除后隧道承受顶部卸荷和侧向压力,导致垂直和水平方向的形变,在此过程中,垂直方向的最大形变量为9.5毫米,水平方向的最大形变为3.2毫米。

第二,盾构隧道在横向土壤开挖时的形变程度有限,原因在于盾构结构在侧向土层开挖前已建立,为隧道提供了一套有效的防护机制,从而有效抑制了结构形变。

第三,隧道两侧的防护桩在一定范围内有助于控制隧道在垂直和水平方向的形变,并在挖掘顶部土壤时提供抗拔出的支撑,在挖掘两侧土壤时提供横向阻力。

第四,隧道顶部的地下室及覆土重量在一定范围内分担了荷载,减少了隧道的纵向和横向形变,分别减少了约2毫米的纵向形变和约1毫米的水平形变。

第五,盾构施工过程中,隧道在垂直和水平方向的形变在纵向上的分布较为平滑。在隧道的纵向轴线上,水平方向的最小形变曲率半径约为200,000米,该值在土壤挖掘深度8.3米处出现,远超过地铁盾构隧道规定的最小形变曲率半径标准限制,即15000米。

三、工程实例分析

开发与利用城市底层空间是一项综合性的工程任务,涵盖了地面与地下的利益协调,资源的勘查与需求的预测,以及资金配置和施工计划的制定,要求全面的规划,具有前瞻性和预测性。

(一)工程概况

在浦东新区的世纪大道、张杨路和东方路的交汇点,正在进行的东方路下穿桥项目是一个地下通道,双向各设四车道,同时地道两侧也设计有等量的地面交通网络。该通道主要沿南北轴线延伸,全长约600米。其设计中,穿越地铁2号线的部分位于东方路站约100米处,以斜向方式跨越2号线隧道的上方。

该下穿式交通枢纽被划分为两个部分:一部分是200米边长的矩形封闭箱涵结构,位于交通繁忙的交叉点;另一部分是南北两侧的敞开式结构,长度达到270米。值得注意的是,该立交桥同时涉及已运营的R2号线、在建的M4号线以及规划中的R4号线的交叉。从北端开始,依次为M4号线(明珠线二期)隧道、运行中的R2号线(地铁2号线)隧道,以及规划中的R4号线(市域线)隧道。在立交桥下方,每隔20至30米设置一道沉降缝,据此原则,立交桥被细分为23个单独的区段,编号从S1到S12以及N1至N11。其中,N1段(南侧)和N2段(北侧)横跨地铁2号线隧道顶部,

挖掘深度为6.3米,而结构底部与地铁隧道的距离不足2.6米。

(二)控制措施

1.加固地基

为确保立交桥建设的施工安全及地铁2号线的运营稳定性,实施了桩体加固措施,结合三重筒形高压旋喷桩技术和双组分注浆工艺,以强化松散地基的稳固性,提高土壤承压能力,防止地基液化,增强基坑抵抗浮力的能力,保证基坑结构的稳定性,减少坑底回弹及下方隧道的拱起变形。在穿越地铁2号线隧道的施工段,利用水泥混合技术构建了周边的支撑结构,并通过SMW工艺进行了桩基作业,为有效控制隧道的升高变形,对该区域的土壤进行了全面的固化处理,采用旋转喷射桩与SMW法桩的组合加固方式,确保水泥掺入量不低于20%。在基坑挖掘至设计深度的过程中,为精确控制隧道的隆起,在隧道两侧的SMW桩中垂直植入了H型钢构件,形成了一套有效的约束系统,以防止隧道在土方作业期间发生位移或隆起,每根型钢必须至少深入地下25米,以保证其稳定性和功能。

2.基于时空效应的基坑施工法

在进行地下轨道通道的土方挖掘工作时,应确保地铁的双向运行线路各自独立,需按照列车的行进方向对土方进行纵向分割,并分别进行作业,在挖掘作业时,务必严格遵守“逐层剥离、区块划分、保持对称、维持稳定、限定作业时间”的准则,以确保挖掘、支撑和回填等操作的有序进行。

3.加强监测,做到信息化施工

隧道顶部的开掘区域被定义为极高风险的工程,其间距从上方交通基础设施的地基底部到正在运营的地铁隧道顶部的最短距离仅为2.8米,对地铁隧道的形变控制标准提出了极为严格的要求。为解决该问题,东方路立交桥项目中采用了自动化监控系统及数字化施工管理技术,在地基加固和挖掘作业期间,依赖大量的监测数据,利用理论模型和数值分析工具,对可能因施工引发的隧道位移进行预测,利用实时监控方法能够有效检测隧道位移变化,及时发现施工过程中可能存在的问题,并基于信息技术对施工计划进行调整和指导,根据监测数据,下行轨道的最大膨胀量为12.25毫米,上行轨道为11.79毫米,形变量都未超过20毫米的安全极限,确保了地铁运行的稳定和安全。

结论:

为确保城市的持续繁荣与发展,积极开发地下空间,系统性开采地下资源,以及推动空间的立体整合利用,已成为主流趋势。通过综合分析地下空间开发的特性,案例研究及相关探索,确证了该方法在提高土地利用率和保护土地资源方面的重要性,对缓解城市中心的过度拥挤状况,实现人流、车流的三维分流,优化交通动态,以及扩展公共设施的覆盖范围起到了显著效果,同时增加了城市绿色空间,有效保护了历史文化遗产,减少了污染,对改善城市生态环境做出了重要贡献。

参考文献:

- [1]王灵珏,赵睿成,范毅,等.地下空间开发地质环境质量评价指标体系研究[J].低碳世界,2024,14(04):112-114.
- [2]易荣,阎浩,祁民,等.基于城市规划的城市地下空间开发适宜性评价探讨[J].地质与勘探,2024,60(02):339-347.
- [3]唐鑫,许书刚,龚绪龙,等.土体工程地质层划分及其在城市地下空间开发中的应用[J].地质与勘探,2024,60(01):164-176.
- [4]于超.城市地下空间开发利用规划与管理研究[J].住宅与房地产,2023,(36):71-73.
- [5]徐飞飞,陈剑文,李俊莹,等.云模型在城市地下空间开发利用适宜性评价中的应用研究[J].安全与环境工程,2024,31(01):107-115.