

软土地层双侧基坑分步开挖对既有地下管线位移的时程效应量化分析

刘德平

天津市中天领航建筑工程有限公司 天津市 300011

摘要: 在城市化建设的不断拓展之际,软土地基双侧基坑分步挖掘的施工活动呈现增长趋势,该流程对既有的地下管道网络所产生的影响成为核心关注焦点,本研究采用数值模拟与现场监测相结合的研究路径,对软土地层双侧基坑分步开挖导致的地下管线位移的时间历程效应进行量化评估。设立了融合土体属性、基坑支护构造与地下管线交互作用的立体三维有限元模拟平台,对地下管线在开挖不同阶段位移现象进行动态模拟研究,在工程实施阶段进行监测点的部署,实施现场监测数据的搜集与分析,确认数值模拟的精确性水平。

关键词: 软土地层; 双侧基坑; 分步开挖; 地下管线; 位移时程效应; 量化分析

1 引言

在城市现代化建设的演进轨迹上,基础设施领域内工程项目的数量稳步上升,基坑工程作为城市建设的关键环节,占据着举足轻重的地位,对软土地基进行反复的工程扰动,在城市地下空间结构中,已布设了大量的既有地下管线,供水、排水、燃气、电力等公共服务的管道设施组合,这些管道是城市运行中不可或缺的支撑结构[1]。在执行双面基坑分阶段挖掘作业期间,基坑开挖引起的土体位移现象必然会对邻近的地下管线设施造成影响,管线遭受位移、形变乃至破坏的后果,进而诱发城市运行系统故障,引发严重经济损失及广泛社会后果,精确评估软土地层中双侧基坑分阶段挖掘对现有地下管线位移影响的动态过程,维护基坑工程安全施工及现有地下管线持续运作,具有极其重大的现实意义[2]。

2 工程概况与地质条件

2.1 工程概况

在核心商务区,一座大型商业综合体建设项目已进入实施阶段,本工程包含两个相邻的大型基础挖掘坑,相邻基坑之间的空间距离较为紧凑,周边地带存在大量密集的既有地下管线布局,基坑一区采用矩形设计,长度规格为200米,本宽度规格为八十米,该挖掘作业的深度为12米;基坑二号与基坑一号毗邻,该测量对象的长度为180米,宽度尺寸为七十米,属标准尺寸,本工程挖掘作业的深度为十米。本工程在施工阶段,实施了双侧基坑分步挖掘的施工技术,依据施工流程,初期阶段应优先进行基坑的开挖,本操作流程可划分为三个阶段逐步实施,各挖掘工序的深度标准统一规定为四米,连续三个阶段;基坑一施工阶段顺利结束,并已进入稳定运行阶段一段时间,实施第二次基坑挖掘工程步骤,本流程划分为三个阶段,各挖掘作业阶段的深度设定为3米、3米及4米,基坑周边区域设有DN500口径的供水管道、DN800口径的排水管道以及10kV电压等级的电力电缆等核心地下构筑物,本工程管道的埋设深度遵循2米至4米的埋设要求,该工程基坑

周边最近距离为八米[3]。

2.2 地质条件

参照详实的地质勘探档案,该地域的地层构成以软土地层为主,自顶向下排列,人工堆叠的土层结构,该层厚度测量结果为1.5米,该地层主要由混合填土与纯净填土材料组成,粉质淤泥型黏土地层,本设计所采纳的结构层厚度区间为8米至10米,流塑状态与软塑状态的过渡阶段,粉质黏土沉积层,本设计所采纳的结构层厚度范围为六米至八米,力学性质表现上乘;该材料展现出一定的渗透特性,地下水资源埋藏深度较浅,埋设深度达到1米,潜水活动构成其主体活动,水文状况的波动与季节性因素及邻近生态环境紧密相关[4]。

3 数值模拟分析

3.1 模型建立

依托于ABAQUS大型通用有限元分析软件,成功实现了三维有限元分析模型的建立,论述软土地层双侧基坑分步开挖对既有地下管线位移影响的模拟研究及其在工程实践中的应用,本模型在基坑长度方向,即x轴方向上的尺寸规格为300米,就y轴方向而言,基坑的宽度参数设定为200米,在三维空间坐标的z轴方向上,距离长度设定为30米,旨在防止边界效应对研究区域的潜在干扰。本研究采用实体单元模型对土体结构进行了详细模拟分析,为更好地反映软土特性,本研究采用了修正剑桥模型作为本构模型,在基坑支护工程中,采用板单元模型对支护结构进行模拟分析,对结构刚度及其与土壤介质相互作用的性质进行深入分析。采用梁单元模型对地下管道系统进行结构模拟,依据管道材质及直径的实际情况,设定相应的技术调整参数,在模型设计阶段,必须精确设定恰当的相互作用关系,涉及土体与支护结构、土体与地下管线等接触面,精确模拟它们之间的交互作用规律[5]。

3.2 参数选取

土体工程特性参数的选取依据地质勘察报告中土工试验数据得出,对剑桥模型的关键参数群,诸如孔隙比、压

缩指数和回弹指数等,依据室内实验数据及经验公式进行细致的修正与优化,根据设计图纸所标注的支护结构材料特性,对基坑支护结构的弹性模量及泊松比等参数进行精确匹配。地下管道系统的参数配置应结合材料性质与规格标准进行科学选取,本供水管道系钢筋混凝土材质制成,其弹性模量及惯性矩等参数的选取,均依照相关行业标准执行;在评估电力电缆的技术要求时,必须充分评估其外层防护的力学性能,探讨地下水效应时,应将孔隙水压力的设定纳入考量范围,针对地下水位深度,实施相应的初始孔隙水压力配置。

3.3 开挖模拟步骤

模拟实际工程双侧基坑分步开挖的施工步骤,实施初始应力平衡的数值模拟分析,促使模型进入初始的稳定运行阶段,进行基坑一的开挖作业的初始步骤,进行模拟挖掘作业,对4米深度范围内的土体进行剥离,挖掘作业引发的应力重新分布与土体变形效应需纳入评估范围。在每一挖掘动作的完成阶段,实施数值计算收敛性的核实,实现模型稳定性的维护与监控,基坑1的第二、第三阶段挖掘工作得以展开,按照既定步骤反复进行,在基坑一区施工工程竣工并稳定运行一定时日(模拟实验中设定为十五日)之后,按照预定步骤,对基坑二进行分阶段的开挖作业,现已开始实施,该作业亦需分作三个步骤依次展开,对每一开挖步骤对土壤结构及地下管线可能产生的效应进行模拟分析,在模拟实验的整个实施阶段,对地下管线关键节点位移的实时监控与分析,实施物体位移时间序列数据的搜集与保存工作。

4 现场监测方案

4.1 监测点布置

目的在于核实数值模拟数据的可靠性,实施实际工程中地下管线位移数据的收集与整理分析,现场配置了周到的监测点阵,在地下管网的关键布局区,所述区域涵盖基坑周边邻近地带及管线交叉点,按照5米等距原则,布设位移监测站点,关涉至国家基础设施体系中的供水与排水管道等核心设施,运用水准仪与全站仪对垂直位移及水平位移进行高精度监测,在基坑周边土层内规范配置分层沉降观测点及土体水平位移观测点,对基坑挖掘作业过程中土体变形的全面状况进行深入研究。

4.2 监测频率

在地下基础工程的开挖初始阶段,监测作业的周期性安排为每三天执行一次,在挖掘作业的深入进行阶段,尤其是在进行关键挖掘作业的前后时段,将加密监控的频率调整至每日一次进行,在地下管线位移监测中,若出现位移变化较大并伴随异常现象,对监测频次实施进一步的强化,必须对位移趋势的演变态势进行实时掌握,基坑挖掘作业完成,稳定性得到充分验证,监测间隔逐步拉大,维

持既定时间跨度的周期性审查,对地下管线位移的后续变化趋势进行跟踪研究。

4.3 监测数据采集与处理

借助专业监测设备,按照既定监测周期实施数据搜集活动,数据精确性与可靠性是衡量标准的核心要素,对所收集的监测数据实施即时性整理与深度分析,呈现地下管线位移随时间发展轨迹的曲线图形,解析土体变形与地下管线位移间的曲线相关性及其特点,对各个阶段监测数据的对比研究,以揭示其演变规律与内在联系,探讨地下管线位移的时间序列规律及其时程效应的内在联系。

5 结果与分析

5.1 数值模拟结果分析

运用数值模拟方法,本研究成功获取了双侧基坑分步开挖作业中地下管线位移随时间变化的时程曲线,在基坑一的挖掘作业起始时期,基于挖掘作业的深度不高,对地下管线的影响相对有限,管道位移增长速度逐步放慢,随着基坑一挖掘深度的不断拓展,土壤变形现象的规模正逐步放大,地下管线位移传递现象的幅度正逐步扩大,位移增长速度急剧上升。基坑一的开挖工程已按计划完成,地下管道的位移量级已显现出相对较大的数值,在基坑一阶段稳定性维护期间,位移增长速度逐步显现出平缓特征,基坑二号区域挖掘作业一经启动,近期观测结果显示,地下管线位移的增长趋势再度显现,针对基坑2的挖掘作业,尤其应重视其与地下管线相邻侧面的开挖过程,管道位移现象明显扩大,双侧基坑分阶段挖掘作业完成后,已持续稳定运行一段时间,地下管线位移过程正逐步向稳定状态过渡。

5.2 现场监测结果分析

实际监测所收集的数据与通过数值模拟方法获得的结果呈现出较好的吻合度,在地下基础挖掘作业的实施阶段,地下管道的位移演变规律与数值仿真结果高度一致,对现场监测数据的进一步挖掘,在工程实施阶段,基于土壤性质的不一致性及施工过程中的若干不确定变量,实际地下管线位移在局部区域的波动可能超出数值模拟的预测结果。针对局部地带,土体显示出较为脆弱的力学特性,观测数据显示,地下管线垂直位移的数值增长尤为明显;施工实施阶段,针对基坑支护结构局部变形及施工活动所引发的干扰效应,地下管线水平位移或许引发异常位移现象,现场检测结果验证了数值模拟技术的有效性,亦反映了工程实施过程中所遭遇的复杂现实挑战。

5.3 数值模拟与现场监测对比分析

对数值模拟结果与现场监测数据实施细致入微的对照分析,对地下管线位移的整体变化趋势进行分析,发现两者之间存在高度的一致性,具体数据上呈现出一定的分歧,对差异产生根源的深入剖析,本论述主要聚焦于以下几项

关键点：数值模拟过程中，土体参数选取及模型简化所引起的误差是关键问题之一，实地测定的土壤性质呈现出一定的非一致性，数值模型在全面精确地呈现现实方面存在一定偏差；施工实施阶段的不确定性因素对项目进度产生显著影响，对挖掘作业顺序的微小调整以及施工机械引发的振动现象，数值模拟技术对于此类因素的全面分析存在一定障碍，即便存在众多分歧与分野，数值模拟分析与现场监测数据相互补充说明，本量化分析旨在探讨软土地层双侧基坑分步开挖对既有地下管线位移时程效应的影响，力求得出全面且精确的结论。

6 工程应用与建议

6.1 基于量化分析结果的工程措施优化

参照本篇论文的量化分析所得结果，针对实际工程需求，对基坑挖掘技术方案与地下管线保护手段进行了系统性的改进，探讨挖掘作业的施工序列，对基坑1和基坑2的开挖作业时间差进行了精确的调整与优化，唯有当基坑1的稳定性得到确认后，方可启动基坑2的开挖工程，大幅减少了地下管线的位移量。针对深基坑支护体系设计领域的探讨，经量化分析得出的土壤变形及地下管线位移相关数据，对靠近地下管线一侧的支护结构实施了适度强化，提高了其刚度指标，显著提升了土壤变形的管控水平，为保障地下管线周边安全，采用了注浆加固等加固措施进行防护，增强了土壤对管道结构的支撑效率，有效降低了管道位移的潜在威胁。

6.2 对类似工程的建议

在软土地基条件下，对双侧基坑进行分阶段挖掘，并考虑到周边既有地下管线设施的相关工程类型，在工程项目启动之初，应实施周密的数值模拟研究，对现场地质状况与地下管线分布进行有机整合，探讨基坑开挖作业中地下管线位移的时间序列效应预测方法，为工程设计与施工活动提供科学的理论依据。施工实施阶段，需强化现场环境监测力度，迅速比对监测数据与数值模拟结果的吻合性，依据实际施工环境，对施工参数及防护措施进行恰当调整，必须对土壤性质的非均一性及施工过程中的不确定性进行系统的分析，实施必要的安全缓冲机制，必须对基坑开挖期间地下管线实施安全防护。

结论

本研究采用数值模拟与现场监测相结合的研究路径，对软土地层双侧基坑分步开挖对既有地下管线位移的时程响应进行了精确量化，构建的三维有限元模型对软土地层双侧基坑分阶段开挖过程中土体、支护结构及地下管线间的相互作用进行了较为精确的模拟，基于数值模拟方法得到的数据与现场监测所收集到的数据资料具有较高的一致性水平，经严格测试，该模型展现出极高的可靠性。双侧基坑分步开挖对地下管线位移的影响呈现出显著的阶段性特征和时程效应，在地下开挖作业的起始阶段，位移的累积增速呈现渐进式增长，挖掘作业的进行导致位移增长速度加快，现象日益显著，挖掘作业结束之后，地面的位移现象逐步显现出稳定化的趋势。基于量化分析方法，成功绘制了地下管线位移的历时变化曲线及其核心参数，本表述是工程评估不可或缺的依据之一，地下管线位移的时间历程效应受基坑开挖顺序、挖掘深度、土体特性、基坑支护结构刚度以及地下管线与基坑相对位置等因素的显著制约。在工程设计及施工领域，应全面综合这些考量点，改进施工挖掘策略及地下管道防护手段，根据量化分析所得结果，对实际工程中的基坑开挖设计及地下管线保护措施进行了系统性的改进与优化，实现了既定成效目标，为相关工程项目提供了宝贵的借鉴价值。

参考文献

- [1] 钟定兰. 软土地区基坑开挖对既有地铁隧道影响的研究[D]. 南京林业大学, 2007. DOI:10.7666/d.y1111726.
- [2] 杨楚荣. 软土地层深基坑开挖设计与施工[J]. 广东建材, 2009(5):4. DOI:10.3969/j.issn.1009-4806.2009.05.045.
- [3] 鹿健. 软土地区基坑开挖对邻近既有群桩影响分析[D]. 南京林业大学, 2011.
- [4] 高文华, 沈蒲生. 软土基坑分步开挖时地层移动规律探讨[J]. 湘潭矿业学院学报, 2002. DOI:CNKI:SUN:XTKY.0.2002-01-000.
- [5] 李航, 廖少明, 何君佐, 等. 软土基坑分步开挖卸荷时效及其对邻侧隧道影响[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2023, 54(3):1044-1053.