

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.10.043

顶管施工地表沉降数值模拟分析

刘春波

(烟台市莱山区综合行政执法局, 山东 烟台 264000)

摘要: 随着城市人口的不断增长,城市地下空间的发展程度不断提高,顶管法在城市地下空间地下管道(包括排水管道、电力管道等)的建设中得到了广泛的应用。现结合顶管技术的特点,分析了顶管技术在城市地下排水管道施工过程中可能出现的施工技术难点和重点问题,并提出了一些处理措施。并以某市顶管排水管道施工实际工程为例,结合数值模拟手段,详细介绍了不同顶管施工技术在此类地质条件下的施工特性,包括土压型平衡顶管技术、泥水型平衡顶管技术、气压型平衡顶管技术,得出泥水型平衡顶管更适宜此类土层施工的结论。

关键词: 顶管;施工;城市;建设;沉降

中图分类号: TU94+3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0166-04

0 引言

顶管法施工是一种通过借助顶升力推动混凝土管段或钢管管段前进,从而实现不开挖或少量开挖的施工技术^[1-2]。在顶管施工过程中,推动千斤顶的轴承板需要由工作井的侧壁和墙后的土体所提供的巨大的支撑力。

顶管按工作埋深可分为两种,一种是深顶管,一种是浅顶管。深顶管由于埋深较深,土层压力较大,工作井周围的土体能够抵抗这些顶升力。但对于浅顶管,由于浅顶管敷设深度很浅,工作井周围的土体很浅,阻力作用有限,因此而成为浅顶管工作井设计和施工的难点,也是决定施工质量与整个工程成败的关键^[3]。按顶管的工作机理分,顶管可分为气压平衡、泥浆平衡和土压力平衡三种。不同类型的顶管对于不同地层的适应也各不相同,其设计方法也各不相同。因此,对于不同地层建设排水管道时宜根据地层特性选取不同顶管进行施工。

正确选择顶管施工工艺和设备,对保证工程质量、控制地表沉降、降低成本、组织文明施工至关重要。在进行顶管施工工艺和设备的选择时,人们主要根据地质和地下水条件、对地表和周围环境的影响,以及现场条件进行选择。在工程设计中,数值分析通常应用于工程行为的模拟。通过数值模拟,可以快速确定土层与顶管相互作用的工程力学行为,以此可

以快速分析确定顶管施工对顶管路线附近的建筑物和管道的影响,并作为更好的工程设计的依据^[5]。基于此,现通过对比现场实测结果及数值模拟分析结果,研究了不同顶管施工技术的适用性。

1 顶管技术施工特点

1.1 设备唯一性

每项顶管工程都需要根据管径、壁厚、地质、水文条件分别设计专用设备。在管径相同的情况下,顶管掘进机由于地质条件的不同,在工艺流程、截土方式、防水结构等方面也会有所不同。顶管隧道工程如果没有合适的设备将很难实施,因此该工程在很大程度上依赖于设备。

1.2 高风险性

顶管隧道是一种地下工程,由于地质的非均质性,在地质错配、顶管机故障、漏水等情况下,顶管隧道比地面工程在时间和资源上更难处理,需要更多的投资,有时会导致工程失败。因此,顶管隧道施工的风险比一般土木工程项目要高,要求施工技术人员具有善于总结、掌握先进技术、预测可能出现的故障等优点,以避免事故和 risk 的发生。

2 工程概述

2.1 工程背景

为满足城市防洪排水需求,需要建设一条连接该市区的防洪管道连接系统。该防洪管道南接城内地管道系统,北通城外某河流,施工时由南向北进行开挖,项目示意图如图 1 所示。顶管管道总长 400 m,由

收稿日期: 2021-12-25

作者简介: 刘春波(1972—),男,本科,高级工程师,从事城市排水管理工作。

160段组成,钢筋混凝土段外径4.16 m,内径3.5 m,每段长2.5 m。由于城市建设初期规划城内地势高于城外,故该项顶管布置为斜坡型布置,各部位管道标高不一,相差十余米。离港和到达井均为开放式沉箱结构,底部标高-21.0 m。根据现场调查结果,图1给出了主要地层土层性质和基本物理力学参数。

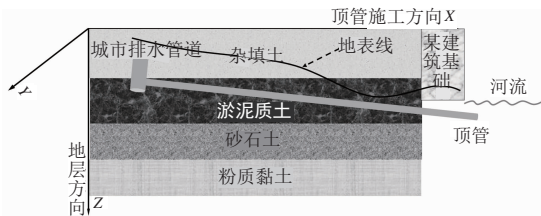


图1 管道位置及土层情况示意图

2.2 工程技术难点

在顶管施工过程中,由于顶管距地表土层距离不一,且地上建筑物复杂,出口处含有某建筑物基础,管头出口处最小覆土深度为3.0 m,远远低于同类顶管施工土层厚度。因此,在顶管施工过程中,极易导致管道周围的土壤受到干扰,当土壤变形超过一定范围,更会严重危及邻近建筑物、基础、路面和地下管道的安全,造成一系列的环境和岩土工程问题。为此,现通过对不同顶管技术惊醒数值模拟研究,分析采用不同顶管施工时顶管周围土力学分布和沉降变形规律。同时,对现场施工环境进行土层地表沉降监控,确保顶管施工的顺利完成,并为今后类似工程的施工提供参考。

3 数值模拟分析

3.1 数值建模及相关假设

3.1.1 数值模型建立

为了分析顶管施工的力学特性,研究施工过程中的表面沉降和变形特性,采用有限元分析软件MIDAS GTS NX,通过建立模型和设置参数,对顶管施工引起的土壤变形规律进行分析和总结。模型尺寸为150 m×40 m×60 m(长×宽×高),模型节点数为65 241,模型单元个数为49 876,顶管顶起平面为Y-Z平面,顶管方向为X轴正方向,Z轴负方向为深度方向,顶管方向如图2所示。管体采用弹性壳体单元进行模拟,不同开挖方式效果的模拟采用空单元法实现。其余参数及土层参数由地勘测得如表1所列。

3.1.2 模型假设

在计算和分析之前,为使模型计算尽可能贴近真实情况及简化计算,该模型对此做出如下假设:(1)

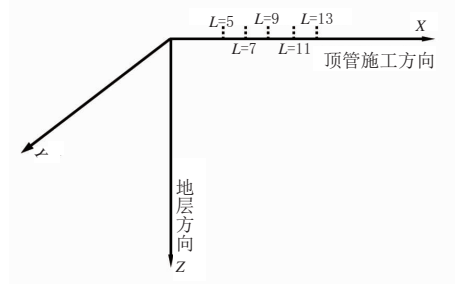


图2 顶管施工示意图

表1 有限元力学计算参数

类别	容重 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	杨氏弹性模量 E / MPa	泊松比	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$	黏聚力 c / kPa
预制管片	27.1	3.54×10^4	0.2	—	—
顶管机1	78.0	2.10×10^5	0.2	—	—
顶管机2	75.0	2.08×10^5	0.2	—	—
顶管机3	78.8	2.12×10^5	0.2	—	—
杂填土	18.0	16	0.36	10.0	10.0
淤泥质土	14.2	10.0	0.39	5.0	10.0
砂质土	19.4	17.4	0.26	22	2.8
粉质黏土	16.2	13.9	0.38	5.1	9.8

在顶管的顶进过程中,超浅埋顶管的前推力设置为矩形均布载荷。(2)计算时仅考虑土层的附加变形应力,由土体自重引起的变形不予考虑。(3)顶管施工过程中只考虑顶管间距的变化,不考虑土体的时间效应。(4)假设模型的上表面是地球表面,这是一个自由界面;对于模型的侧面和底部设置为唯一边界,限制侧面的水平移动和垂直移动。模型顶进施工时的有限元网格模型及顶进坐标如图2~图4所示。

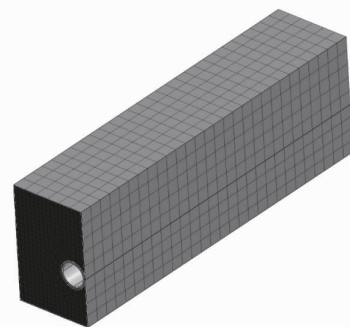


图3 顶管施工网格划分图

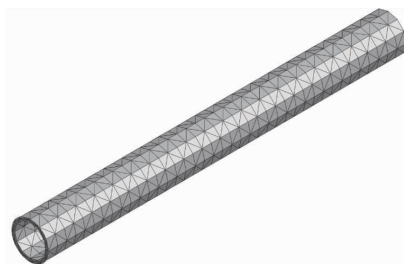


图4 顶管网格划分图

3.2 模型结果分析

3.2.1 地表沉降结果分析

结合工程实例现场实际情况及沉降监测点布设

原则,在进行现场布设点位时,由于顶管施工区顶部为环城公路,且项目所在地区交通量大,人口流量密集,在施工过程中应特别注意地表隆升或沉降。因此,为提高数据采集精度,确保顶管安全施工,采用全站仪作为点位布设仪器,将沉降监测点根据实际情况布置在顶管施工区表面附近,主要布设在顶管轴上和顶管两侧,选取顶管中心轴线两侧20 m以内的测点进行分析,监测断面则选择在顶管开始 $X=13$ m、埋深3.8 m位置处。水平坐标表示顶管中心轴线两侧之间的距离,垂直坐标表示地面沉降, L 代表顶管顶进距离。

根据上述点位布设,按照施工规范监测要求,对现场沉降观测点进行观测并整理。同时,为对比不同顶管施工技术在此类地层的适用性,现通过数值模拟软件MIDAS GTS NX同时模拟了相同工况下三种不同顶管施工技术(土压型平衡顶管、气压型平衡顶管及泥水型平衡顶管)相同点位的施工沉降数据,对所测数据及模拟数据进行整理绘制如图5所示。

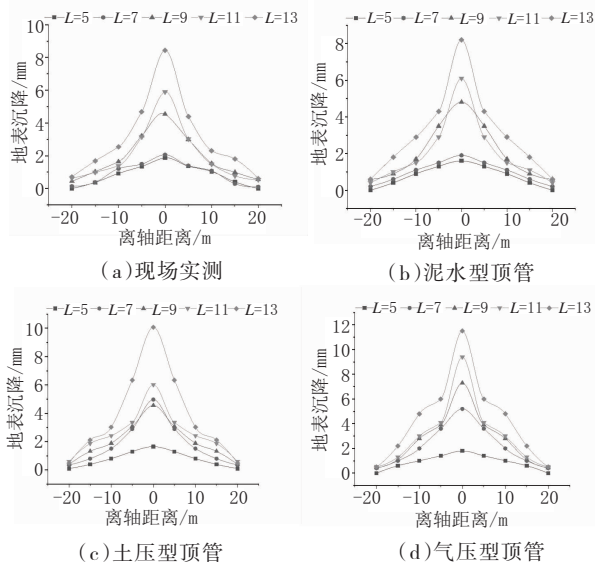


图5 不同顶管施工地表沉降结果曲线图(单位:mm)

图5(a)~5(d)分别反映了四种工况下顶管推进过程中顶管上覆土层的地表沉降值大小。由图5(a)可以看出,当顶管机的机头刚插入土壤时,土壤表面有轻微的隆起,但此时顶管引起的地表沉降几乎可以忽略不记,对周边土壤影响较小;但随着顶管连续顶管的进行,顶管前土压力增大,进而产生“挤压效应”,此时顶管顶升力也随之增大,由此导致前进时对周边土壤产生较大扰动。通过现场实测地表沉降数据发现,这种顶升力对地层土壤的扰动还与距顶管轴线距离有关,距离顶管轴线越近,扰动越强烈,表现出的沉降也就越大。从图5可以看出,最大扰动

位置发生在顶管轴线正上方推进距离为13 m处,此时地表沉降最大超过8.2 mm,最小扰动位置发生在距顶管轴线20 m顶管顶进方向西侧,此时地表沉降最小仅发生0.1 mm。经调查发现,造成顶管东西两侧沉降不一致的原因在于顶管轴线西侧靠近城市电力隧道,该区域部分土层前期进行过加固处理,故实测数据东侧沉降略大于西侧。

由图5(b)~5(d)可以看出,三种不同顶管施工数值模拟结果均与现场实测数据规律相同。由此可见,数值模拟软件可以较好地模拟现场施工环境。但对比三种不同型号顶管施工模拟地表沉降数据发现,对于泥水型平衡顶管,其整体沉降数据与现场实测数据相近,仅相差0.24 mm;对于气压型顶管,整体沉降数据与现场实测数据相差3.26 mm;对于土压型顶管,整体沉降数据与现场实测数据相差1.84 mm。综合三者沉降数据差发现,在此类工程地质环境下采用顶管施工时,相比于其他两种类型顶管,泥水型平衡型顶管的顶进效果更好,对地层扰动最小。

3.2.2 顶管结构应力分析

通过上述顶管施工过程的地表沉降监测发现,在此类地区使用泥水型平衡型盾构有着较强的地层损失控制能力,但在顶管施工过程中,除对地层损失控制之外,顶管的施工应力指标也是顶管施工过程中的一个重要参数。因此,本节将对顶管施工过程中的顶升力进行模拟分析,同时对比现场施工过程中的顶升数据,进而为此类工程施工提供可靠的理论依据。图6(a)~6(d)分别反映了四种工况下顶管推进过程中顶管三个不同点位处($L=5$ 、 $L=9$ 、 $L=13$)的顶升力数值大小。

从图6中可以看出,四种不同顶管施工技术下产生的最大主应力的变化规律基本相同,且越靠近顶管机的位置最大主应力越大。当顶管刚刚顶进时,最大主应力迅速增加,随着管接头的逐渐顶起,最大主应力的增长速率逐渐下降,但也在缓慢增加。顶升结束时,现场实测顶升时最大主应力达到约952 kPa,泥水型顶管顶升时最大主应力达到约980 kPa,土压型顶管顶升时最大主应力达到约1 078 kPa,气压型顶管顶升时最大主应力达到约778 kPa,且每种顶管顶进过程中越靠近顶管机的位置最大主应力越大。

綜上图5、图6可知,顶管在顶升过程中,泥水型顶管无论是在地层沉降控制还是在最大主应力控制方面均有较好的表现,并与实测数据吻合,故建议在

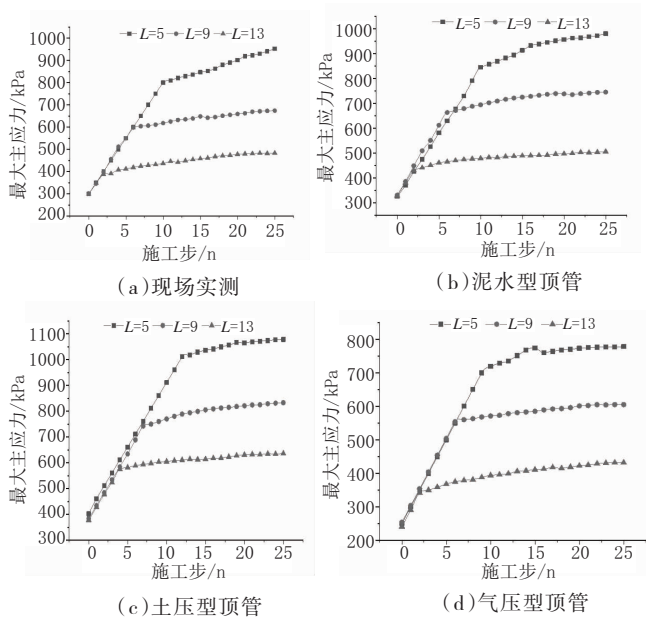


图6 不同顶管施工最大主应力值曲线图

此类地区开展排水管道施工时使用泥水型顶管。

4 结语

为了更好地指导今后在类似地层中进行顶管施工,本文采用三维数值模拟方法进行了数值模拟,通过对现场测量数据的比较验证了模型的有效性,并对比分析了不同施工技术在此类地层运用的合理

性,得出如下结论:

(1)通过对比现场实测及三种不同型号顶管施工模拟的地表沉降数据发现,相比于其他两种类型顶管,泥水型平衡顶管对土层的扰动最小,且最接近现场实测真实数据,仅相差 0.24 mm,在地层沉降控制严格地段,建议选取泥水型平衡顶管施工。

(2)结合现场实测及不同顶管施工数值模拟数据得出:气压型平衡顶管施工时最大主应力值最小,泥水型次之,土压型最大,综合上述可知,采用顶管技术在此类地层进行排水管道施工时,宜优先考虑泥水型平衡顶管技术。

参考文献:

[1] 沈路燕.顶管施工技术在雨污水管道建设中的应用研究[J].城市道桥与防洪,2018,231(7):236-238,23.

[2] 苏树铮.给水排水管道设计和施工的几个问题[J].电力建设,2003(2):14-16.

[3] 李敏.顶管技术在排水管道施工中的应用[J].科技资讯,2010(19):130.

[4] 孟丽娜.排水管道顶管施工技术探析[J].科技创新与应用,2016(35):171.

[5] 唐超.微型顶管在排水管道建设中的应用[J].工程技术研究,2020,5(20):135-136.

(上接第 161 页)

参考文献:

[1] 罗庚,刘建伟,刘刚,等.地铁车站钢-混凝土联合内支撑体系变形分析[J].河南城建学院学报,2020,29(6):43-47,86.

[2] 刘树亚,潘晓明,欧阳蓉,等.用钢筋混凝土支撑代替钢支撑的深基坑支护特性研究[J].岩土工程学报,2012,34(S1):309-314.

[3] 黄雅琪.某地下连续墙深基坑支护结构中钢筋混凝土支撑性能研

究[D].南宁:广西大学,2014.

[4] 赵国强.深基坑施工全过程中典型工序引起的变形研究[J].上海建设科技,2021(2):27-30.

[5] 秦文献.地铁车站工程深基坑开挖施工技术[J].城市住宅,2021,28(3):237-238.

[6] 刘文胜,梁文新,黄华祥.复杂环境下车站深基坑工程支护及开挖施工技术[J].绿色环保建材,2020(11):120-122.