

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.10.047

# 基于有限元模拟的道路顶管施工优化

付 颢<sup>1</sup>, 张振华<sup>2</sup>, 刘 斌<sup>2</sup>

(1.北京海融达投资建设有限公司,北京市 100068; 2.北京城市道路养护管理中心,北京市 100068)

**摘要:**北京某外电源改造项目,下穿市政道路采用顶管法施工。为研究外电源顶管下穿对市政道路及管线安全的影响,通过数值模拟,分析了顶管施工引起市政道路、管线的变形规律。并采用数值模拟试验的方法,通过优化顶推压力以减小顶管施工对地层扰动,进而减小对市政道路及地下管线的变形影响,保证穿越工程安全。试验结果表明,通过优化顶推压力,穿越工程施工对道路沉降影响减小 45%,对管线变形影响减小 47%,研究成果对下穿顶管的安全施工和市政道路及管线的正常运营具有重要的意义。

**关键词:**顶管法;穿越;模拟优化;变形

中图分类号:U415

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)10-0210-04

## 0 引言

随着我国新型城镇化建设的快速发展,城市市政道路及地下管网日益密集,新建市政管线不可避免的需要穿越市政道路及管线,甚至大量穿越对变形较为敏感的带压、重力流等管线。这对市政管线新建工程提出了更高的变形控制要求以保证市政管线及道路变形可控、运营安全。顶管法作为一种非开挖工法,在市政管网工程中应用较为普遍。目前顶管施工顶推力的设定研究欠缺,具体施工主要以克服管片与地层的摩阻力及迎面阻力为准,这就造成掌子面初始地应力卸载严重,稳定性差,进而引发道路及市政管线变形甚至破坏。

本文以北京某外电源改造项目下穿市政道路、管线为研究背景,通过数值模拟试验方法,分析了不同顶推力条件下,顶管施工对道路及市政管线变形的影响,研究结果为该项目顶管的安全施工和市政道路及管线的正常运营提供安全保障。

## 1 工程概况

北京某外电源改造项目,工程起点位于中央党校研究生院院内成人教育学院东侧,管道管径为 $\phi 1050$ ,材质为钢筋混凝土,内敷 $12\phi 150+2\phi 150$ M-PP管电力管线由东向西穿越昆明湖东路,终点为昆明湖东路与圆明园南路交叉路口西北侧现状电

力井。管线全长 37.2 m,覆土厚度为 4 m,采用顶管法施工,设置一座工作坑和一座接收坑。工作坑及接收坑尺寸为 $6.5\text{ m}\times 4.0\text{ m}$ ,深度 5.5 m,采用倒挂井壁法施工。新建管线与道路及地下管线位置关系见图 1、图 2。

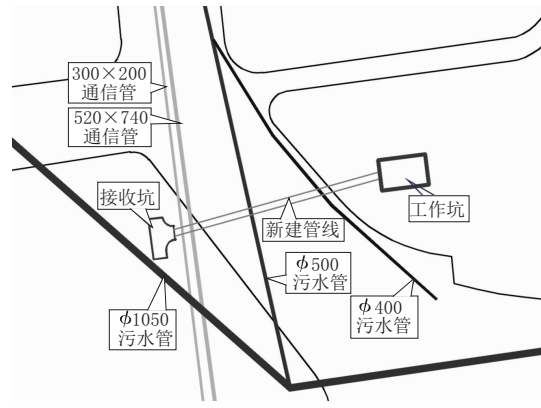


图 1 穿越工程平面关系图

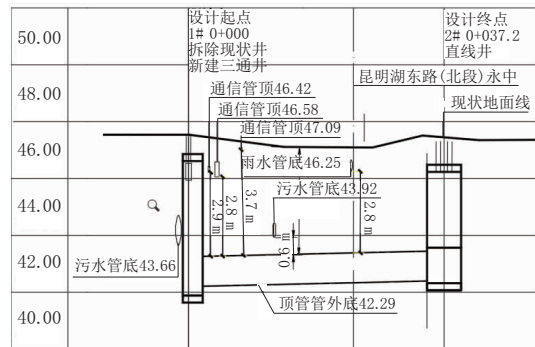


图 2 穿越工程纵断面关系图

根据勘察报告,顶管工程所处地层如下:表层为钻探揭示一般厚度为 2.30~3.40 m 的人工堆积之粉质黏土素填土①层及房渣土①<sub>1</sub>层。人工堆积层以下

收稿日期:2023-11-15

作者简介:付颢(1982—),男,学士,工程师,从事路桥项目投资建设管理工作。

是新近沉积的卵石、圆砾②层,细砂、中砂②<sub>1</sub>层及砂质粉土、黏质粉土②<sub>2</sub>层。新近沉积层以下为第四纪沉积的砂质粉土③层及黏质粉土、粉质黏土③<sub>1</sub>层;砂质粉土、黏质粉土④层。

### 2 顶管施工数值模拟分析

#### 2.1 计算模型的构建

考虑到本工程顶管施工的空间效应,结合新建工程与既有道路、管线位置关系,计算模型长取78 m,宽取58 m,深度取20 m。周围地层采用实体单元模拟,地层本构模型采用修正摩尔库伦本构。模型共划分39 911个单元,18 200个节点,计算模型见图3,空间关系见图4。边界条件选取时除了顶面取为自由边界,其余模型侧面四周及底面均采取法向约束<sup>[1]</sup>。

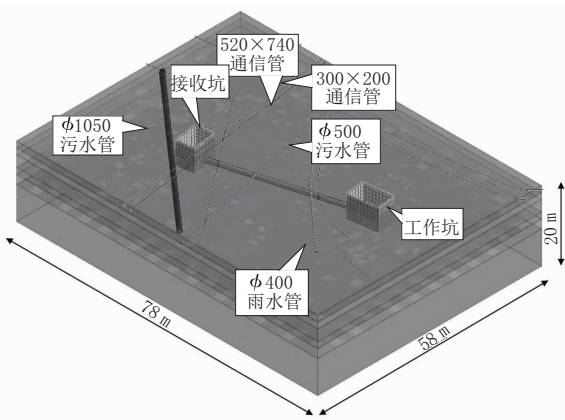


图3 计算模型

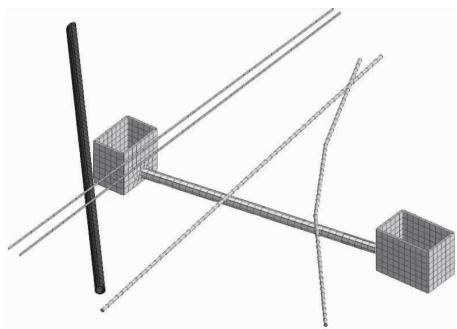


图4 空间关系图

#### 2.2 岩土力学参数

计算所采用的岩土力学参数依据工程详勘报告,岩土力学参数见表1,结构力学参数见表2。

#### 2.3 掘进模拟

开挖面作用力:开挖面作用力一般为平衡初始地应力而施加,该作用力是通过在开挖面法向施加均布的圆形荷载<sup>[2]</sup>来实现。

管片-土体间相互作用:顶进施工过程中,管片与土体之间存在摩阻力,该摩阻力作用于管片与土体接触面,对管片而言,摩阻力作用方向为顶进方向的

表1 岩土力学计算参数

岩土名称	天然密度 / (g·cm <sup>-3</sup> )	内聚力 / kPa	内摩擦角 / (°)	压缩模量 / MPa
房渣土	1.90	0	8.0	—
黏质粉土素填土	1.92	8	10.0	—
粉质黏土	1.97	25	17.6	6.2
黏土	1.86	37	10.1	6.8
粉砂、细砂	2.00	0	28.0	20~30
细砂、中砂	2.02	0	30.0	35~45
圆砾、卵石	2.15	0	36.0	50~60

表2 结构力学计算参数

构件	密度 / (kg·m <sup>-3</sup> )	弹性模量 / GPa	泊松比
路面	2 200	1.2	0.30
路基	1 820	0.90	0.35
C30 混凝土	2 480	30	0.25
C40 混凝土	2 500	32.5	0.25
C50 混凝土	2 548	34.5	0.25
钢材	7 850	210	0.2

反方向。在计算中对管片外皮施加切向均布3 kPa<sup>[3]</sup>反作用力来模拟顶进过程中的地层摩阻力。

顶进施工模拟:(1)自重作用平衡计算,得到初始状态应力场;(2)钝化待开挖土体单元模拟开挖,同时施加开挖面作用力;(3)激活管片结构单元,同时施加管片-土体间摩阻力;(4)重复(1)~(3)步骤直至结构贯通。

### 3 顶管施工对道路及管线影响数值分析

图5为顶管施工结束后地表沉降云图。可以看出,地表沉降高值区主要集中在操作坑、路面。顶管引起地表沉降量为1.66~2.17 mm,总沉降量较小。结合新建管道法向平面地表沉降曲线见图6,顶管通过后,管道上方地面发生沉降,沉降曲线为正态分布型,沉降量为1.66 mm位于顶管正上方,沉降槽宽度为19 m,经测算,沉降曲率满足道路变形控制要求。综合分析,顶管施工结束后路面沉降变形较小,基本不会对现状道路运营安全产生影响。

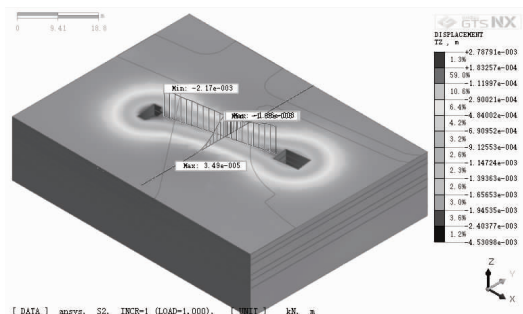


图5 顶管施工结束后地表沉降云图

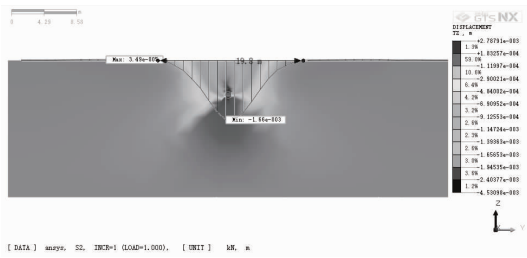


图6 地表沉降槽曲线

顶管通过后,穿越管线均发生沉降,最大沉降量为2.5 mm,发生在新建管道正上方。管线沉降量见图7。如图8,受顶管施工影响既有雨水管线纵向14 m范围均发生变形,在邻近新建管道处沉降速率陡增,过大的沉降速率易引起既有管线开裂,甚至破损,进而引起雨水管渗漏,严重影响施工安全。故对顶管施工参数进行优化,以减小管线沉降变形,保证施工安全。

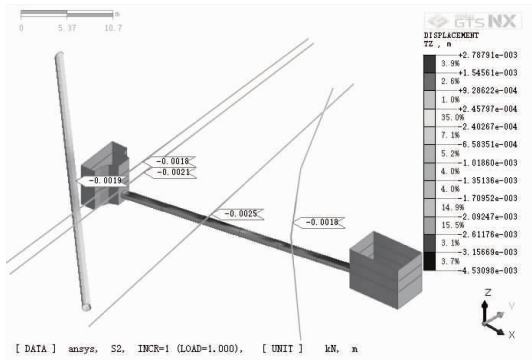


图7 管线沉降云图

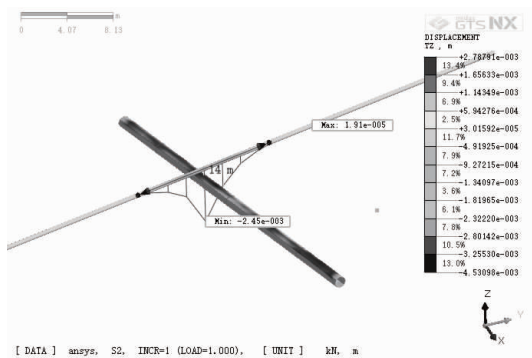


图8 管线沉降曲线

#### 4 顶推压力优化调整

采用数值模拟试验的方法,通过优化顶推压力以减小顶管施工对地层扰动,进而减小对市政道路及地下管线的变形影响,保证穿越工程安全。依托本工程,选取顶推压力分别为常规设定值的80%、90%、110%、120%、150%开展数值模拟试验<sup>[4]</sup>,并对计算结果进行对比,分析顶推力对地表及管线沉降影响。

图9为地表及管线沉降量与顶推压力关系曲

线。可以看出,在其他因素不变的情况下,单一改变顶推压力经数值模拟试验,一定程度上地表及管线沉降量与顶推压力负相关,即随顶推压力提高管线及地表沉降量逐渐减小,反之随顶推压力减小,地表及管线沉降量增加。当顶推压力设定为常规值的150%时,管线选定点沉降量为1.7 mm,较常规施工状态减小47%,地表选定点沉降量为1.1 mm,较常规施工状态减小45%。下面对顶推压力设定为常规值的150%时管线及地表沉降进行详细分析。

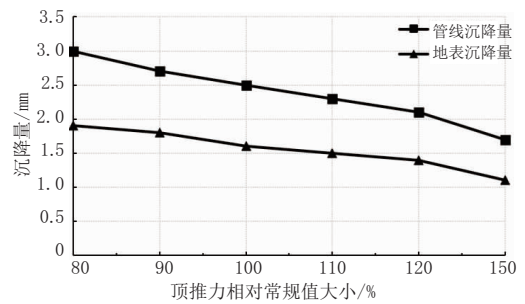


图9 地表及管线沉降量与顶推压力关系曲线

由图10可以看出,地表沉降高值区主要集中在操作坑、路面。顶管引起地表沉降量为1.17~1.80 mm,总沉降量较小。结合新建管道法向平面地表沉降曲线见图11,顶管通过后,管道上方地面发生沉降,沉降曲线为正态分布型,沉降量为1.17 mm位于顶管正上方。顶推压力优化调整后,地表沉降量减小45%,进一步保证了顶管施工期间道路运营的安全可靠。

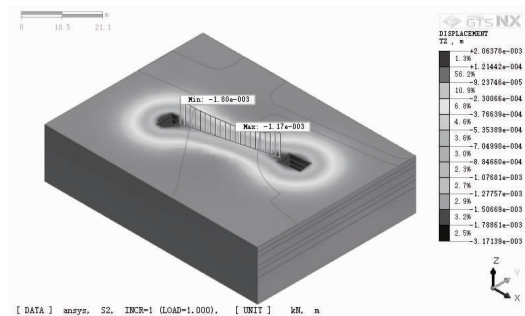


图10 顶管施工结束后地表沉降云图

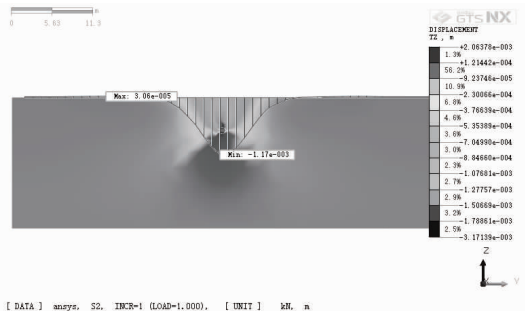


图11 地表沉降槽曲线

顶管通过后,穿越管线均发生沉降,最大沉降量为1.71 mm,发生在新建管道正上方。如图12所示,

受顶管施工影响既有雨水管线纵向 14 m 范围均发生变形,在邻近新建管道处虽沉降速率陡增,但沉降曲率较常规施工状态已大幅减小,既有管线无破损及渗漏风险,新建顶管工程施工不影响既有管线的正常使用。

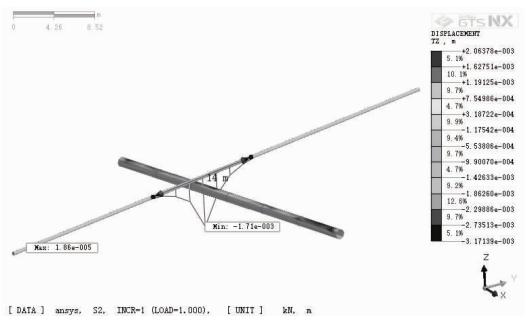


图 12 管线沉降曲线

### 5 结 语

北京某外电源改造项目,下穿市政道路采用顶管法施工。为研究外电源顶管下穿对市政道路及管线安全的影响,通过数值模拟,分析了顶管施工引起市政道路、管线的变形规律。并采用数值模拟试验的方法,通过优化顶推压力以减小顶管施工对地层扰动,进而减小对市政道路及地下管线的变形影响,保证穿越工程安全。试验结果表明,通过优化顶推压力,穿越工程施工对道路沉降影响减小 45%,对管线

变形影响减小 47%,研究成果对下穿顶管的安全施工和市政道路及管线的正常运营具有重要的意义。

顶管施工引起地表沉降变形量受多因素影响,本文以顶管工艺顶推压力这一关键技术参数为研究对象,采用数值模拟实验方法通过改变顶推压力单一变量对顶管工程垂直下穿城市道路及管线开展了施工模拟研究。得出如下结论:(1)在顶管施工法向平面,顶管穿越城市道路时,会引起地表及管线沉降变形,沉降槽呈正态分布;(2)一定程度上地表及管线沉降量与顶推压力负相关,即随顶推压力提高管线及地表沉降量逐渐减小,反之随顶推压力减小,地表及管线沉降量增加;(3)常规顶推压力对道路影响较小,但对一些变形敏感的地下管线可能会引起开裂渗漏风险,影响管线运营安全,通过合理优化顶推力可减小管线变形。

#### 参考文献:

- [1] 郭延辉,孔志军,李斯桂,等.天然气管涵顶管下穿对高速公路的影响研究[J].地下空间与工程学报,2021,17(6):1958-1964.
- [2] 周舒威,夏才初,葛金科,等.粘土中超大直径泥水平衡顶管被动极限支护压力计算方法[J].现代隧道技术,2015,52(3):127-136.
- [3] 马清杰,李小杰,谢延锁,等.浅埋顶管隧道下穿施工对路面变形的数值分析[J].现代隧道技术,2018,55(增刊2):411-418.
- [4] 范佳楠.浅层顶管穿越车道地面变形规律及控制研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2020.

(上接第 169 页)

(2)地下通道必须做到封闭汇水范围,杜绝客水,如设置二道截水。

(3)与传统雨水泵站相同,一体化预制泵站需定期巡护,雨季前进行全面检修。

#### 参考文献:

- [1] 刘雷斌,黄鸥,郭磊,等.城市道路雨水口收水量研究[J].给水排水,2016(增刊1):12-16.
- [2] GB 50013—2018,室外给水设计标准[S].