

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.053

基于 MIDAS GTS 的顶管下穿施工对 高铁桥梁影响的数值分析

陈 祯

(中国铁路设计集团有限公司,天津市 300251)

摘 要:为研究新建天然气管道下穿施工对京津城际铁路杨村特大桥的影响,以高压天然气管道穿越京津城际铁路防护套管工程为背景,对下穿京津城际铁路杨村特大桥段顶管施工进行设计,通过运用 MIDAS GTS 有限元软件对顶管施工下穿高铁桥梁进行有限元数值分析,得出了采取顶管下穿高铁桥梁施工,会引起铁路桥墩的扰动和变形,进而引起结构受力的变化。在揭示了施工过程前后地层应力分布变化规律后,提出相关改进建议。

关键词:顶管;下穿施工;MIDAS GTS;数值模拟;受力变形

中图分类号: U445

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)05-0227-04

0 引 言

随着我国城市建设的飞速发展,基础设施也在一定程度上得到相应的构建与完善,而城市管线的高压天然气输送管道敷设问题尤为重要。顶管法作为非开挖施工技术的一种,具备其他地下建筑工程没有的优点,其不需要对土方进行开挖,且对地表影响小^[1]。当前,顶管施工方法已被广泛采用,对其进行开挖和顶进时的稳定性分析尤为重要。本文以高压天然气管道穿越京津城际铁路防护套管工程项目为例,利用 MIDAS GTS 软件,对相邻已建桥梁进行三维数值模拟,并分析在已建桥梁上进行顶管施工时对相邻桥梁的影响,以期为今后同类工程的设计与开展提供一定的理论参考依据。

1 MIDAS GTS 软件概述

MIDAS GTS 是一款为岩土工程设计开发的有限元软件,界面简洁,前后处理功能强大,拥有强大的岩土材料模型库,能够对大多数类型的岩土结构破坏过程进行仿真计算。因而,采用该软件进行建筑施工项目地基的数值仿真,能更好地反映建筑施工项目地基的实际状况,进而获得较为安全的结果^[2]。GTS 模板是一个通用的分析软件,包括岩土工程和隧道分析所需的几乎所有分析功能,如施工阶段的应力分析和渗透分析,快速而准确的有限元求解

器、CAD 级多维几何建模、自动网格划分、映射网格等。MIDAS GTS 提供的其他分析功能还包括静态分析、竣工分析、渗漏分析、渗漏和应力综合分析、固结分析、动态分析等^[3]。

2 工程概况

该工程为某天然气管道穿越京津城际铁路敷设一根防护套管,防护套管采用铁路顶管专用钢筋混凝土管 $\Phi 1550$ T8-S,管道穿越杨村特大桥。防护套管从第 835 和 836 号桥墩之间穿越,交叉角度为 90° 。防护套管为顶进施工。顶管外壁距 835 号墩承台为 8.0 m,距 836 号墩承台为 15.74 m,管顶在 835、836 号承台底以下均为 1.81 m。根据桥梁设计资料以及现场情况,既有桥墩为圆端形实体墩,地基采用桩基,为 32 m 简支箱形上部结构。京津城际铁路杨村特大桥与钢筋混凝土顶管的平面位置和剖面位置关系分别如图 1 和图 2 所示。

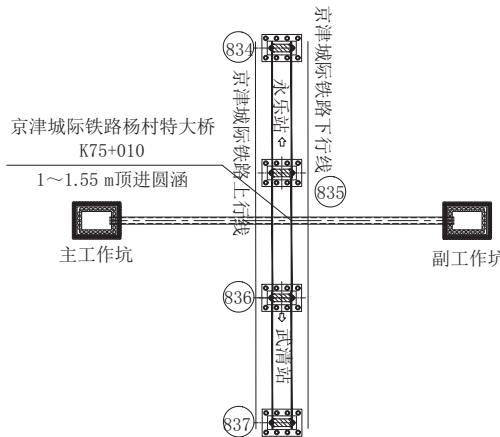


图 1 京津城际铁路杨村特大桥与钢筋混凝土顶管平面位置关系图

收稿日期: 2023-03-30

作者简介: 陈祯(1989—),女,硕士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

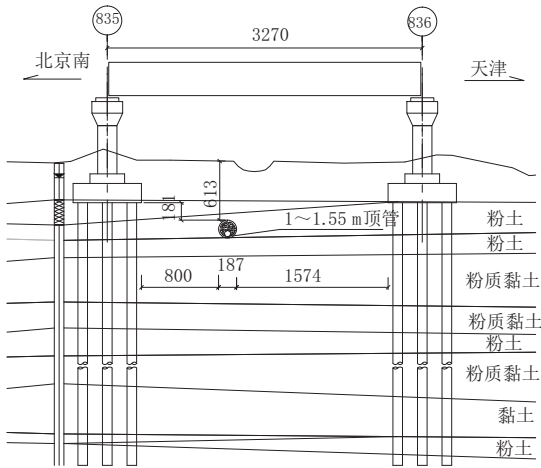


图2 京津城际铁路杨村特大桥与钢筋混凝土顶管剖面位置关系图(单位:cm)

3 顶管施工数值分析

针对顶管下穿京津城际铁路杨村特大桥施工,结合现场施工设计方案及地质勘察数据,通过MIDAS GTS软件,对杨村特大桥进行了三维数值模

拟,研究了在各种不同情况下,顶管施工对大桥整体受力的影响。考虑到该工程顶管施工步骤较复杂,在顶管施工阶段中,选择下列9种具有代表性的情况:

- (1)初始地应力分析;
- (2)高速铁路成桥和通车后的地应力分析;
- (3)施工顶管基坑的围护桩和止水帷幕;
- (4)工作井、接收井基坑的第一层土体开挖;
- (5)工作井、接收井基坑的第二层土体开挖,基坑开挖完成;
- (6)顶管下穿高铁桥梁顶进施工模拟;
- (7)顶管顶进后,顶管周围土体注浆加固模拟;
- (8)防护套管内的天然气管线施工及防护套管内的吹砂填充处理模拟;
- (9)工作井、接收井基坑回填模拟。

地层、高铁桥梁墩台、桩基及顶管材料参数见表1和表2,计算模型如图3所示。

表1 主要岩土层设计力学参数表

序号	土层名称	重力密度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量 /MPa	泊松比	内摩擦角 $/(^{\circ})$	黏聚力 /kPa	承载力 /kPa	桩侧摩擦力 $/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$
1	黏土	18.0	7.8	0.35	6.0	9.0	100	30
2	粉质黏土	19.8	7.6	0.32	8.0	12.0	100	35
3	淤泥质黏土	18.0	4.5	0.35	5.0	9.0	70	30
4	粉土	19.7	9.5	0.3	16.0	8.0	110	40
5	黏土	19.0	9.5	0.35	8.0	14.0	130	40

表2 主要材料参数表

序号	材料名称	重力密度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量 / (10^4 MPa)	泊松比
1	桥墩	26	3.40	0.2
2	承台	26	3.40	0.2
3	桥梁桩基	26	3.20	0.2
4	防护套管	26	3.40	0.2
5	隔离桩	26	3.20	0.2

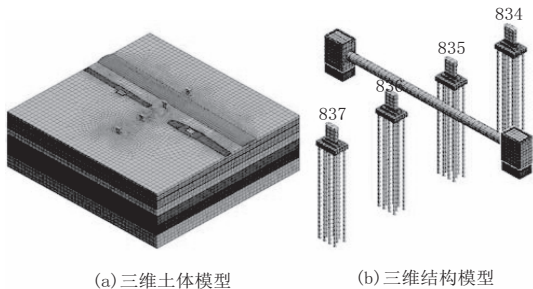


图3 三维整体模型

仿真结果及最大值。当顶管顶进施工后,岩层垂直最大沉降量为 6.190 mm,发生位置位于顶管接收坑基坑边缘;垂直凸起的最大值为 13.022 mm,发生位置位于顶进工作坑防护桩顶。当顶管工程结束、基坑回填完成时,地层垂直向最大沉降量为 7.537 mm,发生位置位于顶管接收坑基坑顶后侧土体,垂直凸起的最大值为 8.906 mm,发生位置位于顶进工作坑顶前侧土体。

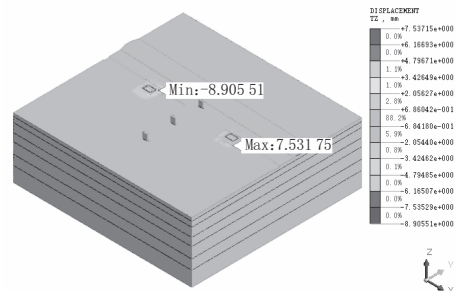


图4 基坑回填后土层竖向位移云图(单位:mm)

4 顶管施工数值解法

4.1 土层位移的相关分析

图4以及表3中分别给出了各土层的位移计算

4.2 桥墩沉降分析

提取计算模型中各工况桥墩沉降位移见表4。顶管施工过程中,在顶进坑、接收坑开挖完成时,桥墩的沉降量为 0.351 mm;顶管下穿京津城际铁路杨村

表3 土层位移计算结果

序号	施工阶段	地层最大竖向 沉降 /mm	地层最大竖向 隆起 /mm
1	顶管顶进施工后	6.190	13.022
2	基坑回填后	7.537	8.906

特大桥时,桥墩的最大沉降量为 0.236 mm;继续施工防护套管内的天然气管线并进行防护套管内的吹砂处理后,桥墩的最大沉降量达到 0.480 mm;参照《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014),上述数值均满足控制标准。

表4 桥墩沉降位移计算结果 单位:mm

序号	施工阶段	桥墩沉降 位移
1	初始地应力阶段	0.000
2	高铁桥梁施工完成及运营后	0.000
3	施工顶管基坑的围护桩和止水帷幕	0.446
4	工作井、接收井基坑的第一层土体开挖	0.396
5	基坑开挖完成	0.351
6	顶管顶进施工后	0.236
7	顶管周围土体注浆加固	0.376
8	天然气管线施工及防护套管内吹砂填充处理	0.480
9	基坑回填	0.252

通过以上数据分析发现,在顶管施工过程中,最大位移均发生在 835 号桥墩墩顶处,且在施工套管内天然气管线及吹砂填充的阶段,桥墩沉降位移最大;分析其原因为顶管距离 835 号桥墩距离最近,顶管外壁距 835 号墩承台为 8.0 m,距 836 号墩承台为 15.74 m,管顶在 835、836 号承台底以下均为 1.81 m。

4.3 桥桩沉降分析

提取计算模型中各工况桩基沉降位移,具体见表 5;施工关键阶段 8 的桥桩竖向位移图如图 5 所示。在顶管工程的顶进坑、接收坑开挖完成时,桥墩桩基的沉降为 0.357 mm;顶管施工下穿杨村特大桥 835、836 号桥墩后,桥墩桩基的最大沉降为 0.251 mm;继续施工天然气管线并进行防护套管内的吹砂填充后,桥墩桩基的最大沉降达到 0.513 mm。参照《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014),上述数值均满足控制标准。

分析以上数据可以看出,顶管施工过程中,桥桩最大沉降位移均发生在 835 号桥墩处,且在施工套管内天然气管线及吹砂处理的阶段,桥桩沉降位移最大;分析原因为顶管距离 835 号桥墩距离最近,顶管外壁距 835 号墩承台为 8.0 m,距 836 号墩承台为

表5 桩基沉降位移计算结果 单位:mm

序号	施工阶段	桩基沉降 位移
1	初始地应力阶段	0.000
2	高铁桥梁施工完成及运营后	0.000
3	施工顶管基坑的围护桩和止水帷幕	0.460
4	工作井、接收井基坑的第一层土体开挖	0.407
5	基坑开挖完成	0.357
6	顶管顶进施工后	0.251
7	顶管周围土体注浆加固	0.387
8	天然气管线施工及防护套管内吹砂填充处理	0.513
9	基坑回填	0.274

15.74 m,管顶在 835、836 号承台底以下均为 1.81 m。

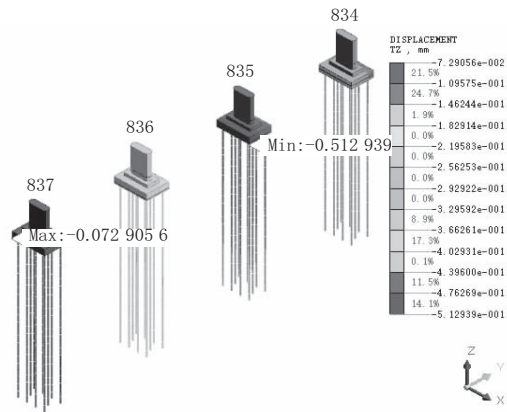


图5 阶段8桥桩竖向位移(单位:mm)

4.4 桥桩水平位移分析

提取计算模型中各工况桩基水平位移,具体见表 6;给出施工关键阶段 8 的桥桩水平位移图。基坑第二层土体开挖时,桥桩的水平位移为 0.118 mm;在顶管下穿杨村特大桥 835、836 号桥墩之间时,桥桩的水平位移达到 0.119 mm。继续施工防护套管内的天然气管线并将防护套管内吹砂填充后,桥桩的水平位移为 0.134 mm;参照《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014),上述数值均满足控制标准。

通过以上数据分析得出,在顶管施工过程中,最大桥桩的水平位移均发生在 835 号桥墩桩基处,且在施工套管内天然气管线及吹砂填充的阶段,桥桩的水平位移最大。分析原因为顶管距离 835 号桥墩距离最近,顶管外壁距 835 号墩承台为 8.0 m,距 836 号墩承台为 15.74 m,管顶在 835、836 号承台底以下均为 1.81 m。

4.5 地层应力分析

用数值分析的方法,对顶管顶进工程施工前后

表6 桥桩水平位移计算结果 单位:mm

序号	施工阶段	桩基水平位移
1	初始地应力阶段	0.000
2	高铁桥梁施工完成及运营后	0.000
3	施工顶管基坑的围护桩和止水帷幕	0.133
4	工作井、接收井基坑的第一层土方开挖	0.124
5	基坑开挖完成	0.118
6	顶管顶进施工后	0.119
7	顶管周围土体注浆加固	0.126
8	天然气管线施工及防护套管内吹砂填充处理	0.134
9	基坑回填	0.116

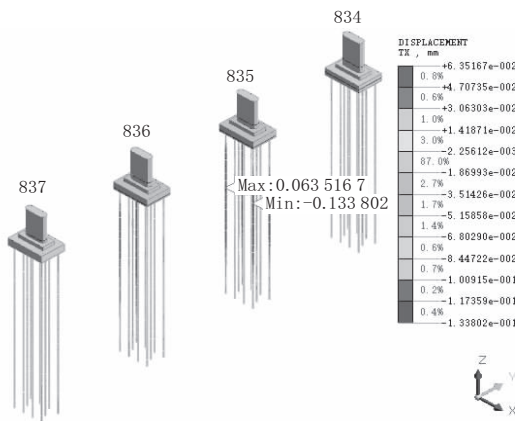


图6 阶段8桥桩水平位移(单位:mm)

地层应力变化分布进行计算,并将地层初始应力云图和顶管顶进工程施工后地层应力云图进行对比,并提取出地层应力平衡计算结果,见表7。

表7 地层应力计算结果 单位:kN/m²

序号	施工阶段	地层最大应力	地层最小应力
1	初始阶段	-0.628	-1 438.810
2	顶管顶进工程施工后	28.408	-1 453.650

通过以上分析,顶管法施工打破了原岩层的应力平衡,在原来的结构中造成压力再分配,地层应力变化分布情况除了影响工程场地的稳定性外,同时也对项目的设计与建造产生了较直接的影响。在基坑开挖或顶管施工时,实际应用中往往会产生与卸荷、回弹塑性、应力解除等密切相关的变形、破坏现象,对工程产生不良影响,增加施工难度。在顶管顶进工程施工完成后,四周岩层的压力又恢复了平衡,结合整个项目的位移变形监测,地下工程施工并未处于失稳状态,安全性较好,地层应力重新分布未达到危险的程度。

5 结 语

本文利用有限元方法对京津城际铁路杨村特大桥下穿顶管的施工效果进行分析与计算,对采用顶管法施工后的杨村特大桥的桥墩、承台和桥梁桩基的变形进行研究,并对施工前后地层应力的变化进行分析,得出如下结论。

(1)顶管施工过程中京津城际铁路杨村特大桥桥墩、承台及桥桩的最大沉降量满足设计要求;桥梁桩基的水平位移沉满足规范要求;不对桥梁墩台、桩基造成破坏。

(2)顶管施工引起地层应力的重分布,在顶管顶进施工完成之后,四周岩层压力又恢复平衡。

(3)顶管施工过程中,桥墩、承台、桥桩最大沉降值及桥桩水平位移均发生在施工套管内天然气管线及吹砂填充的阶段,并且在施工顶管基坑的围护桩、止水帷幕及顶管周围土体注浆加固的阶段中,位移值相对较大,在工程施工时应加强这些阶段的位移的监测控制。

对于顶管下穿铁路桥梁的项目,施工期间会引起铁路桥墩的扰动和变形,造成既有铁路桥梁结构随之发生移动和变形,进而引起结构受力变化。通过采用MIDAS GTS有限元软件对铁路桥梁变形进行计算,从设计层面给出方案合理性评价和位移监测重点,该计算方法对类似工程有一定的理论借鉴意义。

进一步研究建议:提取后续施工中的基坑监测点和铁路范围内变形监测点,将动态施工监测值与前期模型计算结果进行对比,以保证防护结构及顶进施工的安全性,保护高铁桥梁的安全性。

参考文献:

- [1] 张卉.MIDAS GTS 软件在建模中的应用[J].河南建材,2015(3):173-175.
- [2] 卢廷浩.岩土工程数值分析[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [3] 李大为,白蓉,马海彬.基于MIDAS对顶管工作井的开挖及顶进稳定性数值分析[J].滁州学院学报,2022,24(2):76-80,85.
- [4] 丁亚中,张晶晶.深基坑开挖对临近建筑物地下室变形影响的MIDAS GTS数值分析[J].安徽建筑大学学报,2019,27(4):17-22.
- [5] 王轶,杨振祥.新建公路桥梁跨越现有铁路隧道设计方案评估[J].桥隧工程,2016(11):178-181.
- [6] 范么清.新建桥梁对既有桥梁的影响计算[J].城市道桥与防洪,2009(8):82-85,252.
- [7] 项海帆.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [8] 杨贵永,李晓文,易领兵.佛山市地铁区间隧道下穿施工对佛开高速桥影响的数值分析[J].中外公路,2018,38(5):167-172.