

顶管隧道施工对上部高速公路影响分析

左利兵, 侯俊伟, 李涛

(中煤科工集团重庆设计研究院有限公司, 重庆 400042)

【摘要】 结合某电力管线顶管施工穿越上部已建高速公路的工程实例, 利用 MIDAS - GTS 有限元软件程序建立数值模型。通过计算得出了顶管施工过程中高速公路路面沉降情况。结果表明, 在现有地质情况下, 顶管施工对高速公路的正常运行影响较小, 并据此提出相应的施工建议, 为今后类似工程提供有益的参考。

【关键词】 隧道; 顶管; 有限元分析

【中图分类号】 TU94

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001 - 6864 (2016) 07 - 0124 - 03

0 引言

随着城市快速发展, 地面空间日益紧张, 为满足建筑物及园林绿化分布要求, 输电线路逐步由地上转变为地下, 由此可避免施工对地面交通的干扰以及对城市环境的污染和破坏, 且较容易控制地层变形。但目前我国地下管线建设规模不足、管理水平不高等问题凸显, 一些城市相继发生大雨内涝、管线泄漏爆炸、路面塌陷等事件, 严重影响了人民群众生命财产安全和城市运行秩序。为切实加强城市地下管线建设管理, 保障城市安全运行, 提高城市综合承载能力和城镇化发展质量, 国务院办公厅印发《关于加强城市地下管线建设管理的指导意见》, 部署加强城市地下管线建设管理, 保障城市安全运行, 提高城市综合承载力和城镇化发展质量。

顶管法作为一种非开挖施工方式, 其最大优越性在于采用不开槽的暗挖方式, 不受管线埋深限制, 可使管线从密集建筑物底部穿过从而避免作业面对地上建(构)筑物的直接影响。但顶管施工不可避免会引起地面和地下土体的变形, 将会影响到临近建(构)筑物的安全^[1]。本文结合一工程实例, 利用 MIDAS - GTS 有限元软件^[2]分析电力管线顶管施工对高速公路的影响, 对今后类似工程提供有益的参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

国网重庆市电力公司拟在重庆某区县新建 10kV 电力管线工程, 需跨越正在运营的成渝高速公路。为了不影响高速公路的正常使用, 采用下挖隧道顶管施工法下穿现在运营的成渝高速, 如图 1 所示。

拟建电力管线设计顶管段长度约 95.00m, 为钢筋混凝土套管, 单节管长为 2.5m, 外径为 1700mm, 内径为 1200mm。顶管端头即高速公路两侧设置工作井及接收井。顶管顶部距离现行成渝高速路面竖向距离为 7.00m。为避免顶管施工对正在运营的成渝高速造成不利影响, 需进行安全性论证评估。

1.2 地质情况

根据相关工程地质资料, 场地所处区域属于浅丘宽谷地貌, 以浅丘地貌为主。经人为改造, 原始地形地貌已消失

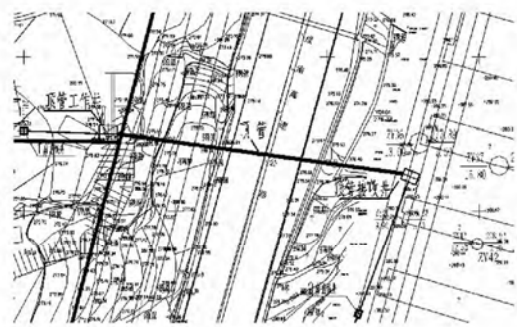


图1 顶管平面位置图

殆尽, 地形复杂程度属中等。场区整体位于某向斜东翼, 构造单一, 无断裂。根据地面调查和钻探揭示, 场区内主要由素填土(Q_4^{ml})和残坡积粉质粘土(Q_4^{cl+dl})及下卧侏罗系中统(J_2s)沙溪庙组泥岩组成。

回填土为人工素填土, 主要为粘性土夹砂岩、泥岩碎石与块石组成, 粒径一般为 10 ~ 50mm 之间, 含量 10% ~ 30%, 由于作为高速公路路基, 前期进行了处理, 较为密实。粉质粘土由粘土矿物及粉砂质组成, 切面较光滑, 质较纯, 韧性及干强度中等, 呈可塑状干强度中等, 无摇震反应。泥岩由粘土矿物及粉砂质组成, 有少量泥绿色条块分布, 泥质胶结, 厚层状 ~ 巨厚层状构造。强风化带岩石颜色较浅, 层面结合差 ~ 一般, 见有分布稀疏、延伸不大的风化裂隙, 岩芯多沿层面张开, 呈碎块状、颗粒状, 强风化厚度 1.5 ~ 2.0m。中等风化带岩石颜色较深, 原生结构构造清晰, 未见节理裂隙发育, 岩芯完整, 多呈短柱状, 个别长柱状。岩石属易软化岩石, 岩体基本质量等级为 V 级。

2 数值模型

拟建电力管线电力隧道模型示意如图 2 所示。本文利用 MIDAS - GTS 4.2 分析软件建立有限元模型, 分析顶管隧道施工对高速公路路面位移及应力的影响。

MIDAS/GTS 软件能够模拟复杂的工程地质条件, 适用性较强, 是专业的岩土与隧道结构有限元分析计算软件, 在国内外重大隧道、基坑、边坡等工程中都得到广泛的应用。

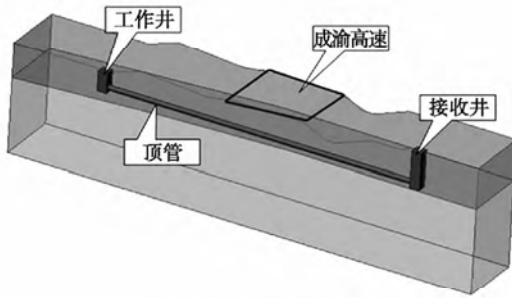


图2 计算模型示意图

2.1 有限元模型

根据地质勘察报告等相关资料,并经现场调查,电力隧道穿越成渝高速公路地质情况自上向下分布岩层为回填土、粉质粘土、强风化泥岩、中风化泥岩。由于开挖隧道纵向较长,横向尺寸较小,按照平面应变问题进行处理,选取最不利情况进行分析。在高速公路中间垂直隧道方向切取得到横断面。顶管上部距离高速路面为7.0m,计算分析模型尺寸大小为如图3所示。

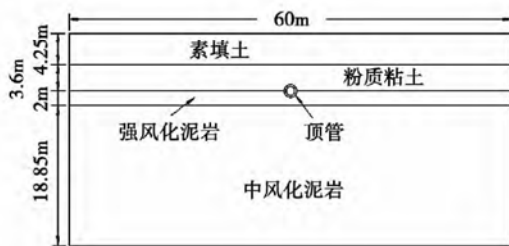


图3 计算模型尺寸

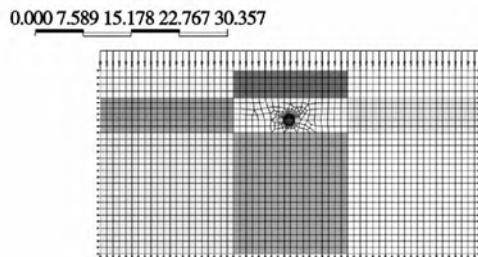


图4 有限元模型网格

本工程建立二维模型进行计算,根据典型地质剖面分别模拟素填土、粉质粘土及基岩的分层情况。素填土、粉质粘土、强风化泥岩及中风化泥岩均采用平面应变单元类型,本构模型为莫尔-库仑(Mohr-Coulomb)准则,路基及下部岩石采用实体单元;顶管采用析取梁单元,为弹性模型。网格划分时遵循关键部位密集、远处稀疏的原则,采用四边形网格。计算模型共计1986个节点,1924个单元。两侧施加X方向约束,底部施加X方向、Y方向约束。计算模型所考虑的荷载有结构自重及道路路面车辆荷载 30kN/m^2 。有限

元计算模型网格如图4所示。

2.2 参数取值

根据场地周边地质勘察资料,场地粉质粘土的天然重度为 19.6kN/m^3 ,内聚力为 27.49kPa ,内摩擦角为 14.64° 。中风化泥岩天然抗压强度标准值为 4.6MPa 。顶管为C50混凝土结构,其弹性模量为 $3.45 \times 10^4\text{MPa}$,泊松比为0.2。表层填土作为高速公路路基,前期进行了特殊处理,在模拟分析中取其弹性模量为 12MPa 。结合其他工程参数及经验取值,模拟计算中采用参数值如表1所示。

表1 有限元计算参数

岩性	重度 $/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	饱和重度 $/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	抗剪强度		弹性模量 $/\text{MPa}$	泊松比
			c/kPa	$\varphi/(\circ)$		
回填土	20	20.5	5	30	12	0.35
粉质粘土	19.6	20	27.49	14.6	10	0.35
强风化泥岩	24.8	25.5	50	18	300	0.35
中风化泥岩	24.8	25.5	510	33	1613	0.30
顶管	26	-	-	-	34500	0.2

3 数值结果分析

在工程施工过程中,首先进行隧道开挖,开挖后进行顶管跟进。施工过程中,由于受到千斤顶推力及刀盘切削力的作用,工具头附近的土体产生压缩、挤压和剪切变形,应力状态发生明显的变化。工具头正前方一方面由于开挖面应力松弛使应力减小,另一方面由于顶进推力和平衡泥浆或气体压力使应力增加,二者引起的应力变化能维持应力基本不变时,施工对土体的扰动最小^[3]。

在有限元模拟中,分三个阶段进行分析计算。

第一阶段:施工前初始状态。在顶管施工前由于成渝高速公路已建成多年,处于正常运营状态,沉降变形基本已经完成。在数值模拟过程中,道路在重力荷载及高速路面荷载作用下发生变形,将初始位移清零。

第二阶段:顶管隧道开挖。顶管位置隧道开挖后引起隧道周边的岩土体发生位移。引起的竖向位移云图如图5所示,位移主要发生在顶管以上沿 45° 左右方向延伸区域。



图5 顶管隧道开挖后Y方向位移云图

由模拟结果可知,高速公路路面最大竖向位移发生在顶管隧道正上方,其竖向位移值为 4.48mm ,整个岩土体发生最大位移处为开挖隧道顶部,其值大小为 51.68mm 。

顶管隧道开挖后引起的塑性区域如图6所示,由此可

见,塑性区只集中存在开挖隧道上侧区域,高速公路路面不存在塑形区域。

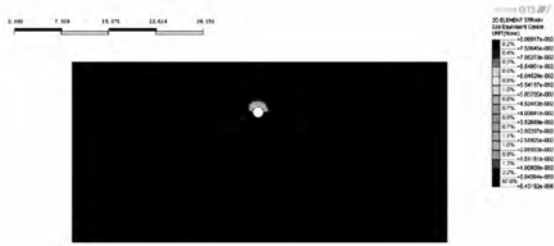


图6 顶管隧道开挖后塑性区域

第三阶段:顶管施工。顶管隧道开挖完成以后,及时进行混凝土顶管置入。经模拟分析,得到顶管置入后的Y方向位移云图、塑形区域与隧道开挖后阶段近似。其中高速公路路面最大位移为4.82mm,隧道位置顶部最大位移为52.12mm。与前一阶段数值计算结果比较,竖向位移增大有限,表明顶管跟进后,道路路面竖向位移基本不会进一步发展。高速路面最大位移值小于5mm,根据重庆市地方规范DB50/T395-2011《城市道路检测技术规程》^[4]相关规定,路面局部下沉深度在小于10mm范围,正常行车无明显感觉,在可承受的沉降范围内,故顶管隧道开挖、顶管施工能保证道路安全运营。

以隧道垂直于路面点为原点,沿路面向右方向为X轴,以垂直路面经过隧道中心向下方向为Y轴,提取顶管隧道开挖阶段及顶管置入后的位移值大小,得到路面发生的竖向位移曲线如图7所示。

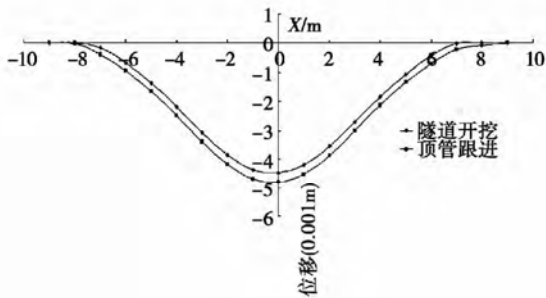


图7 高速路面变形曲线

有限元模拟结果变形曲线符合修正后的Peck理论公式^[3],高速路面在原点即经过隧道中心垂直路面处位移最大,向两侧随距离原点位置的增大而逐渐减小。研究表明,路面横向发生沉降区域为顶管隧道开挖侧斜向上 $45^\circ + \varphi/2$ 的区域, φ 为内摩擦角,经计算影响范围为6.92m,模拟结果显示沉降主要发生在地面中心两侧各7.0m左右,与理论结果基本一致。从曲线可反应两个阶段的位移曲线变化一致,且相差极小。

提取隧道正上方竖直方向的位移值,得到变形曲线如图8所示。可以看出,随着距离隧道越近,位移逐步增大,并且增大速度较快,以近似对数函数形式变化。模拟结果显

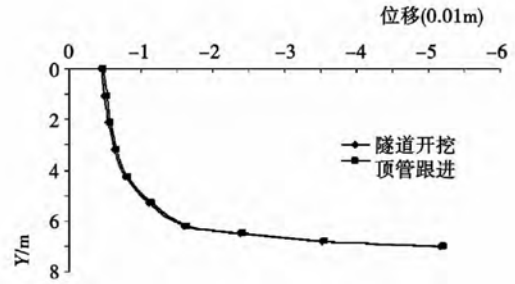


图8 竖向变形曲线

示隧道顶部位置位移大于50mm,在实际施工过程中,可能会出现掉块、落石等现象,施工期间须当采取一定的措施,开挖后及时快速的置入顶管,尽量减少位移随时间的发展。两个阶段的位移曲线变化一致,且相差极小,表明顶管的置入有效抑制了位移的进一步发展。

4 施工质量控制

顶管两端设有工作井及接收井,施工过程中可由两侧同时施工。由模拟分析结果可知,开挖隧道顶部位移较大,施工开挖过程中可能会引起掉块落石等现象,注意采取防范措施,开挖后应及时快速的置入顶管,尽量减少位移随时间的发展。

施工过程中,场地周边范围严禁爆破施工、强夯及其他引起震动的活动,以避免对顶管隧道开挖及施工产生不利影响,并应实时监测道路路面变形情况。

目前该工程正处于施工阶段,施工过程正常,未有异常情况发生,成渝高速公路运行情况良好。

5 结语

- (1) 顶管隧道开挖引起路面变形,竖向变形最大位置发生在顶管隧道正上方,竖向位移值为4.48mm,顶管施工后,路面竖向位移值为4.82mm,较前一阶段变形值略微增大,顶管施工后基本不会引起路面竖向位移进一步增大。
- (2) 顶管隧道开挖引起的路面变形影响范围主要分布在隧道开挖侧沿 $45^\circ + \varphi/2$ 方向拓展区域。
- (3) 建议隧道开挖时应采用短挖掘、快跟进的方式,及时快速的跟进顶管,限制变形进一步发展,以避免高速公路路面发生较大沉降、出现裂缝,保证高速公路正常运行。

参考文献

- [1] 魏刚,徐日庆,肖俊,余文君,李文祥. 顶管施工引起的地面变形分析[J]. 中国市政工程,2002,100(4):27-29.
- [2] 李治. Midas/GTS在岩土工程中应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [3] 房营光,莫海鸿,张传英. 顶管施工扰动区土体变形的理论与实测分析[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(4):601-605.
- [4] DB50/T395-2011,城市道路检测技术规程[S].

[收稿日期] 2016-03-18

[作者简介] 左利兵(1988-),男,山东菏泽人,硕士,从事岩土工程勘察设计工作。