

新建市政道路施工对地铁隧道结构的安全影响分析

李新伟¹, 赵占群²

(1. 中铁隧道股份有限公司, 河南郑州 450000; 2. 中铁西南科学研究院有限公司, 四川成都 611731)

摘要: 近年来国家大力发展基础设施建设, 越来越多的地铁结构出现在城市地下空间, 临近地铁的工程项目施工可能会引起地铁结构较大变形, 甚至造成重大事故。本文以厦门市某新建市政道路圆二路施工项目为例, 采用 Midas GTS NX 建立了圆二路与厦门地铁 2 号线金融中心站~高林站区间相对关系的三维模型, 分析新建道路路基处理、管沟开挖、道路回填、碾压等作业对地铁隧道结构的影响, 得出道路施工对地铁隧道结构的安全影响评价, 并提出保护性改进建议。

关键词: 新建市政道路施工; 地铁隧道结构; 数值模拟; 安全影响分析

中图分类号: U455.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 01-0144-03

地铁线路周边施工环境复杂, 建筑物、构筑物密集, 自然地质环境多变, 人们对工程环境问题的研究, 大多出于经验总结阶段, 而基础理论数字化、模型化的成果不多^[1]。比如道路放坡开挖对其邻近结构的影响, 有时采用经验法确定, 但结果常常难以满足使用要求。特别是在既有地铁结构附近修建其他工程项目时, 如果不能正确评估周边工程对既有地铁结构带来的潜在危险, 则经济损失及社会影响难以估计。因此, 正确评估周边工程对地铁结构的安全性意义重大。

本次评估的对象主要是地面道路施工对厦门地铁 2 号线金高区间盾构隧道结构的变形及地面的沉降隆起分

析, 重要性非同一般, 关乎地铁结构安全及正常运营。

1 工程概况

拟建市政道路圆二路(金二路至金钟路段)位于厦门市湖里区泥金社区、东宅片区及五通小区, 原始地貌单元属坡洪积准平原, 现状大部分为绿地, 地坪高程为 6.42 ~ 9.62m。金二路至金钟路段基本与下覆地铁线路(厦门地铁 2 号线金融中心站~高林区间)平行敷设, 金高区间隧道拱顶覆土 9~15m, 线间距 12.5m~17m, 隧道洞身主要穿越粉质黏土、砂土及残积砂质黏性土、全

着频率的增加而升降走势较为反复。

2 结果与讨论

本文通过对上海地铁 2 号线进行了大量的现场实测并分析采集的数据, 得出了如下结论:

(1) 地铁运行诱发环境振动的振动响应 Z 向大于水平向; 无论是竖直向(Z 向)还是水平向(EW 向和 NS 向), 均随着距离地铁中心线距离越来越远, 振动响应越来越小; 地铁运行引起地面振动加速度在近处衰减幅度大且衰减速率快, 在远处衰减幅度小且衰减速率慢; 地铁运行引起地面振动在距离地铁中心线 30m 左右处存在振动放大区; 地铁运行引起地面振动的振动能量集中在 20 ~ 80Hz 中心频率范围内; 随着测点到地铁中心线距离的推远, 振动速度级幅值对应的中心频率范围有所缩小。地铁列车的振动影响范围约为距离轨道中心线 500m。

(2) 地铁埋深越大引起的地面 Z 向振动响应越小且衰退得越快, 地铁埋深相差在 5m 以内时对水平方向的振动响应无明显影响。地铁运行时地面的振动速度级

与到地铁中心线距离之间基本呈现对数关系。

参考文献:

- [1] 邱腾蛟. 工业厂房结构微振控制技术[D]. 长安大学, 2014.
- [2] Hunt H. Modelling of Rail Vehicles and Track for Calculation of Ground-vibration Transmission Into Buildings[J]. Journal of Sound & Vibration, 1996, 193(1): 185.
- [3] Lombaert G, Degrande G. Experimental Validation of a Numerical Prediction Model for Free Field Traffic Induced Vibrations By in Situ Experiments[J]. 2001, 21(6): 485-497.
- [4] 环境保护部发布, 环境保护部. 中华人民共和国国家环境保护标准环境影响评价技术导则 生态影响: 环境影响评价技术导则 生态影响[M]. 中华人民共和国国家环境保护标准环境影响评价技术导则 生态影响: 环境影响评价技术导则 生态影响, 2011.
- [5] 栗润德, 张鸿儒, 刘维宁. 北京地铁 1 号线地面振动响应测试与分析[J]. 北京交通大学学报, 2007, 134(4): 31-34.

风化层地层，地下水位埋深 0.5 ~ 4.5m。区间采用盾构法施工，采用平板型单层钢筋混凝土管片衬砌，管片外径 6.2m，厚度 350mm，环宽 1.2m，混凝土强度等级为 C50。

金二路至金钟路段雨水管道、污水管位于规划道路左侧人行道下方，两条地铁隧道中间上方，部分段落与隧道存在小角度平面相交。最大埋深 3.5m，采取 1:0.75 放坡开挖方式，坑底最大开挖至管底 0.62m，与隧道最小竖向净距 6.9m。

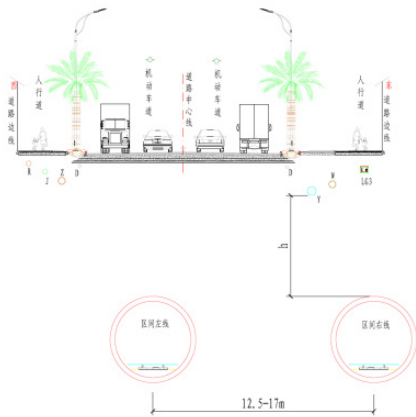


图 1 金二路至金钟路段与金高区间横断面位置关系图

2 安全评估分析

拟建圆二路施工过程中的挖填方，道路碾压设备的激振力，雨水、污水管沟的开挖及回填等，都会对地铁隧道结构产生卸荷、加载，致使地铁隧道结构发生沉降或隆起位移。本次安全评估重点对以上几方面展开计算分析。

2.1 模型参数

计算过程需对道路施工荷载予以重点分析，其中土石方的开挖、回填及路基碾压所需各种施工机械车辆荷载，简化为均布荷载处理，荷载取值为 50kN/m²；路基及管线埋设完成后，考虑路面沥青铺设及绿化等施工荷载，均布荷载按 20 kN/m² 取值。

此段区间从上至下各地层物理力学指标取值见表 1，模型计算参数见表 2。

表 1 各层地层的物理力学指标

岩土名称	重力密度 KN/m ³	变形模量 MPa	弹性模量 MPa	泊松比	侧压力系数	水平基床系数 Mpa/m	垂直基床系数 Mpa/m
素填土	18.0	/	/	/	/	/	/
粉质黏土	18.7	/	/	0.28	0.39	45	40
残积砂质黏性土	18.0	16	/	0.30	0.43	47	40
全风化花岗岩	18.5	29	/	0.26	0.35	60	55
散体状强风化花岗岩	18.6	54	/	0.25	0.33	100	90
中风化花岗岩	25.0	/	5900	0.15	/	600	700

表 2 模型计算参数

结构类型	单元类型	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ	重度 γ /kN×m ⁻³
盾构管片 (C50)	板单元	34.5	0.2	25
管道沟身 (C35)	板单元	31.5	0.2	25

2.2 计算模型

金融中心站 ~ 高林站区间上方道路为圆二路与金三路交叉路段北侧（道路起点至 BK0+381.055），隧道拱顶与路面的垂直净距为最小 11 米，与雨水、污水管道的垂直净距最小为 7 米。

本段道路存在较厚杂填土、素填土层，不得直接作为路基持力层，需进行挖除或翻挖碾压处理。根据设计方案，对道路路槽以下的杂填土挖至管基底部 50cm，再用好土分层碾压回填至路槽底设计标高。

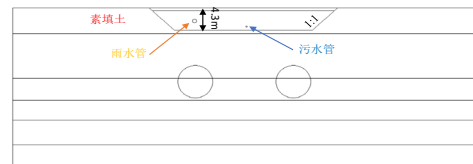


图 2 特殊路基处理设计开挖方案示意

采用 Midas GTS NX 建立整体三维模型^[2]，以道路宽度方向为 X 轴，以地铁隧道纵向方向为 Y 轴，竖直方向为 Z 轴，计算模型及相应的位置关系见下图：

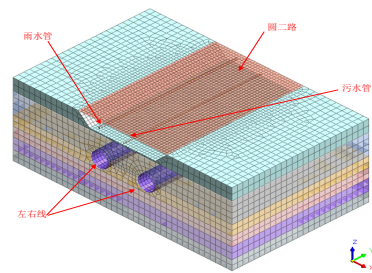


图 3 路面、管道与隧道相对位置关系示意图

2.3 计算结果分析

根据计算过程分别提取路基处理 + 素填土挖除、管道铺设、分层回填碾压及道路结构施工完成后隧道结构的竖向位移及水平位移，计算结果整理如下表所示：

表 3 区间左、右线隧道位移结果汇总

开挖步序	左线		右线	
	左线最大竖向位移 (mm)	左线最大水平位移 (mm)	右线最大竖向位移 (mm)	右线最大水平位移 (mm)
素填土挖除	7.31 拱顶	3.33 左边墙	7.23 拱顶	-3.36 右边墙
管道回填分层碾压	-3.84 拱顶	-2.11 左边墙	-3.82 拱顶	2.13 右边墙
道路结构施工完成	-2.54 拱顶	-1.51 左边墙	-2.55 拱顶	1.52 右边墙

从表中可知,施工过程中结构最大竖向位移为左线拱顶部位,最大值为7.31mm,水平位移为右线右边墙部位,最大值为3.36mm。素填土挖除置换过程中,隧道结构最大上浮7.31mm,超过竖向位移预警值(6mm),存在较大的施工风险。

3 方案建议

结合计算结果可知,在素填土大于4.3m地段,原设计方案挖除素填土至管基以下50cm,对地铁隧道结构影响较大,存在不可控因素。建议适当减少土体置换开挖深度,将隧道结构上浮量控制在5mm左右,可将置换土坑底深度设置为3m,坑底以下部分采取重复碾压加强基底的措施,其中雨水、污水管基断面仍按1:0.75坡度正常开挖置换土体。

根据计算过程分别提取路基处理+素填土挖除、管道开挖铺设、分层回填碾压及道路结构施工完成后隧道结构的竖向位移及水平位移,计算结果整理如下表所示:

表4 隧道左右线位移及收敛结果汇总(素填土置换3m)

开挖步骤	左线		右线	
	左线最大竖向位移(mm)	左线最大水平位移(mm)	右线最大竖向位移(mm)	右线最大水平位移(mm)
路基处理+土层置换完成	4.92 拱顶	2.31 左边墙	4.89 拱顶	-2.32 右边墙
管道开挖	5.31 拱顶	2.50 左边墙	5.30 拱顶	-2.50 右边墙
管道施工完成	-3.73 拱顶	-2.14 左边墙	-3.72 拱顶	2.15 右边墙
道路结构施工完成	-2.50 拱顶	-1.54 左边墙	-2.50 拱顶	1.55 右边墙

从表中可知,对路槽以下的素填土置换3m厚度时,施工过程中结构最大竖向位移为左线拱顶部位,最大值为5.31mm,小于竖向位移预警值6mm。水平位移最大为右线右边墙部位,最大值为2.50mm,其变形值满足相关规范要求。

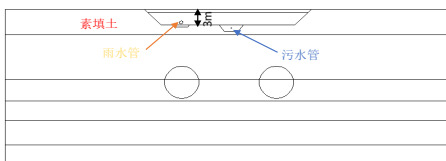


图4 特殊路基处理设计开挖方案示意

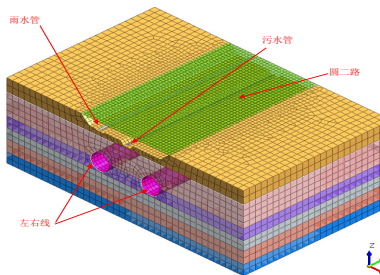


图5 路面、管道与隧道相对位置关系建模示意图

4 结语

(1) 路基开挖施工产生一定的卸荷效应,土体开挖导致区间周围土体产生向内移动的趋势,在土体变形传递效应的影响下,金高隧道区间产生一定的上浮和水平位移。在路基填方段,道路施工产生一定的附加荷载(填土静荷载和路面碾压动荷载),会在一定程度上导致土层竖向土压力增大,对应的水平土压力减小,隧道结构发生一定变形。圆二路地下市政管线基槽开挖产生一定的卸载效应,造成地铁隧道区间产生一定的变形。

(2) 结合数值分析计算结果表明,圆二路工程在路基开挖处理及管沟埋设整个施工过程中,金融中心站~高林站区间隧道结构在不同工序下产生了一定的竖向及水平位移,如管沟开挖中隧道产生一定的上浮,路基碾压处理中发生一定的沉降,总的结果产生一定的竖向位移和水平位移,但变形数值均在变形控制标准之内(预警值6mm)。

(3) 建议在金二路至金钟路段,存在较厚素填土及杂填土地段,土体置换时开挖深度宜控制在3m以内(超过3m深度的素填土可采取重复碾压等土体改善措施)或者通过优化施工组织采取跳仓分段开挖等措施,以尽量减小路基挖方对隧道结构产生的卸荷上浮影响;同时路基及沟槽开挖后暴露时间不宜过长,并做好地面截水和排水措施,防止地表水浸泡基槽,及时铺设管道并分层回填碾压。

(4) 三维数值分析建立在土层各向同性、静态施工的基础上,无法考虑施工期间地下水的变化以及施工或其它因素对地层物理力学参数的影响,数值模拟结果与实际可能存在一定的偏差,施工过程中应加强现场施工管理及信息化沟通工作、以信息化指导施工^[3]。

参考文献:

- [1] 黄海滨. 深基坑施工对近接地铁盾构隧道变形的影响及控制研究[D]. 华南理工大学, 2019.
- [2] 吕显福, 毕经东. 明挖法下穿通道涉既有桥梁桩基托换施工技术分析[J]. 施工技术, 2022, 49(3):30-32.
- [3] 刘阳, 张丽华. 基于Midas/GTS深基坑开挖对临近地铁安全影响分析[J]. 华北科技学院学报, 2021, 18(4): 74-79.