

长沙地铁6号线区间隧道近距离上穿电缆隧道的影响分析

陈翼

广州地铁设计研究院股份有限公司

摘要: 地铁隧道近距离上穿建构筑物是地铁施工过程中的重大风险源, 本文依托长沙地铁6号线区间隧道近距离上穿电缆隧道, 在电缆隧道加固条件受限的情况下提出了一种可行的保护方案。针对实际工况进行了数值模拟并结合监测数据, 验证了保护方案的有效性, 发现了地铁隧道上穿过程中, 电缆隧道变形随着与地铁隧道的相对位置关系呈现一定规律及电缆隧道最不利断面位置, 可为类似工程提供参考借鉴。

关键词: 地铁隧道; 电缆隧道; 近距离; 上穿施工

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.032

新建隧道近距离上穿既有隧道是设计、施工过程中的重大风险源, 对既有隧道的运营安全构成极大的挑战。针对如何控制既有隧道的变形和结构安全, 众多学者进行了广泛的研究。江华等^[1]研究了深圳9号线隧道上穿深圳1号线隧道的变形规律。刘维正等^[2]针对新建地铁盾构隧道近距离上穿施工引发运营地铁线路不均匀变形问题, 将既有盾构管片视为弹性地基短梁, 建立了既有隧道纵向变形的计算方法。魏新江等^[3]从理论研究、数值计算、模型试验和实测分析等方面分别阐述盾构穿越影响问题的研究现状。张孟喜等^[4]针对全风化花岗岩地层双层四线隧道叠交穿越工程, 研究了不同注浆压力下地表和隧道的变形规律。杜贵新等^[5]依托高速铁路浅埋暗挖隧道近距离上穿既有地铁隧道, 提出了合理的工法和加固措施。现有的研究大多侧重于上穿隧道对下伏隧道变形的影响研究, 而结合变形影响对上方隧道整个施工及运营过程对下伏隧道的受力影响研究较少。

本文以长沙地铁6号线文昌阁站~湘雅医院站上穿芙蓉路电缆隧道工程为依托, 对电缆隧道受力和变形进行分析, 提出对应的保护措施, 结合实际监测数据加以验证。

一、工程概况

长沙地铁6号线文昌阁站~湘雅医院站区间采用盾构法施工, 在湘雅路芙蓉路路口上穿芙蓉路电缆隧道, 竖向净距最小处为1.3m, 该处地铁隧道埋深为11.5m。

区间上穿段芙蓉路电缆隧道分为主隧道、交叉互联洞室。区间左线位于主隧道(宽2.9m×高3.39m)上方, 区间右线位于交叉互联洞室(宽3.1m×高3.76m)上方。电缆隧道内110kV高压电缆支架间距为1.5m。芙蓉路电缆隧道采用矿山法施工, 初期支护采用150mm厚C25格栅喷砼支护。二次衬砌为250mm厚C20素混凝土。

相比于已有的成功案例, 芙蓉路电缆隧道断面小且支护结构较弱, 受地面交通条件限制无地层提前加固条件, 为保证电缆巡检人员作业空间, 亦不能在电缆隧道内架设永久支撑。地铁盾构隧道距其竖向距离很小, 为了确保电缆隧道在地铁施工及运营期安全, 针对地铁盾构隧道施工及运营对电缆隧道造成的影响进行研究是十分必要的。

二、数值模拟

(一) 两者相互关系

地铁隧道上穿电缆隧道, 左线竖向净距1.6m, 右线竖向净距为1.3m, 两者之间地层为圆砾和强风化板岩。

(二) 计算结果

本次分析采用FLAC^{3D}软件按电缆隧道施工和地铁隧

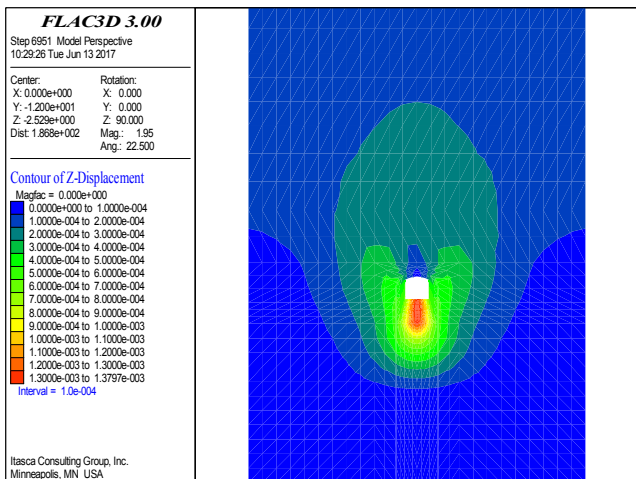


图1 电缆隧道施作后竖向沉降云图

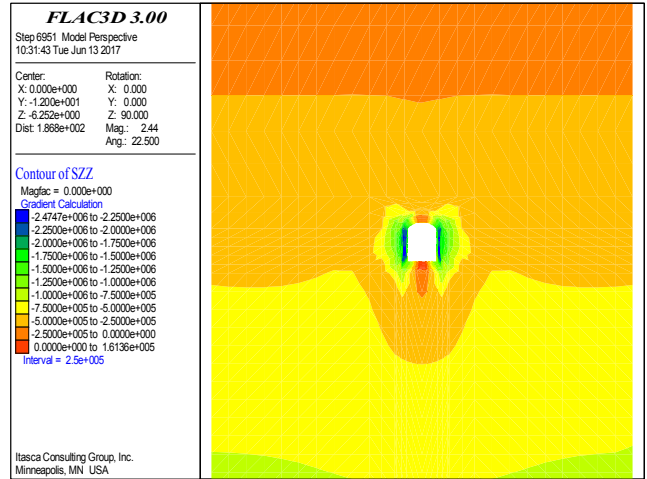


图2 电缆隧道施作后竖向应力云图

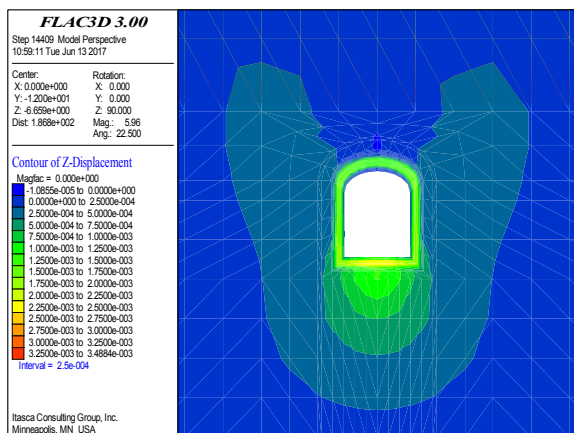


图3 盾构隧道施作后电缆隧道竖向沉降云图

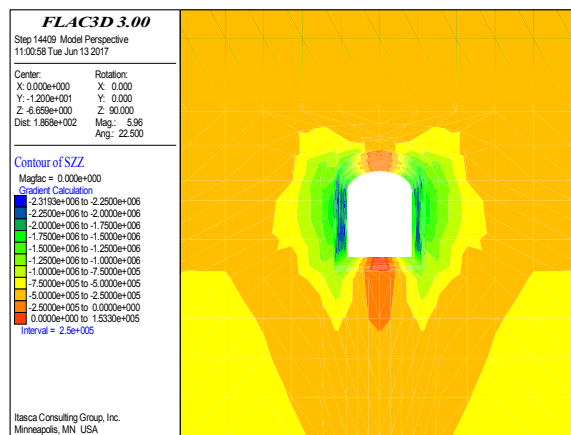


图4 盾构隧道施作后电缆隧道竖向应力云图

道施工两个工况进行。

(1) 电缆隧道施作后沉降和应力计算结果如图1、图2。

从图中可见，电缆隧道拱底隆起1.5mm，拱底最大拉应力为0.16MPa，位于拱底中部，拱底最大压应力为-1.5MPa，位于拱脚处。拱顶中部压应力-0.25MPa，拱顶最大压应力为-1.75MPa，位于两侧拱腰处。侧墙最大压应力为-0.5MPa。

(2) 地铁隧道施作后沉降和竖向应力计算结果如图3、图4。

从图中可见，电缆隧道拱底隆起1.25mm。拱底最大拉应力0.15MPa，位于拱底中部，拱底最大压应力为-1.5MPa，位于拱脚处。拱顶中部压应力为-0.2MPa，拱顶最大压应力-1.75MPa，位于两侧拱腰。侧墙最大压应力为-0.5MPa。

(3) 对比分析

C20混凝土轴心抗压强度设计值为9.6MPa，轴心抗拉强度设计值为1.1MPa，可见两种工况下电缆隧道的混凝土的压应力和拉应力均小于设计值。

对比两个工况可知，由于盾构区间施工，对电缆隧道上方土体产生卸载作用，拱底最大拉应力由

0.16MPa变为0.15MPa，拱顶中部压应力由-0.25MPa变为-0.2MPa，拱底隆起由1.5mm变为1.25mm。可见地铁盾构通过后引起地层荷载变化对电缆隧道变形和受力影响较小。

三、电缆隧道保护方案

由于施工过程中盾构机会对下方电缆隧道产生较大荷载，需在施工期间对电缆隧道内部架设临时型钢支撑，待盾构通过后对其拆除。临时型钢支撑布置需避让隧道两侧的电缆支架，如图5。

沿地铁及两侧各6m宽范围每隔1.5m架设一环临时型钢支撑，由于电缆隧道内严禁动火和焊接施工，故每环型钢支撑横撑和竖撑均采用螺栓连接，每环之间采用工字钢纵向螺栓连接。为避免集中受力，在型钢和电缆隧道二衬之间沿环向敷设20mm厚钢板。

四、电缆隧道监测数据及分析

(一) 监测布置情况

在电缆隧道内共设置7个监测断面（JGC1~JGC7），对应布置电缆隧道拱顶（GD1~GD7）、底板沉降（D1~D7）、侧墙收敛（SL1~SL7）测点，监测断面布置如图6。

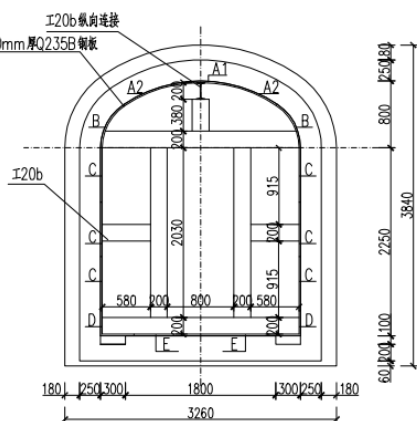


图5 临时型钢支撑加固断面图

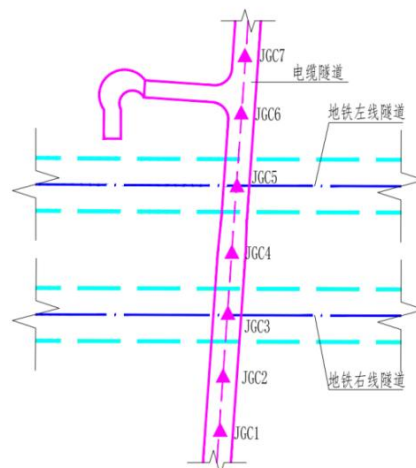


图6 电缆隧道监测点布置图

(二) 监测结果及分析

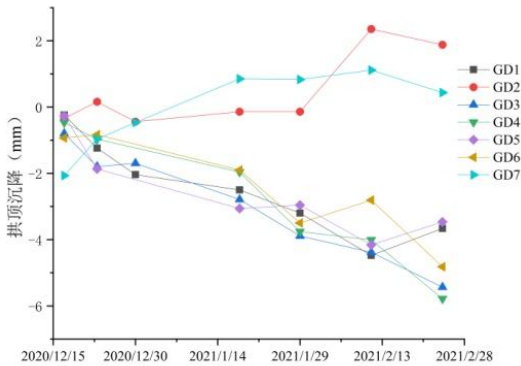


图7 拱顶沉降值

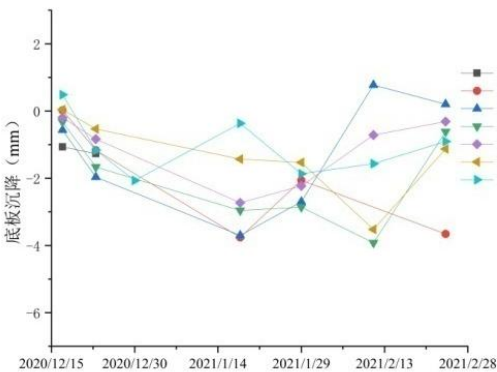


图8 底板沉降值

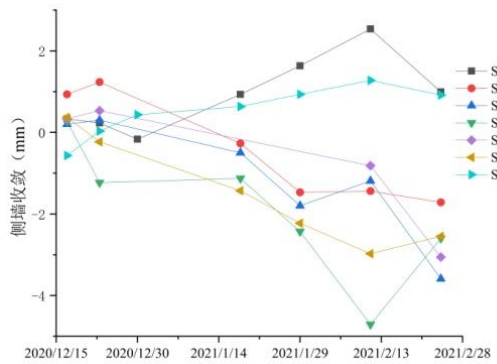


图9 侧墙收敛值

施工时左线盾构机先上穿电缆隧道，右线盾构机后上穿。监测数据表明施工过程中电缆隧道拱顶、底板整体上在下沉，盾构通过后电缆隧道底板发生明显回弹，拱顶未见回弹；远离地铁隧道范围拱顶测点（如GD2和GD7）存在一定上浮，如图7。远离地铁隧道范围电缆隧道侧墙向外变形（如SL1和SL7），地铁隧道范围电缆隧道侧墙向内变形。如图9。

拱顶沉降最大值为5.79mm（设计控制值20mm），位于GD4；底板沉降最大值为3.72mm（设计控制值20mm），位于D4，如图8；侧墙收敛最大值为4.71mm（设计控制值10mm），位于SL4，如图9；所有监测数据

均满足设计要求，监测数据稳定后已对电缆隧道内临时型钢支撑进行拆除，电缆隧道二衬未发现新增裂缝，说明采用保护方案后电缆隧道能承受地铁施工荷载，可满足电缆隧道保护要求。

监测最大值点均位于左右线地铁隧道之间的JGC4，反映地铁左右线分别施工对电缆隧道的影响有明显的叠加效应，导致电缆隧道最不利断面位于左右线隧道之间而不是位于地铁隧道正下方。监测数据表明，类似工程在确定电缆隧道加固范围时除地铁隧道正下方外还应重点加固左右线地铁隧道之间的区域。

经过长沙6号线通车试运行，电缆隧道未出现异常，电缆隧道二衬未发现新增裂缝。

五、结语

本文依托长沙6号线区间隧道上穿电缆隧道，提出了保护方案，进行了数值模拟、监测数据分析，得出以下主要结论：

(1) 在地铁隧道近距离上穿电缆隧道时，在电缆隧道内采用螺栓连接架设临时型钢支撑能有效保护电缆隧道。

(2) 地铁隧道上穿过程中，电缆隧道变形呈现一定规律。电缆隧道拱顶、底板整体下沉，盾构通过后电缆隧道底板发生明显回弹，拱顶未见回弹，远离地铁隧道范围电缆隧道拱顶存在一定上浮。地铁隧道范围电缆隧道侧墙向内变形，远离地铁隧道范围电缆隧道侧墙向外变形。

(3) 地铁隧道左右线分别施工对电缆隧道的影响有明显的叠加效应，导致电缆隧道最不利断面位于左右线隧道之间而不是位于地铁隧道正下方。

(4) 经过通车试运行验证，未采取支撑措施的电缆隧道也能承受地铁隧道近距离上穿后的列车荷载和地层荷载，避免了架设支撑对电缆隧道正常作业的影响。

参考文献

[1] 江华, 殷明伦, 江玉生等. 深圳地铁盾构隧道近距离上跨既有有线引起的结构变形研究[J]. 现代隧道技术, 2018, 55 (1): 194-202.

[2] 刘维正, 戴晓亚, 孙康等. 地铁盾构隧道近距离上穿既有线路纵向变形计算方法[J]. 岩土力学, 2022, 43 (3): 831-842.

[3] 魏新江, 张默爆, 丁智等. 盾构穿越对既有地铁隧道影响研究现状与展望[J]. 岩土力学, 2020, (S2): 1-20.

[4] 张孟喜, 张靖, 吴应明等. 全风化岩层中双线盾构上穿近邻地铁隧道影响分析[J]. 土木工程学报, 2019, 52 (9): 100-108.

[5] 杜贵新, 蒲松, 叶来宾等. 高速铁路浅埋暗挖隧道近距离上穿既有地铁隧道风险控制研究[J]. 铁道勘察, 2021, (6): 86-91.