

地铁盾构下穿铁路变形数值分析和加固措施研究

Research on the Numerical Analysis of the Underpass Railway Deformation of Metro Shield and the Reinforcement Measures

曹成

Cheng Cao

广州地铁设计研究院有限公司, 中国·广东 广州 510030

Guangzhou Metro Design Research Institute Co.Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510030, China

【摘要】论文以长沙地铁线路某区间下穿铁路工程为对象,采用三维有限元方法,计算盾构隧道因下穿铁路引起的地表沉降以及洞身变形数值,并提出了合理有效的加固处理措施,希望能确保铁路的运行安全。

【Abstract】The paper takes the underpass railway project of a certain section of Changsha metro line as the object, and uses the three-dimensional finite element method to calculate the surface settlement and the deformation value of shield the tunnel caused by the underpass railway, and puts forward the reasonable and effective measures to reinforce the railway, hoping to ensure the safety operation of the railway.

【关键词】盾构下穿铁路;三维有限元;地表沉降;加固措施

【Keywords】shield underpass railway; three-dimensional finite element; surface subsidence; reinforcement measures

【DOI】<http://dx.doi.org/10.26549/gcjsygl.v2i5.770>

1 引言

随着城市建设特别是地铁建设的飞速发展,盾构法在地铁工程中的应用越来越广泛,而盾构穿越既有铁路的情况时有发生,如何确保施工过程中盾构施工掘进的安全、施工对地层的扰动变形可控和铁路能正常运行,是工程设计和施工人员需要设法解决的问题。由于土体自身力学的复杂性以及施工对周边环境影响的多面性,采用常规方法难以合理地把握区间施工对既有铁路的影响,因此,需借助三维有限元软件对施工全过程进行仿真模拟,进而得出较为可信的计算理论数值,为工程实施提供参考。

2 工程概况

2.1 区间与铁路的相互关系

下穿段出入段线平面线路为 $R=250\text{m}$ 的圆曲线段,近东南-西北走向,两线中心距约 14.5m 。下穿处铁路近东西走向,复线设置,采用堆填路基,碎石道床,两线中心距 $9.7\sim 10.1\text{m}$,路基顶面宽度约 17.5 ,路基顶高出南侧现状地面约 8.8m 、高出北侧现状地面约 6.3m 。出入段线线路与铁路线路之间的夹角在 $37^\circ\sim 44^\circ$,下穿位置隧道顶至铁路路基南、北两侧坡脚地面最小高差分别约为 5.63m 和 6.44m ,至铁路路基面高差在 13.8m 以上。

2.2 区间穿越的地质情况

出入段线盾构隧道段主要涉及的土层由上至下依次为:素填土、植物层、粉质粘土、粗砂、圆砾、卵石、砂质粘性土、全

风化花岗岩、强风化花岗岩。其中隧道洞身主要位于粉质粘土、粗砂、圆砾和砂质粘性土层,局部位于素填土和全风化花岗岩中。所涉岩土层的隧道围岩分级主要为 $\text{V}\sim\text{VI}$,隧道综合围岩分级为 VI ,围岩可掘进性较好,自稳性较差。

地下水方面,粗砂和圆砾层为场区内的主要强透水性地层,厚度一般。

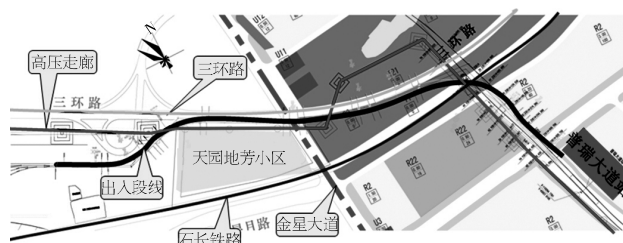


图1 区间下穿铁路平面示意图

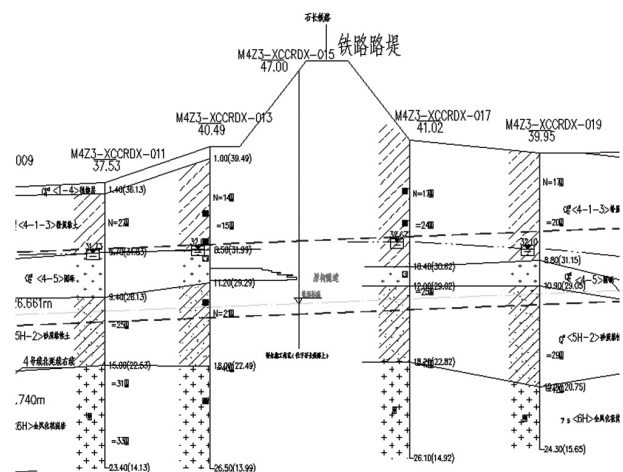


图2 出入段线纵断面图

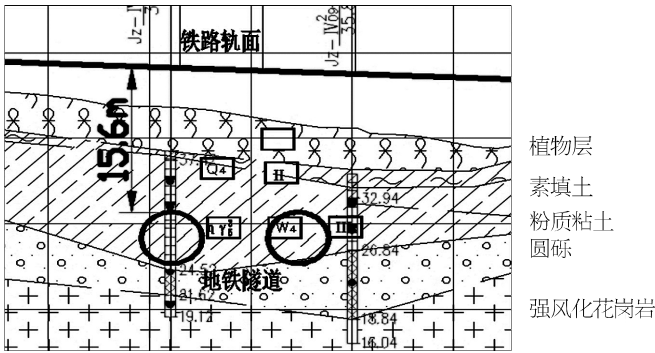


图 3 地质横断面图

3 受力分析

3.1 模型建立

根据勘察报告,模型取四层土体,各层物理力学参数见下表:

表 1 不同土层物理力学参数

土层	天然 密度	内聚力	内摩 擦角	泊松比	压缩 (弹性) 模量	剪切 模量	体积 模量
软塑状粉质黏土	1.88	40	17.5	0.37	5.7	2.08	7.3
硬塑状粉质黏土	1.95	64	22.8	0.37	9.2	3.35	11.8
细圆砾土	1.88	40	22.7	0.4	5.5	1.96	9.2
全风化花岗岩	1.9	43	23.8	0.37	6	2.19	7.7

天然密度:单位 103kg/m^3 ;内聚力:单位 kN ;内摩擦角:单位度;
模量:单位 Mpa 。

模型左右边界取 38m,根据出入段线纵剖面图,上边界取拱顶以上 7m,下边界取 30m,计算长度 15m。根据地勘报告,隧道断面大部分在硬塑状粉质粘土层,下部有部分在细圆砾土层,为方便计算,同时也取最不利情况考虑,将盾构法隧道断面全部放在硬塑状粉质粘土层。盾构法隧道为双洞隧道,外径 6m,内径 5.4m,管片厚度取 0.3m。

对盾构法模型采用摩尔库伦理论进行计算,采用土压平衡盾构施工,盾构法隧道一次循环掘进 1 个管片,管片长度 1.5m,每环管片由 6 片组成,错缝拼接。

具体模型见图 4。

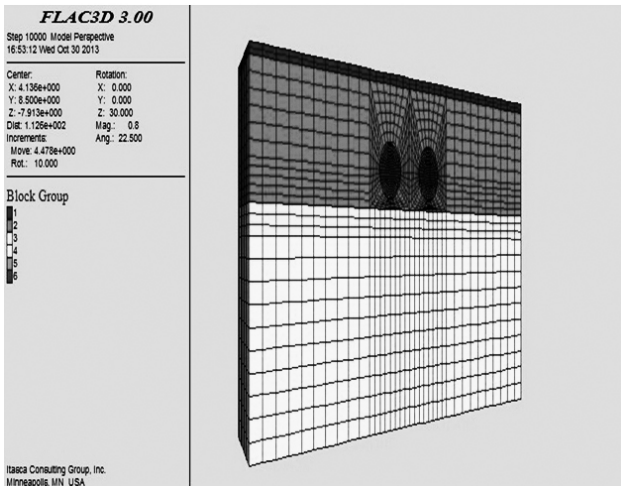


图 4 盾构法隧道模型

3.2 参数取值

铁路简化为荷载施加在道床位置,轨道荷载 $P=54.4\text{KN/m}$,活载为 156.25KN/m ,换算为均布荷载后乘以动力系数 2.0,最后铁道荷载定为 131.6KPa 。参考类似地层的实际推进参数,土舱压力取 0.27MPa ,注浆压力取 0.2MPa ,注浆量为 5.4m^3 。

边界条件:底部固定,周边法向约束,顶部自由。

施工模拟:①全断面开挖土体;②开挖完毕后,根据应力释放的情况适时施作管片。

掘进三个循环情况如图 5。

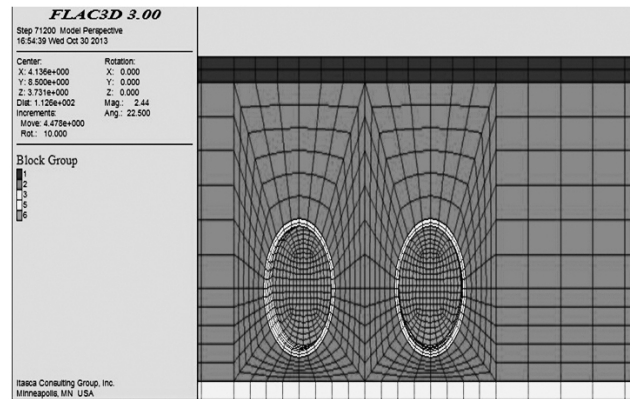


图 5 盾构法隧道掘进 3 个管片长度的情况

3.3 数值结果

详情见图 6、图 7、表 2。

4 盾构掘进对铁路的影响

4.1 地层沉降对轨道的影响

隧道采用盾构施工时,无论如何都会或多或少地引起地表沉降,因为施工引起的地层损失、施工扰动土体及地下水流失导致的土体固结所引起造成的地表沉降都是不可避免的,因此这方面的沉降只能通过控制得到缓解,例如通过优化掘进参数及采取各种措施使隧道开挖过程中,尽量减少地层的损失,使地层沉降达到控制要求^[4]。

铁路轨道是以轨枕为弹性支座的类似连续梁,属多跨超静定系统。当周边地表发生沉降特别是不均匀沉降时轨枕的基础随之下沉,在列车的动荷载作用下这些支撑面下沉的轨枕带着轨道产生较大的变形,当不均匀沉降过大时可使轨道断裂。反之,列车通过时,由于轨枕和地基的不均匀受力,又会进一步加剧地基局部沉降和变形。长此以往,列车运行有很大的危险,严重时甚至有可能脱轨。

4.2 铁路变形控制标准

根据以上分析盾构隧道下穿铁路过程中为确保穿越施工及铁路行车的安全必须对地面隆沉及轨道变形建立严格的控制标准。根据《铁路线路修理规则》(2006 年版,中华人民共和国铁道部),线路轨道静态几何尺寸容许偏差管理值如表 3 所示。

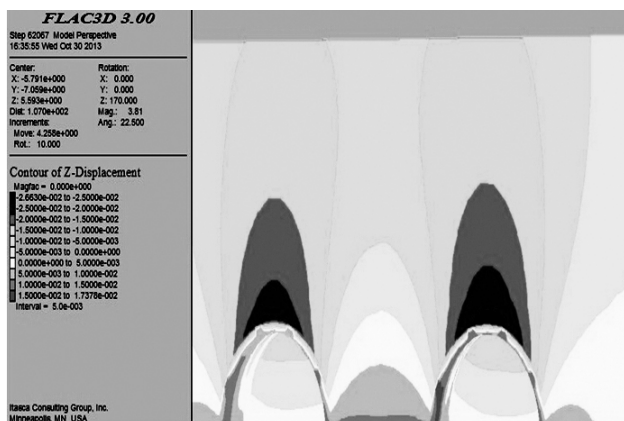


图 6 盾构法地表位移云图

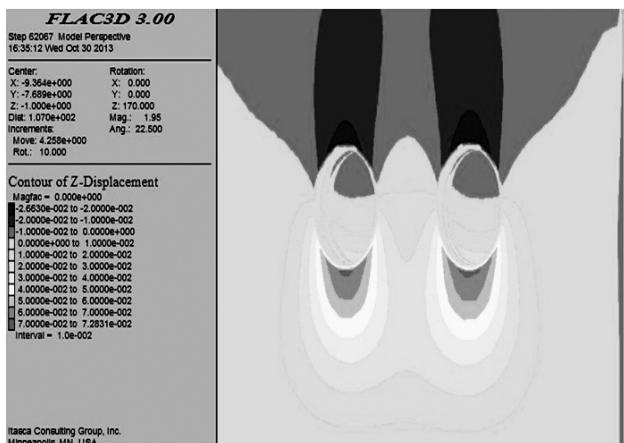


图 7 盾构法拱顶及拱底位移云

表 2 盾构施工过程变形数据

位置	Y 向位移最大值 (mm)
地表	12.7
拱顶	14.6
仰拱隆起	-1.8

表 3 线路轨道静态几何尺寸容许偏差管理值

项目	作用验收(mm)		经常保养(mm)		临时补修(mm)	
	V≤120 正线及 到发线	其他站 线(含 专用 线)	V≤120 正线及 到发线	其他站 线(含 专用 线)	V≤100 正线及 到发线	其他站 线(含 专用 线)
轨距	+6,-2	+6,-2	+7,-4	+9,-4	+9,-4	+10,-4
水平	4	5	6	8	10	11
高低	4	5	6	8	10	11
三角坑 (扭曲)	缓和 曲线	4	5	5	7	7
	直线和 圆曲线	4	5	6	8	9

根据表 2 的变形数据，无法满足铁路运行的允许变形要求。

5 铁路加固措施

过石长铁路段，铁路轨顶距离隧道拱顶大约在 14~16m，铁路道床底距离隧道拱顶约 7m，拱顶上方主要为粉质粘土，隧道掌子面范围内主要为砂质粘土及全风化花岗岩。

根据上述变形计算结果和铁路变形控制指标要求，并结合相关类似工程经验，区间过铁路段，需采取一定的加固措施。为保证铁路的运营安全，尽量减少对铁路运营的影响。

由于下穿铁路段隧道结构的宽度为 11.5m，采用跨度为 16m 的 D 型施工便梁（支座到支座距离），便梁支座采用 φ1.8m 的桩基。D 型梁支撑于桩基上。D 型梁下架空，防止盾构隧道掘进引起地层隆起。D 型梁优点是在不中断行车的情况下，利用它进行桥涵等的开挖和施工，并具有运输和拆装方便的特点，D 型梁型号建议采用 D16。

此外可考虑采用铁路扣轨方式对铁路进行加固，不需要将铁路架空，其目的是将跨隧道段铁路轨道连接为一体化，以提高铁路的整体稳定性，避免下穿铁路隧道施工时，铁路出现过大的不均匀沉降，特别是三角坑的出现。

施工整个过程对铁路进行监测，监测值超过铁路轨道容许偏差时，应立即对铁路进行起道调直或垫钢板，保证铁路的安全畅通^[2]。

6 结语

①在盾构下穿铁路前应对上部铁路轨道的轨下基础进行提前加固，对铁路轨道进行 D 型梁加固能够有效控制盾构施工引起的地表变形和轨枕变形。②在采取安全措施的同时需对穿越过程进行全程监控，及时反馈监测数据实行施工参数的动态控制。穿越时需控制好盾构姿态和掘进速度并确保同步注浆的效果。③应协调铁路主管部门在盾构穿越过程中对列车通过该段时配合进行减速慢行。④实际施工过程中还应做好过程控制，尽量减小施工误差、降低地层损失、加强注浆，减少盾构施工对铁路隧道的影响。

参考文献：

[1]余才高.地铁盾构隧道下穿铁路的安全措施[J].城市轨道交通研究,2009(2):33-36.

[2]肖立,张庆贺.铁路轨道下盾构施工所致地面沉降的数值模拟[J].重庆大学学报(自然科学版),2011(9):4.