

# 线路重叠交叉段下部隧道联络通道冻结法施工 对上部隧道的影响

唐震东

(中铁建大桥工程局集团第二工程有限公司, 518083, 深圳//工程师)

**摘 要** 以某地铁线路隧道重叠交叉段联络通道施工为工程背景, 针对下部隧道联络通道冻结法施工, 建立 Midas/GTS 建立三维有限元模型, 分析联络通道冻结法施工过程对上部隧道的影响。分析结果表明: 下部隧道联络通道施工完成后, 上部隧道最大沉降量为  $-0.322$  mm, 最大隆起量为  $0.211$  mm, 最大水平位移为  $-0.053$  mm, 均在安全可控范围内; 上部隧道结构最大拉压应力也均满足强度要求。

**关键词** 地铁隧道; 线路重叠交叉; 联络通道; 冻结法

**中图分类号** U456.3<sup>+</sup>1

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.05.022

## Influence of the Freezing Construction of Lower Tunnel Connecting Passage on Upper Tunnel at Overlapped and Crossing Line Section

TANG Zhendong

**Abstract** Based on a tunnel connecting passage engineering constructed with freezing method at the overlapped and crossing metro line section, a 3D finite element model by using Midas/GTS software is established to analyze the influence of the lower tunnel connecting passage constructed with freezing method on the upper metro tunnels. The results show that after the construction of the lower tunnel connecting passage, the maximum settlement of the upper tunnel is  $-0.322$  mm, the uplift and the horizontal displacement are  $0.211$  mm and  $-0.053$  mm respectively, all in the controllable range. The maximum tension and compression stress of the upper tunnel structure also meets the strength requirements.

**Key words** metro tunnel; overlapped and crossing lines; connecting passage; freezing method

**Author's address** The Second Engineering Co., Ltd., China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group, 518083, Shenzhen, China

相竞逐热点, 其建设往往能带来巨大的经济效益和社会效益。地铁联络通道冻结法施工以其环保、不占用地面交通、施工安全性高等优点, 已成为盾构法隧道联络通道施工首选。

目前, 关于联络通道冻结法施工对周围地层的影响研究不少。文献[1]通过数值计算分析冻胀融沉引起的地表位移; 文献[2]从数值方法的角度, 对联络通道冻结法施工冻结帷幕的变形与应力进行了分析与安全评价; 文献[3]从地表变形等方面进行跟踪监测, 并分析冻结变化规律; 文献[4-6]也从不同角度进行了研究。但上述研究均基于正常盾构隧道联络通道冻结法施工基础。由于设计受限, 两条地铁线路相互交叉已较常见, 但联络通道处于两条地铁线路重叠交叉段的施工案例及可参考经验较少。

在下方隧道联络通道施工中, 土体冻胀会引起上方既有隧道隆起变形, 而开挖融沉又会造成土层沉降塌方, 极大地增加了冻结施工开挖风险。本文基于这些问题研究联络通道冻结施工对上部既有隧道的影响。

## 1 工程概况

某地铁 4 号线菊花村站—菊华站区间双线隧道(以下简为“隧道 A”)在里程 YDK14+350(ZDK14+400)~YDK14+540(ZDK14+570)范围内双线正穿 6 号线东郊路站—菊华站区间双线隧道(以下简为“隧道 B”)。交叉段内隧道 B 施工完成后隧道 A 施工, 后进行隧道 B 的联络通道冻结法施工。隧道 B 的联络通道位于交叉段隧道 A 左线正下方, 相互位置关系如图 1 所示。隧道 A 双线与隧道 B 左线竖向距离范围约为  $1.9\sim 3.0$  m。交叉段区域地面至隧道 A 埋深为  $5.5\sim 6.1$  m。

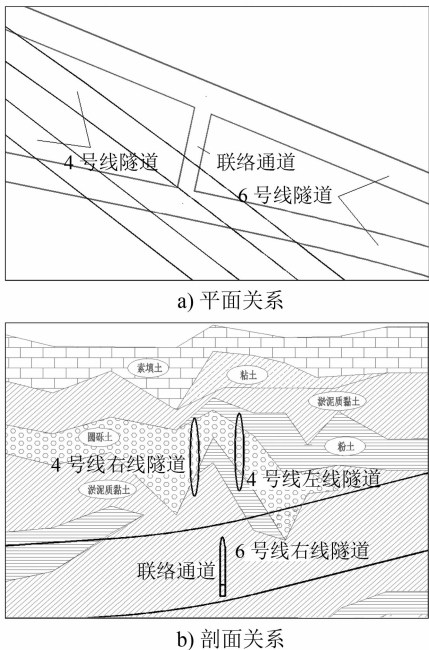


图 1 相互位置关系图

## 2 联络通道冻结法施工对 4 号线盾构隧道结构影响数值模拟分析

### 2.1 建立数值模型

为分析联络通道冻结施工对上部隧道 A 的影响,采用 Midas/GTS 建立三维有限元数值模型。模型以隧道 B 轴线为中心向四周扩展。考虑到施工过程中的空间效应,为了确保三维模型有足够的计算精度并保证计算效率,模型尺寸为沿隧道纵向取 120 m,沿宽度方向取 130 m,沿竖向从路面向下取 45 m。模型中的地层、注浆、联络通道初次衬砌、二次衬砌均采用实体单元模拟,隧道管片采用板单元模拟。三维模型共划分 128 653 个单元,56 160 个节点。建立的数值模型如图 2 所示。

### 2.2 基本简化和假定

数值模型的计算基于以下的基本简化和假定:

- 1) 地层简化。根据模拟区域内的地质剖面图,将相似地层合并。简化后的地层从上至下依次为:素填土、黏土、淤泥质土、粉土及圆砾。
- 2) 施工过程简化。在施工过程中,联络通道地层冻结加固、隧道支撑和防护门、结构开挖、初期支护、结构防水、钢筋绑扎、二次衬砌浇筑,充填及融沉注浆等施工环节的计算量巨大,但其计算结果对模型计算结论的影响不大。因此,应对模拟计算的施工过程进行简化。在不损失计算精度的前提下,

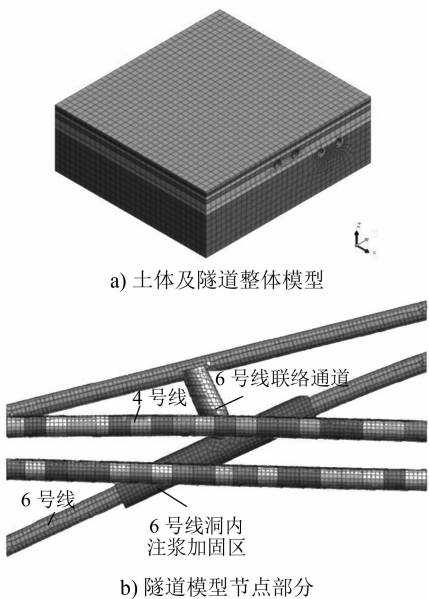


图 2 数值模型

仅考虑重要关键节点,省略次要施工环节。本文模型以隧道 A、B 的隧道结构施工完成,且素桩、洞内加固及联络通道均已冻结加固完毕为初始平衡状态,分别分析联络通道开挖且初次衬砌施工、二次衬砌施工、冻结帷幕解冻完成等 3 个阶段对隧道 A 的影响。

### 2.3 计算参数

地基土的非线性本构与屈服力学特性层采用修正摩尔库伦模型描述。计算参数根据地勘报告及场地实际地质情况确定如表 1。

表 1 计算材料物理学参数取值

土体及材料	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	密度/(kg/m³)
素填土	11.00	0.35	8.00	15.00	1 820
黏土	14.80	0.30	22.87	10.48	1 910
粉土	20.60	0.30	11.10	19.45	1 970
管片	34 500.00	0.20			2 500
淤泥质土	8.43	0.30	10.30	2.20	1 630
圆砾土	24.00	0.30			1 980
加固体	500.00				2 250
冻结帷幕	180.00				1 800

### 2.4 初始与边界条件

边界条件:模型四周边界约束水平方向位移、竖向位移自由;模型底部 X、Y、Z 方向全约束,为固定边界条件;模型顶端地面为自由边界。

模拟隧道 B 联络通道冻结法施工的初始条件为:隧道 A 地层素桩加固完成,隧道 B 洞内注浆施工完毕;加固区域为交叉段隧道结构外 3 m,素桩加固采用 C10 混凝土;隧道交叉段采用 1:1 水泥浆对

隧道全断面进行加固,并与地层达到稳定平衡状态。

### 3 计算结果

#### 3.1 计算工况

根据基本简化和假定,计算模拟工况为 4 个,具体如表 2 所示。联络通道解冻是一个复杂的物理过程,本文采用改变冻土区域参数的方式来进行模拟,认为解冻后的土体参数减弱。解冻后参数采用临近土层的参数。

表 2 计算模拟工况	
工况	工况说明
工况一	初始平衡(隧道、素桩、洞内加固、联络通道冻结加固)
工况二	联络通道开挖及初次衬砌施工完成
工况三	联络通道二次衬砌施工完成
工况四	冻结帷幕解冻完成

#### 3.2 各工况地铁隧道结构变形与应力分析

##### 3.2.1 工况一

工况一为初始平衡状态,考虑隧道和地层的协调变形分析,在计算完成后将位移清零,作为后续施工模拟计算的初始条件。工况一计算结果如图 3 所示。

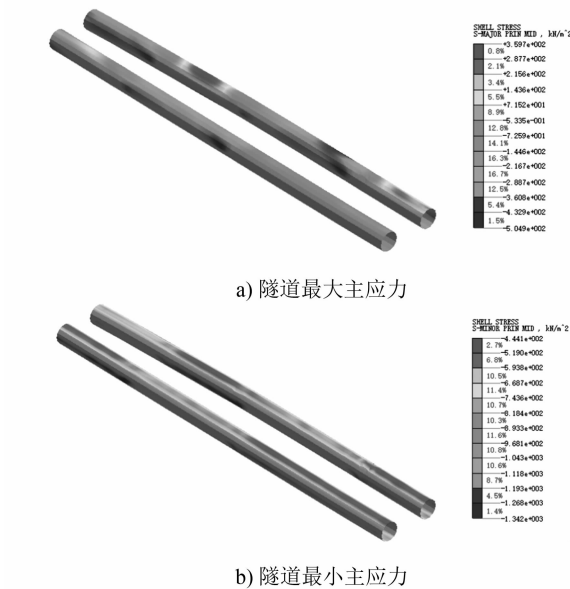


图 3 工况一下隧道 A 的应力分布图

初始平衡状态下:隧道 A 最大主拉应力为 359.7 kPa,小于 C50 混凝土的抗拉强度设计值 1 980 kPa,满足标准值 2.64 MPa 的要求;隧道 A 最小主应力(即最大压应力)为 1.342 MPa,小于 C50 混凝土的抗压强度设计值 23.1 MPa,更小于抗压强度标准值 32.4 MPa。初始平衡状态下隧道结构安全。

##### 3.2.2 工况二

工况二的模拟过程包括土体开挖及初次衬砌施工等施工环节。工况二的计算结果如图 4 所示。



图 4 工况二的计算结果

根据计算结果,地表最大沉降量为-0.089 mm,隧道 A 的最大水平位移为-0.055 mm,隧道 A 的最大沉降量为 0.005 mm,最大隆起量为 0.048 mm,位于联络通道上方隧道 A 管片附近。隧道结构最大主拉应力为 360.6 kPa,最大主压应力为 1.343 MPa,均满足隧道管片结构的抗拉及抗压强度要求。

##### 3.2.3 工况三

在工况三下,地层及隧道区间结构的变形与应力云图计算结果如图 5 所示。

根据计算结果,地表最大沉降量为-0.089 mm,地铁隧道水平向位移最大-0.055 mm,隧道 A 最大沉降量为 0.005 mm,最大隆起量为 0.048 mm,位于联络通道上方隧道 A 管片附近。隧道 A 结构的最大主拉应力为 360.6 kPa,最大主压应力为 1.343 MPa,均满足隧道管片结构的抗拉及抗压强度要求。



图 5 工况三的计算结果

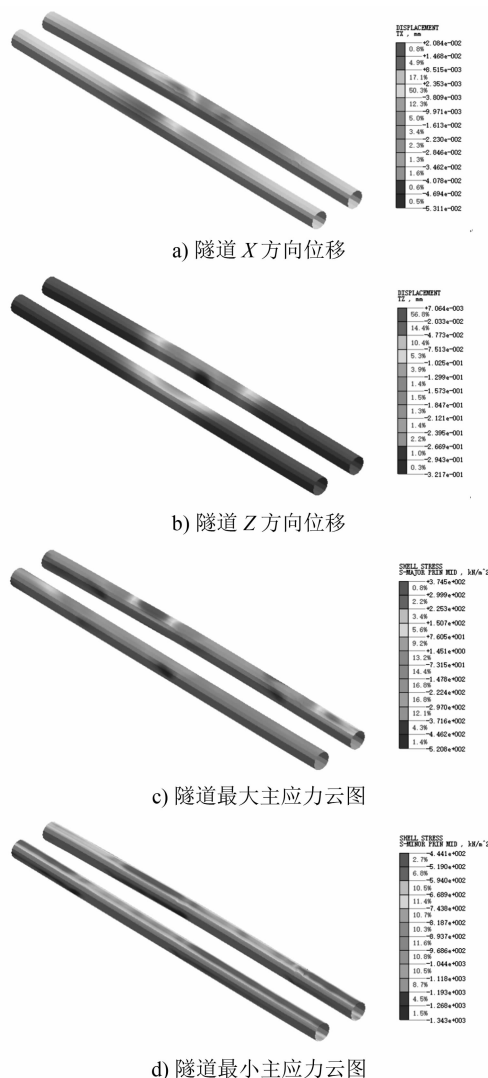


图 6 工况 4 计算结果

### 3.2.4 工况四

根据计算结果,工况四下,地层沉降最大值为  $-1.356$  mm,隧道 A 最大水平位移为  $-0.053$  mm,最大沉降量为  $0.322$  mm,最大隆起量为  $7.064$  mm。最大主拉应力为  $374.5$  kPa,最大主压应力为  $1.343$  MPa,由于受到隧道 B 冻土融沉的影响,竖向变形相对前一阶段虽改变量较大,但均满足隧道管片结构的抗拉及抗压强度要求。

### 3.2.5 各工况计算结果比较

与工况一相比,工况四下的隧道 A 的最大沉降量为  $-0.322$  m,最大隆起量为  $0.211$  mm,最大水平位移  $-0.053$  mm,隧道 A 的管片结构主拉应力由初始状态的  $359.7$  kPa 变为  $374.5$  kPa,主压应力由初始状态的  $1.342$  MPa 变为  $1.343$  MPa,均处于安全可控状态。

### 3.3 变形监测计算结果

取隧道 A 左右线中线为监测点位置,得到隧道结构变形曲线如图 7 所示。

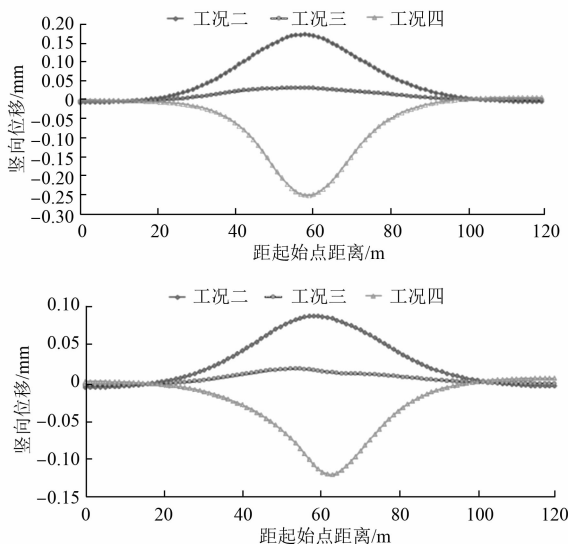


图 7 隧道 A 左、右线的隧道顶部沉降变化曲线

根据计算结果,施工过程地铁隧道顶部最大沉降量为 0.253 mm,最大隆起量为 0.173 mm,满足隧道变形控制要求。

## 4 结语

以某项目隧道重叠交叉段联络通道冻结法施工为工程背景,采用 Midas/GTS 建立三维有限元模型分析联络通道冻结开挖施工对上部盾构隧道的影 响。分析结果表明:

1) 下部隧道联络通道施工完成之后,上部隧道最大沉降量为 -0.322 mm,最大隆起量为 0.211 mm,最大水平位移为 -0.053 mm,均在控制允许值范围内。隧道结构所受应力均满足混凝土强度设计标准值,也均在安全可控范围内。

2) 本研究以规范理想的施工为前提,而实际施工中存在诸多不确定因素,因此施工中应重点对上

部隧道及轨道结构的位移、净空收敛、管片结构错台与张开、轨距等项目进行密集监测,同时要确保联络通道融沉阶段的注浆密实性。

## 参考文献

- [1] 王晖,李大勇,李健,等.地铁联络通道冻结法施工三维数值模拟分析[J].地下空间与工程学报,2011(增刊2): 1589.
- [2] 张志强,何川.用冻结法修建地铁联络通道施工力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005(18): 3211.
- [3] 乔卫国,李大勇.地铁联络通道冻结监测分析[J].岩土力学,2003(4): 666.
- [4] 周志勇,胡向东.隧道联络通道冻结法施工数值模拟与实测分析[J].现代隧道技术,2008(增刊1): 275.
- [5] 岳丰田,张水宾,仇培云,等.地铁联络通道冻结加固融沉注浆研究[J].岩土力学,2008(8): 2283.
- [6] 武亚军,杨敏,李大勇.大连路隧道联络通道冻土帷幕数值分析[J].岩土力学,2006(3): 487.

(收稿日期:2019-11-28)

(上接第 88 页)

- [6] 董诚,郑颖人,陈新颖,等.深基坑土钉和预应力锚杆复合支护方式的探讨[J].岩土力学,2009,30(12): 3793.
- [7] MICHAEL L. Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations[J].Journal of Geotechnical Engineering,2001(3): 203.

- [8] 卢萌盟,沈俊,曾宪桃.预应力锚索加固基坑的三维数值分析[J].岩土工程学报,2005(10): 1198.
- [9] 刘霁,贺晨.基于 PLAXIS 基坑围护桩水平位移特性的分析[J].中南林业科技大学学报,2011,31(8): 142.

(收稿日期:2019-06-12)

(上接第 91 页)

以下很多因素:制冷剂、冷冻水及冷却水等 3 种介质的循环热交换;空调箱机组、冷水机组蒸发器、冷水机组机组冷凝器以及冷却塔装置四个热交换过程。此外,由于城市轨道交通车站负荷和环境因素的不确定,水系统运行情况判断需要多参量以及参量间的耦合,具有显著的复杂性特征。

目前,在城市轨道交通中应用的空调水变频技术具有一定的节能效果。国内地铁车站采用先进节能技术的不多,基本仅对风系统或水系统中的某一个引入节能控制技术。通风空调系统的水系统和风系统是一对耦合系统,它们间的良好匹配是实现系统节能的重要保障,对地铁车站的节能意义重大。

## 参考文献

- [1] 李丽.轨道交通车站冷冻水系统变频节能技术探讨.上海隧道

工程[J].2007(4): 49.

- [2] 高养田.空调变流量水系统设计技术发展[J].暖通空调,1996,26(3): 20.
- [3] 王凡,徐玉党.中央空调水系统变流量分析及其改进[J].建筑热能通风空调,2006,25(1): 49.
- [4] 张谋雄.冷水机组变流量的性能[J].暖通空调,2000,30(6): 56.
- [5] 蔡增基,龙天渝.流体力学泵与风机[M].4 版.北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.采暖通风与空气调节工程检测技术规程:JGJ/T 260—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.公共建筑节能检测标准:JGJ/T 177—2009[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

(收稿日期:2019-06-12)