

文章编号: 1001-5485(2011)07-0057-05

越江隧道联络通道冻结法施工力学模拟分析

李开文¹, 毛 勇¹, 孙 闯², 朱泽奇³

(1 中国有色金属工业昆明勘察设计院, 昆明 650000 2 辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000

3 中国科学院 武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071)

摘要: 为直观了解冻土帷幕的力学特性, 掌握隧道联络通道开挖过程对冻土帷幕的影响, 保证开挖过程的安全, 采用大型有限差分软件 FLAC^{3D} 对联络通道的开挖过程进行了数值模拟。从数值分析的角度对冻土帷幕的应力与变形进行了分析和安全评价, 详细研究了冻土帷幕中应力与位移的分布情况, 确定了冻土帷幕厚度设计安全值为 2.5 m (可以满足施工要求), 并指出了容易产生应力集中的位置为冻土帷幕与隧道接触部位。由于该部位在冻结过程中散热快, 冻结效果差, 所以施工中应该值得注意, 同时也为今后的联络通道数值模拟与人工冻结法施工提供了参考。

关键词: 联络通道; 冻结法; 数值模拟; 冻土帷幕; FLAC^{3D}

中图分类号: U452.2 文献标识码: A

1 概述

人工冻结法是利用人工制冷技术, 使地层中的水冻结成冰, 将天然岩土冻结为冻土, 增加其强度和稳定性, 隔绝地下水与地下工程的联系, 以便在冻结壁的保护下进行井筒或地下工程掘砌施工的特殊施工技术, 其实质是利用人工制冷技术临时改变岩土性质以固结地层^[1]。随着我国大规模修建地铁和越江隧道热潮的兴起, 人工冻结法应用的重心也逐步由煤矿凿井向城市地下工程领域转移^[2], 从上海地铁 1 号线联络通道施工开始, 上海地铁 2 号线、4 号线、大连路越江隧道、复兴路隧道等工程中, 人工冻结法相继被使用。不仅如此, 该方法也用于某些由于地层异常复杂、场地狭小等原因而无法采用盾构推进的隧道施工中^[3]。

本工程综合考虑地层特点和工程特征, 采用人工冻结法对越江隧道联络通道周围土体进行冻结, 形成高强度的冻土帷幕结构, 在该冻土帷幕的保护下进行矿山暗挖法施工, 以确保施工安全和减轻对周围水文地质环境的影响; 采用功能强大的岩土工程分析软件 FLAC^{3D} 对隧道联络通道的整个开挖过程进行了仿真模拟, 着重研究联络通道开挖后冻结帷幕的变形和应力特性的影响。

2 工程概况

本工程为上海市越江隧道旁通道工程。旁通道位于北线隧道里程为 NK2+102.100 南线隧道里程为 SK2+094.577 盾构隧道中心距约 24.460 m 旁通道正上方位于黄浦江上。隧道内径为 10.400 m 管片厚度为 480 mm。旁通道位置上、下行盾构隧道中心线间距为 12.5 m 旁通道与上、下行隧道开口处隧道中心标高分别均为 -26.470 m -26.672 m。联络通道结构与地址柱状图如图 1 所示。

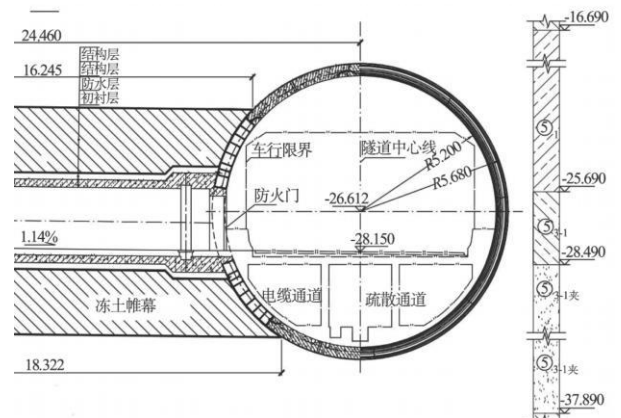


图 1 联络通道结构与地质剖面图 (单位: m)
Fig. 1 Structure of the connected aisle and its geological profile

收稿日期: 2010-08-10

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划重点项目 (90715042)

作者简介: 李开文 (1962-), 男, 云南昆明人, 高级工程师, 主要从事岩土工程设计工作 (电话) 13888082708 (电子信箱) lkwy963@163.com

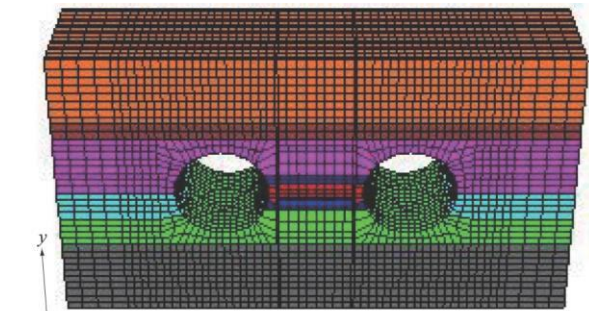


图 3 联络通道几何模型

Fig 3 Geometric model of connected pipes

量和泊松比分别为 150 MPa 和 0.3。冻土帷幕抗压强度为 3.5 MPa, 抗折强度为 1.8 MPa, 抗剪强度指标为黏聚力 1.5 MPa, 摩擦角 28°。冻结壁承载力验算采用许用应力法, 强度检验安全系数^[6]按 III 类冻结壁选取: 抗压强度为 2.0 MPa, 抗折强度为 3.0 MPa, 抗拉强度为 1.5 MPa。

(3) 假设工程所在位置各地层均水平分布, 并设定旁通道在开挖前地层处于初始平衡状态, 最终得到的分析结果就是开挖后冻土受力和变形状态, 模型建立时对实际情况进行部分简化。

(4) 假设开挖从右向左进行, 开挖完成后一次性进行支护结构的构筑, 即考虑最不利工况, 偏于安全。

4.3 计算结果分析

冻结施工后冻土帷幕必须满足设计强度与变形的要求, 因此检验冻结效果的好坏也应该从冻结帷幕中应力与位移的分布情况来考察。本文着重对冻土帷幕中位移和应力分布进行研究, 主要分析在联络通道开挖后, 冻土帷幕结构的应力场及位移情况, 进而可对冻结法施工进行安全性评估。

图 4 至图 5 为冻土帷幕位移云图, 各方向位移极值分别为: y 方向顶部下沉为 -3.6 mm, 底部隆起

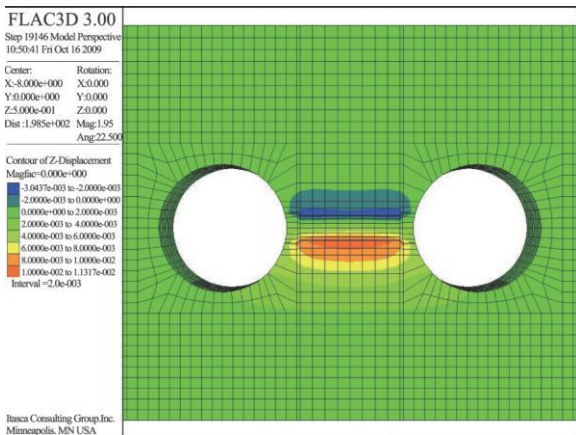


图 4 冻土帷幕 y 方向位移 (单位: m)

Fig 4 Displacement in y direction of freezing soil curtain (unit in m)

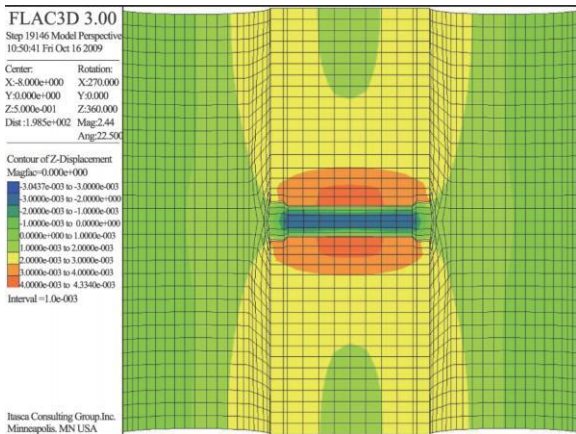


图 5 冻土帷幕 z 方向位移 (单位: m)

Fig 5 Displacement in z direction of freezing soil curtain (unit in m)

10.6 mm, y 方向联络通道两旁收敛量为 -4.68 mm。

图 6 至图 9 为冻土帷幕 σ_{zz} , σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} 应力分布。从图中 σ_{zz} 应力分布可以看出, 整个冻土帷幕都是受压力的, 最大正剪应力 τ_{xy} 主要分布在帷幕喇叭

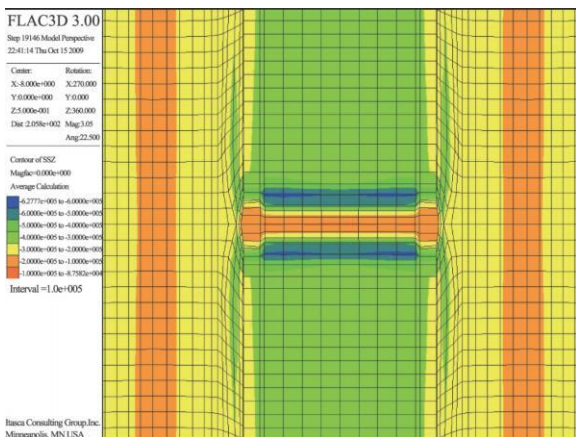


图 6 冻土帷幕 σ_{zz} 应力 (单位: Pa)

Fig 6 Stress σ_{zz} of freezing soil curtain (unit in Pa)

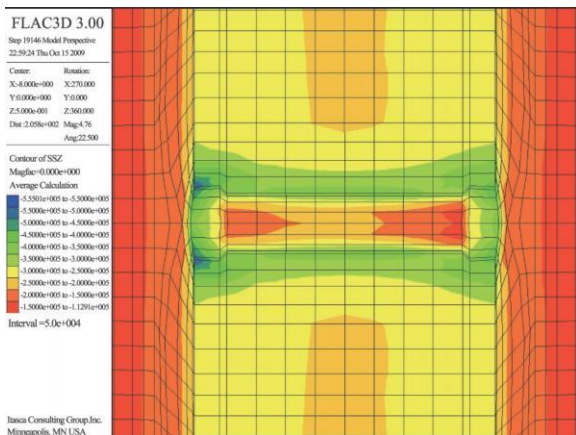


图 7 冻土帷幕 σ_{xx} 应力 (单位: Pa)

Fig 7 Stress σ_{xx} of freezing soil curtain (unit in Pa)

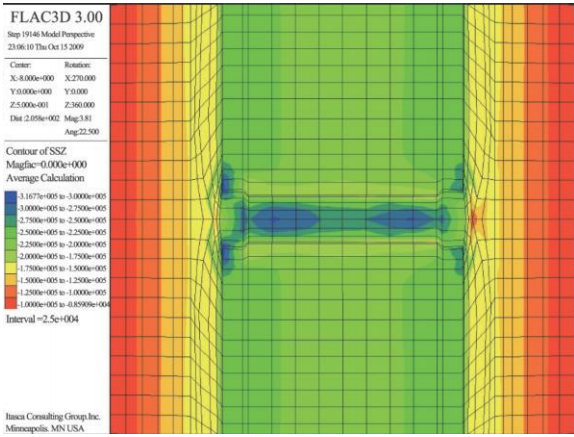


图 8 冻土帷幕 σ_{yy} 应力 (单位: Pa)

Fig 8 Stress σ_{yy} of freezing soil curtain (unit in Pa)

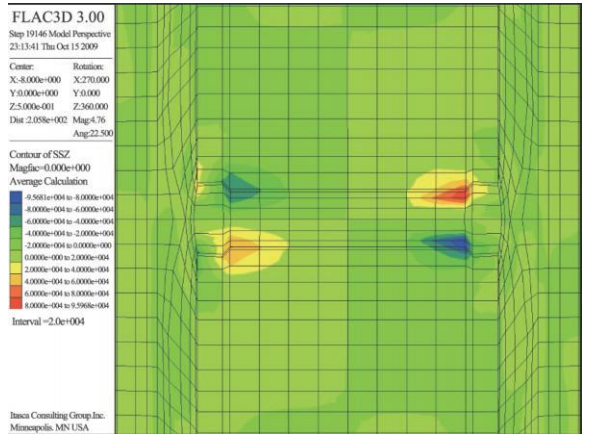


图 9 冻土帷幕 τ_{xy} 应力 (单位: Pa)

Fig 9 Stress τ_{xy} of freezing soil curtain (unit in Pa)

口下部, 而最大负剪应力主要分布在帷幕喇叭口下部, 而拉应力只在通道中部有少量分布, τ_{xy} 方向出现 96 0 kPa 的拉应力; τ_{xz} 方向出现最大 215 kPa 的拉应力; τ 方向出现最大 377 kPa 的拉应力。 σ_{zz} σ_{xx} σ_{yy} τ_{xy} 应力的安全系数分别为 5.7 6.3 9.4 15.6 考虑到所分析工况的极端性, 该冻土帷幕完全可以满足安全要求。具体应力极值及其产生的位置见表 2

由以上位移及应力分布可知, 冻土帷幕受力最薄弱的位置通常处于帷幕与隧道接触的部位。在冻结施工过程中, 由于隧道管片的散热速度快, 在帷幕与隧道接触处的温度最高, 导致冻结效果最差, 强度最低, 这就特别需要引起工程中的注意, 在设计计算中应充分考虑到冻土帷幕与隧道接触的部位散热快这一因素对冻土强度的影响。

表 2 应力极值及其产生的位置

Table 2 Extremum of stress and its position

比较项目	表示意义	模拟所得极值 /MPa	极值产生位置	冻土强度指标 /MPa	安全系数
σ_{zz}	垂直方向正应力	0.628	旁通道与主盾构隧道相连处顶板	3.5	5.7
σ_{xx}	沿旁通道轴线方向正应力	0.555	旁通道与主盾构隧道相连处顶板	3.5	6.3
σ_{yy}	沿盾构隧道轴线方向正应力	0.370	旁通道与主盾构隧道相连处顶板	3.5	9.4
τ_{xy}	法向为垂直方向平面上的剪应力	0.096	旁通道喇叭口侧墙	1.5	15.6
τ_{xz}	法向为盾构隧道轴线方向的平面上的剪应力	0.215	旁通道顶板、底板与侧墙相连转角处	1.5	6.9
τ_{yz}	法向为旁通道轴线方向的平面上的剪应力	0.377	旁通道与主盾构隧道相连处顶板	1.5	3.9
σ_{max}	最大主应力	0.859	旁通道顶板	3.5	4.0

5 结论

本文在对上海越江隧道联络通道进行施工力学模拟分析的基础上对冻土帷幕的变形及应力分布情况进行了详细的分析, 得出结论如下:

(1) 在冻结过程中, 由于冻土帷幕与隧道接触部位冻结效果最差, 所以容易产生应力集中, 对冻土帷幕的应力分布影响比较大, 因此施工中应特别引起注意;

(2) 通过数值计算及施工过程来看, 冻土帷幕设计为 2.5 m 左右完全可以满足强度、变形等要求, 且满足工程施工的安全要求。对于同类工程, 其分析结果具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 刘 珣, 梁 鹏. 城市地下工程中人工冻结法的防冻

胀优化设计研究 [J]. 武汉科技大学学报, 2004 27 (4): 387—390 (LIU Xu, LIANG Peng. Optimum Design of Anti-frost Heave in Artificial Freezing Method of Civil Underground Engineering [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology 2004 27(4): 387—390 (in Chinese)

[2] 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 27 (3): 487—490 (WU Ya-jun, YANG Min, LI Da-yong. Numerical Analysis of Freezing Soil Curtain of Tunnel Connected Aisle [J]. Rock and Soil Mechanics 2006 27(3): 487—490 (in Chinese)

[3] 胡向东, 肖朝昀, 毛良根. 双层越江隧道联络通道冻结法温度场影响因素 [J]. 地下空间与工程学报, 2009 1 (5): 7—12 (HU Xiang-dong, XIAO Zhao-yun, MAO Liang-gen. The Influencing Factor of the Temperature Field of Cross Passage Construction by Freezing Method in Double-Deck Road Tunnel [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering 2009 1(5): 7—12 (in Chinese)

[4] 武亚军, 李大勇, 杨 敏. 冻结法隧道施工数值仿真模拟 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005 24(2): 5851—5856

- (WU Ya-jun, LIDA Yong, YANG Min. Numerical Simulation of Tunnel with Freezing Method Construction [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2005 24(2): 5851—5856 (in Chinese))
- [5] 胡向东, 程 桦. 上海轨道交通四号线冻土物理力学性能试验研究报告 [R]. 合肥: 安徽建筑工业学院, 2006 (HU Xiang-dong, CHENG Hua. Research Report on the Physical and Mechanical Properties of Shanghai Rail Transit Line 4 [R]. Hefei: Anhui Architecture Industry Institute 2006 (in Chinese))
- [6] 李双洋, 张明义, 高志华, 等. 广州某地铁人工冻结法施工热力分析 [J]. 冰川冻土, 2006 8(6): 823—832 (LI Shuang-yang, ZHANG Ming-yi, GAO Zhi-hua. Thermal and Mechanical Analysis of the Artificial Freezing Method Applied to a Subway Tunnel in Guangzhou [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2006 8(6): 823—832 (in Chinese))
- [7] 李大勇, 陈福全, 张庆贺. 地铁联络通道冻结施工的三维数值模拟 [J]. 岩土力学, 2004 25(2): 472—474 (LIDA Yong, CHEN Fu-quan, ZHANG Qing-he et al. 3-D Numerical Simulation of Frozen Construction of a Connected Aisle in Metro [J]. Rock and Soil Mechanics 2004 25(2): 472—474 (in Chinese))
- [8] 肖朝昀, 胡向东, 张庆贺. 地铁修复工程中冻结法设计 [J]. 岩土工程学报, 2006 28(11): 1716—1719 (XIAO Zhao-yun, HU Xiang-dong, ZHANG Qing-he. Design of Freezing Method for Recovering Collapse Tunnels in Shanghai Metro [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering 2006 28(11): 1716—1719 (in Chinese))

(编辑: 曾小汉)

Mechanical Simulation of Freezing Method Applied to the Construction of Connected Aisle in a Cross River Tunnel

LI Kaiwen¹, MAO Yong², SUN Chuang³, ZHU Ze-qin³

(1. Nonferrous Metals Industry Survey and Design Institute Kunming 650000, China)

2. Liaoning Technology University Fuxin 123000, China)

3. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: To ensure the safety of the excavation of connected aisle in a cross river tunnel by directly looking into the mechanical features of freezing soil curtain and the impact of the excavation on the curtain, large finite difference software FLAC^{3D} is employed to numerically simulate the excavation process. Through the simulation, the stress and deformation of the freezing curtain are analyzed and its safety is evaluated. Moreover, the stress and displacement distributions of the curtain are further analyzed in detail. The designed thickness of the freezing soil curtain is determined to be safe at 2.5 m, which meets the construction requirements. It is also pointed out that the contact location between the freezing soil curtain and the tunnel should be given more concern as it is easy to see stress concentration because of quick heat dissipation during the freezing with unsatisfactory freezing effect. The study can serve as a reference for the artificial freezing technique and the numerical simulation of connected aisles.

Key words: connected aisle; freezing method; numerical simulation; freezing soil curtain; FLAC^{3D}

长江科学院编制的陕西省 3 个“凯迪生物质能发电厂工程水土保持方案”通过审查

2011年 5 月 16 至 17 日, 陕西省水土保持局在西安主持召开了由长江科学院编制的《陕西勉县凯迪生物质能发电厂工程(1×30 MW)水土保持方案报告书》、《陕西黄龙凯迪生物质能发电厂工程水土保持方案》、《陕西平利凯迪生物质能发电厂工程水土保持方案》审查会。参加会议的有陕西省水土保持学会、陕西省水利学会、陕西省环保厅、西安理工大学、长安大学、陕西省水土保持监督执法支队、陕西省水土保持勘测规划研究所、陕西省水土保持生态环境监测中心以及有关县的水土保持等单位, 建设单位武汉凯迪控股投资有限公司、长江科学院等单位的专家和代表。

与会代表和专家查勘了现场, 观看了项目区图片资料, 听取了建设单位关于项目前期工作进展情况、主体设计单位关于工程概况的介绍、编制单位关于方案编制内容的汇报。评审专家听取汇报后, 进行了认真讨论、质询与评审, 专家组一致认为上述 3 个方案编制依据充分、内容全面, 符合技术规范规定和要求, 达到了可行性研究阶段深度, 防治措施体系和方案实施进度安排可行, 同意通过评审。

(摘自《长江水利科技网》)