

浅埋暗挖法隧道下穿管线施工控制标准及控制措施研究^{*}

周 伟¹ 牛 斌² 曾德光² 郭 婷²

(1. 石家庄市轨道交通集团有限责任公司, 050011, 石家庄;

2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京 // 第一作者, 高级工程师)

摘 要 地下管线种类、材质、接头形式、使用现状、地层条件等各不相同, 因此浅埋暗挖法隧道下穿管线施工是城市轨道交通建设过程中的重要课题, 对其处理是一项综合性的技术。阐述了浅埋暗挖法隧道下穿管线施工的控制标准和控制措施: 首先应详细调查管线情况、排查地层空洞; 在研究管线控制标准的基础上, 提出管线沉降主要控制指标, 并给出建议控制值; 施工过程中, 根据风险分级制定管线自身处理和加强措施以及管线外部保护控制措施, 并制定应急预案。

关键词 地铁; 浅埋暗挖法; 地下管线; 控制标准; 处理措施

中图分类号 TU714; U231.2

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.09.005

Research on Under-passing Pipeline Construction Control Standards and Measures of Shallow Tunneling Method

ZHOU Wei, NIU Bin, ZENG Deguang, GUO Ting

Abstract The types, materials, joint forms, and current usage status of underground pipelines, and stratum conditions are different. Therefore, the construction of under-passing pipelines in shallow tunneling method is an important subject in the construction of urban rail transit, and the treatment is a comprehensive technology. The control standards and measures of under-passing pipeline construction of shallow tunneling method are expounded. Firstly, detailed investigation of pipeline condition and stratum cavity inspection should be conducted. Based on the research of pipeline control standards, the main control indicators for pipeline settlement are proposed, and the recommended control values are given. During construction process, the pipeline self-treatment measures, reinforcement measures and external control measures are formulated according to the risk classification, as well as emergency plans.

Key words metro; shallow tunneling method; underground

pipeline; control standards; treatment measures

First-author's address Shijiazhuang Rail Transit Group Co., Ltd., 050011, Shijiazhuang, China

随着城市轨道交通的快速发展, 城市轨道交通建设过程中的事故数量也呈上升趋势。据统计, 地铁施工中的地下管线断裂和地面塌陷事故, 大部分都发生在大直径地下管线有渗漏并采用矿山法施工的过程中^[1]。浅埋暗挖法隧道下穿管线施工是一项综合技术, 对其控制标准及处理措施的研究尤为重要。本文以石家庄地铁工程为例研究浅埋暗挖法隧道下穿管线施工控制标准及控制措施。

1 管线及空洞调查

1.1 管线调查内容

管线调查是施工工法选择和措施应用的前提, 管线调查资料应详尽, 需重点调查地下管线的类型、功能、材质、规格、坐标位置、走向、埋设方式、埋深、施工方法、建成年代、产权单位等内容^[7]。各类管道的调查内容还应包括管节长度、接口形式、拐点坐标、管径变化位置、阀门或检查井位置、载体特征(压力、流量流向)、使用情况(正常、废弃、渗漏)等。采用地下综合管道共同沟的, 调查内容还包括共同沟的结构形式、断面尺寸、顶(底)板埋深、围护结构形式、变形缝设置情况等。

1.2 调查范围及精度要求

根据住房和城乡建设部下发的《城市轨道交通工程周边环境调查指南》, 暗挖施工时, 管线的调查范围应不小于隧道结构外边线两侧各 30 m, 同时不小于 3 倍设计底板埋深和 3 倍隧道开挖宽度, 应取三者中的最大值。管线调查以中误差作为衡量管

^{*} 石家庄地铁综合施工技术科研项目(GDJT-ZGB-FW008)

线精度的标准,以2倍中误差作为极限误差^[8]。

对于设计有特殊要求的,应根据设计计算的沉降槽宽度来进行管线范围调查。同时,管线的调查精度应满足设计要求,根据不同的位置和施工措施进行管线详细核查。

1.3 管线周边空洞排查

由于地下管线施工、渗漏等原因,地层中可能存在空洞或水囊。其存在对于暗挖施工风险很大,应进行排查。地下管线主要集中在不超过3 m深的范围内,因此探地雷达可以满足排查要求^[9]。探地雷达探测技术是一种无损检测手段,相比于面波、电法等物探方法,其具有探测速度快、探测过程连续、操作方便、分辨率高和对周边环境影响小等特点,广泛应用于铁路、公路等大型土木工程的地质工程条件探测和质量评价等领域。

2 管线控制标准

在管线调查的基础上,确定管线的安全现状和控制标准,一般采用规范法、试验法和数值分析法。

2.1 规范要求

1) GB 50911—2013《城市轨道交通工程监测技术规范》^[7]规定:供水管线及直径100~400 mm以下的燃气管线沉降控制值为10~30 mm,雨污水管道的沉降控制值为10~20 mm,沉降控制速率为2 mm/d;直径100~400 mm的燃气管线差异沉降控制值为 $0.25\%L_g/\text{mm}$ (L_g 为管节长度),雨污水管道及供水管线的差异沉降控制值为 $0.2\%L_g/\text{mm}$ 。

2) GB 50497—2019《建筑基坑工程监测技术标准》规定:有压刚性管道沉降控制值为10~20 mm,无压刚性管道沉降控制值为10~30 mm,沉降速率控制值为2 mm/d;柔性管线沉降控制值为10~40 mm,沉降速率控制值为3~5 mm/d。

3) JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》规定:有压刚性管道沉降控制值为10~30 mm,沉降速率控制值为1~3 mm/d;无压刚性管道沉降控制值为10~40 mm,沉降速率控制值为3~5 mm/d;柔性管线沉降控制值为10~40 mm,沉降速率控制值为3~5 mm/d。

4) 上海市 DGTJ 08—2001—2016《基坑工程施工监测规程》规定:供水、燃气刚性管道沉降控制值为10~30 mm,变化速率为2~3 mm/d;电缆、通信等柔性管线沉降控制值为10~40 mm,变化速率为3~5 mm/d。

5) 广东省 DBJT 15—162—2019《建筑基坑施工监测技术标准》规定:有压刚性管道沉降控制值为10~30 mm,沉降速率控制值为1~3 mm/d;无压刚性管道和柔性管线的沉降控制值为20~40 mm,沉降速率控制值为3~5 mm/d。

从以上规范可以看出,目前管线沉降控制主要是从沉降值和沉降速率两方面来进行控制,但是根据石家庄地铁的施工监测结果,仅按照沉降值和沉降速率作为控制标准无法合理评价管线的安全状态^[6],且无法满足浅埋暗挖法的施工要求。《城市轨道交通工程监测技术规范》考虑了管线差异沉降的控制指标,但是其规定仍比较笼统。

2.2 试验研究

在实验室进行加载试验,对管线的变形和受力状态进行研究,分析其变形、应力、接头转角等允许值^[10]。单独的试验管线可以取自现场改移的管线,也可以选用与原管线相同材质和接头的管线。但是单独的管线试验无法考虑管线与土体的相互作用。

为分析管线与土体的相互作用、接头刚度对管线沉降的影响,以及隧道开挖下管土脱开的现象,需要对暗挖施工与管线沉降进行整体试验研究^[11]。暗挖施工使管线产生纵向应力和变形,同时引起管线周围土体模量下降,因此对暗挖施工与管线沉降进行整体试验研究更符合工程实际。但是管线与土体的试验参数对试验结果会产生较大的影响。

2.3 计算分析

暗挖施工时的管线及地表沉降监测研究表明:当地下管线刚度较大时,管体与地层之间存在较大的差异沉降;地下管线整体变形与地层移动规律基本相同;隧道垂直下穿时,管体沉降曲线基本符合正态分布。通过 Peck 公式对隧道工程地表沉降预测数值进行修正,进而建立地下管线变形预测公式,再结合已有地层损失率研究成果,计算得出管线沉降槽宽度参数的参考取值^[12],或者建立“隧道-管道-土体”的三维有限元计算模型,并从沉降、变形和管-土相互作用等方面系统研究施工对邻近接头管道的影响^[13]。因此,要准确分析隧道开挖产生的土体位移对管线的影响,应考虑地层位移沉降曲线、管段刚度及接头刚度等影响因素,建立有接头管线的工程评价方法,以分析隧道开挖对有接头地埋管线的影响^[14]。

2.4 管线控制标准建议

综上,由于管线直径、种类、接头方式、使用条

件、工程地质等的不同,无法采用某一种方法得到一个普适的标准。以石家庄地铁工程为例,石家庄地下水位普遍在地下 35~45 m 之间,地铁施工范围无地下水,管线所处地层主要为黄土状粉质黏土,地铁车站和区间主要穿越黄土状粉质黏土、粉细砂、中粗砂、粉质黏土等地层。结合石家庄地铁工程施工的管线监测数据及分析计算,提出如表 1 所示的石家庄地层条件下不同管线的控制情况。其中,差异沉降控制值建议为 2%~4%,接头转角控制值建议为 1.0°~2.5°,沉降速率控制值建议为 2~3 mm/d,有压刚性管线控制值应比无压刚性管线控制值更为严格^[6]。对于实际工程中暗挖施工时管线普遍沉降超标的情况,建议超出沉降控制值后,将差异沉降和接头转角作为主要控制标准。

表 1 石家庄地层条件下地铁工程施工中不同管线控制情况

管线类型		沉降	差异沉降	应变	接头转角
刚性 管线	刚性接头	√	√	√	×
	柔性接头	√	√	×	√
柔性管线		×	√	×	√

注:√表示控制项;×表示非控制项。

3 浅埋暗挖下穿管线施工风险分级

浅埋暗挖下穿管线施工风险分级是制定处理措施的前提。风险分级与管线现状、暗挖工法、邻近关系等多种因素有关。根据《轨道交通地下工程建设风险管理规范》^[15],管线按重要性分为 2 类:①重要管线——雨污水干管、中压以上的煤气管、直径较大的自来水管、中水管、军用光缆等,以及其他使用时间较长的铸铁管、承插式接口混凝土管等。②一般管线——小直径雨污水管、低压煤气管、电信、通信、电力管(沟)等。浅埋暗挖下穿管线施工风险分级如表 2 所示,其中 B 为矿山法隧道毛洞宽度。

表 2 浅埋暗挖下穿管线施工风险分级		
风险等级	管线性质	相邻位置关系
Ⅰ级	重要管线	$<0.5 B$
	重要管线	$(0.5 \sim 1.5) B$
Ⅱ级	一般管线	$<0.5 B$
	重要管线	$(1.5 \sim 2.5) B$
Ⅲ级	一般管线	$(0.5 \sim 1.5) B$
	重要管线	$>2.5 B$
Ⅳ级	一般管线	$(1.5 \sim 2.5) B$

注: B 为矿山法隧道毛洞宽度。

表 2 中的风险分级,整体而言是合理的。但应注意施工方法及穿越、邻近形式的不同,应结合管线保护要求和特点进行具体分析,同时可根据地质和地下水等情况进行风险等级的调整。

由于涉及工程措施费和风险管理费,以及对暗挖下穿管线的重视程度不够,目前对于浅埋暗挖下穿管线施工,尤其是对于地铁车站暗挖出入口下穿管线施工,普遍存在人为降低风险等级的情况。这对于风险控制是极其不利的。

4 管线处理及保护措施

4.1 管线迁改

部分工程人员存在一个误区,认为采用暗挖法施工不需要或者不应当对管线进行改迁。这一思路应当转变。对于暗挖施工影响较大、范围较广、质量差的管线,或者当管线改迁的费用小于暗挖处理措施的费用时,可以对管线进行改迁。如位于暗挖车站上方、沿车站纵向布置的某预制混凝土圆管,接头为承插连接,且下部存在空洞和水囊,施工时可以将其改迁至暗挖车站一侧。

4.2 废弃管线回填

对于暗挖穿越范围的废弃管线,或者永久改迁后的废弃管线,当管线位于拱顶范围时,对于此部分管线,应回填泡沫混凝土将其填充充实后再施工;两侧采用拉筋砖回填,拉筋锚入两侧墙体内,中间采用钻孔注浆方式进行分层回填^[16]。当管线位于拱顶以下时,可在边桩施工范围内回填混凝土即可,其余部分可不处理;但是应排出管线内的积水,同时对检查井进行封堵,避免对暗挖施工造成影响。

4.3 管线自身处理与加强措施

1) 内部支顶:对于较大直径的管线,如电力管沟、人防管沟、雨污合流沟,可以采用内部临时支顶加固方法进行处理。临时支顶应根据管线使用情况进行布置。

2) 内衬修复与加固:对于大直径的雨水管或方沟,可采用内衬法进行处理。在其内部铺设柔性防水卷材,将接头留在管线上方,采用与隧道防水相似的施工工艺处理纵向接头,将防水卷材钉于管壁上,以减少管线渗透。对于直径较小的雨水管、污水管,可以采用 CIPP(现场固化法,又称翻转内衬法)翻转内衬修复技术^[17]、内衬增强技术或者不锈钢内衬修复工艺等方法进行处理。

3) 管线原位更换:对于覆土较浅、管线质量较差或者接头较弱的管线,当不具备迁改条件时,可以采用原位更换方式进行处理。如将混凝土管更换为钢管,将波纹管调整为现浇混凝土管。对管道和接头同时进行原位加强处理,以增加管线的抗渗及抗变形能力。

4) 管线接头加强:对于部分结构质量较好,但是接头较薄弱、承受不均匀沉降较差的管线,可以仅对暗挖施工影响范围内的管线接头进行加强处理。可以采用不锈钢胀圈修复工艺,利用专用液压设备,对不锈钢胀圈施压,将密封止水带安装固定在接口两侧,从而在接缝处建立长久性、密封性的软连接,保证管线的正常运行。也可以采用不锈钢发泡筒修复工艺,在一个定型的不锈钢内芯结构上粘附海棉,通过预浸在海棉内的原料发生的化学反应将不锈钢筒固定在待修部位,从而在管道接缝处形成具有长久性、密封性良好的刚性连接,使管道的接口错位处、裂缝处不再发生渗漏。旧管道+不锈钢芯筒的复合结构增强了旧管的结构强度。

4.4 管线外部保护控制措施

4.4.1 方案及工法的选择

1) 应尽量避免线路平面上的管线,纵向穿越管线时应尽量避免从隧道正上方穿越,断面方向穿越管线时宜正交穿越,应尽量加大隧道与管线竖向净距。

2) 对于暗挖穿越的地层,尤其是拱顶部位的地层,应尽量选择稳定性较好的地层,避免软弱地层和地层交界面位置。

3) 开挖断面的大小对管线沉降的影响较大,下穿重要管线时应尽量采用小断面穿越。如两线之间存在交叉渡线区域时,渡线区域暗挖大断面应避免下穿重要管线。

4) 应尽量选择沉降控制较好的工法^[18],并采取辅助控制措施。

4.4.2 控制措施

浅埋暗挖施工前应进行超前探测,探测长度不小于10 m,发现空洞或者水囊应进行填充注浆。穿越管线时,可以采用管棚、管幕^[19]、水平旋喷、深孔注浆、超前小导管等措施。对于重要管线和接头较差的管线,也可以采用地面注浆或者洞内注浆对管线周边土体进行加固,增强管线的接头抗变形能力。初衬及二衬施工完成后,应及时进行背后回填注浆,初衬背后注浆深度不小于0.5 m。同时,加强工后沉降监测,对于重要的管线必要时应进行地质雷达扫描,检查管

线下方是否存在空洞并及时予以处理。

4.5 管线暂停使用

对于非工业供热管线,应尽量避免供暖季施工。下穿雨水管施工时,应尽量避免雨季施工。对于雨水、污水等管线,也需采取临时导流等措施。

5 管线施工应急处理措施

1) 建立分级应急指挥系统。政府、地铁公司、施工单位应建立多级应急指挥系统,统一管理管线应急情况。

2) 建立协调工作机制。施工前管线排查及交底应邀请产权单位出席,详细了解管线现状及使用情况。熟悉施工区域管线阀门位置等情况,便于事故时的紧急处置。加强各管线产权单位的横向协调,同时加强与消防、公安的联系,并与医院建立救援联络^[20]。

3) 细化应急预案。根据暗挖施工、地层和管线情况,分类制定详细且实用性强的应急预案。

4) 加强应急演练和救援培训。通过演练检验和评估应急预案的可行性,为改进应急预案、提高其可操作性打下基础。同时,要检验应急救援机制运行情况,锻炼应急救援队伍,提高危机意识和应对能力。

6 结论

1) 浅埋暗挖法下穿管线是一项综合技术,涉及管线调查及空洞排查、控制标准、风险分级、处理措施、应急处理等内容。

2) 管线调查资料是前提,调查应详尽、调查范围和精度应满足设计和施工要求,重点部位应进行空洞排查。

3) 对于刚性管线,建议以差异沉降为主要控制标准;对于柔性管线,建议以接头转角为主要控制标准。

4) 风险分级和处理措施应根据暗挖工法、管线现状等选择合理方案。处理措施包含管线自身处理措施和暗挖施工保护措施。

5) 风险管理和应急处理也是暗挖邻近管线施工的一个重要方面,应建立分级应急指挥系统和各单位的协调工作机制,同时细化应急预案并加强应急演练和救援培训。

下一步还应建设地下管线综合信息管理系统,加强地下管线信息采集和资源共享,实行动态维护和管理,并加强暗挖施工前后的管线评估工作。

参考文献

- [1] 李兴高,王霆. 管线渗漏诱发地铁工程事故的安全控制技术[J]. 中国安全科学学报,2010(5):125.
 - [2] 王霆. 地铁浅埋暗挖法施工对邻近管线的影响与控制[D]. 北京:北京交通大学,2009.
 - [3] 田鲁鲁,周锦强,郭永发,等. 柱洞法施工地铁车站邻近管线变形控制技术[J]. 城市轨道交通研究,2020(7):69.
 - [4] 吴贤国,张立茂,陈跃庆,等. 地铁施工临近管线安全管理及评价标准研究[J]. 铁道标准设计,2014(9):99.
 - [5] 王雨,陈文化,崔江余,等. 地铁施工扰动下柔性管线安全评价[J]. 现代隧道技术,2016(1):83.
 - [6] 吴锋波,金淮,杨红通,等. 城市轨道交通工程周边地下管线监测控制指标[J]. 施工技术,2012(24):72.
 - [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
 - [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市地下管线探测技术规程:CJJ 61—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
 - [9] 汪文强,刘争平,白国东,等. 探地雷达在地铁盾构施工滞后沉降监测中的应用研究[J]. 地球物理学进展,2016(1):354.
 - [10] 赵文,孙海霞,刘立健,等. 地下管线变形与破坏的实验与监测研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2009(10):1485.
 - [11] 胡愈,姚爱军,张剑涛,等. 地铁盾构施工对上覆平行雨污管道影响的试验和数值分析[J]. 隧道建设,2018(5):797.
 - [12] 吴锋波,金淮,尚彦军. 城市轨道交通隧道周边地下管线变形预测研究[J]. 岩石力学与工程学报,2013(增刊2):3592.
 - [13] 王霆,罗富荣,刘维宁,等. 地铁车站洞桩法施工对地层和刚性接头管线的影响[J]. 岩土力学,2011(8):2533.
 - [14] 周先成,俞剑,黄茂松. 隧道开挖对有接头埋地管线影响的评价方法[J]. 岩土工程学报,2020(1):181.
 - [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城市轨道交通地下工程建设风险管理规范:GB 50652—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
 - [16] 刘海林,崔猛,符晓. 中心城区深基坑遇废弃防空洞处理方法研究[J]. 南昌工程学院学报,2020(6):48.
 - [17] 向维刚,马保松,赵雅宏. 给排水管道非开挖 CIPP 修复技术研究综述[J]. 中国给水排水,2020(20):1.
 - [18] 牛斌,韩聪聪,郭婷,等. 粉细砂地层单层暗挖车站工法比选研究[J]. 隧道建设,2020(增刊1):314.
 - [19] 王科甫. 超前小口径管幕在广州地铁浅埋暗挖隧道中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2019(5):160.
 - [20] 郭远红,魏淑艳. 基于危机生命周期理论的城市地下管线事故应急问题研究[J]. 辽宁大学学报(哲学社会科学版),2017(4):18.
- (收稿日期:2021-03-25)
-
- (上接第 19 页)
- [6] LI H, WANG Y, XU X, et al. Short-term passenger flow prediction under passenger flow control using a dynamic radial basis function network [J]. Applied Soft Computing, 2019(83): 105620.
 - [7] LI Y, WANG X, SUN S, et al. Forecasting short-term subway passenger flow under special events scenarios using multiscale radial basis function networks[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017(77): 306-328.
 - [8] 杨静,朱经纬,刘博,等. 基于组合模型的城市轨道交通短时客流预测[J]. 交通运输系统工程与信息,2019(19): 119.
 - [9] 沈琼. 城市轨道交通进站客流短时预测方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2019.
 - [10] 冯诚,杨静,周雅雅,等. 基于 GWO-WNN 模型的城市轨道交通短时进站客流预测[J]. 铁道运输与经济,2019(8): 101.
 - [11] 王秋雯,陈彦如,刘媛春. 基于卷积长短时记忆神经网络的城市轨道交通短时客流预测[J]. 控制与决策,2020(9): 1.
 - [12] WU Y, TAN H. Short-term traffic flow forecasting with spatial-temporal correlation in a hybrid deep learning framework[J]. Computer Science, arXiv:1612.01022(2016).
 - [13] PENG H, WANG H, DU B, et al. Spatial temporal incidence dynamic graph neural networks for traffic flow forecasting[J]. Information Sciences, 2020, (521): 277-290.
 - [14] SUN Y, LENG B, GUAN W. A novel wavelet-SVM short-time passenger flow prediction in Beijing subway system[J]. Neuro-computing, 2015(166): 109-121.
 - [15] 龙小强,李捷,陈彦如. 基于深度学习的城市轨道交通短时客流量预测[J]. 控制与决策,2019(34): 1589.
 - [16] 李兆丰,倪少权,孙克洋,等. 基于多特征融合的城市轨道交通短时客流预测[J]. 交通运输工程与信息学报, 2020(18): 97.
 - [17] 杨静,代盛旭,张红亮,等. 大型活动散场期间地铁车站短时进站客流预测[J]. 科学技术与工程,2021(21): 2042.
 - [18] 杨静,张洪亮,邓进. 城市轨道交通客流特性与预测研究[M]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2020: 74-75.
 - [19] NELSON D, PEREIRA A, OLIVEIRA R. Stock market's price movement prediction with LSTM neural networks[C]. IEEE. 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Anchorage, AK, USA: IEEE, 14-19 May 2017: 1419-1426.
 - [20] 谢明磊. 基于 LSTM 网络的住宅负荷短期预测[J]. 广东电力,2019(32): 108.
 - [21] Tang Z, Yin H, Yang C, et al. Predicting the electricity consumption of urban rail transit based on binary nonlinear fitting regression and support vector regression[J]. Sustainable Cities and Society, 2021(66): 102690.
 - [22] 求森. 基于小波分析和神经网络的城市轨道交通客流时间序列预测[D]. 北京:北京交通大学,2017.
- (收稿日期:2021-02-21)