

超浅埋暗挖隧道下穿次高压燃气管方案探究

沈艳峰

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:随着国内城市建设的规模扩大和早期城市管线无序建设的影响,城市隧道建设遇到越来越多的与管线近接施工和下穿等难题。结合深圳东部通道某标段施工实际工程案例,对隧道下穿燃气管的保护方案进行比选分析研究。该标段隧道上覆燃气管埋深约3.3 m,管底距隧道拱顶约4.3 m,隧道下穿该管线采用比选出的“管线改迁+悬吊保护”方案进行施工。在隧道进洞施工不理想的前提下,该方案仍能保证带气运营的次高压燃气管在悬吊保护措施的保护下正常运营。研究表明,比选出的“管线改迁+悬吊保护”方案是合理可行的,可供今后类似工程的施工设计借鉴。

关键词:超浅埋暗挖隧道;次高压燃气管;管线改迁;悬吊保护

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)01-0208-04

0 引言

随着我国城市的规模迅速扩大、城市交通日益繁忙,市政交通的建设开发也向立体化、深层次的方向发展。由于早期城市建设缺乏长期规划和布局,城市道路、管线建设存在杂乱无章、历史资料缺乏的问题,给城市隧道建设造成了许多困难。尤其是在市区中的地下隧道建设遇到越来越多的与管线近接施工的问题,如给排水管道、电力管线、燃气管线、通信管线等。在各种管线中,又以燃气管线最为敏感,其对隧道施工的沉降控制要求非常严格,如若隧道施工造成燃气管的大变形甚至破损漏气,可能会造成难以估量的影响和公共安全威胁。针对可能受到隧道施工影响的燃气管线,一般采取提前改迁的方式。但是有的工程中燃气管线虽能改迁,却仍无法避免隧道的下穿施工,因此对燃气管线本身采取何种保护措施、隧道施工采取何种加强措施尤为重要。

目前国内外下穿管线段的总体施工思路是采取地面措施和洞内措施相结合的方式保证管线安全。如沈阳地铁青年大街站在粉细砂层中近距离下穿污水管线,地面上通过对污水管线导流和对污水管线进行防渗处理、降低风险,洞内通过针对性的辅助施工措施防止坍塌、控制沉降,确保管线安全和地面交通安全^[1]。

城市浅埋暗挖隧道中保护既有线路变形、控制

沉降的隧道施工方法主要有超前大管棚、深孔超前帷幕注浆、水平旋喷注浆、地表注浆加固等。如某地铁矿山法隧道下穿既有有线明挖隧道时,新旧两线结构最小净距为1.7 m,最小角度为7°,在下穿施工过程中该区段采用超前小导管、超前掏槽导洞、分步分块控制爆破、强初支和初支背后及时注浆加固等技术,在监测到部分沉降超警戒值后,采取注浆抬升措施^[2]。北京地铁10号线一期工程国贸站—双井站区间隧道采用矩形断面超近距离暗挖通过既有地铁1号线的施工技术,因其上部结构紧贴既有有线底板形成竖向支护,矩形断面施工方案的关键点是如何使矩形断面支护紧贴既有有线底板,并对既有有线底板形成强有力的支护^[3]。

针对部分超浅埋隧道工程,周边管线密集,除了采用洞内超前大管棚、深孔超前帷幕注浆等洞内措施外,还可对隧道以上新建管线提前采用悬吊措施进行保护。如深圳市科技中二路下穿北环大道接朗山二号路,隧道采用浅埋暗挖法施工,隧道拱顶与既有管道距离为5 m以上,为确保施工期间的管道安全,对该隧道途经的三处管段采用桩基承载贝雷架,贝雷梁托架管道的措施进行加固防护^[4]。

本文结合深圳东部通道某标段隧道下穿燃气管线工程案例,对隧道下穿燃气管的保护方案进行比选分析研究,探究合适、可行的实施方案,以保证带气运营的次高压燃气管正常运营。

1 工程概况

深圳东部通道某标段西起北环布心路,路线以

收稿日期:2020-05-26

作者简介:沈艳峰(1973—),男,硕士,高级工程师,从事隧道工程设计与研究工作。

隧道形式穿越爱国路高架、东湖公园,向东与口岸连接线合流后,接入东部过境高速主线。暗挖隧道通过工作井与明挖段连接并由工作井进洞始发,隧道为浅埋暗挖法双车道马蹄形断面,开挖断面宽约 12 m,高约 10.2 m,进洞段隧道覆土约 8 m,隧道进洞后需要下穿 DN426 次高压燃气管。

燃气管位于暗挖隧道进洞后约 6 m 处,管道走向与隧道走向夹角约为 73°,埋深约 3.3 m,管底距隧道拱顶约 4.3 m。除次高压燃气管外,隧道还需下穿 DN1000 污水管、DN325 中压燃气管道、7.3 m × 2.8 m 矩形雨水箱涵及地面道路等,如图 1、图 2 所示。

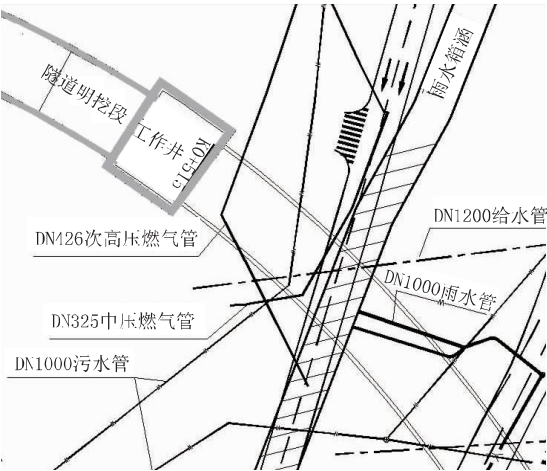


图 1 隧道下穿 DN426 次高压燃气管平面图

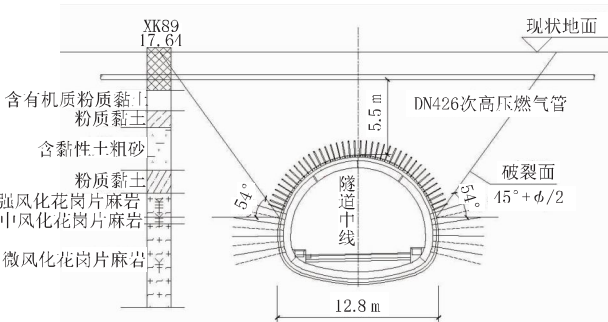


图 2 隧道与 DN426 次高压燃气管位置关系横断面图

下穿段隧道地勘围岩级别为Ⅵ级,地质情况从上至下为素填土、含有机质粉质黏土、粉质黏土、含黏性土粗砂、粉质黏土、强风化花岗片麻岩、中风化花岗片麻岩和微风化花岗片麻岩。隧道上半断面主要为砂层、粉质黏土层及较软弱的全风化、强风化岩层,下半断面为中风化、微风化岩层等。隧道与燃气管道之间为砂层、粉质黏土层等(见图 2)。

原设计暗挖隧道未下穿燃气管线,原措施为地表进洞 6 m 范围内采用旋喷加固至强风化岩层底,洞内采用 $\phi 127$ 超前大管棚(30 m)、超前小导管、上半断面超前帷幕注浆,开挖采用 CRD 工法。

2 保护措施及相关案例

根据《深圳市燃气管道安全保护办法》第二十三条至第二十六条对保护范围的规定,管线的权属单位均对管线的保护范围提出要求。由于管线密布,各种管线的保护范围会相互重叠,隧道选线无法满足管线保护距离的要求。因此在征得权属单位同意的前提下,采用针对燃气管线的保护措施,以避免隧道开挖对管线造成的影响。

深圳地区近年对地下空间开发力度很大,已有一些矿山法/浅埋暗挖隧道下穿燃气管的案例,现总结于表 1。

表 1 深圳地区浅埋暗挖隧道下穿燃气管案例

案例	管线类型与分布	地质条件	保护方案
地铁 2222 标安侨区间	DN500 次高压,埋深 2 m,距拱顶 10.2 m	砾质黏土层,少量全风化花岗岩	水平旋喷+深孔帷幕注浆+管线悬吊
地铁 4 号线土民区间	$\phi 508$ 次高压,埋深约 3.5 m,距离拱顶 16 m	Ⅵ级围岩,极破碎;燃气管位于人工填土层中	焊缝补强、削土卸荷法、分段悬吊保护及洞内管棚注浆等措施
地铁 5 号线 5304 标段	DN200 PE 燃气管,埋深 1 m,另弯入箱涵,涵底埋深 4.8 m	冲洪积黏性土层、砂层,坡积黏土、花岗岩层残积土,综合级别为Ⅵ级	人工开槽;方木悬吊,箱涵基底注浆加固。洞内:上台阶临时仰拱,初支背后注浆,加密锁脚锚杆
地铁 5 号线下穿梅龙路燃气管线	LNG 高压燃气管, $\phi 160$ PE,埋置深度 1 m;隧道直径 6 m,拱顶覆土 11 m,距燃气管 10 m	局部为冲洪积黏性土层、砂层,坡积黏性土、花岗岩层残积土	无特殊保护措施,初支临时支撑保持到二衬;穿越过程中变形较大,经论证通过

由已有工程经验可知,针对矿山法/浅埋暗挖法下穿燃气管的保护措施分为主动控制措施和被动控制措施。

主动控制措施包括管棚超前支护、小导管超前注浆、全断面帷幕注浆、初支背后回填注浆、跟踪注浆、补偿注浆等洞内措施。

被动控制措施包括隔离法、悬吊支撑法、削土卸荷法、土体加固、管线改迁、管线自身加强等措施。

与相关工程相比,本文工程穿越节点具有以下特点:

- (1)燃气管道管径大,次高压管线危险性较高。
- (2)隧道与燃气管线距离近,并存在多条其他管线。
- (3)隧道跨度大,且下穿位于隧道暗挖进洞处。
- (4)地质条件差,燃气管线位于人工填土层与砂

土层中;隧道埋深浅,且隧道上半断面位于黏土层与砂土层中。

因此除了加强隧道内主动控制措施外,应考虑采用管线悬吊等洞外综合措施对次高压燃气管线本身进行保护。

3 燃气管线保护方案比选

经过与燃气管线权属单位多次沟通,为确保隧道下穿期间燃气管线的安全,形成以下两种方案。

方案一:对现状次高压管线进行悬吊保护,需要对现状管线进行开挖和暴露等施工操作。

方案二:结合燃气管线改迁,对改迁后燃气管提前施加悬吊保护措施。

3.1 方案一

下穿既有次高压燃气管线的保护方案分为三部分。

3.1.1 地表措施

对次高压管线采用悬吊措施进行保护,如图3所示。具体措施如下:施作钻孔桩及地梁,放坡开挖暴露燃气管;地梁上放置型钢或者钢便桥;悬吊燃气管;隧道通过时根据地面变化实时调整悬吊及垫板。

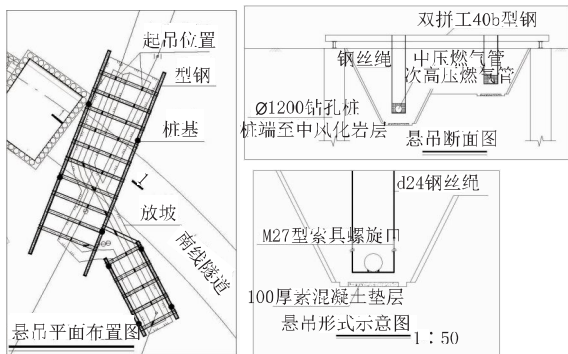


图3 燃气管线悬吊保护方案一

3.1.2 洞内措施

具体措施如下:隧道开挖遵循“管超前、严注浆、短进尺、强支护、快封闭、勤量测”的要求;大管棚由20 m加长到30 m;适当缩短开挖进尺与钢架间距;保留原有超前帷幕注浆,控制帷幕注浆距离燃气管线2 m以上;保留超前小导管和锚杆等;背后回填注浆,初支施工后,拱部预埋注浆管,在开挖过程中根据监控数据对初支背后进行多次回填压注水泥浆。

3.1.3 其他措施

(1)开挖暴露后,首先对管线进行检测,若有必要先对管道进行修复。

(2)施工监测。监测项目主要有燃气管道沉降变形、地面沉降、悬吊结构沉降等。监测点布置:地梁与悬吊型钢交点,地梁两端均设置沉降监测点,同时对

燃气管每隔4 m设置监测点。监测要求:施工中正常情况每天监测不少于3次,超出规定变形立即通过紧固件调整,同时加强隧道影响范围内地面沉降,拱顶沉降及周边收敛等项目的监测频率。管道变形控制值(需由管线产权单位确认):单点累计沉降不超过20 mm,不均匀沉降不超过1%。

(3)制定应急预案,将可能产生的灾害降到最低。

3.2 方案二

由于对现状次高压燃气管线进行悬吊保护需要土建单位对通气的燃气管线进行暴露、悬吊等施工,且桩基施工、放坡开挖等可能对管线有影响。因此考虑采用燃气管线改迁的同时采取悬吊保护措施,再实施下穿隧道的施工保护方案。虽然改迁方案无法避免隧道下穿燃气管,但可以减少方案一中悬吊保护施工对燃气管线的影响。

该方案的地表措施如下:

(1)施工钻孔桩、桩承台与混凝土梁。如图4所示,钻孔桩布置于隧道两侧,桩底进入隧道底以下2 m,并进入微风化岩层中;桩顶施工桩承台及混凝土梁,作为型钢管架的支撑点。

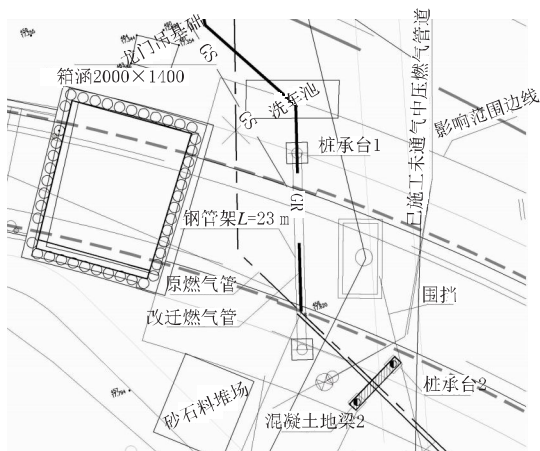


图4 悬吊保护方案二平面布置

(2)制作型钢管架,用于放置并保护新建次高压燃气管,管道下垫10 mm厚橡胶垫。型钢管架通过连接钢板及膨胀螺栓与混凝土承台连接。钢管架横跨隧道,具有较大刚度,保证受隧道开挖影响较大范围内的燃气管道位于型钢管架内,燃气管及其上土体自重由型钢管架支撑,并能使下方土体变形不影响燃气管道。

(3)根据次高压燃气产权单位要求,次高压管道完成碰口后,进行回填。

该方案的洞内措施如下:暗挖隧道进洞段采用 $\phi 127 \times 8$ 超前大管棚,环距0.3 m,断面分布范围为 140° ,隧道中心线轴对称布置; $\phi 50 \times 4$ 超前小导管,长4.0 m,环距0.3 m;双层8钢筋网 $@0.2 \text{ m} \times$

0.2 m;初支钢拱架采用工 20b 型钢 @0.5 m;C25 喷射混凝土,厚 0.28 m;钢筋混凝土二衬 0.55 m;开挖工法为 CRD 工法。除此之外,采用上半断面水泥·水玻璃超前帷幕注浆,注浆范围为开挖轮廓线外扩 4.5 m,如图 5 所示。

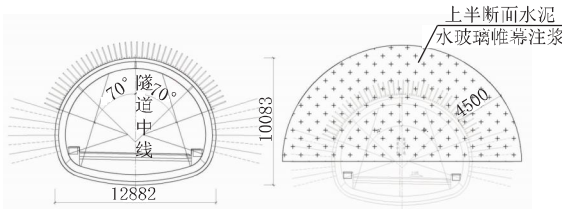


图 5 暗挖隧道断面和超前帷幕注浆范围

3.3 方案比选

方案一为对现状燃气管线采取的保护措施,采用桩基+悬吊保护的方案,方案可行。然而对带气次高压燃气管线进行开挖悬吊等施工过程中具有一定风险。隧道周边仍存在较多其他管线,该方案需要施工较多桩基和放坡,对周边其他管线的保护不利;总体费用较高,且该悬吊保护方案施工周期较长。

方案二为隧道下穿前进行燃气管线改迁,改迁的同时采取措施对管线进行保护。该方案需要打设桩基较少,且无须带气作业,风险较小。然而隧道进洞需等待燃气改迁后方可进行,对隧道工期产生一定影响。

综合考虑费用、安全、工期等方面要求,通过多次召开专家咨询会并与各方面进行沟通后,最终确定采用方案二。

4 监测分析

隧道区间上方地面监测点纵向 5 m 间距、每个断面 8 个监测点和沿隧道中心线对称布置,监测频率为每天一次。现场开挖步序为左上导洞→右上导洞→左下导洞→右下导洞。施工工序如图 6 所示。

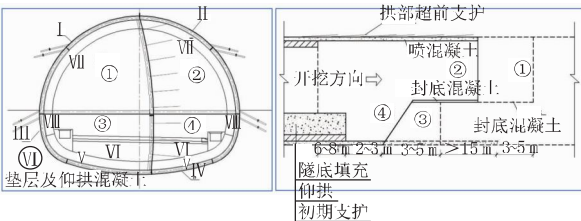


图 6 隧道开挖 CRD 法工序图

改迁并悬吊保护的次高压燃气管位于暗挖隧道进洞后 20 m 左右。图 7 为进尺 20 m 处地表沉降测点横断面布置图。隧道轴线对称布置共 8 个测点,相邻测点间距 3 m 左右。其中 D3-8~D3-5 位于左导洞上方,D3-4~D3-1 位于右导洞上方。

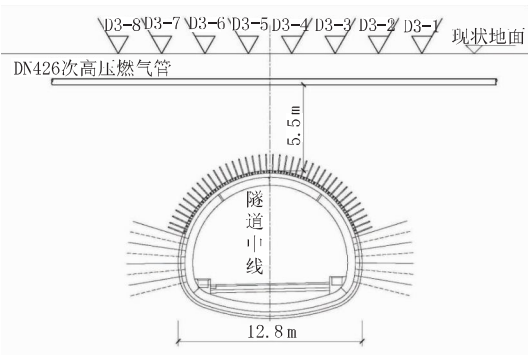


图 7 地表沉降测点断面布置图

在左上导洞、右上导洞开挖至约 20 m 处,发生多次塌方,导致多次地表沉降陡增。塌方主要原因为现场注浆效果较差、管棚施工未到位,也可能是燃气管改迁后回填土体未进行充分夯实、土体松散引起的。对塌陷区域进行回填并补充地表和洞内注浆后,地表沉降趋于稳定,而此时地表最大沉降量已超过 8 cm,远超过设计所要求的地表沉降控制要求(2 cm)。地表沉降量变化如图 8 所示。虽然隧道沉降值不理想,然而带气运营的次高压燃气管在悬吊保护措施的保护下仍可以正常运营,未发生较大变形。

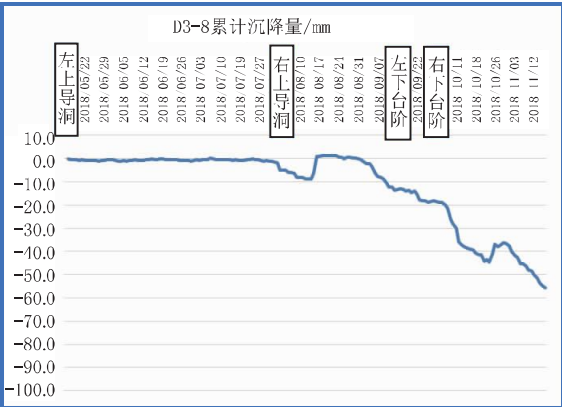
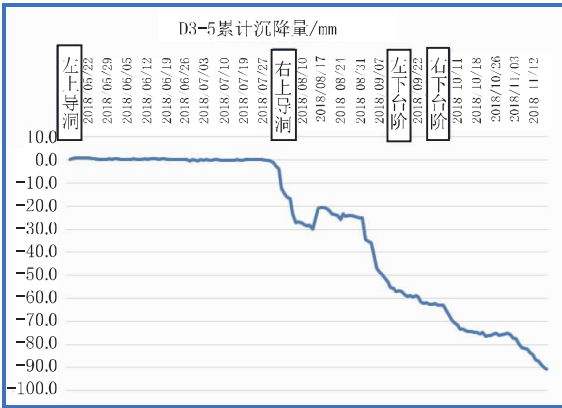


图 8 地表沉降监测点沉降曲线

5 结 语

本文结合深圳东部通道某标段隧道下穿燃气管线工程案例,对隧道下穿燃气管的保护方案进行比

(下转第 219 页)

2020 年 12 月实施的工程建设标准

序号	标准名称	标准编号	实施日期	替代情况
国家标准				
1	35 kV 及以下标准化继电保护装置通用技术要求	GB/T 38922—2020	2020-12-01	
行业标准				
2	港口工程后张法预应力混凝土长管节管桩设计与施工规程	JTS/T 167-17—2020	2020-12-01	
团体标准				
3	绿色公路建设技术标准	T/CECS G-C10-01—2020	2020-12-01	
4	城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程	T/CECS 717—2020	2020-12-01	

来源:住房和城乡建设部官网

（上接第 211 页）

选分析研究,探究合适可行的施工方案,研究得到如下结论:

(1)在本文依托工程暗挖隧道下穿次高压燃气管过程中比选的两个方案中,采用方案二悬吊保护方案能有效保护燃气管线不受隧道开挖产生的土体变形影响,确保施工安全。方案一虽然在实际实施中未采用,但是综合多个项目经验成果,仍为对现状管线保护的有效方案之一。

(2)结合管线改迁的有利条件,在改迁施工中即提前对燃气管线进行保护,为中选方案(方案二)最重要的特点。既避免了对于带气次高压燃气管线施工的风险,又能避免燃气管二次改迁而导致的浪费。

虽然对于隧道暗挖的施工工期产生了一定影响,但是对于整个项目实施的安全性和经济性均有较好的保证。

(3)本文比选出的“管线改迁+悬吊保护”方案是合理可行的,可供今后类似工程的施工设计借鉴。

参考文献:

[1] 陈庆怀.浅埋暗挖隧道近距离下穿管线施工技术[J].隧道建设, 2008(3): 330-335.
[2] 张福忠.地铁隧道超近距离下穿既有有线安全施工技术[J].山西交通科技, 2015(3): 87-90.
[3] 赵克生.浅埋暗挖法地铁隧道超近距离下穿既有有线技术[J].市政技术, 2007(5): 358-362.
[4] 吕燕荣.基于数值模拟理论分析浅埋暗挖施工对既有管道保护方案的安全性[J].中国高新科技, 2018(16):83-85.