

盾构隧道瓦斯的治理与防控

杨 锋, 陈 新

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘 要: 阐述了对瓦斯隧道防爆施工方法进行的优化, 分析了瓦斯逸散机理, 从源头、监控、通风、防爆、应急预案五个方面进行控制, 目的在于解决瓦斯隧道施工过程中的安全问题, 以减少不必要的安全事故, 保证安全, 提高功效, 节约施工成本。

关键词: 盾构隧道; 瓦斯; 防控; 成都轨道交通 18 号线

中图分类号: [U25]; U21; U215

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2019)增 2-0057-04

Control and Prevention of the Gas in Shield Tunnel

YANG Feng; , CHEN Xin

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: This paper expounds the optimization of explosion-proof construction method of gas tunnel, analyzes the mechanism of gas escape, and to control it from five aspects: source, monitoring, ventilation, explosion-proof and emergency plan, which is for the purpose of solving the safety problems in the process of gas tunnel construction, so as to reduce unnecessary safety accidents, ensure safety, improve efficiency and save construction cost.

Key words: shield tunnel; gas; prevention; Chengdu Metro Line 18

1 概 述

随着地铁隧道的修建, 盾构隧道施工中遇到的瓦斯隧道也在逐渐增加。确保盾构隧道瓦斯可控、防止盾构机内瓦斯气体不集聚、避免瓦斯爆炸而发生安全事故是盾构隧道施工中的重要环节。

由我公司承建的工程施工中因瓦斯可能溢出的风险高而威胁到施工安全。笔者通过分析瓦斯逸散机理, 从源头、监控、通风、防爆、应急预案五个方面进行控制, 总结出盾构隧道瓦斯治理防控的施工经验, 确保了盾构隧道施工安全, 保障了盾构施工平稳、安全、快速、高效及进度要求。

由我公司承建的成都轨道交通 18 号线工程土建 4 标【兴隆站~天府新站】盾构区间位于龙泉山脉以西、合江镇镇区东北面、太和路西侧(图 1), 设置中间风井一座, 兴隆站~中间风井盾构区间左线长 2 288.84 m, 右线长 2 209.76 m; 中间风井~天府新站盾构区间左线长 2 283.38 m, 右线长 2 222.27 m, 线路出兴隆站后由西向偏东方向沿规划路线敷设, 沿线依次下穿红星路南延线、

35 kV 兴平路高压铁塔基础、鹿溪河桥、威青线燃气管线、成自泸高速等建(构)筑物, 区间两侧主要为现状农田、林地, 山头较多, 地形起伏大, 最大高差达 40 m。区间位于苏码头油气田与三大湾油气田交接部位, 影响程度为天然气危害低区, 为低瓦斯盾构隧道区间。施工中因瓦斯可能溢出的风险高而威胁到施工安全。因此, 瓦斯的治理防控是保障盾构隧道安全施工的关键。

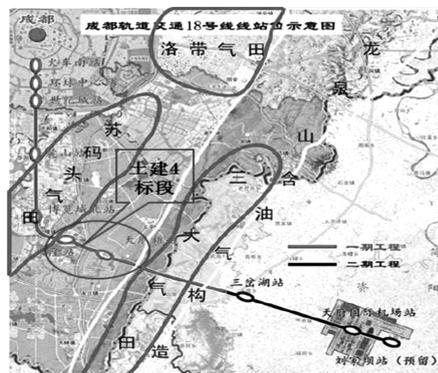


图 1 土建 4 标位置图

2 瓦斯的治理与防控

收稿日期: 2019-09-18

通过参考《铁路瓦斯隧道技术规范》的划分原则判定了该瓦斯隧道的等级,相应地进行了各项施工准备工作。《铁路瓦斯隧道技术规范》规定:当绝对瓦斯涌出量小于或等于 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,隧道可定义为低瓦斯隧道;当绝对瓦斯涌出量大于 $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,隧道可定义为高瓦斯隧道^[1]。据此,将隧道定义为低瓦斯隧道,并实施了治理与防控措施。

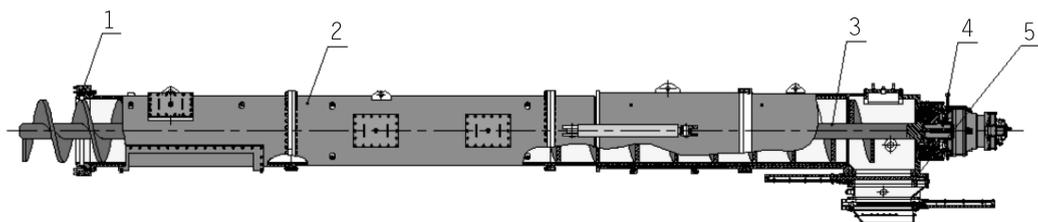
2.1 源头控制

在有限的空间施工,通过掘进速度控制瓦斯的涌出量,使隧道处于低瓦斯状态。刀盘切削疏松地层的土体,使富含在地层中的瓦斯气体完全释放,采用螺旋输送机进入隧道是隧道内瓦斯涌出的主要途径^[2]。

(1)隧道螺旋输送机口处的渗透瓦斯处理。根据出渣情况及时向开挖面注入优质的泡沫和

水,选取优质泡沫将泡沫混合液浓度定为 3% ,对渣土进行改良以提高渣土的和易性和流塑性,降低渣土的透气性,从而改善土仓和螺旋输送机出土时的密封性。通过控制螺旋输送机出土速度和开口度形成土塞,进一步提高螺旋输送机口的密封性,减少了瓦斯从螺旋输送机口泄入隧道的几率。保持掘进过程中泡沫管的连续通畅,利用刀盘的泡沫孔注入泡沫以增加渣土的和易性。

螺旋输送机采用有轴式螺旋,安装倾角为 24° ,固定在前盾底部套筒法兰上,可以实现正反转和前后伸缩功能。螺旋输送机筒体上设有检修门,必要时可以打开检修门进行渣土清理,前端节设有 120° 可拆卸部分,可以保证螺旋输送机相对于高磨损地层的适应性,筒体上布设有改良注入口以改善渣土的流动性。采用双闸门机构,同时备有保压泵接口及停电紧急自动关闭系统(图 2)。



1.防涌门;2.筒体;3.螺旋轴;4.驱动装置;5.闸门

图 2 螺旋输送机结构示意图

(2)盾尾处渗入瓦斯的处理。盾尾与管片接缝处是瓦斯气体进入隧道的第 2 大途径,盾构机盾尾的密封可有效防止瓦斯从盾尾泄入隧道。若盾尾密封失效、管片破损或止水条损坏等都会导致瓦斯由盾构尾部泄入。所以,盾尾密封是否正常工作对施工进度和安全都具有重大影响^[3]。



图 3 盾尾刷设置图

鉴于盾尾处的瓦斯渗入量较小,通过通风设备有效地进行排放,同时将盾尾刷增加到 4 排(图 4),可以提高盾尾的密封能力。

(3)成型隧道接缝处渗入瓦斯的处理。成型隧道接缝处的瓦斯渗入量与注浆效果密切相关,因此,可以通过提高施工注浆量降低瓦斯从成型隧道接缝处的渗入量。在盾构机上配置了 3 套由液压驱动的 SCHWING 注浆泵,通过盾尾的注浆管将砂浆注入到开挖直径和管片外径之间的环形间隙。注浆压力可以调节,注浆泵泵送频率可以在可调范围内实现连续调整并通过压力传感器监测其压力变化,盾尾布置了 12 根注浆管(6 用、6 备),注浆能力可以达到 $30 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

系统配置了 2 套二次注浆系统,一套布置在右侧设备桥上,一套布置在 5 号台车右侧,均按双液浆注入形式进行配置。配置了同步注浆系统(双液注浆系统和壁后补浆系统),其具有多点、多层次的注浆保障能力。

2.2 监测控制

在盾体内、铰接、螺旋机出渣口、台车顶部等部位安装了多组气体传感器对瓦斯浓度进行监测,每组气体检测传感器包括甲烷传感器、一氧化碳传感器、二氧化碳传感器、氧气传感器。当隧道内的瓦斯气体达到浓度报警设定值 0.3% 时,系统将发出声光报警,同时自动关闭螺旋机卸料闸门,防止瓦斯气体的溢出;盾构机操作手应采取紧急措施停止盾构机的掘进,加强通风,准备撤离;如果瓦斯浓度持续上升并当盾构机监测到的瓦斯浓度达到 0.5% 时,盾构机高压开关通过 PLC 控制关断盾构机电源并给地面高压开关信号,关闭地面高压开关。

监测控制可以实现隧道瓦斯浓度的实时测量就地显示和超限声光报警等功能,能够连续自动地将隧道瓦斯浓度转换成标准电信号输送给主机室内以达到检测的目的。主机室瓦斯浓度等监测数据应能传至地铁公司安全风险监控系统以实现集中管控(图 4)。

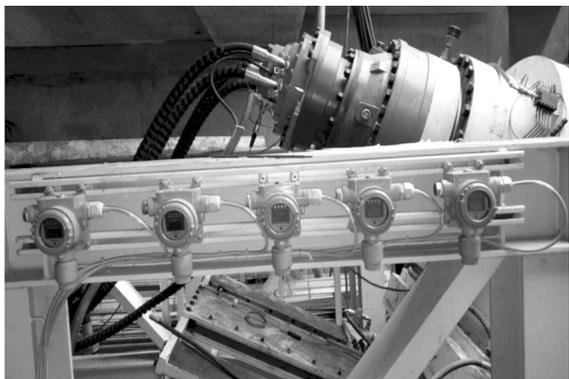


图 4 设备自动检测布设位置图

2.3 通风控制

在隧道施工中,不可避免地会产生一些有害物质并排放到隧道空气中,造成对隧道空气的污染,严重地损害隧道内作业人员的身心健康。有害气体主要包括一氧化碳、二氧化氮、氧化氮、二氧化碳、二氧化硫、硫化氢和瓦斯等^[4]。

采用一次通风,将风通到螺旋输送机出土口。通风方式采取主通风与局部通风相结合的方式,在隧道洞口采用轴流风机压入新鲜风,在盾构机台车上部安装防爆射流风机以增加局部风速,防止瓦斯积聚。隧道送风风管采用拉链式聚乙烯通风管,风管直径为 1 800 mm,风管为抗静电、防阻

燃风管(图 5)。

为防止瓦斯气体在设备局部区域汇集,需在容易形成瓦斯汇集的区域增加防爆风机,增加局部风速,防止瓦斯积聚,局部通风设计情况如下:

盾体内,在上平台左右两侧各增加一台 2.2 kW 的风机,风量为 3.2 m/s;对准盾体上部容易汇集瓦斯的区域吹风,加速盾体内的空气对流。

在连接桥上部增加一台 15 kW 的射流风机,风机出口速度为 39 m/s,有效距离约为 91.26 m。风机向盾构拖车尾部方向吹风,防止瓦斯气体在隧道顶部形成瓦斯带。

在 4 号拖车顶部增加一台 15 kW 的射流风机,风机出口速度为 39 m/s,有效距离约为 91.26 m。风机向盾构拖车尾部方向吹风,防止瓦斯气体在隧道顶部形成瓦斯带。所有风机均为普通风机,电压为 400 V。

2.4 防爆控制

在防爆控制中,通过对盾构机防爆、照明电气设备、机械、电源等方面采取相应的措施,达到了最佳控制效果。

2.4.1 针对盾构机采取的防爆措施

(1)“瓦电闭锁”:盾构机配备了一套防爆甲烷检测系统,盾构上主要的關鍵位置均设置有甲烷传感器,对其实施甲烷浓度实时在线检测,当甲烷浓度达到报警设定值时发出声光报警,当达到停机设定值时,切断常规部分的供电,只保留防爆系统部分的供电。防爆系统包含甲烷检测系统和照明通风系统。

(2)“风电闭锁”:在处于盾构台车位置处安装风速感应装置,当该装置感应到无风时,自动关闭螺旋输送机闸门;通过计时,在 10 min 内若无法恢复通风时隧道外的高压电缆开关关闭(盾构机内、隧道内所有非防爆设备停止运行),人员撤离,待通风正常、瓦斯检测无异常时再进入隧道施工。

(3)盾构机的一次通风直接送至螺旋机出渣口附近稀释有害气体浓度,盾构机内的二次通风主要为排风,用以提高盾构机内的回流风速。

(4)将隧道内的变压器更换为干式变压器,集成全密闭水冷形式箱变,以加强散热效果并实现与外界环境隔离。

(5)将盾构机上所有的高压开关柜做成防爆式柜体,所有用于应急照明相关的设备均采用防

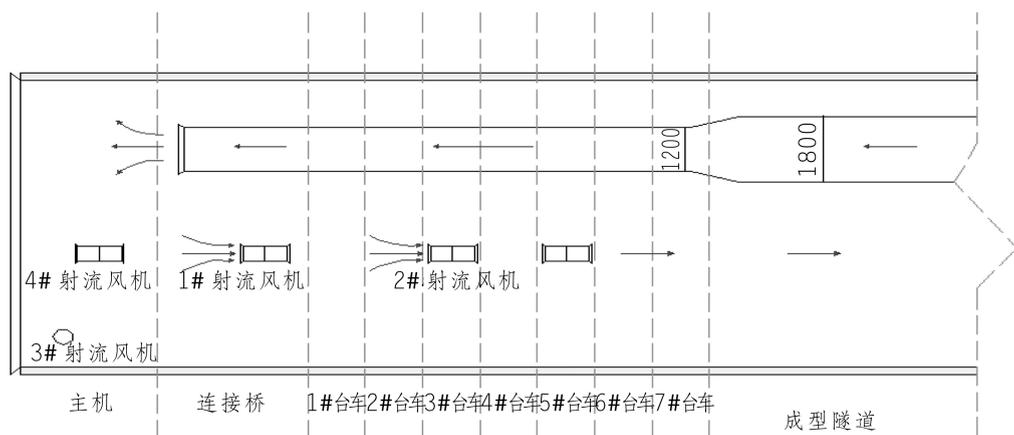


图5 通风布置图

爆形式,包含防爆应急灯、防爆接线盒和防爆开关箱。

2.4.2 针对照明、电缆、电气设备采取的防爆措施

(1)工区内使用的各种电气设备、电力和通信系统应专门进行设计、安装、试运行、验收,待其合格后方可投入使用。各级配电压和各种机电设备额定电压等级应符合相关要求。严禁配变压器中性点直接接地,严禁由洞外中性点直接接地的变压器或发电机直接向瓦斯工区内的设备供电。

(2)防爆或改装过的电气设备和作业机械应在确认其证件齐全且合格后方可允许进洞使用。

(3)洞内的高、低压电缆应使用不延燃橡套电缆,各种电缆的分支连接必须使用与电缆配套的防爆连接器与接线盒。

(4)隧道照明应严格按照设计要求布置,电源必须与备用发电机相连,各电气设备应符合规范要求的额定电压等级。

(5)电缆应选用矿用阻燃性电缆,按要求安装防爆型动力箱以供二次注浆和养护轨道用电,电缆的连接应符合相关要求。

2.4.3 作业机械

(1)隧道内的作业机械应使用蓄电池电机车。

(2)严禁在停风或瓦斯超限的作业区段作业,作业机械应配置便携式甲烷检测报警仪,同时应加强通风、瓦斯检测及施工安全管理工作。

2.4.4 备用电源

为了保证在电网停电时轴流通风机能正常运

行并往洞内通风,在左、右洞配电房内各安装了一台 300 kW 的内燃发电机组。

2.5 应急控制

(1)瓦斯超限控制。当瓦斯的任一值达到报警值时,监测控制系统发出报警信号和关联设备的控制指令,主司机可紧急关闭螺旋输送机闸门、停止盾构掘进。主机室的瓦斯浓度等监测数据应能传至安全风险监控系统,以便实现集中管控。

(2)超前排气措施。瓦斯抽放工程设计应体现安全第一、技术经济合理的原则^[5]。

超前排气竖井施工的应急预案采取在盾构隧道掘进方向上方通过挖掘竖井对盾构隧道前方的瓦斯进行提前排放,必要时可以采用斜竖井,以尽量减小竖井与围岩节理走向的夹角;具体的竖井开挖措施视围岩节理发育等情况确定。当盾构隧道掘进方向上不具备竖井挖掘条件时,可以考虑采用多个钻孔的方式进行地层内瓦斯气体的预排放。

3 结语

通过对盾构隧道瓦斯治理防控措施进行总结研究,将隧道内的瓦斯控制方式进行分解,多方面、全方位实施控制,为盾构隧道安全施工提供了有力的保障,所取得的经验对盾构隧道瓦斯防控处理具有很重要的意义,同时有效地保证了工程施工安全,为后续工程类似瓦斯治理防控积累了丰富的施工经验,总结归纳出一整套资料,可为类似工程提供借鉴。

(下转第 67 页)

石之间的间距保持在 5~8 cm,同时保证墙体设计孔隙率为 40%~50%。腹石施工铺砌块石与浇筑灌缝混凝土交替进行,灌注 C25 细石混凝土前,一定要确保面石稳固,待缝隙之间砂浆饱满后再灌注和易性较好的细石混凝土,用 3 cm 直径的振捣棒插捣至表面泛浆为止,待下层混凝土初凝后,再铺砌上一层灌砌石,面石与腹石之间衔接,应设置拉结石(丁石),避免面石与腹石之间出现纵向通缝^[3]。腹石铺砌时,采用挖掘机或汽车吊配和吊斗吊运块石,人工进行铺砌,卸料时应轻放轻倒,同时严禁在已砌好的墙体上抛掷、滚动石块,避免扰动四周面石和下层腹石。

2.2.5 沉降缝的设置

细石混凝土灌砌块石挡土墙宜每 10 m 设置一道伸缩缝及沉降缝,在地形地质条件变化及墙高变化较大处应设置沉降缝,缝宽 2 cm,缝内沿墙的内、外、顶三侧填塞沥青麻絮,深度不小于 15 cm。

2.2.6 泄水管的布置

对墙身高出地面部分设置泄水管,泄水管采用 $\phi 10$ PVC 管,间距 2 m,上下交错布置,泄水管伸出墙背 5 cm,其端部 15 cm 用土工滤布包裹。第一层泄水孔应高出地面 30 cm,浸水路段应高出正常高水位 50 cm 以上,泄水孔横坡采用 4%,最底层泄水孔下部应作黏土封层以防渗水。

2.2.7 养护

面石砌筑及腹石混凝土浇筑完毕应保持砌体表面湿润并做好养护砌体外露面,在砌筑后立即用土工布覆盖,在 12~18 h 内及时配置洒水车并安排专人养护,一定要保持外露面始终保持湿润状态。

2.2.8 台背回填

墙后排水采用 $\phi 8$ 软式透水管包裹三维复合排水网,竖向排水管端部与墙身内横向泄水管必

须做到有效连接。在墙身台背回填前,用土工布包裹横向泄水管进出水口,防止出现堵塞,待墙身强度达到 75% 以上时,方可进行墙后台背的回填,回填前在墙背铺设透水软管包裹三维复合排水网,透水管及三维复合排水网材质须符合设计要求,并按照设计要求位置埋设。

3 结 语

公路工程建设中混凝土灌砌块石挡土墙是在传统浆砌片石和片石混凝土挡土墙之后发展起来的一种形式,现已在许多工程中得到应用^[4]。其应用具有以下优点:灌砌块石挡土墙石料之间的灌缝混凝土采用厂拌集中拌制,不仅有效地解决了以往浆砌片石砂浆不饱满、砂浆强度不合格等施工弊病,而且彻底解决了砂浆现场拌制等违规现象,挡土墙施工质量得到了有效改观,而且避免了砂浆现场拌制引起的扬尘污染、水污染等现象,响应了国家环境保护大方针;同时,灌砌块石挡土墙施工采用先砌筑面石,为腹石施工提供临时“模板”的作用,而且混凝土使用量较片石混凝土挡土墙少,达到了降低施工成本,外形美观,与周围环境有效结合的目的。

参考文献:

- [1] 易义东,刘丽春.浅谈衡重式挡土墙在土木工程中的应用[J].中国新技术新产品,2019,26(11):92-92.
- [2] 王 平.混凝土灌砌块石挡土墙在工程中的应用[J].水能经济,2017,2(10):365-365.
- [3] 付艳东.浅谈公路工程中浆砌片石挡土墙施工质量的控制[J].商品与质量:建筑与发展 2011,15(2):59-59.
- [4] 张河清.衡重式挡土墙在城市道路工程中的应用[J].福建建材,2017,35(5):70-71.

作者简介:

吴晓强(1986-),男,山西应县人,工程师,学士,从事公路工程施工技术与管理工作;

袁 军(1993-),男,湖南邵阳人,助理工程师,学士,从事公路工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 60 页)

参考文献:

- [1] TB10120-2002,铁路瓦斯隧道技术规范[S].
- [2] 祝和意.高瓦斯盾构隧道施工控制关键技术分析[J].隧道建设,2016,36(11):1366-1371.
- [3] 林文书,林建平,刘文斌.盾构瓦斯隧道掘进技术[J].隧道建设(中英文),2010,30(6):665-669.
- [4] 杨立新.现代隧道施工通风技术[M].北京:人民交通出版社,2012.

- [5] AQ1027-2006,煤矿瓦斯抽放规范[S].

作者简介:

杨 锋(1989-),男,四川西昌人,工程师,从事市政工程施工技术与管理工作;

陈 新(1993-),男,四川德阳人,助理工程师,从事建设工程技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)