

高瓦斯隧道采用矿山法施工安全技术研究

邵旭, 李本昕, 杨淦

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川成都 610066)

摘要:成都轨道交通 18 号线工程土建 4 标试车线隧道为高瓦斯隧道。瓦斯防控是工程施工安全管理中的重中之重,其施工安全条件为瓦斯浓度不能超过 0.5%^[1]。围绕“加强通风、勤测瓦斯、严控火源”的瓦斯防控基本原则,对高瓦斯隧道安全管理措施进行了研究,设立了相关课题,对现有的高瓦斯隧道矿山法施工技术进行了改良、优化、创新,最终形成了一套属于自己的、新颖的高瓦斯隧道矿山法施工安全管理方案。

关键词:高瓦斯隧道; 矿山法施工; 安全技术

中图分类号:[U24];U21;U215

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)增 2-0025-03

Study on Safety Technology of Mining Method Construction in High Gas Tunnel

SHAO Xu, LI Benxin, YANG Gan

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

Abstract: Civil Engineering Bid 4 test line tunnel of Chengdu Metro Line 18 is a high gas tunnel. Therefore, gas prevention and control is the top priority in the project construction safety management, and the construction safety condition is that the gas concentration cannot exceed 0.5%^[1]. Based on the basic principle of "strengthen ventilation, frequently monitor gas leakage and strictly control the fire source", the safety management measures of high gas tunnel are studied and related tasks are established, and the existing mining method construction technology in high gas tunnel has been improved, optimized, innovative, and finally, a set of their own and new safety management scheme of mining method construction in high gas tunnel is formed.

Key words: high gas tunnel; mining method construction; safety technology

1 概述

本研究课题以成都轨道交通 18 号线工程土建 4 标试车线隧道为载体。该试车线隧道地勘资料显示为高瓦斯隧道,施工安全风险巨大。项目部围绕“加强通风、勤测瓦斯、严控火源”的瓦斯防控基本原则,将高瓦斯隧道安全管理工作进行了详细分工,通过通风、瓦检、门禁、动火、机电、爆破等手段进行安全管控。对所使用的安全管理手段进行了研究,主要研究内容为:(1)优化通风、降尘系统;(2)完善瓦斯监控系统;(3)制定火源控制措施;(4)爆破作业安全管理;(5)超前地质预报。笔者对以上 5 项研究内容进行了详述。

2 对五项安全管理内容进行的研究

2.1 优化通风及降尘系统

瓦斯爆炸的三个要素即火源、氧气与瓦斯浓度,其中仅有瓦斯浓度可以通过有效通风进行控制,所以瓦斯隧道施工安全管控的核心就是通风。

因此,必须保证隧道回风及掌子面风量满足要求。

试车线隧道施工采用机械通风,根据隧道断面、通风长度及设计要求进行瓦斯涌出量、洞内工作最大人流量计算获取风机型号及风筒直径。现场采用压入式供风,风机设置于洞口 30 m 外,设置两台轴流 132 kW 风机,一台使用、一台备用。风带采用瓦斯隧道专用的防静电、阻燃、直径 1.6 m 的风带。实施 24 h 连续通风,严禁无计划停风并按规定实现“三专两闭锁”,即专用变压器、专用线路、专用开关、风电闭锁和瓦电闭锁(保证停风后切断停风区内全部非本质安全型电气设备的电源)。通风机设两路电源,当一路停止供电时,另一路应在 15 min 内接通,以保证风机正常运转^[2]。

(1)通风设计。隧道内风量的计算方法较多,通过按照同时作用最多人数、爆破使用的最大药量、允许风速、稀释内燃机废气、独头坑道瓦斯涌出量等多种方式进行计算,最后得出稀释内燃机

废气所需的风量为最大风量 $Q_{\max} = 2\ 410\ \text{m}^3/\text{min}$ 。

$$Q_{\text{供}} = KPQ_{\max} = 1 \times 1.16 \times 2\ 410 \\ = 2\ 796 (\text{m}^3/\text{min})$$

式中 K 为高原修正系数, 不受影响, 取 $K = 1$; P 为通风管漏风系数, 经计算 $P = 1.16$ 。

(2) 通风优化。①风管位置的确定。将风管布置在隧道拱顶处, 既避免了影响隧道内车辆、机械设备的正常行走, 又营造了良好的作业空间。②风管加固。风管围护系统分为常规段和台车段。常规段采用风管托架, 底部设置 2 m 一节的托架, 每 10 m 设置一道槽钢将托架固定于隧道内; 台车段采用不锈钢包裹风管, 避免移动台车时损坏风管。

(3) 智能化降温、降尘系统。自动水雾帘幕装置采用无规共聚聚丙烯材质, 由 DN25 PPR 管、雾化喷头、PPR 三通接头、PPR 转换接头和定时自动阀门组成。装置尺寸根据实际隧道开挖台车尺寸确定。在 DN25 PPR 管上每 50 cm 设置一个三通接头作为雾化喷头。制作完成后将其固定于开挖台车的前后断面、台车顶面截面之上。利用定时系统提前设定喷淋时间、喷淋时间间隔、喷淋水雾大小, 实现高效率自动化降温、降尘, 能够降低隧道环境温度约 $5^\circ\text{C} \sim 6^\circ\text{C}$, 快速降低施工过程中的粉尘浓度。

3 完善瓦斯监控系统

瓦斯隧道重点检测及监测的项目为 CH_4 浓度(限值 0.5%)、CO 浓度(限值 24ppm)、 CO_2 浓度(1.5%)、 H_2S 浓度(6.6ppm)、 O_2 浓度(25%)、回风流风速(不低于 0.5 m/s)等^[3], 了解瓦斯涌出与积聚的情况, 掌握变化规律, 进而制定瓦斯治理措施并对瓦斯进行治理, 预防瓦斯事故的发生。

(1) 由人工检测、自动监控系统、施工人员携便携式瓦检仪三方面组成, 三者相互印证, 相互检查, 相辅相成。专职瓦检员配备光干涉甲烷测定器对洞内各工作面进行检查, 每个断面至少检查 6 个点。当瓦斯浓度为 0.5% 以下时, 每隔 30~60 min 检查一次。瓦斯浓度为 0.5% 以上时, 随时检查, 发现异常及时报告。

(2) 自动监控系统由控制中心和前端设备组成, 具有非目视区域内危险源(如瓦斯、硫化氢等气体)的预测功能, 以及感触式非目视危险源+目

视危险源双重实时监控功能, 对隧道内各作业面进行全方位监控。

(3) 人员定位: 进入隧道的人员统一配备定位芯片, 通过瓦斯监控系统可实现人员定位功能, 提高应急救援能力。

(4) 自动瓦斯监控系统具备“风、瓦、电闭锁”功能, 当隧道内瓦斯浓度超标或通风不足时, 自动断开隧道内电源, 避免因瓦斯浓度超限发生险情。

4 火源防控措施

4.1 门禁及监控系统

在洞外设置安检室、更衣室以及监控室, 安检室配置专业检身员, 设置静电消除桩、金属检测门、门禁系统等, 进出人员及防爆车辆必须登记, 施工人员穿戴防静电服, 配置定位芯片及门禁卡, 实行挂牌制度, 将随身携带的火源、手机、手表等物品存放于寄存柜里。监控工每天对监控设备及电缆进行安全检查, 保证其正常工作。监控工和检身员每日实行全天 24 h 轮班制度, 及时做好交接班记录及应急情况上报记录。

门禁系统具有人脸识别、指纹识别功能, 自动识别进场人员身份, 对于陌生人进行联动预警, 及时通知安保人员进行干预, 杜绝非工作人员进入施工现场, 同时记录人员信息作为考勤数据。

门禁系统设 LED 屏, LED 显示屏上实时显示隧道内的施工人员数量和其他相关信息(管理人员、监理人员、施工人员等信息), 并实时显示隧道内的人员姓名。

门禁系统具备自动方向识别和防止代刷卡功能。

4.2 电气设备及防爆改装

高瓦斯隧道类电气设备及非行走式作业机械均采用矿用防爆型, 行走式作业机械均进行主动防爆改装。在防爆或改装后的电气设备和作业机械安装或使用前必须检查其产品合格证、煤矿矿用产品安全标志或改装合格证明, 确认证件齐全后方可允许其进洞使用。

向隧道内供电的高、低压馈电缆上严禁装设自动重合闸装置。低压馈电线路上装设的漏电保护装置必须满足配电系统中三级配电两级保护的原则, 总配电箱至开关箱设置两级检漏继电器, 两级检漏继电器的额定漏电动作电流和额定漏电动

作时间应作合理配合,使其具有分级保护功能。为防止雷电引起隧道内的瓦斯爆炸,必须在隧道洞口处装设避雷装置^[4]。

非行走式作业机械主动防御防爆改装系统主要使用煤矿监控分站和传感器对施工机械工作区域环境中的瓦斯气体浓度参数进行采集,形成车载瓦斯监控系统。控制分站根据采集到的浓度值及控制逻辑进行分析处理。系统工作时,若环境瓦斯浓度逐渐上升、达到报警限值(0.3%)时,分站向报警器传递报警信号,报警器发出声光报警,操作人员听到或看到报警信号后立即停止作业,马上通知专职瓦检员核查现场实际情况,待瓦检员查明起因并解除危险后再行作业,此方法实现了危险提前处理的作用。如果瓦斯浓度上升较快或施工机械现场无人值守时,环境瓦斯浓度达到断电限值(0.5%)时,监控系统会在首次检测到报警时刻开始延迟一定时间(10~30 s)后,控制分站再次向机械的断油熄火控制器发出控制信号,强制停止车辆工作,断开车辆的所有供电线路,车辆将无法启动工作,监控系统使用自带本安电源持续工作。当环境中的危险气体参数浓度降至安全限值(0.3%)后,监控系统将自动解锁,车辆供电,车辆可重新启动作业。

监测分站的位置可根据内燃施工设备本身的结构特点选择安装于侧面以及驾驶室与车箱连接处、内燃设备底部或驾驶室等。传感器安装于驾驶室顶部通风处。因内燃施工设备在运行中是一个振动剧烈的载体,因此,安装时需对车载监控断电系统设备进行专门的加固与防振设计。该系统设备轻便、安装快捷、维护简便,只需要施工维修场地即可完成安装,系统运行稳定可靠,不会改变该内燃施工设备的动力特性。

4.3 动火管理

高瓦斯隧道内动火作业属一级动火作业。一级动火作业由项目经理审批动火作业票,作业票有效期为 8 h。作业前,瓦检员必须检测瓦斯浓度,待其值低于 0.5% 时才能进行动火作业。瓦检员必须在动火点旁站,一旦发现瓦斯浓度达到或高于 0.5% 时,则立即停止动火作业,加强通风,找出瓦斯涌出点并立即上报,未经审批不得重新启动火作业。

5 爆破作业的安全管理

除了将火工品的储存、领用、运输、使用的各环节按照标准规范进行管理外,选用了危险系数较低的爆破器材。

(1)采用危险系数较低的安全炸药。采用矿用许可型乳化炸药,其具有良好的抗水性、爆炸性和稳定性,具有着火烧不着、枪击不响的“安全炸药”称号。

(2)雷管。采用煤矿许用瞬发电雷管或煤矿许用毫秒延时电雷管。最后一段毫秒雷管延时不得超过 130 ms。只要最后一段毫秒电雷管延长时间不超过 130 ms,爆炸过程中的瓦斯浓度尚未达到 1%,各段毫秒雷管就已爆炸完毕,故很安全^[5]。

(3)发爆器。起爆电源在含瓦斯的隧道环境中爆破,其通电时间必须小于 6 ms,且需使用线路电源放炮。由于无法控制通电时间,电路被炸断时可能会产生电火花引爆瓦斯,因此,只能采用 MFBB 型煤矿发爆器作为起爆电源^[6]。

(4)爆破设计。

①单个掘进循环所需炸药量 Q 。根据以下公式进行计算:

$$Q = qSL\eta$$

式中 q 为单位炸药消耗量, kg/m; S 为掘进断面面积, m^2 ; L 为计划循环进尺, m, IV 级围岩计划循环进尺 2 m; η 为炮孔利用率,一般为 0.8~0.95(取 0.95)。

②炮眼数量 N 。根据以下公式进行计算:

$$N = qS/\alpha\gamma$$

式中 N 为炮眼数量,不包括未装药的空眼数; α 为装药系数,即装药长度与炮眼全长的比值; γ 为每 1 m 药卷的炸药质量(kg/m),直径 32 mm 的三级煤矿乳化炸药的 γ 值取 0.91 kg/m。

③IV 级围岩单个掘进循环所需炸药量及炮眼数量:

$$Q = qSL\eta = 1 \times 69.34 \times 2 \times 0.95 = 132(\text{kg})$$

$$N = qs/\alpha\gamma = 1 \times 69.34 / (0.5 \times 0.91) = 152(\text{个})$$

6 超前地质预报

瓦斯隧道施工应遵循“动态设计、动态施工、先判断后处理”的原则,从超前预报入手,做到有效预控,采用综合预报方法,以地质分析为基础,以物探手段为辅,最终采用超前钻探和瓦斯检测

(下转第 38 页)

栏杆,并在栏杆上安装了废旧轮胎,保证了列车在发生向后溜车下坡时,可依靠栏杆进行阻挡,以保护后方隧道内工作的人员安全(图5)。



图5 尾部防撞栏杆

(5)对1#台车设置了缓冲垫防撞梁。

(6)驾驶室倒车视频监控与防瞌睡装置。为了防止电瓶车司机长时间工作疲乏犯困,在驾驶室安装了防瞌睡装置,若在5 min之内没有操作动作,列车将自动报警。在驾驶室安装视频倒车影像监控,让司机时刻关注后方情况,防止与后方工作人员和设备发生撞击,保证列车的运行安全。

3 结 语

通过以上综合分析,研究设计出了具有针对性的多项防护措施,保证了在大坡度、长距离、多编组重载运输情况下的列车连续有序运行安全。

(上接第27页)

加以验证。现场采用TSP对全隧道进行超前预测,主要实现对可能富集瓦斯的岩层转折带、裂隙密集带、断层破碎带和岩层产状突变处进行宏观预报,每150 m预报一次,每次搭接10 m。超前水平钻探每次施做35 m,搭接5 m,为充分验证超前物探工作的准确性,采用超前钻探检测隧道瓦斯的赋存情况,根据钻进速度的变化、钻孔冲洗液颜色、气味、岩粉及遇到的其他情况预报前方的地质情况^[8]。

7 结 语

笔者仅对瓦斯防控安全管理方面做了简单分析。但是瓦斯隧道施工的安全管理在以瓦斯防控为重点的同时,也须将坍塌、涌水、掉块等作为安全管理的重点。千里之堤溃于蚁穴。每一次细小的失误都有可能造成无法挽回的后果。只有以良好的施工理念严控安全生产,警钟长鸣,才能安全、优质、高效地推进隧道安全生产。

有效解决了运行过程中调度混乱、坡度溜车、编组停让以及列车与盾构施工配合等多项问题,完成了轨道特殊加固与快速起升技术、多编组与多道岔组合调度控制技术、大坡度重载制动与防溜车技术的研究。完善了大直径盾构多编组长距离轨道运输关键技术研究,形成了一系列多编组长距离安全运行控制技术且工艺运用成熟、可靠,对盾构法隧道施工具有重要和借鉴参考价值。

参考文献:

- [1] 建标104-2008,城市轨道交通工程项目建设标准[S].
- [2] GB50652-2011,城市轨道交通技术规范[S].
- [3] 轨道交通建设工程盾构施工安全管理,成轨建管制发[2019]9号[S].
- [4] GB50446-2008,盾构法隧道施工与验收规范[S].
- [5] GB50911-2013,城市轨道交通工程监测技术规范[S].
- [6] 宁友波.机车车轮故障预测与健康管理技术研究[J].铁道技术监督,2018,46(5):35-39.

作者简介:

周显刚(1987-),男,四川成都人,工程师,从事市政工程盾构施工技术与管理工
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)

参考文献:

- [1] 安监总局令87号,煤矿安全规程[S].2016.
- [2] 杜 琳.瓦斯隧道附属机电工程通风设计[J].山西建筑,2018,44(27):113-114.
- [3] TB10120-2002,铁路瓦斯隧道技术规范[S].
- [4] 何 晋.高瓦斯隧道机械设备简易改装与主动防爆改装[J].城市建设理论研究,2018,7(26):104-105.
- [5] 尚跃强.西山瓦斯隧道施工安全技术措施[J].价值工程,2011,36(18):105.
- [6] GB6722-2014,爆破安全规程[S].
- [7] 张中的.长山隧道超前地质预报研究[D].成都:西南交通大学,2012.

作者简介:

邵 旭(1994-),男,四川成都人,助理工程师,从事建筑施工安全管理工
作;
李本昕(1995-),男,四川绵阳人,助理工程师,从事建筑施工安全管理工
作;
杨 淦(1993-),男,重庆市人,助理工程师,从事建筑施工安全管理工
作。

(责任编辑:李燕辉)