

龙泉山隧洞瓦斯防治技术

陈波, 苏小明, 田赞

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要:针对龙泉山隧洞的开挖,提出了一种瓦斯综合防治方法,通过超前钻探、瓦斯监测、施工安全技术措施与安全管理等方式相结合,为龙泉山隧洞安全施工保驾护航,确保了开挖阶段一旦出现险情,则按相关要求及时处置、能够成功避免事故的发生,可为其他瓦斯隧洞防治方案的选择提供借鉴。

关键词:龙泉山隧洞; 瓦斯; 通风; 监测和检测; 效果评价

中图分类号:TV554;TV52;TV513

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)05-0020-03

1 概述

根据设计单位提供的《总干渠龙泉山隧洞瓦斯专题报告》,岷河供水一期工程龙泉山隧洞全长11 830.55 m,分设3条检修交通洞,断面为城门洞形,永久衬砌后断面为4.5 m×4.5 m。其中瓦斯隧洞段长约9 410 m,占总长度的79.5%,高瓦斯隧洞段长5 580 m,低瓦斯隧洞段长3 830 m。瓦斯隧洞长度占隧洞总长度的检修交通洞低瓦斯洞段长514.49 m。

2 龙泉山隧洞采取的瓦斯防治措施

龙泉山隧洞采取的瓦斯防治措施包括超前钻探、瓦斯防治监测系统、施工过程控制、防爆改造、健全制度等方式。

2.1 瓦斯隧洞的相关知识

瓦斯是一种混合气体,其主要成分是甲烷,它是一种无色、无味、无臭、易燃的气体;难溶于水,比重为0.554,仅占空气的一半,扩散性约为空气的1.6倍,在隧洞内,瓦斯易出现在坑道顶部,能透过裂隙发达、结构松散的岩石;当瓦斯浓度高时会引起窒息;当其在空气中具有一定浓度并遇到高温热源时能引起爆炸,对隧洞施工安全威胁很大。瓦斯中除了含有甲烷以外,还含有其它有毒有害气体。

根据《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120—2002),瓦斯工区按绝对瓦斯放出量进行判定;在龙泉山隧洞现场施工时,瓦斯隧洞各部的瓦斯浓度均在0.5%以下,可认为属于低瓦斯工区;对于大于或等于0.5%的,则可认为其属于

高瓦斯工区。

2.2 瓦斯隧洞超前地质预报

为了确保瓦斯隧洞的施工安全,在施工中遵循“动态设计、动态施工、先判断后处理”的原则。

2.2.1 地质素描分析

地质素描分析主要依据隧洞已有勘察资料之隧洞掌子面地质素描进行综合分析,对掌子面前方的地质情况进行粗略的预测,从而对瓦斯赋存情况进行粗略了解。根据地质素描结果,提前做好相应的各项准备措施。

2.2.2 地质超前钻探

在隧洞全段(含检修交通洞)的开挖断面处布置2个(孔径75~100 mm)、长40 m的地质超前钻孔(每35 m作为一个循环,搭接5 m)。

2.3 隧洞瓦斯监测

对瓦斯洞段采用KJ325煤矿安全监测监控系统和人工移动式监测相结合的方式监测。

2.3.1 安全监测监控系统

(1)在隧洞1#检修交通洞、2#检修交通洞、3#检修交通洞及隧洞出口四个工区各布置一套监控系统。

(2)测点的布置。

设固定点监测系统,预计设24个固定监测点,其中在掘进工作面和衬砌工作面各布置8个固定测点,其余各点根据需要设置在隧道沿程。沿程在低瓦斯工区、高瓦斯工区、瓦斯突出工区按照每100 m布置一个,非瓦斯工区按照每500 m布置一个。

2.3.2 人工检测

收稿日期:2018-08-08

采用 20 台 AZJ-2000 型甲烷检测报警仪和 10 台光干涉式甲烷测定仪。

检测监测点布置:采用断面 6 点法检测,即拱顶点、两拱脚点、两边墙脚点和底板中点。

表 1 隧洞内瓦斯浓度限制值及超限处理措施表

序号	地 点	限值(瓦斯)	限值(CO ₂)	超限处理措施
1	总回风流中	0.5%	0.5%	立即查明原因,进行处理
2	低瓦斯工区任意处	0.5%		超限处 20 m 范围内立即停工,查明原因,加强通风监测
3	局部瓦斯积聚(体积大于 0.5 m ³),重点检查隧洞顶部作业,尤其是检查塌空区、拱顶、脚手架顶、台车顶等处	2%		超限处 20 m 范围停工、撤人、断电,进行处理,加强通风
4	开挖工作面风流中	1% 1.5%	1.5% 1.5%	停止风钻钻孔。 超限处停工、撤人,切断电源,查明原因,加强通风等
5	工作面回风流中	1%	1.5%	停工、撤人、处理
6	放炮地点附近 20 m 风流中	1%		严禁装药放炮
7	爆破后工作面风流中	1%	1.5%	超限时继续通风,不得进人
8	局部通风机及电气开关 10 m 范围内	0.5%		超限时应停机,不得启动,通风、处理
9	电动机及开关附近 20 m 范围内	1.5%		停止运转,撤出人员,切断电源,进行处理
10	竣工后洞内任何部位	0.5%		超限时查明渗漏点后进行处理,并向设计单位反映,增加运营通风设备

2.4.1 通风设计

加强通风是防止瓦斯爆炸最有效的方法之一,绝不允许自然通风,必须采用机械通风。因此,龙泉山隧洞瓦斯洞段施工期间的风量必须根据隧洞内同时工作的最多人数、隧洞内同时放炮使用的最多炸药量、隧洞内各工作面瓦斯同时涌出量、瓦斯隧洞所需的风速、稀释内燃机排放废气中有害气体浓度值、许可浓度等 8 种方法进行核算。

综合以上 8 种方法核算结果并进行分析,其中按瓦斯隧洞所需 1 m/s 风速时计算的用风量最大,为 844.5 m³/min。

(1) 单头掘进时的通风设计。

①隧洞内最大需用风量为 844.5 m³/min。

②计算风机供风量:

$$Q_{\text{供}} = Q_{\text{需}} \cdot \alpha = 844.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.25 \\ = 1055.6 \text{ m}^3/\text{min}。$$

③风压计算。

设计风管尺寸为 $\varphi 1 \text{ m}$ 。选用一组 2 × 55 kW 通风机时提供的全压 $H = 6256 \text{ Pa}$ 显然不能满足要求,考虑到串联通风,在洞口设 2 × 55 kW 通风机,然后每隔 500 m 设置 1 台 55 kW 风机。

④设备的选择。

洞口主风机采用 YBF2-250M-4 型轴流式

2.4 施工安全技术措施

针对龙泉山隧洞的瓦斯浓度情况并依据《公路隧道施工技术规范》(JTG F60—2009),对隧洞内瓦斯浓度限制值及采取的处理措施见表 1。

风机,洞内串联或备用风机均采用 YBF2-250M-4,并需采用抗静电、阻燃的风管。

(2) 贯通时的通风设计。

隧洞贯通后,压入式通风已经不适合隧洞的通风要求。此时,拆除压入式风机及风筒,在洞内安装射流风机进行通风,风管口到开挖掌子面的距离应小于 5 m、且百米漏风率不应大于 2%,通风设计时考虑自然通风的影响。

采用 SDSNO22KW 防爆射流风机进行通风,每 1000 m 布置一台。

2.4.2 施工通风管理

(1)各作业队成立 1 个通风管理组,配置通风管理人员 2 人进行 24 h 通风管理;

(2)保证有可靠的备用电源和备用风机;

(3)风机司机上岗前须进行专业培训,合格后方可上岗并作好运转记录;

(4)通风机发生故障或停止运转时,洞内工作人员应立即撤离,直至通风机恢复正常后方准许进入洞内工作面继续施工。

2.5 电气设备和作业机械

隧洞进口段为非瓦斯洞段,该段施工的电气设备与作业机械采用常规方式。

1#、2#、3#检修交通洞和出口段工作点洞内施工的电气设备与作业机械必须遵循以下规定:

2.5.1 一般规定

(1) 隧洞内施工工区的所有电气设备与作业机械必须采用矿用防爆型。

(2) 各级配电电压和各种机电设备的额定电压等级须满足《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120—2002)的要求。

(3) 洞内变压器采用矿山专用防爆变压器,严禁中性点直接接地。

2.5.2 电缆

(1) 高压电缆采用铜芯;

(2) 低压动力电缆的选用应满足以下要求:固定敷设电缆应采用铠装铅包纸绝缘电缆、铠装聚氯乙烯电缆或不延燃橡胶电缆;

(3) 输电线路必须使用密闭电缆,电缆之间连接的接线盒必须为防爆型。

2.5.3 电气设备

(1) 低压电气设备严禁使用油断路器、带油的起动器和一次线圈为低压的油浸变压器。

(2) 照明灯具的选用应符合下列规定:开关必须设置在送风道或洞口;开挖工作面附近的固定照明灯具必须采用 Exd I 型;已衬砌段的固定照明灯具可采用 Exd II I 型。

2.5.4 施工机械

在施工机械上安装瓦电闭锁装置。

2.6 全岩掘进机施工

龙泉山隧洞采用全断面开挖施工工艺,其面积大且通风效果好,边开挖边跟进喷锚支护,有利于缩短瓦斯放出时间和缩小围岩暴露面。

(1) 掘进机司机必须经过专门的培训,考试合格后方可上岗;

(2) 应遵守《煤矿安全规程》中的相关规定,正确使用掘进机上所有的安全闭锁和保护装置。

2.7 钻爆施工

龙泉山隧洞钻爆法施工的区域全部使用 3 级煤矿许用炸药(若是瓦斯突出危险工作面,使用 3 级煤矿许用含水炸药),雷管使用延时 130 ms 以内的煤矿许用电雷管。

爆破作业的工作面必须严格执行“一炮三检”的瓦斯检查制度。

(1) 爆破作业。

爆破地点附近 20 m 内风流瓦斯浓度 $<1\%$ 。

(2) 爆破后。

瓦检员检查瓦斯浓度和二氧化碳浓度,若其分别大于 1% 和 1.5% ,则需加强通风直至其满足要求。

2.8 结构封闭

根据《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120—2002),瓦斯隧洞只要有一处有突出危险,则该处所在工区定为瓦斯突出工区。瓦斯地段的喷射混凝土厚度不应小于 15 cm,混凝土衬砌厚度不应小于 40 cm。

3 龙泉山隧洞实施的安全管理措施

3.1 进洞管理

(1) 在进出口洞口建立门禁系统并安装高清红外摄像机,对区域内的人和物料进行实时动态监控管理。

(2) 对进出洞人员、车辆实行统一归口管理,各洞口派专人 24 h 值班检查。

(3) 人员进出洞严格按照登记→检身→翻牌→消除静电的流程执行。

(4) 进洞人员穿棉质工作服,配置 KL205 型矿灯。

(5) 进入瓦斯突出工区的作业人员必须携带个人自救器。

3.2 安全教育及上岗培训

(1) 凡从事瓦斯隧洞工作的施工管理人员、工人都必须进行瓦斯的安全技术培训。

(2) 电工、爆破工、瓦斯检测人员等特种作业人员必须经地方劳动局、煤矿矿务局等有关部门培训,取得合格证后方准上岗。

3.3 瓦斯隧道施工的防火措施

当情况特殊、不可避免地需进行电焊、气焊等工作时,需严格执行动火管理制度。

3.4 瓦斯检测安全保证措施

(1) 瓦检员严格按《煤矿安全规程》要求进行各部位瓦斯浓度的检测并做好记录,在洞内瓦斯牌上公布。

(2) 瓦检员实行现场交接班制度,每个班要进行交接签字手续,瓦检员、技术员、施工员(工班长)接班时要查阅上班的检测记录。

(3) 每天的瓦斯检测记录交安全部门,由安全部专职工程师进行数理统计和分析,掌握洞内瓦斯溢出的发展动态。发现异常现象及时向总工

(下转第 58 页)

掘进过程中出现岩石强度增高而导致施工成本成倍增加、对工期的影响,对维修及运行成本超过目前了解的情况而导致成本超过钻爆成本时仍需采用钻爆工艺施工;另外,需单独架设 1 140 V 的高压供电系统。

5.3.3 综合比较

综上所述,经对目前考察和掌握的情况进行分析得知,使用钻爆方式和全岩掘进机方式施工,龙泉山隧洞的开挖总工期均为 26 个月。全岩掘进机方式洞挖比钻爆方式洞挖综合单价少 7.68 元/m³,可节省费用 250 万元。但因设备前期需投入 1 740 万元,按 2 a、年利率 8% 计算资金的时间成本为 289 万元,从经济上分析,两种施工方式的成本基本一致。

由于钻爆和全岩掘进机施工在工期和经济上基本一致,但使用全岩掘进机可以减小施工附加量、减小对当地村民的施工干扰、降低火工产品管理的难度和费用、改善洞内施工环境、降低安全风险,因此,使用全岩掘进机方式相比钻爆方式仍具有一定的优势,还可以根据总工期安排与调节,对其他隧洞进行施工。

6 结语

综上所述,根据设计单位提供的地质情况,结

(上接第 22 页)

工程师、项目经理提出处理建议。

3.5 瓦斯隧洞施工通讯措施

在掌子面和洞口值班室设置应急电话,确保信息安全畅通。

4 效果评价

龙泉山隧洞从 2015 年 4 月 28 日开工以来,截止 2017 年 11 月底,已成功贯通 10 km,相继出现瓦斯溢出超限(瓦斯浓度大于 0.5%)16 次,最高浓度达 40%,均按相关要求成功化解了可能存在的安全风险。笔者从执行过程中认识到:瓦斯并不可怕。只要硬件设施跟上,加强宣传与培训(关键在于通风和管理人员的责任心),瓦斯是可防和可控的。

由于瓦斯隧洞的防治牵涉面广,施工单位投入巨大,但是存在水利行业无相关规范和计价定

额、无法在单价中包含这类费用的弊端,如果建设单位以各种理由拒不解决,施工单位将面临严重的资金困难,这一点尤需水利行业主管部门牵头对此专门研究解决方案以确保工程安全。尤其应加强对瓦斯特性进行研究和认识,优化防治方案,在确保安全的前提下不浪费投资,确保民生工程可持续发展。

合工作面的划分和全岩掘进机对围岩的理论适应性,最终分别在龙泉山隧洞 1#、2#、3#检修交通洞控制工作面各配置了一台 EBZ260A 全岩掘进机。笔者对全岩掘进机施工工艺从结构、工期、安全及质量控制等方面进行了全面的分析论证,其结果均能满足该工程要求,尤其在施工安全及质量上明显优于钻爆法施工,并且经济可行。

通过从技术、经济、质量、进度及安全角度分析后得出以下结论:采用全岩掘进机施工工艺在龙泉山隧洞工程中进行开挖施工可行,解决了水利工程中上覆岩体较薄、人口较为集中、岩石破碎的隧洞不能采取常规钻爆法施工的开挖难题,亦为其它隧洞工程施工工艺的选择提供了一定的借鉴,对于新工艺的推广起到了一定的示范效应。但需注意必须下大力气解决粉尘治理问题。

作者简介:

陈波(1972-),男,四川都江堰人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

苏小明(1969-),男,四川射洪人,高级工程师,学士,从事建设工程施工技术及管理工

刘瑞(1992-),男,江苏南京人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

邓鹏(1992-),男,湖南衡阳人,助理经济师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

额、无法在单价中包含这类费用的弊端,如果建设单位以各种理由拒不解决,施工单位将面临严重的资金困难,这一点尤需水利行业主管部门牵头对此专门研究解决方案以确保工程安全。尤其应加强对瓦斯特性进行研究和认识,优化防治方案,在确保安全的前提下不浪费投资,确保民生工程可持续发展。

作者简介:

陈波(1972-),男,四川都江堰人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

苏小明(1969-),男,四川射洪人,高级工程师,学士,从事建设工程技术及管理工作;

刘瑞(1992-),男,江苏南京人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

田赞(1981-),男,湖北恩施人,经济师,从事水利水电工程合同管理工作。(责任编辑:李燕辉)