

文章编号: 1674—8247(2019)04—0095—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.04.020

高原、高地温隧道施工爆破及降温措施的探讨

苗永旺 陈佐林 彭学军 李传书

(中铁五局集团有限公司, 长沙 410007)

摘 要:新建川藏铁路拉林段桑珠岭隧道穿越花岗岩地层,因受埋深大、地质构造活跃、高地热影响,施工过程中陆续遇到高地温。本文结合桑珠岭隧道高温段的成功施工经验,研究探讨了高原、高地温隧道各类施工应对措施,可供类似工程参考。

关键词:高原;高地温;隧道;爆破;通风;措施

中图分类号:U455.6 **文献标志码:**A

Discussion on Blasting and Cooling Measures of Tunnel Construction on Plateau and of High Ground Temperature

MIAO Yongwang CHEN Zuolin PENG Xuejun LI Chuanshu

(China Railway No. 5 Engineering Group Co., Ltd., Changsha 410007, China)

Abstract: The Sangzhuling tunnel in the Lhasa-Linzhi section of the newly-built Sichuan-Tibet railway passes through the granite strata. It encounters high ground temperature successively in the construction process due to large burial depth, active geological structure and high geothermal energy. Based on the successful construction experience of the high temperature section of Sangzhuling tunnel, various construction countermeasures of the tunnels on plateau and of high earth temperature are studied and discussed in this paper, which can be used as reference for similar projects.

Key words: plateau; high ground temperature; tunnel; blasting; ventilation; measures

95

拉林铁路桑珠岭隧道地处高原,施工揭示最高地温达 89.9℃,已达到本地区水的沸点,而国内暂无高原缺氧耦合超高地温隧道施工的经验,因此对高原缺氧环境下高地温隧道施工措施的研究尤为必要。

1 工程概况

拉林铁路 3 标段桑珠岭隧道全长 16.449 km,位于唐古拉山与喜马拉雅山之间的藏南高山河谷区,线路沿雅鲁藏布江傍山而行,隧址区地面标高 3 300 ~ 5 100 m,线位标高 3 540 m 左右,隧道最大埋深

1 347 m,谷岭相间、地势起伏跌宕,属高原山区,气候极端恶劣。隧道穿越岩层以闪长岩、花岗岩为主,区域板块构造活跃、地下热源丰富(断裂带附近有 76℃的温泉出露)。开挖揭示最高地温达 89.9℃,洞爆破后环境温度达 60℃。

2 高地温段爆破技术措施

2.1 高温爆破

现行 GB 6722—2014《爆破安全规程》^[1]只对超过 60℃的高温高硫矿井爆破做了专项规定,汪旭光编著

收稿日期:2019-02-22

作者简介:苗永旺(1976-),男,高级工程师。

引文格式:苗永旺,陈佐林,彭学军,等.高原、高地温隧道施工爆破及降温措施的探讨[J].高速铁路技术,2019,10(4):95-98.

MIAO Yongwang, CHEN Zuolin, PENG Xuejun, et al. Discussion on Blasting and Cooling Measures of Tunnel Construction on Plateau and of High Earth Temperature [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 95-98.

的《爆破手册》^[2]也只对高温硫化矿爆破和高温凝结物解体爆破做出相应规定,两者均未对高温隧道爆破做明确规定。根据多座高温隧道的施工经验,本文将隧道炮孔底温度高于 60°C 情况下的爆破作业,称为高温爆破。

2.2 爆破方案

现场选择热感度较好又能抗水的2号岩石乳化炸药,导爆管雷管实现各孔间隔起爆。当环境温度达到 60°C 时,普通导爆管出现软化,性能不稳定(现场多次出现拒爆),采用高强度导爆管雷管(最高能耐 80°C)和耐高温导爆索(最高能耐 120°C)等爆破器材。结合高原特别的气候条件,增大安全储备,对高温段炮眼温度分: $50^{\circ}\text{C} < \text{炮孔内温度} \leq 70^{\circ}\text{C}$ 、 $70^{\circ}\text{C} < \text{炮孔内温度} \leq 120^{\circ}\text{C}$,进行爆破方案设计。

以Ⅲ级围岩为例,岩石坚固性系数 $f=8\sim 12$,采用光面爆破,炮孔直径 42 mm ,深度 3.0 m ,循环进尺达 2.8 m 。本文主要以炮孔温度大于 70°C 进行说明(参数不做详细计算)。

2.2.1 $50^{\circ}\text{C} < \text{炮孔内温度} \leq 70^{\circ}\text{C}$

采用耐 80°C 高温的高强度导爆管雷管代替普通导爆管雷管孔内起爆。因高温对爆破器材性能的影响,在施工现场经常出现掏槽效果不理想、瞎炮等现象,在实际施工中,对掏槽眼和第一圈辅助眼采用双雷管激发,同时加大辅助眼装药量(增加 10% 左右)。装药结构以周边眼为例,如图1所示。

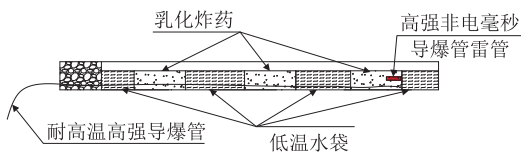


图1 $50^{\circ}\text{C} < \text{炮孔温度} \leq 70^{\circ}\text{C}$ 时周边眼装药结构示意图

2.2.2 $70^{\circ}\text{C} < \text{炮孔内温度} \leq 120^{\circ}\text{C}$

当孔温超过 80°C 时,必须对爆破器材采取隔热防护措施(装药前将药卷用沥青牛皮纸包装完好),装药时不应与孔壁接触,耐高温导爆索应捆于起爆药包外,不得直接插入药包,从孔内装药至起爆的相隔时间不应超过 1 h 。

炮孔数目及炸药单耗量:隧道开挖断面约 71 m^2 ,根据理论计算,并结合施工经验,炮孔数目约 150 个,炸药单耗约 1.5 kg/m^3 。周边孔采用孔内耐 120°C 高温的导爆索孔底反向起爆炸药,非电毫秒雷管孔外延时的起爆方案。本方案孔间距取 0.5 m ,最小抵抗线 W 取 0.6 m ,不耦合系数 D 取 1.31 ,线装药密度 q 取 0.15 kg/m 。周边眼装药结构,如图2所示。

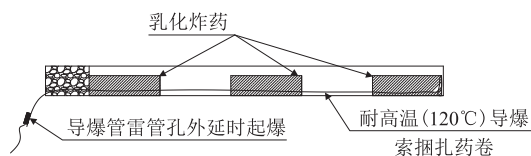


图2 $70^{\circ}\text{C} < \text{炮孔温度} \leq 120^{\circ}\text{C}$ 时周边眼装药结构示意图

掏槽孔、底板眼、辅助眼的爆破参数,除孔内起爆材料与常温爆破不同外,其他参数无大差别。掏槽眼、底板眼及辅助眼装药结构,如图3所示。

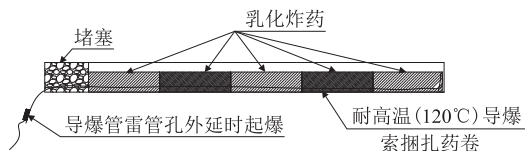


图3 $70^{\circ}\text{C} < \text{炮孔温度} \leq 120^{\circ}\text{C}$ 时掏槽眼、底板眼、辅助眼装药结构示意图

2.2.3 起爆网络

采用并簇连法。连接顺序为:孔内耐高温导爆索(捆扎药包)→孔外同段(需同时起爆孔)簇连双发导爆管雷管起爆(或直接导爆管雷管连接,再同段簇连)→再簇连接至爆导爆雷管(双发)→接导爆管激发器起爆。起爆网络连接示意如图4所示。

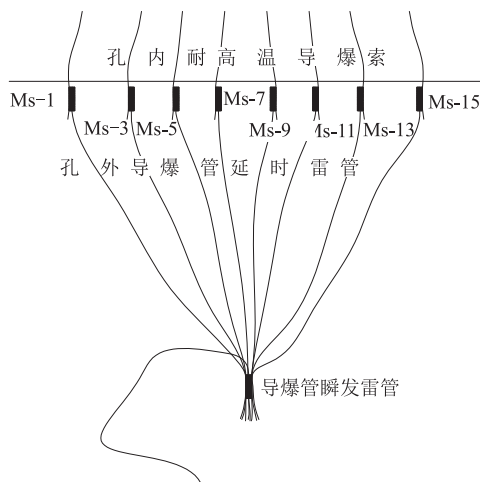


图4 起爆网络连接示意图

3 高原、高地温隧道降温措施

隧道洞内环境降温的措施以通风、放置冰块为主,同时采取喷雾洒凉水、高温水抽排、机械制冷、局部风扇等综合辅助措施。

结合以往高温隧道施工经验,根据热交换原理,以减少热量传递进入洞内为原则,桑珠岭隧道采用了以下降温措施。

3.1 通风降温

根据蒙河铁路毛坡良隧道高地温施工经验,通风是降低高温隧道施工环境温度的主要措施。结合高原缺氧环境,洞内风速必须确保在 0.5 m/s 以上^[3],才能使人感觉舒适。采用增加通风机、增设射流风机、24 h 通风等措施,加大洞内送风量和新、旧风的循环。风口段风管采用可收缩的软管,尽量将出风口接近掌子面。

以桑珠岭隧道1号横洞工区为例,设置4组(2×132) kW 轴流风机压入式通风(单个掌子面2组),每1 000 m设置(2×132) kW 接力风机,三角区设置1组(2×110) kW 轴流风机向洞外抽风,正洞每间隔150 m设置1个(2×11) kW 射流风机加速洞内空气向洞外排放,如图5所示。

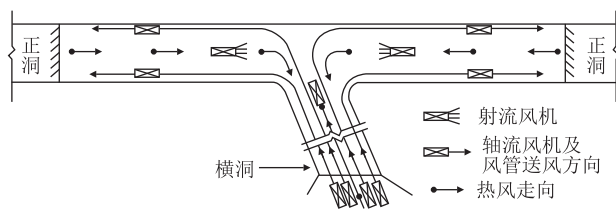


图5 桑珠岭隧道施工通风布置示意图

隧道围岩与风流间的传热是一个复杂的不稳定传热过程。隧道开掘后,随着时间的推移,围岩被冷却的范围逐渐扩大,其向风流传递的热量逐渐减少。根据经验,随着开挖深度的增加,隧道洞内施工条件明显恶化,参考《高地温隧道综合施工技术研究报告》^[4],隧道围岩与风流间的传热量按壁面与流体间的对流换热公式计算,建立通风计算模型(隧道热源仅考虑高温岩体散热)。

$$V = \frac{K_r U L_1}{C_{pm} [\ln(t_r - t_0) - \ln(t_r - t)]} \quad (1)$$

式中: V ——通风流量, m^3/s ;

C_{pm} ——空气的平均定压比热容,

$C_{pm} = 1.00 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

K_r ——围岩与风流间的不稳定换热系数, $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;可由岩石的导热、导温系数、开挖断面尺寸、通风时间求出;

U ——断面周长(隧道)(m);

L_1 ——距开挖面长度(m);

t_0 ——初始风温,大于风管出口风温 $1 \sim 3^\circ\text{C}$,现场实测 23°C ;

t_r ——围岩温度,现场实测;

t ——距工作面 L_1 处的平均风温,可视为洞内环境温度。

取独头掘进 $1\,100 \text{ m}$,岩温 73°C 的典型断面进行

验算,对隧道通风效果进行分析。现场采用型号为 $\text{SDF}_{(c)} - \text{No}_{13}$ 的通风机2台进行通风,风机其额定风量 $30.9 \text{ m}^3/\text{s}$,全压 $4\,180 \text{ Pa}$,功率 $(132 \times 2) \text{ kW}$ 。

2台风机送至出口的额定风量:

$$Q_{c0} = 2 \times \xi_1 Q_{\text{额}} \times (1 - \beta)^{\frac{L}{100}} = 2 \times 0.8 \times 30.9 \times 0.99^{11} = 44.27 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2)$$

式中: β ——百米漏风率, $\beta = 1\%$;

L ——通风管长度, $L = 1\,100 \text{ m}$;

ξ_1 ——高原折减,取 0.8 。

岩温为 73°C 情况下,通风 0.5 h ,求解距开挖面 75 m 处环境温度, $t = 42.6^\circ\text{C}$ 。

连续求解方程,得出洞内环境温度随通风时间变化的理论曲线,如图6所示。

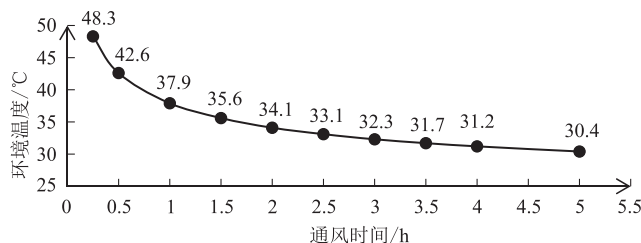


图6 通风环境温度变化曲线

由图6得知,随着通风时间的延长,环境降温效率急速衰减,总体向出风口温度接近。山南地区全年平均气温为 5.8°C ,最热7、8月平均气温为 13°C ,受益于高原地区洞外低温环境,通风降温效果较好,但风经过长距离风管后,出风口温度会进一步升高。实际施工时设备运行散热、混凝土水化热等会提升洞内温度。

3.2 冰块降温

现场建立制冰厂、储冰室,成立制、运冰班组,专职负责制冰、存储、运输。在隧道开挖台车、防水板台车、衬砌台车等作业人员相对集中的地段设置冰架,每处冰架放置60块冰,其余地段则每 150 m 设置冰架,不间断补充冰块。冰块能一定程度上降低环境温度,同时显著改善作业人员体感舒适度,改善作业条件。

一般工业制冰机制作的冰块温度为 -10°C ,根据简单热交换原理,计算出 1 m^3 冰块融化成水,可以使多少立方空气降低 1°C :

$$C_{\text{冰}} m_{\text{冰}} \Delta t_{\text{冰}} = C_{\text{pm}} m_{\text{空气}} \Delta t_{\text{空气}} \quad (3)$$

式中: $C_{\text{冰}}$ ——冰的比热容, $2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

C_{pm} ——空气的平均定压比热容,

$C_{\text{mp}} = 1.00 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

Δt ——温度变化。

$m_{\text{空气}} = 2.1 \times 900 \times 10 = 18\,900 \text{ kg}$

标准条件下空气密度为 $1.297 \text{ kg}/\text{m}^3$,在高原海拔

3 540 m左右,空气密度约为标准空气密度的60%~70%,取65%,换算成体积为22 418 m³,换算成隧道长度为234 m。即在理想状态下,1 m³冰块融化成水可以使234 m隧道温度降低1℃。

现场1处冰架60块冰(约0.83 m³),完全融化需7 h(融化时间与冰块多少密切相关,30块冰融化仅需3 h)。经实测,距冰架1 m处,环境温度降低2℃~3℃。

3.3 洒水降温

拉林铁路地处高原,空气干燥,洞外水温较低,可利用冷水喷洒降温。铺设专用降温水管,24 h洒水作业。喷头每隔20 m设置1处,靠近掌子面地段和衬砌作业面加密设置。利用洒水车对爆破后的裸露岩面、炮碴及未衬砌段进行洒水降温,以洞壁湿润、炮碴淋透为原则,减少热源。洞内设保温蓄水池收集各类热水,并及时抽排出洞,减少热水洞内漫流。

3.4 高温热水抽排

为减少热水在隧道内流动散热,影响环境温度,须进行热水处理。

(1)散状热水渗滴采用注浆封堵。

(2)股状渗水采用引排方式汇入设置的临时蓄水池。

(3)洞内临时排水沟须采用混凝土构成,采用盖板保温等措施。按200 m间距设置蓄水池,对蓄水池采用遮盖保温,同时通过保温水管,将热水抽排至洞外,减少散热。

4 其他综合措施

(1)受高原缺氧与高地温恶劣因素的耦合影响,隧道内作业效率较低,为保证施工进度,同时减少作业人员暴露在高温、缺氧环境下的时间,现场采取增加人员轮流作业、减少每班作业时间等措施。

(2)加强对作业人员的健康检查,做好现场医疗保障工作;制定高温施工应急预案,设置工地医院,配备足够防暑药品、设备及医务人员,并与地方三甲医院建立应急联系;洞内设置移动休息室,安装空调,配置防暑降温应急救援箱;保证作业人员在高温环境下,能得到相应的休息,及时恢复体力,以确保正常工作

效率。

(3)发放劳保用品。给施工人员穿戴内置冰块的冰冻衣服;对高温作业人员发放高温津贴。

(4)受高原缺氧和高温影响,机械设备故障率高、作业效率低,现场采取增加机械配置(配双班),增加机械维修、保障人员的方式解决。

5 结束语

高温隧道施工作业空间狭窄,给隧道掘进方式、通风降温、施工组织、后勤保障都带来了难题。随着基础建设向高原复杂山区发展,将不可避免地遇到高地温隧道(如川藏铁路可能遇到超过100℃高地温)。缺氧及高地温因素的耦合影响,给隧道施工设备选型、爆破器材与爆破方案、施工降温措施、施工组织、医疗保障等提出新的课题。本文为解决高原、高温隧道施工难题提出了一些可行措施以供参考。但各类热源对隧道内温度场的影响、隧道内“热力”交换^[5]、机械制冷降温、隧道隔热、高地温对混凝土、防水板等结构材料的影响,以及地热在运营阶段对设备和人员的影响程度等课题,仍有待进一步研究。

参考文献:

- [1] GB 6722-2014 爆破安全规程[S].
GB 6722-2014 Blasting Safety Regulations [S].
- [2] 王旭光. 爆破手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
WANG Xuguang. Blasting Manual [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011.
- [3] TZ 204-2008 铁路隧道施工技术指南[S].
TZ 204-2008 Guidelines for Construction Tehnology of Railway Tunnel Engineerin[S].
- [4] 杨长顺. 高地温隧道综合施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2010, 27(10): 39-46.
YANG Changshun. On Comprehensive Construction Technology of High Ground Temperature Tunnel [J]. Railway Construction Technology, 2010, 27(10): 39-46.
- [5] 杨平平. 高地温隧道温度场分布规律研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2014.
YANG Pingping. Study of Distributions of Temperature Field in High Ground Temperature Tunnel [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2014.

(编辑:赵立红 白雪)