

特殊装药结构在风火山冻土隧道光面爆破中的应用研究*

梁为民

杨小林 褚怀保 余永强

总参工程兵科研三所(河南洛阳,471000)

河南理工大学土木工程学院(河南焦作,454000)

[摘要] 针对青藏铁路风火山冻土隧道地质条件和气候条件特殊,隧道内气温高于围岩温度容易引起隧道围岩融塌的问题,分析了引起隧道工作面温度升高的原因,提出了一种盐水-空气复合不耦合装药结构,并进行了理论研究和模拟试验研究。结果表明,该装药结构既能降低隧道工作面的温度,也能减少爆破对隧道围岩的损伤,隧道现场周边眼应用爆破效果明显。

[关键词] 隧道 冻土热平衡 不耦合装药结构 围岩损伤

[分类号] TD235

1 引言

青藏地区是世界的屋脊,青藏铁路格萨段建设面临着常年冻土区铁路施工的世界性难题。关于多年冻土以及冻土、冻岩的爆破工程技术问题,国内外进行了长期的研究^[1]。青藏高原风火山隧道是海拔最高的隧道,高原特有的气候特征决定了隧道施工和维护的难度^[2~4]。由于隧道的施工破坏山体的自然结构,破坏冻土原有的热平衡稳定状态,从而引发特殊的工程问题,如热融、融沉和滑塌等。在冻土隧道施工过程中,各种影响因素导致隧道内的温度升高,改变冻土层的边界条件,将导致隧道冻融圈范围发生变化,容易引发热融滑塌等特殊的工程灾害,对后期隧道的衬砌和安全施工等产生不良影响。特别是在爆破开挖中由于炸药爆炸产生大量高温高压的爆生气体,且在隧道内有一定的滞留期,对隧道内温度的影响极大。本文提出一种新型装药结构,在隧道光面爆破周边眼中应用,进行了理论和试验研究,旨在降低爆生气体温度并保护冻土围岩。

2 影响冻土(岩)热平衡的热源分析及复合不耦合装药结构形式

2.1 影响冻土(岩)热平衡的热源分析

风火山隧道处于常年冻土地带,外界的干扰会影响冻土的热平衡。在冻土隧道施工中,外部热源来自以下几个方面:

(1)隧道采用钻爆法施工,炸药爆炸后产生高温、高压的爆生气体,巨大的热能是影响冻岩热平衡关系的热源;

(2)风动凿岩机、装载机、电动机车等施工机械设备的正常运转产生的热源;

(3)施工人员在隧道内的活动热源,照明光源;

(4)夏季施工通风造成的热源等。

从以上热源分析,第(2)、(3)、(4)项是隧道施工必需的工序和要求,是不可避免的热源,要减少热源对隧道冻土(岩)的热平衡的影响,只能从钻爆施工环节来寻求,采取合理的装药结构和技术措施,尽可能降低爆生气体的温度。

2.2 复合不耦合装药结构形式

NaCl 作为消焰剂是煤矿安全许用炸药的主要成分之一,其目的就是降低爆生气体的爆温。煤矿由于其瓦斯爆炸的危险存在,消焰降温就成为煤矿爆破的主要措施。基于这一客观现象,设计了NaCl水溶液-空气复合不耦合装药结构。该装药结构以炸药为中心,外部包裹有盐水溶液,并且药卷和外层盐水溶液直径小于炮孔直径,整个炮孔为不耦合装药结构。其结构形式见图1。

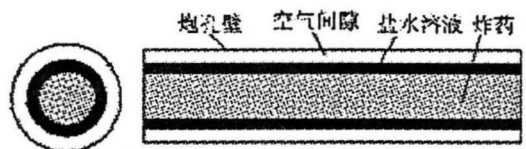


图1 复合不耦合装药结构纵横剖面示意图

3 新型装药结构降温理论分析和试验研究

3.1 新型装药结构爆炸过程降温理论分析

炸药爆炸是瞬间完成的化学反应,包含了炸药爆炸的两种效应,一是能量的释放,二是粒子数改变而引起的总分子数变化。在爆炸过程中释放出的化学键能与增加的粒子数,转变为流体(爆生气体)的

* 基金项目:河南省杰出青年基金(0312000500),河南省教育厅科技攻关基金(200510460005)。

热能与动能。

炸药的爆温与炸药的爆热密切相关,采用卡斯特法,在假定条件下,计算公式如下:

$$T = \frac{Q_V}{c_V} = \frac{Q_V}{\sum c_{Vj} n_j} \quad (1)$$

式中 T —— 爆温, $^{\circ}\text{C}$;

Q_V —— 爆热, J/mol 或 J/kg ;

\bar{c}_V —— $0 \sim T^{\circ}\text{C}$ 范围内全部爆炸产物的平均质量热容, $\text{J}/(\text{mol} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 或 $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

c_{Vj}, n_j —— 分别为爆炸产物 j 类产物的质量定容热容和摩尔数。

通常,炸药爆炸产物的质量定容和温度的关系表达如下:

$$c_{Vj} = a_j + b_j T + c_j T^2 + \dots \quad (2)$$

近似计算时取前两项,即

$$c_{Vj} = a_j + b_j T \quad (3)$$

式中 a_j, b_j —— 与爆炸产物及其分子数有关的系数。

令 $A = \sum n_j a_j, B = \sum n_j b_j$, 则式(1)为

$$T = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4000 B Q_V}}{2B} \quad (4)$$

计算无水爆炸和盐水爆炸后的爆温分别为 2895°C 和 1524°C 。根据计算表明在爆轰反应过程中, NaCl 参与反应可以明显降低爆温。

下面从微观角度分析。对于相同温度、压力下处在不同相态的同种物质,由于分子的动能不同,尤其是分子间的势能差异很大,内能 U 和 H 都不相同,所以相变过程必然伴随内能 U 和 H 的变化。

汽化热是表征单位质量的某种液体在一定温度下完全变成同温度的气态所需要的热量。表达式为

$$L = (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1) \quad (5)$$

式中 L —— 汽化热;

U_1, U_2 —— 分别为液相和气相单位质量的内能;

V_1, V_2 —— 分别为液相和气相单位质量的体积;

p —— 液面外部空间的压强。

从微观上看,汽化就是液体中动能较大的分子克服液体表面分子的引力而逸出液面的过程。当盐水溶液接触高温高压爆生气体发生汽化时,一方面分子离开液面时要克服液体分子的引力而做功,另一方面液体转化为气体时,体积增大,反抗外界压力做功,汽化过程吸收爆热,客观起到降低爆温的目的。

因此,新型装药结构在炸药爆炸瞬间能够降低爆温有两个原因,一是 NaCl 直接在炸药爆轰反应

过程参与反应,降低爆温;二是由于炸药爆炸生成高温高压的爆生气体,使部分盐水溶液吸收大量热能发生相变汽化,从而降低爆温。

3.2 新型装药结构爆炸过程降温试验

NaCl 水溶液降低爆生气体温度试验研究,主要测定炸药爆炸的爆生气体温度和盐水溶液包围情况下的炸药爆炸爆生气体温度,进行比较分析。

试验在爆破硐室里进行,炸药选用 2# 岩石铵梯炸药,药量为 50 g ,起爆药采用 RDX (黑索今) 5 g ,引火药头引爆。爆生气体温度的测定采用 FLUKE 系列 Thermometer 测温仪,测量精度高,可以达到 0.1°C ,响应速度快,可以进行两个通道实时测量和记录温度变化,温度传感器距离药包中心 50 cm 。试验结果见图 2。

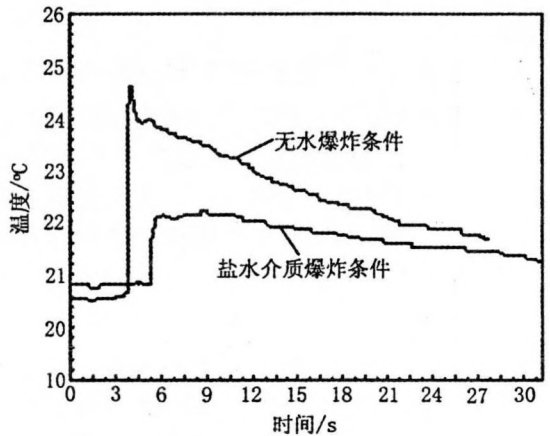


图 2 装药在无水 and 盐水介质包围条件下爆生气体温度变化曲线

根据试验结果,可以清楚地看到在没有盐水介质包围情形下炸药爆炸后,传感器测定爆生气体扩散升温达 4.3°C ,在盐水介质包围情形下炸药爆炸后,传感器测定爆生气体扩散升温仅仅 1.3°C 。不难发现,盐水介质对爆生气体的降温效果高达 70% ,降温效果十分显著。

4 新型装药结构爆破损伤分析

在隧道爆破施工中,炸药爆炸能量会对围岩产生严重损伤^[5],其危害结果是对后续工序支护质量以及隧道后期维护有长远的影响。混凝土试块模型尺寸为 $400\text{mm} \times 400\text{mm} \times 270\text{mm}$,在浇注试块时预留 3 个炮孔,孔径为 12 mm ,试块材料的物理力学性能参数见表 1。试验在爆破硐室进行,装药结构分别采用一般空气不耦合装药结构和复合不耦合装药结构两种形式,使用 RDX 炸药,药量 1.3 g ,不耦合系数 K 取 2.5 和 3.3 。

在爆前和爆后分别对试块在距离炮孔中心 50mm 、 100mm 、 150mm 和 200mm 的位置进行超

表1 试块材料的物理力学性能参数

配比	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	抗压强 度/MPa	抗拉强 度/MPa	泊松比	弹性模 量/GPa
1:2: 0.5	2800	13.5	1.3	0.25	20

声波纵波速度测定,按式(6)计算损伤变量 D :

$$D=1-\left(\frac{C_{后}}{C_{前}}\right) \quad (6)$$

式中 D —— 损伤变量;

$C_{前}$ 、 $C_{后}$ —— 爆前、爆后试块的纵波速度。

图3为两种装药结构不耦合系数2.5时距炮孔不同距离的损伤变量 D 的变化规律。从图3可以明显看出爆破对围岩的损伤情形,复合不耦合装药结构显著优于一般空气不耦合装药结构,在炮孔爆炸近区效果尤其突出。

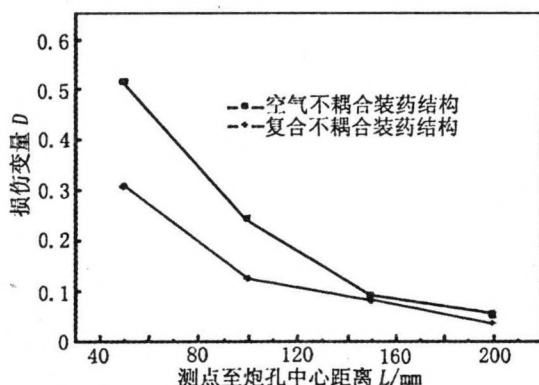


图3 不同装药结构损伤变量随距离变化规律

该复合装药结构在现场应用爆破效果明显,工作面爆生气体温度较普通不耦合装药结构低3~4℃。图4为现场周边光面爆破所留炮孔眼痕照片。

5 结语

风火山隧道的光面爆破作为冻土爆破技术的子课题研究分析了影响冻土的热平衡的外部热源,指出爆生气体是主要影响热源之一;理论上研究了

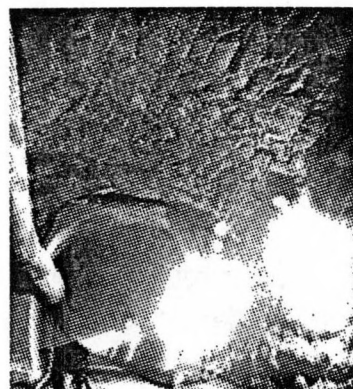


图4 周边眼光面爆破照片

NaCl 盐水对爆生气体的降温可行性;完成了 NaCl 盐水对爆生气体的降温试验。研究表明,盐水介质对爆生气体的降温效果高达70%,降温效果十分显著;首次采用了 NaCl 盐水炮泥封堵炮孔的技术措施,达到降低工作面温度和有效降尘的目的;在实验室对复合不耦合装药结构进行了爆破损伤模拟试验,表明采用该种装药结构可以有效降低爆破对围岩的损伤,为隧道后续支护和维护有重要意义。

本文得到北京交通大学王梦恕院士、谭忠盛博士和中铁20局况成明指挥长和任少强总工的大力支持,在此表示感谢。

参考文献

- 1 H. A. 崔托维奇著,张长庆,朱元林译. 冻土力学[M]. 北京:科学出版社,1985
- 2 顾毅成,冯叔瑜. 高原冻土地地区路堑爆破开挖施工的基本原则[J]. 中国铁道科学,2001,22(6):95~99
- 3 杨年华. 冻土爆破的实践与认识[J]. 铁道工程学报 2000,68(4):95~97
- 4 何广沂. 青藏高原多年冻土地带爆破研究[J]. 中国工程科学,2001,3(6):57~64
- 5 杨小林,王梦恕,王树仁. 爆破对岩体基本质量影响及试验研究[J]. 岩土工程学报,2000,22(4):461~464

Study on a New Compound Decoupling Charge of Smooth Blasting in the Fenghuoshan Tunnel

Liang Weimin

The Third engineer Institute of the Headquarters of the General Staff(Henan LuoYang,471000)

Yang Xiaolin, Chu Huaibao, Yu Yongqiang

College of Civil Engineering, Henan Polytechnic University (Henan Jiaozuo,454000)

[ABSTRACT] Due to specific geological and climate condition of the Fenghuoshan Tunnel in Qingzang railway, the wall-rock is easily collapsed since the gas temperature is higher than the wall-rock temperature in tunnel. In this paper, a new compound decoupling charge (NaCl water and gas) was proposed after analyzing the cause of creating higher temperature at the working face. The new compound decoupling charge has been researched by theory and tested in the laboratory. Results indicate that the charge not only reduces the work face temperature, but also decreases the wall-rock damage. The blasting result is very dramatic after using the charge in the field.

[KEY WORDS] tunnel, thermal balance of frozen soil, decoupling charge, wall damage