

冻土隧道复合不耦合装药结构液体介质的选择^①

褚怀保, 杨小林, 梁为民, 余永强, 黄小广
(河南理工大学, 河南 焦作 454003)

摘要: 为减小冻土隧道爆破开挖过程引发的特殊工程灾害, 采用一种复合不耦合装药结构, 即在普通不耦合装药药包周围包裹一层液体介质(水或盐水)。试验结果证明, 复合不耦合装药结构可以降低工作面温度和减小对周围保留冻土爆破振动的损伤。

关键词: 冻土隧道; 复合不耦合装药结构; 液体介质

中图分类号: TD235 文献标识码: A 文章编号: 0253-6099(2007)01-0005-04

Choose of Liquid Medium for Compound Non-coupling Charging for Frozen Soil Tunnel

CHU Huai-bao, YANG Xiao-lin, LIANG Wei-min, YU Yong-qiang, HUANG Xiao-guang
(College of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China)

Abstract: In order to reduce the geological problems and engineering calamities that appeared during the course of blowing up and excavating frozen tunnels, a compound non-coupling charging structure was adopted, that is, the common non-coupling blasting charge is enwrapped by liquid medium (water or salt water). The test results have proved that the compound non-coupling charging structure can reduce the temperature of the working face and the blasting vibration damage on the reserved frozen soil.

Key words: frozen soil tunnel; compound non-coupling charging; liquid medium

随着国家西部大开发战略部署的实施和寒区经济的发展, 开发利用国土资源, 实现可持续发展必将在寒区进行工程建设, 尤其是青藏铁路的建设^[1-2], 冻土爆破开挖必不可少, 由于冻土特殊的物理工程力学性质, 爆破开挖时产生的大量高温爆生气体和爆破振动极易影响冻土原有的水热平衡状态, 引发热融泥流、滑塌和回淤回冻等特殊的工程灾害, 作者提出一种复合不耦合装药结构——在药卷周围包裹一层液体介质的不耦合装药结构, 如图 1 所示, 以求达到降低工作面温度和减小对周围保留岩体振动损伤的目的。

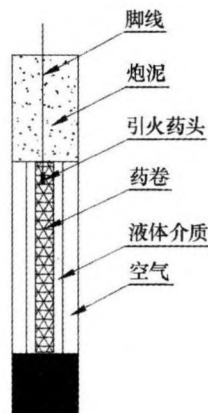


图 1 装药结构

1 液体介质的选择

提出这种复合不耦合装药结构的主要目的是为了在保证爆破效果的同时降低爆生气体的温度和减小爆破对周围隧道的震动损伤, 所以在选取液体介质要从这 3 个方面来综合考虑。① 要降低爆生气体温度就要选用比热容和汽化热较大的液体介质, 以求最大限度地吸收爆生气体的热量, 但同时要考虑液体介质

的加入对冻土物理热学性质的影响。② 要达到减小震动损伤的目的就要调整液体介质的加入量, 调节爆炸能中爆生气体和爆炸应力波的能量分配比例, 使之适应不同岩石所需的能量形式分配, 达到减小振动损伤的目的。③ 在保证前两个效果的同时要保证工程

① 收稿日期: 2006-10-28

基金项目: 河南省杰出青年基金资助(0312000500); 河南教育厅科技攻关基金资助(200510460005)
作者简介: 褚怀保(1978-), 男, 河南南阳人, 硕士, 讲师, 主要从事爆破隧道工程方面教学科研工作。

需要的爆破效果,加入液体介质吸收爆生气体的热量后总的爆炸能降低,要保证爆破效果就要改变不耦合系数,提高爆炸能的有效利用率。本文在参考大量参考文献后提出了2种液体介质——水和盐水(NaCl溶液)。

1.1 水介质

选用水介质主要是因为其特殊的分子结构,致使其比热比一般的固体或液体都大,可以达到较好的降温效果。在常温下水的比热是 $4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$,比一般固体或液体的比热都大^[3]。

1.2 盐水(NaCl溶液)介质

选用盐水介质有3个原因:①因为其本身特殊的物质性质^[4],NaCl是钠、钾等一些可溶性盐中溶解性最好的,且NaCl的溶解性随温度变化不大,这是常见盐中溶解性较特殊的,同时NaCl比热值也较大。②因为NaCl是一种惰性物质,能阻断爆炸反应产物的自由基反应。自由基^[5]就是含有未成对价电子的原子或原子集团,它是一种高度活泼的化学形态,能与其它自由基和分子反应,氧气分子是最常见的一种自由基,但自由基容易被抑制剂截止,从而阻止由自由基引发的链式反应。炸药被引爆后其分子链断裂,也就是分子链中的共价键断裂,从而产生大量的自由基,自由基被NaCl截止而阻断爆炸反应产物的自由基反应,减少爆热的生成。③因为盐水的加入会影响冻土的物理热学性质^[6],使冻土的比热增大,导温和导热系数减小。影响冻土热学性质的因素很多,其中最主要的因素是土质因素。土质因素中又以矿物骨架、结构构造、总含水量、含盐量及其成分为主。事实上冻土作为一个相组成处于动态平衡的体系,水冰含量比值的改变和结构构造的变化都将敏感的作用于冻土的基本热物理性质,而含盐量及成分是影响冻土中水、冰平衡及结构构造形成与演化的重要因素。由于冻土的比热具有按各物质成分的质量加权平均的性质,在冻土含水量及温度一定时,由于盐的加入,会引起未冻水含量的增大,相应含冰量减小,而水的比热大于冰的比热,且NaCl的比热值高达 $0.852 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$,高于土骨架的比热,所以势必造成冻土比热随着盐的加入而增大的现象。而冻土导温系数与导热系数及容积热容量之间存在下列的关系:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v} \quad (1)$$

式中 α 为冻土导温系数, m^2/s ; λ 为冻土的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; C_v 为冻土的容积热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

从式(1)可以看出,在干容重一定的情况下,影响导热系数 λ 及比热 C_v 的所有因素也就是影响导温系

数 α 的因素,随着含盐量的加入导热系数减小,导温系数也减小,而比热增大。冻土的导热系数和导温系数减小以及比热的增大都可以相应减小冻土受温度变化的影响,保持冻土的热稳定平衡。

2 试验结果

试验分空爆、水爆和盐水爆3组进行,通过改变不耦合系数、加入液体质量和装药量来对比降温和减小振动损伤的效果。

2.1 温度测试结果

在进行降温试验中使用FLUCK温度数据采集仪,采集到空爆、水爆和盐水爆温度随时间的变化曲线图,并改变加入水和盐水量对箱体内最高温度进行对比(为了便于比较,人为地把每次试验时的室内温度值改为同一值 $21.2 \text{ }^\circ\text{C}$,同时相应修改最高温度值,然后用EXCEL对测得的温度数值处理做出温度变化曲线进行结果对比),如图2和图3所示。

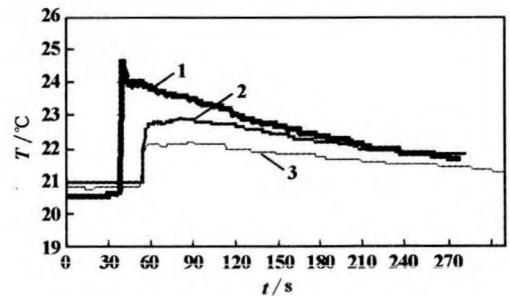


图2 温度随时间变化曲线对比

1——空爆;2——水爆;3——盐水爆

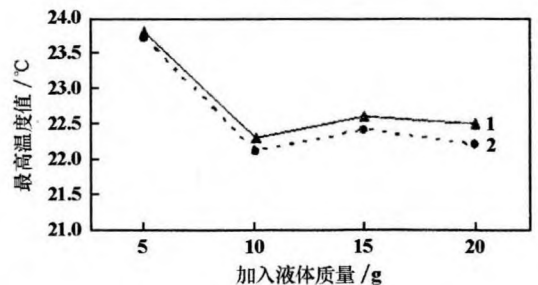


图3 最高温度对比

1——水爆;2——盐水爆

2.2 损伤参量D测试结果

试验分空爆、水爆和盐水爆3组,用便携式数据采集仪进行超声波波速的测试,测点距离炮孔中心分别为50,100,150 mm和200 mm,并由公式 $D = 1 - \left(\frac{C_{后}^2}{C_{前}^2}\right)$ (式中 $C_{前}$ 和 $C_{后}$ 分别为试块爆破前后的超声波速度)计算损伤参量D,并观察试验爆破效果。通过

计算损伤参量,对3种情况的损伤参量进行对比,做出对比图形如图4。

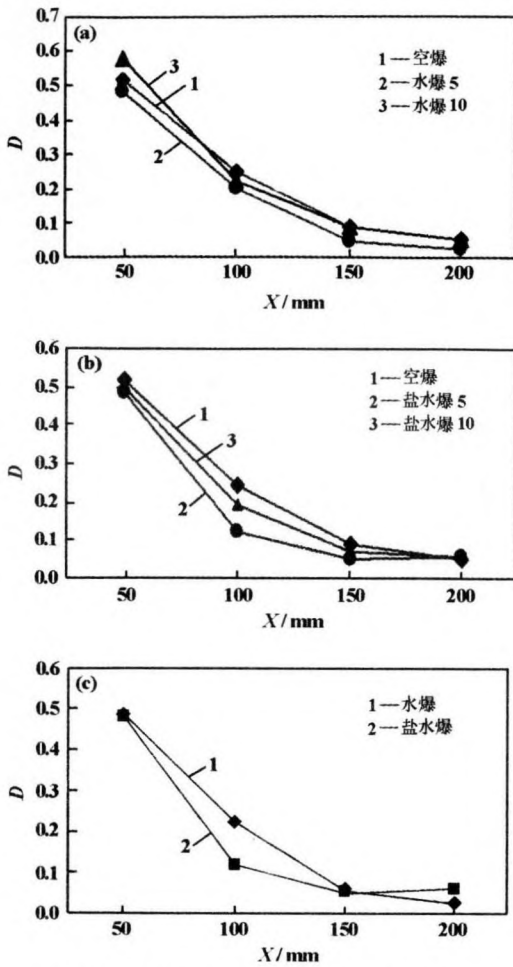


图4 3种试验方案中损伤参量 D 对比

(a) 空爆和水爆对比;(b) 空爆和盐水爆对比;

(c) 水爆和盐水爆时 D 对比

2.3 试验结果分析

从温度和损伤参量 D 的测试结果来看,在相同不耦合系数时加入盐水和水以后爆生气体的温度和爆破对保留岩体的振动损伤都可以明显的降低,能够起到降温 and 减小振动损伤的目的;通过改变不耦合系数可以调节这种复合不耦合装药结构的降温和减振效果。

3 风火山冻土隧道爆破开挖中的应用

青藏铁路风火山隧道地处青藏高原腹地,全长 1 338 m,隧道内轨顶面设计高程 4 889.67 ~ 4 905.40 m,为高原冻土区隧道,隧道最大埋深约 100 m。隧道穿越冻土层,改变了冻土层的边界条件,隧道周围处于多年冻结状态的围岩就要发生融化,形成冻融圈,同时在采用爆破开挖时高温爆生气体在隧道内滞留以及爆破振动都影响周围冻土的水热平衡,使冻融圈发生变

化对后期的衬砌施工带来极大的影响。在施工过程中,运用了复合不耦合装药结构进行实践的检验并和普通装药结构效果进行对比,图5为青藏铁路烽火山隧道光面爆破效果图。



图5 周边眼光面爆破照片

在采用普通的不耦合装药结构时,隧道施工过程中,由于冻土围岩界面上的热交换产生的融化圈一般在 2 ~ 4 m,采用复合不耦合装药结构后隧道衬砌周围的融化圈明显减小,通过计算机模拟分析表明,建成 5 ~ 6 年后的最大融化深度为 0.5 m 左右。且工作面温度变化幅度明显减小,大大降低了热融泥流、滑塌和回淤回冻等地质灾害的发生率,充分发挥了冻土的自承能力,保证施工的安全快速进行,保持了围岩的稳定性,增强了围岩的自承能力,节约了衬砌材料,最终降低了工程成本。

4 结 语

1) 复合不耦合装药结构可以达到降低工作面最高温度和温度变化幅度的效果。一般情况下比热容和汽化热大的液体介质降温效果较好。炸药量和不耦合系数一定时液体介质的加入量存在一个最佳值。

2) 复合不耦合装药结构可以改变爆生气体和爆炸应力波的能量分配,调整两者的作用强度,从而达到减小对保留岩体的振动损伤。

3) 通过风火山冻土隧道爆破开挖中的现场应用,实现了降低工作面温度减小隧道周围冻融圈和减小对周围保留岩体振动损伤的目的,可以推广应用到现场中去。

4) 本次试验在很大的程度上只是做了定性的研究,没有建立具体参量(药量,不耦合系数,液体量和工作面最高温度,温度变化幅度之间量的关系)之间的对应关系。需要进一步进行试验研究对这些量进行关系量化。同时也需要研制更简易的装药外壳以适应实践工程的应用。

参考文献:

- [1] 顾毅成,冯叔瑜.高原冻土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.
- [2] 傅洪贤,冯叔瑜,张志毅.青藏铁路冻土开挖爆破参数的研究[J].工程爆破,2004,10(1):5-9.

- [3] 冯玉广.水的比热为什么大[J].物理教师,1994(2):8.
- [4] 北京师范大学无机化学教研室编.无机化学[M].北京,高等教育出版社,2003.
- [5] 文耀智.论自由基反应及其影响因素[J].邵阳师范高等专科学校学报,2001,23(2):42-48.
- [6] 张立新.氯化钠的掺入对冻土基本热学性质的影响[J].冰川冻土,1995,17(1):49-53.

(上接第4页)

3) 在较大动荷载作用下,即使在振动压力幅值作用时,动力荷载对填石料的影响范围也不大,其表明当动力荷载作用时,振动能量在填石料内部的衰减较快,填石料具有较大的阻尼系数。

4) 在动荷载作用下,填石料的应力应变关系表现出应变硬化的特性。当变形达到一定量时,即填石料达到一定压实度时,能抵抗较大动力荷载的作用,且压实度越大抵抗动荷载的能力越强。因此,保证填石路堤的压实度非常必要。

参考文献:

- [1] 刘江波.填石路堤沉降分析与质量控制方法研究[D].长沙:湖南大学,2006.
- [2] 李夕兵,古德生,陈寿如.应力波作用下散体岩料的密实与能量耗损[J].中南矿冶学院学报,1994,10(5):570-574.

- [3] 马松林,王龙,王哲人,等.土石混合料的室内振动压实特性[J].公路,2000,5(5):67-70.
- [4] JTJ 05-93.公路土工试验规程[S].
- [5] 刘汉龙,秦红玉,高玉峰,等.堆石粗粒料颗粒破碎试验研究[J].岩土力学,2005,26(4):562-566.
- [6] 田头秀和.有特殊分区的堆石坝弹塑性动态分析[J].水利水电快报,1998,11(6):5-9.
- [7] 何蕴龙,陆述远,段亚辉.重力坝地震动力响应分析[J].世界地震工程,1998,3(9):32-36.
- [8] 刘松涛,于丙子.丹江口工程左岸连接坝段三维动力响应分析[J].人民长江,1994,5(5):1-6.
- [9] 吴世明.土动力学[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [10] 刘保健,谢定义.随机荷载下土动力特性测试分析法[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [11] Shokouhi P, Gucunski N. Dynamic signatures of cavities and buried objects obtained from surface wave testing[J]. Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 2005, 133(1):221-226.

《矿冶工程》杂志 2007 年征订启事

《矿冶工程》(双月刊)由中国金属学会、长沙矿冶研究院主办,面向国内外公开发行人。本刊是中国期刊方阵“双效期刊”、全国中文核心期刊、《中国科学引文数据库》及《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊、省部优秀科技期刊,是集学术性和技术性于一体的综合性刊物,已被《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据库、重庆维普资讯全文收录,是EI、CA等检索刊物的检索对象。

《矿冶工程》读者对象是采矿、选矿、冶金、材料、地质、煤炭、化工、建材等系统的有关生产、设计及科研人员、院校师生和生产技术管理人员。主要栏目为专家访谈、综合评述、采矿、选矿、冶金、材料、经验交流、技术革新、企业管理等,内容新颖,是开拓、激发创造力的良师益友。

《矿冶工程》编辑部承接彩色、黑白及文字广告业务,欢迎各企事业单位来电来函联络。

《矿冶工程》真诚欢迎新、老订户向全国各地邮局订阅本刊,也可直接向编辑部订阅。邮发代号:42-58,大16K,定价10元,全年60元。

本刊地址:(410012)湖南省长沙市麓山南路966号《矿冶工程》编辑部

联系人:梁祝平

电话:(0731)8657070

传真:(0731)8657186

E-mail: KYGC@public.cs.hn.cn