

带有轴向金属电极的烟火电流发生器放电性能研究

赵林双, 杜志明, 韩世贤, 丛晓民, 赵保国

北京理工大学; 爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081

摘要 随着烟火学研究的进步, 烟火器材的发展也进入了新的领域, 烟火电流发生器是一种将烟火装置的化学能转变为电能的新型烟火器材。本文介绍了装药为碳化锆和硝酸钠的带有铜轴向电极的烟火电流发生器放电性能实验, 测试了输出电压随时间的变化情况。通过对实验现象和所记录数据的分析, 得到了药柱直径、氧化剂硝酸钠含量等因素对烟火电流发生器放电性能的影响规律。从理论上阐述了烟火药剂燃烧产生电效应的电化学理论基础, 在此基础上对烟火药剂燃烧时产生电效应的机制进行了初步的分析。烟火电流发生器电动势值为累积大小, 其形成过程是燃烧的烟火装药冷却阶段不同区域的各个电流形成过程的累加, 烟火药剂燃烧产生电动势的规律符合熔盐电化学原理。

关键词 电化学; 烟火电流发生器; 烟火装置

中图分类号 TJ53

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)17-0061-04

Pyrotechnic Current Generator with Axial Metal Electrode

ZHAO Linshuang, DU Zhiming, HAN Shixian,
CONG Xiaomin, ZHAO Baoguo

*State Key Laboratory of Explosion Science and Technology;
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*

Abstract An intelligent bus dispatching system can better meet people's travel needs. The optimized algorithm takes advantage of advanced technology and equipments. However, in recent years the development of Chinese intelligent bus dispatching systems is not satisfactory with an excessive attention to advanced technology but less to practicality. Dynamic scheduling has yet to be fully exploited. In this paper, intelligent transportation scheduling systems and scheduling characteristics are analyzed. The information about dynamic transportation and vehicle locations is acquired and merged. An optimization model for intelligent dispatching of buses is proposed on basis of real data. This model is under the support of GPS positioning, communications, computers and other technologies, where intelligent algorithms are used in bus

operation and dispatching and both passengers satisfaction and company profit are considered. The method of collecting data automatically and the algorithm of this model are presented. This model is shown to be able to significantly improve the rate of bus full loading, shorten the waiting time of passengers, and reduce the total vehicle trips, with an evident effect of optimized dispatching.

Keywords electrochemistry; pyrotechnics current generator; pyrotechnical device

0 引言

烟火器材在军用、民用领域中占有重要地位, 具有多种功能用途。随着航天技术、安全工程的发展, 烟火学的进步, 烟火器材进入自动控制领域, 成为一类新的独特的自控器材。自控用烟火器材的基础元件就是烟火电流发生器^[1]。在已知的烟火器材中, 烟火装置几乎都是作为热源使用, 本文所要介绍的烟火电流发生器是一种将烟火药燃烧过程中的化学能直接转化为电能的新型烟火装置。

众所周知, 烟火药混合物的燃烧是物理-化学变化的总和, 同时伴随着一些组分的氧化和另一些组分的还原。由于烟火混合物的多相性, 单元的化学反应发生在不同相之间的边界部分。这些相可能具有某种导电性, 如金属具有电子导电性, 熔融的无机盐具有离子导电性^[2]。而金属(或其他导电

收稿日期: 2009-05-18

作者简介: 赵林双, 博士后, 研究方向为烟火技术, 电子信箱: zhaolinshuang@sohu.com; 杜志明(通信作者), 教授, 研究方向为烟火技术、含能材料, 电子信箱: duzhiming430@sohu.com

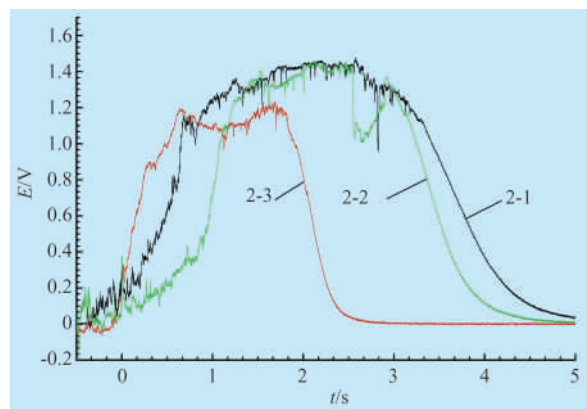


图3 2号配方实验曲线

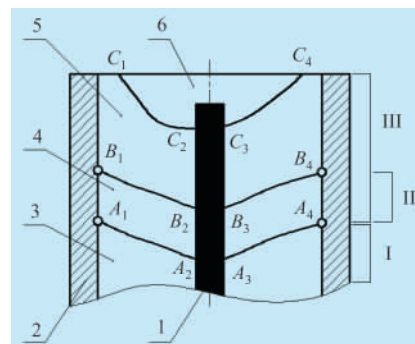
Fig. 3 Testing curve of 2[#] pyrotechnic agent compound

对比表2、表3可知,带金属轴向电极的烟火电流发生器的装药直径对装置的放电性能有一定的影响。随着药柱直径的加大,测得的峰值电压略有上升,电信号时长也有所增加。分析其原因是药柱直径的增加导致电流发生器阴极的工作表面积显著增大,内阻有所下降,使得电流发生器的外电动势相应地增加。此外,增加氧化剂硝酸钠含量,可使电流发生器的外电动势有较明显的加大。这是由于阴极发生的还原反应主要是氧化剂中硝酸根离子的还原,随着硝酸钠的增加,熔盐中硝酸根离子浓度也相应加大,熔盐的离子导电性加强,内阻随之减少,导致外电动势明显增加。

从图2、图3可以看出,电信号产生初期外电动势曲线所受干扰较大。这是因为点火药的干扰及药柱燃烧初始阶段不是很稳定造成的。另外每条曲线在其放电平台期时都有较明显的波动,这主要因为烟火药燃烧产生大量气体,气体从熔盐中排出时会使熔盐的电阻发生变化,导致曲线的波动,此外烟火药燃烧的不稳定也是其中的原因之一。

2 碳化锆与硝酸钠混合物燃烧的电化学机制模型

烟火药的燃烧反应发生在直接靠近火焰面的一层极薄的药剂内。燃烧时需经过蒸发、升华、热分解、预混合和扩散等中间阶段才能转变成燃烧的最终产物。烟火药点火后,从低熔点成分开始熔融、混合物燃烧直至熔融物完全破坏的各个阶段都存在不同类型的电化学过程。烟火电流发生器的放电过程是发生在燃烧的烟火药冷却阶段的反应区,这一点可以从实验中得到证实,烟火电流发生器放出电信号的时间明显比燃烧时间要长。研究带有轴向电极的烟火电流发生器电流形成过程的机制,实验所得电动势值为累积大小,其形成过程,是局限在燃烧的烟火装药冷却阶段不同区域的各个电流形成过程的累加。下面以碳化锆和硝酸钠混合物装药的烟火电流发生器为例,分析电效应产生的机制,见图4。图中等温线 $A_1A_2A_3A_4$ 为 NaNO_3 熔化温度(308°C); $B_1B_2B_3B_4$ 为混合物自发火温度(440°C); $C_1C_2C_3C_4$ 为熔融物完全破坏温度(约 1100°C)。



1—电极;2—壳体;3—装药;4— NaNO_3 熔化区;5—熔融直至破坏的高温区;6—带有气体的燃烧产物

图4 ZrC-NaNO_3 装药在燃烧时电动势产生的机制模型

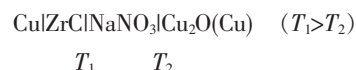
Fig. 4 Principle model of ZrC-NaNO_3 combustion to generate electromotive force

由碳化锆和硝酸钠组成的烟火混合物燃烧时形成的总电动势,是下列不同组成部分的综合(图4)。

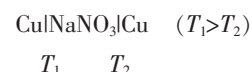
在烟火药未燃烧的区域(图4区域I),由于碳化锆和轴向电极、碳化锆和壳体之间的接触温差产生了温差电动势。由于碳化物组分的传导性,可以认为温差电动势的大小由燃料和电极材料的热电性质决定。实验表明,温差电动势的大小不超过 100 mV 。只有当燃料与壳体与电极接触,温度达到氧化剂熔化时,才会有温差电动势存在。温差电动势的方向与对形成总电动势做出主要贡献的电化学势方向相反。

在熔融区(硝酸盐熔融温度与混合物自发火温度之间,图4区域II),其温度比壳体热,中心电极在碳化锆、铜和硝酸盐3个接触区域有氧化反应,碳化锆被氧化的速度显著高于铜被氧化的速度;在碳化锆和铜的接触被破坏之前(即燃料微粒被熔融物覆盖前),碳化锆的电势被强加于电极;在区域II内,一部分碳化锆颗粒和电极之间的接触会随着反应的进行发生破坏,在 440°C 时混合物自发火,碳化物和电极之间的接触被完全破坏。

在相对温度较低的外壳部分,阳极(氧化)过程进行速度相对较慢,这为阴极硝酸离子的还原提供了比较有利的条件。于是,在熔融区进行的电化学单元反应有如下形式:



在图4所示的区域III内,在碳化锆和铜的接触被破坏时产生了电化学单元,其由两个不同温度的铜电极,和以硝酸钠为电解液组成的。在相对温度较高的电极上进行氧化,在较低的壳体上进行还原,在这个电化学系统中电势形成过程是铜的氧化(阳极)和硝酸离子的还原(阴极):



列举的装药中的电动势是同时起作用 and 并联的。实验中记录的电动势是它们的总和及未烧尽导电装药部分的并联。

3 结论

本文通过理论分析和实验测试相结合的方法,对烟火药剂燃烧过程中的电效应进行了初步研究,得出以下结论。

1) 对烟火药剂燃烧反应中的电化学过程进行了讨论,设计了带有铜轴向电极的烟火电流发生器实验用样机,并以硝酸钠和碳化锆为主体成分,研制了燃烧过程中具有电效应的新的烟火药剂。

2) 带有铜轴向电极的烟火电流发生器的电动势是由烟火药燃烧时的电化学过程所决定的。其中壳体是正极,中心轴向电极是负极。其主要作用的电化学过程包括阴极硝酸根离子的还原和阳极金属铜的氧化。

3) 本文研究和设计的硝酸盐和碳化锆型烟火电流发生器的平均放电电压可达 1.4 V 左右,峰值电动势时间可持续 2~3 s。

参考文献 (References)

- [1] Demianenko D, et al. 金韶华, 田野, 松全才, 译. 烟火自动控制的新进展[J]. 含能材料, 2003, 11(2): 110-112.
Demianenko D, et al. Jin Shaohua, Tian Ye, Song Quancai, trans.

Chinese Journal of Energetic Materials, 2003, 11(2): 110-112.

- [2] Masset P, Guidotti R A. Thermal activated (thermal) battery technology Part II. Molten salt electrolytes [J]. *Journal of Power Sources*, 2007, 164 (1): 397-414.
[3] 吴辉煌. 应用电化学基础[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2006.
Wu Huihuang. Foundation of applied electrochemistry [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2006.
[4] 方国隆, 张玉花, 马季军. “神舟”号载人飞船电源分系统的研制[J]. 上海航天, 2003, 5: 11-17.
Fang Guolong, Zhang Yuhua, Ma Jijun. *Aerospace Shanghai*, 2003, 5: 11-17.
[5] 韩世贤. 烟火药剂燃烧过程中电效应的研究 [D]. 北京: 北京理工大学机电学院, 2007.
Han Shixian. Electric effect of pyrotechnic in burning process [D]. Beijing: College of Mechatronical Engineering, Beijing Institute of Technology, 2007.
[6] 张明杰. 熔盐电化学原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
Zhang Mingjie. Principle and application of molten salt electrochemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

(责任编辑 代丽)

《中国学术期刊文摘》

欢迎垂询 欢迎订阅



《中国学术期刊文摘》遴选了中国近500种高水平科技期刊为文摘收录源期刊,致力于全面、快速地向广大科技工作者交流和传播中国科学技术各领域的原创性学术成果,每期收录学术论文文摘和中国科协系统学术会议论文题录共4000余条;它是科研单位、高等院校、图书馆以及广大科技工作者了解中国科技研究成果、学术研究动向的重要参考工具书。

《中国学术期刊文摘》(半月刊)2010年定价为45.00元/册,全年定价1080.00元,邮发代号:82-707。

《中国学术期刊文摘(英文版)》遴选了近400种中国高水平科技期刊作为收录源期刊,是海外科技工作者了解中国科技发展动态、最新科研成果的重要窗口。

《中国学术期刊文摘(英文版)》(月刊),2010年定价30.00元/册,全年定价360.00元,邮发代号:80-487。

中国科协所属全国学会个人会员订刊8折优惠。

通信地址: 北京市海淀区学院南路86号
科技日报社(100081)

订刊电话: 010-62194182

传真: 010-62118198

联系人: 华起新

订刊信箱: kjdb@cast.org.cn

网站: www.csciabs.org.cn