

# 催化剂对太根发射药燃速的影响

马方生, 赵军, 堵平, 廖昕, 王泽山

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:**为探讨调节发射药燃气生成规律的途径,采用催化剂调节太根发射药的燃速,通过密闭爆发器实验测试了不同催化剂对太根发射药燃速调节的效果。结果表明,使用催化剂可以有效调节太根发射药的燃速,当测试压力为50~150 MPa时,碳酸镍可使太根发射药的燃速提高8%以上,二茂铁可使太根发射药的燃速降低10%。所研究的6种催化剂对发射药燃速压力指数的影响均小于0.02。

**关键词:**材料科学;太根发射药;催化剂;密闭爆发器;燃速

**中图分类号:**TJ55; O643.36

**文献标志码:**A

**文章编号:**1007-7812(2010)04-0063-03

## Influences of Catalysts on Burning Rate of TEGDN Propellant

MA Fang-sheng, ZHAO Jun, DU Ping, LIAO Xin, WANG Ze-shan

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** In order to discuss approaches of adjusting gas generation rules of gun propellant, catalysts are putted into TEGDN gun propellant to adjust its burning rate. The adjusting effects of different catalysts on burning rate of TEGDN gun propellant are tested by closed bomb test. The result shows that catalysts can adjust burning rate of TEGDN gun propellant effectively. Over the test pressure range from 50 MPa to 150 MPa, nickel carbonate increased burning rate of TEGDN gun propellant by more than 8%, while ferrocene decreased 10% of TEGDN propellant's burning rate. The influences of 6 catalysts researched on propellant burning rate pressure exponent are all less than 0.02.

**Key words:** material science; TEGDN gun propellant; catalyst; closed bomb; burning rate

## 引言

提高炮口动能是发射药装药研究的主要技术路线。发射药的作功过程是一个能量转换的过程,发射药有规律的燃烧生成高温、高压气体,高温高压气体作为作功介质作膨胀功,实现功能转化,将弹丸推送到目标<sup>[1-3]</sup>。因此,发射药燃气生成规律是影响其在能量释放过程中功能转化效率的重要因素,而对于一定药型的发射药其燃气生成规律由燃速及其变化规律决定,因此,研究调节发射药燃速的技术具有重要意义。李利、堵平等<sup>[4-5]</sup>利用钝感技术对发射药样品表面进行钝感处理,并对发射药的初始燃烧速度进行了调节;贺增弟、萧忠良等<sup>[6-8]</sup>对变燃速发射药进行了研究,采用物理复合的方式制备了双层单孔

结构的变燃速发射药,该发射药外层为低燃速配方、内层为高燃速配方,使用内外燃速的差异调节发射药的燃气生成规律。

通过向发射药基础配方中引入催化剂,可以在钝感技术和变燃速技术的基础上利用化学催化调节发射药的燃速及其变化规律,从而进一步优化发射药的燃气生成规律、促进发射药装药技术的发展。本实验以密闭爆发器试验为基础,对比研究不同催化剂对太根发射药燃速的调节作用。

## 1 实验

### 1.1 材料及仪器

太根药吸收药片,泸州北方化学工业公司;丙酮、乙醇,化学纯,中国医药集团上海化学试剂公司。

收稿日期:2010-03-27; 修回日期:2010-04-15

基金项目:国家“973”项目

作者简介:马方生(1972—),男,博士研究生,从事含能材料及其装药设计研究。

6 种自制催化剂:二茂铁、三氧化二钇、氢氧化镍、硝酸镍、碳酸镍和铁酸镍。

ZJB230 型油压机,天津市第二锻压机床厂;成套压药和切药模具,自制;JH2500 型捏合机,上海红星化工机械厂。

### 1.2 太根发射药的制备及性能测试

太根发射药的基础配方为以硝化棉为黏结剂,二缩三乙二醇二硝酸酯(TEGDN)为增塑剂,在基础配方的基础上分别添加不同催化剂制成待测发射药,催化剂的质量分数均为 1.0%。

太根发射药的制备工艺采用半溶剂法,主要包括吸收、压片、塑化及压伸成型,其中硝化棉与溶剂的质量比为 1:(0.24~0.27),乙醇和丙酮混合溶剂的质量比为 1:1;考虑到单孔药的燃烧较接近于恒面燃烧,选择的药型为单孔管状药。

将火药切成 40mm 的药条,进行密闭爆发器试验,装填密度分别为 0.12 和 0.20 g/cm<sup>3</sup>,点火压力为 10 MPa。

## 2 结果与分析

### 2.1 催化剂对太根发射药燃速的影响

在密闭爆发器实验中,数据采集系统所记录的是一系列等时间间隔的离散压力点。用密闭爆发器实验数据处理程序进行处理,得到  $dp/dt$ 、 $u$ 、 $B$ 、 $I$ 、 $n$

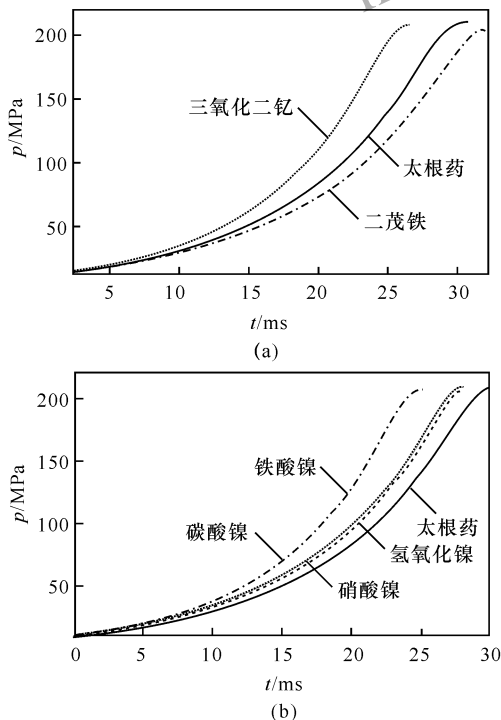


图 1 加入不同催化剂后太根发射药的  $p-t$  曲线  
Fig. 1  $p-t$  curves of TEGDN propellant after adding different catalysts

等一系列数据。其中,最重要的是燃速  $u_1$  和燃速压力指数  $n$ ,考虑到点火的同时性和药型分裂后对燃烧表面的影响,数据处理时  $\Psi$  的取值范围通常为 0.15 到压力陡度 ( $dp/dt$ ) 的最大值之间。加入不同催化剂调节太根发射药的燃速,其  $p-t$  曲线见图 1,  $u-p$  曲线见图 2。

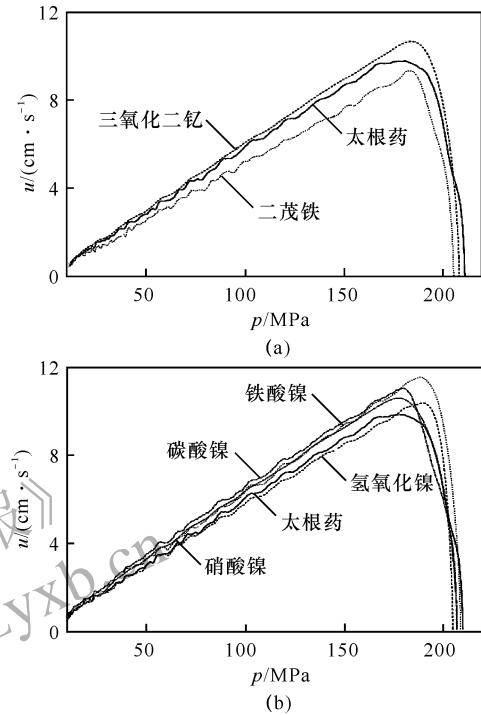


图 2 加入不同催化剂后太根发射药的  $u-p$  曲线

Fig. 2  $u-p$  curves of TEGDN propellant after adding different catalysts

图 1 表明,加入二茂铁后,太根发射药压力上升得比太根空白药慢。由于密闭爆发器实验中  $p-t$  曲线的变化是发射药的装药量、弧厚、燃速共同作用的结果,因此,  $p-t$  曲线不能比较不同发射药间燃速的大小。图 2 表明,催化剂三氧化二钇、硝酸镍、碳酸镍、铁酸镍可以提高太根发射药的燃速,二茂铁和氢氧化镍会降低发射药的燃速。其中碳酸镍对太根发射药燃速的提高最大,二茂铁对太根发射药燃速降低的程度最明显。

为研究不同压力下含催化剂的太根发射药燃速的变化,对图 2 中的  $u-p$  曲线进行了回归,计算结果如表 1 所示。

表 1 结果表明,碳酸镍可以有效提高太根发射药的燃速,50 MPa 时可以提高 19.31%,100 MPa 时可以提高 9.62%,150 MPa 时可以提高 8.60%;二茂铁可以明显降低太根发射药的燃速,50 MPa 时可以降低 10.34%,100 MPa 时可以降低 16.42%,150 MPa 时可以降低 12.16%。

表1 催化剂对太根发射药燃速的调节

Table 1 Adjusting results of catalysts on burning rate of TEGDN propellant

催化剂	$p/\text{MPa}$	$u/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$\Delta u/\%$
无	50	2.90	
无	100	6.03	
无	150	8.72	
碳酸镍	50	3.46	19.31
碳酸镍	100	6.61	9.62
碳酸镍	150	9.47	8.60
二茂铁	50	2.60	-10.34
二茂铁	100	5.24	-16.42
二茂铁	150	7.66	-12.16

将太根发射药燃烧的  $u-p$  数据取对数, 得到  $\ln u - \ln p$  曲线的斜率, 即太根发射药的燃速压力指数, 不同催化剂调节太根发射药燃速的  $\ln u - \ln p$  曲线见图3。

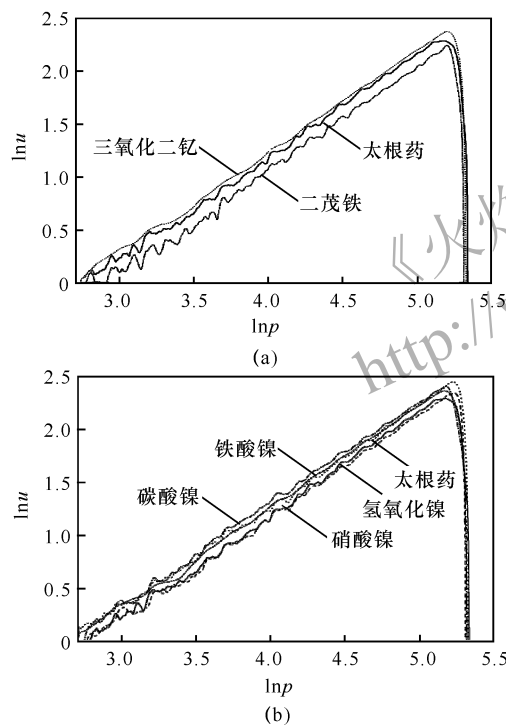
图3 加入不同催化剂后太根发射药的  $\ln u - \ln p$  曲线Fig. 3  $\ln u - \ln p$  curves of TEGDN propellant after adding different catalysts

图3显示, 6种催化剂催化太根发射药燃烧的  $\ln u - \ln p$  曲线几乎平行, 表明6种催化剂对太根发射药的燃速压力指数没有明显的改变。

## 2.2 催化剂对太根发射药燃速压力指数的影响

表2为太根发射药催化燃烧密闭爆发器的试验结果, 结果表明, 不同催化剂对太根发射药的燃速压力指数( $n$ )的影响均小于0.02。

在发射药燃烧过程中, 若在低压范围内燃速提

大幅度较大, 而在高压范围内燃速降低, 则燃速压力指数就减小; 反之, 在低压范围内燃速降低幅度大, 而在高压范围内燃速增加, 则燃速压力指数增大。本研究中, 催化剂三氧化二钇、硝酸镍、碳酸镍、铁酸镍在整个压力段能够提高太根发射药的燃速, 而二茂铁和氢氧化镍在整个压力段能够降低发射药的燃速, 所以催化剂对太根发射药燃速压力指数的影响不大。

表2 太根发射药催化燃烧密闭爆发器的试验结果

Table 2 Results of TEGDN propellant with different catalysts from closed bomb test

催化剂	$p_m/\text{MPa}$	$u_1/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-n})$	$n$
太根空白药	211.20	0.0642	0.9796
三氧化二钇	208.31	0.0679	0.9761
二茂铁	204.24	0.0625	0.9858
氢氧化镍	205.93	0.0665	0.9661
硝酸镍	209.72	0.0748	0.9604
碳酸镍	207.30	0.0665	0.9661
铁酸镍	207.64	0.0733	0.9657

注:  $u_1$  为燃速系数。

## 3 结论

(1) 在太根发射药基础配方中添加燃烧催化剂, 可以有效调节发射药在高压状态下的燃速。

(2) 密闭爆发器试验结果表明, 在50~150 MPa, 碳酸镍可以使太根发射药的燃速提高8%以上, 二茂铁可使太根发射药的燃速降低10%。

(3) 不同催化剂对发射药燃速压力指数的影响均小于0.02。

## 参考文献:

- [1] 王泽山. 论现代发射装药技术的研究方向[J]. 南京理工大学学报, 1994(4): 93-96.  
WANG Ze-shan. The developing tendency of gun propellant [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 1994(4): 93-96.
- [2] 萧忠良, 王泽山. 发射药科学技术总体认识与理解[J]. 火炸药学报, 2004, 27(3): 1-6.  
XIAO Zhong-liang, WANG Ze-shan. The understanding and comprehension of science and technology for propellants [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004, 27(3): 1-6.

(下转第69页)

- Ballistics, 1997, 9(2): 80-83.
- [3] 李吉祯,樊学忠,刘小刚. AP和铝粉对AP-CMDB推进剂燃烧性能的影响[J]. 火炸药学报, 2008, 31(4): 61-63.  
LI Ji-zhen, FAN Xue-zhong, LIU Xiao-gang. Influence of ammonium perchlorate and aluminum powder on the combustion characteristics of AP-CMDB propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2008, 31(4): 61-63.
- [4] 杨毅,王进,宋洪昌,等. 超细硼粉粒径对B/AP复合物热性能影响[J]. 宇航学报, 2007, 28(6): 1724-1722.  
YANG Yi, WANG Jin, SONG Hong-chang, et al. Effect of superfine boron diameter on the thermal properties of B/AP composite [J]. Journal of Astronautics, 2007, 28(6): 1724-1722.
- [5] 方羽中,李疏芬. NEPE推进剂中AP含量及粒度效应实验研究[J]. 固体火箭技术, 2001(3): 103-107.  
FANG Yu-zhong, LI Shu-fen. Experimental studies on effects of AP content and particle size in NEPE propellant [J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2001(3): 103-107.
- [6] 张领科,周彦煌,陆欣,等. 某底排弹底排装置工作期间内部流场的数值模拟[J]. 含能材料, 2010, 18(2): 217-221.  
ZHANG Ling-ke, ZHOU Yan-huang, LU Xin, et al. Numerical simulation of interior flow field in a base bleed unit during working [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2010, 18(2): 217-221.
- [7] 王伯羲. 火药燃烧理论[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1997: 197-199.
- [8] 黄人俊. 火药设计基础[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1997: 47-50.
- [9] 王彩玲,赵省向. 不同粒度AP的机械感度[J]. 火炸药学报, 2006, 29(6): 27-29.  
WANG Cai-ling, ZHAO Sheng-xiang. Mechanical sensitivity of AP with different particle size [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2006, 29(6): 27-29.
- [10] 曹文忠,王中伟,焦绍球,等. 含RDX低燃速丁羟推进剂的配方研究[J]. 火炸药学报, 2009, 32(5): 54-57.  
CAO Wen-zhong, WANG Zhong-wei, JIAO Shao-qiu, et al. Study on the formulation of low burning rate HTPB propellant with RDX [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2009, 32(5): 54-57.
- [11] 陈舒林. 火药设计与制造[M]. 北京:兵器工业教材编审室, 1984: 82-84.
- [12] 马庆云. 复合火药[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1997: 90-106.

(上接第65页)

- [3] 萧忠良. 提高火炮初速(动能)技术途径与潜力分析[J]. 中北大学学报, 2001(4): 277-280.  
XIAO Zhong-liang. The analysis of the technical way and potentiality on improving initial velocity of gun [J]. Journal of North University of China, 2001(4): 277-280.
- [4] 李利,赵宝昌,徐斌. 钝感发射药燃烧稳定性研究[J]. 火炸药学报, 2003, 26(2): 50-52.  
LI Li, ZHAO Bao-chang, XU Bin. Study on the combustion stability of desensitized propellants [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2003, 26(2): 50-52.
- [5] 堵平,何卫东,王泽山. 发射药用聚二甲基丙烯酸乙二酯钝感包覆层性能研究[J]. 火炸药学报, 2007, 30(10): 70-73.  
DU Ping, HE Wei-dong, WANG Ze-shan. Research on performance of PEDMA deterring-coating-layer of propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2007, 30(10): 70-73.
- [6] 贺增弟,刘幼平,马忠亮,等. 变燃速发射药燃烧性能[J]. 火炸药学报, 2004, 27(3): 10-12.  
HE Zeng-di, LIU You-ping, MA Zhong-liang, et al. Combustion property character of variable-burning rate gun propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004, 27(3): 10-12.
- [7] 萧忠良,贺增弟,刘幼平,等. 变燃速发射药的原理和实现方法[J]. 火炸药学报, 2005, 28(1): 25-27.  
XIAO Zhong-liang, HE Zeng-di, LIU You-ping, et al. Principle and realizable approach of variable burning rate propellant [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2005, 28(1): 25-27.
- [8] 马忠亮,李志良,徐方亮,等. 药型尺寸对变燃速发射药燃烧渐增性的影响[J]. 含能材料, 2007, 15(4): 128-130.  
MA Zhong-liang, LI Zhi-liang, XU Fang-liang, et al. Effect of grain size on progressive combustion of the variable burning rate propellant [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2007, 15(4): 128-130.