

模型与真实高氯酸铵/硝胺推进剂 燃烧转爆轰的比较

刘德辉 潘孟春 彭培根 王振芳

(国防科技大学)

摘 要: 详细地研究了硝胺炸药(RDX、HMX)对模型与真实高氯酸铵/硝胺推进剂 DDT 的影响。实验结果表明,硝胺炸药对上述两种推进剂的 DDT 具有不同的影响规律,作者分析了产生这种现象的原因。

主题词: 固体火箭推进剂,爆燃到爆轰转变,高氯酸铵,硝胺

THE COMPARISON OF DEFLAGRATION TO DETONATION TRANSITION BETWEEN MODEL AND REAL AMMONIUM PERCHLORATE/NITRAMINE PROPELLANT

Liu Dehui Pan Mengchun Peng Peigen Wang Zhenfang

(National University of Defense Technology)

Abstract: In this paper, the effects of nitramine explosives (RDX, HMX) on the DDT of model and real ammonium perchlorate/nitramine propellants are studied in detail. Experimental results show that the feature of the effect of nitramine explosive on the DDT of model propellant is different from that of real propellant. The cause of the mentioned above phenomenon is also analysed in the paper.

Keywords: Solid rocket propellant, Deflagration to detonation, Ammonium perchlorate, Nitramine

1 前言

由高能硝胺炸药,如黑索金(RDX)或奥克托今(HMX)和高氯酸铵(AP)制成的高氯酸铵/硝胺推进剂由于具有许多的优点,如烧蚀性小、高能、少烟等,因此已得到越来越广泛的应用。但是,硝胺炸药(RDX或HMX)对机械和冲击波作用都较敏感,于是对高氯酸铵/硝胺推进剂的安全性如何、尤其是在推进剂燃烧时能否产生爆轰的问题深受人们的关注。因此,开展高氯酸铵/硝胺推进剂燃烧转爆轰(简称DDT)的研究具有十分重要的实际意义。在进行DDT研究时,为了使研究的问题简化,常用石蜡(wax)替代作为粘合剂,研究由石蜡和氧化剂等组成的模型推进剂的DDT特性,然而模型推进剂与真实推进剂的DDT特性有何差异却未见报导,而这对于把模型推进剂的DDT结果推广到真实推进剂上具有重要的意义,为此本文专门研究了模型与真实高氯酸铵/硝胺推进剂的DDT过程,并对其DDT特性进行了比较。

2 实验

2.1 原材料及推进剂装药的制备

采用两种粒度范围的AP,即 $105\sim 150\mu\text{m}$ 和 $180\sim 280\mu\text{m}$ 的粒子各一半;HMX和RDX的平均粒径分别为 $45\mu\text{m}$ 和 $50\mu\text{m}$;铝粉(Al)的平均粒径为 $16\mu\text{m}$;丁羟胶(HTPB)的平均分子量为3500;石蜡(wax)的密度为 $0.89\text{g}/\text{cm}^3$,熔点为 49°C ,分子式为 $\text{C}_{71}\text{H}_{148}$,采用粒度低于 $315\mu\text{m}$ 的片形粒子。

模型推进剂是通过将配方中的各组分均匀混合而得。真实推进剂用常规法制备,将制得的推进剂药柱先用刨子刨成约 $0.2\sim 0.4\text{mm}$ 厚,然后切碎,最后过孔径为 1.6mm 或 0.8mm 的筛,由此而得到推进剂的片形颗粒。将模型推进剂或制得的片形颗粒用手工方式装填到DDT管中,便可制得不同装填密度的推进剂装药。本研究中推进剂装药密度用理论最大密度(TMD)来表示($\%\text{TMD}=100\times\text{实际装填密度}/\text{理论装填密度}$)。每个装药密度下进行一发试验。

2.2 实验装置及数据处理方法

DDT实验装置和实验步骤的基本原理是测定两端封闭的厚壁钢管(DDT管)内推进剂装药中不同位置处点火波的到达时间。

由实验记录到的 Δx 和 Δt 的数据,描绘出距离(x)-时间(t)的关系曲线。图1是产生DDT的 $x-t$ 典型曲线。图中 l 是爆轰开始点与装药初始端之间的距离,称为诱导爆轰距离。 l 值越小,表示装药越易产生DDT。由 Δx 和 Δt 数据可求得装药中不同位置处点火波的平均传播速率。

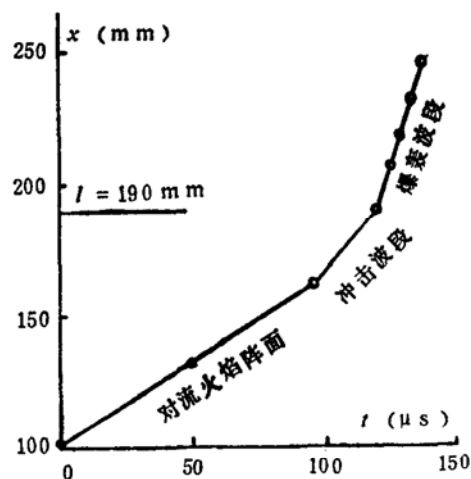


图1 含20% HMX的碎末状AP/HTPB推进剂在49.3% TMD下的距离-时间关系

3 结果与讨论

3.1 模型高氯酸酐/硝酸推进剂的DDT结果

含HMX的模型推进剂的DDT实验结果如表1所示。

表1 HMX含量变化对模型推进剂DDT几率的影响

AP/HMX/Al/Wax	DDT几率	备 注
70/0/16/14	60%	%TMD从58.6—68.2, 试验5发, 3发转爆轰
60/10/16/14	33%	%TMD从59.7—67.4, 试验3发, 1发转爆轰
50/20/16/14	0	%TMD从60.8—76.0, 试验4发, 都不转变
40/30/16/14	33%	%TMD从62.2—72.1, 试验3发, 1发转爆轰
35/35/16/14	0	%TMD从60.5和72.8, 试验2发, 都不转变

由表1可以看出, 在模型推进剂中加入HMX, 使推进剂的DDT能力下降。图2给出的是在%TMD近似为62.0时, HMX含量变化对推进剂装药中离初始端260mm和280mm处点火波的平均传播速率的影响。由于点火波的传播速率提高可使单位时间内进行燃烧的装药量以及燃烧表面积增大, 从而质量燃耗率增大, 则单位时间内产生的气体产物增多, 压力变大, 即压力上升速率 (dp/dt) 加大, 有利于冲击波的形成和发展, 有利于DDT的产生。因此, 由图2可知模型推进剂中随HMX含量的增大, 推进剂装药中点火波的传播速率下降, 即产生DDT的能力下降。

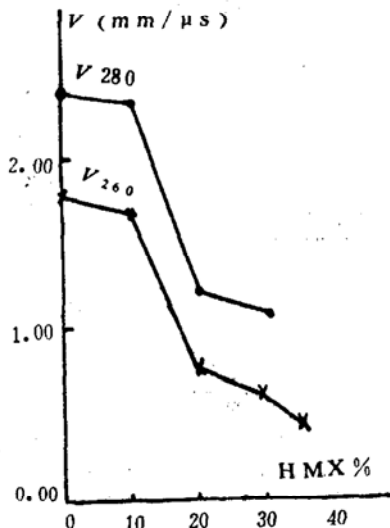


图2 在%TMD近似为62.0时, 点火波传播速率与HMX含量的变化关系

3.2 真实高氯酸铵/硝酸推进剂的DDT结果

首先研究了不含与含20%HMX的AP丁羟推进剂的DDT (推进剂片形颗粒均过孔径为1.6mm的筛)。不含HMX的推进剂配方是AP/Al/HTPB粘合剂系统为70/16/14; 若含HMX, 则用HMX取代20%的AP。由两种推进剂DDT结果描绘出的 l -%TMD 关系如图3所示。从图3可以看出, 在同样的装药密度下, 含20%HMX的推进剂的 l 值大大低于不含HMX的推进剂的 l 值, 而且前者可在较宽的装药密度范围内以及较高的装药密度下产生DDT。因此, 把HMX加入到AP丁羟推进剂中, 使推进剂的DDT能力增强。

其次我们研究了RDX含量变化对AP/Al/HTPB粘合剂系统为70/16/14的丁羟推进剂DDT的影响 (推进剂片形颗粒均过孔径为0.8mm的筛)。实验得到的同一装药密度 (%TMD为70.0和80.0) 下的 l 值随RDX含量的变化关系如图4所示。由图4可以看出, 随推进

剂中RDX含量的增加, l 值下降, 即DDT能力增强, 但当RDX含量超过30%以后, 却随RDX的进一步加入, 推进剂的DDT能力又有所降低。

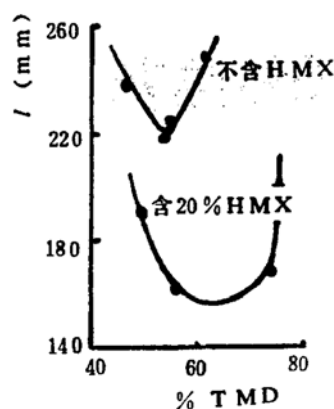


图3 含与不含HMX的AP基推进剂的
 l -%TMD关系曲线

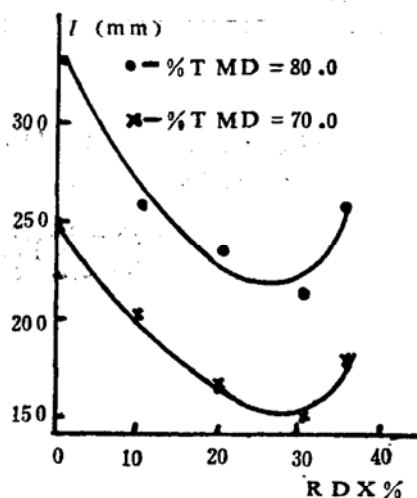


图4 同一装填密度下, l 随
RDX%, 变化

3.3 模型与真实高氯酸铵/硝酸推进剂DDT的比较

由上述实验结果可知硝酸炸药(RDX, HMX)对模型与真实高氯酸铵/硝酸推进剂的DDT具有不同的影响, 产生这种现象的原因作者认为主要是由于推进剂的燃速及燃速压力指数(简称压力指数)的影响。

我们知道燃烧室内的压力上升越快就越有利于冲击波的形成和发展, 有利于爆轰的产生。显然, 在密闭容器中燃烧时, 压力指数越高的药柱, 压力上升速率(dp/dt)就越大。炸药的燃速都较高, 在中等压力下靠近1, 高压下大于1, 因此, 爆轰易形成爆轰。而含硝酸的复合推进剂在中等压力下的压力指数一般都低于0.5, 然而在高压下其燃速与压力的对数关系线可产生转折, 从而使压力指数突然增高, 可接近纯硝酸炸药的燃速。用RDX取代部分AP的丁羟推进剂的DDT结果表明, 随RDX含量的增加, DDT趋势加强, 含量为20~30%时, DDT能力明显增强, 这就是压力指数高导致的结果。另一方面, 由于RDX是比AP更为贫氧的物质(二者的氧平衡值分别为0.216和0.342), 而AP丁羟推进剂的氧平衡值一般都是接近零氧平衡但稍负的, 因此, 随RDX含量的增加, 推进剂的氧平衡值下降(变得更负), 从而使推进剂的燃烧热和燃烧温度以及燃速就越来越降低, 致使能量释放率和质量燃耗率减少, dp/dt 值下降, 不利于DDT的产生。因此, 这种互相矛盾的因素, 使得 l ~RDX%关系图中出现极小值, 曲线呈现典型的U字形。

对模型高氯酸铵/硝酸推进剂而言, 由于其压力指数对DDT的影响很微小, 因此主要由上述第二个作用起影响, 于是, 随RDX的进一步加入, 模型推进剂的燃速逐步下降, 其DDT能力也就逐渐下降。

4 结 论

- 1) 在模型AP丁羟推进剂中加入硝酸炸药(RDX, HMX)使其DDT能力下降, 且随

(下转第43页)

这个比值，实际上就是减压阀的阻尼能对干扰能的比。当减压阀的座孔 d_0 一定时，阻尼能量正比于相对阻尼系数 ζ 的平方、减压阀低压腔容积 V_0 和弹性元件刚度 K_s 。所以，增加阀的稳定性，从增加弹性元件的刚度、减少运动件的质量 m 、扩大低压腔容积 V_0 是有效的。当减压阀的初始入口压力一定时，扰动能正比于膜片有效面积 A_0 。同时与气体性质有关，对空气稳定的，对氮气可能不稳定。空气减压阀的稳定裕度是氮气的2.85倍，氮气能使稳定裕度降低很多，所以，工作在氮气系统中的减压阀，其噪声和振动问题的解决较空气系统困难。表1给了在液体火箭发动机系统和航天地面系统上用的四种减压阀的稳定系的数计算结果，并与实测结果对照。事实表明，判据是适用的。

参 考 文 献

- 〔1〕 Tsai D H and Cassidy E C. Dynamic Behavior of a Simple Pneumatic Pressure Reducer. Transactions of the ASME, 1961: 256
- 〔2〕 白石昌武, 村上 裕. 流体制御用减压弁の安定性につて. 流体力学, 1981, 17(6): 241
- 〔3〕 包钢, 苏尔皇等. 直动型高压反作用式气体减压阀的动特性分析. 哈尔滨工业大学研究报告, 1986(122): 15
- 〔4〕 朴龙奎. 反向式减压阀的稳定系数. 阀门, 1988(2)
- 〔5〕 朴龙奎. 汽体减压器的动态分析. 第一届全国管道与阀门会议论文集, 1984

(上接第77页)

硝胺炸药含量的增加, 其DDT能力进一步下降。

2) 在真实AP 丁羟推进剂中加入硝铵炸药(RDX、HMX)使其DDT能力增加,且随硝铵炸药含量的增加,其DDT能力进一步增大,但当硝铵炸药含量大于某一值(如RDX含量大于30%)以后,却随硝铵炸药的进一步加入,推进剂的DDT能力又会有所下降,因此,1~硝铵含量关系图呈现典型的U字形。

3) 硝胺含量对模型与真实高氯酸铵/硝胺推进剂的DDT具有不同的影响规律,其原因在于推进剂的燃速和压力指数的作用。

4) 由模型高氯酸铵/硝酸推进剂所得的DDT结果不能简单地推广到真实高氯酸铵/硝酸推进剂之上。