

文章编号:1001-5078(2008)10-1008-03

· 光电对抗 ·

碳纤维对镁/聚四氟乙烯燃烧速度和红外辐射强度的影响

陈明华¹, 马桂海²

(1. 军械工程学院军械技术研究所, 河北 石家庄 050000; 2. 解放军 73883 部队, 福建 南平 353000)

摘要:为了研究燃烧速度对镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂辐射强度的影响,首先对不同配比镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂的燃烧速度、辐射强度和辐射能量进行了测定和计算,确定了在镁与聚四氟乙烯的配比为 50:50 时,燃烧时的红外辐射强度最大;然后在镁与聚四氟乙烯混合物中加入不同含量的碳纤维,实验发现随着碳纤维含量的增加,燃烧速度和红外辐射强度迅速增加;通过分析确定了导热系数随着碳纤维含量增加而提高,进而使燃烧速度加快,使得红外辐射强度的增加。

关键词:碳纤维;红外诱饵剂;辐射强度;燃烧速度

中图分类号: O613.71; TN213 **文献标识码:** A

Influence of Carbon Fiber on Burning Rate and Infrared Radiation Intensity of Mg/PTFE Infrared Composition

CHEN Ming-hua¹, MA Gui-hai²

(1. Ordnance Institute of Technology, Ordnance Engineer College, Shijiazhuang 050000, China;

2. Army Unit 73883, Nanping 353000, China)

Abstract: The influence of burning rate on the infrared radiation intensity of Mg/PTFE infrared composition was studied. The burning rate, infrared radiation intensity and quality radiation energy for Mg/PTFE infrared composition of different ratios were measured and calculated, it was obtained that the infrared radiation intensity is the largest when the ratio of Mg and PTFE is 50:50. The different content of carbon fiber was added to Mg/PTFE composition, and the burning rate and infrared radiation intensity increase along with the content of carbon fiber increases. It was defined that the more the content of carbon fiber, the larger the thermal diffusion coefficient of composition, and then the burning rate is speeded up, the infrared radiation intensity increases by analysis.

Key words: carbon fiber; infrared decoy composition; radiation intensity; burning rate

1 引言

镁和聚四氟乙烯组成的烟火剂具有很高的能量,被广泛应用于红外诱饵弹、火箭发动机的点火药剂等方面^[1]。作为红外诱饵剂,镁/聚四氟乙烯在燃烧过程中,在近、中和远红外三个窗口内能产生强烈的红外辐射^[2-3],能有效地对红外制导、探测和观瞄系统进行干扰或诱骗。

镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂的红外辐射强度为药剂比光能与质量燃烧速度之积^[4]。当药剂的配比固定后,也就意味着药剂的燃烧温度、产物组成和

比光能等已经确定,可以通过增加燃烧速度的方法来提高红外辐射强度。本文通过测定不同配比的镁/聚四氟乙烯药剂燃烧时的红外辐射强度,确定了红外辐射强度最高时镁与聚四氟乙烯配比;然后在镁/聚四氟乙烯药剂中加入不同比例的碳纤维,对其在燃烧过程中的红外辐射和燃烧速度进行了测定。

作者简介: 陈明华(1965 -),男,北京理工大学机电工程学院军事化学与烟火技术专业毕业,获博士学位。自1989年至今,一直从事发射药与烟火药贮存,安全与性能研究等方面的工作。
E-mail: cmh_bit@sohu.com

收稿日期: 2008-04-19

根据实验结果,就镁、聚四氟乙烯以及碳纤维对药剂的红外辐射性能的影响进行了讨论,确定了导温系数是影响燃烧速度的主要因素,通过增加燃烧速度的途径可以提高药剂的红外辐射强度。

2 试验及结果

2.1 实验过程

实验中,聚四氟乙烯、镁粉和碳纤维按不同的比例混合,压制成药柱;过渡药为 1:1 的点火药和基本药组成。药柱的简图如图 1 所示。药柱点燃后,利用红外辐射计测定燃烧时产生的红外辐射强度和燃烧时间。

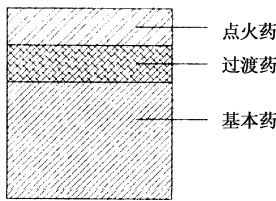


图 1 药柱简图

2.2 实验结果

2.2.1 不同镁/聚四氟乙烯配比的实验结果

将镁粉和聚四氟乙烯配制成不同比例的药剂,压制成直径为 20mm,高度相同的药柱,点火药和过渡药均为 1.0g,基本药是 9.5g,每一比例下的药剂压制两发;测定燃烧时间、辐射强度和燃烧时的平均温度,测定及计算结果取平均值。结果如表 1 所示。

表 1 镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂的实验及计算结果

| PTFE:Mg | 线燃烧速度/ (mm · s ⁻¹) | 质量燃烧速度/ (g · s ⁻¹) | 辐射强度 /(W · sr ⁻¹) | | 比光能/ (J · sr ⁻¹ · g ⁻¹) | |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------|---|----------|
| | | | 3 ~ 5μm | 8 ~ 14μm | 3 ~ 5μm | 8 ~ 14μm |
| 65:35 | 0.74 | 0.45 | 48.60 | 5.06 | 108.00 | 11.24 |
| 60:40 | 0.73 | 0.42 | 53.77 | 5.04 | 127.85 | 12.00 |
| 55:45 | 0.80 | 0.44 | 58.27 | 5.38 | 132.43 | 12.23 |
| 50:50 | 0.86 | 0.49 | 66.10 | 5.60 | 134.90 | 11.43 |
| 45:55 | 0.90 | 0.50 | 64.20 | 5.44 | 128.40 | 10.88 |
| 40:60 | 0.94 | 0.55 | 60.39 | 5.24 | 109.80 | 9.53 |
| 35:65 | 1.06 | 0.62 | 62.51 | 5.07 | 100.82 | 8.18 |
| 30:70 | 1.39 | 0.80 | 60.09 | 4.83 | 75.11 | 6.04 |
| 25:75 | 1.66 | 0.94 | 50.10 | 4.70 | 53.30 | 5.00 |

2.2.2 不同镁/聚四氟乙烯与碳纤维配比的实验结果

将质量比为 50:50 的镁/聚四氟乙烯与不同质量的碳纤维配制成不同的药剂,压制成直径为 23mm,高度相同的药柱,点火药和过渡药均为 1.5g,

基本药为 16.5g,每一比例下的药剂压制两发;测定红外辐射强度和燃烧时间,测定及计算结果取平均值。结果如表 2 所示。

表 2 镁/聚四氟乙烯与碳纤维红外诱饵剂的实验及计算结果

| C /% | 线燃烧速度/ (mm · s ⁻¹) | 质量燃烧速度/ (g · s ⁻¹) | 辐射强度 /(W · sr ⁻¹) | | 比光能/ (J · sr ⁻¹ · g ⁻¹) | |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------|---|----------|
| | | | 3 ~ 5μm | 8 ~ 14μm | 3 ~ 5μm | 8 ~ 14μm |
| 0 | 0.95 | 0.74 | 116.4 | 12.13 | 122.53 | 16.39 |
| 1 | 1.35 | 1.02 | 122.5 | 13.50 | 120.10 | 13.24 |
| 2 | 1.85 | 1.43 | 158.8 | 17.31 | 111.05 | 12.10 |
| 3 | 2.22 | 1.70 | 182.8 | 20.22 | 107.53 | 11.89 |
| 4 | 2.69 | 2.02 | 183.2 | 20.50 | 90.69 | 10.15 |

3 结果讨论

3.1 镁与聚四氟乙烯的配比以及碳纤维的加入对燃烧速度的影响

根据燃烧理论^[6],含有氧化剂 (PTFE) 与燃料 (Mg) 均匀混合颗粒的燃烧是粒状扩散燃烧,属于层状燃烧,燃烧过程分如下几个步骤:混合物吸收热量;PTFE 气化解,生成 C₂F₄ 等,Mg 外层熔化、气化;熔化、气化的镁与 PTFE 的分解产物 C₂F₄ 反应生成 MgF₂;镁与氟化镁颗粒被排向气相区,其中镁在气相区继续燃烧 (PTFE 充足条件下),接着进行下一层燃烧;如果氧化剂不足,则镁与空气中的氧气反应。其中关键步骤是聚四氟乙烯的气化解和镁的熔化和气化,而药柱的导温系数是影响其燃烧速度的主要因素^[7]。

对于由两种 (或以上) 物质组成的材料,用最简单的模型对材料的导热系数进行计算^[8]。例如:由两种物质 (a 和 b) 组成的材料,φ_a,φ_b 分别表示 a, b 两种物质的体积分数;ζ_a,ζ_b 分别表示 a, b 两种物质的质量分数;λ_a,λ_b 分别表示 a, b 两种物质的导热系数。

当两种组分的物质沿热流方向并联交替排列时导热系数 λ_m 最大,λ_{m,max} = φ_aλ_a + φ_bλ_b;串联交替排列时导热系数 λ_m 最小,λ_{m,min} = λ_aλ_b / (φ_aλ_b + φ_bλ_a)。材料的比热容表示为:c = ζ_ac_a + ζ_bc_b,导温系数表示为:α = λ/ρc。镁、聚四氟乙烯和碳纤维的热物理参数如表 3 所示^[9]。

镁与聚四氟乙烯的混合物近似视为两种物质的串联排列,药柱的导温系数、燃烧速度与镁在药剂中所占百分比的关系如图 2 所示。在镁/聚四氟乙

药剂中加入碳纤维后,假设加入的碳纤维 50% 径向排列,与镁/聚四氟乙烯构成并联排列;另外 50% 横向排列,与镁/聚四氟乙烯构成串联排列,由于加入的量很少,这一部分忽略不计。加入碳纤维后的药柱导温系数、燃烧速度与碳纤维在药剂中的含量关系如图 3 所示。

表 3 镁、聚四氟乙烯和碳纤维的物理参数

| 材料 | $\lambda / (\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ | $c / (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ | $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ |
|------|--|---|--|
| Mg | 165.1 | 1.00×10^3 | 1745 |
| PTFE | 0.24 | 1.05×10^3 | 2150 |
| C | 15.1 | 0.80×10^3 | 1700 |

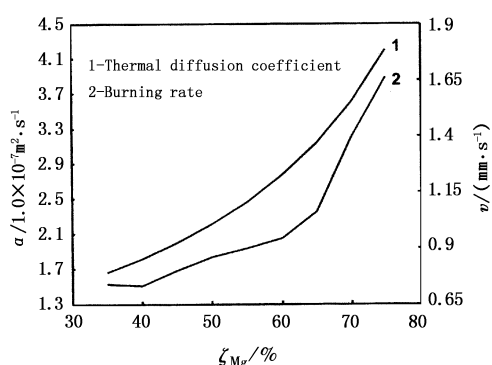


图 2 镁的含量与导温系数、燃烧速度的关系

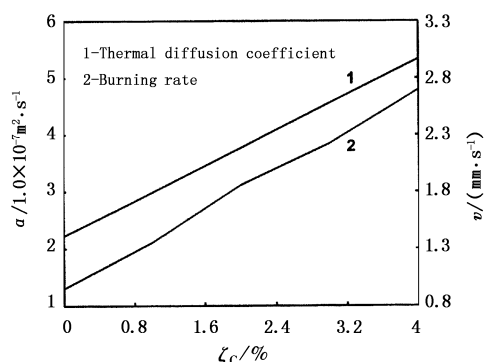


图 3 碳纤维的含量与导温系数、燃烧速度的关系

从图 2 和图 3 中可以明显地看出,药柱的燃烧速度随着导温系数的增加而增加。原因是随着镁含量的增加,药柱的导温系数也增大,使热量向药柱内部的扩散速率上升,因此其燃烧速度加快;碳纤维是热的良导体,能使从燃烧表面向药柱内的热传导加快,使药剂快速达到燃烧温度,从而提高燃速^[6]。

3.2 镁、聚四氟乙烯和碳纤维的配比与红外辐射强度的关系

镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂燃烧时主要能够产生红外辐射的产物是 C 和 MgF_2 等物质,这些产物的量和燃烧时的火焰温度决定着辐射强度的大小,其中碳的发射率最高,能达到 0.8^[5],它的辐射强度在全部辐射中占主要部分。

镁和聚四氟乙烯能完全反应的理论比例是

33:67,此时的燃烧温度也最高,但是产物中的碳可被氧气氧化,降低甚至失去辐射作用。提高镁的比例可以使镁过量,从而消耗掉燃烧空间内的氧气,将碳保护起来,避免被氧化,提高辐射强度,从表 1 中可以看出,镁的含量在 50% 时中红外和远红外的辐射强度最大,分别是 $66.10 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ 和 $5.60 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

镁/聚四氟乙烯(质量比 50:50)加入一定量的碳纤维后,随着药剂中碳纤维含量的增加,药柱燃烧时的中、远红外辐射强度迅速提高,当药剂中碳纤维的含量为 3% 时,红外辐射强度几乎增加了一倍;但加入的碳纤维量进一步增加,由于药剂中的能量物质镁与聚四氟乙烯含量的减少,红外辐射强度不再增强,而且到了一定程度还要下降。

4 结论

(1) 在镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂中,随着镁含量的增加,药柱的导温系数也随之增加,使燃烧速度加快;当镁与聚四氟乙烯的质量比为 50:50 时,燃烧时红外辐射强度和比光能的最大。

(2) 当镁/聚四氟乙烯红外诱饵剂中加入少量的碳纤维后,可以大大提高药柱的导温系数,从而提高燃烧速度燃烧,由于其比光能基本不变,因此可以提高药柱燃烧时的红外辐射强度;但加入的碳纤维量较大时,药剂的比光能下降,尽管燃烧速度增加,二者综合的结果使红外辐射强度下降;碳纤维加入量的最佳值是 3%。

参考文献:

- [1] 马升云. 红外烟火药制备工艺的研究[J]. 火工品, 1990, (3), 9-12.
- [2] Dr. Bernard E Douda. Survey of military pyrotechnics [R]. AD - A238923. 1991.
- [3] Briere, et al. Nozzles for pyrotechnic IR decoy flares [P]. U. S. P. 5565645.
- [4] 希洛夫. 烟火药火焰的发光[M]. 马永利, 译. 北京: 国防工业出版社, 1959.
- [5] Y S Touloukian, et al. Thermal radiative properties [M]. New York-Washington: IFI/Plenum, 1972.
- [6] 王伯羲, 冯增国, 杨荣杰. 火药燃烧理论 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1994.
- [7] N Kubota, C Serizawa. Combustion process of Mg/TF pyrotechnics [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1987, (12): 145-148.
- [8] 屠传经, 沈璐婵, 吴子静. 热传导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [9] 贺福, 王茂章. 碳纤维及其复合材料 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.