

文章编号: 1006-9941(2005)02-0103-03

不同真空度对烟幕近红外衰减性能的影响

陈宁, 陈厚和, 潘功配

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 针对太空环境高真空的特殊性, 为了研究抗红外烟幕在太空中的适用性, 通过试验研究了不同真空度下, 燃烧型抗红外烟幕对近红外波段(0.76~0.95 μm)辐射的衰减性能, 结果表明, 烟幕透过率随着真空度由0.1 MPa升高到0.04 MPa逐渐增大, 并且各相邻真空度间的透过率增幅基本一致; 分析表明随着真空度的升高, 烟幕炭黑含量的减小、烟幕质量浓度的降低, 烟幕红外衰减性能降低。

关键词: 应用化学; 烟幕; 真空度; 红外; 衰减

中图分类号: TJ765

文献标识码: A

1 引言

采用烟幕遮蔽己方目标、对抗敌方光电观瞄器材, 已成为现代高技术战争中光电对抗的有效手段。随着现代红外探测、精确制导武器的发展, 已对弹道导弹、卫星、载人飞船等航天器构成严重威胁, 将大气层内广泛使用的烟幕应用于太空, 对提高导弹突防和航天器自身的生存能力有十分重要的意义^[1]。在太空中, 用烟幕来干扰红外探测导引系统, 主要是利用烟幕使目标红外隐身, 一是利用烟幕本身发射的很强的红外辐射, 将航天器和附近的背景红外辐射覆盖, 使探测导引系统的显示器上呈现出一片模糊的热图像; 二是利用烟幕中高浓度的遮蔽气溶胶微粒, 对目标的红外辐射进行吸收和散射, 使进入探测导引系统的红外辐射能量低于系统本身的要求^[2]。

由于太空环境具有高真空的特殊性, 必须研究烟幕在真空条件下与大气层内红外消光性能的差异。红外烟幕在红外波段的粒子特性相同, 研究红外烟幕对近红外的干扰具有一定的参考价值, 在大气层内已取得良好应用效果的碳黑型抗红外发烟剂配方的基础上, 研究了其在不同真空度下形成烟幕对近红外的衰减性能, 为研究烟幕应用于太空环境提供技术基础。

2 试验部分

2.1 试样制备

所用的药剂以研制出的碳黑型抗红外发烟剂配方^[3]为基准, 进行了适当调整, 使其在不同真空度下

能顺利燃烧。其基本组分为高氯酸钾、镁粉、六氯乙烷等。将3.5 g抗红外发烟剂、过渡药及点火药装入 $\Phi 15$ mm的模具中, 用25 t压力的油压机在表压0.5 MPa的压力下, 保压5 s压制而成。

2.2 实验装置及方法

本实验试验装置主要由模拟真空系统、瞬变光源分光测试系统构成, 装置示意图如图1所示。

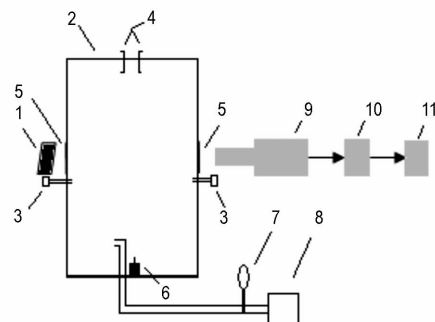


图1 实验装置示意图

- 1—标准黑体, 2—真空罐, 3—质量浓度采样系统, 4—接线柱, 5—窗口, 6—试样及点火头, 7—真空表, 8—真空泵, 9—光谱辐射计, 10—计算机, 11—记录仪
- Fig. 1 Sketch of experimental set-up
- 1—standard black body, 2—vacuum jar, 3—sampling system of mass concentration, 4—connection pole, 5—window, 6—sample and igniter, 7—vacuum meter, 8—vacuum pump, 9—spectrum radiometer, 10—computer, 11—recorder

模拟真空系统由真空泵及真空罐组成。真空罐: 高度1.8 m, 直径0.85 m, 压强范围0.02~0.1 MPa, 壳体由25 mm的有机玻璃制作, 石英作为窗口材料。这里所涉及的“真空”是指气体分子密度低于一个标准大气压的气体状态, 一般以压强为单位来描述真空状态, 罐内压强 $p_{\text{内}}$ 愈小表示真空度愈高^[4]。

收稿日期: 2004-12-17; 修回日期: 2005-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90305008)

作者简介: 陈宁(1980-), 男, 在读博士生, 主要从事军事化学与烟火技术研究。e-mail: cn7229@sina.com

瞬变光源分光测试系统主要由光谱辐射计、计算机及记录仪等组成。光谱辐射计：工作波段 $0.4 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ，采样频率 2 Hz ，分辨率 2.5 nm ；红外辐射源：标准黑体。

实验采用电点火方式点火。将药柱及点火头固定于一燃烧容器中，然后固定于盖子上，将点火头与接线柱接通，密封真空罐，进行抽真空，固定光路。在不同真空度的条件下，先分别测试出试样点燃前测试目标与背景的红外辐射亮度 L_0 及测试背景的红外辐射亮度 L_{bac} ；试样燃烧结束后测试目标、背景及烟幕三者的红外辐射亮度 L 及烟幕的红外辐射亮度 L_{smo} ，与烟幕相比此时背景的红外辐射亮度可以忽略不计，根据式 (1)^[2] 计算烟幕的透过率 T_λ ，绘出透过率曲线。

$$T_\lambda = \frac{L - L_{\text{smo}}}{L_0 - L_{\text{bac}}} \quad (1)$$

式中， L 为物体的红外辐射亮度， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

3 结果与讨论

在真空罐中药柱试样点燃后形成了浓密的黑色烟幕，不同真空度下，当药柱燃烧结束后约 30 s 时进行测试，通过计算绘出了透过率曲线，当罐内压力 $p_{\text{内}}$ 分别为 $0.10, 0.09, 0.08, 0.07 \text{ MPa}$ 时，透过率曲线如图 2 所示； $p_{\text{内}}$ 分别为 $0.07, 0.06, 0.05, 0.04 \text{ MPa}$ 时，其透过率曲线如图 3 所示。

从图 2、图 3 中可以看出，不同真空度下，烟幕红外透过率有一定的差异，随着真空度升高，烟幕透过率逐渐增大。 $p_{\text{内}} = 0.1 \text{ MPa}$ 时，该烟幕在 $0.76 \sim 0.95 \mu\text{m}$ 波段的透过率最大不超过 18% ，最小可达到零值，平均约 5% 左右；当 $p_{\text{内}} = 0.07 \text{ MPa}$ 时，透过率值平均值约为 15% 左右；当 $p_{\text{内}} = 0.04 \text{ MPa}$ 时，透过率平均值增大到 22% 左右。结合图 2、3 可以看出 $p_{\text{内}}$ 分别按 $0.1 \sim 0.09 \text{ MPa}$ 、 $0.09 \sim 0.08 \text{ MPa}$ 、 $0.08 \sim 0.07 \text{ MPa}$ 、 $0.07 \sim 0.06 \text{ MPa}$ 、 $0.06 \sim 0.05 \text{ MPa}$ 、 $0.05 \sim 0.04 \text{ MPa}$ 增大时，相应的透过率增幅变化不大。随着真空度的线性升高，密度线性减小，由此可以推断在真空度下，密度是影响烟幕红外衰减性能的因素之一。虽然探测头暴露于大气内对测试结果有一定的影响，但上述趋势还是比较明显的。

真空度的变化使反应体系中氧含量发生变化，这影响了对烟幕的衰减性能。炭黑是燃烧型抗红外烟幕中起主要作用的物质，其含量的高低决定着烟幕衰减性能的好坏。理论上在氧气不足的情况下，试样不能完全燃烧，产物中炭黑含量增高，烟幕衰减性能提高；而实验是在一定真空度的环境下进行的，须通过增大

非氧化剂的含量，调整已有发烟剂配方中氧化剂的含量，这使得发烟剂中氧含量严重不足。依据炭黑形成的机理^[5]，大量富碳化合物的裂解要借助空气中的氧，真空度的升高使空气中氧的含量降低，燃烧产物中炭黑的浓度增大，但对于一定量的发烟剂，此时其中的富碳化合物只有小部分发生裂解反应，相对于正常压力下的裂解反应其裂解产物量有所减少，使得炭黑总的含量相对减少了，从而降低了烟幕的衰减性能。

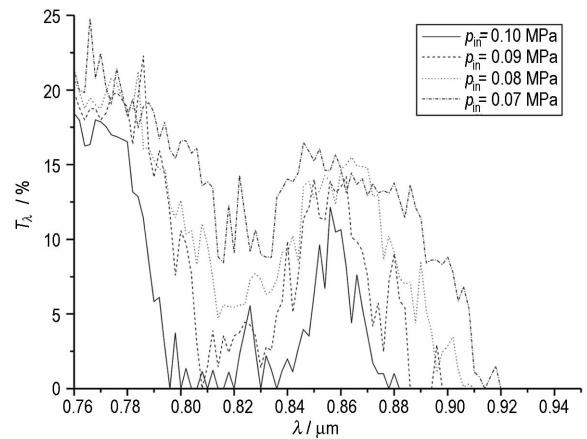


图 2 $p_{\text{内}}$ 为 $0.10 \sim 0.07 \text{ MPa}$ 时烟幕红外透过率曲线

Fig. 2 Smoke IR transmittance curves

when p_{in} value is from 0.10 MPa to 0.07 MPa

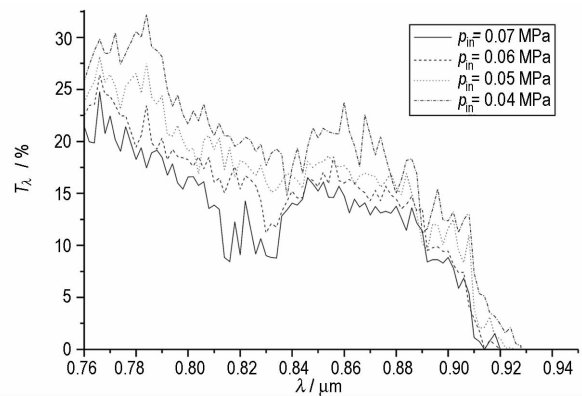


图 3 $p_{\text{内}}$ 为 $0.07 \sim 0.04 \text{ MPa}$ 时烟幕红外透过率曲线

Fig. 3 Smoke IR transmittance curves

when p_{in} value is from 0.07 MPa to 0.04 MPa

空气介质中含有一定量的具有红外活性的气体、悬浮微粒和水蒸气，能对红外辐射产生吸收和散射衰减作用。由于真空罐中空气密度随真空度升高逐渐降低，使得空气中这些物质的浓度逐渐降低，它们产生的衰减作用会愈来愈小，对烟幕的衰减作用带来一定的影响。

真空度的变化使得烟幕质量浓度 C_m 变化，这对烟幕衰减性能有很大影响。采用滤膜称重法对烟幕质量浓度测试，不同真空度下质量浓度测试结果如表 1 所示。

表1 不同真空度下烟幕质量浓度

Table 1 Smoke mass concentration in different vacuums

p_{in}/MPa	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
$C_m/\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	1.65	1.43	1.37	1.18	1.06	0.97	0.84

从表1中可以看出,烟幕质量浓度随真空度的升高而降低,因此衰减性能会随真空度的升高而降低。在密闭容器中,粒子由于运动一部分会沉积到容器壳体上,降低了烟幕质量浓度。不同真空度下烟幕粒子的沉积速度不同,时间一定时,沉积速度愈大滞留在烟云中粒子的量愈少,烟幕质量浓度就会愈小。烟幕分散过程中,粒径大于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的烟幕粒子由于重力的作用,发生沉降作用;粒径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 粒子会因浓度的不均,发生扩散作用。沉降与扩散程度愈剧烈,单位时间内粒子沉积到壳体的量愈大,烟幕质量浓度就会愈小。

碳黑型抗红外发烟剂形成的烟幕,其粒子直径大都在 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上^[3],沉降特性占主要地位。在重力作用下随着烟幕粒子沉降速度加快,烟幕体系的粘性、惯性对沉降速率的影响很大,此时沉降速率与介质密度成反比^[6];当粒子所受的阻力、重力及浮力达到平衡时,其沉降速度与粒子密度同介质密度之间的差值成正比^[7]。介质密度随真空度的升高而减小,介质密度减小,沉降速度增大。当 p_{in} 从 $0.1\ \text{MPa}$ 增至 $0.04\ \text{MPa}$ 时,烟幕粒子的沉降速率增大,烟幕质量浓度减小的速度快,烟幕对红外辐射的衰减性能差,透过率高。对于少部分直径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的粒子,必需考虑它们的扩散特性,粒子的扩散运动是指粒子在介质中遭受介质分子撞击运动的结果,通常真空度不太高的条件下,粒子直径远大于介质气体分子平均自由程,此时扩散系数与介质的粘度系数有关,而粘度系数与介质的压强无关^[4],因此在粒子大小一定的情况下,真空度的变化对粒子的扩散速率影响较小。不同真空度下烟幕质量浓度的变化与其沉降特性有关,沉降特性随真空度的变化规律很大程度上影响着烟幕的红外透过率。

4 结 论

通过实验,得出了碳黑型抗红外发烟剂在不同真空度条件下产生的烟幕对红外辐射透过率的影响规律:不同真空度条件下的烟幕对近红外辐射的衰减性能不同,真空度不太高时随着真空度的升高,烟幕中炭黑的含量减小,烟幕粒子沉降速率愈来愈大,扩散速率所受影响不大,烟幕微粒质量浓度愈来愈低,红外辐射衰减性能越来越差。

参考文献:

- [1] 孟庆刚,曹虎,周遵宁,等. 信息化作战环境下太空飞行器的无源光电对抗技术分析[J]. 含能材料(增刊),2004:659-662.
MENG Qing-gang, CAO Hu, ZHOU Zun-ning, et al. Analysis for non-source photoelectric antagonism technology of space craft in information environment[J]. Hanneng Cailiao(supplement), 2004:659-662.
- [2] 周遵宁,赵鲁生,任跃,等. 外层空间红外成像制导对抗技术分析[J]. 红外技术,2002,24(6):14-16.
ZHOU Zun-ning, ZHAO Lu-sheng, REN Yue, et al. Analysis on IR imaging guidance countermeasure techniques of out space[J]. *Infrared Technology*, 2002, 24(6):14-16.
- [3] 周遵宁. 燃烧型红外发烟剂配方设计及应用技术研究[D]. 南京理工大学博士论文,2003.
ZHOU Zun-ning. Composition Design and Application Research on Pyrotechnic Anti-infrared Smoke Agent[D]. Doctoral Degree Thesis of Nanjing University of Science and Technology, 2003.
- [4] 高本辉,崔素言. 真空物理[M]. 北京:科学出版社,1983.
GAO Ben-hui, CUI Su-yan. Vacuum Physics[M]. Beijing: Science Publishing Company, 1983.
- [5] 李炳炎. 炭黑生产与应用手册[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
LI Bing-yan. Handbook of Soot Production and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Publishing Company, 2000.
- [6] 潘功配,杨硕. 烟火学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1997.
PAN Gong-pei, YANG Shuo. Principle of Pyrotechnics[M]. Beijing: Institute of Technology Press, 1997.
- [7] Dennis R, 著. 梁鸿富,卢正永,译. 气溶胶手册[M]. 北京:原子能出版社,1988.
Dennis R, editor. LIANG Hong-fu, LU Zheng-yong, translator. Handbook of Aerosol[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1998.

Effect of Different Vacuum Degrees on the Smoke NIR Attenuation Performance

CHEN Ning, CHEN Hou-he, PAN Gong-pei

(School of Chemical Engineering, NJUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: Aiming at the particularity of high vacuum and the applicability of the anti-IR smoke in outer space, the NIR attenuation performance of pyrotechnic anti-IR smoke was studied under different vacuums. Experiment results show that the smoke transmittance increases with the increasing of vacuum from $0.10\ \text{MPa}$ to $0.04\ \text{MPa}$, and the increase amplitude between the near vacuum intervals is approximately equal. Analysis results show that the increasing vacuum, decreasing smoke mass concentration make the smoke NIR attenuation performance reduced.

Key words: applied chemistry; smoke; vacuum; IR; attenuation