

烟幕弹药研究进展

冯长根, 乔小晶, 李旺昌

北京理工大学机电学院, 北京 100081

摘要 从烟幕弹结构、宽波段烟幕剂、安全环保3个方面介绍了烟幕弹的发展概况。阐述了可在空中大面积成烟的烟幕弹、可防止错误装配的烟雾组件、带有拖曳减速装置的烟炬、可浮在水面的烟雾罐等先进烟幕弹多层次多结构的装药设计及成烟方式;介绍了宽波段烟幕剂的配方组成,安全、环保型烟雾剂的配方及其改进方法。当采用脂肪族二羧酸或芳香族二羧酸作安定剂时,可以有效防止以轻金属做可燃剂的烟雾剂在长储过程中产生氨气导致烟雾药柱强度下降的问题。分析认为,未来烟幕弹药的发展方向为巧妙设计弹药结构、发展烟幕剂的宽波段适配技术、降低配方毒性、增强安全长储性等。

关键词 无源干扰;烟幕弹;烟幕剂;宽波段

中图分类号 TN216

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.h1.019

Research Progress in Smoke Bombs

FENG Changgen, QIAO Xiaojing, LI Wangchang

School of Mechatronical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

Abstract The development of smoke bombs is discussed from the following three aspects: the structure of the smoke bomb, wide band smoke agent, and safety and environmental friendliness. Multi-level charge and skillful design of the bomb are discussed in detail, including smoke cartridges forming a smoke screen in the air, devices for preventing assembly errors, smoke torches with deceleration devices, and floatable smoke pot. The constituents of smoke agents and improvement for safety and environmental protection were introduced, such as a stabilizer consisting of aliphatic or aromatic dicarboxylic acids for reducing gaseous ammonia which weakens the structure of a smoke body when a light-metal powder is used as the metallic reduction agent in the smoke kit. Besides safety and environmental protection, skillful design of bomb structures and development of wide band adaptation techniques will be future research directions.

Keywords passive countermeasure; smoke bomb; smoke agent; wide band

烟幕干扰技术是通过在空中施放大量微粒来改变电磁波的介质传输特性,实现对光电探测、观瞄、制导武器系统的干扰,具有“隐身”和“示假”双重功能。烟幕技术历史悠久,早在公元11世纪公布黑火药配方的《武经总要》中,就记载了发散烟雾遮障敌人视线的烟球^[1],烟球壳内装黑火药,点燃后抛射至敌方烧裂,烟雾四散,实现遮蔽目标之目的。烟幕干扰在中外战争中起到重要作用,例如,在海湾战争中,伊拉克在某重要设施周围部署了大量的烟幕施放装置,致使美军74架攻击机投下的上百枚激光制导炸弹无一命中目标^[2]。烟幕

作为一种高效价廉、实施简易的无源干扰手段,广泛应用于干扰侦察告警、搜索跟踪及激光制导和红外成像系统中。

传统的烟幕材料主要是片状黄铜粉、红磷、有机卤化物、磷酸铵、碳酸镁、金属及其合金、氯化锌、高氯酸钾、氯丁橡胶、氯化萘及碳氟化合物等,但是这些材料含有多种有机物,易对环境造成严重污染^[3]。同时,现有烟幕尚存在一些不足,例如箔条在可见光和近红外波段呈透明;膨胀石墨不易产生确定的长度,在个别频谱范围烟雾的衰减率非常有限,由于多孔粒子的存在导致引发呼吸道疾病的危险增加^[4];黄铜粉

收稿日期:2013-06-25;修回日期:2013-09-02

基金项目:国家部委预研项目(51305120302)

作者简介:冯长根,教授,研究方向为快速反应理论、化学物理效应、火工系统设计及仿真,电子信箱:gfeng@bit.edu.cn

引用格式:冯长根,乔小晶,李旺昌.烟幕弹药研究进展[J].科技导报,2014,32(4/5):110-115.

末下沉速度非常快,无法达到令人满意的遮蔽时间,黄铜粉末对人体和环境同样会产生严重危害^[5]。为此各国致力于发展低毒性材料,同时研究红磷替代物,以期获得安全、环境友好型的烟幕剂^[6,7]。

近年来国外烟幕弹药向着发烟时间长、发烟面积大、干扰频段宽、环保安全、操作简便等方向发展^[8-12]。本文从烟幕弹结构、烟幕药剂及新型环保烟幕剂3个方面介绍近年来烟幕弹的发展概况。

1 烟幕弹的结构设计

烟幕弹的结构设计主要侧重于烟幕剂的快速、大面积释放、改善烟幕的留空时间和提高装配正确率,以获得最大的干扰效果。

2006年,Shvajkovskij等^[13]发明了在大气中形成多层气溶胶幕,对红外至无线电波宽波段的有效干扰作用时间达20~30 s的烟幕弹,它由金属壳体、中心管、软垫推板、发射装置等组成(图1)。中心管内有爆炸装药,起到烟幕分散作用;软垫推板可分离,上部为可抛盖子;发射装置由电火工品、推进装药和底部的烟火减速器构成。整个弹体由刚性连接的几段组成,在光学和微波波段有干扰作用的烟幕剂位于弹体中、上部,靠近发射装置端含有金属粉末。2009年公开的海陆两用大面积、宽频烟幕弹专利^[14],弹内装有4组有效载荷,每组由2个有效载荷构成(图2(a)),2个载荷间有分离用的烟火药和装药,共7层。通过中心管道传递火焰,陆续将载荷从弹中抛出后在空中形成圆盘形大面积烟幕(图2(b))。产生的烟幕可干扰可见光、红外和雷达波段,克服了线状烟幕宽度较窄,难以有效防护多种探测武器的缺陷。上述2种烟幕弹均具有干扰多个波段的能力,同时干扰微波的箔条或干扰红外波段的金属粉与燃烧型的烟火药都具有分室装填的特点。

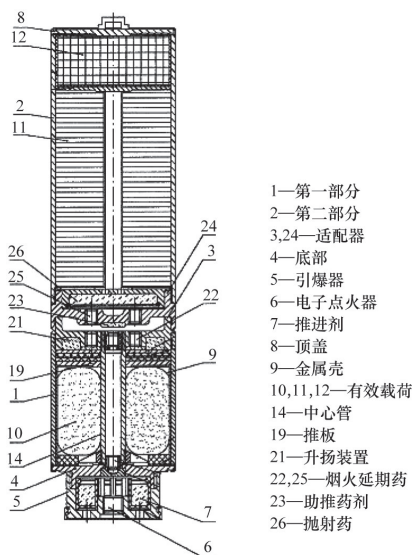


图1 宽波段烟幕弹

Fig. 1 Structure of wide band smoke bombs

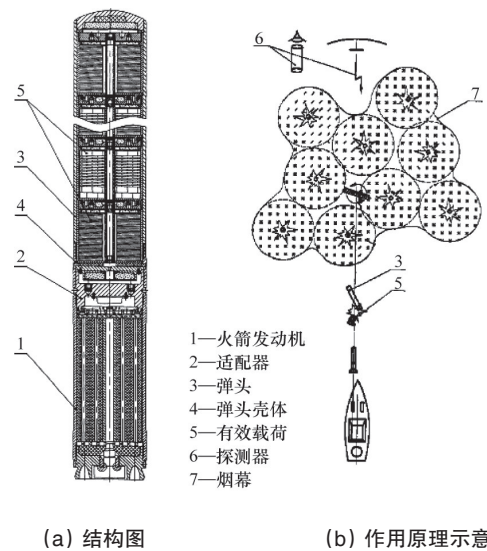


图2 海陆两用烟幕弹

Fig. 2 Dual-purpose land- and sea-based smoke bombs

2005年,Scherer等^[15]发明了烟幕榴弹(图3),这种烟幕弹中装有自支撑的烟炬,同时装有最高标准的载荷——钻孔安全级的烟雾剂。为了让烟炬在弹体中保持稳定,在其弹体内表面加工有纵向凹槽,烟炬上有适宜的定位栓嵌入其中。点火药具有带盖的室,盖上至少有一个通孔,一方面可调节节点火压力,另一方面可以泄放抛射药燃烧产生的气体。中心导火管由底部和上盖的孔固定,起支撑作用;导火管上带有点火孔,保证烟炬的可靠点火,抛射药产生的气体通过推板将烟炬从弹体中抛出。例如,从300 m高处落到地面时,榴弹的旋转和抛射烟炬的扰动会使烟炬以一定的分布自然散落在地上,形成多频谱屏蔽烟雾。

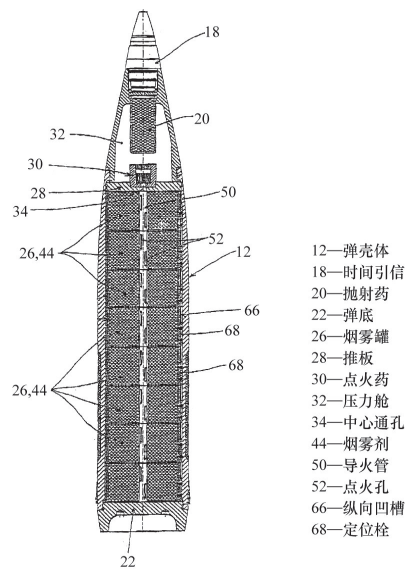


图3 烟幕榴弹

Fig. 3 View in longitudinal section of an embodiment of the smoke shell

Weis 等^[16]发明了可辐射红外光,同时遮蔽可见光的双模烟幕弹(图4)。主装药由2个药柱构成,第一装药和第二装药

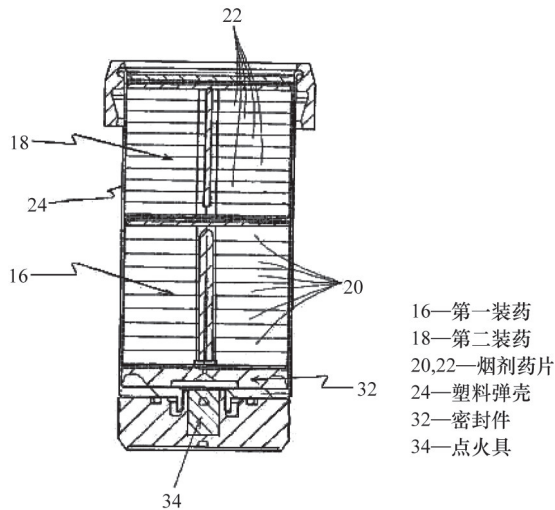


图4 双模烟幕弹

Fig. 4 Grenade screening in two wave bands

的表面都有自黏黑药片,即胶带火柴(tape matches),药柱则由烟雾剂药片堆积而成。每个药柱都具有特殊的效能,第一装药可快速成烟,第二装药则持续燃烧成烟。药柱与塑料壳体结合成整体,被烟火药爆炸分散。

烟幕可保护装甲和非装甲车辆免受导弹的发现、探测和追踪。针对燃烧型红磷烟幕的分散时间大约为2 s,难以起到保护作用的缺陷,Koch 等^[17]研究了一种在0.25 s内迅速分散的烟幕弹药,可对抗滑翔或沿地平线来袭的导弹(图5(a))。该烟幕弹含辐射红外、遮蔽可见光的烟火活性装药。弹体设计简单,药饼由4片扇形药块组成,多层药饼堆成中空的活性装药(图5(b)),可在大范围内快速形成遮蔽烟幕。

Ito 等^[18]的发明旨在缩短从点火到成烟的时间,车辆用发烟弹中的发烟剂药饼中间为空心,药饼叠加成药柱,中间形成中心孔作为点火通道,第一和第二个扭簧和被控制板压入发烟剂药饼中,扭簧的一部分插入中心孔中。扭簧能在与点火垂直的方向对点的发烟剂药饼产生分散力,因此,当药饼在壳体中被点着后扭簧释放的能量可以使其沿径向快速发散,从而提高成烟速度。

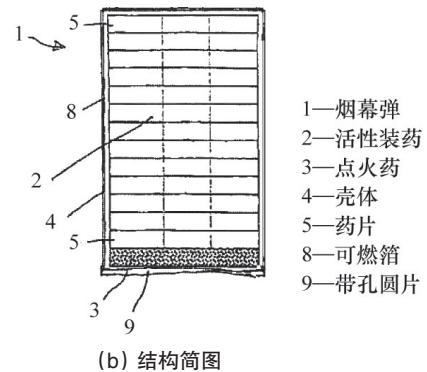
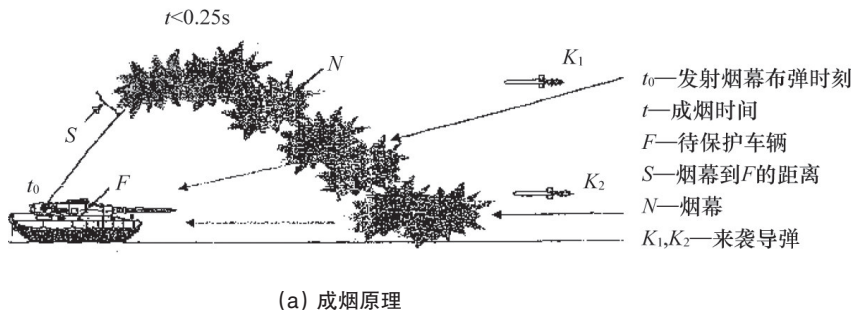


图5 快速成烟的烟幕弹

Fig. 5 Projectile generating smoke rapid

烟幕的评价标准一般有烟幕尺寸、衰减率、成烟时间、烟幕遮蔽时间(或留空时间)等,上述4个发明分别采用推板、爆炸分散、扭簧等方式以缩短烟幕的成烟时间。为了延长留空时间,美国120 mm烟幕迫弹^[19]则设计了减速装置,该弹包括弹体、推进剂、点火器、环境友好的烟雾剂、带金属壳体的烟炬等(图6),烟炬带有的减速装置——拖曳组件由一个或多个飘带组成,用以减缓烟炬下降的速度,烟炬在空中一边降落一边产生浓密的烟雾,烟雾持续时间可达55~75 s。这种结构可以使2.27 kg烟炬的下降速度降低至原来的1/3,即从约82 m/s降低至约27 m/s,同时使烟炬飘离目

标区域的距离减小。药柱是由5块重约200 g的药饼组成。点火时药饼中心孔构成的通道扩展,提高点火可靠性。

烟幕弹的装配质量也是保证其施放效果的重要因素,装配错误往往会导致瞎火。Muenzner 等^[20]发明了防止烟幕弹安装错误的装置,如图7所示。图7(a)为弹结构示意图,其含有不同成分的烟雾组件,将烟雾组件的上、下部分设计成形状、尺寸有差异的结构,如图7(b)中的直径为 D_1 和 D_2 , D_1 部位插入上部的烟雾组件, D_2 部分镶嵌下一个烟雾组件,故不同组件只可安装在特定位置,有效避免装配错误。

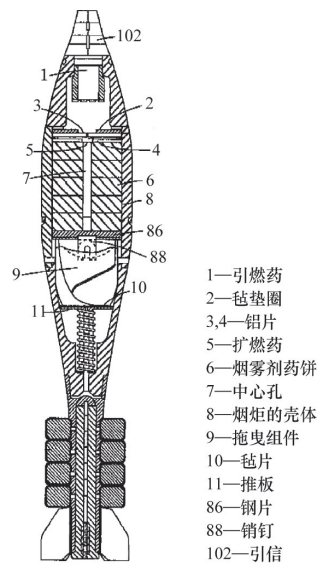


图6 烟幕迫弹
Fig. 6 Mortar projectile

Sibum等^[21]设计了可漂浮在水上的烟幕罐,罐内上部装有浮力材料(可以是塑料泡沫),底部有配重,可稳定的输出烟雾;即使短暂的浸没在水面下也不会熄灭。Weis等^[22]发明了模块化烟幕弹的壳体/夹持装置,为圆筒形,筒中可装有不同烟雾剂组件和基础元件,筒的底部有螺纹方便与基础元件连接,烟雾剂组件通过基础元件与烟雾弹发射装置连接。保证了弹与发射装置连接牢固,有效提高了作战效率。该装置适用于保护车辆和军队的烟幕弹,可适应不同的烟幕、不同的发射系统、不同种类的车辆。

2 宽波段烟幕剂

现代高科技战争条件下,烟幕技术应着重于宽波段的遮蔽能力,以适应多波段侦查和制导的需要。宽波段复合型烟幕材料已成为烟幕技术的主要发展方向,目前国际上用得较多的是镀金属纤维材料和多种红外遮蔽材料的组配^[23-25]。

Thompson等^[26]采用超声波法制备了在微粒表面沉积金属的干扰材料,其干扰波段是0.3~40 GHz。微粒主要是聚合物材料,例如聚丙烯、聚乙烯、聚亚安酯、尼龙、聚丙烯酰胺或者这些聚合物单体的共聚物。除此之外,微粒还包括碳纤维、石墨等碳基材料。微粒的尺寸分布从0.001 μm~1 mm,并且微粒的形貌多样,有纤维状和片状。沉积的金属种类繁多,包括银、锡、金、铂、铜、钴、钡、镉、镍、钛、锌等。

吴国辉等^[27]为了解决中国台湾从美国引进的M56涡轮发烟机烟幕剂依赖进口,且遮蔽频段窄的问题,研发了以碳纤维/石墨、碳纤维/竹炭及碳纤维/炭黑等复合材料组成的烟幕剂。将此烟幕剂与聚乙烯或环氧树脂混合,通过热压成型工艺制成15 cm×15 cm×0.2 cm的胶片,测试胶片对毫米波(8 mm)及红外线(3~5 μm和8~12 μm)的衰减,有很好的屏蔽效

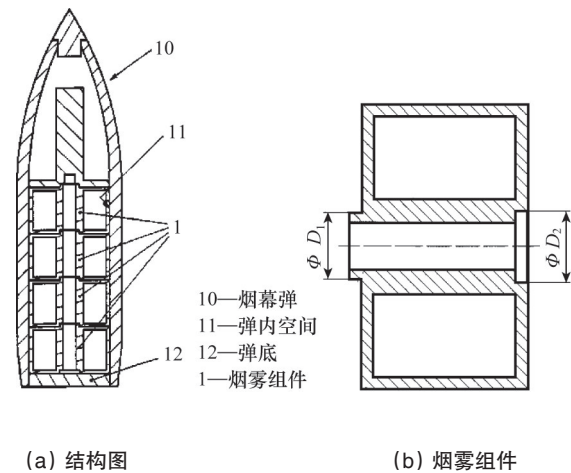


图7 可防止错误安装的烟幕弹
Fig. 7 Smoke projectile with devices for preventing assembly errors

果。以美国MIKRON公司的M305黑体作为辐射源,在800℃和1000℃下,用红外热像仪和红外频谱仪分别测试红外线对胶片材料的透过率,红外线平均透过率 T_{AVE} 计算式为

$$T_{AVE} = (S - S_B) / (PE - PE_B) \quad (1)$$

式中, S 为黑体辐射热源通过材料胶片的能量; S_B 为材料胶片本身的背景能量; PE 为黑体辐射热源通过纯聚乙烯胶片的能量; PE_B 为纯聚乙烯胶片本身的背景能量。

采用微波网络分析仪测量毫米波反射损失,扫描频率范围为33.5~36.5 GHz。用胶片同样大小的金属片放在待测位置校正水平,调整天线入射角测原始反射量,然后更换胶片测量反射衰减强度。结果表明纯竹炭及石墨吸波胶片干扰毫米波效果不佳,不适合单独作毫米波之烟幕材料。它们与炭黑和碳纤维以一定比例混合后对8 mm波有95%的吸收效果。

3 安全/环保型烟幕剂

过去的20多年中,烟火和高能材料领域注重发展技术和提高安全性,美国政府颁布的新法规对于用于含能材料混合物的材料有新的更严格的限制,美国职业安全和健康署(OSHA)的安全管理条例旨在消除意外事故^[28]。因此,除研究新型宽波段烟幕剂外,研究安全、环保型烟幕剂成为该领域近年的研究热点之一。虽然美国的M76式66 mm车用发烟弹可以在可见光和IR波段提供有效屏蔽,但是在制造和使用发烟弹时存在很大的安全、健康、环保隐患。为此美国马丁公司研究新型红外发烟弹替代原来的M76发烟弹。红磷广泛地应用于烟幕遮蔽领域,选其作为该弹的原有发烟剂的替代品,Davis等^[29]研究了该配方释放烟雾后对人体健康和环境影响,环保和安全评价包括散布烟雾后的化学生命周

期,环境特性,燃烧产物,烟幕粒子尺寸,挥发性有机化学药品,长储和水污染等方面。为了最小化雷达发现概率,以保存生命和装备,对9~96 GHz厘米/毫米波实施干扰是十分必要的,必须进行非常逼真的训练以便获得此能力,增加训练将导致释放进入环境的干扰物增加,为此美国开发了一种非镀膜碳纤维干扰物(CFO)作为M56E1烟雾产生系统的装填物^[30]。为了将其投入使用,2008年就下列内容开展了研究:1)军队试验和训练使用的最低限度;2)土壤环境可以忍受的CFO使用范围。使用非镀膜碳纤维干扰物用于训练,减少了大量使用镀膜金属碳纤维时对空中交通的干扰,对人员、牲畜以及周围环境的破坏。

Tadros等^[9]在发明中提出,目前美国兵工厂生产的120 mm白磷烟幕弹释放的烟幕虽然能够满足训练和维和等任务的要求,但这种烟幕弹除了容易引发火灾等,对环境还有长期和深远的危害。首先,未燃的磷会伤害到友邻部队;其次,白磷会产生酸性烟,对周围的土地、植被等产生伤害;第三,烟幕剂产生的其他烟也具有刺激性和毒性。因此,需研究低毒、环境友好的烟幕剂。在这基础上,该小组发明了装有低毒烟幕剂的烟幕迫弹,烟幕剂由下列物质组成:53%~57%对苯二酸,3%~6%碳酸镁,23%氯酸钾,1%~3%硬脂酸,14%蔗糖(其中12%~100%是聚合物用作黏合剂),1%聚乙烯醇黏合剂。这种烟幕剂用途较广,既可作为可见光烟幕,又可加入染料成为彩色烟雾,黄色烟雾剂中加有33*溶剂黄染料;绿色烟雾剂中则加有33*溶剂黄和3*溶剂绿染料。

传统烟幕剂多配有磷、硫和过氯乙烷等成分,燃烧易形成剧毒物质,易造成人体伤害,烟幕剂的使用也不甚方便。为解决这些问题,汤敦仁等^[31]发明了低毒性烟幕剂,适用于军、警、消防等。将50%~60%过氯酸钾,1%~5%镁粉,5%~10%铝粉,5%~10%氧化锌,10%~20%碳酸氢钠,5%~10%乳糖混合,将其与5%~10%聚醋酸乙烯溶液树脂(HPVAC胶)充分混合,制成细微颗粒状粉体易于储存。当需要使用时,取出装填弹体,加装引信,制成低毒性烟幕弹。除毒性下降之外,过氯酸钾对比氯酸钾的安全性更好。

含有活泼金属的烟幕剂在长期的储存过程中会发生腐蚀等问题,其原因在于,在潮湿环境中,烟幕罐中的金属粉与水反应产生氢气,氢气还原硝酸盐形成氨气,氨气的形成使烟幕药柱强度降低,经长期贮存后,燃烧型烟幕罐不再具有最佳效率。Krone等^[32]在2009年发明了一种用脂肪族二羧酸或芳香族二羧酸作安定剂的烟幕剂,能够有效防止该现象发生。二羧酸是有2个羧基的酸类,它与氨反应形成固体铵盐,起到中和作用,其中脂肪族二羧酸物质包括草酸、丙二酸、琥珀酸、脂肪族、癸二酸等,芳香族二羧酸物质包括邻苯二甲酸和对苯二酸等。为控制酸度,安定剂的百分含量较低,添加量一般在0.1%~5%。除安定剂外,该烟幕剂包含镁粉等金属粉作为可燃剂,硝酸钾和高氯酸钾作为主氧化剂,至少一种碳酸盐(可以选碳酸钙、碳酸氢钾、碳酸氢钠、碳酸钾或碳酸

钠等)做辅助氧化剂;同时,采用一种能分解生成氮气的物质作调速剂,如偶氮二甲酰胺、草酰胺或氰基胍;至少含有一种升华或挥发性无毒烟雾形成物质,高氯酸钾同时具有该作用;采用无卤素的热塑性高分子材料做粘合剂,例如聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙烯酯、聚乙烯醚等。

常用来使烟雾剂中的染料挥发的乳糖(lactose)/KClO₃体系易发生自点火,为了寻求安全有效的替代品,Eslami等^[33]采用热重法(TG)和热差分析(DTA)研究了KClO₃被常用氧化剂KMnO₄、KNO₃、KClO₄、Ba(NO₃)₂、PbO₂、NH₄ClO₄分别替换后与乳糖组成的混合体系的热性能,为安全型烟幕剂研究提供了理论依据。由示差扫描量热分析(DSC)测试获得了表观活化能(*E*)、活化自由能(ΔG^\ddagger)、活化焓(ΔH^\ddagger)、活化熵(ΔS^\ddagger)和临界点火温度(*T_i*)。KClO₃、KNO₃、KMnO₄分别与乳糖组成的混合物的表观活化能分别为129、203.7和303.35 kJ·mol⁻¹,临界热点火温度分别为195.8、332.8和382.4℃。研究结果表明,lactose/KNO₃混合物是安全有效的可用以使烟雾剂中的染料挥发的烟火组分,可用以替代非常著名的lactose/KClO₃混合物,其优点是体系具有较高的表观活化能和临界点火温度,防止混合和贮存期间意外发生自点火现象。

4 结论

随着光电制导武器的发展,烟幕干扰技术也在不断的深入和发展,干扰波段从以往的可见、红外、毫米波波段向紫外、厘米波宽波段扩展,而新型探测技术高光谱、超光谱的出现对烟幕技术发展提出新的挑战^[34,35]。作为隐身手段之一的烟幕技术,具有保密性强、技术难度大的特点,近年公开的部分资料大多为20世纪90年代申请的专利。因此,依据电磁波理论、光学原理,探索新的干扰机理,自主研发新型干扰材料是迫切需要解决的问题。面对未来战场复杂的电磁环境,巧妙设计烟幕弹结构,改善烟雾分散效果,提高响应时间;研究烟幕剂的宽波段适配技术、配方的低毒性、安全长储性改进等是未来烟幕干扰技术发展的方向。

参考文献(References)

- [1] 王兆春. 世界火器史[M]. 北京: 军事科学出版社, 2007.
Wang Zhaochun. The firearms history of world[M]. Beijing: Military Science Publishing House, 2007.
- [2] 梁柳, 徐迎, 金丰年. 烟幕干扰技术综述[J]. 现代防御技术, 2007, 35(4): 22-26.
Liang Liu, Xu Ying, Jin Fengnian. Summarization of smoke screen jamming technology[J]. Modern Defence Technology, 2007, 35(4): 22-26.
- [3] Sau C, Lazaroaie C, Zecheru T, et al. Toxicity evaluation of smoke pyrotechnic compositions based on the dimensional analysis of solid combustion products[J]. Revista de Chimie, 2011, 62(7): 718-722.
- [4] Koch E C, Schneider J. Pyrotechnic smoke screen units for producing an aerosol impenetrable in the visible, infrared and millimetric wave range: US. 6578492[P]. 2003-06-17.

- [5] Koch E C, Dochnahl A. Pyrotechnic active mass for producing an aerosol highly emissive in the infrared spectrum and impenetrable in the visible spectrum: US, 6581520[P]. 2003-06-24.
- [6] Hemmilä M, Hihkiö M, Kasanen J P, et al. Cytotoxicity and genotoxicity in vitro and irritation potency in vivo of two red phosphorus-based pyrotechnic smokes[J]. Mutation Research, 2010, 701(2): 137-144.
- [7] Zimmermann C, Moeller K. Plastic-bonded pyrotechnical mixture for producing alkali metal chloride or earth alkali metal chloride aerosols as smokescreen: WO, 2011042114[P]. 2011-04-14.
- [8] Tadros R M, Papayianis E, Dehaghani A A, et al. Smoke producing mortar cartridge: US, 7124690[P]. 2006-10-26.
- [9] Weis A, Latour B, Klare M. Smoke projectile: EP, 2405231[P]. 2012-01-11.
- [10] Weis A, Latour B, Klare M. Smoke grenade for armored vehicle, has metal balls which are arranged in space between fog mass and lid and are dismantled upon initiation of bursting element for radial-symmetrical distribution of smoke: DE, 102010053706[P]. 2012-06-14.
- [11] Dindl F J, Gainsborough L. Self-contained non-toxic obscurant grenade and Self-contained aerosol dispersing grenade: WO, 2009137370A2 [P]. 2009-11-12.
- [12] Diederichs H J, Brunkow B. Pyrotechnics system for protecting persons, vehicles, and/or objects: WO, 2011060767[P]. 2011-05-26.
- [13] Shvajkovskij V A, Petrov S G, Gusejnov S O, et al. Jamming device: RU, 2280835[P]. 2006-07-27.
- [14] Shvajkovskij V A, Koblev V D, Devjatkin S L. Method of protecting land-and sea-based equipment.: RU, 2371665C2[P]. 2009-10-27.
- [15] Scherer W S, Josef R G. Smoke shell: US, 6889611B2[P]. 2005-05-10.
- [16] Weis A, Latour B, Koch W, et al. Grenade producing infra-red emitting, visually-opaque smoke preventing hostile targeting, comprises modular blocks generating smoke quickly and burning over protracted interval: DE, 102006008309A1[P]. 2007-09-06.
- [17] Koch E C, Schneider J, Kothe T. Smoke Projectile: US, 2006060103A1 [P]. 2006-03-23.
- [18] Ito T, Matsunaga Y, Kikuchi Y. Smoke Shell: JP, 2007205587[P]. 2007-08-16.
- [19] Tadros R M, Papayianis E, Dehaghani A A, et al. Smoke producing mortar cartridge: US, 7404358[P]. 2008-07-29.
- [20] Muenzner S, Sackardt A. Device for preventing assembly errors during the assembly of a projectile, particularly smoke projectiles: WO, 2009049719[P]. 2009-04-23.
- [21] Sibum K, Schneider J, Koch E C. Floatable smoke pot: US, 7337724 [P]. 2008-03-24.
- [22] Weis A, Latour B, Klare M. Holder device for a modular smoke projectile: EP, 2405230[P]. 2012-01-11.
- [23] Meili G, Besson J M. Protection from attack: GB, 2459526A[P]. 2009-11-04.
- [24] Bellino F J, Johnson J A, Jester D V, et al. Common services pod for dispensing countermeasure devices: US, 7614334[P]. 2009-11-10.
- [25] Storozhenko P A, Gusejnov S H L O, Fedorov S G, et al. Armored vehicle production method and arrangement: RU, 2324138[P].2008-05-10.
- [26] Thompson G. A, Marx D E. Ultrasonic process for autocatalytic deposition of metal on microparticulate: US, 6726964[P]. 2004-04-27.
- [27] 吴国辉, 陈保惠, 龚彦彰, 等. 具有多频谱烟幕遮蔽的材料及其制造方法: 中国台湾, 200906932[P]. 2009-02-16.
Wu Guohui, Chen Baohui, Gong Yanzhang, et al. Multi-spectral smoke shielding material and manufacturing method thereof: TW, 200906932[P]. 2009-02-16.
- [28] Conkling J A, Mocella C. Chemistry of pyrotechnics: basic principles and theory, Second edition[M]. San Francisco: CRC Press, 2010.
- [29] Davis E A, Haley M V, McCaskey D A, et al. Chemical characterization of the pyrotechnically disseminated 66mm red phosphorous smoke screening IR, vehicle launched grenade[R]. ADA487911. 2008.
- [30] Phillips C T, Checkai R T, Kuperman R G, et al. Carbon fiber obscurant: Enhancing warfighter effectiveness while meeting environmental regulations [R]. ADA481498. 2008.
- [31] 汤敦仁, 游文正, 张育铭. 低毒性烟幕剂: 中国台湾, 200838832[P]. 2008-10-01.
Tang Dunren, You Wenzheng, Zhang Yuming. Low toxicity smoke agent: TW, 200838832[P]. 2008-10-01.
- [32] Krone U, Moeller K, Ballentin K. Pyrotechnical fog set for producing a concealing fog: EP, 2093204A1[P]. 2009-08-26.
- [33] Eslami A, Hosseini S G. Improving safety performance of lactose-fueled binary pyrotechnic systems of smoke dyes[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2011, 104(2): 671-678.
- [34] Lagueu P, Gagnon M A, Kastek M, et al. Multispectral and hyperspectral measurements of smoke candles and soldier's camouflage equipment[C]. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Conference Series, Edinburgh, United Kingdom, September 24, 2012.
- [35] Farley V, Chamberland M, Lagueux P, et al. Study of hyperspectral characteristics of different types flares and smoke candles[C]. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Conference Series, Baltimore, USA, April 23, 2012.

(编辑 田恬)

《科技导报》“科技纵横捭阖”栏目征稿

“科技纵横捭阖”栏目收录对学术热点、前沿,学术争论、争端,科学与文化,科学人物介绍,海外科研、留学经历,科学史,科学渊源,科学决策、学术会议、科学活动,以及科研经费、科研项目申报、考试等方面的杂谈文章。每篇文章约2200字,要求求实、具体,行文深入浅出、言简意赅、逻辑清晰、有理有据、观点鲜明、切中要害,可读性强。栏目责任编辑:王芷,电子邮箱:wangzhi@cast.org.cn;在线投稿:www.kjdb.org。