

文章编号: 1006-9941(2010)04-0443-04

中国烟火技术的创新与发展

潘功配

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 中国烟火技术的发展由来已久,源远流长,公元前八世纪周朝即有“狼烟”烽火台;中国古人在炼丹的过程中发明了黑火药,从而促使了中国烟火技术广泛发展;现代中国烟火技术军用的电子战烟火光电对抗和民用的烟火人工防雹降雨、烟火灭火、烟火发电等获得了创新性发展;中国的烟花爆竹在安全环保材料技术研究和无烟/微烟的焰火技术、纳米烟火、稀土烟火以及融合现代其它学科技术的特型焰火、婚礼烟花、寿礼烟花、卡通烟花等方面快速发展;固体化学原理及其对烟火系统的应用研究也在促使中国烟火技术的理论研究的新进展。

关键词: 应用化学;烟火技术;中国;创新;发展

中图分类号: TJ55; O69

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.04.020

1 引言

中国烟火技术的发展由来已久,源远流长。早在公元前八世纪的周朝,中国就有了“狼烟”烽火台^[1],古人以狼粪燃烧生烟传递军事信号。周末(公元前500年前)已在战争中应用了“火攻”技术(见《孙子兵法》“火攻篇”)。汉末三国战争,就有著名的“火烧赤壁”。公元227年,魏、蜀交战时已使用了“火箭”,当时的火箭是将草艾、麻布浸渍上油料缚于箭上用弓射出。不过那时的烟火还只是一种“烟”和“火”的技术应用,它是直接应用自然界的可燃物质借空气中氧的燃烧来获得某种烟火效应的,并没有构成一种自供氧(即利用氧化剂)体系的当今的烟火药剂。

应生命科学对医药的需求,中国古代帝王为了长生不老而寻求“灵丹妙药”,中国古人在炼丹的过程中炼着了火,从而导致了黑火药的发明。中国古代的黑火药配方是“一硝二磺三木炭”,其百分比为 $\text{KNO}_3 : \text{S} : \text{C} = 76 : 10 : 14$,与当今标准的黑火药配方 $\text{KNO}_3 : \text{S} : \text{C} = 75 : 10 : 15$ 基本一致。

黑火药的出现首先被用于战争,最初是用来纵火、灼伤和发生毒烟,其后用于爆炸,进而用作发射。有史记载用于战争是唐哀帝天启年间(公元904年),郑燧攻打豫章(今江西南昌)时使用黑火药制作“发机飞

火”,火烧龙沙门。宋代(公元960~1279年)黑火药已被制造成各种火药兵器,如“毒药烟珠”、“蒺藜火球”、“火炮”等。明代(公元1368~1644年)出现了“五里雾”、“神烟”、“五色烟”等古代的烟幕剂和彩色发烟剂,此时已不是单纯黑火药的配方,而发展为应用更广泛的烟火药配方了。

黑火药用于民间娱乐烟火滞后于军事。当今,中国现代烟火技术军需民用,生气盎然,广泛发展,不断创新。

2 中国现代烟火技术的创新与发展

2.1 军用烟火技术的创新与发展

我国现代烟火技术的创新与发展主要体现在军需民用上。军用烟火技术创新与发展包括:照明弹药由可见光照明发展为红外照明技术;燃烧弹药由黄磷燃烧发展为赤磷基、锆基、镁基、稀土合金以及准合金类高能燃烧技术;发烟弹药由黄磷发烟技术发展为赤磷发烟技术和抗红外、激光、毫米波的多波段乃至“全频谱”的发烟技术;曳光弹药由可见光曳光技术发展为红外曳光技术;信号弹药由传统烟火信号技术发展为烟火信息计算机编码信号技术。而应电子战光电对抗需求,烟火发展则进入到光电对抗高技术行列。利用烟火药的光、声、烟、热及其电磁效应来对高技术的光电制导武器和观瞄探测器材实施诱骗迷惑、遮蔽隐身和软杀伤破坏干扰,其技术内涵为诱饵(雷达诱饵、红外点源或扩张源诱饵、激光诱饵、双色双模和红外成像诱饵等)、烟幕(燃烧型和非燃烧型人工气溶胶和镀膜

收稿日期: 2009-11-10; 修回日期: 2010-04-26

作者简介: 潘功配(1945-),男,教授,博导,主要从事烟火技术研究。

e-mail: pangongp@163.com

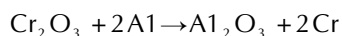
纤维毫米波干扰材料等)、软杀伤烟火(强光致盲烟火剂、腐蚀性气溶胶、熄燃或爆燃烟火剂、超级粘滞剂和润滑剂、石墨弹等)。

我国军用烟火技术十分注重环保型烟火技术发展,并已创新研究了可降解的竹纤维干扰箔条,即以竹纤维为基进行化学覆膜金属,通过爆炸分散形成有效的雷达反射截面,与此同时亦能燃烧形成特定波谱的红外辐射;以及环保型雾化幕障干扰技术、水雾遮蔽干扰技术等。

我国军用烟火技术创新与发展的另一个典型是烟火底排增程技术,它以烟火排气剂燃烧对弹丸底部区域进行低动量的“添质加能”而减阻增程。烟火底排增程是一项在不改变火炮系统、发射装药和弹形结构的前提下可使炮弹射程提高30%的技术^[2]。

2.2 民用烟火技术的创新与发展

(1) 超纯金属冶炼、焊接与切割等工业上应用烟火技术。利用铝热反应可冶炼出无碳素的纯金属或合金,例如冶炼 Mn、Cr、Fe-Ti 合金等:



为了制取 Fe-Mn(90:10)无碳素合金,采用9份的 Fe_3O_4 及 Al 的混合物与1份的 Mn_3O_4 及 Al 的混合物进行铝热反应即可炼取。

(2) 安全气囊、航海求救信号和铁路、高速公路烟火信号等交通运输业烟火技术。

(3) 烟雾杀虫、灭鼠、植物催长等农业应用烟火技术。

(4) 人工防雹降雨烟火技术。

(5) 无声近人爆破烟火技术。

(6) 烟火发电技术。

(7) 宇宙空间探索技术。

(8) 烟火气溶胶灭火技术。烟火气溶胶灭火(pyrotechnically generated fire extinguishing aerosol)其简称是 Pyro-Gen。烟火气溶胶灭火的优点:灭火效率高,是哈龙的3倍;可绕过障碍物以全淹没的方式灭火;滞留时间长,不导电,经济。

除此之外,还有诸多方面的发展及应用,如体育运动用的发令枪发令纸、登山运动员用的氧气烛、食品工业用的自热食品罐头等等。

3 中国烟花爆竹技术的创新与发展

烟花名称在中国出现,有史记载的是“始于唐,盛于

宋,源于浏阳”^[3]。唐代(公元618~907年)有“起花火箭”、“火树银花”。宋代(公元960~1279年)有“火药什戏”。明代(公元1368~1644年)有“木架烟花”。

中国烟花过去有着灿烂的历史,但谈不上科学。现在,中国的烟花技术从烟花药剂研究到工艺生产,从产品的更新到技术创新,以及烟花安全环保都在向烟花科学迈进^[4]。

(1) 中国烟花药剂研究正逐步趋于科学化。烟花药剂配方组分的选择和确定,是借物理和化学的相关理论、计算机技术和现代光谱分析技术等开展。多组分体系的烟花药剂,燃烧反应能否自发进行,采用自由能变化 ΔG 来判断。当 $\Delta G < 0$ 时,反应可自行进行,并由此编程算出该药剂的能量特征数。借助光谱分析可检验出 SrCl^+ (红色,620~720 nm)、 BaCl^+ (绿色,490~565 nm)、 CuCl^+ (蓝色,440~490 nm) 是否存在,光谱能量分布是否落在特定波段内,使所设计的红、绿、蓝火焰色彩更加鲜艳夺目。

(2) 钝感药剂研究力度在加大。研究钝感的烟花药剂事关产业的安全。试验研究表明,采用聚硫化物系聚合物代替淀粉系粘合剂时,不仅感度下降,而且烟花效应更佳。

(3) 环保烟花开发研究已在逐步展开。例如,爆音剂一度采用 $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{Mg}(\text{Al})$,由于铅化物在反应时产生铅蒸气污染环境,且有毒,为此,目前已研究出 A 型 CuO 替代 Pb_3O_4 。又例如,有色发光剂配方中为了增加 Cl^- 载体,曾使用六氯代苯,毒性很大,近年来,研究用氯化石蜡、PVC 替代,使得烟火产品的原材料无毒。

(4) 中国的无烟焰火已出现。以军用硝化棉、硝化甘油无烟药(即单基粉、双基粉)为主体的无烟烟花已用于舞台焰火。图1所示为有烟与无烟焰火燃烧情况,图1a为有烟焰火,对其配方进行改进后则得到图1b所示无烟焰火。

(5) 中国烟花加工工艺在进步。多数企业已实现机械化和半机械化。用引线机制造引线,用压铸机加工礼花弹壳体,用卷筒机卷制纸管,目前已普及。混制烟花药剂机械化和半机械化设备在中国已有多种多样。

(6) 中国烟花产品更新及技术创新在稳步发展。中国烟花产品更新体现在花色品种上不断翻新。传统的线香类烟花是在铁丝、竹杠或木杠上涂敷烟花药,点燃后呈直线燃烧,比较单调,目前更新为变色花枝(分层分段涂敷不同焰色剂)和分支花枝(在主轴上分叉,形成火树银花)。礼花弹的花色品种目前已拥有图案与文字的礼花弹、拖着火星尾迹上升的菊花和牡丹花

等礼花弹、二次开花礼花弹、“蝶”、“柳”、“椰树”、“环”、“金项链”、“皇冠”、“向日葵”、“笑脸”等等。



a. smoke-fireworks b. smokeless fireworks
图 1 有烟与无烟焰火燃烧情况

Fig. 1 Combustion of smoke and smokeless fireworks

一种生日蛋糕烟花,利用了热电偶技术和电子音乐集成模块,在喷花过程中点燃生日蜡烛,唱起“祝你生日快乐”歌曲。由硝化萘酚沥青加入适量氧化剂组成的“烟花蛇”产品,已问世。由硫酸盐加镁粉和暗燃药的红、橙、黄、绿、白频闪星体,已出现。一种“冷”烟火,可以在室内安全燃放。

产品更新还体现在对已有技术合成与燃放方式的发展与创新。例如,北京 2008 奥运焰火的“大脚印”,60 年大庆的“和平鸽”和“笑脸”,就是对现有“罗马烛光”产品燃放方式的发展与创新,将烛光药球包裹暗燃点传火药,运用 40 毫米膛压炮点射在空中“点阵组图”,32 门炮即 32 个光点构成了一个“大脚印”,如图 2a 所示。图 2b “和平鸽”和图 2c “笑脸”亦是基于此而获得。

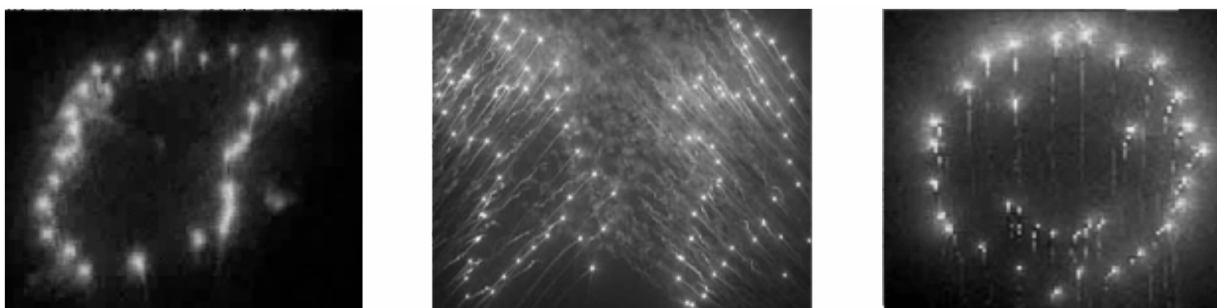


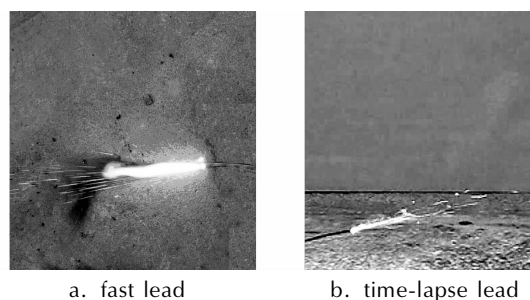
图 2 “大脚印”、“和平鸽”、“笑脸”

Fig. 2 "Footprints", "Peace Dove" and "Smile"

烟花爆竹材料的安全环保是中国烟花技术的创新之本。新型烟花材料开发研究首先是安全环保,其次才是焰火效应。近年来,中国烟花科技工作者已开发研究出了一些经济适用和安全环保的新材料。就氧化剂材料而言,以高氯酸钾、硝酸钾、硝酸钡氧化剂替代高感度的氯酸钾和易吸湿硝酸钠的氧化剂材料研究已获得成功。在可燃剂材料研究方面,已开发研究出了环保型代硫可燃剂材料;海绵钛及其合金粉可燃剂材料已成功开发并应用于冷光烟火;铬(Cr)、锰(Mn)、钒(V)、镍(Ni)、钼(Mo)、钨(W)、铋(Bi)以及稀土合金等可燃剂材料应用也有了新进展。

环保烟花的创新重在解决无烟/微烟、低污染药剂技术。花色品种创新重在开展融合现代其它学科技术于烟花艺术之中的特型焰火研发和婚礼烟花、寿礼烟花、卡通烟花等精品烟花开发,与此同时也积极关注纳米烟火、稀土烟火技术研究。

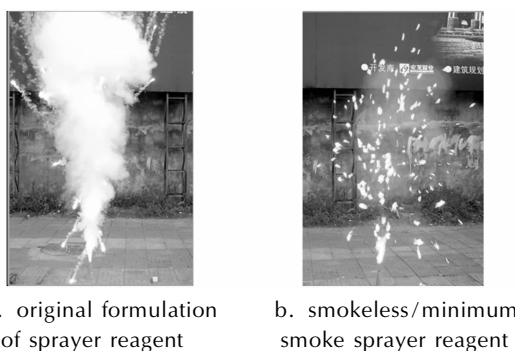
环保的无烟/微烟焰火技术研究已初见成效。已研究出无烟/微烟的产品,如图 3 所示无烟/微烟引线,图 4 所示无烟/微烟喷花。



a. fast lead

b. time-lapse lead

图 3 无烟/微烟引线
Fig. 3 Smokeless/minimum smoke lead



a. original formulation of sprayer reagent

b. smokeless/minimum smoke sprayer reagent

图 4 无烟/微烟喷花
Fig. 4 Smokeless/minimum smoke sprayers

4 烟火理论的研究

在中国,烟花安全生产受到重视。已制定了多项国家技术标准。烟花安全药剂研究表明, KClO_3 不安全的因素首先是熔点低(356 °C),为低分解温度的氧化剂,并且分解时放热。其次,含 KClO_3 的药剂由于固相反应,发火温度降低了。例如, KClO_3 与 S 混合,由于 S (熔点 119 °C)使得 KClO_3 晶格松弛,反应性提高了,药剂的发火温度降低了。文献[2]的结果表明, S- KClO_3 在 142 ~ 144 °C 时即开始发生反应,150 °C 时就出现了放热峰(发火),反应并没有等到 KClO_3 熔融(356 °C)即开始了,这是由于固相反应下 KClO_3 晶格松弛在反应性中起了支配的作用。正因为如此,今日中国的烟花,凡以前使用 KClO_3 配方的药剂(发烟剂除外),均不再使用 KClO_3 ,或改用 KClO_4 。目前,取代 KClO_3 的安全氧化剂已研制成功,推向市场。由此也突现出烟火理论对烟火科学发展和技术创新至关重要。

固体化学的基本原理及其对烟火系统的应用研究是烟火科学的理论发展基础^[5]。

烟火理论研究,目前已提出了界面化学物理、固态反应、光谱、气溶胶(烟幕)理论和烟火反应统计物理学等课题:

(1) 烟火反应界面化学物理。由氧化剂、可燃剂等组成的烟火药,相与相之间构成多个界面,这些界面

处的分子与内部分子所处环境不同,因此性质亦不同。

(2) 固态反应。烟火药多数是由数种固体粉状物质构成的固态混合物。固体之间能起反应,且其反应按指数规律进行。

(3) 光谱。烟火药的光、色、烟效应理论基础之一是烟火光谱学。广泛开展烟火材料及其配方药剂的光谱特性研究,建立起光谱数据库。

(4) 气溶胶(烟幕)理论。传统的气溶胶(烟幕)能遮蔽可见光,但要发展一种能遮蔽干扰红外、激光和毫米波的所谓“全波段”气溶胶(烟幕),现有概念和理论模型已不适用。

(5) 烟火反应的统计物理学。有关烟火药的化学反应速率,一些学者提出借助统计物理学,首先构造出大量分子体系的微观分子运动模型,然后利用求微观量统计平均值的方法,推断整个体系的宏观量值。

参考文献:

- [1] (明)冯梦龙,蔡元放. 东周列国志[M]. 西安: 陕西人民出版社,1995.
- [2] 潘功配. 高等烟火学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社,2005.
- [3] 民国实业部国际贸易局编. 中国实业志[M]. 民国实业部国际贸易出版局,1935.
- [4] 潘功配. 烟花科学的过去、现在与将来[C]// 首届国际烟花质量技术论坛论文集. 2001: 40-48.
- [5] McClain J H. Pyrotechnic from the View Point of Solid State Chemistry[M]. Penna: The Franklin Institute Press,1980.

Development and Innovation of Pyrotechnics in China

PAN Gong-pei

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

Abstract: The development of pyrotechnics in China has a long history. As early as the eighth century BC, in the Zhou Dynasty, "smoke signal" the beacon tower appeared in China already. The process of alchemy led to the invention of black powder, which accelerated the development of Chinese pyrotechnics. Electronic warfare, pyrotechnics electro-optical countermeasures in the military area, and artificial rainfall-enhancement and anti-hail, fire extinguishing with pyrotechnics and electricity generation with pyrotechnics in the civil area and so on, has achieved innovative development. Chinese pyrotechnics have developed rapidly in the study of safe and environment friendly materials, smokeless/minimum smoke fireworks technology, nanometer fireworks, rare-earth fireworks and the special fireworks, fireworks for wedding, fireworks for birthday party, and cartoon fireworks, etc, which combined with the modern technology of other fields. The principle of solid chemistry and its application in the pyrotechnics system have accelerated the new process of theory of Chinese pyrotechnics.

Key words: applied chemistry; pyrotechnics; China; innovation; development

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.04.020