



2013年版

中国工程物理研究院 科技年报

Annual Report of China Academy of Engineering Physics



• 中国原子能出版社 •

2013 年版

中国工程物理研究院

科技年报

Annual Report of

China Academy of Engineering Physics

编辑部通讯地址

四川省绵阳市 919 信箱 805 分箱

邮编: 621999

电话: (0816) 2485754, 2485793

传真: (0816) 2485753

E-mail: HPLPB @caep.ac.cn

URL: www.caep.cetin.net.cn

中国原子能出版社

图书在版编目（CIP）数据

中国工程物理研究院科技年报：2013 年版 / 《中国工程物理研究院科技年报》编辑部编. — 北京:中国原子能出版社, 2013.11
ISBN 978-7-5022-6044-6

I. 中… II. 中… III. ①工程物理学—中国—2013—年报 IV. ①TB13-54

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 244163 号

内容简介

本书主要介绍 2012 年度中国工程物理研究院在物理、力学与数学、化学与材料科学和信息科学与电子工程等重点学科与研究领域的部分科研进展与科研成果，这些内容采用专稿形式，充分体现了科研特色，展示了科研能力。另外，本书还介绍了 2012 年度中国工程物理研究院科研人员申请的国家自然科学基金资助项目、科研人员在全国性学会中部分任职情况、中国工程物理研究院组织或参加的国内外学术交流活动以及当年度硕博学位论文题目。

本书旨在加强与国内外同行之间的交流与合作，并可供从事科学研究与管理的有关部门和科技人员、高等院校师生参考。

中国工程物理研究院科技年报/2013 年版

出版发行 中国原子能出版社（地址：北京市海淀区阜成路 43 号 邮编：100048）
责任编辑 付 凯
特约编辑 唐 勇 肖 燕
印 刷 四川绵阳科学城曙光印刷厂
经 销 全国新华书店
开 本 880 mm×1230 mm 1/16
字 数 360 千字
印 张 12.5
版 次 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-6044-6
印 数 1—1 000 定 价 100.00 元

版权所有 侵权必究 出版社网址: <http://www.aep.com.cn>

《中国工程物理研究院科技年报》

编审委员会

主 任 彭先觉

副主任 汪小琳 赵武文

委 员 (以姓氏笔画为序)

王 韬	帅茂兵	叶春福	田 忠	李正宏	李敬明
肖世富	何建国	何铁宁	何朝晖	应阳君	张 凯
张 健	张传飞	张保汉	范国滨	杨礼兵	罗文华
孟凡宝	赵 锋	赵成杰	胡海波	莫 军	席传裕
黄秀光	隋 展	曾 超	魏智勇		

编辑部 唐 勇 肖 燕 刘 剑

第一届全国太赫兹科学技术与应用学术交流会

2012年9月15至16日,中国工程物理研究院电子工程研究所科协作为主办方办事机构协同相关单位和部门在北京远望楼会堂成功召开了“第一届全国太赫兹科学技术与应用学术交流会”。

中国兵工学会太赫兹应用技术专委会主任委员、我院刘仓理副院长主持大会开幕式,中国科学院姚建铨院士担任大会主席,中国科协冯长根副主席,我院院长赵宪庚院士,中国兵器工业集团副总经理、中国兵工学会杨卓副理事长等领导出席大会并作重要讲话。6位院士、23名特邀报告专家、近300名来自全国各地从事太赫兹科学技术与应用研究的学者和科研人员出席了大会。会议收到100多篇高质量学术论文,专业领域面广,涵盖了太赫兹物理与基础理论,太赫兹产生与放大技术,传输与检测技术,太赫兹在通信、雷达、成像中的应用技术等领域。



一所成功承办第十三届全国高功率粒子束 暨第八届全国高压加速器会议

2012年8月23日~27日，由一所承办的第十三届全国高功率粒子束暨第八届全国高压加速器学术交流会在贵阳召开，来自中物院、清华大学、北京大学、复旦大学、原子能科学研究院等国内近20个科研单位约150人参会。

本次会议是高功率粒子束和高压加速器两个会议第一次联合举办，共安排了8个报告专场，包含6个特邀报告、20个大会报告和100个粘贴报告。

一所副总工程师章林文担任会议主席。在特邀报告专场中，一所的王勳副研究员介绍了PTS装置的研制进展和初步调试结果，展示了科研人员在PTS装置研制中力求自主创新和攻坚克难的精神；十所的黎明研究员介绍了十所在自由电子激光太赫兹技术方面的研究情况，详细阐述了十所正在研制的太赫兹源。其他专家主要介绍了磁开关在脉冲功率系统中的应用、加速器在质谱技术方面进展及应用、强流束物理的研究进展等方面的内容，展示了各自研究工作中的亮点。

在大会报告中，一所106、107、108和109室的代表分别对本室有代表性的研究工作进行了较为细致的阐述，展示一所的科研能力和水平。



第十三届全国高功率粒子束暨第八届全国高压加速器学术交流会

2012.8.23 贵阳



第十一届全国蒙特卡罗方法及其应用学术交流会

2012年6月6日至9日,由全国蒙特卡罗方法及其应用专业委员会主办、中国工程物理研究院流体物理研究所和激光聚变研究中心等离子体物理重点实验室共同承办的“第十一届全国蒙特卡罗方法及其应用学术交流会”在贵州省贵阳市召开,来自35个单位的130余位专家和学者参加了本次会议。

会议期间,来自一所、八所、九所、清华大学、山东大学、北京师范大学、中国科学院核能安全技术研究所、西北核技术研究所等单位的11位专家分别做了大会报告,内容涉及蒙特卡罗方法及其应用相关的理论与方法、蒙特卡罗模拟软件研制、蒙特卡罗方法及软件在裂变反应堆和聚变物理中的应用、蒙特卡罗模拟方法及软件在核工程领域中的应用、蒙特卡罗方法及软件在核医学中的应用等各方面。



院长致辞.....	赵宪庚	1
综述		
钝感高能炸药研究进展		3
物理学科		
冲击波下固相 HMX 的初始分解.....	姬广富	11
几种典型金属的冲击相变特性实验研究.....	金 柯	14
基于 CQ-4 装置的磁驱动准等熵压缩与超高速飞片发射研究.....	罗斌强	17
准球形丝阵电磁内爆研究.....	褚衍运	20
CFBR-II 快中子脉冲堆对外脉冲中子源的响应特性研究.....	范晓强	24
次临界能源包层概念研究进展.....	郭海兵	27
中子衍射应力分析技术研究进展.....	孙光爱	30
中子层析和相衬成像技术研究进展.....	吴 洋	33
辐射加热等离子体状态参数的汤姆逊散射诊断.....	张继彦	36
电子碰撞展宽和线移.....	段 斌	39
高温高压下爆发产物分子间的相互作用.....	赵艳红	42
基于“神光 II”装置的四分幅 X 射线 K-B 显微成像系统.....	董佳钦	45
力学与数学学科		
几种典型的流体动力学界面不稳定性问题数值模拟研究.....	柏劲松	49
液液斜界面 RT 不稳定性实验研究.....	刘金宏	53
双抛光头磁流变抛光技术与装备研究进展.....	何建国	57
气流辅助增强匙孔激光焊的熔深增加机理研究.....	沈显峰	60
高分辨率中子粉末衍射谱仪机械主体装置研制.....	陶继忠	63
多功能导管挤压焊封工程样机研制.....	张连新	65
大口径碳化硅反射镜数控抛光工艺研究.....	朱 衡	67
多介质流体力学保对称与守恒特性的拉格朗日格式研究.....	成 娟	70
蒙特卡罗区域分解并行计算的伪随机数应用.....	李 刚	74
可压缩多介质流动的整体 ALE 方法及其应用.....	田保林	77
化学与材料学科		
Sc 膜的(002)择优生长机制研究.....	吴清英	83
Li ₄ SiO ₄ 陶瓷微球堆外释氦行为研究进展.....	肖成建	86
低熔点金属/聚合物复合材料的研究进展.....	贺江平	91
高导热尼龙 66(PA66)复合材料制备与性能研究.....	刘 涛	94

基于超分子组装-解组装对硝胺炸药微结构的设计与调控.....	刘 渝	96
以秸秆为原料的聚氨酯泡沫塑料的制备与性能.....	田春蓉	99
CL-20 重结晶过程中的晶型转变研究.....	徐金江	102
聚氨酯型固-固相变储能材料的干态法合成与导热改性研究.....	余雪江	106
用于微藻油脂转化生物柴油的固体催化剂研究.....	张晓玉	109
通过改变 Fe-Mn 基合金ε马氏体形态以提高其阻尼性能的研究.....	黄姝珂	112
Ce ³⁺ 掺杂 Li ₂ O-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 玻璃闪烁材料制备方法研究.....	陈艳平	115
贫铀/40Cr 钢电偶腐蚀行为数值模拟.....	蒲 朕	117
UFeGa ₅ 单晶生长及晶体结构研究.....	谢东华	120
微芯片层流萃取铀的实验和计算研究.....	张 靖	123
α-Al ₂ O ₃ 中氢行为的研究进展.....	张桂凯	126
锂掺杂碳纳米管储氢的第一性原理分子动力学研究.....	王丽莉	129

信息科学与电子工程学科

质子照相成像光束线的研究.....	魏 涛	135
大范围微纳米精度绝对距离测量技术研究.....	翁继东	138
用于果冻内爆诊断的 X 光照相技术研究.....	钟 杰	141
太赫兹光谱技术用于库存炸药检测.....	朱礼国	144
金刚石 SAW 滤波器的设计和制作.....	陈颖慧	147
基于 OFDM 的无人机遥测技术.....	赵海龙	150
高性能科学与工程计算支撑软件框架体系.....	曹小林	153
钠信标回光特性技术与实验验证.....	陈天江	156
X 波段同轴多注相对论速调管放大器技术研究.....	刘振帮	158
380 mJ, 50 Hz 全固态和频钠信标激光器.....	鲁燕华	162
四路百瓦级板条激光相干合成实验研究.....	颜 宏	165
两种基于双向比较的最长公共子串算法.....	王开云	167

附录 A 2012 年度国家自然科学基金资助项目.....	173
附录 B 2012—2013 年度中国工程物理研究院在全国性学会中部分任职情况.....	175
附录 C 2012 年硕士、博士研究生毕业论文题录.....	181



院长致辞

注重基础科研是闯中国特色核武器科技事业发展道路的宝贵经验，是创新驱动发展的力量源泉。近年来，我院在运行机制、研发组织、人才引进和培养等方面进行了新的探索，力促基础科研有大的突破。2013 年科技年报的 51 篇论文，部分展示了相关工作取得的成果，增进了相关学科及其之间的学术交流。

基础科研投入的回报具有一定的不可预见性，但是一旦突破，其效益又是不可估量的。院及研究所要做基础科研的理智、耐心、坚定的拥趸者，坚持目标导向与自由探索相结合，坚持完成科研目标与培养人才队伍相结合，解放思想，勇于担当，认真评估学科发展需求和优势，大力营造良好科研氛围，充分发挥专家主体作用，合理利用国际国内资源，加大基础科研投入和成果转化力度，不断提高科研活力、学术影响力和科技创新力，支撑、引领院事业又好又快发展。

中国工程物理研究院院长

赵贞俊

中物院精神

做民族脊梁
铸国防基石

钝感高能炸药研究进展

黄 辉，黄风雷，聂福德，李金山，陈 朗

钝感高能炸药是一类对外界刺激不敏感、安全性符合钝感炸药标准，能量比 TATB 显著提高的新型炸药，是武器安全和高威力的重要保证，受到各大国的高度重视。但炸药本身是一种亚稳态物质，容易受外界刺激而发生反应、燃烧甚至爆炸，因此要获得高能量、安全性能优异的钝感高能炸药成为极具挑战性的难题。目前，国际上满足钝感炸药标准的只有 TATB 和以 TATB 为基的少数几种高聚物黏结炸药，其根本原因在于炸药能量与安全性之间存在矛盾，且缺乏解决或有效协调这对矛盾的理论和方法。

近年来，我们针对钝感高能炸药设计中的难题，紧紧抓住钝感与高能相制约这一重大基础问题，在现有理论、技术的基础上，从炸药分子-晶体-混合体系-构件等多个层面，对钝感高能炸药研制中涉及的 6 大基础科学问题进行了较全面的研究：（1）分子结构与感度、能量的关系；（2）高能炸药晶体特性与感度的关系；（3）高能炸药的降感机理；（4）混合炸药组成结构与性能的构效关系；（5）典型刺激下钝感高能炸药的响应机制；（6）钝感高能炸药的反应效应。建立了炸药分子、晶体、混合体系以及构件层次上的构效关系，揭示了刺激响应机理，获得了一系列基础性研究成果。

1 深入研究了炸药分子的构效关系，发展了低感高能炸药分子设计方法

现代炸药发展的一个重要特点是引入分子设计，从而可大大提高新炸药合成的效率。我们知道，能量和感度是炸药最重要的两个性质，其中，能量已能较好地进行预估（误差常低于 5%），但感度的预报仍然困难，因而感度研究成为炸药领域中最活跃、最有挑战性的部分，其预估是分子设计中的要点和难点。我们通过两条路径来解决这一问题：一是探索结构决定的感度机制相关的科学问题；一是通过对已有数据的系统分析，获得结构-感度间的构效关系。

以分子稳定性为依据，研究了炸药分子硝基电荷、共振能和张力能与单质炸药感度的关系^[1-4]。其中，硝基电荷法具有简单、适用范围宽的特点，目前已成为预估硝基炸药最常用的方法之一，相关论文已被引用 118 次^[1]，在 J.Hazard.Mater. 期刊上撰写相关综述^[2]。

炸药感度与其多层次结构相关。但是，人们多在分子层次上找到了较好的关联感度的参数，建立了感度速选工具。显然，这种没有考虑更高层次的预估会存在较多的“例外”。在晶体层次上，我们首次发现具有 π -堆积的晶体能有效缓冲外力刺激^[5]，可避免因分子振动增加而导致的炸药分解、热点的形成和最终的爆炸，因此，它们的感度通常较低，图 1 是几种 π -堆积的低感单质炸药。

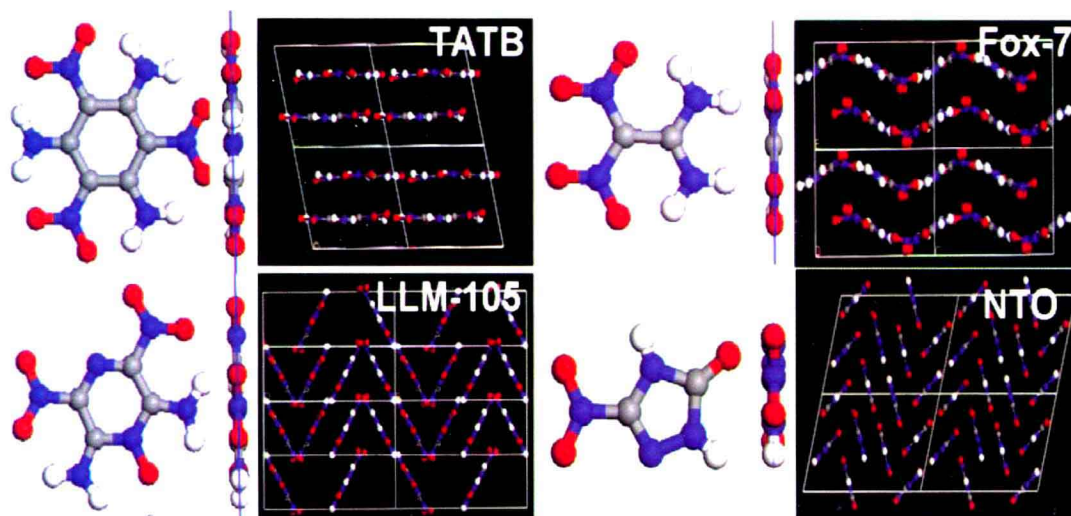


图 1 几种 π -堆积的低感单质炸药

通过对低感高能炸药分子结构特征、晶体密度、氧平衡、硝基电荷等参数的研究，提出了低感高能炸药 ($H_{50} \geq 50$ cm, $D \geq 8500$ m/s) 分子设计的 6 准则。采用发展的单质炸药感度、晶体密度、能量等性能预估方法，开展了呋咱类、噁类、唑类等氮杂环为基本结构单元的低感高能炸药理论设计和合成研究，获得了 3-硝基-5-氨基异环呋咱 (NAIF) 和 3-硝基-5-硝胺基异环呋咱 (N-NAIF) 低感高能单质炸药，其感度与 TNT 相当，能量接近 RDX^[6]。

2 系统开展了炸药晶体构效关系研究，获得炸药晶体品质控制技术

早在 20 世纪，人们发现单质炸药的感度不仅与分子结构有关，而且与晶体特性密切相关。但由于对涉及的核心问题—炸药晶体特性的定性或定量表征无法有效解决，导致这一方面研究进展缓慢。在分析炸药晶体特性的基础上，我们建立了一套多尺度、系统表征炸药晶体特性的方法，在国内率先实现了炸药晶体颗粒密度、凝聚强度、晶体缺陷、球形度等的定性定量表征，并用于科研生产中的炸药晶体品质检测^[7-8]。

孪晶普遍存在于普通 HMX 等炸药晶体中，我们首次发现孪晶对感度的重大影响，并基于数值计算提出了冲击作用下晶体内部孔洞和孪晶形成热点的新机制：孔洞塌陷形成高温剪切带机制，孪晶间接触摩擦生热机制及晶粒内位错塞积热点机制。细致研究了 RDX、HMX、CL-20 三种典型炸药的晶体颗粒密度、粒度、缺陷和形貌对感度的影响，发现了三种炸药的冲击波感度与晶体特性关系具有相似的规律^[9]。这些研究结果，对降低炸药晶体的感度具有重要价值，并得到了国际同行的高度赞誉和引用。

在炸药晶体特性与感度研究的基础上，我们提出了高品质炸药的内涵，其核心是内部缺陷控制和晶体形貌控制。首先，采用占据率模型从理论上率先研究了溶剂等条件对炸药晶体形貌的影响，预测的结果与实验基本一致^[10]，如图 2 所示。

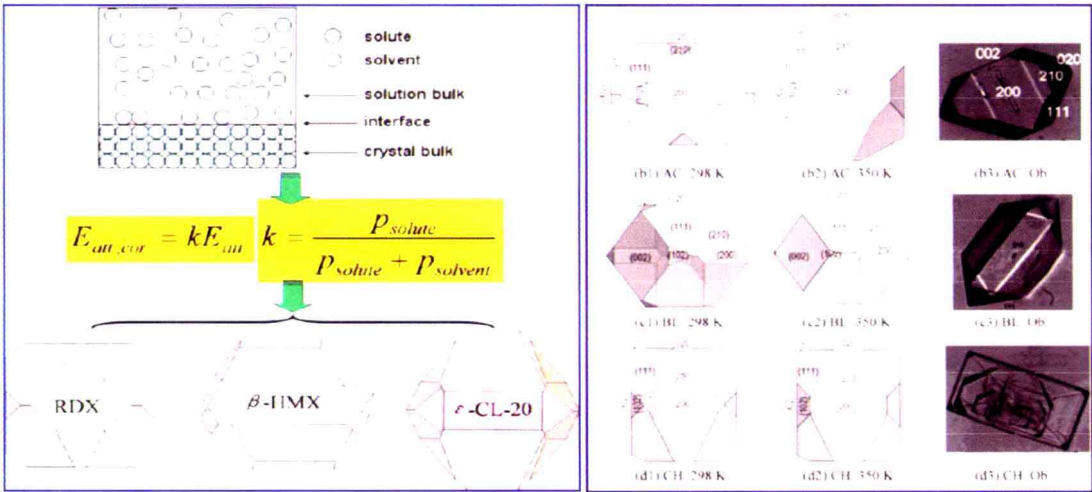


图 2 占据率模型及其对炸药晶体形貌的预测结果

结合理论预测结果，我们研究了硝胺炸药在不同结晶条件下的结晶行为。在晶核品质控制方面，获得了不同温度下的成核速率方程，为晶核杂质控制技术和晶核防聚集技术奠定了基础。在晶体长大控制方面，获得了一种低过饱和度稳定控制技术，实现了晶体匀速增长，基本消除了炸药晶体内部缺陷，有效解决了高能硝胺类炸药结晶控制难题，形成了高品质 HMX（代号 D-HMX）和高品质 RDX（代号 D-RDX）的制备工艺。我们上述研究立足于自身，与法国、挪威等先进国家的高品质炸药研究同步，获得了一批具有自主知识产权的成果^[11]。在德国 ICT 年会上进行了主体演讲，得到了国际上含能材料学家的热烈反响和一致肯定^[12]。

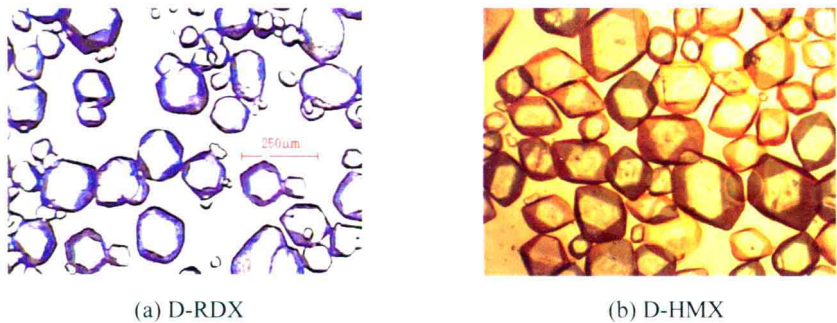


图 3 制备的 D-RDX 与 D-HMX

3 基于炸药混合体系构效关系的研究，建立了钝感高能炸药配方设计方法

一直以来，PBX 配方设计以经验为主，缺乏系统的设计理论和方法。由于高能量钝感单质炸药合成极其困难以及缺乏有效协调炸药能量与安全性矛盾的方法，国内外至今尚未研制出安全性满足钝感炸药标准、能量比 PBX-9502 提高 15% 以上的钝感高能炸药。

为寻求处理炸药混合体系能量与安全性的矛盾，我们采用计算和实验相结合的研究方式，较系统地揭示了 HMX 高能炸药在冲击加载下的分解机理、降感机理，提出了高能炸药降感模型，实现了高效降感。探索了从头算分子动力学（ab initio MD）与多尺度冲击方法（MSST）相结合的方法

计算 HMX 在冲击加载下的分解机理^[13]。在此基础上,对比研究了三类典型炸药 TATB、HMX、PETN 的冲击分解特性,发现不同炸药发生分解时有不同的加载阈值,通过降感剂的缓冲、耗散等作用将外界刺激控制在加载阈值之下,可有效降低炸药感度。

基于第一原理和分子动力学等方法,我们率先建立了含添加剂的多晶 HMX 物理研究模型和微观降感机理数值模拟方法,系统研究了 HMX/降感剂体系的界面能量分布特性(见图 4)。基于试验和理论计算结果,首次提出能量禁锢降感机理^[14-15],从而揭示出能量禁锢、吸热和滑移缓冲三种主要降感机理对冲击能量的耗散比,对降感材料物性和结构设计具有重要指导意义。

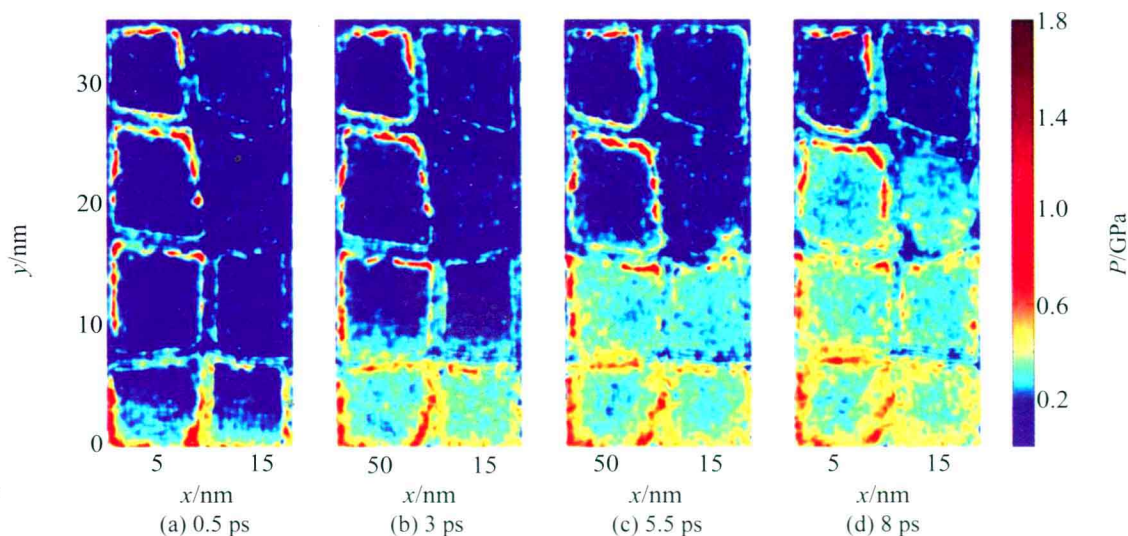


图 4 HMX-石墨混合多晶中能量密度随时间的变化

钝感高能炸药爆轰反应区较宽,反应时间长,产物组成复杂,存在后续二次反应或多次反应。基于 CJ 模型的爆轰性能计算程序无法准确描述这一类炸药的爆轰特性,导致计算结果与实测结果的偏差较大。我们认为,爆轰参数计算的准确性决定于描述 P , V , T 关系的状态方程以及产物种类、数量(与反应区有关)及其势参数。为此,采用理论和试验相结合的方法,研究了钝感炸药反应区结构、反应度对产物的影响、产物组成与压力的变化历程等,并研究了不同的势参数对 VLW 计算结果的影响。在此基础上,标定了 VLW 状态方程势参数,获得了适用于钝感高能炸药的势参数集,显著提高了能量计算精度(爆速计算误差小于 3%,圆筒比动能计算误差小于 5%),为 PBX 的配方设计提供了重要基础。

基于混合炸药构效关系研究,获得了能量、感度、力学性能与炸药组成的函数关系,在此基础上建立了多目标非线性优化设计模型,实现了能量、感度、力学性能匹配设计,设计结果与实测结果具有较好的符合度,并成功用于钝感高能炸药的设计。获得的钝感高能炸药,其安全性全面满足 IHE 标准,能量比 PBX-9502 高 18%。

4 在钝感高能炸药刺激效应机理研究基础上,发展了钝感高能炸药安全评价方法

探索炸药在异常环境作用下的点火机理,模拟炸药受到刺激发生反应的整个过程,是预估炸药部件在使用中发生意外事故中的安全性能的基础,是目前武器安全性研究所关心的一个重点。

采用计算单元多组分反应的建模技术,我们研究了热作用下炸药相变、多步热分解、多组分耦合作用反应机理,建立了基于炸药组分预测热反应的计算方法,实现了多组分炸药热反应过程的有效预测(见图5),反应温度预估误差小于5%。同时,通过炸药低强度反应定量表征技术研究,建立了摩擦、剪切作用下考虑炸药力-热-反应耦合的计算方法,揭示了炸药温升-点火的演化规律,实现了低冲击下炸药响应的理论预估,获得了炸药的临界点火条件,能有效区分钝感炸药和非钝感炸药,具有重要意义。

针对目前炸药细观结构响应计算模型的不足,我们构造了考虑黏结剂的双球壳模型“段-Kim模型(DZK模型)”,并建立了高聚物黏结炸药(PBX)冲击起爆计算方法,对比验证了炸药细观结构对宏观冲击起爆过程的影响,获得了炸药颗粒尺寸和黏结剂含量等细观结构对冲击起爆的影响规律(见图6)^[16-17],这些工作不仅丰富了炸药冲击波感度的细观数值计算模型,对PBX炸药设计也有重要意义。

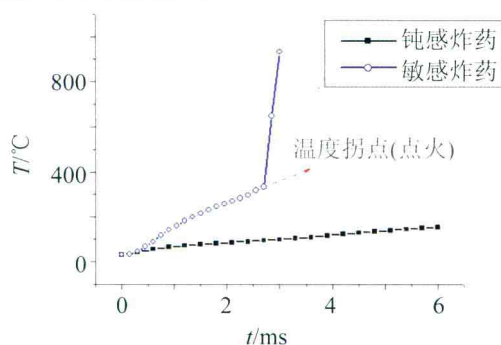


图5 两种典型炸药温升曲线的计算结果

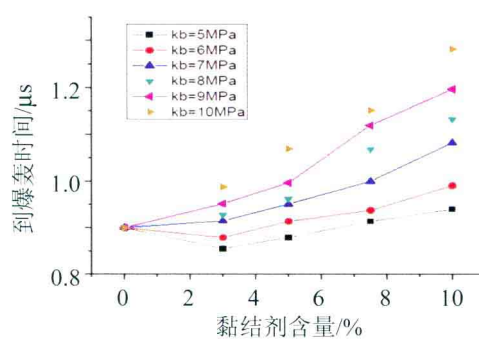


图6 黏结剂含量、强度对冲击起爆过程的影响

扩展阅读:

- [1] Zhang Chaoyang. Investigation of correlation between impact sensitivities and nitro group charges in nitro compounds[J]. *J Phys Chem B*, 2005, **109**: 8978-8982.
- [2] Zhang Chaoyang. Review of the establishment of nitro group charge method and its applications[J]. *J Hazard Mater*, 2009, **161**: 21-28.
- [3] Li Jinshan. Relationships for the impact sensitivities of energetic C-nitro compounds based on BDE[J]. *J Phys Chem B*, 2010, **114**: 2198-2202.
- [4] Tan Bisheng, Long Xinping, Peng Rufang, et al. Two important factors influencing shock sensitivity of nitro compounds: Bond dissociation energy of $X\text{-NO}_2$ ($X=\text{C}, \text{N}, \text{O}$) and Mulliken charges of nitro group[J]. *J Hazard Mater*, 2010, **183**: 908-912.
- [5] Zhang Chaoyang, Wang Xiaochuan, Huang Hui. π -stacked interactions in explosive crystals: buffers against external mechanical stimuli[J]. *J Am Chem Soc*, 2008, **130**: 8359-8365.
- [6] Chen Fuxue. Synthesis and performance of energetic 1,2,4-oxadiazole compounds[J]. *Chem-Eur J*, 2012, **18**: 1886-1889.
- [7] Huang Ming, Li Hongzhen, et al. Evaluation of crystal properties and initiation characteristics of decreased sensitivity RDX[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, **19**: 621-626.
- [8] Li Ming, Huang Ming, Kang Bin, et al. Quality evaluation of RDX crystalline particles by confined quasi-static compressing method[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2007, **32**: 401-405.

- [9] Li Hongzhen, Xu Rong, Kang Bing, et al. Influence of crystal characteristics on the shock sensitivities of cyclotrimethylene trinitramine, cyclotetramethylene tetranitramine, and 2, 4, 6, 8, 10, 12-hexanitro-2, 4, 6, 8, 10, 12-hexaazatetra-cyclo [5, 5, 0, 03, 1 105, 9] dodecane immersed in liquid[J]. *J Appl Phys*, 2013, **113**: 203519.
- [10] Zhang Chaoyang, Ji Chunliang, Li Hongzhen, et al. Occupancy model for predicting the crystal morphologies influenced by solvents and temperature, and its application to nitroamine explosives[J]. *Cryst Growth Des*, 2013, **13**: 282-290.
- [11] 中物院化工材料研究所. 降感黑索今的制备方法. ZL200610120725.X, 2010.
- [12] Huang Hui. Recent advances on reduced sensitivity energetic crystals at Institute of chemical materials in China. 42nd International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, 2011.
- [13] Zhu Weihua, Huang Hui, Huang Hengjian, et al. Initial chemical events in shocked octahydro-1, 3, 5, 7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine:A new initiation decomposition mechanism[J]. *J Chem Phys*, 2012, **136**: 044516.
- [14] Long Yao, Liu Yonggang, Nie Fude, et al. Force-field derivation and atomistic simulation of HMX-TATB-graphite mixture explosives[J]. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 2012, **20**: 065010.
- [15] Long Yao, Chen Jun, Liu Yonggang, Nie Fude, et al. A direct method to calculate thermal conductivity and its application in solid HMX[J]. *J Phys: Condensed Matter*, 2010, **22**: 185404.
- [16] Duan Zhuoping, Wen Lijing, Liu Yan, et al. A pore collapse model for hot-spot ignition in shocked multicomponent explosives[J]. *Inter J Nonlinear Sci Numer Simul*, 2010, **11**: 19-23.
- [17] Duan Zhuoping, Liu Yan, Pi Aiguo, et al. Foil-like manganin gauges for dynamic hige pressure measurements[J]. *Meas Sci Technol*, 2011, **22**: 075206.

参与研究的主要人员：黄毅民、黄亨建、段卓平、李洪珍、黄 明、刘永刚、徐瑞娟、张朝阳、陈 军等。

致 谢：感谢董海山院士、王泽山院士、朱祖良研究员和孙锦山研究员等专家对研究工作给予的指导！