



国家出版基金项目

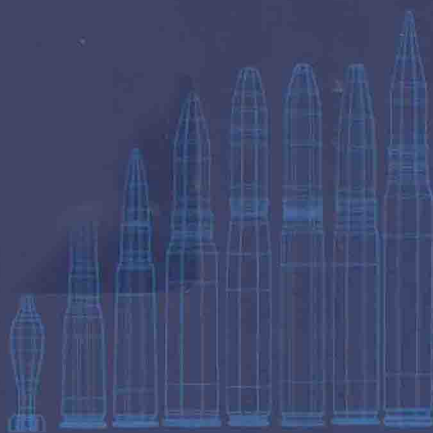
“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

火炸药安全技术

Safety Techniques on Propellant and Explosive

胡双启 赵海霞 肖忠良 著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

火炸药安全技术

胡双启 赵海霞 肖忠良 著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是“‘十二五’国家重点出版物出版规划项目”丛书之一。全书共分八章，分别是概论、国外火炸药安全技术发展状况、火炸药安全基本原理、火炸药生产过程中的安全性、火炸药产品安全性、火炸药装药与贮存安全性、火炸药生产工房的安全性、火炸药生产企业的安全评估技术。

本书从火炸药的本质特性出发，根据其分解机理与燃烧爆炸原理分析火炸药在生产、使用、贮存过程中的不安全因素，提出解决不安全性的技术途径，其中许多是最新的国内外研究成果和正在研究发展的新技术。

本书可以作为火炸药行业技术人员的技术参考资料，也可以作为火炸药专业本科生、研究生的教学参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

火炸药安全技术/胡双启, 赵海霞, 肖忠良著. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 2

(现代兵器火力系统丛书)

国家出版基金项目及“十二五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8777 - 7

I. ①火… II. ①胡…②赵…③肖… III. ①火药-安全技术②炸药-安全技术
IV. ①TJ41②TJ5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 020668 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大天成印务有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 23.75

字 数 / 442 千字

版 次 / 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 80.00 元

责任编辑 / 李秀梅 莫莉

文案编辑 / 李秀梅

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

现代兵器火力系统丛书

编 委 会

主 任 王兴治

副主任 王泽山 朵英贤

编 委 (按姓氏笔画排序)

王亚平 王志军 王保国 尹建平 冯顺山

吕春绪 刘吉平 肖忠良 张 合 张小兵

张相炎 陈国光 林 杰 欧育湘 金志明

周长省 胡双启 姜春兰 徐 诚 谈乐斌

董素荣 韩子鹏 韩 峰 蔡婷婷 樊红亮

总 序

国防科技工业是国家战略性产业，是先进制造业的重要组成部分，是国家创新体系的一支重要力量。为适应不同历史时期的国际形势对我国国防力量提出的要求，国防科技工业秉承自主创新、与时俱进的发展理念，建立了多学科交叉，多技术融合，科研、实验、生产等多部门协作的现代化国防科研生产体系。兵器科学与技术作为国防科学与技术的一个重要分支，直接关系到我国国防科技总体发展水平，并在很大程度上决定着国防科技诸多领域的成果向国防军事硬实力的转化。

进入 21 世纪以来，随着兵器发射技术、推进增程技术、精确制导技术、高效毁伤技术的不断发展，以及新概念、新原理兵器的出现，火力系统的射程、威力和命中精度均大幅提升。火力系统的技术进步将推动兵器系统的其他分支发生相应的革新，乃至促使军队的作战方式发生变化。然而，我国现有的国防科技类图书落后于相关领域的发展水平，难以适应信息时代科技人才的培养需求，更无法满足国防科技高层次人才的培养要求。因此，构建系统性、完整性和实用性兼备的国防科技类专业图书体系十分必要。

为了解决新形势下兵器科学所面临的理论、技术和工程应用等问题，王兴治院士、王泽山院士、朵英贤院士带领北京理工大学、南京理工大学、中北大学的学者编写了《现代兵器火力系统》丛书。本丛书以兵器火力系统相关学科为主线，运用系统工程的理论和方法，结合现代化战争对兵器科学技术的发展需求和科学技术进步对其发展的推动，在总结兵器火力系统相关学科专家学者取得主要成果的基础上，较全面地论述了现代兵器火力系统的学科内涵、技术领域、研制程序和运用工程，并按照兵器发射理论与技术的研究方法，分述了枪炮发射技术、火炮设计技术、弹药制造技术、引信技术、火炸药安全技术、火力控制技术等内容。

本丛书围绕“高初速、高射频、远程化、精确化和高效毁伤”的主题，梳理了近年来我国在兵器火力系统相关学科取得的重要学术理论、技术创新和工程转化等方面的成

2 火炸药安全技术 ■

果。这些成果优化了弹药工程与爆炸技术、特种能源工程与烟火技术、武器系统与发射技术等专业体系，缩短了我国兵器火力系统与国外的差距，提升了我国在常规兵器装备研制领域的理论水平和技术水平，为我国兵器火力系统的研发提供了技术保障和智力支持。本丛书旨在总结该领域的先进成果和发展经验，适应现代化高层次国防科技人才的培养需求，助力国防科学技术研发，形成具有我国特色的“兵器火力系统”理论与实践相结合的知识体系。

本丛书入选“十二五”国家重点出版物出版规划项目，并得到国家出版基金资助，体现了国家对兵器科学与技术，以及对《现代兵器火力系统》出版项目的高度重视。本丛书凝结了兵器领域诸多专家、学者的智慧，承载了弘扬兵器科学技术领域技术成就、创新和发展兵工科技的历史使命，对于推进我国国防科技工业的发展具有举足轻重的作用。期望这套丛书能有益于兵器科学技术领域的人才培养，有益于国防科技工业的发展。同时，希望本丛书能吸引更多的读者关心兵器科学技术发展，并积极投身于中国国防建设。

丛书编委会

前 言

火炸药是目前武器主要的也是基本的化学能源，经过数百年的发展与进步，已经形成（火炸药）特种能源科学技术学科与研究领域。研究领域包括原材料合成、配方设计、产品加工、应用技术等方面。

火炸药的本质特性表明其是一种危险品，也可以是危险源，所以在火炸药的生产加工、使用、储存过程中，安全性就显得特别重要。特别是近年来，火炸药的安全技术逐渐被人们重视，研究也不断地深入。本书从火炸药的本质特性出发，根据其分解机理与燃烧爆炸原理分析火炸药在生产、使用、储存过程中的不安全因素，提出解决不安全性的技术途径，其中许多是最新的国内外研究成果和正在研究发展的新技术，同时提出诸多未尽解决的安全技术课题。

全书共分为八章。第1章概论，主要介绍了火炸药的本质特征性与安全性的相关概念，重点阐述了火炸药的安全技术体系。第2章国外火炸药安全技术发展状况，概述了近几年来国外火炸药安全技术的最新发展状况与发展趋势。第3章火炸药安全基本原理，将其不安全性归结于能量的意外与瞬时释放，主要论述了火炸药能量释放的引发机理与能量释放原理及其特征性，这是火炸药安全技术的理论基础。第4章火炸药生产过程中的安全性，从火炸药生产过程特点出发，分析可能引发不安全的因素与条件，介绍各种安全防范技术，同时介绍有关行业的生产安全性标准。第5章火炸药产品安全性，介绍火炸药原材料和产品的安全性检测和评价方法。其中诸多检测方法是近年来国内外研究发展的新技术和正在研究的课题。第6章火炸药装药与贮存安全性，介绍炸药装药的安全性与火炸药贮存过程中的安全性评估方法。第7章火炸药生产工房的安全性，简要介绍了火炸药生产厂房及各种建筑物的相关安全技术。第8章火炸药生产企业的安全评估技术，简要介绍了重大危险源的辨识方法，重点介绍了火炸药生产企业各种常见的定性和定量的安全评价方法。

2 火炸药安全技术 ■

本书由中北大学肖忠良教授策划、胡双启教授牵头组织，主要由胡双启、赵海霞、肖忠良合著，其他参与撰写的人员还有王晶禹、曹雄和张树海。其中第1章由肖忠良教授和胡双启教授撰写；第2章和第3章由胡双启教授撰写；第4章由王晶禹教授和张树海教授撰写；第5章由肖忠良教授和王晶禹教授撰写；第6章由曹雄教授和张树海教授撰写；第7章和第8章由赵海霞副教授撰写。全书由胡双启教授统稿。

本书涉及燃烧爆炸力学、安全学、化学等多个学科领域，具有综合性和针对性。由于著者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 火炸药的基本概念与特征性	1
1.1.1 火炸药的定义	1
1.1.2 火药与炸药的相关性与本质区别	1
1.2 火炸药安全性概念与界定	2
1.2.1 安全性基本内涵	2
1.2.2 火炸药安全性的基本内涵	2
1.2.3 火炸药安全性的外延界定	2
1.2.4 火炸药制造、贮存与安全的相关性	2
1.2.5 火炸药使用与安全的相关性	4
1.3 火炸药安全技术概念与安全技术体系	4
1.3.1 火炸药安全技术	5
1.3.2 火炸药安全技术体系	5
参考文献	6
第 2 章 国外火炸药安全技术发展状况	7
2.1 战略规划	7
2.2 风险管理	8
2.3 标准体系	8
2.4 不敏感火炸药	9
2.4.1 不敏感火炸药的研究概况	9
2.4.2 不敏感弹药的研究与发展	12
2.4.3 用火箭推进剂技术发展高能不敏感炸药	13
第 3 章 火炸药安全基本原理	14
3.1 火炸药的不安全因素分析	14
3.1.1 爆炸性物质的种类与分子结构	14

2 火炸药安全技术 ■

3.1.2 炸药化学变化的基本形式与相互间的转化·····	14
3.2 火炸药的热分解、热安定性与相容性·····	16
3.2.1 火炸药热分解的基本概念·····	16
3.2.2 火炸药的分子结构和物理状态对热分解的影响·····	17
3.2.3 火炸药热分解反应动力学·····	32
3.2.4 常用热分析方法·····	40
3.2.5 火炸药的热安定性·····	40
3.2.6 火炸药与相关物的相容性·····	42
3.2.7 相容性的测试与评价标准·····	46
3.3 火炸药的热爆炸理论·····	48
3.3.1 火炸药热爆炸的稳定状态理论·····	49
3.3.2 火炸药热爆炸的非稳定状态理论·····	61
3.4 火炸药的热分解转燃爆与燃烧转爆轰·····	70
3.4.1 火炸药的热分解转燃爆·····	70
3.4.2 火炸药燃烧转爆轰·····	71
3.5 冲击波对火炸药不安全引发机理·····	75
3.5.1 均相炸药的冲击起爆机理·····	75
3.5.2 非均相炸药的冲击起爆机理·····	75
3.5.3 非均相炸药的冲击起爆判据·····	76
参考文献·····	78
第4章 火炸药生产过程中的安全性 ·····	79
4.1 原材料合成与生产过程中安全性·····	79
4.1.1 硝化基本原理·····	79
4.1.2 硝化工艺特点分析·····	81
4.1.3 硝化过程中的安全技术·····	82
4.2 火炸药工厂的常规安全性措施·····	83
4.2.1 热作用下燃烧爆炸预防措施·····	84
4.2.2 机械作用下燃烧爆炸预防措施·····	85
4.2.3 静电作用下燃烧爆炸预防措施·····	86
4.3 典型火炸药生产安全措施·····	87
4.3.1 黑火药生产燃爆事故的预防措施·····	87
4.3.2 硝化棉生产燃爆事故的预防措施·····	91
4.3.3 单基药生产燃爆事故的预防措施·····	98
4.3.4 双基药、三基药生产燃爆事故的预防措施·····	100
4.3.5 炸药生产燃爆事故的预防措施·····	104

4.4	炸药装药过程中的安全性	106
4.4.1	几种装药工艺过程描述	106
4.4.2	安全防护技术	117
4.5	典型安全防护装置	123
4.5.1	阻火装置	123
4.5.2	自动灭火装置	125
4.5.3	抑爆装置	126
4.5.4	静电消除器	126
	参考文献	127
第5章	火炸药产品安全性	129
5.1	引言	129
5.2	固体火炸药安全性检测方法	130
5.2.1	火炸药热感度试验	130
5.2.2	火炸药机械感度试验	139
5.2.3	火炸药冲击波感度试验	159
5.2.4	火炸药静电感度试验	168
5.2.5	火炸药产品安全性评价	171
5.3	液体发射药的安全性	174
5.3.1	热能输入试验	175
5.3.2	冲击机械能输入试验	180
5.3.3	冲击波能量感度试验	185
5.3.4	其他实验	187
5.3.5	安全性评价	188
	参考文献	190
第6章	火炸药装药与贮存安全性	192
6.1	概述	192
6.1.1	火炸药是武器动力和毁伤的能源材料	192
6.1.2	火炸药的安全性	193
6.2	火炸药装药安全性	194
6.2.1	炸药装药过程的安全性	194
6.2.2	装药的缺陷与检测	194
6.2.3	底隙现象与消除	200
6.2.4	装药安全性研究结果	203
6.3	火炸药储存中的安全性	219
6.3.1	发射药储存安全性	219

4 火炸药安全技术 ■

6.3.2 固体推进剂长储稳定性及其控制技术	222
6.3.3 贮存少量炸药安全药库的安全性试验	238
参考文献	254
第7章 火炸药生产工房的安全性	256
7.1 生产过程和场所按火灾爆炸危险性分类	256
7.2 生产工房的耐火等级	272
7.3 生产工房的防火间距及安全距离	274
7.4 建筑结构防火防爆措施	279
7.4.1 建筑物防火防爆要求	279
7.4.2 建筑物防火防爆措施	281
参考文献	285
第8章 火炸药生产企业的安全评估技术	286
8.1 概述	286
8.2 危险、有害因素的识别及重大危险源的辨识	287
8.2.1 危险、有害因素的定义及分类	287
8.2.2 危险、有害因素的识别	289
8.2.3 识别危险、有害因素的原则	298
8.2.5 评价单元	303
8.3 安全评价方法	305
8.3.1 安全评价方法分类	306
8.3.2 定性安全评价方法	307
8.3.3 定量安全评价方法	309
8.4 火炸药系统的安全评价	320
8.4.1 建立评估方法的原则	321
8.4.2 火炸药弹药企业爆炸危险源评估模型 (BZA-1) 法简介	321
8.4.3 火炸药弹药企业爆炸危险源评估模型 (BZA-2) 法简介	329
8.4.4 火炸药弹药企业爆炸危险源评估模型应用举例	339
参考文献	343
索引	345

第 1 章 概 论

1.1 火炸药的基本概念与特征性

1.1.1 火炸药的定义

关于火炸药 (Propellant and Explosive), 人们的认识经历了 4 个阶段的发展: 初期——药剂 (Medicament); 早期——危险的燃烧爆炸物质; 近 (二三十) 年——含能材料 (物质) (Energetic Material); 近 (几年) 期——特殊能源 (Special Energy)。

火炸药首先是一种物质, 但在本质上它是一种能源, 是一种特殊能源。该能源在一定外界和环境条件下, 在特殊的封闭体系中 (无需其他物质参与) 以燃烧或者爆轰的物理化学方式释放能量并实现对外做功。该能源的本质是其组成元素的起始与终点物理化学状态的不同, 造成元素的能级状态不同而释放能量, 通常为热能。火炸药作为能源的特殊性在于其组成元素的物理化学变化过程在封闭体系下完成, 无需其他物质参与。

火炸药主要应用于武器, 可作为武器的发射、推进与毁伤能源, 对武器威力起着重要的基础支撑与保证作用。所以, 火炸药可以称为武器能源, 同时也作为其他方面的热源、气源、信号源等。

1.1.2 火药与炸药的相关性与本质区别

在许多情况下, 火药与炸药是两个相对独立的概念。在应用形式上, 用于身管武器发射和火箭推进者称为火药, 用于战斗部装药毁伤者为炸药。火炸药发展到今天, 从配方组成到组织结构形态, 已经没有大的差别。例如火药中的晶体爆炸物成分已经达到 70% 以上, 同时火药在适当的装填与引爆条件下, 完全可以作为炸药使用。所以, 不能从表观形式上进行火药与炸药的区别。实际上两者之间的本质区别体现在能量释放的方式上。

在外界能量的激发下, 火炸药组分发生化学反应, 元素进行重排使能级改变, 从而产生能量 (主要是热能)。火炸药的化学反应有三种: 热分解、燃烧与爆轰。热分解为缓慢化学反应, 燃烧与爆轰为快速化学反应, 其过程可以用化学反应动力学与反应流体动力学予以描述。在反应流体动力学体系下的压力、温度变化, 与化学反应的机理、速率直接相关, 这是著名的爆炸力学中 C-J 方程的结果。一种表观的描述为: 如果化学反应在某一局部以冲击波的形式稳定地进行并传播, 反应阵面内的压力不发生突跃变化, 就是燃烧; 如果化学反应在某一局部以冲击波的形式稳定地进行并传播, 反应阵面内的

压力发生突跃变化，就是爆轰。所以，以爆轰的形式释放能量者为炸药，以燃烧的形式释放能量者为火药。

在能量释放的时间数上，火药在 $10\sim 10^{-3}$ s 数量级，根据使用时燃烧压力环境的不同，可分为发射药和推进剂炸药，前者的燃烧压力在 10^2 MPa 数量级，后者在 10 MPa 数量级。炸药的能量释放的时间在 10^{-6} s 数量级。就功率而言，炸药是火药的 10^3 倍。

1.2 火炸药安全性概念与界定

1.2.1 安全性基本内涵

安全，是人们常常提及的词语，在此，需要对“安全”与“安全性”的内涵进行研究与界定。《尔雅·释诂下》：“安，定也。”《诗·小雅·常棣》：“伤乱既平，既安且宁。”《左传·襄公十一年》：“居安思危。”由此可见，安全，是指一种状态，一种按照人们的意志所希望的相对稳定的状态，或者说是一种人们意志可以接受的状态。

安全性，是指某种事物，特别是某种物质按照人们的意志所希望的一种稳定的特性；是一种性质、特点。

客观事物的安全性的本质是其特征状态处于稳定、可控制、可接受的范围以内，或者是表达特征状态的特征（函数）值在阈值以下。所以，安全的理论基础是建立在对客观事物的状态描述与表达，物理数学模型的建立和数值求解；特征函数表达、变化规律；以及相关阈值的确定之上的。安全技术可以归结为数学物理模型中本构方程中相关参、系数和边界条件的确定、调整、控制方法、手段、标准等。

1.2.2 火炸药安全性的基本内涵

火炸药，是一种能源，同时是一种物质。所以，“火炸药的安全性”是指火炸药在制造加工、储存、使用等过程中按照人们的意志所希望的稳定特性。

1.2.3 火炸药安全性的外延界定

火炸药安全性的外延，首先，指火炸药在制造加工、储存、使用等过程中的安全特性；第二，指与安全性直接或间接关联的性质的具体内容，对于火炸药而言，包括热分解特性、爆炸特性、燃烧特性等；第三，指在制造加工、储存、使用等过程中由于外界条件可能引起分解、燃烧、爆炸的可能性，以及危害性分析和防护措施等。

1.2.4 火炸药制造、贮存与安全的相关性

火炸药生产过程的基本特征有易燃易爆性、腐蚀性、毒害性以及生产过程的连续性。这些基本特征确定了火炸药生产过程的每个环节必须采取特殊的、严格的安全与环保技术措施和管理制度。认识这些特征，照其规律办事，就能够保证安全生产和保护环境。

火炸药最突出的特征是易热分解、易燃烧、易爆炸、易殉爆和易发生从热分解到爆炸的链式反应，简称易燃易爆性。

1. 易热分解

火炸药的成品在常温下是相对安定的化合物或混合物。实际上，它们一直在进行着缓慢的热分解反应。由于其反应速度缓慢，加之安定剂及其他因素的抑制，不经检测，一般不易发现。如果环境温度过高，散热不好，阳光照射或其他条件影响，热分解反应生成的热会逐渐积聚，分解产物中的氧化氮成为加快分解的催化剂，分解速度自动加快，直至自燃自爆。1998年夏，某研究所库房中长贮火药自燃爆炸就是典型的事例。

火炸药生产过程的主要原材料硝酸、硫酸、醋酐甲苯、醇醚溶剂、硝化甘油、硝化棉、高氯酸铵等都是易燃、易爆的物质。如硝酸在常温下即可分解为氮的氧化物和水；硝化棉受热极易分解自燃爆炸。日本自1935年至1966年，至少发生了14次严重的硝化棉自燃爆炸事故，其中1964年7月14日东京一库区2300桶硝化棉自燃爆炸，造成消防队员19人死亡。

生产过程中的热分解，如硝化甘油、硝化棉、TNT、硝胺炸药等的制造过程中的酯化或硝化、配酸、稀释、驱酸、洗涤、中和等单元操作都是放热反应。工艺条件控制不稳，极易发生剧烈的热分解反应，如处理及时得当，则可化险为夷；如处理失当，则会造成燃烧爆炸和急性中毒事故。

2. 易燃烧

任何燃烧必须同时具备三个要素：一定量的可燃物质、与可燃物质比例相当的助燃物质、足够的激发能量。这三个要素相互作用即可燃烧。多数火炸药成品中已含有丰富的可燃剂和助燃剂——氧元素，所以只要给予足够的激发能量，如环境温度较高、靠近热源、明火点燃，以及摩擦、撞击等，即会发生燃烧事故；当其处于绝热状态、密闭容器或大量堆积时，其燃烧往往会转为爆炸。原材料在火炸药生产过程中极易发生燃爆事故。这是因为从原材料一直到成品的多数生产工序，有易燃、可燃物质。火炸药的原材料中，有很多是易挥发、易燃的液体，存在着极大的火灾危险性。火炸药原材料中既有氧化性物质，又有还原性物质。氧化性物质有硝酸及发烟硝酸、硫酸及发烟硫酸、氯及液氯、氧及液氧、无机过氧化物、有机过氧化物（如丁酮、环乙酮、苯甲酰的过氧化物等）、硝酸盐、氯酸盐、高氯酸盐、亚氯酸盐、重铬酸盐等。还原性物质有硫黄、磷、碳、硫化砷、锑、金属粉（如铝、镁、铁粉等）、苯胺、胺类、醇类、醛类、油脂及其他有机化合物。

在火炸药的生产过程中，几乎所有的工序都充满了可燃、易燃的原材料、成品、半成品、副产品、次品、废品、粉尘和气体。

3. 易爆炸

成品易爆炸。引发火炸药爆炸主要有三种情形：一是由热分解、燃烧引发爆炸；二是由普通火灾引发燃烧爆炸；三是给予强大激发能量后直接引起爆炸，如雷管、爆轰波、撞击等。

4 火炸药安全技术 ■

原材料易爆炸。火炸药在生产中需要的原材料，一类是易燃液体，如乙醚、乙醇、甲苯、丙酮等。这类液体极易挥发，其蒸气与空气混合达到一定浓度时，即形成爆炸性混合气体，一遇明火或高温可发生强烈爆炸。这类液体还极易着火，随之大量液体急剧气化，导致猛烈爆炸。一类是性质不相容的两种或多种物质违规相混，形成爆炸性混合物。如润滑油接触高压氧气，即成为爆炸性混合物；液氨与液氯接触，可生成爆炸性极为敏感的三氯化氮；硫酸、硝酸等强酸与氯酸盐、高氯酸盐等混合，可生成极强的氧化剂，如与有机物接触，即会发生爆炸。

生产过程中易发生爆炸。火炸药在生产过程中有时由于工艺条件控制不当、摩擦、撞击、打砸、设备故障等，极易发生燃烧事故或爆炸事故，硝化甘油、起爆药、黑火药等的生产最为突出。

4. 易殉爆

火炸药在受到周围一定距离的爆轰波或其他冲击波作用时能够发生爆炸的现象称作殉爆。表征火炸药殉爆特性的是殉爆感度。火炸药的生产工房、库房必须保持一定的安全距离，正是由这一特征决定的。引起殉爆的原因主要有：

- (1) 主发炸药爆炸的冲击波作用。
- (2) 主发炸药爆轰产物的直接冲击。
- (3) 主发炸药爆轰时抛射物体的冲击。

5. 易发生从热分解到爆炸的链式反应

火炸药的热分解、燃烧、爆炸虽然是三种不同形式的化学反应，但只要条件成熟，可以很容易地从缓慢的热分解转变为快速热分解，从快速热分解转变为猛烈燃烧，从猛烈燃烧转变为剧烈爆炸，几乎同时可引起周围一定距离的火炸药殉爆。这种链式反应，在初期尚可采取若干技术措施和管理方法补救，一旦转化为猛烈燃烧将会不可逆转地高速变化。

1.2.5 火炸药使用与安全的相关性

火炸药作为能源，在使用时必须经过燃烧或者爆炸过程，未能按照预先设计的程序而进行能量释放均视为不安全。这种现象表现之一为膛炸。引起膛炸的原因主要有三个方面：第一，发射药或者推进剂的异常燃烧；第二，引信的误作用；第三，过载引起炸药爆炸。

1.3 火炸药安全技术概念与安全技术体系

火炸药是国防科技工业领域产品研制、生产、储存、运输、使用、去军事化过程中导致灾难的最主要危险源。火炸药高能量与高危险共存的固有特性决定了其不同于一般工业危险品，具有特殊的高风险。

- (1) 事故引发能量低，极易发生燃烧爆炸事故。

- (2) 燃烧爆炸冲击波压力高、热辐射效应强、破坏力大。
- (3) 风险贯穿于军工燃烧爆炸品整个生命周期的各个阶段。

(4) 事故后果严重，影响面大，可能造成核心能力的丧失、武器装备科研生产进度的延迟。

1.3.1 火炸药安全技术

火炸药安全技术是防止火炸药全生命周期事故发生及减小事故损失的方法、手段和措施。

火炸药安全技术源于其全生命周期内事故灾变的机理、历程与模式，能量意外释放规律与控制的理论体系，解决火炸药科研生产与能力建设项目的安全设计、安全评审、安全监察、事故调查与处理等方面的工程问题。

1. 地位与属性

火炸药安全技术是火炸药科研生产技术体系的重要组成部分，是火炸药控制风险、实现技术目标的基础性、核心关键技术，是武器装备研制生产得以实施、国防设施功能得以保持的基本保障与首要条件。

2. 使命

火炸药安全技术具有四个重要使命。

- (1) 保障人员、财产及环境安全。
- (2) 保障火炸药研制、生产、供给能力。
- (3) 保障国防基础设施安全有效与可用性，减小非打击性损失。
- (4) 保障武器装备生存能力。

1.3.2 火炸药安全技术体系

安全技术体系是一系列安全技术的有机组合。传统的火炸药安全技术体系是以“危害管理”为理念，侧重对事故后果的防护，具有被动性与滞后性的特点。本书提出的火炸药安全技术体系是在“风险管理”理念指导下建立的科学、系统、有效的技术体系，包括风险识别与评估技术、本质安全技术、安全监控与预警技术、安全防护技术及事故应急处置等一系列技术，具有超前预防、系统综合及主动防护的特点。以火炸药为代表的军工燃烧爆炸品安全技术体系见图 1-1。

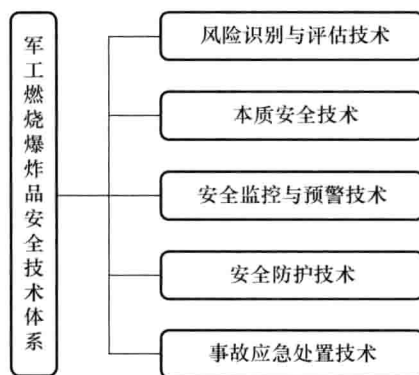


图 1-1 军工燃烧爆炸品安全技术体系

- (1) 风险识别与评估技术：预测、发现和确认可能存在的风险，并对识别出的风险