



普通高等教育“九五”国家级重点教材

火工品设计原理

蔡瑞娇 编著



北京理工大学出版社

火工与烟火技术系列教材

火工品设计原理

蔡瑞娇 编著

北京理工大学出版社

内 容 简 介

本教材在全面描述火工药剂及火工品受热、机械、冲击波、电、光等外界能量作用下起爆机理的基础上,介绍了小尺寸爆药的爆炸特性,然后介绍引燃火工品、雷管、电火工品、传爆药、延期药及延期元件的特性,并突出了各类火工品的设计要求,保证产品性能的措施,最后结合火工品的应用介绍了弹药爆炸序列,火工品的可靠性设计与评估。

本书适用于特种能源与烟火技术、兵器安全技术、武器系统运用工程专业本科生的必修课教材,也可作为相关专业本科生与研究生的参考书,还可供从事民爆器材、起爆药及火工品科研、生产与设计的工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

火工品设计原理/蔡瑞娇编著. —北京:北京理工大学出版社, 2002.4 重印

ISBN 7-81045-615-6

I. 火… II. 蔡… III. 火工品-设计 IV. TJ45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 46850 号

责任印制:王 军 责任校对:陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街 5 号)

邮政编码 100081 电话(010)68912824

各地新华书店经售

北京国马印刷厂印刷

*

850 毫米×1168 毫米 32 开本 12.25 印张 插页 2 299 千字

1999 年 10 月第 1 版 2002 年 4 月第 2 次印刷

印数:2001-4000 册 定价:17.00(平装)
35.00(精装)

※图书印装有误,可随时与我社退换※

出版说明

在 21 世纪即将来临之际,根据兵器工业科技与经济发展对于人才素质和质的要求,兵器工业总公司教育局组织兵工专业教学指导委员会制定了《兵器工业总公司“九五”教材编写与出版规划》。在制定规划的过程中,我们力求贯彻国家教委关于“抓重点,出精品”的教材建设方针,根据面向 21 世纪军工专业课程体系 and 教学内容改革的总体思路,本着“提高质量,保证重点”的原则,精心遴选了在学校使用两遍以上,教学效果良好的部分讲义列入教材规划,兵工专业教学指导委员会的有关专家对于这些规划教材的编写大纲都进行了严格的审定。可以预计,这批“九五”规划教材的出版将促进兵工类专业教育质量的提高、教学改革的深化和兵器科学与技术的发展。

本教材由张景林教授主审。

殷切地希望广大读者和有关单位对教材编审和出版中的缺点与不足给予批评指正。

一九九七年八月十七日

“火工与烟火技术系列教材”序言

我们谨以这套“火工与烟火技术系列教材”奉献给我国火工烟火技术行业的全体同仁,希望它为发展我国火工烟火技术学科、为培养火工烟火技术专业后继人才做出贡献。

火工烟火技术在武器弹药、航空航天和核武器中起点火、传火、引爆、传爆、延期、精确作功以及烟火效应等作用。它是武器系统始发能源的关键器件和装置,也是武器系统中最重要子系统。它的基本功能是:高精度、高可靠性点火与传火组成传火系列;高可靠性、高瞬发度安全起爆和传爆组成爆炸序列;高精度可靠动作的动力源;精确的延期效应;利用烟火剂的燃烧反应产生强光(红外诱饵、照明)、烟雾(人工气溶胶)干扰、信号、声响等物理效应。火工品和烟火制品的种类繁多,随着武器需求和技术水平的发展,它的功能不断开发和更新,并成为机、电、化、光技术密集发展相当活跃的领域。

我们祖国是黑火药的故乡,而黑火药是现代火工品和烟火剂的始祖,也是当时世界上唯一使用的火工品和烟火药剂,至今仍然是重要的火工药剂。现代火工烟火技术始于17世纪,J. 孔克尔发现了雷汞,1817年英国人制成了最早的装有击发药的铜盖火帽,1831年,W. 毕克福德发明了导火索,1865年A. B. 诺贝尔发明了雷汞雷管并成功地起爆了硝化甘油与硅藻土混合的代拿买特安全炸药,开创了用起爆药起爆猛炸药的新纪元。可以认为装有击发药的火帽和雷汞雷管的成功应用,标志着第一代火工品的诞生。第一次世界大战前后以叠氮化铅起爆药装填雷管的火工品和起爆药的出现,提高了火工品作用的可靠性,保证了武器弹药发展的需要。第二次世界大战时,火箭弹、反坦克破甲弹、原子弹等新型弹药的发展,促进了电火工品的发展。进入20世纪随着导弹及航天

技术的发展需要,出现了动力源火工品和防辐射、防静电、防雷击的电或非电火工品,使火工品的性能和应用范围进一步扩大。80年代以来,新型火工品研制的特点是逐步与电子发火线路相结合微电子火工品,如半导体桥雷管和冲击片雷管以及具有爆炸逻辑网络的多点引燃、引爆和多点输出,使炮弹、火箭和导弹系统具有爆炸逻辑功能。

火工烟火技术随着科学技术和军事技术的发展而迅速发展,它在国民经济中诸如矿山、石油、煤矿的开采,焊炸成型、爆炸焊接及工程爆破等多方面得到广泛的应用。

建国以来,我国火工烟火技术经历了从无到有、从仿制到自行设计,有了长足的发展。60年代后,研制和设计了航空航天、舰艇、导弹、核武器上使用的各种用途的火工品和烟火制品。因此也丰富了我国火工烟火技术领域的基础理论和实际经验,但是应该看到,尽快缩小与先进国家的差距,达到国际先进水平,我们非常需要培养一支掌握现代火工烟火技术知识且结构合理的技术队伍,这是振兴火工烟火技术行业的百年大计。这套“火工与烟火技术系列教材”就是为实现这一目的而编写的。另外,我国有一大批在火工烟火技术领域辛勤耕耘了几十年的专家,他们在长期的教学科研和生产中,取得了丰硕的成果,积累了极其丰富的经验,他们是我国火工烟火技术行业宝贵的财富。现在这些专家年事已高,非常希望把他们多年获得的成就传给后人,这套“火工与烟火技术系列教材”也是为了实现专家们这一心愿而编写的。

“火工与烟火技术系列教材”共七本(见前页),涉及火工品、起爆药和烟火药剂的设计、合成原理、生产工艺、应用研究、性能测试、分析及技术安全等各个方面,取材得体、新颖,既反映现代火工烟火技术的科学水平,又结合了我国火工烟火技术科研生产现实及编著者本人多年积累的教学实验经验,与国内已出版的同类专著和教材相比,内容具有较大幅度的翻新,有一部分教材则属国内首次出版。

本系列各门教材均聘请实际经验丰富、学术造诣较深的教授和副教授担任主编,编写大纲曾于1991年5月经专家审定,教材的初稿又通过火工与烟火技术系列教材编审委员会初审和专家主审,最后由兵总教材编审室审定定稿。

“火工与烟火技术系列教材”的出版,归功于各位编者数年来锲而不舍的辛勤劳动,归功于编审委员会各位专家的热情指导,归功于兵总教材编审室的积极倡导和卓有成效的努力工作,归功于兵器工业总公司教育局及有关领导的关心和支持,还归功于北京理工大学出版社和有关印刷厂的鼎力相助,在此表示衷心的感谢!

我们编写“火工与烟火技术系列教材”尚属首次,限于水平,教材中的缺点错误和不尽人意之处在所难免,我们热切期待来自读者的建议、批评和指正。

“火工与烟火技术系列教材”编审委员会

劳允亮 孙业斌 执笔

1993年2月

前 言

本书是按兵器工业总公司“火炸药教学指导委员会”1993年年会决定,在陈福梅教授编著1990年版《火工品原理与设计》的基础上编写的。全书除保留了原书的系统性外,又增添了“小尺寸装药的爆炸”、“弹药爆炸序列”和“火工品可靠性设计与评估”三章,使火工品设计原理内容更趋完整。

本书对起爆机理章节基本保持了原系统,仅在实用性方面作了简化与补充;对其它各章补充了作者二十年来的教学科研成果,特别是本学科研究生的成果,也收集了国内外同行的优秀研究成果。如小尺寸炸药的爆炸、弹药爆炸序列及火工品可靠性设计与评估是作者近二十年来一直致力研究的工作;爆炸逻辑网络技术、微电子火工品、半导体桥火工品及组合式传爆序列等是我国火工界的一批最新成果。将它们荟萃于书中旨在按照学科发展主线,介绍本学科正在开拓的新领域和发展方向。有些还不够成熟的东西,但作者认为有一定的规律性,几经考虑,还是放进书里,作为抛砖引玉,以丰富火工品设计思路。

大学课程不是照本宣科,因此本书虽已对一些理论问题作了简化处理,但还是介绍了一些对今后有用但不是必须在课堂上讲解的内容,使用者可以斟酌取删。由于本书第一次列出思考题与作业题,很不成熟,希望使用的教师不断补充、完善。

本书是经过许多人的努力写成的。首先是在陈福梅教授原书的基础上编写的。陈先生是我的老师,本书原计划也是陈先生主编的。没有这一前提,我恐怕不会着手写此书。在本书完成之际,再次对陈先生表示深切的悼念。其次在编写大纲期间,胡学先、焦清介、徐振相、黄源植、王志朋等或提供过素材,或提过建议;编写过程中陈继业无私地提供了自己的研究成果;还吸收了本专业焦

清介教授和博士生毛金生、刘举鹏、王树山、吉利国、胡双启、王平、罗育安,硕士生苏青及一些本科生的研究成果;火工品可靠性设计与评估一章是我校应用数学系副教授、本专业博士生田玉斌定稿的。在完稿过程中博士生温玉全、周钢、丁玉奎、吕春华及硕士生张颖和刘淑珍老师协助了打字、计算机绘图。全书由华北工学院张景林教授主审,劳允亮教授、孙业斌教授和徐振相教授也认真审阅了全部书稿,提出了许多宝贵的修改意见。尤其是张景林教授对书稿作了逐字逐句的修改,纠正了书稿中的错误,还补充了一些新的素材。张景林教授渊博的学识,严格的科学作风,为本书的定稿作出了贡献。博士后严楠副教授最后为书稿作了校正与完善。作者对所有为本书的出版给予过帮助的老师、朋友、学生表示衷心的感谢。本书还引用了大量文献资料,涉及许多中外学者,也借此向他们表示感谢。

本书是特种能源与烟火技术专业的必修课,也可作为相关专业本科生与研究生的参考书,还可供从事民爆器材、起爆药及火工品科研与生产的工程技术人员自学参数。

由于作者水平有限,书中问题一定不少,诚挚地希望读者们提出意见和指教。

编著者

1999年3月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 火工品的发展	(1)
1.2 火工品的用途	(3)
1.2.1 军用火工品	(3)
1.2.2 民用火工品	(5)
1.3 火工品的分类	(6)
1.4 火工品的设计	(6)
1.4.1 设计原则	(6)
1.4.2 设计要求	(7)
1.4.3 设计程序	(8)
思考题	(9)
参考文献	(9)
第2章 热起爆机理	(11)
2.1 炸药爆炸反应动力学	(12)
2.1.1 炸药爆炸热机理	(12)
2.1.2 热起爆研究的发展	(13)
2.2 热爆炸方程	(14)
2.3 热爆炸方程的求解	(16)
2.3.1 Semenov 理论模型假设及求解	(16)
2.3.2 Frank - kamenetskii 理论模型假设及求解	(19)
2.3.3 Thomas 理论模型假设及求解	(24)
2.4 爆炸延滞期的求解	(29)
2.4.1 理论计算	(29)
2.4.2 实验求解	(30)
2.5 热起爆的影响因素	(31)
思考题与练习题	(34)

参考文献	(35)
第 3 章 机械起爆机理	(36)
3.1 热点学说	(37)
3.1.1 热点爆炸的临界条件	(38)
3.1.2 热点温度及尺寸计算	(38)
3.1.3 热点成长过程	(40)
3.2 摩擦起爆	(42)
3.2.1 热点生成	(42)
3.2.2 热点升温与炸药起爆	(43)
3.2.3 摩擦仪和影响摩擦起爆的因素	(45)
3.3 撞击起爆	(47)
3.3.1 撞击起爆机理	(47)
3.3.2 撞击感度的表示方法及影响因素	(48)
3.4 针刺起爆	(51)
3.4.1 针刺起爆机理	(51)
3.4.2 影响针刺感度的因素	(53)
3.5 气泡绝热压缩起爆	(54)
3.5.1 气泡绝热压缩起爆试验举例	(54)
3.5.2 气泡绝热压缩起爆机理	(55)
3.5.3 气泡绝热压缩起爆影响因素	(58)
思考题与练习题	(58)
参考文献	(59)
第 4 章 冲击波起爆机理	(61)
4.1 均相炸药冲击波起爆	(61)
4.1.1 均相炸药的起爆特性	(62)
4.1.2 超爆轰速度 D^*	(66)
4.1.3 延滞期和起爆深度	(66)
4.2 非均相炸药冲击波起爆	(68)
4.2.1 非均相炸药的起爆特性	(68)
4.2.2 延滞期和起爆深度	(71)
4.3 冲击波起爆临界能量	(74)

4.3.1	临界能量公式的建立	(75)
4.3.2	临界能量公式的讨论	(77)
4.3.3	临界能量的影响因素	(78)
4.4	炸药冲击波感度的测定	(79)
4.4.1	小隔板法	(80)
4.4.2	极限药量法	(81)
	思考题与练习题	(83)
	参考文献	(84)
第 5 章	电起爆机理	(86)
5.1	电起爆的类型	(86)
5.1.1	电能转换起爆形式	(87)
5.1.2	电击穿起爆形式	(87)
5.2	炸药和空气混合物的电击穿	(88)
5.2.1	并联等效电路	(89)
5.2.2	串联等效电路	(90)
5.3	炸药内空气击穿起爆	(91)
5.3.1	汤姆逊撞击游离理论	(92)
5.3.2	自持放电的条件	(93)
5.3.3	巴申曲线方程	(95)
5.4	炸药静电火花感度	(98)
5.4.1	静电的产生	(98)
5.4.2	炸药电火花感度的测定	(99)
5.4.3	炸药电火花感度的影响因素	(102)
5.5	炸药晶体击穿起爆	(107)
	思考题与练习题	(110)
	参考文献	(111)
第 6 章	光起爆机理	(113)
6.1	可见光起爆	(113)
6.1.1	光起爆基本方程	(114)
6.1.2	光起爆临界条件	(115)
6.1.3	光起爆的影响因素	(119)

6.2 激光起爆	(123)
6.2.1 激光起爆机理	(123)
6.2.2 激光起爆形式	(124)
思考题与练习题	(130)
参考文献	(131)
第7章 小尺寸装药的爆炸	(133)
7.1 小尺寸装药的爆轰传递	(134)
7.1.1 炸药的临界直径	(134)
7.1.2 炸药爆轰的尺寸效应	(137)
7.1.3 约束材料对小径装药爆轰传递的影响	(137)
7.1.4 小尺寸弯道装药的爆轰传递	(139)
7.2 燃烧转爆轰	(143)
7.2.1 燃烧转爆轰机理	(143)
7.2.2 燃烧转爆轰的影响因素	(147)
7.3 爆轰转燃烧	(150)
7.3.1 冲击波通过隔板的衰减规律	(150)
7.3.2 爆轰转燃烧的实例	(151)
思考题与练习题	(153)
参考文献	(153)
第8章 引燃火工品	(156)
8.1 设计的基本要求	(156)
8.2 击发药的成份与配比	(157)
8.2.1 含雷汞击发药	(157)
8.2.2 无汞击发药	(158)
8.2.3 无锈蚀击发药	(159)
8.3 引信火帽的设计要求	(160)
8.3.1 结构与作用	(160)
8.3.2 针刺火帽的感度	(162)
8.3.3 点火能力及影响因素	(167)
8.4 底火的设计要求	(167)
8.4.1 构造与作用	(167)

8.4.2	底火感度的影响因素	(172)
8.4.3	底火点火能力	(173)
8.4.4	底火配弹射击试验	(173)
8.5	点火具的设计要求	(175)
8.5.1	惯性点火具	(175)
8.5.2	热源点火具	(177)
8.5.3	设计要求	(179)
	思考题与练习题	(180)
	参考文献	(180)
第9章	雷 管	(181)
9.1	雷管的结构与性能	(181)
9.1.1	雷管的结构	(181)
9.1.2	性能要求	(182)
9.2	雷管的感度	(183)
9.2.1	针刺雷管的感度	(183)
9.2.2	火焰雷管的感度	(184)
9.3	雷管起爆过程	(185)
9.3.1	雷管中装药的爆轰成长	(185)
9.3.2	极限药量	(186)
9.3.3	雷管的作用时间	(191)
9.4	雷管起爆能力及其影响因素	(193)
9.4.1	雷管起爆能力三要素	(193)
9.4.2	雷管起爆能力的空间分布	(196)
9.4.3	雷管起爆能力的影响因素	(198)
9.4.4	雷管起爆能力的测定方法	(203)
9.5	新型雷管的设计	(209)
9.5.1	无起爆药雷管	(209)
9.5.2	耐高温雷管	(210)
9.5.3	小雷管	(211)
	思考题与练习题	(214)
	参考文献	(214)

第 10 章 电火工品	(217)
10.1 设计的基本要求	(217)
10.2 桥丝式电火工品	(218)
10.2.1 桥丝式电火工品的发火过程	(219)
10.2.2 桥丝式电火工品感度和发火时间	(224)
10.2.3 桥丝式电火工品的无损检验	(233)
10.3 火花式电火工品	(236)
10.3.1 电极结构	(237)
10.3.2 发火电压的影响因素	(238)
10.4 中间式电火工品	(242)
10.4.1 中间式电火工品发火机理	(242)
10.4.2 感度及其影响因素	(243)
10.5 其它电火工品	(245)
10.5.1 钝感电火工品	(245)
10.5.2 爆炸桥丝电雷管	(247)
10.5.3 半导体桥火工品	(249)
10.5.4 冲击片雷管	(251)
10.6 电火工品的抗静电和防射频	(252)
思考题与练习题	(254)
参考文献	(256)
第 11 章 传爆药	(258)
11.1 设计的基本要求	(259)
11.2 导引传爆药	(261)
11.3 传爆药	(264)
11.4 传爆药柱的优化设计	(274)
思考题与练习题	(277)
参考文献	(277)
第 12 章 延期药与延期元件	(279)
12.1 延期药设计的一般要求	(279)
12.2 有气体延期药——黑药	(280)
12.2.1 黑药的性质	(280)

12.2.2	影响黑药燃速的因素	(282)
12.3	微气体延期药	(286)
12.3.1	微气体延期药的主要技术参数	(287)
12.3.2	微气体延期药的燃烧机理	(299)
12.3.3	微气体延期药的长贮安定性	(305)
12.4	金属-金属无气体延期药	(307)
12.5	延期元件的设计	(309)
12.5.1	延期元件的设计要求	(309)
12.5.2	典型延期元件	(310)
	思考题与练习题	(315)
	参考文献	(316)
第 13 章	弹药爆炸序列	(322)
13.1	弹药爆炸序列设计的一般要求	(322)
13.2	金属介质的隔爆能力	(324)
13.2.1	冲击波参数通过界面和介质后的变化	(324)
13.2.2	冲击波在隔板中的衰减方程	(326)
13.3	雷管和导爆药直径匹配与传爆的关系	(330)
13.4	弹药爆炸序列类型	(334)
13.4.1	引信传爆序列	(334)
13.4.2	弹药传火序列	(339)
	思考题与练习题	(341)
	参考文献	(341)
第 14 章	火工品可靠性设计与评估	(343)
14.1	火工品可靠性设计	(344)
14.1.1	建立可靠性模型	(344)
14.1.2	可靠性分配	(345)
14.1.3	可靠性预估	(346)
14.1.4	可靠性增长试验	(346)
14.2	感度试验的统计方法	(346)
14.2.1	试验方法	(347)
14.2.2	数据统计分析	(350)

14.3 传爆可靠性的试验方法	(352)
14.3.1 变组分法	(353)
14.3.2 变激励法	(358)
14.3.3 炸药激励传递定量测定法(简称 QVEST 法)	(358)
14.4 火工品可靠性的计算方法	(360)
14.4.1 计件数据方法	(360)
14.4.2 计量数据统计方法	(366)
思考题与练习题	(371)
参考文献	(371)