

军用火工品设计技术

Design of Initiators and Pyrotechnics
for Weapon Systems

王凯民 温玉全 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军用火工品设计技术

Design of Initiators and Pyrotechnics for Weapon Systems

王凯民 温玉全 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

军用火工品设计技术/王凯民,温玉全编著. —北京:
国防工业出版社, 2006.3

ISBN 7-118-04105-X

I. 军... II. ①王... ②温... III. 火工品—设计
IV. TJ450.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 091649 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 $\frac{1}{2}$ 字数 300 千字

2006 年 3 月第 2 次印刷 印数 1501—3000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

火工品是一切爆炸装置中不可缺少的关键部件,其种类繁多,在常规武器弹药、战略导弹、核武器及航空航天系统等军事工程中广泛应用。作为小型化的敏感的爆炸能源,火工品既是武器和爆炸系统完成预定功能的“源”,同时往往又是这些系统可能发生意外爆炸、造成人身伤亡事故的“根”,因此,对火工品的安全性和可靠性有很高的要求,这就需要火工品从设计上能予以保证。

由于火工品内部装药的爆炸或燃烧反应速度极快,且处于非稳定状态,所以,尽管有基础理论的指导,但火工品的设计主要还是依靠经验或半经验进行,最终通过实验确定。这样,对过去设计经验的系统总结就显得极为重要了。近20年来,在各类武器发展的需求牵引下,火工品技术取得了长足的进步,各类新产品层出不穷,应用也更加广泛。所以,火工品的设计内容亟待充实,以适应火工品行业的新发展,满足科研人员对新产品设计信息的需求,推动军内外使用人员对新火工品的了解。

与已经出版的一些火工品专著相比,本书的特色在于重点突出火工品的设计,并兼顾理论分析和实际应用。在编写过程中,除吸收作者十余年的研究成果外,还广泛收集了国内外火工品领域的文献资料,力求能反映出火工品的最新发展。但由于各种可以理解的原因,在公开的许多文献资料中有关设计的内容较少,从而给全书的完成带来诸多困难,作者的很多时间都花费在对资料信息的分析研究上。可以说,现在完成的内容已经最大可能地为火工品科研与教学人员提供了多种产品的设计信息,为弹药引信及各类武器设计者使用新火工品提供了一些参考。

全书共分8章。第1章为火工品绪论,主要包括火工品在武器系统中的地位与作用、设计研制程序及火工品文献收集等;第2章为常用火工药剂及性能,主要介绍了常用火工药剂感度、输出及其他性能;第3章至第7章分别详细论述了针刺火工品、电火工品、航天火工品及爆炸序列等4类火工品的设计与应用;第8章则对最新发展的火工品系列技术进行了设计介绍。为便于读者进一步查阅原始资料,本书在相关位置均详细注明了出处,且已对原文中的符号及单位进行了统一,阅读时请予注意。

本书由王凯民、温玉全编著,参加审阅工作的有徐振相教授(第1章~第8章)、蔡瑞娇教授(第1章~第4章)和龚翔研究员(第6章),他们提出了许多宝贵的建议。为了使设计介绍不陷人空泛,本书参考和引用了国内外文献资料上的部分产品设计实例和试验数据,在此向原作者及原编者表示衷心感谢,同时感谢炮研所各级首长的支持和鼓励。最后,限于作者水平,错误之处,望读者指正。

作者

2005年5月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 火工品在武器系统中的地位与作用	1
1.2 火工品分类	2
1.3 武器系统用火工品新的技术使命	3
1.4 武器系统用火工品的设计与研制	5
1.4.1 设计原则	5
1.4.2 设计要求	6
1.4.3 研制程序	7
1.5 火工品文献的收集	8
参考文献	9
第 2 章 常用火工药剂及性能	10
2.1 火工药剂的感度与输出	10
2.1.1 火工药剂分类	10
2.1.2 火工药剂感度	11
2.1.3 火工药剂爆炸作用与输出	14
2.2 常用火工药剂的使用性能	15
2.2.1 常用起爆药使用性能	15
2.2.2 常用猛炸药使用性能	18
2.2.3 常用混合药使用性能	19
参考文献	25
第 3 章 针刺火工品设计技术	26
3.1 概述	26
3.1.1 针刺雷管基本结构与性能影响因素	26
3.1.2 针刺雷管一般设计原则	29

3.2 高感度针刺雷管设计	30
3.2.1 敏感针刺药设计	30
3.2.2 结构设计和装药工艺	33
3.2.3 高感度针刺雷管感度试验方法	36
3.3 针刺延期雷管设计与应用	38
3.3.1 针刺延期雷管基本结构及性能影响因素	39
3.3.2 复杂装药型针刺延期雷管设计	43
3.3.3 简单装药型针刺延期雷管设计	49
3.4 组合式针刺火工品设计与应用	54
3.4.1 一人一出组合点火管设计	54
3.4.2 一人二出双延期组合点火管设计	59
3.5 实际使用中的针刺火工品性能	61
3.5.1 击针动态能量对针刺雷管感度的影响	61
3.5.2 击针戳击能量和深度对雷管延期时间的影响	65
3.5.3 高过载对针刺火工品性能的影响	67
3.6 针刺雷管通用要求与系列化设计	68
3.6.1 针刺雷管尺寸系列	68
3.6.2 针刺雷管输入能量系列化设计	69
3.6.3 针刺雷管通用要求	70
参考文献	71
第4章 桥丝式电火工品设计原理	73
4.1 桥丝式电火工品发火原理与基本要求	73
4.1.1 桥丝式电火工品发火原理	73
4.1.2 桥丝式电火工品基本要求	77
4.2 电火工品作用性能影响因素	77
4.2.1 桥丝对电火工品作用性能的影响研究	78
4.2.2 其他因素对电雷管作用性能的影响	82
4.3 静电对电火工品的危害	83
4.3.1 静电的产生及其对电火工品安全性的影响	83
4.3.2 静电对电火工品可靠性的影响	86
4.4 电火工品防静电技术	88
4.4.1 电火工品防静电设计技术	89

4.4.2	一些产品防静电技术举例	94
4.5	射频对电火工品的危害	98
4.5.1	射频的产生及对电火工品的危害机理	98
4.5.2	射频对电火工品可靠性的影响	102
4.5.3	射频对电火工品安全性的影响	104
4.5.4	电火工品电磁危害最坏情况分析	107
4.6	电火工品防射频技术	110
4.6.1	电火工品射频钝感化技术	111
4.6.2	低通滤波器衰减射频能量技术	114
	参考文献	117
第5章	桥丝式电火工品设计技术	119
5.1	概述	119
5.1.1	桥丝式电火工品分类	119
5.1.2	桥丝式电火工品一般设计原则	119
5.2	敏感桥丝电雷管设计	120
5.2.1	桥丝选择与焊桥工艺	120
5.2.2	药剂选择和装药工艺	122
5.2.3	结构与防静电技术	124
5.3	导弹引信用电雷管设计	126
5.3.1	次钝感电雷管设计	126
5.3.2	延期电雷管设计	130
5.3.3	钝感电雷管设计	133
5.4	桥丝式电点火管(器)设计	136
5.4.1	桥丝式电点火管设计	136
5.4.2	次钝感电点火器设计	141
5.4.3	耐高温钝感电点火器设计	146
5.4.4	其他钝感电点火器设计	151
5.5	武器发射用电火工品设计	154
5.5.1	电点火具设计概述	154
5.5.2	典型电点火具设计	157
5.5.3	电底火设计	161
5.6	电火工品应用失效分析与重新设计	165

5.6.1	输入能量过大引起的电火工品作用失效	165
5.6.2	高温高湿环境引起的电火工品作用失效	168
5.7	电火工品通用要求与系列化设计	170
5.7.1	电雷管系列化设计	170
5.7.2	直流发火电火工品输入能量系列化设计	172
5.7.3	电火工品通用要求	173
	参考文献	175
第6章	航天火工品设计技术	177
6.1	概述	177
6.1.1	非电传爆系统组成及特点	178
6.1.2	航天火工装置分类	179
6.1.3	航天火工装置基本要求	180
6.2	火工系统首发元件设计	182
6.2.1	NASA 标准起爆器/雷管设计	182
6.2.2	爆炸桥丝起爆器设计	184
6.2.3	电爆管及压力药筒设计	187
6.3	火工传爆元件设计	189
6.3.1	限制性导爆索设计	189
6.3.2	延期索及延期雷管设计	195
6.4	隔板起爆器设计	199
6.4.1	隔板起爆器设计技术	199
6.4.2	无起爆药隔板点火器设计	205
6.4.3	隔板延期起爆(点火)器设计	210
6.5	点式分离类火工装置设计	214
6.5.1	爆炸螺栓及螺母设计	215
6.5.2	隔板式无污染爆炸螺栓设计	217
6.5.3	分离螺栓设计	220
6.6	线型分离类火工装置设计	225
6.6.1	聚能切割索设计	226
6.6.2	膨胀管分离装置设计	228
6.7	活塞式作动装置设计	233
6.7.1	活塞式推冲器设计	233

6.7.2	活塞式拔销器设计	236
6.8	非电传爆系统设计与应用	238
6.8.1	非电传爆系统连接设计	239
6.8.2	非电传爆系统应用介绍	242
	参考文献	246
第7章	爆炸序列设计技术	249
7.1	概述	249
7.1.1	典型引信传爆序列设计分析	249
7.1.2	引信传爆序列设计要求与内容	253
7.2	雷管—雷管界面传爆设计	254
7.2.1	雷管—直通道—雷管传爆设计	254
7.2.2	雷管—弯曲通道—延期雷管传爆设计	259
7.3	传爆序列扩爆元件设计	260
7.3.1	传爆药设计	261
7.3.2	传(导)爆管设计	263
7.4	传爆序列扩爆界面设计	266
7.4.1	输出破片能量传递设计	267
7.4.2	高效率爆轰传递的传爆药结构设计	274
7.5	传爆序列安全性设计	276
7.5.1	传爆序列隔爆计算	277
7.5.2	传爆序列隔爆工程设计	280
7.6	传爆序列界面传爆性能评估	282
7.6.1	变组分法评定传爆序列界面传爆性能	282
7.6.2	裕度法评估传爆序列界面传爆性能	285
7.7	传火序列安全性设计	287
7.7.1	火炮传火序列基本结构与要求	288
7.7.2	火炮装药中心点火管设计	289
7.7.3	火炮装药中心点火的新概念技术	293
7.7.4	导弹传火序列安全性设计	299
	参考文献	300
第8章	新型火工品设计技术	303
8.1	半导体桥起爆点火技术	303

8.1.1	半导体桥火工品结构与特点	303
8.1.2	半导体桥火工品设计	305
8.1.3	半导体桥火工品应用	307
8.2	直列式爆炸箔起爆点火技术	311
8.2.1	直列式爆炸箔起爆系统组成	311
8.2.2	冲击片雷管设计	314
8.2.3	直列式点火技术与冲击片点火管设计	318
8.3	激光点火与起爆技术	321
8.3.1	激光点火技术及其系统组成	321
8.3.2	激光点火器设计	325
8.3.3	激光点火系统参数对点火特性的影响	329
8.3.4	激光起爆技术	332
8.4	爆炸网络设计技术	339
8.4.1	爆炸网络概述	339
8.4.2	爆炸逻辑网络设计技术基础	340
8.4.3	爆炸逻辑网络组网及模块化设计	344
8.4.4	面中心同步起爆网络设计	347
8.4.5	中心式直线同步起爆网络设计	350
8.5	MEMS 火工技术介绍	352
8.5.1	MEMS 火工技术概念及应用	352
8.5.2	MEMS 火工品在研产品介绍	352
	参考文献	354

Contents

Chapter 1 Introduction of Initiators & Pyrotechnics(IP)	1
1.1 Action and Status of IP in Weapon Systems	1
1.2 Classification of IP	2
1.3 New Roles of IP in Weapon Systems	3
1.4 Design and Development of IP	5
1.4.1 Design Principle of IP	5
1.4.2 Design Requirement of IP	6
1.4.3 Design Procedure of IP	7
1.5 Searching of Technical Papers on IP	8
References	9
Chapter 2 Properties and Uses of Explosives in IP	10
2.1 Sensitivity and Output of Explosive in IP	10
2.1.1 Classification of Explosive in IP	10
2.1.2 Sensitivity of Explosive in IP	11
2.1.3 Explosion Output of Explosive in IP	14
2.2 Properties and Uses of Explosive in IP	15
2.2.1 Properties and Uses of Priming Materials	15
2.2.2 Properties and Uses of Secondary Explosives	18
2.2.3 Properties and Uses of Mix Composition	19
References	25
Chapter 3 Designing Technology OF Stab Detonator(SD)	
IN Fuzes	26
3.1 Introduction of SD	26
3.1.1 Structure and the Factors to Affect Input/Output of SD ...	26

3.1.2	Design Principle of SD	29
3.2	Design of High Sensitivity SD	30
3.2.1	Design of Sensitive Stab Powder	30
3.2.2	Composition and Charge Technology	33
3.2.3	Test Method for High Sensitivity SD	36
3.3	Design of Time Delay SD	38
3.3.1	Structure and Factors to Affect Input/Output of Time Delay SD	39
3.3.2	Design of Time Delay SD with Complicated Charge	43
3.3.3	Design of Time Delay SD with Simple Charge	49
3.4	Design and Application of Flexible SD	54
3.4.1	Design of One-input /One-output Flexible SD	54
3.4.2	Design of One-input Two-output Flexible SD	59
3.5	Input/Output of SD Uses in Real Fuzes	61
3.5.1	Dynamic Energy of the Stab Firing Pin to Affect Sensitivity of SD	61
3.5.2	Stab Energy and Depth of Firing Pin to Affect Time of Time Delay SD	65
3.5.3	High Overload to Affect Input /Output of SD	67
3.6	General Requirement and Serialize Design of SD	68
3.6.1	Size Serialize Design of SD	68
3.6.2	Input Energy Serialize Design of SD	69
3.6.3	General Technical Requirement of SD	70
	References	71
Chapter 4 Designing Principle of Electric Hot Wire		
	Initiating Devices(EHWID)	73
4.1	Initiation Mechanism and General Requirement of EHWID	73
4.1.1	Initiation Mechanism of EHWID	73
4.1.2	General Requirement of EHWID	77
4.2	The Analysis of the Factors to Affect Input/Output of EHWID	77

4.2.1	Effect of Hot Wire on Input/Output of EHWID	78
4.2.2	Effect of Others Factors on Input/Output of EHWID	82
4.3	Static Electricity Hazards of EHWID	83
4.3.1	Effect of Static Electricity on the Safety of EHWID	83
4.3.2	Effect of Static Electricity on the Reliability of EHWID	86
4.4	Electrostatic Protection Technology of EHWID	88
4.4.1	Design of Protecting Static Electricity	89
4.4.2	Application Example of Electrostatic Protection for Some Products	94
4.5	Radio-Frequency Hazards of EHWID	98
4.5.1	Radio-frequency Hazards Mechanism	98
4.5.2	Effect of Radio-frequency on the Safety of EHWID	102
4.5.3	Effect of Radio-frequency on the Reliability of EHWID	104
4.5.4	The Worse Case Electromagnetic Hazards Analysis of EHWID	107
4.6	Radio-frequency Protection Technology of EHWID	110
4.6.1	Design of Protecting Radio-frequency	111
4.6.2	Application of Radio-frequency Attenuator	114
	References	117
Chapter 5	Designing Technology of EHWID	119
5.1	Introduction of EHWID	119
5.1.1	Classification of EHWID	119
5.1.2	Design Principle of EHWID	119
5.2	Design of High Sensitivity Electric Detonator	120
5.2.1	Design of Hot Bridge Wire and Welding Technique	120
5.2.2	Composition and Charge Technology	122
5.2.3	Design of Structure and Electrostatic Protection	124
5.3	Design of Electric Detonator Uses in Missile Fuzes	126
5.3.1	Design of Non-insensitivity Electric Detonator	126
5.3.2	Design of Time Delay Electric Detonator	130

5.3.3	Design of Insensitivity Electric Detonator	133
5.4	Design of Electric Hot Wire Igniter/Initiator	136
5.4.1	Design of Electric Hot Wire Igniter	136
5.4.2	Design of Non-insensitivity Electric Hot Wire Initiator ...	141
5.4.3	Design of Insensitivity Electric Hot Wire Initiator with Heat-resisting	146
5.4.4	Design of Others Insensitivity Electric Hot Wire Initiator	151
5.5	Design of Electric Initiator/Primer for Launch	154
5.5.1	Summary of Designing Electric Initiator	154
5.5.2	Design of Some Typical Electric Initiator	157
5.5.3	Design of Electric Primer	161
5.6	Failure Analysis and Redesign of EHWID	165
5.6.1	Failure Induced by Overlarge Input Energy of EHWID ...	165
5.6.2	Failure Induced by High Temperature-humidity Environments	168
5.7	General Requirement and Serialize Design of EHWID	170
5.7.1	Serialize Design of Electric Detonator	170
5.7.2	Input Energy Serialize Design of EHWID Fired by Direct Current	172
5.7.3	General Technical Requirement of EHWID	173
	References	175
Chapter 6 Designing Technology of Pyrotechnics for Aerospace		177
6.1	Introduction of Pyrotechnics for Aerospace Systems	177
6.1.1	Structure and Properties of Non-electric Pyrotechnics System (NEPS) for Aerospace	178
6.1.2	Classification of Pyrotechnics for Space Systems	179
6.1.3	Basic Requirement of Pyrotechnics for Space Systems	180
6.2	Design of First Fired EHWID for Non-electric	

Pyrotechnics System	182
6.2.1 Design of NASA Standard Initiator and Detonator	182
6.2.2 Design of Electric Exploding Bridgewire Initiator	184
6.2.3 Design of Electric Squib and Cartridge	187
6.3 Design of Transferring Detonation Devices for Non- electric Pyrotechnics System	189
6.3.1 Design of Confined Detonating Fuse(CDF)	189
6.3.2 Design of Time Delay Fuse and Detonator	195
6.4 Design of Through-bulkhead Initiator(TBI)	199
6.4.1 Design Technology of TBI	199
6.4.2 Design of Through-bulkhead Igniter with Non-primary Explosive	205
6.4.3 Design of Through-bulkhead Igniter with Time Delay	210
6.5 Design of Pyrotechnics for Point Separation	214
6.5.1 Design of Explosive Bolt and Nut	215
6.5.2 Design of Through-bulkhead Explosive Bolt	217
6.5.3 Design of Separation Explosive Bolt	220
6.6 Design of Pyrotechnics for Linear Separation	225
6.6.1 Design of Flexible Linear Shaped Charge(FLSC).....	226
6.6.2 Design of Expansion Tube Separating Device	228
6.7 Design of Actuated Devices with Piston	233
6.7.1 Design of the Thruster	233
6.7.2 Design of the Pin Puller	236
6.8 Design and Application of Non-electric Pyrotechnics System (NEPS)for Aerospace	238
6.8.1 Link Design in NEPS	239
6.8.2 Application of NEPS	242
References	246
Chapter 7 Designing Technology of the Explosive Train and Ignite Train	249
7.1 Introduction of the Explosive Train	249
7.1.1 The Design of Explosive Train in Typical Fuzes	249

7.1.2	The Main Content of Designing Explosive Train in Fuzes	253
7.2	The Interface Design of Detonation Transfer between Detonator and Detonator	254
7.2.1	The Interface Design of Detonation Transfer with a Straight Tube	254
7.2.2	The Interface Design of Detonation Transfer with a Non-straight Tube	259
7.3	Design of Booster Component in Fuzes	260
7.3.1	General Requirement of Booster Explosives	261
7.3.2	Design of Booster and Lead in Fuzes	263
7.4	The Interface Design of Detonation Transfer between Detonator and Booster	266
7.4.1	Design of Covered Explosive by Flyer Plate Impact across an Air Gap	267
7.4.2	Structural Design of Booster to Effective Transfer Detonation	274
7.5	Design of Safety in Explosive Train and Ignite Train	276
7.5.1	Analysis and Computing of Interrupter in Explosive Train	277
7.5.2	Engineering Design of Interrupting Angle in Explosive Train	280
7.6	Methods for Determining Detonation Transfer Probability of Interfaces	282
7.6.1	Varicomp to Determine of Detonation Transfer Probability in Explosive Trains	282
7.6.2	Margin Method to Determine of Detonation Transfer Probability in Explosive Trains	285
7.7	Design of Safety in Ignite Train	287
7.7.1	Classification and Requirement of Ignite Train for Guns ...	288
7.7.2	Design of Center-core Igniter for Guns	289