



国防科技图书出版基金

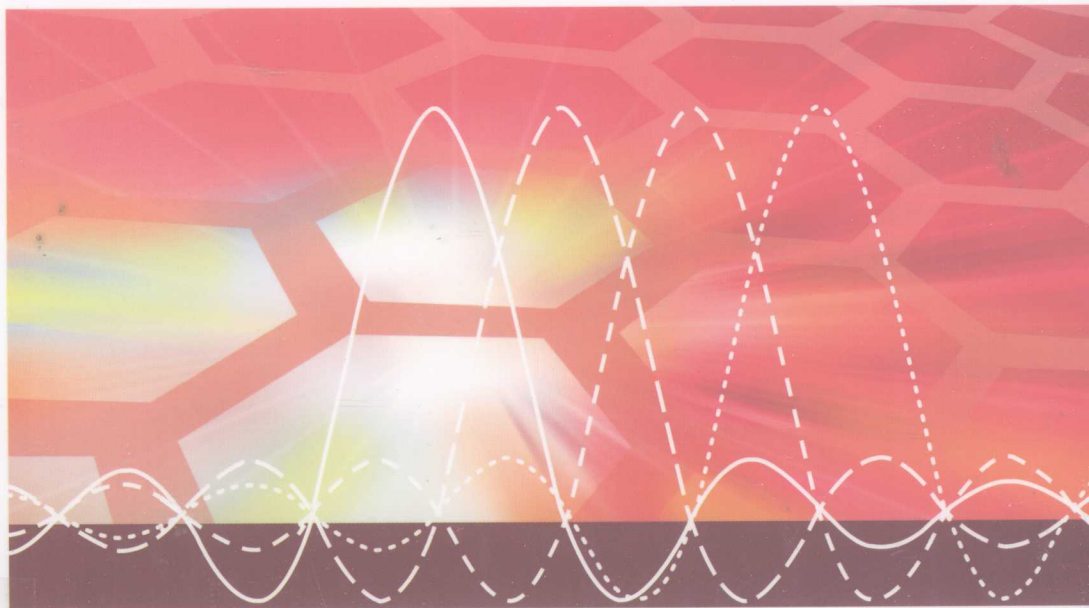


电磁兼容与电磁防护系列著作

无线电引信电磁环境 效应与作用机理

Electromagnetic Environment Effects
and Mechanism on Radio Fuze

■ 陈亚洲 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TJ43
10003

国防科技图书出版基金

电磁兼容与电磁防护系列著作

无线电引信电磁环境效应 与作用机理

Electromagnetic Environment
Effects and Mechanism on Radio Fuze

陈亚洲 程二威 魏光辉 毕军建 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

无线电引信电磁环境效应与作用机理/陈亚洲等
著. —北京:国防工业出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-118-08544-0

I. ①无... II. ①陈... III. ①无线电引信—
引信抗干扰—研究 IV. ①TJ430.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 142000 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 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 265 千字

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需

要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金
第七届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 吴有生 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 才鸿年 马伟明 王小谟 王群书 甘茂治
(按姓氏笔画排序)

甘晓华 卢秉恒 巩水利 刘泽金 孙秀冬

陆 军 芮筱亭 李言荣 李德仁 李德毅

杨 伟 肖志力 吴宏鑫 张文栋 张信威

陈良惠 房建成 赵万生 赵凤起 郭云飞

唐志共 陶西平 韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

随着科学技术的发展,武器装备的电子化程度越来越高,一方面极大地提升了武器装备的性能,但另一方面使得武器装备存在的电磁安全隐患越来越多。无线电引信作为信息化武器装备的一种,其性能指标受电磁环境的影响较为严重。所以,研究无线电引信的电磁环境效应,了解电磁能量对其作用机理和耦合规律,掌握相关的电磁防护加固技术和电磁毁伤评价方法,对于无线电引信的性能改进和新型号研制具有十分重要的意义。本书正是依据这种发展趋势,在从事相关科研和教学基础上完成的,重点阐述了无线电引信的电磁环境效应试验设计、电磁辐射试验结果、电磁能量作用机理,其目的是为电子信息装备领域和电磁兼容领域的科技工作者和本学科的师生提供一本比较系统的交叉学科的专业著作。本书也可供科技管理人员和高年级本科生参考。

本书内容共分四部分:第一部分包括第1、2章,简要介绍了无线电引信可能遭遇的电磁环境及引信电磁环境效应检测;第二部分包括第3~5章,主要介绍了多种电磁脉冲对无线电引信的电磁辐照效应及作用机理;第三部分包括第6~11章,讲述了连续波对无线电引信的电磁辐照效应及作用机理;第四部分即第12章,探索了无线电引信的电磁防护加固措施。

本书是在作者总结近10年来本单位相关研究成果并吸收了国内外该领域最新研究成果的基础上完成的,全书由陈亚洲主要撰写并统稿。第3、4、5、11章由陈亚洲撰写,第1、6、7章由程二威撰写,第8、9、10章由魏光辉撰写,第2、12章由毕军建撰写。

由于学识有限,书中难免出现不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

目 录

第一部分 无线电引信电磁环境效应研究基础

第1章 概述	1
1.1 无线电引信面临的复杂电磁环境	3
1.1.1 自然电磁环境	5
1.1.2 人为电磁环境	6
1.2 无线电引信电磁环境相关标准	10
第2章 无线电引信电磁环境效应检测	13
2.1 无线电引信工作原理	13
2.2 无线电引信电磁环境效应模式	15
2.3 引信电子部件电磁性能参数检测系统	16
2.4 手持式有源变阻抗目标模拟器	17
2.5 引信工作状态模拟系统	19
2.6 引信发火信号测试系统	21
2.6.1 测试方法	21
2.6.2 引信发火信号测试系统技术要求	25
2.6.3 测试系统设计	27
2.6.4 系统带宽测试	33

第二部分 电磁脉冲对无线电引信的 电磁辐照效应及作用机理

第3章 超宽带电磁脉冲对无线电引信的电磁辐照效应	35
3.1 超宽带电磁脉冲环境模拟	35
3.2 辐照效应试验方案	38
3.3 超宽带对分米波无线电引信的电磁辐照效应	40

3.3.1	超宽带对非工作状态分米波无线电引信的电磁辐照效应	40
3.3.2	超宽带对工作状态分米波无线电引信的电磁辐照效应	40
3.3.3	超宽带对分米波无线电引信辐照效应机理	44
3.3.4	超宽带与分米波无线电引信电磁能量耦合途径	51
3.4	超宽带对米波无线电引信的电磁辐照效应	55
3.4.1	超宽带对非工作状态米波无线电引信的电磁辐照效应	55
3.4.2	超宽带对工作状态的米波无线电引信的电磁辐照效应	56
3.4.3	超宽带对米波无线电引信辐照效应机理	58
3.4.4	超宽带与米波无线电引信电磁能量耦合途径	66
第4章	雷电电磁脉冲对无线电引信的电磁辐照效应	69
4.1	雷电电场的模拟和测量	69
4.1.1	雷电电场模拟	69
4.1.2	雷电电场环境的测量	70
4.2	雷电磁场的模拟和测量	71
4.2.1	脉冲线圈参数的理论计算	71
4.2.2	雷电磁场的测量	73
4.3	雷电电磁脉冲对分米波无线电引信的电磁辐照效应	76
4.3.1	雷电电磁脉冲对非工作状态分米波无线电引信的电磁辐照效应	76
4.3.2	雷电电磁脉冲对工作状态分米波无线电引信的电磁辐照效应	78
4.3.3	雷电电磁脉冲对分米波无线电引信电磁辐照效应机理	79
4.4	雷电电磁脉冲对米波无线电引信的电磁辐照效应	81
4.4.1	雷电电磁脉冲对非工作状态米波无线电引信的辐照效应	81
4.4.2	雷电电磁脉冲对工作状态米波无线电引信的电磁辐照效应	82
4.5	雷电电磁脉冲对工作状态无线电引信安全性影响	83
4.5.1	雷电电磁脉冲对分米波无线电引信安全性影响	83
4.5.2	雷电电磁脉冲对米波无线电引信安全性影响	85
第5章	静电放电对无线电引信的电磁环境效应	87
5.1	静电放电电磁环境效应试验装置与试验方法	87

5.2	静电放电对分米波无线电引信的电磁效应及机理	89
5.2.1	静电放电对非工作状态分米波无线电引信的 电磁效应	89
5.2.2	静电放电对工作状态分米波无线电引信的电磁效应	90
5.3	静电放电对米波无线电引信的电磁效应及机理	93
5.3.1	静电放电对非工作状态米波无线电引信的电磁效应	93
5.3.2	静电放电对工作状态米波无线电引信的电磁效应	94

第三部分 连续波对无线电引信的 电磁辐照效应及作用机理

第6章	连续波电磁环境构建方法	98
6.1	单一连续波电磁环境的构建	98
6.2	多源连续波电磁环境的构建	99
6.3	监测系统	100
6.4	连续波电磁场测量方法	100
第7章	引信电路电磁耦合仿真	103
7.1	引信电路仿真	103
7.1.1	电路总体分析	103
7.1.2	引信电路信号处理流程仿真	104
7.1.3	引信电路频率特性仿真	112
7.2	非工作状态引信辐照试验	114
7.2.1	连续波对无线电引信的能量耦合分析	114
7.2.2	非工作状态无线电引信辐照效应试验	115
7.2.3	最佳能量耦合方向试验	116
7.3	电磁能量耦合通道	117
7.3.1	引信结构及屏蔽性能分析	117
7.3.2	能量耦合通道分析及试验验证	118
第8章	等幅正弦波对无线电引信电磁辐照效应及作用机理	123
8.1	试验流程	123
8.2	试验结果分析	124
8.3	误炸原因分析与试验验证	126
8.3.1	引信执行电路分析	126

8.3.2	引信误炸原因试验验证	128
8.4	作用部位与试验验证	129
8.5	作用机理理论分析	130
8.5.1	自差收发机电路	130
8.5.2	频率占据现象分析	131
8.5.3	自差收发机非共振特性	132
8.6	作用机理试验验证	132
第9章	扫频连续波对无线电引信的电磁辐照效应及作用机理	137
9.1	扫频连续波对工作状态引信电磁辐照试验	137
9.2	扫频连续波对工作状态引信电磁辐照效应作用机理	140
9.2.1	引信发火原因试验验证	140
9.2.2	能量作用部位试验验证	141
9.3	连续波扫频步长对引信辐照效应的影响	142
9.4	频点驻留时间对引信辐照效应的影响	145
9.4.1	仿真研究	145
9.4.2	试验验证	146
第10章	调幅连续波对无线电引信辐照效应及作用机理	148
10.1	多普勒信号模拟仿真	148
10.2	辐照信号的调制	150
10.3	调幅波对无线电引信的电磁辐照效应试验	151
10.4	调幅波对无线电引信电磁辐照效应机理	153
第11章	双源连续波对无线电引信电磁辐照效应及作用机理	158
11.1	双源连续波电磁环境效应试验方法	158
11.1.1	引信姿态及极化方式选择	158
11.1.2	辐照试验方法	159
11.2	双源连续波对无线电引信辐照试验	159
11.3	双源连续波对引信电磁辐照效应机理	164

第四部分 无线电引信电磁防护加固措施

第12章	无线电引信电磁防护加固	168
12.1	电磁能量与无线电引信耦合模型	168
12.2	无线电引信电磁防护原则	169

12.3	无线电引信电磁防护措施	170
12.3.1	改善壳体屏蔽效能	171
12.3.2	加固电磁薄弱环节	180
12.3.3	更换电路薄弱器件	196
12.3.4	综合电磁防护	199

参考文献	203
------------	-----

1.1	.....	1.1
1.2	.....	1.2
1.3	.....	1.3
1.4	.....	1.4
1.5	.....	1.5
1.6	.....	1.6
1.7	.....	1.7
1.8	.....	1.8
1.9	.....	1.9
1.10	.....	1.10
1.11	.....	1.11
1.12	.....	1.12
1.13	.....	1.13
1.14	.....	1.14
1.15	.....	1.15
1.16	.....	1.16
1.17	.....	1.17
1.18	.....	1.18
1.19	.....	1.19
1.20	.....	1.20
1.21	.....	1.21
1.22	.....	1.22
1.23	.....	1.23
1.24	.....	1.24
1.25	.....	1.25
1.26	.....	1.26
1.27	.....	1.27
1.28	.....	1.28
1.29	.....	1.29
1.30	.....	1.30
1.31	.....	1.31
1.32	.....	1.32
1.33	.....	1.33
1.34	.....	1.34
1.35	.....	1.35
1.36	.....	1.36
1.37	.....	1.37
1.38	.....	1.38
1.39	.....	1.39
1.40	.....	1.40
1.41	.....	1.41
1.42	.....	1.42
1.43	.....	1.43
1.44	.....	1.44
1.45	.....	1.45
1.46	.....	1.46
1.47	.....	1.47
1.48	.....	1.48
1.49	.....	1.49
1.50	.....	1.50
1.51	.....	1.51
1.52	.....	1.52
1.53	.....	1.53
1.54	.....	1.54
1.55	.....	1.55
1.56	.....	1.56
1.57	.....	1.57
1.58	.....	1.58
1.59	.....	1.59
1.60	.....	1.60
1.61	.....	1.61
1.62	.....	1.62
1.63	.....	1.63
1.64	.....	1.64
1.65	.....	1.65
1.66	.....	1.66
1.67	.....	1.67
1.68	.....	1.68
1.69	.....	1.69
1.70	.....	1.70
1.71	.....	1.71
1.72	.....	1.72
1.73	.....	1.73
1.74	.....	1.74
1.75	.....	1.75
1.76	.....	1.76
1.77	.....	1.77
1.78	.....	1.78
1.79	.....	1.79
1.80	.....	1.80
1.81	.....	1.81
1.82	.....	1.82
1.83	.....	1.83
1.84	.....	1.84
1.85	.....	1.85
1.86	.....	1.86
1.87	.....	1.87
1.88	.....	1.88
1.89	.....	1.89
1.90	.....	1.90
1.91	.....	1.91
1.92	.....	1.92
1.93	.....	1.93
1.94	.....	1.94
1.95	.....	1.95
1.96	.....	1.96
1.97	.....	1.97
1.98	.....	1.98
1.99	.....	1.99
2.00	.....	2.00

附录 电磁兼容设计手册

附录A	.....	附录A
附录B	.....	附录B
附录C	.....	附录C

Contents

Part 1 The basic research on electromagnetic environment effects on radio fuze

Chapter 1	General Introduction	1
1.1	Complex electromagnetic environments around radio fuze	3
1.1.1	Nature electromagnetic environments	5
1.1.2	Man-made electromagnetic environments	6
1.2	Electromagnetic environments standards of radio fuze	10
Chapter 2	Detection on electromagnetic environments effects testing on radio fuze	13
2.1	Principles of radio fuze	13
2.2	Modes of electromagnetic environments effects on radio fuze	15
2.3	Function parameters detection system for fuze electric component	16
2.4	Handle active variable impedance aim simulator	17
2.5	Simulation system of fuze working mode	19
2.6	Testing system of fuze detonating signal	21
2.6.1	Testing program	21
2.6.2	Technical requirements of testing system	25
2.6.3	Layout of testing system	27
2.6.4	System broadband testing	33

Part 2 EM radiation effects and mechanism of EMP on radio fuze

Chapter 3	EM radiation effects of ultra-wideband EMP on radio fuze	35
3.1	Ultra-wideband EMP environments simulation	35
3.2	Experimental program of radiation effects	38
3.3	Electromagnetic radiation effects of ultra-wideband EMP on decimeter-wave radio fuze	40

3.3.1	Electromagnetic radiation effects of ultra-wideband EMP on non-operating decimeter-wave radio fuze	40
3.3.2	Electromagnetic radiation effects of ultra-wideband EMP on operating decimeter-wave radio fuze	40
3.3.3	Mechanism of radiation effects of ultra-wideband EMP on decimeter-wave radio fuze	44
3.3.4	Electromagnetic energy coupling path of ultra-wideband EMP on decimeter-wave radio fuze	51
3.4	Electromagnetic radiation effects of ultra-wideband EMP on meter-wave radio fuze	55
3.4.1	Electromagnetic radiation effects of ultra-wideband EMP on non-operating meter-wave radio fuze	55
3.4.2	Electromagnetic radiation effects of ultra-wideband EMP on operating meter-wave radio fuze	56
3.4.3	Mechanism of radiation effects of ultra-wideband EMP on meter-wave radio fuze	58
3.4.4	Electromagnetic energy coupling path of ultra-wideband EMP on meter-wave radio fuze	66
Chapter 4	Electromagnetic radiation effects of LEMP on radio fuze	69
4.1	Simulation and measurements of lightning electric field	69
4.1.1	Simulation of lightning electric field	69
4.1.2	Measurements of lightning electric field	70
4.2	Simulation and measurements of lightning magnetic field	71
4.2.1	Theoretical calculation of pulse coil parameters	71
4.2.2	Measurements of lightning magnetic field	73
4.3	Electromagnetic radiation effects of LEMP on decimeter-wave radio fuze	76
4.3.1	Electromagnetic radiation effects of LEMP on non-operating decimeter-wave radio fuze	76
4.3.2	Electromagnetic radiation effects of LEMP on operating decimeter-wave radio fuze	78
4.3.3	Mechanism of radiation effects of LEMP on decimeter-wave radio fuze	79
4.4	Electromagnetic radiation effects of LEMP on meter-wave radio fuze	81
4.4.1	Electromagnetic radiation effects of LEMP on non-operating meter-wave radio fuze	81
4.4.2	Electromagnetic radiation effects of LEMP on operating	

meter-wave radio fuze	82
4.5 Effect on security of operating radio fuze from LEMP	83
4.5.1 Effect on security of decimeter-wave radio fuze from LEMP	83
4.5.2 Effect on security of meter-wave radio fuze from LEMP	85
Chapter 5 Electromagnetic environments effects of electrostatic	
discharge on radio fuze	87
5.1 Experiment setup and method of electrostatic discharge EM	
environments effects	87
5.2 Electromagnetic effects and mechanism of electrostatic discharge	
on decimeter-wave radio fuze	89
5.2.1 Electromagnetic effects of electrostatic discharge on	
non-operating decimeter-wave radio fuze	89
5.2.2 Electromagnetic effects of electrostatic discharge on	
operating decimeter-wave radio fuze	90
5.3 Electromagnetic effects and mechanism of electrostatic discharge	
on meter-wave radio fuze	93
5.3.1 Electromagnetic effects of electrostatic discharge on	
non-operating meter-wave radio fuze	93
5.3.2 Electromagnetic effects of electrostatic discharge on	
non-operating meter-wave radio fuze	94
Part 3 Electromagnetic radiation effects and mechanism on	
radio fuze from continuous wave	
Chapter 6 Construction of continuous wave environments	98
6.1 Construction of single continuous wave environments	98
6.2 Construction of multiple continuous waves environments	99
6.3 Monitoring system	100
6.4 Measurement method of continuous wave EM field	100
Chapter 7 Electromagnetic coupling simulation of fuze circuit	103
7.1 Simulation of fuze circuit	103
7.1.1 Analysis of overall circuit	103
7.1.2 Process simulation of fuze circuit signal processing	104
7.1.3 Frequency characteristics simulation of fuze circuit	112
7.2 Radiation experiment of non-operating fuze	114
7.2.1 Analysis of coupling between radio fuze and continue wave	114

7.2.2	Radiation effects experiment on non-operating radio fuze	115
7.2.3	Experiment of energy coupling direction	116
7.3	Electromagnetic energy coupling path	117
7.3.1	Analysis of fuze structure and shielding effectiveness	117
7.3.2	Analysis and verify of energy coupling path	118
Chapter 8	Electromagnetic radiation effects and mechanism on radio fuze from equal amplitude sine wave	123
8.1	Experiment process	123
8.2	Analysis of experiment results	124
8.3	Analysis and experiment verify of detonate reasons	126
8.3.1	Analysis of implementation circuit of fuze	126
8.3.2	Experiment verify of fuze detonate reasons	128
8.4	Position of effects and experiment verification	129
8.5	Theoretical analysis of mechanism	130
8.5.1	Autodyne transceiver circuit	130
8.5.2	Analysis of frequency occupy phenomenon	131
8.5.3	Non-resonance characteristics of autodyne transceiver	132
8.6	Experiment verification of mechanism	132
Chapter 9	Electromagnetic radiation effects and mechanism on radio fuze from swept continuous wave	137
9.1	Radiation experiment of swept continuous wave on operating radio fuze	137
9.2	Electromagnetic radiation effects and mechanism on operating radio fuze from swept continuous wave	140
9.2.1	Experiment verification of fuze detonate reasons	140
9.2.2	Experiment verification of energy effects position	141
9.3	Influence of continuous wave sweep step on radiation effects on fuze	142
9.4	Influence of dwell time on radiation effects on fuze	145
9.4.1	Simulation research	145
9.4.2	Experiment research	146
Chapter 10	Electromagnetic radiation effects and mechanism on radio fuze from AM continuous wave	148
10.1	Simulation of Doppler signals	148

10.2	Modulation of radiation signal	150
10.3	Electromagnetic radiation effects experiment on radio fuze from AM wave	151
10.4	Electromagnetic radiation effects mechanical on radio fuze from AM wave	153
Chapter 11	Electromagnetic radiation effects and mechanism on radio fuze from bi-continuous waves	158
11.1	Electromagnetic environments effects experiment method of bi-continuous waves	158
11.1.1	Fuze attitude and polarization selection	158
11.1.2	Radiation experiment methods	159
11.2	Radiation experiments of bi-continuous wave on radio fuze	159
11.3	Electromagnetic radiation effects mechanism on radio fuze from bi-continuous wave	164
Part 4	Reinforcement and protection measurements of radio fuze towards electromagnetic radiation	
Chapter 12	Electromagnetic protection of radio fuzes	168
12.1	Analysis for the coupling effects model of electromagnetic energy and radio fuze	168
12.2	Principles of electromagnetic protection	169
12.3	Measures of electromagnetic protection of radio fuze	170
12.3.1	Improving cage shielding effectiveness	171
12.3.2	Reinforcement of electromagnetic weak link	180
12.3.3	Replace of electromagnetic sensitive devices	196
12.3.4	Multiple electromagnetic protection	199
References	.....	203