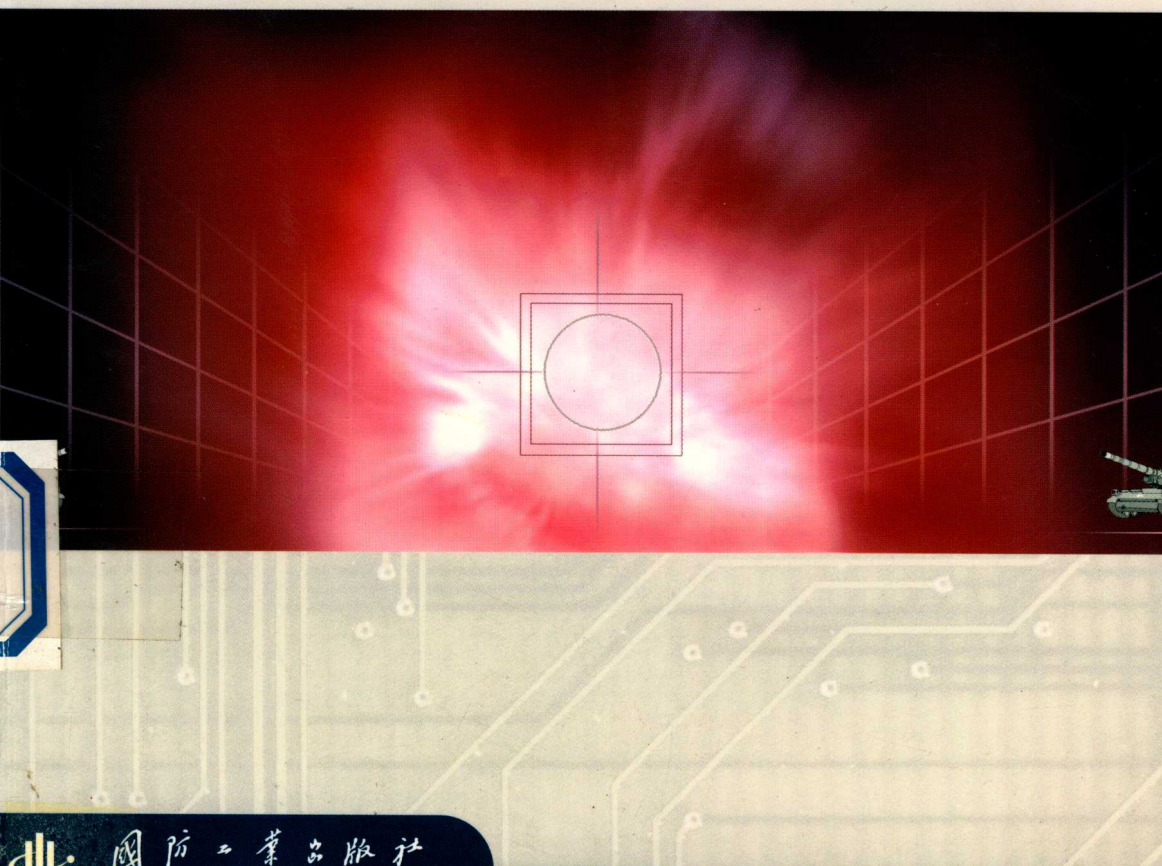


无线电引信检验 技术与方法

高 峻 王世忠 黄春光 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

无线电引信检验技术与方法

高峻 王世忠 黄春光 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

无线电引信检验技术与方法/高峻等编著. —北京:
国防工业出版社, 2006. 1

ISBN 7-118-04155-6

I. 无... II. 高... III. 无线电引信—检验
IV. TJ43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 106000 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 15 264 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 29.00 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

序

无线电引信是以近程雷达方式来感知目标并控制弹丸适时起爆,以达到最佳战术效果的一种装置。相对其它近炸引信而言,它具有发展历史悠久、技术含量高、装备量大等特点。随着战争的需求和电子技术的发展,无线电引信已逐步发展为一门综合学科。特别是在未来的高技术战争中,战场目标繁多、特性差异大、瞬息万变,赋予无线电引信的使命越来越多,要求其功能由原来的单一起爆控制发展为智能化控制。所以,无线电引信在武器系统中的作用和地位越来越突显。

第二次世界大战以后,无线电引信技术的发展受到了各军事强国的普遍重视,成为引信技术发展的主流。电子工业的每次技术革命都有力地推动了无线电引信技术的发展。特别是 20 世纪 60 年代以后,随着现代电子学、雷达技术、计算机技术、微电子技术的发展,无线电引信在作用可靠性、贮存可靠性、抗干扰能力等方面都有了质的飞跃。

无线电引信的检验使命是确保产品质量符合规定条件,剔除不合格品。无线电引信检验贯穿于制造过程的各个环节,并伴随着各种无线电引信使用环境的模拟试验,以确保产品的各项技术指标真正达到设计要求,满足战场的需要。同时,无线电引信检验能快速、积极反馈制造过程中的各种质量信息,以达到提高产品良品率的目的。另外,无线电引信检验建立了产品制造过程与成品质量的关系,从而可优化生产工艺,降低试验消耗,为新产品研制开发提供试验数据,暴露引信设计过程中存在的问题,推动无线电引信技术的发展,提高军事经济效益。从各个方面可以看出,无线电引信检验是确保产品符合要求的必要手段,它是对产品质量评价的最佳方法,同时检验水平的高低决定了部队接受的产品是否 100% 合格。因此,无线电引信检验技术与方法的研究和总结非常必要,它是不断提高我国无线电引信技术水平的重要途径。

无线电引信在我国研制、生产、使用已有四十多年。我国现有的无线电引信品种也较多,已配用到多种炮弹、火箭弹、导弹等弹种;工作频段覆盖从米波到毫米波;从大范围控制炸点发展到精确定点炸,从简单功能发展到具备多种功能,逐步走向通用化、系列化、模块化。

伴随着武器装备系统信息化的建设,无线电引信技术在我国发展迅猛。但

与国外先进的无线电引信相比较,在性能指标方面差距相当明显。当前,国内有关无线电引信技术的文献资料不少,但论述无线电引信设计、研制的技术资料占大多数,讨论无线电引信检验技术的资料较少,特别是系统综述无线电引信检验的资料就更少了。我们从事无线电引信研制、生产及检验的工程技术人员有责任去研究和总结无线电引信检验技术与方法,为推动无线电引信技术的发展做出贡献。高峻等同志投入了大量精力,编著了《无线电引信检验技术与方法》一书,是对我国无线电引信检验技术与方法的初步探讨和总结,是非常令人欣慰的。该书以无线电引信检验、制造等一系列国家军用标准为根据,从保证无线电引信使命要求的角度出发,着重分析和总结了无线电引信检验指标体系和检验项目,详细介绍了无线电引信的重要检验手段与方法,并结合实例进行了分析。相信该书的问世将对从事无线电引信研制、生产及检验的人员提供有价值的参考,为我国无线电引信及其检验技术的快速发展发挥应有的作用。

前 言

引信技术是涉及目标探测、目标信息处理、火工品等多种技术于一体的综合技术。无线电引信则是以近程雷达方式,通过发射和接收无线电信号来探测目标,并对目标信号进行处理,适时引爆战斗部的一种技术含量高、杀伤效果较好的近炸引信。

无线电引信在我国研制、生产、装备、使用已有四十多年,到现在已发展成为系列产品,其中有自主研制的,也有国外引进的,还有在引进的基础上提高改进的。军事发达国家均比较重视无线电引信检验技术的研究,无线电引信检验技术与方法比较先进。但由于无线电引信涉及敏感技术,大多数相关资料在国外尚未全部公开,保密程度比较高,国内的工程技术人员很难了解到国外有关无线电引信检验技术的具体细节,以致我国无线电引信的检验技术是依靠自身的技术力量逐步发展起来的。

但长期以来,由于大多数研制单位在无线电引信检验技术的研究方面投入较少,形成了“重产品,轻检测”的倾向,而且在无线电引信生产、研制中检验的指标和方法差异性较大,指标不够规范统一,用于检验的设备多是非标设备,定性检测多,定量检测少,检测结果的一致性和重复性较差。为了规范无线电引信的检验指标、方法和检测设备,我国制定了不少无线电引信的技术标准,但有些标准的内容随着无线电引信技术的发展已呈现出不相适应的现象。另外由于国内对无线电引信检验技术的研究有限,国内尚无一套成熟、系统、详细的无线电引信检验技术体系。为此,建立完善无线电引信检测手段,确定科学的指标体系,成了无线电引信专家研究的一个重要内容。

对无线电引信性能、环境适应性等指标进行检测,涉及学科多、技术难度大、覆盖面广,是一门跨学科的综合技术。本书编著者主要是根据无线电引信的原理和结构,充分考虑了无线电引信的最新成果和发展方向,采取了理论与实践相结合的研究方法,总结了多家无线电引信生产单位的经验,运用咨询走访专家、借鉴先进技术、实地剖析产品、综合分析提炼以及反求工程等技术手段,从应用的角度对无线电引信检验技术与方法进行了研究和总结,系统地提出了无线电引信检验指标体系和检验项目,详细阐述了一些重要的检测手段与检验方法,简要指出了无线电引信检验技术与方法的发展方向。

本书由黄春光和高峻拟定总体结构和各章节内容要点,其中第2、4章由高峻同志执笔,第3、5、6章由王世忠同志执笔,第1章由黄春光同志执笔,全书由高峻统稿。本书在编写过程中得到了总装武汉军代局张竹林、喻炳煌、李春明、王立功、唐际军、关海奎、娄鄂及驻邓州地区军代室谷常赞、马建恩、王小波等同志的指点和帮助,得到了国营五一二四厂总经理袁堂洪研高工、科技处长马道钦和副处长刘银山高工的具体帮助和支持。另外,总装备部某基地弹药专家肖崇光少将和北京理工大学崔占忠教授对本书的编写进行了具体指导,并对书稿进行了修改,军械工程学院弹药工程系齐杏林博导对本书的编写提出了宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢和敬意。由于我们水平有限,难免存在不妥之处,敬请同仁批评指正。

高峻

2005年8月

目 录

第 1 章 无线电引信的使命	1
1.1 无线电引信概述	1
1.1.1 无线电引信的工作原理及特点	1
1.1.2 无线电引信的分类	4
1.2 无线电引信的构成及其相互关系	7
1.2.1 发火控制系统	7
1.2.2 爆炸序列	10
1.2.3 安全系统	10
1.2.4 能源装置	11
1.3 无线电引信的关键技术及发展历程	11
1.4 无线电引信的发展方向	15
1.5 无线电引信的作战使命需求	16
1.5.1 安全性要求	16
1.5.2 可靠性要求	18
1.5.3 作用距离特性要求	19
1.5.4 抗干扰性要求	19
1.5.5 环境适应性要求	21
1.5.6 其它的一些性能要求	21
第 2 章 无线电引信检验要素	23
2.1 无线电引信检验的发展历程及重要性	23
2.2 无线电引信功能失效分析	26
2.2.1 系统分析	26
2.2.2 指标、技术参数的重要度分析	34
2.2.3 工艺规范及制造环境分析	34
2.2.4 历史分析	35
2.2.5 检验决策分析	35

2.3	无线电引信检验的特点	40
2.3.1	无线电引信检验的特点之一——仿真	40
2.3.2	无线电引信检验的特点之二——抽样	41
2.3.3	无线电引信检验的重要手段——统计	41
2.4	无线电引信检验现状分析	41
2.4.1	目标探测器的测试	42
2.4.2	信号处理电路的测试	42
2.4.3	引信综合灵敏度的测试	43
2.4.4	远距离接电机构的测试	43
2.4.5	电源的测试	43
2.4.6	安全系统的测试	44
2.4.7	靶场射击试验	44
2.5	检验方法的特性分析	45
2.5.1	模拟试验、静态试验及靶场试验分析	45
2.5.2	数据分析	45
2.5.3	抽样方案的灵活运用	49
2.6	无线电引信试验方法的设计	54
2.6.1	试验设计的准则	54
2.6.2	两种常用的试验设计方法	56
第3章	无线电引信检验指标体系构成	60
3.1	无线电引信设计指标要求	60
3.1.1	检验	61
3.1.2	满足无线电引信设计指标的检验分析	64
3.2	无线电引信检验指标体系的构成	71
3.2.1	电子部件性能检测	71
3.2.2	电源检测	78
3.2.3	安全系统检测	80
3.2.4	传爆(火)序列的检测	81
3.2.5	外观的检测	82
3.2.6	外型尺寸的检测	82
3.2.7	环境适应性要求和靶场试验要求	82
3.3	环境适应性要求	82
3.3.1	制造环境适应性要求	83

3.3.2	勤务处理环境适应性要求	83
3.3.3	发射、炮口环境适应性要求	83
3.3.4	弹道环境适应性要求	83
3.3.5	电磁兼容性要求	84
3.3.6	目标环境适应性	85
3.3.7	强度要求	85
3.4	靶场试验指标与要求	85
3.5	无线电引信检验中的各种试验	86
3.6	无线电引信制造要素	87
第4章	无线电引信重要指标的检验技术与方法	88
4.1	安全性及可靠性指标检测技术与方法	88
4.1.1	引信的试验类型	88
4.1.2	引信及引信零部件的环境与性能试验	90
4.1.3	强度试验	96
4.2	目标特性的检测技术与方法	97
4.2.1	目标特性的有关概念	98
4.2.2	无线电引信目标反射特性测量的特点	110
4.2.3	目标散射面积的测量原理	112
4.2.4	目标有效散射面积的测量方法	114
4.3	近炸性能指标测试技术与方法	120
4.3.1	目标探测器相对灵敏度的测试技术与方法	120
4.3.2	弹道监测技术与方法	152
4.3.3	炸高的测试技术与方法	154
4.4	抗干扰性能的检测技术与方法	159
4.4.1	无线电引信的干扰源	159
4.4.2	无线电引信人工有源干扰分析	160
4.4.3	国内外的干扰机介绍	162
4.4.4	国内现有的抗干扰检测方法	165
4.4.5	无线电引信抗干扰判定准则	165
4.4.6	电磁兼容性的检测技术与方法	166
4.4.7	远距离接电机构的检测技术与方法	177
4.5	储存性测试技术与方法	177
4.6	测试中应注意的干扰问题	178

4.6.1	来自测试系统外部的干扰	178
4.6.2	来自测试系统的内部的干扰	180
4.6.3	测试系统内部的其它干扰	182
4.6.4	干扰的抑制	183
第5章 A型引信的检验技术与方法分析实例		191
5.1	A型引信的检验技术与方法分析概述	191
5.1.1	A型引信的作用原理	191
5.1.2	A型引信的检验方法及特点	191
5.1.3	A型引信检测设备的分析	193
5.2	A型引信1号电子部件的检测	194
5.2.1	A型引信1号电子部件的结构	194
5.2.2	A型引信1号电子部件的性能指标	195
5.2.3	A型引信1号电子部件的检测原理	195
5.2.4	A型引信1号电子部件测试系统原理结构	196
5.2.5	A型引信1号电子部件的检测内容	196
5.2.6	分析	197
5.3	A型引信定时器检测	197
5.3.1	A型引信定时器的结构	197
5.3.2	A型引信定时器的性能指标	198
5.3.3	A型引信定时器检测原理	198
5.3.4	A型引信定时器测试台原理结构	198
5.3.5	A型引信定时器的检测内容	198
5.3.6	结果分析	199
5.4	A型引信最终电子部件的检测	199
5.4.1	A型引信最终电子部件的结构	199
5.4.2	性能指标	199
5.4.3	A型引信最终电子部件的检测原理	200
5.4.4	检测过程及内容	200
5.4.5	结果分析	200
5.5	A型引信安保机构检测	201
5.5.1	保险机构的结构	201
5.5.2	保险机构的性能指标	201
5.5.3	检测原理	201

5.5.4	检测内容	201
5.5.5	结果分析	202
5.6	A 型引信电源检测	202
5.6.1	A 型引信电源的结构	202
5.6.2	A 型引信电源的性能	202
5.6.3	A 型引信电源测试台的原理结构	203
5.6.4	A 型引信电源的检测内容	203
5.6.5	结果分析	203
5.7	A 型引信传爆系列检测	204
5.7.1	A 型引信传爆系列的结构和性能指标	204
5.7.2	A 型引信传爆系列的检测原理	204
5.7.3	A 型引信传爆系列的检测内容	204
5.7.4	结果分析	205
5.8	A 型引信成品检测	205
5.8.1	检测项目的论证(分析)	205
5.8.2	检测内容	205
第 6 章	无线电引信检验技术与方法的发展方向	208
6.1	无线电引信检验发展需求及技术分析	208
6.1.1	无线电引信使命的需求	208
6.1.2	技术发展的支持	208
6.1.3	国外的发展趋势	209
6.2	无线电引信检验技术的发展趋势	211
6.2.1	逻辑分析	211
6.2.2	计算机仿真技术及虚拟仪器技术的应用	211
6.2.3	自动化测试	213
6.2.4	激励信号的选用	213
6.2.5	微调	213
6.2.6	建立模拟实验室	214
6.2.7	建立综合故障诊断系统	214
6.3	几种新技术的介绍	214
6.3.1	微波毫米波矢量网络分析仪	214
6.3.2	调制域测试技术	215
6.3.3	VXI 总线技术	216

6.3.4	电子测试仪器向毫米波推进	216
6.3.5	数字化仪器迅速发展	217
6.3.6	自动化仪表技术及自动化 X 射线检测技术	217
6.3.7	USB 在数据采集系统中的应用	218
6.3.8	可靠性仿真技术	219
6.3.9	蓝牙技术在智能测试系统中的应用	220
6.3.10	机械零部件的测试技术	223
6.4	引战系统仿真技术的发展	225
参考文献		227

第 1 章 无线电引信的使命

无线电引信是以近程雷达方式来感知目标信息和控制适时起爆,使配用的弹丸达到最佳战术效果的一种装置。随着电子技术的发展,无线电引信逐步发展为一门专业学科,引信的功能也由原来的单一起爆控制发展为智能化控制,它在武器系统中的作用和地位更加突出,所肩负的使命越来越重要,下面从几个方面对无线电引信进行简单的阐述,以了解无线电引信的作战使命。

1.1 无线电引信概述

1.1.1 无线电引信的工作原理及特点

一、无线电引信的工作原理

无线电引信是利用电磁波环境信息感知目标并使引信在距目标最佳炸点处起爆战斗部的一种近炸引信。众所周知,电磁场是以电磁波的形式在空间进行传播的,其传播速度为光速。电磁波在空间传播过程中,对不同的介质要发生反射、折射,其能量不断衰减,无线电引信正是利用电磁波的这种传播特性感觉目标的存在,并获取目标的方位、距离等有关信息。

无线电引信与触发引信的区别主要是前者增加了信息敏感装置、信号处理装置、执行级和能源装置。其它如安全系统和爆炸序列与触发引信的工作原理基本相同。

无线电引信基本工作原理是:当弹丸或战斗部接近目标时,引信的信息敏感装置感受目标周围空间电磁场能量的变化以收集目标信息,通过信号处理器对接收机输出的信号进行分离、变换、运算和选择处理后,输出激励信号,启动执行级,适时起爆战斗部,以获得最佳引战配合效率。

无线电引信的信息敏感装置亦称目标探测器或高频组件,主要用于产生高频振荡、发射和接收无线电波,并将含有目标信息的回波变成含有目标信息的信号,通常将这个信号称为有用信号。目标探测器随引信工作原理体制的不同而不同。对于主动式引信,目标探测器既含有发射系统又含有接收系统,半主动和被动式引信就只含有接收系统。一般导弹引信有单独的发射机和接收机,而炮

弹引信由于空间体积和价格的制约,一般收发系统共用,常用自差机,即发射和接收由同一器件和同一天线来完成。目标探测器所产生的有用信号可以是调制波也可以是非调制波,其调制方式可以为调频、调幅或调相,调制信号可以是确定性信号,也可以是随机信号或伪随机码。同时,由于引信是一个开放的系统,外部和内部的干扰也会出现在目标探测器上,使所产生的干扰信号叠加在有用信号上。

信号处理器的作用是将目标探测器输出的有用信号,经过适当的信号处理,以鉴别和抑止人工干扰信号、背景与环境杂波等,从而提取必需的目标信号,在最佳位置或时刻给执行级输出启动信号。信号处理的方法主要有频域处理、时域处理、相关检测、炸点控制等方法。频域处理包括滤波、频谱分析,当采用数字信号处理技术时,有数字滤波、快速傅里叶变换、小波变换等,根据目标信号的频谱成分,鉴别是目标信号还是干扰信号,从而提取所需的目标信号。时域处理包括对目标特征信号的和、差、乘、除、微分、积分等运算,以及限幅和相关处理,滤除干扰信号提取目标信号。相关检测是利用目标信号的规律性和相关性,采用相关比较对消技术等消除随机干扰,以改善引信的距离截止特性,提高抗干扰能力。炸点控制是将经过信号识别与抗干扰处理的目标信号,以及制导系统提供的信息进行信息融合与处理,在最适当的时刻或最适当的弹目相对位置输出启动指令,以获得最佳引战配合效率。常见的炸点控制电路有多支路炸高控制电路、最佳启动延时(或启动角)计算电路、延迟时间(或启动角)调整电路、近炸(或触发)逻辑电路等。

执行级亦称为点火电路。它相当于一个执行开关。所谓启动执行级即相当于使开关闭合,使储能元件放电,电火工品发火,从而引爆战斗部主装药。一般将执行级与信号处理电路一起称为低频电路。

电源是为电子器件工作提供能源的装量。与触发引信不同,无线电引信的电源是一个独立的重要部件。它们平时不工作,只有在发射时才工作。常见的有储液式电源、热电源、涡轮磁电电源及后坐磁电电源等。有时电源还附有简易激活机构、滤波电路和定时接电装置等。

二、无线电引信的特点

无线电引信亦称为雷达引信,它几乎采用了一般雷达的全部原理和方法,但是无线电引信仍具有与雷达不同的特点。

(一) 引信近程工作和复杂性

引信性能与目标特性的关系极为密切。在引信有效作用范围内,由于目标处于引信天线近区或超近区,目标几何尺寸可与弹目距离相比拟,使目标受到局部照射,照射到目标上的入射波与反射波已不是平面波,目标各部分被照射的强

度是不均匀的,且引信工作波长远小于目标几何尺寸,造成反射波在相位上的相互干扰。因此,引信观察到的目标中心严重偏离其几何中心位置,并随目标运动做急剧起伏变化,致使引信获得的目标信息出现严重闪烁现象,通常称为“体目标”效应。这时目标已不能看成一个点目标,而应看成许多产生不同散射矢量的点组成的散射体。因此使引信获得目标的信号具有明显起伏特性,这不仅限制了引信对目标信息探测的精度,而且也使引信启动区散布增大,降低了引信与战斗部配合的效率。

(二) 引信工作的瞬时性

为防止引信因弹内或弹外的干扰,过早发生意外引爆指令,引信处于完全工作状态的时间非常短,其天线波束通常选得比较窄(一般为几度),而引信与目标之间的相对速度又很大(一般为每秒几百米到几千米)。因此,引信获得目标回波信号的持续时间非常短(一般为几十毫秒到几毫秒),引信电路必须在这极短的时间内检测、处理目标回波信号,快速产生引信启动指令,这就给引信电路设计,特别是信号处理电路设计带来特殊的要求。

(三) 引信作用距离近

由于各种弹药均有一定的有效毁伤区域,所以引信的作用距离没有必要太大,通常引信的作用距离为几米到几十米,有时只有零点几米。这与一般雷达作用距离相比可相差 10^3 倍~ 10^4 倍以上。

(四) 引信灵敏度低

当引信收发共用一天线时,引信接收天线上所获得的最小有用反射信号功率 P_r 为

$$P_r = \frac{P_t \lambda_0^2 D_0^2 F_0^2 \sigma}{64\pi^3 R_0^4} \quad (1-1)$$

其功率比系数 K_p 为

$$K_p = \frac{P_t}{P_r} = \frac{64\pi^3 R_0^4}{\lambda_0^2 D_0^2 F_0^2 \sigma} \quad (1-2)$$

当引信和目标参数一定时,功率比系数 K_p 与 R_0^4 成比例,即随引信对目标作用距离的减小而急剧降低,对应引信作用距离的功率比系数 K_p 远小于雷达。但由于引信的作用距离很近,相对而言所需最小有用信号功率却远大于雷达,故其灵敏度较低。

(五) 引信环境条件恶劣

无线电引信与雷达一样,同样受到内外干扰特别是人为干扰的影响。同时,无线电引信工作环境更为恶劣。在引信发射与弹道飞行中,引信处于冲击、旋转、振动和摆动等作用环境中,有时引信及其部件所受作用力可达其自身重量的

几万倍。这就可能使引信的组成部件、元器件受到损坏。

引信将要在广大地区范围内和不同季节使用,环境温度相差很大,如我国南北地区环境温度范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$,引信发射过程环境温度会更高,因此要求引信电路的温度适应性要好。另外,引信在高速飞行中还会出现等离子体,等离子体中的电子具有使电磁波弯曲和吸收电磁波的性质,所造成的电磁波衰减可能使引信探测不到离子体后面的目标。

无线电引信的上述工作特点,是设计和分析无线电引信应该特别注意的问题。

1.1.2 无线电引信的分类

无线电引信有多种分类方法。常见的分类方法有以下四类:第一类是按工作体制将无线电引信分为连续多普勒引信、调频引信、脉冲引信、比相引信、噪声调制引信、伪随机码调制引信等。第二类是按工作波长分为米波无线电引信、分米波无线电引信、微波(厘米波)无线电引信和毫米波无线电引信。第三类是按引信发射与接收系统间相互独立程度的不同,将无线电引信分为外差式引信和自差式引信。外差式引信发射与接收系统是分开的。不相干的外差系统如脉冲引信,发射与接收系统间不存在任何有益的耦合,只存在由于高频隔离不完善而产生的寄生耦合。相干的外差系统如调频引信或多普勒引信,由发射系统提供基准信号而将发射与接收系统联系起来,但这时的发射信号的发射与接收的回波信号仍然是独立的。自差式引信发射与接收系统完全共用,这种发射—接收机称为自差收发机,简称自差机。第四类是按配用弹种将无线电引信分为地炮弹无线电引信、高炮弹无线电引信、迫弹无线电引信、火箭弹无线电引信、导弹无线电引信等。下面就对几种典型的无线电引信做简要的介绍。

一、连续多普勒无线电引信

连续多普勒无线电引信是利用弹目接近过程中电磁波的多普勒效应工作的无线电引信。这种引信在第二次大战期间就开始使用,是最早使用的一种无线电引信,同时这种引信也是我国现在主要生产的无线电引信,它具有结构简单、体积小、成本低的优点,所以至今各国仍广泛使用,如国外的 M732、PF-1、MININIE、AP-30 和国产电-11、电-12 等都属于这种引信。

连续多普勒无线电引信分为自差式多普勒无线电引信和外差式多普勒无线电引信。自差式多普勒无线电引信是接受和发射系统共用来作为探测装置,它是以发射和接收信号的相位和频率关系来识别目标信号,通常配用于攻击地面目标的弹种;外差式多普勒无线电引信的发射与接收系统是独立的,通过差频电路把发射和接收系统功能性地耦合起来,但发射波的发射和反射波的接收过程