

伪码体制 引信概论

涂友超 著



科学出版社

伪码体制引信概论

涂友超 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是一本关于伪码体制引信及其特征参数提取与干扰效果评估研究的专著。全书详细地介绍了几种常见的连续波伪码体制引信和脉冲伪码体制引信的工作机理及其性能,重点阐述了三种典型伪码体制引信(伪码调相连续波引信、伪码调相与正弦调频复合调制连续波引信、PRCPM-SFM复合调制脉冲串引信)信号特征参数的提取方法。在此基础上,研究了压制性和欺骗性干扰对这三种引信的干扰效果,分析了影响其干扰效果的主要因素,并对干扰效果进行了定量评估。利用 Simulink 仿真软件建立了伪码调相连续波引信接收机系统仿真模型,并对该引信的干扰效果进行了仿真分析。本书的研究结果为伪码体制引信对抗双方在提高干扰、抗干扰能力方面提供了理论依据。

本书可以作为高等院校电子对抗相关学科的本科生和研究生的教材和参考书,也可作为从事电子对抗研究的工程技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

伪码体制引信概论/涂友超著. —北京:科学出版社, 2016. 3
ISBN 978-7-03-047750-7

I. ①伪… II. ①涂… III. ①信息代码—概论 IV. ①O157.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 053102 号

责任编辑:钱 俊 周 涵 田轶静 / 责任校对:钟 洋

责任印制:张 伟 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2016 年 3 月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:212 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

引信作为武器系统的终端毁伤控制器,能够使武器系统最大限度地发挥其对目标的最终毁伤效能。无线电引信作为引信的一个重要分支,是利用电磁波获取目标信息的近炸引信,相对于触发引信而言,极大地提高了杀伤效果,被广泛使用在各种战术导弹之中。无线电引信与原子弹、雷达一起被称为第二次世界大战期间的三大军事发明。自美国 1944 年成功研制米波连续波多普勒无线电引信开始,无线电引信至今已有 70 多年历史,在其发展历程中,从开始的简单多普勒体制无线电引信,经历了复杂多普勒体制、脉冲体制、调频体制、脉冲多普勒体制、调频多普勒体制、调相体制、伪码体制、超宽带无线电引信等,并从单一体制发展到多体制并存。伪码体制引信是利用伪随机序列良好的自相关特性进行工作的,该体制引信由于具有良好的距离分辨力、较强的抗干扰能力和尖锐的距离截止特性等优点,现已成为现代引信体制的重要发展方向。

随着技术水平的提高,无线电引信发展的同时,无线电引信的干扰和抗干扰技术也在同步发展。对伪码体制引信而言,如何提高干扰和抗干扰能力,一直是引信对抗双方高度关注的问题。如何客观、准确、定量地分析和评价对抗装备对伪码体制引信的干扰效果,如何提高干扰和抗干扰能力,是引信对抗双方在科研、生产、试验等环节广泛关注的重要课题。

全书共分 7 章:第 1 章概论,主要介绍了无线电引信的研究概况及发展趋势、无线电引信的参数提取技术和干扰技术、无线电引信干扰效果评估问题;第 2 章连续波伪码体制引信,重点介绍了三种连续波伪码体制引信的工作原理及其性能;第 3 章脉冲伪码体制引信,详细论述了三种脉冲伪码体制引信的工作原理及其性能;第 4 章典型伪码体制引信信号参数提取,研究了基于 ZAM 分布的三种典型伪码体制引信信号特征参数的提取方法;第 5 章典型伪码体制引信干扰效果分析,以信号干扰比(简称信干比)增益为衡量标准分析了压制性噪声调频、噪声调幅干扰对三种引信的干扰效果,以欺骗性干扰对相关器输出值的影响大小作为衡量标准,分析了影响这三种引信欺骗性干扰效果的主要因素;第 6 章典型伪码体制引信干扰效果评估研究,提出了基于启动概率的压制性干扰效果评估方法和基于成功欺骗概率的欺骗性干扰效果评估方法;第 7 章伪码调相连续波引信干扰实验,利用 Simulink 仿真软件建立了伪码调相连续波引信接收机系统仿真模型,并在吸波暗室中利用无线电引信实验干扰机系统对伪码调相连续波引信原理

样机进行了干扰实验，用实验的方法验证了前述研究内容的结论。

本书内容新颖、系统性强、理论结合实际，具有一定的学术水平和工程应用价值，是作者多年来在伪码体制引信相关领域深入研究与实践的结晶。

本书的出版得到信阳师范学院学术著作出版基金和河南省高等学校物理学系列课程教学团队（2014 年）项目资助。

在撰写本书过程中，得到了南京理工大学赵惠昌教授的热情指导和大力帮助，在此，表示衷心的感谢！

感谢科学出版社钱俊老师及相关工作人员，他们为本书的出版做了大量细致的工作，付出了辛勤的劳动！

在编写本书过程中，参考了大量国内外文献资料，在此，对张淑宁、黄光明、周新刚、邓建平等原作者表示衷心的感谢！

在本书的撰写过程中，作者的妻子侯秀丽女士和儿子涂航旗从生活方面给予了很多的关怀和照顾，家的温暖使得这本书充满温馨色彩。

由于本书内容涉及面广，有些问题还在进一步深入研究中，加之作者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请同仁与读者批评指正。

作 者

2015 年 10 月于信阳

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 研究背景及国内外状况	1
1.2 无线电引信的研究概况及发展趋势	3
1.3 无线电引信信号参数提取技术	5
1.4 无线电引信干扰技术	8
1.5 无线电引信干扰效果研究概况	11
1.6 本书的研究思路及创新点	16
第 2 章 连续波伪码体制引信	18
2.1 伪码调相连续波引信	18
2.2 伪码调相与正弦调频复合调制连续波引信	23
2.3 伪码调相与线性调频复合调制连续波引信	29
第 3 章 脉冲伪码体制引信	35
3.1 伪码调相与脉冲多普勒复合引信	35
3.2 伪码调相与正弦调频复合调制脉冲串引信	39
3.3 伪码调相与伪随机脉位调制复合引信	43
第 4 章 典型伪码体制引信信号参数提取	48
4.1 引言	48
4.2 伪码体制引信信号参数提取相关知识	49
4.3 基于 ZAM 分布的伪码调相连续波引信信号参数提取	53
4.4 基于 ZAM 分布的 PRCPM-SFM 复合调制连续波引信 信号参数提取	59
4.5 基于 ZAM 分布的 PRCPM-SFM 复合调制脉冲串引信 信号参数提取	66
第 5 章 典型伪码体制引信干扰效果分析	71
5.1 概述	71
5.2 伪码调相连续波引信压制性干扰效果分析	72
5.3 伪码调相连续波引信欺骗性干扰效果分析	80
5.4 PRCPM-SFM 复合调制连续波引信压制性干扰效果分析	92

- 5.5 PRCPM-SFM 复合调制连续波引信欺骗性干扰效果分析 99
- 5.6 PRCPM-SFM 复合调制脉冲串引信压制性干扰效果分析 101
- 5.7 PRCPM-SFM 复合调制脉冲串引信欺骗性干扰效果分析 106
- 第 6 章 典型伪码体制引信干扰效果评估研究 113
 - 6.1 概述 113
 - 6.2 伪码调相连续波引信干扰效果评估 114
 - 6.3 PRCPM-SFM 复合调制连续波引信干扰效果评估 125
 - 6.4 PRCPM-SFM 复合调制脉冲串引信干扰效果评估 131
- 第 7 章 伪码调相连续波引信干扰实验 137
 - 7.1 概述 137
 - 7.2 基于 MATLAB/Simulink 的伪码调相连续波引信
干扰仿真实验 138
 - 7.3 基于无线电引信实验干扰机系统的伪码调相连续波
引信干扰实验 149
- 参考文献 154

第 1 章 概 论

1.1 研究背景及国内外状况

引信是利用目标信息和环境信息,在预定条件(如时间、压力、指令等)下引爆或引燃战斗部装药的控制装置或系统^[1-2]。引信作为各种弹药终端毁伤效能的控制系統,已在现代战争中越发显示出其重要的地位。从 20 世纪 90 年代的“海湾战争”“科索沃战争”到近期爆发的“伊拉克战争”,均充分体现了精确打击武器和灵巧弹药的威力,而这一切毁伤结果的最终控制者正是“引信”。现代引信具有三大特征^[3]:引信纯粹用于军事目的;引信是一个信息与控制系统;引信要在预定条件下实现其功能。无线电引信作为引信的一个重要分支,是利用电磁波获取目标信息的近炸引信,相对于触发引信而言极大地提高了杀伤效果^[4-6],被广泛使用在各种战术导弹之中。无线电引信与原子弹、雷达一起被称为第二次世界大战期间的三大军事发明。

20 世纪 50 年代末期到 70 年代末期,无线电引信体制的研究得到蓬勃发展,各种引信波形如雨后春笋般地出现,可谓“百花齐放”。伪码体制引信也正是这一时期引信体制改革的典型代表。无线电引信的工作体制由其调制波形决定,用伪随机码对发射机载波进行调制的引信被称为伪码体制引信^[7],伪码体制引信由于具有较好的低空工作性能、良好的抗干扰能力和测距、测速能力,所以成为引信工作体制中重要的发展方向之一。它主要包括伪码调相引信、伪码调相与脉冲多普勒复合体制引信、伪码调相与(伪)随机脉位调制复合体制引信、伪码调相与正弦调频(pseudo random code phase modulation and sine frequency modulation, PRCPM-SFM)复合体制引信等。伪码体制引信的起源可以追溯到 20 世纪 70 年代初,当时欧洲西部(简称西欧)首次将伪码应用于无线电引信测距,并开始研制、生产伪码体制引信,并陆续将其装备于地空、空地、空空导弹中,如法国的伪码调相与脉冲多普勒复合体制“海响尾蛇”导弹引信。美国在这方面的研究也很多,如专利 USP4078234、USP4209785、USP4236157、USP4599616、USP5218164、USP5359934、USP5497160、USP5646627、USP5734389 等^[8-16],可以发现这些专利的时间从 20 世纪 70 年代初跨度到 90 年代末,而且在 70 年代主要是新体制的开发,90 年代主要是系统的改进。国内在 20 世纪 80 年代中期才

开始进行伪码体制引信的研制工作,南京理工大学、中国国家航天局等单位先后开展了伪码调相连续波引信^[17-23]、伪码调相与正弦调幅复合引信^[24]、伪码调相与线性调频复合引信^[25]、伪码调相与正弦调频复合引信^[26-29]、伪码调相与脉冲多普勒复合引信^[30-33]、伪码调相与(伪)随机脉位调制复合引信^[34-38]等的研究设计工作。20世纪90年代中期,伪码调相引信进入实用阶段,并装备于部队。现在,已有一些工程应用型伪码复合体制引信出现,尽管有的还不够完善,但预计很快也将进入实用阶段。

无线电引信的出现必然导致无线电引信干扰和抗干扰技术的出现,无线电引信技术的发展也必然会推动无线电引信干扰和抗干扰技术的发展,也就是说,一种新的无线电引信技术的出现必然会导致一种新的干扰技术产生,而新的干扰技术又必然促进新的无线电引信抗干扰技术的产生,引信的干扰与抗干扰作为一对对立统一体,正是在这种相互制约、相互促进的过程中共同发展的。原则上,没有干扰不了的无线电引信,也没有对抗不了的干扰。第二次世界大战后,世界各国都认识到引信对抗的重要性,纷纷加入到无线电引信对抗技术的研究中。美国是最先开展无线电引信对抗技术研究的国家,先后研制了多种型号的引信干扰机,前苏联也在这方面进行了大量的研究,当今的俄罗斯继续在无线电引信对抗领域保持着很高的水准,国内在引信对抗技术方面的研究起步相对较晚,但通过近几十年的不懈努力也取得了许多研究成果。如今,无线电引信的干扰与抗干扰,同雷达、制导与通信系统的干扰与抗干扰构成了四大电子对抗领域,成为电子战的重要组成部分^[39]。

随着各种新技术、新体制引信的不断涌现,现代的引信对抗技术已经发展到相当高的水平。为了使设计出来的引信能够在复杂的电磁环境和各种干扰中正常工作,引信设计方总是要千方百计采取各种抗干扰措施以提高引信的抗干扰性能;为了保护己方目标和人员的安全,把损失降到最低限度,干扰方总会想方设法采用新型干扰装备和干扰技术去提高干扰机的干扰能力,实现对引信的有效干扰。对干扰方而言,主要关心干扰对引信是否有效,或者效果如何;而引信方则关心其在干扰条件下引信的工作能力,或者其对干扰的抵御能力。实际上,二者可以统一到一个问题上,那便是干扰效果评估问题,对抗双方都希望清楚地知道“干扰效果”,以便采取对策。在电子对抗领域,干扰效果是指实施电子干扰后,对敌方电子信息系统、电子设备或人员产生的直接与间接破坏效应的总和,而干扰效果评估是对实施电子干扰后,所产生的干扰、损伤或破坏效应的定性或定量地评价^[40-42]。早期的干扰效果评估主要采用定性评估的方法,一般把干扰强度分为三级:轻度干扰、中度干扰、严重干扰。很显然,早期定性的干扰效果评估方法给出的评估结果有些过于笼统,已不能满足引信对抗双方对“干扰效果”了解的需要。对抗双方都希望对干扰效果有更深刻的了解,要求量化的评估结果。引信干扰效果评估是引信对抗技术研究、引信对抗装备论证、研制、试验鉴定过

程中必不可少的环节。如何客观、准确和定量地评价引信对抗装备对各类引信的干扰效果,是引信对抗双方在科研、生产、试验、使用等环节广泛关注的重要课题。

对伪码体制引信而言,如何提高干扰和抗干扰能力,一直是引信对抗双方高度关注的问题。然而,或许是研究尚未成熟,或许由于保密的原因,专门针对伪码体制引信的干扰和抗干扰技术,目前国内外还鲜有报道。尽管伪码体制引信干扰和抗干扰技术是在极为保密的情况下进行的,但是,伪码体制引信对抗有其内在规律和特点,只有认识和掌握了对抗的基本规律和特点,才能对各种干扰的干扰效果和各种抗干扰措施有更深刻的认识。面对复杂的干扰环境,作为无线电引信发展方向的伪码体制引信如何进一步提高干扰和抗干扰能力也是引信界研究的重中之重,本书正是为了适应这一需要,在此研究领域做了一定探索。本书在研究伪码体制引信及其信号特征参数识别的基础上,利用提取出的参数构造压制性和欺骗性干扰,通过研究压制性和欺骗性干扰下的干扰效果,分析影响干扰效果的因素,定量评估干扰效果,为引信对抗双方在提高干扰、抗干扰能力方面提供理论依据,同时,本书的研究工作对伪码体制及其他体制引信的进一步研制也具有重要的理论指导意义和借鉴作用。

1.2 无线电引信的研究概况及发展趋势

根据无线电引信工作波段可分为米波式、微波式和毫米波式等,按无线电引信组成的体系(“引信体制”)可分为多普勒体制、调频体制、脉冲调制体制、噪声调制体制、编码体制和红外体制等^[2,7]。

无线电引信的发展是从20世纪30年代开始的,德国最早,其次是英国、日本、苏联,它们曾先后设计了多种类型的无线电引信。美国在1940年左右才开始无线电引信研究,但后来居上,很快处于领先地位,并于1943年成功研制出连续波多普勒无线电引信^[43-45],该引信在第二次世界大战后期和朝鲜战争中显示出强大的威力。无线电引信相对触发引信可以成倍甚至几十倍地提高杀伤效果,这一事实使世界各国都受到很大启示,纷纷投入更多的人力、物力从事无线电引信的研制和开发。早期研制的无线电引信功能比较单一,主要是解决战斗部起爆控制问题,即解决弹目交会时,对目标进行探测并使弹丸在不直接命中对空目标或在达到对地目标预定高度的情况下引爆战斗部,以实现扩大目标杀伤面积的目的。早期设计的引信几乎没有考虑引信距离截止特性问题和抗人为干扰问题,引信体制多为连续波多普勒^[46,47]、简单的连续波调频^[48-52]和脉冲雷达体制^[53-57]。20世纪50年代末期到70年代末期,引信的功能已由简单的起爆控制上升到精确起爆控制,并开始考虑用制导信息和引信获得的信息实现起爆延时,用天线波束倾角及战斗部飞散角的调整,实现精确起爆控制和提高引战配合效率^[2,4,5,7]。与

此同时,无线电引信对抗技术的出现,使引信的抗干扰研究提到议事日程上来,并通过移植雷达波形设计技术和信号处理技术,提高了引信固有的潜在抗干扰能力。例如,通过提高引信的距离截止特性来提高引信抗转发干扰能力;通过采用双通道提高引信对杂波阻塞干扰的识别能力;通过采用增幅抗干扰措施提高引信对抗扫频和连续波瞄准干扰的能力等。进入 20 世纪 80 年代后,无线电引信技术处于迅速、稳健、全面发展的新时期。引信抗干扰能力依然是新一代引信的一项很重要的性能指标,引信不同工作体制的研究受到重视。现代无线电引信的体制越来越多,某些老的引信体制(如普通脉冲引信、普通连续波引信、红外被动引信)因其抗干扰能力和其他性能差等原因逐渐被淘汰,新的抗干扰能力强的无线电引信体制得到应用,代表性的有如下几种。

1. 调频无线电引信^[2,4,5,7,45,48-52]

调频无线电引信是一种发射信号频率按调制信号规律变化的等幅连续波无线电引信,包括调频多普勒引信和调频比相引信。该体制的引信具有定位精度高、抗干扰性能好的特点。调频无线电引信的发展不单用于连续波引信,也用于宽带的脉冲调频引信,使其能进行一维成像的测量,识别目标的关键部位。法国 PIE2 型引信是配用于“马特拉”空-空导弹的一种微波调频测距引信^[7],另外,美国 M734A1 迫弹无线电引信、XXM733 地炮无线电引信、德国的 DM34 无线电引信、挪威的 PPD440 多选择引信等均为调频体制无线电引信。

2. 脉冲多普勒无线电引信^[55,58-63]

该体制的引信具有距离选择能力,可抑制远距离回答式脉冲干扰和低空地面反射回波干扰,进行动目标选择和速度的选通,并提供多普勒频率即相对速度的信息,采用窄波束天线时可在角度上具有选择的能力、有较高的灵敏度和作用距离。美国“爱国者 PAC-2”防空导弹、法国“海响尾蛇”防空导弹、意大利“阿斯派德”空空和地空导弹等都采用的是脉冲多普勒引信体制。

3. 频率捷变无线电引信^[64-67]

频率捷变无线电引信是由快速捷变的射频技术与性能优良的定距技术结合而成。该体制引信通过采用快速变化的射频来规避引信干扰机的侦收和干扰,从而达到提高无线电引信抗干扰能力的目的。国外已将捷变频技术应用于炮弹引信,自 1992 年投产 M9159A1 以来,已陆续投产了多种型号的应用捷变频技术的引信,如英国的 M85C85,南非的 9017A1 地炮无线电引信,南非的 M9327A、MERLIN,意大利的 FB391 迫击炮弹无线电引信,意大利的 FB395 和英国为苏联研制的 BM21 火箭弹无线电引信等。

4. 伪随机码调制无线电引信^[2,7]

这种引信又被称为伪随机编码引信,伪随机码调制是由随机噪声调制演化而来的,它既有近似噪声调制的性能,又易于控制。该引信采用编码结构,按波形可以

分为连续波和脉冲波两种。该体制引信具有较强的抗干扰能力和测距、测速能力,已成为引信工作体制中重要的发展方向之一。20世纪50年代初,Woodward等发现,为了实现测距测速,应当采用白噪声式的信号,才能达到最小的测量模糊度。但是白噪声的产生和复制都存在许多技术上的问题。20世纪60年代中期,伪随机码(简称伪码,本书指 m 序列)的出现,较好地解决了测距能力和测距精度的矛盾。20世纪70年代初,西欧最早将伪随机码应用于无线电引信,并将设计、生产的伪码体制引信陆续装备于空地、地空及空中格斗导弹中,如法国“海响尾蛇”导弹,其引信采用的是伪随机码调相与脉冲调幅复合调制引信^[7,68-70]。

进入21世纪,无线电引信目标特性发生了变化,受军事发展需求牵引和科学技术发展推动的影响,为了满足各种复杂功能的要求,无线电引信正朝着更加复杂的方向发展^[68,69]。现代作战的需求对无线电引信提出了新的要求^[71]。

- (1) 具有目标类型的识别能力,提高引战配合效率;
- (2) 具有快速响应和快速处理信号的能力;
- (3) 提高引信启动区的精度,即提高引爆战斗部时刻的准确度;
- (4) 具有抗噪声式、瞄准式、应答回波式等人为干扰的能力和背景干扰能力;
- (5) 具有低空、超低空作战能力,即能对地面、海面回波具有有效抑制的能力。

随着微电子技术、微机电技术、先进光电技术和信号处理技术等引信系统中的应用,国内外无线电引信呈现出下列发展特点和趋势^[7,72,73]:

- (1) 武器系统与引信一体化设计和信息交联化;
- (2) 大量应用微电子与微机电技术;
- (3) 采用新的物理场、新的探测体制与先进的信号处理技术;
- (4) 引信功能多样化和扩展化^[3];
- (5) 微小型化;
- (6) 引信系统通用化、系列化和组化。发展通用化、系列化、组化(模块化)的引信系统是国内外引信技术系统化发展的一个重要思想。

纵观无线电引信及其技术的发展历程,可以看出两个基本规律:一是随着战争的需求和相关技术的发展,引信不仅性能不断提高,而且其功能也在不断拓展;二是由于引信处于战争“生与死”对抗的最前沿,因此,每个时代的先进技术,总是优先用于引信。“需求牵引、技术推动”是无线电引信发展的不竭源泉^[74]。

1.3 无线电引信信号参数提取技术

1.3.1 无线电引信信号电子侦察

无线电引信信号特征参数提取技术属于无线电引信信号电子侦察技术范畴,

从电子战（EW）的角度来说属于电子战支援（ES）范畴。有效的侦察是获得有效干扰的前提和保证。电子侦察的基本内容是侦察敌方无线电电子设备的空间分布，接收其发射信号并分析此信号的有关参数，例如，利用全景接收机测量引信工作频率，分析调制形式和调制参数等，记录并显示侦察结果，以供给干扰机利用^[75]。

对无线电引信侦察设备而言，特别需要注意无线电引信的这些特点^[2,4,5,7]：

- （1）无线电引信的辐射功率很小，比雷达小几个数量级；
- （2）无线电引信的种类多，工作频率范围宽，即使是同一种型号的引信每一发的工作频率也不相同，存在频率散差；
- （3）无线电引信是一次性使用的电子装置，工作时间很短，一般只有几十秒；
- （4）在战术使用上有多发齐射或连射，造成多信号环境；
- （5）由于侦察的目的是干扰，所以有时必须得到引信信号的所有参数，而有些参数是很难得到的，例如，伪码体制引信采用的是何种伪码码型？

因此，作为无线电引信的侦察设备应具备这样一些性能：

- （1）要有足够灵敏度的侦察接收机；
- （2）全频段的频率监视接收能力；
- （3）反应时间要快；
- （4）测量参数速度快、精度高、种类多。

到目前为止还未看到专用的无线电引信电子侦察设备，通常引信干扰机包括了侦察设备，即侦察和干扰是一体的。这是因为侦察设备侦察出引信的参数后还要对干扰机进行引导，考虑到无线电引信工作时间很短，所以不允许侦察设备花过多的时间进行信号分析和引导，而且这一切最好应该自动完成。侦察和干扰设备一体化可以减小从侦察设备到干扰设备的信息传递时间。尽管没有专用的无线电引信电子侦察设备，但是很多通常的无线电侦察设备也能完成无线电引信电子侦察设备的部分功能，例如，AN/PRD-10 可以完成测向等功能，AN/ALR-93 可以完成常见无线电信号的识别等功能，AN/ULQ-16 可以分析接收到的脉冲信号，AN/USQ-103 可以截获无线电信号并进行分析。

1.3.2 无线电引信信号的特征参数提取技术

对无线电引信而言，实时有效地侦察其发射信号并提取出引信信号的特征参数是对其有效干扰的前提。无线电引信信号参数提取技术属于无线电引信信号电子侦察技术范畴，电子侦察的基本内容包括^[76]：①无线电信号谱分析；②无线电信号时频特性分析；③无线电信号的调制识别和分类；④无线电信号的发射源身份估计和确认；⑤无线电信号原始信源解调；⑥无线电信号发射源距离估计；⑦发射源的方向估计等。随着引信面临的战场环境日趋恶化，为了获得好的抗干扰性能和低的截获概率，引信逐渐采用更为复杂的调制信号，信号的特征参数更

多,参数更隐蔽,这给干扰方的信号侦察带来很大的难度。为了保证干扰效果,做到有的放矢,引信干扰方在截获到对方引信信号后,如何正确提取出引信信号的所有特征参数,是引信对抗双方共同关注的问题,也是目前无线电引信对抗研究的一个热点问题。

无线电引信信号识别主要包括信号调制类型的识别和信号特征参数的提取。无线电引信信号调制类型的识别隶属于无线电信号调制类型识别的范畴,自1969年4月第一篇关于调制类型识别的论文《采用模式识别技术实现调制类型的自动分类》发表以后,在这方面研究的文献很多^[77-90]。常见的调制类型识别方法大致可以分为两大类:决策论方法、统计模式识别方法。决策论方法的基本框架是复合假设检验,它适用于待识别种类有限的情况;而统计模式识别方法的基本框架则是先从信号中提取事先选定的特征,然后进行模式识别。例如,文献[81]~[85],采用决策论的方法,利用提出的9个关键参数,能够对MFSK、PM、MPSK、AM、MASK、DSB、VSB等常用的模拟和数字信号进行分类识别,且该方法在信噪比(SNR)大于10dB时,识别效果很好。文献[91]中采用统计模式识别的方法提取信号的瞬时包络和信号瞬时频率的AR谱估计参数,并将此与参考训练样本作比较判决,识别出信号的调制方式。该方法在不需要知道信号先验条件的情况下,在信噪比低至-1dB时,仍能保持80%的识别概率。随着引信面临的战场环境日趋恶化,对调制类型的识别要求越来越高,在现代信号处理技术快速发展的背景下,出现了一系列基于现代信号处理方法的无线电信号调制分类方法:现代谱估计法、高阶统计分析法、时频信号分析法等^[92]。例如,文献[93],[94]利用高阶累积量良好的白噪声抑制特性和高阶数字调制方式在高阶累积量上的区别能够在较低信噪比下对几种数字调制方式识别;文献[95],[96]利用了信号谱相关的特性,将传统的信号分析从时域、频域、时频域变换到二维双谱域-谱相关域,利用信号频谱的尖峰数、谱相关图上周期谱线数等参数来实现不同调制类型的识别。

尽管研究无线电信号特征参数提取的文献很多^[97-100],但专门针对无线电引信信号特征参数提取的文献却很少。文献[101]~[104]研究了基于LabVIEW软件平台的无线电引信信号特征参数提取方法,通过LabVIEW语言编写了识别模块,能够在识别出调制信号调制类型的基础上,提取出线性调频信号的载频、周期、最大频偏、信号带宽;提取出伪码调相连续波引信信号的载频、伪码的码型、码元宽度、码长。文献[105]研究了伪码调相连续波引信、伪码与正弦调频复合引信以及伪码与线性调频复合引信信号识别的谱相关法。通过谱相关的计算和特征的提取,能较好地提取出载频和载波调频参数以及伪码各项参数。文献[106]在研究伪码体制引信信号识别时,提出了基于ZAM分布的时频分析方法^[107,108]。通过对伪码调相连续波引信、伪码调相与脉冲多普勒复合体制引信、伪码调相与脉位调制复合体制引信信号进行ZAM变换并

借助一些相关算法，能够提取出这些引信信号的载频、脉冲重复周期、伪码码型、码元宽度、伪码码长等特征参数。但全书都是在没有噪声的理想情况下进行的，没有考虑噪声对引信信号参数提取可能造成的影响。文献 [109] 研究了自适应窗长时频分析理论和线性滤波输出的离散调频信号处理方法在伪码体制复合引信信号特征参数提取中的应用。通过采用 WD 分布和改进 B 分布的自适应窗长时频分析方法，能很好地反映相位突变点的高频信息，并能很好地抑制平滑信号段的噪声对瞬时频率提取的干扰，通过采用线性滤波输出的离散调频信号处理方法能够较好地实现伪码体制复合引信信号时频分布特征参数的提取。最后，文献 [109] 还对多分量伪码体制复合引信信号的分离和特征参数提取进行了研究。

1.4 无线电引信干扰技术

1.4.1 无线电引信干扰概述

广义地说，凡是影响引信正常工作的因素都属于干扰，引信的干扰可以分成两大类：内部干扰和外部干扰。所谓内部干扰实际上是指引信工作过程中存在的内部噪声；外部干扰是指非引信自身产生的干扰，主要是环境干扰和人工干扰。引信的干扰种类^[7,110,111]如图 1.1 所示。

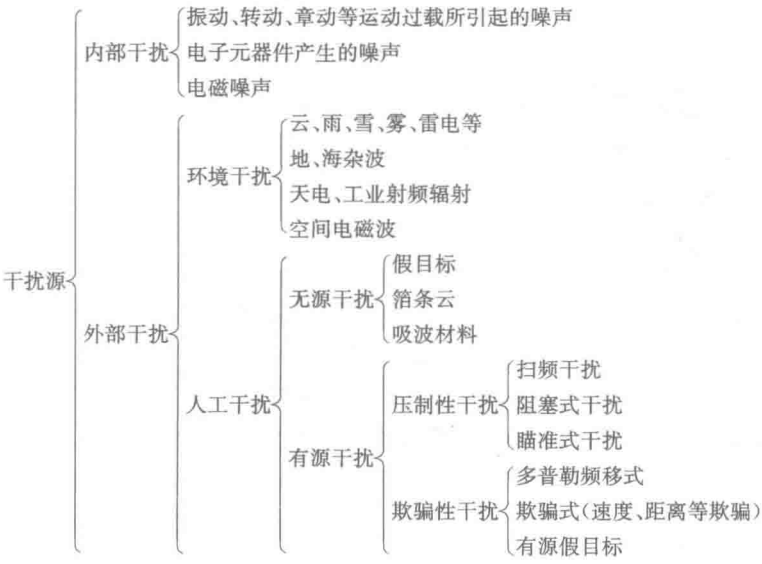


图 1.1 无线电引信的干扰种类

目前，有源干扰主要针对无线电引信，它是对无线电引信威胁最为严重的干扰，因此，研究无线电引信的干扰和抗干扰问题，应重点研究人工有源干扰。本

书在研究典型伪码体制的干扰效果时,研究的对象也正是有源干扰中的压制性干扰和欺骗性干扰。

压制性干扰是用强大的干扰功率压制引信对目标回波信号的检测,使引信在工作时间内无法获得目标信号的特征,从而引起引信误动作。按照干扰信号载波频率 f_j 、干扰谱宽 Δf_j 相对引信接收机中心频率 f_s 、带宽 Δf_r 的关系,压制性干扰可分为扫频干扰、阻塞式干扰、瞄准式干扰^[7,112]。

1. 扫频干扰

干扰发射机发射等幅或调制的射频信号,它的载波频率以一定的速率在一较宽的频率范围内按一定的规律来回摆动。扫频干扰一般满足

$$\Delta f_j = (2 \sim 5) \Delta f_r, \quad f_s = f_j(t), \quad t \in [0, T] \quad (1.4.1)$$

即干扰信号的载波频率为连续、以 T 为周期的函数。扫频干扰可对引信造成周期性间断的强干扰。

2. 阻塞式干扰

干扰发射机发射大功率宽频谱的信号(一般为噪声调制信号),可使处于发射信号频带内的无线电引信收到干扰。阻塞式干扰一般满足

$$\Delta f_j > 5 \Delta f_r, \quad f_s \in [f_j - \Delta f_j/2, f_j + \Delta f_j/2] \quad (1.4.2)$$

阻塞式干扰谱宽 Δf_j 相对较宽,对频率引导精度的要求低,频率引导设备简单。为了解决干扰频带太宽、要求功率过大的问题,可用若干个阻塞式干扰机组成组,将整个无线电引信工作频带覆盖住。或者采用引导式阻塞干扰机,即用侦察机先大致测出引信的工作频率,然后发出一个窄带的阻塞干扰信号。阻塞式干扰与扫频干扰是对付引信的重要干扰方式。

3. 瞄准式干扰

瞄准式干扰是先接收引信的发射信号,然后使干扰机对准引信的工作频率,发出和引信工作频率几乎相同的窄带干扰信号。瞄准式干扰一般满足

$$f_j \approx f_s, \quad \Delta f_j = (2 \sim 5) \Delta f_r \quad (1.4.3)$$

采用瞄准式干扰必须首先测得引信信号的频率 f_s , 然后通过频率引导把干扰机频率 f_j 调整到引信的频率上,保证以较窄的 Δf_j 覆盖 Δf_r 。瞄准式干扰的主要优点是在 Δf_r 内的干扰功率较强。瞄准式干扰由于其干扰带宽相对较窄,因此,对干扰连发、多发齐射的无线电引信存在的问题,其主要用于导弹引信的干扰。

欺骗性干扰是指干扰机先侦收无线电引信的射频信号,对载波放大并加调制后发射出去。由于欺骗性干扰信号与引信目标回波信号特征相似,极易通过引信接收机通带,引信接收到干扰机发射的信号,检出调制信号,成为引起引信误动作的信号。欺骗性干扰是能够有效干扰无线电引信的一种重要干扰方式,被广泛应用于无线电引信对抗中。

无线电引信对抗有以下几个特点^[113]。

1. 目标数量多

在战争中,火炮、火箭炮等武器的射击大多是多门炮齐射或急速连射,这样,在战区上空会突然出现数十个引信,这些引信的工作频率各不相同,这就要求引信对抗设备具有对付多个引信的能力。

2. 电磁信号环境密集复杂

除了多炮齐射造成的多个信号外,还在于很多炮弹无线电引信工作于 VHF 或 UHF 频段,在这些频段中有大量的通信电台信号、电视信号、雷达信号等,这些信号的调制形式是多种多样的,造成复杂密集的电磁信号环境,这就要求引信对抗设备具有很强的信号分选识别能力。

3. 对抗时间短促

引信的工作时间短,一般只有几十秒,少的只有几秒,这就要求引信对抗设备的反应时间要快,做到快速搜索、快速引导、快速干扰。

4. 选择最佳干扰时机

引信是随弹丸一起高速运动的,弹丸的位置、运动速度、姿态都在变化,对引信的工作产生影响,因此引信与干扰机之间存在一个干扰信号的最佳耦合,引信干扰机应该抓住最佳干扰时机施放干扰。

5. 工作频率范围宽

目前,引信的工作频率范围从几十兆赫兹至毫米波段,几乎与雷达的工作频率范围相同,这就要求引信对抗设备具有很宽的工作频率范围。

6. 地面影响严重

引信对抗设备的工作频率低端为 100MHz,相应的波长为 3m。如果引信对抗设备置于地面,那么天线的架设高度不会太高,天线的高度与波长相当,地面反射会对天线波束产生严重影响。

7. 保密性强,侦察困难

各国对无线电引信的资料严格保密,想通过搜索国内外的公开资料来了解引信的性能极其困难。此外,想通过技术手段侦察敌方引信的情报也是十分困难的,因为通常只有在战争期间才会使用引信。

1.4.2 无线电引信干扰技术发展概况

自第二次世界大战以来,无线电引信得到了广泛的应用和发展,可靠性获得了很大提高。由于无线电引信具有能够在各种条件下日夜工作、不受天气限制、能够用来对付任何反射电波的空中和地面目标等特性,因此,对无线电引信的干扰始终是电子战领域的重要组成部分。无线电引信干扰是在弹丸经过的区域建立