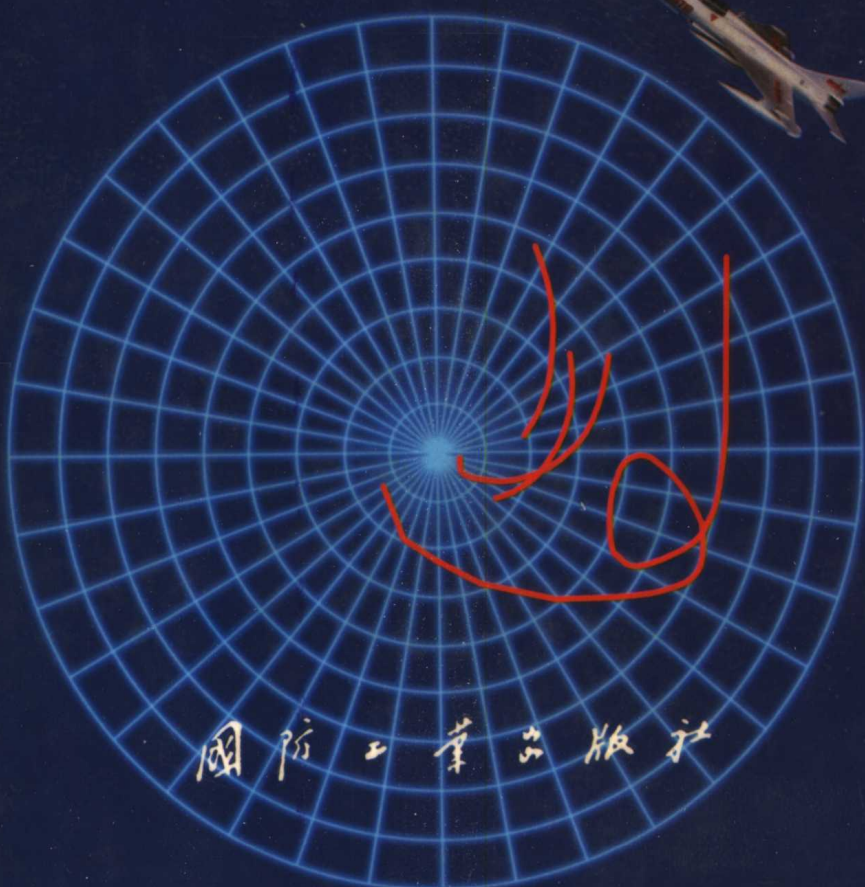


现代雷达对抗技术

Modern Radar Electronic Countermeasures Technology

张锡祥 著



国防工业出版社

现代雷达对抗技术
Modern Radar Electronic
Counter-measures
Technology

张锡祥 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代雷达对抗技术/张锡祥著. —北京:国防工业出版社, 1998. 2

ISBN 7-118-01835-X

I. 现… I. 张… III. 雷达对抗 N. TN974

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 22620 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 151 千字

1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500 册 定价:14.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

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,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. 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,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防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,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,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用。在改革开放的新形势下,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工业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 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模			
主任委员	黄 宁			
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允	曾 铎
秘 书 长	崔士义			
委 员	于景元	王小谟	尤子平	冯允成
(以姓氏笔划为序)	刘 仁	朱森元	朵英贤	宋家树
	杨星豪	吴有生	何庆芝	何国伟
	何新贵	张立同	张汝果	张均武
	张涵信	陈火旺	范学虹	柯有安
	侯正明	莫梧生	崔尔杰	

序

我很高兴地向电子对抗方面的科技人员、使用人员、管理人员及其他读者推荐电子工业部第二十九研究所张锡祥研究员的著述《现代雷达对抗技术》。这本对抗技术所刊载的内容是张锡祥从事电子对抗研究几十年知识和经验的积累和总结,它的出版想必对推动电子对抗事业的发展有重要作用。

我国电子对抗事业从 50 年代初到现在,经历了几个发展阶段,取得了一批成果,研制成功了一批装备,培养了大批人才,为今后的发展创造了条件。现在许多专家年事已高,已不在第一线从事科研、生产和使用方面的具体工作,但他们有丰富的经验,有很高的造诣,而广大年青科技工作者在这方面还比较缺乏,因此,希望老专家多总结,多出一些这方面的书籍,供青年科技人员学习继承。希望年青科技人员虚心学习老专家的丰富知识和经验,刻苦钻研,不断开拓前进,有所创新发展,为我们伟大祖国的国防现代化作出更大的贡献。

李德成

自序

自大学毕业以来,近40年一直从事电子对抗的使用和研制工作,其间经历了维护仿制到自行设计以及单机、系统直到综合系统的设计制造的研制发展过程,经历了电子对抗设备由单一功能向多功能、小型化、标准化、模块化方向的发展历程。我根据研制经验和分析推理,提出了一些新设备、新概念,如:三位一体化电子对抗设备技术。在对各种雷达体制的干扰方面也提出了一些适宜的干扰样式,如:对单脉冲雷达干扰技术,用“同步瞞频”方式干扰捷变频雷达的战术技术;对警戒引导雷达产生多目标欺骗干扰的原理,对预警机雷达干扰技术等。在大功率干扰机今后发展的方向上也提出了从超级干扰机到微波能武器发展的新概念研究,超大功率干扰机的威力等。这些文章提出的概念,有的已经实现,有的正在研制,有的尚待继续研究发展和完善。

本书对军队中的电子对抗指战员和从事电子对抗设备研制的人员及其他与电子对抗有关的技术人员均有一定参考价值。

本书曾得到二十九所李德成所长和徐静松、苟仲文副所长的大力支持,不胜感激!在文稿和资料的整理中曾得到唐臻富、李慕文、王俊、刘荣雄、周湘民等同志的大力帮助,还得到许多关心本书的朋友的大力支持和帮助,在此,一并表示衷心的感谢。

本书的内容多数是凭我的经验根据分析推理而成,故文后很少附有参考材料。因本人理论水平非常有限,在理论分析和数学模型的推导建立中,错误在所难免,诚望读者指正,本人深表感谢。

张锡祥

内 容 简 介

全书共分六章,它们是:对单脉冲雷达的干扰技术;对地面预警引导雷达的干扰技术;对地面警戒引导雷达的干扰技术;对预警机雷达的干扰技术;地对空干扰系统;对抗反辐射导弹的技术;雷达对抗的新概念新技术。

作者根据研制经验和分析推理,提出了一些现代雷达对抗技术的新概念,还提出了一些适宜的干扰样式,为此,有多个科研项目获国家、部委科技进步奖,作者获四川省劳模、全国电子行业劳模等荣誉称号,是国家有突出贡献的专家。本书对从事电子对抗设备及理论研究的科技人员、本专业的大专院校高年级学生及研究生均有参考价值。

目 录

第一章 对单脉冲雷达的对抗技术	(1)
§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 中频放大元件的不理想对跟踪精度的影响	(2)
§ 1.3 噪声对单脉冲雷达跟踪精度的影响	(6)
§ 1.4 相位波前失真对单脉冲雷达跟踪精度的影响	(8)
§ 1.5 对距离自动跟踪系统干扰的原理.....	(12)
§ 1.6 调频脉冲噪声加距离拖引的脉冲回答式干扰.....	(13)
§ 1.7 距离拖引与消极干扰弹综合使用.....	(14)
第二章 对地面警戒引导雷达的干扰技术	(18)
§ 2.1 对警戒引导雷达的多目标欺骗干扰技术.....	(18)
§ 2.2 改变雷达作战状态,快速识别真假目标的原理 ...	(40)
第三章 对预警机雷达的干扰技术	(53)
§ 3.1 对预警机雷达的干扰原理.....	(53)
§ 3.2 对预警机雷达的布阵干扰.....	(60)
§ 3.3 信道化瞞频技术.....	(65)
§ 3.4 单站被动跟踪系统的误差分析.....	(75)
第四章 地对空干扰系统	(94)
§ 4.1 地对空干扰系统的多功能应用.....	(94)
§ 4.2 对空对地捷变频雷达的干扰技术	(108)
第五章 对抗反辐射导弹的技术	(118)
§ 5.1 用两点源对抗反辐射导弹的技术	(118)
§ 5.2 用高功率微波辐射源对抗反辐射导弹的技术 分析	(123)
第六章 雷达对抗的新概念新技术	(129)

§ 6.1	三位一体化电子对抗技术	(129)
§ 6.2	超大功率干扰机	(135)
§ 6.3	噪声雷达原理及其在电子对抗设备中的应用 ...	(146)
§ 6.4	宽带中功率微波器件在民品中的应用	(155)
§ 6.5	从超级干扰机到微波能武器的新概念新技术 ...	(159)
§ 6.6	对双基地雷达的干扰技术	(172)

CONTENTS

CHAPTER 1 Jamming Techniques Against Monopulse

Radars	(1)
§ 1.1 introduction	(1)
§ 1.2 effect of non-ideal IF amplifying components on track accuracy	(2)
§ 1.3 effect of noise on track accuracy of monopulse radars track accuracy	(6)
§ 1.4 effect of phase wavefront distortion on track accuracy of monopulse radars	(8)
§ 1.5 principle of jamming against automatic range tracking systems	(12)
§ 1.6 pulse repeater jamming against FM pulse noise plus range gate walkoff	(13)
§ 1.7 Combined use of range gate walkoff and passive jamming cartridges	(14)

CHAPTER 2 ECM Techniques Against Ground-Based

Surveillance/Guiding Radars	(18)
§ 2.1 Multiple-Target Deception Jamming Techniques Against Surveillance/Guiding Radars	(18)
§ 2.2 Principle of Quick Identification of True and False Target by Changing Radar Operation model	(40)

CHAPTER 3 Jamming Techniques Against AWACS

Radars	(53)
---------------	------

§ 3. 1	Jamming principle Against AWACS Radars	(53)
§ 3. 2	Deployed Array Jamming Against AWACS Radars	(60)
§ 3. 3	Cahnelized Frequency-Spot Jamming Techni- ques	(65)
§ 3. 4	Error Analysis of Single-Station passive Tracking System	(75)
CHAPTER 4	Surface-to-Air Jamming system	(94)
§ 4. 1	Multiple-Function Application Technique of Surface-to-Air Jamming System	(94)
§ 4. 2	Jamming Techniques Against Air-to-Surface Frequence-Agile Radars	(108)
CHAPTER 5	EMC Techniques Against ARM	(118)
§ 5. 1	Application of Two Point-Sources to Counter ARM	(118)
§ 5. 2	Application of High-Power Microwave Source to Counter ARM	(123)
CHAPTER 6	New Concept and Techniques of Radar ECM	(129)
§ 6. 1	3-D Integrated ECM Techniques	(129)
§ 6. 2	Supper-high-Power Jammer	(135)
§ 6. 3	Noise Rader Principle and Its Application in ECM Systems	(146)
§ 6. 4	Application of Wide-Band Microwave Compo- nents in Commercial Products	(155)
§ 6. 5	New concepts and Techniques From Supper Jammer to Microwave Ennergy Weapon	(159)
§ 6. 6	Jamming Techniques Against Two-Based Radars	(172)

第一章 对单脉冲雷达的对抗技术

§ 1.1 引言

我第一次接到干扰单脉冲雷达的任务时,对单脉冲雷达的情况很不了解,只听到一些反应,认为单脉冲雷达是干扰不了的,因为它凭一个脉冲就可以获得误差信息,因此与倒相调制无关。但当我们看了单脉冲雷达的一些资料时,发现他们在设计时有两个假设:

(1)认为单脉冲雷达的中放带宽是无限的;

(2)两路接收机是完全对称的。

那就是说这个假设只能在一定的条件下成立,对干扰而言是不成立的。

实际上雷达带宽也是有限的,两路接收机也不是完全对称的。我们就利用这两点假设,设计我们的干扰样式,经试验证明,干扰有效。但是,随着单脉冲雷达的制造水平的提高,两路对称性的改善,利用两路不对称对单脉冲雷达的干扰样式,越来越困难了。对单脉冲雷达最佳的干扰样式,还是利用“相位波前失真”原理干扰最为有效(西方称交叉眼干扰)。

一部新体制雷达的产生,总是有它的优点和弱点的,作为研究和制造单脉冲雷达者,总是想方设法发扬它的优点,克服它的弱点。而作为干扰单脉冲雷达而言,总是想方设法去找它的弱点。下面我们就单脉冲雷达的几个薄弱部分进行分析,以探索对它干扰的可能性。

§ 1.2 中频放大元件的不理想 对跟踪精度的影响

在单脉冲雷达的原理分析中,往往是把雷达的自动增益看成是理想的,接收机的带宽看成是无限的,“和”、“差”支路的中放看成是对称的。但是,实际上并不那么理想,两路中放不是很对称,中放的带宽也是有限的。因此,研究各种型式的中放和不同带宽时,因中放两信路相位特性和振幅特性的不理想性对鉴相器输出电压有影响,从而产生对角跟踪的影响。产生角跟踪误差的原因很多,例如,当有自动增益控制电压时,晶体管输入电容的变化就可以引起这些误差。

为了深入分析跟踪精度问题,首先导出鉴相器输出电压的一般表示。考虑到回波的脉冲性质和中放带宽的有限性,一般假设信号 S_0 是矩形脉冲列,其振幅为 E_0 ,宽度为 τ ,重复频率为 f_r ,载频为 $f_0 = \frac{1}{2\pi}\omega_0$,这种脉冲列可方便地用傅里叶级数表示为

$$S = E_0 f_r \tau \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \exp[j2\pi(f_0 - nf_r)t]$$

两天线收到的回波信号可写成

$$S_1 = E_0 f_r \tau F(\theta_0 + \theta) \exp(jKd \sin \theta) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \times \exp[j2\pi(f_0 - nf_r)t]$$

$$S_2 = E_0 f_r \tau F(\theta_0 - \theta) \exp(jKd \sin \theta) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \times \exp[j2\pi(f_0 - nf_r)t]$$

经混频中放后,在和信路和差信路输出端上最终得出的电压为

$$S_{np} = E_0 f_r \tau K_s S \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_s(nf_r - \Delta_s) \frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \times \exp[j2\pi(f_{np} + nf_r)t - j\varphi_s(nf_r - \Delta_s)]$$

$$D_{np} = E_0 f_r \tau K_D D \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_D(nf_r - \Delta_D) \frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \times \\ \exp[j2\pi(f_{np} + nf_r)t - j\varphi_D(nf_r - \Delta_D) - j\varphi_0]$$

相位检波器的输出电压为

$$S_{out} = \frac{1}{2} (E_0 f_r \tau)^2 K_s K_D \operatorname{Re} \{ e^{j\varphi_0} S D \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_i(nf_r - \Delta_i) \times \\ a_D(mf_r - \Delta_D) \frac{\sin(m\pi f_r \tau)}{m\pi f_r \tau} \frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \times \\ \exp[j2\pi(n-m)f_r \tau + j\varphi_D(mf_r - \Delta_D) - j\varphi_i(nf_r - \Delta_i)] \} \quad (1-1)$$

为简化起见,首先讨论当自动跟踪目标的角位置有少量变化时,鉴相器输出信号与中放幅频特性的关系。

式(1-1)简化为

$$S_{out} \approx X G_m(\theta_0, d) \theta \quad (1-2)$$

式中

$$X = \operatorname{Re}\{P\} =$$

$$\frac{\sum_{n=-\infty}^{\infty} a_i(nf_r - \Delta_i) a_D(nf_r - \Delta_D) \left[\frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \right]^2 \cos[\varphi_D(nf_r - \Delta_D) - \varphi_i(nf_r - \Delta_i)]}{\sum_{n=-\infty}^{\infty} [a_i(nf_r - \Delta_i)]^2 \left[\frac{\sin(n\pi f_r \tau)}{n\pi f_r \tau} \right]^2}$$

在大多数情况下

$$f_r \ll \frac{1}{\tau}$$

则 X 可写成

$$X = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a_i(f - \Delta_i) a_D(f - \Delta_D) \left[\frac{\sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau} \right]^2 \cos[\varphi_D(f - \Delta_D) - \varphi_i(f - \Delta_i)] df}{\int_{-\infty}^{\infty} [a_i(f - \Delta_i)]^2 \left[\frac{\sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau} \right]^2 df} \quad (1-3)$$

上式极为复杂,它同时表示了振幅—频率特性(a_i)及相位—频率特性(φ_i),它们又是互相依从的。

若两路中放形式相同,两路中放的失谐量也相同, $\Delta_i = \Delta_D = \Delta$, 根据方程式(1-3), $X=1$, 这对鉴相器输出无影响,但是,有很大

的失谐时是不允许的。因此时信噪比将急剧减少,而使测角精度大为降低。若和信路放大失谐为零,而信号不为零,或反之,则 X 值可写成

$$X = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a(f)a(f-\Delta_D) \left[\frac{\sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau} \right]^2 \cos[\varphi_D(f-\Delta_D) - \varphi_i(f)] df}{\int_{-\infty}^{\infty} a(f)^2 \left[\frac{\sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau} \right]^2 df} \quad (1-4)$$

把式(1-4)绘制成曲线,可很清楚地看出中放失谐对相位检波器输出的影响。

图 1-1 是由六级组成的第一类中放,当参数 $B\tau$ 固定时,系数 X_1 与失谐量 $X_0 = \Delta_D \tau$ 的关系曲线。

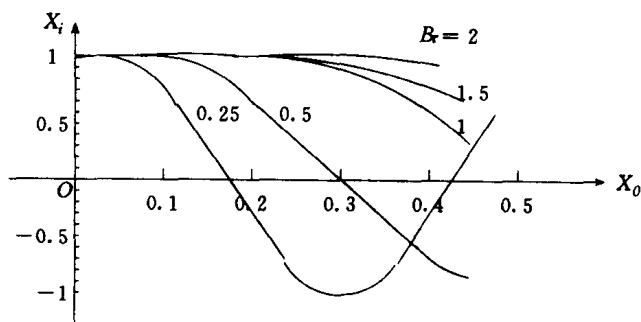


图 1-1 失谐系数与失谐量的关系曲线

X_i 为检波系数, B 为中放带宽(MHz), τ 为脉冲宽度(μ s),

X_0 为失谐量 Δ_D (MHz)。

以图 1-1 为例来说明单脉冲雷达可能受干扰的原因。

假设单脉冲雷达的脉冲宽度为 0.5μ s, 中放带宽为 3MHz, 则

$$B\tau = 1.5$$

在未受干扰, 且雷达处于跟踪状态时, 假若失谐量 X_0 从 0 变至 0.5MHz, 则 X_1 从 1 变至 0.7, 即 $S \approx (1 \sim 0.7)(\theta_0, d)\theta$, 故雷达仍可以正常跟踪目标。

若受到杂波脉冲干扰后, 假设杂波脉冲是一个宽度为几十纳秒(ns)至 0.2μ s 的一个随机的尖头脉冲, 同时失谐频率也是从 0