

Principles of Radar
Passive Jamming

雷达无源 干扰原理



RADAR

陈静 编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

雷达无源干扰原理

Principles of Radar Passive Jamming

陈 静 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

雷达无源干扰原理 / 陈静编著. —北京: 国防工业出版社, 2009.9

ISBN 978 - 7 - 118 - 06334 - 9

I. 雷... II. 陈... III. 雷达干扰 - 研究 IV. TN972

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 067956 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 13% 字数 336 千字

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 30.00 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

**电子干扰技术是粗糙的技术，
而电子欺骗技术是巧妙的技术，
无源假目标就是欺骗雷达的重
要便捷器材。**

编著者

前 言

低空突防导弹通常具有很小的雷达截面(约 0.1m^2)和很低的飞行高度(从几米到几百米),对雷达构成严重威胁。现在出现了雷达截面与被保护目标相仿、具有全向性的假目标,作为诱饵来引诱这种导弹或掩护这种导弹实现突防。混装干扰弹和新研制出并投入使用的电子纤维(electronic fibre)新型箔条,成为低空导弹以及整个导弹系统的克星。

反辐射导弹(ARM)是目前对雷达威胁最大的兵器。它不仅攻击雷达,而且可以攻击有源干扰机、干扰源和其他电磁辐射源以及红外辐射源。许多国家在加紧研制 ARM 的同时,积极寻找抗 ARM(AARM)的措施和方法。AARM 的方法措施很多,其中假辐射源是行之有效的 AARM 措施。

使用火箭或炮弹投放箔条,在远离军舰的地方按指令形成大面积雷达回波信号。尽管可能研制出其他类型的诱饵,但都远不如箔条投放技术效果更好、费用更低(Butters B C F. Chaff[C]. IEE Proceedings, Pt. F, 1982(6), 129(3): 197 - 201.)。近年来在海上对抗方面,研制了先进的舷外有源和无源干扰装置,采用的方法是平台外干扰,对抗的有效手段就是平台外的假目标。

超视距雷达是现代重要的预警系统,可以对正在逼近的大气层中的威胁攻击进行预警,其作用相当于侦察卫星。对付超视距雷达的电子对抗措施是个尚未开发的课题(Curtis Schleher D. Introduction to Electronic Warfare [M]. Aorwood: Artech House, 1986.)。其主要原因是,远距离干扰很难找到合适的电离层路

径;自卫噪声干扰是不利的,超视距雷达使用大的平均功率和较长的多普勒处理时间;频率低,大的天线结构和发射机除陆基之外,电子干扰难以奏效。

动目标显示和脉冲多普勒技术广泛用于火控、自跟踪和导弹末制导,假目标和雷达诱饵又出现了研究热潮,并已取得重大进展,投入使用。海湾战争已经证明,假目标(诱饵)干扰是现代电子战中的有效干扰手段。就世界范围来说,20 世纪 80 年代以前对假目标技术的研究重视不够,主要是成本较高。海湾战争后,由于反辐射导弹的威胁,美国军方才开始注意[Scott W B, Van Nuys, Calif. Gulf War Experience Raises U. S. Interest in ARM Decoys[J]. AW & ST,1991,135(16).]。

空间电子战,在弹道导弹的突防和反突防(拦截)全弹道中,轻诱饵(假目标)和重诱饵(与真弹头相似的假目标)起到重要作用,是十分重要的无源欺骗手段。

隐形技术是雷达的天敌,属于无源干扰范畴。当前,隐形和伪装技术进入了新时代,哪怕到了“隐形空军”时代,隐形与反隐形的对抗仍要进行下去。

不用电子战,就不能打仗;没有雷达,导弹就不会发射出来;发射出来的导弹本身也要由雷达制导,因此干扰雷达是现代战争的首要任务。多年来,学术界有一个共识,就是雷达无源干扰技术是电子对抗或电子战的重要组成部分,但是对雷达的无源干扰方法、技术、测量和理论的研究,以及对无源干扰物和假目标的研制、试验研究,散见于报刊、杂志中,到目前,还没有一本关于雷达无源干扰方面的著作出版。本书是《雷达箔条干扰原理》(2007 年由国防工业出版社出版)一书的姊妹篇,共分 4 章,第 1 章散射体和假目标,主要研究各种形状散射体(本身也是假目标)的雷达截面,以便求解复杂形状体的雷达截面;详细分析、研究了无源干扰物和干扰器材,重点研究了几种假目标;第 2 章雷达假目标和雷达诱饵,

叙述雷达假目标和雷达诱饵及其使用方法;第3章箔条气象学,首次较系统地论述箔条气象学,总结箔条气象学研究的进展;第4章雷达无源干扰原理,主要根据近年报刊上公开的资料,分析、研究和整理了干扰对象的现状及特点,并提出对波段和功能上分类的雷达进行无源干扰的原理,具有当前性和预测性。

本书更注重实用性,为了加深理解和说明问题,还适当列举了一些例题。书中的符号尽可能统一,个别难以统一的也自成系统。写作中参考了一些论著和资料,均列于每章后的参考文献中,在此向原作者致以由衷的敬意;报纸、网站上的电讯、报道、文摘或文章,有的已经无法弄清作者,深表歉意;向在作者研究、研制和实验中曾经参加过、支持过的同事和朋友表示诚挚的谢意,感谢国防工业出版社为本书的出版做了大量卓有成效的工作。

雷达无源干扰技术和理论还在发展,隐形技术得到广泛应用;大型综合吸收屏幕对可见光、红外光、紫外光及电磁波具有吸收并对目标具有隐蔽作用,无疑是发展方向之一;书中战例证明,老式武器如果得到正确运用,仍能提供重要的作战能力。旧的雷达假目标和雷达诱饵仍要发挥作用,提高性能,改善其使用方法;继续研究和研制新型干扰物、假目标和诱饵、新型投放机构和发射器;不断改进系列产品性能也是重要的发展方向。

编著者

2008年12月20日于蛇口

目 录

第 1 章 散射体和假目标	1
1.1 引言	1
1.1.1 辐射体与散射体	1
1.1.2 线散射体和面散射体	2
1.1.3 假目标和诱饵	3
1.1.4 几种面散射体雷达截面	3
1.1.5 散射体应用	6
1.2 全波箔条方向图、雷达截面及长度	7
1.2.1 箔条等效为有源振子	7
1.2.2 正弦电流分布的箔条方向图	9
1.2.3 全波箔条雷达截面	10
1.2.4 全波箔条长度	11
1.3 金属导电圆环散射、透射及一种新应用	11
1.3.1 金属圆环雷达截面	11
1.3.2 计算与测量的比较	13
1.3.3 金属网透射系数及一种新应用	14
1.4 金属箔片雷达截面	16
1.4.1 金属箔片雷达截面	17
1.4.2 箔片形状和空气动力特性	21
1.4.3 箔片尺寸	22
1.4.4 箔片散射机理	22
1.4.5 箔片表面平面度	22
1.4.6 箔片测试结果	23
1.4.7 箔片和颗粒状干扰物	25

1.4.8	金属箔片的应用	26
1.5	简单形状物体散射截面	26
1.5.1	凸形表面的散射截面	26
1.5.2	几种简单形状物体散射截面	28
1.6	复杂形状物体散射截面	32
1.6.1	相对相位法	33
1.6.2	随机相位法	33
1.6.3	复杂形状物体散射截面计算举例	35
1.7	双面反射器和双锥反射器	38
1.7.1	双面反射器	38
1.7.2	双锥角反射器	40
1.8	三面角反射器	42
1.8.1	角反射器的种类	42
1.8.2	角反射器最大雷达截面	43
1.8.3	散射方向图的宽度	47
1.8.4	圆极化角反射器	48
1.8.5	介质填充角反射器	50
1.8.6	毫米波角反射器	51
1.8.7	网状角反射器	51
1.9	龙伯透镜反射器	52
1.9.1	电磁波从水平方向入射	53
1.9.2	电磁波从上方垂直入射	55
1.9.3	其他方向入射时	55
1.9.4	龙伯透镜反射器的应用	57
1.10	龙伯透镜反射器分层介质球的设计	59
1.10.1	龙伯透镜结构	59
1.10.2	几个问题	59
1.10.3	设计问题	64
1.10.4	设计举例	65
1.10.5	介质损耗的计算	65

1.10.6	制造方法	65
1.11	万-阿塔反射阵	66
1.12	介质棒散射元和散射阵列	72
1.12.1	介质棒	72
1.12.2	介质棒散射元	74
1.12.3	散射元方向图	75
1.12.4	阵列	76
1.12.5	计算举例	78
1.12.6	用途	80
	参考文献	80
第2章	雷达假目标和雷达诱饵	83
2.1	假目标干扰和假目标	83
2.1.1	假目标干扰及干扰样式	83
2.1.2	假目标和诱饵的停空时间	84
2.1.3	假目标应用和对假目标的要求	84
2.1.4	诱饵干扰雷达和必须满足的条件	86
2.2	箔条假目标和箔条诱饵	88
2.2.1	箔条弹的使用特性	88
2.2.2	箔片与箔条的区别	88
2.2.3	箔条和箔片的极化	90
2.2.4	箔条弹投放速度	90
2.2.5	箔条弹假目标	91
2.2.6	箔条弹诱饵	91
2.2.7	箔条弹干扰各种体制雷达	92
2.2.8	频谱展宽和展宽频谱	94
2.2.9	飞机投放箔条实验	95
2.3	箔条云雷达截面数学模型	96
2.3.1	箔条弹形成的箔条云物理模型	96
2.3.2	箔条弹箔条云雷达截面数学模型	96
2.3.3	箔条云频谱和极化特性的模型	100

2.3.4	目标雷达截面起伏模型	104
2.3.5	箔条走廊箔条云雷达截面数学模型	105
2.4	真假目标的条件熵和库尔巴克散度	109
2.4.1	熵和条件熵	110
2.4.2	真假目标的条件熵	112
2.4.3	库尔巴克散度	114
2.4.4	特征参量、特征矢量和特征空间	117
2.5	真假目标特征参数的贴近度	119
2.5.1	模糊数学中的 λ 水平截集	121
2.5.2	特征参数贴近度计算举例	122
2.6	带有发动机的假目标和火箭式雷达诱饵	124
2.6.1	假目标在目标分配系统中的应用	124
2.6.2	雷达诱饵在制导和寻的制导系统中的应用 ...	125
2.6.3	带有发动机的假目标	126
2.6.4	火箭式雷达诱饵	127
2.7	拖曳式雷达诱饵	130
2.7.1	一般原理	130
2.7.2	优势源响应的解析分析	134
2.7.3	拖曳式诱饵优势源响应原理	135
2.7.4	拖曳式可回收雷达诱饵	136
2.8	投掷式雷达诱饵	136
2.8.1	雷达诱饵的运动轨迹与特征下落时间	137
2.8.2	箔条雷达诱饵	139
2.8.3	箔条用于飞机自卫	139
2.8.4	箔条用于舰船自卫	141
2.9	距离欺骗回答式无源假目标	143
2.9.1	距离欺骗干扰原理	143
2.9.2	假目标的构成	143
2.9.3	延迟线	146
2.9.4	举例	147

2.9.5	应用	147
2.10	速度欺骗回答式无源假目标	148
2.10.1	静止的龙伯球不会产生多普勒效应	148
2.10.2	动目标显示(MTI)雷达特性	150
2.10.3	具有多普勒效应的龙伯透镜	151
2.10.4	试验情况	152
2.10.5	应用	152
2.11	地面无源假目标与伪装	153
2.11.1	假目标和伪装扬威现代战争	154
2.11.2	多功能伪装站的功能	156
2.11.3	金属支架的散射	157
2.11.4	地面假目标	159
2.11.5	烟雾和烟幕	160
2.12	舰用无源假目标和诱饵	161
2.12.1	舷外无源诱饵停空时间	161
2.12.2	舷外无源诱饵投放距离	162
2.12.3	舰用箔条弹	162
2.12.4	舰用角反射器	164
2.12.5	舰用假目标	166
2.12.6	箔条干扰反舰导弹	167
2.12.7	烟幕和综合吸收屏幕	168
	参考文献	170
第3章	箔条气象学	172
3.1	空气动力学、箔条空气动力学、箔条气象学	173
3.1.1	空气动力学	174
3.1.2	箔条空气动力学	175
3.1.3	气象学	175
3.1.4	雷达气象学	176
3.1.5	箔条气象学	177
3.1.6	气候改变战争	177

3.2	地球大气特征	179
3.2.1	大气成分	180
3.2.2	大气密度	180
3.2.3	大气温度	180
3.2.4	大气层厚度	181
3.2.5	对流层	181
3.2.6	臭氧层	182
3.2.7	电离层	182
3.3	气体运动基本规律	183
3.3.1	质量守恒定律	183
3.3.2	动量定律	184
3.3.3	能量守恒定律	185
3.3.4	状态变化定律	185
3.4	阻力、升力、涡流的作用	186
3.4.1	阻力	186
3.4.2	升力	188
3.4.3	涡流的作用及箔条投放	190
3.5	亚声速和超声速及箔条投放	192
3.5.1	飞行速度	193
3.5.2	亚声速飞行	193
3.5.3	超声速飞行	194
3.5.4	亚声速与超声速的区别及箔条投放	196
3.6	空气动力加热	198
3.7	空中箔条运动方式及受力分析	202
3.8	箔条截面形状、尺寸对运动特性的影响	206
3.9	作用在箔条上的力、雷诺数、冲角和方位角	208
3.9.1	雷诺数对动力系数的影响	209
3.9.2	冲角 α 对动力系数的影响	212
3.9.3	方位角 ϕ 对动力系数的影响	214
3.9.4	作用在箔条上的力矩	216

3.10	箔条旋转和空气湍流对散开特性的影响	217
3.11	作用在对称箔条上的空气动力和力矩	221
3.11.1	柱状箔条:垂直于纵轴运动时受到的阻力 ...	222
3.11.2	柱状箔条:平行于轴运动时受到的阻力	222
3.11.3	片状箔条:垂直于纵轴运动时受到的阻力 ...	223
3.11.4	片状箔条:举力和法向力	223
3.11.5	片状箔条:侧向力	225
3.12	非对称箔条空气动力特性	225
3.12.1	质心偏移	226
3.12.2	纵向弯曲	227
3.12.3	横向弯曲、扭曲、弯折	229
3.13	箔条在大气中的扩散	231
3.14	箔条的扩散和扩散方程	238
3.14.1	箔条在大气中的固有扩散	238
3.14.2	风梯度引起的箔条扩散	239
3.14.3	大气湍流和飞机扰动引起的扩散	241
3.14.4	箔条下降速度离散引起的扩散	242
3.15	气象环境对箔条云回波信号频谱的影响	246
3.15.1	箔条云回波信号的多普勒频移	246
3.15.2	箔条云回波信号频谱分布	247
3.15.3	大气湍流引起的频谱展宽	248
3.15.4	风梯度引起的频谱展宽	248
3.15.5	箔条下降速度不同引起的频谱展宽	249
3.15.6	箔条自旋引起的频谱展宽	249
3.16	电磁波在自由空间传输损耗	251
3.17	大气气体引起的衰减和湍流引起的散射	254
3.17.1	大气气体引起的衰减	255
3.17.2	毫米波传播与衰减	256
3.17.3	大气中不均匀体的散射	260
3.17.4	散射对电磁波传播影响的计算	261

3.18 降雨的衰减与水幕干扰	263
3.18.1 气象环境对电磁波极化的影响	264
3.18.2 降水引起的去极化	266
3.18.3 毫米波段降雨引起的衰减	266
3.18.4 水幕干扰	274
3.18.5 降雨量的等级	274
参考文献	275
第4章 雷达与无源干扰原理	277
4.1 对策论在干扰方法中的应用	277
4.2 毫米波雷达与无源干扰原理	286
4.2.1 毫米波雷达和毫米波寻的器	287
4.2.2 毫米波寻的器锁定目标	288
4.2.3 毫米波雷达和毫米波箔条	288
4.2.4 对单脉冲雷达角跟踪系统的干扰	289
4.2.5 箔条射流与飞机流场	291
4.2.6 箔片和散射体	292
4.2.7 毫米波拖曳式诱饵	293
4.2.8 导弹的克星——电子纤维	294
4.2.9 水幕干扰反舰导弹	294
4.3 毫米波末敏弹与无源干扰原理	295
4.3.1 制导炮弹带来的炮兵变革	296
4.3.2 毫米波末敏弹	297
4.3.3 毫米波末敏弹工作原理	298
4.3.4 毫米波无源干扰物	299
4.3.5 毫米波无源干扰弹	301
4.4 米波雷达与无源干扰原理	302
4.4.1 米波雷达的新进展	303
4.4.2 米波段雷达的标准频率范围	304
4.4.3 米波雷达的用途	305
4.4.4 米波的传播特点	305

4.4.5	米波段雷达无源干扰方法	306
4.4.6	干扰绳的频率响应	307
4.4.7	战例	308
4.5	超视距雷达与无源干扰原理	310
4.5.1	电离层	310
4.5.2	超视距(OTH)雷达	312
4.5.3	超视距雷达的作用	313
4.5.4	国外超视距雷达	314
4.5.5	无源干扰技术	316
4.6	圆锥扫描雷达与无源干扰原理	318
4.6.1	圆锥扫描雷达工作原理	318
4.6.2	圆锥扫描雷达的优点	321
4.6.3	圆锥扫描雷达的缺点	321
4.6.4	对圆锥扫描雷达的干扰技术	322
4.6.5	箔条诱饵对圆锥扫描雷达的干扰	322
4.6.6	其他无源干扰技术	325
4.7	相干雷达与无源干扰原理	327
4.7.1	相干雷达工作原理	327
4.7.2	相干雷达分类	328
4.7.3	对 MTI 雷达的无源干扰技术	330
4.7.4	对 PD 雷达的无源干扰技术	331
4.7.5	对相干雷达的其他无源干扰技术	332
4.8	反辐射导弹与无源干扰原理	336
4.8.1	反辐射导弹	337
4.8.2	反辐射导弹的弱点	342
4.8.3	对抗反辐射导弹的措施	342
4.8.4	对抗反辐射导弹的无源干扰技术	344
4.9	导弹防御系统与无源干扰原理	348
4.9.1	对导弹防御系统的应对措施	349
4.9.2	俄罗斯对付 NMD 的措施	350

4.9.3	弹道式导弹的飞行弹道	351
4.9.4	对自动距离跟踪系统的无源干扰技术	352
4.9.5	对相控阵雷达的无源干扰技术	353
4.9.6	其他无源干扰技术	355
4.9.7	弹道导弹弹头诱饵	357
4.9.8	重诱饵和轻诱饵	359
4.10	侦察卫星与对侦察卫星的防范	360
4.10.1	工作原理	361
4.10.2	国外侦察卫星种类及现状	361
4.10.3	侦察卫星轨道	364
4.10.4	俄罗斯反卫星系统	365
4.10.5	美国保护卫星方案	366
4.10.6	宇宙速度和开普勒定律	367
4.10.7	反卫星侦察	372
4.10.8	对侦察卫星的防范	374
4.10.9	对侦察卫星的无源干扰技术	375
4.11	空间电子对抗中的无源干扰技术	376
4.11.1	太空战场与太空战	377
4.11.2	空间电子对抗	379
4.11.3	导弹打卫星	380
4.11.4	卫星打卫星	381
4.11.5	无源对抗方法与无源干扰技术	381
4.11.6	突防和拦截中的无源干扰技术	382
4.11.7	光电对抗技术	384
4.12	隐形战机、隐形导弹的探测	386
4.12.1	隐形飞机与隐形导弹	386
4.12.2	烧穿距离和隐形	390
4.12.3	隐形飞机、隐形导弹的探测	391
4.12.4	将隐形技术进行到底	393
	参考文献	396