

动目标选择雷达

陈春林 编

国防工业出版社

动目标选择雷达

陈春林 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书较系统地介绍了：雷达动目标选择的必要性及其发展方向，无源干扰特性，动目标选择的基本方法，基准信号的产生方法，比相和反盲相的方法，固定目标干扰抑制和反盲速的方法，动目标选择雷达的质量指标，机内外因素对质量指标的影响及其消除方法，动目标选择雷达主要技术参数的选择与测量，动目标选择技术与现代脉冲雷达的兼容性等。

全书着重于物理概念的叙述，理论联系实际，同时作了必要的数学分析，并给出了相当数量的设计公式、曲线图表、实用电路形式和实用系统方案。

本书可供从事这方面工作的工程技术人员、雷达操纵员和大专院校有关专业师生参考。

动目标选择雷达

陈 春 林 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 30⁵/₈ 716千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷 印数：0,001—1,700册

统一书号：15034·2069 定价：3.15元

前 言

动目标选择雷达在现代战争和国防中占据十分重要的地位，因此，在第二次世界大战后的三十多年来，它得到了迅速的发展。

所谓动目标选择雷达，是指能够抑制固定目标干扰并选出被探测的动目标信息的雷达。与普通雷达相比，这种雷达在组成上，通常具有相干基准信号源、比相系统和固定目标干扰补偿系统，此外，为了提高其工作质量，还需采用动目标显示接收机、风速补偿系统、反盲速和反盲相系统，以及提高各系统稳定性的措施。

本书在内容安排上，力图使初学者阅后，能对动目标选择技术的基本工作原理、设计方法及其应用有较系统而明确的概念；同时对于有一定实践经验的读者，在理论上也有所帮助。本书除了较系统地介绍了动目标选择技术的基本工作原理外，还介绍了固定目标干扰特性，影响动目标选择系统工作质量的机内外因素，动目标选择雷达主要技术参数的选择和测量，以及动目标选择技术与现代雷达体制的兼容性问题。

在本书编写过程中，得到了我单位各级领导的亲切关怀和情报室全体同志的大力支持。在本书审稿和修改过程中，钱仲青同志对本书进行了全面审核；高俊如、顾昌贤、吴道章、黎天佑、宋叔淳、廖萃瑜、龚长荣、周洞庭等同志对本书有关章节也提出过不少宝贵意见，在此一并表示深切感谢。

因编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 雷达动目标选择技术概论	1
§ 1.1 雷达动目标选择技术的基本任务	1
§ 1.2 动目标与固定目标信号的主要区别	3
§ 1.3 雷达动目标选择的基本方法和动目标选择雷达的组成特点	10
§ 1.4 动目标选择技术的发展	12
第二章 固定目标干扰特性	14
§ 2.1 人为无源干扰特性	14
§ 2.2 地物干扰特性	19
§ 2.3 海面干扰特性	23
§ 2.4 气象形成物干扰特性	26
§ 2.5 无源随机干扰特性	31
第三章 雷达动目标选择的基本方法	34
§ 3.1 连续辐射相干法	36
§ 3.2 具有调制的连续辐射相干法	43
§ 3.3 相干脉冲法	48
§ 3.4 非相干法	83
§ 3.5 利用目标运动的寄生效应识别动目标的方法	85
§ 3.6 比色选择法	86
§ 3.7 极化选择法	87
第四章 获得相干振荡和比较相干振荡的方法	89
§ 4.1 产生相干基准振荡的方法	90
§ 4.2 相干振荡器定相原理	102
§ 4.3 相干振荡的比相	109
§ 4.4 减少盲相的基本方法	119
第五章 固定目标干扰的抑制	128
§ 5.1 固定目标干扰频谱抑制法	129
§ 5.2 固定目标干扰补偿法	135
§ 5.3 反盲速的方法	149
§ 5.4 延迟线	162
§ 5.5 超声延迟线补偿系统	181
§ 5.6 储能管补偿系统	203
§ 5.7 数字式补偿系统	216
§ 5.8 矩阵补偿系统	255
§ 5.9 带数字脉冲压缩译码器的矩阵补偿系统	260
§ 5.10 具有相干积累滤波器和自动选通门的补偿系统	262
§ 5.11 自适应补偿系统	265
§ 5.12 电荷耦合器件补偿系统	273
第六章 动目标选择雷达的工作质量	284
§ 6.1 衡量动目标选择雷达工作质量的基本参数	284
§ 6.2 固定目标内部运动所引起的背景起伏及其对系统抑制质量的影响	289

§ 6.3	天线波束扫描所引起的背景起伏及其对系统抑制质量的影响	294
§ 6.4	运动载体引起的背景起伏及其对系统工作质量的影响	301
§ 6.5	方向性图旁瓣对脉冲多卜勒机载雷达工作的影响	304
§ 6.6	减小外部因素所引起的干扰背景起伏的方法	307
§ 6.7	风速补偿和抗宽频带干扰的特点	323
§ 6.8	雷达部件工作不稳定性对动目标选择雷达工作质量的影响	328
§ 6.9	对动目标选择雷达主要部件工作稳定性的要求及其分配	330
§ 6.10	背景干扰情况下的动目标可见度	361
§ 6.11	机内外因素对固定目标干扰改善系数的影响	365
§ 6.12	减小交错变 T 系统对改善系数影响的方法	388
§ 6.13	数字式补偿系统的工作质量	389
§ 6.14	动目标选择雷达距离方程	392
第七章	动目标选择雷达基本参数的选择与计算	396
§ 7.1	工作波长的选择	396
§ 7.2	脉冲重复频率和脉冲宽度的选择	398
§ 7.3	天线系统有关参数的选择	399
§ 7.4	接收机灵敏度的计算	402
§ 7.5	发射机脉冲功率的计算	406
§ 7.6	动目标显示接收机实际灵敏度	406
§ 7.7	抗固定目标干扰性能的估算和补偿系统的设计考虑	407
第八章	动目标选择系统基本参数的测量	410
§ 8.1	发射机频率稳定度和脉冲重复周期稳定度的测量	410
§ 8.2	接收机本振频率稳定度的测量	412
§ 8.3	相干振荡器稳定度和定相质量的测量	415
§ 8.4	本机振荡器-相干振荡器系统稳定性的测量	417
§ 8.5	超声延迟线内信号衰减和寄生信号电平的测量	418
§ 8.6	干扰可见度系数的测量	420
§ 8.7	动目标选择系统干扰抑制系数的测量	421
第九章	现代动目标选择雷达	423
§ 9.1	现代动目标选择雷达系统典型方块图	423
§ 9.2	抑制固定目标干扰的雷达接收机	425
§ 9.3	MA371 型动目标选择系统	427
§ 9.4	“马柯尼”S-232 型动目标选择雷达	428
§ 9.5	频率分集动目标选择雷达	430
§ 9.6	多波束三坐标动目标选择雷达	433
§ 9.7	双脉冲动目标选择雷达	436
§ 9.8	相干频率扫描动目标选择雷达	450
§ 9.9	脉冲压缩动目标选择雷达	454
§ 9.10	脉冲串动目标选择雷达	458
§ 9.11	用于探测地面上动目标的监视雷达	460
§ 9.12	运动载体上动目标选择雷达的特点	464
§ 9.13	具有动目标选择系统的方向自动跟踪雷达	469
§ 9.14	相控阵雷达动目标选择的特点	470
§ 9.15	单脉冲雷达动目标选择系统	475
参考资料		480

第一章 雷达动目标选择技术概论

雷达出现于本世纪三十年代初期,而真正用于军事上来探测飞机之类的动目标,则还是在第二次世界大战时期。雷达技术的产生和发展,是和军事上的需要密切联系着的,而直接促使雷达技术诞生的主要原因则是航空兵器的发展。

随着雷达技术的不断发展和广泛的应用(例如,对空中和地面目标的侦察,以及探测空中运载工具的坐标轨迹等等),雷达干扰设备也得到了蓬勃的发展。早在第二次世界大战时期,德国和英国就使用了锡箔片干扰的方法。有一次,德国三艘军舰为了突破布勒斯特港,穿过英吉利海峡进入北海,德国法西斯对英国的一些雷达施放了锡箔片之类的干扰,成功地完成了突破任务。后来在1943年,英国皇家空军为了空袭汉堡,事先用攻击机施放了大量的锡箔片之类的干扰,使德国防空系统被这异常的现象所击破,因为雷达显示器荧光屏的大部分被这种锡箔片干扰云回波覆盖了,使操纵员无法观测目标。由于空防系统被局部地破坏,使目标跟踪和高射炮火射击产生了很大的困难,于是在这次空袭中,英国所损失的飞机比以往空袭时所受到的损失要小得多。

为了提高雷达在干扰情况下的探测能力,这就要求雷达技术更进一步地向前发展。为了适应军事的需要,从此人们就踏上了研制雷达干扰与抗干扰的漫长的征途。雷达动目标选择技术就是这一发展征途中的一个重要成果。它已成了现代雷达抗无源干扰的一个不可缺少的部分。因此,在大多数现代雷达的组成中几乎都具有动目标选择设备。对这种设备的研制和改进,已成了雷达技术发展征途中的一个很重要的课题。

在这一章中,我们首先通过对动目标和固定目标共性的讨论,揭示出它们之间的矛盾,从而提出雷达动目标选择技术的基本任务。然后再根据对固定目标和动目标‘个性’的讨论,阐明了雷达动目标选择技术实现的可能性和基本方法。事物总是不断发展的,雷达动目标选择技术也不例外。所以,在最后一节中简单介绍了这种技术的一些新的发展动向。关于雷达动目标选择技术的具体实施方法及其新的发展,将在下面各章中予以讨论。

§1.1 雷达动目标选择技术的基本任务

大家知道,雷达是利用无线电波来发现并探测目标坐标位置的。按其工作方法,雷达可分为主动雷达、主动-应答式雷达、半主动雷达和被动雷达四种^[7]。通常多半是采用主动雷达来对目标进行定位的。因此,本书主要是讨论这类雷达的动目标选择问题。

主动雷达的工作方法是向目标辐射电磁波,并根据接收到的目标回波所携带的信息来发现目标和测定它们的坐标位置。但在大多数情况下,我们利用雷达需要探测的主要是各种类型的动目标。这类目标包括各种空中飞行体(飞机、导弹、火箭、人造卫星、宇宙飞船等),海面上的船舶、舰艇以及地面上行驶的车辆、坦克和行军部队等等。根据它们在显示器荧光屏上的回波信号就可以测定出它们的方位、距离、高度,从而确定出目标的坐标位置。

在飞机之类的动目标对电磁波产生反射的同时，地物（如山脉、植物、树林、各种建筑物……）、海面、气象形成物（云雾、大气降雨、冰雹、雪……）、鸟群、昆虫以及人为施放的各种金属箔片、金属离子气旋体等，同样也会对电磁波产生反射，本书把它们统称为固定目标干扰。

由固定目标所反射的信号强度，有时可以超过雷达接收机固有噪声电平 30~80 分贝。因此，固定目标信号在雷达显示器荧光屏上将会与动目标回波信号混淆在一起，使得雷达操纵员注意力分散，视觉疲劳，以至于使他们对动目标回波信号的观测和识别变得十分困难。此外，固定目标反射信号的存在，也增加了雷达数据传输系统的不必要的容量和复杂性。因此，这就给雷达技术研制工作者提出了一个新的课题，即如何从雷达接收到的各种目标回波信号中，将固定目标信号消除掉，而只选出我们所需要的动目标信号。这就是动目标选择技术的任务。当然，固定目标并不是在任何情况下都是有害的，例如，在大地测绘机载雷达中，地物就是有用的；在气象雷达中，云雨回波也是有用的。

在动目标选择技术中，通常我们把固定目标回波信号称为背景（或干扰背景），而由这种背景对雷达所产生的干扰称为背景干扰，或固定目标干扰，亦称为无源干扰。

如果动目标和固定目标同时位于雷达天线波束内，并且两者到雷达站的斜距相等，那末，它们的回波将能同时被雷达接收和显示，我们把这种情况称为动目标在背景内。当动目标在背景内时，弱的动目标信号将被淹没在干扰背景中，使之对动目标信号的观测变得十分困难。尤其是当强的背景干扰使接收机产生过载时，动目标信号的观测将变得更为困难。这时为了选择出我们所需要的动目标信号，除了要在接收机中采用各种抗过载的电路（如对数中放、瞬时自动增益控制电路、时间自动增益控制电路等），还必须采用动目标选择系统，以提高雷达探测动目标信号的能力。

如果动目标与固定目标到雷达站的斜距或方位、仰角不一致，那末两者就不可能同时被天线波束照射到，而是有先后之分。这样一来，它们的回波信号也就不可能同时被雷达接收机接收到，因此，在显示器荧光屏上的动目标信号与固定目标信号的时间位置将不重合。我们把这种情况称为动目标在背景外。在这种场合下，动目标信号在显示器荧光屏上尚能与背景干扰区分开来。然而，当背景干扰大片成群地出现在显示器荧光屏上时，要想迅速地识别出动目标信号，同样亦是很困难的。这时只有当雷达操纵员或数据处理系统事先知道并“记住”这些背景的位置和特性，才有可能较迅速地识别出动目标信号。显然，这对于雷达操纵员或数据处理系统来说，是一个额外的负担。因此，这时同样需要采用动目标选择系统。

通常，动目标选择问题可以归结为如下几点：

- （1）选择最佳的雷达探测信号^{〔1〕}；
- （2）选择对所接收到的各种反射信号进行最佳加工的方案和线路；
- （3）拟定对动目标选择系统部件的要求；
- （4）根据对系统部件提出的要求，并考虑到它们技术上实现的特点，来选择整个动目标选择系统中各个部件的电路；
- （5）对动目标选择系统技术参数进行合理的选择和正确的测量；
- （6）根据不同的雷达工作体制，采用相应的动目标选择系统。

§ 1.2 动目标与固定目标信号的主要区别^[1,2,9,43]

大家知道,任何无线电信号质量的基本特性,都可以用时间特性和频率特性或频谱特性来进行分析。下面我们从这两方面着手来讨论一下动目标信号与固定目标信号之间究竟存在着哪些本质上的区别。

一、固定目标与动目标信号在时间特性上的主要区别

设雷达发射机发射的探测信号为单色信号,其瞬时值可表示为

$$U_{rr} = U_{A1} \cos \varphi_1 = U_{A1} \cos(\omega_0 t + \varphi_{01}) \quad (1-1)$$

式中 U_{A1} ——探测信号幅度;
 ω_0 ——探测信号角频率;
 $\varphi_1 = \omega_0 t + \varphi_{01}$ ——探测信号瞬时高频相位;
 φ_{01} ——探测信号初始相位。

上述探测信号遇到某个目标时,将会产生反射,这时雷达接收到的目标回波信号的瞬时值为

$$U_2 = U_{A2} \cos \varphi_2 = U_{A2} \cos(\omega_2 t + \varphi_{01} + \varphi_{rp}) = U_{A2} \cos[\omega_0(t - t_R) + \varphi_{01} + \varphi_{rp}] \quad (1-2)$$

式中 U_{A2} ——目标回波信号幅度;
 φ_{rp} ——电磁波被目标反射时的初始相位;
 $\varphi_2 = \omega_0(t - t_R) + \varphi_{01} + \varphi_{rp}$ ——回波信号瞬时高频相位;
 ω_2 ——回波信号角频率;
 t_R ——目标回波信号相对于探测信号瞬间的延迟时间,它可表示为

$$t_R = \frac{2R}{c} \quad (1-3)$$

式中 R ——目标到雷达的距离;
 c ——电磁波传播速度 (3×10^8 米/秒)。

下面分两种情况对式 (1-2) 进行讨论。

1. 被探测目标为固定目标

在这种情况下,由于目标到雷达站的距离 R 不变,所以 t_R 为常数,此时固定目标回波与探测信号之间的高频相位差为

$$\begin{aligned} \varphi_{d1} &= \varphi_2 - \varphi_1 = (\omega_0 t - \omega_0 t_R + \varphi_{01} + \varphi_{rp}) - (\omega_0 t + \varphi_{01}) \\ &= -\omega_0 t_R + \varphi_{rp} = \text{常数} \end{aligned} \quad (1-4)$$

对 φ_2 求导数,即可求得回波信号频率 f_2 :

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d[2\pi f_0(t - t_R) + \varphi_{01} + \varphi_{rp}]}{dt} = f_0 \quad (1-5)$$

这时固定目标信号瞬时值可表示为

$$U_f = U_{Af} \cos \varphi_f \quad (1-6)$$

式中 $\varphi_f = \omega_0 \left(t - \frac{2R_f}{c} \right) + \varphi_{01} + \varphi_{rp}$ ——固定目标信号瞬时相位;

R_f ——固定目标到雷达站的距离。

2. 被探测目标为动目标

在这种情况下, 由于动目标对雷达站作相对运动, 所以动目标到雷达站的距离 R 是时间的函数:

$$R = R_0 \pm v_r t \quad (1-7)$$

式中 R_0 ——发现目标时的某个起始距离;

v_r ——目标相对于雷达站运动的径向速度。

式 (1-7) 中的 “ $\pm$ ” 号与目标相对于雷达运动的方向有关。当目标背离雷达站运动时, 取 “ $+$ ” 号, 它表示目标与雷达站之间的距离随时间的增加而增加; 当目标向着雷达站运动时, 则取 “ $-$ ” 号, 它表示目标与雷达站之间的距离随着时间的增加而减小。

将式 (1-7) 代入式 (1-3), 则动目标信号对探测信号的延迟时间 t_R 可表示为

$$t_R = \frac{2(R_0 \pm v_r t)}{c} \quad (1-8)$$

由上式可以看出, 动目标信号对探测信号的延迟时间 t_R 是一个变数, 而它们之间的相位差为

$$\begin{aligned} \varphi_{dm} &= \varphi_2 - \varphi_1 = (\omega_0 t - \omega_0 t_R + \varphi_{01} + \varphi_{rp}) - (\omega_0 t + \varphi_{01}) \\ &= -\omega_0 t_R + \varphi_{rp} = -\frac{2(R_0 \pm v_r t)}{c} \omega_0 + \varphi_{rp} = -\varphi_{m0} \mp \frac{2v_r t}{c} \omega_0 + \varphi_{rp} \end{aligned} \quad (1-9)$$

式中 $\varphi_{m0} = \frac{2R_0}{c} \omega_0$ 。

对动目标信号相位求导数, 即可求得该动目标回波信号的角频率为

$$\omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_0 \mp \frac{2v_r}{c} \omega_0 \quad (1-10)$$

或写作

$$f_2 = f_0 \mp \frac{2v_r}{c} f_0 \quad (1-11)$$

由式 (1-11) 得知, 动目标回波信号频率, 为该动目标相对于雷达运动的径向速度的函数, 其与探测信号角频率之差为

$$\Omega_d = \frac{2v_r}{c} \omega_0 \quad (1-12)$$

或

$$f_d = \frac{2v_r}{c} f_0 \quad (1-13)$$

通常, 我们把由于动目标与雷达站之间的相对运动而造成动目标回波信号频率不同于雷达探测信号频率的效应, 称为多卜勒效应。而把由于这种效应所造成的动目标回波信号频率与探测信号频率的差频 f_d , 称为多卜勒频率, 或称为多卜勒校正量。

当把 $\lambda = cT_0 = \frac{c}{f_0}$ 代入式 (1-12) 和 (1-13) 中时, 则多卜勒角频率 Ω_d 和多卜勒频率 f_d 可写为

$$\Omega_d = \frac{4\pi v_r}{\lambda} \quad (1-14)$$

或

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} \quad (1-15)$$

式中 λ —— 雷达工作波长;

T_0 —— 雷达探测信号载频振荡周期。

将式 (1-10) 和 (1-12) 代入式 (1-2), 即可得到动目标信号瞬时值为

$$U_m = U_{Am} \cos \varphi_m \quad (1-16)$$

$$\varphi_m = (\omega_0 \mp \Omega_d)t + \varphi_{01} + \varphi_{rp} \quad (1-17)$$

U_{Am} —— 动目标信号幅度。

式 (1-17) 中 Ω_d 前的 “+” 号表示动目标向着雷达站运动时, 其回波信号频率增加; 而 “-” 号表示动目标背离雷达站运动时, 其回波信号频率减小。

由图 1-1 可以看出, 动目标相对于雷达站运动的径向速度为

$$v_r = v \cos \theta \quad (1-18)$$

式中 θ —— 动目标运动轨迹与雷达对目标的观测线之间的夹角;

v —— 动目标运动的瞬时速度。

当 $\theta = 0$ 时, 动目标与雷达站之间相对运动的径向速度和多卜勒频率均达到最大值, 而回波频率亦达到了最大值。

当 $\theta = 180^\circ$ 时, 动目标与雷达站之间相对运动的径向速度绝对值和多卜勒频率绝对值同样也是最大, 但回波频率则最小。

当 $\theta = 90^\circ$ 或 270° 时, 则动目标与雷达站之间相对运动的径向速度为零, 而多卜勒频率亦为零, 这时回波信号频率 f_2 就等于探测信号的载频 f_0 。

在式 (1-15) 中, 如果 f_d 用赫兹表示, v_r 用米/秒表示, 而 λ 用厘米表示, 则多卜勒频率可表示为

$$f_d = 200 \frac{v_r}{\lambda} \quad (1-19)$$

根据式 (1-19) 所作出的关系曲线如图 1-2 所示。

综上所述, 固定目标信号与动目标信号在时间特性方面的主要区别是:

(1) 固定目标信号对雷达探测信号的延迟时间为常数; 而动目标信号对雷达探测信号的延迟时间为变数, 并且与动目标相对于雷达站运动的径向速度 v_r 以及运动方向有关。

(2) 固定目标信号与探测信号的相位差为一常数; 而动目标信号与探测信号的相位差为一变数, 同样亦与 v_r 以及运动方向有关。

(3) 固定目标信号频率与探测信号载频相等; 而动目标信号频率与探测信号频率相差一个多卜勒频率, 它与 v_r 和 λ 有关。

(4) 当探测信号为数目无限的矩形相干脉冲群(图1-3 a)时, 则固定目标信号脉冲宽度和重复周期分别等于探测信号的脉冲宽度和重复周期(图 1-3 b)。而动目标信号的脉冲宽度和重复周期将不等于探测信号的脉冲宽度和重复周期。当动目标背离雷达站运动时,

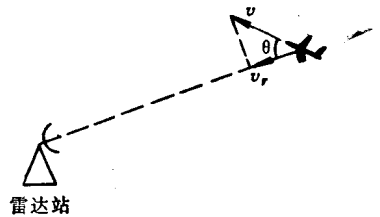


图1-1 目标径向速度与其运动方向之间的矢量关系

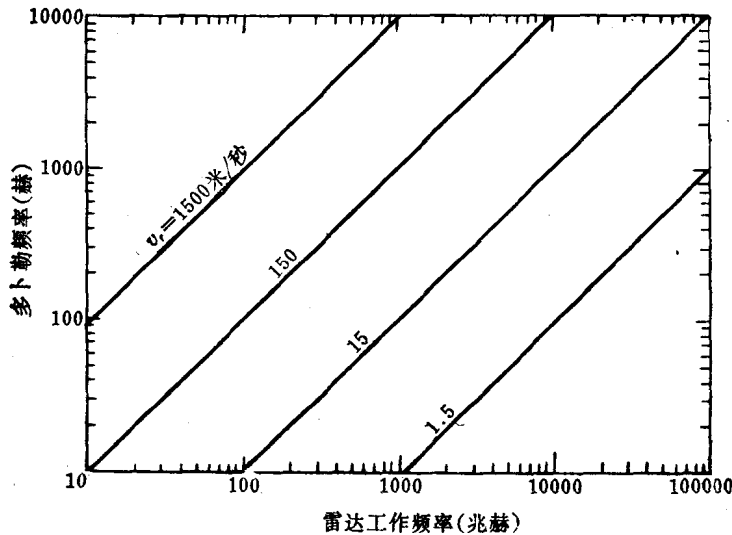


图1-2 多卜勒频率与雷达工作频率以及目标径向速度之间的关系曲线

则动目标信号脉冲宽度和重复周期将增加（在图 1-3 c 中取“-”号），反之则减小（图 1-3 c 中取“+”号）。

在第四章中我们将可以看到，固定目标差拍信号不包含有交流分量，而动目标信号则包含有交流分量（图 1-4）。

从固定目标信号与动目标信号在时间特性上的主要区别可以看出，只要我们采取相应的技术措施，是有可能将它们区分出来的。原则上说来，从固定目标信号中选择动目标信号，则可以利用它们的载频、脉冲宽度和脉冲重复周期的差别来达到。但要想直接从上述三个参量的变化来选择动目标信号则是很困难的，因为它们的变化很小。所以一般都是利用固定目标和动目标信号与某个基准信号进行相位比较的方法来实现动目标信号的选择（见第四章）。

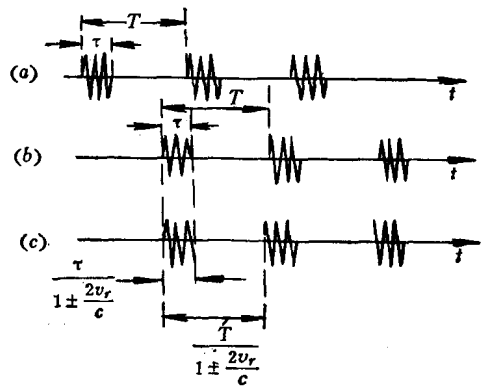


图1-3 固定目标和动目标回波信号的时间特性

(a) 探测信号为无限的矩形脉冲群；(b) 固定目标回波信号脉冲群；(c) 动目标回波信号脉冲群。

二、固定目标与动目标信号频谱特性的主要区别

如上所述，频谱特性是无线电信号质量的基本特性之一。知道了信号按频率分布的频谱特性，就可以对雷达站不同部件的参数（如通频带、通频带范围内频率特性的均匀性和相位直线性等）提出适当的要求。在动目标选择雷达中，知道了固定目标与动目标信号频谱特性的主要区别，就可以根据它们的这种区别拟定出适当的技术方案，采取切实可行的技术措施来选择出我们所需要的动目标信号。下面分两种情况来讨论它们之间频谱特性的主要区别。

1. 数目无限的视频脉冲群频谱

前面我们从理论上曾指出，当探测信号为数目无限的矩形相干脉冲群时，则动目标信号的脉冲宽度和重复周期并不等于探测脉冲的宽度和重复周期。就是说，在各个脉冲重复

周期内, 同一动目标信号相对于探测脉冲的位置是不同的, 而同一个固定目标信号在各个脉冲重复周期内相对于探测脉冲的位置则是相同的。因此, 动目标和固定目标信号的频谱必然不相同。

在理想情况下, 当探测脉冲为数目无限的脉冲群时, 在雷达接收机相位检波器输出端上, 固定目标信号则为数目无限的等幅视频脉冲群, 而动目标回波信号则为数目无限的调幅视频脉冲群 (图 1-4)。

下面我们先来介绍一下固定目标和动目标回波信号为无限脉冲群时的频谱特性。

1) 在有固定目标存在的情况下, 相位检波器输出端所得到的是未调制的数目无限的视频脉冲群, 其幅度谱可表示为

$$F_1(\omega_r) = A_0 \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\sin k \omega_r \tau}{2} / \frac{k \omega_r \tau}{2} \right) \quad (1-20)$$

式中

$$A_0 = \frac{2U_A \tau}{\omega_r T} = \frac{U_A \tau}{\pi} \text{—— 频谱幅度;}$$

(其中 U_A —— 视频脉冲幅度; T —— 脉冲重复周期)

$$\omega_r = \frac{2\pi}{T} \text{—— 脉冲重复角频率;}$$

τ —— 脉冲宽度;

k —— 谐波分量序号。

根据式 (1-20) 所绘制出的固定目标频谱特性, 如图 1-4 d 所示。

2) 在动目标情况下, 相位检波器输出端上的视频脉冲群是受多卜勒频率 Ω_d 调制的 (图 1-4 b)。下面我们分两种情况来进行讨论。

(1) 当无背景干扰时, 则相位检波器输出端上的动目标视频脉冲群 (图 1-4 b) 包络幅度的变化规律为

$$U = U_A M \sin \Omega_d t \quad (1-21)$$

在这种情况下, 动目标视频信号的幅度谱 (图 1-4 e) 为

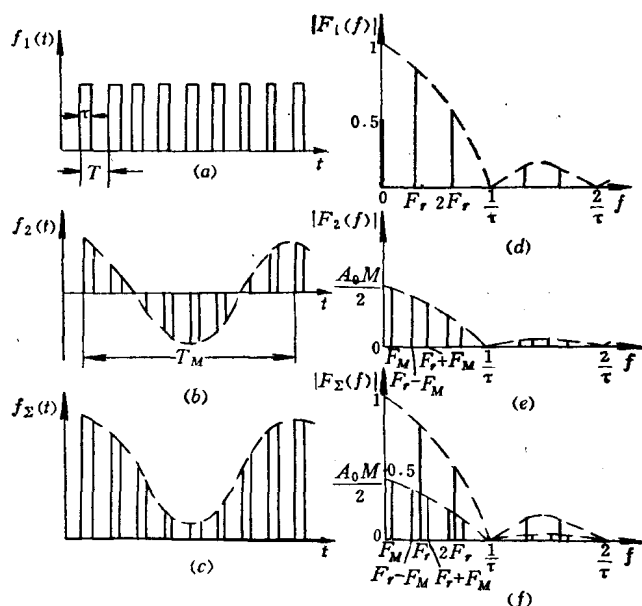


图 1-4 雷达接收机相位检波器输出端上数目无限的视频脉冲群及其频谱

(a) 固定目标回波信号; (b) 无背景时动目标回波信号; (c) 背景内的动目标回波信号; (d) 固定目标回波信号频谱; (e) 无背景时动目标回波信号频谱; (f) 背景内的动目标回波信号频谱。

$$F_2(\omega_r) = \frac{A_0 M}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \frac{\sin \left[(k\omega_r + \Omega_d) \frac{\tau}{2} \right]}{(k\omega_r + \Omega_d) \frac{\tau}{2}} + \frac{\sin \left[(k\omega_r - \Omega_d) \frac{\tau}{2} \right]}{(k\omega_r - \Omega_d) \frac{\tau}{2}} \right\} \quad (1-22)$$

式中 M ——脉冲群调幅系数。

(2) 当动目标在背景内时, 如果背景干扰幅度大于动目标信号幅度, 则相位检波器输出端上视频脉冲群 (图 1-4 c) 的包络变化规律为

$$U = U_A (1 + M \sin \Omega_d t) \quad (1-23)$$

其幅度谱 (图 1-4 f) 为

$$F_2(\omega_r) = A_0 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\omega_r \tau}{2}}{\frac{k\omega_r \tau}{2}} + \frac{M A_0}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \frac{\sin \left[(k\omega_r + \Omega_d) \frac{\tau}{2} \right]}{(k\omega_r + \Omega_d) \frac{\tau}{2}} + \frac{\sin \left[(k\omega_r - \Omega_d) \frac{\tau}{2} \right]}{(k\omega_r - \Omega_d) \frac{\tau}{2}} \right\} \quad (1-24)$$

分析式 (1-20)、(1-22) 和 (1-24), 可以得出下述结论:

(i) 相位检波器输出端上数目无限的固定目标等幅视频脉冲群, 其幅度谱包含有固定分量和重复频率谐波分量, 并且其幅度谱与雷达探测信号幅度谱相同。

(ii) 当无背景干扰时, 相位检波器输出端数目无限的动目标调幅视频脉冲群是双极性的, 其幅度谱包含有多卜勒频率 Ω_d 分量和调制旁频分量 $k\omega_r \pm \Omega_d$, 但不包含脉冲重复频率分量。

(iii) 当动目标位于背景内时, 如果背景干扰幅度远大于动目标信号幅度, 则相位检波器输出端上的调幅视频脉冲群已不是双极性, 而变成了单极性, 其幅度谱包含有固定分量、重复频率谐波分量、多卜勒频率分量以及调制旁频分量 $k\omega_r \pm \Omega_d$, 这种情况可以看作是前两种情况合成的结果。

(iv) 当动目标背离雷达运动时, 其回波信号频谱被压缩, 反之, 其回波信号频谱被展宽。

根据上述分析不难看出, 动目标信号与固定目标信号的频谱分量是配置在频率轴的不同点上的。因此, 只要我们能够设计出一种滤波器, 把表征固定目标信号的重复频率及其倍数的频谱分量抑制掉, 而让表征动目标信号的频谱分量通过, 就可以将动目标信号选择出来。关于这个问题, 我们将在第三章、第四章和第五章详细讨论。

2. 数目有限的视频脉冲群频谱

上述一切结论, 同样适用于数目有限的视频脉冲群。

实际上, 现代雷达一般都是工作在空间扫描状态。雷达对其周围空间或地形的扫描, 则由足够窄的天线方向图以某个角速度 Ω_d 进行旋转来达到。结果在天线每次扫描时间里, 雷达接收到的位于天线波束照射区域内的各个目标回波, 则是数目有限的调幅脉冲群, 其调幅形式视天线方向性图主瓣的函数形式而定。

每个脉冲群中的脉冲数目 N ，可以由雷达参数和反射目标尺寸来确定。

当目标横向尺寸 l_T 小于雷达角分辨率时：

$$R \cdot \varphi_{b_0} > l_T \quad (1-25)$$

则每个脉冲群中的脉冲数目可由下式来确定：

$$N = \frac{F_r \cdot \varphi_{b_0}}{\Omega_A \cdot 360^\circ} \quad (1-26)$$

式中 F_r ——脉冲重复频率 (赫)；

φ_{b_0} ——天线波束零功率点宽度 (度)；

Ω_A ——天线旋转角速度 (转/秒)；

R ——目标到雷达站的距离 (米)。

当目标横向尺寸大于雷达角分辨率时：

$$R \cdot \varphi_{b_0} < l_T \quad (1-27)$$

则每个脉冲群内的脉冲数目可由下式来确定：

$$N = \frac{F_r \cdot l_T}{\Omega_A \cdot 2 \pi R} \quad (1-28)$$

数目有限的视频脉冲群的频谱，与式 (1-20)、(1-22) 和 (1-24) 所描述的频谱是有区别的。

对于未调幅的数目有限的视频脉冲群而言，其幅度谱可由下式来确定：

$$F_N(\omega_r) = A_0 \frac{\sin \frac{\omega_r \tau}{2}}{\frac{\omega_r \tau}{2}} \cdot \frac{\sin \frac{N \omega_r T}{2}}{\sin \frac{\omega_r T}{2}} \quad (1-29)$$

或

$$F_N(\omega_r) = A_0 \sin \frac{\omega_r \tau}{2} \left\{ 1 + 2 \sum_{k=1}^{N-1} \cos k \omega_r T \right\} \quad (1-30)$$

式中 N ——脉冲群内的脉冲数；

k ——谐波分量序号。

对于调幅的数目有限的视频脉冲群而言，其幅度谱可按下式确定：

$$\begin{aligned} F_N(\omega_r) = & A_0 \frac{\sin \frac{\omega_r \tau}{2}}{\frac{\omega_r \tau}{2}} \\ & + \frac{A_0 M}{2 \tau} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \frac{\sin \left[(k \omega_r + \Omega_d) \left(kT + \frac{\tau}{2} \right) \right]}{\omega_r + \Omega_d} \right. \\ & \left. + \frac{\sin \left[(k \omega_r - \Omega_d) \left(kT + \frac{\tau}{2} \right) \right]}{\omega_r - \Omega_d} \right\} \quad (1-31) \end{aligned}$$

根据式 (1-30) 和 (1-31) 计算所得到的频谱如图 1-5 所示。

由图 1-4 和图 1-5 以及式 (1-30)、(1-31) 可以看出, 脉冲群内脉冲数目的减少, 引起了频谱内重复频率谐波分量的扩展: 频谱从平行线形 (图 1-4) 变成了《花瓣》形式 (图 1-5)。

实际反射的回波信号频谱按其组成来说, 要比按式 (1-30) 和 (1-31) 计算所得到的频谱复杂很多, 其原因如下:

(1) 加到接收机输入端上的回波脉冲群, 其幅度两次受到了天线方向性图的调制 (发射和接收时各受一次调制);

(2) 因为目标有效散射面积与探测信号的振荡频率有关, 所以, 回波信号各个频谱分量幅度的减小是不成比例的;

(3) 反射时, 回波信号频谱分量的相位要发生变化, 并与目标距离以及频谱分量的频率有关;

(4) 目标有效散射面积是时间的函数, 因而会导致回波信号频谱中出现新的边带;

(5) 当目标尺寸大于雷达距离分辨率时, 由于回波脉冲宽度比探测脉冲宽度要宽, 因此回波信号的频谱亦要发生变化。

但为了理解动目标与固定目标回波信号的主要区别, 以帮助我们后面更好地理解相干脉冲动目标选择系统的作用原理和背景干扰的抑制原理, 我们仍然可以足够精确地运用上述所介绍的关于回波信号频谱的公式。

应该指出的是:

(1) 动目标与固定目标之间在速度上的差别, 则是它们回波信号在时间特性和频谱特性上产生区别的主要原因。反之, 后者则是前者的必然结果。这种速度上的差别乃是动目标选择的物理基础。

(2) 动目标回波信号频率的变化, 只与动目标和雷达之间的相对运动速度有关, 而与目标运动与否, 或者是雷达本身运动与否无关。

§ 1.3 雷达动目标选择的基本方法和动目标选择雷达的组成特点

关于动目标的选择, 目前则有各种不同的分类方法。

1) 从提取目标信息的角度来看, 动目标选择的基本方法有如下三种:

- (1) 幅度补偿法 (§ 3.3);
- (2) 相位补偿法 (§ 3.3);
- (3) 矢量补偿法 (§ 5.5)。

第一种方法, 只利用动目标与固定目标回波信号幅度信息的差异; 第二种方法, 只利用动目标与固定目标回波信号相位信息的差别; 第三种方法, 则同时利用动目标与固定目标回波信号的幅度信息以及相位信息的差别。

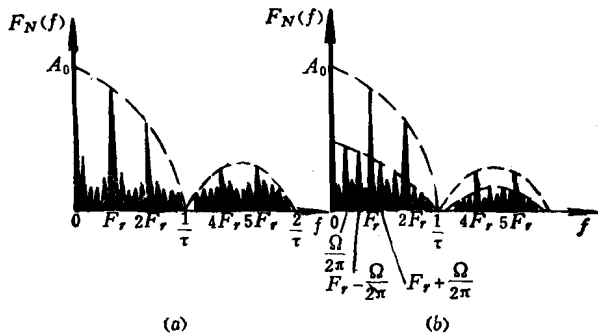


图1-5 数目有限的视频脉冲群频谱

(a) 未调幅的视频脉冲群幅度谱; (b) 按余弦规律调幅的视频脉冲群幅度谱。

2) 从定相和相干角度来看, 动目标选择有下述两种基本的方法:

- (1) 内相干法
 - i) 局部相干法 (§ 4.1);
 - ii) 真相干法 (§ 3.3);
 - iii) 全相干法 (亦称全相参法) (§ 3.3)。
- (2) 外相干法
 - i) 幅度外相干法 (§ 3.3);
 - ii) 相位外相干法 (§ 3.3)。

3) 从补偿系统 (亦称对消系统) 进行信息处理的方式来看, 动目标选择可分为下述两类:

- (1) 模拟补偿法;
- (2) 数字补偿法
 - i) 幅度编码补偿法;
 - ii) 相位编码补偿法;
 - iii) 幅度-相位编码补偿法。

第一种方法, 补偿系统直接将雷达接收机所送来的模拟量进行处理; 而第二种方法则要把雷达接收机送来的模拟量变为数字信息后再进行处理。关于这两种方法将在第五章中讨论。

4) 根据补偿系统中信号延迟原理的不同, 动目标选择方法又可分为:

- (1) 动态补偿法
 - i) 模拟补偿法, 主要是超声延迟补偿法 (§ 5.5);
 - ii) 模拟数字补偿法, 主要是电荷耦合器件补偿法 (§ 5.12);
 - iii) 数字补偿法 (§ 5.7)。
- (2) 静态补偿法 (§ 5.6)。

5) 从所采用的探测信号形式和天线极化形式, 以及信号比较方法的不同, 则动目标选择方法又可分为下述几种:

- (1) 连续辐射相干法;
- (2) 具有调制的连续辐射相干法;
- (3) 相干脉冲法
 - i) 大空度相干法;
 - ii) 小空度相干法 (脉冲多卜勒雷达);
- (4) 目标有限位移法 (又称为非相干法);
- (5) 利用动目标运动的寄生效应选择法;
- (6) 比色选择法;
- (7) 极化选择法。

6) 从频谱特性和补偿时间的不同, 动目标选择方法又可分为如下几种 (见 § 5.1):

- (1) 频谱抑制法;
- (2) 周期交错补偿法;
- (3) 图象补偿法 (§ 9.8);
- (4) 周期内补偿法 (§ 9.7)。

7) 从补偿次数的多少和有无反馈, 动目标选择方法又可分为如下几类 (§ 5.2):

- (1) 一次补偿法;