

〔苏〕И.М.柯甘 著

雷达引信原理

华 恭 兴 华 合 译

国防工业出版社

LEIDAYINXINYUANL

雷达引信原理

[苏] И.М.柯甘 著

华恭、兴华 合译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书原名近程雷达系统，实际上主要阐述的是雷达引信的基本原理、工作体制、线路等问题。书中对雷达引信的抗干扰性、可靠性和战术技术性能等也作了专门介绍。本书还包括一些与无线电电子学其他领域有关的自差接收理论和实用信息论方面的内容。

本书可供从事雷达引信工作的科技人员和教学人员阅读，亦可供从事雷达和信息论的科技人员参考。

БЛИЖНЯЯ РАДИОЛОКАЦИЯ

И. М. Коган

Советское Радио

1973

雷达引信原理

[苏] И. М. 柯甘 著

华恭、兴华 合译

*

国防工业出版社 出版

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₃₂ 印张11 233千字

1980年4月第一版 1980年4月第一次印刷 印数：0,001—1,000册

统一书号：N15034·1917 定价：1.15元

译 序

我们根据 1973 年《苏联无线电》出版社出版的由 И. М. Коган 所著的《Ближняя Радиолокация》一书集体编译了这本书。近程雷达包括的范围很广，但书中内容主要是讲雷达引信问题，所以我们根据本书的实际内容，将书名定为《雷达引信原理》。

本书可供从事雷达引信的科技人员、有关专业的教学人员和从事雷达及信息论的科技人员参考。

在编译过程中对原书中某些段落作了适当的删简，改正了发现的错误。但由于编译者水平有限，加之此书范围又极广泛，虽经多次审校，疏漏、错误之处在所难免，请读者批评指正。

目 录

引言	1
----------	---

第一篇 无线电技术原理

第一章 雷达引信的特征	6
§ 1.1 雷达引信的工作条件	6
§ 1.2 主要特性和参数的特殊含义	8
第二章 雷达引信基本作用原理	11
§ 2.1 脉冲原理	11
§ 2.2 调频原理	14
§ 2.3 都普勒效应原理	26
§ 2.4 伪噪声信号体系	32
第三章 雷达引信的工作体制	41
§ 3.1 外差体制	41
§ 3.2 自差体制	45
第四章 雷达引信与目标的相互作用	48
§ 4.1 雷达引信的电动力学特性	48
§ 4.2 外差式引信与目标的相互作用	50
§ 4.3 自差式引信与目标的相互作用	55
§ 4.4 漫反射时的相互作用	62
第五章 雷达引信的无线电路	67
§ 5.1 脉冲系统线路	67
§ 5.2 调频系统的线路	68
§ 5.3 都普勒系统线路	76

第六章	自差接收理论	85
§ 6.1	以非线性振荡理论为基础的自动振荡 系统技术计算原理	86
§ 6.2	自差机的灵敏度	99
§ 6.3	振动噪声	114
§ 6.4	调制噪声	124
§ 6.5	外电动势作用下的自差机	126
§ 6.6	雷达引信自差法和外差法的比较	144

第二篇 战术技术性能

第七章	效率理论	152
§ 7.1	雷达引信的效率理论	152
§ 7.2	雷达引信的物理模拟	164
第八章	抗干扰理论	182
§ 8.1	有源干扰	183
§ 8.2	无源干扰	189
第九章	可靠性理论	208
§ 9.1	作为可靠性主要因素的预定门限装置的稳定性	208
§ 9.2	无惯性系统的稳定性	211
§ 9.3	有储能器的惯性系统的稳定性	211
§ 9.4	具有计数器的惯性系统的稳定性	217
§ 9.5	可靠性的门限函数	221
§ 9.6	参数散布时的稳定性	222

第三篇 雷达引信的信息问题

第十章	实用信息论——研究空间时间控制 系统的一种方法	232
§ 10.1	选择的观念, 抗干扰能力与多余量之间的基本关系	232

§ 10.2	作为效率量度的多余量与潜在战术抗干扰能力	238
§ 10.3	信息的抗干扰性准则和多路原理	239
§ 10.4	信息在系统理论信息问题上的价值	243
第十一章 雷达引信的信息分析		266
§ 11.1	无线电控制综合装置的信息特性	266
§ 11.2	雷达引信的信息问题任务特点	274
第十二章 雷达引信的潜在战术抗干扰能力		282
§ 12.1	效率和抗干扰能力的信息分析	282
§ 12.2	恒定干扰强度下的效率和抗干扰能力	287
§ 12.3	干扰强度可变时的效率和抗干扰能力	293
第十三章 雷达引信的多路相关理论		299
§ 13.1	考虑信道中信号和噪声统计特性情况下的 容量和抗干扰能力	299
§ 13.2	多路系统的相关分析	302
§ 13.3	实施的途径	318
结束语		333
参考文献		342

国防工业出版社出版 第三版

航空工业出版社——航空工业出版社 第十章

航空工业出版社——航空工业出版社 航空工业出版社

航空工业出版社——航空工业出版社 航空工业出版社 101

引言

雷达技术，就现状而言，应理解为搜索目标和测定目标坐标及其运动参数的无线电技术方法与装置的总和。目标运动参数的数据，或用于观察目标，或用于控制。无论在前一种用途中，或是在后一种用途中，特别是在后一种用途中，所遇到的问题是雷达设备到目标之间的距离范围都很大。譬如，要想控制导弹的飞行^[1]，就必须：（一）搜索目标，在现代飞行速度条件下，要求雷达作用距离在数十公里到数百公里；（二）从发射起到进入自动导引瞬间，即在几十公里到几公里的作用距离范围内直接控制导弹的飞行；（三）从自动导引开始，弹上雷达系统必须保证其飞行和作用正常，直到命中目标或在离目标数米到几十米的地方爆炸为止。完成探测飞行器之类的“集中”目标功能的雷达装置所必需的作用距离，在数量级上可差 10^4 倍。完成探测“分散”目标功能的雷达装置，如自动操纵飞行器的降落，情况与此相同。在此情况中，降落的控制系统必须在距离给定点数百公里的地方开始工作^[2]，而且必须作用到几米的低空为止。所以，在这些条件下，作用距离范围也要有 10^4 倍左右。解决其他类似问题时，这些比例关系也是正确的。

十分明显，从最大距离向最小距离过渡时，特性发生较大的量变，这将不可避免地使雷达在各阶段上所要保证解决

的任务出现重大的质的区别。例如，处理信号和发送输出信息所需的时间通常与距离成正比地缩短，约缩短到原来的 $1/10^4$ 。因此，当接收信号能量(决定着系统的潜在可能性)^[8]一定不变时，接收机功率门限灵敏度也要减小这么多；另一方面，随着距离的缩短，所要求的系统潜在能力(辐射功率与接收功率之比)也在减小。如果在最大极限距离上，系统灵敏度问题是一个主要问题的话，那么在最小极限距离上，盲区问题将会变成一个越来越尖锐的问题，特别是在小尺寸的集中目标相互作用时是如此。这就使得任何一种雷达系统都不可能完成控制过程的所有作用。因此，整个控制过程就分为几个阶段，每个阶段都由专门的系统来保证。

阐述雷达搜索系统、制导系统和自动导引系统的文献很多，但在文献中对末端制导，即距离很小时与目标的相互作用的问题，阐述的很少。而这些问题的重要性是毋庸置疑的，特别是近十几年来，由于开拓宇宙空间的工作突飞猛进，这种重要性日益增长。在宇航这一领域内出现了许多新问题，如飞行器的对接、跟踪、应急脱险^[4~7]、登月和其它星球等问题。为了解决这类问题，需要有专门的雷达系统，即所谓近程雷达系统(本书译作“雷达引信”——编者)。这种雷达系统可以定义为作用距离可以同目标的几何尺寸和发送执行指令的误差相比拟的雷达系统。

和以控制飞行为主要任务的无线电控制系统不同，近程雷达系统是在最后极短的一段轨道上工作的，在这一段中，目标飞行轨迹通常没有什么变化。因此，这段的主要任务只是控制目标本身的机构，以达到所要完成的最终目的——使对接装置进入工作状态、启动制动发动机、将指令输入遥测系

统筹。为了解决这些任务，近程雷达系统必须在目标附近一定空间区域内发出执行指令。由此可见，近程雷达系统具有完全不同于其他雷达系统的功能特点。

尽管近程雷达系统有其主要特点，但是在最初它的发展仍然采用的是一般远程雷达所用的原理、方法和概念。然而，由于对近程雷达有一些特殊要求，很快就迫使它寻求新的途径去解决所面临的课题。这就开始形成了雷达技术理论和实践的特有发展趋向，即产生了近程雷达领域。近程雷达领域的进一步发展、专业的提高、专业干部的培养，都要求我们总结已积累的经验、建立和发展最能反映近程雷达特点的理论。本书的目的就在于此。本书还可用作学习其它有关课程时的教学参考书。书中所包括的一些问题，如自差接收理论（第六章）和实用信息论（第十章）也可能对与本书内容关联不大的无线电电子学的其它领域有用处。

本书将系统地阐述近程雷达的以下三个大问题：无线电技术方法的特点；主要战术技术特性的含义及其论证；在多路系统设计和互相关处理的基础上进一步改进近程雷达的理论基础。

第一篇 无线电技术原理

从无线电技术观点来看，雷达引信与一般雷达在工作原理上是相同的。众所周知，雷达系统按其原理可分为主动式、半主动式及被动式三种。

在主动式雷达系统中，初始电磁场由雷达发射机产生，而反射波场由雷达接收机接收。半主动式雷达系统中初始电磁场由外部发射机发射，此时接收机是雷达系统本身的一部件。但是，此部件的工作与外部发射系统的相互作用有密切关系。被动式雷达系统的工作仅是接收由被观测的目标反射产生或由目标上的无线电设备产生的无线电辐射（有时又叫无线电热辐射）。

本书不能包括所有雷达系统的工作原理，我们在本篇中只研究主动式雷达引信，即初始电磁场是由雷达引信本身的发射机所发射的。



第一章 雷达引信的特征

虽然雷达引信是雷达系统的一分支，但由于所解决任务的特殊性使其具有与一般雷达不同的明显特征。这些区别表现为雷达引信的无线电技术特性以及战术技术的各个方面。这些区别涉及到反射信号的功率和它的持续时间、输出指令的性质以及效率指标的空间-时间特性等等。本章将扼要讨论这些区别。

§ 1.1 雷达引信的工作条件

图 1 是典型的主动式雷达引信工作方块图。在原理上它与任何主动式雷达系统之结构无任何不同。但是雷达引信在近区工作条件下有其独特的特点。这些特点关系到系统工作的各个方面：反射信号性质、能量、时间特性、输出指令组成等等。

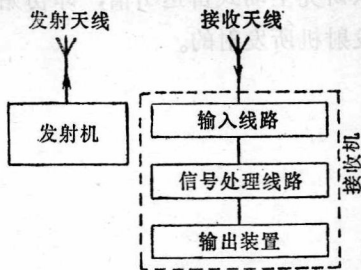


图 1 雷达引信的方块图

在一般条件下，远程雷达的反射目标可以当点目标来研究；目标轨迹变化引起的反射信号强度变化可看作点反射器的信号起伏。在雷达引信条件下，目标间的距离与几何尺寸可以相比拟，反射具有显著的多个数特性。它意味着反射信

号变得极为复杂，在处理信号时，不仅信号幅度值有决定意义，而且与目标不同部位反射的相位关系也有决定意义。

由已知雷达方程

$$P_c = \frac{P_\Sigma D_{nep} D_{np} \lambda^2 S_0}{64\pi^3 r^4}$$

式中 P_Σ 和 P_c ——分别为发射功率和接收机输入功率；

D_{nep} 和 D_{np} ——分别为发射和接收天线的方向性系数；

λ ——波长；

S_0 ——有效反射面积；

r ——至目标的距离。

由此，可直接引出势能公式

$$\Pi = \frac{P_\Sigma}{P_N} = \frac{64\pi^3 r_0^4}{D_{nep} D_{np} \lambda^2 S_0} \quad (1)$$

式中 P_N ——接收机的功率标称灵敏度，它随临界距离 r_0 减小而减小。但减少的量不像由式 (1) 直接得出的减少量那么大，这是由于雷达引信的天线方向性系数比一般雷达天线方向性系数小得多（产生这种情况的原因是多种多样的）。不仅如此，雷达引信与一般雷达的势能 Π 之差很大，可达几个数量级。雷达引信接收机输入端上信号功率的绝对值 P_c 也是如此，固然根据式 (1) 它的增加包含着发射功率 P_Σ 的减少，这是由于雷达引信机动性的要求，通常对体积和重量有严格的限制的缘故。

目标作用距离的减少，导致系统时间特性明显变化。距离在几十米内活动目标往往经过的时间为十分之一，百分之一，甚至是千分之一秒。这一时间间隔使可用于信号处理时间受到限制。结果，尽管反射信号功率增大了，但在雷达引信中处理的信号能量仍然与一般雷达系统属于同一数量级，

雷达功率和时间的重新分配（即改善信号功率与噪声的比值并减少信号处理时间），原则上对系统潜力的估价影响不大，只是使工程问题变得不同了。因为实际确定具体技术设备时，当然是随是否需要小的信噪比条件下或在短暂信号条件下工作而不同。

后种情况因雷达引信输出指令的特性而特别明显。随着系统工作时间间隔的减少，对快速作用的要求提高。在最后控制阶段上雷达引信的工作时间不长，通常输出的连续（或具有较小的不连续性）执行指令变为实质上不连续指令，有时则是单一的指令。雷达引信通常成为预想控制机构，并在预期时间内有较长的连续信号。在此条件下，特别不希望发生非适时作用，因其危害性对雷达引信的工作原理技术方案和理论有深刻的影响。

在许多情况下，由于采用了时间和空间选择，尤为严重的问题是在近距离时出现盲区。此问题是雷达引信所特有的，并使其在工作原理上具有本身的特点。

§ 1.2 主要特性和参数的特殊含义

雷达引信的特点，并不局限所列举的无线电技术上的特性。当前的任务就是找出能反映雷达引信的主要用途特性和指标的特殊含义。

与任何雷达引信工作有关的总的主要战术技术特性可以归结为效率、抗干扰性及可靠性，这是公认的。这些共同的特性，在每种引信中均有具体反映它的构造及特殊用途的含义。

上述的三种特性中主要特性是效率。它表示整个引信完

成所预定任务的程度。各种效率指标给出了完成任务的数量程度。如果探测系统的任务是确定目标的存在和测定目标运动的参数，则作为效率指标通常采用正确揭示的概率和测定目标运动参数的精度（以某种形式表示）。制导系统的任务是保证尽可能更准确的与目标交会；当然此情况下交会精度特性就是效率指标（例如间距的均方根值）。

雷达引信（图2）的功用是在靠近目标的某个区域 Q 内或交会点 O 处发出执行指令。确定 Q 区域就是确定目标交会点附近的区域，在此区域内雷达引信保证完成预期任务；因此，此区域可称为有效作用区域。此区域的形状和大小与目标的性质和目标相互作用特性有关。

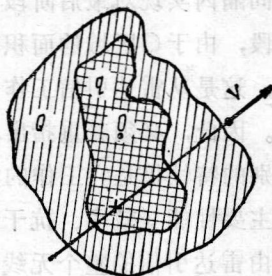


图2 有效作用区域 Q 和发出指令区域 q

进入此区后雷达引信和目标相互作用而发出执行指令的那部分空间区域称为雷达引信发出指令区域(图2)。雷达引信与一般雷达有本质区别的特别重要任务是发出指令区域应与有效作用区域相重合，与此相应的雷达引信的效率指标就必须给出这个重合程度的定量标度。此主要任务与雷达引信的整个其它工作特性有关，首先是与抗干扰性和可靠性有关。它的重要意义首先在于对所指出区域的重合程度，也就是雷达引信的效率的影响如何，由此而引出对于雷达引信的无线电技术方面的特殊要求，即无线电技术设备应能解决两个基本任务：一是在有干扰时能发现回波信号，另一个是要保证有效地作用于目标。

由上述可见，雷达（包括雷达引信）整个控制阶段可归结为解决空间几何问题。这些问题表面上是相似的，但其几何实质不同，最大的特点是：如果前阶段（雷达制导阶段）的几何任务是线性的、一维的（距离、速度、加速度），则雷达引信解决的任务是立体的，实际上是三维区域输出指令。当然，引信应在给定使用条件（特别是运动速度 V ）的有限时间间隔内实现对最后阶段的控制作用（图2）。但是，在最后阶段，由于Q区域的面积较小，通常目标以极短时间穿过Q区，这是从雷达引信工作的时间观点而言所具有的基本特征。因此，必须着重指出，雷达引信与其它控制系统有根本区别的特性仍是它工作的空间时间特性以及空间时间所包含的主要性能（效率、抗干扰性和可靠性）。归根结底，此特点是由雷达引信的整个无线电技术和战术技术要求所决定的。