

雷达导引头概论

高峰 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

雷达导引头概论

高 烽 编 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书介绍雷达导引头的基本体制和相关技术,全书共12章,内容包括概述、目标、环境、信号与噪声、导引头基本功能、主动导引头、半主动导引头、被动导引头、复合导引头、系统设计、分系统技术和试验技术。

本书可作为从事雷达导引头研制工作的工程技术人员和高等院校相应专业师生的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

雷达导引头概论 / 高烽编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.12

ISBN 978-7-121-12161-6

I. ①雷… II. ①高… III. ①雷达—导引头—概论 IV. ①TJ765.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 214543 号

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 23 字数: 464 千字

印 次: 2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 58.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

雷达导引头是安装在导弹头部的探测装置,是无线电寻的制导武器系统的弹载关键设备。

雷达导引头以雷达原理和雷达系统为基础。美国于 20 世纪 50 年代由麻省理工学院出版的《雷达丛书》,以及后来由斯柯尔尼克主编的《雷达手册》,一直是研制雷达导引头的经典参考文献。近年来,我国由王小漠院士和张光义院士主编的《雷达技术丛书》汇集了雷达基础理论和国内雷达界众多专家学者的实践经验,对雷达导引头的研制同样具有重要参考价值。我国也出版过几本针对某种类型雷达导引头的专著,当前还缺少关于雷达导引头的综述类著作。本书阐述各种雷达导引头基本体制、工作原理、技术性能和设计要点,旨在为雷达导引头的设计师们奉献一本内容丰富、概念清晰、编排缜密、行文流畅的参考书。

全书共 12 章。内容涉及各种体制的雷达导引头,以及雷达导引头的目标与环境、系统设计、分系统技术和试验技术等方面。

第 1 章简要介绍寻的制导原理、寻的系统体制和导引头分类。

第 2 章与第 3 章分别介绍雷达导引头的目标与环境,内容涉及目标的电磁特征、目标的电磁隐身,以及电波传播、杂波和干扰。

第 4 章介绍信号的分析方法、信号的表达方式、雷达信号的特点、导引头常用信号,以及噪声的数值表征和窄带噪声。

第 5 章介绍雷达导引头的目标检测、信息提取和指令形成等基本功能。

第 6 章至第 9 章分别介绍主动导引头、半主动导引头、被动导引头和复合导引头,共涉及 16 种不同形式的雷达导引头。

第 10 章介绍雷达导引头的系统设计,内容包括作用距离、测量精度、环境适应性、电磁兼容性和可靠性的基本设计方法。

第 11 章介绍雷达导引头的分系统技术,综述天线、发射机、接收机、信息处理机、伺服系统与二次电源的主要功能、技术要求和基本体制。

第 12 章介绍雷达导引头的试验技术,如实验室试验、半实物仿真试验、外场验证试验、挂飞验证试验和搭载验证试验等。

本书注重雷达导引头物理概念和工程实践的阐述。因篇幅有限，书中未涉及雷达原理和雷达系统基础知识，读者可通过各种雷达专著了解有关内容。

上海无线电设备研究所策划了《雷达导引头概论》的编著工作，周如江所长、蔡昆常务副所长对本书的编审和出版工作给予充分的支持与帮助。西安电子科技大学张守宏教授、哈尔滨工程大学司锡才教授、上海无线电设备研究所黄公弼研究员审阅了书稿。上海无线电设备研究所倪保家研究员、任志成研究员、蔡红豪高级工程师，以及王树文、王志诚、蒲书缙、姚凤薇、邹波、高路、崔永香、谈骏、周启华、吴振凯、徐春夷、王德强和李伟国等同志参与了本书个别章节部分内容的编写和校对工作，在此谨向他们致以谢意。

马峰

2010年9月18日

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 寻的制导原理	(1)
1.2 寻的制导体制	(4)
1.3 导引头分类	(6)
第 2 章 目标	(11)
2.1 目标的电磁特征	(11)
2.1.1 散射特性	(11)
2.1.2 目标噪声	(15)
2.1.3 起伏特性	(16)
2.1.4 极化特性	(18)
2.1.5 多散射中心	(18)
2.1.6 电磁辐射	(19)
2.2 目标的电磁隐身	(19)
2.2.1 RCS 缩减技术	(20)
2.2.2 辐射源隐身技术	(21)
2.2.3 其他隐身技术	(22)
第 3 章 环境	(23)
3.1 电波传播	(23)
3.1.1 传播效应	(23)
3.1.2 传播效应对导引头的影响	(24)
3.2 杂波	(24)
3.2.1 杂波特征	(24)
3.2.2 多路径效应	(29)
3.3 干扰	(31)
3.3.1 压制性干扰	(31)

3.3.2	欺骗性干扰	(32)
第4章	信号与噪声	(35)
4.1	信号	(35)
4.1.1	信号的分析方法	(35)
4.1.2	信号的表达方式	(37)
4.1.3	雷达信号的特点	(39)
4.1.4	导引头常用信号	(41)
4.2	噪声	(57)
4.2.1	随机过程的统计特性	(58)
4.2.2	噪声的数值表征	(60)
4.2.3	窄带噪声	(66)
第5章	导引头基本功能	(68)
5.1	目标检测	(68)
5.1.1	常规检测	(68)
5.1.2	恒虚警检测	(70)
5.1.3	预定检测	(75)
5.1.4	高分辨检测	(76)
5.1.5	识别检测	(78)
5.1.6	积累检测	(79)
5.2	信息提取	(84)
5.2.1	速度信息	(84)
5.2.2	距离信息	(88)
5.2.3	角度信息	(92)
5.2.4	仿形处理	(96)
5.3	指令形成	(97)
5.3.1	管理指令	(97)
5.3.2	制导指令	(97)
5.3.3	引爆指令	(98)
第6章	主动导引头	(99)
6.1	脉冲主动导引头	(99)

6.1.1	波形参数	(99)
6.1.2	信号处理	(100)
6.1.3	探测技术	(105)
6.1.4	原理框图	(108)
6.1.5	探测能力	(109)
6.2	准连续波主动导引头	(115)
6.2.1	波形参数	(115)
6.2.2	信号处理	(116)
6.2.3	探测技术	(118)
6.2.4	原理框图	(120)
6.2.5	探测能力	(122)
6.3	脉冲多普勒主动导引头	(125)
6.3.1	波形参数	(125)
6.3.2	信号处理	(128)
6.3.3	探测技术	(129)
6.3.4	原理框图	(131)
6.3.5	探测能力	(132)
6.4	相控阵导引头	(137)
6.4.1	主要特点	(138)
6.4.2	基本方案	(142)
6.4.3	关键技术	(143)
6.5	合成孔径导引头	(146)
6.5.1	SAR 工作原理	(147)
6.5.2	弹载 SAR 景象匹配制导原理	(150)
6.5.3	弹载 SAR 与机载 SAR 的区别	(151)
6.5.4	合成孔径主动寻的技术的可行性	(151)
第 7 章	半主动导引头	(155)
7.1	连续波半主动导引头	(155)
7.1.1	波形参数	(155)
7.1.2	信号处理	(157)
7.1.3	探测技术	(164)

7.1.4	原理框图	(164)
7.1.5	探测能力	(165)
7.2	间断连续波半主动导引头	(171)
7.2.1	波形参数	(171)
7.2.2	信号处理	(171)
7.2.3	探测技术	(172)
7.2.4	原理框图	(174)
7.2.5	探测能力	(174)
7.3	无直波半主动导引头	(174)
7.3.1	波形参数	(175)
7.3.2	信号处理	(175)
7.3.3	探测技术	(176)
7.3.4	原理框图	(177)
7.3.5	探测能力	(178)
7.4	逆单脉冲半主动导引头	(178)
7.4.1	主要特点	(178)
7.4.2	系统组成	(179)
7.4.3	空间和差方向图合成	(179)
7.4.4	制导系统工作流程	(180)
7.4.5	逆单脉冲半主动导引头	(182)
第8章	被动导引头	(183)
8.1	比相测向	(183)
8.1.1	相干测向原理	(183)
8.1.2	相干测向系统	(185)
8.1.3	探测能力	(187)
8.2	比幅测向	(190)
8.2.1	倾斜天线阵比幅测向系统	(190)
8.2.2	振幅和差式单脉冲测向系统	(191)
8.3	时差测向	(193)
8.4	全息测向	(193)
8.5	旋转天线测向	(194)

第 9 章 复合导引头	(198)
9.1 双波段复合主动导引头	(198)
9.1.1 主要特点	(198)
9.1.2 工作原理	(199)
9.1.3 关键技术	(199)
9.2 被动/主动复合导引头	(201)
9.2.1 主要特点	(201)
9.2.2 工作原理	(201)
9.2.3 探测能力	(202)
9.3 半主动/主动复合导引头	(205)
9.3.1 主要特点	(206)
9.3.2 工作原理	(206)
9.3.3 信号形式	(206)
9.3.4 探测能力	(207)
9.4 SAR/主动导引头复合探测装置	(211)
9.4.1 合成孔径成像	(211)
9.4.2 实孔径成像	(211)
9.4.3 复合探测系统	(213)
第 10 章 系统设计	(215)
10.1 作用距离	(215)
10.1.1 主动探测	(215)
10.1.2 半主动探测	(217)
10.1.3 被动探测	(217)
10.2 测量精度	(217)
10.2.1 基本概念	(218)
10.2.2 预定误差源	(222)
10.2.3 测角误差源	(226)
10.2.4 视线角速度测量误差源	(230)
10.2.5 测距误差源	(234)
10.2.6 测速误差源	(237)
10.2.7 误差综合	(240)

10.2.8	精度设计	(243)
10.3	环境适应性	(245)
10.3.1	反隐身	(246)
10.3.2	抗杂波	(250)
10.3.3	抗干扰	(251)
10.4	电磁兼容性	(260)
10.4.1	基本概念	(260)
10.4.2	电磁兼容性能预测	(262)
10.4.3	电磁兼容设计	(264)
10.4.4	电磁兼容研制程序	(268)
10.5	可靠性	(269)
10.5.1	基本术语	(269)
10.5.2	可靠性模型	(271)
10.5.3	可靠性预估	(272)
10.5.4	可靠性分配	(273)
10.5.5	可靠性设计	(276)
第 11 章	分系统技术	(278)
11.1	天线	(278)
11.1.1	功能与技术要求	(278)
11.1.2	卡塞格伦天线	(279)
11.1.3	平板阵列天线	(280)
11.1.4	宽带天线	(281)
11.1.5	复合天线	(283)
11.2	发射机	(284)
11.2.1	功能与技术要求	(284)
11.2.2	微波源	(284)
11.2.3	功率放大器	(287)
11.3	接收机	(289)
11.3.1	功能与技术要求	(289)
11.3.2	单谱线接收机	(290)
11.3.3	脉冲接收机	(291)

11.3.4	锁频接收机	(291)
11.3.5	锁相接收机	(292)
11.3.6	信道化接收机	(293)
11.3.7	数字化接收机	(293)
11.4	信息处理机	(294)
11.4.1	功能与技术要求	(294)
11.4.2	硬件结构	(297)
11.4.3	软件流程	(298)
11.4.4	主要子程序	(300)
11.5	伺服系统	(301)
11.5.1	功能与技术要求	(303)
11.5.2	原理框图与主要部件	(303)
11.5.3	角预定回路	(310)
11.5.4	角稳定回路	(313)
11.5.5	角跟踪回路	(315)
11.6	二次电源	(318)
11.6.1	集中式二次电源	(318)
11.6.2	分布式二次电源	(319)
第 12 章	试验技术	(320)
12.1	模拟与测控	(320)
12.1.1	目标模拟	(320)
12.1.2	环境模拟	(323)
12.1.3	载体模拟	(324)
12.1.4	测控设备	(324)
12.1.5	微波暗室	(325)
12.2	实验室试验	(326)
12.2.1	电气试验	(326)
12.2.2	环境试验	(328)
12.2.3	电磁兼容试验	(330)
12.2.4	可靠性试验	(333)
12.3	半实物仿真试验	(335)

12.3.1	试验系统	(335)
12.3.2	试验内容	(336)
12.4	演示验证试验	(337)
12.4.1	外场验证试验	(337)
12.4.2	挂飞验证试验	(338)
12.4.3	搭载验证试验	(341)
附录 A	缩略术语汇总表	(342)
附录 B	物理量符号汇总表	(345)
参考文献	(351)

第 1 章 概 述

雷达导引头又称无线电寻的器，它是一种安装在导弹头部的探测装置，是无线电寻的制导系统的关键设备。所谓制导就是控制导弹以一定的规律接近并摧毁目标。不同于指令制导、驾束制导、惯性制导和导航制导，寻的制导是利用弹上探测装置发现目标，测量目标相对于导弹的位置参数和运动参数，形成控制指令，操纵导弹飞向目标的一种制导方式。本章介绍寻的制导原理、寻的制导体制和导引头分类。

1.1 寻的制导原理

寻的制导系统的弹上设备由导引头（探测装置）、自动驾驶仪（控制设备）与弹体（控制对象）组成，如图 1-1 所示。

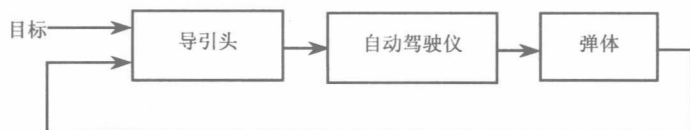


图 1-1 寻的制导系统的弹上设备

在寻的制导阶段，导引头发现并跟踪目标，提取目标相对于导弹的位置和运动信息，弹上计算机利用目标信息形成控制信号控制自动驾驶仪，改变导弹飞行姿态。飞行过程中，导引头实时更新目标信息，弹上计算机不断产生新的控制信号控制导弹飞行，直至接近并摧毁目标。

寻的制导系统的工作原理可由导弹-目标运动方程组和制约导弹运动的导引方程来描述^[1]。为了简化分析，设导弹与目标在同一铅垂面内运动，其相对位置和运动关系通常用极坐标系表示，如图 1-2 所示。图中：导弹与目标分别位于 M 与 T 处； R_{MT} 为导弹-目标距离；导弹指向目标的射线 MT 为视线； q 为视线与基准线的夹角； θ_M 为导弹速度矢量与基准线的夹角； θ_T 为目标速度矢量与基准线的夹角。 q 、 θ_M 、 θ_T 三个角度均以基准线为参照，逆时针旋转为正值。另外， ϕ_M 、 ϕ_T 分别为导弹速度矢

量、目标速度矢量与视线的夹角，称为前置角。

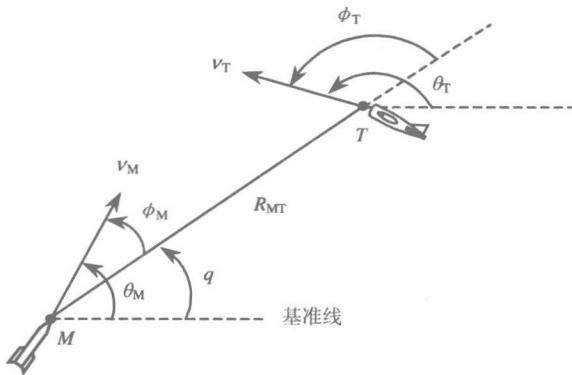


图 1-2 导弹与目标运动关系

由图 1-2 可以列出导弹-目标运动方程：

$$\begin{cases} \frac{dR_{MT}(t)}{dt} = -v_M(t) \cos \phi_M(t) + v_T(t) \cos \phi_T(t) \\ R_{MT}(t) \frac{dq(t)}{dt} = -v_M(t) \sin \phi_M(t) + v_T(t) \sin \phi_T(t) \\ \phi_M(t) = \theta_M(t) - q(t) \\ \phi_T(t) = \theta_T(t) - q(t) \end{cases} \quad (1-1)$$

导弹的运动参数 $\theta_M(t)$ 、 $q(t)$ 由导引方程约束，采用不同的约束方程，可获得不同的导引规律。比如采用比例导引规律时，导弹速度矢量的转动速率 $d\theta_M(t)/dt$ 比例于视线角速率 $dq(t)/dt$ ，即

$$\frac{d\theta_M(t)}{dt} = k_g \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-2)$$

式中： k_g 为比例导引系数。通常， $dq(t)/dt$ 由导引头提取，而 $d\theta_M(t)/dt$ 由导弹自动驾驶仪中的加速度计间接测量，即

$$\frac{d\theta_M(t)}{dt} = \frac{a_M(t)}{v_M(t)} \quad (1-3)$$

式中： $a_M(t)$ 为导弹横向加速度； $v_M(t)$ 为导弹速度。

为了改善弹道特性，通常采用修正比例导引。为使弹道具有单值性，比例导引系数应为

$$k_g = N \frac{|v_r(t)|}{v_M(t)} \quad (1-4)$$

式中： N 为有效导航比； $v_r(t)$ 为径向速度，又称接近速度。

将式 (1-3) 和式 (1-4) 代入式 (1-2)，可得修正比例导引方程：

$$a_M(t) = N |v_r(t)| \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-5)$$

为了实现修正比例导引，除了实时测量 $dq(t)/dt$ 和 $a_M(t)$ 值外，还需提取 $v_r(t)$ 信息。尽管修正比例导引一般不需要距离信息，但是为了进一步改善制导性能，应在不同的导弹-目标距离上，适当调整有效导航比。在这种情况下，提取距离信息仍然是必要的。制导信息 $dq(t)/dt$ 、 $v_r(t)$ 和 $R_{MT}(t)$ 由导引头测量，并由指令形成电路给出指令电压

$$u_k(t) = k_u N |v_r(t)| \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-6)$$

式中： k_u 为电压转换系数。

导弹驾驶仪中的加速度计测得导弹的横向加速度，相应的电压值为

$$u_{a_M}(t) = k_u a_M(t) \quad (1-7)$$

式中的系数 k_u 应与式 (1-6) 中的电压转换系数相同。

比例导引系统的基本结构如图 1-3 所示，该系统中的雷达导引头包含了指令形成功能，也可以将此功能纳入制导计算机。

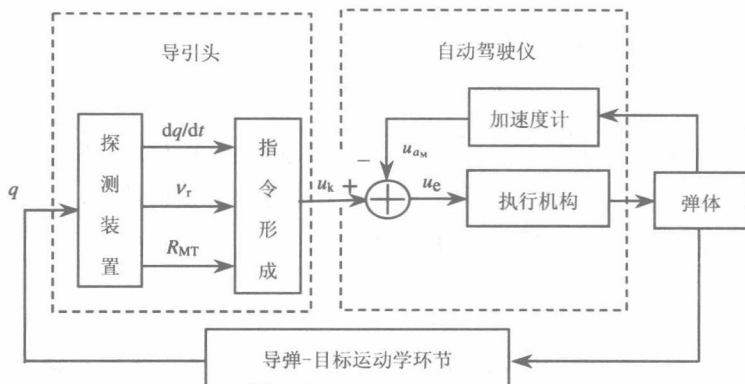


图 1-3 比例导引系统的基本结构

制导过程中，自动驾驶仪提取的误差信号为

$$u_c(t) = u_k(t) - u_{a_M}(t) \quad (1-8)$$

由误差信号控制驾驶仪的执行机构，操纵导弹飞向目标。

1.2 寻的制导体制

在寻的制导系统中，弹载探测设备是一个时空信号处理器，它的任务是检测目标、跟踪滤波和提取目标信息。弹载探测设备的首要任务是从复杂的杂波和干扰背景中检测目标散射或辐射的信号，从中提取目标相对于导弹的位置参数和运动参数，获取制导信息。根据载体信号的不同来源，寻的制导系统可分为主动寻的制导、半主动寻的制导、被动寻的制导和复合寻的制导。

1. 主动寻的制导

在主动寻的制导系统中，弹载探测设备装有发射和接收装置，发射装置朝目标方向发射信号，接收装置接收目标的反射信号，从中获取目标信息，并由弹上计算机形成控制信号，操纵导弹飞向目标。图 1-4 是主动寻的制导示意图。



图 1-4 主动寻的制导示意图

主动寻的制导不需要导弹以外的其他设备参与制导，具有发射后不管或交班后不管的自主制导能力。然而，正因为主动探测设备必须自行发射信号，使导弹处于有源工作状态，易被敌方反辐射武器侦察和攻击。

2. 半主动寻的制导

半主动寻的制导系统的照射器安装在地面、舰艇或飞行器上。制导过程中，照射器朝目标方向发射信号，导弹上的接收装置接收目标的散射信号，提取目标信息，并由弹上计算机形成控制信号，操纵导弹飞向目标。图 1-5 是半主动寻的制导示意图。