



雷达技术丛书  
<http://www.phel.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划项目

# 监视雷达技术



王小漠  
匡永胜  
陈忠先  
等编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



## 雷达技术丛书



- 《雷达目标特性》
- 《雷达环境与电波传播特性》
- 《雷达天线技术》
- 《雷达馈线技术》
- 《雷达发射机技术》
- 《雷达接收机技术》
- 《雷达信号处理和数据处理技术》
- 《雷达成像技术》
- 《雷达结构与工艺(上、下册)》
- 《监视雷达技术》
- 《相控阵雷达技术》
- 《机载雷达技术》
- 《制导雷达技术》
- 《精密跟踪测量雷达技术》
- 《超视距雷达技术》
- 《激光雷达技术》



策划编辑：刘宪兰  
责任编辑：刘宪兰 陈韦凯  
责任美编：徐海燕



本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 978-7-121-05796-0



9 787121 057960 >

定价：76.00 元

“十一五”国家重点图书出版规划项目

国家科学技术学术著作出版基金

电子信息科技专著出版专项基金

资助出版

雷达技术丛书

# 监视雷达技术

王小谟 匡永胜 陈忠先 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

监视雷达主要指地面对空监视雷达。监视雷达是应用最早,使用最广泛的雷达,几乎各个主要的独立国家,都有自己的国家防空系统,监视雷达是防空系统中的主要装备。本书重点介绍监视雷达总体设计的基本思想。

作为雷达技术丛书中的一册整机著作,本书搜集和选编了大量有用的计算资料,不求严密地推导,而注重其概念清晰和易于使用。书中还介绍大量的实例,通过分析使读者加深理解,特别是有许多内容是著者多年实践的总结。

本书可供从事雷达研制的工程技术人员作为参考书,对于广大从事雷达装备使用和维修的部队官兵也是更加深入了解和系统学习监视雷达知识的好教材,同时还适合作为高等学校相关专业师生的参考书。

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

监视雷达技术/王小漠,匡永胜,陈忠先等编著. —北京:电子工业出版社,2008.1  
(雷达技术丛书)

ISBN 978-7-121-05796-0

I. 监… II. ①王… ②匡… ③陈… III. 监视雷达 IV. TN959.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 005493 号

策划编辑:刘宪兰

责任编辑:刘宪兰 陈韦凯

印 刷:北京机工印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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:29.25 字数:564 千字

印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:76.00 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 zltts@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。



王小钢

上海人。雷达技术专家，1961年毕业于北京工业学院（现北京理工大学）无线电工程系，毕业后分配到南京电子技术研究所，1969年到西南电子工程研究所（1987年搬迁后更名为华东电子工程研究所）工作，历任总体研究室（部）主任、所副总工程师、所总工程师、所长。1994年调到电子工业部电子科学研究院任常务副院长。1995年当选为中国工程院院士。现任中国电子科学研究院研究员，信息产业部电子科技委副主任兼秘书长。曾成功地研制出中国第一部集成化、数字化、自动化的三坐标引导雷达JY8和中国第一部低空兼顾中、高空雷达JY9，突破了多项新技术，推动了地面监视雷达的发展，1985年至1995年先后获得国家科技进步一等奖两次。



匡家胜

四川省巫山县（现属重庆市）人。1963年毕业于成都电讯工程学院（现电子科技大学）无线电系定位专业，毕业后分配到南京电子技术研究所雷达总体研究室，参与三坐标雷达的研究。1969年到西南电子工程研究所（1987年搬迁后更名为华东电子工程研究所）工作，曾任总体研究室（部）主任、所副总工程师等职。现为研究员级高级工程师、中国电子学会高级会员。1992年起享受国家政府特殊津贴。多年来一直从事地面雷达的系统工程设计与制造工作，参与和主持过三坐标雷达、低空雷达和空中交通管制雷达的研制，获得过国家科学技术进步一等奖、二等奖、三等奖各一次，以及电子工业部科技进步一等奖两次、二等奖一次。



陈思先

江苏南京人。1982年毕业于成都电讯工程学院（现电子科技大学）微波技术专业，获学士学位。毕业后分配到西南电子工程研究所（1987年更名为华东电子工程研究所）工作，现为研究员级高级工程师。长期从事雷达系统的研制和批生产工作，参与过多种型号对空情报雷达的研制，已发表学术论文十多篇，2004年主持完成了中国第一个全国态空管一次雷达的研制工作，为空管系统国产化奠定了基础。曾获国家科技部等4部委联合颁发的国家重大技术装备国产化先进个人奖。



# 目 录

|                   |      |
|-------------------|------|
| 第 1 章 概论          | (1)  |
| 1.1 概述            | (2)  |
| 1.1.1 监视雷达的发展简史   | (2)  |
| 1.1.2 中国监视雷达的发展   | (3)  |
| 1.1.3 监视雷达的定义     | (7)  |
| 1.2 监视雷达的主要指标     | (8)  |
| 1.2.1 威力覆盖        | (8)  |
| 1.2.2 分辨率和精度      | (12) |
| 1.2.3 数据率         | (17) |
| 1.2.4 抗干扰能力       | (17) |
| 1.2.5 工程能力        | (18) |
| 1.3 雷达频率          | (18) |
| 1.3.1 频率的标识       | (18) |
| 1.3.2 雷达可使用频率     | (21) |
| 1.3.3 频率选择        | (23) |
| 参考文献              | (24) |
| 第 2 章 监视雷达的作用距离计算 | (25) |
| 2.1 雷达距离方程        | (26) |
| 2.1.1 单基地雷达方程     | (26) |
| 2.1.2 雷达方程修正因子    | (28) |
| 2.1.3 搜索雷达方程      | (31) |
| 2.1.4 跟踪雷达方程      | (31) |
| 2.1.5 有源干扰下的雷达方程  | (32) |
| 2.1.6 无源干扰下的雷达方程  | (35) |
| 2.1.7 组合干扰下的雷达方程  | (39) |
| 2.1.8 信标方程        | (39) |
| 2.1.9 双基地雷达方程     | (40) |
| 2.1.10 无源探测雷达方程   | (41) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 2.2 雷达距离计算方法 .....          | (42)  |
| 2.2.1 常用工程计算法 .....         | (42)  |
| 2.2.2 系统噪声功率计算 .....        | (51)  |
| 2.2.3 系统损失计算 .....          | (56)  |
| 参考文献 .....                  | (76)  |
| <b>第3章 雷达信号检测</b> .....     | (77)  |
| 3.1 雷达信号检测的经典理论 .....       | (78)  |
| 3.1.1 匹配接收机 .....           | (78)  |
| 3.1.2 单个脉冲检测 .....          | (81)  |
| 3.1.3 脉冲串检测 .....           | (87)  |
| 3.1.4 起伏目标检测 .....          | (92)  |
| 3.2 雷达信号的自动检测 .....         | (106) |
| 3.2.1 概述 .....              | (107) |
| 3.2.2 视频积累检测 .....          | (111) |
| 3.2.3 滑窗检测 .....            | (116) |
| 3.2.4 序贯检测 .....            | (121) |
| 3.2.5 恒虚警检测 .....           | (123) |
| 3.2.6 跟踪前检测(TBD) .....      | (129) |
| 参考文献 .....                  | (134) |
| <b>第4章 监视雷达的杂波抑制</b> .....  | (135) |
| 4.1 概述 .....                | (136) |
| 4.2 监视雷达的杂波特性 .....         | (137) |
| 4.2.1 海杂波 .....             | (139) |
| 4.2.2 地面杂波 .....            | (146) |
| 4.2.3 气象杂波 .....            | (153) |
| 4.2.4 箔条 .....              | (160) |
| 4.2.5 仙波 .....              | (164) |
| 4.3 雷达的杂波抑制处理 .....         | (166) |
| 4.3.1 非相参脉冲雷达的杂波抑制 .....    | (167) |
| 4.3.2 全相参脉冲雷达的杂波抑制 .....    | (169) |
| 4.3.3 杂波抑制的性能指标 .....       | (171) |
| 4.3.4 恒虚警处理 .....           | (173) |
| 4.4 改善因子的计算及其限制 .....       | (178) |
| 4.4.1 杂波内部起伏对改善因子的限制 .....  | (178) |
| 4.4.2 雷达参数和性能对改善因子的限制 ..... | (181) |
| 4.4.3 系统改善因子的计算 .....       | (190) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 4.5 杂波抑制对雷达系统设计的影响 .....     | (191) |
| 4.5.1 天线波束 .....             | (191) |
| 4.5.2 系统动态范围 .....           | (193) |
| 4.5.3 杂波图和系统虚警的控制 .....      | (194) |
| 4.5.4 切向运动目标和慢速目标的处理 .....   | (195) |
| 4.6 几种典型的对空监视雷达杂波抑制处理 .....  | (196) |
| 4.6.1 一种非相参三坐标监视雷达 .....     | (196) |
| 4.6.2 一种全相参远程三坐标雷达 .....     | (198) |
| 4.6.3 一种典型的航管一次雷达 .....      | (200) |
| 参考文献 .....                   | (202) |
| <b>第5章 监视雷达的反对抗技术</b> .....  | (203) |
| 5.1 概述 .....                 | (204) |
| 5.1.1 现代战争的特点 .....          | (204) |
| 5.1.2 雷达面临的四大威胁 .....        | (205) |
| 5.1.3 雷达设计师的任务 .....         | (221) |
| 5.2 现代雷达的反电子对抗(ECCM)设计 ..... | (222) |
| 5.2.1 雷达体制与总体设计 .....        | (223) |
| 5.2.2 雷达天线 .....             | (223) |
| 5.2.3 雷达发射机 .....            | (224) |
| 5.2.4 雷达接收机 .....            | (225) |
| 5.2.5 雷达信号处理 .....           | (226) |
| 5.2.6 雷达数据处理 .....           | (229) |
| 5.2.7 雷达网反干扰 .....           | (230) |
| 5.3 雷达反电子对抗技术的效能评估 .....     | (231) |
| 5.3.1 雷达抗干扰改善因子(EIF) .....   | (231) |
| 5.3.2 雷达综合抗干扰能力(AJC) .....   | (231) |
| 5.3.3 雷达抗干扰品质因素 .....        | (232) |
| 5.3.4 压制系数 .....             | (233) |
| 5.3.5 干扰状态下雷达的自卫距离 .....     | (233) |
| 5.4 雷达的反隐身技术 .....           | (234) |
| 5.4.1 雷达目标的隐身技术 .....        | (235) |
| 5.4.2 监视雷达的反隐身技术 .....       | (237) |
| 5.4.3 反隐身新思路 .....           | (242) |
| 5.5 雷达的反反辐射导弹(ARM)技术 .....   | (246) |
| 5.5.1 ARM 简介 .....           | (247) |
| 5.5.2 雷达的反截获技术 .....         | (251) |



|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 5.5.4 诱饵技术 .....             | (255) |
| 5.5.5 ARM 告警技术 .....         | (262) |
| 参考文献 .....                   | (264) |
| <b>第 6 章 监视雷达的系统设计</b> ..... | (267) |
| 6.1 能量和数据率 .....             | (268) |
| 6.1.1 能量的配置 .....            | (268) |
| 6.1.2 能量节约因子 .....           | (270) |
| 6.1.3 数据率与波束宽度 .....         | (274) |
| 6.2 精度设计 .....               | (275) |
| 6.2.1 基本概念 .....             | (276) |
| 6.2.2 测距误差 .....             | (278) |
| 6.2.3 方位误差 .....             | (280) |
| 6.2.4 仰角误差 .....             | (282) |
| 6.3 系统设计 .....               | (289) |
| 6.3.1 设计要求 .....             | (289) |
| 6.3.2 空域设计 .....             | (291) |
| 6.3.3 搜索设计 .....             | (295) |
| 6.3.4 功率孔径积 .....            | (297) |
| 6.3.5 频率选择 .....             | (298) |
| 参考文献 .....                   | (302) |
| <b>第 7 章 三坐标监视雷达</b> .....   | (303) |
| 7.1 概述 .....                 | (304) |
| 7.1.1 三坐标雷达的定义 .....         | (304) |
| 7.1.2 三坐标雷达的高度计算 .....       | (306) |
| 7.2 频率扫描三坐标雷达 .....          | (307) |
| 7.2.1 频率扫描原理 .....           | (307) |
| 7.2.2 扫描体制 .....             | (312) |
| 7.3 堆积多波束三坐标雷达 .....         | (315) |
| 7.3.1 多波束原理 .....            | (316) |
| 7.3.2 抛物面堆积多波束雷达 .....       | (318) |
| 7.3.3 阵列多波束雷达 .....          | (321) |
| 7.4 相位扫描三坐标雷达 .....          | (324) |
| 7.4.1 单波束相位扫描 .....          | (325) |
| 7.4.2 多波束相位扫描 .....          | (328) |
| 7.4.3 频率相位扫描 .....           | (331) |
| 7.5 数字波束形成三坐标雷达 .....        | (332) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 7.5.1 数字波束形成(DBF)的原理 .....        | (332) |
| 7.5.2 JYL1 三坐标雷达 .....            | (333) |
| 7.5.3 数字阵列三坐标雷达 .....             | (336) |
| 7.6 三坐标雷达的展望 .....                | (337) |
| 参考文献 .....                        | (340) |
| <b>第8章 双基地雷达</b> .....            | (341) |
| 8.1 双基地雷达的基本原理和性能特点 .....         | (342) |
| 8.1.1 双基地雷达基本原理 .....             | (343) |
| 8.1.2 双/多基地雷达的电子对抗能力 .....        | (356) |
| 8.2 双基地雷达的目标散射特性 .....            | (361) |
| 8.2.1 点目标的双基地雷达截面积 .....          | (361) |
| 8.2.2 隐身目标的双基地雷达截面积 .....         | (363) |
| 8.3 双基地雷达的关键技术 .....              | (366) |
| 8.3.1 三大同步技术 .....                | (366) |
| 8.3.2 双基地雷达显示校正技术 .....           | (372) |
| 8.3.3 数据融合处理技术 .....              | (374) |
| 8.4 双基地雷达的发展及应用形式 .....           | (377) |
| 8.4.1 战术区域防御用双/多基地雷达 .....        | (377) |
| 8.4.2 反隐身栅栏雷达 .....               | (379) |
| 8.4.3 星载战术空中监视双基地雷达 .....         | (380) |
| 8.4.4 基于外辐射源的双基地雷达 .....          | (381) |
| 参考文献 .....                        | (384) |
| <b>第9章 稀布阵综合脉冲孔径雷达</b> .....      | (385) |
| 9.1 稀布阵综合脉冲孔径雷达基本原理 .....         | (386) |
| 9.1.1 正交编码 .....                  | (386) |
| 9.1.2 脉冲与孔径综合 .....               | (387) |
| 9.1.3 系统分辨性能 .....                | (390) |
| 9.2 稀布阵综合脉冲孔径雷达的组成及性能 .....       | (391) |
| 9.2.1 稀布阵综合脉冲孔径雷达的组成 .....        | (391) |
| 9.2.2 稀布阵综合脉冲孔径雷达的基本性能 .....      | (393) |
| 9.3 稀布阵综合脉冲孔径雷达的信号处理技术 .....      | (395) |
| 9.3.1 稀布阵综合脉冲孔径雷达信号处理的组成 .....    | (395) |
| 9.3.2 稀布阵综合脉冲孔径雷达的幅相校正 .....      | (396) |
| 9.3.3 稀布阵综合脉冲孔径雷达的距离模糊函数 .....    | (398) |
| 9.3.4 稀布阵综合脉冲孔径雷达的长时间相干积累技术 ..... | (398) |
| 9.3.5 稀布阵综合脉冲孔径雷达的自适应“置零”技术 ..... | (401) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 9.4 稀布阵综合脉冲孔径雷达研究现状和应用前景 ..... | (403) |
| 9.4.1 稀布阵综合脉冲孔径雷达试验系统 .....    | (403) |
| 9.4.2 稀布阵综合脉冲孔径雷达的应用前景 .....   | (407) |
| 参考文献 .....                     | (408) |
| <b>第10章 监视雷达的总体工程设计</b> .....  | (409) |
| 10.1 总体工程设计 .....              | (410) |
| 10.1.1 雷达系统框图的拟定 .....         | (410) |
| 10.1.2 各分系统方案和指标的确定 .....      | (411) |
| 10.1.3 全机主要时序的确定 .....         | (414) |
| 10.1.4 全机控制关系的确定 .....         | (416) |
| 10.1.5 全机接口关系的约定 .....         | (418) |
| 10.1.6 供电分配 .....              | (420) |
| 10.1.7 通信和外部接口 .....           | (421) |
| 10.1.8 连接线缆 .....              | (421) |
| 10.2 监视雷达的 BITE 设计 .....       | (424) |
| 10.2.1 BITE 的意义和作用 .....       | (424) |
| 10.2.2 监视雷达 BIT 的基本方法 .....    | (426) |
| 10.2.3 性能监视 .....              | (428) |
| 10.2.4 故障的诊断和隔离 .....          | (429) |
| 10.2.5 监测点的设置 .....            | (431) |
| 10.3 雷达站的供电和电源 .....           | (432) |
| 10.3.1 初级电源的选择 .....           | (432) |
| 10.3.2 低压电源 .....              | (433) |
| 10.4 监视雷达的可靠性和维修性 .....        | (435) |
| 10.4.1 可靠性的基本概念 .....          | (435) |
| 10.4.2 监视雷达的可靠性模型 .....        | (437) |
| 10.4.3 雷达的可靠性预计和可靠性指标分配 .....  | (439) |
| 10.4.4 雷达的可靠性设计 .....          | (443) |
| 10.4.5 雷达的维修性设计 .....          | (447) |
| 参考文献 .....                     | (449) |

# 第 1 章

## 概 论





本章的目的,一是通过监视雷达的定义和历史回顾,使读者对监视雷达的发展、地位和作用有一个粗略的了解;二是对空域覆盖、测量精度、分辨率、数据率和频率等主要指标的定义进行讨论,为引出全书后面各章的详细论述作一些准备。

## 1.1 概述

监视雷达是应用最早,使用最广泛的雷达。对监视雷达发展的回顾,不仅是研究历史,从中还可以看出雷达的技术发展,并通过定义说明了监视雷达最基本的特征。本节对中国雷达发展 3 个阶段的划分,是作者的个人观点,仅供参考。

### 1.1.1 监视雷达的发展简史

雷达作为一种军事装备服务于人类,是 20 世纪 30 年代的事,距今已有 70 余年的历史,但对雷达原理的探讨和发现,还要追溯到 19 世纪末。1864 年,麦克斯韦提出电磁场理论,并预见到电磁波的存在;1887 年,赫兹通过实验证实了麦克斯韦的预言;1903 年,赫尔斯迈耶探测到了从船上反射回来的电磁波;1922 年,马可尼在实验的基础上第一次较为完整地描述了雷达的工作原理;1925 年,美国霍普金斯大学的伯瑞特和杜威第一次在阴极射线管的荧光屏上观测到了从电离层反射回来的短波窄脉冲回波;1930 年,美国海军研究实验室的汉兰德采用连续波雷达探测到了飞机;1935 年,英国人用一部 12MHz 的雷达探测到了 60km 外的轰炸机。

雷达在经历了早期的探索研究之后,在第二次世界大战中正式投入使用。1937 年,英国在英伦岛东南部正式部署了由 60 部雷达组成的“本土链”作战雷达网,频率为 22MHz~28MHz,对飞机的探测距离大于 250km,有效地阻止了德国的进攻。英国的本土链雷达如图 1.1 所示。

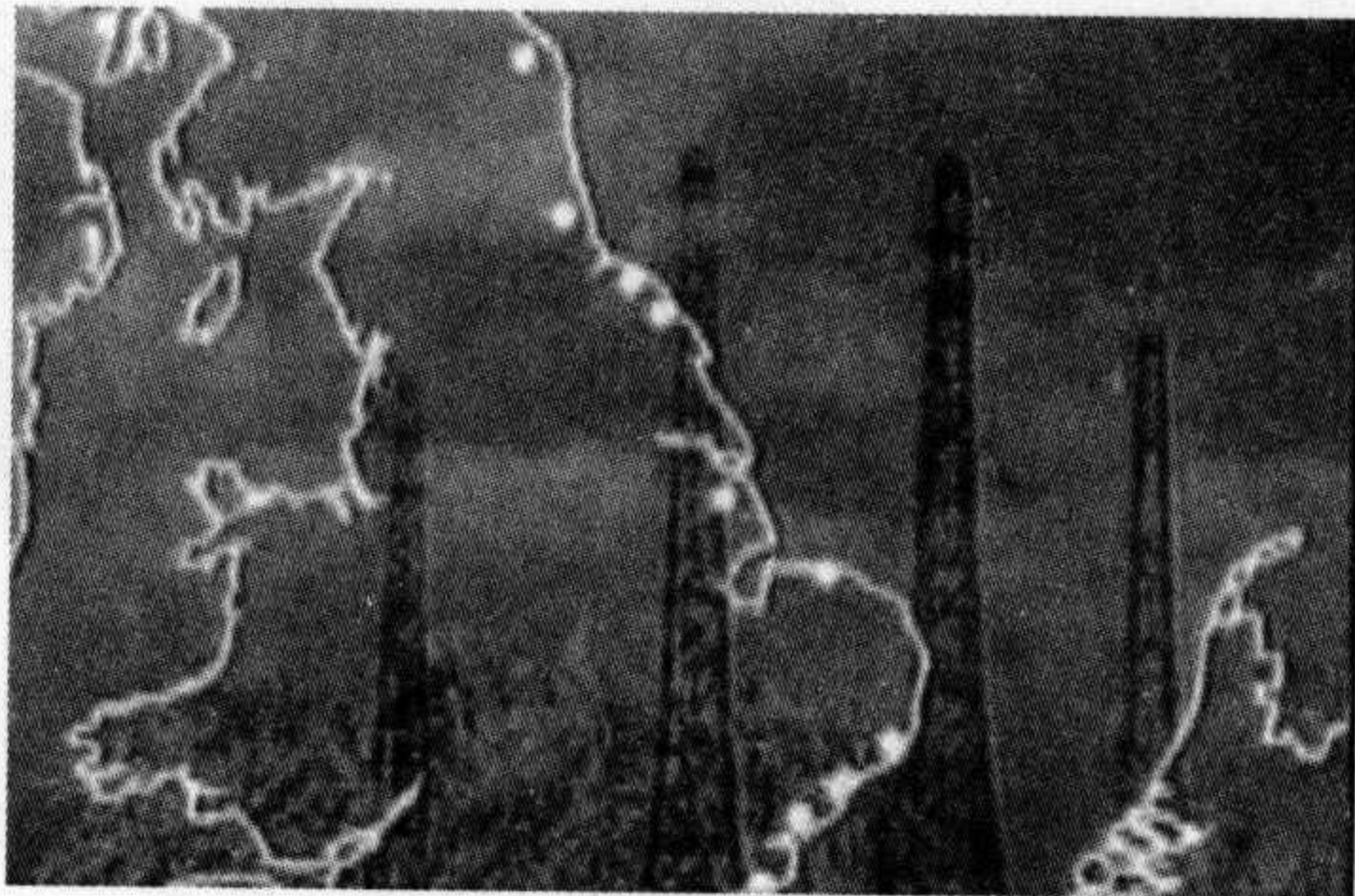


图 1.1 英国的本土链雷达



1938年,美国信号公司研制了第一部防空火控雷达 SCR-268;1941年,美国生产和部署了近100部 SCR-270/ SCR-271 米波警戒雷达;1943年,在大功率磁控管研制成功后,微波雷达正式问世。

雷达从一开始投入实战使用,就充分显示出它的强大生命力,就像第二次世界大战期间人们把雷达誉为“第二次世界大战的天之骄子”一样形象和生动。

第二次世界大战后,各种喷气式作战飞机的发展和电子干扰机的使用,使得人们对监视雷达的要求越来越高,雷达的各项战技指标都有了大幅度的提高,使用的范围也更加广泛。监视雷达发展到现在,已不仅仅是解决目标的发现和定位问题,还可获得目标的速度、加速度和极化特性,能对目标进行一些识别;它还可以进行火力控制、战场侦察、打击效果评估和引导歼击机作战,雷达已成为现代战争必不可少的、重要的信息化兵器。在民用方面,监视雷达对海上航行、空中交通管制、公路交通管制、资源探测、深空探测、气象预报、环境监测及水灾、虫灾和森林火灾的探测等,都具有十分重要的作用。雷达在军用和民用方面具有的这些重要作用,受到了世界各国的高度重视。

### 1.1.2 中国监视雷达的发展

1949年新中国的建立,迎来了中国雷达发展的鼎盛时期。中国的雷达工业是从1950年建立第一个雷达工厂开始的。先是进行雷达仿制,仿制的同时也开展了自行研制工作。在历届政府的高度重视和几代科技人员的不懈努力下,历经了五十几年的风风雨雨,中国的雷达工业从无到有,从小到大,从弱到强,已形成一个较为完整的科研生产体系,雷达技术取得了长足的进步,许多领域已赶上和接近国际先进水平,中国的监视雷达已开始步入世界先进行列。在国际市场上,中国监视雷达的质量和价格都有一定的竞争力。

早期监视雷达由界限明显的天线、发射机、接收机和显示器四大部分组成,用一个简单的收发开关连接发射机和接收机,如图1.2所示。早期的监视雷达大都是米波警戒雷达,天线在方位上作 $360^\circ$ 机械旋转,仰角上只有一个大波束,接收机和发射机全部采用电子管,虽然可以发现远在几百千米的飞机,但低空性能很差,近距离目标在一片地物杂波干扰之中,难以被发现,测量精度也很差,只有千米量级。

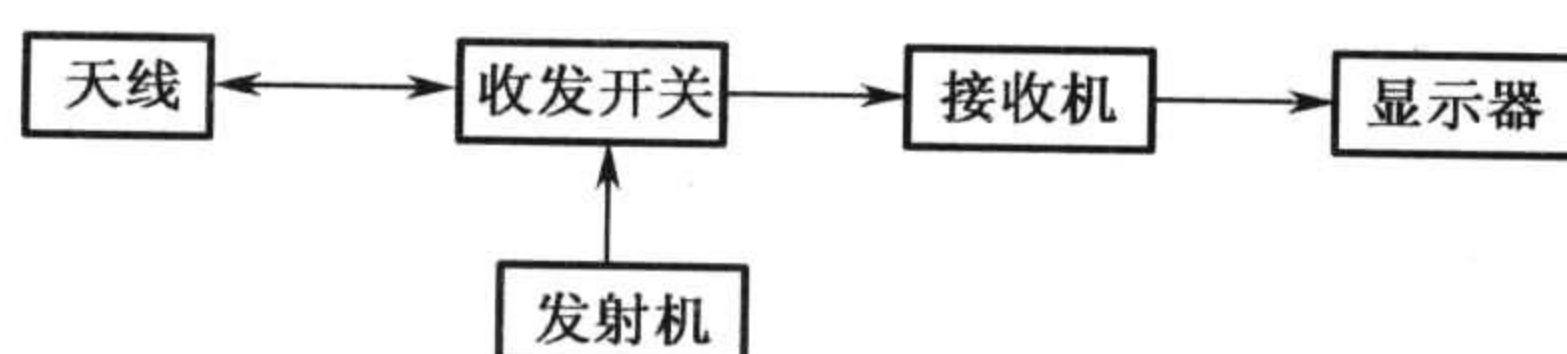


图 1.2 典型的早期雷达



中国的雷达发展大致上可分为 3 个时期,从 20 世纪 50 年代的 406 警戒雷达开始到 70 年代中是第一个发展时期,这是一个打基础和全面掌握雷达技术的时期。这个时期以模拟电路为主,开始了全相参雷达体制的研究,雷达电路和设备十分复杂。监视雷达的主要技术方向是致力于扩展频段,从米波扩展到分米波、厘米波和毫米波;改善在地杂波中的检测性能,研制了各种模拟的延时线,用于雷达的动目标显示(MTI)和脉冲压缩;尽量提高功率孔径积来提高雷达的作用距离。雷达的性能在后期有了很大的提高。

20 世纪 50 年代,中国最早自行研制成功的有两种监视雷达,一种是 1955 年研制成功的米波警戒雷达 406,另一种是 1956 年研制成功的微波警戒雷达 402<sup>[1]</sup>,如图 1.3 所示。它们的原理图和图 1.2 一样,都是采用电子管,没有反杂波对消电路。

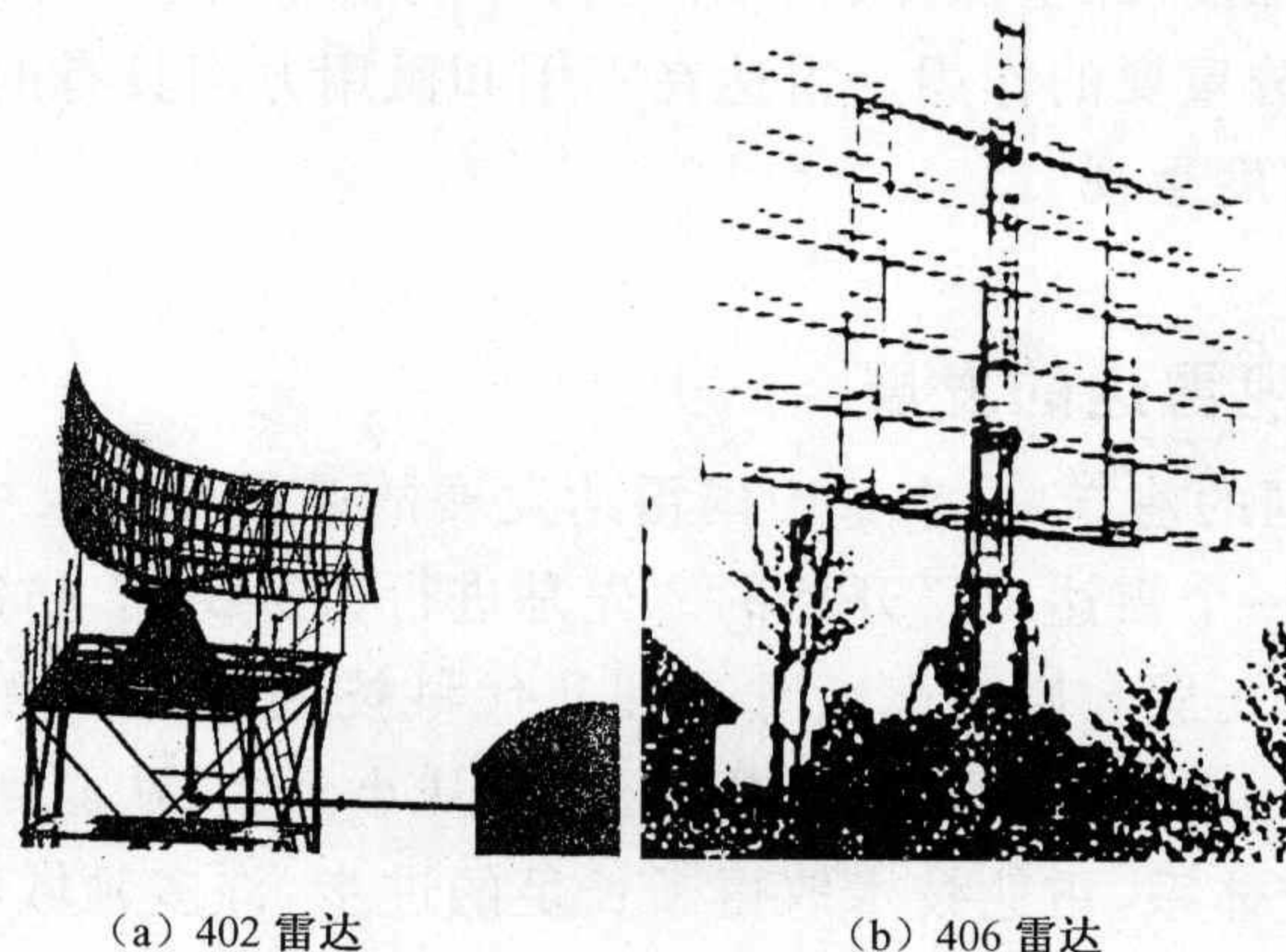


图 1.3 20 世纪 50 年代的雷达

20 世纪 60 年代初,中国又研制成功了典型的远程警戒雷达 408,如图 1.4 所示。该雷达用镍延时线作 MTI 的二次对消器,用背对背的抛物柱面天线来提高数据率,两个天线用 1.5 倍的频差来补偿地面反射形成的盲区,其作用距离超过了 300km,有一定的反杂波能力,是当时较先进的警戒雷达。60 年代中国也开始对三坐标监视雷达的研制,该雷达工作于 S 波段,采用全新的脉内频率扫描体制和慢波馈源照射抛物柱面反射体,实现了仰角频率扫描三坐标监视雷达,选用宽带多腔大功率速调管作全相参功率放大链,用熔石英延时线作 MTI 对消器,以及用硅晶体管计算机进行数据处理。



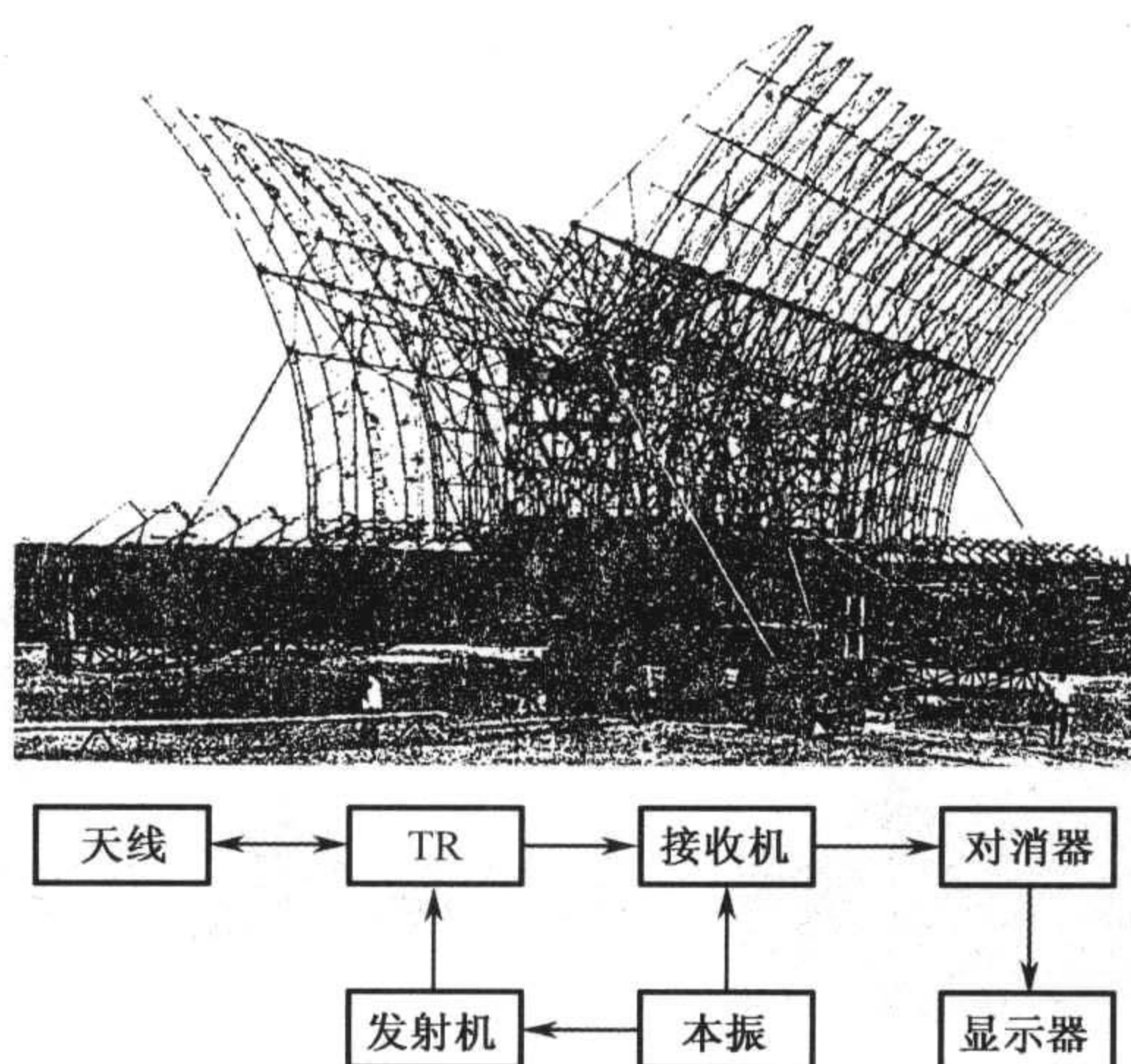


图 1.4 408 远程警戒雷达

随着改革开放和中国工业基础的提高,20 世纪 70 年代后期开始,中国迎来了雷达发展的第二个时期。这是一个追赶世界先进水平和掌握各种新体制雷达技术的时期。这个时期的监视雷达典型组成结构如图 1.5 所示,它们大都采用了数字电路和计算机技术,并尽力引入了数字处理技术,因而全面提升了雷达性能。它的主要技术方向是致力于提高抗干扰能力和雷达的可靠性,不断开拓全相参技术、相控阵、固态发射机、低副瓣天线、先进的数字信号处理和数据处理等新应用的领域。各种新型体制的三坐标雷达、低空雷达、警戒雷达和航管雷达都得到了蓬勃快速的发展。监视雷达的性能、可靠性、维修性和可用性都有了质的跃升。

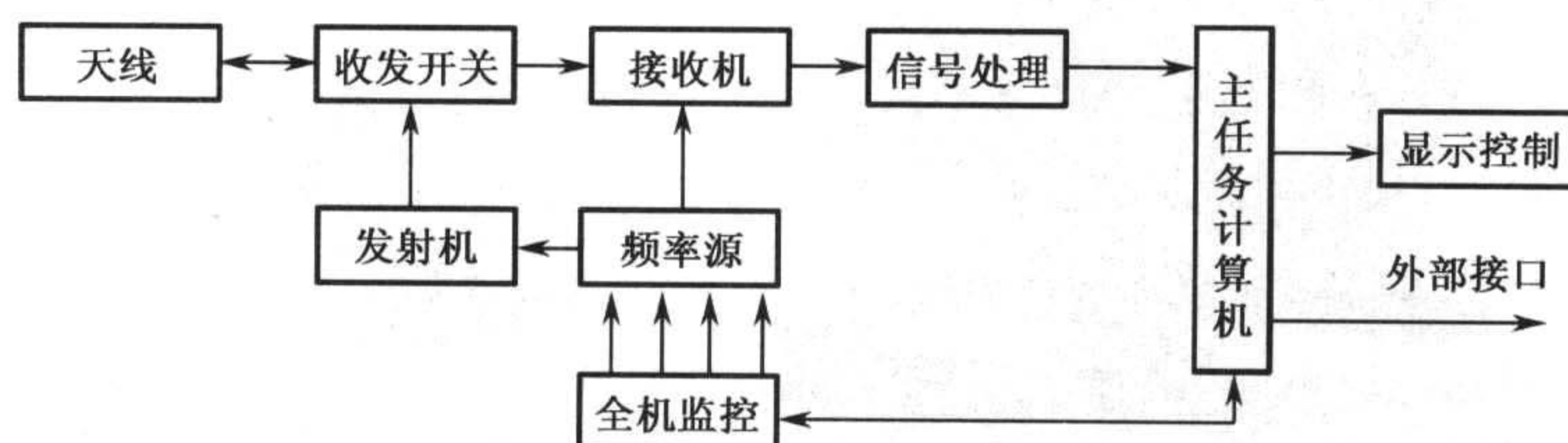


图 1.5 20 世纪 80 年代的监视雷达典型组成结构

20 世纪 80 年代初,中国研制成功了第一部实用的机动三坐标雷达 JY8,如图 1.6(a)所示。JY8 雷达也是中国第一部实现了数字化和计算机控制的自动化雷达系统,工作于 C 波段,采用多波束和频率分集体制,使用了同轴磁控管发射机,中规模集成电路的二次对消器,以及恒虚警杂波图的自动检测设备和 DJS130



计算机。在此基础上又研制成功了新型的可移动式中远程三坐标雷达 JY14,它采用堆积多波束的全相参体制、宽带多腔速调管发射机、脉冲压缩,以及频率分集技术,具有频带宽、自适应频率捷变、低副瓣、恒虚警、自动侦察干扰分析等技术,全面提高了雷达系统的抗干扰能力,如图 1.6(b)所示。

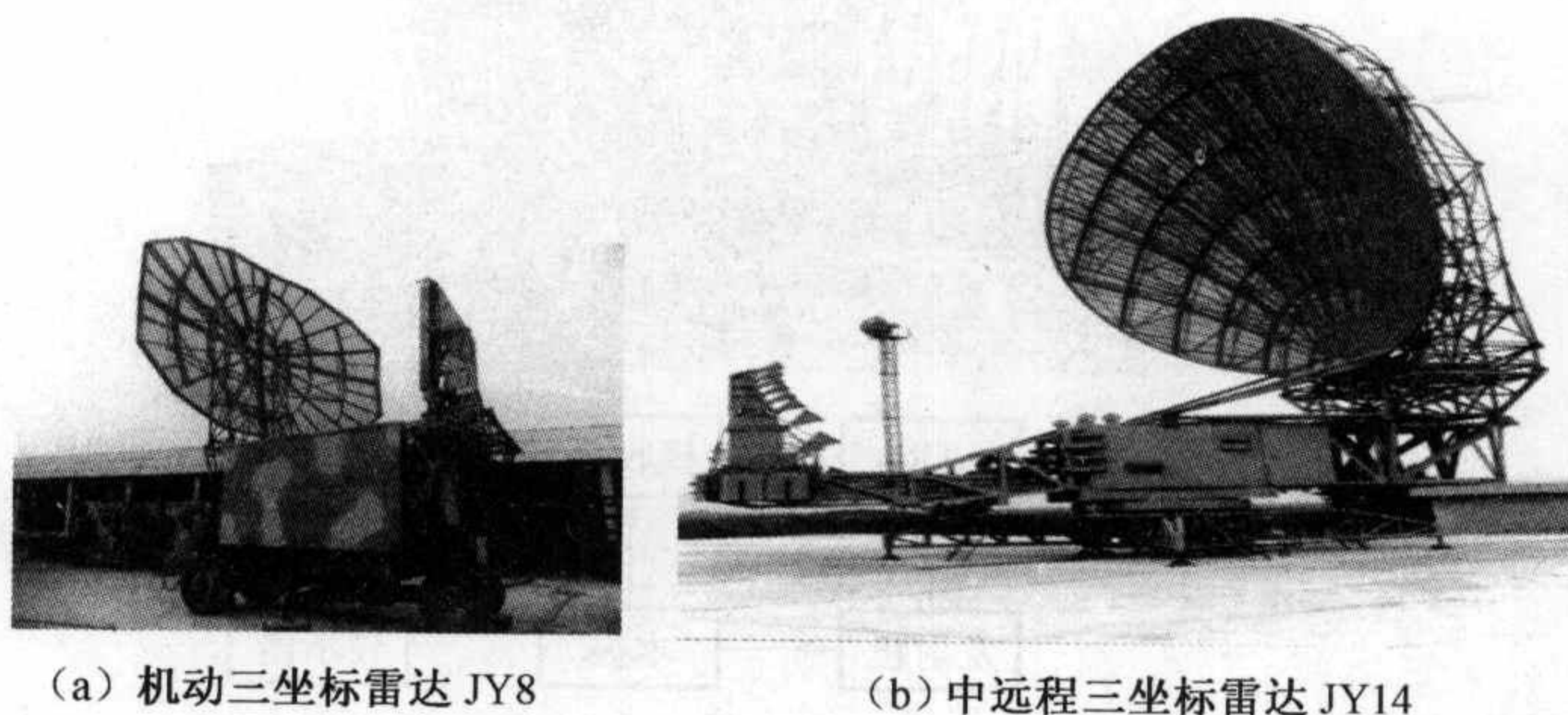


图 1.6 多波束三坐标雷达

图 1.7(a)所示为这期间研制成功的先进远程警戒雷达 YLC-4,该雷达选用了 UHF 频段,因而得到较大的功率孔径积,同时采用全固态发射机和低副瓣天线。图 1.7(b)所示的 JY9 是一部设计较好的低空雷达,它兼顾了 10 000m 的中空目标,其赋形天线反射面的副瓣低于 30dB,具有多种架设形式,且采用 TWT(行波管)加 CFA(前向波管)放大链发射机,改善因子优于 45dB,在国际市场上有较好的声誉。

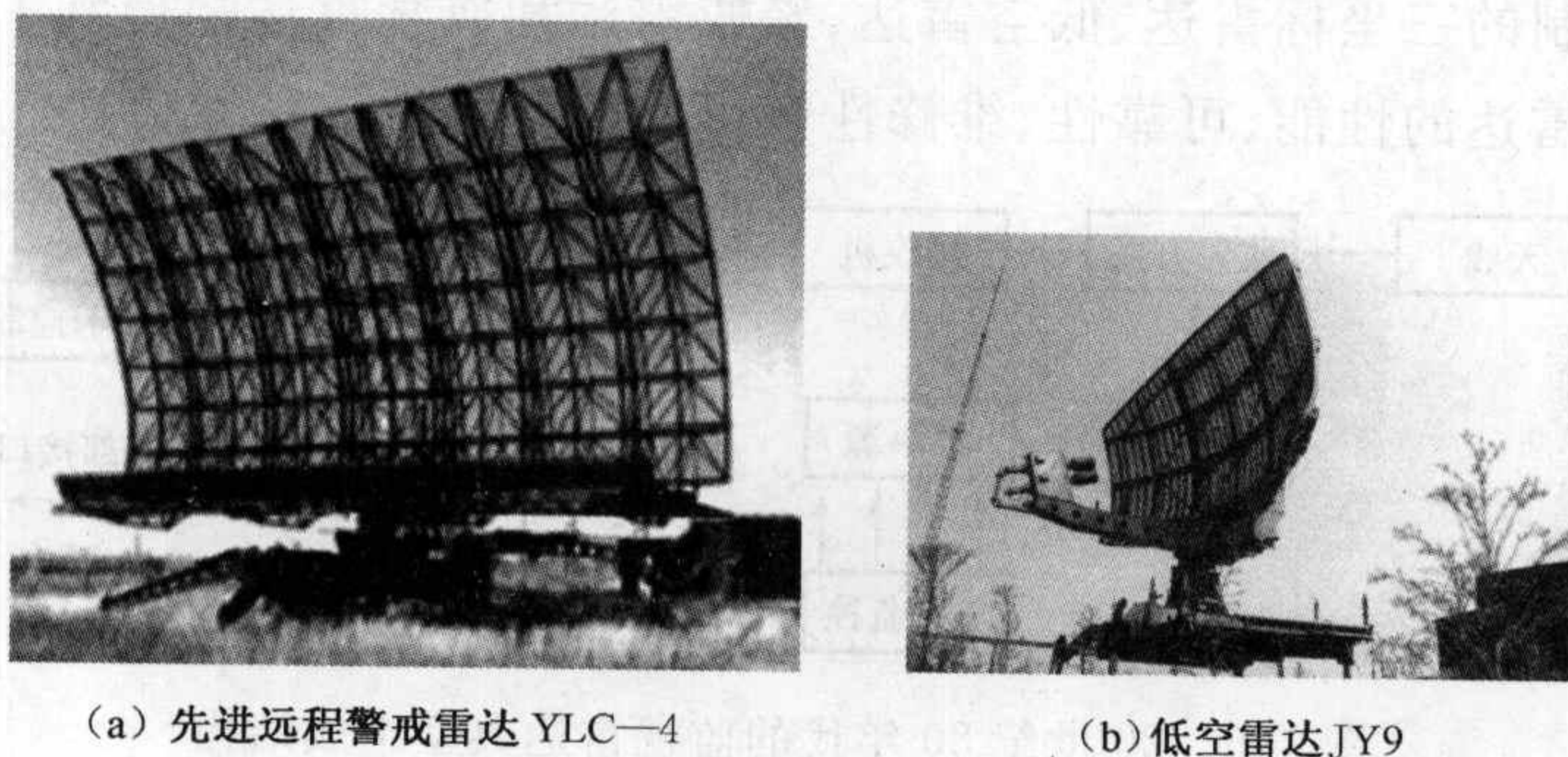


图 1.7 远程警戒和低空雷达

图 1.8(a)所示为 L 波段全固态相控阵三坐标雷达 YLC-6,其天线采用一维相控阵平面阵列形式,由 16 排线阵组成,每排与一个全固态 T/R 组件连接,数字移相器控制天线波束在仰角上扫描,具有灵活的工作模式和较高的可靠性。