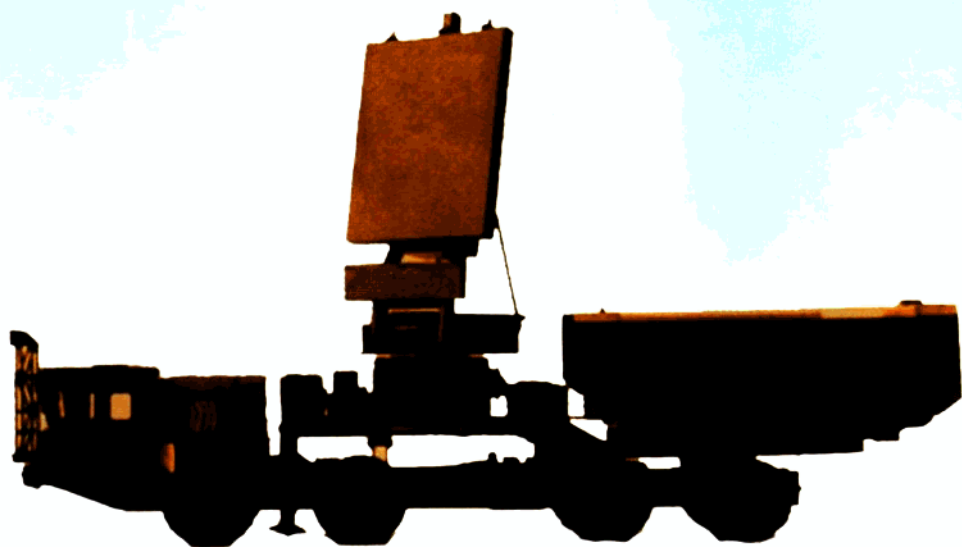


国外雷达装备 技术与发展

编著 李 侠 万山虎
主审 郭锡林



国防大学出版社

国外雷达装备技术与发展

主 编 李 侠 万山虎

主 审 郭锡林

国防大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

国外雷达装备技术与发展/李侠主编. —北京:国防
大学出版社. 2002. 9

ISBN 7-5626-1208-0

I. 国... II. 李... III. 雷达-工程技术-研究

IV. TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056997 号

国防大学出版社出版发行

(北京海淀区红山口甲 3 号)

邮编:100091 电话:(010)66769235

印刷厂印刷 新华书店经销

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:12.75

字数:326 千字 印数:2000 册

定价:25.00 元

前 言

目前，一场以信息技术为核心的新的军事技术革命正在世界各国展开，其中用于对空中、空间目标进行监视、捕获、跟踪的雷达预警探测系统，是各国竞相发展的重点之一，并已成为新世纪衡量一个国家综合国力、特别是国防军事技术实力的重要标志。及时跟上现代雷达装备技术的发展步伐，了解国际上雷达装备发展动态，是一件具有现实意义的工作，也是摆在我们面前的一项急待完成的任务。为此，经过几年的努力，我们编写了这本专业书。

本书共分六章。第一章为绪论，简要介绍了雷达技术五十年发展史、雷达装备在现代战争中的作用。第二章介绍了雷达的基本任务、基本组成以及主要战术、技术性能指标。第三章讨论了军用雷达的效能。第四章重点从六个方面讨论了军用雷达面临的威胁及其主要技术对策。第五章介绍了国外近二十年来的雷达技术体制发展情况。第六章重点讨论了现代雷达的主要关键技术及新型器件的发展与应用。

本书由李侠、万山虎编写，郭锡林教授主审。花良发、苏海军等同志协作处理许多校印工作。

本书在编写中参考和查阅了国内外有关文献资料，力求全面系统地介绍国外雷达装备技术发展动态。由于水平和掌握的资料有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

二〇〇二年三月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 雷达原理的发现	1
1.2 雷达发展史回顾	2
1.2.1 早期雷达装置的问世	2
1.2.2 二战中的雷达	2
1.2.3 战后雷达的发展	3
1.3 雷达在现代战争中的作用	5
第二章 雷达基本任务及组成	12
2.1 雷达的基本任务	12
2.1.1 发现目标	12
2.1.2 测定目标位置	17
2.2 雷达的基本组成	25
2.2.1 非相参体制脉冲雷达	25
2.2.2 相参体制脉冲雷达	27
第三章 军用雷达效能指标	28
3.1 雷达装备效能指标体系	28
3.2 探测能力	29
3.2.1 探测空域	29
3.2.2 数据率	31
3.2.3 探测能力综合量度	31
3.3 目标定位能力	32
3.3.1 测量精度	32
3.3.2 分辨力	33
3.3.4 目标定位能力综合量度	34
3.4 ECCM 能力	34
3.4.1 基本抗干扰能力	34
3.4.2 附加因子	35
3.4.3 ECCM 综合能力量度	36
3.5 隐蔽性能	36
3.5.1 隐蔽性能	36
3.5.2 机动性能	38
3.5.3 抗摧毁性能	38
3.5.4 雷达装备生存能力综合度量	41
3.5.5 雷达网生存能力	42
3.6 雷达网信息传输及处理能力	44

3.6.1	信息传输能力	45
3.6.2	信息处理能力	48
3.6.3	信息传输及处理能力综合评估	49
3.7	目标识别能力	49
3.8	系统有用度	49
3.8.1	系统可靠性及维修性	50
3.8.2	系统可用度及完好率	50
3.8.3	系统保障性	51
第四章	军用雷达面临的威胁及其对策	56
4.1	电子侦察对雷达的威胁及雷达的对策	56
4.1.1	雷达侦察	56
4.1.2	雷达反侦察	59
4.2	电子干扰对雷达的威胁及雷达的对策	60
4.2.1	雷达干扰	60
4.2.2	雷达反干扰	66
4.3	反辐射导弹对雷达的威胁及雷达的对策	69
4.3.1	反辐射导弹	69
4.3.2	反辐射无人机	72
4.3.3	雷达对抗 ARM 及反辐射飞机的主要措施	72
4.4	目标隐身技术对雷达的威胁及雷达的对策	75
4.4.1	雷达目标隐身技术	75
4.4.2	雷达反隐身技术途径与措施	84
4.5	低空与超低空目标对雷达的威胁及雷达的对策	86
4.5.1	低空与超低空目标对雷达的威胁	86
4.5.2	对抗低空飞行目标的技术途径	87
4.6	高能微波武器对雷达的威胁	89
4.6.1	HPM 的破坏性及作用机理	90
4.6.2	微波武器的关键器件——微波功率源	
4.6.3	HPM 发展展望	92
第五章	国外雷达装备发展动态	95
5.1	两坐标雷达	95
5.1.1	两坐标雷达发展现状	95
5.1.2	两坐标雷达发展趋势	97
5.2	三坐标雷达	99
5.2.1	三坐标雷达发展现状	99
5.2.2	三坐标雷达发展趋势	101
5.3	相控阵雷达	106
5.3.1	相控阵雷达的组成及特点	106
5.3.2	相控阵雷达发展现状	107
5.3.3	相控阵雷达发展趋势	110

5.4	空中预警雷达	113
5.4.1	空中预警机的作用	113
5.4.2	空中预警雷达发展现状	115
5.4.3	空中预警雷达发展趋势	120
5.5	超视距雷达	121
5.5.1	超视距雷达的基本概念	121
5.5.2	超视距雷达发展现状	123
5.5.3	超视距雷达发展趋势	126
5.6	成像雷达	127
5.6.1	雷达成像识别技术	127
5.6.2	成像雷达发展现状	131
5.6.3	成像雷达发展趋势	134
5.7	战场侦察及监视雷达	135
5.7.1	空地一体战对战场侦察与监视的要求	135
5.7.2	战场侦察与监视雷达的功能及性能	136
5.7.3	战场侦察与监视雷达发展现状及趋势	138
5.8	雷达群组网探测系统	143
5.8.1	雷达群组网概念与类型	143
5.8.2	雷达群组网的优势及与相关技术的关系	144
5.8.3	雷达组网的应用及发展趋势	146
第六章	现代雷达的主要关键技术及新器件的应用	150
6.1	现代雷达的主要关键技术	150
6.1.1	动目标检测(MTD)技术	150
6.1.2	脉冲多卜勒(PD)技术	150
6.1.3	频率/极化捷变技术	151
6.1.4	脉冲压缩技术	152
6.1.5	超低副瓣与宽带天线技术	152
6.1.6	自适应处理技术	153
6.1.7	目标识别技术	153
6.1.8	毫米波雷达技术	154
6.1.9	数字技术和信号处理技术	155
6.1.10	微电子组装技术	155
6.2	现代雷达采用的新型器件	156
6.2.1	单片微波集成电路(MMIC)与混合微波集成电路(HMIC)	156
6.2.2	固态微波功率器件	157
6.2.3	高功率、高可靠、高效率电真空器件	158
6.2.4	砷化镓高电子迁移率晶体管(HEMT)	159
6.2.5	超高速集成电路(VHSIC)、超大规模集成电路 (VLIC)与专用集成电路(ASIC)	159
6.2.6	光纤与光电器件	160

6.2.7 微波铁氧体器件	161
6.2.8 声表面波器件(SAW)	162
附表 1 AN/TPS-70(V),AN/TPS-75,W-2000 雷达的主要性能	164
附表 2 HADR,HR-3000 雷达的主要性能	165
附表 3 S-713,S-723 雷达的主要性能	166
附表 4 AR-320,AR-325 雷达的主要性能	167
附表 5 TRS2230D/2215D,TRS22×× 雷达的主要性能	168
附表 6 RAT-31S,RAT-31SL 雷达的主要性能	169
附表 7 美国现役六种大型相控阵雷达性能比较表	170
附表 8 美国典型机载相控阵雷达性能表	174
附表 9 美国典型中小型相控阵雷达性能表	179
附表 10 其它国家的典型相控阵雷达性能表	182
附表 11 国外舰载相控阵雷达装备和研制现状	186
附表 12 国外主要现役和在研的空中预警机简表	190
附表 13 几种机载预警雷达特点	193
附表 14 国外天波后向散射短波超视距雷达主要战技性能表	194
主要参考文献	197

第一章 绪 论

“雷达”是英文“Radar”的译音，Radar一词是“Radio Detection and Ranging”（无线电探测与测距）的合头缩写词。此词是由美国海军军官福尔斯特和塔格尔共同提出的。

雷达自 1935 年问世之后，已经历了一段漫长的发展历史，已在军事斗争、民用事业和科学研究方面得到日益广泛的应用，其重要性越来越突出。因此，世界各国对雷达的研究、生产和使用都极为重视，不惜投入大量的人力、物力来发展雷达技术。美、苏、英、法、意等发达国家每年的雷达经费占年度国防总经费的比例在不断提高，80 年代初为 2~3%，80 年代末增加到 3~4%。美国雷达总经费占军事电子总经费的比例大约为 17% 左右，每年花在雷达上的经费，80 年代为 150 亿美元，90 年代增加到 200 亿美元。目前，世界各国已列装约 9000 多种，数万部多种用途的雷达，这些雷达是由全球近 30 个国家的 300 多家厂商制造的，其中约有 180 种是由中国 25 家厂所研制的。

1.1 雷达原理的发现

雷达作为一种装备服务于人类是本世纪 30 年代的事，至今已近 60 年。但雷达原理的发现和探讨，要追溯到上个世纪的末期。

1864 年麦克斯韦提出了电磁理论，预见了电磁波的存在。1886 年赫芝成功地进行了用人工方法产生电磁波的实验，从而证明了“无线电”的存在，验证了电磁波的发生、接收和散射。1897 年俄国波波夫在波罗的海上两艘军舰之间试验无线电通信时发现，如果有其它船只从中间通过，无线电波就被挡住了，通信中断。于是他断言：无线电可用于探测海上目标。1903 年德国人威尔斯梅耶探测到了从船上反射回来的电磁波，由此申请了一项采用无线电波定向原理的防撞设备专利。到 1922 年，马可尼在无线电工程师学会（IRE）即后来的电气与电子工程师学会（IEEE）发表演说，主张用短波无线电来探测物体。他说：“电磁波是能够为导体所反射的，可以在船舶上设置一种装置，向任何所需要的方向发射电磁波，若碰到金属物体，就会反射到发射电磁波的船上，为一个与发射机相隔离的接收机所接收，以此表明另一船舶是存在的，并进而可以确定其具体位置。”这是最早比较完整地描述雷达概念的语句。同年，美国海军实验室（NRL）的 A. H. 泰勒和 L. C. 杨用一部波长为 5m 的连续波试验装置探测到一只木船，由于在当时没有有效的隔离方法，只能把收发机分置，这实际上是一种双基地雷达原型。当时的人们绝不会想到，事过 60 年后，这种收发分置的双基地雷达又重新为人们所重视，用以摆脱雷达在电子战环境中的困境。1924 年英国的爱德华·阿普尔顿与 M. A. 巴克斯特为了探测大气层的高度而设计了一种阴极射线管。到 1925 年，美国霍普金斯大学的 G. 伯瑞特和 M. 杜威第一次在阴极射线管的荧屏上观测到了从电离层反射回来的短波窄脉冲回波。

1.2 雷达发展史回顾

雷达技术的发展，一是受军事斗争和民用事业要求的牵引，二是受基础技术和器材的进步支持。从雷达的发展历史可以看出，一项重大的技术，从概念的产生到研制出实用成果，往往需要十年以上的周期。也就是说，每隔十年左右雷达性能往往会出现质的飞跃。

经过多次发展，现代雷达已成为一种体制多样，技术先进，结构复杂、用途广泛的大家族，已成为由计算机控制的综合信息处理大系统中的一个十分重要的组成部分，涉及到了多种学科理论的综合应用。

1.2.1 早期雷达装置的问世

进入 30 年代，许多国家开始进行探测飞机和舰船的脉冲雷达的研究工作。1930 年美国海军研究实验室的海兰德采用连续波探测到飞机，引起美国海军工程局的重视，随即制定了“用无线电探测敌机、敌舰”的研究计划。1934 年美国海军实验室的 R. M. 佩奇第一次拍下了从 1.6km 外一架单座飞机反射回来的电磁脉冲的照片。1935 英国人用一部 12MHz 的雷达探测到 60km 外的轰炸机。1937 年初，英国正式部署了作战雷达网（本土链，chain home radar system）。1938 年美国信号公司（Signal corp.）制造了第一部 SCR-268 防空火力控制雷达（工作频率 205MHz，探测距离 180km，共生产 3000 多部）。1938 年，美国无线电公司（RCA）研制出第一部实用的 XAF 舰载雷达，其对海面舰船的探测距离为 20km，对飞机的探测距离为 160km。1939 年，英国在飞机上装上了第一部 200MHz 的雷达，用来搜索入侵飞机，这是世界上第一部机载预警雷达。

在 30 年代，英国在研制厘米波功率发生器件方面居于领先地位，研制出了 3000MHz，1kw 功率的磁控管。高功率厘米波器件的出现，大大促进了雷达技术的发展。

1.2.2 二战中的雷达

二次大战中，由于雷达技术在军事上的特殊用途，或者说由于各国均看到了雷达具有的全天候“千里眼”的独到之处，交战双方都集中巨大的人力、物力和财力来发展雷达技术。到了战争末期，雷达已在海陆空三军中得到广泛应用，被誉为“二次大战的天之骄子”。当时的雷达不仅能在各种复杂条件下，发现数百公里外的入侵飞机和舰队，而且还能较精确测出它们的位置。这时的雷达已进入控制领域，火炮射击和飞机轰炸都要借助雷达进行瞄准控制。曾有人统计过，在二战初期，高炮击落一架飞机要消耗 5000 发炮弹，到二战末期，尽管飞机性能已大为提高，但用雷达控制高射炮进行射击，击落一架飞机平均只需 50 发炮弹，命中率提高了 100 倍。

二战中空用和海用雷达大多工作在超高频或更低的频段。海军的雷达工作在 200MHz 频段上，第一批服役的雷达是由海军实验室设计，RCA 公司生产的 XAF 和 CXAM 搜索雷达，以后又生产了包括 SA、SK 和 SR 等系列的大量雷达。到战争后期，工作在 400、600 和 1200MHz 的雷达亦投入使用。

在高功率磁控管研制成功并投入生产后，第一部微波雷达（SCR-584 防空火控雷达）于 1943 年问世。

到二战末期,大功率磁控管的成功应用,使远程警戒雷达($R_{\max}$ 可达 400km)投入了实用。双曲抛物面天线的应用,保证了雷达具有大的搜索空域。收发开关(TR)器件的研制成功,使收发分置的双基地体制过渡为单基地(收发一体)体制。

1.2.3 战后雷达的发展

二战期间,在对海、对空警戒,以及炮瞄和引导拦截敌机等军事需求的牵引下,雷达技术得到了飞跃发展,使战后雷达在应用方面以十分惊人的速度扩展,而且在民用和科研方面也获得了广泛应用。

一、40~50 年代的雷达

在这个期间,军用防空对雷达的需求已不仅仅满足于对海、空目标的一般探测,而是要求雷达能实现对目标三维数据(距离、方位、仰角)的精确探测。卫星和远程弹道导弹的测量和制导要求雷达能实现远距离的精密测量和连续跟踪。各种天文观测和气象观测也对雷达提出了特定的需求。在各种需求的牵引下,人们在雷达体制、技术及大功率发射管等方面进行了广泛的研究。

40 年代雷达的工作频段由 HF、VHF 发展到微波波段,直到 K 波段。到 50 年代末,为了有效地探测卫星和远程弹道导弹需要研制超远程雷达,较低的 VHF 和 UHF 波段又受到人们的重视,因为在这些波段上可获得兆瓦级的发射平均功率和线尺寸可达百米以上的大型天线。

40 年代发展起来的单脉冲雷达体制到 50 年代已得到了成功的工程应用,其代表产品是 AN/FPS-16 跟踪雷达,这种单脉冲体制精密测量雷达的角跟踪精度达 10^{-4}rad ,即使从今天来看,这样的精度也是相当高的。

为了解决探测距离远与测距精度高之间存在的矛盾,脉冲压缩体制也在 40 年代提出了,但直到 50 年代才得到工程上的初步应用。最早的第一部高功率脉冲压缩体制雷达采用相位编码调制(PSK),把一个长脉冲分成 200 个子脉冲,对各子脉冲进行二相随机调制。

为了实现空中地图测量,合成孔径雷达体制提出来了,美国研制的第一部机载侧视雷达(SLAR)利用相对较小的侧视天线,实现了地面条状地图的无线电测绘。

另外,机载气象回避雷达和地面气象观测雷达也问世于这一时期。机载脉冲多卜勒体制雷达是 50 年代初提出构思,50 年代末成功应用于“波马克”空空导弹的下视下射制导雷达的。

在这个期间,大功率速调管放大器开始应用于雷达,其发射功率比磁控管大两个数量级。

50 年代,用于观测月亮、极光、流星和金星的大型雷达站已开始投入使用,从而为人类进行外层空间的探索提供了有力的技术支持。

二、60 年代的雷达

60 年代的雷达技术是以第一部电扫相控阵天线和后期开始的数字处理技术为标志的。

到了 60 年末,雷达已从只能探测目标存在与否,发展到能精确测定目标空间位置;只能在无杂波环境中发现目标,发展到可在较严重的自然杂波和人为干扰环境中发现目标,杂波中能见度 SCV(Subclutter visibility)可达 20~30dB;而且雷达成像已可得到接近光学摄影水平的高分辨率地图(SLAR)。

第一部实用的电扫雷达是频扫式的,应用最广泛的是 AN/SPS-48 频扫三坐标雷达。

它是方位上机械扫描与仰角上电子程序扫描相结合的，仰角上提供大约 45° 的覆盖。相继投入运转的美国海军 AN/SPS-33 防空相控阵雷达工作于 S 波段，方位波束的电扫描用铁氧体移相器控制，俯仰波束用频扫实现。服务于美国空军的 AN/FPS-85 雷达的天线波束在两个角坐标上的扫描，都是由 7 位二级管移相器控制的，这是正式用于探测和跟踪空间物体的第一部大型相控阵雷达。

60 年代后期，数字技术的发展使雷达信号处理发生了一场革命，并一直延续到现在。到今天，除了某些模拟式脉冲压缩器件之外，几乎所有的信号处理和数据处理都是数字式的。

对动目标显示技术进行改进，使其作为机载动目标显示雷达用于飞机上，是 1964 年在海军的 E-2A 机载预警雷达上实现的。机载动目标显示雷达所以能成功，主要是由于它采用了偏置相位中心天线 (DPCA) 和机载时间平均杂波相干雷达 (TACCAR) 来实现运动补偿。第一次试图研制机载动目标显示雷达是在第二次世界大战期间，不过，实现用一部装在运动平台上的雷达可靠地探测在水面上空飞行的飞机，几乎花了 20 年时间。把机载动目标显示雷达技术扩展到陆地上，几乎又耗掉 10 年时间，因为陆地的杂波比海面的杂波要强得多。

在 60 年代，美国海军研究实验室研制的探测距离在 900~4000km 以上的“麦德雷”高频超视距雷达，首先证明了超视距雷达的能力，其中包括探测飞机、弹道导弹和舰艇的能力，以及确定海面状况和大洋上空风情的能力。

用电子干扰装置来对付敌方干扰的措施也是起始于 60 年代，最典型的例子就是美国陆军的“奈基 II 型”对空武器系统所用的雷达。这个系统包括一部 L 波段对空监视雷达，它利用一个大型天线，在很宽的频带内具有高的平均功率，有战时使用的保留频率，并有相参旁瓣对消器，此外，这部雷达还与一部 S 波段点头式测高雷达、S 波段截获雷达，X 波段跟踪雷达和 Ku 波段测距雷达一起工作，使电子干扰更加困难。

三、70 年代的雷达

50 年代末突破、60 年代大力发展的几种主要的相参体制雷达，例如合成孔径雷达、相控阵雷达、脉冲多卜勒雷达等，在 70 年代又有新的发展。合成孔径雷达的计算机成像是 70 年代中期突破的。装在海洋卫星上的合成孔径雷达已经获得分辨率为 $25 \times 25\text{m}$ 的雷达图像，计算机处理后，能提供大量的地理、地质和海洋状态的信息。在 1cm 波段，机载合成孔径雷达的分辨率已可达到约 1 平方英尺。在此期间，相控阵雷达和脉冲多卜勒雷达的发展都与数字计算机的高速发展密不可分。

50 年代在“赛其”系统中开始使用真空管的自动检测和跟踪设备，由于使用了固态的小型计算机而使尺寸缩小、能力增强。70 年代计算机技术的发展，使得每部雷达都可能有自己的自动检测和跟踪装置。

低噪声接收机前端是在 50 年代研制成功的，晶体管放大器前端成为 70 年代受人欢迎的技术。

由于引进了声表面波延迟线，可把脉冲压缩到几个毫微秒，在 70 年代，高分辨力脉冲压缩的实用性亦得到提高。

E-3 预警机的脉冲多卜勒雷达的研制成功，使机载监视雷达有了重大发展。机载脉冲多卜勒雷达的成功依靠的是天线有很低的旁瓣。美国西屋公司的超低旁瓣天线，使旁瓣下降 2 个数量级以上。

70 年代越南战争期间，雷达开发工作有一个有趣的副产品，就是用甚高频宽带雷达探测地下坑道。在民事应用中，这种雷达已用于探测地下管道和电线电缆等。

在空间应用中，70 年代将雷达应用于帮助“阿波罗”在月球上着陆，在卫星中用作高度计，测量地球及其表面的不平度。

70 年代投入运转的 AN/FPS-108 “丹麦眼镜蛇”雷达是一部典型的大型高分辨力相控阵雷达，它是用于观测和跟踪再入弹道导弹弹头的。此外，用于“鱼叉”和“战斧”系统中的巡航导弹雷达亦是这个时期出现的。

四、80 年代的雷达

随着雷达任务的多样化，尤其是军用雷达工作环境的明显恶化，以致对雷达性能提出了更高的要求。另外，空中几十批，甚至几百批目标的同时探测，使雷达要处理的信息量成倍增长，这也给雷达研制者提出了新的课题。

70 年代以来，数字集成器件、微波功放集成器件、模拟集成器件均得到了高速发展，计算机以及高速专用信号处理器件也得到了长足进步，从而有力地推动了现代信号处理理论的发展和在雷达中的广泛应用。通常意义上的现代雷达概念，就是指 70 年代末发展起来的雷达。到了 80 年代末，这些雷达系统具有的主要特征大致为系统的高度集成化、模块化；信号处理、数据加工、以及信息传递与综合的高度自动化；雷达工作模式、波形参数等管理的智能化；雷达系统故障、工作状态的自动检测和自动监控。

在 80 年代大型相控阵雷达中，包括美国陆军的“爱国者”、海军的“宙斯盾”和空军的 B-1B 系统，都已批量生产；L 波段和 L 波段以下的固态发射机开始用于一些雷达，如 AN/TPS-59、AN/FPS-117、“圆堡”雷达、“铺路爪”雷达（超高频固态发射/接收组件安装于每个阵元处）、中程雷达 AN/SPS-40、甚高频“空间监视”卫星监视系统（总平均功率为 1MW 量级）等。

1989 年底问世的美国“长曲棍球”（Laerosse）雷达成像侦察卫星能克服云雾雨季和夜暗条件的限制对地面成像，可实现全天候全天时侦察。雷达的几何分辨力达到 $1 \times 1\text{m}^2$ 水平。它能发现隐蔽的武器装备和识别假目标，甚至穿透干燥地表，发现隐散在地下的数米深处的设施。随着这 10 年后期超高速集成电路的引入，信号处理能力得以改善。

实际上，80 年代在许多学科的推动之下，雷达至少取得以下几个方面的重要成就：

1. 提高了对目标的分辨能力，并从一般的分辨功能（距离分辨、方向分辨和速度分辨等）发展到对离散小目标，诸如导弹弹头、碎片、铂条、鸟群、坦克群等的识别和分类，对分布大目标（大地、海洋）内涵信息的识别，从而把 70 年代的信息提取能力提高了许多。
2. 进一步提高杂波抑制、抗干扰、电子对抗和自适应能力。
3. 多基地雷达体制进一步发展，自动化雷达探测网开始建立。

1.3 雷达在现代战争中的作用

雷达的成长过程及其在特殊工作环境下的生成能力，充分表明了它能满足许多重大社会、经济和军事的需要，特别是在军事应用中，几乎所有的现代武器系统中都集成有雷达，用其作为获取目标信息的传感器或用作武器控制的有力手段。

随着空中、空间、地面武器的发展，武器系统本身就构成了一柄双面利剑，既威胁着敌

方，也被敌方所恐吓。当今世界上，人们仍认为雷达才是对入侵飞机、导弹、战场兵力部署进行探测报警的最佳手段，也是对那些整装待发的飞机、导弹、火炮等武器进行有效控制的方法，其精度可以满足各种军事行动的要求。以雷达为主要传感器单元的 C³I（或者 C⁴I）系统，在雷达的有力支持下，能快速准确地搜索和处理各种目标数据，预测各种威胁，判断最大威胁和选择最佳指挥作战方案，更好地发展整体作战的优势。

国外曾经对雷达在防空作战中的作用进行过定量统计分析，估计出雷达的成功应用，可使防空系统作战效率提高 30%，地空导弹命中率提高 100%，而“爱国者”导弹防空统计在多功能雷达和导弹制导雷达的作用下，成功地完成了战术导弹中末端的防御任务，拦截成功率达到 90%。

雷达在现代战争中的作用主要表现在以下几个方面。

一、雷达是防空系统中的主要探测手段

当今世界上建立了为数众多的对空情报雷达网。各国在雷达网的部署中，均注意从雷达装备的种类及性能、国家的政治、经济、军事及地理环境等诸因素进行综合考虑，提出了相应的布网原则，并且根据各种因素的变化情况注意不断调整和加强各自的雷达网。

最早的雷达网的形成，可以追溯到二战以前，由英国沿东海岸部署的 38 部雷达站和一千二百多个监视哨组成的对空情报勤务网。由于它们在二次大战保卫英伦三岛的防空作战中发挥了杰出的作用，从而被世人誉为“雷达赢得了战争的胜利”。

最早的环形防御体制是在 1943 年德国防空体系的变动中形成的。它将德国的大多数对空情报雷达站（34 个）和 90 个观察哨站，集中于保卫最重要的政治和经济要地。在柏林周围形成两个环形网。每个扇区设立一个情报收集中心，直接同航空兵指挥所联络。

这两种部署结构，基本上是二次大战后世界各国纷纷建立起来的雷达网雏型。

目前世界上的雷达网以美国 and 原苏联最具有特色。美国的部署原则基本是：要求提前发现，保障积极打击；严密立体防空，实施重点防卫；防空、防天结合，进行统一指挥。这些原则，比较恰当地体现了美国积极防御的防空、防天作战指导思想。基于此部署原则，美国雷达网的部署采用了线面结合型结构，它的防空任务由轰炸机预警系统负责。情况统一报到北美航空空间防御司令部。美国的防空情报雷达集中部署在两条“线”，一个“面”和东、西海岸预警机巡逻的两个“边”上。

远程预警线（北方预警系统），建在距美国北部边境 1600 公里，沿北纬 70°的线上。该线全长 9600 公里，配置 31 个雷达站，装备先进的新型雷达 52 部。雷达站综合配备高、中、低空监视雷达，能对时速 960 公里的飞机提供 3 小时的预警时间。

近程预警线（原松树线的更新），是监视北方的第二条线。该线沿北纬 49°线美加边界的加方境内部署，原来配置雷达 256 部，由于 1965 年 3 月关闭了沿北纬 55°线配置的中加线，其中一些雷达合并、补充到近程预警线上。经过更新后，目前在近程预警线上共有 24 个雷达站，配置各种用途的雷达约 100 部。

一个面指的是军民联合监视系统。它负责美国本土大陆地区的主要防空任务。该系统共有 85 个雷达站，其中美国本土的 47 个，阿拉斯加有 14 个，加拿大有 24 个。一般为一站三机配置，共有雷达 200 部左右。85 个站中，本土的有 11 个站为军用，36 个为联邦航空局和军方共用；阿拉斯加有 13 个军用，1 个民用；加拿大的 24 个站全部为军用。

在军民联合监视系统这个“面”里，还包括四部 AN/FPS-118 后向散射超视距雷达。分别设在东海岸的班戈国际机场和西海岸的山家、中南部的阿默斯特和阿拉斯加的埃门多尔

夫空军基地。这些超视距雷达，主要用来与空中预警机配合，实现提前发现和境外拦截空中目标；同时可与大型相控阵雷达协调，遂行战略预警任务。

空中预警机，主要负责美国本土两个边的防空巡逻和预警指挥任务。两个边共配置 E-3A 空中预警机 34 架。现已更新为 E-3B, E-3C 预警机。目前配备 E-3B 24 架，E-3C 10 架。它们在 9000 米高度飞行时，对高中空目标可探测、跟踪 600 公里，对低空目标可达 350 公里。

原苏联的防空雷达网部署结构与美国的大相径庭。原苏联基本是采用区域防空与要地防空相结合的体制，其雷达部署呈多层次、大纵深、交错密集配置。

原苏联强调环形部署原则，主张：1. 应保障防空兵力、兵器能够同任何方向来袭的空中敌人进行战斗。在环形防御中，主力应集中在最重要的方向上，保卫最重要的目标。2. 应能保障在远距离上发现和引导截击空中目标。3. 在重要方向上作纵深梯次配置。4. 应能保障各兵种和友邻国家防空力量之间保持可靠的、不间断的协同动作，并应保障在各种情况下进行不间断的指挥。

原苏联将整个国土划分为 11 个防空区，在此基础上分成两个预警层次：一是以莫斯科为中心的全国战略防空，二是前沿战区内的战略防空。它们的关系是，以莫斯科为中心，以包括莫斯科防区在内的原苏联内地五个防区为重点，同时带动前沿六个防空区的全国范围的防空、防天作战。

原苏联的预警系统也是由轰炸机预警系统和弹道导弹预警系统组成。其轰炸机预警系统，是世界上规模最大的雷达防空系统。它拥有各种防空雷达 7000 部，部署在 1200 个阵地上，形成覆盖原苏联地面与空中的星罗棋布的防空雷达网。7000 部雷达根据防御地区的轻重缓急交错配置，其中约有 5880 部部署在欧洲地区。若以欧洲部分 560 万平方公里计算，其部署密度大概每 952 平方公里就配置一部雷达。

在远东地区，对空情报雷达的部署密度也相当可观。仅从我国图门江至兴凯湖一线面对苏方 200 公里纵深内就部署有 130 多个警戒、引导雷达阵地，共装备各型雷达 400 余部，其部署密度平均每万平方公里达 50 多部。而兴凯湖以南至阿尔条姆一线是这一地区的最密集处，部署的雷达数量竟达 200 部，并且各种新技术体制雷达交错配置。

为提高雷达网的低空防御性能，弥补地面雷达探测低空目标能力的不足，原苏联从 60 年代末开始部署空中预警机。现装备图-126“苔藓”预警机和伊尔-76 预警机各 12 架，主要用于在西部沿海和北部方向陆基雷达探测距离之外担负巡逻和指挥任务。波罗的海、格拉海和北冰洋的巴伦支海一带，是它的重点巡逻警戒区。图-126 预警机性能相当美国的 E-2C，对高空目标探测距离为 620 公里，对低空巡航导弹的探测距离为 170 公里。伊尔-76 预警机性能接近于美国的 E-3A，具有较好的低空探测和指挥控制能力，1991 年底装备 20 架，将在原苏联周边建立 12 个巡逻区，用以担负预警、指挥任务。

其他一些国家（地区）的雷达部署，基本上采用美国或原苏联的防空雷达部署方式。例如，日本、台湾的防空雷达网基本上是由美国帮助建立的；越南基本采用原苏联的部署方式；印度雷达网部署既有原来英国殖民地的痕迹，又有原苏联防空雷达部署特点。西欧十几国中，要数英国和法国的对空情报雷达部署比较完善。下面仅就我周边的日本和台湾地区的对空情报雷达网部署情况作如下简要介绍，它们的共同特点是装备量不大，但技术先进，性能优良。

日本对空情报雷达共部署 28 个固定雷达站和 11 个机动雷达站，主要部署在日本岛的周

围, 分属 4 个防空区指挥控制。其雷达部署以面对苏联的北部防区为主, 共配置 9 个固定雷达站和 4 个机动雷达站, 占总数的 1/3。中部防区部署 11 个雷达站, 西部防区有 11 个, 西南防区有 5 个。以日本领土面积 37 万平方公里计, 其部署密度近 1 万平方公里设一个雷达站。日本在部署上的特点: 一是机动雷达站占有相当数量, 便于机动作战和提高雷达网的生存能力; 二是装备的雷达先进, 目前配备固定式和机动式雷达站的全部是三坐标相控阵雷达, 且具有自动入网能力; 三是注重立体防空, 目前已配备 E-2C 空中预警机 10 架, 还打算装备 1~2 部超视距雷达, 以建成高中低空、远中近程兼顾的立体防空网。

二、雷达是防天系统中的重要探测手段

在现代高技术战争年代, 大系统对抗的趋势令人瞩目。传统的单一兵种, 单一手段的局部对抗形式几乎消失, 而取而代之的是按照统一目的和计划, 将作战系统中所包含的各分系统有机组织起来所形成的全球大系统整体较量。在未来的军事对抗空间中, 除了陆、海、空、天四维一体化的“地理作战空间”外, 控制电磁频谱的“第五维空间”的作用越来越显得重要, 它必将成为其它四维空间的关键纽带, 争夺“制电权”可谓是争夺控制现代战争的“制高点”。大系统对抗思想在空中防御上的具体体现, 就是外层空间、弹道导弹中末端, 防空三合一的现代全球全空域防御观的形成, 而雷达在此防御大系统中又充当了十分重要的角色。

为了达到防空与防天相结合, 美国已建立了弹道导弹预警系统, 归北美航空空间防御司令部和空军航天司令部共同指挥控制, 所获空中情报汇总到北美航空空间防御司令部。弹道导弹预警系统的部署主要有三个部分。最北部有北方弹道导弹预警网, 由三个雷达站和两部大型相控阵雷达组成。三个雷达站分别设在阿拉斯加的克里尔, 格陵兰的图勒和英格兰的费林达尔, 配备远程警戒雷达 12 部; 两部大型相控阵雷达, 一部是“丹麦眼镜蛇”设在阿留申群岛的谢米亚岛, 另一部是“边境截获雷达目标特征测定系统”, 部署在北达科他州大福克斯空军基地。第二部分是设在本土的弹道导弹预警网, 它由 4 部 AN/FPS-115 大型相控阵雷达组成。分别部署在美国东海岸的奥蒂斯空军基地、西海岸加利福尼亚州的比尔空军基地、东南的罗宾斯空军基地和西南部的艾尔多拉多空军基地。该网的任务是探测潜射弹道导弹。第三部分是部署在印度洋、太平洋和大西洋上空的三颗地球同步轨道卫星。与以上地面预警系统构成立体的全球战略预警体系。

到 1983 年, 美国又企图实现所谓的“星球大战”, 即战略防御 SDI (Strategic Defence Initiative) 新概念, 其目的在于建立以新型雷达、计算机、通信的防御领先技术。其具体建设设想是建立一个由 HF 超视距后面散射 (OTH-B) 雷达, 13 部远程雷达, 39 部无人值守新型低空补盲雷达为主体的雷达网。为了对付隐身飞行器, 考虑采用 AN/FPS-118 “OTH-B” 检测入侵的巡航导弹, 并且用一种 1.2MW 的 DARPA 宽孔径雷达设备 (建在加利福尼亚的 Lost Hills) 来辅助“OTH-B” 反巡航导弹的某些能力, 同时对 AN/FPS-117 远程雷达进行改进, 以提高其小目标探测能力。

当今世界上, 有 20 多个国家正在发展弹道导弹武器, 其中已有 6-7 个国家的这类武器可以直接击中美国本土上的目标。据此, 美国于 1993 年又具体针对远程战略导弹防御问题, 提出了战区高空区域防御计划 THAAD (Theater High-Altitude Area Defense), 这是 1992 年度开始的 SDIO 规划的具体实施方案, 旨在提高对战略、战术导弹的远距离拦截能力和增强高空防御能力。该计划原打算用 4~5 年时间, 总经费为 15 亿美元。1995 年已通过第一次飞行试验。

原苏联的弹道导弹预警系统由远程预警雷达系统和预警卫星组成。远程预警雷达系统分两层部署，第一层是4部后向超视距雷达；第二层为沿国境周边部署的11部大型相控阵雷达（“鸡笼”6部，“鸡棚”5部）。

4部超视距雷达，有两部部署在西部，（一部在明斯克东南280公里的戈麦尔附近，一部在高加索山区的尼古拉耶夫），还有一部在苏联最东面的尼古拉耶夫斯克（庙街）。第4部于1985年在海参威附近的霍德卡建成。设在尼古拉耶夫斯克和明斯克的两部超视距雷达用来监视美国发射的弹道导弹，可提供30分钟预警时间，西部的尼古拉耶夫超视距雷达专门用以监视中国的洲际导弹。

第二层的11部大型相控阵雷达，其中6部“鸡笼”雷达部署在米舍列夫卡、萨雷沙甘、塞瓦斯托波尔、斯克伦达、穆卡切夫和奥列涅戈尔斯克。5部“鸡棚”式新型相控阵雷达，部署在米舍列夫卡、克拉斯诺亚尔斯克、萨雷沙甘、伯朝拉和利亚基等地。另外，还有一部设在克拉斯诺亚尔斯克的“鸡棚”雷达，在美苏中导条约签订后，于1990年5月开始拆除。这11部雷达探测距离都在6000公里左右，对美国袭击莫斯科的洲际导弹可提供15分钟的预警时间。

此外，原苏联于1982年基本完成了预警卫星网的实战部署，共部署非同步卫星9颗。据报道，九十年代原苏联将开始部署使用地球同步预警卫星网，以探测潜地导弹的发射。

原苏联的弹道导弹预警系统以莫斯科为保卫核心，在莫斯科附近还部署两部作战指挥相控阵雷达，一部代号为“狗窝”，设在莫斯科西南70公里的库宾卡附近；一部叫“猫窝”，位于莫斯科南面62公里的契可夫城附近。这两部相控阵雷达的任务是，既要在空域内搜索、跟踪多批目标，又要承担大部分高空威胁的识别任务，同时还要负责及时分配目标和引导飞机实施拦截。近期，在莫斯科附近还正在装备新型的“普希金诺”相控阵雷达，用以加强作战指挥。据悉该雷达目前已基本建成。

三、雷达是反导弹武器系统中的重要组成部分

反导武器系统通常是由提供早期预警和指示的雷达、作战指挥控制中心、目标截获跟踪制导雷达、数据链和导弹系统组成。雷达在对入侵导弹的发现，跟踪、以及引导导弹拦截的全过程中均起着重要的作用。

在二战期间，美国已研制SCR-584枪炮反飞机目标截获跟踪雷达，基本上满足了当时的军事应用要求。随着导弹技术的发展，世界各国均注意反导弹目标截获跟踪雷达的研制。早期的代表系统是美国的MPQ-35、MPQ-50“霍克”导弹系统。现代的反导拦截系统大致可分为三大类，或者说是按三个防御层面进行研制的。第一类用于近程低空点防御，以低空飞行的作战飞机、直升机、无人机、巡航导弹、反舰导弹，反辐射导弹为作战对象。现役先进系统有以色列的“闪电”（Relampago）、英国的“长剑”（Rapier）和“海狼”（Sea-wolf）、法国的“西北风”（Mistral）、俄罗斯的SA-15等地（舰）空导弹系统，以及其它高炮、弹炮结合武器系统。

第二类反导系统用于中程中空点防御。本层次防御的任务是在上一层拦截时，就等机作战，随机准备拦截突破上层防御的弹道导弹；不过更多的是摧毁来袭巡航导弹，轰炸机、攻击机、侦察机、无人机，以及危及自身安全的反辐射导弹、空地（舰）导弹等。现役的代表性的型号有：俄罗斯的C-300、SA-11，美国的第二次改型“爱国者”（PAC-2），印度的“阿卡什”（AKash）。在研的有：法、意等国的“中程地（舰）空导弹系统”（SAMP/T、SAMP/N），德国的战术防空系统（TLVS），美国的“增程拦截弹”（Erint）、“军属地空导