机电部雷达专业情报网第九届年会

雷达技术展望
情报工作研讨

论文集



一九九一年八月　　青岛

需要全本请访问 www.ertongbook.com

TN95-53
1005

机电部雷达专业情报网第九届年会

TN95-53
1005-1

雷达技术展望
情报工作研讨

论文集

30699594

本书承 朱兆达 教授赠，
特此致谢。南航图书馆
92年6月1日

南京航空学院 藏书 图书馆

一九九一年八月　青岛

699594

机电部雷达专业情报网第九届年会论文集
责任编辑：周伯行　王炳如
787×1092　1/16　16.5印张　792千字
印　　刷：机电部14所情报信息中心
日　　期：1991年7月

前　言

1975 年 12 月在江苏扬州正式成立四机部雷达专业情报网以来，在各有关上级机关的领导支持下，在网内各成员单位的协助下，雷达专业情报网开展了一些有益的活动。活动之一是每届一次的全网大会。这样的全网大会从 1975 年至 1989 年已举行过八次。今年 8 月在青岛举行的已是第九届全网大会。与每次全网大会一样，要进行报告会，交流与雷达有关的科研成果及情报研究工作成果。越来越多的同志认识到科技情报工作的重要意义，将情报工作看成是重要的社会财富和资源，是推动科技进步从而推动国防建设与国民经济发展的一项重要工作。从事情报研究工作的同志们对科技交流尤为重视。在两年一次的全网大会上进行学术与业务交流已得到广泛的支持。由于这种支持和条件的改善，这次全网大会上发表的文章可在会前印装成册，这对于推动雷达专业情报网的工作和扩大交流将是有极积意义的。如果每届全网大会上的交流文章均照此汇编成册，这将可看到我们情报事业的进步。

汇编于本论文集中的文章约有 60 篇，内容广泛，除了有关情报研究工作的文章外，有雷达总体、机载雷达、舰载雷达、侦察雷达、航管雷达、敌我识别等，作为雷达基础的元器件与电路，工艺技术上的文章也有涉及，本论文集中，对当今雷达领域中的一些高难技术，如相控阵技术、雷达成象、光电子技术在雷达中的应用，雷达的“四抗”措施等也受到重视。这反应了近年来科技的新发展与从海湾战争中受到的启迪。特别应该感谢的是不少院校、部队、研究所和工厂的教授、专家特为本届年会赐稿，为此文集增辉。

由于这是第一次在全网大会前将会上发表的文章汇编成册，还缺乏经验，一定有不少缺点；一些单位的同志还未来得及将其文章送审，未能编入本论文集，谨表歉意，并欢迎网内各成员单位提出改进建议。

网长　张光义

1991 年 6 月

目　录

一、雷达技术展望

雷达技术与雷达系统

C^3I 中的几项雷达技术 …… 张光义(1)
从海湾战争看具有"四抗"能力的雷达系统 …… 陈树铮(15)
超低空补盲技术研究 …… 李立仁、李发玉等(19)
开展雷达人-机-环境系统工程的研究 …… 陆汝玉(32)

相控阵雷达技术

固态有源相控阵雷达及其关键技术 …… 王建军(40)
国内外 DBF 实验系统现况及进展 …… 朱庆明、吴东法(46)

雷达成象技术

利用线性预测外推数据的雷达成象 …… 朱兆达、叶蓁如、邬小青(58)
关于小角度雷达成象的研究 …… 赵强福、王　中、柯有安(65)
用微波暗室数据研究 ISAR 成象和运动补偿 …… 佘志舜、邬小青、朱兆达(71)

数字处理与信号处理技术

DMTI 雷达正交鉴相器的数字校正 …… 刘昌华(76)

雷达测高技术

雷达测高问题讨论 …… 徐炎祥(82)
比相测高雷达与 MTI 的兼容性 …… 张仲民(91)

通　信

国际海事卫星通信与北京测控站 …… 刘吉盛、胡红芬(97)

电子对抗技术

无人机在未来雷达对抗与反对抗中的应用 …… 杨小雷(106)
毫米波双波段主被动复合探测用于反隐身实验研究 …… 邓次平、吕昕等(114)
激光雷达对抗技术研究 …… 孙庆光(120)
双台捷变频雷达同步工作对抗反辐射导弹效果评估 …… 宋振宗(131)
用 TMS320C25 实现杂波自适应抑制 …… 崔俊华(138)
箔条／红外诱饵面临的反干扰挑战 …… 肖俊远(141)
利用声体波器件实现频率合成 …… 张显满(148)
雷达电子抗干扰的新进展 …… 张至德(160)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

低噪声频率合成器在频率捷变雷达中的应用 …… 陈焕章(164)

侦察雷达

国外新型侦察装备 …… 张香成、刘继宗、谭明才(172)
远程战场侦察雷达 …… 冯尚城、梁德文(182)
战场侦察技术与装备 …… 周凯宁(186)
多频谱战场侦察技术 …… 梁德文、冯尚诚(196)

航管雷达、二次雷达与敌我识别

空中交通管制地面监视引导着陆雷达发展概况 …… 李凤兰、匡本刚(201)
我国远程航路监视雷达面临的挑战 …… 雷晓宁(216)
敌我识别的新发展和数据融合 …… 李家驹(224)
一种可用于空中交通管制的改进型敌我识别二次雷达 …… 彭代忠(229)
S—模式雷达和 Mark XV 敌我识别系统的发展前景 …… 石松年(235)

微电子技术、器件与电路

光电子技术在雷达中的应用 …… 林守远(239)
美国九十年代军用微电子技术及其在雷达中的应用前景 …… 刘玉光(244)
螺旋谐振器在米波雷达接收机中的应用 …… 付祖周、张常满、隋绍宁(250)
行波管自激振荡器原理与设计 …… 杨德昌(276)
国外新电路 …… 郝相孟(289)

舰载雷达

舰载相控阵雷达的关键技术问题及其解决途径 …… 徐产兴(312)
苏联海军舰载多功能相控阵雷达 …… 林军英(322)
舰载雷达的反隐身研究 …… 徐祖祥(329)
隐身的威胁和舰载雷达的对策 …… 陈振邦(334)
舰载对空搜索雷达的发展趋势 …… 陶顺龙(342)

机载雷达

一种新型的机载雷达—边扫边跟踪体制的变革和应用 …… 周立树(348)
机载雷达 TA / TF 系统技术的研究 …… 曾振富(355)
无线电高度表及有关标准 …… 吴鸿鸣、李凤兰(363)
2000 年机载火控雷达展望 …… 王秀春(376)
新一代机载一体化电子战系统(INEWS) …… 沈志明(383)
英法研制预警机系统的经验和教训 …… 吴明德(388)

二、科技情报业务

情报改革与情报管理

在改革开放的形势下，推进科技情报工作走向良性循环 …… 周伯行(392)
情报系统(中心)的目标管理 …… 徐连科(399)
情报服务中经济效益的浅说 …… 毕璐成(410)

情报研究与情报理论

关于开展高层次情报研究的体会 …… 沈明岐(414)
试论专利情报利用在新产品开发中的任务 …… 沈　丽(418)
情报软系统的优化 …… 陈　全(421)
情报过程中的模糊现象刍探 …… 陈　全(429)

计算机应用

科技情报研究成果综合评价模型的设计和计算机实现 …… 张军华(436)
应用 FOXBASE+实现技术情报信息数据库管理系统的尝试
…… 杨卫东、侯玉梅、李德培(451)

科技翻译

出口资料的翻译、编制与标准化 …… 何孝芸(460)
谈科技情报翻译 …… 肖俊远(480)

情报调查

机电部雷达专业情报网成员单位的情报实力调查 …… 陈能秋(490)
雷达专业外文核心期刊利用情况调查 …… 顾锦坤、陈荣生(501)

C^3I 中的几项雷达技术

机械电子工业部第十四研究所　　张光义

引言

在现代指挥、控制、通讯和情报（C^3I）系统中，作为有源探测的敏感器，雷达具有十分重要的意义．在这次海湾战争中，这得到了验证，一方面，伊方的雷达在抗干扰、抗轰炸、对付隐身飞机，对付反辐射导弹（ARM）无能为力，失去为其作战指挥系统提供信息的作用；另一方面，美方各种雷达，如星载 SAR，E-2C、E-3A，E-8A 等预警飞机上的雷达为美方进行电子侦察，向其各种 C^3I 系统提供情报上都发挥了重大作用．"爱国者"防空导弹系统中的相控阵雷达，AN／MPQ-53 充分展示了雷达的作用，正反两方面相对比，雷达的主要作用为世人所瞩目．随着敌方各种战略与战术武器，特别是进攻性武器的发展，对雷达提出了越来越高的要求．某些雷达性能的提高及其所用的有源发射探测的特点，使雷达易受攻击的脆弱性也随之增加，迫切需要提高雷达的抗反辐射导弹(ARM、抗有源及无源干扰、反隐身和轰炸的能力．

本文着重就三坐标防空雷达与战略预警雷达中的一些技术问题与应发展的几项雷达技术进行讨论，这些技术也可用于两坐标空中监视雷达，低空防空雷达及其它民用雷达之中．

一、C^3I 系统中三坐标雷达的主要要求与技术

三坐标雷达是战术 C^3I 系统中的主要雷达品种，对其主要要求是：能同时测定目标方位、仰角（高度）与距离三个坐标，能对付多批目标，通常要求雷达同时处理的目标容量在 100 批以上；要有较高的数据率，数据采样的间隔时间一般要求小于 5 秒，或数据率 0.2 次／秒以上，这是为了正确保持目标航迹，进行多批目标的航迹相关处理所必需要的，也是为了实现快速响应所要求的，高的测量精度．其中，测高精度一般在 500 公尺左右，较大的作用距离．通常在 350-400 公里，这也是适应目标飞行速度快，使雷达和整个防空系统具有快速响应能力所必需的，此外，对多目标的数据处理与数据传输，空情显示等也提出了高的要求．为适应各种复杂的目标环境和使用条件，对雷达的生存能力及可靠性能，维护性能，相应地也提出了比两坐标雷达更为严格的要求．

这些要求在附 1 表中所列出的近年来国外主要三坐标雷达中也可以大体上看出．为了满足这些要求，防空系统中的三坐标雷达广泛采用了以下一些技术：

(1) 平面相控阵列天线．相控阵列天线逐渐取代堆积波束与频率扫描天线．在仰角上用高频数字式移相器实现天线波束的高速电扫描，充分利用天线波束扫描的灵活性，合理分配能量，可以用一个窄波束复盖整个仰角范围的复盖．当数据率要求进一步增高，阵列天线应形成多个接收波束，实现多个波束在仰角上相控扫描．表一所列举的新设计的 W-2000 三坐标雷达，即采用了多波束相控扫描．

(2) 低付瓣、超低付瓣相控阵天线

为了抑制地物、海浪等杂波干扰，抑制从天线付瓣进入的有源干扰和对抗敌方的反辐

射导弹（ARM），对三坐标雷达天线的付瓣电平的要求越益提高．从表一可见，大部分三坐标雷达都要求达到−30 分贝以下的付瓣电平，对 AN／TPS−70 三坐标雷达，甚至做到了−40 至−50 分贝的付瓣电平．

(3) 固态发射机

固态发射机越来越多地为三坐标雷达所采用．出现这种趋势的原因之一是固态发射机具有一系列的优点，另一原因是半导体功率器件工艺的进步及其成本的降低，目前已逐渐达到在成本上可以与电真空器件相竞争的程度．

固态发射机的主要优点是：固态功率器件的寿命远比电真空器件高，又便于实现系统的模块化设计，极大地提高了发射机的可靠性与可维护性，降低了发射机的峰值功率，相应地降低了馈线与天线系统承受高功率的要求，提高了天馈线系统的可靠性，用分散的固态功率组件取代集中的大功率发射机，使每个天线单元或每个子天线阵列后面的移相器无须承受高功率，因此易于实现相控扫描，并降低了馈线的损耗，采用固态发射机后只需要备份少量的功率放大组件与功率晶体管，大大降低了全寿命周期的成本．

实现固态发射机有两种方法．一是将固态发射机分散在每一个天线单元或每一个子天线阵上．例如，象 AN／TPS−59 那样，整个天线包括 54 个行馈线网络，每一行馈线网络由一部固态发射机组件馈电，另一种方法是将多部固态发射机组件通过功率相加网络，先实现功率合成，然后再经过馈线网络，馈到天线上去，这就与普通电真空发射机的工作方式类似．用前一种方法，能充分降低发射馈线的损耗，实现低功率馈电，但天线阵面上要解决发射组件的供电、散热及密封等问题，同时将产生红外热辐射，需增设红外诱饵以对抗敌方的红外寻的导弹的攻击．用后一种方法可克服第一种方法的缺点，但都失掉其优点，因此，两种固态发射机的方案均被采用，究竟使用哪种方法，应根据具体情况而定．

在三坐标雷达中越益趋向于采用固态发射机的另一原因，是因为固态功率器件易于实现长脉冲工作状态，因此，有利实现为抗 ARM 及抗有源干扰所需要的低截获雷达体制．

(4) 在电子对抗与信号处理方面，三坐标雷达中已普通采用脉冲压缩（线性调频，编码及非线性调频），脉间捷变频与频率分集，自适应 MTI，动目标检测（MTD）以至脉冲多卜勒（PD）处理，大动态范围接收机，高的改善因子（I＝50 分贝左右），恒虚警率处理（CFAR），付瓣消隐及付瓣对消自适应阵列处理机等技术．

(5) 在提高雷达可靠性及可维护性方面，三坐标雷达中普遍具有自动监测与故障隔离设备（BIT／FIT），冗余设计，MTBF 达到 500 小时至 1000 小时量级，MTTR 降至 0.5 小时左右．采用这些措施后，雷达的整机联试时间也将缩短，对维修人员数量及培训要求也可相应降低．

(6) 数字波束形成及自适应波束零点控制技术在新设计的三坐标雷达中开始采用．

二、C^3I 系统中的战略预警雷达的主要要求与技术

此处所指的战略预警雷达是指对付可能携带战略进攻武器的各类预警雷达．它们包括以下四种：

第一，超远程相控阵预警雷达，实现对外空目标的搜索、截获、跟踪、编目等任务，

进行轨道识别，区分导弹与卫星，监视潜射导弹的发射及部分式轨道武器（FOBS）。对这类雷达的突出要求是：作用距离远，通常在3000公里以上；目标容量大，通常要求能同时跟踪上百批目标；数据率高，数据采样间隔时间通常应小于1秒，这比对地面防空系统中的三坐标雷达数据率的要求提高了差不多一个数量级，原因是这类预警雷达所对付的目标不是飞机，而是高速飞行的卫星或导弹；精度高，在方位和仰角的测量上要求同等的精度量级，这是从定轨的需要出发的，否则预测导弹的落点和发射点的精度就很低，也难于实现对卫星目标的编目。

第二，后向散射超视距雷达，雷达探测距离在700公里至3000公里范围内，可探测陆上与海上作低空飞行的飞机，海洋上航行的舰船，潜射导弹及陆射导弹及发射时的尾焰。它的探测精度虽然较低（绝对距离精度约10–30Km，相对测距精度2--4Km），但由于电离层对电波的反射，可克服地球曲率的影响，它观察低空目标的性能是超远程相控阵雷达与机载预警雷达所达不到的，因为机载预警雷达的作用距离限制在400公里左右。由于超视距雷达工作在短波波段（目前通常在5～28兆赫兹范围内），对付隐身技术很有利。因此，越来越受各国的重视。超视距雷达监视的地面范围大，特别适宜于对那些难以部署雷达的边远山区、沙漠地带进行监视，每平方公里被监视面积所需的成本比部署常规雷达或低空雷达网要便宜得多。超视距雷达可部署在我方内地，因此抗轰炸生存能力也可提高。目前为了进一步提高超视距雷达的生存能力，国外已出现将超视距雷达安装在多部可移动的军车上的设计。超视距雷达用于对海洋监视时，还可提供海情，为海军C^3I系统提供信息，通过在我方舰船、飞机上安装应答机、转发器，实现对我方飞机与舰船的通信联络与导航。这与航空空中交通管制中采用二次雷达与机上应答机实现重要飞行数据的通信与导航是一样的，通过安装于雷达站的通信转发设备，还可帮助解决海上我方舰船之间通信困难这一难题，因此超视距雷达对实现我南海广大海域的监视将有重要作用。

第三，机载预警雷达，这是空中早期预警系统中最关键的项目之一，能探测低空飞行的战略轰炸机，巡航导弹，其作用距离在400公里左右。机载预警雷达在安装了各种类型的合成孔径雷达（SAR）后也是实行对战场的电子侦察的重要手段。它的关键是要解决雷达的下视能力，要从强的地杂波检测飞行目标及地面慢速移动的运输单元。

第四，星载相控阵预警雷达，将预警雷达安装在卫星上，用多个卫星可保持对同一地面区域进行连续观察。如将合成孔径雷达成像技术用于星载预警雷达，该雷达还可对地面进行高分辨率成像，对实现电子侦察及为国民经济服务也很有意义。

表二列出了目前有代表性的几种预警雷达的主要性能与技术特点。表二中机载预警雷达只列举了E3A预警机上的雷达AN／APY–2，这一雷达在仰角方向上采用相控扫描，方位上仍应采用机械扫描。目前，西屋公司和普莱塞公司正在协商联合开发AN／APY–2预警雷达的替代型，其重大改进有两项，一是采用双波段固态天线，除原有S波段雷达外，增加VHF波段，这是为了对付隐身技术和观测雷达截面积小的目标，另一重大改进是采用相控阵技术。此外，以色列正在发展两维相控扫描的机载预警雷达，以取代美国AWACS系统中两个主要的预警机E3A和E2C上的预警雷达AN／APY–2及AN／APS–138。以色列的早期预警平台安装在波音707上，其雷达工作频率选在L波段上，介于S波段与UHF波段之间。选择这一雷达工作频率是综合考虑了精度、天线尺寸、反气象杂波及地杂波的能力等因素。该雷达采用六个相控阵阵面，每一阵面包含数

百个天线单元，分别连接固态发射机与接收机的组件．这六个阵面中，机身两侧在机翼的前后各安装一个阵面，机尾一个，机头一个，采用了共形阵阵面，以色列人采用相控阵预警雷达方案的原因是因为相控阵比机械扫描的预警雷达具有很多优点：可以将边扫描边跟踪（TWS）工作模式改为全跟踪模式，大大提高了数据率，因而在很大程度上改善了对多目标的跟踪性能及引导精度；能合理使用能量，提高目标检测能力，可消除机身、机翼、尾舵等雷达天线方向图的干扰及遮挡效应；由于采用了相控阵体制，易于用多个固态发射机取代大功率电真空发射机，因而可靠性获得了很大提高．我们还应看到，采用固态发射机，易于实现宽带的发射机，这对电子对抗也是十分重要的．

星载预警雷达比之地基雷达与机载预警雷达，有一些突出的优点，其雷达对地面的复盖范围要大得多，其生存能力也要强些，还可以实现空间双基地或空间与地面组网的多基地雷达体制，这对于抗隐身技术，抗有源干扰均是有利的，对于探测低空巡航导弹——未来战争的重大威胁——也是非常必要的．表二中列入了美 SDI 计划中拟选用的星载预警雷达的某些指标，从中也可看出，它所采用的仍是相控阵天线技术与固态发射机等．采用相控阵天线是便于实现天线波束的快速扫描，以便复盖广大的监视地域．星载预警雷达的阵列天线，不是普通的平面阵列，而是曲面阵列，例如伞盖形，这是为了提高雷达天线的刚度和强度，因此，实际上这是一个共形阵列天线．星载预警雷达所需的功率由太阳能电池组收集的，因此希望雷达发射机能使用低电压，采用固态发射机组件，其初级电源只需数十伏（例 28 伏或 50 伏），比之用电真空发射机，要求数十千伏甚至更高的电源要简单得多，另外在星载雷达中采用固态发射机也是为了保证雷达工作的长寿命所需要的．当然，要在空间展开与安装大型预警雷达有一系列复杂材料、结构、工艺问题，这些正是当前国外研究的一个重点方向，对我们来说，这可供我们参考，可能是下一阶段规划中将要深入考虑的事．

上述能够对战略目标进行预警的四种雷达都具有一些相同的技术：相控阵天线技术、低付瓣天线、超低付瓣天线、固态发射机、脉冲多卜勒信号处理，提高生存能力的措施等．这些雷达技术在国外已日臻成熟，进入实用阶段，在国内，虽然已基本掌握其原理并已取得部分实践经验，但应看到，在具体工程实现上，还会遇到一系列课题需要解决，其中包括元器件、材料、结构、工艺、环境试验、测试、电磁兼容性等方面的课题．因此，这应是我们为 C^3I 系统研究传感器（雷达）时应着重予以考虑的内容．

三、C^3I 系统中应发展的几项雷达技术

为使 C^3I 系统中的雷达能在近期具有优良的性能，适应国防建设的需要，缩小与国外先进水平的差距．除针对最终应研制成功的有代表性的型号产品所要求的课题外．对一些重要的，雷达技术也应给予重视．在经费允许的条件下，尽可能支持其发展．这里仅就几项对 C^3I 系统中的雷达具有普遍使用意义的雷达技术略作说明．

1.相控阵技术

相控阵技术已广泛用于各种用途的雷达中，目前国内虽然已有了部分经验．但差距仍很大，有许多研究工作应该抓紧进行，这主要有：

(1) 相控阵超低付瓣天线

需要全本请访问 www.ertongbook.com

国外首先在裂缝波导阵上实现了低付瓣，超低付瓣天线，例如 AWACS 机载预警机中的 S 波段窄边开缝波导阵。

付瓣电平低于−45 分贝，AN／TPS−70，实现了−40～−50 分贝，HADR 防空雷达(S 波段) 平板裂缝天线实现了−60 分贝．近年来，在偶极子阵列天线上，也完成了超低瓣天线，例如 L 波段三坐标雷达采用带状馈线网络的偶极子阵，也实现了−45 分贝的超低付瓣；西屋公司在 L 波段组合馈电平面阵列上也达到了−46 分贝的付瓣电平；雷锡恩公司 L 波段的带线组合馈电的偶极子阵列也达到了−40 分贝以下的付瓣电平．

目前我们在已服役的型号产品上离此要求尚有相当大的差距．解决的方法，一是要考虑天线单元互耦，用计算机进行辅助设计．用计算机控制严格按计算机要求进行加工，严格控制公差，建立超低付瓣天线的测试系统；另外是要考虑天线阵面幅度，相位分布的精密测量，监测与调整，通过对馈线网络的精密幅相测试与调整，修正加工中的公差，最终实现低付瓣天线要求的幅度与相位分布．

(2) 共形天线阵

平面相控阵阵列天线的主要缺点之一是其天线波束的扫描范围限制在 ± 60 ° 的范围内，天线单元之间的互耦随天线波束扫描角的变化而变化，因而对大型两维相扫的平面阵列的低付瓣性能造成不利影响．此外，天线波束宽度，天线增益等均随天线波束扫描角不同而变化．解决这些缺点的办法之一是采用球形或其他曲面阵列天线．

共形列天线因技术上的原因未在地面军用雷达中见到成功应用的例子．但在卫星通讯上却有采用圆柱形开关多波束阵列的例子．采用共形阵天线遇到的困难有：波束控制、幅相调整、多波束形成、天线付瓣的控制等．这些障碍，由于集成电路技术的进展，数字波束形成等技术的出现，已逐渐变得缓和了．可以预料，这将是相控阵天线的一个重要发展方向．

(3) 自适应阵列

人们从不同角度已经对自适应阵列天线的理论作了大量研究．这里只需补充一点，当研究机载预警雷达阵列天线的低付瓣问题时，人们希望通过自适应阵列能够做到消除机身对不同扫描角情况下天线付瓣的不良影响．

(4) 数字波束形成技术 (DBF)

数字波束形成技术将相控阵天线理论与数字信号处理结合起来，可同时实现室间滤波与时间城的滤波，数字波束形成不仅使相控阵接收天线的指向具有了更大的灵活性，而且使接收天线波束的开关具有了更大的灵活性，数字波束形成易于修正天线单元或子天线阵的幅相误差，因而可获得精密的幅度与相位加权，实现超低付瓣的接收波束．数字波束形成方法使自己应天线阵的自适应能力更易于实现，也十分有利于获得多波束，而多波束的实现多基地的一个关键条件．

数字波束形成已在西德与美国的相控阵试验雷达中进行过试验，在美国的超视距雷达中采用，美国超视距雷达中采用数字波束形成实现多波束，降低了设备量，此外，据分析也有便于实现自适应波束，抑制北极光干扰的原因．

为将 DBF 实际用于雷达，在接收机的集成化、算法、处理机的结构研究等方面还需进一步做很多工作．

(5) 多极化相控阵列天线

目标极化特性的利用对于杂波抑制，目标识别，充分利用目标回波的能量，更多提取目标回波中包括的信息等都有重要意义，因此越来越为先进雷达所采用，法国TRS-2215、TRS-2230（S波段）和美Bendix公司1976年研制的L波段BPS-1000对空监视两坐标雷达等均采用了圆极化天线消除两杂波，美Tradex雷达用多极化进行目标识别研究。这些都是较早的例子。在对外空目标进行观测的大型相控阵雷达多采用圆极化以克服电离层法拉第旋转效应的影响，例如AN／FPS-85即采用圆极化。又如美国1969年安装于夸贾林导弹靶场的ALCOR（高级研究计划局林肯实验室相参观察雷达）C波段雷达采用发射右旋圆极化，接收左旋和右为圆极化。美ALTAIR（高级研究计划局远程精密跟踪测量）雷达工作在UHF和VHF波段。采用水平、垂直、左旋和右旋极化。大型两维平面相控阵雷达，由于一般具有一万多左右的天线单元数目，因此要实现多极化，困难自然要大许多，或者说要求的设备量要增大许多。针对这问题进行研究也是有重要意义的。

(6) 宽带相控阵列天线

目标识别和雷达成像，要求雷达信号的瞬时信号带宽要足够大，例如美AN／FPS-108（丹麦眼镜蛇）相控阵雷达，在L波段要实现200兆赫兹的瞬时信号带宽，时宽带宽乘积达到20万。ALCOR雷达在C波段要实现500兆赫兹的瞬时信号带宽。从抗有源干扰考虑，要求相控阵天线具有尽可能大的宽带特性。大的宽带特性是实现多基地雷达系统中一站多收的一个重要条件，这些都给相控阵雷达天线馈线的设计提出了新的课题。

(7) 相控阵雷达的新工艺研究

为了保证相控阵雷达的高性能与降低成本应加强新材料、新结构、新工艺的研究。就以降低成本而论，需要提高成品率，实现批量生产，便于装配与更换损坏元器件，例如便于更换功率放大器件的芯片，要考虑适当放宽对加工公差的要求而加强调整设备在生产过程与装配过程中的作用。在子天线阵级上进行混合集成，降低接插元件的数目等，这些都要靠开发新的工艺来实现，采取了这些措施不但成本可以降低，可靠性也将大为提高，过去由于经费等条件的限制我们比较着重依靠手工劳动，随着技术的发展、条件的改善，在完成高性能产品时应更多强调发挥自动检测在执行新工艺流程中的作用。

(8) MMIC、VHSIC及纤维光学在相阵阵雷达中的作用

单片微波集成电路（MMIC）在相控阵雷达中有其特殊的用途，除可以降低体积重量，提高集成度与可靠性外，它是实现数字波束形成的一个主要条件，它的应用有可能使相控阵雷达接收波束形成部分与信号处理部分相结合，实现标准化的雷达终端。即不论雷达波长有多大差异，但其波束形成与信号处理部分具有相同的结构。这将大大降低相控阵雷达的成本，也将有利于MMIC在相控阵雷达中推广应用。

为使组件成本降低，美雷锡恩公司已研制出S波段的砷化镓收发组件，由6个MMIC芯片组成。峰值输出功率达到10瓦，该公司研制的L波段MMIC组件。包括1瓦的功率放大芯片，低噪声放大器，5位数字移相器等。该公司还为一个机载的用于接收卫星信号的共形微带阵列研制了MMIC接收组件，该共形微带阵列包含128个天线单元与接收组件。这可以看成是MMIC在相控阵雷达中实际应用的例子。美国防部已批准一个一亿三千五百万美元的发展砷化镓MMIC的计划，其中一项重要的应用就是针对单片

固态相控阵雷达，它将用于研制一个包括上百万个组件的战术相控阵雷达的样机．在X波段，美已研制出单片微波集成的固态收发组件，4个天线单元的发射、接收机、移相器、波控等均集成在一个小插盒内，MMIC的发射机功率每路输出已达1W．超高速集成电路（VHSIC），超大规模集成电路（VLSIC）近年来取得了很大进展，其影响是深远的，考虑到相控阵雷达要处理的目标容量很大，功能多，因此，要充分考虑这些超高速、超大规模集成电路的影响，在各个阶段适时地加以采用．

纤维光学已开始在雷达中作为同轴线与微波线的替代品而加以采用．有报导说，美国拟采用光纤组合阵列结构以实现多功能电扫描自适应雷达（MESAR）．该雷达是舰载S波段两维相扫相控阵雷达．采用纤维光学，有可能将雷达控制部分，终端部分与阵列天线头分开，也利于将一个大型相控阵适当地划小为若干个较小的子阵，这对抗爆炸，抗反辐射导弹等都可能是有利的．美已开始研制用光电集成技术实现的L波段相控阵天线的小面阵试验模型．

2.固态发射机技术

前面已简略叙述了固态发射机的优点及其在战略、战术C^3I系统中雷达应用的情况．目前单个固态功率管输出功率达到的水平大体上是：在UHF波段（f=400–500MHz），输出峰功率可达450瓦．L波段（f=1200–1400MHz）．输出峰功率可达300瓦．S波段可达55瓦，这已是作为商品的生产水平．在整机方面，美舰用UHF波段雷达AN／SPS–40，经组合后固态发射机输出峰值功率达到250kW，该发射机由美西屋公司研制．美MA／COM公司研制的L波段舰用雷达，经组合后，固态发射机输出功率可以达到85kW．美海军超视距雷达，在短波波段（5–28MHz）．每一个发射天线用一部固态发射机．其峰值功率可达20kW，这些都是用固态发射机取代电真空发射机的成功例子．在海军舰只上采用固态发射机主要是因为要保证更高的可靠性，这对远离基地在海洋上长期游戈的战舰是十分重要的．在超视距雷达中采用固态发射机，充分发挥了固态发射机的宽带特性，只需一部发射机即可复盖5–28MHz的频带范围．

3.脉冲多卜勒信号处理技术

对于机载预警雷达、超视距雷达来说，要解决在强杂波中检测活动目标，需要采用脉冲多卜勒（PD）技术．在三坐标甚至两坐标雷达与单脉冲精密跟踪雷达中，为了同样的理由，现在也提出了在频率域检测目标的要求，因此脉冲多卜勒技术受到了越来越广泛的采用，相应地需要进一步提高效率源的稳定度，提高信号处理机的速度与降低天线的付瓣电平．在提高频率源的稳定度，降低相位噪声的努力中，超视距雷达的要求也很突出．例如，在偏离载频2赫兹的地方，要求1赫兹带宽内的相位噪声比主频线要低–93分贝以下．

在地面雷达中，PD技术也有很大的应用价值．对已有的采用的主振放大式发射机的全相参雷达，采用PD技术，动目标检测性能，抗干扰性能也可提高，这对雷达反隐身技术也是一种贡献．

4.提高雷达生存能力的研究

这方面已有许多文章进行讨论，这里仅就几个具体问题作些补充。

（1）在反隐身技术方面，在雷达频段的选取上要早日制定出一个倾向性意见，当然这要求做许多对目标特性的测试工作，近年来对超视距雷达的发展，许多国家都更为关注，

不能不说是与此有关的，有的美国专家认为．从反隐身需要与雷达精度折衷考虑，采用UHF波段更为有利，前面已提到为反隐身技术，美国有关方面考虑在S波段机载预警雷达中增加UHF波段即是一个例子．采用波长较长的雷达使分辨率与精度降低，为此，要研究用超分辨率技术及双／多基地技术等来克服，以便解决对目标的引导问题．

(2) 在对抗反辐射导弹上，我们应加强诱饵的研究、低付瓣天线与低截获概率雷达体制的研究，降低发射天线的付瓣是一个突出问题，大时宽带宽信号的产生与处理将很有意义．当前应抓紧进行仿真研究．在低截获概率雷达体制上．由于固态发射机及信号处理技术的发展．现在已较过去成熟，可作为一个重点研究方向来进行．

(3) 在宽带雷达、多站雷达体制上加快研究工作．

四、结语

上面讨论的应发展的部分雷达技术对雷达性能的提高有重要意义，其研究成果将可用于多种用途的雷达上．根据经济上允许的程度，在当前，可结合已经确定的型号项目进行工作．

表 1 主要三坐标雷达性能与技术特点

序号	型号	主要性能	技术特点	备注
1	2	3	4	5
1	AN／TPS-59（派生型号为 GE-592、AN／FPS-117）	L 波段(f=1215～1400MHz) R=375 公里（引导） 精度：距离 122m 方位 0.2° 仰角 0.1° 高度 460m 固态发射机峰功率 45kW，工作比 18% 天线尺寸 9.1×4.75m² 波束宽度：方位 3.2°，仰角 1.6° MTBF：1400 小时	1.平面阵列，一维相扫，54 个行馈，三个列馈，形成三路单脉冲通道； 2.固态相控阵，大工作比，按距离远近信号波形分长脉冲（4×400 微秒），中脉冲（100 微秒）与窄脉冲三种； 3.抗干扰措施包括：低付瓣天线（第一付瓣-25dB），脉间捷变频 AMTI，CFAR，付瓣消隐与对消； 4.有完善自动性能监测与故障定位措施冗余设计，保证高的工作有效度	1972～76 年研制，研制费 2000 万美元； 1982 年起装备部队； 1980 年美海年一次订货为 15 部，每部价格约 890 美元
2	AN／TPS-70	S 波段 f=2900～3100MHz 中远程 4 维防空监视雷达。 作用距离：450km； 速调管发射机峰值功率 3MW，平均功率 4.9kw； 天线尺寸：5.5×3.4m²； 方位波束宽度：1.6° 发射波束形成：单波束，余割平方 接收波束形式：7 个窄波束	1.裂缝波导平面阵列天线，极低付瓣（-40～-50dB）； 2.可编程信号处理机，有多卜勒信号处理，反地杂波改善因子 I=44dB； 3.大的接收动态范围(100dB)； 4.有自动监测与故障隔离措施（BIT 与 FIT）	美国西屋公司于 1981 研制，是原 AN／TPS-43 的后继型，每部约 812 万美元
3	W-2000	L 波段，f=1215-1365MHz 引导距离 R=389km 天线尺寸：7.3×9.1m² 3 个发射波束，6 个接收波束 波束宽度：方位 2° 仰角 2.2° 44 个行馈，固态发射机，总峰值功率 180kW 精度：方位 0.13° 距离 92m， 高度 390m(200km 处)	1.平面阵列，一维相扫，多波束（3 波束）低付瓣天线(-35～-40dB) 2.固态发射机，由 112 个 1.5kW 的组件合成 180kW，峰值功率后馈给天线； 3.采用窄脉冲（16 微秒），非线性调频脉冲压缩，多个 MTI 滤波器并行工作，各自的输出均有 CFAR 处理	美国西屋公司研制(1978 年开始研制固态发射机)

(续)

4	S713(marte改进型为S723)	L波段，f=1235～1365MHz，作用距离250km 天线尺寸：35×200尺^2，60个行馈，波束宽度：水平2.8°；垂直1.5°，第一付瓣−30dB 发射为余割平方宽波束，接收为9个波束，发射机采用行波速调管，峰功率3.3MW，平均功率8kW	1.平面阵列，发射天线，余割平方，接收天线为多波束（9波束），低付瓣（第一付瓣为−30dB），最新报导在偏离侧射方向15°内，付瓣电平为−45dB； 2.采用电真空器件发射机，但改进型改用固态发射机组件； 3.采用窄脉冲，压缩后脉宽为0.25微秒，高地物杂波对消比（40～50dB）； 有多卜勒处理和捷变频能力	英国马可尼公司，1979年样机测试，1981年开始提供使用，改进型S723采用固态发射机
5	RAT−31S	S波段(f=3100−3500MHz) R=370km 天线尺寸4×4m^2，波束宽度为1.5° 精度：方位0.15°，距离38m 高度500m 发射机峰值功率170kW 平均功率4.2kW	1.平面阵列，一维相扫，多波束（3波束）； 2.数字MTI加8点FFT多卜勒滤波器组、脉压	意大利SEIENIA公司研制 1978年安装第一部 1979年运行
6	TRS−2230	S波段(f=2900−3100MHz) R=414km 天线尺寸:5×5.2m^2 波束宽度：水平1.3° 垂直1.1，圆极化 发射机采用前向波放大链，峰功率700kW，平均功率10kW，脉宽14微秒，压缩后为0.2微秒	1.平面阵列，一维相扫，有80个行馈形成和波束与仰角差波束，采用圆极化天线，列馈有色散性，有频率扫描特性，发射时可获得三个堆积波束。 2.全数字信号处理，DMTI、CFAR、脉压捷变频。	法汤姆−CSF公司70年代研制，正在生产

需要全本请访问 www.ertongbook.com