

第一章 预警机系统的发展简史

预警机系统目前是一个高技术的复杂武器系统。但回顾历史，可以看到，预警机系统是由于军事需求的强烈牵引与航空、电子技术迅速发展的推动，从早期载机与监视雷达简单地组合逐步发展起来的。在二次大战以后历次重大的国际局部战争中，它的功能与效用日益显著，甚至在特定场合它已成为战斗或战役胜败的关键。因此本章除介绍预警机系统的发展过程与当前国际上的装备情况外，亦叙述了预警机在现代战争中的使用实例。

1.1 初生时期

在 30 年代后期，即第二次世界大战的前夕，英、美、德、苏等国家各自研制成功雷达，并首先将其架设在地面和舰上用于防空警戒与高射火力瞄准。在 40 年代初雷达又被装上作战飞机，作为夜间搜索和攻击敌方目标的探测器。但当时雷达的效能还很低。限于体积和重量，机载雷达探测敌方飞机的距离只有几 km 到十几 km。防空警戒和引导我机拦截还只能依靠地面和舰上的大型雷达。雷达探测，类似于光学探测，是受地球曲率限制的，它不能发现地平线以下的目标。为了预警低空飞行的敌机，就必须尽量升高雷达用来发射和接收电磁波的天线。英国在 1940 年前后部署在海岸上警戒低空飞机的“低本土链”(CHL)雷达，就是把天线架设在 60m 高的铁塔顶上。德国在占领法国北部后，则相应地把防空警戒雷达架设在海岸山头上。以后，交战各国亦都是以这些方法来架设它们的低空警戒雷达。

但是，这些方法不适用于海上作战。因为舰上不可能架设很

高的塔，海上亦没有高山可资利用。舰上防空雷达到二战后期已能探测中空以上的敌机达 160km，但对掠海低飞的目标仍只能在十几 km 以内才发现。日本海军从偷袭珍珠港开始，就惯用低空鱼雷轰炸机攻击美国舰船。因此，在雷达技术已成长可观的 1943 年，美海军首先提出代号为“凯迪拉克”的计划 I (Cadillac I) 与计划 II (Cadillac II)，委托麻省理工学院在缅因州凯迪拉克山进行研究试验。计划 I 是用舰载机装上高功率雷达，使之能在较远距离上发现低空飞机和水面舰船，并将雷达情报用无线电台传递到母舰上。最早被选中的飞机是格鲁曼 (Grumman) 公司的“复仇者”型 TBM-3W，雷达则是由奇异 (GE) 公司研制的 AN/APS-20。后者工作在 S 波段，有约 1MW 峰值功率和 2.4m 口径的天线，是当时最大的机载雷达。雷达天线安装在机腹下的天线罩中，外形如图 1.1 所示。在海面平静情况下，这一预警机雷达能在 100~120km 上发现低飞在 150m 高度上的飞机，在 320km 外探测到战舰。但当时还没有滤除杂波技术，因此在海情恶劣时，雷达接收到海面反射的强杂波，掩蔽了要探测的目标。机上除驾驶员外，只有一个雷达操纵员。他用甚高频数据链，将雷达接收到的目标信号连同雷达天线指向数据传送到舰上，在舰内显控台上重现雷达探测图像。舰上指挥员可由此观察到来袭敌机和敌舰，并可引导出击。TBM-3W 机上的无线电台在需要时还用作为舰对低飞的我机之间通信

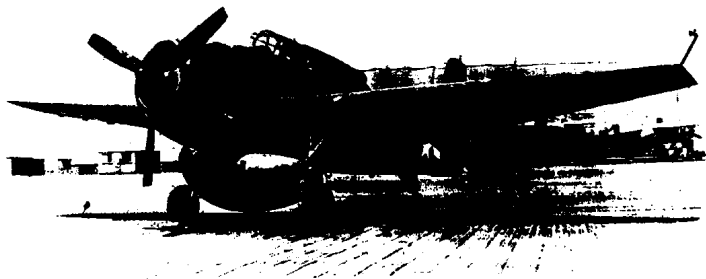


图 1.1 最早的舰载预警机——格鲁曼公司的 TBM-3W“复仇者”

的无线中继站。

1945年 TBM-3W 机被部署到几艘航空母舰上。但还未充分显示其作用,大战已结束了。作为世界上第一个能作战的预警机型号,它已具备了预警机的最基本组成要素:载机、大功率搜索雷达和雷达情报传递通信链。

“凯迪拉克计划 I”是以岸基大型飞机作载机,除预警机雷达外,还具有多个雷达显控台和一组雷达操纵员。它不仅能把雷达情报传递到地面或舰上指挥中心,还能用机上的显控台与空对空无线电台,引导我机攻击敌方目标。因此开始具备了“机载预警和控制”系统的功能。1944年美海军首先用波音(Boeing)公司 B-17G “飞行堡垒”型轰炸机改装成 PB-1W 型预警机。雷达仍用 APS-20,但有一个更大的天线和天线罩装在机腹下(见图 1.2)。当时首要的作战任务是发现和拦截日本“神风”自杀飞机,以减免舰队损失。在战争结束前共装备了 23 架。由于 B-17 是老式飞机,没有

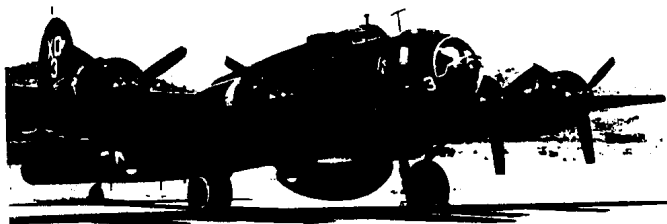


图 1.2 最早的陆基预警机——波音公司的 PB-1W,
是用 B-17G“飞行堡垒”改装成的

供机组人员用的气密舱,不适应长时间巡逻警戒任务。因此,战后,1949年美海军用洛克希德(Lockheed)公司的大型民航机“星座”型作为载机,装上改进的 APS-20 雷达(APS-70/70A),称为 WV-1 型。以后又选用加长的“超星座”作载机称为 WV-11 型。在这种载荷达 20t 的民航机上可安装更多电子设备和乘员。因此, WV-1 / 11 机上,除 APS-70 搜索雷达外,又装上 X 波段的 APS-45 型测高雷达。后者的天线与天线罩装在机背上。全机外形

如图 1.3。机内有 5 个雷达显控台,有较完备的情报传递与空-地、空-空通信系统及机内通话设备。机上储油可供约 16h 的续航。机上除 5 个飞行人员外,战勤人员(或称任务人员)有 11 人。另外还可加乘 12 人,以便轮换上岗。APS-70 雷达已装有早期的动目标显示电路。因此,它具有初步的杂波滤除功能,在海上有风浪时,亦能遂行预警和控制任务,但没有陆上下视能力。美国空军从 1951 年起亦采用这种预警机,型号改称 EC-121。50 年代后期又加装了电子侦察设备。洛克希德公司共生产了这类大型预警机 140 余架。

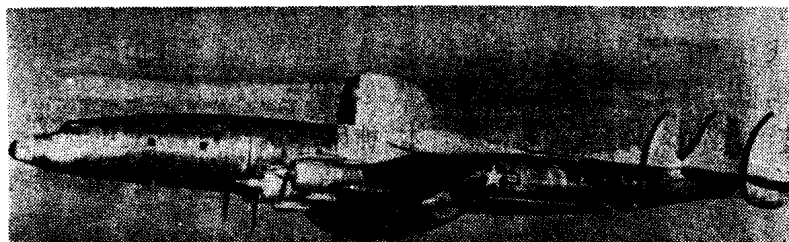


图 1.3 陆基大型预警机 WV-1,后改称 EC-121 型

在同一期间美海军亦改进了它的舰载预警机型,它曾用格鲁曼公司的“保护者”(Guardian)机替代已过时的“入侵者”,后来又用道格拉斯(Douglas)公司的舰载攻击机“空袭者”AD 系列(AD-3W、AD-4W 与 AD-5W)作载机。雷达则是 APS-20 的改进型 APS-20A 与 APS-20B。这两种载机较 TBM-3W 略大。除飞行员外可载两个雷达操纵员或一个操纵员一个技师。在 1960 年前 AD 系列预警机生产了 417 架。以 4 架为 1 组的标准编制配置在各航母上。

1957 年又有一种新的预警机出现在美国航母甲板上,称为 WF-1(见图 1.4)。它是运用运输机“追查者”(Tracer)C-1A 改装而成,其显著特点是它的雷达天线罩不再挂在机腹,而是架在机背上。这是一个固定的、扁平椭圆流线型天线罩,长径和高度分别为 9.5m 与 1.5m。机上雷达是 APS-20 的改进型,称为 APS-82。

它的天线口径加大到 $4.3\text{m} \times 1.2\text{m}$ 。因此,虽然有意将雷达发射功率降低以提高可靠度,雷达对小型飞机的探测距离仍可达 150km ,并且还能用单脉冲技术测出目标的飞行高度。机内除 2 名飞行员外,还有 2 个雷达操纵员的位置。WF-2 后来改称 E-1B。这是美国预警机 E 系列的首型。

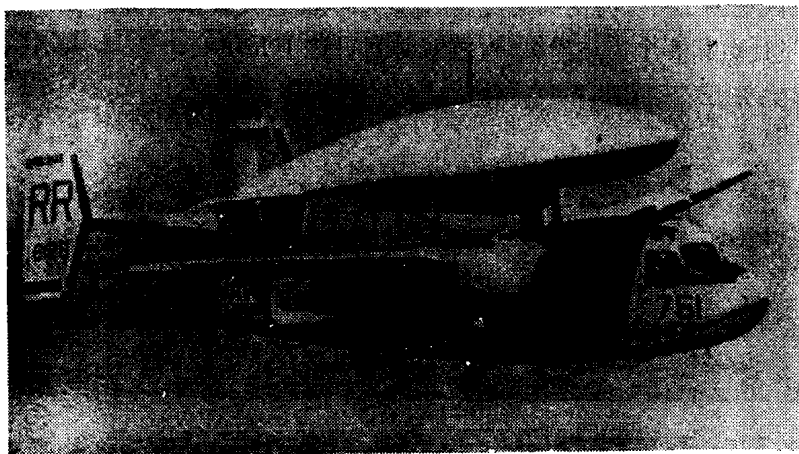


图 1.4 WF-1(后称 E-1)“追查者”是功能较强的舰载预警机,首创在机背上安装大型雷达天线罩

英国在二战结束初,仍拥有多艘航母,因此亦需要装备舰载预警机。1951 年起它引进了美制的 AD-4W“空袭者”。稍后它又自制了“塘鹅”(Gannet)型预警机 AEW. 3(见图 1.5)。这是一种有同

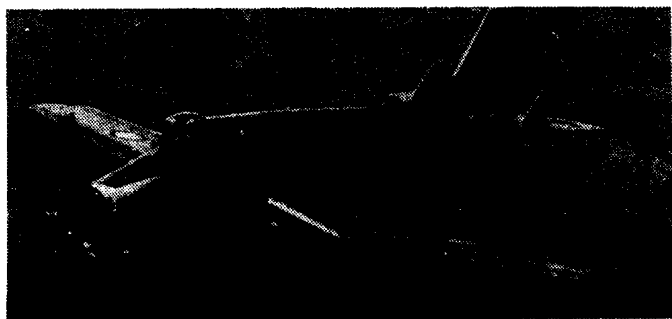


图 1.5 英国的舰载预警机“塘鹅”

轴反相旋转双旋桨舰载机,机腹雷达仍用美国的 APS-20。机内可容 2 名雷达操纵员坐在驾驶员后面。“塘鹅”AEW.3 一直服役到 1978 年,英国最后一艘航母“皇家方舟”号退役。

英国空军亦需要岸基的预警机。它利用战后开始生产的远距离海上巡逻机“沙克尔顿”(Shackleton——英国探险家名)型作载机(见图 1.6),仍在机腹安装 APS-20 雷达天线罩。机上有 5 个飞行员和 8 个雷达操纵员,续航时间可达 10h。



图 1.6 英国的岸基预警机“沙克尔顿”AEW2

由上述各节可见,APS-20 雷达及其改进型是美国和英国早期各种预警机唯一采用的雷达。这里将该种雷达的主要技术参数列于表 1.1。

表 1.1 AN/APS-20 雷达及其改进型的主要技术参数

频率	2880±30MHz
峰值发射功率	0.8~1MW
重复频率	300~400Hz
脉冲宽度	2μs
天线波束	3.5°(方位)×8°(俯仰)(改进型 APS-82 为 1.5°×6°)
天线增益	30dB(改进型 APS-82 为 35dB)
天线扫描范围	方位 360°,俯仰±15°
扫描周期	2r/min~15r/min 可变(APS-82 固定在 6r/min)
显示器	18cm 平面显示器(改进型 APS-70 为 31cm 平面显示器)
探测距离	对低空螺旋桨飞机 105km(改进型 APS-82 可达 150km)
杂波滤除能力	改进型有外相参动目标显示电路
重量	318kg(APS-82 为 590kg)

在 50 年代,除美、英两国外,前苏联亦开始了预警机的研制。前苏联第一个研制计划称为“拉玛”计划,是 1951—1954 年间进行的。该计划的内容是以苏制双发运输机“里—2”作载机,装上新研制的 S 波段雷达。雷达天线与天线罩装在机腹下。天线波束宽为方位 6° ,俯仰 10° 。雷达发射峰值功率 150kW,脉冲宽度 $0.6\mu\text{s}$,脉冲重复频率 2000Hz。这一雷达的发射功率与天线孔径都较 APS—20 低数倍,因此可估计其探测小型作战飞机的距离低于 100km。但该雷达已具有外相参动目标显示电路,即有初步的杂波滤除能力,与 APS—20 改进型相似。以后,未见到这一预警机的生产和装备的报道。

1.2 发展阶段

60 年代以来,由于大国集团间的冷战与军备竞赛长久持续,大国参与或支持的局部战争连续发生,同时空中打击力量在战争中重要性不断增长。这些因素牵引了预警机系统的迅速发展。而电子技术,特别是雷达技术的进步使预警机系统在性能上的步步跃进成为可能。

1.2.1 E—2 系列

预警机系统第一个较显著的进步是 60 年代初美国 E—2 系列诞生。E—2 是由格鲁门公司和奇异公司在 50 年代末期开始合作研制的成果。它的首要进步点是作为舰载预警机,能在高海情下探测低空小型机达 300km,具有一定的引导己方飞机能力,并能在离母舰 300km 外巡逻 4h。

奇异公司为达到对雷达所要求的探测指标,改用 UHF 波段(400MHz)。因为在舰载机能出航作战的各种海情下,海面对 UHF 雷达波的反射杂波更比 S 波段低 10dB 左右。此外,在当时,用 UHF 波段的电子管大功率发射机可做到较小的体积和重量。但 UHF 的反射面天线,如要得到与 APS—20 同样的方位角分辨力,则需 10m 左右的口径。这显然是舰载机难以负担的。因此奇异公

司采用了12单元八木天线阵来替代反射面天线。这样使得一个有APS-20同样方位角分辨力的UHF天线,连同安置在其反向端的敌我识别(IFF)询问机天线阵,能够容纳在一个直径7.32m、高度0.76m的扁圆形天线罩内。奇异公司又采用天线罩与天线一起旋转的办法,减轻了天线罩的电气与结构设计难度。“旋罩”这一名词由此产生。

为了既保有巨大的平均发射功率,以支持雷达探测威力,又要尽量减少接收到海面反射的杂波功率,以求在高海情条件下目标信号不被杂波掩蔽。奇异公司采取了50年代后期出现的雷达脉冲压缩新技术。雷达发射的脉冲宽 $12\mu\text{s}$,但脉冲内有频率调制。在接收机电路中插入一个脉冲压缩电路,输出的脉冲信号就被压缩到约 $0.2\mu\text{s}$ 。这样使接收到海杂波功率降低到了约 $1/60$ 。因此再加上APS-20改进型上已成熟的外相参动目标显示电路,这一雷达就达到了在高海情下远距离探测低空飞机的要求。

1960年奇异公司研制成这一雷达,定名为APS-96。

格鲁曼公司为这一预警机系统专门设计和制造了一种载机。它在双人驾驶舱后有一个粗短的机体,包括长3.35m的电子设备舱,和在其后面有3个显控台的操纵员舱。这3个显控台分别供雷达监视员、任务指挥员与引导控制员使用。全机长17.55m。又宽又长的机翼与机尾翼都放在机身之上,翼展24.56m。为了减少在母舰上占有的面积。机翼除中间部分外,两边可向后摺。紧靠两边后摺交连是两个短舱,舱内上部安装了涡轮螺旋桨发动机,下面则是起落架。这一对提供近万匹马力的发动机使该机在母舰甲板上能以23.54t全重起飞,并在6000~9000m的高度上,以450~480km/h速度巡航。发动机又为机内设备供电180kVA。飞机载燃油5.6t,足以续航2580km,从而达到了在离母舰300km处巡逻约4h的战术要求。

扁平的旋罩安装在机背中部偏后。为了在工作时天线能尽可能离开机身以减弱后者对前者波束的影响,又要使载机的总高度低于母舰机库限高5.53m。格鲁曼设计了一个特殊液压升降装置,

使这 910kg 重的天线旋罩在入库时能降低 0.66m。为了克服机背大旋罩产生的气流影响,机尾设置了 4 个垂直安定面。

这一称为“鹰眼”(Hawkeye)的预警机 1964 年开始提交美海军,定型号为 E-2A,并部署到太平洋舰队的航母上取代原有的 E-1B。到 1967 年 E-2A 机共生产 59 架。

1971 年起 E-2A 被改进为 E-2B。改进点在载机上是气动性能的某些优化,在电子设备上首先是把雷达 APS-96,改为 APS-111。后者的特点是采用了 60 年代研制成的机载动目标显示技术(AMTI),又以数字电子计算机替换了原来的磁鼓存储器与模拟跟踪器,使雷达在海面上发现和跟踪低空飞行目标的能力又提高了一步。

但 APS-111 雷达在靠近陆地的海域工作时性能仍不能令人满意。岛屿与海岸的强散射杂波仍掩蔽了要观察的飞行目标。当时美海军在地中海与东南越南海都遇到这类问题,因此它要求奇异公司继续改进雷达的下视能力。70 年代初奇异又推出了 APS-120 雷达。它采用了当时属最先进的动目标检测(MTD)技术。其核心是对每一距离单元上的信号进行多普勒频率滤波,以区别杂波和飞行目标。当时还以模拟器件为主,因此电路十分复杂。同时为使多普勒频率区分有效,必须使信号频率很稳定。因此又大力改进了雷达发射机和接收机本地振荡器的频率稳定度。此外,又让航空部件公司将飞机螺旋桨从铝质改为由钢心、塑料蜂窝结构与玻璃钢外皮组成,由此减弱了螺旋桨反射作用对信号产生的频率调制。这些措施综合起来改善了雷达在地面杂波干扰下的探测能力。

以 APS-120 雷达为核心,加上一套利顿(Litton)公司的电子侦察系统(ESM)或称被动探测系统(PDS)APR-73,又配以新的计算机 OL-77/ASQ,与改进的显控台 APA-172,以及新的导航与通信设备,组成了又一型预警机 E-2C 的任务电子系统。

E-2C 的外形与 E-2A/B 变化不大,只是因加装 ESM 系统,在机头机尾与两翼端各安装一组电子侦察螺旋天线,因而机鼻

伸长了 0.53m。另外为了改善电子设备冷却系统,在机翼中部前面加装了一个热交换器。E-2C 的外形如图 1.7 所示。

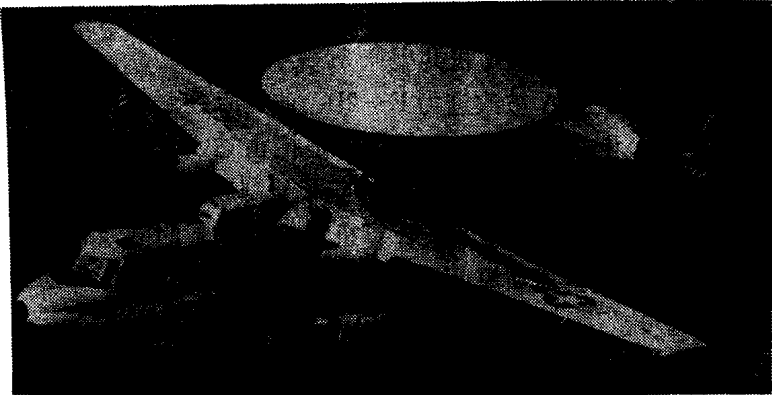


图 1.7 E-2C 预警机

首架 E-2C 于 1971 年底交付美国海军,其总体性能与可靠度都得到较高评价。因此美海军决定以它作为定型装备,到 1984 年已替代了原有的 E-2B。90 年代初产量已超过 100 架。但 E-2C 的雷达仍在不断改进。1978 年试制成功“先进雷达信号处理电路”(ARPS)。用数字 AMTI 替代了原来的模拟电路,并增加了抗旁瓣电子干扰功能。加装 ARPS 后的雷达称 APS-125。1984 年起莱德朗公司(Randtron)又研究降低天线旁瓣方案,1987 年完成了新的天线与天线罩设计称为“全辐射口径控制天线”(TRAC-A)。采用这种新天线的雷达称为 APS-138。APS-138 还增加了发射频率跳变数(4 点增加到 10 点)和多普勒频率滤波路数(16 路增到 32 路)。1987 年起 E-2C 上的 APS-125 陆续被改装成 APS-138。1987 年又出现一种小改进的型号 APS-139,主要改进是在滤波器、旁瓣对消电路与信号处理器等方面。美海军原计划 1989 年后进行改装,但后来因得到性能更好的 APS-145 方案而停止下来。APS-145 的改进目标是提高探测能力以对付隐身目标,改进杂波滤除能力和自动检测/跟踪性能,以便在陆地上空亦

有较好下视探测能力。APS-145 雷达的生产与改装工作预计在 1995 年以后。E-2C 系统的生产预计要持续到 2000 年,因此,其使用期必将延长到 21 世纪初。

E-2C 后来在载机上的主要改进,是 1986 年后用新型发动机 T56-A-427,替代原来的 T56-A-425,从而可提高 25% 功率,并节省燃油消耗。

E-2C 预警机亦可用于岸基。岸基机可以容许更大的起飞重量(27.16t),因此可附加外挂油箱,从而增大约 2h 的巡逻时间。

美国作为大军火商亦出口 E-2C 预警机。1980 年以色列首先得到 4 架,其后 1982 年起日本进口 8 架,还将增加到 12 架。此外,埃及到 1987 年已购买了 5 架,新加坡要了 4 架,1995 年又非法提供台湾当局 4 架。这些 E-2C 都属岸基机。

1.2.2 E-3 系列

预警机系统的第二个跃进是美国空军在 70 年代后期,获得的 E-3 系列陆基预警与控制机,解决了陆上远距离下视探测飞行目标的难题。

陆地对雷达波的反射比海面强得多。沙漠与平原地区反射强度与 4~5 级海情的海面相当,山区要增大 10~15dB,城市再增大 4~5dB。因此机载雷达从空中下视低空小型飞机时,在海上接收到杂波功率可能大于目标信号 30~40dB,在陆地上可能达到 50dB(即十万倍)或更高。早在 50 年代初雷达理论研究就指出要对付这样强的杂波只能采用脉冲多普勒(PD)雷达技术。这一技术在探测近程目标(几十公里)的机载雷达上,如火力控制雷达,实现起来困难较小。因此 1956 年美国西屋(Westinghouse)公司首次研制出一部机载截击用的 PD 雷达样机。在得到美空军的投资后,1959 年起陆续研制出 DPN-53(供“波马克”远程飞航式防空导弹用)与 APG-59(供 F-4 战斗机用)等雷达。其中 APG-59 在 60 年代共生产了 1 000 多部。但 PD 雷达技术应用到探测 400km 的远程雷达上难度就大得多。主要原因是对于雷达天线低旁瓣电平的要求、雷达发射机频率高稳定的要求以及雷达信号处理大容

量、高速度的要求都几乎是与探测距离成比例提高的；而这些要求的技术指标都超过了 60 年代初世界先进雷达技术能达到的水平。为此，1963 年起，美空军提出“陆地上空雷达技术”计划，资助西屋公司及其竞争者休斯(Hughes)公司，研究突破这些技术难点。1967 年与这两家公司签订合同，让它们各自研制出一套雷达试验样机供检飞评比。

对于载机，美空军亦在 1967 年资助两家航空公司——波音(Boeing)与麦道(Mcdonnell Douglas)——研究能装置新型雷达与通信、控制电子设备的机型。波音公司建议用 707 大型客机改装，麦道公司则举出与之相当的 DC-8 客机，但两者都建议用机背上加旋罩的设想。最后被选中的是波音方案，即用 707-320B 换上 4 个军用涡轮风扇发动机 TF-33(每个推力 95.6N)，在机背中后部安装一个直径 9.14m，高度 1.8m 的雷达天线旋罩。

707-320B 机长 43.68m，翼展 39.27m。改装成预警机后，起飞重 147.4t，在 8500~9000m 高度上，巡航速 850~950km/h，续航 11h，可离基地 1600km 处，巡逻 6h。

1970 年西屋和休斯各自完成一个雷达试验样机，由波音安装在两架 707-302B 上，定名为 EC-137D。从 1972 年 4 月到 9 月，美空军在 5 种不同的地面上空(沙漠、农田、起伏林区、光秃山区及海面)进行 49 次 290h 检飞。包括各种目标对象与有无电子干扰情况。检飞结果评审后，西屋样机被选中。以后这新的预警机系统定名为 E-3A。另外，有一个代号叫“哨兵”(Sentry)，还常常被称作 AWACS，这是“空载警戒与控制系统”(Airborne Warning And Control System)的缩写。

西屋的雷达称 APY-1，工作在 S 波段。它的天线宽 7.3m，高 1.5m，是由 30 根水平开槽波导管垂直堆叠而成的平面天线。西屋公司在这一天线上突破了当时低旁瓣的先进水平。作者见到过陈列在西屋博物馆(Westinghouse Museum)中第一个成功的天线样品，附有 1969 年测得的天线波瓣图，其最大方位旁瓣为 -39dB，平均旁瓣低于 -55dB，确属当时世界上研制成的雷达天线中的最

高水平。每一开槽波导的馈电端点上有可控移相器。因此,天线的垂直波束是可以相控扫描的。这使雷达当天线在方位上以 $6r/\text{min}$ 旋转搜索目标同时,在仰角上能借相扫波束来测定目标仰角或高度,具备了三坐标雷达功能。此外,仰角相扫还用于自动补偿飞机平台在飞行中的俯仰和横滚,包括转弯时的坡度角。在这里顺便补充一句,E-2C 因没有天线平台稳定措施,在飞行转弯时不允许压坡,只能作令飞行员讨厌的侧滑。

雷达天线罩是与天线在电磁性能上一体化设计,即使天线罩不仅尽量减少对天线旁瓣电平升高的负影响,并且通过控制罩上各部分透波材料的介质特性,使天线下半球的旁瓣辐射部分地折射到上半球去,从而更减弱地杂波进入雷达。在雷达天线的背面,中部安装了 IFF 天线,两边则是对友机引导用的 UHF 数据链 (TADIL-C) 天线。后者有强方向性,并且只在旋转到对正友机时才发射,因此有较强的抗电子战能力。为保持飞机气动上稳定性,天线旋罩被安置在机身重心之后。对雷达而言,这一位置增大了机身对天线下角阻挡范围,形成机下有 $45\sim 75\text{km}$ 的盲区。

APY-1 雷达的发射机采用了具有高稳定度的速调管作功率输出。平均功率 8kW 的发射机、调制驱动系统、波导系统、滤波器、高压高稳定电源、冷却系统与接收机安装在机后部行李舱内。前部行李舱则安装了电源系统、部分通信设备和冷却系统。因此 E-3A 甲板上的大面积机舱内,布置宽松。在飞行舱后的前设备舱安装了主要通信设备、中心计算机。紧接的操作员舱有 3 排 9 个显控台,机身后部电子舱有信号处理器、导航设备和维修控制显示台。机中段留有空舱室,可用于增加指挥显控设备,亦可用作会议室,在机身最后部还有乘员休息室、厨房与卫生间。因此波音-707-320 载机为预警系统乘员提供了宽敞的操作与休息条件,并可承载双班工作人员。

APY-1 除发射机输出功率管与驱动行波管外,雷达电路都采用了 60 年代已成熟的半导体器件,提高了这一庞大复杂电子系统的可靠度。信号和数据处理已采用当时最先进的 IBM CC-1 计

算机,使这一 PD 体制远程预警雷达所要求的近百万次/秒的计算速度成为可能。

E-3A 装备了 13 个通信电台,除引导用的 TADIL-C 数据链外,有传递雷达情报的 TADIL-A 数据链,此外有 UHF 与 VHF 调频与调幅的话音台、短波(HF)远距离通信的话台和数据链,以及应急呼救台与导向台等。E-3A 还装备了当时最先进的惯导系统、多普勒导航雷达和其他导航设备。

从 1973 年 1 月起对 E-3A 的系统集成开始检飞考核,除检验载机性能、雷达和其他任务电子分系统的功能外,亦考核系统与空军、海军的防空系统及通信网的接口交连情况。信号处理技术与计算机的飞行作战软件在检飞中发现问题,及时改进。因此这一检飞持续到 1997 年 5 月才结束,共飞行了 986 架次 4573h。可见预警机系统总体的复杂性。

E-3A 的批量生产始于 1975 年。从 1977 年到 1981 年波音公司向空军交货 22 架。但这期间西屋公司增加了 APY-1 雷达的海上探测能力,改型称 APY-2。同时 IBM 提供新的计算机 CC-2,比原来 CC-1 在速度和存储量上都提高近 3 倍,从而使雷达操纵员不再需人工起始航迹,跟踪航迹数亦从 100 增到 400。空军还要求增加 5 个雷达显控台。并增加 1 个 HF 与 5 个 UHF 电台,后者有抗干扰能力。任务电子系统作这些改进后,预警机系统改称 E-3B。第 23 架起即按此型生产。E-3A/B 共生产 34 架。

1978 年起北大西洋公约决定为欧洲防空系统引进 18 架 E-3A。北约要求:①配备类同 E-2B 的任务电子系统;②提高海面探测能力;③增加载机自卫系统,包括电子干扰(ECM)与翼下空-空导弹挂架;④再加 1 套为海上远程通信的 HF 电台。这 18 架北约 E-3A 机从 1981 年到 1985 年提供。系统总装由德国多尼尔(Donier)公司承担。

1984 年起按 E-3B 任务电子设备改装 E-3A,并在通信分系统中增加先进的“联合信息分配系统”(JTIDS)设备。改装后称 E-3C。1991 年起又在 E-3B/C 与北约 E-3A 上加装电子侦察

系统 AN/AYR-1。

1989 年美空军又与西屋公司签订一个“雷达系统改进计划”(RSIP),研究较大规模地改进 APY-1/2 的探测性能,使它能对付隐身飞机、巡航导弹和恶劣的电子战环境。改进的主要点是將发射脉冲改为可压缩的波形,用自适应信号处理器替代原来的多普勒处理器,用一个新的计算机与相应软件来完成信号处理与目标数据关联任务。雷达的监视维修显控台亦以功能强的新型号替换。除雷达外,美空军还投资改善其他电子分系统,如中心计算机更换新型 CC-2E,加 GPS 导航校正设备,换新型彩色显控台等。这些改进项目按计划在 1993 年与 1994 年检飞。提供北约的 E-3A 则由德国航空航天公司承担改进项目的组装与检验,预计在 1995 年开始。90 年代后期要执行的这些改进计划,表明 E-3 系列预警机(见图 1.8)将使用到 2000 年之后。

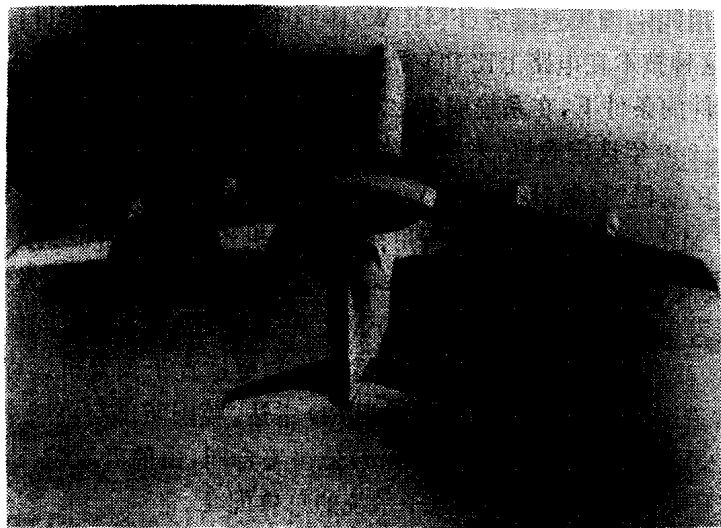


图 1.8 E-3 系列预警机

除北约外,1986-1987 年美国卖给沙特阿拉伯 5 架 E-3,但仍由美国军人操纵。1990-1992 年法国进口 5 架,编号为 E-

3FSDA。1986年英国政府决定停止发展自己的“猎迷”预警机,转向美国订购7架E-3,1990—1991年交货,编号为E-3D AEW MK1。E-3系列预警机共生产68架,1992年停产。1992年日本不满足于E-2C机,向美国要求订购4架E-3级的预警机。美国于1993年同意由波音公司用波音767客机改装成E-767。机内任务电子系统与E-3改进型相同。由于767有更大的载重(171t)和机舱容积,因此可增加任务电子作战人员(由E-3的14人增至18人)和相应的显控台。续航时间亦增加了,能在基地1600km外巡逻7h。

1.2.3 英国的预警机系统

英国是雷达科技和工业上的强国,在60年代亦开始研究自己的预警机系统。英国科技专家对预警机与雷达方案上有其独创性的设想。例如,他们主张雷达天线分两个安装在机头与机尾天线罩内,各自扫描180°,不受机身的任何阻挡。又如对雷达本身他们曾主张用间隔调频连续波(FMICW)体制来探测强杂波中的目标信号。这种技术在电路上比PD雷达技术要简单。在当时只有模拟电子器件的条件下,在系统成本上与可靠性上有显著优点。

1966年选定载机,采用由英国航空航天公司(BAe)制造的喷气式民航机“彗星”(Comet)型为基础改进成的反潜巡逻机“(Nimrod) MR. 2。1968年开始调用一架彗星机作试验平台。到1971年,世界电子技术,特别是半导体、微电子技术与数字技术的发展,使预警机雷达体制方案不再对FMICW有利,经过1年时间的争论,1972年英国专家亦认为PD雷达体制更适宜于预警机远程雷达。“猎迷”预警机方案也决定采用PD雷达。英国防部与英航空航天公司及马可尼(GEC—Marconi)公司签合同,由前者改装飞机,后者研制雷达和承担任务电子系统的总体配套。

1977年彗星试验机改装完成并进行初步检飞,结果是令人鼓舞的。军方认为按1974年与研制方确定的系统方案是有希望可以达到它提出的战术技术要求。因此同年英国防部决定投资上述两家公司研制11架预警机,编号为“猎迷 AEW. 3”。彗星试验机继