



预警机—— 信息化战争的空中帅府

曹晨 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子和信息技术科普系列丛书

预警机

——信息化战争的空中帅府

曹 晨 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

预警机由于具备强大的预警探测和指挥控制功能,在叙以战争、海湾战争、科索沃战争和伊拉克战争等多次现代局部战争中经历了实战检验,取得了丰硕战果,证明了自身的重大价值,并成为现代信息化战争的必需装备,也是广大军事爱好者关注的焦点之一。

本书生动、全面而又深入浅出地介绍了预警机的主要组成部分及其主要技术,回顾了预警机的起源、发展过程以及在历次战争中的使用情况,并对预警机的未来进行了展望。针对广大读者所关心的国产预警机的开发历程,本书也做了介绍。

本书是预警机及其相关电子技术的科普读物,可作为广大军事爱好者,部队官兵,大、中学生和科技情报研究工作者了解预警机的参考书。

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

预警机——信息化战争的空中帅府 / 曹晨著. —北京: 电子工业出版社, 2009.11

(电子和信息技术科普系列丛书)

ISBN 978-7-121-09644-0

I. 预… II. 曹… III. 预警机—普及读物 IV. E926.37-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 179889 号

策划编辑: 刘宪兰

责任编辑: 董亚峰

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: 19.5 字数: 282 千字

印 次: 2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 39.00 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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

电子和信息技术科普系列丛书编委会名单

丛书编委会顾问（排名不分先后）：

李德毅 金怡濂 张锡祥
何新贵 许居衍 陈俊亮

丛书编委会主任：王小谟

丛书编委会副主任：张履谦 敖然

丛书编委会委员（以下按姓氏拼音排序）：

曹 晨 冯登国 谷大武 郝 跃 霍元杰 贾新章
刘海涛 刘宏伟 卢建川 邱致和 吴荣泉 等

丛书主编：陆军

丛书副主编：曹晨

丛书编辑部主任：刘宪兰 郝政疆

丛书编辑部成员：詹伟 线珊珊 高福军 徐蔷薇





序

物质、能量和信息是客观世界的三大要素。18 世纪中叶，以蒸汽机为代表的第一次工业革命开创了人类的大机器工业时代；19 世纪后期到 20 世纪中叶，以电动机为代表的第二次工业革命使人类进入了电气化时代；20 世纪下半叶，以电子计算机和互联网为代表的第三次工业革命迅速席卷全球，使人类进入了信息化时代。信息技术已经成为当今世界创新速度最快、通用性最广、渗透性最强的高技术之一，信息技术水平和信息化能力业已突出体现了一个国家的创新能力。

当今世界，微电子技术作为信息技术发展的基础，与光子技术一起，正在迅猛地推动着信息技术的发展。随着半导体材料、光电子材料的不断更新，以及工艺装备技术的进步，集成电路已经进入纳米时代，系统级芯片（SOC，System On Chip，又称片上系统）将成为发展方向，功耗和成本都将大幅度降低。

网络技术则以通信和计算机为基础，加速向宽带、无线和智能方向发展。以超大容量、超高速和超长距离为特征的光通信技术加速应用，通信传输网络的 IP 化进程不断加快，电信网、计算机网和广电网“三网”融合的趋势明显，能够实现人与人、人与物乃至物与物之间随时随地沟通的全新网络环境——泛在网正在变成现实。

计算技术是信息技术产业的核心。高效能计算目前正在向计算密集和数据密集方向发展，驱动着能力计算和容量计算同步提升。高性能计算机和服务器沿着多核 CPU 和多级并行结构，向万万亿次甚至更高水平迈进。量子计算、光子计算、生物计算及人工智能技术可望产生新的突破，计算技术和计算机体系结构面临深

刻变革。

与计算机密不可分的软件技术，作为信息技术的灵魂，加快向网络化、智能化和高可信的阶段前进。开放源码的趋势深入发展，操作系统、数据库、中间件正在融合，成为统一的系统软件平台。基于多核 CPU 和高效能计算机的以操作系统为代表的基础软件，代表“软硬结合、软件固化”趋势的嵌入式软件，以及在开放、动态的互联网应用环境下的“软件即服务”，成为软件发展的重要方向。

信息技术的发展也带动了各国在新时期所实施的军事转型，使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式、战争形态和部队建设等都将发生深刻的变化，推动着部队从机械化向信息化的转变。在信息装备的支持下，信息获取和处理能力、武器打击精确度、战场透明度空前提高，战争的突然性、立体性、机动性、快速性及其纵深打击的特点十分突出，拥有高技术优势的一方将具有较强的战斗力，并控制战争的主动权。打赢信息化条件下的战争，已成为当代世界新军事变革的主要目标。

建国 60 周年以来，特别是改革开放以来，我国的信息技术取得了长足进展。1983 年，国家决定加快发展电子工业，较早地在电子行业进行了市场化改革，也较早地开始利用外资。进入 20 世纪 90 年代后，国家将电子工业确定为国民经济的支柱产业，微电子产业、计算机产业、通信产业、软件与信息服务业全面发展，产业内部结构调整不断加快。进入 21 世纪后，国家提出了“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化、走新型工业化道路”的发展战略，成立了工业和信息化部，强调优先发展信息产业，在经济和社会领域广泛应用信息技术。目前，我国电子信息产品制造业规模居世界首位，近年年平均增长率近 30%，许多信息技术产品的产量也位居全球前列。我国在通信、集成电路设计、高性能计算和应用软件等领域的研究和应用，取得了较大突破，数字程控交换、移动通信、数字集群通信、光通信技术跨入了世界先进行列。其中，我国掌握核心知识产权的 TD-SCDMA

已成为第三代移动通信国际标准之一。万亿次大规模计算机系统、国产高性能计算机和服务器等迈入国际前列，通用 CPU 等一批中高端芯片研发成功并投入生产，集成电路设计水平与国外先进水平差距明显缩小。我国相继研发成功数字电视地面传输技术及数字音频编、解码技术，支持了数字电视产业的发展。国产中间件、财务及企业管理软件、杀毒软件等已经具备了与国外产品竞争的實力。在军事应用领域，作为一个国家信息与电子技术水平的重要标志之一的雷达，总体上已追赶至世界先进水平，而以预警机和区域级一体化综合电子信息系统为代表的信息化武器装备的研制成功，则标志着我国信息化武器装备建设也迈上了新台阶，为打赢信息化条件下的局部战争准备了条件。

在这样的大背景下，又正值中华人民共和国成立 60 周年，我们策划出版一套与信息技术有关的科普系列丛书向祖国献礼，是在充分考虑新形势下的发展需求、关注我国电子和信息技术的发展和建设后继有人的重大问题下想做的一件有益的事情。我们希望这套丛书能够引导广大读者培养学习信息技术的兴趣，更多地了解和掌握信息技术，为将来成为国家信息化建设所急需的人才打下坚实的基础，为实现我国信息技术的可持续与和谐发展贡献力量。

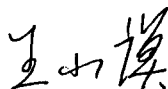
至于这套丛书的名称应该是什么，应该包含哪些技术领域或范畴，是一个值得深入考虑的问题。目前，信息技术的特征，是以电子为主要信息载体，因而信息技术常常称为电子信息技术。由于光子的速度比电子速度快，光的频率比无线电频率高很多，光子技术在存储和通信方面有着电子技术无法比拟的优势，所以信息载体由电子转向光子是一种发展趋势。但是，考虑到光子技术在未来相当长的一段时间内，仍然不会像电子技术一样全面介入到信息技术的发展，因此，丛书的名称，参考中国工程院相关专业领域的学部名称——信息和电子，而命名为“电子和信息技术科普系列丛书”。全套丛书包括“微电子技术”、“计算机和软件技术”、“通信和网络技术”以及“信息技术在国防中的应用”四大领域，分为 4 个子系列，日后陆续出版。

参加本套丛书编写的作者，都是长期从事电子和信息技术研究的专家，他们在繁重的工作之余，废寝忘食、不辞辛劳，我谨代表编委会向他们致以衷心的感谢！

本丛书的编写，得到了中国电子科技集团公司电子科学研究院领导的大力支持，得到了电子工业出版社的积极推动，也向他们表示由衷的感谢！

祝贺本丛书的出版！

中国工程院院士
中国电子科技集团公司科技委副主任



2009年9月9日于北京



前言

预警机诞生于第二次世界大战后期，在现代战争的需求牵引和电子、航空等各专业领域内的最新技术成果的推动下，预警机装备的数量在迅速扩大，质量也在迅速提高。越来越多的国家都把预警机作为一个重点发展的领域，分别结合本国的实际情况，或者自行研制预警机，或者出重金购买预警机。在中华人民共和国建国 60 周年的国庆阅兵典礼上，我国自行研制的具有世界先进水平的预警机终于在广大军事爱好者的千呼万唤中正式亮相，再度使得预警机成为各大媒体报导的焦点，更是广大军迷们最为关注的话题之一。这也是促使我编写本书的直接因素。

全书共分 11 章。第 1 章介绍了预警机的起源。因为最早的预警机是把雷达搬上飞机，而雷达是利用电磁波进行工作的，所以第 1 章也简单回顾了电磁波和雷达的诞生过程，并穿插了一些相关的饶有趣味的故事。第 2 章至第 10 章涉及预警机的主要组成和用到的主要技术，既包括空中部分，也包括地面部分；既有硬件，也有软件。从设备类型上看，覆盖了雷达、载机、识别、电子对抗、通信和导航等不同传感器或处理系统。在这些章节中，本书一方面针对广大读者关心的一些技术问题（如有源相控阵、单脉冲测角、时差测向、数据链、组合导航和开放式体系结构等）进行了介绍，另一方面，还对预警机的发展史和参战史，包括我国自行研制预警机的艰辛历程，进行了全面的回顾。第 11 章总结了预警机发展史以及推动预警机发展的主要因素，并对预警机 65 年来的发展进行了划代，对预警机的未来进行了预测。

本书的编写得到了中国现代预警机事业的奠基人之一、我攻读博士学位期间

的导师王小谟院士的悉心指导，以及中国电子科技集团公司陆军研究员（本丛书的主编）、李超强研究员和蔡爱华研究员的大力帮助，他们的指导和帮助使我获益良多，在此谨对他们表示衷心的感谢。本书部分章节曾在《兵器知识》杂志上连载，杂志社熊伟副主编和何懿编辑对本书的编写给予了很多鼓励和支持；电子工业出版社刘宪兰高级编辑对本系列丛书的策划付出了很多心血，并使得本书能够顺利出版；空军政治部宣传部宣传处谭超同志提供了我国国产两型预警机在建国60周年国庆阅兵典礼上的受阅图片，我也非常感谢他（她）们。我还要特别感谢我国著名综合电子信息系统专家童志鹏院士和著名雷达专家酆能敬研究员对本书编写的大力支持。

作为一名从事电子和信息系统总体设计的专业技术人员，对作为信息化武器装备的预警机的了解，有“近水楼台先得月”之便。但是，由于预警机涉及的专业门类和知识面较广，对专业的深度要求也比较高，限于自己的水平，错误和疏漏在所难免，敬请广大读者、同事和同行谅解并指正。我只是想通过本书的编写抛砖引玉，希望能对促进预警机及相关电子和信息技术的普及有所帮助，也相信会有更多的读者因此而关注预警机、了解预警机，甚至在将来献身我国的预警机事业；我们也就有理由相信，这个伟大的事业必将获得长足的并且是更大的发展，我国自行开发的预警机必将不断领先于世界。

曹晨

2009年9月3日，于北京



目 录

第1章 登高丘，望远海——雷达为什么要上天	1
古老的神话	2
从烽火台到无线电	3
划破夜空的利剑	7
电眼初睁——世界上第一部雷达的诞生	9
千里眼，一个并不准确的比喻	12
雷达的工作频率是怎样选择的	17
降落红场的不速之客	21
登高丘，望远海	25
第2章 机载雷达的“三高”技术——预警雷达上天的关键	29
远离你或靠近你的火车	30
选择频率的“筛子”	32
让天线辐射的能量更集中	35
让杂波被滤除得更干净	38
让发射机产生的频率更单一	47
如何比较雷达的探测距离	49
看海面舰船与看海面上空的飞机	50
从雷达改进看预警机的发展	52
第3章 从蜻蜓的眼睛谈起——相控阵及其与机械扫描的比较	65
鱼与熊掌不可兼得	66

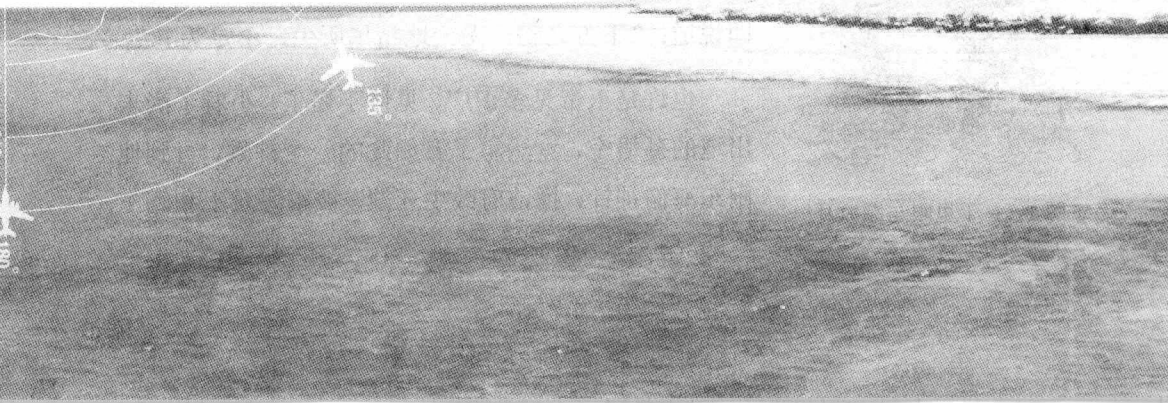
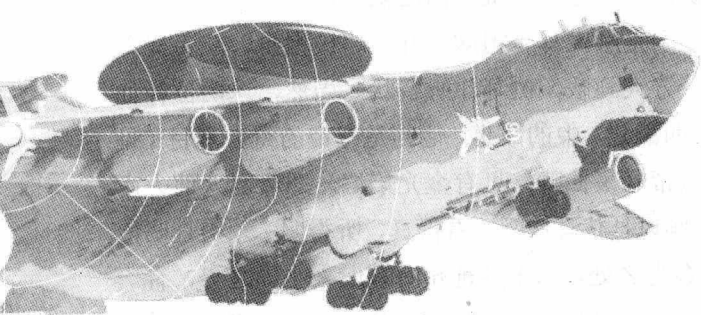
划桨与相位	69
蜻蜓的眼睛与有源相控阵	70
相控阵天线带来的麻烦	76
相控阵雷达的工作模式	80
世界上有源相控阵预警机的发展	81
新时期的“两弹一星”——国产相控阵预警机的研制	88
第4章 小马也能拉大车——预警机载机的选择与改装	97
雷达的“嗓门”与“喇叭”	98
从“大下巴”到“大鼻子”	99
为什么天线罩总是“扁”的	104
欲穷千里目，更上一层楼	106
见缝插针与开膛破肚	106
厕所比设备还重要	108
载机的选型与预警机的分类	113
“谢菲尔德号”驱逐舰的沉没	114
我们自己的“空警1号”	118
第5章 大水也冲龙王庙——预警机中的敌我识别	127
敌我识别器——无线电“对暗号”	128
“暗号”中的秘密	132
网络游戏与目标识别	134
与预警雷达的“一唱一和”	136
波光粼粼的湖面与“单脉冲技术”	139
敌我识别中的“新贵”——S模式	141
大水也冲龙王庙	143
第6章 预警机中的“顺风耳”——无线电侦察	145
躲在暗处的“窃听器”	146

交叉才能定位	152
调谐的收音机——侦察设备对频率的测量	153
建立“犯罪嫌疑人”的“指纹”库	154
侦察天线张开的大网	155
被击落的 EC-121 预警机	157
遇到威胁的“乌贼”——威胁告警与干扰投放	158
预警机中的有源干扰	163
第 7 章 预警机和现代战场的“神经系统”——通信与数据链	167
永不消逝的电波	168
载波——运载信号的“宽体”或“窄体”客机	170
电台是什么	171
从“摩尔斯电码”谈数据通信	173
短波、超短波、卫星通信——如何选择	174
“打跳鼠”的游戏与“大海捞针”	178
信息系统连接武器系统的捷径——数据链	179
数据链中的无线 IP——战术瞄准网络技术 (TTNT)	183
第 8 章 预警机上的“幕后英雄”——任务导航	185
陀螺中隐藏的奥秘	186
惯性导航——导航系统中的全能冠军	187
并不完美的惯性导航	191
团队的力量——组合导航	192
进入寻常百姓家的 GPS	193
魔高一尺，道高一丈	195
北斗系统——中国自己的卫星导航	199
预警机上任务系统的基准	201

GPS 不能用时怎么办	203
拿什么拯救你, 我的信号	207
数据链中的通信、导航和识别 (CNI)	209
第 9 章 预警机的“大脑”与“灵魂”——计算机与软件系统	211
“觥筹交错”的宴席与总线结构	212
预警机上的常用总线	214
细数预警机上的计算机家族	218
让国产预警机拥有跳动的中国“芯”	223
预警机上的操作系统	224
功能强大的预警机软件	226
形形色色的人-机界面	228
第 10 章 空-地一体——预警机的地面配套设备	233
风筝之线	234
战勤人员的“游戏机”	237
预警机作战用数据库的“产床”	240
预警机在地面工作时的“鞍前马后”	243
为预警机看“病”的“综合医院”	246
第 11 章 大盘点——预警机发展 65 周年	249
开发预警机为什么难	250
预警机为什么贵	260
预警机为什么要发展	262
预警机的划代	271
预警机的十一宗“最”	290
参考文献	297

第1章

登高丘，望远海 ——雷达为什么要上天



预警机最早是指装有机载监视雷达、用于探测低空飞行目标的特种军用飞机。现代预警机除了装备有先进的机载远程监视雷达以外，通常还装有电子侦察、敌我识别，以及通信、导航、指挥控制和电子/通信对抗等多种电子系统，不仅能及早发现和监视从各个空域入侵的空中和海面目标，还能对己方战斗机和武器设备进行引导和控制；不但是空中的雷达站，更是空中的指挥所。那么，人们为什么要研制预警机？组成预警机的各个电子系统的基本原理是什么？都用到了哪些先进技术？预警机的过去、现在和未来是什么样的？因为最早的预警机就是雷达升空，就让我们从“雷达为什么要上天”开始本书的介绍吧。



古老的神话

人类自古以来总是希望自己能够看得更远、听得更远，并且一直在为此努力。但是，在科技不发达的年代，人们只能用神话的方式寄托自己的美好愿望。在道教天后宫的前殿两侧塑有两尊神像，一个是千里眼，四肢裸露，散披衣裤，右手执叉，左手搭凉棚作远视状；另一个是顺风耳，袒胸露肚，略披袍褂，左手提着一一条红蛇，蛇缠绕手臂，右手持一方天画戟，侧耳作听音状。当然，这两位神仙之所以能名扬天下，还是得益于《西游记》中的故事，他们是玉帝的得力耳目（见图 1-1）。想当初石猴诞生之时，玉帝聚集仙卿，见有金光焰焰，即命二人前去南天门查看，只见千里眼探头细看，顺风耳伏耳倾听，看得真、听得明，须臾查明情况，向玉帝报告说：“臣奉旨观听金光之处，乃东胜神州海东傲来小国之界，有一座花果山，山上有一仙石，石产一卵，见风化一石猴，在那里拜四方，眼运金光，射冲斗府。如今服饵水食，金光将潜息矣。”玉帝随即说道：“下方之物，乃天地精华所生，不足为异”。



图 1-1 千里眼与顺风耳

也许是玉帝见多识广、见怪不怪了，小看了尚未出道的孙悟空，竟然忘了有如此的一个神猴，直到他闹东海偷神针，搅地府改生死簿，被东海龙王和阎王

上告到天庭。玉帝询问“妖猴”的来历：“这妖猴是几年产育，何代出身，却就这般有道？”一言未已，班中闪出千里眼和顺风耳道：“这猴乃300年前天产石猴。当时不以为然，不知这几年在何方修炼成仙，降龙伏虎，强销死籍也。”二神可谓将“妖猴”的来历一一奏明，准确无误。千里眼和顺风耳能够超越空间的限制，突破人类的本能，延伸肉眼的平凡，而把任何事物看得清清楚楚，听得明明白白，这是何等的神奇和令人向往啊！

神话或幻想也常常孕育先进的科学技术。经过数百年艰辛的科学探索，特别是电磁波诞生以后，人类终于拥有了“千里眼”和“顺风耳”。那么，电磁波是怎么回事？它是怎样产生的呢？



从烽火台到无线电

千里眼和顺风耳虽然传达了人类的美好愿望，但是在人类历史的很长时间内，终究只是一个神话传说。2000多年前，为了解决信息更远传递的问题，人类最早想到了站在高处采用烽火传递的方式，这就是万里长城上烽火台的来历。一旦遇到敌军来临，就燃起烽火，一个台一个台地传送军情。

1901年，英国科学家马可尼首次不用电线就把信号从一个地方越洋传送到另一个地方的试验成功，开创了信息传递技术的新天地，这种技术就是人们俗称的“无线电”。无线电波的发现，可追溯到战国时期人们发现磁能吸铁，并用于指南；但是，取得实质性的进展，则要从1820年丹麦物理学家奥斯特发现电能生磁开始说起（见图1-2）。当导线上有电流通过时，导线旁边的磁针就会发生偏转，这说明电和磁是有关系的。这个发现震动了英国的科学界。一名叫做沃拉斯顿的英国皇家学会会员首先想到电能让磁动，磁为什么不能让电动起来呢？于是，他设计了一个实验，在一个大磁铁旁放一根通电导线，看它会不会旋转，可惜没有成功，

