

# 预警机系统导论

## ( 第二版 )

INTRODUCTION  
TO AIRBORNE  
EARLY WARNING SYSTEM (Version 2)



陆军 邴能敬 曹晨 赵学训 著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 预警机系统导论

(第二版)

INTRODUCTION TO AIRBORNE  
EARLY WARNING SYSTEM

(Version 2)

陆军 郇能敬 曹晨 赵学训 著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书为论述预警机系统的专著,反映了自本书第一版出版以来10余年来国际预警机技术的最新发展,以及我国自行开发预警机的部分认识成果。本书介绍了预警机的发展史、功能和系统组成,从技术上分析了预警机各组成部分的特点、功能和性能要求,对预警机载机改装设计以及系统集成中的若干关键技术、难点或解决途径做了较深入的探讨,并对预警机的发展趋势进行了预测。

本书的读者对象是预警机系统的设计开发人员、使用人员、维修维护人员和项目管理者,也可供对预警机感兴趣的电子、通信或计算机类专业技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

预警机系统导论/陆军等著.—2版.—北京:国防工业出版社,2011.10

ISBN 978-7-118-06926-6

I. ①预... II. ①陆... III. ①预警机—概论 IV. ①V271.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第185002号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限公司

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 19 字数 331 千字

2011年10月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 56.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

**国防科技图书出版基金资助的对象是:**

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作

需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金  
评审委员会

国防科技图书出版基金  
第六届评审委员会组成人员

主任委员	王峰			
副主任委员	宋家树	蔡锺	程洪彬	
秘书长	程洪彬			
副秘书长	邢海鹰	贺明		
委员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

## 序

1998年,我国著名雷达专家酆能敬研究员在深入总结自身工作经历和整理各项资料的基础上,写成《预警机系统导论》一书。这是我国第一部预警机系统专著。其时正值我国开始自行研制相控阵预警机之际,该书因此成为广大科技工作者和装备管理人员的重要参考书,为我国预警机技术领域的人才培养做出了不可替代的贡献。全书所论述的预警机的发展趋势、关键技术及其解决途径,在之后的数年间世界预警机技术的发展过程中已经得到了广泛印证,进一步体现了这本书的学术价值。

12年来,预警机在研制和装备方面出现了很多新的动向。预警机的作战对象有了很大的扩充,除各型飞机外,各型空-空导弹、陆基/海基/潜射弹道导弹以及低空进入的巡航弹成为新的巨大威胁,战场的电磁环境也日益复杂,电子进攻和联合作战目标的数量日益增多,而大规模战斗行动、攻击、防御、封锁、威慑、反恐、维和和打击走私等等,都可能成为预警机所面临的任务。目标、环境和任务的变化,必然带来了作战理念的革命性变化,使得预警机的功能已经从预警探测和指挥控制发展成为提供数据和信息服务、进行传感器管理和形成打击链。而随着探测技术及战场网络化的发展,预警机的性能有了大幅度的提高,开始出现“网络化、一体化、多元化和轻型化”的技术特点,世界预警机发展的“三代”观念日益成熟。而由于预警机的重大作用被越来越多的国家所认识,预警机装备的数量也急剧上升,预警机的发展方兴未艾。最重要的是,我国在这一时期,也完成了具有国际先进水平的两型预警机的研制并装备部队,打破了国外封锁,填补了我军空中预警与指挥手段的空白,推动了我军信息化武器装备的跨越式发展。

在这样两个大背景下,酆能敬研究员提出写作《预警机系统导论》第二版的设想,很及时也很有必要。由于我国的预警机技术不但完成了从跟踪研究到自行工程研制的转变,而且也已步入了国际先进行列,因此,在预警机开

发过程中也有了新的心得,也就有必要引入从事预警机系统开发的一线技术人员参与本书的改版工作。本书第二版的第一作者陆军研究员是我国国产某型预警机项目的总设计师,而酆能敬研究员长期以来继续从事国内相关科研、工程项目论证和设计,这就使得本书既能够继承第一版学术水平高的特点,同时又部分总结了我国预警机事业 10 余年来的工程实践,从而使得本书第二版理论和实践紧密结合,论证和工程化紧密结合,具有较强的先进性、时效性和权威性。

我相信,《预警机系统导论》第二版会像第一版那样,继续对从事这方面工作的科研、管理和使用人员有较大的参考价值,对于开阔相关人员的技术思路以及培养新一代人才队伍有重要的促进作用。

热烈祝贺本书的改版!

中国工程院院士  
中国电子科技集团公司科技委副主任



2010年10月6日,北京



## 第二版前言

预警机是集情报探测、指挥控制等于一体的大型综合电子信息装备。自诞生以来,一直是各军事强国着力发展的重点,已成为信息化条件下联合作战必不可少的核心装备之一。随着技术的进步和作战理念的变革,预警机不仅继续处于整个战场“侦、控、打、评”打击链各个环节中的最前沿,为后续各个环节提供信息,而且其功能不断扩大,已经远远不只是传感器,而是更多地执行指挥控制和战场管理等功能,从而使得预警机成为战场的空中枢纽。

本书从系统总体设计的角度阐明了预警机的发展史、功能和系统组成,从技术上分析了预警机各组成部分的特点,重点是对预警雷达的特殊要求和系统集成中的技术难点和解决途径做了较深入的探讨,并对预警机的发展趋势进行了预测。

本书共分五章,第一章介绍了预警机的发展史,第二章重点针对任务电子系统对预警机系统总体论证及设计进行了论述,第三章的主要内容是预警雷达的论证、设计与试飞评估,第四章重点内容是载机改装为预警机时所需要进行的相关技术工作,也分析了载机对雷达性能的影响,第五章则对预警机中若干重要新技术的应用进行了介绍和展望。

全书在第一版的基础上增加了较多内容,并对章节的安排做了部分调整。补充了自第一版出版12年以来国际上预警机的新型号及其最新发展动态。新增了预警机三代的划分方法,针对目前世界预警机的发展趋势,补充了预警机的功能;重新编写了第一版中关于预警雷达的性能检验和测高方法及其精度分析的内容,并补充了测距和测方位角的方法和精度分析,补充了检测前跟踪、数字阵列雷达和分布式探测系统等新技术在预警机中的应用。

全书由陆军、郦能敬、曹晨、赵学训著述和定稿,刘波也参加了本书的编写工作。在成书过程中,得到了中国电子科学研究院和空军装备研究院雷达与电子对抗研究所的大力支持。我国预警机事业的奠基人王小谟院士详细

阅了全书,对本书的编写提出了重要的指导意见,并为本书作序。在此,作者谨对所有帮助本书写作和出版的人们表示衷心的感谢!

由于预警机系统复杂、技术密集,限于作者水平,难免出现错误或纰漏,敬请读者批评指正,以便本书进一步完善。

# 目 录

第 1 章 预警机发展史 .....	1
1.1 预警机的基本组成 .....	1
1.2 三代预警机的发展 .....	3
1.2.1 第一代预警机 .....	4
1.2.2 第二代预警机 .....	15
1.2.3 第三代预警机 .....	41
1.3 预警机在战争中的使用实例 .....	52
第 2 章 预警机系统总体设计 .....	56
2.1 预警机系统的功能 .....	56
2.1.1 数据和信息服务 .....	57
2.1.2 传感器管理 .....	58
2.1.3 形成打击链 .....	59
2.2 预警机系统的作战任务 .....	60
2.3 预警机的组成、各分系统的功能与性能要求 .....	62
2.3.1 载机分系统 .....	63
2.3.2 预警雷达分系统 .....	71
2.3.3 敌我识别/二次雷达分系统 .....	79
2.3.4 电子侦察分系统 .....	81
2.3.5 通信侦察分系统 .....	85
2.3.6 通信分系统 .....	86
2.3.7 导航分系统 .....	91
2.3.8 主控与指控分系统 .....	93
2.3.9 预警机自卫电子分系统 .....	97
2.3.10 地面配套设备 .....	100
2.4 预警机系统总体设计 .....	109

2.4.1	硬件体系结构	109
2.4.2	软件体系结构	110
2.4.3	系统电磁兼容设计	111
2.4.4	预警机系统的数据融合	122
<b>第3章</b>	<b>机载预警雷达</b>	<b>126</b>
3.1	机载预警雷达的脉冲重复频率类型与基本构成	126
3.1.1	3种脉冲重复频率的定义	126
3.1.2	3种脉冲重复频率的优缺点	130
3.1.3	PD雷达的基本构成	136
3.1.4	几项特殊技术	141
3.2	机载预警雷达探测性能的计算	146
3.2.1	PD雷达的最大作用距离	146
3.2.2	杂波功率计算	149
3.2.3	对动态范围和系统稳定度的要求	164
3.2.4	由遮挡形成的盲区图	166
3.2.5	天线低旁瓣电平的要求	167
3.2.6	机载预警雷达探测覆盖范围的表示方法	173
3.3	机载预警雷达测定目标坐标的方法与测量精度分析	176
3.3.1	测距的方法和测距精度分析	176
3.3.2	测方位角的方法与测方位角精度分析	178
3.3.3	测高方法与测高精度分析	181
3.4	机载预警雷达探测性能的检飞方法	188
3.4.1	机载预警雷达检飞所需采样点数的计算	188
3.4.2	机载预警雷达检飞地区的选择	192
3.4.3	机载预警雷达检飞航线设计原则	194
3.5	机载预警雷达的相控阵体制与工作频率选择问题	195
<b>第4章</b>	<b>载机改装</b>	<b>200</b>
4.1	预警机载机的改装原则和项目	200
4.1.1	基本飞机的选择	200
4.1.2	装载任务系统设备对载机的主要影响	202
4.1.3	改装原则	203
4.1.4	改装项目	205
4.1.5	飞机改装的权衡与综合	208

4.2	预警机的总体-气动构型 .....	209
4.2.1	预警雷达扫描方式的影响 .....	210
4.2.2	外部布局 .....	213
4.2.3	“雷达罩-支架”的气动影响 .....	216
4.2.4	“雷达罩-支架”的气动设计 .....	217
4.2.5	气动补偿设计措施 .....	218
4.3	预警机的总体内部布置与质量、质心控制 .....	223
4.3.1	内部布置的一般要求 .....	223
4.3.2	雷达罩内布置 .....	224
4.3.3	机身气密舱的布置 .....	225
4.3.4	质量与平衡控制 .....	228
4.4	预警机载荷变化与结构的完整性保证 .....	231
4.4.1	结构改装项目 .....	231
4.4.2	结构改装设计准则 .....	231
4.4.3	“雷达罩-支架”结构-强度设计 .....	232
4.4.4	全机结构的强度评估 .....	237
4.5	载机变形与振动对雷达天线的影晌 .....	238
4.6	载机与天线罩对雷达天线波瓣的影响 .....	239
<b>第5章</b>	<b>预警机系统的未来发展趋向 .....</b>	<b>247</b>
5.1	固体有源相控阵技术在预警机上的应用前景 .....	248
5.1.1	有源相控阵技术的优越性 .....	248
5.1.2	限制有源相控阵技术应用的主要因素 .....	252
5.1.3	基于有源相控阵的时空二维自适应信号处理技术 .....	253
5.1.4	检测前跟踪技术 .....	262
5.1.5	数字阵列雷达技术 .....	264
5.2	双/多基地技术在预警机上的应用前景 .....	266
5.3	预警雷达与合成孔径雷达结合在预警机上的应用前景 .....	270
5.4	共形天线在预警机上的应用前景 .....	273
5.5	分布式射频相参技术在预警机上的应用前景 .....	276
5.6	无人预警系统的应用前景 .....	282
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>285</b>

# CONTENTS

<b>Chapter 1 Evolution History of AWACS System</b> .....	1
1.1 Essential Composition of AWACS .....	1
1.2 Evolution History of AWACS .....	3
1.2.1 The First Generation AWACS .....	4
1.2.2 The Second Generation AWACS .....	15
1.2.3 The Third Generation AWACS .....	41
1.3 AWACS Operational Use in Combat .....	52
<b>Chapter 2 AWACS System Integrated Design</b> .....	56
2.1 System Function of AWACS .....	56
2.1.1 Data and Information Service .....	57
2.1.2 Sensors Management .....	58
2.1.3 Form of kill chains .....	59
2.2 Operational Mission of AWACS .....	60
2.3 AWACS Composition, Subsystem Function and Performance Requirement .....	62
2.3.1 Platform Subsystem .....	63
2.3.2 Early Warning Radar Subsystem .....	71
2.3.3 IFF/SSR Subsystem .....	79
2.3.4 ESM Subsystem .....	81
2.3.5 CSM Subsystem .....	85
2.3.6 Communication Subsystem .....	86
2.3.7 Navigation Subsystem .....	91
2.3.8 Master Control and C2 Subsystem .....	93
2.3.9 Self protection Subsystem .....	97
2.3.10 Auxiliary Equipment on Ground .....	100
2.4 AWACS Integrated Design .....	109
2.4.1 Hardware Architecture .....	109

2.4.2	Software Architecture .....	110
2.4.3	System EMC Design .....	111
2.4.4	Data Fusion of AWACS .....	122
<b>Chapter 3</b>	<b>Airborne Early Warning Radar .....</b>	<b>126</b>
3.1	Operating modes, PRF Types and Basic Configuration of AEW Radar .....	126
3.1.1	Definition of 3 PRF Types .....	126
3.1.2	Comparison of 3 PRF Types .....	130
3.1.3	Basic Configuration of PD Radar .....	136
3.1.4	Special Technology Issues .....	141
3.2	Detection Performance Calculation of AWACS Radar .....	146
3.2.1	Maximum Detection Range of PD Radar .....	146
3.2.2	Calculation of Clutter Power .....	149
3.2.3	Requirement for Dynamic Range and System Stability .....	164
3.2.4	Blind Zone Map .....	166
3.2.5	Requirement of Low side Lobe Level .....	167
3.2.6	Notation of AWACS Radar Detection Coverage .....	173
3.3	Target Coordinates Measurements and Precision Analysis of AWACS Radar .....	176
3.3.1	Range Measurements .....	176
3.3.2	Azimuth Measurements .....	178
3.3.3	Height Measurements .....	181
3.4	Flight Test of AWACS Radar Performance .....	188
3.4.1	Calculation of Samples for Flight Test .....	188
3.4.2	Selection of Flight Area .....	192
3.4.3	Flight Route Design Principles .....	194
3.5	Phased Array Radar Used in AWACS and Frequency Selection Problem .....	195
<b>Chapter 4</b>	<b>Platform Modification .....</b>	<b>200</b>
4.1	Principles and Items of AWACS Platform Aircraft Modification .....	200
4.1.1	Basic Aircraft Selection .....	200
4.1.2	Main Influence of Onboard Mission Equipment to Platform Aircraft .....	202

4.1.3	Basic Principles of Modification .....	203
4.1.4	Modification Items Determination .....	205
4.1.5	Balance and Integration of Aircraft Modification .....	208
4.2	Total Aerodynamic Design of AWACS .....	209
4.2.1	AWACS Radar Scanning Mode Effect .....	210
4.2.2	Exterior Arrangement .....	213
4.2.3	Aerodynamic Effect of Radar Dome – Pylon .....	216
4.2.4	Aerodynamic Design of Radar Dome – Pylon .....	217
4.2.5	Aerodynamic Compensation Design .....	218
4.3	AWACS Total Internal Arrangement and Weight and Barycenter Control .....	223
4.3.1	Common Requirement of Interior Arrangement .....	223
4.3.2	Arrangement of Inner Dome .....	224
4.3.3	Arrangement of Fuselage Airtight Cabin .....	225
4.3.4	Weight and Balance Control .....	228
4.4	Loading Change and Architecture Integrality of AWACS .....	231
4.4.1	Architecture Modification Items .....	231
4.4.2	Architecture Modification Design Rules .....	231
4.4.3	Dome – Pylon Structure-Intensity Design .....	232
4.4.4	Intensity Evaluation of Aircraft Total Architecture .....	237
4.5	Effect of Aircraft Deformation and Vibration on Radar Antenna .....	238
4.6	Effect of Aircraft and Dome on Radar Antenna Beam .....	239
<b>Chapter 5</b>	<b>The Trends of Future AWACS .....</b>	<b>247</b>
5.1	Prospect of Active Phased Array Radar in AWACS .....	248
5.1.1	Advantage of Active Phased Array Technology .....	248
5.1.2	Limiting Factors of Active Phased Array Technology .....	252
5.1.3	STAP Technology Based on Active Phased Array .....	253
5.1.4	Tracking – Before – Detection Technology .....	262
5.1.5	Digital Array Radar Technology .....	264
5.2	Prospect of Double/Multiple Bases Technology Applied in AWACS .....	266
5.3	Prospect of Combination of Early Warning Radar and SAR Applied in AWACS .....	270



5.4	Prospect of Conformal Antenna Technology Applied in AWACS	273
5.5	Prospect of Distributed Radiofrequency Coherence Technology Applied in AWACS	276
5.6	Application Prospect of Unmanned Early Warning System	282
<b>Reference</b>		<b>285</b>