舰载雷达效能评估

EFFICACY EVALUATION OF SHIPBOARD RADAR

郭万海　赵晓哲　编著



国防工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

TN959.72
61/62

舰载雷达效能评估

Efficacy Evaluation of Shipboard Radar

郭万海　赵晓哲　编著

国防工业出版社
·北京·

图书在版编目(CIP)数据

舰载雷达效能评估/郭万海,赵晓哲编著 .—北京:国防工业出版社,2003.4

ISBN 7-118-03100-3

Ⅰ.舰 ...Ⅱ.①郭 ...②赵 ...Ⅲ.舰载雷达-性能-技术评估 Ⅳ.TN959.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 008457 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 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 151 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:19.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前　言

雷达是对远距离目标进行无线电探测、定位、测轨和识别的电子设备，对于水面舰艇来讲，舰载雷达就是“千里眼”，在现代高新技术条件下的海上局部战争中，占有非常重要的地位。舰载雷达不同于普通岸基雷达，不仅工作的环境复杂多变，而且还面临着“四大威胁”（隐身目标、低空或超低空空防、反辐射导弹攻击和电子干扰）的影响。要想提高舰载雷达的生存能力，深入研究舰载雷达效能的定量评估问题是非常必要的。

作者在10余年的教学与科研中，深入探讨并研究了舰载雷达在水面舰艇作战使用中作战效能的定量评估问题，并借助于计算机对雷达发现目标的距离、概率以及保障武器系统的效能概率等问题进行了研究和模拟，为海上水面舰艇编队舰载雷达的作战使用奠定了坚实的基础。

全书内容共分5章18节和两个附录：

第1章绪论。介绍了舰载雷达效能评估的必要性，阐述了舰载雷达效能评估的内涵和基本步骤，为进行舰载雷达效能评估指明了方向。

第2章舰载雷达效能定量评估准则。详细介绍了舰载雷达效能定量评估的具体方法和准则，特别是基于可靠性的准则具有非常重要的实用价值。

第3章舰载雷达发现目标的效能。定量评估了舰载雷达发现目标的效能，为舰载雷达的作战使用奠定了坚实的基础。

第4章作战使用环境对舰载雷达效能的影响。研究了舰船摇摆、地球曲率、水面电磁波反射等各种因素对舰载雷达效能影响的定量评估问题。

第5章干扰条件下舰载雷达的效能评估。详细研究了有源、无源干扰模型，舰载雷达在有源和无源干扰条件下发现目标的效能。

本书第1,2章由赵晓哲教授执笔；第3,4,5章由郭万海副教授执笔，并由郭万海副教授统一整理后写出。海军论证中心邱志明副所长审阅了全书，邵晓方、闫国玉等同志参与了文字校对，在此一并表示感谢。

由于编著者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

郭万海　赵晓哲

2002年10月于大连

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

第1章　绪论 …… 1
1.1　舰载雷达效能评估的基本方法与步骤 …… 1
1.2　舰载雷达效能评估的基本准则 …… 3
1.3　舰载雷达效能研究的基本方法 …… 4
第2章　舰载雷达效能定量评估准则 …… 6
2.1　舰载雷达效能的评估方法 …… 6
2.1.1　给定任务并给予说明 …… 6
2.1.2　选择与论证效能评估理论和指标体系 …… 7
2.1.3　选择研究方法 …… 16
2.1.4　建立研究任务模型 …… 18
2.1.5　研究模型、分析模拟结果和提出新建议 …… 20
2.2　基于可靠性的准则 …… 21
2.2.1　等待中断状态下效能的计算 …… 22
2.2.2　正常工作状态下效能的计算 …… 26
2.2.3　正常工作与等待中断并存状态下效能的计算 …… 28
2.3　干扰条件下舰载雷达效能的评估准则 …… 30
2.3.1　概率 p_x 的计算准则 …… 30
2.3.2　干扰条件下舰载雷达效能的计算准则 …… 34
2.3.3　舰载雷达抗干扰性能的评估准则 …… 36
第3章　舰载雷达发现目标的效能 …… 38
3.1　效能参数体系 …… 38
3.1.1　被保障系统所要求的距离 …… 39
3.1.2　舰载雷达发现目标的距离 …… 41
3.1.3　舰载雷达发现目标的潜在效能参数 …… 44
3.2　接收机、有用信号和干扰子模型 …… 49

3.2.1 接收机子模型 …… 50
3.2.2 有用信号子模型 …… 52
3.2.3 干扰子模型 …… 54
3.3 信号检测特性 …… 55
3.3.1 拥有最佳检测器的信号检测特性 …… 55
3.3.2 离散信号的检测特性 …… 58
3.3.3 程序检测器检测数字信号的效能评估 …… 60
3.3.4 虚警概率的确定 …… 61
3.4 接收机输入端的信噪比 …… 63
3.5 雷达方程中参数的评估 …… 66
3.5.1 峰值功率 …… 66
3.5.2 天线增益 …… 67
3.5.3 接收机噪声功率 …… 68
3.5.4 目标的有效散射面积 …… 71
3.6 天线波束形状与空间扫描方式 …… 77
3.6.1 天线空间扫描方式 …… 77
3.6.2 天线波束图的近似描述 …… 79
3.6.3 脉冲串内脉冲个数的计算 …… 83
3.7 实际目标检测时信噪比的损失 …… 88
3.7.1 滤波器损失 …… 89
3.7.2 天线损失 …… 92
3.7.3 高频传输线损失 …… 92
3.7.4 矩形脉冲包络失真损失 …… 93
3.7.5 附加噪声积累损失 …… 96
3.7.6 积分损失 …… 99
3.7.7 操作员人为损失 …… 101
3.7.8 放大系数与检测门限不稳定损失 …… 102
3.7.9 应用损失 …… 102
第4章 作战使用环境对舰载雷达效能的影响 …… 104
4.1 大气对舰载雷达作用距离的影响 …… 104
4.1.1 电磁波大气衰减因子的计算 …… 104
4.1.2 电磁波折射因子的计算 …… 106

4.1.3 地球的等效半径 …… 111
4.2 地球曲率对舰载雷达发现目标距离的影响 …… 113
4.2.1 干涉衰减因子 …… 114
4.2.2 衍射衰减因子 …… 117
4.2.3 舰载雷达观察域 …… 120
4.3 舰载雷达发现低空目标的距离 …… 122
4.4 舰载雷达发现水面目标的概率 …… 124
4.5 舰船摇摆对舰载雷达效能的影响 …… 129
4.5.1 理想天线波束单扫描周期发现目标的概率 …… 130
4.5.2 实际天线波束单扫描周期发现目标的概率 …… 133
4.6 海面反射对舰载雷达效能的影响 …… 138
4.6.1 接收机输入端海面反射信号功率的计算 …… 139
4.6.2 海面反射平均功率的计算 …… 145
第5章 干扰条件下舰载雷达的效能评估 …… 147
5.1 有源干扰条件下舰载雷达发现目标的概率 …… 147
5.1.1 干扰模型的建立 …… 147
5.1.2 干扰模型的描述 …… 149
5.1.3 接收机输入端干扰功率的计算(情形1) …… 150
5.1.4 接收机输入端干扰功率的计算(情形2) …… 154
5.1.5 干扰功率损失的计算 …… 156
5.2 无源干扰条件下舰载雷达发现目标的概率 …… 159
5.2.1 无源干扰模型 …… 159
5.2.2 偶极子反射云雾干扰模型 …… 161
5.2.3 接收机输入端干扰功率的计算 …… 164
附录1 $\Phi(\chi)$函数的计算 …… 166
附录2 检测器标准门限 …… 168
参考文献 …… 178

Contents

Chapter 1 Introduction 1

1.1 The basic efficacy evaluation method and steps of shipboard radar 1

1.2 The basic efficacy evaluation criterion of ship board radar 3

1.3 The basic efficacy research method of shiploard radar 4

Chapter 2 Quantitative efficacy evaluation criterion of shipboard radar 6

2.1 Efficacy evaluation methods of shipboard radar 6

2.1.1 Task definition and description 6

2.1.2 Selection and demonstration of efficacy evaluation theories and parameters 7

2.1.3 Selection of methods 16

2.1.4 Model of task 18

2.1.5 Research on the models, analysis of results and making some new suggestion 20

2.2 The criterion of efficacy evaluation based on reliability 21

2.2.1 Calculation of the efficacy while radar is waiting 22

2.2.2 Calculation of the efficacy while radar is operating 26

2.2.3 Calculation of efficacy while radar is operating and

waiting ····· 28
2.3 The efficacy evaluation criterion in jamming conditions ····· 30
2.3.1 Calculation of probability p_x ····· 30
2.3.2 The efficacy calculation criterion in jamming conditions ····· 34
2.3.3 The efficacy evaluation criterion of anti－jamming capability ····· 36
Chapter 3 Detecting efficacy of shipboard radar ····· 38
3.1 Parameters of efficacy ····· 38
3.1.1 The requisite detecting range for protected system ····· 39
3.1.2 The detecting range of shipboard radar ····· 41
3.1.3 The potential efficacy of shipboard radar ····· 44
3.2 The models of receiver, effective signal and jamming ····· 49
3.2.1 Receiver models ····· 50
3.2.2 Effective signal models ····· 52
3.2.3 Jamming models ····· 54
3.3 Characteristics of radar signal detection ····· 55
3.3.1 Characteristics of radar signal detection with a optimum detector ····· 55
3.3.2 Characteristics of discrete signal detection ····· 58
3.3.3 The efficacy evaluation of digital signal detection with program detector ····· 60
3.3.4 Probability of false alarm ····· 61
3.4 Signal－to－noise ratio of receiver input ····· 63
3.5 The parameters evaluation in radar equation ····· 66
3.5.1 Peak power of transmitter ····· 66
3.5.2 Gain of antenna ····· 67

3.5.3 Noise power of receiver ····· 68
3.5.4 RCS of objects ····· 71
3.6 Beam and scan of antenna ····· 77
3.6.1 Scan of antenna ····· 77
3.6.2 Approximate radiation pattern of antenna ····· 79
3.6.3 The number of pulses in a pulse train ····· 83
3.7 Signal－to－noise ratio loss in detection ····· 88
3.7.1 Filter loss ····· 89
3.7.2 Antenna loss ····· 92
3.7.3 Transmission line loss ····· 92
3.7.4 Rectangular envelope loss ····· 93
3.7.5 Noise accumulating loss ····· 96
3.7.6 Integral loss ····· 99
3.7.7 Operator loss ····· 101
3.7.8 Gain of amplifier and threshold of detector loss ····· 102
3.7.9 Application loss ····· 102
Chapter 4 Effects of operational environments on the efficacy of shipboard radar ····· 104
4.1 Effects of the atmosphere on the operational range of shipboard radar ····· 104
4.1.1 Factor of atmospheric attenuation ····· 104
4.1.2 Refractive index of EM wave ····· 106
4.1.3 The effective earth's radius ····· 111
4.2 Effects of earth curvature on the operational range of shipboard radar ····· 113
4.2.1 Factor of interferential attenuation ····· 114
4.2.2 Factor of diffraction attenuation ····· 117
4.2.3 Coverage pattern of shipboard radar ····· 120
4.3 Detecting range at low altitude of shipboard radar ··· 122
4.4 The probability of detecting surface targets ····· 124

需要全本请访问 www.ertongbook.com

4.5 Effects of pitch and roll on efficacy of shipboard radar ····· 129
4.5.1 The detection probability in a scan cycle of an omni directional antenna ····· 130
4.5.2 The detection probability in a scan cycle of a directional antenna ····· 133
4.6 Effects of surface reflection on efficacy of shipboard radar ····· 138
4.6.1 The input power of surface reflection ····· 139
4.6.2 The average power of surface reflection ····· 145
Chapter 5 The efficacy evaluation of shipboard radar in jamming conditions ····· 147
5.1 The detection probability in active jamming conditions ····· 147
5.1.1 Models of the active jamming ····· 147
5.1.2 Description of the models ····· 149
5.1.3 The calculation of input jamming power of receiver (situation No1) ····· 150
5.1.4 The calculation of input jamming power of receiver(situation No2) ····· 154
5.1.5 The calculation of loss in the jamming power ····· 156
5.2 The detection probability in passive jamming conditions ····· 159
5.2.1 Models of the passive jamming ····· 159
5.2.2 Models of chaff ····· 161
5.2.3 The calculation of input jamming power of receiver ····· 164
Appendix 1 The calculation of function $\Phi(x)$ ····· 166
Appendix 1 The standard threshold of detector ····· 168
References ····· 178

第1章 绪 论

1.1 舰载雷达效能评估的基本方法与步骤

在现代高技术条件下的海上局部战争中，水面舰艇编队或水面舰艇集群是要圆满完成上级所赋予复杂而又艰巨的作战任务，不但要拥有先进的武器装备，而且要拥有先进的信息获取设备，也就是说，未来海上高技术条件下局部战争的胜负在很大程度上将取决于信息的获取性能。美国海军在制订“海军2000～2035规划”中，将人和信息排在第一位，将武器装备排在第二位，将后勤等排在第三位。从这一排序可以看出，信息获取和利用对未来战争的影响是非常巨大的。

对于水面舰艇及其编队来讲，如何发挥舰载雷达的效能，是决定水面舰艇及其编队生存能力、战斗能力的关键要素。可以这样说，舰载雷达是海军水面舰艇指挥员的“眼睛”，是水面舰艇装备的各种武器系统(如导弹、火炮、鱼雷等)与作战指挥控制系统的最重要的组成部分之一，是获取舰载信息的主要手段。特别是随着科学技术的飞速发展，情报战、信息战已经演化成为一种新的作战模式，因此，在现代海上高技术条件下的局部战争中，舰载雷达的效能以及舰载雷达所获取信息的及时性与可信度，对于水面舰艇及水面舰艇编队的生存能力和战斗能力来讲，都将变得越来越重要。换句话说，在现代高新技术条件下的海上局部战争中，尤其是在采用自动化作战指挥控制系统的现代海战中，对舰载雷达效能的要求将越来越高。

为了适应高新技术条件下现代海战的需求，我们一方面要大力开展舰载雷达技术装备本身的研究，努力研制并为海军水面舰艇装备各种技术含量高的新型舰载雷达装备，如全相参相控阵舰载雷达、低截获概率舰载雷达、反隐身舰载雷达等等，以提高舰载雷达在现代海战中的效能和生存能力；另一方面更要认真探讨和研究舰载雷达的作战使用方式与方法，在战术上寻求舰载雷达的战斗使用方案，充分发挥现有装备的潜能。总之，无论是在战术上，还是在技术上，都必须以舰载雷达效能和性能参数的计算为基础来进行全面研究。

舰载雷达的效能就是指用一系列效能参数表达的、与整个系统功能相适应的舰载雷达的性能体系。舰载雷达的效能不同于舰载雷达的一般性能，它是舰载雷达性能基础之上的综合概念。因此，在研究舰载雷达的效能时，最首要的任务就是进行舰载雷达的效能评估，这种评估的标准就是评估舰载雷达保障上一级系统有效运用的能力。

通常，舰载雷达效能评估有三种基本方法：第一种方法是定性评估法，即通过物理概念、意义来描述舰载雷达效能的方法，这种方法概念清楚、简单，但其科学性较差。第二种方法是定量评估法，即通过定量计算来评估舰载雷达的效能，这种方法具有较强的科学性，但需建立完整的物理和数学模型。第三种方法是定性定量评估法，这种方法是前两种方法的综合，已得到广泛应用。

舰载雷达是整个舰载武器系统的一部分，舰载雷达的效能不仅与其本身的潜在效能有关，而且还和舰载其他武器系统、环境等众多因素有关。因此，理论研究和多次试验均表明在进行舰载雷达效能评估时，通常采用以下三个最基本的步骤。

第一步：确定被保障系统对舰载雷达的具体要求；

第二步：建立与实际舰载雷达性能相适应的舰载雷达性能参数体系；

第三步：计算舰载雷达的效能参数。

1.2 舰载雷达效能评估的基本准则

选择正确的效能评估准则，是进行舰载雷达效能评估的基础。评估准则选取的是否合适，将直接关系到效能评估的科学性与合理性，因此，在研究舰载雷达效能评估中，必须科学合理地选择有效的效能评估准则。大量实践表明，在进行舰载雷达效能评估中，通常采用相对不完全准则，该准则又可分为单一准则、等价不完全准则和通用准则。

1. 单一准则

所谓单一准则就是只用舰载雷达的某一个主要性能，作为舰载雷达效能评估的准则。采用单一准则法，通常只能反映舰载雷达的某一主要性能。例如：对于舰载警戒雷达来讲，可以用发现目标的距离准则来评估其效能；而对于火控舰载雷达来讲，则应选用定位精度准则。在这种单一准则下，效能参数的选择和计算都比较简单。这种方法的主要不足是没有考虑到舰载雷达的其他性能，如距离准则下就只考虑距离，不考虑设备的大小、重量等其他因素，而没有被考虑的这些因素对于舰载雷达来讲也同样重要。因此，在运用单一准则时，往往会把其他因素限制在某一特定范围内。例如：在以单一距离准则法来比较几种同型号舰载雷达的效能时，通常都要假定各雷达装备的大小、价格、重量相同，这时，发现目标的距离越远，则舰载雷达的效能就越高。而实际上，各种雷达装备的大小、价格、重量、体积等其他因素不可能完全相同，因此，用这种方法来比较舰载雷达的效能会存在一定的局限性或片面性。

2. 等价不完全准则

所谓等价不完全准则就是指用多个等价反映舰载雷达性能的不完全准则，来评估舰载雷达的效能。这种方法比较全面地反映了舰载雷达的效能，但是，这种方法也存在某些不足，最主要的问题就是最终评估结果存在某种不确定性。例如：在比较两个舰载雷达效能时，第一部舰载雷达的某个主要性能比第二部舰载雷达

高。但是,运用等价不完全准则法进行综合评估后,第一部舰载雷达的效能可能比第二部舰载雷达要低,这种现象就是所谓的效能评估结果具有不确定性。这种不确定性,可能会降低舰载雷达效能评估的可信度和应用价值。

3. 通用准则

所谓通用准则就是将几个不完全准则按照一定的规则有机地综合在一起,形成一个通用的准则。采用通用准则就需要选择与该准则相适应的通用效能参数,这些通用参数就是通用准则所包含的不完全准则所对应的参数。不完全参数整合成通用参数的最基本方法就是加权法,哪个参数重要,哪个参数的加权值就大。

1.3 舰载雷达效能研究的基本方法

为了计算舰载雷达的效能参数,首先必须确定舰载雷达的性能参数体系,而性能参数体系通常可以用理论法和试验法来获得。其中,试验法的组织比较复杂,因此,一般很少采用。此外,随着计算机在舰载雷达研制与使用中的广泛应用,舰载雷达的效能研究通常采用数学模似法。

1. 物理模拟法

物理模拟法就是以自然物理模型为基础,研究舰载雷达在相应于实际使用条件下有关内容的方法。这种方法所采用的理论基础是相似论,如:结构相似、物理模型相似与野外试验相似等。客观上讲,物理模拟法的本质在很大程度上与试验法相同。

2. 数学模拟法

数学模拟法就是通过建立数学模型来研究舰载雷达有关内容的方法。为了描述被研究设备在使用过程中所遇到的各种现象,通常可以运用的一切数学表达方式,如:数学公式、微积分方程与逻辑关系等。

3. 综合模拟法

综合模拟法就是指舰载雷达的某些部分用物理法来模拟,另

外部分和外部环境则用数学法来模拟的方法。这种方法兼顾了物理模拟法和数学模拟法的所有优点，因此，在实际工作中获得了广泛的应用。

实践表明，在利用数学模拟法进行舰载雷达效能研究时，舰载雷达效能评估的完整性与可信度将在很大程度上取决于描述舰载雷达工作过程的舰载雷达模型的建立。因此，在研究舰载雷达效能时，必须建立高质量的舰载雷达模型。要想建立高质量的舰载雷达模型，要求研究者必须具有一定的技术储备，必须对舰载雷达工作过程的物理特征进行深入细致地研究，必须探讨并明确表示每个因素对整个效能评估结果的影响及其影响程度。

需要全本请访问 www.ertongbook.com