

RADAR

雷达性能参数 测量技术

LEIDA XINGNENG CANSHU
CELIANG JISHU

邓 斌 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press



雷达性能参数测量技术

邓 斌 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书取材于雷达装备的研制、生产、使用和教学实践,重点讨论了开展雷达整机及各分系统性能参数测量工作时所涉及的各种测试技术,阐明了各参数的物理含义,给出了测量方法、测试步骤及注意事项,为技术人员开展雷达性能测试工作提供指导。

全书共10章,分为三大部分:第一部分(第1章)主要讲述雷达性能参数测量的意义及特点,以及测量的基本内容、方法步骤及要求;第二部分(第2章~第9章)分别讲述雷达整机及各分系统主要性能参数的测量方法;第三部分(第10章)主要讲述雷达性能参数的自动测试,针对不同测试场合提出了相应的解决方案。

本书可作为大专院校雷达维修工程和雷达相关专业学生的教材和参考书,亦可供从事雷达装备研制、生产、维修等工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

雷达性能参数测量技术 / 邓斌主编. —北京:国防工业出版社,2010.3

ISBN 978-7-118-06614-2

I. ①雷... II. ①邓... III. ①雷达-性能-参数-测量-高等学校-教材 IV. ①TN951

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第013428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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12½ 字数 282 千字

2010年3月第1版第1次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 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

编委会名单

主 编 邓 斌

主 审 潘谊春

编审人员 (以下按姓氏笔画排列)

邓 斌	闫世强	刘宁泽	刘庆华
许绍杰	陈 辉	陈小民	邵银波
肖文杰	李 鸿	杨江平	武 文
林瑞正	侯耀清	曾 泰	谭贤四

前 言

正确理解和掌握雷达整机及各分系统性能参数的含义及其测量方法,是取得正确测量结果的前提。而正确的测量结果是雷达装备维修人员分析判断故障、实施维修和技术鉴定的可靠依据。作者编写本书的目的就是为测量人员提供一本实用的工具书,使其通过对本书的学习能够了解雷达性能参数测量的基础知识、掌握性能参数测量的方法。

本书取材于雷达装备的研制、生产、使用和教学实践,重点讨论了开展雷达整机及各分系统性能参数测量工作时所涉及的各种测试技术,在阐明雷达主要性能参数的物理含义的基础上,给出了实际工作中的各种测量方法、测试步骤及注意事项,为技术人员开展雷达性能测试工作提供指导。全书的撰写力求理论与实践相结合,将科学性、实用性、知识性融为一体,既反映当前雷达性能参数测量技术的发展水平,又突出其实用性要求。另外,针对雷达性能参数测量活动实践性强的特点,本书在保持适当的理论深度基础上,省略了公式中复杂的数学推导过程,使得书中测量原理的讲述简明扼要、通俗易懂。

全书共10章,包含三大部分内容。第一部分为第1章,主要讲述雷达性能参数测量的意义及特点,以及测量的基本内容、方法步骤及要求。第二部分为第2章~第9章,分别讲述雷达整机及各分系统主要性能参数的测量方法。第三部分为第10章,主要讲述雷达性能参数的自动测试,针对不同测试场合提出了相应的解决方案。

本书由邓斌担任主编,由潘谊春教授主审。其中,第1、2、4、6、7、9章由邓斌编写;第3章由肖文杰副教授、杨江平教授和谭贤四教授共同编写;第5章由陈辉副教授、闫世强教授和武文教授共同编写;第8章由曾泰、侯耀清、林瑞正等共同编写;第10章由许绍杰、陈小民、李鸿等共同编写。编著本书的过程得到了作者所在单位及上级领导机关的大力支持,部分编写内容借鉴了各雷达生产厂家撰写的雷达性能测试规范以及各雷达修理厂编写的雷达修理规范,丁建江教授审阅了全书,并提出了许多很好的意见,刘宁泽、刘庆华和兰金波等同志对本书的编排、校对及绘图等做了大量工作,在此一并表示感谢。另外,本书参考了各雷达研究所和生产厂家关于雷达性能测试的具体方法,以及相关的测试标准,在此编者向给予支持和帮助的同志表示感谢。

由于雷达性能参数测量涉及的内容较多,加之作者水平有限,本书的编写难免存在疏漏和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

第 1 章 雷达性能参数测量概述	1
1.1 意义和特点	1
1.1.1 意义	1
1.1.2 特点	2
1.2 基本内容	3
1.2.1 整机性能参数	3
1.2.2 分系统性能参数	3
1.3 基本步骤及要求	5
1.3.1 基本步骤	5
1.3.2 基本要求	6
第 2 章 天馈分系统测量	10
2.1 天线方向图	11
2.1.1 技术指标	12
2.1.2 条件要求	12
2.1.3 系统组成	13
2.1.4 方法步骤	15
2.1.5 典型实例	17
2.2 天线增益	19
2.2.1 比较法	19
2.2.2 绝对法	21
2.2.3 相控阵天线的增益测量	23
2.3 馈线驻波比	23
2.3.1 低功率电压驻波比	24
2.3.2 高功率驻波比	29
2.4 馈线损耗	30
2.4.1 信号发生器测量法	31
2.4.2 扫频仪测量法	32
2.4.3 网络分析仪测量法	32
2.5 TR 腔漏过功率测量	34
2.6 馈线气密性	35
第 3 章 发射分系统测量	36
3.1 发射机输出功率测量	38

3.1.1	吸收式功率测量	39
3.1.2	通过式功率测量	40
3.2	雷达工作频率范围测量	42
3.2.1	谐振式频率计测量法	42
3.2.2	吸收式频率计测量法	43
3.2.3	频谱分析仪测量法	43
3.3	发射功率带内起伏测量	44
3.4	射频脉冲重复频率和射频脉冲包络测量	45
3.5	射频脉冲频谱测量	47
3.6	发射机改善因子测量	49
3.7	发射机效率测量	50
第4章	接收分系统测量	52
4.1	接收机灵敏度测量	52
4.1.1	概述	52
4.1.2	直接测量法	55
4.1.3	间接测量法	57
4.2	接收机噪声系数测量	57
4.2.1	概述	57
4.2.2	功率倍增法	60
4.2.3	中频衰减法	61
4.2.4	冷热负载法	61
4.2.5	自动测量法	62
4.3	接收机动态范围测量	63
4.3.1	连续波信号测量法	64
4.3.2	脉冲调制信号测量法	66
4.3.3	频谱分析仪测量法	67
4.3.4	对数接收机动态范围的连续波信号测量法	67
4.4	接收机增益测量	69
4.4.1	高频信号源测量法	69
4.4.2	扫频信号源测量法	70
4.4.3	频谱分析仪测量法	70
4.4.4	噪声系数分析仪测量法	71
4.5	接收机通频带及带内平坦度测量	71
4.5.1	概述	72
4.5.2	高频信号源测量法	73
4.5.3	扫频信号源测量法	74
4.5.4	中频信号源测量法	74
4.5.5	脉冲调制信号测量法	75
4.5.6	频谱分析仪测量法	76

4.6	接收机镜像频率抑制制度测量	76
4.6.1	扫频信号源测量法	77
4.6.2	标量网络分析仪测量法	78
4.6.3	连续波信号测量法	78
4.6.4	脉冲调制信号测量法	79
4.6.5	频谱分析仪测量法	80
4.7	频率源测量	81
4.7.1	频率测量	81
4.7.2	输出信号强度测量	82
4.7.3	杂波抑制制度测量	82
4.7.4	稳定度测量	83
4.8	发射激励信号性能测量	89
4.8.1	信噪比测量	89
4.8.2	改善因子测量	89
4.8.3	波形参数测量	90
4.9	接收机选择性测试	91
4.10	多通道性能测试	92
4.10.1	校准原理	92
4.10.2	硬件组成	93
4.10.3	软件设计	94
第5章	信号处理分系统测量	96
5.1	改善因子测量	96
5.2	线性调频信号参数和脉冲压缩信号参数测量	98
5.2.1	线性调频信号参数	98
5.2.2	脉冲压缩信号参数	99
5.3	杂波图功能测试	100
5.3.1	动态控制功能测试	101
5.3.2	载波开关功能测试	102
5.3.3	杂波图建立时间测试	102
5.3.4	杂波强度修改功能测试	103
5.4	恒虚警性能指标的测试	103
5.4.1	恒虚警性能测试	104
5.4.2	恒虚警损失测试	104
5.5	MTI 滤波器性能测试	105
5.6	MTD 滤波器性能测试	106
5.7	数字波束形成相关参数测试	107
第6章	终端分系统测量	110
6.1	视放增益和带宽测量	110
6.2	扫描线宽、非线性失真度和消隐范围的测量	111

6.3	录取容量和上报数据测量	112
6.3.1	录取容量	113
6.3.2	上报数据	113
6.4	数据处理能力测试	114
6.5	录取方式测试	115
6.6	基本时序测试	116
6.7	显示能力测试	117
第7章	天控分系统测量	119
7.1	天线转速	119
7.2	天线转速稳定度	119
7.3	天线同步稳定度	120
7.4	幅频特性	121
7.4.1	开环幅频特性	121
7.4.2	闭环幅频特性	122
第8章	配电分系统测量	126
8.1	三相交流电源测量	126
8.1.1	线电压及其不平衡度测量	126
8.1.2	相电压及其不平衡度测量	127
8.1.3	频率测量	128
8.1.4	输出电压波形失真度测量	128
8.1.5	源电压效应测量	129
8.1.6	负载效应测量	130
8.1.7	过流保护电流测量	130
8.1.8	过压保护电压测量	131
8.2	单相电源测量	131
8.2.1	输出电压测量	131
8.2.2	输出电流测量	132
8.2.3	源电压效应测量	132
8.2.4	负载效应测量	133
8.2.5	过流保护测量	133
8.2.6	过压保护测量	134
8.2.7	直流电源输出电压纹波测量	134
8.2.8	单相交流电频率测量	135
8.2.9	正弦交流电压波形失真度测量	135
第9章	整机性能参数测量	136
9.1	整机技术性能参数测量	136
9.1.1	整机功耗	136
9.1.2	整机改善因子	136
9.1.3	整机杂波中可见度	142

9.1.4	整机噪声系数	145
9.2	整机战术性能参数测量	145
9.2.1	雷达工作频率范围	145
9.2.2	探测威力	145
9.2.3	探测精度	146
9.2.4	分辨力	147
9.2.5	抗干扰能力	148
9.2.6	反侦察、抗摧毁和快速反应能力	156
9.3	雷达标定与校准	156
9.3.1	光电轴匹配	157
9.3.2	方位角标定	158
9.3.3	高低角校准	159
9.3.4	距离零位校准	160
第 10 章	性能参数的自动测试	161
10.1	基于 LXI 总线的雷达性能参数自动测试系统	161
10.1.1	系统组成	162
10.1.2	系统功能实现	164
10.2	雷达综合性能测试仪	170
10.2.1	概述	170
10.2.2	系统组成	171
10.2.3	仪器面板及软件界面说明	174
10.3	雷达性能参数在线测试	176
10.3.1	发射机输出功率检测	176
10.3.2	接收机噪声系数检测	176
附录 A	雷达性能参数测量周期建议表	178
附录 B	某型雷达参数测量测试电缆和转接线(板)一览表	181
附录 C	噪声系数测量原理及方法	182
参考文献		189

第1章 雷达性能参数测量概述

雷达是英文 RADAR (Radio Detection and Ranging) 的音译,意为“无线电检测和测距”。根据军标“军用雷达术语”的相关定义,雷达是指利用电磁波发现目标并测定其位置、速度和其他特征的装备或装置。

在现代战争作战指挥系统中,雷达是获取信息的探测手段,是收集各种军事情报的传感器。它具有发现目标距离远、测定目标坐标和其他参数速度快、能全天候工作等特点。它们装在飞机、舰船、战车、导弹等各类作战平台上时,成为武器装备对目标实施精确打击的保证,是发挥武器装备作战性能的倍增器。雷达在军事上广泛应用于警戒、引导、武器控制、侦察、测量、航行保障、敌我识别和气象观测等方面,是一种重要的军用电子技术装备。

在实际工作中,按照用途可将军用雷达分为对空情报雷达、测量雷达、预警雷达、气象雷达、火控或炮瞄雷达、地炮雷达、制导雷达等。在各军兵种的雷达装备中,型号和数量较多的是地面对空情报雷达。地面对空情报雷达又称对空搜索雷达,是指用于搜索、监视与识别空中目标并确定其坐标和运动参数的雷达。它所提供的情报,主要用于发布防空警报、引导歼击机截击敌方航空器和为防空武器系统指示目标,也用于保障飞行训练和飞行管制。它是现代战争中获取空中目标情报的重要装备。本书主要以地面对空情报雷达为研究对象,讨论其整机及各分系统的性能参数测量。

1.1 意义和特点

1.1.1 意义

雷达性能参数测量工作贯穿于雷达装备全寿命周期的各个阶段,它是雷达整机验收、技术等级鉴定、维护检修等活动中的一项基础性技术工作,是检验雷达性能指标是否满足设计要求和评价其质量优劣的重要途径。

雷达性能参数测量,不仅对于研制生产阶段确保雷达装备设计合理、节约生产调试成本具有极其重要的作用,同时对于使用阶段提高雷达装备的可用度,确保雷达装备始终处于良好的工作状态,充分发挥雷达装备的战斗力也具有极为重要的意义。通过参数测量工作,不仅能够了解雷达装备的技术状态,对其战术性能作出正确评估,为雷达兵部队指挥员的作战使用,以及操纵员搜索、监视空中目标提供依据,还能进行故障定位,提高装备维修质量、维修效率,减少元器件消耗。因此,无论是雷达装备的研制人员,还是验收、使用和维修人员,都离不开性能参数测量工作。可以说,熟悉参数测量的内容、掌握正确的测量方法,是雷达装备测量人员必须具备的基本技能。

在雷达出厂前开展军检验收工作时,虽然对整机及各分系统的性能指标都进行了测

试标定,但在雷达使用阶段,各项性能指标是会变化的,单项指标的下降会影响到雷达战术、技术性能,甚至导致雷达故障。因此,必须定期测量雷达的关键性能参数,及时掌握雷达的技术状态,如果发现某项指标下降,应采取相应措施,尽快排除故障,使雷达装备恢复到良好的工作状态。由此可见,在雷达装备使用阶段,开展性能参数测量工作的目的之一就是为检验雷达性能。另外,当雷达装备的性能下降时也需要通过参数测量来进一步查明原因。雷达探测能力下降就是典型的故障实例,当发现雷达探测能力下降,可能的原因有发射功率下降、馈线损耗增大、接收机增益下降。必须通过参数测量来查明故障原因,进一步定位故障部位。由此可见,在雷达装备使用阶段,开展参数测量工作的另一个目的就是为了判明故障原因,隔离定位故障。

1.1.2 特点

(1)参数种类多。用以描述雷达性能的参数,除了无线电测量技术中常用的电压、电流、功率、频率等基本量外,还有很多属于雷达本身特有的性能参数,如改善因子、杂波中可见度、系统线性动态范围等。另外,随着雷达技术的不断进步,以及各种新材料、新器件和新工艺的出现和广泛采用,必然使得雷达的性能指标日趋复杂,必将增加很多新的测量内容。

(2)频率范围宽。雷达种类繁多,功能各异,工作频率范围可从几十兆赫到几万兆赫。即使在同一部雷达内,也存在着射频、中频、视频、工频以至直流电等各种不同频率的电信号。对不同的频率范围,参数的含义往往会有所不同,所采用的测量技术和测量仪器也各不相同。

(3)动态范围大,精度要求高。雷达参数的量值范围差别很大,例如,测量雷达接收机灵敏度时,信号电压为微伏级,而测量雷达发射机高压时则达到千伏级,量值相差9个数量级。又如测量信号功率时,本振输出信号的功率为毫瓦级,而发射机输出的脉冲功率则达到几百千瓦,甚至数兆瓦,相差8个~9个数量级。因此,在雷达性能参数测量活动中,对于同一种量的测量,在不同量级测量时,其测量手段也是不相同的。

此外,在雷达性能参数测量活动中,某些参数的测量精度要求很高(例如,某型雷达稳定本振的瞬时频率稳定度为 10^{-6} 量级~ 10^{-7} 量级),这无疑对测量手段提出了更高要求。

(4)影响测量的因素多。由于雷达的工作频率较高,对来自雷达系统内部和外部的各种影响测量的因素都比较敏感,而且各种影响因素的特性也较复杂,例如,引线电感、分布电容会产生不需要的耦合,各种外部噪声干扰、电磁干扰、电源起伏、环境条件变化等因素也都会对测量产生影响。另外,测量仪器、仪表的工作特性(如检波特性和频率特性)也会影响到测量结果。因此,在测量时应根据具体情况,采取措施,减少不利影响,以保证获得精确的测量结果。

(5)测量手段复杂。由于雷达性能参数测量的上述特点,决定了测量中所使用的仪器、仪表和设备种类多、结构复杂、价格昂贵,对测量人员的技术要求较高。而且对于特定的雷达性能参数,必须具备相应的仪器、仪表和测量设备才能进行测量。同时要求测量人员必须熟练掌握各种测量仪器的操作使用方法。

(6)测量技术发展较快。随着超大规模数字集成电路技术、计算机技术和通信技术

的高速发展,以及相关技术在电子测量中的广泛应用,雷达性能参数测量发生了革命性变化。雷达性能参数测量技术正朝着自动化、智能化和一体化方向发展。例如,由于现代网络分析仪能够很容易地测量出被测电路网络的幅频特性和相频特性,因此,网络分析仪不仅广泛用于雷达天馈分系统的反射系数、驻波比、损耗以及馈线电气长度的测量,还用于接收机的增益、带宽、平坦度和带外抑制制度等参数的测量,而且具有使用简便、测量精度高、测量速度快等优点。另外,随着测量技术的发展,新型雷达的机内测试设备可在雷达正常工作状态下完成分系统主要性能参数的测量,逐渐实现了状态监测、性能测试和故障诊断等功能的一体化。

1.2 基本内容

目前,对于军用雷达性能指标的分类方式有两种:一种是将雷达性能指标分为战术指标和技术指标,另一种则是将雷达的性能指标分为整机指标和分系统性能指标。本书在讲述雷达性能参数测量时是按照第二种方式来划分雷达的性能指标的。在第2章~第8章分别讲述天馈、发射、接收、信号处理、终端、天控、配电等分系统的性能参数测量,而在第9章则讲述雷达整机性能参数的测量。在具体讨论雷达整机及各分系统的主要技术参数测量时,主要是以地面对空情报雷达为对象进行分析研究的。

1.2.1 整机性能参数

雷达整机性能参数反映的是雷达总体的战术、技术性能,主要包括工作频率、发射功率、整机功耗、整机改善因子、整机杂波可见度、整机噪声系数、探测范围、探测精度、探测分辨力、抗干扰能力、反侦察能力和抗摧毁能力等。

1.2.2 分系统性能参数

分系统性能参数反映的是雷达各分系统的具体性能。根据系统的组成,大体上可将雷达系统划分为天馈、发射、接收、信号处理、终端、天控、配电等分系统。各分系统的主要性能参数测量内容见表1-1。

需要说明的是:

(1)对于天馈分系统的性能测试,除表中所列举的参数外,通常还包括发射状态下接收端的漏功率、馈线气密性以及馈线的绝缘电阻等参数。

(2)对于发射分系统的性能测试,除表中所列举的参数外,通常还有工作频率稳定度。由于现代雷达发射机的工作频率稳定度主要取决于频率源的频率稳定度,而现代雷达的频率源模块一般位于接收分系统,因此其性能测试问题将在接收机性能参数测量中专门讨论。

(3)对于接收机的性能测试,除表中所列举的参数外,在雷达研制阶段对接收机进行性能评价时,还需要对接收机的保真度、抗干扰能力、恢复时间和工作稳定性等指标进行测试。另外,对现代相控阵雷达接收机而言,通常还需要测量接收机的“多通道性能”,其具体测量内容包括多路接收机噪声系数、多路接收机增益、多路接收机动态范围、多路接收机镜像抑制制度、多路接收机幅相一致性、多路接收机幅相稳定性、多路接收机隔离度等。

(4)对于信号处理分系统的性能测试,除表中所列举的参数外,通常还包括线性调频信号参数、脉冲压缩信号参数、杂波图动态控制功能和恒虚警性能等测量内容。

(5)对于终端分系统的性能测试,除表中所列举的参数外,通常还包括数据处理能力、录取方式、基本时序和显示能力等测量内容。

(6)对于天控分系统的性能测试,除表中所列举的参数外,通常还有天线同步稳定性和幅频特性等参数。

表 1-1 雷达各分系统主要性能参数

序号	系统名称	测量项目	参数说明
1	天馈分系统	天线方向图	天线的方向图是表征天线的辐射特性的图形,根据方向图可确定天线的波瓣宽度、副瓣电平和方向系数
		天线增益	天线增益是表征天线的方向性的指标
		驻波比	用来描述馈线分系统的反射特性,如果馈线驻波比过大,说明馈线与发射机之间的阻抗不匹配
		馈线损耗	用来描述馈线分系统的传输特性,如果馈线损耗过大,说明馈线分系统对射频信号的衰减过大
2	发射分系统	输出功率	发射机输出功率的大小直接影响着雷达探测距离的远近
		发射机效率	反映发射机的工作效率
		工作频率	雷达工作频率是指雷达发射信号的载频
		重复频率	指雷达发射机每秒钟产生的射频脉冲次数
		发射脉冲波形参数	包括脉冲宽度、脉冲上升沿时间、脉冲下降沿时间、脉冲重复频率和脉冲顶降等参数。这些指标的好坏直接影响着雷达的距离分辨力、整机改善因子和杂波可见度等整机性能
		脉冲频谱	指射频脉冲信号的频谱分布
3	接收分系统	中心频率	接收机工作的中心频率点
		带宽	反映接收机对信号的选通特性
		增益	反映接收机对回波信号的放大能力
		灵敏度	反映雷达接收机能够分辨的最小信号功率
		噪声系数	反映接收机内部噪声的大小,直接影响接收微弱信号的能力
		动态范围	反映接收机同时检测小信号和大信号的能力
		镜像抑制度	反映接收机对镜像频率信号的抑制能力
		频率源性能	主要测量频率源的频率、输出信号强度、杂波抑制度、稳定度
		发射激励信号性能	发射激励信号性能的测试包括频域测试和时域测试。其中,频域测试主要是测量激励信号源信噪比和改善因子。时域测试主要是测量发射激励脉冲信号的幅度、脉宽、上升沿时间、下降沿时间、顶降等波形参数
		矩形系数	又称选频系数,它是表征接收机选择性的重要参数
4	信号处理分系统	改善因子	反映信号处理分系统对信杂比的改善倍数
		MTI 滤波器性能	反映信号处理分系统对运动目标检测的能力
		MTD 滤波器性能	反映信号处理分系统对运动目标检测的能力

(续)

序号	系统名称	测量项目	参数说明
5	终端分系统	视频增益	反映终端视频放大器对视频信号的放大能力
		视频带宽	反映终端视频放大器的带宽
6	天控分系统	转速	指天线稳定旋转时每分钟所转的圈数
		转速稳定度	反映雷达天线在旋转过程中抗负载扰动的调节能力

1.3 基本步骤及要求

1.3.1 基本步骤

雷达性能参数测量工作的基本步骤分为三步:①测量前的准备工作;②实施测量;③撰写测量报告。

1. 测量前的准备工作

性能参数测量前的准备工作主要包括:

(1)明确参数的含义。开展雷达性能参数测量的测量人员必须在熟悉所测雷达工作原理的基础上,明确被测参数的含义,以及各分系统性能参数之间的联系和相互影响。需要注意的是,对于同一参数而言,如果其定义不同,则相应的测量方法和测量结果也不相同。

(2)确定测量方法,选择仪器、仪表和测量设备。根据参数的含义,以及对测量精度的要求,确定测量方法,并选择相应的测量仪表和测量设备。要求所确定的测量方法在理论上应该是正确的、严密的,并必须确保所选择的仪表、设备条件是可行的,而且各种测量仪器必须附有适用的配套附件(有时可能还需要一些自制件)。为了逐步实现雷达参数测量的规范化,部队在开展测量工作时,应尽量使用统一配发的仪表,如有精度较高的仪表,也可以进行对比校核。使用仪表的精度应高于待测参数技术指标要求一个数量级。应对仪表进行定期检定、校准,以保持其精度。在开展测量工作前,测量人员必须熟悉仪表的正确使用方法,以保证获得准确的测量结果,确保人员、设备的安全。

(3)确定是原位测试还是离位测试。通常对于雷达整机的性能参数必须采用原位测试,而对于各分机的性能参数可以采用原位测试也可以采用移位测试。在雷达的研制和生产阶段,雷达生产工厂进行分机性能参数测试时,通常使用测试台来模拟整机工作条件,在测试台中安装有专用的测试电路和显示装置,从而使测量过程简化。在部队开展雷达性能参数测量工作时,部队限于仪表、设备和环境等条件,通常均采用原位测试,以整机作测试台,在雷达正常工作条件下开展参数测量工作。需要注意的是,在拉出分机进行测试时,有时须考虑修理电缆长度对高频参数和灯丝电压的影响。

(4)确定测试点。首先应根据参数的定义来确定参数的测试点。例如,测量接收机的噪声系数时,噪声信号从接收机的信号输入插座输入,而测量整机噪声系数时,则噪声信号经天线转换器输入。这说明测试点不同,所表示的参数含义是不同的。其次,在测试点的选择方面,应确保不影响被测电路的正常工作。

(5)选择合适的测量环境。雷达参数测量工作都是在有一定要求的环境条件下进行

的,而部队在使用雷达时的环境条件往往较差,因此,对测量时必须具备的环境条件(如气候、外界电磁干扰、电源等)应预先作考虑和准备,尽量在合适的环境条件下开展性能参数测量工作,使环境条件对测量结果的影响降低到最小程度。

(6)准备好被测装置。开展雷达性能参数测量工作通常有以下两种情况。一种情况是雷达无故障情况下进行测量,比如在雷达年维护工作中所进行的例行测量,或在对雷达进行技术等级评定时所进行的测量,此时,测量前应将雷达整机调整正常,使其处于良好的工作状态。另一种情况则是在雷达装备故障修理期间进行测量,其目的是通过测量来确定故障部位。

2. 实施测量

性能参数测量的具体实施步骤如下:

(1)连接测量线路。根据确定的测量方法和选择的仪表和测量设备来连接测量线路。在连接测量线路时应注意以下几点:①仪表、设备和被测装置应良好接地;②各连接电缆的型号、长度、走向以及接插件的配合应满足测量要求;③仪表、设备、被测装置及有关部分的开关、旋钮的位置应正确无误;④测量大功率、高电压时的安全措施应当落实。

(2)接通仪表、设备、被测装置及有关部分的电源,按规定预热。进行此步骤时应注意仪表输出信号的幅度不要过大,以避免损坏被测装置;同时还要注意防止被测装置的高压进入仪表,以避免损坏仪表和测量设备。

(3)按规定步骤校验仪表,如表头指针校零、刻度标志的检查等。

(4)按规定步骤调谐仪表、设备和被测装置,读出仪表的刻度指示并记录。进行此步骤时要注意测量人员的位置,尽量避免和减少读数时的视角误差。

(5)关机,拆除测量线路,并将被测装置恢复到原来的工作状态。

需要说明的是:如果是在雷达装备故障修理期间进行测量,其目的是通过测量来确定故障的部位,并针对确定的故障部位开展修理工作,当完成修理后测量人员必须进行重复测量,直至相应性能参数满足技术要求,并做好故障修理记录。

3. 撰写测量报告

(1)对测试数据进行处理,包括按照修正曲线对读数进行修正、按照给定的公式计算出最后结果、将测量结果绘成图形等。

(2)对测试结果进行分析判断,作出合格(满足技术要求)或不合格(不满足技术要求)的结论。

(3)按规定格式填写《参数测量记录表》,写出本次参数测量结果报告。

1.3.2 基本要求

1. 熟悉雷达结构

雷达种类繁多、结构复杂,在开展性能参数测量前测量人员必须熟悉各参数相对应的分机位置、测试插孔、转接头、测试电缆型号和所需测量仪器等,以便预先准备好测量仪器、设备,正确连接测量线路。

2. 熟悉测量内容的方法步骤

雷达种类不同,测量同一参数的方法不同,所使用的仪器仪表也不同,测量前必须对雷达说明书中有关部分进行认真阅读。

3. 熟悉被测雷达参数的技术指标

在有条件的情况下必须熟悉参数测量的军品标准,军标中明确规定了测试环境条件、仪表精度、操作方法和适用范围,在产品验收时,它具有权威性,可信度高。此外,在雷达的技术说明书中,通常也给出了雷达各分系统性能参数的技术指标要求。

需要指出的是,随着雷达技术的发展,所需要测试的技术指标越来越多,对雷达进行全面测试也变得越来越复杂,因此必须按照分机测试、分系统测试和整机测试的先后顺序来进行分阶段性能测试,特别是在雷达研制生产阶段,分阶段性能测试是确保整机技术指标达到设计要求的重要保证。

4. 了解测量误差

在测量雷达性能参数时,由于测量方法、测量仪器、环境条件以及人员的操作都可能引起测量误差,测量误差是不可避免的,然而可以通过对测量误差的认识,采取相应措施来减少测量误差。因此,了解测量误差对于性能参数测量工作来说是必不可少的。例如当使用某个仪表进行测量时,只有知道该仪表的额定允许误差,才能估计出使用该仪表进行测量时产生误差的大小程度。通常,仪表的额定允许误差在使用说明书中都有明确规定,如 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 等。搞清仪表的额定允许误差等概念的含义,才能得出测量数据与真实数值之间的实际误差,从而才能正确判定雷达性能是否合格,所测数据是否可用。

测量误差通常可以使用绝对误差和相对误差两种表示方法进行描述。下面对测量误差的这两种表示形式的定义和特点进行说明。

1) 绝对误差

(1)定义。绝对误差是被测量的测得值 x 与其真值 A_0 的差值,即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

式中: Δx 为绝对误差; x 为测得值,包括测量值、标称值、示值、计算的近似值等,习惯上统称为示值;由于真值 A_0 实际上是不知道的,式(1-1)只有理论上或计量上的意义,一般无法求得,故常用实际值 A 代替真值 A_0 ,则

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

实际值是满足规定准确度要求,用来代替真值的量值。在实际测量中,通常用高一个等级(准确度为所使用仪器的 $1/10 \sim 1/3$)的标准仪器所测得的量值作为被测量的实际值,也可以把经过修正的多次测量得到的算术平均值作为实际值,并用来代替真值。

(2)特点。绝对误差具有以下特点:

- ① 有单位量纲,其数值大小与所取单位有关;
- ② 能反映出误差的大小与方向;
- ③ 不能更确切地反映出测量结果的精确程度;
- ④ 是一种常用的误差表示方法,较广泛地应用于各种测量。

(3)应用举例。例如,用甲波长表测量 100kHz 的标准频率,波长表测得数值为 101kHz ,则绝对误差为 $\Delta x = 101 - 100 = 1\text{kHz}$ 。又如用乙波长表测量 1MHz 标准频率,测得数值为 1.001MHz ,则绝对误差为 $\Delta x = 1.001 - 1 = 0.001\text{MHz} = 1\text{kHz}$ 。

上述两个波长表的绝对误差虽然相同,但显然乙波长表测量精确度高,因其测量 1MHz 时才差 1kHz ,而甲波长表测 100kHz 时就差 1kHz 。由于绝对误差对测量结果的精