

利用微波仪器测量新一代天气雷达 发射功率及改善因子

梁 华,刘永强,谢万军,刘冰鑫,施建军

(甘肃省气象信息与技术装备保障中心,甘肃 兰州 730020)

摘 要:以 C 波段新一代天气雷达为例,系统阐述了雷达发射功率及改善因子的测量目的和方法,详细说明了测试时所使用的微波测量仪器小功率计、频谱分析仪的参数设置方法和测量步骤,并加以实时数据分析说明,验证了上述测量方法的正确性,为从事新一代天气雷达工作的雷达技术人员提供了雷达测试的参考规范。

关键词:功率;改善因子;测量;微波仪器

中图分类号:P407.7

文献标识码:A

引 言

随着电子技术的发展,新材料、新器件的不断出现,射频/微波技术已经广泛应用于军事和民用领域,如雷达、制导、快速侦察、电子对抗、军事通讯和导航等。为了进一步提高电子通信设备的效能和保证设备的正常工作,现代微波仪器将是必不可少的信号分析手段。

雷达发射机技术参数的测试是检验发射机性能指标是否满足设计要求和评价其质量优劣的唯一方法^[1],而雷达发射机功率及极限改善因子 2 个参数在发射机技术参数中最为重要^[2-8]。雷达发射功率有平均功率和峰值功率 2 种^[9],平均功率是单位时间内发出的功率能量,脉冲重复周期内的输出平均功率;峰值功率是脉冲发出时间点的功率,脉冲期间射频振荡的平均功率。雷达输出极限改善因子是等效于发射机输出信号的相位噪声。

随着科学技术的发展,使得微波大功率信号在服务于人类的各个方面发挥着越来越大的作用,比如雷达功率已经要求达到上百瓦、甚至上千瓦,这给功率测量提出了更高的要求。目前,可用峰值/平均功率计作为标准,采用功率计一定向耦合器组合、功率计—高功率衰减器组合,以及多级级联耦合器的测量方法。

现代高性能雷达对发射机提出了更高要求,尤其是对目标显示雷达和脉冲多普勒雷达,对发射机输出极限改善因子提出了很高的指标要求。目前对发射信号的相位噪声指标的测试,已经突破了过去测试设备复杂、测试过程繁琐、测试不准确的难关,而且已经有很多型号的高质量、高分辨率和大动态范围的频谱分析仪,可以用来测试发射信号频谱纯度—单边带相位噪声。

本文将介绍采用峰值功率计一定向耦合器组合的测量方法来精确测量新一代天气雷达发射脉冲峰值功率;采用微波频谱分析仪来精确测量发射机改善因子。

1 发射功率测量

1.1 测量目的

目前新一代天气雷达基本上均配备雷达峰值功率检测装置,能够实时对发射机输出峰值功率进行检测并输出、显示,并将实时数值带入雷达常数进行计算气象目标的反射率因子(dBZ)。雷达功率检测装置经过长时间的连续运行,可能会存在一定的偏差,雷达发射功率大小主要影响雷达常数计算值,其测量误差将直接导致雷达回波强度测量的误差^[10]。通过定期使用机外测试仪表对机内功率检测装置进行定标,能够消除误差,提高雷达的探测准确性^[11-15]。

收稿日期:2012-03-02;改回日期:2012-07-11

作者简介:梁华(1981-),男,四川遂宁人,工程师,硕士,主要研究方向为大气探测装备运行保障与雷达信号处理。E-mail:liangh0531@126.com

1.2 测量方法

采用外接峰值功率计准确测量出雷达在不同工作比时发射脉冲峰值功率,同时以机外测试功率与机内功率检测装置测量的发射机脉冲峰值功率进行比较,两者差值不超过技术指标要求。若超过技术指标要求,就需要以机外功率为标准对机内功率值进行校准。

在雷达站一般采用峰值/平均功率计间接测量方式,即将雷达发射大功率信号进行分量耦合和有效衰减后用峰值/平均功率计测量耦合输出的小功率信号的峰值功率,通过计算衰减量即可得出雷达发射机输出峰值功率,测量示意图如图1。

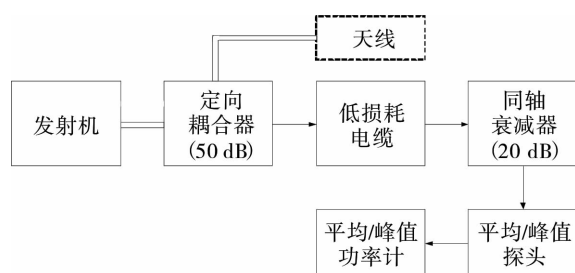


图1 发射机功率测试框图

Fig. 1 The transmitter power test diagram

1.3 测量系统标定

1.3.1 功率计预置

在使用峰值/平均功率计测量发射机功率前,需要对峰值/平均功率计、功率探头和测试电缆进行系统标定(小功率计调零、功率探头校准),消除系统误差。

Agilent E4416A 功率计与 Agilent N8481A 功率传感器族构成单机解决方案,它能测量峰值功率、平均值功率和峰均比,以及时间选通等测量。多种多样的触发特性使它容易地捕获所关注的信号。

以 Agilent E4416A 功率计和 Agilent N8481A 平均功率探头的连接为例,在小功率计断电状态下,小功率计“CHANNEL”口通过功率连接电缆 E9288A 连接功率探头,功率探头连接功率计“POWER REF”口。小功率计加电,选择“Zero/Cal→Zero + Cal”,小功率计自动完成校零和标效,测量“POWER REF”口输出的 50 MHz 信号功率为 1mW 或 0 dBm。

1.3.2 功率计参数预置

测量前,在小功率计中设置雷达发射信号载波频率,以便小功率计自动设置校正因子。通过“Channel→Frequency”设置所测雷达工作频率;“Offset”设置衰减量(雷达定向耦合器耦合度+低

损耗电缆损耗值+同轴衰减器衰减量);“Duty Cycle”设置雷达工作时的占空比(占空比由脉冲重复频率与脉冲宽度乘积的百分比获得,比如雷达工作脉宽为 1 μs,重复频率为 1 000 Hz,那么计算出该待测雷达的占空比为: $1 \times 10^{-6} \times 1\,000 = 0.1\%$);“Filter”设置滤波器参数(一般设置为“MAN”50~200),以测试输出值不大范围跳变为准。

1.4 测量步骤

1) 按照测试框图1连接测试仪器、仪表以及测试工具,定向耦合器使用发射主波样本的耦合口,该耦合器耦合度约为 50 dB 左右;

2) 设置好功率计参数;

3) 发射机加高压 30 min,并确认接收机有激励信号输出;

4) 将功率显示单位由“dBm”更改为“W”: Meas Display→Units→W;

5) 直接在功率计上读出并记录雷达发射机脉冲峰值功率;

6) 改变雷达工作脉宽和工作重复频率并在功率计上同步更改占空比;

7) 再次在功率计上读出并记录雷达发射机脉冲峰值功率。

1.5 实测数据分析

早期雷达配发功率计只能测试雷达发射脉冲平均功率,采用 Agilent E4416A 小功率计测量雷达发射脉冲功率的方法提高了测试精度与测试时效。再按照脉冲峰值功率计算公式计算得出脉冲峰值功率值。

以 C 波段新一代天气雷达(CINRAD/CD)为例进行分析。雷达峰值功率按照 300 kW 计算,换算成 dBm 为:

$$P_t = 300 \text{ kW} = 10 \text{ Log} 3 \times 10^8 = 80 + 10 \text{ Log} 3 = 80 + 4.8 = 84.8 \text{ dBm}$$

注入到功率探头的峰值功率为:

$$P_{in} = P_t - L_{\text{耦合器}} - L_{\text{衰减器}} - L_{\text{电缆}} = 84.8 - 50 - 20 - 2 = 12.8 \text{ dBm}$$

功率探头 Agilent N8481A 输入的功率范围是: -35 ~ +20 dBm,所以按照图1所示的框图连接仪表不会对功率计探头造成损坏。

功率计参数设置:

$$\text{Filter} = \text{MAN} = 150,$$

$$\text{Offset} = L_{\text{耦合器}} + L_{\text{电缆}} + L_{\text{衰减器}} = 50 + 2 + 20 = 72(\text{dBm}),$$

$$\text{Frequency} = 5\,420 \text{ MHz},$$

DutyCycle = 0.1%。(以雷达工作脉宽为 1 μ s, 重复频率为 1 000 Hz 为例)

耦合器耦合度在雷达定向耦合器上直接读出,低损耗电缆值可以用信号源和小功率计测量出来(部分电缆损耗值有标注),同轴衰减器上有损耗标注。

雷达工作在 5 420 MHz,雷达发射脉冲 1 μ s,脉冲重复频率单频 1 000 Hz,不加滤波器。雷达加高压后,可以在功率计上直接读出雷达发射机当前脉冲峰值功率值。

功率测量误差,主要来源于电缆误差、发射机耦合口误差及峰值功率计误差。以 S 波段新一代天气雷达发射输出功率为 650 kW,若总衰减量产生 0.5 dB 误差,将使测量结果产生 70 kW 功率测量误差。所以,测量链路中的衰减量的精确度直接影响功率测量结果的准确性。

通过实测,可精确标定固定衰减器、测试电缆、转接头衰减量或插损。用信号发生器产生与雷达载波频率一致、功率大小不变的射频载波脉冲调制信号。首先,用小功率计直接测量信号发生器输出功率 P_1 ;其次,串入测试电缆与转接头,测量信号发生器输出信号经测试电缆与转接头插损后功率 P_2 , $\Delta P_1 = P_1 - P_2$ 即为测试电缆与转接头插损之和;再次,串入固定衰减器,测量 P_2 经衰减器衰减后功率 P_3 , $\Delta P_2 = P_2 - P_3$ 即为固定衰减器的实际衰减量。固定衰减器应逐个进行测量标定,一是可以清楚测量标定每个固定衰减器的衰减量,二是避免串入衰减量太大,引入功率探头或小功率计测量误差(线性误差)。以上衰减量或插损之和即为 L_{Σ} 。

如果台站没有信号发生器,可以用频综产生的 CW 信号代替(应衰减 10 dB 后作为标准信号源输出,以避免烧毁功率探头和小功率计)。

2 发射机极限改善因子测量

2.1 测量目的

多普勒天气雷达要求雷达发射机输出的信号必须具有严格相位一致性(相参性),这样雷达信号处理才能够计算出相邻 2 个脉冲回波信号之间的相位差从而得出探测目标的径向速度。雷达发射信号的相位稳定性可通过极限改善因子进行表征,如果雷达发射机输出极限改善因子降低,会影响到雷达测速的准确性和测速精度,因此需要定期对雷达发射机输出的极限改善因子进行测试。

2.2 测量方法

采用机外仪表测试方法。通过雷达馈线系统中

的定向耦合器将发射输出信号耦合出一部分,将该信号通过测试电缆、衰减器后接入频谱仪,通过设置频谱仪参数即可直接读出发射机输出信号的信噪比,然后通过计算公式即可得出该雷达发射机输出极限改善因子。极限改善因子测试框图如图 2 所示。

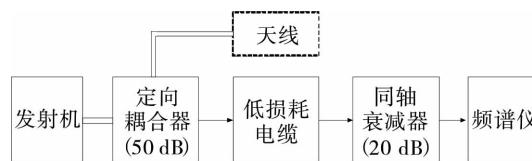


图 2 极限改善因子测试框图

Fig. 2 The limit improvement factor test diagram

2.3 频谱仪参数设置

微波频谱分析仪在对雷达发射机频谱进行测量前,须先对频谱仪进行 15 min 左右的预热,消除系统误差。以 Agilent E4445A 微波频谱分析仪为例,频谱仪通电预热 15 min;频谱仪面板“Frequency Channel”设置待测雷达工作频率;“Span X Scale”设置频谱仪显示带宽;“Amplitude Y Scale”设置频谱仪显示参考电平;“RBW”设置频谱仪分析带宽;“Sweep”设置频谱仪扫描时间。

Agilent E4445A 频谱分析仪,具有 ± 0.19 dB 绝对幅度精度, -155 dBm 显示平均噪声电平(DANL), 10 kHz 偏置时的相噪为 -118 dBc/Hz, 81dB W - CDMA ACLR 动态范围。Agilent E4445A 高性能频谱分析仪可测量和监测频率高达 13.2 GHz 的复杂射频信号。

2.4 测量步骤

1) 连接测试仪器、仪表以及测试工具,定向耦合器使用发射主波样本的耦合口,该耦合器耦合度约为 50 dB 左右;

2) 设置好功率计参数;

3) 发射机加高压 30 min,并确认接收机有激励信号输出;

4) 在频谱仪上已经显示出雷达发射机的信号和噪声的功率谱密度图;

5) 将频谱仪的“Average”设置为“On”,并设置平均次数,一般设置为“10”,对该功率谱密度做平均处理;

6) 通过“Peak Search”设置,将 Marke 点设定在信号的最大点;

7) 选中“Marker”菜单下的“Delta”选项,在信号最大值处分离一个 Marke 点来,将该 Marke 点移动到距离信号“ $F/2$ ”处(F 为雷达工作重复频率);

8) 在频谱仪上读出“Delta Marke”的值即为信号和噪声的功率谱密度的比值 S/N 并记录;

9) 按照极限改善因子计算公式计算出雷达发射机输出极限改善因子并记录;

10) 改变雷达重复频率,重复 5~7 步骤并记录。

2.5 相关计算公式

$$I = S/N + 10 \text{Log}B - 10 \text{Log}F$$

式中: S/N :信噪比(单位: dB), B : 频谱仪分析带宽(单位: Hz), F : 雷达重复频率(单位: Hz)。

雷达发射机脉冲重复频率设置为 1 000 Hz(单重复频率)和 600 Hz(单重复频率)2 种状态,分别计算出极限改善因子。发射机输出的极限改善因子的指标为 ≥ 49 dB。

2.6 实测数据分析

以 C 波段新一代天气雷达(CINRAD/CC)举例说明。

(1) 雷达工作状态:

重复频率 = 1 000 Hz, 单重复频率;

脉冲宽度 = 1 μ s;

高压状态 = 开启

(2) 频谱仪设置:

Frequency = 5 350 MHz,

Span = 2.5 kHz,

Am = -50 dBm,

RBW = 3 Hz,

Sweep = 0.662 μ s,

Average = 10

(3) 测试过程及结果

按照 2.4 的步骤进行极限改善因子测试,测试结果如图 3 所示。极限改善因子测量误差,主要来源于电缆误差、发射机耦合口误差及频谱分析仪误差。

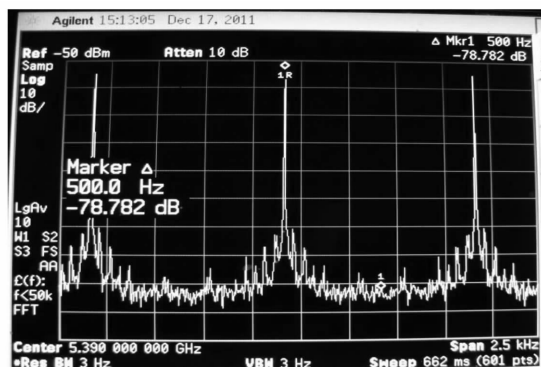


图 3 极限改善因子测试结果图

Fig. 3 The result of the limit improvement factor test diagram

从图读出 $S/N = 78.782$ 。

$$\begin{aligned} I &= S/N + 10 \text{Log}B - 10 \text{Log}F \\ &= 78.782 + 10 \text{Log}3 - 10 \text{Log}1\ 000 \\ &= 78.782 + 4.77 - 30 \\ &= 53.552(\text{dB}) \geq 49 \text{ dBm} \end{aligned}$$

4 结束语

微波测量技术的飞速发展推动了微波测量仪器的发展。微波测量仪器所采用的先进技术推动仪器向数字化、智能化、自动化、模块化、标准化发展;随着测量仪器“软件化”的趋势,“软件就是仪器”、“网络就是仪器”等概念的提出,改变了传统的测试方法。

本文以 C 波段新一代天气雷达为例,详细介绍了该型号雷达发射机脉冲峰值功率、改善因子的测试方法与测试步骤,可以作为今后 C 波段新一代天气雷达技术指标测试的参考规范,同时也可以作为其他型号新一代天气雷达技术指标测试方法的参考。

参考文献:

- [1] 安徽四创电子股份有限公司. CINRAD/CC 雷达技术说明书 [R]. 安徽四创电子股份有限公司,2004.
- [2] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2005,203-207.
- [3] 刘晓东,柴秀梅,张维全,等. 新一代天气雷达检修的技术与方法[J]. 气象科技,2006,34(增刊):113-114.
- [4] 潘新民,柴秀梅,申安喜,等. 新一代天气雷达(CINRAD/SB)技术特点和维修、维修方法[M]. 北京:气象出版社,2009;217-218.
- [5] 王志武,赵海林,郑旭初. 天气雷达天馈系统损耗的测量[J]. 气象,2001,27(7):24-26.
- [6] 潘新民,汤志亚. 天气雷达接收功率定标的检验方法探讨[J]. 气象,2008,28(4):34-37.
- [7] 郑新,李文登. 雷达发射机技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [8] 丁鹭飞,耿富录. 雷达原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [9] 黄兴玉,等. CINRAD/CC 雷达系统培训教材[M].
- [10] 何建新. 现代天气雷达[M]. 成都:电子科技大学出版社,2004. 201-202.
- [11] 梁华,刘永强. CINRAD/CC 雷达技术指标测试方法[J]. 干旱气象,2011,29(4):504-508.
- [12] 沙莎,邱新法,何永健. 基于 GIS 的自动站气象数据系统研发[J]. 干旱气象,2011,29(3):372-376.
- [13] 袁百顺,尹先志,徐启云,等. 自动气象站风传感器电路设计[J]. 干旱气象,2019,27(5):89-91.
- [14] 石登科,崔学祯. 甘肃临夏人工与自动气象站气温观测差异对比及均一性研究[J]. 干旱气象,2008,26(4):71-74.
- [15] 尹宪志,郭爱民,卢会云. CAWS 型自动站与人工观测风速记录的对比分析[J]. 干旱气象,2006,24(1):57-59.

(下转第 655 页)

The Risk Zoning of Rainstorm Based on GIS in Longnan of Gansu Province

SU Junfeng¹, XIAO Zhiqiang¹, WEI Bangxian¹, ZHAO Yanfeng², ZHANG Feng¹, LIU Lili¹

(1. Longnan Meteorological Bureau of Gansu Province, Wudu 746000, China;
2. Baoshan Meteorological Station of Shanghai, Shanghai 201901, China)

Abstract: Four factors of the rainstorm disaster, including disaster dangers, disaster environment sensitivity, suffering flexibility and disaster prevention or mitigation, were analyzed with methods of the analytic hierarchy process (AHP), experts assess, natural break-points and the inverse non-dimensional method based on the annual average rainstorm days, the DEM elevation data, and population density, per capita GDP and cultivated land area ratio of Longnan. Meanwhile, the model of the risk zoning of rainstorm disaster was established. Based on ArcGIS10.0 software, according to the Kriging and the grid-layer chart calculator analysis, the risk zoning chart of rainstorm disaster in Longnan was drawn, which showed that the high risk zoning of rainstorm disaster mainly concentrated in Chengxian, Huixian and Liangdang, and the level of risk was higher around counties. And the risk zoning chart was almost consistent with the actual rainstorm disasters occurring in Longnan in recent ten years.

Key words: GIS; rainstorm disaster, risk zoning

(上接第 638 页)

Measure of Transmit Power and Improving Factors of the New Generation Weather Radar Using Microwave Instruments

LIANG Hua, LIU Yongqiang, XIE Wanjun, LIU Bingxin, SHI Jianjun

(Gansu Meteorological Information and Technic Support and Equipment Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The purpose and methods of a new generation of C-band weather radar's transmit power measurement and factors improvement were systematically expounded in this paper, and the parameter settings methods and measurement steps of microwave measuring instruments used in the test of power meter and spectrum analyzer were explained in detail. The real-time data analysis verified the correctness of the above-mentioned measurement methods, which provided the reference specifications of the radar test for radar technicians.

Key words: power; improvement factor; measurement; microwave instruments

~~~~~  
(上接第 644 页)

## Climate Planting District and Yield Prediction Model of Piteguo in Linxia of Gansu Province

JIA Xiaoqin<sup>1,2</sup>, MA Xujie<sup>2</sup>, YIN Xianzhi<sup>2</sup>, FU Zhengtao<sup>2</sup>, REN Yulong<sup>2</sup>, LIU Hui<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;  
2. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, China)

**Abstract:** Meteorological elements such as temperature, humidity, precipitation and sunshine hours are the main factors affecting the cultivation of Piteguo. In order to explore the suitability of temperature and humidity of Piteguo in Linxia of Gansu Province and establish the forecasting model of suitability of temperature and humidity, Piteguo yield data and meteorological observation during the same period were used in this paper. The climatic and ecological conditions in Piteguo planting region and influential factors of meteorological elements were analyzed during different growing period of Piteguo, and the comprehensive index system for climatic-ecological adaptability planting districts was established. The five growing periods of Piteguo from growth to fruit maturing were divided, and the multivariable regression method was used to establish space-time dynamic forecasting model for each growing period and realize meteorological yield forecast of Piteguo.

**Key words:** Piteguo; planting district; yield prediction