

新一代天气雷达站预选站址电磁环境测试

湖南省张家界市无线电监测站 匡宏亮

摘 要: 新一代天气雷达站址选择过程中, 站址周围的电磁环境测试特别重要。本文结合工作实际, 介绍了新一代天气雷达对电磁环境的要求、电磁环境测试系统的组成及其可行性论证、具体的测试方法和测试数据的处理等。

关键词: 新一代天气雷达 灵敏度 电磁环境

0 前言

天气雷达主要利用雨滴、云粒、冰晶、雪花等对电磁波的散射作用来探测一定范围内的降水分布和云体发展高度, 测定其降水强度和云体中的含水量, 借以用于预报天气和保障航路安全以及警戒灾害性天气。随着无线电通信事业的迅速发展, UHF、VHF 频段无线电设备日益增多, 在新一代天气雷达选址过程中, 站址周围电磁环境是重要考察因素。雷达站周围的电磁环境直接影响到新一代天气雷达架设后受电磁干扰的程度, 决定着能否充分发挥新一代天气雷达的效能。对天气雷达站址周围进行电磁环境测试, 涉及为雷达指配适合的工作频点, 以及评估判断雷达工作后对周边已设微波设备的干扰影响。本文结合工作实际, 以“Agilent N9020A 电磁环境测试系统”为例, 介绍新一代天气雷达电磁环境测试的基本方法。

1 测试的依据标准

新一代天气雷达站电磁环境测试所依据的标准, 主要有《天气雷达通用技术条件》GB/T12648-1990 和《对空情报雷达站电磁环境防护要求》GB13618-1992。相关标准对新一代天气雷达的干扰电平和防护准则有如下规定:

1.1 对空情报雷达站在有源干扰不可避免的条件下, 容许有不大于 5% 的探测距离损失。

1.2 对白噪声干扰, 雷达站接收机输入端最大容许干扰功率为:

$$P_{j\max}=0.48U_{nf}=-114.8\text{dBm} \quad (1)$$

式(1)中 $P_{j\max}$ 为接收机输入端最大容许干扰功率有效值, dBm;

U_{nf} 为等效到接收机输入端的系统噪声电压有效值, μV ;

$$U_{nf}=0.85\mu\text{V}.$$

针对不同性质的随机高频脉冲干扰, 在雷达接收机输入端的最大容许干扰功率为:

$$P_{j\max}=0.48CU_{nf} \quad (2)$$

式(2)中, C 为相对于白噪声最大容许干扰电压的增量系数, 取值见表 1。

表 1 相对于白噪声最大容许干扰电压的增量系数的取值

干扰源	高压架空输电线路、变电站	电气化铁路	汽车公路	高频热合机	工业电焊	高频理疗机	高频炉
C	3	4	4	4	5.4	5.4	5.4
$P_{j\max}(\text{dBm})$	-106.1	-104.9			-103.6		

1.3 对接收机通频带以外的调幅、调频干扰信号, 在雷达接收机输入端的最大容许干扰功率。

接收机输入端对通频带外邻频干扰信号的最大容许干扰功率为:

$$P_{ip\Delta f\max}=U_{jp\max}+K_{\Delta f} \quad (3)$$

式(3)中: $P_{ip\Delta f\max}$ 为接收机通频带外的最大容许干扰功率峰值, dBm;

$U_{jp\max}$ 为接收机通频带内最大容许干扰电压峰值, 取值见表 2;

$K_{\Delta f}$ 为干扰信号频率偏离接收机工作频率 Δf 时的接收机带外抑制系数, dB, 取值见表 3。

表2 接收机通频带最大容许干扰电压

干扰种类	调幅		调频	
频率 (MHz)	80 ~ 300	300 ~ 3000	80 ~ 300	300 ~ 3000
U_{jmax} (dB μ V)	6	6.9	18	18.7

表3 接收机 (频率范围 300MHz ~ 3000MHz) 带外抑制系数

频偏 (MHz)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$K_{\Delta f}$ (dB)	/	/	/	10	33	51	62	66	70

1.4 干扰信号频率 F_j 满足式 (4) 条件时, 在雷达接收机输入端的干扰电压应小于 85dB μ V。

$$F_j = (nf_{i0} \pm f_i) / m \quad (4)$$

式 (4) 中: F_j 为干扰信号频率, MHz;

n 为本振频率的谐波次数, 正整数 1, 2, 3;

f_{i0} 为接收机本振频率, MHz;

f_i 为接收机中频频率, MHz;

m 为干扰频率的谐波次数, 正整数 1, 2, 3。

1.5 如果有两个或两个以上的干扰信号同时进入雷达接收机输入端, 其频率满足产生二阶、三阶互调干扰条件时, 其干扰信号的电平值应低于 60dB μ V。

1.6 在雷达接收机高通带内, 干扰信号频率不满足互调干扰条件时, 干扰信号电平值应小于 110dB μ V。

2 电磁环境测试系统的组成

根据测试任务搭建相应的测试系统, 是顺利完成电磁环境测试的第一步。以 Agilent N9020A 频谱分析仪为主体的新一代天气雷达电磁环境测试系统框图如图 1 所示, 由抛物面天线、馈源、低噪声放大器、信号分析仪、低损耗馈线和伺服系统等设备组成。其中信号分析仪等测试仪表要经过计量部门检定, 以保证测试数据的正确性。

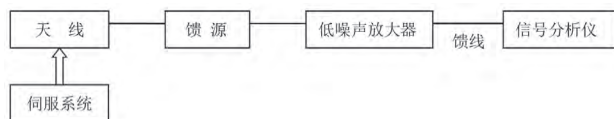


图1 测试系统框图

3 测试系统可行性论证

依据被测雷达频段接收设备的灵敏度, 对所测试的系统进行可行性论证, 以确认该系统是否满足“测试系统的灵敏度必须高于雷达接收设备的灵敏度”的测试要求。可行性论证是保证电磁环境测试工作的科学性、真实性和有效性的前提。

3.1 测试系统灵敏度的计算方法

测试系统灵敏度是指测试系统对于微弱信号的检测能力, 电磁环境测试系统的灵敏度用能测量到的最小口径等效噪声电平来表征, 系统的灵敏度主要取决于低噪声放大器的噪声系数和测量天线的增益。目前计算方法可以分为理论计算和工程计算两种。

理论计算: 在常见的电磁环境测试报告中, 人们常用如下

公式计算测试系统的灵敏度。放大器输入端的系统灵敏度为:

$$N = 10 \log(kBT) \quad (5)$$

式 (5) 中: k 为玻尔兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23}$;

B 为频谱分析仪射频带宽的 1.2 倍;

T 为折算到放大器输入端的系统的噪声温度, T 值计算公式为:

$$T = T_a + T_{LNA} + \frac{(L_F - 1)T_1}{G} + \frac{T_{SP} \times L_F}{G} \quad (6)$$

式 (6) 中: T_a 为天线的噪声温度;

T_{LNA} 为低噪声放大器的等效噪声温度;

L_F 为馈线的损耗真值;

G 为放大器的增益;

T_1 为环境温度;

T_{SP} 为频谱分析仪的等效噪声温度。

在放大器增益较高、馈线损耗较低的情况下, 人们将公式 (6) 简化, 取 T 值为天线的噪声温度 T_a 和低噪声放大器的噪声温度 T_{LNA} 之和。

假定 $T_a = 140^\circ$, $T_{LNA} = 363^\circ$ ($N_F = 3.5\text{dB}$), $B = 12\text{kHz}$ 时, 代入公式 (5) 可得 $N = -130.8\text{dBm}$ 。

工程计算: 该方法采取从频谱分析仪读数倒推办法, 由频谱分析仪读出的噪声电平值加上馈线损耗减去放大器的增益即确定为折算到放大器输入端的测试系统的灵敏度。

$$N = P - G + L \quad (7)$$

该计算方法相对来说简便, 不需要考虑天线、放大器的噪声温度等参数, 需要注意的是频谱分析仪的功率测量的检波方式, 如采用均值检波, 则需要再把电平的读数增加 2.5dB; 如果采用有效值检波, 则可直接读数。

假定频谱分析仪在 10kHz 射频带宽的情况下, 系统连接完毕并对低噪声放大器加电后频谱分析仪的热噪声电平读数为 -92dBm (均值检波方式), 馈线损耗为 1.5dB, 放大器增益为 40dB, 则折算到放大器输入端的接收系统的灵敏度为 $N = P - G + L + 2.5 = -92 - 40 + 1.5 + 2.5 = -128\text{dBm}$ 。

3.2 测试系统灵敏度论证

本测试系统 (Agilent N9020A 电磁环境测试系统) 中主要测试设备的参数如表 4 所示。

表4 主要测试设备参数

设备名称	型号	主要参数
信号分析仪	Agilent N9020A	· 频率范围: 9kHz ~ 26.5GHz · DANL (前置放大器打开, 峰值检波, 0dB 输入衰减): -116dBm/100kHz
抛物面天线	讯星世纪 T-Star V	· 频率范围: 2000MHz ~ 8GHz · 增益: 3000MHz 频段为 28dB
低噪声放大器	讯星世纪	· 频率范围: 800MHz ~ 4GHz · 噪声系数: 2.5dB · 增益: 3000MHz 频段为 43dB
馈线电缆	世纪德辰 DC1900LN2	· 衰减 1.5dB, 1 根

本测试系统接收小信号的能力, 即折算到天线口面处能接收的最小信号电平为 $P_R = -116 - 40 - 28 + 1.5 = -$

182.5dBm。新一代天气雷达接收机输入端的最小可测功率为-117dBm/100kHz,其最大容许可干扰电平应小于-117dBm/100kHz,按新一代天气雷达的天线增益为45dB计,折算口面的等效干扰电平为-162dBm,高于本测试系统折算到天线口面处能接收的最小信号电平值-182.5dBm。

以上论证说明,本测试系统灵敏度高于拟建在微波频段的新一代天气雷达站接收设备的灵敏度,即满足相关测试要求。

4 测试方法和步骤

4.1 选定测试点

测试地点选在新一代天气雷达站拟选站址,选择相对开阔的制高点,如楼顶或山顶,同时仔细观察测试的周边环境,看是否有其他大功率发射源、大型反射体和其他工科医干扰源,认真记录环境参数。测试环境参数记录可以参考表5。

表5 测试环境参数

东经	北纬	天气	温度	湿度
测试点周边环境描述				

4.2 测试设备准备和连接

按照图1连接好各测试设备,天线高于测试点地面的1.5米以上,相关仪表接地,在接通仪表电源之前,一定要用万用表测量电源电压,确定电源的电压为仪表的正常工作电压,交流电压为 $220 \pm 10V$,如用柴油发电机需要连接稳压电源。

4.3 测试时段要求

电磁干扰的随机性强,为了全面了解周围的电磁环境,各项内容的测试时间参照国标和国际电联(ITU)对无线电监测的有关规定,至少进行一整天的连续多方位测试,以取得可使用频段范围内干扰信号的幅值特性。

4.4 参数设置和测试过程

设置好频谱分析仪参数(扫描宽度、分辨率带宽、扫描时间、检波方式等),对预设频段进行方位 $0 \sim 360^\circ$ 、仰角 $0 \sim 90^\circ$ 、水平和垂直两种极化方式按顺时针方向缓慢转动进行扫描测试,遇到信号时停止转动,调整扫频宽度和分辨率至最佳(能够分辨信号为止)。如测试到是弱小信号,先要判断其真实性。下面介绍两个真假信号识别方法,方法一:对测试信号明显高于背景噪声(30dB)的情况,若去掉低噪声放大器被测信号消失,则判定其为假信号。方法二:在低噪声放大器前端加10dB衰减器,若原被测信号幅值下降远大于10dB,则判定为假信号。可按表6保存好测试数据(频谱图)。

表6 测试频谱图

频段	极化方式	测试频谱图
	垂直	附图1
	水平	附图2

	垂直	附图n-1
	水平	附图n

4.5 数据分析举例

笔者在测试湖南张家界新一代天气雷达站预选址电磁环境时,用垂直极化方式扫描2800MHz~2900MHz频段得到频谱图,如图2所示,共发现4个信号,分别对4个信号进行信号分析,记录信号电平、占用带宽和方位以及信号特征,并将信号的电平值折算到天线口面,按表7填写好相关记录数据。同时保存好每个信号的测试频谱图,如信号2800.2MHz和2875.2MHz测试频谱图见图3和图4。

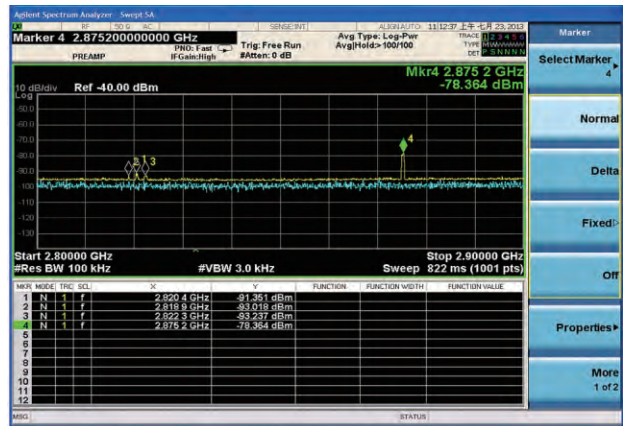


图2 2800MHz~2900MHz 垂直极化测试频谱图

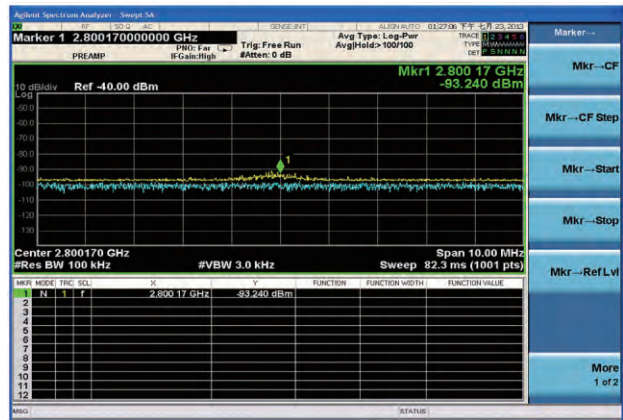


图3 2800.2MHz 垂直极化(最大方向正北)测试频谱图

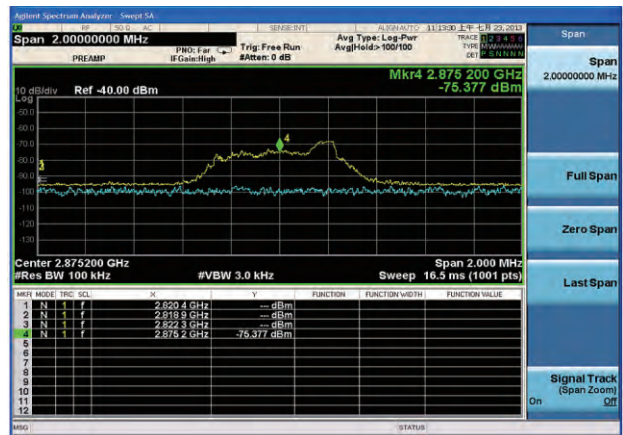


图4 2875.2MHz 垂直极化(最大方向正北)测试频谱图

(下转第60页)

350km 之间)。这种情况下,监测到的信号场强值较大、较为稳定,但是测向示向度不稳定。对此,提高定位准确度较好的办法是,利用其他地理位置的测向站来测量同一个短波地面波信号的方位。辐射源距离测向站较远时(350km 以上),测向站接收到的是天波信号,较为稳定。

3.2 确定短波信号测试时间

测试时间主要区分日出、正午、日落和夜间四个时间段。日出、日落时,“块状”电离层的产生,使天波传播出现较多两跳和三跳的多径现象,使信号的方位波动更加不规则。因此,在这两个时间段进行测向或联合定位得到的结果误差较大。

3.3 准确测量示向度的方法

在测向过程中,监测人员应持续观察示向度 5 分钟以上,时间越长,示向度的概率分布越明显。尤其对间断发射信号或示向度不太稳定的信号,更加需要长时间测量信号的示向度。可以选取一段时间内概率分布最密集的区域作为该信号的示向度,以提高信号测向的准确度。

3.4 短波定位的方法

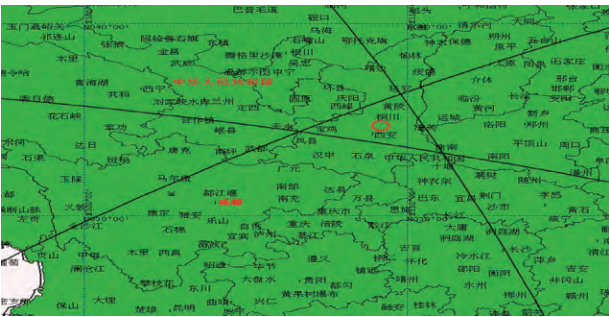


图 1 三站定位示意图

在日常监测中,为了提高短波交会定位的准确度,我们常采取三站定位的方法。三站定位是指由不同位置的三个测向站对同一目标辐射源进行测向定位。根据三站定位理论,如果不存在测向误差,三条示向度线将会交会于一点,就是真实目标辐射源所处的位置。但是,实际测向中误差是不可避免的,所以三条示向度线不可能交于一点,而是分别两两相交,有三个交会点。由这三个交会点来估计目标辐射源的位置。例如,某一信号源通过三个测向站实际定位的位置为地图中红色圆圈所在的位置,如图 1 所示。

(上接第 52 页)

表 7 测试数据

序号	信号频率 (MHz)	估测带宽 (MHz)	最大电平值 (dBm)	天线口面折算值 (dBm)	备注
1	2800.2	2	-93.240	-149.740	垂直极化 (最大方向正北)
2	2818.8	0.5	-93.313	-155.813	水平极化 (最大方向正西)
3	2820.6	0.5	-87.847	-150.347	水平极化 (最大方向正西)
4	2875.2	0.8	-75.377	-135.877	垂直极化 (最大方向正北)
5					

注:上述天线口面折算值为折算到估测带宽下的电平值。

信号带宽在达到一定的信噪比要求下是可以自动测试出来的,但我们所测的信号都比较小,不能自动测出,需要估测带宽。此刻在计算信号天线口面折算值时,则需把信号电平值换算到估测的带宽下,然后减去天线和放大器增益加上馈线损耗。如信号 2875.2MHz 电平值是在 RBW 为 100kHz 下测试出来的,它的估算带宽约为 0.8MHz,故信号电平值就要加上 9db (带宽因子)。其天线口面折算值为:

$$P_R = P - G + L + 10 \log \frac{B(MHz)}{10^{-1}} \quad (8)$$

$$= -75.377 - 28 - 43 + 1.5 + 9 = -135.877 \text{ dBm}$$

4.6 测试结论

根据所测试频段范围内存在的干扰信号的频谱分布特征和测试标准规定的干扰信号最大容许功率限值进行判断,天气雷达在频率规划使用时应避免开相应干扰频点。再根据天气雷达的无线电业务性质及必要带宽指标,指配合适的工作频

点(频道)。同时在天气雷达设台时根据选定的频点和发射参数,预估其使用后对临近设备和环境的影响,按照相应的国家标准加以必要的防护措施,做好与其他设台单位的沟通和协调,可以有效防止无线电干扰的产生。

5 结束语

电磁环境测试工作是一项基础性的工作,是无线电管理部门审批台站前的一项技术工作。本文针对新一代天气雷达站选址电磁环境测试工作的内容进行简单介绍。在实际电磁环境测试工作中,要具体情况具体分析,制订合适的测试方案,掌握科学的测试方法,不断积累实践经验,将电磁环境测试工作完成得更出色。

参考文献:

- [1] 李景春.微波站电磁环境测试.邮电设计技术[J],2002.11
- [2] 黄艳.微波电磁环境测试的实用办法.中国无线电[J],2007.5
- [3] 葛润生,熊毅,朱小燕.新一代天气雷达站址选择中的电磁环境测试.天气科技[J],2001.1
- [4] GB 13618-1992《对空情报雷达站电磁环境保护要求》,中国标准出版社,1992
- [5] GB T12648-1990《天气雷达通用技术条件》,中国标准出版社,1990