

美国WSR-81S天气雷达天线增益标定技术

叶盘锡

陈忠勇

(南京大学大气科学系)

(武汉中心气象台)

提 要

本文介绍了WSR-81S天气雷达大型天线增益的测试方法和技术,同时,对测试结果和误差进行了分析对比。

天气雷达天线增益 G_r 是表示天线性能的一个重要参数,它是数字雷达定量测量回波强度和降水强度所必须要精确知道的一个参数。天线增益的物理概念是指在总辐射功率相同的情况下,定向辐射能量的天线与各向同性辐射能量的天线在同一距离处所测得的功率密度的比值,一般以分贝(dB)表示。天线增益高,表示天线辐射的能量集中,定向性能好。

测定雷达天线增益的方法有多种^[1],这里,我们根据美国WSR-81S雷达天线口径面积大($D=4.27\text{m}$)、远场区地形条件好的有利条件,采用精度比较高的“比较法”测定进口天气雷达天线的增益,并将实测结果供雷达数字处理系统应用。

一、测试原理

采用比较法测定雷达天线增益的基本原理是,通过与标准天线的相对比较测定被测天线的增益值(图1)。

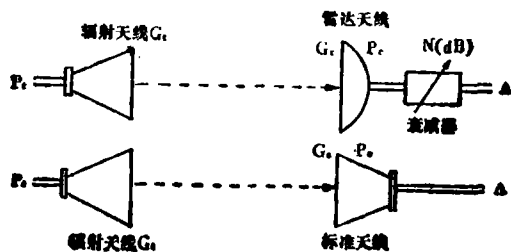


图1

度乘以天线的有效接收面积,即

$$P_r = \sigma A_r \quad P_s = \sigma A_s \quad (2)$$

其中, A_r 和 A_s 分别为雷达天线和标准天线的有效接收截面,根据天线理论可以推导出下列关系式

图1中设辐射天线与雷达天线之间距离为 r (远场区),其中 G_t 和 P_t 为发射天线的增益和辐射功率, G_r 和 P_r 为被测天线增益和接收功率。显然,发射功率在距离 r 处的功率密度 σ 为

$$\sigma = P_t G_t / 4\pi r^2 \quad (1)$$

由于接收天线所接收到的功率是功率密

$$A_r = G_r \lambda^2 / 4\pi \quad A_s = G_s \lambda^2 / 4\pi \quad (3)$$

因此, 雷达天线和标准天线接收到的功率为

$$P_r = \sigma A_r = \lambda^2 P_t G_t G_r / 16\pi^2 r^2 \quad (4)$$

$$P_s = \sigma A_s = \lambda^2 P_t G_t G_s / 16\pi^2 r^2 \quad (5)$$

将(4)、(5)二式相比得到

$$P_r / P_s = G_r / G_s \quad (6)$$

若将上式采用分贝(dB)形式表示, 则有

$$10\lg(P_r/P_s) = 10\lg(G_r/G_s) \quad (7)$$

也即

$$G_r(\text{dB}) - G_s(\text{dB}) = 10\lg(P_r/P_s) \quad (8)$$

因此, 被测雷达天线的增益可以表示为

$$G_r(\text{dB}) = G_s(\text{dB}) + 10\lg(P_r/P_s) = G_s(\text{dB}) + N(\text{dB}) \quad (9)$$

其中, N 为两个天线分别接收到的功率的相对值的分贝数。由此可见, G_r 取决于标准天线增益 $G_s(\text{dB})$ 值和 $N(\text{dB})$ 的数值。由于 G_s 已确定($=17.5\text{dB}$), 所以问题归结为如何测定 N 。

二、测试方法

采用“比较法”测定雷达天线增益, 测试条件要求较高。首先, 它要求有较理想的测试场地, 即要在“远场区”进行, 一般要求距离 $r \gg 2D^2/\lambda$ ($D=4.27\text{m}$, 雷达天线直径; $\lambda=10.8\text{cm}$), 即至少要在 337.6m 以外, 以保证辐射信号到达雷达天线的波阵面近

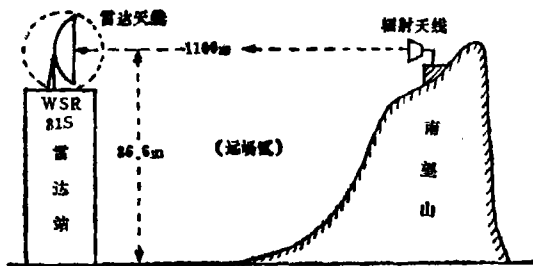


图2

乎平面。这次测试我们将辐射信号源的角锥形喇叭天线架设在站北的南望山坡上, 距雷达天线约 1100m , 中间无遮挡, 高度与雷达天线大致相同(图2)。其次, 是对测试仪表的精度要求较高, 其中最主要的是要求信号源的输出功率十分稳定(因为信号功率的波动会引起测试误差), 同时要保证有一定的输出功率(信号太弱则雷达天线接收到的信号

难以在测量放大器上反映出来)。由于这次测试距离在“远场区”约 1100m , 在测试时加接了线性微波功率放大器, 以提高架设在南望山坡上的辐射源的功率。

比较法测定WSR-81S雷达天线增益的实例线路联接如图3所示。

测试步骤。首先将XB7信号源的辐射频率调整在雷达的发射频率点 2779MHz , 仔细地调节好信号源、功率放大器、衰减器I和匹配螺钉, 使辐射源工作在最佳状态, 通过角锥喇叭天线①向远场区另一边的标准天线②发射出稳定的微波信号(连续波), 由于标准

天线和雷达天线口径面相互贴近, 所以两天线同时能接收到信号。此时, 将波导转换开关先打向标准天线一边, 并将衰减器Ⅱ的衰减量调至零(即 $N_s=0\text{dB}$), 并把 FX01 测量放大器置于较灵敏的一档, 这样易于监测到从远场区信号源辐射出来的微弱信号。为了使辐射天线和标准天线的电轴能对准, 先用目测瞄准法在远场区把辐射天线大体上对准标准天线, 然后再细致地分别转动标准天线和辐射天线的方位及仰角, 同时监视 FX01 测量放大器表头的变化, 当天线上下左右转动时, 只有某一个位置能使表头的指针偏转最大(即指示值 A 最大), 此时表明辐射天线和标准天线的波束轴线已相互对准。为了监视方便, 适当调节信号源的可变衰减器 I, 改变信号源的发射功率大小, 使 FX01 测量放大器表头指示值 A 指在某一个便于看清楚的角度上(可随意约定, 如实测时选取 $A=7$)。这时可以开始正式测量, 将波导转换开关打向雷达天线一边, 采用上述方法使雷达天线和远场区的辐射天线波束轴线精确对

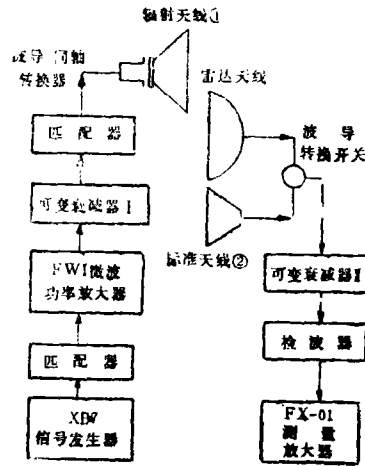


图 3

准。由于雷达天线增益远大于标准天线增益, 所以此时 FX01 测量放大器监测到的信号幅度比刚才的标准天线接收到的大, 表头指示大于 A 这个值, 因此适当调节(增大)衰减器Ⅱ的衰减量, 使得表头指针仍然回到 $A=7$ 这个刻度上, 记录下此时衰减器Ⅱ的衰减分贝(dB)数 N_r 。那么, 从能量衰减分贝数的物理概念可知, P_r 与 P_s 的相对比值的分贝数应等于衰减器Ⅱ的二次差值, 即

$$N = N_r - N_s = 10 \lg(P_r/P_s) \quad (10)$$

因此, 根据(9)式可算出雷达天线的增益值

$$G_r(\text{dB}) = G_s(\text{dB}) + (N_r - N_s) \quad (11)$$

由于在标准天线接收时, 衰减器Ⅱ的衰减量调节在零(dB), 即 $N_s=0(\text{dB})$, 因此(11)式可简化为

$$G_r(\text{dB}) = G_s(\text{dB}) + N_r = 17.5 + N_r \quad (12)$$

这样, 只需要读取记录衰减器Ⅱ上 $N_r(\text{dB})$ 的数值便可确定出雷达天线增益 G_r , 给测试计算和数据采集带来很大方便。

值得指出, 采用上述方法的关键是要保证相距1100m的二处天线的电轴对准, 不然会引起“偏离误差”, 所以要耐心细致反复多次测试, 以消除偶然误差, 提高精度。

三、测试结果

1988年初, 我们采用上述方法测试了美国 WSR-81S 天气雷达的天线增益。为保证精度, 按照上述步骤共反复测试10次, 然后取其平均值。实测结果如表1所示。

从表1可以看出, 10次测试数据比较接近, 没有出现离散很大的数据, 表明测试仪

表 1

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$N_r - N_s$	22.1	22.1	22.1	22.0	22.0	22.1	22.0	22.0	22.0	22.1	22.05
G_r (dB)	39.6	39.6	39.6	39.5	39.5	39.6	39.5	39.5	39.5	39.6	39.55

器比较稳定, 测试技术数据可靠, 10次实测结果的平均值为 $G_r = 39.55$ (含天线罩)。当然, 与其他测试方法一样, 采用这种方法也会产生一定的测试误差。

四、误差分析

“比较法”测试雷达天线增益所产生的误差来源, 一是器差, 二是技术误差。这次使用的测试仪器精度比较高。FX01测量放大器能反映 ± 0.1 dB的精度, 标准天线增益精度为 ± 0.1 dB, 精密可变衰减器的精度为 ± 0.3 dB, 考虑到采用“比较法”测试天线增益时有些器差可以在比较中相互抵消掉, 因此器差引起的测量误差最多不超过 ± 0.5 dB。由表1分析可以看出其技术误差亦不超过 ± 0.1 dB, 所以, 这种方法测定的天线增益的误差不会超过 ± 0.6 dB。最终可以得到WSR-81S天气雷达天线增益的实测结果是 $G_r = 39.55 \pm 0.6$ dB (含天线罩), 这与美国厂方给出的天线增益指标39.25dB (在2800MHz处) 相比较, 相差范围在0.3dB—0.9dB, 由于美方没有给出他们的测试误差范围, 因此, 这仅是相比较而言。

由于在数字化定量测量中, 0.5dB的天线增益测试误差在利用气象雷达方程定量计算回波强度时会造成23%左右的相对误差^[2], 因此, 精确标定雷达天线的有效增益对数字化天气雷达而言显得十分重要。

参 考 文 献

- [1] 葛文忠、叶盘锡, 全国雷达气象论文集, 122—125, 气象出版社, 1981。
[2] 叶盘锡、葛文忠, 气象, 1980, 1, 24—26。

TECHNIQUES OF DETERMINING THE GAINS IN THE US WSR-81S

Ye Panxi* Chen Zhongyong**

ABSTRACT

In this paper, techniques of determining the gains of the large antenna in the WSR-81S are briefed. Control analyses are made of the testing results and errors.

* Affiliated with the Dept. of Atm. Sci., Nanjing University

** Affiliated with the Wuhan Central Meteorological Observatory