

# 天气雷达接收功率标定的 的检验方法探讨

潘新民 汤志亚

(河南省气象台, 郑州 450003)

## 提 要

通过把测试信号输入功率换算到雷达天线喷口处接收功率的计算,由雷达气象方程可计算出其雷达反射率  $z$  值,和经雷达接收功率定标后,此测试输入功率在雷达正常观测模式显示的雷达反射率  $z$  值相比较,以检验天气雷达接收功率标定的误差是否满足技术要求。

**关键词:** 雷达气象方程 天线喷口 接收功率 雷达常数

## 引 言

天气雷达作为监测中小尺度灾害性天气的重要工具,在灾害性天气预报、定量估测降水及洪水监测预报中发挥着越来越重要的作用。但是,天气雷达接收功率标定的精度是否满足技术要求,其误差大小直接制约着定量估测降水、灾害性天气预报及洪水监测预报的质量;对天气雷达接收功率的标定进行检验,使天气雷达接收功率标定的精度满足技术要求,充分发挥天气雷达效益非常必要。

全国各个天气雷达站的雷达型号各不相同,天气雷达接收功率标定的方法也不一样,但是,天气雷达接收功率定标的基本原理都是一样的,即根据在标定过程中的损耗,校正信号源的测试输入功率,将校正后的测试输入功率(dBm)作为 A/D-接收功率曲线标定中信号处理器输出 A/D 值所对应的接收功率,在雷达原始数据采集中,通过 A/D-接收功率标定曲线,由雷达气象方程可以得到雷达反射率的 dBz 值。因此,通过把信号源的测试输入功率(dBm)换算到雷达天线喷口处接收功率的计算,再经雷达气象方程理论计算出其 dBz 值,和经雷达接收功率定标后此信号源的测试输入功率在雷达正常观测模式下显示的 dBz 值相比较,可以检验天气雷达

接收功率标定的精度是否满足技术要求,如果误差大,找出原因,反复标定,直到精度满足技术要求。

## 1 天气雷达接收功率标定中各种损耗的修正方法

图 1 为在标定过程中各种损耗的术语的图示。

在标定过程中的损耗包括天线喷口和接收机功率馈入点之间、信号源本身连接电缆、连接信号源到接收机功率馈入点之间的耦合器损耗,它们之间的关系为:

$$dBm_F = dBm_{in} + dBL_r \quad (1)$$

$$dBm_{in} = dBm_S - dBL_{Cable} - dBL_{Coupler} \quad (2)$$

$$dBm_F = dBm_S - dBL_{Cable} - dBL_{Coupler} + dBL_r \quad (3)$$

其中:  $dBm_F$  为天线喷口处接收功率 dBm 值

$dBm_{in}$  为信号源测试输入功率值换算到接收机功率馈入点的功率 dBm 值

$dBm_S$  为信号源本身测试输入功率 dBm 值

$dBL_{Cable}$  为信号源到接收机功率馈入点之间连接电缆损耗的 dB 值

$dBL_{Coupler}$  为连接信号源到接收机功率馈

入点之间耦合器损耗的 dB 值

$dB_{L_r}$  为雷达信号接收路径的天线喷口到接收机功率馈入点之间损耗的 dB 值

图示中的  $L_t$  为雷达发射路径的发射功率测量点到天线喷口之间的功率损失;  $P_t$  为

发射功率测量点的发射峰值功率;  $P_{tF}$  为雷达天线喷口处的发射峰值功率;  $L_r$  为雷达接收路径的接收机功率馈入点到天线喷口之间的功率损失。

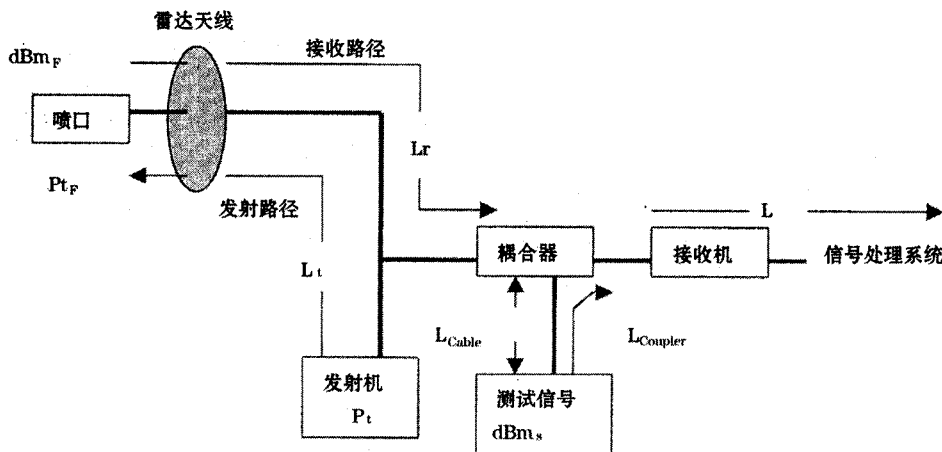


图1 标定过程中各种损耗术语

## 2 $dBz$ 值的理论计算

$dBz$  值的计算来自如下雷达气象方程<sup>[1]</sup>:

$$dBz = 10\log(Cr^2 p_r) \quad (4)$$

其中:  $p_r$  为天线喷口处接收到的回波功率

$C$  为雷达常数, 对于气象目标(降水)雷达常数定义<sup>[2,3]</sup>如下:

$$C = \frac{1024\text{Ln}2\lambda^2}{0.93\pi^3 c P_{tF} \tau \theta \phi G^2} \quad (5)$$

这里:  $c$  为光速,  $\lambda$  为雷达波长,  $P_{tF}$  为天线喷口处雷达发射峰值功率, 根据测量点的雷达发射峰值功率  $P_t$  利用  $P_{tF} = P_t \times 10^{-(L_t/10)}$  方法计算。应注意的是,  $L_t$  通常为发射功率输出端到天线喇叭口之间的功率损耗(dB), 而功率测量点一般在定向耦合器处, 因此要把定向耦合器处测量的发射平均功率换算成发射功率输出端的雷达发射峰值功率  $P_t$  (714CD 天气雷达为磁控管的发射峰值功率)。  $\tau$  为脉冲宽度,  $\phi$  为水平波束宽度饱和功率的一半,  $\theta$  为垂直波束宽度饱和功率的一半,  $G$  为发射轴上的天线增益,  $L_t$  为雷达发射路径的发射功率测量点到天线喷口之间的功率损失。

注意: 由于雷达常数决定于雷达特性, 所以发射传输损失 ( $L_t$ ) 应包括在雷达常数计算中, 接收路径损失  $L_r$  应包括在接收功率的计算中。

## 3 检验天气雷达接收功率标定的精度是否满足技术要求

在雷达常数中: 如果  $\lambda$  单位为 cm、 $P_t$  单位为 kw、 $\tau$  单位为  $\mu s$ 、 $\phi$  单位为度、 $\theta$  单位为度、 $G$  单位为 dB、 $L_t$  单位为 dB, 保留小数点后两位, 则雷达常数变为:

$$C = \frac{2.69 \times 10^{16} \lambda^2}{P_t \tau \theta \phi 10^{2(G/10)}} \times 10^{L_t/10} \quad (6)$$

这里: 雷达常数  $C$  的单位为  $\text{mm}^6 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{mw}^{-1}$

根据信号源的  $dBm_s$  值, 通过式(3)可计算出  $dBm_s$  值换算到天线喷口处的  $dBm_F$  值, 根据信号延时距离  $r$  (单位为 km)、接收和信号处理系统进行信号处理过程中产生的损耗  $L$  (系统误差)、并考虑大气衰减因子  $K$  ( $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ ), 经过式(4)雷达方程可计算出信号源的  $dBm_s$  值所对应的  $dBz$  值, 即:

$$dBz = 10\log C + 20\log r + L + p_r + K_r \quad (7)$$

其中： $L$ 为接收和信号处理系统进行信号处理过程中产生的损耗(系统误差)，单位为dB，包括积分、平滑(平均)等信号处理过程产生的误差，对不同雷达(如数字中频接收机和模拟中频接收机)产生的系统误差都不相同，但对一部固定的雷达来说，这个系统误差是确定值，在定标软件的信号处理中已考虑。

$p_r$  气象目标(降水)反射回到雷达天线喷口处的功率(接收功率)，此处为信号源的测试输入功率换算到天线喷口处的  $dBm_F$  值。

$K$  为大气衰减因子( $dB \cdot km^{-1}$ )，一般5公分天气雷达为  $0.016dB \cdot km^{-1}$ ，10公分天气雷达为  $0.011dB \cdot km^{-1}$ ，在定标软件设计时已考虑。

$r$  为气象目标(降水)到雷达天线喷口处的距离，此处为测试输入信号延时距离(单位为km)。

在雷达正常观测状态下(发射机不开高压)，信号源从接收机馈入点向接收机输入测试信号，测试输入功率(dBm)由大到小(间隔不大于5dBm，最好2dBm)，根据信号在回波显示中的距离(信号延时公里数)和在此位置显示的dBz值，与式(7)理论计算的对应dBz值相比较，可以得出雷达接收功率标定的误差，如果误差在精度以内，说明雷达接收功率标定满足技术要求，如果误差大，要分析原因。

#### 4 误差大的原因分析及解决方法

##### 4.1 部分区间的测试输入功率值对应的dBz值误差大

如果是部分区间的测试输入功率值对应的dBz值误差大，主要是接收机线性不好，或是A/D变换器线性度差引起的，通过调整相关硬件可以解决问题；对于采用dBz(不含距离定正  $20\text{Log}r$ ) - 接收功率标定曲线定标的雷达，误差原因可能是天气雷达接收功率标定时，在此区间的信号源测试信号没有调到最佳(信号不稳定)引起的，一般在这个区间调整信号源的测试信号到最佳，多标定几次即可解决问题。

##### 4.2 整个区间的信号功率值对应的dBz值

误差都一样大

如果是整个区间的信号功率值对应的dBz值误差都一样大，要考虑信号源的测试输入功率( $dBm$ )换算到喷口处的  $dBm_F$  值是否有误，系统误差、各种损耗是否在定标中修正有误。一般来讲，在天气雷达接收功率标定中要求输入的参数有  $dBLCable$ 、 $DBLCoupler$ 、 $L_i$ 、 $L$ 、 $dB L_r$ ，如果有，则在A/D - 接收功率曲线标定中的A/D所对应的接收功率值应为信号源的测试输入功率值( $dBm$ )。如果少任何一种参数，则都应将信号源的  $dBm_S$  值进行修正(使其包含所缺少部分的损耗)，将修正后的值作为A/D所对应的接收功率值输入，通常  $L$ (接收和信号处理系统进行信号处理过程中产生的损耗)及  $K$ (大气衰减因子)修正在软件设计时已考虑，不需要再修正。特别强调，如果在天气雷达接收功率标定中没有要求输入  $L_i$  参数，则发射峰值功率标定的输入必须是计入  $L_i$  损耗后的发射峰值功率值。

#### 5 雷达接收功率标定检验的举例

以郑州714CD天气雷达2001年标定为例，在反复标定后的最终检验如下：

雷达参数为： $\lambda$  为  $5.52\text{cm}$ 、 $P_t$  为  $250\text{kw}$ 、 $\tau$  为  $0.95\mu\text{s}$ 、 $\phi$  为  $1$ 度(出厂指标，测量方法可采用太阳法)、 $\theta$  为  $1$ 度(出厂指标，测量方法可采用太阳法)、 $G$  为  $44.5\text{dB}$ (出厂指标，测量方法可采用太阳法)、 $L_i$  为  $3.3\text{dB}$ (包含天线罩传输损耗)(出厂指标，具体测量方法见文献[4])、 $dBLCable$  为  $0\text{dB}$ 值(在信号源  $100\mu\text{w}$  定标中已含电缆损耗)、 $DBLCoupler$  为  $0\text{dB}$ 值(信号源直接在发射机放电管输出处和接收机场放输入电缆相接)、 $dB L_r$  为  $3.8\text{dB}$ (包含天线罩传输损耗)( $L_i$  出厂指标加上放电管  $0.5\text{dB}$  损耗)

上述参数代入式(6)计算出雷达常数  $C$  为  $9.32 \times 10^6 \text{mm}^6 \text{m}^{-3} \text{km}^{-2} \text{mw}^{-1}$ ；通过式(7)可以计算出当信号源测试输入功率值( $dBm_S$ )为  $-75\text{dBm}$ 、大气衰减因子为  $0.016\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ ，信号延时为  $30\text{km}$  处的dBz值如下：

$dBz = 10\text{Log}C + 20\text{Log}r + L + p_r + K_r$   
 通过(3)式可知:

$$p_r = dBm_F = dBm_S - dBL_{\text{Cable}} - dBL_{\text{Coupler}} + dBL_r$$

$$= -75 - 0 - 0 + 3.8$$

$$= -71.2(\text{dBm})$$

则:  $dBz = 10\text{Log}C + 20\text{Log}r + L - 71.2 + 0.016 \times 30$

$$= 10\text{Log}9.32 + 60 + 20\text{Log}30 + 2.5 - 71.2 + 0.016 \times 30$$

$$= 69.69 + 29.54 + 2.5 - 71.2 + 0.48 = 31$$

其中:  $L$  为接收和信号处理系统进行信号处理过程中产生的系统误差,714CD 天气雷达为 2.5dB。

在雷达正常观测状态下, -75dBm 的信号源测试输入功率值在 30 公里处回波显示的 dBz 值为 31, 误差小于 1dBz; 从 -106dBm 到 -38dBm 范围, 间隔 5dBm 变化信号源输出值, 按以上方法进一步校验, 基本上误差小于 1dBz, 在有些信号区段误差大于 1 dBz, 主要原因为接收机在此信号区间线性度差所致, 基本满足技术要求, 检验数据如表 1。

目前郑州天气雷达站已按以上方法设计

一个小程序, 以避免了每次标定检验的繁琐计算, 达到不同参数、不同距离、不同回波强度的关键点的随时检验, 保证了天气雷达的观测质量。

表 1 测试检验数据

信号源输出值(dBm)	回波显示的 dBz 值	理论计算 dBz 值	误差 (dBz)
-105	2	1	+1
-100	6	6	0
-95	11	11	0
-90	17	16	+1
-85	21	21	0
-80	27	26	+1
-75	31	31	0
-70	36	36	0
-65	41	41	0
-60	46	46	0
-55	51	51	0
-50	56	56	0
-45	61	61	0
-40	66	66	0

参考文献

- 1 张培昌等. 雷达气象学. 北京: 气象出版社, 1988.
- 2 天气雷达定标仪器培训讲义. 北京: 中国气象局, 1999.
- 3 713 天气雷达观测使用技术. 北京: 中国气象局, 1981.
- 4 王志武等. 天气雷达天馈系统损耗的测量. 气象, 2001, 27(7).

## Approach to Checking Method of Calibration of Weather Radar Received Power

Pan Xinmin Tang Zhiya

(Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003)

**Abstract**

By calculation of the equivalent received power of testing signal input power at the radar antenna feed, the radar reflectivity  $Z$ (dBz) value of testing signal input power can be calculated by the meteorological radar equation. By comparing with the displayed  $Z$  value of the testing signal input power after the calibration of the radar received power on the radar normally observation model, it is examined whether the error of the calibration of the weather radar received power meet the technical demands.

**Key word:** meteorological radar equation antenna feed received power radar constant