

新一代天气雷达的自动标校技术

王立轩¹ 葛润生¹ 秦勇² 王顺生¹

¹(中国气象科学研究院, 北京 100081)

²(中国气象局北京物资管理处, 北京 100055)

摘要 新一代天气雷达作为一个测量系统需要有足够高的测量精度,因此需要对雷达自身的工作参数进行定标。该文介绍新一代天气雷达的自动标校技术,并用机外仪表对机内自动标校结果进行检验,检验结果表明:雷达的自动标校精度基本满足使用要求。

关键词 天气雷达 自动标校 定量估测 多普勒测速

引言

新一代天气雷达作为 21 世纪我国雷达布网的主要设备,它具有很强的探测能力、定量估测降水能力、多普勒测速能力。天气雷达性能的提高不仅在于探测能力的增强,更重要的是提高定量测量的精度。目前天气雷达观测已由早期的定性描述性观测逐步转入定量估测,这要求雷达的标校由准定量标校向定量标校、自动标校发展。Ulbrich^[1](1998)对比雷达和地面雨量计的观测数据提出:由于雷达的定标误差造成二者的测量结果有较大的偏差。可见对影响雷达定量估测降水强度精度以及测速精度的各个参数进行定标是提高雷达性能的关键。由于雷达参数和接收机动态特性经常发生变化,因此要求雷达进行有效、省时的自动标校,这样雷达可以在每次观测前或随时进行系统标校,有助于提高雷达的测量精度。

1 自动标校的目的和内容

新一代天气雷达作为一个测量系统,用于对降水目标的测量,需要有足够高的测量精度,因此对影响雷达测量精度的各个参数进行定标是十分关键和必要的。自动标校技术是在计算机控制作用下用机内仪表对影响

雷达强度测量精度和速度测量精度的各个参数进行测量和定标,由计算机修改标校程序中的参数,自动完成对雷达回波数据的标校。它是一种方便、省时的定标方法,可以在每次观测前或随时对雷达系统参数和接收机动态特性曲线进行标校。因此,采用自动标校技术将提高雷达对强天气的识别监测能力、定量估测降水精度以及雷达的测速精度。

天气雷达定量估测降水的基础是雷达气象方程,雷达气象方程描述了雷达回波功率与雷达系统参数和降水目标物性质的关系。Probert-Jones^[2](1962年)给出的雷达气象方程:

$$\frac{-}{P_r} = \frac{\pi^3 c}{1024 \ln 2} \cdot \frac{P_t G_e^2 \eta \varphi}{R^4} \cdot \frac{|K|^2 Z}{R^2} \quad (1)$$

上式右面第 1 项是常数,第 2 项是雷达系统参数,第 3 项是有关降水目标的参数。从雷达方程可以看出,雷达的系统参数和接收机动态特性影响雷达定量估测降水的精度。

新一代天气雷达根据目标回波的相位变化来估算降水目标的平均径向速度,回波的多普勒频移与目标径向速度的关系为:

$$f_d = \frac{2V}{\lambda} \quad (2)$$

由(2)式可以看出,降水目标造成的多普勒频移相对于雷达载波频率来说是非常小的,因

此,系统的频率稳定度直接影响雷达测速精度,通常用相位噪声($\Delta\phi$)来表示。新一代天气雷达对系统的相位噪声、地物对消能力等影响测速精度的因子进行自动检验和定标。

由以上分析,自动标校主要对雷达系统参数中影响定量估测降水强度精度的雷达发射功率、接收机灵敏度(或噪声系数)、接收机动态特性等参数进行定标。对影响雷达测速精度的系统相位噪声、地物对消能力等进行自动检验和定标。并对系统进行强度和速度定标。

2 自动标校的方法

新一代天气雷达的机内测量系统由高稳定度的频率综合发生器、数控衰减器、移相器、噪声源和功率测量探头等构成。在计算机的控制作用下,完成对发射脉冲功率、接收机灵敏度(或噪声系数)、接收机动态特性曲线、系统的相位噪声、地物对消能力等的检测,并对系统进行强度和速度定标。图 1 是新一代天气雷达自动标校的原理框图。

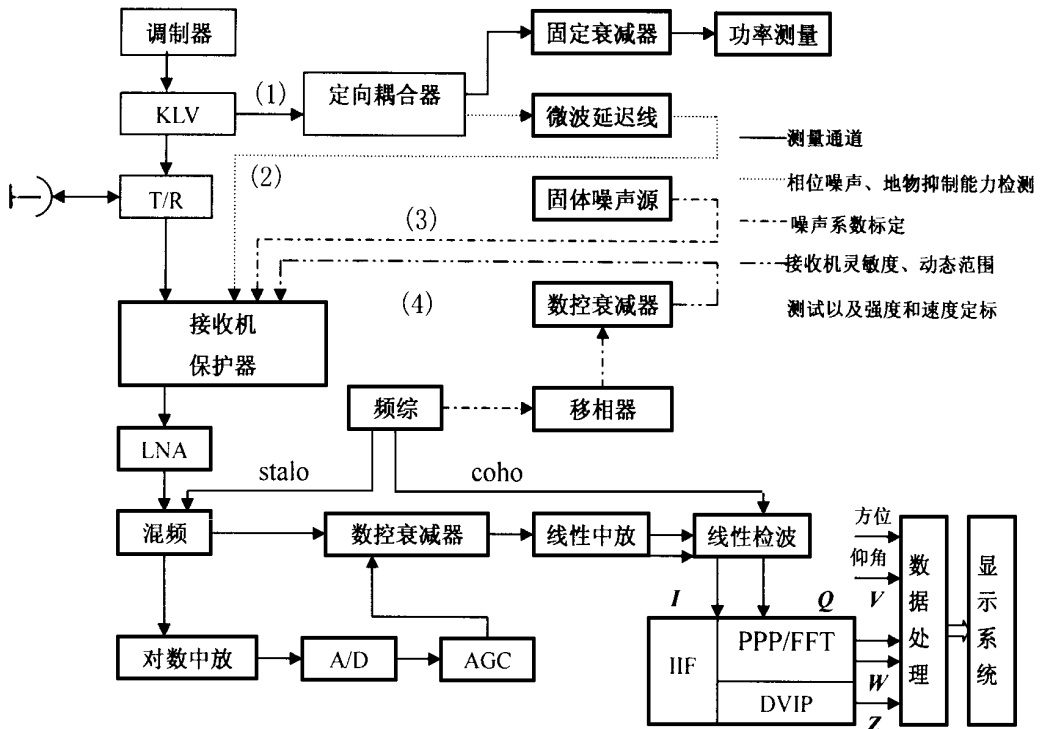


图 1 新一代天气雷达自动定标原理框图

从图 1 可以看出,发射机速调管的输出信号经定向耦合器、固定衰减器送入功率检测设备进行功率监测(图中(1)所示);按图中(4)所示线路将频综产生的标准测试信号送至接收机保护器的定向耦合端,通过改变定标微波衰减器的衰减控制码控制输入信号功率,即可用机内测试信号完成接收机灵敏度测试、动态范围测试以及强度定标,同时移相器控制频综的相位变化,通过改变测试信号

的初相,即可完成接收系统的速度定标;将从发射机定向耦合器耦合出的速调管输出信号通过微波延迟线延迟后送至接收机输入端,即可完成发射机/接收机相干性的检测(图中(2)所示);将固体噪声源信号送入接收机,可测量系统的噪声系数(图中(3)所示)。

2.1 发射机脉冲功率标定

雷达的脉冲功率是通过直接测量脉冲重复周期内的平均发射功率经计算得到的,而

不必分别测量峰值功率和脉冲宽度^[31],脉冲功率与平均功率的关系如下:

$$P_t \cdot \tau = \bar{P}_t \cdot T \quad (3)$$

因此发射功率定标的关键是确定功率计和定向耦合器之间的连接损耗。

发射机速调管输出信号经定向耦合器、固定衰减器送入接收机,经接收机内的射频放大、检波处理后送往监控系统,由监控对其采样、A/D转换,变为数字信号送往数据处理与显示系统,并在监控上显示速调管输出功率的大小和判断是否正常。

2.2 接收机噪声系数标定

噪声系数的测量采用 Y 因子法,即测量接收机加噪声源前后输出噪声功率的相对变化。噪声源的工作状态由终端控制,在机内噪声源不工作的状态下,信号处理器采样接收机输出的噪声电平 V_N ;在噪声源工作状态下,信号处理器输出噪声源超噪比并采样接收机噪声电平 V_0 ,经计算得到系统的噪声系数。

$$N_F = ENR - 10 \log[(V_0/V_N)^2 - 1] \quad (4)$$

式中,ENR 为噪声源超噪比(单位:dB), V_0/V_N 为噪声源工作和不工作时输出的噪声电平比值。通常 N_F 为 3~4 dB,如果测试超过 5.5 dB,系统自动重测。

2.3 接收机动态特性检测

频率综合发生器产生标准测试信号由接收机保护器的定向耦合端输入,通过改变数控衰减器的衰减量控制输入测试信号幅度,使信号幅度接近噪声电平,按 1 dB 步长改变衰减量,直至输出信号饱和,信号处理器采样接收机输出的信号幅度,得出接收机动态特性曲线。

通常接收机动态范围 ≥ 93 dB,动态特性曲线具有很好的线性度,按最小二乘法做拟和直线,拟和线斜率接近于 1,动态曲线的标准差 ≤ 1 dB。

2.4 系统的相干性测试

从发射机输出端耦合的发射脉冲经延时 $10 \mu\text{s}$ 作为模拟信号, $S/N \geq 50$ dB,从接收机

保护器注入,经信号处理器,对 I、Q 值采样,计算出相角 $\varphi = \arctg(Q/I)$,计算得到 n 个相角的标准差 σ_φ ,即为系统的相位噪声值。

通常 σ_φ 小于 0.1° ,如果测试值过大,表明雷达有故障。

2.5 系统地物抑制能力测试

频综产生测试信号,通过移相器改变测试信号频率(或相位),对于每个频率下的测试信号,在作地物对消和不作地物对消两种情况下,信号处理器进行单库 FFT 处理,得出测试信号的功率谱,比较两种情况下功率谱的相对大小,得出地物对消特性曲线。

2.6 强度测量定标

频综输出连续波(CW)信号,使用数控衰减器设置不同的衰减量对应不同的距离库单元,得到反射率因子值在 $-10 \sim +70$ dBz 范围内变化的信号,将衰减后信号从接收机保护器定向耦合端注入,比较信号处理器实际得到的反射率因子和期望值,其误差应在 ± 1 dB 范围内。图 2 是某部雷达的强度自动定标图,其最大正向偏差为 0.67 dB,最大负向偏差为 -0.67 dB。

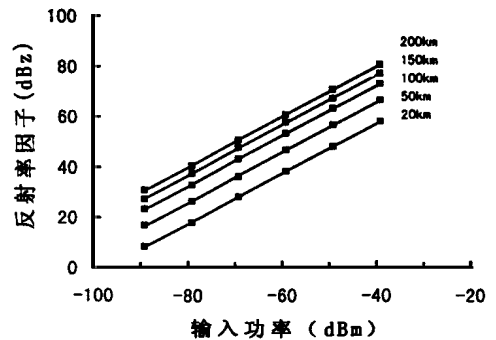


图 2 雷达强度自动定标图

2.7 速度测量定标

在移相器的控制下,频综产生带有速度和谱宽信息的模拟信号,数控衰减器控制信号电平,信号经接收、放大和谱处理后,得出相应的多普勒速度送往监控,对比多普勒速

度的期望值和实测值,误差应在 ± 1 m/s 的范围内。

3 机外仪表测试对机内自动定标结果检验

新一代天气雷达定量测量降水和多普勒测速涉及的问题很多,对雷达本身来说,除了选择合适的波长外,系统的标校是影响雷达测量精度的关键,而测量仪表的精度又是影响雷达标校精度的关键。在雷达出厂前和雷达使用一段时间后,用机外仪表对机内测量系统进行检验和定标是十分必要的。

新一代天气雷达系统设有外接端口,用

于外接仪表对机内测量系统的定标。将机外标准信号源产生的信号从接收机保护器注入,即可测量接收机灵敏度、动态范围,用机外标准信号源产生的信号作为模拟信号对系统进行强度和速度定标。通过对比机外仪表测试与机内自动定标的测试数据,检验自动定标的精度,保证雷达测量的准确性。图 3 给出了某部雷达自动定标和用外接仪表测量得到的接收机动态特性曲线,机内自动标校和机外仪表测量对比结果表明,机内自动标校精度满足要求。

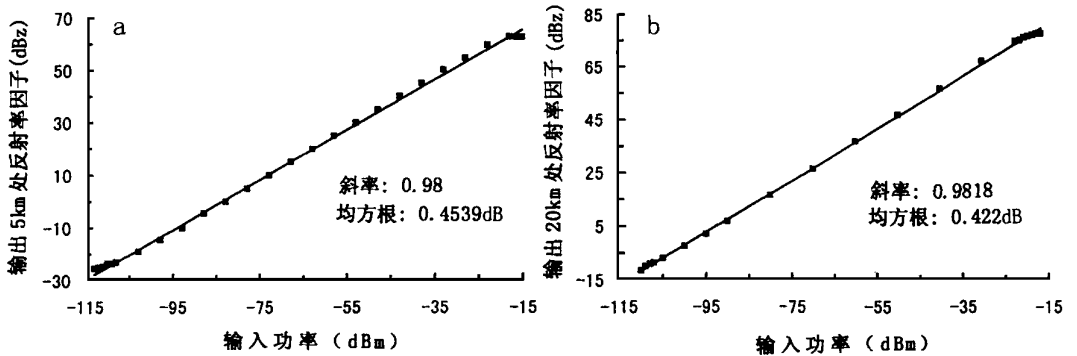


图 3 机内自动标校(a)和机外仪表测量(b)动态特性曲线

4 结束语

雷达系统参数是影响新一代天气雷达定量估测降水的一个重要因素,对雷达参数进行自动定标是提高雷达定量估测降水精度的一种必要的措施。接收机噪声系数随外部环境的改变有很大的变化,噪声系数变大对弱气象目标的检测有较大的影响;接收机动态范围及动态特性曲线的线性度对回波功率的测量有较大的影响;系统的相位噪声是影响雷达测速的一个主要因素。新一代天气雷达的自动标校技术自动完成以上各个参数的测量和定标,根据定标结果修改雷达系统参数,

进行强度和速度定标,从而保证了雷达获取的数据准确可靠,有效地发挥雷达在监测灾害性天气中的作用。

参考文献

- Ulbrich C W, Lee L G. Rainfall Measurement Error by WSR-88D Radars due to Variations in Z-R law Parameters and the Radar Constant. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 1998, 16: 1017 - 1024
- Probert-Jones J R. The radar equation in meteorology. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1972, 88: 485 - 495
- Paul L, Smith Jr. Calibration of Weather Radar 13th Conference on Radar Meteorology. Montreal, PQ, Canada. *Amer. Meteor. Soc.*, 1968. 60 - 65