

风廓线雷达回波信号强度定标方法^{* 1}

钟刘军¹⁾²⁾ 阮 征²⁾ 葛润生²⁾ 陈钟荣¹⁾
任京伟³⁾ 沈祥林³⁾ 张 哲³⁾ 魏艳强³⁾

¹⁾(南京信息工程大学, 南京 210044) ²⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

³⁾(中国航天科工集团第二十三研究所, 北京 100854)

摘 要

风廓线雷达返回信号功率定标通常通过返回信号信噪比和系统噪声功率的估算得到。该方法存在着噪声电平的确 定、外部噪声等不确定性因素,影响了定标的精度。采用信号源分别对接收机和信号处理器进行定量测试,进而对雷达系统进行定标,是另一种可行的办法,该文利用这种方法对 CFL-03 风廓线雷达进行了定标,并利用该雷达在东莞 2009 年 7 月和 8 月探测资料与广州 S 波段天气雷达和地面雨量计资料进行比较。结果表明:用该定标方法得到的回波强度与天气雷达回波强度和地面雨量计资料估算的回波强度基本一致,平均标准差在 1 dB 左右,表明这种定标方法是可行的。

关键词: 风廓线雷达; 定标; 噪声电平; 信噪比; 回波功率

引 言

风廓线雷达采用脉冲多普勒技术,通过垂直指向波束和偏离天顶指向 15° 的多波束指向对大气进行探测,获取晴空大气中三维风随高度的分布,目前已在云体结构、资料同化、暴雨等多方面进行了研究^[1-8]。但是,风廓线雷达除了提供风场信息外,还提供强度等信息。当有降雨出现时,返回信号中包含大气返回信号和降水回波信号,在功率谱密度分布上常出现双峰形式,可以对大气返回信号和降水返回信号剥离后再进行分别研究。1992 年, Rogers 等^[9]利用风廓线雷达返回信号功率的多普勒谱估算降水时雨滴大小的分布; White 等^[10]利用返回信号功率及垂直速度的梯度变化,对降水云的分类进行研究; Bianco 等^[11]和 Angevine 等^[12]通过采用风廓线雷达获取的信噪比经过距离订正后进行对流层发展高度的研究等; 黄伟等^[13]利用五波束风廓线雷达垂直指向测得的回波强度、径向速度和多普勒谱宽来估测雨滴谱的参数; 阮征等^[14-15]经过对风廓线雷达多种探测模式数据的估算分析,构建了风廓线雷

达强度信息对大气折射率结构常数的估算方法; 何平等^[16]利用风廓线雷达提供的功率谱密度、信噪比、水平速度、垂直速度等多种资料,进行降水研究,以上各研究均建立在风廓线雷达获得可靠的大气返回信号功率的基础上。可见,风廓线雷达回波信号功率定标对各项研究工作的进行起着至关重要的作用。

由于大气返回信号非常微弱,常在雷达系统噪声电平以下 30~40 dB,所以风廓线雷达采用相干积累、脉冲压缩等技术来提高风廓线雷达的探测能力,由此也提高了对风廓线雷达回波信号强度定标的难度。目前对风廓线雷达微弱信号的估算都是基于频域中信噪比的测量,由系统噪声功率来估算。由于环境噪声的存在,会影响噪声电平的确定,造成信噪比估算误差,影响返回信号功率的定标。利用信号源分别对接收机和信号处理器进行定量测试,最后利用测得的信号处理器线性曲线和接收机增益确定雷达系统的定标曲线,也是一种可行的办法,这种方法与天气雷达定标方法类似,但此方法还需对相干积累、脉压得益等进行精确测试,为噪声以下微弱信号的定标奠定了基础。本文利用该方法对 CFL-03

* 国家自然科学基金项目(40675019, 41075023)、科技部公益性行业专项“风廓线雷达数据处理算法和产品研发”(GYHY200906039)和灾害天气国家重点实验室自主研究项目“多种探测技术的应用研究”共同资助。

2009-12-02 收到, 2010-07-08 收到再改稿。

风廓线雷达进行检测和定标,并在外场实际观测中检验。

1 定标方案

1.1 原理

风廓线雷达接收到的回波信号主要是来自晴空大气散射,在有降水时信号中还包含降水信号。当回波信号包含大气散射信号和降水信号时,可以根据两者在频域中统计特征的差异,进行剥离。对这两种返回信号强度的描述有所不同,降水信号常用反射率因子表示,而晴空湍流散射则用大气折射率结构指数表示。

晴空时,大气中对电磁波的散射主要是湍流散射。理论上,在局地均匀、各向同性湍流的惯性子区内,单位体积的散射截面为

$$\eta = 0.38C_n^2\lambda^{-\frac{1}{3}}。 \quad (1)$$

式(1)中, λ 为入射电磁波波长,单位为m; C_n^2 为折射率结构常数,单位为 $m^{-\frac{2}{3}}$; η 的单位为 m^2/m^3 。为方便与降水返回信号比较,引进大气湍流散射的等效反射率因子

$$Z_e = \frac{\eta \times \lambda^4}{\pi^5 |K|^2} = \frac{0.38 \times C_n^2 \times \lambda^{11/3}}{\pi^5 |K|^2}。 \quad (2)$$

将式(2)代入适用于弥散目标的雷达气象方程

$$P_r = \frac{P_t G L^2 \lambda^2 \theta^2 h \eta}{1024 \pi^2 (\ln 2) R^2}, \quad (3)$$

$$P_A = \frac{7.3 \times 10^{-4} P_t G (c\tau/2) L^2 \lambda^{5/3} C_n^2}{R^2}。 \quad (4)$$

对于降水回波信号,用反射率因子 Z 表示,

$$Z = \int_0^\infty n(D) D^6 dD, \quad (5)$$

$$P_R = \frac{\pi^3}{1024 \times \ln 2} \times \frac{P_t h G^2 \theta \Psi}{\lambda^2 R^2 L} \times \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \times Z。 \quad (6)$$

式(4)、(5)和(6)中, P_A 为晴空大气返回信号功率; P_R 为降水回波信号功率; P_t 为发射功率; G 为天线增益; θ, Ψ 为雷达水平、垂直波束宽度; h 为发射脉冲对应的空间长度; R 为目标物距离; c 为光速; τ 为脉冲宽度; L 为馈线损耗。

风廓线雷达接收到的回波信号主要来自晴空大气散射 P_A ,在有降水时信号中还包含降水信号 P_R ,因此降水时雷达返回信号 $P_r = P_A + P_R$ 。

从式(4)和式(6)可以看出,对于信号强度,不管

在晴空下用 C_n^2 描述,还是在降水情况下用反射率因子 Z 描述,都与返回信号的功率有关。因此,在雷达参数基本确定的情况下,对于风廓线雷达回波强度的定标,关键是对获取信号的返回功率进行准确标定。

1.2 返回信号功率的测量

目前对于风廓线雷达返回信号功率的估算主要有两种方法,一种是利用测量返回信号信噪比,由雷达系统的信噪比(R_{SN})来估算返回信号功率^[15];另一种是利用信号源对返回信号进行标定。

风廓线雷达是在频域中估算雷达返回信号信噪

$$\text{比 } R_{SN} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i + N_i)}{\sum_{i=1}^n N_i}, \text{ 噪声电平 } \bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n}, n \text{ 是 FFT}$$

点数,返回信号功率 P_R 由 R_{SN} 和 P_n 计算得到。

$$P_R = R_{SN} \cdot P_n。 \quad (7)$$

式(7)中, R_{SN} 是信号与噪声的比值, P_n 是雷达接收系统的噪声功率,可由实测的系统 N_f 噪声系数来近似估算:

$$P_n = K \cdot T_0 \cdot B_0 \cdot N_f。 \quad (8)$$

式(8)中, K 是玻尔兹曼常数, T_0 是用绝对温度表示的雷达接收机系统噪声温度, B_0 为接收机的带宽, N_f 是噪声系数。

风廓线雷达在频域中求取信噪比时,噪声电平的确定对信噪比的估算有较大影响。噪声电平通常是在高空无信号距离库功率谱中确定,且在实际观测谱分析中发现功率谱中的噪声电平在低空时比高空有所增加^[17]。此外,雷达系统的噪声功率的获取也较为复杂,具有很多不确定因素,因此通过信噪比和系统噪声功率来估算返回信号功率存在一定误差。

利用信号源分别对接收机和信号处理器进行定量测试,最后利用测得的信号处理器线性曲线和接收机增益确定雷达系统的定标曲线,也是一种对风廓线雷达信号强度定标的方法。具体实施方案见图1。

首先,测试接收机的动态范围,获取接收机增益。在接收机高频头前端输入测试信号,在接收机的中频输出端接频谱仪来监测输出信号(图1①),以机外非相干信号源和频谱仪标定接收机中频输出,获取接收机噪声以上定标曲线,从而确定接收机增益。

接着断开模拟接收机,测试信号处理器,确定信号处理器线性曲线。频谱仪连接在图1②,用中频相

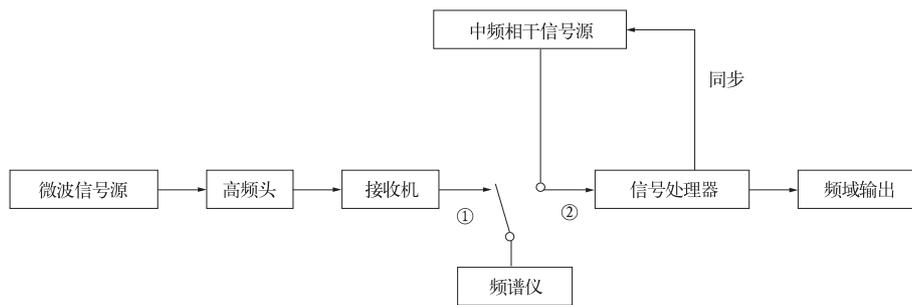


图1 接收机系统测试图
Fig.1 Receiver system test diagram

干信号源从信号处理器输入端输入与信号处理器相干的中频信号,中频相干信号源输入的信号功率由图中频谱仪监测,以中频相干信号源和信号处理器输出确定信号处理器线性曲线。将中频相干信号源的输入功率减去前面测得的接收机增益可以导出整个系统的动态曲线。

风廓线雷达采用相干积累和脉压等新技术来提高风廓线雷达的探测能力,为了对微弱信号进行标定,必须对相干积累和脉压得益进行定量测量。从信号处理器输入端注入与信号处理器相干的中频信号,相干积累数分别设置在不同值,观察并记录信噪比的值,以此测试相干积累得益。再从信号处理器输入端输入频综自检信号,实时记录脉压与普通脉冲测量值,以此测试脉冲压缩得益。

再连接接收机和信号处理器,在信号处理器输出端测得整机噪声输出功率值来推出系统的最小可测信号。

通过频谱仪对高频信号源输出和中频信号源输入的监测,将输入到信号处理器的信号归一化到高频信号源,用等效离散输入信号对信号处理器输出定标。最后利用测得的信号处理器线性曲线和接收机增益确定雷达系统的定标曲线。

综上所述,不论是用信噪比来估算大气返回信号功率还是利用标准信号源来进行定量测量,都要求对雷达系统的线性范围进行定量测量。从信噪比估算大气返回信号功率式(7)可以看出,信号功率与雷达系统噪声成正比关系,在微弱信号当噪声电平估算出现误差时,返回信号功率会出现较大误差。利用标准信号源来测量也要求对雷达整个系统的线性范围和信号处理器进行仔细测量,这种方法的精度取决于仪表的精度,不存在误差放大问题。

2 方案实施

利用文中所述方法,在中国航天科工集团第二

十三研究所为中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室研制的边界层风廓线雷达(CFL-03)的出厂测试中进行了实施,测试中使用静态信号源、HP数字示波器等仪器仪表。考虑到CFL-03风廓线雷达采用两种探测参数进行高低模式的探测,因此分别在高低模式探测参数下进行了测量,得到两个模式的定标曲线。

2.1 接收机测试

对接收机进行了56组数据的测量,以此数据作出接收机的动态范围曲线见图2。由图2可知,在接收机动态范围内线性拟合程度很高。得到接收机噪声以上线性曲线

$$P_{中} = 0.9987P_{高} + 87.268. \quad (9)$$

式(9)中, $P_{中}$ 为接收机中频输出功率,单位为dBm; $P_{高}$ 是接收机高频输入信号功率,单位为dBm;找出最大1dB压缩饱和点:-76dBm;因为接收机的输出是用频谱仪来测量的,使得噪声电平变小,所以对于接收机灵敏度的测量不能通过数据的下端饱和点来测量,应该通过实测噪声系数来确定。接收机噪声功率为-111dBm,由此可得接收机的线性动态

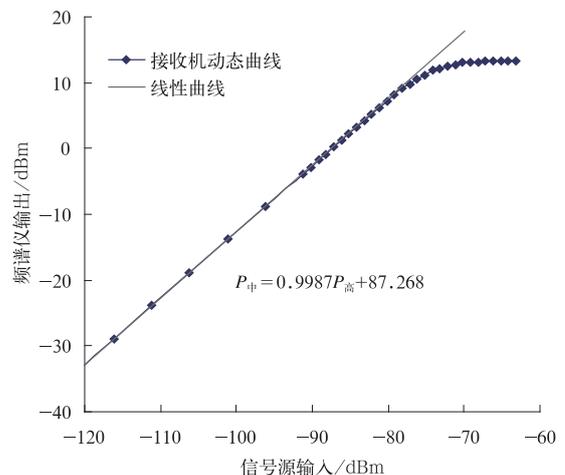


图2 接收机动态线性范围
Fig.2 Linear dynamic range of the receiver

范围约为 35 dB,增益约为 87 dB。

2.2 信号处理器测试

2.2.1 相干积累得益检测

表 1 是信号源设置在 -85 dBm 时得到的相干

积累得益数据。其中信号功率取功率最大值,噪声是一段无信号区域的平均值,功率密度、噪声值为累加平均后的值。同时进行了输入不同信号功率的测试,结果与表 1 基本一致。

表 1 相干积累得益检测
Table 1 Test of coherent accumulation

时域积累数	信号功率/dBm	噪声/dBm	信噪比/dB	信噪比提高/dB	理论信噪比提高/dB
1	-85.6	-95.7	10.1	0.0	0.00
2	-85.5	-99.4	13.9	2.8	3.01
10	-85.3	-106.6	21.3	11.2	10.00
20	-85.2	-109.1	23.9	13.8	13.01
40	-85.4	-111.5	26.1	16.0	16.02

2.2.2 脉压积累得益检测

表 2 为脉冲压缩积累得益实测数据,其中信号功率、噪声值为累加值。可以看出,脉压积累实测得益和理论值基本相符。

2.2.3 制定系统定标曲线

分别在高、低模式两种探测参数下对信号处理器进行了 40 组数据的测试,图 3 是以此数据与测得的接收机增益作出的系统线性定标曲线,图 3a,3b 分别为高、低模式下的系统线性定标曲线。其中 $P_{低}$ 为

-153 dBm,是系统最小探测功率,由无信号时系统频域输出噪声谱线幅度累加值确定。从图 3 可以看出,两者线性拟合度很高,表明接收机在噪声以下也是线性的。通过这种方法可以有效地对噪声以下微弱小信号进行标定。高、低模式定标曲线分别为 $y=0.9995x+84.629$ 和 $y=0.9967x+84.259$ 。其中 y 表示信号处理器频域输出谱线幅度累加值, x 表示等效微波输入信号功率。定标之后可以通过频域谱线幅度值来表示雷达返回信号功率。

表 2 脉压积累得益检测
Table 2 Test of pulse compression accumulation

	普通脉冲	互补码			巴克码				
		2 位	4 位	8 位	2 位	3 位	4 位	5 位	7 位
信号功率/dBm	-8.52	-2.12	3.72	9.83	-2.52	1.48	4.11	5.54	8.82
噪声/dBm	-75.39	-72.40	-69.40	-66.44	-73.05	-70.97	-70.01	-69.08	-67.70
信噪比/dB	66.87	70.33	73.20	76.26	70.53	72.46	74.12	74.63	76.52
信噪比提高/dB		3.46	6.33	9.39	3.66	5.59	7.25	7.76	9.65
实测压缩比/dB		6.40	12.20	18.35	6.00	10.00	12.63	14.06	17.34
理论压缩比/dB		6.02	12.00	18.06	6.02	9.54	12.04	13.98	16.90
压缩比差值/dB		0.38	0.20	0.29	-0.02	0.46	0.59	0.08	-0.72

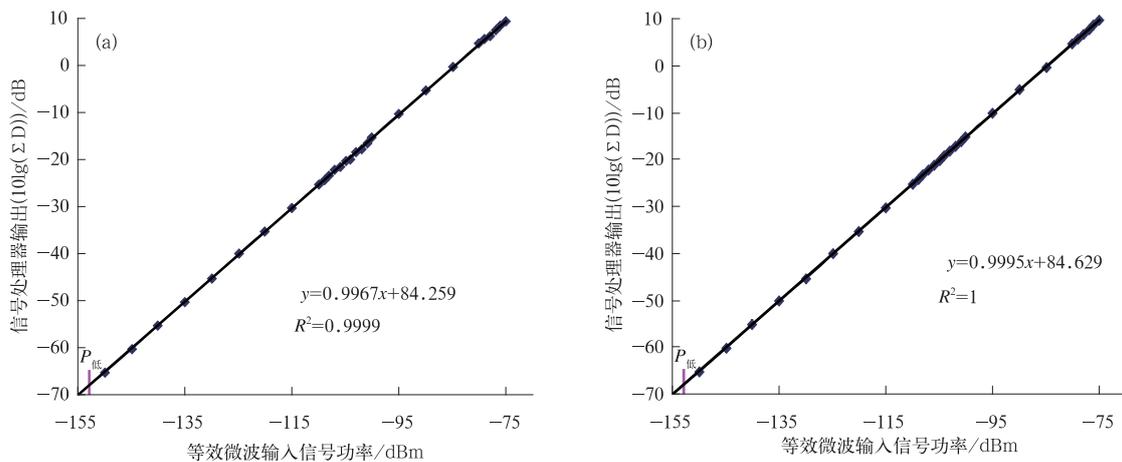


图 3 系统标定 (a) 低探测模式, (b) 高探测模式

Fig. 3 System calibration (a) low mode, (b) high mode

试验中,用接收系统的噪声电平对系统的最小可测功率定标值进行检验,相差约 1 dB,在所使用信号源的精度范围内,表明定标曲线是合理的。

3 观测试验

2009 年 7—9 月,中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室的 CFL-03 风廓线雷达在广东东莞市气象局(22°58′27″N,113°44′17″E)进行了观测试验,该风廓线雷达基本技术性能:① 工作频率为

1320 MHz;② 最低探测高度为 50 m;③ 最高探测高度为 5100 m;④ 时间分辨率为可设;⑤ 低模高度分辨率为 50 m,高模高度分辨率为 100 m;⑥ 扫描波束为 5(东、西、南、北、中);⑦ 相干积累数为 60,FFT 点数为 512,谱平均数为 6,脉冲重复周期为 720。试验期间,应用相距 34 km 的广州 S 波段天气雷达(23°00′14″N,113°21′18″E)和东莞地面自动气象站(距风廓线雷达不到 40 m)的资料进行了回波强度的比对试验,三者位置如图 4 所示。

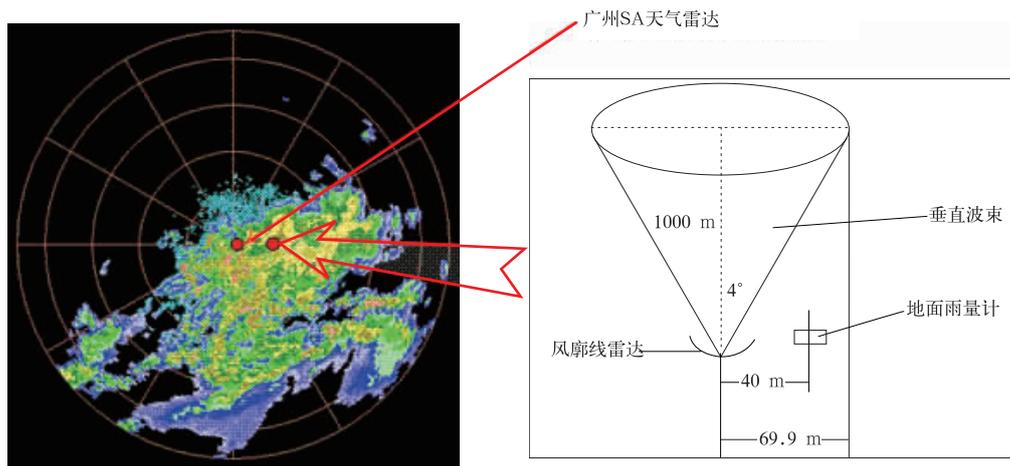


图 4 广州 SA 天气雷达、东莞风廓线雷达与地面雨量计位置示意图

Fig. 4 Location diagram of Guangzhou SA weather radar and wind profile radar in Dongguan with the ground rain gauge

3.1 风廓线雷达与天气雷达回波强度的比对

降水时,雷达接收到的回波信号包含了大气返回信号与降水返回信号,对天气雷达来讲,大气返回信号远小于降水返回信号,其雷达回波信号功率可视为降水返回信号功率。对 L 波段风廓线雷达来讲,用观测试验期间实测的晴空大气返回信号功率值与不同降水强度返回信号的回波强度进行了比较。

表 3 给出 5 d 观测到的晴空大气返回信号的平均等效回波强度值,其中最小为 -15.5 dBZ(4000 m),最大值为 -2.2 dBZ(1000 m)。当降水强度为 0.5 mm/h 时,风廓线雷达估算到的降水回波强度约为 20.5 dBZ,远大于晴空大气返回信号。风廓线雷达观测降水云体时,当回波强度大于 20 dBZ 时,大气返回信号的贡献可以忽略不计。

表 3 东莞地区晴空等效大气返回信号回波强度随高度变化表(单位: dBZ)

Table 3 Echo intensity in sunny day in Dongguan(unit: dBZ)

高度/m	2009-07-09	2009-07-10	2009-07-12	2009-07-13	2009-08-09	平均值
1000	-1.1497	-1.7157	-2.1825	-4.5128	-1.4487	-2.20188
2000	-10.4280	-3.9990	-6.1319	-7.7915	-5.9982	-6.86972
3000	-16.1288	-14.8945	-14.0380	-12.9582	-12.7266	-14.1492
4000	-17.0049	-15.3924	-14.9553	-14.5695	-15.8173	-15.5479
5000	-12.1763	-13.1900	-11.0167	-12.0691	-10.5743	-11.8053

天气雷达与风廓线雷达回波强度的比对都采用

基数据。天气雷达应用对应东莞上空 5 个仰角的

数据,高度分别为 878 m, 1499 m, 2121 m, 2744 m 和 3862 m, 并与相对应高度的风廓线雷达观测数据进行比较。试验期间共有 31 d 出现了降水, 对其中降水强度大于 5 mm/h 的降水资料进行了 5 个高度共计 9200 组数据的比对, 经过统计分析得出: 天气雷达与风廓线雷达回波强度的平均差值 2.4 dB, 平均标准差为 1.2 dB, 5 个高度标准差分别为

1.03 dB, 1.19 dB, 0.98 dB, 1.33 dB 和 1.56 dB, 在天气雷达误差范围之内, 表明这次风廓线雷达的定标结果可信。

图 5a 和 5b 是试验期间两个不同时刻天气雷达与风廓线雷达回波强度的垂直廓线, 可以看出风廓线雷达提供了更为精细的回波强度垂直廓线结构。

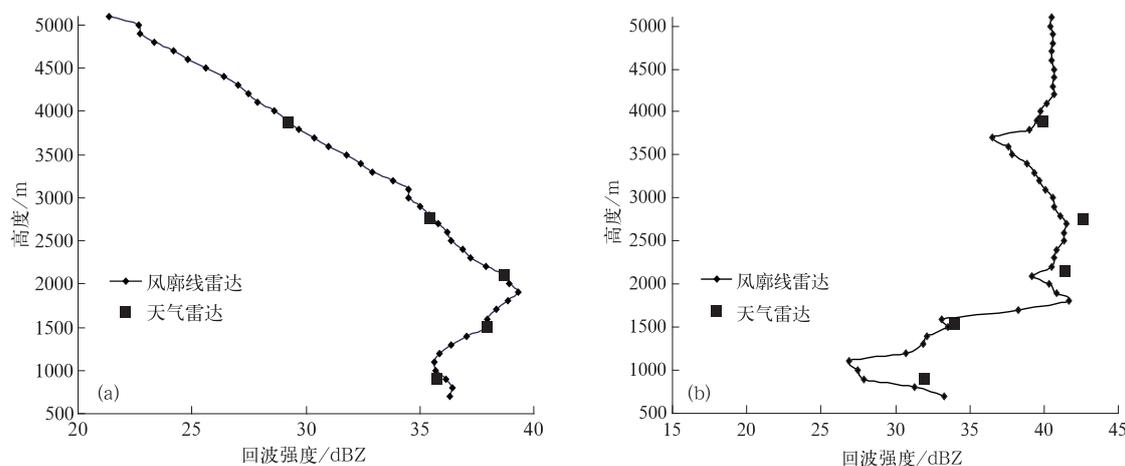


图 5 风廓线雷达与天气雷达回波强度随高度变化图 (a) 小雨, (b) 大雨

Fig. 5 Echo intensity of wind profile radar and weather radar (a) light rain, (b) heavy rain

3.2 风廓线雷达资料与地面雨量计资料反演回波强度比对

风廓线雷达低模式工作时, 接收机灵敏度时间控制影响, 800 m 以内无法得到准确的测量值, 因此比对时, 选取 1000 m 高度风廓线雷达回波信号强度值与地面雨量计降水量资料应用 $Z=300I^{1.4}$ 关系反算的回波强度值进行粗略比较。处理资料时, 考虑到雨滴从 1000 m 高空落到地面有 2 min 左右的滞后, 所以在选取地面资料时延迟 2 min 与风廓线雷达资料时间配对, 从而保证两者资料的对应可比性。对试验期间 11 次降水量大于 5 mm 的降雨过程共计 3920 组的数据进行了比对, 统计得出: 自动雨量站资料得出的回波强度与风廓线雷达回波强度的平均差值为 1.96 dB, 平均标准差为 0.98 dB, 表明定标结果是可信的。

4 结论与讨论

1) 风廓线雷达回波强度定标后为探测数据的定量应用提供了依据, 拓展了风廓线雷达的资料应

用。

2) 在用中频相干信号源对风廓线雷达相干积累和脉压得益测量的基础上, 对风廓线雷达系统微弱信号进行标定, 通过实际测试表明这是一种可行的方法。

3) 2009 年广东东莞外场观测试验中, 业务使用的 SA 天气雷达与经过标定后的风廓线雷达对比, 回波强度平均差值为 2.4 dB, 平均标准差为 1.2 dB; 风廓线雷达观测的回波强度值与地面降水量资料反演估算的回波强度值平均差值为 1.96 dB, 平均标准差为 0.98 dB, 表明风廓线雷达回波强度的定标结果是可信的。

东莞外场观测试验仅对风廓线雷达回波强度的定标做了初步检验, 还将通过更多的试验来对风廓线雷达回波强度的定标进行验证。本文所用定标方法精度受信号源精度的限制。利用此方法对 CFL-03 风廓线雷达定标时曾用系统噪声电平做了初步检验, 精度约为 1 dB, 以后还将通过更多的试验对其进行研究。

参 考 文 献

- [1] 刘淑媛,郑永光,陶祖钰. 利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系. 热带气象学报, 2003, 19(3): 63-68.
- [2] Boyer E, Petitdidier M, Adnet C, et al. Subspace-based Spectral Analysis for VHF and UHF Radar Signals. Proc PSIP, 2001: 385-390.
- [3] 张培昌,王振会. 大气微波遥感基础. 北京:气象出版社, 1995:100-120.
- [4] 王令,郑国光,康玉霞,等. 多普勒雷达天气雷达径向速度图上的雹云特征. 应用气象学报, 2006, 17(3): 281-287.
- [5] 李华宏,薛纪善,王曼,等. 多普勒雷达风廓线的反演及变分同化试验. 应用气象学报, 2007, 28(1): 50-57.
- [6] 许小峰,胡欣,王卫丹,等. 国内大气科学发展状况及优先领域分析. 应用气象学报, 2006, 17(6): 657-664.
- [7] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学. 北京:气象出版社, 2000:70-85.
- [8] 何平. 相控阵风廓线雷达. 北京:气象出版社, 2006:64-89.
- [9] Rogers R R, Baumgardner D, Ethier S A, et al. Comparison of raindrop size distributions measured by radar wind profiler and by airplane. *J Appl Meteor*, 1993, 32(4): 694-699.
- [10] White A B, Gattas D J, Ralph F M, et al. An automated bright band height detection algorithm for use with Doppler radar spectral moments. *J Atmos Oceanic Technol*, 2002, 19(5): 687-697.
- [11] Bianco L, Wilezak J M. Convective boundary layer depth: Improved measurement by Doppler radar wind profiler using fuzzy logic methods. *J Atmos Oceanic Technol*, 2002, 19(11): 1745-1758.
- [12] Angevine W M, White A B, Avery S K. Boundary layer depth and entrainment zone characterization with a boundary layer profiler. *Bound-Layer Meteor*, 1994, 68: 375-385.
- [13] 黄伟,张沛源,葛润生. 风廓线雷达估测雨滴谱参数. 气象科技, 2002, 30(6): 334-340.
- [14] 阮征,何平,葛润生. 风廓线雷达对大气折射率结构常数的探测研究. 大气科学, 2008, 32(1): 133-140.
- [15] 阮征,葛润生,吴志根. 风廓线仪探测降水云体结构方法的研究. 应用气象学报, 2002, 13(5): 170-179.
- [16] 何平,朱小燕,阮征,等. 风廓线雷达探测降水过程的初步研究. 应用气象学报, 2009, 20(4): 465-470.
- [17] 马建立,阮征,葛润生,等. 风廓线雷达估算大气返回信号功率方法的研究. 气象科技, 2002, 37(1): 89-92.

Calibration Method of Echo Intensity of Wind Profile Radar

Zhong Liu jun¹⁾²⁾ Ruan Zheng²⁾ Ge Runsheng²⁾ Chen Zhongrong¹⁾
Ren Jingwei³⁾ Shen Xianglin³⁾ Zhang Zhe³⁾ Wei Yanqiang³⁾

¹⁾ (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

²⁾ (State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

³⁾ (The 23rd Research Institute, China Aerospace Science & Industry Corporation, Beijing 100854)

Abstract

A lot of researches about wind profile radar are based on analysis of echo power. So the estimation accuracy of echo power has direct effects on the use and expansion of wind profile radar data. At present, return signal power of wind profile radar is estimated by signal to noise ratio (SNR) and radar system noise power. Environmental noise may cause errors when estimating SNR in power spectrum of wind profile radar, affecting calibration accuracy. Another viable option is quantitatively testing the receiver and signal processor respectively using the same signal source, and then the calibration curve of radar systems can be determined according to the measured signal processor linear curve. Using this method, the calibration curve of CFL-03 wind profile radar is determined, and probe data of the radar in July and August, weather radar data and surface rain gauge data are compared. The results show that the weak signal of wind profile radar can be calibrated effectively, on the basis of measurement of the coherent accumulation and pulse compression accumulation using intermediate frequency source. The method proves feasible through the

actual test. And through field experiments it can be seen that calibrated echo intensity of wind profile radar and SA weather radar echo intensity are basically the same with an average error less than 2 dB, within the scope of weather radar calibration error. The errors between calibrated echo intensity of wind profile radar and ground rain gauge data is less than 2 dB, indicating that the calibration results are credible.

Key words: wind profile radar; calibration; noise level; SNR; return signal power

《应用气象学报》征稿简则

《应用气象学报》(双月刊)是大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊,主要刊登反映新理论与新技术在大气科学中的应用,以及大气科学理论与实践相结合,应用于各个有关领域的研究论文、业务系统和研究简报;国内外大气科学与应用气象科学发展中的新动态与新问题的探讨与评论;国内外重要学术会议或研究、业务活动的报道;气象书刊评介。

投稿要求和注意事项:

1. 论点明确、文字精炼。摘要请按文摘四要素(目的、方法、结果、结论)撰写,列出 3~8 个关键词,作者姓名请附汉语拼音,所在单位请附中、英文全名、地名、邮编。要求中文摘要为 200~400 字,英文摘要为 500 个单词左右(并请附对应的中文译文)。

2. 插图请插入文中适当位置,要求准确、清晰、美观。图中物理量、单位请勿遗漏,中、英文图题及说明写在插图下面。表格请采用三线表形式,并列出中、英文表题,文字须端正和清晰。

3. 参考文献请择主要的列入,并请按文中引用顺序标号。期刊书写格式:作者. 文章题目. 刊名,年,卷(期):起止页. 专著书写格式:作者. 书名. 译编者. 出版地:出版社,出版年:起止页。

4. 计量单位请按《中华人民共和国法定计量单位》列出,已废止的单位请换算成法定计量单位。

5. 科技术语和名词请使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。外国人名和地名,除常用者外请注原文。

6. 网上投稿(<http://qk.cams.cma.gov.cn>)请同时寄送全体作者签名的《承诺书》(请网上自行下载)。稿件自收到之日起,将在 6 个月内决定刊用与否,来稿一经刊登,酌情收取版面费,并酌付稿酬,请自留底稿,不登者恕不退还。

7. 寄交最后审定稿时,请在 A4 幅面的纸上用 5 号字隔行单面打印稿件,连同电子版一并交编辑部。稿件中的数字及符号必须清楚无误,易混淆的外文字母、符号,用铅笔标注文种,大、小写,正、斜体,黑、白体,公式中的上、下标。

8. 本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。本刊所付稿酬包含光盘稿酬和刊物内容上网服务报酬。凡向本刊投稿的作者(除事先声明外),本刊视为同意将其稿件纳入此两种版本进行交流。

欢迎投稿。投稿请登录 qk.cams.cma.gov.cn。

地址:中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部,邮政编码:100081;电话:(010)68407086,68408638;网址:qk.cams.cma.gov.cn; E-mail:yyqxxb@cams.cma.gov.cn, yyqxxb@163.com。