

CINRAD/SA-D 雷达差分反射率金属球标定试验

朱毅¹ 周红根^{1*} 赵宇² 刘俊³ 杜云东⁴ 储晨曦¹ 王新⁵

(1 江苏省气象探测中心, 南京 210009; 2 徐州市气象局, 徐州 221006; 3 泰州市气象局, 泰州 222008;
4 北京敏视雷达有限公司, 北京 100086; 5 重庆市气象局, 重庆 400703)

摘要 目前我国新一代天气雷达正升级为双偏振体制, CINRAD/SA-D 双偏振天气雷达对气象目标差分反射率(Z_{DR})的精确测量是参数标定的重要环节。对徐州双偏振雷达配置 VCP-sect 扫描模式, 采用目标方位 $\pm 5^\circ$ 的扇扫组合, 且关闭地物等所有雷达滤波算法, 用无人机分别携带 2 种标准金属球开展 Z_{DR} 标定试验。分析试验结果, 发现采用 40 cm 金属球, 控制无人机与金属球间隔为 68 m 时, Z_{DR} 平均值为 -0.265 dB, 最小为 -0.125 dB, 最大为 -0.375 dB, 满足雷达定标 Z_{DR} 的技术要求。研究结果为业务雷达开展双偏振雷达定标 Z_{DR} 提供了技术方案。

关键词 标定; 双偏振雷达; Z_{DR} ; 金属球; 无人机

中图分类号: P415.2, TP75 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20200470 **文献标识码**: A

引言

经“十三五”时期的建设,我国在网天气雷达数达 270 余部,针对天气雷达定标工作,中国气象局制定了新一代天气雷达出厂(现场)验收测试大纲(2018 版)及新一代天气雷达系统巡检规定(试行)(2009 版)等一系列的业务文件,并规定了 SA 雷达定标测试项目。国内一些专家学者也开展了特定研究,并取得了一定进展,王立轩等^[1](2001)介绍新一代天气雷达参数测试,用机外仪表对机内自动标校结果进行检验;柴秀梅等^[2](2007)分析 CINRAD/CC 自动标校的技术原理,对其存在的问题提出解决方案;潘新民等^[3-4](2010)论述了回波强度定标与故障的诊断分析方法及定标故障诊断流程;王志武等^[5-6](2008)分析了雷达定标相关的适配参数,对定标和检查中可能出现的各种报警给出对策;周红根等^[7](2016)从雷达数据质量需求出发,在 4 个方面对 CINRAD/SA 标定技术进行了研究,从而提高了回波强度定标的客观性和一致性。

我国从 2015 年开始对新一代天气雷达进行双偏振升级改造,目前新建业务雷达均为双偏振雷达,

并且全国不少 CINRAD/SA 雷达已经升级为双偏振雷达 CINRAD/SA-D。双偏振雷达通过垂直和水平两个通道回波信号的微小差异,来识别探测目标物的物理特征。针对雷达的定标问题,魏洪峰等^[8](2008)分析和研究雷达发射、接收支路馈线损耗、双路旋转关节不一致等引入差分反射率(Z_{DR})测量误差的因素。胡东明、胡汉峰、蔡康龙等^[9-11]分别对敏视达公司生产的 S/C/X 波段双偏振天气雷达方位旋转关节和俯仰旋转关节造成的雷达 Z_{DR} 测量误差进行了检测和分析,表明雷达重要器件旋转关节影响了双偏振天气雷达双通道信号的一致性和 Z_{DR} 精度;赵世颖等^[12]针对车载 C 波段双偏振多普勒雷达,使用交叉与平行法对雷达收发支路损耗进行测量,并计算出雷达两通道的偏差值,从而订正 Z_{DR} ,此方法对车载雷达等不含天线罩雷达标定效果较好;李喆等^[13-14](2016、2014)用比较小雨法(即垂直指向法的标定)、太阳法等对双偏振天气雷达 Z_{DR} 标定,小雨法对天气条件要求高,太阳法仅标定全链路接收通道;詹棠等^[15](2019)分析对比小雨法和太阳法等对 S 波段双偏振天气雷达 Z_{DR} 的标定结果,发现雷达小雨法标定受到位于天线罩顶部的航空障碍

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

国家重点研发计划(2018YFC1506100、2018YFC1506102)、江苏省气象局科研基金项目(KZ201905)共同资助

作者简介:朱毅,男,1985 年生,高级工程师,研究方向主要为雷达保障,Email:84620764@qq.com

收稿日期:2020 年 11 月 5 日;定稿日期:2021 年 2 月 26 日

* 通信作者:Email:dpllyg@sina.com

灯和维护窗的影响,使得 Z_{DR} 标定结果出现偏差;李兆明等^[16]开展用系留艇悬挂金属球定标 X 波段固态天气雷达试验,差分反射率平均值为 2 dB,与理论值 0 dB 存在较大偏差。虽然上述工作已从多方面研究了我国双偏振雷达的差分反射率的标定,但其研究对象仍集中于科研雷达为主^[17-18],对我国目前布网的业务雷达研究较少。目前国内还没有开展过金属球对业务雷达 CINRAD/SA-D 进行双偏振参量 Z_{DR} 定标的工作,对 Z_{DR} 标定主要依靠小雨法、太阳法等,定标结果受多种因素影响,存在不确定性和偏差。双偏振天气雷达对气象目标 Z_{DR} ^[19]的精确测量是我国新一代天气雷达双偏振升级过程中必须解决好的一个重要环节,在国内外研究基础上^[20-24],通过现场实验保证双偏振雷达数据质量,才能更好地为预报服务提供准确的数据产品。

1 金属球定标双偏振雷达原理

新一代天气雷达 SA 升级为双偏振雷达,采用同时发射同时接收模式。差分反射率 Z_{DR} 是波束体积内水平通道反射率因子 Z_H 和垂直通道反射率因子 Z_V 之比^[19](取对数,单位为 dB)。

$$Z_{DR} = 10 \lg \left(\frac{Z_H}{Z_V} \right) \quad (1)$$

对于标准金属球,水平通道反射率因子 Z_H 和垂直通道反射率因子 Z_V 相等, Z_{DR} 为零。小的雨滴形状趋于球形, Z_H 和 Z_V 近似相等, Z_{DR} 值接近为零。雨滴尺度越大,形状越扁, Z_{DR} 越大。

把标准金属球作为散射目标用于双偏振雷达定标,这是一种标准的雷达定标方法(图 1)。虽然金属球为点目标,但标定时,雷达波束内没有其它目标填充,使之可以作为气象体目标标定的合理替代。一般用无人机、飞艇、气球、风筝等悬挂 1 个已知尺

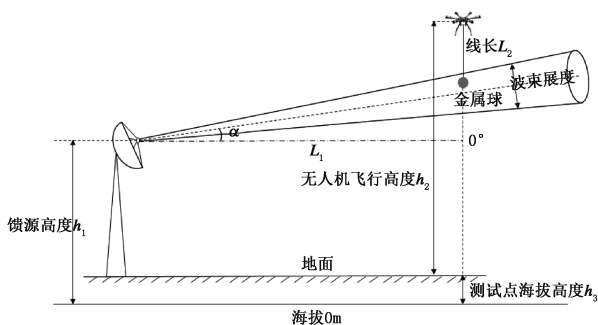


图 1 无人机携带金属球定标雷达示意图

寸的标准金属球,对于 S 波段双偏振雷达(SA-D 型),确保金属球距离雷达不小于 1.6 km,既保证理论上符合电磁波远场探测的要求,也保证雷达波束填充。当金属球进入双偏振雷达探测波束区,雷达就能探测到金属球的水平和垂直两个方向的后向散射信号,由于金属球的散射截面 RCS 是已知的,因此用金属球对双偏振雷达进行 Z_{DR} 定标是可行的。

2 双偏振雷达自定义扫描模式控制参数

2.1 双偏振雷达参数

2019 年 2 月,徐州新一代天气雷达完成双偏振升级改造,3 月完成雷达天线、馈线等参数现场测试。2020 年 4 月 20 日完成徐州双偏振雷达天线系统、发射、接收等系统定标^[7],太阳法进行全链路回波强度定标检查,雷达所有指标全部合格。徐州雷达主要参数如表 1。

表 1 S 波段双偏振天气雷达主要参数

参数名称	指标值
发射功率/kW	≥650
工作频率/MHz	2885
天线增益/dB	≥44
波束宽度/(°)	≤1.0(3 dB)
脉冲宽度/μs	1.57(窄)、4.7(宽)
偏振方式	双偏振/双发双收
最大速度不模糊/(m·s ⁻¹)	±48
距离分辨率/m	250/1000
动态范围/dB	95
噪声系数/dB	≤3
扫描方式	VCP21(业务要求)
最小可测功率 P_{min} /dBm	≤-109(窄脉冲)
双通道隔离度/dB	≥35
反射率因子 Z_H 、 Z_V /dBz	≤1
差分反射率 Z_{DR} /dB	≤0.2
差分传播相移 Φ_{DP} /(°)	≤3
相关系数	0.01

2.2 无人机参数

XH230E 无人机系统是一款具有通用挂载能力的大载重长航时纯电动六旋翼无人机系统,无人机参数如表 2。可实现全自主起降及巡航能力,双冗余飞行控制系统以及多个安全控制策略保证飞行使用的安全可靠。

表 2 XH230E 无人机系统主要技术指标

性能指标	性能参数
对称轴距/m	1.6
最大有效载荷/kg	8
最大起飞重量/kg	18
最大续航时间/min	空载:70 2 kg 有效载荷:50
控制距离/km	遥控器(手控):1 地面站(程序控制):15
最大平飞速度/(m·s ⁻¹)	15
垂直升限/m	4000
最大抗风/(m·s ⁻¹)	15
动力电池	2 组 3200mAh-6S 锂电池
悬停范围/m	0.2~4 (风速≤15 m/s、 高度≤1000 m)

2.3 雷达控制参数设置

为提高数据测试的有效时间,获取更多的雷达数据,雷达扫描采用自定义 VCP-sect 方式,采用目标方位±5°的扇扫组合,且关闭地物等所有雷达滤波算法,窄脉冲、距离库 250 m、天线扫描速度 4°/s、

采样数 256。VCP-sect 体扫配置见图 2,图 2 中的仰角设置依据后文“无人机飞行高度及计算金属球预飞高度”计算结果确定,由于关闭地物等所有雷达滤波算法,测试点离雷达站 10 km 范围内,地物回波会比较强,因此雷达测试仰角必须大于 1.5°。表 3 是 VCP-sect 配置参数表。



图 2 VCP-sect 扫描配置

表 3 VCP-sect 配置参数表

设置参数	设置值	说明
VCP Name	Btest	体扫非业务运行模式,自定义
扫描类型(ScanType)	VCP_sect	扇扫的体扫
极化方式(Polarization)	双发双收(Dual)	生成 zdr、cc 等双偏振产品
发射脉冲宽度(PulseWidth)/μs	1.57	窄脉冲,250 m 距离库
处理模式(ProcessMode)	PPP	脉冲对信号处理
速度模糊(UnfoldMode)/(m·s ⁻¹)	最大不模糊 26	采用单重频方式
距离积分次数(BinAverage)	1	非距离库组合
重复频率(PRF)/Hz	1014	
相关脉冲数(Samples)	256	
最大距离(MaxRange)/km	10	
天线波束宽度/(°)	0.95	
波形(WaveForm)	CDX	因测试距离很近,故采用没有距离折叠的连续多普勒波形方式
天线扫描速度(ScanSpeed)/(°·s ⁻¹)	4	满足采样数 256 个
方位	以 316°为中心,左右 5°	
仰角(Elevation)/(°)	1.6、1.8、2.0、2.2	分为 4 个仰角,0.2°间隔,7.33 km 处波束间差 25.6 m
输出数据	dBT、dBz、V、W、Z _{DR} 、CC、PHIDP、KDP、SNR	
地物抑制滤波器(GC Filter)	0	不进行地物滤波

3 无人机飞行高度及计算金属球预飞高度

XH230E 型六旋翼无人机系统,在合适的抗风条件和高度下,无人机悬停高度能稳定在 0.2~4 m 以内,对于固定仰角连续测试金属球十分有利,明显优于用飞艇或风筝等,不易控制好金属球方位/仰角变化的放飞方式。

表 4 金属球飞行高度、探测仰角等参数表

雷达馈源高度/m	波束宽度/(°)	波束展宽高度/m	仰角/(°)	无人机飞行高度/m	金属球高度/m	线长/m	距离/m	测试点海拔/m	仰角高度差/m
191.0	0.95	121.6	1.4	468.9	360.9	68.0	7330.0	40.0	25.6
191.0	0.95	121.6	1.6	454.6	386.6	68.0	7330.0	40.0	25.6
191.0	0.95	121.7	1.8	480.2	412.2	68.0	7330.0	40.0	25.6
191.0	0.95	121.7	2.0	505.8	437.8	68.0	7330.0	40.0	25.6
191.0	0.95	121.7	2.2	531.4	463.4	68.0	7330.0	40.0	25.6
191.0	0.95	121.8	2.4	557.1	489.1	68.0	7330.0	40.0	25.6

根据图 1 所示,测试点无人机飞行高度(相对地面)为 h_2 ,悬挂金属球线长度 L_2 ,金属球预飞高度为 $h_2 - L_2$,测试点的海拔高度为 h_3 ,雷达馈源海拔高度为 h_1 ,测试点离雷达站直线距离为 L_1 。雷达波束中心点在仰角 α 时的海拔高度 $H^{[19]}$ 及测试点波束展宽高度 H_w 分别为:

$$H = L_1 \tan \alpha + h_1 \quad (2)$$

$$H_w = L_1 \tan(\alpha + 0.5) - L_1 \tan(\alpha - 0.5) \quad (3)$$

为避免无人机进入到雷达扫描工作 α 角度中,首先要保证金属球预飞高度(相对于地面,因为无人机飞行高度是相对地面的)在工作波束中心附近,即 $L_1 \tan \alpha$ 。由于在第 2 个测试点处,0.2°仰角高度差抬高 25.6 m,无人机与金属球的线长为 68 m 时,不考虑风的影响,应该能满足无人机不在工作仰角 α 波束中,从而减少无人机对测试数据的影响。

4 试验地点及数据分析

4.1 试验地点

2020 年 4 月 25—29 日,在徐州雷达站周边共选择了 2 个测试点,放飞金属球试验。选择测试点要求周边比较空旷,无高压线,地面相对平坦,人员稀少,距离雷达站直线距离 2~10 km 范围内。

第 1 个测试点,离徐州雷达站 5.18 km,方位 317.24°,是一个公园,第 2 个测试点,离徐州雷达站 7.33 km,方位 316.22°,是一个废弃的待建工地(图 3)。

确定了无人机飞行最高高度后,根据放飞点与雷达站直线距离、海拔高度、悬挂金属球线缆长度等参数,方便计算出金属球高度、扫描仰角等。表 4 为第 2 个测试点,距离徐州雷达站 7.33 km,方位 316.22°,线缆长度 68 m 时,计算出仰角与金属球高度等相关数据,方便预先配置 VCP-sect 扫描仰角。

在第 1 个测试点由于无人机带金属球的线缆长度为 40 m 及周围地物的影响,测试数据并不理想;第 2 个测试点,无人机线缆长度 68 m,周边地势较为平坦,使地物影响相对较小。根据现场测试,旁瓣金属球反射率因子 $Z_{旁} = -23.01$ dBz,由于旁瓣散射能量很小,因此地物回波的旁瓣对主瓣的影响较小。



图 3 无人机起飞地点与雷达站位置

通过第 1 个测试点试验数据表明,无人机对金属球的标校有一定影响。因此,在第 2 个测试点,试验时加长了线缆长度,但为避免测试天气,特别是风的影响,依据体扫的仰角度数在目标点的波束展宽对无人机的飞行高度进行了计算。测试参数依据表 4。

29 日第 2 个测试点,13:21 无人机开始起飞,第 1 次飞行高度 500 m,13:29 调整无人机飞行高度为

490 m, 实际 GPS 显示飞行高度 491.4 m。13:30 开始悬停采集数据, 13:38 无人机电机出现问题, 控制无人机降落。

第 2 次起飞 14:32, 无人机飞行高度 490 m 后悬停。在 490 m, 测试仰角约在 1.8° 和 2.0° , 仰角间高度差 25.6 m, 线缆长度 68 m 采用了 2 倍落差以外的仰角间高度差, 用以减少无人机的影响(雷达自身仰角精度抖动暂不考虑)。工作现场垂直定位见图 4, 金属球和无人机间的高度差随气流有一定变化, 且金属球有时存在转动。

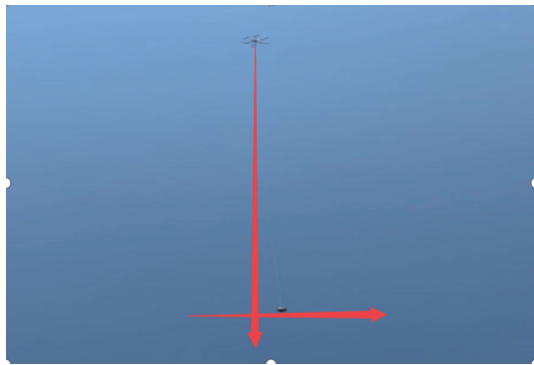


图 4 无人机悬挂金属球示意

4.2 试验数据分析

为了分析实际反射率 Z 和 Z_{DR} 的数值范围, 选取 4 组试验数据, 见表 5。

表 5 2020 年 4 月 29 日 Z 和 Z_{DR} 的试验数据

试验	时间	雷达仰角 ($^\circ$)	金属球与雷达站 之间的距离/km	Z dBz	Z_{DR} dB
1	13:31	1.8	7.33	37	-0.375
2	13:33	1.8	7.33	35.5	-0.25
3	13:37	1.8	7.33	36.5	-0.31
4	14:40	1.8	7.33	37.5	-0.125

图 5 是 2020 年 4 月 29 日 13:31 的雷达产品, 仰角设置为 1.8° , 图中圆圈对应无人机位置(下同), 此时金属球与雷达站之间的距离(简称金属球距离)为 7.33 km, Z 为 37 dBz, Z_{DR} 为 -0.375 dB, 径向速度 V 为 0 m/s, 相关系数 p_{hv} 为 0.97。

图 6 为 14:40 无人机经过调整后重新起飞得到的雷达产品, 仰角 1.8° , 此时金属球距离为 7.33 km, Z 为 37.5 dBz; Z_{DR} 为 -0.125 dB, V 为 0 m/s, p_{hv} 为 0.97。

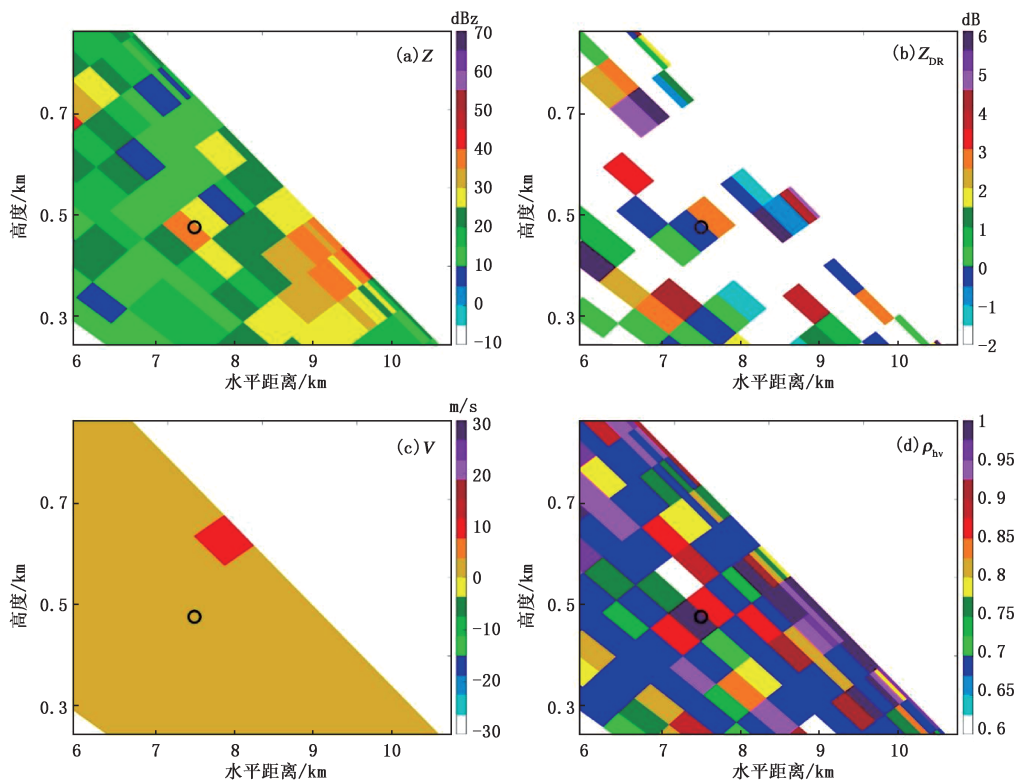


图 5 2020 年 4 月 29 日 13:31 1.8° 仰角时雷达反射率因子 Z (a), 差分反射率 Z_{DR} (b), 径向速度 V (c) 和相关系数 p_{hv} (d) 水平垂直剖面 (图中圆圈对应无人机位置, 下同)

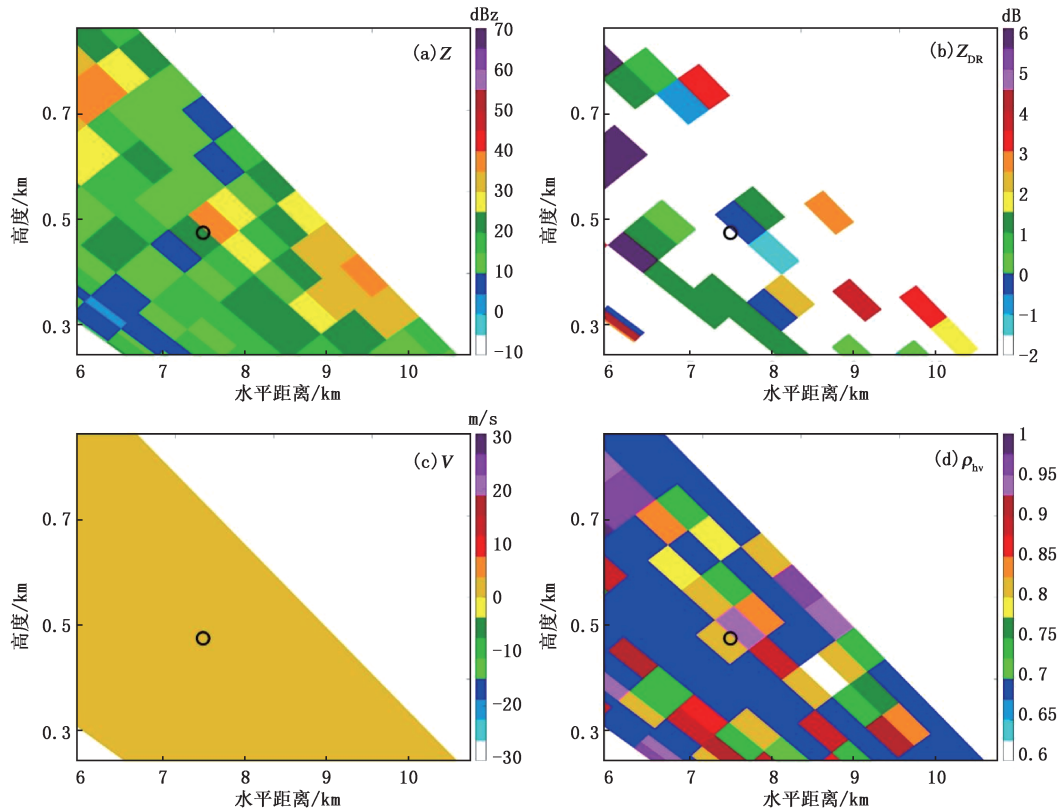


图6 2020年4月29日14:40 1.8°仰角时雷达反射率因子 Z (a), 差分反射率 Z_{DR} (b), 径向速度 V (c)和相关系数 ρ_{hv} (d)水平垂直剖面

通过分析这4组试验数据可知,无人机在空中由于控制精度及空气流动等影响,距离误差为10 m左右。根据雷达天线测试的相关参数,第一旁瓣约为-30 dB(指标要求 ≤ -27 dB),金属球的实际反射率因子 Z (dBz):

$$Z = C + P_r + 20\lg R + RL_{at} \quad (4)$$

其中, C 为雷达常数, P_r 为输入信号功率, R 为距离, L_{at} 为S波段大气损耗。

集合本次定标工作的雷达相关参数,金属球在距离雷达7.33 km处,大气损耗S波段为0.011 dB/km,主瓣测得金属球的 $Z=35.93$ dBz,旁瓣测得金属球的 $Z_{旁}=-23.01$ dBz,因此,由定量分析可知旁瓣散射能量对主瓣散射能量的影响很小。探测到的金属球有较大的 Z ,较小的 Z_{DR} ,径向速度等于0 m/s说明金属球静止,以及较强的 ρ_{hv} 。特别值得注意的是当时为晴空大气,其晴空湍流的 Z 小(小于20 dBz);而金属目标物的散射强,所以从 $Z(35.93$ dBz)与周围回波的强弱对比可知,探测到的目标物确实是金属球。

此外, Z_{DR} 的数值平均值为-0.265 dB(雷达系统软件 Z_{DR} 数据补偿系数0.15 dB,产品显示值中未扣除),增加补偿系数后的 Z_{DR} 约为-0.115 dB,数值在允许存在误差范围内,满足业务使用需求。

5 结论与讨论

本文利用无人机在徐州对双偏振雷达的 Z_{DR} 进行定标。通过几次飞行试验得到如下结论:

(1)由于无人机对回波强度的干扰,在寻找金属球及比对相应的 Z_{DR} 时,金属球所在距离库不能选择最大回波强度时进行提取数据。

(2)在第2个测试点,回波强度在35~38 dBz时, Z_{DR} 误差比较小(雷达系统软件 Z_{DR} 数据补偿系数0.15 dB,PUP显示值中未扣除),当回波强度提升在42 dBz以上时, Z_{DR} 约在 ± 0.8 dB并且会随强度的增大而增大,当回波强度在50 dBz时, Z_{DR} 达到 ± 7 dB。无人机的介入,严重影响金属球 Z_{DR} 的标校结果。

(3)为了避免无人机的干扰,将无人机与金属球

间牵引线加长,对无人机安全起飞和降落的控制要求较高。此外,由于线缆的加长,高空的气流对试验测试也有很大影响,表现最重要的是续航能力和金属球的飘动稳定性。

(4)对于体扫任务,仰角间隔差 0.3° ,测试点仰角高度差 38.5 m;仰角间隔 0.2° ,仰角高度差 25.6 m。采用 68 m 线长,应用 0.2° 仰角间隔。

(5)CINRAD/SA 天气雷达,反射面直径 8.5 m 天线,波束形成的最小距离约 1.45 km,对于相同飞行高度的无人机来说,测试点越接近雷达,波束展宽越小,越能进行更高仰角测试,排除地物影响,对试验测试效果越好。

参考文献

- [1] 王立轩,葛润生,秦勇,等. 新一代天气雷达的自动标校技术[J]. 气象科技, 2001, 29(3): 26-29.
- [2] 柴秀梅,黄晓,黄兴玉. 新一代天气雷达回波强度自动标校技术[J]. 气象科技, 2007, 27(3): 408-413.
- [3] 潘新民,柴秀梅,崔柄俭,等. CINRAD/SB 雷达回波强度定标调校方法[J]. 应用气象学报, 2010, 21(6): 739-746.
- [4] 潘新民,柴秀梅,黄跃青,等. CINRAD/SA&SB 回波强度定标故障的诊断分析和解决方法[J]. 气象, 2010, 36(12): 228-231.
- [5] 王志武,钟涛,汪章维,等. 新一代天气雷达 S 型回波强度的定标细则[J]. 现代雷达, 2008, 30(1): 30-33.
- [6] 王志武,蔡作金,周宽宏,等. CINRAD/S-RDA 定标常见问题分析[J]. 气象科技, 2008, 36(3): 349-354.
- [7] 周红根,高飞,蔡勤,等. CINRAD/SA 雷达标定技术研究[J]. 气象科技, 2016, 44(1): 7-13.
- [8] 魏洪峰,薛震刚. 双偏振多普勒天气雷达差分反射率因子的测量误差[J]. 气象科技, 2008, 36(2): 223-227.
- [9] 胡东明,张羽,傅佩玲,等. 广州 S 波段双线偏振天气雷达双通道一致性测试及分析[J]. 气象科技, 2019, 37(3): 372-379.
- [10] 胡汉峰,陈大任,楚志刚,等. 双偏振天气雷达旋转关节对差分反射率因子测量结果的影响[J]. 气象科技, 2018, 46(3): 429-435.
- [11] 蔡康龙,李兆明,俞小鼎,等. X 波段双偏振雷达垂直指向法标定的应用[J]. 气象科技, 2018, 46(5): 880-885.
- [12] 赵世颖,李柏,陈晓辉,等. 基于交叉-平行法的双偏振雷达差分反射率硬件定标[J]. 气象科技, 2015, 43(5): 775-782.
- [13] 李喆,李柏,赵坤,等. 国产双偏振天气雷达差分反射率测量性能分析[J]. 气象科技, 2016, 44(6): 855-859.
- [14] 李喆,王崇文,李春化,等. 双发双收双偏振天气雷达差分反射率工程标定方法[J]. 气象科技, 2014, 42(6): 951-956.
- [15] 詹棠,龚志鹏,郑浩阳,等. 使用气象目标物验证珠海-澳门双偏振雷达的差分反射率标定[J]. 气象科技, 2019, 47(1): 10-18.
- [16] 李兆明,陈洪滨,毕永恒,等. 使用金属球定标 X 波段固态天气雷达[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(2): 259-266.
- [17] 王致君. 数字化天气雷达和双线偏振雷达的标定方法初探[J]. 高原气象, 1996, 4(3): 124-129.
- [18] 张治国,张曼,仰美霖,等. X 波段双线偏振天气雷达双通道一致性测试及分析[J]. 气象科技, 2017, 45(5): 776-786.
- [19] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [20] Ryzhkov A V, Giangrande S E, Melnikov V M, et al. Calibration issues of dual-polarization radar measurements [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2005, 22(8): 1138-1155.
- [21] Park S G, Bringi V N. Correction of radar reflectivity and differential reflectivity for rain attenuation at X band. Part I: theoretical and empirical basis [J]. J Atmos Oceanic Technol, 2005, 22: 1621-1632.
- [22] Bringi V N, Chandrasekar V. Polarimetric doppler weather radar: principles and applications [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [23] Carey L D, Rutledge S A, Ahijevych D A. Correcting propagation effects in C-band polarimetric radar observations of tropical convection using differential propagation phase [J]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 39: 1405-1433.
- [24] Ivic I R, Curtis C, Torres S M. Radial-based noise power estimation for weather radars [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2013, 30(12): 2737-2753.

(下转第 534 页)

Metal Sphere Calibration for Z_{DR} Parameters of CINRAD/SA-D Radar

ZHU Yi¹ ZHOU Honggen¹ ZHAO Yu² LIU Jun³ DU Yundong⁴

CHU Chenxi¹ WANG Xin⁵

(1 Jiangsu Meteorological Observation Center, Nanjing 210009; 2 Xuzhou Meteorological Service, Jiangsu, Xuzhou 221006;

3 Taizhou Meteorological Service, Jiangsu, Taizhou 222008; 4 Beijing Metstar Radar Co. Ltd., Beijing 100086;

5 Chongqing Meteorological Service, Chongqing 400703)

Abstract: At present, the next generation weather radar in China is upgrading to the dual polarization system. The accurate measurement of differential reflectivity (Z_{DR}) of meteorological targets by the CINRAD/SA-D dual polarization weather radar is an important part of parameter calibration. For Xuzhou dual polarization radar, Z_{DR} calibration test for Xuzhou radar was carried out with UAV (Unmanned Aerial Vehicle) carrying two kinds of standard metal spheres, respectively. In this test, the VCP-sect scanning mode was configured, the fan scanning combination of target azimuth $\pm 5^\circ$ was adopted and all radar filtering algorithms such as ground objects were turned off. The results show that the average value of Z_{DR} was 0.265 dB, the minimum was -0.125 dB and the maximum was -0.375 dB, when the 40 cm metal sphere was used, and the distance between UAV and metal sphere was 68 m. The values of Z_{DR} meet the technical requirements of radar Z_{DR} calibration. The research provides a technical solution for operational radar to carry out dual polarization radar Z_{DR} calibration.

Keywords: calibration; dual polarization radar; Z_{DR} ; metal sphere; UAV (Unmanned Aerial Vehicle)