

# 两部天气雷达回波高度测值的对比分析\*

胡明宝 范广生 祁勇

(空军气象学院, 南京 211101)

## 提 要

文章通过对712雷达和716雷达回波资料的对比分析, 阐明在测量回波高度和回波强度时, 两部雷达存在较大差异的原因, 并提出了716雷达在保障中的应用方法。

关键词: 天气雷达; 回波高度; 回波强度。

## 引 言

从1993年开始, 空军、海军和民航的部分场站开始使用716数字化天气雷达, 与原来使用的711、712天气雷达相比, 在雷达参数上有较大的变化(参见表1)。

716雷达的使用表明, 雷达测量的回波高度比712雷达的测值偏大; 有时在712雷达上尚未及地的回波, 在716雷达上表现为及地。文献[1]曾从理论上进行了分析, 并提出了识别方法。但是大量的观测结果表明, 两者实际上的差值已远远超过理论上分析的结果。为此, 对712雷达和716雷达进行了对比

试验。本院两部雷达架设地点之间的水平距离约40 m, 716雷达天线比712雷达天线高约4 m。由于缺乏雷达标定所需仪器仪表, 因此未能对712雷达作标定, 而是在做好日常的检修、检查和维护工作的基础上, 进行了对比观测。

## 1 回波资料统计

(1)712雷达高显上回波未及地情况 由712、716雷达回波底部未及地的资料统计表(表2)可见, 1994年4月14日两部雷达都观测为云的回波, 但716雷达上的回波顶比712雷达的高, 而回波底却比712雷达低, 差值在0.3~0.5 km之间, 这一数值表示出712雷达回波未及地, 而716雷达上已及地。

表1 三部天气雷达参数对照表

雷达型号	711	712	716
波长(cm)	3.2	3.2	5.4
发射功率(kW)	75	180	500
灵敏度(dBmW)	-96	-98	-109
波束宽度	1.5	2, 0.45	1.6
天线增益(dB)	40	43.6	38

\* 1995-12-15收到, 1996-06-19收到再改稿。

表 2 712 及 716 雷达回波底部未及地的资料统计

观测时间	RHI 方位 (度)	回波 距率 (km)	712 雷达		716 雷达		处理后*	
			顶高 (km)	底高 (km)	顶高 (km)	底高 (km)		
1994-04-14	14:40	157	20	6.3	3.0	6.7	2.6	6.4/3.0
1994-04-14	16:26	220	25	5.5	2.5	6.0	2.2	5.6/2.5
1994-04-19	13:23	302	114	10.0	0.7	13.6	0.0	10.8/0.0
1994-04-19	21:11	38	170	10.0	1.0	13.5	0.0	10.3/0.6
1994-04-19	22:05	225	130	10.5	1.0	13.0	0.0	10.8/0.7
1994-05-02	21:11	331	170	6.5	1.0	10.7	0.0	7.3/0.4
1994-05-02	22:05	50	70	5.7	0.5	6.8	0.0	6.0/0.0
1994-05-02	23:10	119	140	6.9	1.0	9.0	0.0	7.1/0.3
1994-05-09	23:05	284	70	6.3	1.0	7.9	0.0	6.4/0.7
1994-05-16	22:09	264	90	5.0	0.2	8.5	0.0	5.5/0.0
1994-05-16	22:11	321	120	6.0	0.4	9.0	0.0	6.2/0.1
1994-05-31	14:06	235	160	9.0	2.0	13.0	0.0	10.0/0.5
1994-05-31	17:13	228	75	11.0	0.6	13.5	0.0	11.3/0.0
1994-05-31	23:36	304	90	7.5	0.5	11.3	0.0	8.1/0.0

\* 经过处理后的回波顶高/底高

(2) 层状云降水中零度层亮带的高度 对观测到的零度层亮带高度进行了比较后得到, 两部雷达在近距离处对层状云降水回波中零度层亮带高度的测量值是一致的。

(3) 降水回波顶高 两部天气雷达对降水回波顶高测值的差值点绘在图 1 上。图中  $H$  为 716 雷达的测值,  $h$  为 712 雷达的测值(下同), 图 1 的横坐标表示目标物的距离。从图 1 可以看出 716 雷达与 712 雷达测得的回波顶高最大差值达 6.1 km, 最小为 0.1 km, 平均差值为 2.4 km。两部雷达的回波顶高测值有较大的差异。

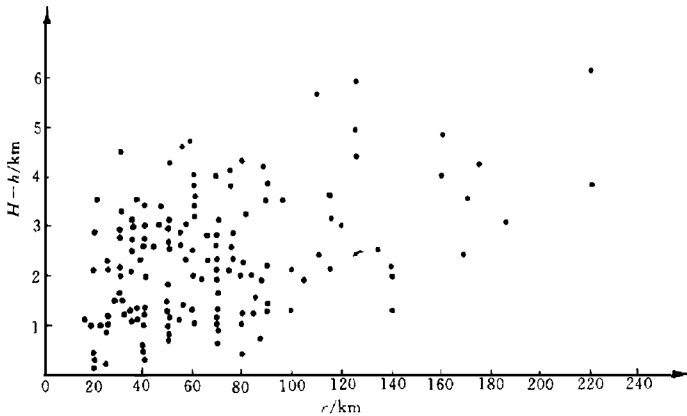


图 1 两部雷达测得的回波顶高的差值

## 2 回波顶高差值的原因分析

(1) 回波顶高不等于降水目标物顶高 由于雷达接收灵敏度的限制, 它测得的回波

顶高并不是云顶高. 在云顶附近云粒子小且少, 它所产生的散射回波难以被雷达检测到, 因此所测得的回波顶高小于云顶高. 雷达越灵敏, 回波顶高测值与云顶高差值越小.

(2) 地曲补偿 地曲补偿是指依据大气在标准折射时由于地球曲率引起的在不同距离上的回波高度订正值. 在对比探测试验中, 712 雷达在做高显读取回波顶高时, 没有采用地曲补偿, 而在 716 雷达显示终端读取的回波顶高数据是经过地曲补偿的, 因此 712 雷达的高度测值至少比 716 雷达低一个地曲补偿值. 考虑了此因后, 两部雷达的回波顶高差值有所减小(图略), 但最大仍有 5.0 km, 最小为 0.1 km, 平均差值为 2.0 km.

(3) 雷达参数订正 712 雷达和 716 雷达对接收到的回波强度都进行了距离订正, 但是都没有进行雷达参数订正. 两部雷达给出的回波功率分贝数  $N^{[2]}$ :

$$N = N' + \Delta N = 10 \lg(P_r/P_{rmin}) + 20 \lg(r/R_0)$$

式中,  $N'$  为不采用距离订正时的回波功率 dB 数,  $\Delta N$  为订正值,  $P_r$  为回波功率,  $R_{rmin}$  为接收机灵敏度,  $R_0$  为用于订正的标准距离. 由于这两部雷达的技术指标不一样, 故对强度为  $Z$  的同一目标, 各自测得的  $N$  值并不一样. 根据文献\*, 可得 712 雷达回波强度测值  $N_{712}$  与目标物反射因子(dBz)的关系:

$$\text{dBz} = 23 + N_{712}$$

利用考虑了距离订正后的雷达气象方程  $Z = C' R_0 10^{0.1N}$  (式中  $C'$  为由雷达参数确定的常数), 参照 716 雷达技术指标, 得到 716 雷达的测值  $N_{716}$  与目标物反射因子的关系:

$$\text{dBz} = 11 + N_{716}$$

即在探测反射因子垂直分布如图 2 的降水目标时, 712 测得的回波高度为  $h$ , 716 测得的回波高度为  $H$ , 即 712 雷达上 0 dB 回波边缘应和 716 雷达衰减 12 dB 后的边缘一致.

为此, 我们又读取了 716 雷达回波衰减 12 dB 后的回波顶高. 这样, 712 雷达回波经过了地曲补偿订正, 而 716 雷达回波经过了衰减 12 dB 的处理后, 由绘制成的两部雷达的回波高度差值(图略)可以看出: 差值明显减小, 最大值为 2.7 km, 最小值为 0.1 km, 平均值为 1.3 km. 误差仍然偏大.

(4) 衰减订正 在雷达天线和被测降水区之间存在的大气、云及降水区, 对雷达发射出的电磁波及降水的散射回波信号都有衰减作用, 使回波信号减弱, 测出的回波强度降低. 712 雷达没有对此作订正处理, 而 716 雷达对此作了订正处理.

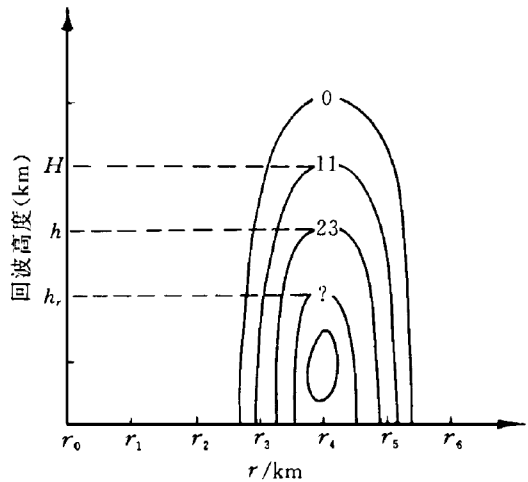


图 2 回波强度垂直剖面分布示意图

\* 《空军气象技术规范》第 10 分册, 空军司令部, 1979, 68~75.

(5) 712 雷达的性能下降 由于 712 雷达使用了 20 多年, 电子管老化会使其发射功率减小, 接收机灵敏度下降, 致使 712 雷达测得的回波强度偏弱, 回波顶高偏低。

(6) 天线波束宽度 712 雷达的垂直波束较窄( $0.45^\circ$ ), 716 雷达的垂直波束较宽( $1.6^\circ$ ), 而 716 雷达的方位积分导致其波束进一步增宽, 使 716 雷达测高时产生较大的附加误差, 该误差的大小与云上部发展的强弱, 及至雷达的距离有关, 难以定量讨论。

这些原因使得 716 雷达与 712 雷达的回波强度差值超过 12 dB。为此, 我们从 716 雷达高显上, 在考虑了地曲补偿后的 712 雷达回波高度的位置处, 读取了回波强度值, 并点绘成图 3。从图中可见: 回波强度最大值为 28 dB, 最小值为 12 dB, 平均值为 22 dB。该值之所以有这么大的变化范围, 是由于两雷达回波强度的差值, 将受到回波强弱、距离远近、被测回波与雷达站之间有无别的降水区等情况的影响。为了简化起见, 建议采用平均值, 即可以认为: 716 雷达回波衰减 22 dB 后的回波高度与考虑了地曲补偿之后的 712 雷达的回波高度测值一致。

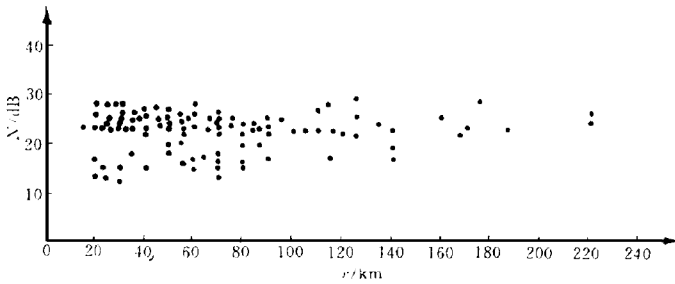


图 3 与 712 雷达回波顶高相应位置处 716 雷达回波强度值

### 3 保障中的应用

在 712 雷达 20 多年的使用过程中, 很多台站对 712 雷达的回波强度和回波高度所反映的天气状况, 已积累了一整套的判断方法。为了适应原有观念, 根据上述分析结果, 在使用 716 雷达时可采取下列办法:

(1) 云回波及地 表 2 中的最后一列为对 716 雷达回波衰减 22 dB, 并减去地曲补偿之后的回波的顶高/底高值, 可见两雷达差值明显减小, 并能部分消除 716 雷达上云回波底部及地的问题。

(2) 层状云降水中零度层亮带的高度 两部雷达在近距离处对层状云降水回波中零度层亮带高度的测量值是一致的。

(3) 回波强中心位置 用 716 雷达来判断回波强中心的位置是可信的。

(4) 降水回波顶高 当回波上部较弱时, 716 雷达回波经过 22 dB 的衰减处理, 712 雷达回波经过地曲补偿订正后两部雷达给出的回波高度值基本一致。当回波上部较强时, 尚需考虑 716 雷达的半波束宽度造成的误差。

(5) 回波强度 716 雷达的回波强度在数值上比 712 雷达平均偏强 22dB。

(6) 降水强度等级的判断 根据上述分析的结果, 得出表 3。

表3 降水强度等级与回波强度测值对照表(单位: dB)

雷达型号	强 度 等 级				
	弱	较 弱	中	强	特 强
712 雷达		0~9	10~19	20~29	≥30
716 雷达	0~21	22~31	32~41	42~51	≥52

## 4 小 结

(1) 716 雷达由于采用较大的发射功率和更高的接收机灵敏度,使之具有更强的探测弱目标的能力.

(2) 716 雷达回波顶高测值比 712 雷达测值偏大的主要原因为: 716 雷达在高显上附加了地曲补偿; 其天线的垂直波束较宽; 具有更强的探测弱目标的能力.

(3) 当降水较强时, 雷达天线具有较宽的垂直波束, 这会产生较大的测高误差, 这种误差很难进行定量消除. 因此在可能的条件下, 雷达天线宜采用较窄的垂直波束宽度.

(4) 可以根据上述结果对 716 雷达的终端处理软件进行修改, 使之给出的回波高度和回波强度值与 712 雷达相一致. 但我们并不主张这么做, 而是建议更新原有观念.

致谢: 承蒙本院雷达教研室丁荣安教授审阅, 并提出修改意见.

### 参 考 文 献

- 1 范广生, 胡明宝. 对 716 雷达探测中云的回波及地的讨论. 空军气象学院学报, 1995, 2: 166~172.
- 2 陈良栋. 天气雷达资料的分析与应用. 北京: 气象出版社, 1991.

## THE CONTRAST AND ANALYSIS OF ECHO DEPTHS BETWEEN TWO TYPES OF WEATHER RADAR

Hu Mingbao      Fan Guangsheng      Qi Yong  
(Air Force Institute of Meteorology, Nanjing 211101)

### Abstract

By means of the contrast and analysis between the data of 712 and 716 radars, it is shown that there are great differences of the echo depth and echo intensity between the two radars, and the method in operation for 716 radar is put forward.

**Key words:** Weather radar; Echo depth; Echo intensity.