

利用低仰角扫描改进高山雷达 低层回波探测能力浅析

徐八林¹ 刘黎平² 徐文君³ 罗宇清⁴

(1. 云南省德宏州雷达站, 芒市 678400; 2. 中国气象科学研究院灾害天气
国家重点实验室; 3. 河北农业大学理学院数学系; 4. 云南省气象局)

提 要: 应用昆明高山新一代天气雷达探测大范围暴雨个例的 0° 仰角资料, 与我国高山雷达目前采用最低仰角为 0.5° 扫描模式(VCP11 或 VCP21)的回波分布情况进行对比分析。结果表明:在雷达警戒区域, 0° 较 0.5° 仰角能更早地发现过程的降水云系; 0° 或负仰角能明显提高高山雷达远距离回波探测效果; 低仰角(文中指低于 0.5° 仰角)可弥补常规业务扫描模式下高山雷达探测低层回波能力不足的问题。对另一次文山雷达对冰雹过程的探测分析, 可见低仰角扫描模式对强对流天气也能获得较好的低层探测效果。又通过实验获得云南另外4部高山雷达的 0° 仰角及负仰角晴空资料, 分析了高山雷达晴空资料的 0° 及负仰角低层回波资料质量。发现受周围山脉影响, 不同高山雷达最佳探测低仰角是不同的, 实际业务工作中应根据当地地形的具体情况选取恰当的低仰角。

关键词: 高山雷达 低仰角扫描 暴雨 探测能力

Improved Detection Using Negative Elevation Angles for Mountaintop Radars

Xu Balin¹ Liu Liping² Xu Wenjun³ Luo Yuqing⁴

(1. Dehong Meteorological Office of Yunnan Province, Mangshi 678400; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences;
3. Mathematics Department, Agricultural University of Hebei; 4. Yunnan Meteorological Bureau)

Abstract: VCP11 or VCP21 model lowest switched on 0.5° elevation angle is being applied in mountaintop radar scanning ways in China now. Contrast analyses are made between the two models and new generation radar of Kunming switched on 0° elevation angle through practical detection of a heavy rainstorm case. The preliminary result shows that some mountaintop radars can discover precipitating process earlier on 0° elevation angle than on 0.5° elevation angle. Remote

detection effect of precipitation by mountaintop radar is obviously strengthened on 0° elevation angle and negative elevation angle. The insufficient of detection ability of mountaintop radar for low-level radar echo in routine scan way can be remedied by being switched on negative elevation angle. By using the data obtained from other 4 mountaintop radars of Yunnan in experiment, quality comparative analysis of low-level echo detection is made between the clear-day data obtained from mountaintop radar and data of mountaintop radar switched on low elevation angle and negative elevation angle. The results shows that the best low elevation detection angle of mountaintop radar is different owing to the influence of surrounding mountains. The suitable low elevation angle in practical work should be selected according to related topography.

Key Words: mountaintop radar negative elevation angle scan rainstorm detection ability

引 言

我国西部大多为高原地区,新一代天气雷达一般选择在山顶架设,所以有较多数量的高山新一代天气雷达(以下称高山雷达)。我国现行雷达业务扫描方式 VCP11 和 VCP21 均为参考美国制定的,VCP11 和 VCP21 扫描方式最低仰角为 0.5° 。众所周知,这一方面减小了地物回波影响,同时也影响了雷达探测低层回波的能力。国内外学者对此做了许多研究工作,许小峰^[1]指出了雷达站选址工作中一般应注意的遮挡问题,以及对雷达探测能力的影响。Wetzel 等^[2]通过山地中尺度降雪研究,提出山顶雷达探测存在的一些不足。Brown 等^[3-4]针对强风暴特征,利用垂直扫描采样与 VCP21 资料对比,对 VCP21 可能产生的不准确结果进行分析;对 VCP11 和 VCP21 进行了比较,提出了 VCP11 和 VCP21 的一些不足。吴书君等^[5]对几例强对流风暴单体个例进行分析,也发现雷达 VCP21 体扫模式的限制可能造成 VIL 数值失真。为解决以上问题,Rodger

等^[6]使用当前雷达最低仰角 0.5° 的探测模式,通过分析在许多情况下,山顶 WSR-88D 难于在地面附近查出灾害天气情况。而 WSR-88D 使用更低的仰角,如 -1.0° 能改进灾害天气情况的探测。史锐等^[7]从雷达连续体扫得到的中、低仰角对应高度上的实时反射率因子垂直廓线变化规律与地面雨量变化趋势对比,发现可用来估计降水云体低层的变化,弥补雷达低层回波探测不足,但毕竟是一种外推估计方法。刘应军等^[8]对 VCP11 和 VCP21 的差异导致其生成的产品的不同进行了比较分析,提出了不同云状降水天气过程中,两种体扫模式各自的适应性。Brown 等^[9]根据美国现在使用的 WSR-88D 探测扫描模式,通过使用负仰角模拟一些不同天气情形的探测效果,对比 0.5° 和 -0.8° 仰角探测方式,提议用负角度作为解决以上问题的一种方法;同时指出负仰角能提高高山雷达探测能力,在估测雨强时能提高约 $8\% \sim 15\%$ 的价值;并研究提出,高山雷达探测远距离低层回波是一个很困难的问题,仍然是挑战性的工作。正如文献^[2]、^[10]分析表明,由于雷达所在海拔高度对探测范围的

影响,远距离雷达波束过高,探测高度常在零度层亮带以上区域,估测降水误差较大。我国目前还未进行高山雷达低仰角资料的业务应用,使用低仰角探测对改进高山雷达扫描模式和进一步认识高原地区强天气发生和发展机理至关重要。故针对我国西部高原的实际情况,研究和分析高山雷达低仰角扫描,提高高山雷达探测低层回波能力应很有必要,国内开展这方面的工作尚不多见。本文利用云南省的四部高山雷达,试验获取了大量 C 波段雷达 0° 仰角和低仰角资料,初步分析了高山雷达低仰角探测的一些问题。

1 个例资料和试验

云南省已建成的 6 部新一代天气雷达中 5 部为高山雷达,昆明雷达是我国的第一部业务布点的 C 波段新一代天气雷达,具有较高的探测精度和较好的稳定度,2000 年 12 月开始使用。雷达位于 $25^\circ 3' N, 102^\circ 34' E$ 。本文所用到的其它 3 部雷达资料来源于德宏、文山和普洱,型号均为 CINRAD/CC 3830,对比资料分别为 0.5° 、 0° 和负仰角的暴雨冰雹个例各一次, 0.5° 仰角资料采用 VCP21 业务模式观测获取。雷达回波资料图每距离圈为 50km。

2 暴雨个例的结果和讨论

2004 年 5 月 18 日起云南受强孟加拉湾风暴和冷空气、切变线的共同影响,出现了连续三天的大雨、暴雨强降水天气过程。全省 100 多个县日雨量达大雨,40 多个县日雨量

达暴雨。通过昆明雷达低仰角试验所获得资料,作如下分析说明。

2.1 昆明雷达低仰角探测地物影响情况

做低仰角扫描,首先应考虑地物遮挡情况。在昆明雷达扫描半径 100km 之内,地势较雷达站海拔低,地物挡角图和 0° 仰角实际扫描情况如图 1(见彩页)。从图 1a(见彩页)使用地理信息制作的地物挡角图^[11]和图 1b(见彩页)、图 1c(见彩页)的 0° 仰角实际探测晴空情况看,昆明雷达在 0° 仰角基本无地物影响。地物挡角图 -1° 上也基本无地物影响。

2.2 0° 仰角比 0.5° 仰角更早发现降水云系

图 2(见彩页)给出了 2004 年 5 月 18 日北京时间 02 时 18 分雷达刚发现该过程时的昆明雷达 0° 仰角和 0.5° 仰角扫描回波对比图,不同仰角的探测时间相差不到一分钟。从该图可以看出雷达西北部有片状的层性降水, 0° 仰角扫描图上西北部最强的回波超过 20dBz,而 0.5° 仰角在西北部最强的回波约为 10dBz,且 0° 仰角扫描到的回波面积更多,经读雷达资料计算得:在 0° 仰角扫描到大于 15dBz 回波面积约 6418.27km^2 ,而 0.5° 仰角约 551.34km^2 ; 0° 仰角扫描到大于 10dBz 回波面积约 16116.37km^2 ,而 0.5° 仰角的约 7577.52km^2 。

从以上分析可以看出,该次过程的降水云系移入雷达警戒区, 0° 仰角较 0.5° 仰角更早的发现了该降水云系,故 0° 仰角可提前预警;同时 0° 仰角也更多的反应出了强回波信息。

2.3 0°仰角、0.5°仰角探测低层回波效果比较

图 3(见彩页)给出了 2004 年 5 月 18 日 10 时 33 分雷达的扫描回波图。从该图可以看出围绕着该雷达有大片的层性降水,最强的回波超过 40dBz,因此可划分为强降水回波。通过比较图 3a(见彩页)和图 3b(见彩页),在 50km 以内两种仰角探测效果没有太大差别,但远距离 0°仰角探测有明显的优势。主要表现在:0°仰角探测到的回波面积较 0.5°仰角的多,0.5°仰角在下半部分有较多无回波区域,0°仰角的下半部分回波区域明显较多,并且不同云系的回波信息更丰富;图 3a(见彩页)在北、西方向上大于 30dBz 的强回波区明显更多,并且强回波区显示的中小尺度天气系统比较明显。图 3a(见彩页)

和图 3b(见彩页)的零度层亮带的影响距离有明显不同,0°仰角影响距离约 120km,0.5°仰角的位于 90km 左右。整张图上,强降水回波信息有明显不同,0°仰角探测降水回波 50km 以远信息比较丰富;速度图上无回波区域明显不同,0°仰角提供了更多区域的风场信息,雷达扫描区域内的风场结构也更加清晰。故探测低层回波效果上 0°仰角明显优于 0.5°仰角。

2.4 0°仰角、0.5°仰角探测回波的定量比较

通过计算,表 1 定量描述了上两次探测 0°仰角和 0.5°仰角 PPI 资料的情况,回波总量及不同强度回波的分布比较,表中数据为不同强度回波所占雷达扫描总面积的百分比。

表 1 不同强度回波面积百分比情况

单位: %

时间	仰角	强度/dBz							总量
		<0	0~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	
18 日 02:18	0°仰角	2.57	1.91	4.83	2.98	0.83	0	0	12.52
	0.5°仰角	2.62	2.03	3.48	0.35	0.09	0	0	8.57
18 日 10:33	0°仰角	0.48	8.49	19.13	12.48	6	1.74	0.19	48.51
	0.5°仰角	0.48	10.22	15.21	9.02	3.04	0.58	0	38.55

从总量来看,过程初期 0°仰角所探测到回波是 0.5°仰角的 1.46 倍,约多 11162km²,过程中期的大面积降水时,0°仰角所探测到回波总量是 0.5°仰角的约 1.26 倍,约多 28147km²。在回波分布结构上,10~35dBz 范围 0°仰角所探测到回波较 0.5°仰角明显偏多,而在-10~10dBz 范围 0.5°仰角又略多,这是由于 0.5°仰角探测到了天气系统的上部较多所致。可见 0°仰角探测远距离降水回波能力方面较 0.5°仰角明显提高;近距

离相差不大。

3 冰雹个例低仰角探测分析

图 4(见彩页)给出了 2004 年 4 月 13 日 16 时 04 分文山雷达对一次冰雹过程的扫描回波图。从该图可以看到雷达东偏南有一冰雹云,最强的回波超过 50dBz。图 4a(见彩页)为业务扫描模式下最低仰角为 0.5°的 PPI 图,图 4b(见彩页)为沿 PPI 图上 A、B 两

点连线所作的垂直剖面图,图 4c(见彩页)为 0° 仰角的剖面图,垂直剖面图垂直轴单位为 km,水平轴为每格 50km。比较低层回波,在距雷达 125km 左右,图 4b(见彩页)回波底高度约在 3km 左右,图 4c(见彩页)的约在 1km 左右。两种方式下冰雹云其他特征基本相似。可见低仰角扫描模式对强对流天气也能获得较好的低层探测效果。

4 试验不同雷达低仰角探测受地物影响情况比较

如图 5(见彩页),从昆明雷达 -0.5° 仰角探测强度图和速度图上基本未见零速度的地物回波。

从德宏雷达地物挡角图、 -0.5° 仰角和 2.4° 仰角实际探测情况看(如图 6,见彩页),在东北方向、东偏南方向由于受高黎贡山阻挡,只有 2.4° 仰角才发现了降水回波(如图 6c,见彩页)。虽然德宏雷达遮挡比较严重,可以看出德宏雷达只有在西南方向适合做负仰角探测,由于德宏主要天气系统是受孟加拉湾影响,是孟加拉湾水汽进入我国的通道。孟加拉湾正好位于德宏西南方,所以仅在西南方向做 0° 仰角或负仰角也是有相当价值的。

另外普洱、文山两部高山雷达净空条件均较德宏好,从图 7(见彩页)可以看出,文山西南方向存在地物影响,普洱仅北方向存在地物影响,在其他方向该两部高山雷达也能象昆明雷达一样使用负仰角,得到较好的低空探测效果。该两部高山雷达使用低仰角,受地物影响的情况也是不同的。

综上所述,高山雷达在充分了解当地的

地物影响情况,合理使用负仰角探测可提高高山雷达探测能力,在实际雷达业务扫描方式中应予以考虑。

5 结 语

(1) 通过一次暴雨过程昆明雷达资料分析可以看出:该降水云系移入雷达警戒区后, 0° 仰角较 0.5° 仰角更早地发现了该降水云系, 0° 仰角可提前预警;同时 0° 仰角也更清晰的反映出了强回波信息。 0° 仰角探测降水回波在远距离回波能力方面明显提高,近距离相差不大。另一次文山雷达对冰雹过程的探测分析,可见低仰角扫描模式对强对流天气也能获得较好的低层探测效果。

(2) 通过四部高山多普勒雷达 0° 仰角及负仰角资料分析,发现由于地物遮挡的情况不同,最佳探测低仰角在不同的方位也是有不同的,需根据当地的具体情况加以恰当的选取。

(3) 高山雷达在排除地物影响的情况下,使用负仰角探测可以提高高山雷达探测能力,在实际雷达扫描方式中可予以考虑。

另外,应该指出的是低仰角探测技术应用业务实际中,还有很多工作需要做,特别是雷达资料的质量控制,如旁瓣影响和二次回波的识别和剔除等。开展高山雷达低仰角探测研究的时间还很短,获取到的资料还很有限,有必要进一步的试验。在获取大量资料的基础上,认真分析该模式探测的优劣,并与其它探测模式进行对比分析,以确定雷达低仰角探测的具体模式。

参考文献

- [1] 许小峰. 中国新一代多普勒天气雷达网的建设与技

- 术应用[J]. 中国工程科学, 2003, 5(6): 7-14.
- [2] Brown, R. A., J. M. Janish, and V. T. Wood. Impact of WSR-88D scanning strategies on severe storm algorithms[J]. Wea. Forecasting, 2000, 15, 90-102.
- [3] Brown, R. A., V. T. Wood, and D. Sirmans. Improved WSR-88D scanning strategies for convective storms[J]. Wea. Forecasting, 2000, 15, 208-220.
- [4] Wetzel, M., M. Meyers, and R. Borys, etc.. Mesoscale snowfall prediction and verification in mountainous terrain[J]. Wea. Forecasting, 2004, 19, 806-828.
- [5] 吴书君, 王凤娇, 刘昭武, 等. 两种垂直累积液态含水量产品的应用对比分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 34-40.
- [6] Rodger A. Brown and Vincent T. Wood, A Simulation Study of Negative Elevation Angles for Mountaintop Radars[R]. NOAA/ERL National Severe Storms Laboratory, Norman.
- [7] 史锐, 程明虎, 崔哲虎, 等. 多普勒雷达实时反射率因子垂直廓线观测研究[J]. 气象, 2006, 32(9): 39-43.
- [8] 刘应军, 顾松山, 周雨华, 等. 新一代天气雷达体扫模式的比较分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 44-50.
- [9] Brown, R. A., V. T. Wood, and T. W. Barker. Improved detection using negative elevation angles for mountaintop WSR-88Ds: Simulation of KMSX near Missoula, Montana[J]. Wea. Forecasting, 2002, 17, 223-237.
- [10] 徐八林, 刘黎平, 许小永, 等. 高山雷达站选址对估测降水的初步分析[J]. 气象科技. 2006, 34(3): 340-344.
- [11] 万玉发, 杨洪平, 肖艳姣, 等. 多普勒天气雷达站址视程的客观分析技术[J]. 应用气象学报, 2000, 11(4): 440-447.

徐八林等: 利用低仰角扫描改进高山雷达低层回波探测能力浅析

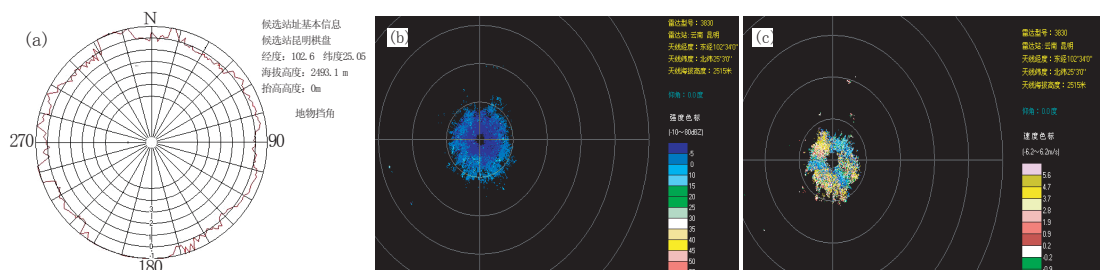


图 1 昆明雷达低仰角地物影响情况

a. 昆明雷达地物挡角图; b. 雷达 0° 仰角强度 c. 0° 仰角径向速度

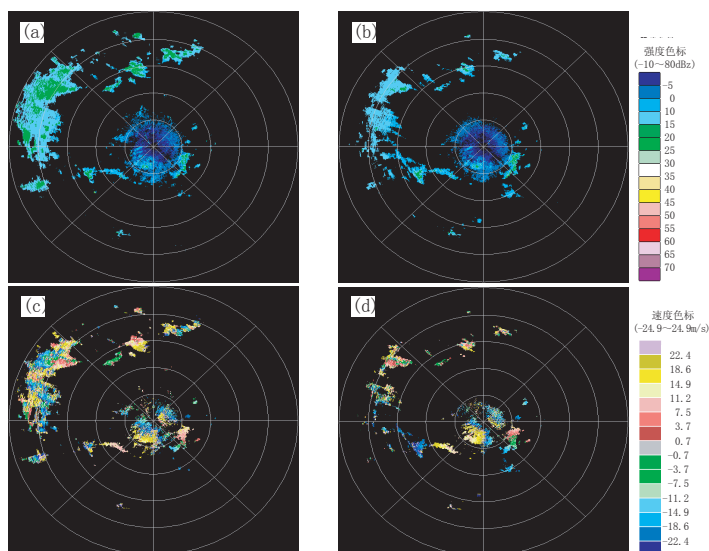


图2 2004年5月18日02:18过程初期的昆明雷达不同仰角扫描回波资料

a. 0° 仰角300km强度图; b. 0.5° 仰角300km强度图 c. 0° 仰角300km速度图 d. 0.5° 仰角300km速度图

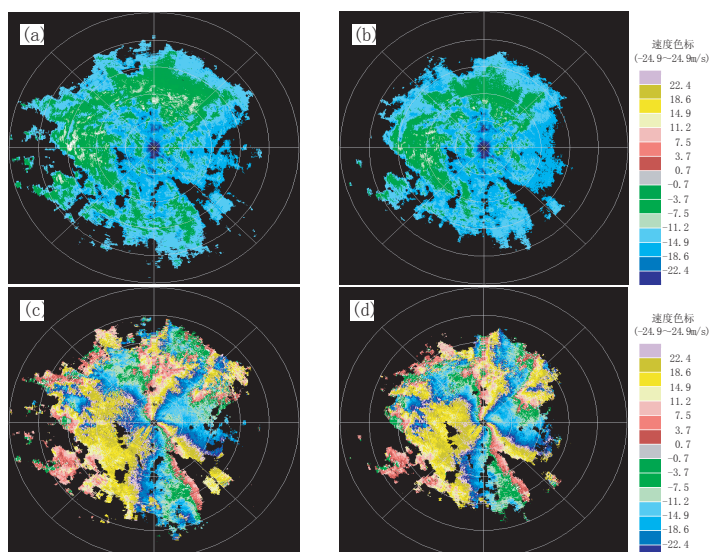


图3 2004年5月18日10:33过程中期的昆明雷达不同仰角扫描回波图

a. 0° 仰角300km强度图; b. 0.5° 仰角300km强度图 c. 0° 仰角300km速度图 d. 0.5° 仰角300km速度图

徐八林等: 利用低仰角扫描改进高山雷达低层回波探测能力浅析

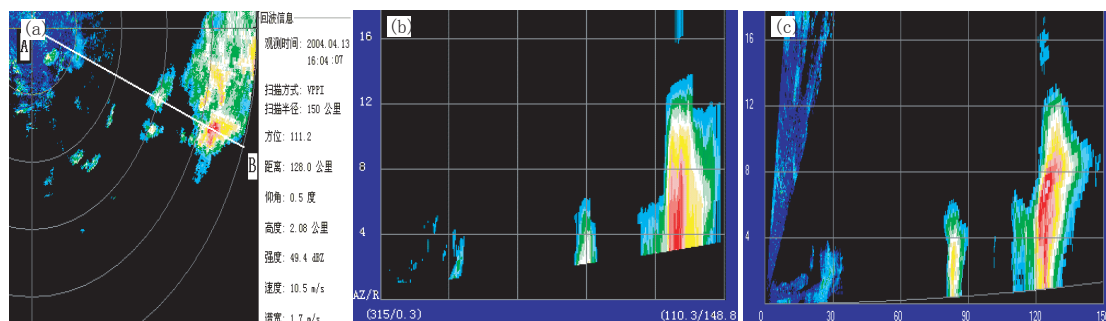


图 4 2004年4月13日16时04分冰雹回波垂直剖面图

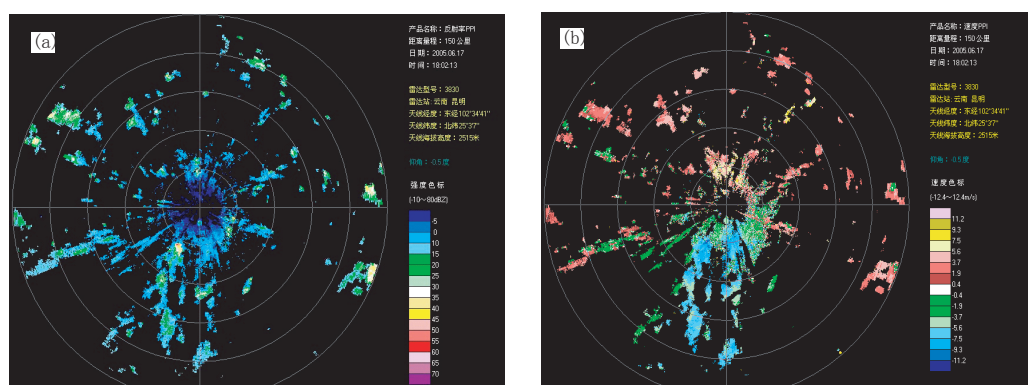


图 5 2005年6月17日昆明雷达 -0.5° 仰角

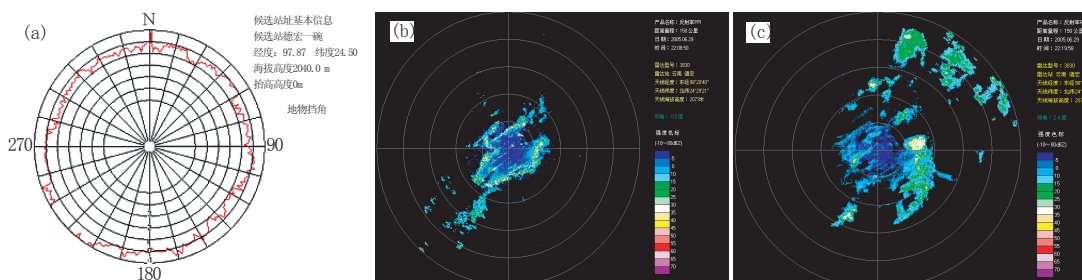


图6 德宏雷达低仰角探测地物影响情况

a. 德宏雷达地物挡角 b. -0.5° 仰角资料 c. 2.4° 仰角资料

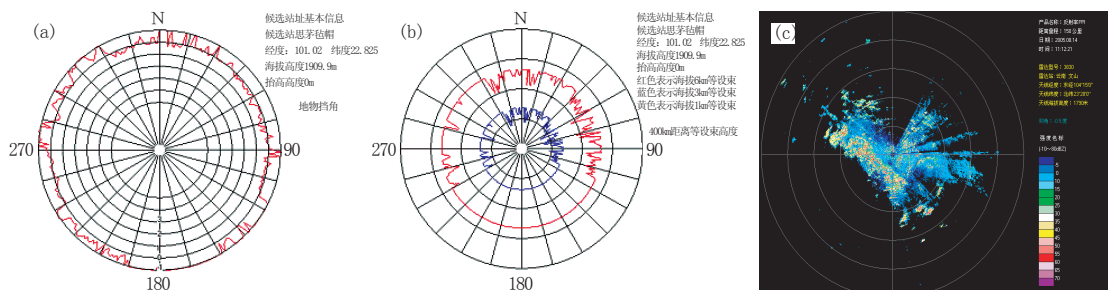


图7 普洱、文山雷达低仰角地物影响情况

a. 普洱雷达地物挡角 b. 普洱雷达等射束高度 c. 文山雷达 0° 仰角