

文章编号: 1007-4619 (2003)04-0332-05

TRMM PR 雷达与阜阳雷达降水资料的对比研究

王成刚, 葛文忠, 魏 鸣

(教育部国家中尺度灾害性天气重点实验室, 南京大学 大气科学系, 南京 210093)

摘要: 选取了1998年与1999年HUBEX观测资料, 将TRMM卫星上的星载降雨雷达PR与阜阳的713数字化天气雷达资料在以下3个方面做了比较: (1) 强度场的分布; (2) 平均反射率廓线; (3) 灵敏度。分析、比较结果可知阜阳雷达在探测灵敏度和水平方向的分辨率要高于PR, 但由于波束宽度、衰减和资料转化过程计算误差的原因, 其远距离处的观测值与真实值有一定偏差。PR波长短, 对衰减敏感, 尤其是在垂直方向上经过强衰减后, 订正值仍偏小。但由于探测方式的不同PR在水平方向上不存在衰减的问题, 且其资料分布均匀, 因此提出一种用PR资料来订正地基雷达资料的方法用以提高地基雷达探测的精确度。

关键词: TRMM卫星; 降水雷达(PR); 阜阳雷达; 平均反射率廓线

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

近年来气候变化异常尤其是全球变暖、厄尔尼诺现象, 引发了许多气象灾害, 对人类的生命财产造成了极大的损失, 而水及水汽的循环则是引起气候变化的主要原因。目前对降水进行测量的工具主要有雨量计和天气雷达。由于受空间的限制, 雨量计和雷达不可能置于海洋、沙漠、高山, 从而只能对很有限的区域做降水测量。为了解决此问题, 美国的NASA(国家航空和航天局)与日本的NASDA(国家航天开发总局)联合开发了TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)卫星, 并于1997年发射成功。此次热带降水测量计划(TRMM)中将雷达这一主动遥感方式的探测仪器首次装配在卫星上, 形成一个全新的自上而下的探测方式, 与常规雷达的近水平探测方式形成明显的对比。PR最主要的特点是覆盖面较广(能探测到南北纬 35° 之间的范围, 即赤道地区), 在转道运行期间PR的扫描范围是 $\pm 17^\circ$, 即跨度为215km, 水平分辨率4.3km。与阜阳雷达比较, PR的水平探测范围约是阜阳雷达探测范围的1/2, 水平分辨率是阜阳雷达的1/4倍。垂直方向上的探测则真正显示了这部星载雷达的优越性, PR可以获得地面到中空20km左右的降水资料, 也就是说甚至可以探测到平流层中的降水数据。其垂直方向上

的高分辨率使我们对降水内部详细的空间结构有了更好的了解。

2 资料

本文分析了1998-06-29, 1999-07-06两个个例的资料。阜阳雷达的资料是由16个不同仰角的PPI资料通过双线性插值的方法^[1], 在0—9km上等距离的转化成18个不同高度上的平面资料, 水平面上为了和PR资料匹配将阜阳雷达资料的分辨率 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 转化为 $4\text{km} \times 4\text{km}$ 。PR选用2A25产品资料(资料中包含衰减订正后的反射率因子(Z_e)及降水率(R)^[2]), 垂直方向上也只选取0—9km之间的探测资料, 分辨率为250m, 水平方向上的分辨率为 $4.3\text{km} \times 4.3\text{km}$ 。PR资料可以说是一个瞬时资料, TRMM卫星飞行500km距离只需不到2min时间, 也就是说PR在2min内要完成500km范围内的数据采集。阜阳雷达资料则是10min间隔一次的体积扫描资料, 在时间上虽有一些滞后, 但考虑到降水系统在此期间变化不是很大, 可以做瞬时比较, 表1给出了两部雷达观测时间的对比。在第3部分两种资料比较中所存在的差异其部分原因是由于时间不完全匹配所造成的。上面所述的是这两部雷达在资料上的差异, 与此同时还存在其他雷达参数的不同, 如波瓣宽度、增益、发射功率等。

收稿日期: 2002-03-17; 修订日期: 2002-09-25

基金项目: 淮河流域能量与水循环试验项目HUBEX(国家自然科学基金重大项目)编号49794030。

作者简介: 王成刚(1978—), 男, 南京大学在读硕士研究生, 主要从事雷达风场反演、降水测量。

由于在PR的2A25资料中将18dBZ视为噪声域值^{3,4},本文在2A25资料的使用中略去了小于18dBZ的数据。

3 比较与分析

3.1 强度场分布的比较

图版I图1(a)、(b)分别为阜阳雷达与PR在同一高度(2.5km)上的强度场分布。从图中不难看出两种资料在总体回波轮廓上有较好的一致性,尤其是在离雷达站不远的地方回波结构更为相似。但两者仍存在一些结构变形的区域。这种差异的原因主要是,阜阳雷达是通过水平探测方式来采集数据。在探测过程中,由于大气层结、大气折射、衰减、地球曲率等等原因,使水平回波结构产生扭曲。而PR是自上向下的一种探测,所以在水平方向上不会出现上述现象。

表1 PR和阜阳雷达观测时刻对比(北京时间)

Table 1 Comparison of detecting time from Fuyang radar and PR (BJT)

TRMM 降水雷达(PR)观测时间		阜阳雷达观测时间	
开始	结束	开始	结束
1998-06-29 12:56	1998-06-29 12:58	1998-06-29 12:50	1998-06-29 13:00
1999-07-06 14:22	1999-07-06 14:24	1999-07-06 14:20	1999-07-06 14:30

从降水强中心的分布以及范围上来看,PR的强中心(以40dBZ为例,红线)范围比阜阳雷达要大出34.4%,如阜阳雷达站以东150km以外的区域,PR的强回波中心范围就要明显的大于阜阳雷达资料。这一差异主要是地基雷达在水平探测过程中由于降水粒子的双程衰减致使远距离的回波值减弱。

图版I图2(a)、(b)分别为用阜阳雷达体积扫描资料和PR资料所作的距离高度显示(RHI)。图中的差异主要表现在以下3个方面:

(1) 降水的细微结构。从图版I图2(b)中能够很清楚的得到降水的结构分布,且离雷达站较远的地方也可以得到详细的降水分布结构。PR反射率的层次结构比阜阳雷达资料复杂得多。

(2) 回波顶的高度。在图版I图2(a)中回波顶的高度(如20dBZ为例,绿线)在横坐标100以后呈递减趋势,而图版I图2(b)中的回波顶的高度一直维持在9.0km左右。

(3) 零度层亮带的位置。PR资料反映出来的

零度层亮带几乎布满整个降水区域,且维持在5.0km高度上。而从阜阳雷达资料反映出来的信息说明零度层亮带只在一段降水区中存在。造成这一差异的原因主要有两个:①衰减。同上面的CAPPI比较中的分析,主要是由于降水粒子的衰减作用导致而成。②有限的仰角。由于阜阳的雷达资料是由16个固定仰角资料经双线性插值而成的。因此资料处理过程中不可避免存在着资料平滑,使真实信息被淹没。以这16个仰角中的前5个仰角(0.1757°, 0.3735°, 0.8789°, 1.49414°, 2.0°)为例,如图版I图3。在200km处雷达所探测的高度分别为2.792, 3.6592, 5.95, 7.55, 9.159km。也就是说资料与资料间有一段很大的无资料区。在200km处要用5个资料在0—9km上18个不同的位置进行插值,所以不得不用高处的值和低处的值进行平滑。若零度层亮带恰好位于两个仰角之间,低仰角的测量值要大于高仰角的测量值许多,所以经过插值后,通常就使得零度层亮带的位置偏低,对应值偏小。同时由于波束的缘故,(阜阳雷达天线波束宽度为1.2°)波束跨距随距离的增加而变大,跨距间的资料只能用波束中心值来代替,致使雷达在远距离处的分辨率减小。本文中阜阳雷达在200km处,0°层亮带位置偏低近2km,对应值偏小近10dBZ。其实常规雷达资料在使用过程中都存在这一问题,如何有效提高远距离雷达资料的真实性,将是今后雷达资料处理研究中有待解决的一个问题。

3.2 平均反射率廓线的比较

本文取了两段资料来做平均反射率廓线。(1)(115.8E, 33.28N)与(116.1E, 33.34N)两点间的连线,在距阜阳雷达站约60km处附近,垂直方向上有一个很强的衰减区域;(2)(117.0E, 33.526N)与(117.3E, 33.581N)两点的连线,距阜阳雷达站150km处,在水平方向上经过强衰减后的一段区域。在图4(a)中两条廓线,不论从趋势、强度、大小、零度层的位置上来看都可以说是完全一致。但也存在差异,如在5km以下,阜阳雷达的回波强度要逐渐比PR强。最大值出现在1km高度处,阜阳雷达的平均反射率要比PR大出近5个dBZ。从理论上分析雷达的波长越小其衰减就越大,如在探测相同距离时TRMM雷达(波长2.2cm)的衰减要大于阜阳雷达(5cm)。并且TRMM雷达从上到下探测时,经过一段很强的衰减区域,从而出现了在5km以下PR资料小于阜阳雷达资料的现象。同时也发现在8km

以上 PR 的回波值开始大于阜阳雷达的回波值。同上面 RHI 比较中所论述的一样, 阜阳雷达在高空 (> 9.0km) 资料样本少, 很难找到十分匹配的资料, 资料经平滑后对应位置的值相对会减少。

而在图 4(b) 中两条廓线已经没有一丝的相似性了。在 5km 高度处两者的差异最大达到了近

13dBZ。PR 资料所反映出来的零度层亮带的位置为 5km, 阜阳雷达资料中反射率最大的高度仅为 3km。并且从 5km 高度以上两条廓线的差异越来越大, 这也说明了地基雷达由于仰角稀疏的原因, 其远距离处的高空资料存在一定误差。为此为 PR 资料来对地基雷达资料订正有其一定的现实意义。

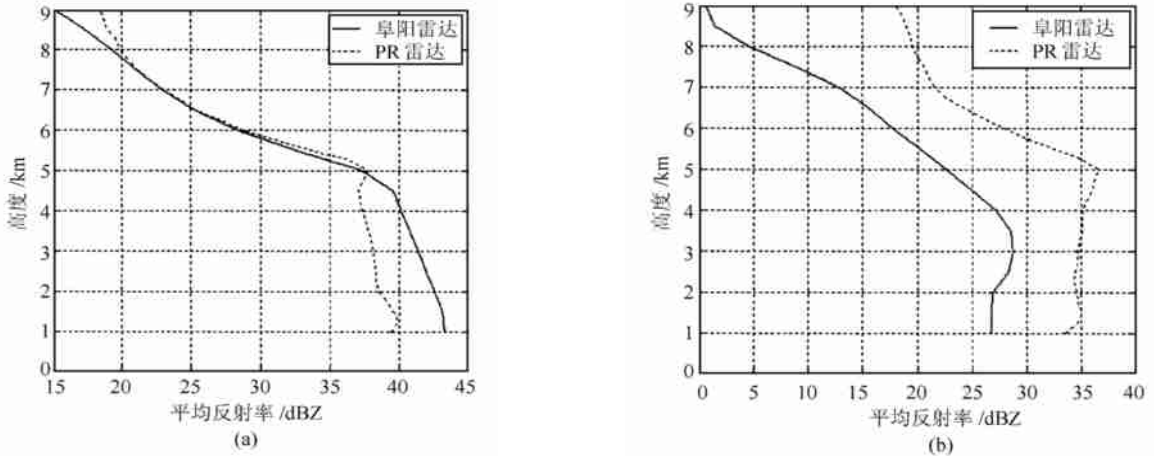


图 4 (a) 在垂直方向上存在强衰减区域的平均反射率廓线的比较;
(b) 在水平方向上存在强衰减区域的平均反射率廓线的比较(1998-06-29)

Fig 4 Comparison of averaged reflective profiles from Fuyang radar and PR with strong attenuation existing in vertical direction (a) and horizontal direction (b) respectively. Jun. 29, 1998

综上两幅图的比较结果来看, 可以得到以下结论。若在垂直方向上存在强衰减区, PR 资料虽然经过订正, 但订正值仍偏小, 在高度较低的探测区域中阜阳雷达资料要优于 PR 资料; 若在水平方向上有强衰减时, TRMM 雷达资料要好于阜阳雷达资料。

3.3 灵敏度的比较

PR 由于天线功率和天线口径的限制, PR 将小于 18DBZ 的回波信号视为噪音, 要比阜阳地基雷达高得多。虽然弱信号对降水测量的贡献可以忽略, 但也是真实信息的反应。在这里分别选取了 1998 年和 1999 年两个个例在 2.5km 和 6km 等高面上的反射率因子分布图。图 5(a), (c) 中两条分布曲线基本吻合, 但在低值区中 (即 < 18DBZ 的区域中) 阜阳雷达观测到的像素点数量要比 PR 的分别多 49% 和 52%, 在图 5(b), (d) 中由于衰减和探测方式的不同两条曲线差异较大, 阜阳雷达观测到的低值像素点数量分别比 PR 的要大出近 69% 和 73%。由于 PR 资料略去了这些弱回波值, 所以 PR 的平均反射率值要大于阜阳雷达资料, 尤其是在 5.0km 以上, 阜阳雷达所观测到的弱回波值要占很大比重, 于是图 4(b) 中两廓线存在差异也是必然的。

4 PR 资料的应用

综上两种资料的比较, 地基雷达资料主要存在以下 2 方面的问题:

(1) 衰减订正。由于造价的缘故, 现当今国内所分布的雷达, 仍主要以短波长如 C 波段和 X 波段雷达为主。此雷达在测量降水时电磁波信号会受到降水粒子的衰减作用。而作衰减订正需要考虑滴谱、温度、湿度、充塞系数等因素, 所以从衰减信息中完全还原真实信息比较困难。现在只是用一些经验公式作估计订正。而 PR 是自上而下探测降水, 在水平方向上可以说没有降水粒子的衰减影响, 从而为我们提供了一种新的衰减订正方法。

(2) 地基雷达资料分布不均。众所周知雷达是通过圆周扫描(PPI) 获取径向上回波强度的。而雷达所发射的波束是有一定宽度的, 从而在水平方向上所得的资料呈内密外疏的情形。体积扫描是由多个不同仰角 PPI 扫描资料组成的, 仰角的间隔以几何级数增长。也就是说距离雷达站近的地方其垂直方向上的资料间隔距离小; 远离雷达站的地方资料间隔距离大。如图 3 的分析。用体扫 PPI 资料转化为 CAPPI 资料时, 不可避免的要使信息损失。同理

PR 由于探测方式的不同, 在水平方向上的资料没有疏密之分; 在垂直方向上以 250m 为一距离库采集数据, 其分辨率要高出地基雷达许多, 所以用 PR 资料订正地基雷达资料可以弥补地基雷达资料分布不均

的缺陷, 有效地提高地基雷达探测的准确性。

此处分别用衰减订正法和 PR 资料订正法对阜阳雷达资料中的零度层亮带(5.0km 高度) 进行了订正。零度层亮带在雷达回波中是一种重要的标识,

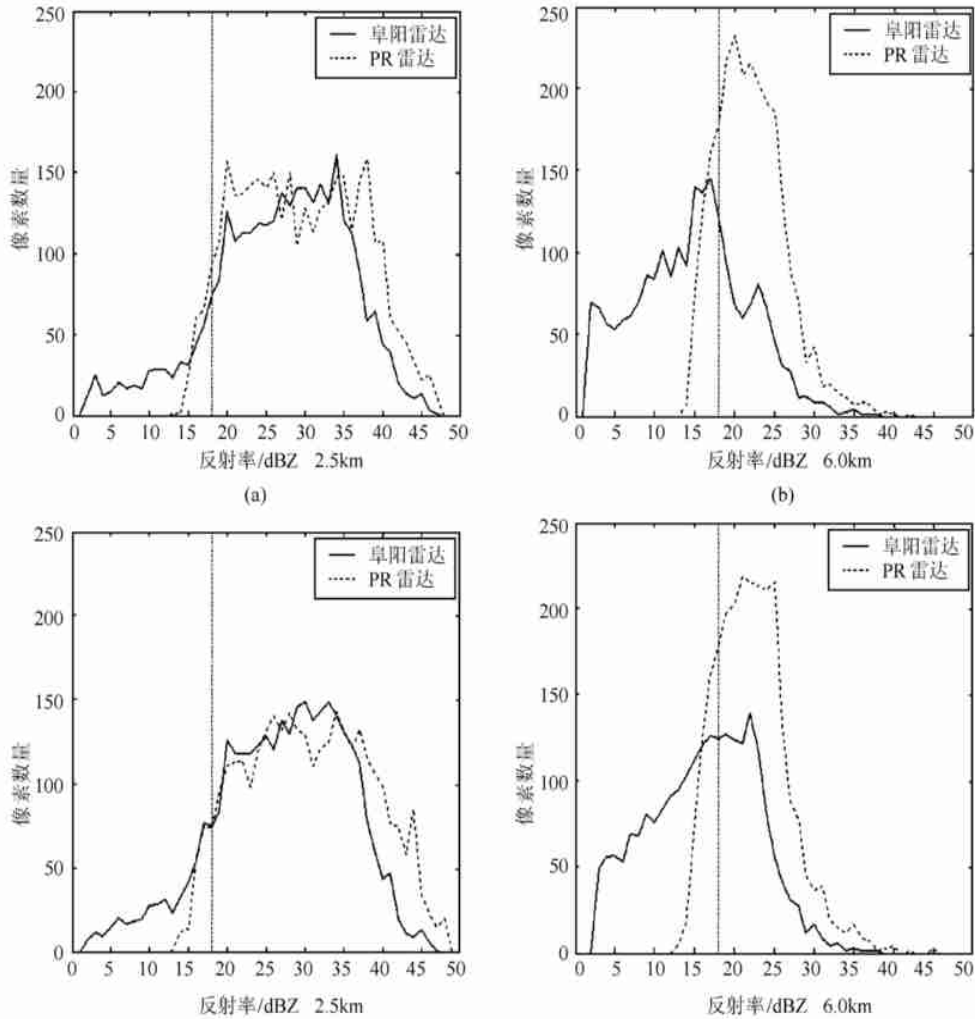


图 5 (a)、(b) 分别为 1998-06-29 个例中 2.5km 和 6.0km 等高面上的反射率分布图; (c)、(d) 为 1999-07-06 个例中 2.5km 和 6.0km 等高面上的反射率分布图

Fig 5 Histograms of reflectivity at 2.5km and 6.0km level for data obtained on Jun 29, 1998(a) (b) and Jul. 6, 1999(c) (d)

对于区分雨型, 判别降水大小都起到十分重要的作用。

在衰减订正法中利用解析法^[3]对阜阳雷达资料做衰减订正, 图版 I 图 6(b) 就是在 5.0km 等高面的订正结果。用 PR 资料法订正, 首先对 PR 的回波值根据雨型和离阜阳雷达站距离的不同划分区域, 在不同的区域中做平均反射率廓线如图 4 那样, 然后根据廓线的差异做订正, 其结果如图版 I 图 6(c)。通过原始图图版 I 6(a) 与经过衰减订正后的回波图图版 I 图 6(b) 的比较来看图版 I 图图版 I 6(b) 中 20dBZ 以上的回波区域(蓝色区域)要明显扩大, 但

最强回波区域(黄红区域)基本没有变化, 与 PR 回波图版 I 图 6(d) 比较, 其强中心回波区域要小得多。但从图版 I 图 6(c) 来看, 图版 I 图 6(c) 与图版 I 图 6(d) 没有多大差别了。在图版图 6(c) 中可以看到阜阳雷达探测边缘, 如横坐标 500km 处(红框区), 出现了强回波区域, 这一块的回波值与原始图比较要高出近 15—20dBZ, 与 PR 回波值较为近似。

从上面的分析比较中可以看出, 用 PR 资料订正法对地基雷达的回波值进行订正, 尤其是对离雷达站中心较远的回波值进行订正可以有效地提高地

基雷达的探测精确度。

5 讨论与结论

本文对 1998-06-29 和 1999-07-06 淮河流域中两次降水过程,用 TRMM 降水雷达资料与阜阳雷达资料进行了比较。尽管这两种雷达在硬件本身和后期的资料处理上都存在差异,但比较的结果令人满意。结论主要有以下几点:

(1) 强度场上,在水平、垂直分布中两种雷达的反射率资料有较好的一致性。在水平方向上虽然阜阳雷达的探测分辨率要高于 TRMM 的探测精度,但由于衰减、波束宽度、计算误差的原因往往造成回波偏小。TRMM 降水雷达(PR)资料在总体上有很高的可信程度,但若在垂直方向上有强衰减时,其订正值仍然偏小。

(2) 在距地面雷达较远处,地基雷达资料中的零度层亮带和回波顶的位置都偏低,对应值偏小。这一假象主要是因为地面雷达资料在 CAPPI 的转化过程中,远距离处可用资料很少,经插值后真实信息被淹没造成的。

(3) 由于噪声的影响 PR 资料略去了小于 18DBZ 的回波信号,使部分降水信息丢失,也就是说在小雨的测量中不如阜阳雷达。

(4) 用 PR 资料订正地面雷达资料,尤其是对远距离处的雷达资料订正,将有效地提高雷达探测的精确度。

参 考 文 献 (References)

- [1] Ma ZH, *et al.* The Information Theory of Meteorologic Radar Echoes [M]. Beijing: Science Press, 1996. [马振骅等. 气象雷达回波信息原理[M]. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [2] Kummerow C, Simpson J, *et al.* The Status of the Tropical Rainfall Mission (TRMM) after Two Years in Orbit [J]. *J. Appl. Meteor.*, 2000, **39**(12): 1965—1982.
- [3] Iguchi T, Meneghini R. Intercomparison of Single Frequency Method for Retrieving a Vertical Rain Profile from Airborne or Spaceborne Radar Data [J]. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1994, **11**(6): 1507—1516.
- [4] Schumacher C, Houze Jr R A. Comparison of Radar Data From the Tmm Satellite and Kwajalein Oceanic Validation Site [J]. *J. Appl. Meteor.*, 2000, **39**(12): 2154—2164.
- [5] Hirschfeld W, J Borkan. Error Inherent in the Radar Measurement of Rainfall at Attenuating Wavelengths [J]. *J Meteor.*, 1954, **11**(1): 58—67.

A Comparative Study of Data from TRMM Precipitation Radar and Fuyang Radar

WANG Cheng-gang, GE Wen-zhong, WEI Ming

(The key Laboratory of Mesoscale Severe Weather, Department of Atmospheric Sciences Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The precipitation radar (PR), the first space-borne rain radar, carried by Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite, has provided a new sounding method for atmospheric research and has played an important role in understanding the circulation of global energy and water for five years. In this paper, the data of Fuyang ground-based radar and PR data, both obtained from Huihe River Basin Experiment (HUBEX) in 1998 and 1999, have been compared in three aspects, 1) Distribution of echo intensity, 2) Averaged reflectivity profiles, 3) Sensitivity Analyses indicate that Fuyang radar is better than PR in sensitivity and horizontal resolution, but the observing error still exists in data because of attenuation-influence and beam-width influence. The farther the observed region is away from Fuyang radar station, the more difference between the observed value and true value is. The wavelength of PR is shorter than the Fuyang's therefore the PR is more sensitive to the attenuation in strong echo. Especially when the strong attenuation is encountered, the corrected echo value of PR is still smaller than the true value. The way of PR detecting precipitation clouds, from space to surface, is thoroughly different from Fuyang ground-based radar's. The PR data can easily avoid the attenuation-influence in horizontal direction. The vertical resolution of PR data is much better than the Fuyang's and the PR data is symmetrically distributed in spatial domain which is dislike Fuyang radar data, so a new effective method for correcting echo value of Fuyang ground-based radar is provided in this paper by comparing the averaged profiles of PR and Fuyang in different regions.

Key words: TRMM Satellite precipitation radar (PR), averaged reflectivity Profiles

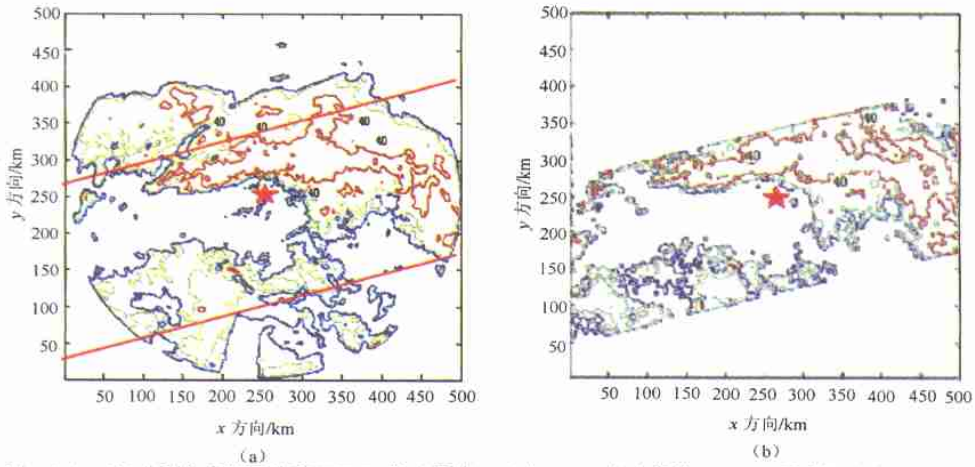


图 1 (a), (b) 分别为阜阳雷达和 TRMM 降水雷达 (PR) 在 2.5 km 高度处的 (CAPPI) 强度场分布 (1998-06-29)

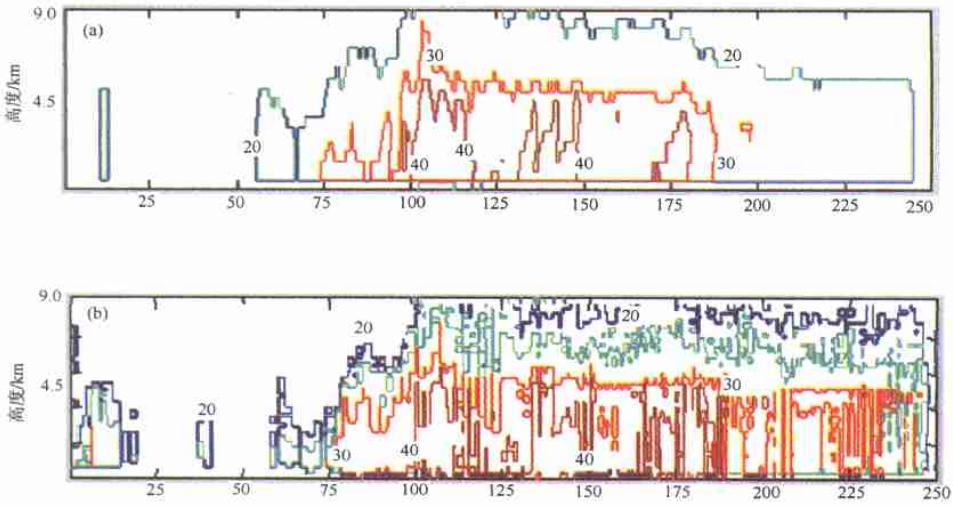


图 2 (a), (b) 分别为阜阳雷达和 TRMM 降水雷达 (PR) 距离高度显示 (RHI) 以 (113.19°E, 32.75°N) — (118.117°E, 33.75°N) 两点连线做剖面 (1998-06-29)

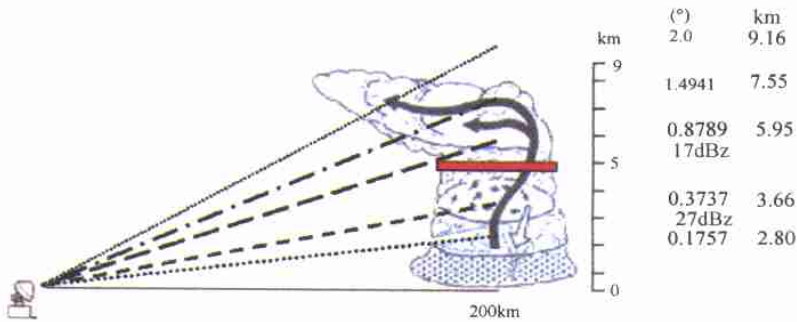


图 3 资料转化过程中误差产生示意图 (红线为 0° 层亮带所在位置)

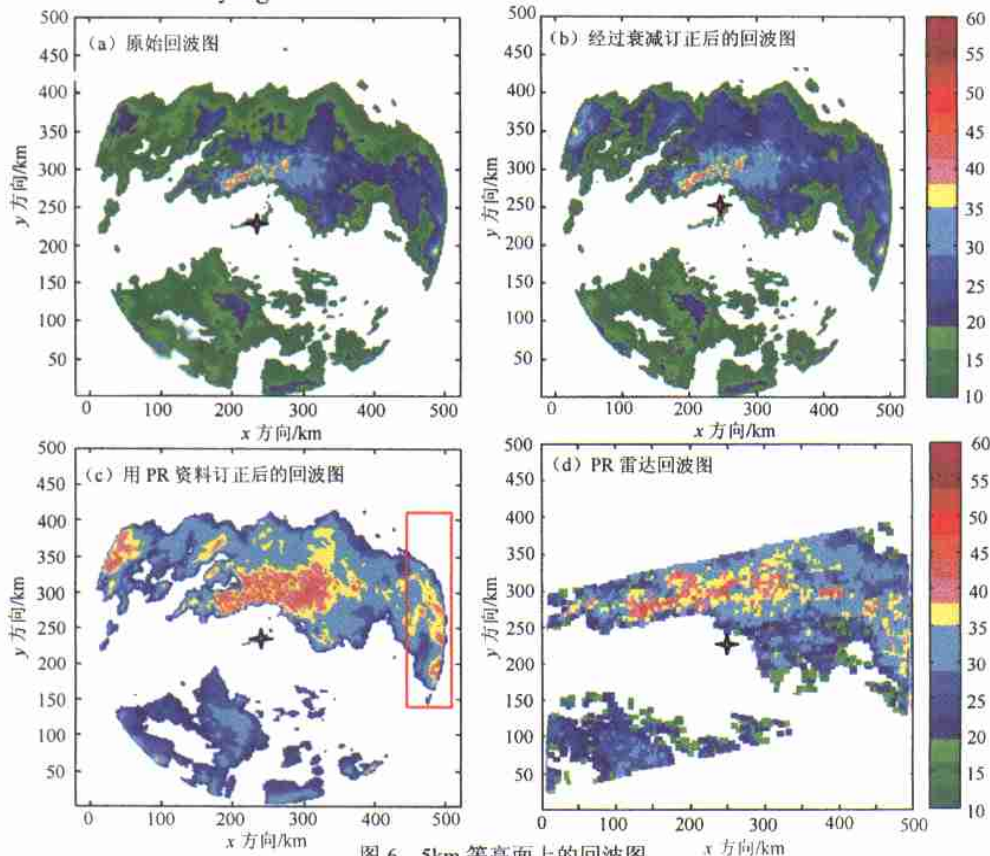


图 6 5km 等高面上的回波图 (1998-06-29 12: 56)

遥感学报

(双月刊 1997年创刊)
2003年7月 第7卷第4期

JOURNAL OF
REMOTE SENSING

(Bimonthly, Started in 1997)
Vol. 7 No. 4 July 2003

编辑:《遥感学报》编辑委员会
(北京市安外大屯路中科院遥
感应用研究所 邮编: 100101)

电话: (010) 64889543

主编: 徐冠华

出版: 科学出版社

(北京东黄城根北街 16 号

邮编: 100717)

印刷装订: 北京中科印刷有限公司

总发行处: 北京报刊发行局

订购处: 全国各邮电局

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司

(北京 399 信箱 邮编: 100044)

Editor: Editorial Board of Journal of Remote Sensing
(P.O. Box 9718, Beijing 100101, China)

<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/ygxb>

E-mail: jrs@irsa.irsas.ac.cn

Telephone: (010) 64889543

Chief Editor: XU Guanhua

Publisher: Science Press

(16 Donghuangchenggen North Street
Beijing 100717, China)

Printed by: Beijing Zhongke Printing Limited Company

Distributed Abroad: China International

Book Trading Corporation

(P.O. Box 399, 100044, Beijing, China)

国际标准刊号: ISSN 1007-4619 国内统一刊号: CN 11-3841/TP

邮发代号: 82-324 国外代号: Q1002 定价: 20.00 元

主办: 中国地理学会环境遥感分会 中国科学院遥感应用研究所

国内外公开发行