

文章编号: 1007-4619 (2002)04-0289-05

双线偏振双波段(X/Ka)主被动微波遥感系统的研制与初步试验

段 树, 张 凌, 刘锦丽, 吕达仁

(中国科学院 大气物理研究所, 中层大气与全球环境探测开放实验室, 北京 100029)

摘 要: 为拓展主被动微波探测系统遥感降水云雨的功能, 使系统的原理先进性能有进一步的体现, 将一套主被动双波段(X/Ka)微波遥感系统研制升级为双线偏振双波段主被动微波遥感系统。对新系统及主要部件的工作原理、技术指标及研制改造方法作了介绍, 还给出了一些初步的观测结果。

关键词: 微波遥感; 双线偏振; 雷达; 辐射计

中图分类号: TP732.1 **文献标识码:** A

1 引 言

微波雷达和辐射计在大气云雨、水气探测中是必不可少的重要设施。1979年, 我们提出和发展了利用微波主被动(雷达-辐射计)联合遥感降水分布的原理^[1]。为了进行实验验证, 1980年初, 我们在一部双波长炮瞄雷达的基础上改装研制了一套双波段(X/Ka)主被动微波遥感系统。它将3cm, 8mm两部雷达和相同波段的双波长辐射计(共4个单元)集成于同一设备之中, 并共用一套天线。两个波段可同时工作, 雷达、辐射计采用分时工作。此系统用双波长辐射计定量遥感波束范围内降水总量及云中含水总量, 再结合雷达确定其空间分布, 其应用原理是当时国际独创的。数值试验和实测分析表明, 这种主被动相结合探测云雨分布的方法在应用及技术原理上都是先进可行的。在近20年的工作中已获得了大量资料和研究结果^[2,3]。

1980年以来国际上发展了双极化雷达技术^[4], 美国、日本、加拿大等国均有X波段双偏振雷达。国内兰州高原大气研究所在713(C波段)雷达上完成了双极化天馈系统改造, 并已取得一些研究结果^[5], 而X波段的双极化雷达目前国内还是空白。为拓展主被动遥感降水云的功能, 使系统的原理先进性能有进一步的体现, 我们为原系统增加了双线偏振功能。构成了国际国内独一无二的, 双极化(现

完成X波段)双波长主被动微波遥感系统。

双线偏振雷达有两种工作方式: 一种是双通道同时工作; 其特点是两种线偏振波同时工作, 相对探测目标的相关性好, 取得相同数量回波数据较快, 但设备复杂, 调整和标定困难很大。另一种是脉间变换分时工作方式, 即根据探测要求, 以一定的序列交替发射和接收垂直、水平两种不同的线偏振波。这一方式结构简单, 技术上容易实现, 但两种偏振波对探测目标的相关性稍差, 这可以通过提高脉冲重复频率予以改善。

与常规天气雷达相比, 双线偏振雷达增加了双偏振反射率差等参数的测量。分时式双偏振雷达通过交替发射/接收水平和垂直偏振波, 获得降水目标的水平偏振反射率和垂直偏振反射率之差, 即差分反射率。它反映了降水粒子在水平和垂直方向尺度大小的差异, 是降水粒子形状特征的相关参数。在降水粒子中, 液相粒子大多是长轴平行于地面的扁球体, 而冰相粒子的形状各异, 其空间取向通常是随机的, 固定取向为数很少。由于这两种粒子在形状和空间取向的不同, 用差分反射率可以区分它们。一般液相粒子与冰相粒子相比具有较大的差分反射率。联合使用反射率因子和差分反射率反演降水强度, 可以对降水粒子的形状、相态、冰雹进行判断, 将更精确地反映降水粒子的状态, 反演降水强度的精度有明显改善^[6,7]。

目前双偏振雷达具有以下方面的用途: (1)应用

收稿日期: 2000-11-17; 修订日期: 2002-01-07

基金项目: 中国科学院重大设备更新经费支持; 国家自然科学基金(No. 49885001; No. 40975006)及国家载人航天项目和中国科学院大气物理研究所创新面上基金(8-3301)资助。

作者简介: 段树(1956—), 男, 高级工程师, 1982年毕业于中国科学技术大学无线电电子学系。主要从事微波技术与应用研究工作。

于定量测量降水;(2)应用于云雾物理和人工影响天气领域;(3)液态降水粒子的形状判断;(4)降水粒子相态的识别;(5)降雹识别。

本文主要介绍对双波段、主被动微波集成系统升级实现分时式工作双线偏振的原理及方法。对主要部件的技术特点及指标做一简单介绍,并分析了一些初步的观测结果。

2 工作原理

研制工作的重点是采用脉间转换分时工作的方式为系统增加双线偏振功能,即根据探测要求,以一定的序列交替发射和接收垂直、水平两种不同的线偏振波。双线偏振的脉间变换受控于雷达控制器产生的极化控制脉冲。微波大功率极化转换开关是一个能承受微波强功率的四端口铁氧体环行器,原理如图版 I 图 1。在雷达方式工作时,波导开关将雷达收发系统与极化转换开关的“1”端口相接,“2”端口接天线的垂直通道,“3”端口接吸收负载,“4”端口接天线的水平通道,其环行方向可在极化控制脉冲作用下快速转变。改变极化控制脉冲的序列即可实现发、收两种线偏振波的多种工作方式。在辐射计方式工作时,波导开关将辐射计接收端口与极化转换开关的“1”端口相接,这时改变极化开关的方向即可实现对大气微波辐射两种线偏振波的接收。

图版 I 图 1 为系统工作原理框图。由图可见主要工作是研制全新的天线和控制采集部分,并对收发单元进行升级。构成一套全新的双波段(X/Ka)双线偏振主被动微波遥感系统。

3 主要部件设计原理与技术指标

3.1 天线

实现双线偏振的关键是天线系统。需整体重新研制。包括:(1)正交隔离的双极化馈源;(2)微波大功率极化转换开关;(3)频率选择介质副反射面;(4)大口径抛物面反射体。以上部件构成了新的双线偏振雷达天线系统。重点主要在大功率开关、馈源及副反射面。

天线两个通道的性能差异,将极大的影响探测精度。两个通道的立体方向图应尽可能一致,两个通道的系统正交隔离度越大越好。在雷达工作频段内,系统正交隔离度应优于-25dB。考虑辐射计工作要求,系统的插入损耗应尽量减小,主要在开关设

计时予以重视。

双偏振探测时指向精度要高,需要窄波束。为此重新设计加工了大口径抛物面反射体,同时考虑Ka波段工作要求,反射面精度要高,加工精度要求为起伏<0.3mm。考虑两个波段同时工作,在天线设计中采用了X波段正馈,Ka波段卡塞格伦的组合馈电方式;重点是研制X波段透明(插损小于0.5dB),Ka波段全反射的频率选择介质副反射面,组装方式如图版 I 图 1。这样减小了两个波段的相互影响,X波段副瓣电平也有较大改善。图 2 为大功率极化开关的特性曲线,图 3、图 4 为双波段天线方向图测试结果。

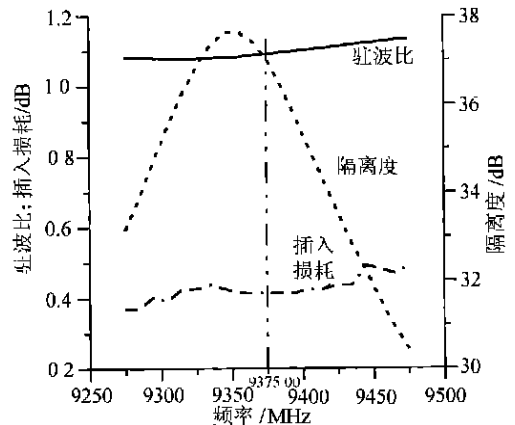


图 2 极化开关特性

Fig.2 The properties of the polarization switch

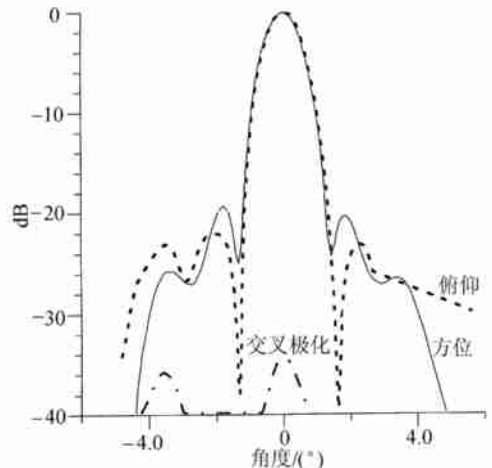


图 3 3cm 天线方向图

Fig.3 The antenna pattern at 3cm wavelength

因原系统的伺服驱动能力较强,天线口径由1.25m加大至2.2m后,在一般环境下仍能正常运转,这在2001年的雨季观测中已得到证实,但为加大安全系数,我们研制安装了直径4.2m的高透波率天线罩,以保证全天候的安全工作。

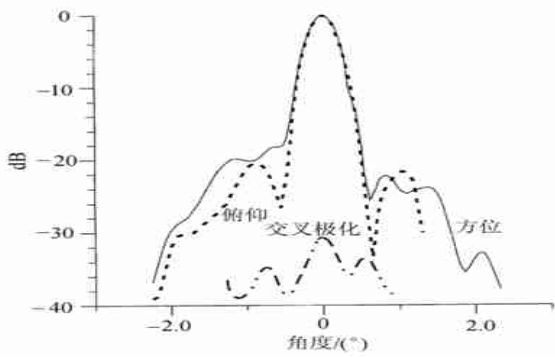


图 4 8mm 天线方向图

Fig.4 The antenna pattern an 8mm wavelength

天线系统主要指标如表 1。

3.2 收发单元

由于雷达探测的云雨回波随时间和空间的变化很大,两个不同偏振脉冲的发射间隔就不能太长,否则它们探测的就可能不是同一个目标,即探测目标的相关性差,无法测得真实的 Z_{DR} 值。实际应用中,在满足一定探测距离的前提下,应尽量减小两种偏振脉冲之间的发射间隔,以提高两种不同偏振波相对探测目标的相关性。

本系统脉冲重复频率高达 1500Hz,有利于提高

表 1 天线系统主要技术指标

Table 1 The main specifications of the antenna and feeder sub-system

参数	X 波段	Ka 波段	参数	X 波段	Ka 波段
天线口径	2m	2m	馈源正交隔离	-35dB	-35dB
主瓣宽度	1.1°	0.5°	开关隔离	-27dB	-
天线增益	≥40dB	≥50dB	开关速度	5μs	-
副瓣电平	≤-20dB	≤-19dB	系统正交隔离	-25dB	-
极化增益误差	<0.3dB	<0.3dB	电轴方向误差	<0.3°	<0.3°

双极化探测的相关性,且具有很好的测速潜力,我们将力争尽快对收/发系统进行升级研制,增加多普勒功能,以实现対云雨内部物质场和速度场的同时探测,构成全新的多参数微波遥感设施。

双波段雷达接收机均做了更新,都采用低噪声

前放,对数主中放,X 波段用镜像抑制混频器,Ka 波段采用二次混频。升级后的接收机的噪声系数改善达 6dB 以上(X 波段<3.5dB;Ka 波段<6dB),灵敏度优于-100dBm,动态范围大于 70dB。达到了国内先进水平。收发系统主要指标如表 2。

表 2 收发系统主要技术指标

Table 2 The main specifications of the transmitting and receiving sub-system

发 射 机			接 收 机		
工作频率	9.375GHz	34.84GHz	工作频率	9.375GHz	34.84GHz
脉冲频率	1500Hz	1500Hz	中频频率	30MHz	60MHz
脉冲宽度	0.6μs	0.2μs	带 宽	2MHz	6MHz
峰值功率	200kW	25kW	噪声系数	≤3.5dB	≤6dB
平均功率	200W	12W	动态范围	≥70dB	≥70dB

3.3 双波长辐射计

辐射计是本系统的另一重要分机,原组合已严重老化。为跟踪技术进步,我们研制更新了双波长辐射计。基本参数如表 3。

3.4 雷达天线控制器

天线控制器由 SDC 转换,可编程器件、单片机、天线驱动及串行通讯接口电路构成,使用 PC 机内

ISA 插槽(图 5)。

表 3 辐射计主要技术指标

Table 3 The basic specifications of the radiometers

频率/GHz	9.375	34.8
整机噪声系数/dB	≤6.0	≤6.5
灵敏度/K	<0.2	<0.3
分辨率/K	<0.2	<0.2

天线控制器接收雷达实时终端发来的各种扫描

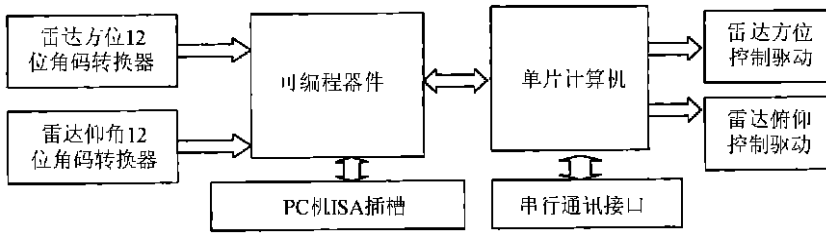


图 5 天线控制器框图

Fig.5 The diagram of the antenna controller

方式指令(PPI, RHI, 扇形扫描, 体积扫描, 定位等), 并负责实施。其主要特点为: 单片机控制天线扫描, 扫描方式可方便扩展。

3.4 雷达信号处理器

在实时终端软件向雷达信号处理器动态下载雷达信号处理方案后, 信号处理器可接收实时终端发来的各种控制命令(距离库长, 极化方式, 积分次数, 探测距离等), 由数字信号处理器负责实施, 通过双口存储器向实时终端软件提供数据。信号处理器的框图如图 6。

其主要特点为:(1) 数据预处理(如视频积分等)由数字信号处理器完成, 其处理方式由程序控制, 可灵活改变。(2) 由于采用可编程芯片及高集成度芯片, 减小了数据采集处理板的体积, 提高了可靠性。

雷达极化时序控制产生的脉冲序列可控制雷达有如下工作状态:

- (1) HH, HH, HH, HH, ...; 水平极化, 测水平反射率 Z_H ;
- (2) VV, VV, VV, VV, ...; 垂直极化, 测垂直反射率 Z_V ;
- (3) HH, VV, HH, VV, ...; 水平极化垂直极化

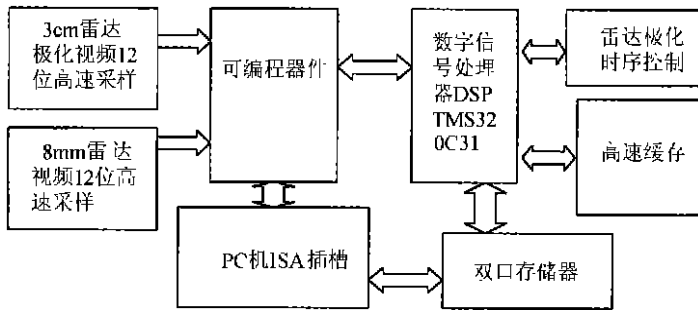


图 6 雷达信号处理器框图

Fig.6 The diagram of the radar signal processor

交替工作, 测差分反射率 Z_{DR} ;

- (4) HH, HV, HH, HV, ...; 水平极化, 测退偏振度;
- (5) VV, VH, VV, VH, ...; 垂直极化, 测退偏振度;
- (6) HH, HV, VV, VH, ...; 综合模式, 可测以上 5 种参数。

其中, H 表示水平极化波, V 表示垂直极化波; HH 表示发射 H 接收 H, VV 表示发射 V 接收 V, HV 表示发射 H 接收 V, VH 表示发射 V 接收 H。

4 初步观测结果

过程进行了初步的观测。这里给出 RHI (图版 I 图 7) 和 PPI (图 8) 图像的两个实例: (a) 图为回波强度分布, (b) 图为回波强度差分布, 从图版 I 图 7 中我们看到在降水云下部出现反射率极化差的大值, 这是由于大雨滴下落过程中受空气阻力被压扁, 而在降水云的上部反射率极化差较小, 表示那里降水粒子为球形或者为取向随机的非球形粒子。在图版 I 图 8 中可以发现在反射率大的位置, 它的差分反射率也大, 这说明雨强大的地方雨滴较大, 偏离球形的程度也越大。从实际观测结果看, 我们的双极化雷达能够反映降水云中降水粒子的形状变化, 观测结果合理, 已具备正常的双极化功能。

进一步的工作将对现有观测软件进行改进完

系统联调完成后, 2001 年雨季我们对几次降水

善。

5 结 论

系统调试与初步观测分析表明,新系统在数据采集处理方面可达到国内先进水平,增加的双偏振功能已经实现,结合原来的主被动联合系统形成了一个新的综合探测云雨的能力。

升级后的系统在云雨分布及结构的探测研究中将提供更多、更可靠的信息;可对研究云雨结构起重要作用;可为卫星微波云雨遥感的研究提供更为可靠的对比验证基础;在中层大气大型综合观测试验中,如对强对流云的研究等方面也会发挥重要作用。值得指出的是,本设备在人工影响天气(降水、消雹)方面也具有推广价值。

致谢 在研制中得到协作单位——信息产业部14所、航天机电集团二院23所、南京气象学院的大力支持。徐宝祥研究员,葛润生研究员,毛节泰教授,赵松年研究员等在项目论证中提供了许多宝贵的意见和建议;在项目实施过程中多次得到葛润生研究员,顾松山教授的咨询和帮助,南京气象学院的刘晓阳、陈钟荣副教授在雷达控制及信号处理器研制中承担了大量工作,中国科学院大气物理研究所宣越健、王勇高级工程师在机械结构设计、基建等方面提供了许多帮助。在此表示衷心感谢。

参 考 文 献 (References)

- [1] Lu Daren, Lin Hai. Comparisons and Combined Use of Radar and Radiometer in the Remote Sensing of Rainfall Distributions [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1980, **4**(1):30-38. [吕达仁,林海. 雷达和辐射计测雨特性比较及其联合应用[J]. *大气科学*, 1980, **4**(1):30-38.]
- [2] Liu Jinli, Zhang Ling. An Application Study of Rainfall Measurement with Combined Active-Passive Remote Sensing [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1993, **17**(2):219-226. [刘锦丽,张凌. 微波主被动联合测雨的应用研究[J]. *大气科学*, 1993, **17**(2):219-226.]
- [3] Liu, Jinli, Ling Zhang. Remote Sensing of Liquid Water Content with Combined Radar-Radiometer. [J] *Atmos. Res.* 1994, **34**:145-152.
- [4] Glasson K, Cumming F, Bird T S *et al.* The BMRC/NCAR C-Band polarimetric(C-POL) radar system. [J] *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1998, **15**:871-886.
- [5] Wang Zhijun, Cai Qiming, Xu Baoxiang. Development into Dual Linear Polarization of 713 Type weather Radar [J] *Plateau Meteorology*, 1988, **7**:177-184. [王致君,蔡启铭,徐宝祥. 713 雷达的双线偏振改装[J]. *高原气象*, 1988, **7**:177-184.]
- [6] Liu Hongping, Chandrasekar V. Classification of Hydrometers Based on Polarimetric Radar Measurements; Development of Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Systems, and In-situ Verification [J]. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 2000, **17**:140-164.
- [7] Xu Baoxiang. Application of Dual-Linear-Polarization Radar in Meteorology [J]. *Meteorological Science and Technology*, 1987, **4**:86-92. [徐宝祥. 双线偏振雷达的气象应用 [J]. *气象科技*, 1987, **4**:86-92.]

Development of an Active and Passive Dual-wavelength(X/Ka) Dual-polarization Remote Sensing System and its Preliminary Test

DUAN Shu, ZHANG Ling, LIU Jin-li, LU Da-ren

(LAGEO, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to enhance the sensing power of precipitating clouds, a dual-polarization radar is developed to be added in an active and passive microwave dual-wavelength (X/Ka band) remote sensing system. After this upgrading of dual-polarization function, the advanced properties of the principle of the former remote sensing system are augmented. This upgraded system becomes a new capability of synthetical sensing clouds and precipitation, and will play an important role in precipitating cloud structure studies and all kinds of major science projects concerning obtaining quantitative distribution of clouds and precipitation. The working principle, the upgrading method and the specifications of the new system and its main components are given here. An emphasis is laid on the description of the design and implementing means of the antenna feeding unit, the control unit and data acquisition unit. A preliminary rainfall observation test of the system is also presented in this paper.

Key word: microwave remote sensing; dual-polarization; radar; radiometer

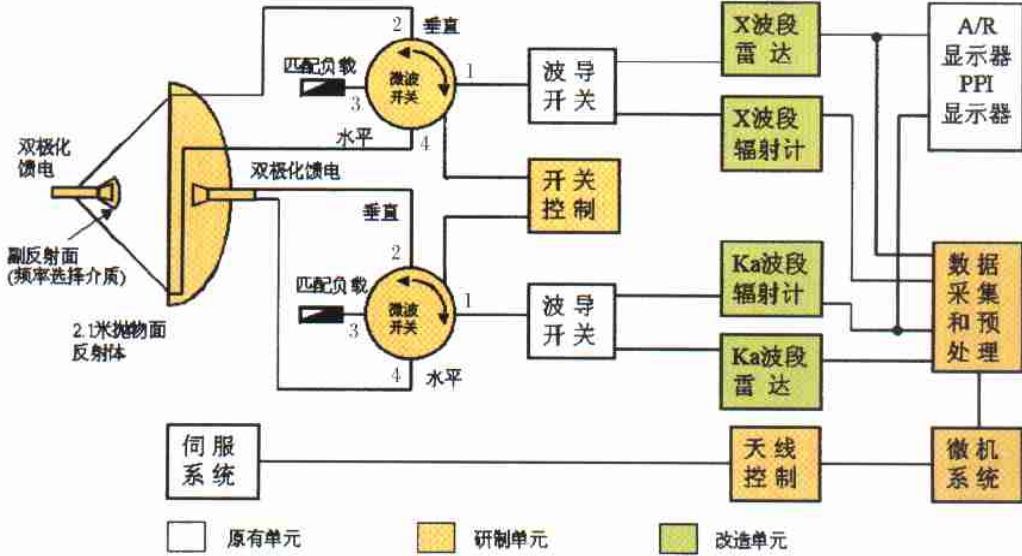


图 1 升级后的双波段雷达—辐射计系统方框图

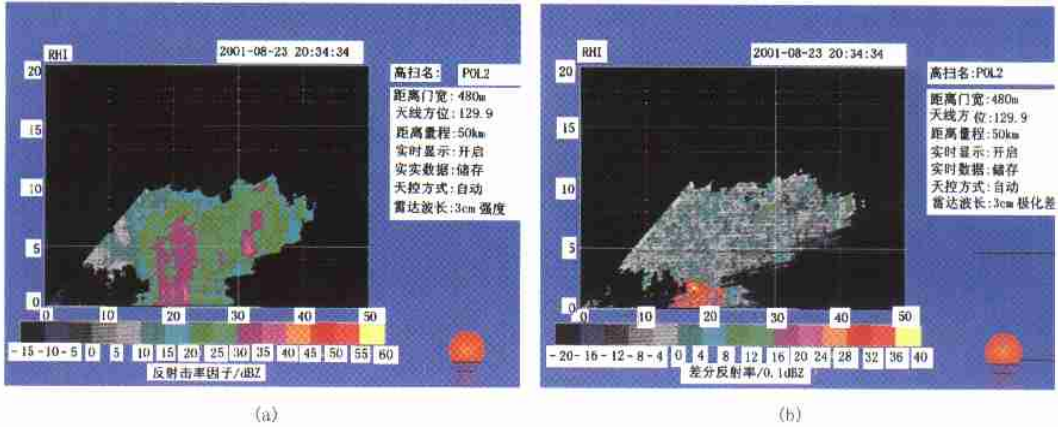


图 7 降水回波的 RHI 图像

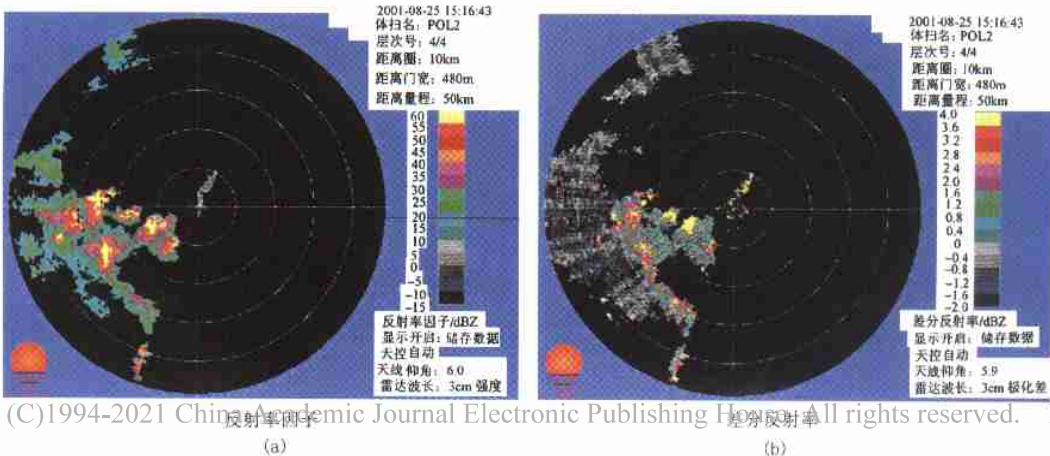


图 8 降水回波的 PPI 图像