

# FY-2C/D 卫星微物理特性参数产品 在地面降水分析中的应用

陈英英<sup>1</sup> 唐仁茂<sup>1</sup> 周毓荃<sup>2</sup> 毛节泰<sup>3</sup>

(1. 湖北省人工影响天气办公室, 武汉 430074; 2. 国家气象中心; 3. 北京大学)

**提 要:** 针对2007年7月14日和2008年8月16日发生在江淮地区的两次强降水天气过程, 将FY-2C静止卫星的红外、近红外和可见光通道等多光谱数据反演得到的云液水路径产品与同时段地面观测的加密雨量资料进行对比, 发现: 云液水路径的大值区与强降水中心的位置基本一致, 云液水路径的大小与地面雨量的大小呈现正相关关系。结果显示, 卫星反演的云特征参数产品在地面降水分析方面具有可用性。  
**关键词:** FY-2C 云液水路径 强降水 卫星反演

## Microphysical Characteristic Parameters Product Retrieved by FY-2C/D Satellite and Its Application in the Precipitation Analysis

Chen Yingying<sup>1</sup> Tang Renmao<sup>1</sup> Zhou Yuquan<sup>2</sup> Mao Jietai<sup>3</sup>

(1. Hubei Provincial Weather Modification Office, wuhan 430074;  
2. National Meteorological Center; 3. Peking University)

**Abstract:** Aiming at the two heavy rainfalls over Jianghuai area on 14 July, 2007, and 16 August, 2008, the cloud liquid water path retrieved from the visible, infrared and near-infrared data of FY-2C satellite is compared with the precipitation data of the same period. The results show that when the cloud liquid water path maintains large value, strong precipitation occurs on the surface. There exists a positive relationship between the precipitation and the cloud liquid water path. It indicates that the cloud characteristic parameters product is usable in the precipitation analysis.

**Key Words:** FY-2C cloud liquid water path heavy rainfall

资助项目: 暴雨基金 0603 课题国家“十一五”科技支撑课题“人工增雨信息处理技术研究”(2006BAC12B07)

收稿日期: 2008年8月21日; 修定稿日期: 2008年12月16日

## 引 言

降水是直接关系到国计民生的复杂天气现象,定量降水估计对于天气预报,尤其是对产生强降水等灾害性天气的监测和预报,具有十分重要的意义,是当今气象学中最具挑战性的问题之一。它出现的变率很大,常随时间、地点而异,影响因子错综复杂,而常规气象观测网站距离一般都大于中尺度系统的水平尺度,尤其在暴雨多发的山区,测站更为稀疏,这使得常规测站难以实现对暴雨系统的监测和跟踪。

静止卫星是惟一能够对从天气尺度到中小尺度等各种云系演变进行同步观测的空间平台,因此近年来卫星降水估计发展迅速,形成了以斯科菲尔德技术为代表的云生命史法,和以阿金技术为代表的云指数法,目前全世界有影响的降水估计方法有 30 多个<sup>[1]</sup>,主要是根据卫星云图提取的特征信息与降水之间的关系利用统计方法间接求得。

国家卫星气象中心卢乃锰等<sup>[2]</sup>使用 GMS-5 红外云顶温度及其梯度等因子建立了对流云降水的估计方法,已投入业务使用。延昊<sup>[3]</sup>研究了由 MODIS 的热红外亮温和可见光通道反射率估计中纬度降雨的方法,刘文<sup>[4]</sup>建立了小时降水量与 GMS-5 红外通道亮温和可见光通道反射率的回归方程。杨引名<sup>[5-6]</sup>使用 GMS-5 红外亮温的时空变率、空间梯度、红外和水汽通道亮温差等云图衍生资料,有效地提高卫星定量估计降水准确率。谷晓平<sup>[7]</sup>提取出与局地降水强度的相关系数最好的云参数信息:亮温平均值、亮温方差、不同等级亮温的面积指数、平均等效云量、最大等效云量等,以此作为预报因子,进行小区域短期降水强度的预测。郁凡<sup>[8]</sup>将单位特征空间归类法应用于多光谱 GMS 卫星图像的降水强度场分析,交互式地进行多光谱特征

量与地面实测降水的协同分析,重点对晴空、无雨、小雨、中雨、大雨、暴雨 6 种类型进行了检验。李培军<sup>[9]</sup>针对 GMS 云图资料及华南地区的特点对强对流云团降水方法进行了研究,包括冷云区持续时间估计法、红外亮温法,并将梯度、发展率和常规探测资料加入其中进行分析。

刘健等<sup>[10]</sup>曾经利用 FY-1D, EOS 和 NOAA 卫星的可见光、红外、微波通道遥感观测、反演资料,从相态、光学厚度、垂直结构等各方面分析云特征,显示卫星遥感对揭示中尺度强暴雨云团的云特征,具有很好的指示作用。这些研究利用的是极轨卫星反演产品,虽然极轨卫星空间分辨率较高,但是一天只有两个时次的资料无法对降水演变进行连续的追踪分析。为此,本文主要利用陈英英<sup>[11]</sup>周毓荃等<sup>[12]</sup>利用 FY-2C/D 静止卫星等综合观测资料联合反演得到的系列云宏微物理特性产品,针对 2007 年 7 月 14 日和 2008 年 8 月 16 日发生在江淮地区的两次强降水天气过程,初步研究卫星反演云液水路径等微观物理特性参数产品在暴雨降水分析中的应用,探讨云参数产品对改进定量降水估测的可能作用。

## 1 云微物理特征参数产品在强天气降水分析中的个例应用

本文主要利用 FY-2C 静止卫星地反映云系发展程度的红外一通道( $10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$ ),对粒子大小十分敏感的中红外通道( $3.5 \sim 4.0 \mu\text{m}$ ),和对云光学厚度敏感的可见光通道( $0.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$ )资料来分别反演云粒子有效半径和云光学厚度,并由此计算出云液水路径产品<sup>[12]</sup>。云液水路径即单位面积上的云柱水含量,它综合考虑了云顶和云整层光学厚度信息,因此,可能与地面降水有一定的相关性。

### 1.1 云液水路径产品大值区与地面强降雨落区的对比分析

受高空低槽和中低层切变线共同影响,2008年8月16日河南东南部、湖北中东部、湖南西北部等地出现强降雨天气过程(图1,见彩页),当日14:00时MICAPS 6小时加密雨量资料显示,湖北安陆6小时降水量达到67mm。图2(见彩页)是利用FY-2C数据反演得到的云液水路径产品(即单位面积上的云柱水含量)的6小时均值。比较两者可以发现,地面强降雨区与高空云液水路径的大值区相匹配。由于云液水路径是由云光学厚度和云顶粒子有效半径计算得出,因此,说明此次降雨云厚度很厚,粒子尺度较大。

### 1.2 云液水路径产品与地面降水强度之间的关系分析

为进一步说明云液水路径产品与地面降水之间的对应关系,选取发生在江淮流域的另一次强降雨过程进行分析。由图3(见彩页),2007年7月14日14时MICAPS的6小时加密降水站点资料可以看出,在 $25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的范围内有两个强降雨中心,一个位于河南中部,6小时最大降水量达到59mm,另一个位于安徽西南部及与湖北、江西交界处,最大降水量达到110mm。

将国家卫星气象中心下发的FY-2C

14:30的6小时降水估计产品(图4,见彩页)与实测的降水资料进行比较发现,两个降水落区基本一致,但降水强度估计偏弱,尤其是河南中部的强降雨中心没有显示出来。该产品主要是利用TBB资料及亮温梯度进行估算,由图5(见彩页)FY-2C 9:00—14:00的6小时TBB均值可以看出,安徽、湖北、江西的强降雨中心云顶黑体亮温很低,在 $-65^{\circ}\text{C}$ 以下,而河南中部的强降雨中心,云系发展不是十分旺盛,云顶黑体亮温最低只达到 $-35^{\circ}\text{C}$ ,初步分析可能是由于较高的云顶温度使得降水产品估计偏弱。

为分析云液水路径产品在地面降水强度分析方面的可用性,利用FY-2C卫星09—14时逐时云液水路径产品,进行6小时平均,得到图5(见彩页),由图可以看出,两个强降雨中心十分吻合,对TBB不是很低的云系产生的强降雨也有很好的反映,有望改善只由TBB资料估计降水时对降水估计偏差的现象。在落区方面,河南中部的大值区与强降雨落区十分一致,而安徽中部的大值区则有所偏离,可能是由于安徽南部的强降雨中心云系发展十分旺盛,云体垂直向倾斜,云液水路径产品考虑了云粒子有效半径的作用,而云粒子有效半径反映的是云顶信息,其大值区与实际的强降雨落区不完全在一条垂直线上。由图6,14:00相对湿度场的高中低层配置可以证明这一点。

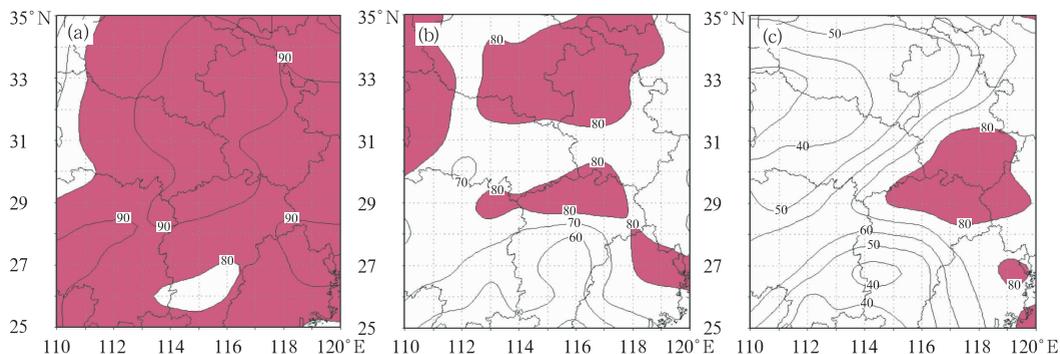


图6 2007年7月14日850hPa、700hPa和500hPa相对湿度分布  
灰色区域相对湿度高于80%

为说明云液水路径产品与地面降水的定量关系,做散点图进行点对点的对比,这里选取河南强降水落区的散点进行分析,如图 7,6 小时地面降雨量的大小与云液水路径的大小基本呈正相关关系,相关系数  $R=0.58$ 。然后,地面雨量每间隔 10mm,计算云液水路径的平均值,统计结果如图 8 所示,随着地面降水量的增加,云液水路径的平均值在增大。在地面雨量超过 50mm 后,由于强降水的样本数较少,不能完整地反映其内在联系,并且考虑到当云液水路径达到一定程度时,它与地面降水量之间不再满足严格的正相关关系,因此不再分级讨论。

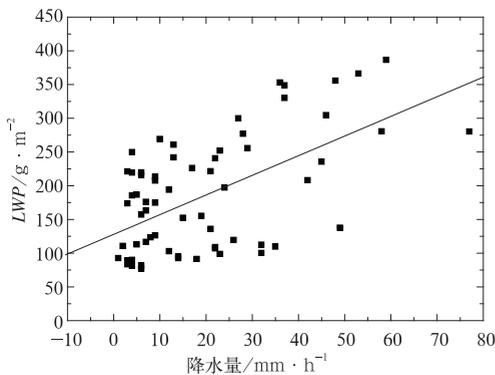


图 7 河南降水区域地面雨量与云液水路径散点分布图

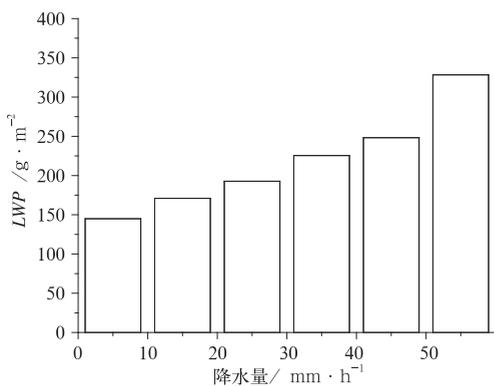


图 8 河南降水区域每 10mm 地面雨量与云液水路径平均值的关系图

线性拟合,拟合函数  $Y=2.9x+127.95$ ,相关系数  $R=0.58254$ ,降水站点数  $N=67$ 。

## 2 小结

利用 FY-2C 静止卫星的红外、近红外和可见光通道等多光谱数据反演得到的云液水路径产品对 2008 年 8 月 16 日和 2007 年 7 月 14 日发生在江淮流域的两次强降水过程进行分析,得到:

(1) 云液水路径产品的大值区与强降水中心的位置基本一致;云液水路径的大小与地面降雨量的大小基本呈现正相关关系。

(2) 云液水路径产品综合考虑了云顶状态和云层厚度信息,应用于定量降水估测有望改善仅利用云顶黑体亮温进行地面降水估测云顶较低(TBB 较高)的云系其降水量估计偏弱的现象。

## 参考文献

- [1] 卢乃锰. 气象卫星降水监测技术[J]. 科学中国, 2002, 52(3): 53-54.
- [2] Lu Naimeng and Wu Rongzhang. A Convective Rainfall Estimate Technique Developed By NSMC CHINA. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(2): 225-232.
- [3] 延昊,吴门新,刘桂青,等. 利用 MODIS 的多通道信息估计中纬度降雨[J]. 气象学报, 2006, 64: 205-210.
- [4] 杨引明,姚祖庆. 中国东部地区卫星估计降水系统及其应用[J]. 气象科学, 2005, 25: 149-157.
- [5] 杨引明,姚祖庆. 应用 GMS-5 多通道云图估计降水技术的研究[J]. 气象, 2004, 30(11): 8-13.
- [6] 谷晓平,王长耀,王汶. GMS5 红外卫星云图参数化及在降水预测中的应用[J]. 遥感学报, 2005, 9: 459-467.
- [7] 郁凡. 多光谱卫星图像降水强度场的分析[J]. 气象学报, 2003, 61: 334-345.
- [8] 刘文,赵玉金,张善君. GMS 卫星遥感资料监测暴雨技术[J]. 气象, 2003, 29(3): 49-53.
- [9] 李培军,郭洪涛,黄建国,等. 利用 GMS 卫星资料进行强对流降水估计[J]. 解放军理工大学学报, 2004, 5: 88-92.
- [10] 刘健,张文建,朱元斌,等. 中尺度强暴雨云团云特征的多种卫星资料综合分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18: 158-164.
- [11] 陈英英,周毓荃,毛节泰,等. 利用 FY-2C 静止卫星资料反演云粒子有效半径的试验研究[J]. 气象, 2007, 33(4): 29-34.
- [12] 周毓荃,陈英英,李娟,等. 利用 FY-2C/D 静止卫星等综合观测资料联合反演云宏微观物理特性参数产品及初步检验[J]. 气象, 2008, 34(12): 27-35.

# 陈英英等：FY-2C/D卫星微物理特性参数产品在地面降水分析中的应用

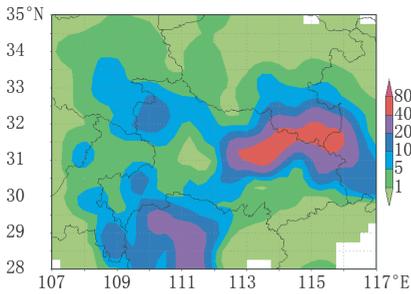


图 1 2008年8月16日14时MICAPS  
6小时加密降水资料

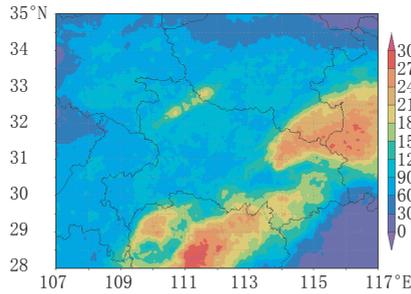


图 2 2008年8月16日9—14时  
6小时云液水路径均值

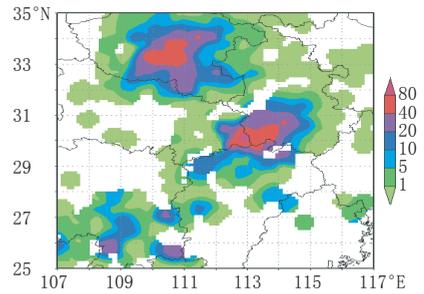


图 3 2007年7月14日14时MICAPS  
6小时加密降水资料

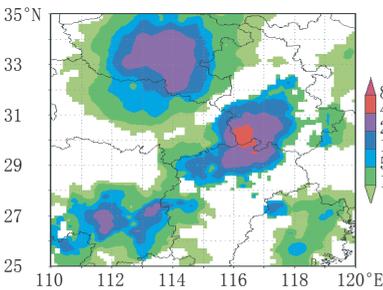


图 4 2007年7月14日14:30时FY-2C  
6小时降水估计资料

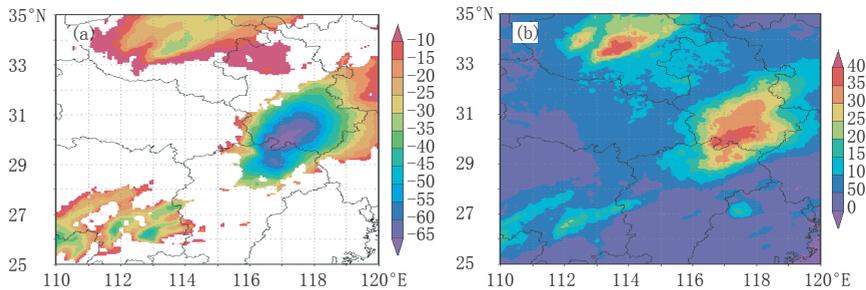


图 5 2007年7月14日09—14时FY-2C反演的云参数产品6小时均值  
(a) TBB (b) 云液水路径