

# 风云 3 号气象卫星资料在暴雨预报中的应用<sup>\*</sup>

徐双柱, 吴 涛, 张萍萍

(武汉中心气象台, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 介绍了风云 3 号(FY-3A)气象卫星资料应用示范项目《卫星资料在暴雨监测预报中的应用》的研究成果。讨论了以 FY-3A 资料为主, 结合风云气象卫星系列其他资料和数值预报产品等, 在云团识别的基础上计算云团特征量作为预报因子建立预报方程并计算云团最大降水量的暴雨临近预报方法, 以及使用 FY-3A 资料作为“配料法”配料之一的暴雨 6 h 落区预报方法。结果表明, 该方法对于暴雨的临近和短时预报有一定的指导作用。

**关键词:** 风云 3 号气象卫星资料; 风云 2 号气象卫星资料; 暴雨预报; 应用

**中图分类号:** P457.9; P414.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)03-0097-06

暴雨及其产生的洪涝灾害是一种对人类威胁较大的自然灾害, 长江流域是中国著名的暴雨多发地。卫星观测具有较大的空间覆盖率和时间分辨率, 可以快速对大范围降水的分布做出全面的监测, 已经成为监测和预报降水的重要手段之一。研究表明<sup>[1-6]</sup>, 利用气象卫星资料对暴雨进行观测, 能够有效地监测和预报暴雨的形成、移动以及持续时间等。近几年来, 随着卫星微波成像仪与垂直探测仪的出现, 人们可以更精确地进行气旋定位、结构特征分析与大气湿度的定量反演, 并可以计算降水率、云中含水量、气柱总含水量等。

随着风云系列气象卫星的发射, 我国的气象卫星遥感技术快速发展, 自主卫星产品日益丰富。武汉中心气象台从 2007 年开始针对风云 3 号 A (FY-3A) 气象卫星应用进行了一系列的开发和研究。本文重点讨论卫星资料在暴雨预报中的应用。

## 1 FY-3A 资料在暴雨云团降水临近预报中的应用

FY-3A 资料具有空间分辨率高、对暴雨云团指示意义较好等优点。本文以云团最大降水量来表示云团降雨能力。为检验 FY-3A 和 FY-2C (风云 2 号气象卫星) 资料对暴雨云团的预报性能, 分别设计了三种预报方法, 即 FY-2C、FY-3A 及 FY-2C + FY-3A 预报法。预报方法的思路是在云团识别的基

础上, 先计算出云团特征量, 并以此作为预报因子输入到预报方程中, 最后生成未来 3 h 内云团最大降水量的预报值。

### 1.1 云团降水预报方程的建立

#### 1.1.1 选取预报因子

为便于进行对比分析, 我们只从红外亮温资料中提取预报因子。预报因子包括:

(1) 云团最低亮温。云团的云顶亮温是能够反映云团降水强弱的最为重要的云图特征量, 由 FY-3A 资料分析可知, 暴雨云团的亮温较低, 亮温越低表示云顶越高。

(2) 云团最大亮温梯度。除云顶亮温之外, 另一个与降水强度密切的云团特征量是云顶亮温梯度, 它体现了云团内部的对流活跃程度, 与最低亮温选取方式相同。

(3) 云团亮温低值区面积百分比。云团内部较低亮温区域的大小能反映对流的发展程度, 亮温百分比定义为云团内部亮温低于某一阈值的面积占云团总面积的百分比。对于 FY-3A (FY-2C) 资料, 该温度阈值设为 223 K。

#### 1.1.2 建立样本资料集

对于每个暴雨个例, 先以手工方式从红外云图中选定暴雨云团范围, 然后计算云团最低亮温、最大亮温梯度、亮温面积百分比等预报因子。同理, 在雨量图中根据暴雨云团区域选择雨量站点, 提取出最大降水量做为预报量的真实值。针对 2008 年 13 个暴雨个例(其中 12 例用于建立预报方

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2010-11-18

基金项目: 中国气象局“风云 3 号气象卫星遥感开发与应用”和“卫星云图解译技术研究”项目

作者简介: 徐双柱(1964-), 男, 湖北黄梅人, 研究员, 主要从事天气预报研究. E-mail: xsz3180@163.com

程, 其余 1 例用于评估检验) 分别建立起 FY-3A、FY-2C 预报因子与预报量真实值之间的样本资料。

1.1.3 建立预报方程

根据样本资料, 采用多元线性回归方法分别建立运用 FY-3A、FY-2C 资料的预报方程。

$$y = a_0 + a_1 \times T_{\min} + a_2 \times TGrad_{\max} + a_3 \times AreaPer, \tag{1}$$

式中:  $y$  为云团最大降水预报量;  $T_{\min}$  为最低亮温;  $TGrad_{\max}$  为最大亮温梯度;  $AreaPer$  为亮温面积百分比;  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  分别为回归系数(表 1)。

表 1 云团最大降水量预报方程回归系数

回归系数名称	常数项 $a_0$	最低亮温 $a_1$	最大亮温梯度 $a_2$	亮温面积百分比 $a_3$
FY-3A	-53.291	-0.765	1.709	44.285
FY-2C	-101.914	-2.461	3.996	-25.256

1.2 FY-3A 与 FY-2C 预报性能对比

FY-3A、FY-2C 预报方法建立后, 使用独立的暴雨个例(同时具备 FY-3A、FY-2C 资料)评估其预报性能, 以云团降水预报的相对误差作为评估指标。其计算如下

$$Error = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|P_i - O_i|}{O_i}, \tag{2}$$

式中:  $P_i$  表示云团最大降水量预报值;  $O_i$  表示真实值。表 2 所示为 FY-3A 与 FY-2C 预报降水评估。

表 2 FY-3A 与 FY-2C 预报降水评估表 mm

序号	过程时间	最大降水 实况	FY-3A		FY-2C	
			预报	误差	预报	误差
1	2008-07-22 T 22:55	54.7	56.0	1.3	61.9	7.2
2	2008-08-28 T 23:00	67.8	33.1	-34.7	32.7	-35.1
相对误差			0.268		0.324	

由表 2 可知, FY-3A 降水预报的相对误差明显低于 FY-2C, 即 FY-3A 预报性能高于 FY-2C。

1.3 FY-3A + FY-2C 预报方法

采取通过对 FY-2C 预报因子进行订正, 并输入到 FY-3A 预报方程中预报云团降水, 从而克服 FY-3A 时次不足的缺点。根据 FY-2C、FY-3A 资料的对比分析, 发现 FY-2C 预报因子值普遍低于 FY-3A, 可用两者之间的差值作为订正值, 得到最低亮温、最大梯度、亮温百分比的订正值分别为 -9.384、7.659、0.364。

为检验 FY-3A + FY-2C 预报效果, 选取湖北省 2008 年 6 次暴雨过程进行评估(表 3), 限于雨量资料为整点的每小时降水, 只对整点时次的预报进行评估。

表 3 湖北省暴雨过程时间及资料列表

序号	暴雨过程时间(北京时)	云图文件数	雨量文件数	评估时次
1	2008-06-22 T 23:00 — 06-23 T 06:00	14	8	8
2	2008-07-01 T 14:00 — 07-02 T 14:00	45	25	25
3	2008-07-03 T 20:00 — 07-04 T 15:00	36	20	20
4	2008-07-22 T 12:00 — 07-23 T 08:00	37	21	21
5	2008-08-28 T 20:00 — 08-29 T 08:00	11	11	11
6	2008-08-29 T 20:00 — 08-30 T 08:00	12	12	12
合计		155	97	97

评估标准。以云团 0 ~ 3 h 预报区域内雨量站点 3 h 累积的最大降水量作为实况资料, 评估云团暴雨( $\geq 25$  mm)预报结果。采用 TS 评分方法, 即

$$TS = \frac{hit}{hit + false + failure}, \tag{3}$$

式中:  $hit$  表示暴雨预报成功次数;  $false$  表示暴雨预报空报次数;  $failure$  表示暴雨预报漏报次数。

评估结果: 通过对所有个例进行评估, 得到 FY-2C 和 FY-3A + FY-2C 预报的 TS 评分分别为 62%、63%, 经过 FY-3A 订正之后预报性能略有提高。

1.4 雷达资料在云团降水预报中的应用

由于雷达资料能直接反映云团低层的降水信息, 可用于识别亮温较低而对应地面无降水的卷云, 从而避免降水预报的异常偏大现象。在云团预报降水前, 先提取云团覆盖范围内的组合反射率因子、回波顶高、垂直累积液态水含量等三个回波特征量, 如三者均小于给定阈值, 则认为是卷云或低云, 从而不预报其产生的降水。在 FY-2C 降水预报算法中加入雷达回波信息后, 选取检验 FY-3A + FY-2C 预报的相同个例进行检验可知, TS 评分提高 3 %。

1.5 云团定量预报实例

2008 年 7 月 1 日湖北省出现暴雨过程, 具有短时强降水特点。此次暴雨共有 35(11)个雨量站点降水超过 25(50) mm/h, 主要影响鄂东北至江汉平原东部。在 FY-3A vir4 云图上, 鄂东北有一椭圆形强对流云团, 长度约 200 km, 宽度约 100 km, 结构紧密, 边缘亮温梯度较大, 且亮温

低值区面积较大, 中心最低亮温为 196 K, 表明云团内部对流发展十分旺盛。在 FY-3A *hs1*、*hs5* 分布图上, 暴雨区域分别对应 1 个亮温低值区, 亮温中心  $\leq 170$  K, 表明云团可降水量较大以及低层水汽含量充足。短时暴雨云团对应的雷达回波图上, 回波成东北—西南向带状分布, 中心组合反射率因子  $\geq 45$  dBz, 回波顶高  $\geq 14$  km, 垂直累积液态含水量  $\geq 10$  kg/m<sup>2</sup>, 回波缓慢向偏东方向移动。

此次过程, 暴雨区域与在 FY-3A *vir4*、*hs1* (*hs5*) 低值区对应较好, 云团 *vir4* 亮温梯度明显, 对应的回波强度较强且移动缓慢, 有利于产生短时暴雨。按照 FY-3A + FY-2C 预报方法加入雷达回波资料得到云团 3 h 最大降水量预报 (图 1)。

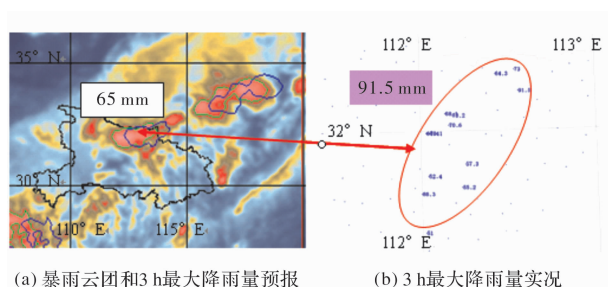


图 1 2008 年 7 月 1 日 16 时 3 h 预报和实况对比

## 2 FY-3A 卫星资料在暴雨短时预报中应用

“配料法”也称成分法, 是一种数值预报产品解释应用方法, 是用基本成分的观点预报降水的方法, 适用于暴雨和强对流天气预报。“成分”是指直接对降水事件的发展和强度有影响的基本物理量或过程。这些基本成分的正确搭配, 能产生预计的天气现象。对暴雨而言, 几个基本物理成分是上升强迫、不稳定和水汽。

不同的数值预报产品具有不同的预报效果, 预报效果好的几种数值预报产品结合则能更加完善数值预报的准确性。同样不同的云图产品 (FY-2C, FY-3A) 也各有所长, 能够从不同的方面反映降水云团的特性, 且云图信息与降水实况密切相关。因此, 在配料中加入卫星云图资料能够更好做出 6 h 暴雨落区的预报。

选择预报效果较好的几种数值预报产品的有效物理量, 加上 FY-2C 和 FY-3A 中与强降水密切相关的卫星云图特征量, 制定配料方程可以较好地预报出 6 h 暴雨落区。

### 2.1 FY-3A 卫星资料特征量

针对 2008 年 FY-3A 微波湿度计产品, 选取 1 274 个样本点, 计算出如下特征量进行分析:

① *hs1*: FY-3A 微波湿度计第 1 通道亮温 (水平极化), 可以用来探测云中含水量和强降雨、卷云等大气参数。

② *hs2*: FY-3A 微波湿度计第 2 通道亮温 (垂直极化), 可以用来探测云中含水量和强降雨、卷云等大气参数。

③ *hs3*: FY-3A 微波湿度计第 3 通道亮温, 主要探测 400 hPa 的大气水汽分布特征。

④ *hs4*: FY-3A 微波湿度计第 4 通道亮温, 主要探测 600 hPa 的大气水汽分布特征。

⑤ *hs5*: FY-3A 微波湿度计第 5 通道亮温, 主要探测 800 hPa 的大气水汽分布特征。

⑥  $ave = (hs1 + hs2)/2$ : 极化均值。

⑦  $hv = hs2 - hs1$ : 极化差。

⑧  $hv1 = hs2/hs1$ : 极化比。

⑨ *hs34*: 3、4 通道亮温差; *hs35*: 3、5 通道亮温差; *hs45*: 4、5 通道亮温差。

⑩ *sdl*: 深对流分布, 深对流结构判别算法如下:  $hs3 - hs4 > 0.05$ ;  $hs3 - hs5 > 0.05$ ;  $hs4 - hs5 > 0.05$ 。

针对微波温度计产品, 计算出如下特征量进行分析:

① *ts1*: FY-3A 微波温度计 1 通道亮温, 探测地表温度。

② *ts2*: FY-3A 微波温度计 2 通道亮温, 探测对流层底部温度 (600 hPa 左右)。

③ *ts3*: FY-3A 微波温度计 3 通道亮温, 探测对流层上层温度 (250 hPa 左右)。

④ *ts4*: FY-3A 微波温度计 4 通道亮温, 探测平流层温度 (90 hPa 左右)。

⑤  $ts21 = ts1 - ts2$ : FY-3A 微波温度计 1、2 通道亮温垂直梯度。

⑥  $ts32 = ts1 - ts2$ : FY-3A 微波温度计 2、3 通道亮温垂直梯度。

⑦  $ts43 = ts1 - ts2$ : FY-3A 微波温度计 3、4 通道亮温垂直梯度。

针对红外辐射计产品, 定标后, 计算出如下特征量进行分析:

*virr3*: FY-3A 红外辐射计 4 通道亮温, 相当于 FY-2C 红外 1 通道亮温数据。

*virr4*: FY-3A 红外辐射计 5 通道亮温, 相当于

FY-2C 红外 2 通道亮温数据。

## 2.2 FY-2C 和数值预报最佳配料因子的选取

根据 2007–2008 年汛期云团因子和数值预报产品因子与 6 h 降水量的对应关系, 挑选出与 6 h 暴雨联系密切的配料。经过分析发现, 初始时刻的云图因子中, 红外云顶亮温值、红外云顶灰度梯度与强降水有着较为密切的关系, 数值预报产品中, 分别从欧洲(ec)、t639、日本数值预报产品中选择出下面一些能较好反映强暴雨发生发展的配料, 其中水汽方面的配料为: 850 hPa 相对湿度(ec), 850 hPa 温度露点差(t639); 不稳定方面的配料为: K 指数(t639)湿位涡斜压项(t639); 抬升方面的配料为: 850 hPa 涡度和 200 hPa 散度(ec)、850 hPa 涡度和散度(t639),  $q$  矢量散度(t639), 日本和 t639 的降水预报被选为综合配料进入到配料方程中。

## 2.3 FY-3A 微波湿度计产品最佳配料因子分析和选取

在分析过程中, 首先将微波湿度计 5 个通道产品与 6 h 暴雨落区进行了个例对比分析, 发现当暴雨发生时, 5 个通道亮温均有反映, 且其低值区域均与暴雨落区吻合较好, 其对应的阈值分别为 260 K、260 K、240 K、250 K、250 K, 尤其是三个水汽通道在暴雨落区内表现出一定的低值, 说明当暴雨发生的时候, 通常从底层到高层都有明显的水汽输送带; 其次, 对于微波湿度计计算产品与 6 h 暴雨落区也进行了个例分析, 发现极化均值与暴雨落区吻合较好,  $hs34$ 、 $hs35$ 、 $hs45$  大于某阈值的高值区域与暴雨落区吻合较好, 其对应的阈值分别为 -10 K、-10 K、-5 K; 深对流分布则并不是所有的暴雨过程都有反映, 说明了暴雨过程与中底层水汽联系更为密切。极化比和极化差图像分析则表现出一定的特征, 即 6 h 暴雨落区中表现出明显的大、小值中心, 而暴雨点大部分分布在这些正负中心的夹缝地带。

选取 FY-3A 的  $hs1$  产品与 FY-2C  $T_{BB}$  产品进行个例对比分析发现, 对于强降水区域, FY-3A 微波产品比 FY-2C 产品可参考性更强, 与暴雨落区的关系更为密切, 能在一定程度上补充 FY-2C 产品所产生的空报和漏报现象(图 2)。

此外, 利用统计的方法对 FY-3A  $hs1$  和 FY-2C  $T_{BB}$  进行 6 h 暴雨落区的预报作用做了对比分析, 假设当 FY-2C  $T_{BB}$  小于某一个阈值时, 对未来 6 h 暴雨落区具有一定的预报指示作用, 通过统计的方法算出 FY-2C  $T_{BB}$  的最佳阈值以及 FY-3A  $hs1$  对

应的预报 TS 评分如表 4, 从表 4 中可以看出, FY-3A 微波产品比 FY-2C 产品对于 6 h 暴雨落区的预报指示作用更强。

表 4 2008 年汛期 FY-3A 的  $hs1$  与 FY-2C  $T_{BB}$  6 h 暴雨评分

	FY-3A_ $hs1$	FY-2C_ $T_{BB}$
阈值/K	260	240
TS/%	35.61	23.19
空报率/%	46.88	53.63
漏报率/%	17.51	23.18

## 2.4 配料综合指数方程

表示 6 h 强降水趋势的综合指数命名为  $SCI$  (Satellite-based Comprehensive Index) 认为该指数大于 45 时, 对应着 6 h 暴雨的出现。 $SCI$  的设计方程如下:

$$SCI = (qqq \times (insta + lift1 + lift2 + lift3) / 100 + zonghe0) / 4, \quad (4)$$

其中:

$$qqq = (rh\_850\_ec\_max - (hs5 - 273.15)) / (1 + (t - td)\_850\_t639\_min) \quad (\text{水汽含量, 饱和度}),$$

$$insta = aki\_t639\_max - mpv2\_850\_t639\_min + fy2c\_grad + fy2c\_convec \quad (\text{不稳定}),$$

$$fy2c\_convec = 250 - (fy2c\_tbb) \quad (fy2c\_tbb < 250k, \text{否则 } fy2c\_convec = 0, \text{表征深对流}),$$

$$lift1 = vor\_850\_ec\_max + div\_200\_ec\_max \quad (\text{大尺度抬升}),$$

$$lift2 = vor\_850\_t639\_max - div\_850\_t639\_min \quad (\text{中尺度抬升}),$$

$$lift3 = -qxy\_850\_t639\_min \quad (\text{垂直运动});$$

$$zonghe0 = 2 * rain\_japan\_6 \text{ h} + rain\_t639\_6 \text{ h} - (hs1) / 2 \quad (\text{降水产品}),$$

式中: max 和 min 表示 6 h 预报实效内的最大值和最小值;  $Rain\_6 \text{ h}$  表示 6 h 的降水总和;  $hs1$ ,  $hs5$  表示 FY-3A 微波湿度计第 1, 5 通道亮温值。

## 2.5 暴雨短时预报检验

按照预报 TS 评分方法, 分别对于日本降水预报、T639 降水预报、数值预报配料、数值预报配料加 FY-2C 和 FY-3A 方法在 2008 年 7–8 月时段进行了预报检验。结果表明, 对数值预报产品采用配料法的预报效果比单纯的数值预报降水产品有很大的提高, 在此基础上加入 FY-2C 的效果比其又有提高, 在此基础上加入 FY-3A 的效果比 FY-2C 的效果更好, 而数值预报、FY-2C、FY-3A 三者结合起来配料达到了最好的预报效果(表 5)。图 3 是 2008 年 7 月 2 日降水实况与 NWF + FY2C +

FY-3A 方法的 6 h 暴雨落区预报、日本数值预报模式的雨量预报的对比图。

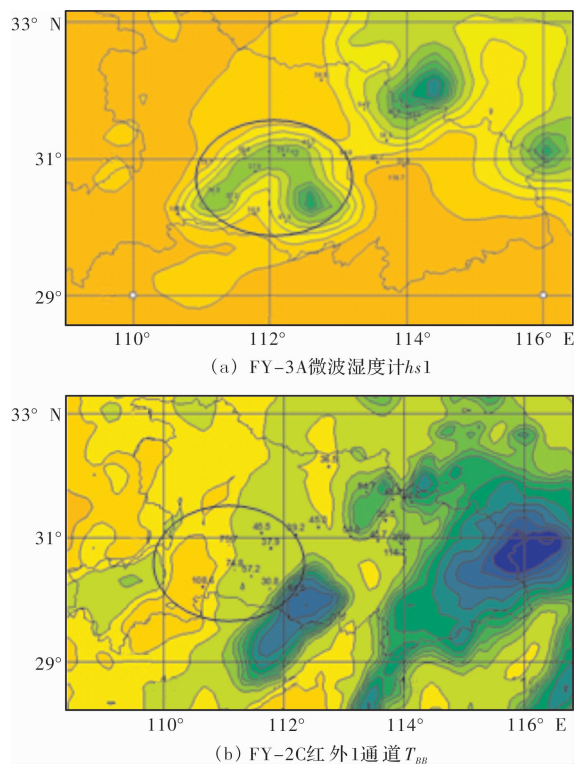


图2 2008年7月22日22时对比图(叠加 $\geq 30$  mm降水量)

表5 2008年7-8月份6h暴雨预报TS评分对比

	TS 评分/%	空报率/%	漏报率/%
日本降水预报	8.84	20.41	70.75
T639 降水预报	5.97	12.69	81.34
数值预报配料(nuf)	22.36	38.51	39.13
nuf + FY-2C	23.53	41.76	34.71
nuf + FY-3A	26.82	44.69	28.49
nuf + FY-2C + FY-3A	28.31	40.36	31.33

### 3 结束语

风云三号 A 卫星和风云二号 C、D 双星是基于不同平台的两个系列的气象卫星, 两者具有较强的互补性。本文将气象卫星资料结合其他资料一起制作暴雨的临近和短时预报, 进行了成功的尝试, 取得了一些初步的成果。

(1) 利用极轨气象卫星和静止气象卫星的各自优势, 实现了以 FY-3A 资料为主, 结合风云卫星系列其他资料, 在云团识别的基础上计算云团特征量作为预报因子建立预报方程, 计算云团最大降水量的暴雨临近预报方法。

(2) 利用暴雨“配料法”原理, 使用 FY-3A 资

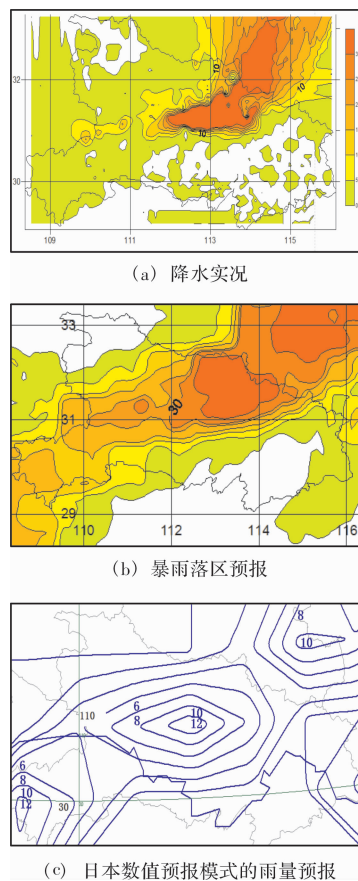


图3 2008年7月2日02时6h雨量实况和预报对比

料作为“配料法”配料之一结合数值预报产品实现了暴雨 6 h 落区预报方法。

(3) 初步检验结果表明, 云团最大降水量的暴雨临近预报方法和卫星云图配料的暴雨 6 h 落区预报方法对于暴雨的临近和短时预报有一定的指导作用。

说明: 参加本文研究工作的还有吴翠红、龙利民、周金莲等。

### 参考文献:

- [1] 白爱娟, 方建刚, 张科翔. TRMM 卫星资料对陕西及周边地区夏季降水的探测[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 41-45.
- [2] Scofield, Oliver V J A. scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery[C]//NOAA Tech Memo NESS 86. Washington DC: US Dept Commerce, 1988.
- [3] 中村和信, 土屋. 由日本 GMS 的空间平均资料推定降水量[J]. 天气, 1985, 32: 565-572.
- [4] Maddox R A. Mesoscale convective complex[J]. Bull Amer Met Soc, 1980, 61: 1374.
- [5] 白洁, 王洪庆, 陶祖钰. GMS 卫星红外云图强对流云团的识别与追踪[J]. 热带气象学报, 1997, 13(2): 158-167.
- [6] 林祥明, 林长城, 张长安, 等. 福建“98. 6”中尺度强降水红外云图特征量统计分析[J]. 热带气象学报, 2002, 18(3): 253-261.

## Application of Fengyun-3 Satellite Data in Rainstorm Forecast

Xu Shuangzhu, Wu Tao and Zhang Pingping

(*Wuhan Central Meteorological Office, Wuhan 430074, China*)

**Abstract:** Research results of demonstration project of meteorological satellite data application “Application of Satellite Data in Rainstorm Monitoring and Forecast for Fengyun-3 (FY-3A)” are introduced. By use of FY-3A data and other data of Fengyun satellites as well as numerical forecast products, based on cloud cluster identification, characteristic quantity of cloud cluster is calculated as forecast factor to establish prediction equation. The impending rainstorm forecast method for calculating the maximum precipitation of clouds and 6 hours rainstorm falling area forecast method by using FY-3A data as one ingredient are described. Results show that the methods are of guiding functions for forthcoming rainstorm forecast and temporary forecast.

**Key words:** Fengyun-3 satellite data; Fengyun-2 satellite data; rainstorm forecast; application

.....  
(上接第 87 页)

## Changes in the Ways of Social Response to Floods and Droughts in North China Plain during 1780 ~ 1819

Xiao Lingbo<sup>1</sup>, Fang Xiuqi<sup>2</sup>, Huang Huan<sup>2</sup> and Wei Zhudeng<sup>2</sup>

(1. *School of History, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

**Abstract:** Reconstruction of cases about how human society responded to floods and droughts in history would be instructive for current research on adaptation to climate changes. Based on historical documents and climate change research, 4 typical disasters (droughts in 1785, 1792, 1813; flood in 1801) in North China Plain during 1780 ~ 1819 are selected. With proxy indexes describing disaster situation, governmental disaster relief and victims' behavior, they are quantitatively reconstructed and compared with each other. The results are as follows. (1) Relief density index (quantity of relief supplies/affected counties) successively decreased in the 4 disasters, from 3.59 in 1785 to 0.56 in 1813, which means governmental disaster relief had been crippled in the period. (2) Victims' behavior was gradually lost of control, from upsurge of emigration in 1792 and 1801 to armed uprising in 1813. The transformation occurred as a result of negative interaction between government and civilians, under the pressure of abrupt climate change, overpopulation, and financial crisis in corresponding period.

**Key words:** 1780 ~ 1819; North China Plain; floods and droughts; social response