

刘 文¹ 赵玉金² 张善君²

(1. 山东省气象科学研究所, 济南 250031; 2. 山东省气象中心)

提 要

利用时空分辨率较高的 GMS-5 红外、可见光两通道 1:1 原始图像资料, 结合常规雨量观测资料, 通过对逐时降水率、日降水量的估计, 讨论了卫星遥感监测暴雨的技术方法, 建立了山东省暴雨遥感监测模型。实例分析表明, 暴雨监测图像产品直观清晰, 能较准确地监测暴雨发生的区域和面积, 实际应用取得较好的效果。

关键词: GMS 卫星 暴雨 遥感

引 言

暴雨是水资源的重要组成部分, 它起着解除旱情、满足工农业生产用水的重要作用, 而大范围的连续暴雨或雨量过份集中的大暴雨, 则往往造成洪涝灾害。暴雨主要是由中小尺度天气系统直接影响造成的, 常规气象资料受时、空分辨率的限制难以准确地监测其范围和强度。气象卫星的发展, 对灾害性天气系统尤其是中小尺度天气系统的监测提供了重要手段。从早期播发的低分辨率云图开始, 气象工作者就对强降水的云图特征进行了大量研究, 从而对暴雨落区进行定性分析。随着卫星遥感资料估计降水技术研究的进展, 应用数字图像资料估计降水的自动技术也相应发展起来。综合应用实时性强、时空分辨率高(每小时一次对地扫描, 加密观测半小时一次; 星下点分辨率红外通道为 5km, 可见光通道为 1.25km)的静止气象卫星多通道扫描资料估计降水, 可以弥补常规气象观测资料时、空分辨率的不足, 从而比较准确地监测暴雨发生的强度、范围和面积。本文利用 GMS-5 多通道资料, 结合常规雨量观测资料, 讨论了卫星遥感监测暴雨的技术方法, 建立了山东省暴雨遥感监测模型。

1 山东暴雨的天气气候特征

山东的暴雨(24 小时降水量 $\geq 50\text{mm}$)多出现在 6 月下旬至 9 月上旬, 主要受低槽冷锋、气旋、台风和切变线影响, 暴雨量约占本地总降水量的 20% ~ 30%。各地年平均暴雨日数在 1.3 ~ 3.5 天之间, 其分布趋势是自南向北逐步减少(图 1)。鲁南及胶东半岛东部为 3.0 ~ 3.5 天, 是全省暴雨最多的地区; 鲁北、鲁西北各地为 1.3 ~ 2.2 天; 其它地区在 2.0 ~ 3.0 天之间。年最多暴雨日数, 黄河两岸多在 4 ~ 5 天, 其它各地多在 6 ~ 9 天之间, 以枣庄最长达 10 天(1963 年)。各地一日最大降水量大多在 150mm 以上, 自东南向西北逐渐减少。鲁西北地区局部有 300mm

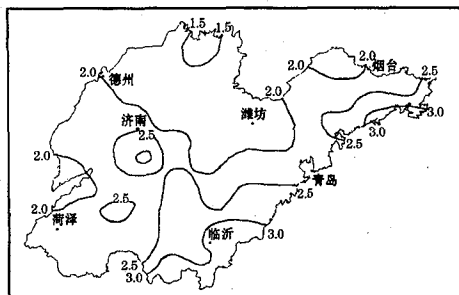


图 1 1971~2000 年山东省累年平均暴雨日数分布图(单位:天)

① 本文得到山东省计委“山东省国土资源遥感调查”项目资助。

雨量中心,鲁南、鲁东南分别有 500mm、600mm 中心。1999 年 8 月 12 日受减弱的热带风暴和西风带系统共同影响,诸城站日降雨量高达 619.7mm,是山东省有气象记录以来最强的一次局地暴雨。

2 暴雨遥感监测方法

利用逐时 GMS-5 红外、可见光通道资料估算出逐象元逐时降水量,将连续 24 小时估值进行累加得到日降水量估值,然后结合常规日雨量观测资料对日降水量估值进行融合订正,得到各象元观测点的日降水量,按暴雨、大暴雨分级标准得到全省暴雨遥感监测图像。

2.1 建模样本资料

为建立小时降水量与卫星资料的关系,使用 1995 年影响山东的 12 次降水天气过程 370 时次的 GMS-5 卫星遥感资料 and 对应时次全省 94 个气象站逐时自记降水资料,作为建模样本资料。GMS 卫星资料是经静止气象卫星中规模资料利用站 CMAPPS 系统接收处理生成的 4:1 可见光、1:1 红外 Lambert 投影图像。按卫星观测时次,对每一时次的 GMS 图像分别求取山东省各气象台站对应象元的可见光反照率和红外亮温。为了消除可见光反照率随太阳高度角的变化和象元交叉辐射、探测器噪声等影响,资料处理时将可见光反照率进行太阳高度角订正并取某象元附近 $3 \times 3 = 9$ 个象元观测的平均值作为该象元的观测值。卫星观测在每小时的 30 分开始,因此可将逐时正点雨量作为与卫星观测资料相匹配的一小时降水量。利用全省雨量自记站逐时降水资料,经加工处理后与站点信息、卫星资料等一起构成样本资料库。

2.2 小时降水量与卫星资料的关系

统计表明,当红外亮温在 0°C 以上或可见光反照率小于 45% 时,降水概率小于 10%^[1],即地面几乎不产生降水。为了便于探求卫星资料与逐时降水量的关系,参考日本学者研究 GMS-5 资料估测降水的卫星资料分层方法^[2],按红外通道 5°C 间隔、可见光资料 5% 间隔对红外亮温 0°C 以下、可见光反

照率大于 45% 的卫星图像样本资料进行分层。然后统计分析各分层卫星资料下的小时降水量(降水强度),结果如下:

(1)随红外亮温的降低,平均降水强度逐渐增大。不同分层红外亮温下平均降水强度的统计直方图(见图 2)。当红外亮温低于 -35°C 时,降水强度超过 $1.1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$,且随亮温的降低,降水强度迅速增大;亮温低于 -70°C 时,产生降水的几率达 100%,此时平均雨强为 $14.4\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

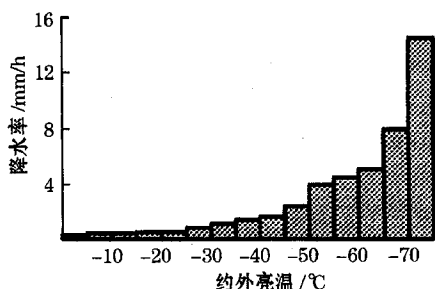


图2 不同红外亮温下的降水强度

(2)随可见光反照率的增大,平均降水强度也呈增大的趋势。当达到 60% 时,降水强度为 $0.5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$; 大于 80% 时,降水强度大于 $4.1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, 平均为 $5.2\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。不同分层可见光反照率下降水强度的统计直方图见图 3。

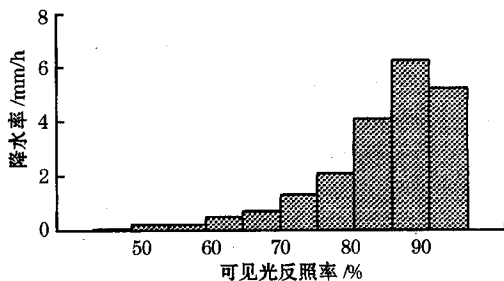


图3 不同可见光反照率下的降水强度

2.3 小时降水量估计模型

我国“八五”期间研究结果揭示了云的一些特征因子与地面降水的关系。如云的发展与消散在云顶亮温不很低时对地面降水的作用并不十分明显;云团合并会使降水增大,但增幅不超过 15%;云的梯度因子虽有随梯度

增大先增后减的趋势,但两者关系也不明显,且云的梯度随云顶亮温呈线性相关。因此,为简单起见,我们在作卫星降水估计时直接选取卫星观测的红外亮温和可见光反照率,而没有选取其它特征因子。

不同分层云顶红外亮温、可见光反照率下的小时降水量统计结果表明,逐时降水量随红外亮温降低或可见光反照率增大而增大。说明云顶越高(红外亮温低)、云层越厚(反照率高),地面降水呈增大趋势。两通道资料联合使用能够识别红外亮温较低、反照率较小的不降水高云,从而提高降水估计的精度。一小时降水量 r 与红外亮温 $IR1$ 、反照率 VIS 的回归方程为:

$$r = 0.2104 IR1 - 4.08 VIS - 0.4187 VIS \times IR1 + 2.34206 \quad (IR1 < 0^\circ\text{C}, VIS \geq 45\%) \quad (1)$$

由于夜间不能获取可见光资料,因此以上关系方程仅在白天有效。图2表明,一小时降水量随红外亮温的降低呈指数分布,根据不同红外亮温下降降水强度的统计结果,建立红外单通道资料的小时降水量估计方程为:

$$r = 0.2041 e^{-0.05362 \times IR1} \quad (IR1 < 0^\circ\text{C}) \quad (2)$$

以上两回归方程均通过0.001信度的相关性检验。

2.4 日雨量的初步估计

利用小时降水量估计模型,白天有可见光资料用方程(1),夜间无可见光资料用方程(2),可以逐像素估计一小时降水量,其连续24小时的累计降水量即为某像素日雨量的估计值。因此,日雨量的估计需要有连续逐时观测的24次卫星遥感资料。利用1995年7月24~25日、8月14~15日两次降水过程的逐时GMS卫星资料,对全省所有气象站所在像素的日降水量进行估计,并与实测日降水量进行分级比较检验。按24小时降水量分级标准,将各站实测雨量、卫星资料估计雨量均按无雨、小雨、中雨、大雨、暴雨5个级别进行分级。两者级别无差别的占

42%;级别相差一个级别的占49%;仅有9%的站相差两个级别。说明此方法对日降水的量级有一定的监测能力。

2.5 卫星估计雨量与地面降水测值的融合

为减小卫星资料估计降水的误差,进一步提高日雨量的估计精度,利用全省121站日雨量观测资料,采用卫星估计雨量与地面实测降水的融合技术对卫星估值进行订正。即先计算各气象站点所在象元的日雨量的卫星估值误差,得到卫星资料估计日雨量的误差分布,进而对各象元的卫星估测雨量进行订正,得到订正后的全省范围日雨量分布。在进行误差分析时采用距离权重方法,并考虑了方向性。设 R_s 为某象元卫星资料估计的日雨量,位于该象元东北、东南、西南、西北四个象限中离该象元最近的气象站的地面实测日降水分列 R_{Di} , 对应卫星资料估计日雨量为 R_{Si} , 离该象元的距离为 D_i , 则权重函数为:

$$p_i = D_i^{-2} / \sum_{i=1}^4 D_i^{-2} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

则经融合订正后该象元的日降水量为:

$$R = R_s + \sum_{i=1}^4 p_i (R_{Di} - R_{Si}) \quad (4)$$

2.6 暴雨遥感监测

为充分利用GMS卫星资料监测暴雨范围及面积,利用山东省域GMS卫星遥感图像处理系统^[3]对逐时红外、可见光通道1:1原始图像资料,进行图像非线性定位、红外图像重采样、可见光图像投影等处理,生成像素尺寸为 600×400 、1分(经度) $\times$ 0.75分(纬度)分辨率的山东省域范围等经纬度投影的卫星资料产品。用以上方法估计逐像素24小时日雨量,经常规雨量资料融合订正后的日雨量50.0~99.9mm区域为暴雨区, ≥ 100 mm区域为大暴雨区,即得全省暴雨监测分布图。暴雨(大暴雨)面积近似为山东省范围内所有暴雨(大暴雨)像素面积之和。像素面积用下式计算^[4]:

$$S = (f \times l) / (P_l \times P_f) \quad (5)$$

f, l 为像素所在地理坐标的经距、纬距, P_l 、 P_f 为图像上单位纬度、经度所含的像素数。

3 暴雨监测个例分析

(1) 2000年6月26日受中低层暖切变影响,鲁东南地区出现大到暴雨过程。6月26日06时至27日06时,青岛、胶南、诸城、邹县、泗水、五莲、费县、蒙阴等8县(市)雨量在50 mm以上,达暴雨量级;莒县、沂南、沂水、平邑等4县雨量在100 mm以上,为大暴雨。利用6月26日06时30分至27日05

时30分每隔1小时的GMS-5多通道云图资料,采用上述方法估计各卫星像素点日雨量,然后由6月26日06时至27日06时的全省气象站雨量资料进行融合处理,得到暴雨遥感监测图见图4。卫星遥感监测图与实况相符合。为验证其正确性,资料融合时将沂南、平邑、诸城等3站资料舍去,得到暴雨遥感监测图仍与图4一致,说明此方法是完全可行的。经计算暴雨区面积13456km²,大暴雨面积4408km²,总面积为17864km²(见表1)。

表1 部分暴雨监测个例分析

日期	暴雨发生地区	实测暴雨站数		遥感暴雨面积/km ²		
		暴雨	大暴雨	暴雨	大暴雨	总面积
1995年7月24日	山东半岛西北部	7		7189		7189
1995年7月25日	鲁北、鲁中局部	2		1522		1522
1995年8月14日	鲁西南	7	3	11198	636	11834
1995年8月15日	鲁西南	6	7	11997	6139	18136
1995年8月22日	鲁东南、半岛	26	5	48624	5443	54067
1995年8月29日	鲁西南	13		11616	26	11642
2000年6月26日	鲁东南	8	4	13456	4408	17864
2000年7月4日	鲁西	11	4	10517	5121	15638

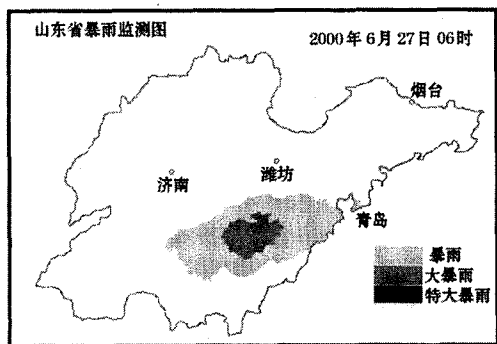


图4 2000年6月26日06时~27日06时暴雨卫星遥感监测图

(2) 2000年7月4日受西风槽和副热带高压外围共同影响,鲁西地区出现大到暴雨过程。7月4日06时至5日06时,平阴、德州、陵县、平原、夏津、武城、聊城、高唐、阳谷、莘县、冠县等11县(市)雨量在50mm以上,达暴雨量级;东明、临清、茌平、东阿4县(市)雨量在100mm以上,为大暴雨。分析卫星遥感监测图,暴雨区面积为10517km²,大暴雨面积5121km²,总面积达15638km²。

4 结论

GMS-5静止气象卫星具有时空分辨率高、多通道扫描等特点,充分利用其多通道遥感资料特别是高分辨率可见光通道资料,结合常规气象观测资料,可以较准确地监测暴雨发生的区域和面积。监测图像产品直观、清晰,对强降水监测和政府部门抗灾减灾有重要参考价值。但由于缺乏稠密的雨量观测记录,卫星遥感监测暴雨面积的精度还需进一步验证。随着气象台站地面观测实现遥测自动化,省级气象台可以实时获取全省气象台站每小时的雨量记录,通过静止气象卫星资料的遥感解译,可以更加准确、及时地监测暴雨的范围和强度。

参考文献

- 刘文,边道相,张苏平. GMS多通道资料综合判别可降水云. 气象, 1998, 24(2): 24~26.
- 中国气象局科教司. 省地气象台站短期预报员岗位培训教材. 北京:气象出版社, 1998: 170~171.
- 刘文,王以琳,张璇. 省域GMS卫星遥感图像处理系统. 气象, 1998, 24(11): 32~35.
- 董超华等. 气象卫星业务产品释用手册. 北京:气象出版社, 1999: 132~133.

Heavy Rain Detecting Technique by GMS Satellite Data

Liu Wen¹ Zhao Yujin² Zhang Shanjun²

(1. Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031; 2. Shandong Meteorological Center)

Abstract

Using fine spatial-temporal resolution GMS-5 multi-channel remote sensing data and conventional meteorological data, the methods to detect heavy rain is discussed by estimating hourly rainfall and daily rainfall, and a model of detecting heavy rain is developed in Shandong Province. The result shows that the technique has better effect.

Key Words: GMS satellite heavy rain remote sensing