

卫星估计降水量产品的优化处理及分区检验^①

徐 晶^{1,2} 毕宝贵²

(1. 中国气象科学研究院,北京 100081; 2. 国家气象中心)

提 要

经检验发现,由国家卫星气象中心反演并投入业务使用的 GMS-5 卫星红外估计降水量产品性能在我国存在一定的区域差异。利用实测雨量对卫星估计降水量产品进行优化处理,结果显示优化后的卫星估计降水量在全国各气候分区都有不同程度的改善。

关键词: 卫星估计降水量 GMS-5 最优化 分区检验

引 言

利用气象卫星遥感资料所进行的降水量估计,大大弥补了常规雨量观测过于离散和单个天气雷达探测范围过小的不足^[1]。特别是静止气象卫星以其较高的时间和空间分辨率,能够很好地反映快速变化的中尺度对流系统所产生的强降水。自 20 世纪 70 年代开始利用卫星估计降水量以来,人们陆续提出了许多将卫星资料反演为降水量的算法^[2],使卫星估计降水量资料得以广泛应用^[3~6]。

然而,由于国际国内普遍使用的几种降水量估计方法主要是针对强对流云团进行估计,从整体来讲其反演的准确性还不够高,存在较大的误差。比如,红外估计降水对活跃的对流降水效果较好,但是会低估层状云降水或虚测非降雨性的卷云降水,因为前者具有暖云盖而后者具有较低的云顶温度^[7]。因此,如何提高估计水平,更有效地利用卫星降水量估计资料,成为各地气象预报部门需要认真研究解决的问题。

我国地域辽阔,造成各地降水的天气系统各不相同。以往的研究多集中在针对某个小区域的卫星估计降水量技术,对于全国范

围内的各区域卫星估计降水量的效果尚缺乏全面的评估。利用国家卫星中心提供的能够覆盖我国大部分区域的静止气象卫星 GMS-5 红外估计降水量资料,发现 GMS-5 卫星估计降水量的性能在我国存在一定的区域差异。利用实测降水量通过最优化方法对卫星资料进行逐次优化处理,结果显示优化后的卫星估计降水量的效果在全国各气候分区都有不同程度的改善,最优化方法是提高卫星估计降水量准确性的一个实用方法。

1 资料来源和处理

1.1 GMS-5 红外卫星估计降水量资料

我国各地区利用 GMS 系列卫星已有十几年的历史,对卫星反演降水量的算法进行了大量的研究工作^[8~10],取得了丰硕的成果。这里采用国家卫星中心提供的 2002 年汛期 6~8 月间隔为 6 小时、总共 262 个时次的卫星估计降水量产品。资料的空间分辨率为 10km,覆盖范围为 15~55°N、80~140°E,覆盖了我国的大部分区域。

1.2 降水量实况资料

实况资料为气象站常规雨量筒观测的 6 小时实况雨量资料,分别为每日 02、08、14 和

^① 国家气象中心资助项目《卫星资料在天气预报中的应用》(TF2002A-13)。

20时。

1.3 资料处理

在对比分析卫星估计降水量资料和降水量实况资料时,先将卫星估计降水量的格点场资料插值到站点上,再与站点实况资料进行对比分析。由于卫星估计降水量的空间分辨率较高,连续性较好,采用简单的一次函数插值方法即可。而当利用实况资料对卫星估计降水量资料进行优化处理时,则先要将站点资料插值到经纬度网格场上,为构造目标函数(见第3节)做准备。这里采用 Barnes 客观分析方法^[11]将站点资料插值到经纬度网格点上。由于降水量分布是不均匀的,因此选取适当的网格间距对降水资料进行插值是很重要的,这里考虑到站点分布的疏密程度大约在 50km 左右,所以插值网格间距取为 0.5 度。

2 用常规降水观测优化卫星估计降水量

常规雨量计观测的空间分辨率不高,但对单点观测值准确;而卫星估计降水量空间分辨率较高,且空间点之间的相对强弱关系也较明确,但由于估算方法的局限使得估计降水量与实测值之间往往存在着误差,因此,将两种资料进行融合处理,各取所长,利用雨量计观测降水对卫星估计降水进行优化,以得到更接近于实测值的格点降水资料。这里采用最优化方法,使求得的待分析场按不同权重与实测场和卫星估计格点场之间的均方根误差达到最小。为此,构造目标函数如下:

$$J(X) = \frac{1}{2} \sum_{i,j} [\alpha(X - X_o)^2 + \beta(X - X_s)^2] \quad (1)$$

其中 X 为待分析场, X_o 为将站点资料插值到格点上的实测场, X_s 为卫星估计降水量的格点场, i, j 为格点指标序号, α, β 为相应的权重系数。权重系数的取法应使这两项具有相同的量级,本文中 $\alpha = 0.8, \beta = 0.2$ 。目标函数 $J(X)$ 反映了待分析场与不同资料的偏差的累积。至此,对卫星估计降水量的优化转化为求得使目标函数 $J(X)$ 达到极小的待分析场 X , 即经过优化的卫星估计降水量。

最优化数值方法采用 Liu 和 Nocedal 的 VA15 算法^[12]。

3 红外卫星估计降水量优化效果分析

为考察卫星估计降水量的效果和区域差异,将全国分成 8 个气候区域(东北、华北、西北、新疆、长江流域、西藏、华南和西南),对区域内每个站点的卫星估计降水量和实测降水序列按下式求相关系数:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式(2)中 x_i 和 y_i 分别表示某个站点的第 i 个降水量估计值和实况雨量值, \bar{x} 和 \bar{y} 则分别表示降水量估计值和实况雨量值的平均, n 为序列的样本总数。对区域内所有站点的相关系数求平均,来表征该区域两种降水值的总体相关程度。用均方根误差与实况平均雨量的比值

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{s,t} (x_{s,t} - y_{s,t})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{s,t} y_{s,t}} \quad (3)$$

计算各区域卫星估计降水量与实测降水之间的相对误差。式(3)中 $x_{s,t}$ 和 $y_{s,t}$ 分别表示第 s 站点的第 t 个降水估计值和实况值, n 为区域内所有站点的样本总数。

3.1 GMS-5 对我国不同区域估计降水量的结果分析

从 GMS-5 对我国不同区域在 2002 年汛期的降水反演产品进行优化前后的分析可以看出(图 1), GMS-5 对我国不同区域降水的估计效果各不相同。

对比优化前后的相关性分析结果(图 1a)发现,对于卫星估计降水量产品本身而言,除了西藏区域外,大多数地区相关系数相差不大,大多在 0.6 左右,北方地区如新疆、西北地区东部、东北以及华北相关系数要相对较高;均方根误差检验(图略)与相关系数检验结果类似,其中在西北地区东部和新疆的相关系数一直最高而且均方差较小,这可

能是与北方地区降水量较小有关,而在优化前均方根误差较大的值出现在长江中下游、华南,都超过了8mm,同时相关系数也相对较低,大约0.55左右,这与南方大多是对流性降水,降水频繁且量级较大有关。相对误

差(图1b)的情况略有不同,尽管西南地区东部和西藏地区的均方根误差较小,但相对误差最大,说明这两个地区降水量总体平均偏小,使得卫星估计降水量的不确定性相对地较为显著。

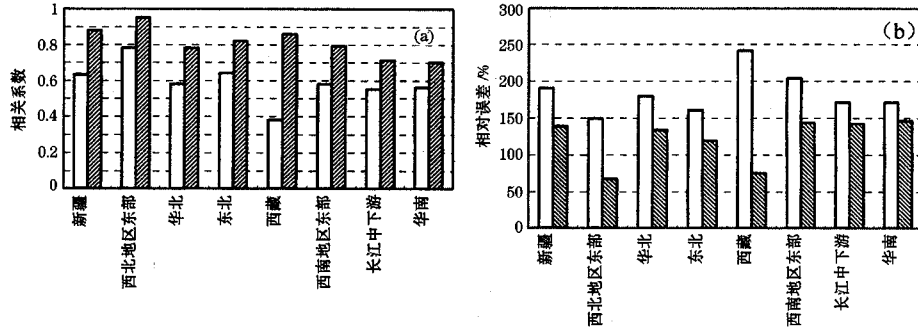


图1 2002年6~8月红外卫星估计降水量优化前后效果检验 (a)相关系数检验,(b)相对误差检验。白色表示优化前,阴影表示优化后

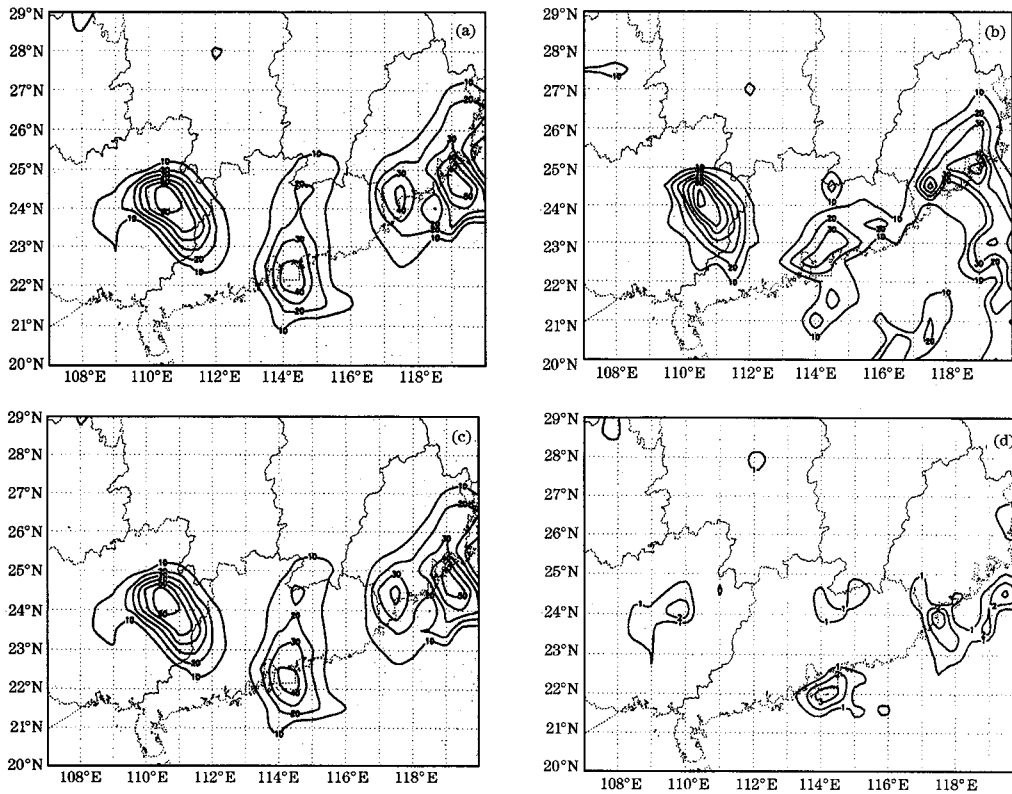


图2 2002年8月6日02~08时6小时降水分析 (a)实况降水,(b)红外估计降水量,(c)优化结果,(d)优化后结果与实况的偏差

经过优化后的各区的计算结果都不同程度地得到了改善,改进最明显的是西藏和西

北地区东部,优化后西北地区东部的相关系数达到了0.95,相对误差从149%降至

68%;西藏地区的相关系数从优化前的0.4上升到0.85,相对误差从241%降至76%。总体看来,优化后各区的相关系数都超过了0.7;均方根误差由小到大分别为西藏、新疆、西北地区东部、华北、东北、西南地区东部、长江中下游、华南,除了华南之外,相对误差都大幅度下降。可见,最优化方法用于改善卫星估计降水量产品的准确性,提高其实用性,效果是明显的。

3.2 GMS-5 红外估计降水量 6 小时降水分析

图2给出了2002年8月6日02~08时发生在华南的一次降水过程中的6小时降水的观测值(a)、卫星估计降水量(b)、优化结果(c)以及优化前后的比较(d)。此次降水的20mm以上的大值中心主要分布在三处:福建东南部、广东中部偏东的地区以及广西中东部地区。出现了5个50mm以上降水的站点。红外卫星估计降水量对这3个中尺度云团降水量有很好的估算结果,并对近海的降水量有一定的补充。但仍可以看到存在的一些问题,首先是估计降水区域的面积偏小,对福建和广东的降水量估计不足;另外对广东中北部的大雨,降水量估计偏小,在深圳,估计降水量只有37mm,比实测降水量少6mm。图2(c)给出了优化后的结果,与实况相比,广东中北部的大雨区范围比红外反演降水量有明显改善。图2(d)给出了优化后的结果与插值后的实况的偏差,可以发现大多数地区偏差不超过2mm,这说明优化结果已能很好地反映实际降水情况,可以满足实际应用的需要。

4 结 语

1. 从2002年6~8月GMS-5红外6小时估计降水量按全国分区的相关性和误差检验结果来看,国家卫星气象中心提供的GMS-5卫星估计降水量与实测降水量符合较好的地区主要是在新疆、西北和东北,在西南地区 and 高原,卫星反演降水效果较差,有一定的误差存在。

2. 因为实况观测降水量具有单点较高

的准确性,而卫星估计降水量产品能够很好地反映一定面积上雨量的变化,因此,用实况降水对卫星估计降水量产品进行优化,能够得到尽可能接近实况的分析场,提高卫星估计降水量产品的实用性。

3. 实验证明,利用最优化方法,可以使卫星估计降水量的准确度在全国各区都有不同程度的提高。优化后的检验结果表明,卫星估计降水量在全国各气候分区都有较大改善,其中在新疆、西北和西藏优化效果尤其明显。

参考文献

- 1 C Kidd. Satellite Rainfall Climatology: A Review. *International Journal of Climatology*, 2001, (21): 1041—1066.
- 2 王健康. 用卫星资料估测降水方法的评述. *气象*, 1993, 19(5): 3~8.
- 3 扬扬, 戚建国. 数字卫星云图估算面雨量的试验. *气象*, 1995, 21(3): 35~39.
- 4 刘本正, 赵守春, 孙献革. 卫星云图在短时降水预报中的应用. *气象*, 1998, 24(2): 31~33.
- 5 王登炎, 李德俊, 金琪. 变分法和卫星云图模式识别在强降水面雨量预报中的应用. *气象*, 2003, 29(3): 20~22.
- 6 刘文, 赵玉金, 张善君. GMS卫星遥感资料监测暴雨技术. *气象*, 2003, 29(3): 49~53.
- 7 R Scofield and R Kuligowsky. Status and Outlook of Operational Satellite Precipitation Algorithms for Extreme-Precipitation Events. *Weather and Forecast*, 2003, 18: 1037—1051.
- 8 卢乃锰, 吴蓉璋. 强对流降水云团的云图特征分析. *应用气象学报*, 1997, 8(3): 269~275.
- 9 阿迈德·迪狄安·迪阿罗, 刘晓阳, 毛节泰等. 卫星雷达联合重构大尺度流域降水场. *高原气象*, 2004, 23(1): 11~17.
- 10 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. *解放军理工大学学报*, 2004, 5(1): 88~92.
- 11 S Koch, M desJardins and P Kocin. An Interactive Barnes Objective Map Analysis Scheme for Use with Satellite and Conventional Data. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 1983, 22: 1487—1503.
- 12 D C Liu and J Nocedal. On the Limited Memory BFGS Method for Large Scale Optimization. *Mathematical Programming*, 1989, 45: 503—528.

Optimization and Zoning Test of Satellite Rainfall Estimation Product in China

Xu Jing^{1,2} Bi Baogui²

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2. National Meteorological Center)

Abstract

The regional inconsistencies among the performances of GMS-5 infrared band rainfall estimations in China released by the National Satellite Meteorological Center are found by regional tests. The raingauge measurements were applied to optimize the satellite rainfall estimation products. The analysis shows that after the optimization, the satellite rainfall estimations for all the climatic regions in China are improved significantly, and the products could therefore have more extensive applications.

Key Words: satellite rainfall estimation GMS-5 optimization