

基于 FY-2C 卫星资料估算四川 地面降水方法研究

王华荣^{1,2} 朱小祥¹ 徐会明² 顾清源²

(1. 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 四川省气象局)

提 要: 应用 2006 年 6 月 6 日 00 时(北京时)至 7 日 06 时四川地区的自动站降水资料和 FY-2C 静止卫星红外亮温资料,共 3854 对样本,分析发现 1 小时内的最低红外亮温和红外亮温增量两因子能很好地表征地面 1 小时累计降水量,且能有效地进行四川地面 1 小时降水估算,并由此建立了估算降水方法。通过对 2006 年 8 月 27 日 13—19 时,2006 年 8 月 28 日 04—16 时两个时段估算降水结果的初步检验来看,其均方根差都小于 2.0mm,随着最低亮温的增加,其均方根差也越小。由此可见,基于 FY-2C 静止卫星 1 小时内最低红外亮温和亮温增量来估算四川地面 1 小时降水是可行的,且效果较好。

关键词: FY-2C 卫星 红外亮温 降水估算

A Method of Rainfall Estimation in Sichuan Using FY-2C Geostationary Satellite Data

Wang Huarong^{1,2} Zhu Xiaoxiang¹ Xu Huiming² Gu Qingyuan²

(1. National Meteorological Satellite Center, Beijing 100081;

2. Meteorological Bureau of Sichuan Province)

Abstract: A statistical analysis of satellite rainfall estimation is performed using 3854 pairs of FY-2C infrared cloud-top temperatures and rainfalls from automatic meteorological observation station on 06-07 June 2006 from 0000 to 0600 (Beijing Time). It is found that one hour accumulated rainfall amount can be estimated for Sichuan in real time based on the lowest infrared cloud-top brightness temperature and the change of IR cloud-top temperature in one hour. Using this method, a standard database for satellite rainfall estimation is established. The 1-h rainfall rates on 27 August 2007 from 1300 to 1900 and on 28 August 2007 from 0400 to 1600 (Beijing Time)

资助课题: 四川省气象局《短期、短时强降水落区预报系统》和国家自然科学基金项目(40775032)。

收稿日期: 2007 年 12 月 26 日; 修定稿日期: 2008 年 4 月 6 日

are achieved in Sichuan based on the database. The RMSE of rainfall estimations at each IR temperature level is less than 2.0mm. The higher the lowest infrared cloud-top temperature, the less the RMSE of the estimated rainfall rate. The method is feasible for the rainfall estimation of Sichuan.

Key Words: FY-2C satellite TBB rainfall estimation

引 言

定量估计降水对天气预报有重要的作用,特别对洪涝灾害的预报十分重要。获取降水信息的方法很多,有地面直接测量,也有间接估计,如卫星、雷达等。地面直接测量精度较高,但其空间分辨率低,时效性也很差,特别是对于降水分布不均匀的对流性降水,其测量的代表性就更差,不能很好表征较大面积的降水分布。通过地面雷达可以间接估计得到时空分辨率很高的降水分布,但其覆盖范围有限,对山脉、高原、海洋等地区的降水基本上无法测量估计;四川省地形复杂,由于高原、山脉的影响,雷达资料估算降水受到很大的限制,同时雷达资料估算降水也受算法和设备等因素影响。事实上,在山脉、高原等地形复杂的地区很容易出现山洪、泥石流等灾害,而静止卫星能够实时连续对地进行观测,应用其资料来估算降水,对上述灾害和引发这些灾害的强降水天气的实时监测、服务具有非常重要的作用。从业务实用上来看,静止卫星的时间分辨率要大大好于极轨卫星,尽管极轨卫星微波资料反演降水精度可能更高。

关于静止卫星资料估算降水的研究已很多^[1],Adler^[2-3]等应用一维云模式建立对流核心的云顶亮温与降水率和降水面积之间的关系,Goldenberg^[4]等应用上述方法进行 MONEX 试验期间降水,Goodman 等人^[5]的非线形反演估算,卢乃锰^[6]等应用 GMS-4 红外资料详细分析了云顶亮温等与云的降水强

度之间的关系,Li Jun^[7-8]等分别对白天、晚上的云图分类,找出对流核心后建立核心云顶亮温与降水量、降水面积之间的关系,杨扬^[9]等使用云分类和降水率估计方法获取面雨量等等。这些研究基本上都用到了云顶红外亮温这个关键因子,但是均取值于某一固定时刻的云顶红外亮温;事实上降水量是一时段内的累积降水,而由静止卫星获取的辐射资料是一个时刻的,上述两者的对应统计关系怎样描述更好?同时,一个时段内的降水除了与云顶亮温有关外,一些研究^[10-12]认为还与云顶亮温变化有关,然而 Vincente^[13]等一些研究仅以此作为简单修正因子。因此,本研究主要探讨用一段时间内的最低红外亮温以及红外亮温变化两个因子来表征并估算地面降水。

1 资料及其处理

使用 FY-2C 静止卫星等经纬度红外通道 1(10.3~11.3 μ m)亮温资料(IRT1),覆盖范围为 20~38°N、87~114°E,四川省完全处于此区域内,资料分辨率为 10km $\times$ 10km;自动站资料为省内所有站点的 1 小时累计降水资料。所取卫星资料和自动站降水资料的时段:2006 年 6 月 6 日 00 时(北京时,文中所有时间均为北京时间)至 6 月 7 日 06 时,作为统计使用;2006 年 8 月 27 日 13 时至 19 时,2006 年 8 月 28 日 04 时至 16 时,作为检验使用。

由于卫星资料的分辨率为 10km $\times$ 10km,而自动站资料为定点的,所以在选取

自动站经纬度上对应的卫星资料时,以自动站经纬度所在的卫星像元为准。

2 设计方法

应用 2006 年 6 月 6 日 00 时至 7 日 06 时的逐时省内自动站 1 小时降水量资料和对应的红外亮温资料,总共 3854 对样本,可以得到红外亮温(红外通道 1)与该时刻地面 1 小时累计降水量之间的统计关系,如图 1。一般来讲,红外亮温越低,表征云发展较强,总体上降水也越大。但从图 1 中看出,红外亮温与降水量之间的变化趋势并不是一致,特别是在红外亮温 200~220K 这一阶段。由此看出,以一个时刻的红外亮温来规律性表征一个小时的降水是不确切的。事实上,在一个小时内,云的发展情况很复杂,一些云增强或减弱较强,亮温有很大的变化。为了更好地描述出它们之间的关系,一个小时之内的最低红外亮温(由于一小时内只有初时刻或末时刻卫星资料,所以为两者中的最低值)被选作红外亮温因子,由此可以得到图 2。由图 2 可以看出,总体上随着最低红外亮温的减小,地面 1 小时累计降水量同比增大,反之成立。因此,最低红外亮温可以规律性表征并估算地面 1 小时累计降水的。

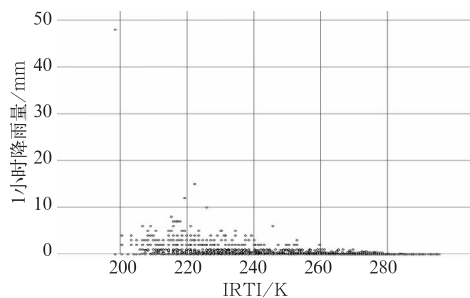


图 1 红外亮温与该时刻的地面 1 小时累计降水量之间的关系示意

为了更好地分析并描述 1 小时内云的发展情况(亮温变化),先定义“亮温增量”为一时段内的末时刻亮温减去初始时刻亮温,单

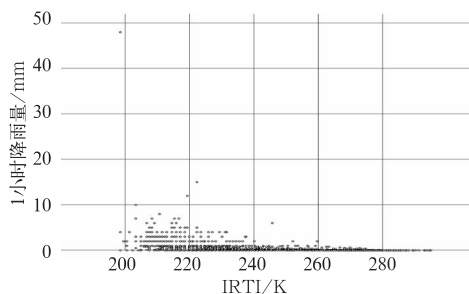


图 2 1 小时内最低红外亮温与地面 1 小时累计降水量之间的关系示意

位为 K,亮温增量为负表示发展阶段,为正表示减弱阶段。图 3 给出了地面 1 小时累计降水量与 1 小时亮温增量之间的关系示意,纵坐标为地面 1 小时累计降水量,横坐标为 1 小时亮温增量。由图 3 可以看出,处于较强的发展阶段或者减弱阶段,降水较小,甚至没有降水;而出现降水或者降水较大的情况是亮温增量的绝对值较小,发展或减弱程度较小,出现最大降水为 48mm,其亮温增量为 0。总体趋势上讲,地面 1 小时累计降水与 1 小时亮温增量近似服从正态分布。然而处于不同最低红外亮温层次,其分布规律并不一样,如图 4 所示。由于考虑到样本数目,选用一个最低红外亮温区间的样本来统计;加之篇幅有限,文中仅选了 4 个区间。其中,图 4a 表示应用最低亮温在 205~210K 之间的样本得到的地面 1 小时累计降水量与 1 小时亮温增量之间的关系示意,图 4b 表示 215~220K 之间的,图 4c 表示 220~225K 之间的,图 4d 表示 230~235K 之间的。

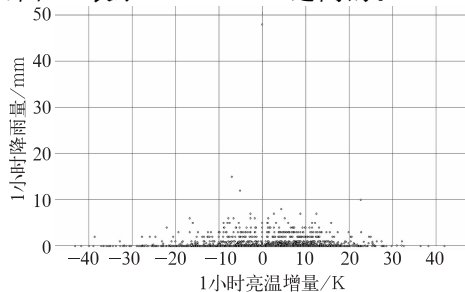


图 3 地面 1 小时累计降水量与 1 小时亮温增量之间的关系

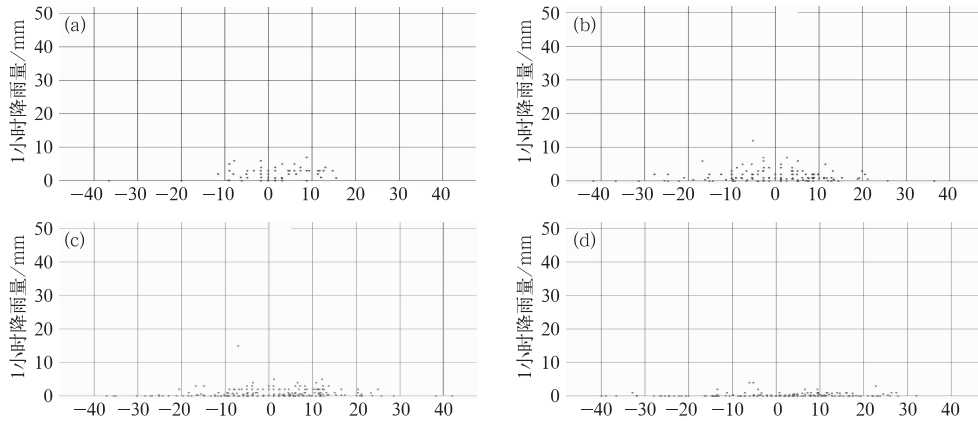


图 4 205~210K(a)、215~220K(b)、220~225K(c)及 230~235K(d)层次
地面 1 小时累计降水量与 1 小时亮温增量之间的关系示意

基于上述分析,考虑到 1 小时内最低红外亮温和亮温增量是表征地面 1 小时累计降水的重要因子,所以基于上述两个因子对地面 1 小时降水进行估算。由图 2 可知,在最低亮温大于 260K 后,降水几乎没有,所以设置最低亮温范围在 195~260K 之间,每隔 5K 作为一个最低亮温层次,共 13 个层次,用 j 表示。由图 3 可以看出,1 小时亮温增量范围处于 -50~50K 之间,所以在每个亮温层次上,将 1 小时亮温增量划分成 10 个区间,每隔 10K 作为一个区间,用 i 表示。这样在最低亮温 j 层次上的平均 1 小时累计降水量 $\bar{R}_j$ 为:

$$\bar{R}_j = \frac{1}{K} \sum_{m=1}^K R_{jm} \quad (1)$$

其中 R_{jm} 表示在最低亮温 j 层次上的 m 样本 1 小时累计降水量,共 K 个样本, $j=1, 2, \dots, 13$ 。基于公式(1),可以获得最低亮温在 j 层次上并且亮温增量在 i 区间内的卫星资料估算降水量 R_{ij} 为:

$$R_{ij} = \bar{R}_j + \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L (R_{ijn} - \bar{R}_j) \quad (2)$$

其中 R_{ijn} 表示在最低亮温 j 层次上并且亮温增量在 i 区间内的 n 样本 1 小时累计降水量,共 L 个样本, $i=1, 2, \dots, 10, j=1, 2, \dots,$

13。

由公式(1)和(2)就可以建立以 1 小时内最低红外亮温和红外亮温增量为因子的卫星估算降水方法。

计算估算降水结果的均方根差(e_{rms})为:

$$e_{rms}^2 = \langle (R_s - R_r)^2 \rangle \quad (3)$$

其中 R_s 表示卫星估算降水量, R_r 表示自动站实测 1 小时累计降水量, $\langle \rangle$ 符号表示求平均值运算,单位为 mm。

3 结果分析与检验

由公式(1)和(2)建立了卫星资料估算地面 1 小时累计降水方法,应用这个方法可以得到 2006 年 6 月 6 日 00 时至 7 日 06 时逐时估算降水结果,基于公式(3),图 5 给出了此时段的估算结果均方根差。从图 5 来看,除了在 195~200K(最低亮温)这个层次上的估算结果均方根差较大外,其他层次上的均方根差较小,均低于 2mm;随着最低亮温的增大,其均方根差也越小,在 230~260K 范围内,均方根差低于 0.7mm。造成 195~200K 这个层次上的反演结果均方根差较大的原因,可能是样本太少,并且出现 1 小时下 48mm 的较为极端的降水;也可能是强降水

的随机性与很不均匀性,因为自动站为定点,而卫星像元分辨率为 $10\text{km}\times 10\text{km}$ 。

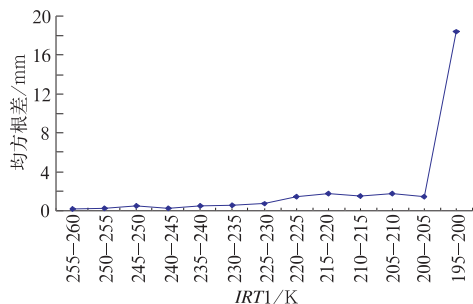


图 5 2006 年 6 月 6 日 00 时至 7 日 06 时逐时估算结果均方根差

为了初步检验估算方法的准确性和试验业务实用性,选用了 2006 年 8 月 27 日 14—19 时,8 月 28 日 04—16 时两个时段资料,基于上文 3584 对样本来建立的 1 小时降水量和两个亮温因子之间的关系(降水量数据库),根据这个数据库来估算 8 月这两个时段的地面累积降水量。由公式(3)可以得出这两时段的估算结果的均方根差,如表 1 所示。从表 1 可以看出,2006 年 8 月 27 日 13—19 时这一时间段的估算结果的均方根差很小,最小仅为 0.05mm ,最大为 1.59mm ;特别在最低亮温较低的层次上,均方根差较小,说明对较强降水的估算效果非常好。对于 2006 年 8 月 28 日 04—16 时这个时段,其均方根差虽然相对 2006 年 8 月 27 日 13—19 时这一时间段的均方根差来说偏高,但是其最大均方根差在 1.84mm 之下(由于没有发展很强的云系,所以 $195\sim 200\text{K}$ 层次上没有资料)。从这些结果来看,说明基于 1 小时内最低亮温和亮温增量两个因子能够有效并较好地估算地面 1 小时累计降水。

为了更形象直观地给出估算效果,图 6 (见彩页)给出了 2006 年 8 月 27 日 13—19 时的卫星估算降水量。同时由于估算的 1 小时累计降水量的跨度很大,在显示时遇到调

色等问题,因而所有估算雨量图均被设定为 8 个量级,即: $0.1\leq R<0.3$, $0.3\leq R<1.0$, $1.0\leq R<2.0$, $2.0\leq R<3.0$, $3.0\leq R<5.0$, $5.0\leq R<10$, $10\leq R<15$, $15\leq R$ (单位: mm)。从图 6 可以明显地看出,此时段是四川北部云系处于较快较强发展的阶段,其降水范围在不断地加大,降水强度在不断增强。特别有意义的是图 6e 和 f,在 32°N 、 98°E 附近出现了较强降水中心,在估算的强降水中心范围内出现了没有降水量的区域。在某种意义上讲这是合乎事实的,因为对于夏季较强的对流系统,其降水局地性很强。当然也可能是前文提到的对于发展或减弱较强的云,其降水是非常小的;这类云可能是如一些由对流形成的云砧,因为云砧的扩散造成一些像元点的红外亮温变化很大,但其对应下方地面降水是不明显的。

表 1 2006 年几个检验时段的卫星估算降水结果的均方根差

层次	时段			
	8 月 27 日 13—19 时		8 月 28 日 04—16 时	
	样本个数	均方根差	样本个数	均方根差
255~260K	50	0.05	86	0.23
250~255K	55	0.06	65	0.75
245~250K	28	0.09	61	0.28
240~245K	39	0.20	66	0.14
235~240K	21	0.34	57	0.64
230~235K	15	0.76	47	0.31
225~230K	9	1.30	60	0.59
220~225K	7	0.56	42	0.85
215~220K	3	0.97	12	1.60
210~215K	4	1.59	15	1.78
205~210K	1	1.23	9	1.84
200~205K	2	0.33	3	1.20
195~200K	1	1.10	无样本	无样本

4 结论与讨论

综上所述可知:1 小时内最低红外亮温可以规律性表征地面 1 小时累计降水,总体上随着最低红外亮温的减小,地面 1 小时累

计降水量同比增大,反之成立。

同时,总体趋势上地面 1 小时累计降水量与 1 小时亮温增量近似服从正态分布。处于较强的发展阶段或者减弱阶段,降水较小,甚至没有降水;而出现降水或者降水较大的情况是亮温增量的绝对值较小,发展或减弱程度较小。然而在不同的最低红外亮温层次上,其分布规律并不一样。

基于 1 小时内最低红外亮温和亮温增量两个重要因子,能有效进行四川地面 1 小时降水估算;通过几个时段的初步检验结果来看,其均方根差都小于 2.0mm,随着最低亮温的增大,其均方根差也越小。

由于地面降水是非常复杂的,特别是较强的极端性降水,如上文中提到的 1 小时地面降水达到 48mm,其随机性和地域性给估算带来很难解决的问题,下一步将分析解决这样的较少出现的极端降水情形。

本文在进行卫星资料估算降水时仅选取了红外通道,事实上还有其他通道资料对降水估算带来更为积极的作用;而且可以在此基础上进行其他一些估算修正,结果可能会更好,这将在下一步分析。当然在这些结果基础上,如果能够合理地外推描述云系亮温的变化,这将对短时降水预报非常有益。

参考文献

- [1] 王健康,用卫星资料估计降水方法的评述[J]. 气象, 1993,19(5):4-8.
- [2] Adler R. F. and A. J. Negri. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall[J]. J. Appl. Meteor.,1988, 27:31-51.
- [3] Adler R. F. and R. A. Mack. Thunderstorm cloud heigh-rainfall rate relations for use with satellite rainfall estimation techniques[J]. J. Clim. Appl. Meteor.,1984, 23: 280-296.
- [4] Goldenberg S. B., R. A. Houze and D. D. Chrchill, Convective and stratiform components of a winter monsoon cloud cluster determined from geosynchronous infrared satellite data[J]. J. Meteor. Soc. Japan,1990, 68:37-63.
- [5] Goodman B., D. W. Martin, W. P. Menzel, and E. C. Cutrim, A non_linear algorithm for estimating 3-hourly rain rates over Amaazonia from GOES/VISSR observations[J]. Remote sens. Rev.,1994,10:169-177.
- [6] 卢乃锰 吴蓉璋. 强对流降水云团的云图特征分析[J]. 应用气象学报,1998,8:269-275.
- [7] Li Jun, Wang Luyi and Zhou Fengxian. Convective and stratiform cloud rainfall estimation from geosynchronous satellite data[J]. Adv. in. Atmos. Sci.,1993, 10:475-480.
- [8] 王立志,李俊,周凤仙. GMS-5 四通道云图的自动分类及其在定量降水估算中的应用[J]. 大气科学, 1998,22:371-378.
- [9] 杨扬,戚建国. 数字卫星云图估算估算面雨量的应用试验[J]. 气象,1995,21(3):35-39.
- [10] Woodley W. L., A. R. Olsen, A. Herndon, and V. Wiggert, Comparison of gauge and radar methods of convective rain measurements[J]. J. Appl. Meteor.,1975,14:909-928.
- [11] Griffith C. G., W. L. Woodley, P. G. Grube, et al. Rain estimation from geosynchronous satellite imagery: Viserble and infrared studies[J]. Mon. Wea. Rev.,1978,106:1153-1171.
- [12] Scofield R. A., The NESDIS operational convective precipitation technique[J]. Mon. Wea. Rev.,1987,115: 1773-1792.
- [13] Vincente G. A., Scofield R. A., and W. P. Menzel. The operational GOES infrared rainfall estimation technique [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1998,79:1883-1897.

王华荣等：基于FY-2C卫星资料估算四川地面降水方法研究

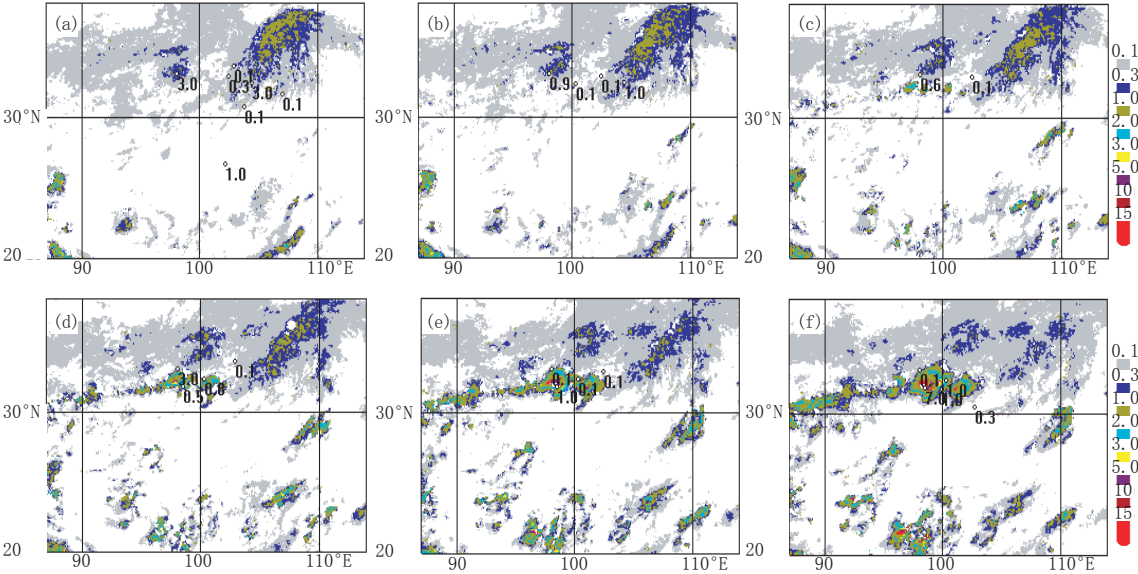


图6 2006年8月27日14—19时FY-2C静止卫星资料逐时反演1小时累计降水量
区域:20~38°N、87~114°E, 色标单位: mm, 图中小圆圈旁数字为实测自动站降水, 单位: mm。
a. 14时 b. 15时 c. 16时 d. 17时 e. 18时 f. 19时