

用 GMS 双谱资料估计湿度场及其在数值预报中的应用*

王登炎

俞康庆

(武汉中心气象台, 武汉 430074)

(武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

提 要

对 GMS 红外和可见光两个通道的资料进行了处理, 并估计出了 700 hPa 和 850 hPa 两个层次的湿度场. 将卫星资料估计的湿度场取代数值模式通常的客观分析湿度场进行了对比业务试验. 业务运行表明, 应用卫星资料后, 预报结果有较大改进.

关键词: 双谱资料 湿度 数值预报

引 言

数值预报问题是一个微分方程的初值问题. 必须先根据观测资料分析出初始场, 然后用数值模式逐步积分作出预报. 但是, 现有的常规气象站网观测的时空密度只适应于大尺度天气过程, 无法提供中小尺度大气结构与过程资料, 并且在许多地方(海洋、高原、沙漠等)是缺测的. 因此在分析某一时刻的资料时, 常规观测网所提供的资料是不精确的, 这势必对预报结果造成严重影响. 新一代气象探测系统(卫星、雷达、UHF 风廓线仪等)所提供的非常规资料, 正好可以弥补常规资料的不足. 本文主要讨论如何在暴雨数值预报中应用 GMS 卫星红外和可见光资料.

1 资料处理

资料处理包括两方面: ① 在将卫星资料与数值预报产品和常规天气资料进行对比分析时, 将坐标统一到麦卡托投影上, 采用麦卡托投影方程、兰勃脱投影方程等^{[1][2]}进行坐标转换. ② 在应用 GMS 资料时, 由于可见光资料数据受太阳天顶角的强烈影响, 必须进行订正, 将太阳天顶角统一订正到为零的情形^[3].

2 云分类及暴雨云团模式识别

2.1 特征提取

红外云图上的亮度 $I(m, n)$ 反映了云顶的温度, 可见光云图上的亮度 $V(m, n)$ 反映

* 该项工作得到了 85-906-03 课题的支持.

1996-02-16 收到, 1997-03-14 收到再改稿.

了云面的反照率,二者是云系的两个重要特征.此外,还选取二者之和作为云的一个特征.

云系的等值线可以反映云系的形态特征,我们提取红外云图上温度为 -53C 和 -32C 的等值线作为云系的形态特征.

设云系等值线的参数方程为:

$$U(t) = X(t) + iY(t) \quad (1)$$

其中 $U(t)$ 是一个以 2π 为周期的周期函数,对其进行傅里叶展开

$$U(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{-int} = P_a + \sum_{n=1}^{\infty} [P_n e^{int} - P_{-n} e^{-int}] \quad 0 \leq t \leq 2\pi \quad (2)$$

式中,傅里叶系数 P_n 为

$$P_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U(t) e^{-int} dt \quad n = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (3)$$

下列参数能较好地反映云系的形态特征:

$$\text{圆形度} \quad F_1 = \frac{|P_1|}{\sum_{n=1}^{\infty} (P_n + P_{-n})} \quad (4)$$

$$\text{散射度} \quad F_2 = \frac{S_2}{4\pi^2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} n (|P_n|^2 - |P_{-n}|^2) \right]} \quad (5)$$

其中 S 为等值线的周长.

2.2 分类及识别

分类及识别的依据是同样的云系在红外(IR)和可见光通道(VIS)具有不同的特征,如卷云在红外云图上色调较亮,即云顶温度较低,而在可见光云图上色调较暗,即反照率较小(见表1).

(1) 对流云 从表1看出,对流云在可见光通道,其反照率最大,在红外通道,云顶温度也最低,二者之和可以突出表现对流云的特征:

$$I(m, n) + V(m, n) \geq L_1 \quad (6)$$

(2) 多层云系 由表1可知,多层云系在可见光通道,反照率仅次于对流云,云顶温度也很低,故判别式为:

$$L_2 \leq I(m, n) + V(m, n) < L_1 \quad (7)$$

(3) 卷云 单独出现的卷云云顶温度低,但反照率很小,故可用下式判别:

$$\begin{aligned} I(m, n) &\geq L_3 \\ V(m, n) &\leq L_4 \end{aligned} \quad (8)$$

(4) 层云 层云与卷云正好相反,云顶温度高但反照率较大

表1 各种云系的反照率及云顶温度

Table 1 The albedo and cloud top temperature of different clouds

云类	反照率 VIS(%)	云顶温度 IR(C)
积雨云(大)	92 左右	≤ -53
积雨云(小)	86 左右	≤ -53
多层云系	74 左右	≤ -32
层状云	69 左右	-10 左右
层云(厚)	64 左右	0 左右
层云(薄)	42 左右	≥ 5
卷云单独出现	36 左右	≤ -39
卷云砧(厚)	50 左右	≤ -46

$$\begin{aligned} I(m, n) &\leq L_5 \\ V(m, n) &\geq L_6 \end{aligned} \quad (9)$$

(5) 暴雨云团 暴雨云团除了满足对流云的条件外, 还应有足够大的面积, -32C 和 -53C 线形态非常相似, 红外通道上较光滑, 可用如下条件识别:

$$\begin{aligned} I(m, n) + V(m, n) &\geq L_1 (\text{面积} \geq 150 \text{ 个像素点}) \\ (F_1)_1 / (F_1)_2 \text{ 和 } (F_2)_1 / (F_2)_2 &\text{ 的值在 } 1 \pm 0.5 \text{ 之间} \end{aligned}$$

阈值 $L_1 \sim L_6$ 是根据经验及大量样本统计确定的. $()_1$ 、 $()_2$ 分别为 -32C 和 -53C 等值线.

3 湿度场估计

日本 GMS 的 S·VISS 资料包括红外通道的亮温和可见光通道的反照率. 亮温值是 $0 \sim 255$ 之间的整数值, 每个数都对应一个温度值, $0 \sim 255$ 对应的温度范围是 $349.348 \sim 137.163\text{K}$. 反照率也是 $0 \sim 255$ 之间的整数值, 对应的反照率范围是 $0 \sim 100\%$.

在进行湿度场估计之前, 将云系分成 3 个不同高度层次, 以便与不同层次的湿度场进行统计. 卷云、对流云、多层云系的顶高较高. 高层湿度场与之对应较好. 多层云系和对流云在中层也存在, 与中层湿度场对应. 层云、对流云和多层云系与低层湿度场对应.

站点上和网格上 GMS 资料的高度为:

$$M(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N P(n) \quad (10)$$

其中 $P(0) = M(i, j)$, $M(i, j)$ 对应红外云图及可见光云图上云系分层后的亮度之和. $P(n)$ 取 8 邻点可滤去尺度为 20km 左右的小尺度系统, 取 24 邻点时可滤去尺度为 4km 左右的系统.

将测站实测的湿度(相对湿度)与站点上的 $M(i, j)$ 值进行对比统计分析, 用 1991 年 7 月 1~10 日的资料作样本, 建立回归方程:

$$Y(i, j) = AM^2(i, j) + BM(i, j) + C \quad (11)$$

将格点上的 $M(i, j)$ 代入上述回归方程, 估计格点上的湿度.

在有暴雨云团的格点, 利用经验对湿度场略作订正.

在前几年的试验中, 一直采用比湿, 但在模式中使用效果并不好. 通过大量分析发现云系与相对湿度的对应关系较好. 因此, 在现在的业务运行中, 一直采用相对湿度.

4 GMS 资料估计湿度场与客观分析湿度场比较

GMS 双谱资料估计的湿度场与客观分析湿度场相比较, 在高原和海洋地区, 弥补了常规资料缺测的不足, 在常规资料相对充分的平原地区还起到了加密常规资料的作用.

(1) GMS 双谱资料估算的湿度场具有明显的中尺度特征 1994 年 7 月 11 日 08 时 9406 号台风以很快的速度登陆, 在其中心到达江西省后, 仍保持很明显的台风结构, 台风的中尺度结构也非常明显, 从图 1 b 可以看出, 由卫星资料估算的湿度场具有明显的

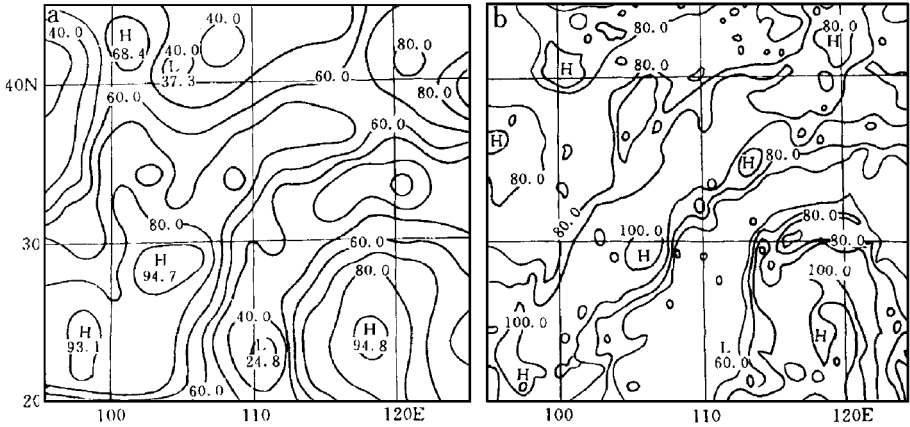


图1 1994年7月11日08时850 hPa(a)客观分析相对湿度和(b)卫星资料估算的相对湿度

Fig. 1 The relative humidity(a) observed (b) estimated by GMS at 0000 11 July 1994 at 850 hPa

螺旋结构,在冷锋高湿带中也可看到一个一个的高湿中心,而客观分析的湿度场(图1a)则没有这些特征。

(2) 估算的湿度场 从图1中还可以看出,客观分析湿度场最高相对湿度是94.8%,而估算的湿度场最高相对湿度可达100%,且在高湿区具有明显的中尺度特征。

(3) 湿度带变窄 台风的西北侧是一条冷锋,在图1b上对应的是一条高湿带。估算的湿度场是带状结构,比客观分析更清楚且湿度带要窄。

(4) 边缘梯度变大 利用卫星资料估算的湿度场,其高湿区和低湿区的梯度明显变大。

(5) 低湿区数值偏高 用回归方法,对湿度场平滑作用较强,所以对高湿区作了订正,这就使得低湿区(无云区)的湿度值偏高。但这对降水的预报似乎无太大影响。

(6) 厚卷云区数值偏高 在非常厚的卷云区,因厚卷云与对流的云无法分开,所以使得低层的相对湿度值估计偏高。这一点影响较为严重。

5 业务试验方案及个例分析

考虑到水汽主要集中在低层,仅用卫星资料估算850 hPa和700 hPa的湿度场。将卫星资料估算的湿度场直接取代数值模式初值中850 hPa和700 hPa的客观分析湿度场,然后进行积分。以下介绍几个有代表性的个例。

(1) 1994年7月11日鄂东南特大暴雨 9406号台风在1994年7月11日08时左右以极快的速度进入江西境内,此时在鄂西北有一条冷锋正在南下,两个系统在湖北省境内交汇,造成了鄂东南的特大暴雨,阳新24 h降水达541 mm,大冶达212 mm(见图2a)。

在使用客观分析湿度场时,仅报出了冷锋上的暴雨带,鄂东南的降水报得很小(图2b)。使用GMS资料估算的湿度场,不仅报出了冷锋上的暴雨,而且预报出鄂东南的暴

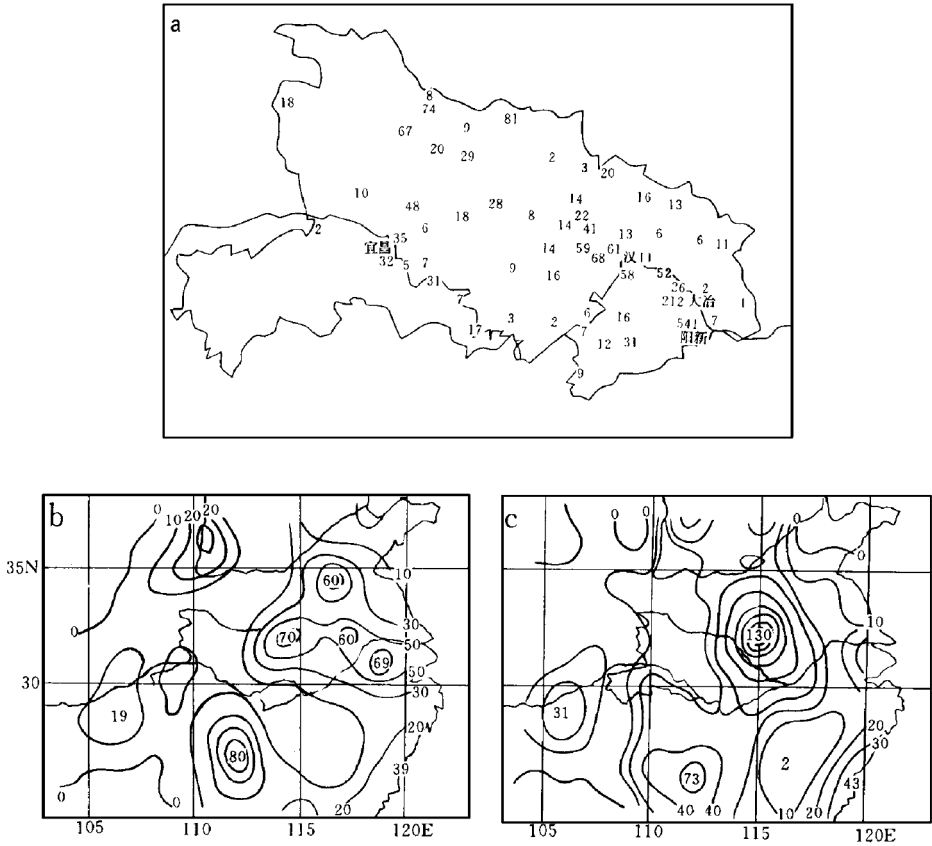


图 2 1994 年 7 月 11 日 08 时~12 日 08 时 24 h 降水 (a) 实况 (b) 未使用 GMS 资料的预报 (c) 使用卫星资料的预报

Fig. 2 The 24 h precipitation of 0800 11 July, 1994 in the northwest of Hubei (a) observation, (b) the forecast without GMS data, (c) the forecast by using GMS data

雨，其中心在阳新附近，雨量达 67 mm(图 2 c)。

(2) 1995 年 6 月 14 日暴雨过程 这是一次西南低涡沿江淮切变线移出的过程，这次过程造成了鄂东南、江汉平原及湘北、赣北的大范围暴雨(见图 3 a)。

使用客观分析湿度场时，降水范围预报偏西，省内暴雨几乎没报出来(见图 3 b、c)。使用 GMS 湿度场预报的暴雨范围与实况非常一致，省内雨型与实况几乎一模一样。这次过程的降水评分，按我省公众预报评分办法，高达 84%，暴雨的 TS 评分达 12/18。

(3) 1995 年 7 月 7 日大暴雨过程 这是一次冷切变配合地面冷锋南压的过程，也是 1995 年湖北省范围最大的一次暴雨，出现暴雨的站点多达 27 个，出现大暴雨的站点达 8 个(图略)。

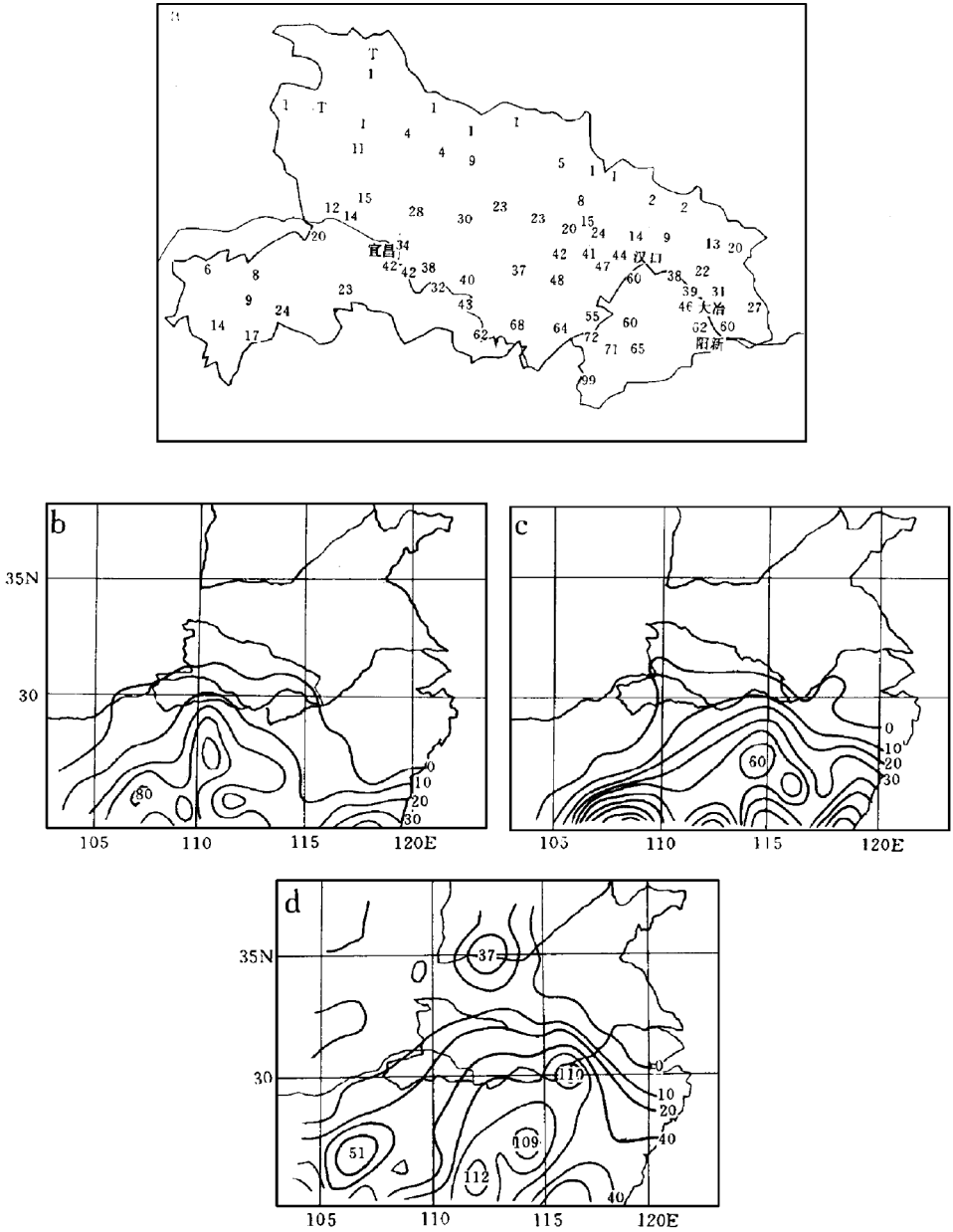


图3 1995年6月14日08时~15日08时24h (a)降水实况 (b)和(c)为未使用卫星资料的预报 (d)使用卫星资料的预报

Fig.3 The 24 h precipitation of 0800 14~15 June, 1995 (a) observation (b)(c) the forecast without GMS data (d) the forecast by using GMS data

这次过程, 使用客观分析湿度场预报结果的特点是, 省外降水预报大大偏强(报出了 >200 mm 的降水中心, 实况是 100 mm 左右), 省内降水预报偏弱(图略). 使用 GMS 湿度场的预报结果, 省内暴雨区与实况基本一致, 而且还报出了几个站的大暴雨(图略), 省外预报与实况也极为一致.

(4) 1995 年 8 月 2 日局部大暴雨过程 9503 号台风在 1995 年 8 月 2 日登陆后迅速减弱为低气压, 这时地面冷锋还远在秦岭附近. 受减弱的台风低压的单独影响, 鄂东北、鄂东南局部出现了大暴雨(图略).

使用客观分析湿度场时, 预报结果在鄂东南出现了一个 60 mm 的暴雨中心(图略). 使用 GMS 湿度场后, 在鄂东北报出了一个 125 mm 的大暴雨中心(图略), 与实况相同. 在局部大暴雨情况下, 大暴雨的 *TS* 评分达 20%, 这说明使用 GMS 资料后对这种局地强降水也有一定的预报能力.

6 几点结论

用 GMS 双谱资料估计的相对湿度场取代通常的客观分析湿度场, 在 1995 年汛期投入业务运行. 通过几个月的业务试验, 得到如下看法:

(1) 与使用客观分析湿度场比较, 有成功的个例, 也有失败的个例, 但总的来说, 更接近实况.

(2) 使用了 GMS 资料估算的湿度场后, 降雨量的极值预报明显加大. 如报出了 1995 年 7 月 1 日鄂东南的特大暴雨.

(3) 在 08 时云区比较明显的情况下, 预报结果有较大改进.

(4) 对中尺度系统的预报能力明显增强.

(5) 使用卫星资料估算的湿度场后, 系统移速的预报明显加快, 原因不明.

(6) 对 08 时无云情况下的突发天气, 预报能力较差.

参 考 文 献

- 1 胡 毓. 地图投影. 北京: 测绘出版社, 1981.
- 2 莫伊克. JG 遥感图像的数字处理. 北京: 气象出版社, 1987. 204~226.
- 3 廖国男著. 大气辐射导论. 周诗健等译. 北京: 气象出版社, 1985. 48~51.
- 4 廖洞贤. 数值天气预报原理及其应用. 北京: 气象出版社, 1986.

ESTIMATION OF HUMIDITY FIELD USING GMS DUAL SPECTRUM DATA AND APPLICATION IN NUMERICAL PREDICTION

Wang Dengyan

(Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074)

Yu Kangqing

(Wuhan Heavy Rain Institute, Wuhan 430074)

Abstract

GMS infrared and visible channel data were processed, and by which 700 hPa and 850 hPa humidity fields were estimated. By using satellite-derived humidity field to take the place of conventional humidity field in numerical model, the control tests were made. The operational tests show that the forecast results were greatly improved.

Key words: Dual spectrum data Humidity Numerical prediction