

基于 T213 产品与水汽收支的强降水面雨量 预报方法及其误差分析

周后福¹ 翟武全² 丁太胜¹ 刘惠敏¹

(1 安徽省气象科学研究所,合肥 230031; 2 安徽省气象局,合肥 230061)

摘要 基于 T213 数值预报产品,以水汽收支平衡方程为基础,研制预报强降水的落区及强度的预报方法,并利用此方法制作 6 h 面雨量的预报。该方法在 2003 年汛期淮河流域洪涝期间进行了应用,利用所得面雨量结果与实况降水进行各种误差分析。结果表明,预报正确率较高,该方法较为可靠,有一定的预报价值。

关键词 面雨量 水汽收支 落区 短期预报 误差

引言

数值预报产品及其释用技术是当今天气预报的主要手段。数值预报产品及其释用技术的不断发展使得天气预报研究及日常业务进入了一个崭新的阶段:以数值预报输出产品为基础,综合使用天气动力学、气候统计学等方法,研究和开展各种时空尺度的天气预报,不断提高预报技术和预报水平。各国的预报技术发展和研究历程也充分证明了这是今后天气预报的发展方向^[1~5]。T213 产品是我国投入业务运行的最新数值预报产品,它已经取代 T106 成为气象部门新的预报工具,发挥着越来越重要的作用^[6]。

面雨量是气象部门向水文部门提供关于洪水发生可能的重要参考量,具有确定的量值,用它表示特定区域的降水强度,对水文预报工作者来说既清楚又实用。区域面平均雨量也是防汛部门在洪水预报与水库调度中一个非常重要的参数^[7]。水文部门结合水文、地理等多种因素作进一步工作,然后形成洪水预报。面雨量的实质就是定时定量地对区域内降水做出预报的问题,它是现今水文部门和气象部门努力研究的课题。

目前面雨量分析与预报方法尚存在不足。在面雨量预报方法上一般采用统计手段,因此要想制作

预报降水落区的面雨量预报则有较大的难度。尽管对 T213 或 T106 数值预报产品的要素进行误差分析已有一定的研究^[8,9],对水汽收支与定量降水做过初步探讨^[10],但是利用 T213 和水汽收支理论进行面雨量预报及其误差分析则较少。随着汛期防汛工作和水文部门的要求,预报正向精细化方向发展,因此制作 6 h 降水落区、落区面雨量预报工作以及面雨量误差的分析研究,对水资源可持续利用等^[11]非常有必要。据此,本文利用 T213 数值预报产品,研究数值预报产品的释用技术,结合水汽收支平衡方程,并将其应用到强降水面雨量预报中,最终得到面雨量预报系统,并将该系统在 2003 年汛期淮河流域洪涝期间进行了实际应用,尔后利用所得面雨量结果与实况雨量进行误差分析。

1 水汽收支平衡方法的面雨量计算

根据质量守恒原理,在一个确定区域内,如果水汽不同外界进行交换或者水汽交换可以忽略,则水汽质量也遵循守恒原则,那么水汽收支必然平衡,就是说水汽的辐合凝结并降落到地面的量值与降水量应保持动态平衡。通过水汽收支平衡计算面平均降水量,是在选定的流域内对垂直方向气柱的东西南北向水汽收入和支出计算水汽的净余量,然后进行时间积分换算为可降水量,再除以给定区域的面积

安徽省科技攻关计划“安徽暴雨形成机理和定时、定点、定量预报技术研究”资助

作者简介:周后福,男,1965 年生,硕士,主要从事天气气候的研究

收稿日期:2003 年 8 月 1 日;定稿日期:2003 年 9 月 8 日

就可以得到面平均降水量(简称面雨量)。

1.1 水汽收支方程

对于单位面积气柱而言,大气凝结降水率可写为:

$$R = \int_0^{\infty} \frac{d}{dt}(\rho q) dz = - \int_{p_s}^0 \frac{d}{dt} q dp \quad (1)$$

p_s 为地面气压,上式表明凝结降水从地面一直积分到大气上界。式(1)经推导得到:

$$R = - \int_{p_s}^0 \frac{\partial q}{\partial t} dp - \int_{p_s}^0 \nabla \cdot (vq) dp - \int_{p_s}^0 \frac{\partial}{\partial p}(\omega q) dp \quad (2)$$

在实际观测时,探空站点的水平距离有时可达数百公里,因此我们只能依据式(2)计算某个地区自下而上的平均值。对流层顶以上高度水汽含量完全可以忽略,本文并不研究各个高度上的水汽收支,只对整个对流层的水汽收支进行研究,于是式(2)的积分可写成:

$$\int_{p_t}^{p_s} \frac{\partial q}{\partial t} dp + \int_{p_t}^{p_s} \nabla \cdot (vq) dp - \frac{1}{g} (\overline{\omega q})_{p_t} = \overline{R} - E \quad (3)$$

式中 $E = - \frac{1}{g} (\overline{\omega'q'})$ 表示来自地面和海面上的蒸发, \overline{R} 是区域内大气对流层整层凝结量的面平均值, p_t 为对流层顶气压。式(3)就是水汽收支平衡方程。

在对流层的顶层,不仅水汽含量极少,而且垂直上升运动亦非常小,因此水汽的蒸发量 $-\frac{1}{g} (\overline{\omega'q'})$ 和水汽的垂直变化量 $-\frac{1}{g} (\overline{\omega q})$ 同其它项的量级比较可以略去。如果计算区域与对应暴雨区的水平范围大体相当,在暴雨区内由于空气已达到饱和,不会再有水汽增加即 $\frac{\partial q}{\partial t} = 0$, 那么这时水汽通量的辐合同凝结量(即降水量)达到平衡。

1.2 面雨量计算方法

选取确定的计算区,此处为 $114^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 、 $28^\circ \sim 35^\circ \text{N}$,采用 T213 数值产品 $1^\circ \times 1^\circ$ 的格点资料。计算时气柱水汽收支的积分高度为 $1000 \sim 400 \text{ hPa}$,分 3 层积分计算,850 hPa、700 hPa、500 hPa 标准层分别作为中间层积分。

如通过某一气压层(在气压层 $p_a \sim p_b$ 之间)的水汽输送表达式为:

$$\frac{1}{g} \int_{p_a}^{p_b} \int_{l_1} v_n q dl dp \quad (4)$$

l_1 是指定区域面积的水平边界。对于矩形区域而言,具体计算时可化为:

$$\frac{1}{A} \left| \sum_{j=1}^n \overline{u_j q_j} \Delta l_y - \sum_{j=1}^n \overline{u_j q_j} \Delta l_y \right| + \left(\text{东边界} \right) \quad \left(\text{西边界} \right) + \left| \sum_{i=1}^m \overline{v_i q_i} \Delta l_x - \sum_{i=1}^m \overline{v_i q_i} \Delta l_x \right| \Delta p \quad (5)$$

$$\left(\text{北边界} \right) \quad \left(\text{南边界} \right)$$

式中 $\Delta p = p_a - p_b$, m 、 n 分别是计算区沿 x 方向和 y 方向的格点数, Δl_x 、 Δl_y 分别为 x 方向和 y 方向网格距, A 为计算区面积。逐层进行计算相加求出水汽收支总量,最后乘以时间步长换算成降水量。对于非标准矩形区域,把区域分成若干小矩形区域,由各小矩形区域来进行计算,实行累加得到最终结果。

2 面雨量预报及其与实况对比分析

根据上述计算分析方案,在 $114^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 、 $28^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 固定计算区内,采用 T213 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 数值预报产品 0~48 h(6 h 一次)格点资料风向风速、温度、湿度等要素作为基本资料,通过计算分析给出 1~2 天的降水预报图,同时给出降水落区以及降水落区面雨量的预报结果,并把其同实际降水落区平均值(面雨量)进行比较。

选取 2003 年 6 月 20 日至 7 月 12 日淮河流域强降水为例。这一时段淮河流域降雨集中,尽管日最大降雨量与 1991 年相当,但是过程雨量为近 50 年来同期最大值,致使淮河流域出现了 1991 年以来最大的汛情。淮河流域降雨总量、过程持续时间总体上不及 1991 年,但降雨中心偏北,沿淮、淮北降水较常年同期异常偏多,安徽淮北西部、河南中东部降雨量接近 1991 年总雨量,部分测站超过了 1991 年,灾害损失以安徽省最为严重。这期间安徽省降水时段分为 4 个过程:6 月 20~23 日、6 月 26~27 日、6 月 29 日至 7 月 4 日和 7 月 8~12 日。

2.1 降水指标的验证

我们以强降水期间的降水落区面积、落区经纬度、落区平均雨量、中心位置等 4 个指标来验证预报效果。

(1)降水落区面积:预报降水同实况相比,落区面积相差在 20% 以内认为预报准确,否则认为预报

错误。表1为每隔6h的4个过程48h预报统计结果。由表1可知,在24h预报时效内,预报正确的比例为71%~100%,平均预报正确的比例为85%;在24~48h预报时效内,预报正确的比例为65%~71%,平均预报正确的比例为67%。第4个过程正确率较高,第2个过程正确率较低。

(2)降水落区面雨量:预报降水同实况相比,落区面雨量相差在30%以内认为预报准确,否则认为预报错误。由统计结果可知,在24h预报时效内,

预报正确的比例为41%~94%,平均预报正确的比例为78%;在24~48h预报时效内,预报正确的比例为59%~76%,平均预报正确的比例为69%。

(3)降水落区雨带主体纬度:预报降水同实况相比,雨带主体纬度相差在1°以内认为预报准确,否则认为预报错误。结果表明,在24h预报时效内,预报正确的比例为71%~100%,平均预报正确的比例为88%;在24~48h预报时效内,预报正确的比例为47%~71%,平均预报正确的比例为62%。

表1 4个过程每隔6h降水落区面积的统计结果

		6	12	18	24	30	36	42	48	合计
		正确/错误								
第1	频次	3/1	4/0	4/0	3/1	2/2	2/2	2/2	2/2	23/9
	%	75/25	100/0	100/0	75/25	50/50	50/50	50/50	50/50	72/28
第2	频次	1/1	1/1	2/0	2/0	0/2	1/1	2/0	2/0	9/7
	%	50/50	50/50	100/0	100/0	0/100	50/50	100/0	100/0	56/44
第3	频次	4/2	6/0	6/0	4/2	5/1	5/1	2/4	2/4	37/11
	%	67/33	100/0	100/0	67/33	83/17	83/17	33/67	33/67	77/23
第4	频次	5/0	5/0	5/0	3/2	4/1	3/2	5/0	5/0	34/26
	%	100/0	100/0	100/0	60/40	80/20	60/40	100/0	100/0	85/15
合计	频次	13/4	16/1	17/0	12/5	11/6	11/6	11/6	11/6	103/33
	%	76/24	94/6	100/0	71/29	65/35	65/35	65/35	65/35	76/24

(4)降水中心量级:同实况相比,中心量级相差在1个等级以内认为预报准确,否则认为预报错误。此地的降水等级分为5级,见表2。由降水中心量级统计结果可知(表略),在24h预报时效内,预报正确的比例为65%~88%,平均预报正确的比例为81%;在24~48h预报时效内,预报正确的比例为71%~88%,平均预报正确的比例为84%。

表2 6h降水等级划分

	I	II	III	IV	V
雨量/mm	0	0.1~10	10~25	25~50	>50

2.2 预报降水与实况降水图比较

为了形象地说明预报与实况比较情况,这里给出2003年6月30日20:00(北京时)为预报起点制作的实时降水预报及其实况图(图1)。图中各点标出的具体数据为实况降水,所画的等值线为预报降水等值线,等值线间隔5mm。

由图可知,预报与实况雨区大体相符,降水系统基本稳定在安徽淮河流域。降水落区差异较小,降水量级上差别不大,雨带位置基本相同,降水中心位置基本相近。图1a显示实况强降水雨带在江淮中东部地区,最大雨量为27~28mm,预报的雨带位

置与实况一致,且雨量相差不大。图1b表明实况强降水中心在淮河流域中部地区,最大雨量为44mm,预报的雨带位置与实况一致,雨量相差不大,但中心位置略有西移。图1c显示实况降水雨带在淮河流域和滁县地区,范围有所扩大,最大雨量为40mm,预报的雨带位置与实况一致,且预报雨量与实况一致。由图1d可知实况降水雨带在淮河流域北部地区,最大雨量为48mm,预报的雨带位置与实况一致,但中心位置偏西,还有一个雨带在南京附近,预报的中心位置略有偏东北。图中只给出6月30日结果,其余时间的预报情况都有相似结论。

2.3 不同等级降水的误差分析

以上给出了出现明显降水过程时的结论,现在将给出2003年6月20日至7月12日每日预报结果的误差分析,这将更全面地反映各种降水状况结果。在预报系统汛期降水运行期间,选取不同等级降水进行比较做误差分析,以每日T213和水汽收支方程得出的每6h(共48h)预报降水与实况降水做对比分析。依然以相差1个等级认为预报正确,否则为预报错误,选择降水比较大的淮河流域中上游地区站点进行对照,所得结果见表3。

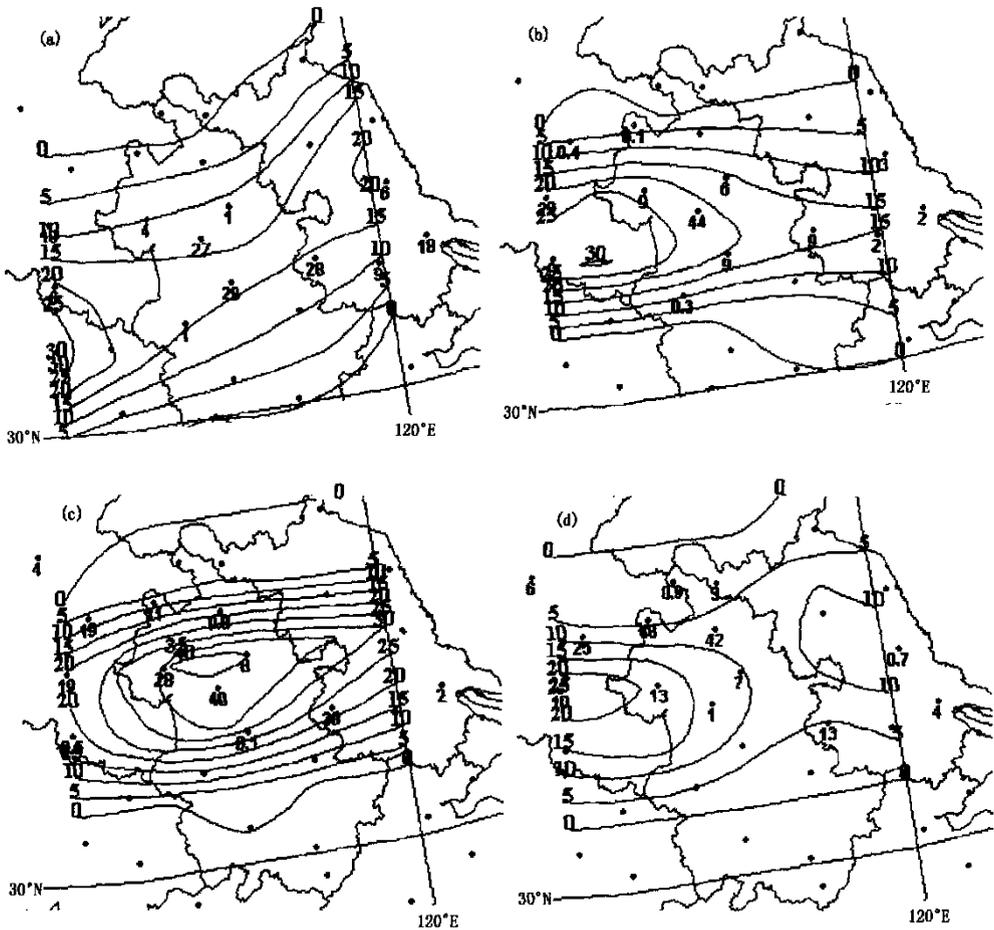


图 1 2003 年 6 月 30 日 20:00 为起点 T213 做出的 6 h 降水预报及其实况图

(a) 7 月 1 日 02:00 ~ 08:00; (b) 7 月 1 日 08:00 ~ 14:00; (c) 7 月 1 日 14:00 ~ 20:00; (d) 7 月 1 日 20:00 至 7 月 2 日 02:00
(图中各点所标数据为降水实况,等值线为预报值,单位:mm)

由表 3 可知,在 6 h 降水量级为 II 级、III 级时,预报降水量级正确率较高,在 95% 左右;而当实况降水为 I、V 级时,预报降水量级也相当高,均超过

70%。合计预报量级的正确率为 88%,说明该方法对于不同量级降水的预报具有较好的应用价值。

表 3 不同降水等级的统计结果

	I		II		III		IV		V		合计	
	正确	错误	正确	错误	正确	错误	正确	错误	正确	错误	正确	错误
频次	88	17	50	2	18	1	5	2	1	0	162	22
占等级百分率	83.8	16.2	96.2	3.8	94.7	5.3	71.4	28.6	100.0	0.0		
占总数百分率	47.8	9.2	27.2	1.1	9.8	0.5	2.7	1.1	0.5	0.0	88	12

3 结论与讨论

由于面雨量与洪涝有较高的相关性,为提高服务效果,近年来在气象领域内提出一些面雨量分析方法。各种分析方法均是以单站雨量为基础,经点面转换而得出面平均降雨量^[12],各有所长各有不

足。从应用角度考虑,分析雨区中的面雨量比分析固定区域中的面雨量更具有实用价值,其难度也相应加大。本文采用水汽收支平衡方法计算面雨量理论的依据比较充分,同时做出雨区的面雨量预报有理由得到信任。

关于水汽收支的计算区域。有的文献指出,所

取计算区域最好是将不在暴雨区内的站点连成一个区域,即暴雨区应在计算区内。因此,它们是在暴雨过程出现之后用此方法作诊断分析。为了作定量降水预报,本文结合最新数值预报产品 T213 作出降水落区,对降水作水汽收支平衡计算,得出定量降水预报(面雨量预报)。

(1)清晰地绘出 6 h 降水落区及详细的雨量分布状况,同时得到面雨量值。常规业务手段可以做出逐日大致的雨区范围,但精度不高,更无法给出雨量等值线分布情况。本方法预报时效明显缩短,预报的降水落区和雨量分布一目了然,因而非常有利于防洪决策。

(2)24 h 内预报正确率明显高于 24 ~ 48 h 内预报正确率。降水落区面积、面雨量、中心量级的正确率在 70% 以上,雨带主体所在纬度正确率多在 60% 以上。合计预报降水的量级正确率为 88%,充分说明该方法对于面雨量预报具有较好的应用价值。

(3)用水汽收支平衡方法作中短期定量降水预报用的是数值预报产品格点资料,如果数值预报不准确,也会带来定量降水预报的错误。另外计算网格的大小对计算定量降水的影响,还有待进一步分析比较。

参考文献

1 Souto M J, Balseiro C F, Pérez Munuzuri V, et al. Impact of cloud

- analysis on numerical weather prediction in the Galician Region of Spain. *Journal of Applied Meteorology*, 2003, 42(1): 129 - 140
- 2 Pendlebury S F, Adams N D, Hart T L, et al. Numerical weather prediction model performance over high southern latitudes. *Monthly Weather Review*, 2003, 131(2): 335 - 353
- 3 Souto M J, Balseiro C F, Pérez Munuzuri V, et al. Impact of cloud analysis on numerical weather prediction in the Galician Region of Spain. *Journal of Applied Meteorology*, 2003, 42(1): 129 - 140
- 4 McBride J L, Ebert E E. Verification of quantitative precipitation forecasts from operational numerical weather prediction models over Australia. *Weather and Forecasting*, 2000, 15(1): 103 - 121
- 5 毛恒青,陈谊,陈德辉.神威中期集合数值预报产品的业务应用. *应用气象学报*, 2002, 13(1): 56 - 61
- 6 李才媛,宋清翠,金琪.短期强降水面雨量预报与 T213 产品的气象学释用. *气象*, 2003, 29(3): 27 - 31
- 7 王家芬,王志利,林曲凤.数值预报产品效果检验及在降水预报中的应用. *气象*, 2000, 26(11): 49 - 52
- 8 董官臣,冶林茂,符长峰.面雨量在天气预报中的应用. *气象*, 2000, 26(1): 9 - 13
- 9 王兴荣,姚叶青,尚瑜,等.1998 年副热带高压中期数值预报产品的误差分析. *热带气象学报*, 2002, 18(4): 351 - 357
- 10 丁太胜,刘惠敏.水汽收支与中短期定量降水预报研究. *热带气象学报*, 2000, 16(3): 282 - 288
- 11 陈志恺.中国水资源的可持续利用问题. *水文*, 2003, 23(1): 1 - 5
- 12 熊秋芬,王丽,郑启松,等.三峡区间面雨量预报方法及其预报试验. *气象*, 2000, 26(10): 19 - 23

Area Rainfall Forecast Method and Its Error Analysis Based on T213 Products and Water-Vapor Budget

Zhou Houfu¹ Zhai Wuquan² Ding Taisheng¹ Liu Hui min¹

(1 Anhui Institute of Meteorology, Hefei 230031;

2 Anhui Provincial Meteorological Bureau, Hefei 230061)

Abstract: Based on T213 numerical prediction products and the equation of water-vapor budget, the method of predicting rainfall areas and their intensity is introduced. The area rainfall prediction in 6 hours was made. The method was applied in the flood season along the Huaihe River in 2003. The error analysis was made between prediction and observation. The results indicate that the method is useful and reliable.

Key words: area rainfall, water-vapor budget, rainfall area, short-term forecast, error