

廖镜彪, 王雪梅, 夏北成, 等. WRF 模式中微物理和积云参数化方案的对比试验[J]. 热带气象学报, 2012, 28(4): 461-470.

文章编号: 1004-4965(2012)04-0461-10

## WRF 模式中微物理和积云参数化方案的对比试验

廖镜彪<sup>1,2</sup>, 王雪梅<sup>1</sup>, 夏北成<sup>1</sup>, 王体健<sup>2</sup>, 王志铭<sup>1</sup>

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275;

2. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 为了研究微物理参数化方案对珠江三角洲(简称珠三角)降水模拟的影响, 利用 WRF 中尺度数值预报模式, 在 3 km 模式分辨率下, 在微物理方案为 WSM6 方案条件下, 选用 KF、BMJ、GD 以及 G3 等四种积云参数化方案对 2010 年 5 月 14 日广东珠三角地区的一次暴雨过程进行了模拟试验。结果显示, KF 方案对于降水带和降水量的模拟与实况较为一致。在积云参数化方案为 KF 条件下, 分别选用 Kessler、Lin et al、WSM3、WSM5、Ferrier (New eta)和 WSM6 等 6 种微物理方案再次对这次暴雨过程进行模拟试验, 模拟结果的对比分析表明: 选用 Lin et al 微物理方案时, 模式较好地模拟出了强降水雨带的位置和降水强度; 而其他 5 种参数方案的模拟效果均不好, 降水量明显偏小, 雨带位置偏差较大; 同时对低空急流、K 指数和上升速度等物理量分析可知, Lin et al 方案能较好地模拟出降水实况。

**关键词:** WRF 模式; 微物理参数化方案; 积云参数化方案; 降水; 珠三角

中图分类号: P435

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2012.04.004

### 1 引言

珠三角位于亚热带季风区, 城市化水平高, 有漫长的海岸线, 复杂的下垫面, 如地表植被和土壤类型十分复杂, 局地气候的空间差异明显。复杂的地形效应和海-陆-气相互作用都给该地区的天气气候数值模拟带来难度。为了提高中小尺度灾害性天气预报的准确率, 中尺度数值模拟的研究在最近30年内得到了迅速发展<sup>[1-2]</sup>, 其中以 WRF、MM5 等气象模式的应用最为广泛。随着 WRF 模式的发展, 它所提供的物理参数化方案越来越完善、成熟<sup>[3-5]</sup>。孙健等<sup>[6]</sup>用 WRF 与 MM5 分别模拟 1998 年 3 次暴雨过程的试验表明, 对于模拟预报江淮地区、不同性质的强降水过程, WRF 在模拟天气系统和降水落区上已明显优于 MM5 模式, 不足的是模拟的降水量比实况要小。刘宁微

等<sup>[7]</sup>在一次辽宁暴雨的模拟研究中亦指出, WRF 对于高度场、风场等物理量的模拟效果要优于 MM5, WRF 模式系统在预报各种天气中都具有较好的性能。

对于降雨的数值模拟, 特别是对特大暴雨的数值模拟精度一直存在比较大的难度, 是气象学者研究的重要课题。目前认为对降雨模拟影响较大的物理过程主要有微物理过程、积云对流过程以及边界层参数化方案。陈炯等<sup>[8]</sup>研究了 WRF 模拟中不同边界层参数化方案对 7 月江淮暴雨的模拟比较, 指出采用 MYJ 边界层方案对降水的模拟更接近实况。但相对来说, 对于降水的模拟, 微物理过程起着主要作用, 其次是积云对流过程, 边界层参数化方案影响相对较小<sup>[9]</sup>。Jankov 等<sup>[10]</sup>还进行不同物理方案比较, 认为最敏感的是对流方案, 对于弱降水过程, 边界层和微物理方案的

收稿日期: 2010-08-30; 修订日期: 2011-11-18

资助项目: 国家自然科学基金-广东联合基金重点项目(U0833001)资助; 中山大学高性能与网络计算中心支持。

通讯作者: 王雪梅, 女, 从事环境科学研究工作。Email: eeswxm@mail.sysu.edu.cn

敏感性是相当的,而对于强降水,微物理方案比较敏感。许多学者研究指出,中尺度模式中微物理方案和积云对流方案有很多的优势和应用潜力,不同的方案对降水模拟结果有很大的差异,参数化方案具有很强的区域性,因此在实际暴雨模拟中,究竟采取哪一种方案的结果会更理想,在不同区域,仍需要深入研究<sup>[11]</sup>。

目前,针对珠三角地区WRF模式的微物理过程和积云参数化过程的数值试验方面的研究还比较少。本文以2010年5月珠三角地区的一次暴雨为研究个例,在不同的积云对流参数化过程和微物理过程的组合下,对不同的方案组合进行了比较试验和分析,以求进一步了解和认识WRF模式中不同积云对流参数化和微物理参数化方案组合对降水模拟的敏感性,为在珠三角地区合理选择和使用模式中的降水参数化方案提供参考依据。

## 2 WRF 模式及参数化方案简介

WRF(Weather Research Forecast)模式系统是由美国许多研究部门及大学联合开发的新一代中尺度非静力平衡、高分辨率、科研和业务预报统一的中尺度预报和资料同化模式。WRF模式是一个完全可压非静力模式,采用Arakawa-C格点,垂直坐标采用地形追随静力气压坐标,即欧拉质量坐标,重点考虑水平分辨率为1~10 km左右的大气运动。目前WRFV3.1.1版本提供的用于研究的微物理方案主要有:Kessler scheme、Lin et al scheme、WSM3、WSM5、Ferrier(new Eta) scheme、WSM6等6种,而模式提供的积云参数化方案主要有:Kain-Fritsch(new Eta) scheme、Betts-Miller-Janjic(BMJ) scheme、Grell-Devenyi(GD) ensemble scheme、New Grell scheme (G3)等4种。

### 2.1 微物理方案简介

#### 2.1.1 Kessler暖云方案

来自于COMMAS模式,是一个简单的暖云降水方案,考虑的微物理过程包括:雨水的产生、降落以及蒸发,云水的增长,以及由凝结产生云水的过程,微物理过程中显式预报水汽、云水和

雨水,无冰相过程。

#### 2.1.1 Purdue Lin方案

微物理过程中,包括了对水汽、云水、雨、云冰、雪和霰的预报,在结冰点以下,云水处理为云冰,雨水处理为雪。所有的参数化项都是在Lin等<sup>[12]</sup>以及Rutledge等<sup>[13]</sup>的参数化方案的基础上得到,饱和修正方案采用Tao等<sup>[14]</sup>的方法。这个方案是WRF模式中相对较成熟的方案,更适合于理论研究。

#### 2.1.3 Eta Ferrier方案

此方案预报模式平流项中水汽和总凝结降水的变化。程序中用一个局域数组变量来保存初始猜测场信息,然后从中分解出云水、雨水、云冰以及降冰的变化密度(冰的形式包括雪、霰或冰雹)。降冰密度是根据存有冰的增长信息的局域数组来估计,其中,冰的增长与水汽凝结和液态水增长有关。降落过程的处理是将降水时间平均通量分离成格点单元的立体块。这种处理方法,伴随对快速微物理过程处理方法的一些修改,使得方案在大时间步长时计算结果稳定。根据Ryan的观测结果,冰的平均半径假定为温度函数。冰水混合相仅在温度高于-10 °C时考虑,而冰面饱和状态则假定在云体低于-10 °C。

#### 2.1.4 WRF Single\_Moment\_3\_class(WSM3)方案

该方案来自于旧的NCEP3方案的修正,包括冰的沉降和冰相的参数化。与其它方案不同的是诊断关系所使用冰的数浓度是基于冰的质量而非温度。方案包括三类水物质:水汽、云水或云冰、雨水或雪。在这种被称为简单的冰方案中,云水和云冰被作为同一类来计算。它们的区别在于温度,也就是说当温度低于或等于凝结点时冰云存在,否则水云存在,雨水和雪也同样考虑,该方案的精度适用于业务模式。

#### 2.1.5 WSM5 方案

与WSM3类似的对NCEP5方案进行了修正,它代替了NCEP5版本。

#### 2.1.6 WSM6 方案

该方案扩充了WSM5方案,它还包括有霰和与它关联的一些过程。这些过程的参数化大多数

和Lin等的方案相似,在计算增长和其它参数上有些差别。为了增加垂直廓线的精度,在下降过程中会考虑凝结/融化过程。过程的顺序会最优化选择,是为了减少方案对模式时间步长的敏感性。与WSM3、WSM5一样,饱和度调节按Dudhia<sup>[15]</sup>和Hong等<sup>[16]</sup>的方案分开处理冰和水的饱和过程。

## 2.2 积云参数化方案简介

### 2.2.1 浅对流Kain-Fritsch(new Eta)(KF)方案

在Eta模式中对Kain-Fritsch方案进行了调整,利用一个简单的云模式伴随水汽的上升和下沉,同时包括卷入和卷出,以及相对粗糙的微物理过程的作用。

### 2.2.2 Betts-Miller-Janjic(BMJ)方案

对Betts-Miller方案进行了调整和改进,在一给定的时段,对热力廓线进行张弛调整,在张弛时间内,对流的质量通量可消耗一定的有效浮力。此方案为对流调整方案,浅对流调整是该方案的重要部分。

### 2.2.3 Grell-Devenyi(GD)集合方案

该方案是质量通量类型,用不同的上升、下沉、卷入、卷出的参数和降水率,静态控制与动态控制相结合的方法处理,这是决定云质量通量的方法。

### 2.2.4 New Grell Scheme(G3)方案

基于不稳定或准平衡率,采用简单的单云上上升气流和下沉气流的通量和确定加热或湿润的补偿方案,适用于格点规模较小的10~30 km分辨率范围,往往用于解决有足够规模的降雨和对流性的平衡降雨。并且考虑了剪切作用对降水效率的影响。

## 3 试验方案

### 3.1 降水实况概况

2010年5月14—15日受地面冷空气、中低层暖湿切变线的共同影响,广东珠三角地区出现了一次暴雨过程,广州地区平均累计雨量超过50 mm,其中最大降水为235.8 mm(位于广州南湖公园测站);在清远-韶关一带也有强降水过程,同时在阳江东南部也有一强降水中心,降水强度达150

mm以上。本文模拟了5月14日00时—15日00时(世界时,下同)发生在广东中部的强降水过程。

### 3.2 试验设计

一般认为,对于WRF模式,积云参数适用于大于10 km的粗网格,在某些强对流地区,在5~10 km的水平分辨率下可以考虑使用积云参数,而对于分辨率小于5 km情况下,不使用积云参数。本文首先设计了水平分辨率为12 km和4 km的二重嵌套模拟本次暴雨过程,12 km分辨率下积云参数为KF方案,4 km分辨率下不设置积云参数,其他参数设置如表1。结果显示(图略),各个方案均没有模拟出正确的降水中心,而模拟出现虚假降水中心,模拟的降水带分布范围与实况不一致,广州降水中心的降水量也只有20 mm左右,广州地区降水量实况均在75 mm以上。此方案对于此次降水的模拟效果不理想。由于广东地处亚热带地区,5月是广州雨季前汛期,属于强对流天气旺盛期,其降水多与南下冷气流和北上暖湿气流交汇以及华南西南低空急流有关,因此,本文设计了在网格为9 km和3 km的第二套二重嵌套方案,以检验分辨率小于5 km情况下,WRF模式对降水模拟效果。

表1 粗网格(12 km)模拟参数设置

方案	积云方案	微物理方案	其他方案
1	KF(new eta)	Kessler	YSU, RRTM, Dudhia, Noah
2	同上	Lin	同上
3	同上	WSM3	同上
4	同上	WSM5	同上
5	同上	Ferrier	同上
6	同上	WSM6	同上

本次试验模拟中心点取23.055 °N, 113.402 °E,垂直方向取27个不等距分层,模式顶取100 hPa,初始场及侧边界资料选用NCEP的1°×1°全球再分析资料,积云参数化试验中选用WSM6微物理过程、YSU边界层方案、RRTM长波辐射方案、Dudhia短波辐射方案、Noah陆面过程方案,模式积分时间为121小时(2010年5月12日00时—17日00时),积分步长为60秒。由于中尺度模式对其初始场和边界条件的依赖性,模式的处理

过程将影响模式的模拟结果，因此本文在各个试验中首先使用相同的物理过程，只改变积云参数化方案，进行了4组积云参数化试验(表2)，水平分辨率均为3 km，水平格点数为151×109，分析探讨了各方案的性能及特点，对比实测观测数据得出较好的积云参数化方案，并且以此积云方案为基准，在其他参数不变的情况下，采用上述各种参数化方案，进一步模拟降水过程，并以此得出珠三角地区对降水过程模拟较好的微物理和积云对流参数化组合。

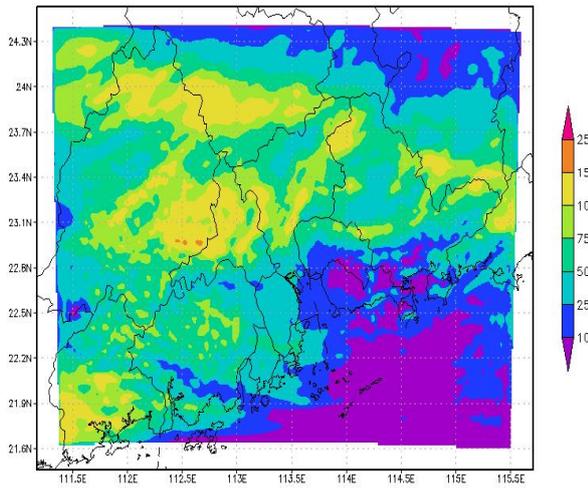
表2 积云参数化方案设计

方案	积云方案	微物理方案	其他方案
1	KF(new eta)	WSM6	YSU, RRTM, Dudhia, Noah
2	BMJ	同上	同上
3	GD	同上	同上
4	G3	同上	同上

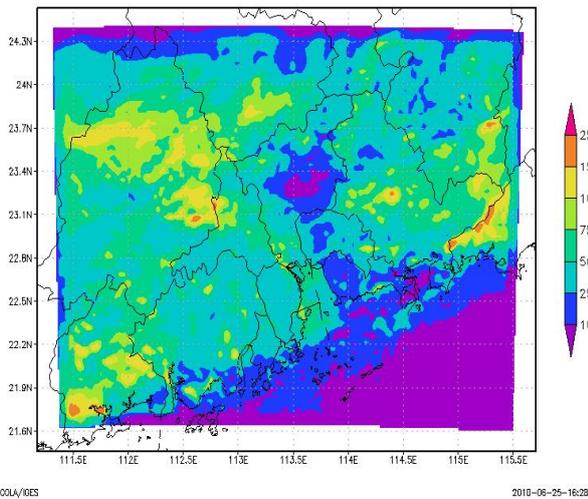
### 4 积云参数化方案模拟结果分析

如图1可见，4个方案模拟的24 h降水分布都出现了强降水带和强降水中心，但其位置却差异很大。

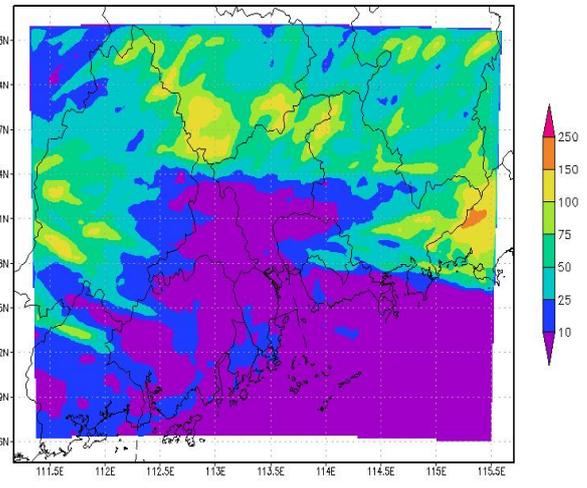
a. KF方案；



c. GD方案；



b. BMJ方案；



d. G3方案；

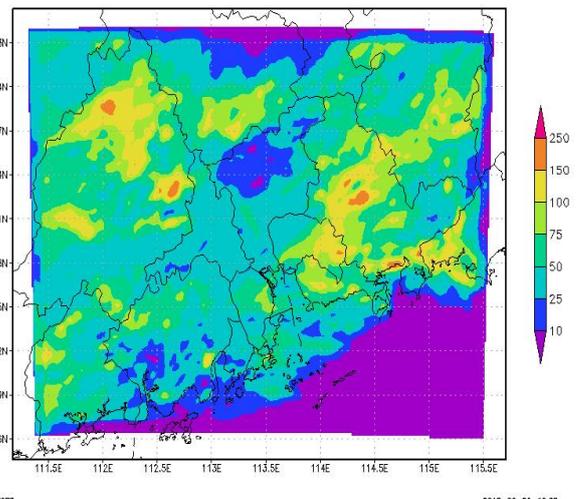
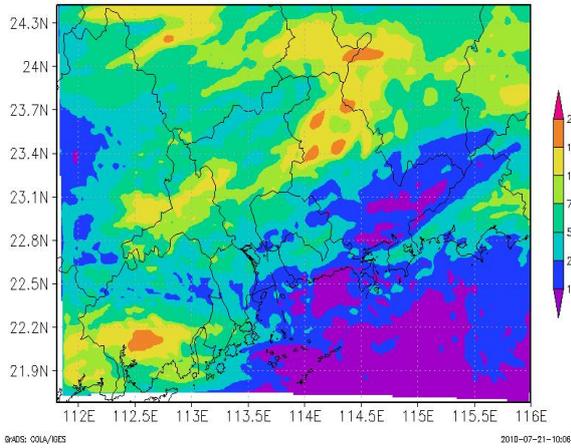
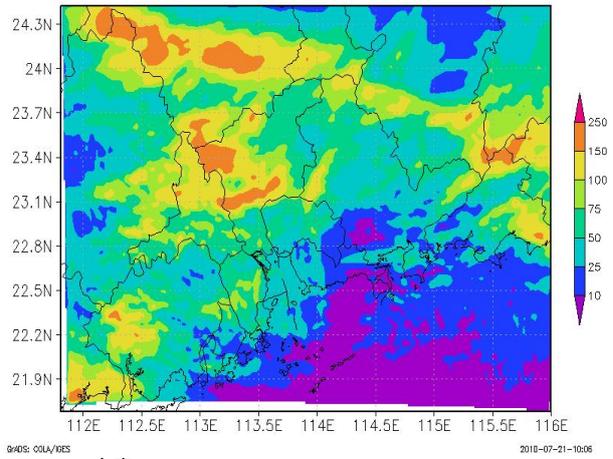


图1 积云参数化试验模拟的24小时累积降水量分布

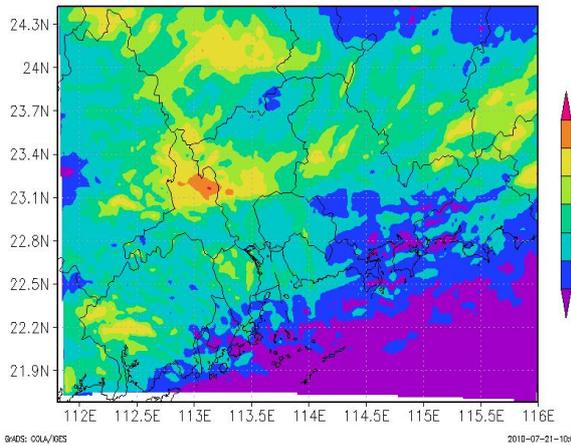
a . Kessler方案 ;



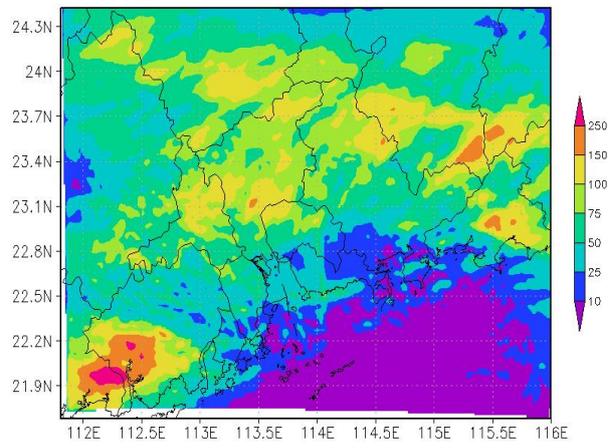
b . Lin方案;



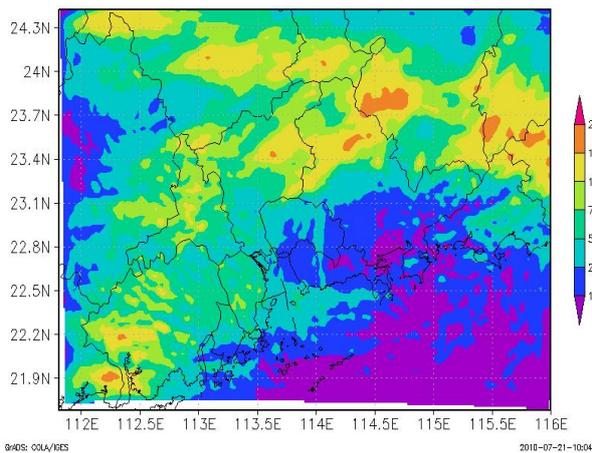
c . WSM3方案;



d . WSM5方案;



e . Ferrier方案;



f . 广东珠三角地区2010年5月14日00时—15日00时实况降水分布;

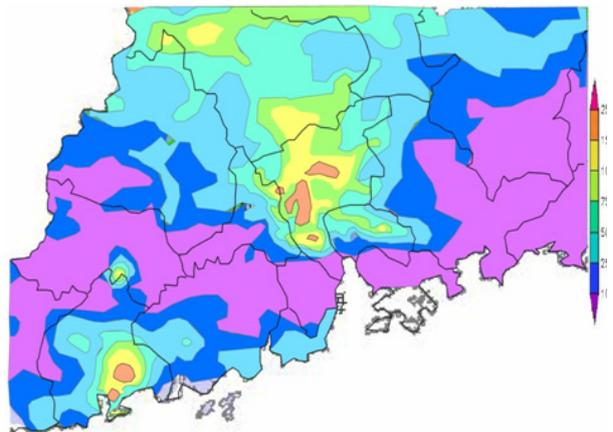


图2 微物理参数化试验模拟的24小时累积降水量分布

可以看到，只有 KF 方案模拟出了 3 个降水中心和降水带，分别是广州佛山降水中心、阳江降水中心和清远降水中心。但其降水量偏小，实况中出现了最大降水量 235.8 mm，在模拟结果中

最大降水量只有 160 mm。而此 4 种方案模拟的降水量均偏小，平均都只有 60 mm 左右，模式对于极值情况的模拟效果不好。除 KF 方案之外的其他 3 种方案无论是降水带、降水中心还是降水量

都与实况偏差较大,其中,BMJ 方案没有模拟出强降雨带,而 GD 方案和 G3 方案,只模拟出零星的小范围大降雨区,效果不好。

## 5 微物理过程的参数化模拟结果分析

由于微物理参数化和积云参数化是两个很重要的物理过程,对降水的模拟影响很明显,根据上述分析,将积云参数方案中的KF方案作为基准方案,分别再和微物理过程中的Kessler、Lin、WSM3、WSM5以及Ferrier方案搭配进行模拟,以找出对珠三角降水模拟效果较好的方案组合。从图2(见上页)和图1a中各试验所模拟的24小时累积降水量可以看到,与实况24小时降水对比,6个试验基本上都模拟出了雨带的走势与降水的落区,但降水中心位置有一定的偏差,降水强度也都有不同程度的偏弱。WSM6方案模拟的降雨带与实况接近,分别有广州佛山降雨带、阳江降雨带和清远降雨带,但是其模拟的降水量偏小,实况有超过150 mm的降水量,而模拟只有100 mm降水量。Kessler方案模拟的降水中心与实况基本吻合,雨量都达到150 mm 以上,与实况的降水强度相当,但主要降水中心——广州地区的降水没有模拟出来,且整体模拟的降雨带偏东,范围较小。Lin方案模拟出了3个降水中心,分别是广州佛山降水中心、阳江次降水中心和清远肇庆次降水中心,雨量分别达到150 mm、150 mm和100 mm 以上,其中广州暴雨中心最大降水量达240 mm,与实况降水一致性较好,但广州佛山降水中心偏西,清远肇庆降水中心偏西南,而阳江降水中心超过150 mm的强降水带范围偏小。WSM3方案模拟的降水中心和降水落区均与实况相差较远,对降水的响应较差。WSM5方案模拟的广州佛山和清远肇庆2个降水带连成一片,并且降水中心强度偏弱,只有120 mm降水量,而模拟的阳江降水中心降水强度明显偏大,降水量超过250 mm,实况只有158 mm。Ferrier方案模拟的降水中心和降水落区情况与WSM5相似,对降水落区的模拟范围明

显偏东,二者相差1个经度。WSM6模拟的降雨带走向与实况降雨带一致,但其降水量偏小,模拟的最大降水量低于150 mm。从模拟的降水分布和降水量上看,Lin方案模拟的结果要明显优于其他方案,Lin方案基本预报出了雨带的中心强度、位置和雨带的宽度,不足的是其清远降水落区偏大,并且没有模拟出小范围的降水极值。虽然6个试验采用同样的积云对流参数化方案(KF方案),但由于采用不同的微物理方案,使得预报的降水有一定差异,这在一定程度上可以说明,微物理是重要的非绝热加热物理过程之一,成云降雨过程发生以后通过感热、潜热和动量输送等反馈作用影响大尺度环流,并在决定大气温度、湿度场的垂直结构中起着关键作用,可以通过调整温湿场结构,从而影响到积云对流发生发展的条件,最终对积云降水产生一定的影响。

## 6 模拟降水物理量诊断

为了进一步分析不同参数化方案对降雨的影响,本节对主要影响降雨过程的低空急流、层结稳定度以及上升速度进行分析。

此次暴雨过程中,6种方案均显示存在来自南海,呈西南-东北走向的低空激流,风速达20 m/s,源源不断地向暴雨区输送水汽,使得暴雨区低空形成高温高湿环境,为对流不稳定增长和暴雨的持续提供了有利的水汽条件。K指数是表征中低层大气的暖湿程度和大气稳定度的指数,对强对流天气预报具有指导意义。K指数表达式为:

$$K=(T850-T500)+Td850-(T700-Td700),$$

其中 $T850$ 、 $T500$ 、 $T700$ 、 $Td850$ 、 $Td700$ 分别表示850 hPa、500 hPa、700 hPa温度,850 hPa和700 hPa露点温度。式中 $(T850-T500)$ 表示温度直减率, $Td850$ 表示低层水汽条件, $(T700-Td700)$ 表示中层饱和稳定度。 $K$ 值越大,层结越不稳定,一般而言,当 $K>35$  时,层结就相当不稳定。图3为2010年5月14日09时850 hPa高度 $K$ 指数场以及风场分布。

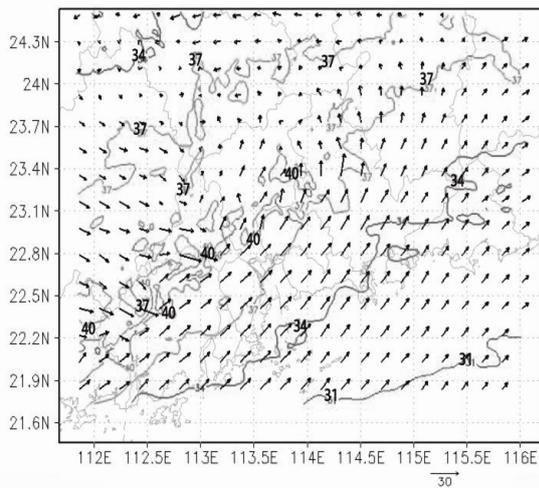
从图3可以看到,发生暴雨前各个暴雨区上空

K指数均达到40，最大超过42，表明当时大气层结相当不稳定，非常有利于强对流天气发展。低空急流源源不断地输送水汽位置与中高层大气层结不稳定位置相对应，促进强对流天气的发展，形成暴雨。暴雨的形成，除了充足的水汽输送和层结不稳定外，还需要伴随强烈的上升运动，以输送水汽、热量、动量等物理量，上升运动对天气系统的发展和暴雨的形成起着极为重要的作用。图4为2010年5月14日09时23.1°N垂直速度剖面图。

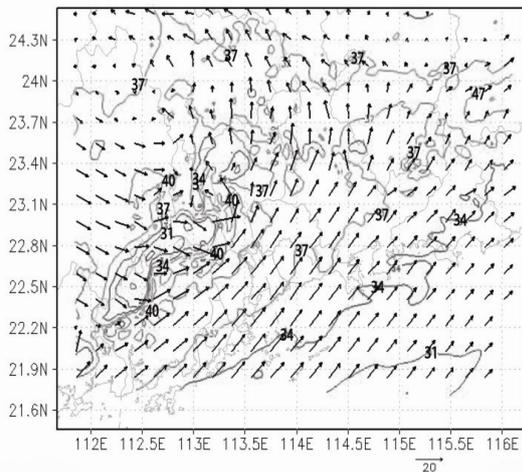
从图4可发现，在23.1°N，113.5°E处(为广州暴雨中心)，Kessler方案中，850 hPa处的上升速度仅为1.5 m/s，而500 hPa高度以上达4.5 m/s；Lin方案中，850 hPa处上升速度达到8 m/s，并且延伸到500 hPa高度也有4 m/s，很好地配合了水汽向上

层输送，为暴雨的形成提供了良好的水汽条件；WSM3方案中，模拟的上升速度情况与Lin方案类似，在850 hPa处上升速度也达到8 m/s，然而，其模拟的850 hPa低空急流及K指数场不与之对应，因而没有模拟出暴雨；WSM5方案中，850 hPa高度上升速度只有2.5 m/s，上升速度大值区出现在400~700 hPa高度之间，达6 m/s；而Ferrier方案和WSM6方案模拟的最大上升速度均只有2 m/s。根据模拟结果，提取2010年5月14日09时各个方案模拟的广州暴雨中心K值和上升速度值(表3)，Lin方案和WSM3方案对暴雨区的层结不稳定和垂直上升速度的模拟值较大，对暴雨的形成和持续过程有良好的促进作用。而其他方案模拟的850 hPa上升速度均较小，只有1.5~2.5 m/s。

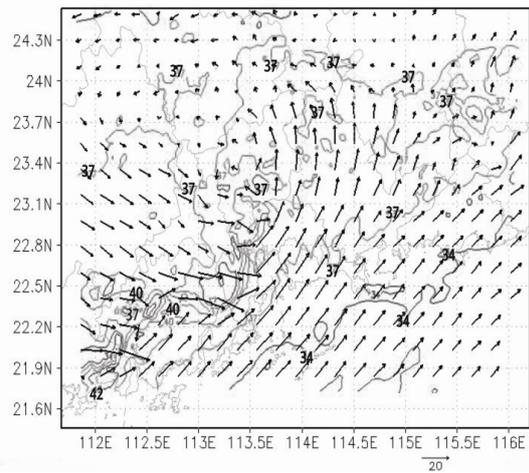
A . Kessler方案



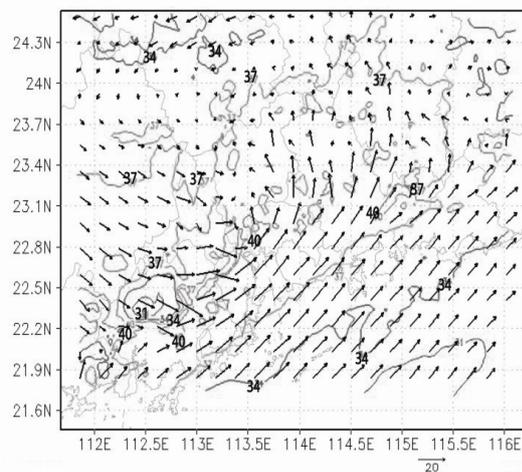
C . WSM3方案



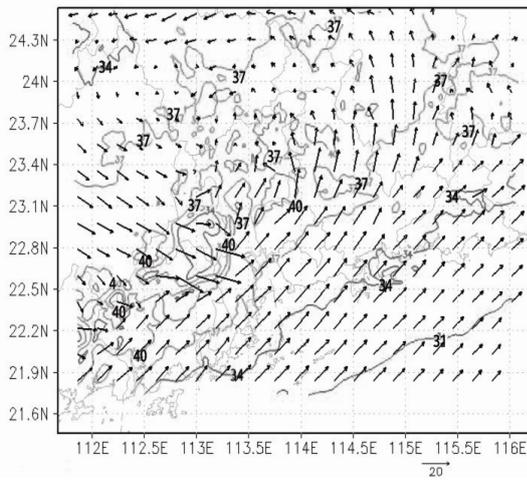
B . Lin方案



D . WSM5方案



E . Ferrier 方案



F . WSM6 方案

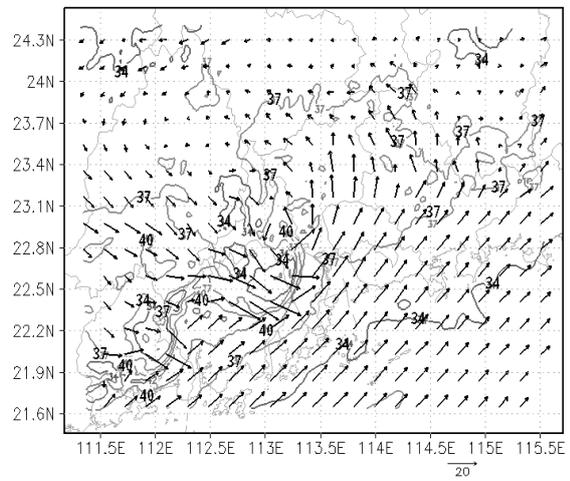
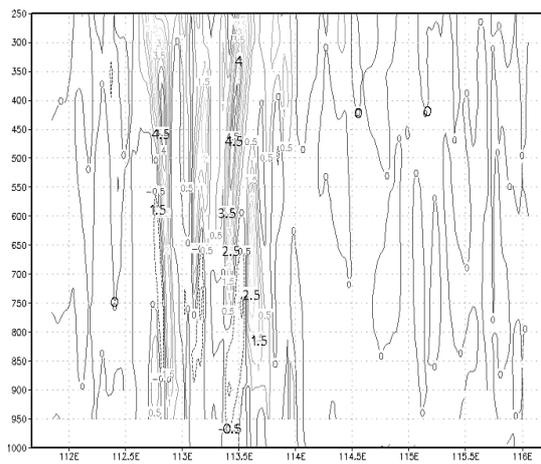
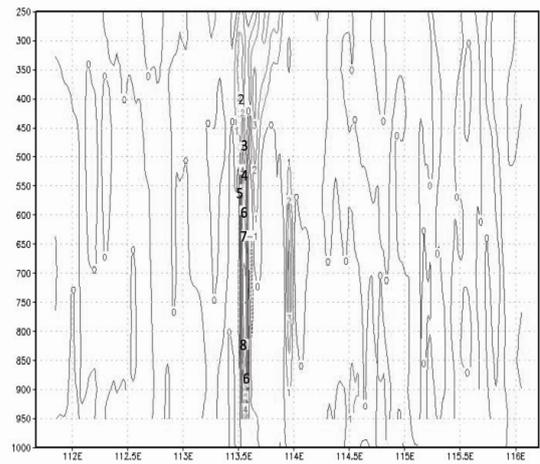


图3 各方案模拟的850 hPa风场以及K指数场图( )

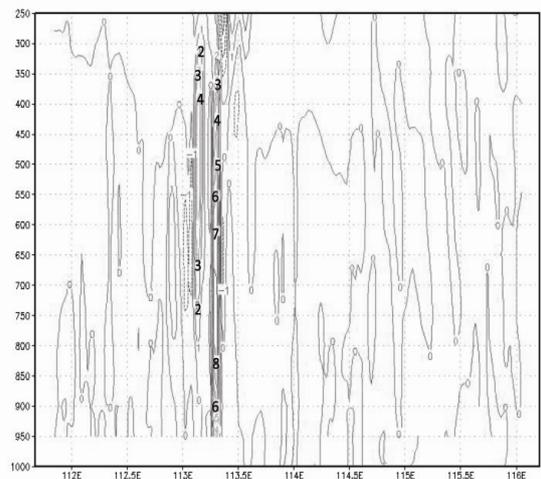
A . Kessler方案



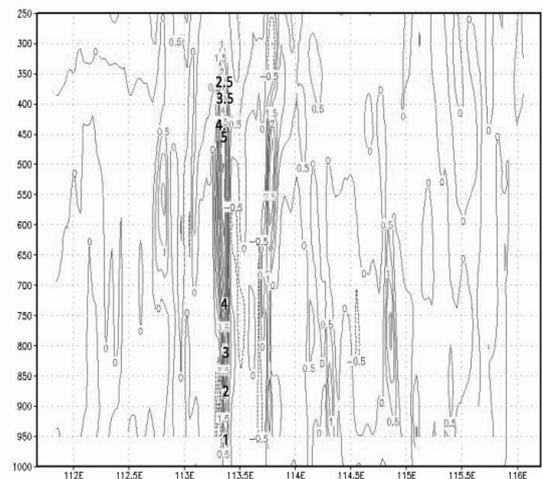
B . Lin方案



C . WSM3方案



D . WSM5方案



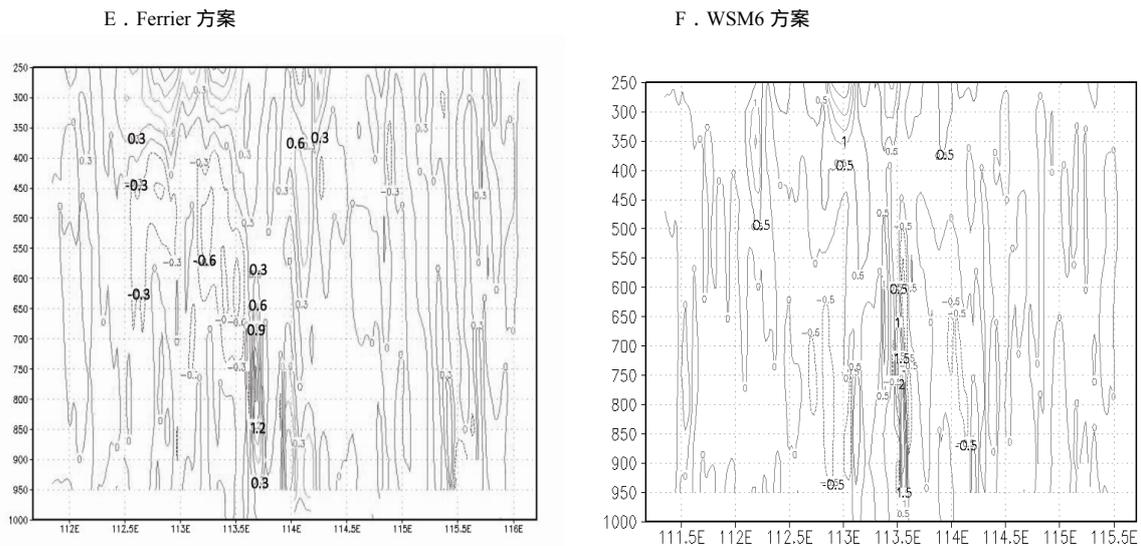


图4 各方案模拟的上升速度剖面图

表3 2010年5月14日09时不同方案的广州暴雨中心K值和上升速度对比

方案	广州暴雨中心K值	850 hPa上升速度/(m/s)	500 hPa上升速度/(m/s)
Kessler	40	1.5	4.5
Lin	40	8.0	4.0
WSM3	40	8.0	4.0
WSM5	37	2.5	6.0
Ferrier	38	2.0	0
WSM6	38	2.0	0

## 7 小 结

利用WRF模式,采用2种不同分辨率,分别为(12 km, 4 km)和(9 km, 3 km)的嵌套方法,采用4种积云参数化方案和6种微物理过程对广东2010年5月14日一次强降水过程进行模拟,结果发现,对于12 km和4 km的二重嵌套下模拟降水结果显示,各个方案均没有模拟出与实况相近的降水带、降水中心和降水量,而模拟出虚假降水中心,降水量只有20 mm左右,远低于实况的75 mm以上。而对于9 km和3 km的二重嵌套下其模拟结果较好。

(1) 相对于积云参数化方案,微物理方案可通过调整温湿场结构,从而影响到积云对流发生

发展的条件,最终对积云降水产生一定影响,在WRF模式中对降水的模拟效果的影响很大。

(2) 积云对流参数化方案KF方案与微物理方案Lin方案的组合最能模拟出降水中心的位置和强度,且降水落区和降水带宽度与实况相比较为一致。

(3) 各种微物理方案模拟的850 hPa低空急流特征有较好的一致性,但是模拟的各高度层的垂直速度和K指数场存在较大差别,其中, Lin方案和WSM3方案模拟的上升速度均达到8 m/s,而Lin方案模拟的K指数场与降水带位置较为一致;模拟的各物理量空间位置是否对应是降水模拟效果好坏的关键。

(4) 微物理参数和积云参数的改变对降水的落区影响显著, Kessler方案、Ferrier方案和WSM3方案对降水量和降水带分布的模拟效果差, WSM5方案模拟的暴雨降水中心降水量偏大,超过250 mm, Lin方案模拟的结果较接近实况,分别模拟出了3个降雨中心,降水中心降水量为240 mm,与实况较接近。对于降水的模拟,还需从多个例、多角度试验、分析,以便更进一步检验出适合珠三角地区降水模拟的参数化方案。在一定程度上为珠三角降水的模拟提供参考依据。

## 参 考 文 献：

- [1] PIELKE R A. Mesoscale meteorological modeling[M]. New York: Academic Press, 1984: 612.
- [2] NINOMIYA K. Mesoscale numerical weather prediction, numerical prediction of mesoscale severe phenomena in japan, short and medium range numerical weather prediction[M]. WMO/IUGG NWP Symposium, Tokyo, 1986: 517-531.
- [3] STENSRUD D J, BAO J W, WARNER T T. Using initial condition and model physics perturbations in short-range ensemble simulations of mesoscale convective systems[J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128(7): 2 077 - 2 107 .
- [4] 王晨稀, 端义宏. 短期集合预报技术在梅雨降水预报中的试验研究[J]. *应用气象学报*, 2003, 14(1): 69-78 .
- [5] JANJIC Z I. Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model[J]. NCEP Office Note, 2002(437): 61 .
- [6] 孙健, 赵平. 用 WRF 于 MMS 模拟 1998 年 3 次暴雨过程的对比分析[J]. *气象学报*, 2003, 61(6): 22-26.
- [7] 刘宁微, 王奉安. WRF 和 MMS 模式对辽宁暴雨模拟的对比分析[J]. *气象科技*, 2006, 34(4): 692-701.
- [8] 陈炯, 王建捷. 边界层参数化方案对降水预报的影响[J]. *应用气象学报*, 2006, 17(增): 11-17.
- [9] 陈炯, 郑永光, 等. WRF 模式中不同边界层参数化方案对 2003 年 7 月江淮暴雨的数值模拟及其比较[C]//中国气象学会 2003 年年会论文集(7), 2003: 221-224.
- [10] JANKOV Isidora, et al. An Investigation of IHOP Convective System Predictability Using a Matrix of 19 WRF Members[M]//84<sup>th</sup> AMS Annual Meeting, Seattle, U.S.A. Jan.10-15, 2004.
- [11] 刘奇俊, 胡志晋. 中尺度模式湿物理过程和物理初始化方法[J]. *气象科技*, 2001(2): 1-11.
- [12] LIN Y L, FARLEY R D, ORVILLE H D. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model[J]. *J Climate Appl Meteor*, 1983, 22: 1 065-1 092.
- [13] RUTLEDGE S A, HOBBS P V. The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. XII: A diagnostic modeling study of precipitation development in narrow cloud-frontal rainbands[J]. *J Atmos Sci*, 1984, 41(20): 2 949-2 972.
- [14] TAO W K, SIMPSON J, MCCUMBER M. An ice-water saturation adjustment[J]. *Mon Wea Rev*, 1989, 117(2): 231-235.
- [15] DUDHIA J. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model[J]. *J Atmos Sci*, 1989, 46(20): 3 077-3 107.
- [16] HONG S Y, JUANG H M H, ZHAO Q. Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model[J]. *Mon Wea Rev*, 1998, 126(10): 2 621-2 639.

## THE EFFECTS OF DIFFERENT PHYSICS AND CUMULUS PARAMETERIZATION SCHEMES IN WRF ON HEAVY RAINFALL SIMULATION IN PRD

LIAO Jing-biao<sup>1,2</sup>, WANG Xue-mei<sup>1</sup>, XIA Bei-cheng<sup>1</sup>, WANG Ti-jian<sup>2</sup>, WANG Zhi-ming<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

(2. School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** In order to study the impact of the parameterization schemes in the WRF model on rainstorm simulations, a heavy rainfall on 14 May 2010 in Pearl River Delta (PRD), Guangdong province is simulated. The study was carried out with four cumulus parameterization schemes (KF, BMJ, GD and G3) and six physics parameterization schemes (Kessler, Lin et al, WSM 3, WSM5, Ferrier (New eta) and WSM6 scheme) under a horizontal resolution of 3km. The results indicated that the Lin et al scheme, coupled with the Kain-Fritsch(KF) scheme, can accurately simulate the location and intensity of the heavy rainfall. However, the other schemes deviated in the location and produced less rainfall. The results of an analysis of unstable stratification and vertical convection velocity also indicated that this scheme can accurately simulate the reality of the rainfall. Generally, when coupled with the Kain-Fritsch (KF) scheme, this scheme is more accurate in simulating rainstorms in the PRD.

**Key words:** WRF model; physics parameterization schemes; cumulus parameterization schemes; rainstorm; PRD