

# WRF模式物理过程参数化方案简介\*

胡向军<sup>1,2</sup>, 陶健红<sup>1</sup>, 郑飞<sup>2,3</sup>, 王娜<sup>2,4</sup>, 张铁军<sup>1</sup>, 刘世祥<sup>1</sup>, 尚大成<sup>1</sup>

(1. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020  
2. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000 3. 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心,  
北京 100029 4. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710014)

**摘要:** 文章较全面的介绍了新一代中尺度天气预报 WRF(Weather Research and Forecast)模式各种物理过程参数化方案的基本情况, 进行了参数化方案选择应用的一些讨论, 对模式研究和预报应用时如何选取参数化方案提供了一定的参考。

**关键词:** WRF; 物理过程; 参数化; 选择应用

**中图分类号:** P457.6

在数值模式模拟天气过程时, 往往由于模式分辨率不足等原因, 对次网格尺度的物理过程不能很好的描述, 需要诸如辐射、边界层、微物理等物理过程参数化来完善模拟的效果。目前很多参数化方案均来自各种当前较为流行的气象模式所使用的方案, 本文介绍的 WRF模式参数化方案是目前参数化方案较为丰富, 代表性较好的一类。

WRF模式系统是由美国研究部门及大学的科学家共同参与进行开发研究的新一代中尺度同化预报系统, 其目的是提高我们对中尺度天气系统的认识和预报水平, 以及促进研究成果向业务应用的转化<sup>[1]</sup>。在未来的研究和业务预报中, WRF模式系统将成为改进从云尺度到天气尺度等不同尺度重要天气特征预报精度的工具<sup>[2]</sup>。邓莲堂<sup>[3]</sup>、章国材<sup>[4]</sup>、李毅<sup>[5]</sup>、汤浩<sup>[6]</sup>等人已对 WRF模式的基本结构和框架情况做了介绍, 但并未对其物理过程参数化方案的相关情况做全面的介绍, 本文即是在此基础上更进一步的对该模式各种物理过程参数化方案进行简要的介绍, 文中以 WRF v2版本为基础进行论述, 为研究和业务人员根据自己的研究对象而选取不同的参数化方案提供一定的参考。

## 1 辐射过程参数化

### 1.1 RRIM长波辐射方案

来自于 MM5模式, 采用了 Morcrette 等人的方法。它是利用一个预先处理的对照表来表示由于水汽、臭氧、二氧化碳和其他气体, 以及云的光学厚度引起

的长波过程。

### 1.2 Dudhia短波辐射方案

来自于 MM5模式, 采用 Dudhia的方法, 它是简单地累加由于干净空气散射、水汽吸收、云反射和吸收所引起的太阳辐射通量。采用了 Stephens的云对照表。

### 1.3 Goddard短波辐射方案

它是由 Chou和 Suarez发展的一个复杂光学方案。包括了霰的影响, 适用于云分辨模式。

### 1.4 Eta Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)长波辐射方案

这个辐射方案来自于 GFDL, 它将 Fels和 Schwarzkopf的两个方案简单的结合起来了, 计算了二氧化碳、水汽、臭氧的光谱波段。

### 1.5 Eta Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)短波辐射方案

这个短波辐射方案是 Lacis和 Hansen参数化的 GFDL版本。用 Lacis和 Hansen的方案计算大气水汽、臭氧的作用。用 Sasamori等人的方案计算二氧化碳的作用。云是随机重叠考虑的。短波计算用到时间间隔太阳高度角余弦的日平均。

## 2 微物理过程参数化

### 2.1 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,

\* 基金项目: 国家自然科学基金科学基金项目 (No. 40675078); 甘肃省气象局青年科技基金; 中国气象局区域中心能力建设项目共同资助

微物理过程中显式预报水汽、云水和雨水,无冰相过程。

## 2.2 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等人以及 Rutledge和 Hobbs的参数化方案的基础上得到的,某些地方稍有修改,饱和修正方案采用 Tao的方法。这个方案是 WRF模式中相对比较成熟的方案,更适合于理论研究。

## 2.3 Eta Ferré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,以及降冰的变化的密度(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。沉降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 $-10^{\circ}\text{C}$ 时考虑,而冰面饱和状态则假定在云体低于 $-10^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.4 WRF Single-Moment3-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。和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含量而非温度。方案包括三类水物质:水汽、云水或云冰、雨水或雪。在这种被称为是简单的冰方案里面,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,雨水和雪也是这样考虑的。该方案对于业务模式来说已足够有效。

## 2.5 WSM5方案

与 WSM3类似的,对 NCEP3方案进行了修正,它代替了 NCEP3版本。

## 2.6 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等人的方案相似,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。和 WSM3、WSM5一样,饱和度调节按照 Dudhia和 Hong等人的方案分开处理冰和水的饱和过程。

## 2.7 Thompson方案

该方案改进了较早的 Reisner方案,还作了广泛的测试。该方案还被用来做理想试验研究和中纬度冬季观测资料的比较。这个方案被设计用来提高冻雨天气情况下航空安全保障的预报。

微物理部分的详细描述可在闫之辉和邓莲堂文献<sup>[2]</sup>中得到说明。

## 3 边界层参数化方案

### 3.1 MM5相似理论近地面层方案

这个方案用了 Paulson Dyer和 Webb稳定性函数来计算地面热量、湿度、动力的交换系数。用 Beljaars提出的对流速度来加强地面热量和湿度通量。常与 MRF或 YSU边界层方案联合使用。

### 3.2 ETA相似理论近地面层方案

基于 Monin-Obukhov理论,在水面上,粘性下层显式参数化,在陆地近地面层上,粘性下层则考虑了变化的位势高度对温度和湿度的作用,近地面通量通过迭代途径进行计算,并用 Beljaars修正法来避免在不稳定表面层和无风时出现的奇异性。常与 ETAM-Y-JIKE边界层方案联合使用。

### 3.3 Eta Mellor-Yamada-Janjic TKE边界层方案

此方案用边界层和自由大气中的湍流参数化过程代替 Mellor-Yamada的 2.5阶湍流闭合模型。这是将用于 Eta模式中的 Mellor-Yamada-Janjic方案引入该模式的一种边界层方案,它预报湍流动能,并有局地垂直混合。该方案调用 SLAB(薄层)模式来计算地面的温度;在 SLAB之前,用相似理论计算交换系数,在 SLAB之后,用隐式扩散方案计算垂直通量。

### 3.4 Medium Range Forecast Model(MRF)边界层方案

该方案在不稳定状态下使用反梯度通量来处理热量和水汽。在行星边界层中使用增强的垂直通量系数,行星边界层高度由临界 Richardson数决定。它利用一个基于局地自由大气 R的隐式局地方案来处理垂直扩散项。

### 3.5 Yonsei University (YSU) 边界层方案

YSU是 MRF边界层方案的第二代。对于 MRF增加了处理边界层顶部夹卷层的方法。

## 4 积云对流参数化

### 4.1 浅对流 Eta-Kain-Fritsch 方案

在 Eta 模式中对 Kain-Fritsch 方案进行了调整, 利用了一个简单的云模式伴随水汽的上升和下沉, 同时包括了卷入和卷出, 以及相对粗糙的微物理过程的作用。

### 4.2 Betts-Miller-Janjic 方案

对 Betts-Miller 方案进行了调整和改进, 在给定的时段, 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。

### 4.3 Kain-Fritsch 方案

此方案是 KF 方案的修正方案。与老的 KF 方案一样, 此方案也用了简单的包含水汽抬升和下沉运动的云模式, 包括卷出、卷吸、气流上升和气流下沉现象。

### 4.4 Grell-Devenyi 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。静态控制的不同结合了动态控制的不同, 这是决定云质量通量的方法。

## 5 陆面过程参数化

### 5.1 热量扩散方案

基于 MM5 的 5 层土壤温度模式, 分别是 1、2、4、8 和 16 m 在这些层下温度固定为日平均值。能量计算包括辐射、感热和潜热通量, 同时也允许雪盖效应。

### 5.2 Noah 方案

Noah 陆面过程参数化是 OSU 的后继版, 与原先的相比, 可以预报土壤结冰、积雪影响, 提高了处理城市地面的能力, 考虑了地面发射体的性质, 这些是 OSU 所没有的。

### 5.3 Rapid Update Cycle (RUC) 方案

这个方案有六个土壤层和两个雪层。它考虑了土壤结冰过程、不均匀雪地、雪的温度和密度差异, 以及植被效应和冠层水。

## 6 讨论

1) 参数化的选取与模式的分辨率有关, 应根据模式网格设计情况选取相适应的参数化方案。如在高分辨率情况下, 对流已不再完全是次网格尺度现象, 这时应考虑选择合理的纯显式云物理方案<sup>[7]</sup>。对于格距小于 5 km 的情况, 一般建议不采用积云参数化方案。

2) 由于各种参数化方案在设计原理、复杂程度、计算耗费机时和成熟程度等方面存在差异, 研究者应根据研究目的和计算条件等情况来综合判断、对比选择。如对中尺度系统的考察, 积云参数化需包括湿下沉气流、中上层的云卷出和非降水性浅对流, 显式云物理方案则需同时加入含有水相和冰相的预报方程, 以计入水负荷、凝结蒸发、冻结融化和凝华升华的影响<sup>[8]</sup>。

3) 由于模式在区域预报的效果与参数化方案的适应性至关重要, 目前很多参数化方案对中小尺度系统描述能力不足, 所以开发适合本地域特点的参数化方案意义重大。

### 参考文献:

- [1] Skamarock W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical Note NCAR/TN-468+STR, 2007.
- [2] 闫之辉, 邓莲堂. WRF 模式中的微物理过程及其预报对比试验[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(6): 1-6.
- [3] 邓莲堂, 王建捷. 新一代中尺度天气预报模式——WRF 模式简介[J]. 天气与气候, 2003.
- [4] 章国材. 美国 WRF 模式的进展和应用前景[J]. 气象, 2004, 30(12): 27-31.
- [5] 李毅, 潘晓滨. 新一代天气研究预报模式 WRF 简介[J]. 教学与研究, 2003, 24(1): 54-59.
- [6] 汤浩, 贾丽红. 美国 ARW 模式系统简介[J]. 新疆气象, 2006, 29(6): 24-26.
- [7] 程麟生. 中尺度大气数值模式发展现状和应用前景[J]. 高原气象, 1999, 18(3): 350-360.
- [8] 张大林. 各种非绝热物理过程在中尺度模式中的作用[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 548-561.