

全球高分辨率模式的对流及其与云微物理相互作用的参数化方案研发

【项目编号】GYHY201406007

【研究周期】2014年1月—2016年12月

【国拨经费】252万元

【项目负责人】张广俊

【项目骨干成员】陈起英，刘琨，陆春松，杨梦森，王勇，林岩奎

【项目承担单位】清华大学

【项目协作单位】国家气象中心，南京信息工程大学

【主要研究成果】

随着高性能计算机的广泛应用，天气预报模式分辨率从 100km 量级增加至 10km 乃至更高分辨率时，传统积云对流参数化方案的基本假设是否仍然适用不是很清楚；同时 GRAPES_GFS 业务运行的积云对流方案中并未考虑对流云内的微物理过程，很大程度上会影响东亚季风区云和降水量预报。本项目通过分析观测资料和云模式输出，改进对流云夹卷率、评估并改进对流促发函数和对流闭合条件；通过在 GRAPES_GFS 全球天气预报系统中引入 Zhang-McFarlane 积云对流参数化方案（以下简称 ZM 积云方案），进行调试和优化；并在 ZM 积云方案中实现对流云内微物理方案，从而能更准确地描述对流过程和云物理的相互作用；同时分析灾害性天气条件下模式的对流模拟以及降水预报性能，对积云对流方案进行初始的评估；主要取得以下成果：

1.对流夹卷是对流参数化中的重要参数。它关系到对流云的发展和演变。利用热带西太平洋外场试验中的飞机观测资料，估算了对流云中的夹卷率。利用飞机对积云的观测，计算了积云夹卷率,并建立了深对流和浅对流云中夹卷率的参数化方案；根据夹卷对云滴谱影响方式将云分为两组,发现影响云微物理的云滴谱离散度与夹卷率既可以呈正相关,也可以呈负相关,其中小云滴的浓度是关键；深对流云主要受均匀夹卷混合机制影响。

2.使用 1 公里分辨率云解析模型对 TWP-ICE（热带暖池 - 国际云实验）和分辨率为 100 米的大涡模拟对流云的模拟估算对流云中的夹卷率。以云顶高度为特征将对流云分为不同的类型。结果表明，夹卷进云中的空气是大约等量的云

空气和环境空气的混合，卷出空气是约 80% 的云空气和 20% 的具有环境温度下饱和湿静能的空气的混合。对于每个云类别，云底和云顶附近的夹带率较高，而云中间的夹卷率较低。通过参数化将对流夹卷率与云中垂直速度联系起来。

3.配合 ZM 积云对流方案对 GRAPES_GFS 双参数微物理过程的改进；GRAPES_GFS 模式采用次网格云量计算，但云微物理方案仍然还是采用格点平均值进行计算，这种做法不符合客观实际，导致格点尺度降水偏少。采用改进的 SBU-LIN 微物理方案，将云微物理过程的计算改为云内计算，即考虑云量的影响在云微物理过程用云内值代替原来的网格平均值。实现双参数微物理过程在云内的调用以后，格点尺度的降水由比较明显的增加，尤其是在热带，改进了原有方案格点尺度降水过少的问题；调整后的云微物理方案在热带地区对流性减弱，格点降水增强。这与云微物理方案中水凝物计算时增强，更易凝结有关。

4.利用观测资料，结合云分辨 WRF 模拟，对华南地区的典型飢线过程进行不同云微物理方案的敏感性模拟，通过动力，热力和云微物理方面的对比分析，理解不同方案造成模拟飢线特征不同的原因；同时发展了双参量 SBU-YLIN 方案，进一步改进了模拟，并分析了改进的原因主要来自更准确的雨滴蒸发和灵活的冰相粒子物理特性；增进了云微物理方案对飢线模拟影响及机理的理解，对提高业务降水模拟和预报有一定的借鉴和指导意义；开发的双参 SBU-LIN 云微物理方案可以有效改进各种对流天气的模拟。

5.评估了在积云对流方案中采用的双参数云微物理方法，分析微物理过程与对流参数化的相互作用，深入理解微物理过程对于对流云发展和降水强度的作用。通过对模式结果的分析和对参数的调整，确保云微物理过程的气溶胶相关输入，以及云水云冰降水等大尺度云输出量的分布均在合理范围内；理解对流-微物理方案的相互作用，对微物理过程影响对流方案的机制做出准确分析。

【成果应用情况】

本项目在国家气象局数值预报中心的 GRAPES_GFS 全球天气预报系统中引进在气候模式中广泛使用的 ZM 对流参数化方案，GRAPES_GFS 模式中对流参数化方案对对流云上升气流中不同水物质之间的转换的描述相对简单，这直接影响对流与网格尺度云的相互作用，而采用相对复杂的双参数对流微物理方案来描述积云对流微物理过程更为合理与准确。

项目引入了考虑复杂对流微物理过程的双参数对流微物理参数化，进一步将对流和网格云的相互作用有机地结合起来；与未考虑复杂对流微物理过程的方案比较，加入新的积云对流微物理方案后有更多的云水、云冰卷出。卷出的水物质

进入环境中，增加格点尺度云中云水、云冰含量，从而进一步影响云中的雨水和雪。由于积云对流微物理方案卷出的水物质增多，带来的网格尺度平均的水凝物也增多，尤其在积云对流活跃的热带海洋地区表现尤其显著，对大气长波辐射有很大影响。在模式中改进了网格云参数化方案，去除了原方案中一些不合理的假设；改进后的云微物理方案中水凝物增多，更易凝结，格点尺度的降水有比较明显的增加，尤其是在热带，改进了原有方案格点尺度降水过少的问题。最终将改进调优后的 ZM 方案应用在 GRAPES_GFS 全球天气预报系统中，其月平均对流加热率与减湿率与欧洲中心 YOTC(Year Of Tropical Convection, 热带对流年)物理倾向场结果对比，采用 ZM 积云方案的深对流加热率分布合理。将 ZM 方案移植入 GRAPES 全球模式的过程中，模式软件工程方面遇到了一些障碍。由于 ZM 方案闭合假设要求的由环境场产生 CAPE 的变量与目前 GRAPES 模式中并行调用物理过程的方式不协调，故而将 GRAPES 模式改为与之相协调的串行调用物理过程。

另外，因为 Zhang-McFarlane 方案中采用的新的闭合假设方案需要考虑动力框架及其他物理过程的温度及湿度的增量，在模式调试过程中对各个动力及物理过程的增量进行细致分析，发现模式的动力过程计算与物理过程不一致的地方。与动力框架组紧密合作，找出问题的根源，得到了合理的解决。该问题的发现和解决对模式的预报效果有所改进，同时，也给对流参数化提供更合理的输入场。

【成果代表图片】

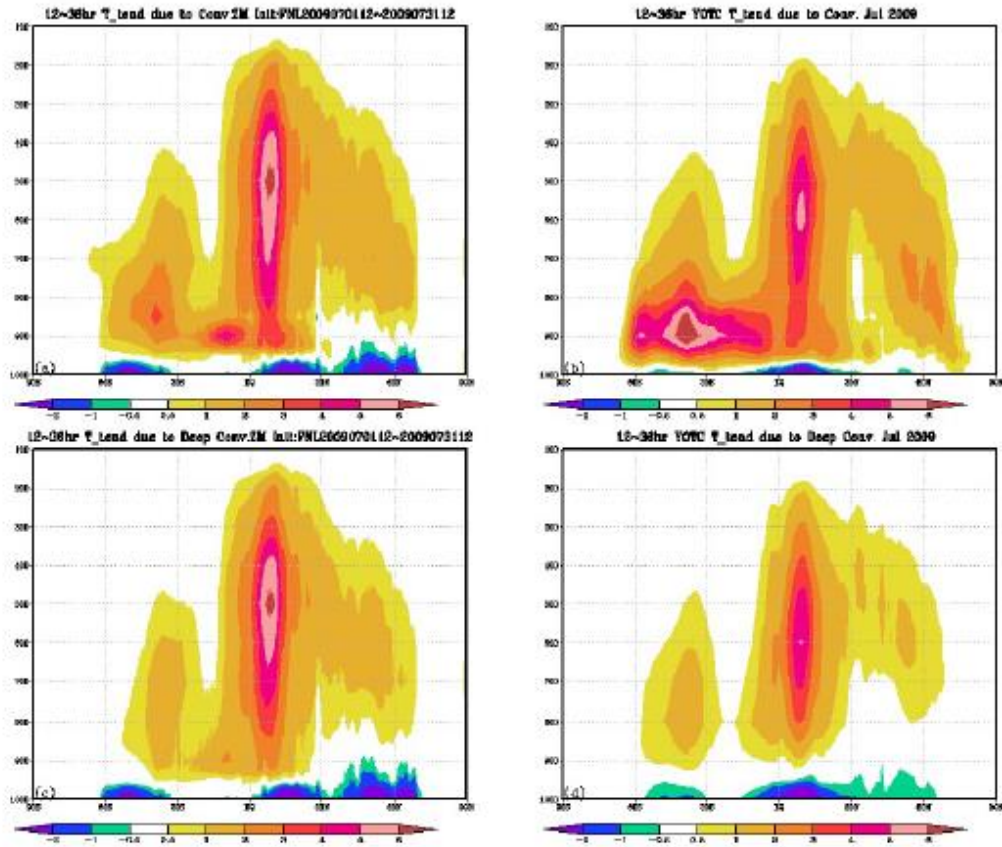


图 12~36 hr 模式预报 2009 年 7 月月平均总对流和深对流加热率纬向平均垂直分布图（单位：K/d）。其中（a，c）分别为 GRAPES 模式采用 ZM 方案的总对流和深对流加热率，（b，d）分别为 YOTC 模拟对应的总对流和深对流加热率。