暴雨的多尺度作用机理及预测理论和方法

一、项目介绍

本项目面向我国防洪减灾工作的重大需求，瞄准暴雨监测和预报中的核心前沿科学问题开展深入研究。拟解决的重大科学和技术问题主要有：基于多探测技术的暴雨系统动力和云微物理参量综合反演技术；适用于对流尺度模式的资料同化方法；暴雨系统的中小尺度热、动力和云微物理结构；东亚季风背景下，我国暴雨发生过程中的复杂下垫面影响、大气多尺度作用、云微物理过程及其反馈；更合理表达我国季风暴雨的云微物理特征和边界层结构的模式物理参数化方案；我国季风强降水的可预报性和数值预报误差来源，对流尺度集合预报扰动技术与多模式强降水概率预报集成方法。

二、项目成果

成果 1. 华南暴雨外场试验、多源数据同化方法和数据应用

在国内首次利用多波段垂直指向云雷达和 S 波段双线偏振、X 波段相控阵偏振雷达、双波段云雷达等先进的探测技术，并结合多种卫星主被动遥感数据的融合技术和飞机直接观测，实现了不同时空分辨率的华南暴雨微物理和动力精细结构的观测和反演；采用 S 波段双线偏振该雷达组网技术，生成了 6min、水平 1km 分辨率暴雨过程降水粒子相态识别和地面雨强格点产品,采用S、X波段雷达网数据生成了1.5min、

0.1km 分辨率的三维风场等；利用双波段云雷达的数据分析方法，生成了 0.5min、0.03km 分辨率的空气垂直速度、雨滴谱分布、Gamma 分布的雨滴谱参数、含水量、雨强的廓线数据。

成果 2. 基于超高分辨率观测的我国季风暴雨精细化动力物理结构揭示

利用 2016 年以来外场试验获取的超高分辨率多平台观测资料，以及项目研发的一系列资料质控和反演算法，揭示了华南暴雨γ-中尺度动力结构和微物理特征的新的观测事实。

成果 3. 华南前汛期暴雨的复杂下垫面影响机理揭示

系统揭示了双低空急流耦合与复杂下垫面共同作用对华南地区强对流触发和发展影响的动力学机理；详细阐述了复杂地形和强城市热岛协同作用影响粤港澳大湾区极端小时降水的发生发展机理；首次提出了极端持续性强降水（EPHR）事件的概念和判别标准，获得了华南地区 EPHR 事件的时空分布特征和海岸 EPHR 事件的触发机制。

成果 4. 华南前汛期暴雨的多尺度作用机理揭示

系统揭示了华南前汛期暴雨统计特征、天气尺度系统影响、大尺度环流扰动特征。创新点：揭示了华南前汛期暖区暴雨和锋面暴雨的时空分布、季风气流和天气尺度系统影响机理、次季节尺度扰动特征，提出了白天岸上对流活动加大经向温度梯度可以显著影响夜间海岸暖区暴雨发展的新认识。

成果 5. 适用于华南暴雨的边界层参数化和云微物理参数化方案优选和改进

本项目基于广东省气象站网、自动站、探空站和雷达数

据、海上平台和飞机等特种观测资料，在对模式的边界层参数化方案和云微物理参数化方案进行系统评估的基础上，优化了一些方案的表达公式，建成了对季风背景下华南暴雨预报有正效果的边界层参数化方案 1 套和云微物理参数化方案 1 套。改进的参数化方案实现了对模式的暴雨预报准确率提高 5%的目标，通过了专家组论证。

成果 6. 自主可控的中国气象局华南对流尺度集合预报模式扰动技术和系统研制

基于 GRAPES 模式，发展了一套对流尺度集合预报模式扰动技术，创新研制了“随机降水变量强迫函数”、“联合随机物理-偏差订正扰动新方法”、“小尺度地形扰动”等集合预报模式扰动方法。在此基础上，形成了自主可控的 CMA 华南对流尺度集合预报系统。创建了基于随机降水变量强迫函数（PreSF）模式扰动技术的 GRAPES-3km 华南暴雨对流尺度集合预报系统，显著提升了华南暴雨概率预报能力。

三、成果代表图片

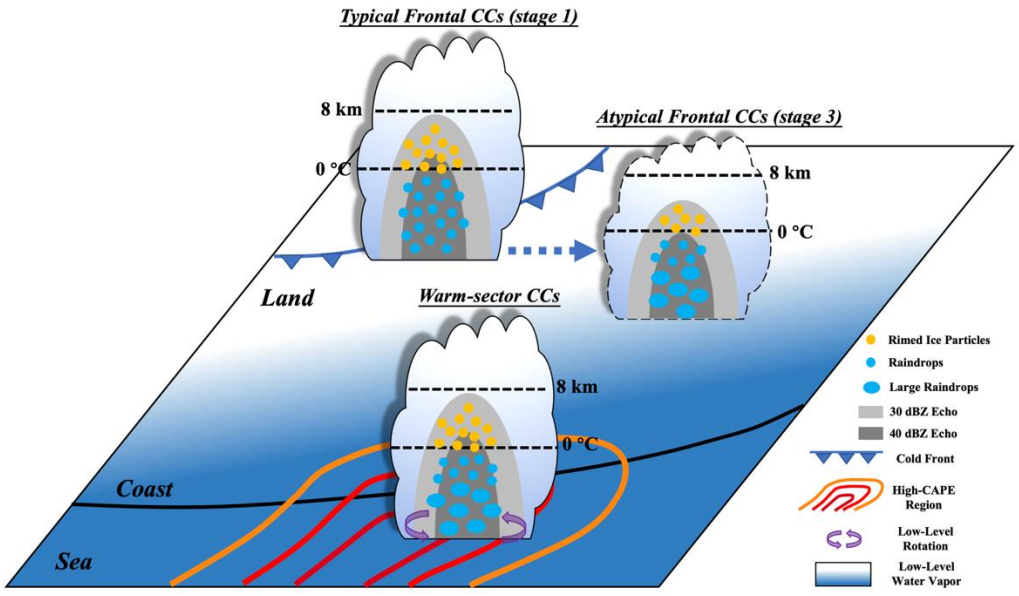

图 1：华南暴雨过程中暖区对流和不同阶段锋面对流的微物理特征及其环境影响因素概念图

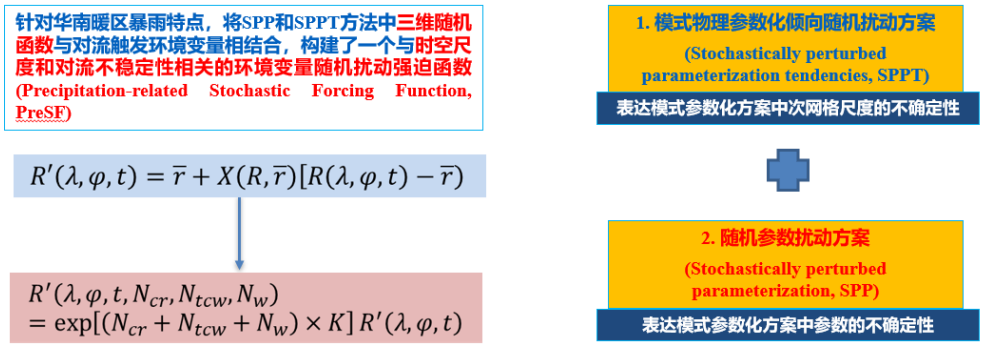

图 2：（左图）研制了新型的随机降水变量强迫函数的对流尺度模式随机物理扰动强迫函数；（右图）改进了传统的 SPPT 和 SPP 方案，建立了华南暖区暴雨随机物理扰动方案。

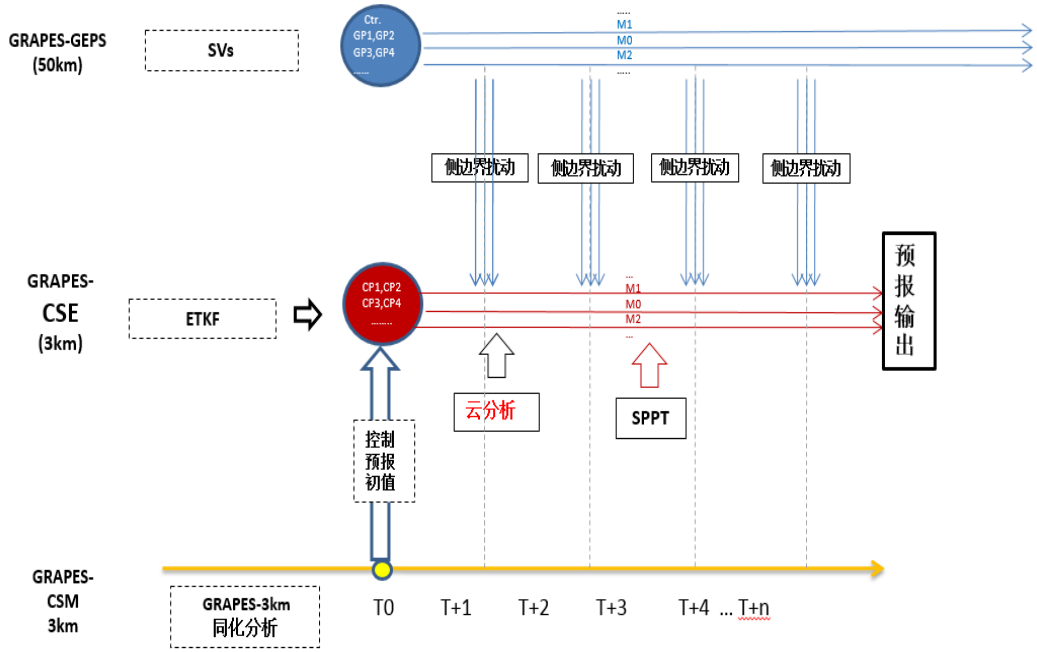

图 3： 华南区域 GRAPES-3km 对流尺度集合预报试验系统流程图。