

次网格地形参数化方案对复杂地形地区降水和环流影响的数值试验

王雅琦, 王兰宁, 冯娟, 宋振亚, 吴其重

国家气候中心, 北京师范大学, 国家海洋科学技术先导实验室

摘要: 数值模式是模拟和预测天气/气候的重要工具, 由气候系统物理过程的数学描述和计算模块构成。数值模式受到初始场, 边界条件和参数化方案等误差的影响, 其模拟或预测的结果和实际观测存在较大偏差。其中, 对陡峭地形地区降水的模拟值过高, 是大气环流模式 (AGCMs) 普遍存在的一个偏差, 其可能原因是模式对地形描述的不完善, 尤其是模式水平分辨率有限导致的对次网格地形特征的描述不准确。这一问题一直备受气象学家的关注, 但以往的研究主要集中在数值模式中次网格地形坡度和坡向的热力学效应的参数化研究, 而很少研究数值模式中次网格地形坡度和坡向的动力抬升作用。本研究通过一种次网格地形统计表达参数化方案将地形性垂直运动引入 CAM5-SE 模式中进行数值试验, 通过添加地形垂直运动来修正原始垂直速度, 从而显著改进了陡峭山区降水的模拟。数值试验结果表明, 在高原和山脉地区, 如青藏高原和安第斯山脉的陡峭边缘地带, 降水模拟有了显著改进, 山顶降水的正偏差和迎风坡降水的负偏差均有所降低。地形垂直运动的改进方案使得模式对山顶夏季平均降水模拟的模型偏差降低了 48% (6.23 mm/day), 其中对流性降水的模拟值降低了 4.83 mm/day, 对总降水模拟的改善贡献最大。此外, 本研究还将地形的动力抬升效应从模式最低层 (Single) 扩展到模式最底层向上的多层 (Multi), 并从理论推导和数值试验两方面验证了地形性垂直运动随模式分辨率的变化规律。由于次网格地形参数化方案的引入使得模式中迎风坡前低海拔地区的水汽输送显著改善, 与控制试验 (Ctl) 相比, Multi 试验在低分辨率试验中可以模拟出青藏高原南坡前的水汽西绕流。Single 和 Multi 试验中的地形垂直运动方案均可以提高复杂地形地区降水的模拟。使用该方案的模式结果与 CMIP6 的 18 个模式结果进行对比分析, 发现在个别复杂地形地区该方案对于降水的模拟性能显著提升。

关键词: 次网格地形参数化方案, 地形降水, 大气环流模式