

初始扰动对数值模式模拟能力的影响

林万涛^{①*}, 吴立飞^②, 林一骅^①, 薛峰^①

① 中国科学院大气物理研究所, 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029;

② 华北电力大学数理系, 北京 102206

* 联系人, E-mail: linwt@lasg.iap.ac.cn

中国科学院战略性先导科技专项(XDA01020304)和国家重点基础研究发展计划(2010CB951901)资助

大气和海洋模式数值模拟的结果是否准确, 首先取决于模式的模拟能力. 由于大气和海洋运动本质上是非线性的, 其运动状态依赖于初始场(初值). 模式作为非线性发展方程的离散化形式, 其运动状态仍然依赖于初始场. 初始场的微小变化有可能导致模式的结果完全不同, 甚至使模式丧失模拟能力. 而对大气和海洋运动的实际问题进行数值模拟时, 无论所用的观测资料如何准确, 初始场难免存在着误差. 由于这些误差的存在, 可能会使得模式的结果与实际状态相比大相径庭. 因此, 探讨初始扰动对模式模拟能力的影响就成为大气和海洋科学中的一个热点和难点问题. 正是基于这种情况, 激发了 20 世纪 80, 90 年代资料同化技术的快速发展. 通过资料同化的方法对初始场误差进行订正, 极大地改善了初始场的质量, 使其更接近大气和海洋运动的实际状态, 模式的模拟能力得到了一定的提高. 但资料同化的方法到底能在多大程度上改进模式的模拟能力, 到目前为止仍是一个尚未解决的难题.

本文以一维非线性发展方程的简单模式为例, 用数值试验的方法对初始扰动对模式模拟能力的影响进行了

探讨. 初值为 $u(x, 0) = x + 5.21078$, 扰动为 $\delta_n = 10^{-n}$, $n = 1, 2, 3, 4, 5$. 结果表明当初扰动减小到一定程度以后(10^{-3}), 再继续提高初值的精确度已经不能改善模式的模拟能力. 误差的非线性快速增长限制了模式模拟能力的进一步提高(图 1). 由此得到如下结论:

(1) 初始扰动对模式模拟能力的影响是显著的. 模式的模拟能力随着误差的逐步增大逐渐丧失. 当误差发

展达到一定程度时, 模式有可能完全失去模拟能力.

(2) 初始扰动的误差是非线性增长的. 这说明虽然目前观测资料质量和同化技术还有很大的进步空间, 但即使将来可以将初始资料做得非常精确, 或者通过同化等各种方式使得只存在小振幅的误差扰动, 当初始场改进到一定程度后, 再提高模式的模拟能力也将会非常困难.

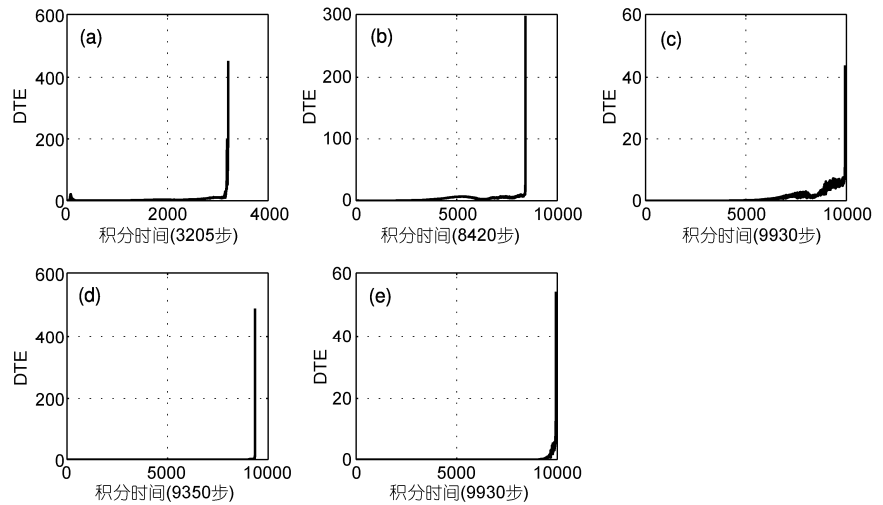


图 1 扰动能量(DTE, the domain-integrated difference total energy)随时间的演变
(a) $\delta_1=10^{-1}$; (b) $\delta_2=10^{-2}$; (c) $\delta_3=10^{-3}$; (d) $\delta_4=10^{-4}$; (e) $\delta_5=10^{-5}$