

2002 年东亚沙尘天气的数值模拟

宋振鑫 邵亚平
(中央气象台数值预报室) (香港城市大学)

摘 要

沙尘暴天气是发生在世界上干旱、半干旱地区的一种灾害性天气,也是一种环境现象,受到地质和气候变化以及人类活动的影响。本文介绍了沙尘暴天气数值模拟系统的研究过程:(1)风蚀现象(wind erosion)的物理机制,风蚀具有复杂的物理机制,包括大气、土壤和陆面过程,风蚀的数值模拟涉及气象、流体力学、土壤物理学、表层土壤水文学以及生态学等诸多学科。(2)沙尘暴数值模拟的关键是准确描述风蚀现象的三个物理过程,也就是由于风切变引起的地面粒子的卷积过程;大气平流和湍流引起的沙尘粒子的输送过程;通过干、湿清除引起的粒子的沉降过程。(3)集成的沙尘暴数值模拟预报系统的特点和结构介绍,该系统主要包括大气数值模式、陆面过程模拟、起沙和沙尘传输、沉降模拟三部分。(4)数值模拟结果介绍,利用 T213 全球中期预报模式为集成的沙尘暴数值模拟预报系统提供背景场,在 2002 年春季进行了一些数值试验,结果表明该系统对沙尘暴有较好的预报能力,同时也指出了需要改进和完善的地方。

1 引言

发生在中国北方及蒙古的沙尘天气称为东亚沙尘天气。最近一些年来东亚沙尘天气的频繁发生引起了社会各界的广泛注视。沙尘天气首先是一个自然现象,但人类活动所引起的气候变化和沙漠化无疑对沙尘天气的恶化有很大的影响。沙尘天气所产生的大量悬浮颗粒在下游地区造成严重的空气污染。中国北方、蒙古南部、朝鲜半岛和日本深受其害。强沙尘暴对人民的生命安全及正常的社会、军事和经济活动都危害极大。

在对沙尘天气的研究中有许多棘手的问题,但最重要的是要深刻理解沙尘天气形成的物理机制,并在此基础上定量地描述和预报风沙分布、强度、输送与沉降。沙尘天气的形成是一个复杂的物理过程,涉及到大气运动与地表状况等诸多复杂因素。国内外对沙尘天气,特别是对起沙、输送与沉降等物理过程的深入分析和数值模拟都起步较晚,用于沙尘天气的预报系统还处于发展初期。因此沙尘天气的模拟与预报在目前是一个有很大难度的课题。

2002 年国家气象中心、国家卫星气象中心、中科院地理所、中科院大气所和香港城市大学联合成立了沙尘暴预报与监测的强化研究小组。目的是要充分发挥各参加单位的优势,加快与深化我国对沙尘天气的研究工作,并通过对 2002 年春季沙尘天气的监测与实时预报,为在中国气象局发展新一代的沙尘天气业务预报系统提供科学依据和技术准备。该小组使用并发展了以数值预报为核心、以卫星观测与地理信息系统为资料背景的沙尘天气集成预报系统,并在国际上首先成功地对 2002 年春季沙尘天气进行了实时预报。分析表明,该集成预报系统有能力短期预报沙尘天气的源地、大气中的沙尘浓度、沙尘的输送以及沉降。通过与地表观测和卫星云图的比较,可以肯定集成预报系统对 2002 年的多次沙尘天气的预报都是比较成功的。

研究小组的工作促进了我国对沙尘天气的研究,并为沙尘天气的业务预报打下了良好的基础。可以说,我国对沙尘天气的模拟、监测与预报走到了各国的前面。特别要指出的是沙尘天气集成预报系统的主要特点是综合地使用数值预报、卫星遥感、地理信息系统与地表观测,为正在日益兴起的环境研究提供了一个实例,并在方法上开辟了一条新的途径。

2 2002 年春季东亚沙尘天气的数值模拟

2.1 模式的主要结构

由于沙尘天气产生的物理机制复杂,影响其发生、发展的环境因素众多。我们对沙尘天气的预报主要基于沙尘天气集成预报系统。该系统包括区域大气模式、陆面过程模式、风沙模式(包括风蚀、输送和沉降模式)和地理信息系统。大气模式为风沙模式提供风速、降水等物理场;陆面模式预报土壤水分、摩擦速度等物理量的变化,同时为风蚀模式提供其它参数;风沙模式主要预报沙尘的源地、浓度、与沉降传输;地理信息系统提供了土壤类型、植被覆盖、植被类型、叶面指数等参数,为大气、陆面与风沙模式提供必须的输入参数。该系统是一个比较完善的、具有国际先进水平的沙尘天气数值预报系统。

2.2 模式的输入和嵌套

集成沙尘天气数值预报系统和国家气象中心 T213 全球业务模式嵌套运行,T213 模式的分析和预报结果为沙尘天气数值预报系统提供初始场和侧边界资料。在 2002 年的试验中,我们发展了模式的前处理接口程序,其主要功能为读取 T213 模式的预报场库资料,并进行处理和格式转换。前处理程序首先将 T213 模式的输出水平插值到区域大气模式的预报范围内,再将其等压面的信息插值到区域大气模式的面上。

2.3 地理信息系统

模式的运行涉及到许多地面参数。它们包括:植被类型、植被叶面积指数(LAI)、植被高度、植被侧面积指数、植被反照率、植被覆盖率、植被最小气孔阻力、植物根系分布、地表粗糙度、糙率物侧面积指数、土壤质地类型以及陆地与海洋的分布。导出这些参数的

最基本资料是土壤类型、植被类型与叶面积指数。

2.4 模式的输出

沙尘天气集成数值预报系统模拟风沙天气的全过程并预报关于大气、地表与风沙的物理量。这些物理量可以用于完整地描述风沙天气形成的天气系统、风沙源地的分布与强弱，大气中的沙尘含量、输送与沉降。由于输出的物理量众多，在此我们仅介绍一些描述沙尘天气的主要物理量。

2.5 沙尘天气数值模拟的结果

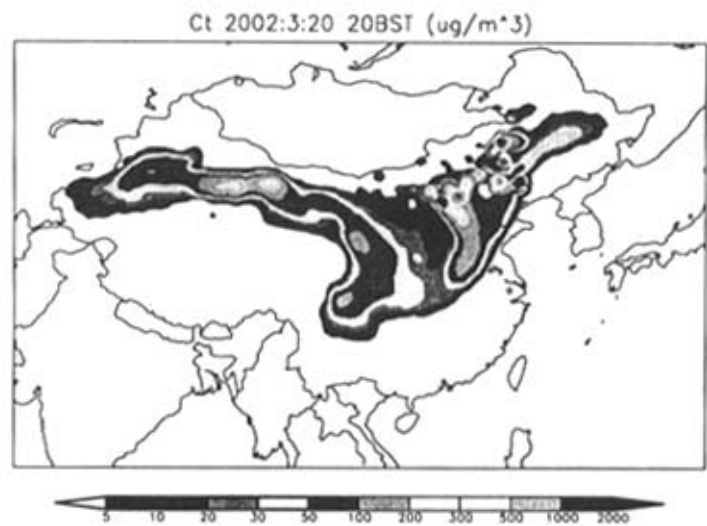


图 1 2002 年 3 月 20 日 20 北京时模式预报的地面沙尘浓度

图 1 是 3 月 20 日 20 时模式预报的地表沙尘含量，单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。可以看出，3 月 20 日 20 时，沙尘天气系统向东移动，范围扩大。比较地面观测和模式预报的地面浓度，可以清楚的看到，我们对这次沙尘天气全过程预报非常成功。预报的沙尘浓度分布范围与观测结果非常一致。

3 小结

- 2002 年的研究表明, 集成预报系统对沙尘天气的定性预报, 即风沙产生的源地、时间、空间结构以及输送路径的可信度很大, 可以用于业务预报。
- 在对沙尘天气形成的物理机制的研究中, 集成预报系统有难以取代的作用。
- 集成预报系统的定量预报也有一定的可信度, 但目前没有充分的观测数据用于预报效果的评估。
- 由于产生沙尘天气的物理机制复杂以及集成预报系统是一种新的尝试, 有待解决的问题还很多, 主要的方面可以概括如下: 建立与完善地理信息系统、数值沙尘预报与卫星监测的定量检验、陆面过程的数值同化、沙尘集成预报系统的业务化。