



一次较大范围沙尘暴过程的数值模拟

尤凤春 王 宏

(河北省气象台, 石家庄 050021)

摘 要

应用黄美元等开发研制的东亚地区分谱的黄沙输送模式, 对 2002 年 3 月 20~21 日出现在河北省北部的沙尘暴天气过程进行了数值模拟试验。

1 沙尘暴天气概况

2002 年 3 月 20~21 日, 受从蒙古南下的较强冷空气影响, 我省大部分地区先后出现大风天气, 张家口、承德风力达 6~7 级, 阵风 8 级, 部分县市出现沙尘暴或强沙尘暴, 这也是河北省北部地区近年来强度较强、范围较大的沙尘暴天气过程。3 月 20~21 日, 张家口(康保、沽源、尚义、赤城、张北)、承德(丰宁、滦平、隆化、承德市、平泉、下板城)、唐山(遵化)共有 12 个站出现沙尘暴, 其中康保、沽源、平泉 3 个站达强沙尘暴。这次沙尘暴天气过程对当地的经济、交通运输、旅游业以及空气污染等均产生了严重影响。

2 黄沙输送模式模拟试验

2.1 黄沙输送模式的基本原理

有关分谱黄沙输送模式的设计原理, 请参看文献^[1]。该模式在综合分析东亚地区起沙的下垫面条件、天气条件和气候背景的基础上, 利用中国 400 个气象台站有关沙尘的观测资料, 并参考以往的起沙机制模型, 设计出一个东亚地区的包括起沙、平流输送、湍流扩散和干、湿沉降过程的远距离黄沙输送模式, 该模型首先判断是否起沙, 如果起沙再计算起沙量。是否起沙选择了以下判据:

(1) 天气系统判据。主要判断锋面气旋天气系统, 如果起沙源区处于这种天气系统控制, 则起沙的可能性增大。模式中采用一些指标(如 12 小时变温及上升运动)来判断是否有锋面。

(2) 风场判据。达到起沙风速是起沙的基本条件。采用临界摩擦速度和临界风速相结合的判据。仅当超过临界摩擦速度或临界风速时才可起沙。不同地区不同下垫面不同粒径采用不同的临界摩擦速度。

(3) 下垫面的湿度状况判据。采用模式最底层的相对湿度作为判据, 一般来说, 相对湿度小于 40% 才能起沙, 但这个临界相对湿度因地区而异。

在模拟试验中,根据河北省的具体情况,对以上三个判据进行了统计分析,并进行了本地化处理。

2.2 输入资料及气象场的处理

模式考虑了地面的植被特征,把地面植被分为 15 类^[2],作为模式的输入场加入,并考虑了植被尤其是北方草原的季节变化。地形资料采用中国科学院大气物理研究所资料中心的地形网格资料。关于沙漠及黄土高原特征如沙漠及黄土的分布范围^[3]、地面粒子谱分布特征的资料也形成网格化资料作为模式的输入场。

由于临界起沙风速(文中采用摩擦速度)随下垫面、地区、天气条件等的变化而变化,因而根据河北省气象站多年的气象资料进行统计分析,总结出一些典型区域的临界起沙摩擦速度,并作为模式的输入资料。

气象场采用 NCAR/NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料。降水采用气象站的观测资料内插得到。模式的模拟域包括 71 个经度($75^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$),44 个纬度($16^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$)。垂直分为 8 层,网格距为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。采用 $\sigma - z$ 地形坐标。方程采用差分方法求解,采用了时布分离技术。模式的积分时间与一般中尺度气象模式相当。

对 2002 年 3 月 20 日沙尘暴个例进行模拟时,我们取定模式的起始时间为 2002 年 3 月 19 日 00 时(世界时),模式积分 72 小时,每 2 小时输出一次模拟结果,共输出 36 个时次,每个时次给出了三层沙尘浓度预报结果(即沙尘浓度的水平剖面图,单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。其中第一层对应高度为 50 米,第二层对应高度为 750 米,第三层对应高度为 2750 米,背景风场为 U 和 V 的合成风场。

2.3 模拟结果对比分析

下面对黄沙输送模式模拟的黄沙浓度与地面沙尘观测实况进行对比分析。

2002 年 3 月 20 日 08 时 50 米高度模式模拟的沙尘浓度图(单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和地面沙尘观测实况见图 1 所示。沙尘浓度模拟图中的颜色由浅到深分别为浮尘、扬沙和沙尘暴天气。3 月 20 日 08 时,在蒙古东部、内蒙古东部、河北省西北部、山西大部、陕西等地有沙尘天气产生,沙尘区域呈东北—西南带状分布。模式模拟的沙尘区域也呈东北—西南带状分布,其中位于内蒙古东部到河北省西北部范围较大的高值区与沙尘暴天气对应关系较好,中心最大值超过 $1500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而山西南部到陕西等地的扬沙或浮尘天气的模拟结果不太理想。

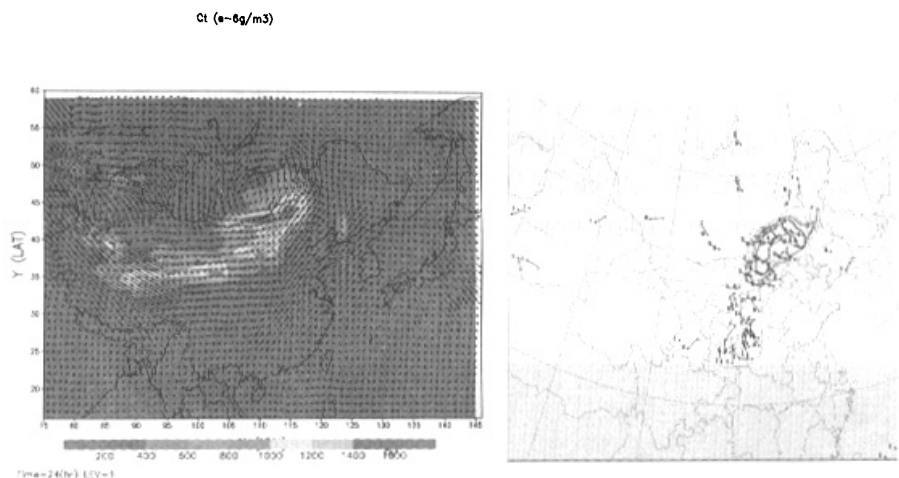


图1 2002年3月20日08时50米高度沙尘浓度模拟图(单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和地面沙尘观测实况

2002年3月20日14时50米高度模式模拟的沙尘浓度图和地面沙尘观测实况见图2所示。3月20日14时比08时的沙尘区域范围明显扩大,并且强度加强,主要表现在蒙古东部、内蒙古、河北省北部的沙尘暴区域范围向东、向西明显扩大。模式模拟的沙尘区域范围虽然变化不大,但其中心强度明显加强,主要表现在内蒙古东部的强中心已由08时的两个强中心合并成14时的一个强中心,并且强中心最大值超过 $1500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的范围也有所扩大。同样,位于山西南部到陕西等地的扬沙或浮尘天气的模拟结果也不太好。

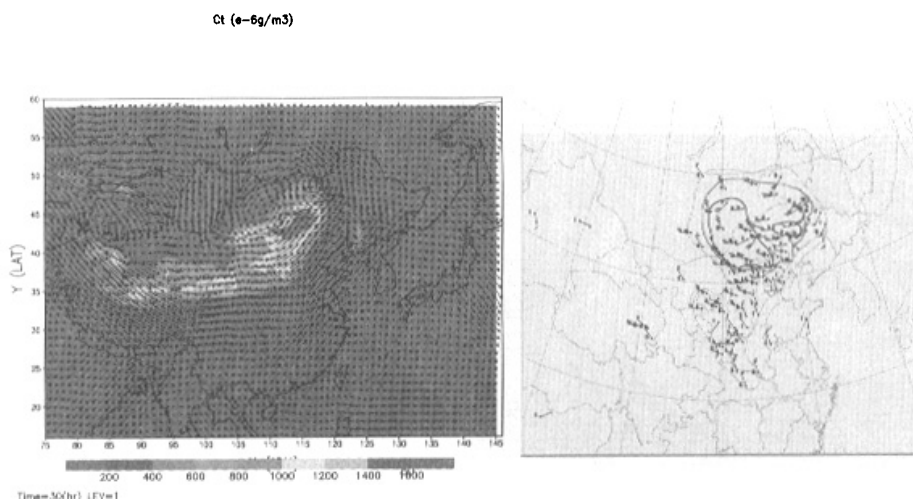


图2 2002年3月20日14时50米高度沙尘浓度模拟图(单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和地面沙尘观测实况

图 3 为 2002 年 3 月 20 日 20 时 50 米高度模式模拟的沙尘浓度图和地面沙尘观测实况。3 月 20 日 20 时比 14 时的沙尘区域范围明显缩小，并且强度减弱，沙尘区域缓慢东移。这主要表现在蒙古东部、内蒙古、河北省北部等地的沙尘暴区域范围缩小。模式模拟的沙尘区域东移，范围缩小，位于内蒙古东部的强中心减弱。这主要表现在内蒙古东部的强中心最大值超过 $1500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的范围比 14 时明显缩小。这一变化与观测实况的变化趋势基本一致。

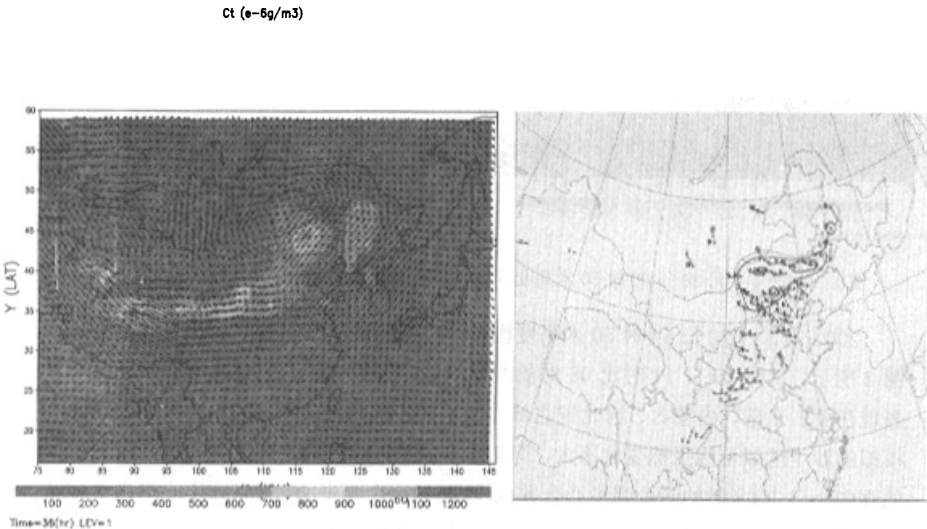


图 3 2002 年 3 月 20 日 20 时 50 米高度沙尘浓度模拟图(单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和地面沙尘观测实况

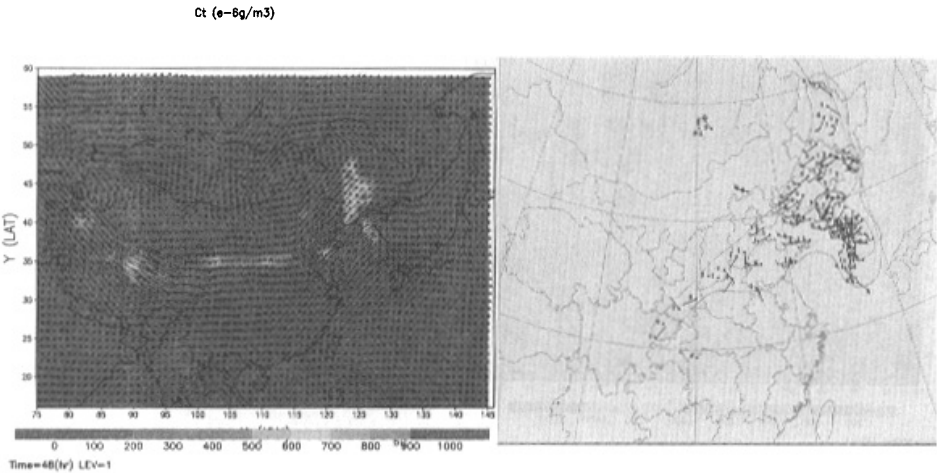


图 4 2002 年 3 月 21 日 08 时 50 米高度沙尘浓度模拟图(单位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)和地面沙尘观测实况

图4为2002年3月21日08时50米高度模式模拟的沙尘浓度图和地面沙尘观测实况。3月21日08时的沙尘区域明显向东南方向移动,已移到我国东北平原、朝鲜半岛、河北省东南部、山西南部、山东等地,并且强度减弱,主要以浮尘天气为主。模式模拟的沙尘区域也明显地向东南方向移动,并且较强沙尘区域范围也明显缩小,并且强度减弱。这一变化与观测实况的变化也基本一致。

3 小结

综上所述,应用适合东亚地区分谱的黄沙输送模式,对2002年3月20~21日发生在河北省北部地区的沙尘暴天气过程进行了数值模拟。通过模式模拟结果和观测实况进行对比分析表明,该模式较好地考虑了影响沙尘输送的诸多物理过程,可以较好地再现沙尘的输送过程,从模拟的沙尘范围、强度及变化趋势上看,均与观测实况保持了较好的一致性,尤其是对沙尘暴天气的模拟,从落区及日变化方面均收到了较理想的模拟效果。今后,还需在大量模拟试验的基础上,不断深入了解起沙的物理机理,得出在不同环流形势和天气条件下的起沙判据和参数,不断完善黄沙输送模式,使之能深入研究沙尘的输送规律及其对气候和生态环境的影响,并逐步应用于沙尘天气的预报服务中。

参考文献

- [1] 黄美元,王自发.东亚地区黄沙长距离输送模式设计.大气科学,22(4),625~637.
- [2] DeFries, R.S. and J.R.G.Townshend, NDVI-derived land cover classification at global scales, International Journal of Remote Sensing, 1994: 15, 3567~3586.
- [3] 刘东生,黄土与环境.北京:科学出版社,1986:20~50.