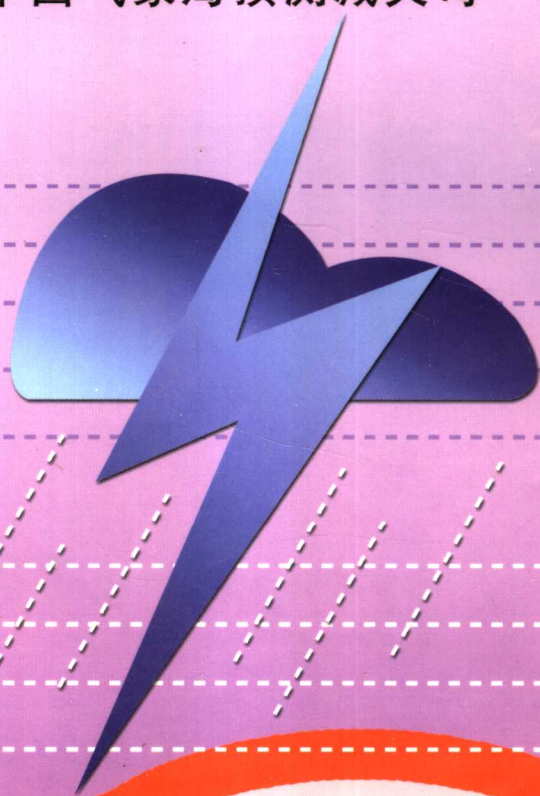


天气预报 技术文集 (2003)

中国气象局预测减灾司 编



气象出版社

天气预报技术文集

(2003)

中国气象局预测减灾司 编

内容提要

本书收入了 2003 年在重庆市召开的“2003 年全国重大灾害性天气过程总结和预报技术经验交流会”上交流的文章 63 篇,内容主要分为:热带气旋、强对流天气分析和总结;暴雨天气分析和总结;预报技术方法应用及研究和沙尘暴及其它灾害性天气的成因分析及总结。

本书可供气象、水利、航空等部门从事天气预报的科技人员和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

天气预报技术文集. 2003/中国气象局预测减灾司编.

北京:气象出版社,2003. 10

ISBN 7-5029-3654-8

I. 天… II. 中… III. 天气预报-文集

IV. P45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 091899 号

天气预报技术文集(2003)

中国气象局预测减灾司 编

责任编辑:俞卫平 终 审:陆同文

封面设计:王 伟 责任技编:吴庭芳 责任校对:杨波平

气象出版社 出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

网址:<http://www.cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net

北京市金瀑印刷有限责任公司印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:17.625 字数:450 千字

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月第一次印刷

印数:1~800 册

ISBN 7-5029-3654-8/P·1292

定价:40.00 元

编者的话

中国气象局预测减灾司和国家气象中心联合组织,于 2003 年 2 月 19~22 日在重庆市召开了“2003 年全国重大灾害性天气过程总结和预报技术经验交流会”。会议共收到论文和总结 296 篇,经专家评审,会议共录用了会议交流论文 66 篇,书面交流论文 24 篇。

本书收入会议上交流的论文 63 篇,其中,全文刊登的 58 篇,摘要刊登的 5 篇。由于水平有限,错漏之处还请读者提出宝贵意见。

中国气象局预测减灾司

2003 年 9 月

目 录

第一部分 获优秀报告奖的论文和总结

集成的沙尘天气数值预报系统及 2002 年春季沙尘天气的数值预报试验	宋振鑫 邵亚平(1)
郑州地区 2002 年 7 月 19 日强冰雹过程成因分析及预报着眼点	张 霞 李 荣 白 宇等(7)
用多普勒天气雷达资料分析 2002 年飑线过程	戴建华 徐秀芳 王坚捍(13)
“7.17”庐山强雷电天气过程技术分析	许爱华 郭 艳 马中元(18)
“0268”陕西特大暴雨过程数值模拟分析	乔 林 刘月巍 崔 绚(23)
地形雨落区与气流的垂直分布	孙继松(27)
安徽省二度梅跳跃性暴雨卫星监测分析	陈晓红 赵 光(32)
重庆雾的形成原因分析研究	刘 德 周国兵 向 波等(36)
青藏高原春季对称不稳定暴雪(雨)天气的一种形成机理	马 林 保广裕 徐 亮等(43)

第二部分 热带气旋、强对流天气分析和总结

多普勒雷达产品在强对流天气中的应用分析	王 彦 吴彬贵(49)
2002 年 7 月 23 日扶余站强雷雨天气分析	谷凤侠 马继伟 褚宪瑞(53)
一次早春强对流天气分析	李江波 张迎新 胡 新(57)
从“02.6.29”天气过程谈西北气流型冰雹的预报(摘要)	史海平 秦爱民 孙 悦等(63)
浙北地区一次飑线天气过程的分析	王 雷 张伟红 林 伟(64)
5.27 沿淮淮北强对流风暴环境场特征分析	陈邦怀 韩 枫 吴飞乐等(68)
0216(森拉克)台风路径特征分析	钱燕珍(72)
冰雹的云图特征识别和外推预报	李德俊(76)
中低纬天气系统对登陆热带气旋降水的影响	赵福华 姚 蓉 李象玉等(80)
强热带风暴“黑格比”风雨浪的特征分析(摘要)	冯业荣(84)
台风路径数值预报模式并行化及预报路径误差分析	麻素红 瞿安祥 张 怡(85)
沈阳地区 7 月中旬连续强风暴成因分析	夏传栋 廖国进 周立宏(90)

第三部分 暴雨天气分析和总结

2002 年 8 月 4 日辽南特大暴雨成因分析	刘素洁 卢 娟 魏 薇(94)
营口地区两场 8.4 大暴雨过程对比分析	何晓东(98)
冷空气与副热带高压相互作用对哈尔滨市产生暴雨的对比分析	韩基良 贾丽伟 景学义(101)

一次稳定性大暴雨过程的诊断分析	胡修卓 苏 华 冯庆合等(105)
高低空急流在 2002 年 6 月闽西北大暴雨过程中的作用分析	林 毅 刘爱鸣 朱艳萍(108)
福建省前汛期区域暴雨客观预报模型研究.....	刘爱鸣 潘 宁 邹 燕等(112)
江西省汛期连续暴雨形势特征与中期预报模型.....	尹 洁 陈双溪 刘献耀(116)
用 HLAFS 产品作安徽省暴雨定时、定点、定量预报的一种尝试	陈 炎 王东勇 朱红芳(120)
长江中游一次暴雨天气系统的观测分析与数值模拟.....	赵玉春 王仁乔 郑启松等(124)
长江中游切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析	肖艳姣 张家国 万 蓉等(128)
岳阳市特大暴雨雷达产品分析及预报服务(摘要).....	黄小玉 周雨华 潘志祥等(133)
川北两次特大暴雨天气过程成因的对比分析.....	顾清源 康 岚 徐琳娜(134)
成都市“7.30”区域性暴雨、大暴雨过程演变特征分析 ...	陈祯烈 郝丽萍 周莉蓉等(139)
重庆“6.13”区域大暴雨过程分析	王 中(143)
广州“5.21”短时大暴雨的成因及预警信号的发布启示	伍志方 刘运策 叶爱芬等(148)
2002 年 6 月 8 日西安地区罕见暴雨特征与成因	孟小绒 梁生俊 王建鹏等(152)
一次大—暴雨的物理量诊断分析	刘治国 杨建才 王锡稳等(156)
2002 年 6 月 18~20 日 MCS 的特征分析	杜小玲(161)

第四部分 预报技术方法应用及研究

综合预报方法在分县要素预报中的应用	居丽玲(165)
数值产品在山西主要河流流域面雨量预报中的释用研究	苗爱梅(169)
WSR-88D 雷达降水产品的优化	邵玲玲 黄 炎(173)
应用 GMS-5 多通道云图估计降水技术的研究	杨引明 姚祖庆(178)
灾害性天气预测预警和海洋产业气象警示预测技术研究	沈树勤 卞光辉 于 波等(183)
数值预报模式改变后的要素客观预报效果检验	李玉华 丛春华 杨 娟(187)
变分法和卫星云图模式识别在长江上游六大流域强降水面雨量预报中的应用	王登炎 李德俊 金 琪等(191)
MEM2 数值预报模式在 2002 年洞庭湖流域面雨量预报中的应用及检验	叶成志 李耦周 方慈安等(196)
集对分析在云南强降水预报集成方法中的应用(摘要).....	许美玲(201)
变维分形在雨季开始期预测中的方法初探	尹文有(202)
国家气象中心客观要素预报——MOS 系统	刘还珠 赵声蓉 陆志善等(206)
动态综合等预报方法在数值预报产品释用中的应用.....	杨玉震 付顺旗 王昌雨等(214)

第五部分 沙尘暴及其他灾害性天气的成因分析及总结

一次降雪过程的多普勒雷达探测大雪	张晰莹 张礼宝 袁美英(219)
辽宁省 2002 年夏季降雨特点及成因分析	李祥云 陈传雷 马井会等(223)

2002 年一次较大降雪预报失误总结	孙 欣 曲晓波 沈玉敏等(228)
浮尘、扬沙天气成因初探及多普勒雷达速度强度图分析.....	 张桂华 王立娟 袁美英等(232)
“0624”无雷暴现象的强地形雨.....	郭金兰 杜 辉 刘凤辉等(236)
2002 年夏季石家庄两类历史极端高温成因分析	连志鸾 王丽荣(243)
驻马店暴雪预报模型及“0304”暴雪分析	魏慧娟 王 平 王东平(249)
相似离度的沙尘暴预报业务系统.....	李一平 康 玲(254)
基于客观分析的重庆雾的 BP 神经网络预报模型研究(摘要)	 刘 德 李永华 喻 桥等(259)
两次典型沙尘暴过程的对比分析.....	陈豫英 赵光平(261)
2002 年 4 月 6~8 日一次强沙尘暴天气成因分析	孟雪峰 孙永刚 娜 林等(266)
叶尔羌河冰川阻塞性洪水发生的气象因素分析.....	刘皑国(271)

第一部分 获优秀报告奖的论文和总结

集成的沙尘天气数值预报系统及 2002 年 春季沙尘天气的数值预报试验

宋振鑫

(中央气象台数值预报室, 北京 100081)

邵亚平

(香港城市大学)

提 要

本文介绍了集成的沙尘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。

关键词:沙尘天气 数值模拟 浓度 干、湿沉降

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关注。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了严重的空气污染。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^[1~4]。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^[5~6],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。

国家气象中心引进和开发了集成的沙尘天气数值预报系统,目的是建立我国沙尘天气的数值模拟预报系统,提高这类灾害性天气的数值模拟和预报能力。我们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,该系统成功地对

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,可以肯定集成的预报系统对2002年的多次沙尘天气的预报都是成功的。

2 风蚀现象的物理机制

风蚀出现在世界上许多干旱、半干旱地区和农业区。它是一种环境现象,受到地质的和气候变化以及人类活动的影响。通常来说,风蚀导致农业区土地恶化且对空气质量有负面影响。由风蚀产生的沙尘爆发是大气中气溶胶最大的源,它直接或间接地影响大气辐射平衡,因此导致全球气候变化。强风蚀事件,例如剧烈的沙尘暴会威胁人类生活,导致物质经济损失。风蚀是指土壤粒子在风强迫下运动的一种过程。这个过程有三个不同的位相阶段,他们具有不同的物理机制,主要包括(1)由风切变引起的地面粒子的卷积;(2)由大气平流和湍流引起的粒子的传输;(3)通过干、湿清除引起的粒子的沉降。风蚀是许多物理过程相互作用的结果,受许多因子的制约。这些因子大致可以分为四类:大气条件(尤其是大气环流型、降水和湍流),土壤特征(包括土壤结构、土壤聚合度和土壤水分),陆面特性(包括气动粗糙度、植被分布、非腐蚀因素),实际应用中的地表分类。在一个风蚀事件中,来自不同类型的因子相互作用,在风蚀发展过程中,被风蚀的土壤表面特性也明显地改变了。

风蚀包含复杂的物理机制,迄今尚未完全理解风蚀的物理机制。它的研究需要多学科知识的综合,主要涉及大气科学(尤其是气候学、天气学、云物理学)、土壤物理学、表层动力学、胶体科学、生态学、也包括了农业科学和耕地管理。和风蚀相关的几乎所有的物理过程,从卷积、传输到沉降都依赖于粒子尺度。我们通常定义沙来描述 $60\sim 2000\mu\text{m}$ 之间的粒子,定义尘来描述小于 $60\mu\text{m}$ 的粒子。风蚀的发生是两类力作用的结果:气动力试图将粒子从地面吹起,然而,诸如重力、粒子间的粘性力阻止这种吹起过程。第一类力通过摩擦速度 U_* 来量化,由地表面的风切变来度量。第二类力由临界摩擦速度 U_{*c} 来度量, U_{*c} 定义了要出现风蚀事件所需要的最小摩擦速度。 U_* 与大气流动的条件及地表气动特性有关。 U_{*c} 与诸如土壤结构及植被覆盖等表层特性相关。对于干的、裸露的沙地土壤表层而言, U_{*c} 较小,风蚀事件容易发生。这两类力之间的平衡受到一系列复杂的环境因子的制约,通常来说,这些因子可分为五类,依次是(1)天气,包括风速、温度和降水;(2)土壤类型(指随时间缓慢变化的条件),包括影响土壤水文和植被生长的土壤结构和特性;(3)土壤状态(指随时间快速变化的条件);(4)表层微小条件,例如气动粗糙度和植被覆盖;(5)表层大尺度条件,例如陆地形状。因此,风蚀在空间尺度上是变化强烈,在时间尺度上断断续续。风蚀事件的这种零星特性,即使从定性的角度来说,对它做出模拟和预报也是一项艰巨的任务。

空气中粒子的运动有两个不同的模式,分别叫跳跃、悬浮,这依赖于粒子的尺度和大气流动的条件。跳跃是指沙子尺度的粒子沿着风方向的运动,然而悬浮指尘尺度的粒子在气流中的飘浮运动。通过跳跃大量的土壤粒子能够沿风方向被输送。和沙粒子相反,尘粒子一旦在空中,将能够在大气中悬浮一段时间,然后被湍流驱散到大气表层以外,进而被远距离输送。悬浮在大气中的沙尘最终通过干、湿沉降到达地表面。干沉降是指通过湍流和分子扩散及重力沉降作用,空气中的沙尘粒子从大气到达地面的传输过程。而湿沉降是指通过降雨作用导致的沙尘粒子的传输。这两个过程具有同等重要性。首先,干沉降是一个流体动力学问题,它通过接近沉降面的一薄层来处理粒子的扩散,同时也包括许多很难量化的物理过程,诸如静电变化,干沉

降研究的困难在于缺乏对接近沉降表面非常薄的一层的流场结构的详细认识。湿沉降包括雨滴捕获悬浮在空气中的沙尘粒子的过程,湿沉降的研究需要详细理解雨滴尺度的分布、粒子浓度和捕获机理。

3 沙尘天气的数值模拟

3.1 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他参数;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。结构如图 1 所示。

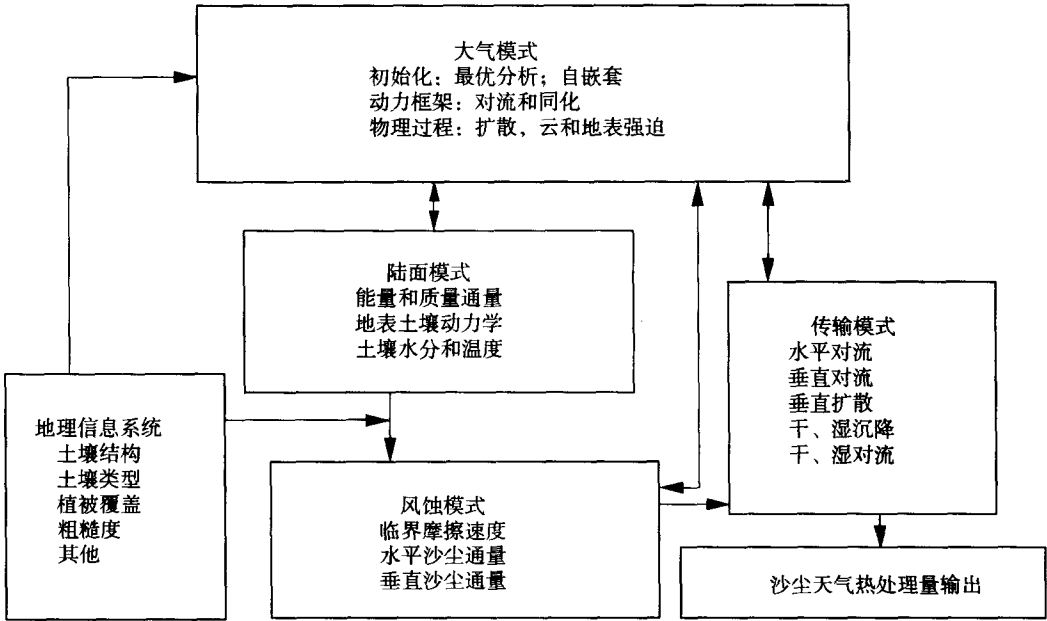


图 1 集成沙尘天气数值预报系统结构图

3.2 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 σ 面上。

3.3 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、粗糙物侧面积指数、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。

3.4 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。

3.4.1 沙尘源地

描述沙尘天气源地的物理量记为 F , 它是沙尘在地表面的垂直通量, 其量纲为 $[ML^{-2}S^{-1}]$, 即单位时间、单位面积的质量通量。例如, 它可以用来表征每日、每平方公里面积上的起沙量为多少吨, 有多少吨沙尘含量。 F 随时间与空间的变化, 就是沙尘源地随时间与空间的变化。

3.4.2 大气中的沙尘含量

描述大气中沙尘含量的物理量是 C , 即单位体积中沙尘的质量。其量纲为 $[ML^{-3}]$, 如 kg/m^3 。 C 越大, 大气中的沙尘浓度就越高。浓度的变化是由质量守恒方程决定的, 受平流与扩散等输送过程和风蚀与沉降过程的影响。因为这些物理过程都与沙尘粒子的大小有关, 所以一般把沙尘的颗粒大小分成许多种, 如 $d < 2 \mu m$ 、 $2 \leq d < 11 \mu m$ 、 $11 \leq d < 22 \mu m$, ... 等, d 是沙尘颗粒的直径, 再对不同大小粒子在大气中的含量进行计算。图 2 给出了 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_t (总量) 在近地层的含量。作为例子, 我们选用了 2002 年 3 月 15 日强沙尘天气过程。

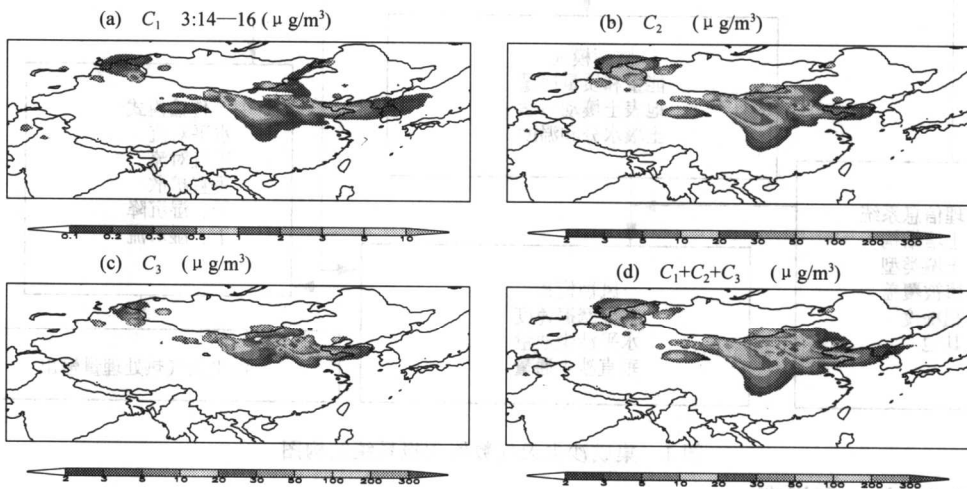


图 2 2002 年 3 月 15 日强沙尘天气的沙尘浓度的分布图

其中 C_1 、 C_2 、 C_3 分别为直径 $d < 2 \mu m$ 、 $2 \leq d < 11 \mu m$ 、 $11 \leq d < 22 \mu m$ 的沙尘浓度

3.4.3 沙尘的沉降

描述沙尘沉降的物理量记为 D , 它是由于沉降作用所引起的沙尘在地表的垂直通量。与 F 一样, 它的量纲为 $[ML^{-2}S^{-1}]$, 即单位时间、单位面积的质量通量, 如 $t/km^2/d$ 。

3.4.4 沙尘的移动与路径

集成预报系统可以方便、准确的分析各种天气形势下, 沙尘的移动和路径。

3.4.5 沙尘的空间分布

集成预报系统也可以用于分析沙尘在空间的分布结构, 可以模拟和预报不同高度上的沙

尘分布特征。

3.4.6 沙尘在大气柱中的含量

沙尘在单位面积大气柱中的含量可表述为 $M_t = \int C_t dz$ ，其量纲为 $[ML^{-2}]$ ，如 kg/km^2 。

4 沙尘天气数值模拟的结果

4.1 数值预报结果的改进

我们的数值试验有效地提高了集成预报系统的对东亚沙尘天气预报的可信度。通过对2002年春季东亚沙尘天气的逐日实时72小时预报，我们发现并逐步解决了预报系统本身和地理信息系统所存在的细节问题，从而使模式的预报效果得到了显著提高。修正前的预报存在一些偏差。如在中国的西南部出现了虚拟的沙尘区。主要的沙尘区也偏大、偏南。在数值试验的初期，业务预报人员和我们自己都注意到了这些问题。

4.2 数值预报与地面观测的比较

集成沙尘天气预报系统对2002年春季3~4月的所有沙尘天气过程都进行了实时的模拟预报。修正后的预报系统极为准确地预报了所有的重大沙尘天气过程。以下，我们以2002年3月20日的强沙尘天气过程为例，对数值预报的结果进行简要的讨论并与地面和卫星观测进行比较。2002年3月19~20日北京出现了历史上罕见的强沙尘暴，对人民生活、交通等诸多方面造成了严重影响，引起了社会的广泛关注。

图3(a)是3月20日08时和20时的实况观测，图3(b)为模式预报相应时段的地表沙尘含量，单位为 $\mu g/m^3$ 。可以看出，在20日08时蒙古国南部、内蒙古地区、新疆、甘肃、北京出现了沙尘天气。比较图3的地面观测和模式预报的地面浓度，可以清楚地看到，数值模式对这次沙尘天气出现的范围和强度预报很成功，预报的沙尘浓度分布范围与观测结果比较一致。

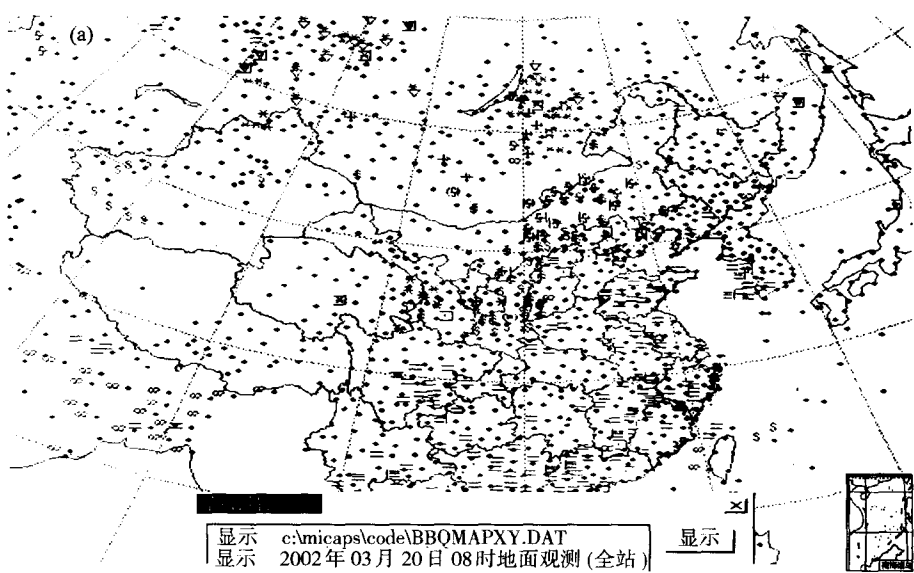


图3 2002年3月20日08北京时沙尘天气地面实况观测(a)和模式预报3月20日08时的地面沙尘浓度(b)

Ct 2002:3:20 08BST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

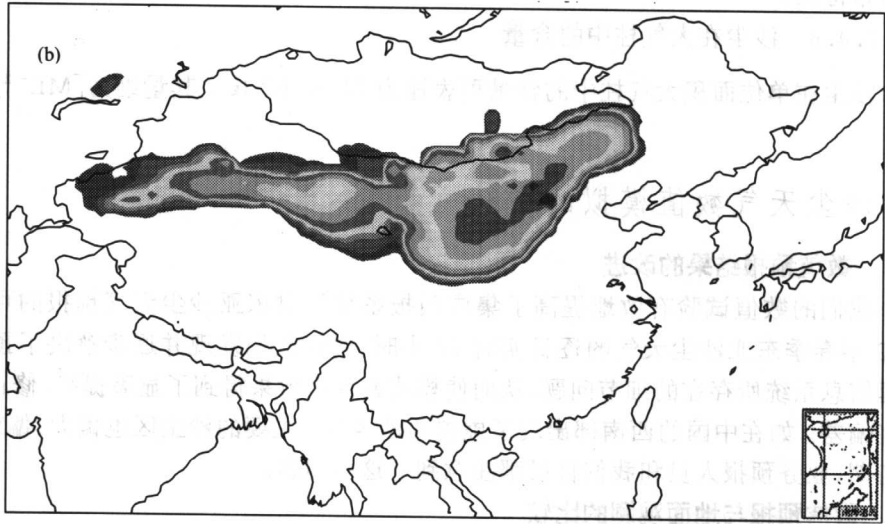


图3 (续)

5 小结

(1) 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,可以使用于业务预报。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

参考文献

- [1] Bagnold, G. A. (1937). The transport of sand by wind. *Geogr. J.*, 89:409—438
- [2] Bagnold, G. A. (1938). The measurement of sand storms. In *Proc. R. Soc.*, 167,p. 282—291, London, Ser. A
- [3] Bagnold, R. A. (1911). The physics of Blown Sand and Desert DUNes. Methuen, London
- [4] Chepil, W. S. and Woodruff, N. P. (1963). The physics of wind erosion and its control. *Adv. Agron.*, 211—302
- [5] Shao, Y. and Leslie, L. M. (1997). Wind erosion prediction over Australian continent. *J. Geophys. Res.*, 102:300091—30105
- [6] Shao, Y. and Li, A. (1999). Numerical modeling of saltation in atmospheric surface layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, 91:199—225

郑州地区 2002 年 7 月 19 日强冰雹过程成因分析及预报着眼点

张 霞 李 荣 白 宇 林 丽 闫惠芳 张永兰

(河南省郑州市气象局, 郑州 450005)

提 要

2002 年 7 月 19 日, 河南省郑州地区遭受一次近百年来罕见的强冰雹袭击。本文作者从冰雹形成所需具备的三个条件入手, 计算了一些表征大气的水汽含量、大气稳定度、垂直上升运动等物理量参数, 绘制成图, 详细分析了本次过程的大尺度环流背景、成雹的动力学和热力学条件、成雹的物理机制等方面的特征, 较深刻地揭示了该地区冰雹天气过程出现时的动力学、热力学特征和物理量特征, 并总结了几点强雹过程的预报着眼点, 以期能为今后此类过程的预报提供一些参考作用。

关键词: 强对流 冰雹 差动位温平流 零度层 低空水平螺旋度

1 过程实况及灾情简介

2002 年 7 月 19 日傍晚 18~21 时, 河南省郑州地区大部分县市遭受一次强对流天气过程袭击, 分别出现了暴雨、大风和强降雹等灾害性天气。其间郑州市和所辖的部分县市最大风力达 8 级, 新密市 1 小时降雨 53 mm。郑州市区和辖区内大部分乡镇均降了冰雹, 冰雹最大直径达 8 cm, 持续时间在 10~30 分钟之间。据郑州市民政局灾情办统计, 在这次灾害性天气过程中, 郑州市金水区、邙山区、管城区共死亡 13 人, 受灾人口 10.3 万人, 有 1.5 万亩* 农作物绝收, 倒塌和损坏房屋达数千间。直接经济损失 8479 万元, 其中农业经济损失 4265 万元。其他县市灾情也十分严重。这是郑州地区自建站以来从未出现过的。

本次强对流天气过程特点是: 突发性强, 影响范围大, 大风同时伴有急剧降雹, 降雹的空间尺度大, 冰雹直径大且持续时间长, 成灾严重。

2 大尺度环流背景分析

2.1 前期气候特点

本次过程前期, 郑州地区曾出现全区性连续高温天气, 而且自 7 月 6~17 日期间, 受持续增强的大陆暖高压控制, 郑州地区天气晴好, 无降水出现。7 月 15 日, 郑州站日最高气温达 41.5℃, 创 1967 年以来 7 月中旬日最高气温极值。据统计, 当日全区日最高气温平均为 40.4℃, 日平均气温为 33.4℃, 平均地面最高温度高达 63.7℃。郑州本站气温维持在 38℃ 以上的时间长达 6 小时, 气温维持在 40℃ 以上的时间达 3 小时, 这在历史上是罕见的。连日的高温天气, 使得郑州地区上空空气中水汽含量相当小, 而自 16 日后, 由于西南暖湿气流的活跃, 郑州地区低层的水汽增

* 1 亩 = 666.6 m²

大明显,造成低层空气暖湿,地面水汽压增大,该区上空大气中有大量不稳定能量积蓄。

2.2 高空冷涡

7月17日08时,500、700和850 hPa三层高空图上郑州地区均受一致的西北气流控制。500 hPa上,我国的东北地区北部有一深厚冷涡,河套至新疆为强的高压脊,脊后的暖平流较强,自17日20时开始,位于东北地区的冷涡开始向南压,之后逐渐有冷空气自东北地区经华北向河套地区扩散,18日20时,冷涡中心已南压至辽宁与河北省的交界处,至19日08时,冷空气前锋已影响到河北省的大部地区和河南省偏北部分地区,至19日20时高空图上,已明显看到冷涡正影响到沿黄河及其以北地区。冷涡的影响造成了郑州地区上空有强的辐合上升运动,触发了积蓄已久的不稳定机制,从而导致了大量不稳定能量的释放,造成该地区强烈的对流性天气。

2.3 地面冷锋

分析7月19日08时地面图可以看到,在沈阳、北京到银川一线有一冷锋,锋后有冷空气扩散南下。19日14时冷锋移到成山头、齐河、安阳到长安一线,锋后有明显的冷空气南下,锋后测站伴有偏北大风、雷暴、阵雨等不稳定天气,冷锋的影响为冲破不稳定层结提供了外部抬升力。

3 冰雹成因分析

3.1 成雹的动力学及热力学条件分析

为了揭示本次冰雹过程的动力学和热力学特征,我们对以郑州本站为中心,100.5°~127.5°E、21.5°~46.5°N范围内1000~100 hPa的大气层进行了诊断,计算的物理量场网格距为1°×1°,以MICAPS第4类数据格式存放,借助MICAPS平台进行物理量场的图形显示。

3.1.1 水平螺旋度分析

在流体力学中,螺旋度表示受扰动的涡管在空中的扭曲程度,较深刻地描述了大气的动力不稳定,它的水平分量称为水平螺旋度,其公式为:

$$H_h = \int_p^{p_0} (\mathbf{V}_h - \mathbf{C}) \cdot \mathbf{q}_h dp$$

其中 $\mathbf{C} = C_x \mathbf{i} + C_y \mathbf{j}$,其值越大,表示大气层结的不稳定度越高。我们计算的是1000~700 hPa的低空水平螺旋度,取 $p_0 = 1000$ hPa, $p = 700$ hPa。从7月19日08时的低空水平螺旋度场(如图1)可以看出,郑州地区处在水平螺旋度大值轴北侧,表明郑州地区上空为极不稳定大气层。

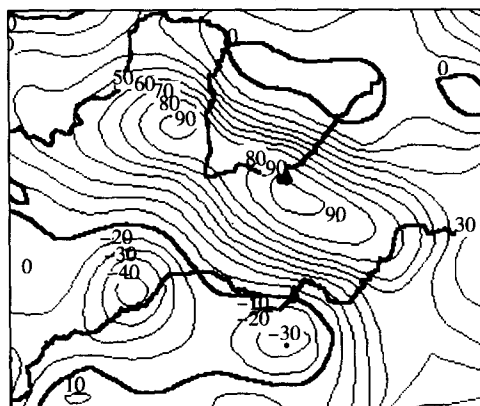


图1 2002年7月19日08时低空水平螺旋度
(单位及量纲: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

(图中实线表示物理量等值线,底图为MICAPS系统下的河流,▲处为郑州本站,下同)

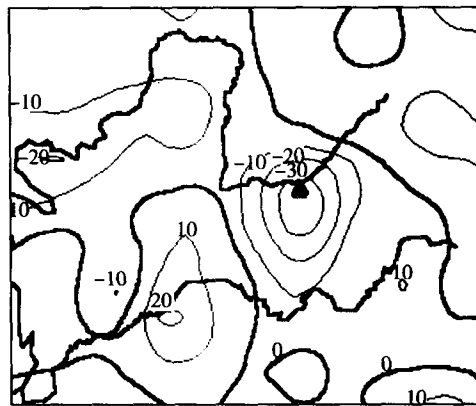


图2 2002年7月19日08时300~850 hPa
差动位温平流(单位及量纲: $10^{-5} \text{ °C} \cdot \text{s}^{-1}$)

3.1.2 300~850 hPa 差动位温平流分析

300~850 hPa 差动位温平流指的是用上层 300 hPa 的位温平流减去下层 850 hPa 的位温平流,其负值越大,表示不稳定性越高。图 2 是 7 月 19 日 08 时 300~850 hPa 的差动位温平流场,当时郑州地区处于负值中心区,表明当日 300 hPa 高层冷平流与 850 hPa 低层暖平流差值较大,冷暖空气势力均较强,这样的温度场配置,一方面有利于不稳定性加大,同时高空强的冷空气下传使得过冷水滴在碰撞增长的过程中,在较短时间内冷冻为冰雹颗粒。到 19 日 20 时,郑州地区上空 300~850 hPa 的差动位温平流值变为正中心(中心值为 10),说明自 08 时到 20 时短短的 12 小时中,高空的冷空气迅速下传,致使低层空气迅速变冷,随着不稳定能量的释放,大气层结转化为稳定层结,强对流天气也宣告结束。

3.1.3 高空和中低空平均垂直速度分析

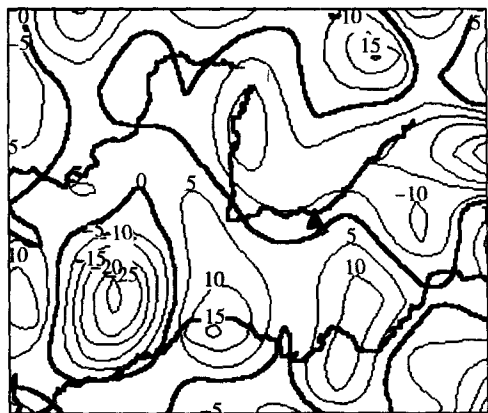


图 3 2002 年 7 月 19 日 08 时低空平均垂直速度

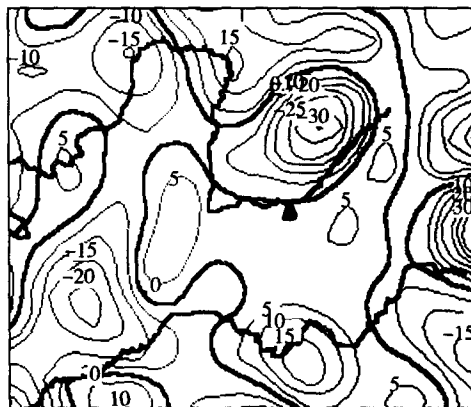


图 4 2002 年 7 月 19 日 08 时高空平均垂直速度

(中低空指:1000~500 hPa,高空指 400~100 hPa,单位及量纲: $10^{-2}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 3 和图 4 分别是 7 月 19 日 08 时中低空和高空的平均垂直速度场,当日,中低层和高空的垂直速度负中心区(强上升运动区)位于山西到河南省黄河以北地区,这与强对流天气发生区相一致。

3.2 成雹的物理因子分析

3.2.1 0℃层高度和-20℃层高度分析

为分析本次强冰雹天气的物理成因,我们利用郑州站的高空探测资料,分析了降雹当日 08 时和 20 时的对流层顶高度、0℃层高度和-20℃层高度,结果如表 1 所示。一般来说,0℃等温线至-20℃等温线之间的区域主要由过冷水滴、雪花及冰晶组成,这个区域是冰雹生成的“雹源区”。从表 1 可以看出,19 日 08 时郑州站探测的对流层顶高度为 9 km 左右,20 时,对流层顶高约 12.6 km,下午发展的对流云高为 15 km(据雷达回波数据),高于对流层顶,这对对流云继续发展极为有利,对流云发展越高大,降雹的概率和强度就越大。且据雷达探测,影响郑州地区的对流云顶高度长时间维持在对流层顶之上,使得强降雹持续时间较长。从表 1 中还可看到,19 日 08 时和 20 时,郑州本测站 0℃层高度维持在 4 km 左右或以下,这样的高度使得对流云可向更高处发展,使低层的水汽通过强烈的上升运动能够达到该高度,为冰雹生成提供了丰富的水汽条件,且当雹粒增长到足够大而下落时,不至于因暖层过厚而被融化。当日-20℃层高度在 8000 m 左右,与 0℃层间厚度适宜,因高空冷空气进入中层,加剧了层结的对流不稳定性,同时,使得雹胚在过冷水含量丰富的环境中,相互碰撞的机会较多,雹粒增长快,有

利于生成大雹。

表 1 2002 年 7 月 19 日 08、20 时单站参数分析

时间	对流层顶高度(m)	0℃层高度(m)	-20℃层高度(m)
08 时	9128	4430	7500 (400 hPa)
20 时	12580	4188	8000 (360 hPa)

3.2.2 稳定度指标及环境风场分析

为了分析本次强冰雹天气的水汽条件和稳定度情况,我们利用郑州站的探空资料计算了一些表征水汽和稳定度的物理量参数(如表 2),并制作了 19 日 08 郑州站的三 θ 图和环境风随高度的变化图(如图 5 和图 6)。

图 5 是 2002 年 7 月 19 日 08 时郑州站的三 θ 曲线图,即位温曲线(θ)、假相当位温曲线(θ_{se})、饱和状态下的假相当位温曲线(θ^*),图中三 θ 曲线是用郑州站探空资料依据下列公式计算绘制而成。

$$\begin{aligned}\theta &= T(1000/P)^{AR/C_p} \\ \theta_{se} &= \theta \cdot e^{Lq/c_p T_c} \\ \theta^* &= \theta \cdot e^{Lq_s/c_p T_c}\end{aligned}$$

由图 5 可看出,三 θ 线在 1000 到 850 hPa 之间是明显的对流稳定性层结,近地面层及低空层结的稳定,有利于水汽的积累,为本次强降雹提供了前期充足的水汽条件。而在 850~600 hPa 之间的中层上,则为明显的对流性不稳定层结($\partial \theta_{se}/\partial z < 0$), θ 线在 850~700 hPa 斜率也较大,底层的稳定层结的存在有利于不稳定能量的积蓄,一旦遇到强的外部抬升力冲破不稳定层结,可导致强对流天气的发生。在 1000~850 hPa 上, θ_{se} 和 θ^* 较为接近,在 850~500 hPa 间,两曲线相差较大,这一特征反映出本站上空低层水汽饱和程度高,而中层水汽饱和度较低,这种低层潮湿,中空干燥的特点,正符合冰雹生成发展的层结。

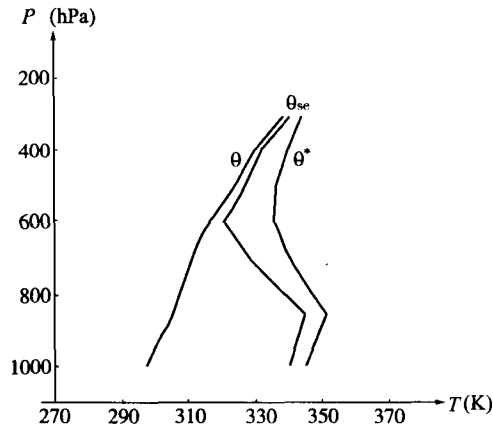


图 5 2002 年 7 月 19 日 08 时
郑州站三 θ 曲线图

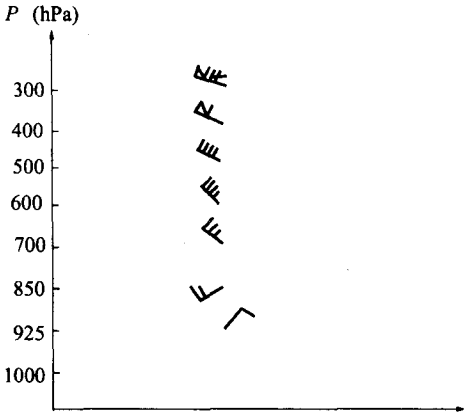


图 6 2002 年 7 月 19 日 08 时郑州站
高空风垂直分布图

由测风资料可以看出(图 6),19 日 08 时,郑州本站地面及低空为偏东风,高层则吹较强的偏西风,850~500 hPa 风速差值为 9 m/s,存在明显的高空风速垂直切变,400 hPa 风速达到 23 m/s,这样的风场有利于增加低空的水汽,同时也有利于启动抬升机制,促使强对流爆发。

表 2 是我们利用郑州单站探空资料计算的 Sweat 指数和低、中、高层平流能量变率及不稳