

# 广州地区冬季一次大雾的三维数值模拟研究<sup>\*</sup>

樊琦<sup>1</sup>, 吴兑<sup>2</sup>, 范绍佳<sup>1</sup>, 蒙伟光<sup>1</sup>, 李江南<sup>1</sup>, 邓雪娇<sup>2</sup>, 王安宇<sup>1</sup>

(1. 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275;

(2. 广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

**摘要:** 利用美国国家大气研究中心 (NCAR) 和宾夕法尼亚州立大学联合研制的第 5 代中尺度气象模式系统 MM5 对广州地区最近出现的一次大雾进行了数值模拟研究。模拟的结果与实况十分相近, 特别是雾出现和消散的时间。对雾的生成原因进行了分析和数值试验, 结果表明, 这次广州雾的高度比较高, 雾形成前广州地区大气边界层天气晴好、温度高、空气接近饱和, 大雾主要是由广州北面的冷空气向南侵入造成的, 属平流辐射雾。

**关键词:** 平流辐射雾; 广州地区; 数值模拟

**中图分类号:** P457 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) 01-0083-04

大雾也属于灾害性天气, 很多高速公路上的交通事故就是大雾造成的。雾和空气中的污染物质结合在一起还会对人的生命造成重大的威胁, 像世界上著名的伦敦烟雾事件就是一个十分典型的个例。1952 年 12 月 5—8 日, 英国伦敦上空连续四五天大雾弥漫, 煤、粉尘蓄积不散, 造成震惊一时的 4 千人死亡的严重事件。因此, 开展雾的预报研究工作对我国国民经济和人民的生命财产有很重要的意义。雾的预报难度很大, 一般的三维数值天气预报模式都没有考虑云雾的微物理过程。迄今为止国内有关雾的数值模拟研究也都是用一维或二维的模式来进行的<sup>[1-4]</sup>, 雾的数值预报也未实现业务化。

美国国家大气研究中心 (NCAR) 和宾夕法尼亚州立大学联合研制的第 5 代中尺度气象模式系统 (MM5) 很重视发展模式中的云雾微物理过程。20 世纪 90 年代开始, 他们在模式中建立了云水 (冰) 和雨水 (雪) 的预报方程, 考虑了诸如撞冻、升华、云水与雨水间的转换过程和雨雪的降落速度、马歇尔—帕尔默雨滴谱及冰核数浓度等云雾微物理参数。一些数值模拟试验研究证明: MM5 模拟出来的云有时已与卫星云图上的云非常相似<sup>[5]</sup>。

广东沿海水汽充沛, 冷空气和源于海上的西南暖湿空气形成对峙形势, 常形成大雾天气。最近, 我们用 MM5 对 2002 年 1 月 7 日广州地区出现的一次大雾进行了三维数值模拟研究。模拟的结果与实况十分相近, 特别是雾出现和消散的时间。从模拟的结果看, 大雾的数值预报的业务化在不久的将来

是可以实现的。

## 1 模拟研究所用的模式、积分范围和资料

模拟研究采用的模式是美国国家大气研究中心 (NCAR) 和宾夕法尼亚州立大学联合研制的第 5 代中尺度气象模式的第 3 版 (MM5V3.4)<sup>[6,7]</sup>。MM5V3.4 模式是 2001 年在英特网上释放的, 与以前的 MM5V2 相比, 它的云雾微物理过程的设计是最完善的。此外, 它还加进了 Chen 等<sup>[8,9]</sup> 设计的十分先进的陆面模式 (LSM)。这个陆面模式考虑了 25 种下垫面 (包括植被) 类型和四层 13 种不同的土壤。由于陆地物理过程对雾的生消和发展影响很大, 陆面模式的引进能改善大雾的预报结果。模式所采用的资料是日本气象局 (JMA) 提供的水平分辨率为  $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$  的格点气象资料和模式范围内的探空、地面、船舶站和浮标站等实测资料。模式的初值时间为 2002 年 1 月 16 日 20 时 (北京时), 模式积分了 24 h, 积分中模式的外侧边界采用了间隔为 6 h 的 JMA 格点资料。

我们在模式中采用了双重嵌套。图 1 是模式模拟的区域范围。大区域的格点距离为 54 km, 格点数为  $81 \times 101$ , 而小区域的格点距离为 18 km, 格点数为  $121 \times 121$ 。大区域和小区域的积分步长分别为 120 s 和 40 s。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2002-06-12

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (ZKCX2-SW-210); 国家自然科学基金资助项目 (49975001)

作者简介: 樊琦 (1977 年生), 女, 博士生; 通讯联系人: 王安宇; E-mail: waylc@163.com.cn

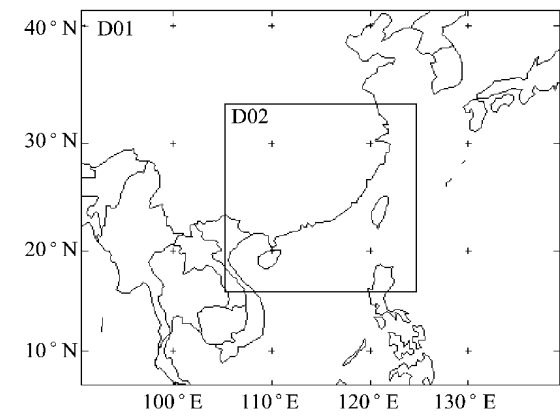


图 1 模拟研究的区域范围  
Fig. 1 The region of simulation research

2 模拟的结果与分析

2.1 模拟的结果与实况的对比

2002 年 1 月 17 日, 广州地区出现了大雾天气。早上 02 时到 05 时一直是轻雾, 08 时到 11 时为大雾天气, 14 时前雾已消散 (见图 2)。广州的能见度在早上 08 时左右降到了 0.4 km。在雾出现期间, 风很小, 轻雾时是静风, 大雾时风略大一些, 约为 1~2 m/s。

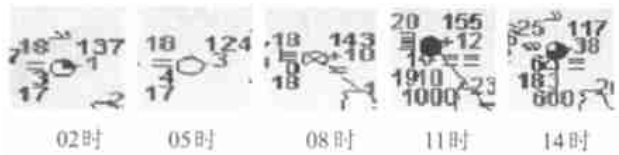


图 2 广州 1 月 17 日 02、05、08、11、14 时的地面上广州站观测记录

Fig. 2 The surface observation record at Guangzhou station at 02, 05, 08, 11, 14 Beijing time

按照一般的定义<sup>[10]</sup>, 雾的液态水含量的范围为 0.05~0.2 g/kg。图 3 是用 MM5 模拟的广州大雾的演变过程。从图 3 可以看出, 雾大约在 02 时左右出现, 在 04 时左右已发展成大雾, 大雾出现的时间比实况要早一些, 一直维持到 11 时左右, 然后向上抬升减弱, 大概在 14 时以前消失。雾出现和消失的时间和实况很一致, 但大雾出现的时间比实况略早一些。

雾的高度比较高, 0.05 g/kg 的上界在 890~870 hPa 之间, 虽然没有实测资料可供比对, 而且从下面的分析来看, 这次的雾属于高度较高的平流辐射雾, 但模拟的雾可能高了一些。这可能是由于模式的垂直分辨率还不够高, 在边界层方案中的云雾微物理过程的设计还不够合理造成的。

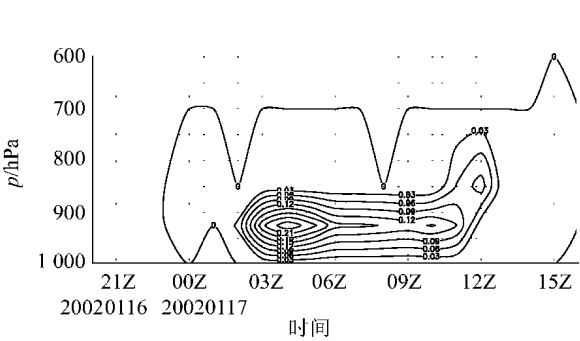


图 3 采用 Blackadar 方案模拟的雾中  
液水含量随时间—高度变化图  
Fig. 3 The variation of the liquid water content with  
time and height simulated with Blackadar Scheme

2.2 冷空气的南侵是广州大雾形成的主要原因

从图 2 可以看出, 在这次大雾形成之前, 广州地区有两个很有利于平流辐射雾形成的气象条件, 一是温度高、湿度大, 二是近地面的风速很小。

表 1 是广州近地面不同高度层 02 时的温度、温度露点差和风速的模拟值, 可以看出和实况 (图 2) 基本一致, 表现为温度高、空气接近饱和、风速小的特点。

表 1 广州近地面不同高度层 02 时的温度、  
温度露点差和风速的模拟值

Fig. 1 The simulated temperature, the difference  
between temperature and dew point, the wind speed in  
several layers near the surface at 02 Beijing time

| 高度/hPa                  | 1 000 | 980  | 960  | 940  | 920  | 900  |
|-------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| 温度/℃                    | 19.9  | 19.3 | 18.5 | 17.5 | 16.5 | 15.5 |
| 温度露点差/℃                 | 0.75  | 0.88 | 0.60 | 0.31 | 0.36 | 0.55 |
| 风速/(m·s <sup>-1</sup> ) | 2.8   | 2.8  | 1.4  | 0.9  | 1.0  | 1.4  |

图 4 是 2002 年 1 月 16 日 23 时至 1 月 17 日 14 时每隔 3 h 沿 113°E (广州地区所在经度) 温度分布的纬度、高度剖面图, 广州的纬度约为 23.2°N, 其位置已标在图上。

在雾出现以前, 广州近地层温度很高, 从图 4 上可以看出, 在 1 月 16 日 23 时至 1 月 17 日 02 时广州地区近地层的温度为 18~20℃。这在冬季是很少见的。这次广州地区大雾的发生主要与其北面冷空气的南侵有关。在 1 月 17 日 02 时前后, 广州地面温度逐渐降低, 触发了北面冷空气的入侵, 冷空气侵入暖空气之后, 形成了很明显的逆温层。相对湿度大, 遇到了冷空气, 显然就很容易产生凝结。逆温的出现, 抑制了水汽向上传递, 更加快了凝结过程, 促使了雾的形成与加强。逆温大约形成

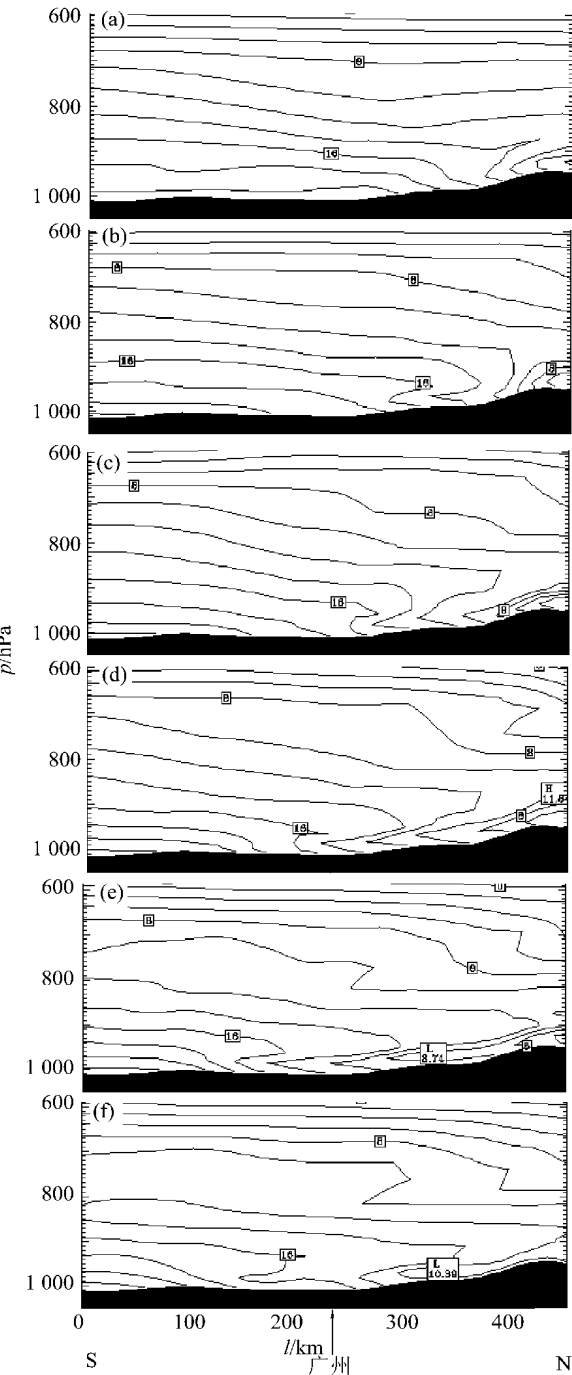


图 4 2002 年 1 月 16 日 23 时至 1 月 17 日 14 时每隔 3 h 沿 113°E(广州地区所在经度)温度分布的纬度、高度剖面图

Fig 4 The meridional cross-section for simulated temperature along 113°E at  
(a) 23 hours Beijing time, Jan 16;  
(b) 02 hours Beijing time, Jan 17;  
(c) 05 hours Beijing time, Jan 17;  
(d) 08 hours Beijing time, Jan 17;  
(e) 11 hours Beijing time, Jan 17;  
(f) 14 hours Beijing time, Jan 17

于 05 时, 在 14 时以前消失, 与雾出现和消散的时间基本一致。

需指出的是, 因为暖空气很强, 所以冷空气的侵入并未改变冷暖空气对峙的形势, 所以大雾的出现对广州地区的天气形势并没有产生太大的影响。

2.3 辐射对广州大雾形成的影响

虽然在广州大雾形成之前, 广州天气晴好, 温湿高、风速小, 但是地面辐射降温的影响对这次广州大雾的形成并不是主要的。一般来说, 辐射雾的影响高度较低, 辐射雾的中心高度也很低, 而这次雾无论是形成还是维持的高度都很高。另外, 我们进行了数值试验, 在模式中去除了辐射的影响, 数值试验的结果如图 5 所示。从图上可以看出, 广州大雾的出现和消散时间与考虑辐射时没有太大的差别, 雾的高度也很相似。比较明显的不同是去除辐射以后, 在午后不再出现雾的抬升和消散的现象。这可能与不考虑辐射后地面温度的日变化大大减小, 导致午后地面温度偏低有关。此外, 雾形成后的加强也没有那么明显, 这可能是地面温度不够低, 对冷空气的侵入的影响不那么大有关。

通过这个数值试验, 我们认为, 这次广州大雾主要是由于冷空气的侵入造成的, 属平流雾。但由于广州地区毕竟天气晴好, 风速偏小, 辐射对这次雾的形成亦有一定的影响。所以, 将这次广州大雾定为辐射平流雾还是恰当的。

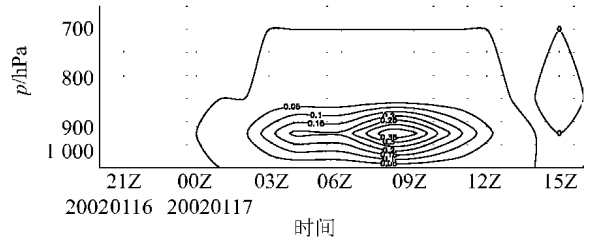


图 5 去除辐射后模式模拟的广州地区液态水含量随时间—高度的变化图

Fig 5 The variation of simulated liquid water content with time and height without the radiation influence

3 结 语

这次数值模拟研究的结果表明模拟的结果与实际十分相近, 特别是雾出现和消散的时间, 证明 MM5 已明显地具有进行雾的数值预报的能力, 也可以用于雾预报的业务化。

从对雾的生成原因所进行的分析和数值试验的结果来看, MM5 对雾的数值模拟是比较合理的。这次模拟所得到的广州雾的高度比较高, 一般来说比较高的雾多为平流雾, 但因为雾形成前广州地区

大气边界层天气晴好、温度高、空气接近饱和, 即雾形成的辐射条件也很好, 而模拟的结果表明, 有辐射方案 and 没有辐射方案模拟的雾基本相似, 也就是说, 对这次雾的形成来说辐射的影响不是主要的。大雾主要是由广州北面的冷空气向南侵入造成的, 属平流辐射雾。显然, 这样的结果是比较合理的。

参考文献:

[ 1 ] ROACH W T, BROWN R, CAUGBEY S J. The physics of radiation fog, 2-D numerical study[ J ] . Quart J Roy Meteor Soc, 1976, 102: 335—354.

[ 2 ] 黄培强, 孙学金, 孔繁敏, 等. 1980 年 6 月 9 日长江口地区平流辐射雾的数值模拟[ J ] . 气象科学, 1998, 18( 2 ): 128—135.

[ 3 ] 周斌斌. 辐射雾的数值模拟[ J ] . 气象学报, 1987, 45: 21—29.

[ 4 ] 孙旭东. 二维平流辐射雾的数值模拟[ J ] . 大气科学, 1991, 15: 99—109.

[ 5 ] 王立琨, 郑永光, 王洪庆, 等. 华南暴雨试验过程的环境

场和云团特征的初步分析[ J ] . 气象学报, 2001, 59(1): 115—119.

[ 6 ] GRELL G A, DUDHIA J, STAUFFER D R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)[ M ] . NCAR Technical Note, 1994, NCAR/TN—397+ 1A.

[ 7 ] DUDHIA J. A nonhydrostatic version of the Penn State—NCAR Mesoscale Model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front[ J ] . Mon Wea Rev, 1993, 121, 1493—1513.

[ 8 ] CHEN F, DUDHIA J. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system, I . model implement and sensitivity[ J ] . Monthly Weather Review, 2001, 29: 569—585.

[ 9 ] CHEN F, DUDHIA J. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system, II . preliminary model validation[ J ] . Monthly Weather Review, 2001, 29: 587—604.

[ 10 ] COTTON W R, ANTHES R A. 风暴和云动力学[ M ] . 北京: 气象出版社, 1993: 331—342.

Numerical Simulation of a Heavy Fog in Guangzhou

*FAN Qi<sup>1</sup>, WU Du<sup>2</sup>, FAN Shao jia<sup>1</sup>, MENG Wa -guang<sup>1</sup>,  
LI Jiang -nan<sup>1</sup>, DENG Xue jiao<sup>2</sup>, WANG An -yu<sup>1</sup>*

( 1. Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
2. Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic Meteorology, Guangzhou, 510080, China)

**Abstract:** PSU /NCAR MM5 is utilized to simulate a heavy fog in Guangzhou. The results, especially in simulating the formation and dissipation of the fog, are coincident with the actual situation. Numerical experiments reveal that prior to the fog occurrence, the weather is fine and with a warm and saturated planetary boundary layer. The heavy fog is mainly caused by the cold air moving southward from the north of Guangzhou. It is an advection-radiation fog.

**Key words:** advection-radiation fog; Guangzhou region; numerical simulation