

南京信息工程大学

大气扩散实习报告

江苏省轻度霾污染个例

作者姓名: 闵柯睿

指导教师: 刘晓莉

学位类别: 理学硕士

学科专业: 大气物理

培养单位: 南京信息工程大学大气物理学院

2020 年 6 月

Case of Light Haze Pollution In Jiangsu Province

Report of The Atmospheric Diffusion

By

Min Kerui

Supervisor: Professor Liu xiaoli

**School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information
Science and Technology**

June, 2020

摘 要

[illegible]

关键词: WRF-CHEM, PM_{2.5}, 大气扩散

Abstract

BB

Keywords: WRF-CHEM, PM25, Atmospheric Diffusion

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 参考文献引用	1
1.2 dd	2
1.3 h	2
第 2 章 模式及初始场介绍	3
2.1 模式介绍	3
2.2 参数化方案介绍	3
2.3 初始场资料和模式方案介绍	3
第 3 章 江苏省轻污染过程数值模拟	5
3.1 环流场形势分析	5
3.2 大气层结分析	5
3.3 模拟结果评估	6
3.4 边界层与污染物浓度关系	8
3.4.1 参考文献引用	9
参考文献	11
致谢	12

图形列表

2.1 模拟区域	4
3.1 韩国气象局天气图 (a) 1 月 20 日 00 时 500hPa 等高线图, (b) 1 月 21 日 12 时 500hPa 等高线图, (c) 1 月 20 日 00 时地面图, (d) 1 月 21 日 12 时地面图。	5
3.2 南京站模拟的探空曲线	6
3.3 模拟与观测的污染物浓度对比 (a) PM _{2.5} 浓度, (b) PM ₁₀ 浓度, (c) CO 浓度, (d) SO ₂ 浓度, (e) NO ₂ 浓度, (f) O ₃ 浓度。	7
3.4 边界层高度与污染物浓度对比 (a) PM _{2.5} 浓度, (b) PM ₁₀ 浓度, (c) CO 浓度, (d) SO ₂ 浓度, (e) NO ₂ 浓度, (f) O ₃ 浓度。	8

第1章 引言

1.1 研究背景

1.1.1 参考文献引用

参考文献引用过程以实例进行介绍，假设需要引用名为“Document Preparation System”的文献，步骤如下：

1) 使用 Google Scholar 搜索 Document Preparation System，在目标条目下点击 Cite，展开后选择 Import into BibTeX 打开此文章的 BibTeX 索引信息，将它们 copy 添加到 ref.bib 文件中（此文件位于 Biblio 文件夹下）。

2) 索引第一行 `@article{lamport1986document,中 lamport1986document` 即为此文献的 label (中文文献也必须使用英文 label，一般遵照：姓氏拼音 + 年份 + 标题第一字拼音的格式)，想要在论文中索引此文献，有两种索引类型：

文本类型：`\citet{lamport1986document}`。正如此处所示 [Lamport \(1986\)](#);

括号类型：`\citep{lamport1986document}`。正如此处所示 ([Lamport, 1986](#))。

多文献索引用英文逗号隔开：

`\citep{lamport1986document, chu2004tushu, chen2005zhulu}`。正如此处所示 ([Lamport, 1986](#); [初景利, 2004](#); [陈浩元, 2005](#))

更多例子如：

[Walls 等 \(2013\)](#) 根据 [Betts 和 Taylor \(2005\)](#) 的研究，首次提出…。其中关于… ([Walls 等, 2013](#); [Betts 和 Taylor, 2005](#))，是当前中国… 得到迅速发展的研究领域 ([陈晋镛 等, 1980](#); [Bravo 和 Olavarria, 1990](#))。引用同一著者在同一年份出版的多篇文献时，在出版年份之后用英文小写字母区别，如：([袁训来 等, 2012a,b,c](#)) 和 [袁训来 等 \(2012a,b,c\)](#)。同一处引用多篇文献时，按出版年份由近及远依次标注。例如 ([陈晋镛 等, 1980](#); [Stamerjohanns 等, 2009](#); [哈里森·沃尔德伦, 2012](#); [牛志明 等, 2013](#))。

使用著者-出版年制 (authoryear) 式参考文献样式时，中文文献必须在 BibTeX 索引信息的 **key** 域（请参考 ref.bib 文件）填写作者姓名的拼音，才能使得文献列表按照拼音排序。参考文献表中的条目（不排序号），先按语种分类排列，语种顺序是：中文、日文、英文、俄文、其他文种。然后，中文按汉语拼音字母顺序

排列，日文按第一著者的姓氏笔画排序，西文和俄文按第一著者姓氏首字母顺序排列。如中(牛志明等, 2013)、日(ボハンデ, 1928)、英(Stamerjohanns等, 2009)、俄(Дубровин, 1906)。

如此，即完成了文献的索引，请查看下本文档的参考文献一章，看看是不是就是这么简单呢？是的，就是这么简单！

不同文献样式和引用样式，如著者-出版年制（authoryear）、顺序编码制（numbers）、上标顺序编码制（super）可在 Thesis.tex 中对 artratex.sty 调用实现，详见 [ucasthesis 知识小站之文献样式](#)

参考文献索引的更多知识，请见 [WiKibook Bibliography](#)。

BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBb

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCccc

1.2 dd

EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE

模式参数设置	采用方案	参考文献
微物理参数化过程	Lin(Purdue)	Lin, Farley and Orville (1983, JCAM)
长波辐射方案	RRTM	Mlawer et al. (1997, JGR)
短波辐射方案	Goddard	Chou and Suarez (1994, NASA Tech Memo)
边界层方案	YSU scheme	Hong, Noh and Dudhia (2006, MWR)
路面方案	Noah land-surface model	Chen and Dudhia
光化学机制	CBMZ	Lin, Zaveri and Peters
光解率计算方案	Fast-J	Wild et al.

FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF

1.3 h

LLLLLLL

MMMMMMM

第 2 章 模式及初始场介绍

2.1 模式介绍

WRF(Weather Research and Forecasting Model) 模型目前广泛应用于科学研究及业务,它是一种网络点模型,具有地形跟随的流体静力学压力垂直坐标,使用一种基于非流体静力学动力核心数值方案并为大多数物理方案提供多数选择。WRF-Chem 模式则是在 WRF 中加入大气化学区域模块集合耦合而成。WRF-Chem 具有气象模式和化学传输模式在时空分辨率上的耦合,可以对模拟过程进行实时反馈。

2.2 参数化方案介绍

该此模拟个例采用的参数化方案如下表所示,长波辐射方案为 RRTM 方案,短波辐射过程为 Dudhia 方案,微物理过程选用 Lin 方案,路面方案为 Noah land-surface model 方案,近地面层和边界层分别采用 YSU 方案和 Noah land-surface model 方案,光化学机制采用 CBMZ 方案,光解率计算方案采用 Fast-J 方案。

模式参数设置	采用方案	参考文献
微物理参数化过程	Lin(Purdue)	Lin, Farley and Orville (1983, JCAM)
长波辐射方案	RRTM	Mlawer et al. (1997, JGR)
短波辐射方案	Goddard	Chou and Suarez (1994, NASA Tech Memo)
边界层方案	YSU scheme	Hong, Noh and Dudhia (2006, MWR)
路面方案	Noah land-surface model	Chen and Dudhia
光化学机制	CBMZ	Lin, Zaveri and Peters
光解率计算方案	Fast-J	Wild et al.

2.3 初始场资料和模式方案介绍

本文选取的数值模式为 WRF3.9.1, 分别选用 6 小时时间间隔的 NCEP 全球在分析资料 ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 作为初始场。模式从 2015 年 1 月 20 日 00 时积分至 2015 年 1 月 24 日 00 时 (UTC 以下同), 积分时间步长为 120 秒, 模拟区域的中心经

纬度 ($31.5^{\circ}\text{N} \times 119.0^{\circ}\text{E}$)。模式采用了一层嵌套，空间网格分辨率为 27km，垂直方向为 38 层，模式输出时间间隔为 1 小时。

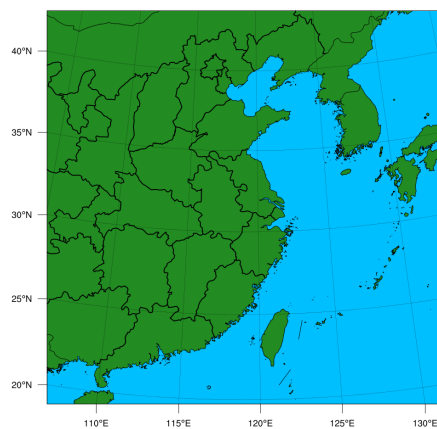


图 2.1 模拟区域

Figure 2.1 Simulation Domain

第3章 江苏省轻污染过程数值模拟

3.1 环流场形势分析

2015年1月20日00时500hPa高空图长江中下游地区处于低压槽前，槽前受西南气流控制。21日12时槽线过境，受槽后西北气流控制。地面图上，江蘇南京1月20日受低压控制，盛行风方向为低压前部偏南风控制，21日12时后受来自上游蒙古高压控制，天气条件稳定有利于污染物的累积。方向由高压前部偏北风向转为高压后部偏南风。

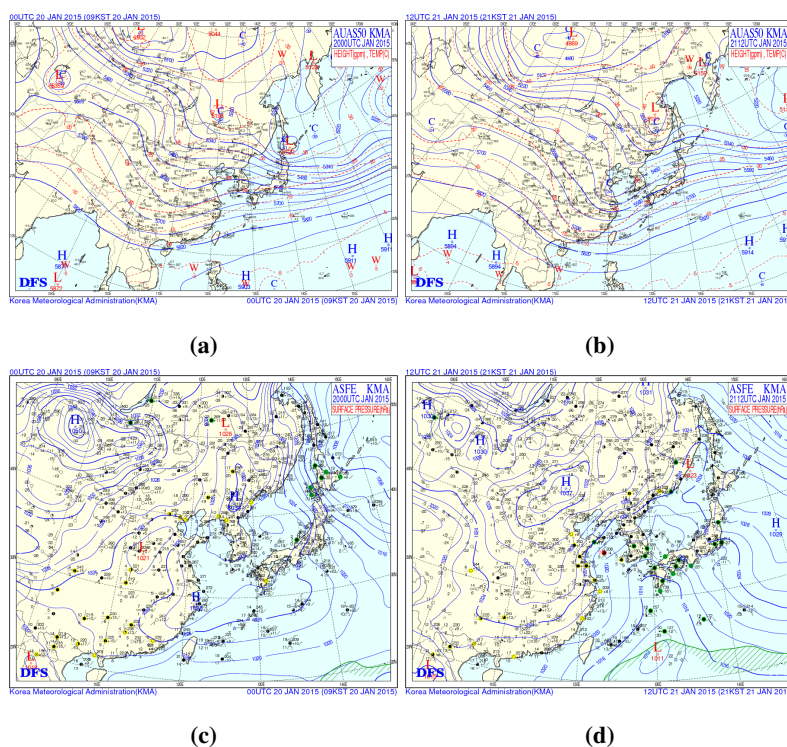


图 3.1 韩国气象局天气图 (a) 1 月 20 日 00 时 500hPa 等高线图, (b) 1 月 21 日 12 时 500hPa 等高线图, (c) 1 月 20 日 00 时地面图, (d) 1 月 21 日 12 时地面图。

Figure 3.1 Korea Meteorological Administration (a) 500hPa Contour map on 00 a.m. on 20 January, (b) 500hPa Contour map on 12 a.m. on 21 January, (c) Groud map on 00 a.m. on 20 January, (d) Groud map on 12 a.m. on 21 January.

3.2 大气层结分析

根据模拟结果选取污染过境前时刻绘制探空曲线来分析该此个例的大气层结状态，南京站在 1 月 20 日 23 时，探空曲线的温度露点差随高度先减少后增

加，在 700hPa 附近存在较高湿度。大气层结存在较强垂直风切变，在一定的触发机制下有利于污染物在垂直方向的扩散，低空存在较为浅薄的逆温层且该站点的 Cape 能为 0，层结较为稳定一定程度上有利于低层污染物堆积。

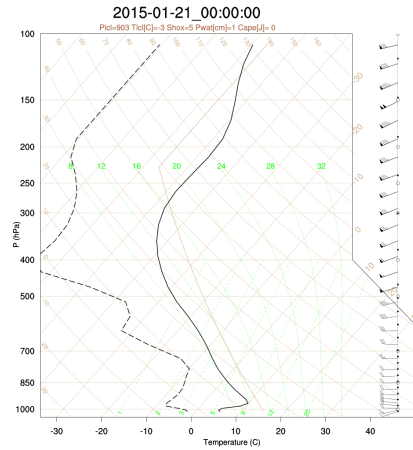


图 3.2 南京站模拟的探空曲线

Figure 3.2 Simulated sounding data curve in Nanjing station

3.3 模拟结果评估

通过与实况资料对比，可以发现 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 整体浓度变化趋势一致，PM₁₀ 浓度较 PM_{2.5} 高，在 22 日凌晨前后模拟与观测有较大误差。CO 污染物浓度较低，模拟浓度和观测浓度接近。SO₂ 浓度也在 22 日同观测有所偏差，NO₂ 和 O₃ 浓度的模拟都与实况有着较高的一致性，且误差较小。

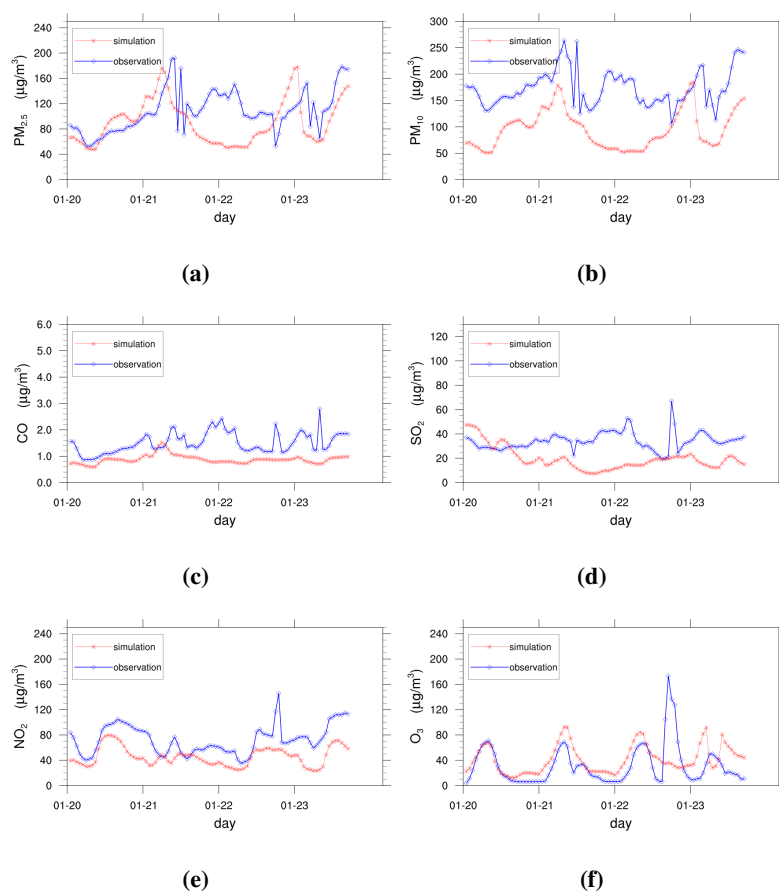


图 3.3 模拟与观测的污染物浓度对比 (a) PM_{2.5} 浓度, (b) PM₁₀ 浓度, (c) CO 浓度, (d) SO₂ 浓度, (e) NO₂ 浓度, (f) O₃ 浓度。

Figure 3.3 (a) The concentration of PM_{2.5}, (b) The concentration of PM₁₀, (c) The concentration of CO, (d) The concentration of SO₂, (e) The concentration of NO₂, (f) The concentration of O₃.

3.4 边界层与污染物浓度关系

随着白天温度的上升，热力对流作用占据对流的主导地位，大多数污染物都在对流扩散稀释的作用下，随着边界层的高度增加，其浓度均有所下降，呈现负相关。对流层臭氧却与边界层高度呈现正相关，主要原因是由于，臭氧的生成需要光照和热量，对流边界层的高度白天大于夜间，也受热力影响，因而在午后臭氧的浓度均达到峰值，同时可以从图中可以发现臭氧的峰值变化相交边界层高度更具有周期性，由此臭氧对日变化更具敏感性。

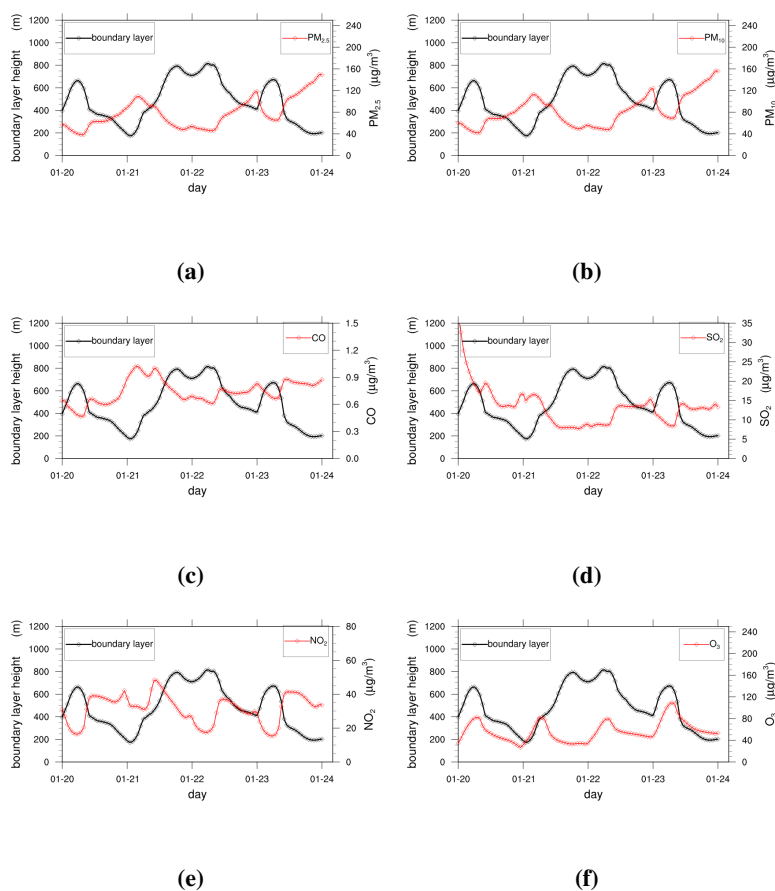


图 3.4 边界层高度与污染物浓度对比 (a) PM25 浓度, (b) PM10 浓度, (c) CO 浓度, (d) SO2 浓度, (e) NO2 浓度, (f) O3 浓度。

Figure 3.4 Comparison between Boundary layer height and pollution concentration (a) The concentration of PM25, (b) The concentration of PM10, (c) The concentration of CO, (d) The concentration of SO2, (e) The concentration of NO2, (f) The concentration of O3.

参考文献

- 陈浩元. 著录文后参考文献的规则及注意事项[J]. 编辑学报, 2005, 17(6):413-415.
- 陈晋镛, 张惠民, 朱士兴, 等. 蓟县震旦亚界研究[M]//中国地质科学院天津地质矿产研究所. 中国震旦亚界. 天津: 天津科学技术出版社, 1980: 56-114.
- 初景利. 图书馆数字参考咨询服务研究[M]. 北京: 北京图书馆出版社, 2004.
- 哈里森·沃尔德伦. 经济数学与金融数学[M]. 谢远涛, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 235-236.
- 牛志明, 斯温兰德, 雷光春. 综合湿地管理国际研讨会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2013.
- 袁训来, 陈哲, 肖书海. 蓝田生物群: 一个认识多细胞生物起源和早期演化的新窗口 – 篇一[J]. 科学通报, 2012, 57(34):3219.
- 袁训来, 陈哲, 肖书海. 蓝田生物群: 一个认识多细胞生物起源和早期演化的新窗口 – 篇二[J]. 科学通报, 2012, 57(34):3219.
- 袁训来, 陈哲, 肖书海. 蓝田生物群: 一个认识多细胞生物起源和早期演化的新窗口 – 篇三[J]. 科学通报, 2012, 57(34):3219.
- 张颖龙. 基于 WRF-Chem 模式对京津冀地区 PM_{2.5} 污染过程分析及预报实验[D]. 南京信息工程大学, 2017.
- 王瑾. 基于 WRF-Chem 对 2016 年秋冬季徐州 PM_{2.5} 污染过程的数值模拟研究[D]. 中国矿业大学, 2017.
- ボハング. 過去及び現在に於ける英国と会[J]. 日本時報, 1928, 17:5-9.
- BETTS L R, TAYLOR C P. Aging reduces center-surround antagonism in visual motion processing [J]. Neuron, 2005, 45(3):361-366.
- BRAVO H, OLAVARRIA J. Comparative study of visual inter and intrahemispheric cortico-cortical connections in five native chilean rodents[J]. Anatomy and embryology, 1990, 181(1):67-73.
- LAMPORT L. Document preparation system[M]. Addison-Wesley Reading, MA, 1986.
- STAMERJOHANN S H, GINEV D, DAVID C, et al. MathML-aware article conversion from LaTeX [J]. Towards a Digital Mathematics Library, 2009, 16(2):109-120.
- WALLS S C, BARICHIVICH W J, BROWN M E. Drought, deluge and declines: the impact of precipitation extremes on amphibians in a changing climate[J/OL]. Biology, 2013, 2(1):399-418 [2013-11-04]. <http://www.mdpi.com/2079-7737/2/1/399>. DOI: 10.3390/biology2010399.
- WIKIBOOK. <http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX>[M]. On-line Resources, 2014.
- Дубровина. И. Открытое письмо Председателя Главного Совета Союза Русского Народа Санкт-Петербургскому Антонию, Первенствующему члену Священного Синода[J]. Вече, 1906:1-3.

致 谢

感激 `casthesis` 作者吴凌云学长, `gbt7714-bibtex-style` 开发者 `zepinglee`, 和 `ctex` 众多开发者们。若没有他们的辛勤付出和非凡工作, \LaTeX 菜鸟的我无法完成此国科大学位论文 \LaTeX 模板 `ucasthesis` 的。在 \LaTeX 中的一点一滴的成长源于开源社区的众多优秀资料和教程, 在此对所有 \LaTeX 社区的贡献者表示感谢!

`ucasthesis` 国科大学位论文 \LaTeX 模板的最终成型离不开以霍明虹老师和丁云云老师为代表的国科大学位办公室老师们制定的官方指导文件和众多 `ucasthesis` 用户的热心测试和耐心反馈, 在此对他们的认真付出表示感谢。特别对国科大的赵永明同学的众多有效反馈意见和建议表示感谢, 对国科大本科部的陆晴老师和本科部学位办的丁云云老师的细致审核和建议表示感谢。谢谢大家的共同努力和支持, 让 `ucasthesis` 为国科大学子使用 \LaTeX 撰写学位论文提供便利和高效这一目标成为可能。