

长江三角洲城市化发展过程中城市及区域大气温室气体变化特征及其影响机制的数值模拟研究

报告人：刁一伟

2012年2月17日



1. 项目的立项依据

城市化发展过程对全球变化影响巨大

- 人类活动是近百年以来大气温室气体浓度升高和气候变化的主要原因（IPCC, 2007）
- 城市化过程是全球气候变化的最重要的人类活动因素之一（Le Treut, 2007）
- 全球城市消耗的能源占全球的75%，面积不足全球陆地总面积2.4%的城市却贡献了超过全球80%的CO₂（Galina, 2008）



城市大气温室气体控制因素

- 城市环境下CO₂通量几乎为净排放，其主要来源：化石燃料使用、水泥生产、交通排放以及土地利用变化所导致的排放
- 生态系统的碳源/汇功能对大气中温室气体变化具有重要影响（于贵瑞，2011）
- 城市大气温室气体时空格局变化受到中尺度天气系统和城市复杂下垫面的影响（Pillai, 2011）



研究意义

- 城市大气温室气体浓度及其源汇演变特征受到多种因素的影响，反过来，它也对区域和全球温度变化可能产生着深刻的影响。由此可见，定量评估城市大气温室气体浓度及其源/汇强度时空格局，了解其输送特性和控制机制，不仅可以全面了解城市及区域碳循环和碳收支，为准确评估全球大气中CO₂浓度和变化趋势提供理论基础，也可制定“低碳城市”减排政策和适应气候变化的区域碳管理规划提供科学知识和数据支撑。



国内外研究进展

- 近十年来，许多研究者通过涡动相关技术、同位素追踪等**实验方法**考察城市区域CO₂浓度和通量变化及其源汇特征，并试图揭示区域和空间格局特征
- **研究结果**：涡动相关技术可以直接得到通量的时间变化特征，同位素技术可以进行CO₂浓度的源解析，通过后向轨迹分析可初步解释其源地或影响范围
- **研究制约因素**：站点布局不够，城市复杂下垫面影响，受中尺度天气过程影响（如海陆风、城市热岛）等
- #George, 2007; Grimmond, 2002; Idso, 2001; Newman, 2008; Pataki, 2009; Velasco, 2005; 王长科, 2003



模式研究

- 目前主要有两种模式：
- “自下而上”：基于站点涡动相关测量数据，使用生态过程模型，正演大气CO₂浓度（观测点代表性无法满足，未考虑气象条件的影响，也无法在区域尺度上进行研究）
- “自上而下”：利用CO₂浓度数据，基于气候模式反演地表CO₂通量（尺度大，不能反映次网格气象特征，在城市尺度上存在严重不确定性，缺乏精确的CO₂浓度数据）
- #D. Pillai, 2011; Kaminski, 1999; Peylin, 2005;



生态过程模型与 高分辨率中尺度气象模式的耦合

- Ahmadov (2007) 提出利用植被光合呼吸模式VPRM提供地表高分辨率通量资料，使用中尺度气象模式WRF进行正演模拟，研究发现，这种高分辨率耦合模式能有效解决以往实验方法和数值模拟的缺陷。
(D. Pillai, 2011; Ahmadov, 2009; Tolk, 2008)
- 研究显示，与大尺度气候模式比较，这种耦合模型完全能够模拟复杂地形条件下CO₂的高分辨率（2km by 2km）时空分布，在定量计算CO₂的源汇特征和预测评估上表现良好。（ D. Pillai, 2011 ）



长江三角洲CO₂时空格局及其源汇特征的模拟研究

- 长江三角洲，作为中国经济发展最具活力的地区之一，城市化发展更为迅猛。过去30年，经济总量增加 10 倍。城市人口增加了4倍，城市规模扩大，城区建筑面积增加4倍数，能源消耗增加6倍。城市化发展引起土地利用类型发生变化，工业化发展导致能源结构及其使用的极大变化。这些变化都可显著地改变各种温室气体时空格局及其源汇特征。
- 本研究以长江三角洲为对象，基于WRF-VPRM建立一个适合长三角的复杂三维大气温室气体耦合模式，结合地面和卫星观测资料，模拟计算城市化发展对CO₂浓度时空分布的影响，定量分析CO₂源汇特征，阐明中尺度气象条件对区域CO₂输送的影响，以期揭示城市化发展对CO₂影响，并对未来城市化发展对温室气体及局地气候变化进行预测，为进一步制定城市及区域温室气体减排策略提供科学依据。



2. 项目研究内容

- ① 利用长江三角洲CO₂人为排放清单对现有的各种参数化方案进行改进，利用MODIS资料，通过VPRM模型确定长江三角洲土地不同季节CO₂自然排放的时空分布。
- ② 使用改进的参数化方案，完善WRF-VPRM温室气体模型，将VPRM模型与最新版本的WRF-Chem 模式进行耦合，建立一个适用于长江三角洲地区的大气温室气体耦合模式（WRF-GHG）。
- ③ 利用MODIS资料，建立长江三角洲土地利用和土地覆盖类型的格点数据库。这一套数据资料反映过去20年这一地区土地利用和土地覆盖类型演变规律，并可直接用于 WRF-GHG 进行敏感性试验模拟。
- ④ 在建立尽可能完整和可靠的自然和人为排放源基础上，用GEOS-CHEM和 NCEP再分析场作为温室气体和气象要素的初值和边界条件，利用WRF/GHG模式对不同年份和不同季节的温室气体进行模拟。利用现有的各种观测资料对模拟结果进行评估。
- ⑤ 通过敏感性试验，定量评估城市化发展（或土地利用和土地覆盖类型）对大气温室气体浓度变化的影响，并分析各类人为排放源和自然源对大气温室气体浓度变化的相对贡献。
- ⑥ 通过试验，对未来城市化发展将如何影响大气温室气体浓度及局地气候变化进行预测。



3. 研究目标

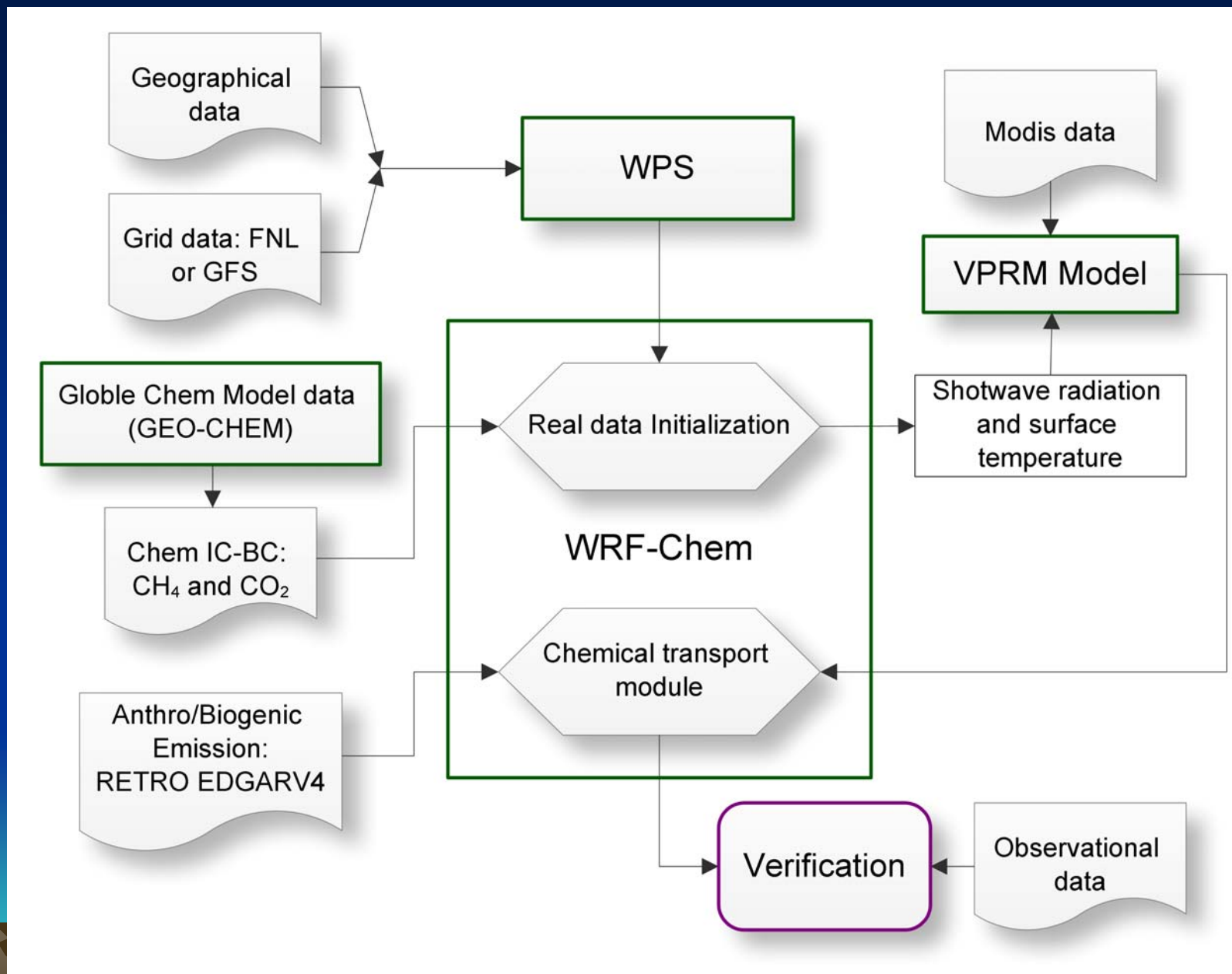
- 阐明长三角城市化发展对大气温室气体时空分布变化的影响机制和过程；
- 定量评估人为排放和自然源汇对大气温室气体变化的相对贡献；
- 预测未来城市化发展对温室气体变化的影响趋势，为下一步应对气候变化和减排提供科学依据。



4. 研究方案及可行性分析

- **VRPM模式的改进：**以南京、无锡、上海和杭州四个典型长三角城市作为实验观测点。利用常规气象资料中的2m温度（T2）、向下短波辐射（SWDOWN）和MODIS资料中的高级植被指数（EVI）进行VRPM模式模拟试验，其结果与涡动相关实测CO₂通量进行比较，对VRPM中的植被类型参数、叶面消光系数以及反射率系数进行调整优化，使得模式适用于长江三角洲地区。
- **CO₂信号分类：**为追踪不同的CO₂信号，我们将其分为以下5类：
 - （1）C1：总体浓度（可以观测得到）包括全球背景大气CO₂浓度和认为源排放以及自然源排放的CO₂；
 - （2）C2：全球背景CO₂，不含排放和吸收部分，只参与输送；
 - （3）C3：人为排放源CO₂浓度；
 - （4）C4和C5分别代表植被光合与呼吸产生的CO₂信号。





- WRF-GHG耦合模式有两部分组成：WRF-Chem和VPRMWRF模式。
- WRF的初始气象场和边界条件采用NCEP ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 再分析资料。
- 模拟采用嵌套方式进行，外层网格为 $36\text{km} \times 36\text{km}$ ，内层为 $12\text{km} \times 12\text{km}$ 。
- WRF-Chem模式中的化学模块初始条件和边界条件使用全球大气化学模式GEOS-CHEM的结果，人为排放源拟采水平分辨率为 $12\text{ km} \times 12\text{ km}$ 的华东地区大气污染物排放清单 (X. Wang, 2005)，排放源仅适用于 CO_2 信号中的C1-2，同时为避免对全球背景大气 CO_2 浓度的干扰，外层网格的C3-5初始值设为零。
- 生态系统 CO_2 通量计算：WRF模式输出产品—近地层温度 (T2) 和向下短波辐射 (SWDOWN) 作为VPRM输入资料，VPRM模式计算所得到的 CO_2 通量结果反馈给WRF-Chem，作为自然源排放或吸收。
- 模式的模拟分为实时模拟和敏感性试验，实时模拟要求保证模式运行的稳定性，通过参数的调整和以及观测数据的验证，确保模拟精度。



- 敏感性试验设计：
- 1. 人为源排放的增强与控制试验：通过改变C3人为源整体强度，考察城市化发展过程中能源消耗总体水平对大气CO₂的影响；
- 2. 土地利用变化试验：利用MODIS资料，通过改变WRF模式初始下垫面，观察城市化发展造成的工业格局和城市陆地植被变化以及城市边界层属性的改变，进一步探讨由此影响的CO₂时空分布特征，及其在城乡与区域空间上输送规律；
- 3. 城市大气CO₂源汇分析试验：通过改变人为源的分配比例（比如增加交通源），考察不同CO₂源对大气CO₂浓度的贡献，为有效的减排策略提供科学依据；
- 4. 通过以上三种敏感性试验，我们可以通过合理假设城市在不同能源消耗、交通密度和减碳措施等条件下，合理预测不同影响因子导致的城市大气CO₂时空分布特征。



5. 本项目的特色与创新之处

- 建立了适用于长江三角洲的高分辨率中尺度气象—植被耦合模式，首次在国内进行城市及区域大气CO₂浓度的模拟研究，定量评估人为排放源和城市自然生态系统对大气CO浓度的贡献，揭示了CO₂浓度时空演变规律及其影响机制，并能预测未来CO₂浓度变化趋势，为准确评估我国长江三角洲城市及区域大气中CO₂浓度和变化趋势提供理论基础，也可为制定“低碳城市”减排政策和适应气候变化的区域碳管理规划提供科学知识和数据支撑。



6. 年度研究计划及预期研究结果

- 年度计划:
- 2013: MODIS资料、排放源资料以及观测数据的收集, VPRM模式参数优化; 撰写自然生态系统源汇方面的论文;
- 2014: WRF-GHG模拟、敏感性试验与验证, 撰写数值模拟方面的论文;
- 2015: 利用以上结果, 分析城市化发展对CO₂浓度的影响, 撰写影响机制方面的文章;
- 预期成果: 发表论文3-5篇, 其中SCI论文1-2篇;
- 提交WRF-GHG产品结果一套。



7. 研究基础与工作条件

- 研究基础:
- 申请者自2000年以来一直从事大气物理与大气环境专业的学习及研究，具有扎实的理论功底及较强的数值模拟研究能力。
- 申请者近期主要从事温室气体地气交换观测研究和大气环境模拟研究，曾在无锡FACE项目和长白山温室气体研究项目进行长期的野外观测，2007年-2008年在美国Texas A&M进行博士后研究，主要进行WRF-Chem的模拟工作，实验观测经验丰富并有较强大气环境数值模拟研究能力。2010年主持江苏省教育厅项目《城市及周边大气颗粒物分布和生成特征研究》，申请者全面阅读了国内外大气环境化学领域的文献，对该领域的研究比较熟悉。
- 项目组成员都为生态气象或中尺度数值模拟方面的研究工作者，分别在观测资料分析、数值模拟、污染物排放源等方面进行相关研究，都具有博士学位，专业基础良好。



- 工作条件:
- 申请者所在的江苏省重点实验室“耶鲁-南京信息工程大学大气环境研究中心”，拥有研究温室气体方面的各种先进设备，学校计算中心的128 CPU大型机和多个64 CPU Linux集群为数值模拟提供条件保障；我中心设在无锡市的温室气体观测基地以及分布在全国与建立我校长期合作关系的各地气象业务部门验证数据的获取提供保证。
- 项目支持：?? 项目为本项目的观测资料来源提供支持。



8. 项目的困难之处

- 前期数据如MODIS资料处理量比较大（需要小艳姐帮助）；
- 高分辨率CO₂排放源：目前只有华东地区2005年12km的排放源，就城市尺度而言，最好能有4km分辨率的排放清单；
- 验证数据的获取：南京（有部分短期观测资料），上海（气象局有资料），杭州（今年在下城区新建了一个温室气体观测站，不知运行没有），无锡？。



项目组成员

- 教师：黄建平、赵小艳、张弥；
- 学生：王 旭、杨 栋。



谢谢！

欢迎各位专家评比指正

