基于WRF-VPRM模式的中国 CO_2数值模拟研究

董新奕[1], 姜瑜君[2], Xiaoming Hu[3]

[1]南京大学 大气科学学院

[2]浙江省气象局 临安监测站

[3]Center for Analysis and Prediction of Storms, University of Oklahoma

报告提纲

- □ 大气-生态耦合模式WRF-VPRM
- □ 北美和东亚的CO_2数值模拟试验

WRF-VPRM简介

- Weather Research and Forecasting (WRF) model:数值天气预报模式
- Vegetation Photosynthesis and Respiration Model (VPRM):陆面CO_2通量模式
- Online coupled WRF-VPRM：耦合模式

WRF ⟷ VPRM

$$Ecosystem\ Respiration = \alpha \times T + \beta$$

$$GEE = -\lambda \times T_{scale} \times W_{scale} \times P_{scale} \times (1 + PAR/PAR_0)^{-1} \times EVI \times PAR$$

JAMES Journal of Advances in Modeling Earth Systems

RESEARCH ARTICLE
10.1029/2019MS001875

Special Section:
Carbon and Weather: Results from the Atmospheric Carbon and Transport -- America Mission

Dynamical Downscaling of CO_2 in 2016 Over the Contiguous United States Using WRF-VPRM, a Weather-Biosphere-Online-Coupled Model

Xiao-Ming Hu[1,2], Sean Crowell[2], Qingyu Wang[2], Yao Zhang[3,4], Kenneth J. Davis[5,6], Ming Xue[1,2], Xiangming Xiao[3], Berrien Moore[2], Xiaocui Wu[3], Yonghoon Choi[7], and Joshua P. DiGangi[7]

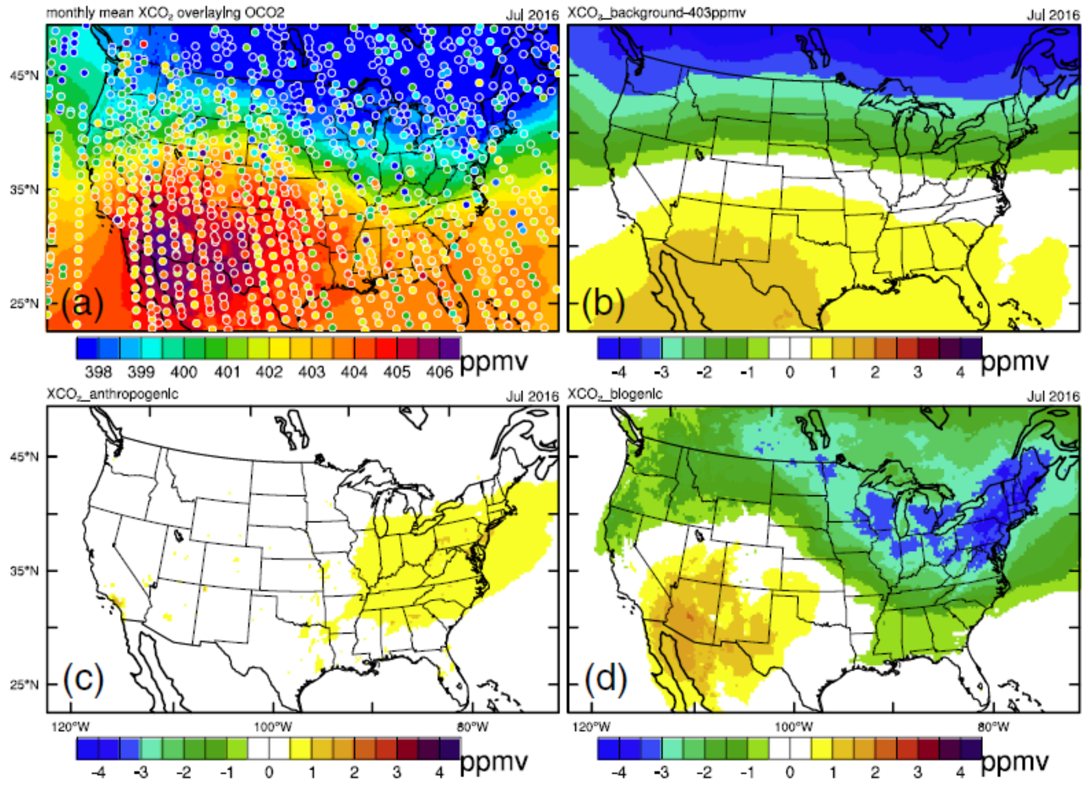
WRF-VPRM 模式系统的建立

模式系统的建立
（输入数据、参数化方案）

Summary of the Configuration for WRF-VPRM Downscaling

Short wave radiation	Dudhia
Long wave radiation	Rapid radiative transfer model (RRTM)
Boundary layer	YSU
Microphysics	Morrison
Cumulus	Grell-3
Land surface model	NOAH
Vertical levels	47
Horizontal resolution	12 km × 12 km with 266 × 443 grid points
Time step	60 s
Meteorological initial and lateral boundary conditions	NCEP/DOE Reanalysis 2 (R2)
CO_2 initial and lateral boundary conditions	CT2017 global simulation 3° × 2° outputs
Interior nudging	Spectral nudging
nudging variables	horizontal wind components, temperature, and geopotential height
nudging coefficient	3×10^{-5} s^{-1}
nudging height	above PBL
wave number	5 and 3 in the zonal and meridional directions, respectively
nudging period	throughout the downscaling simulation

模式与OCO-2卫星产品的比较



Hu et al., 2020, JAMES

WRF-VPRM的最新发展

- 根据北美观测数据重新推导了呼吸过程的计算方法，新增了对植被、水应力、温度非线性响应的考虑

$$Ecosystem\ Respiration = \alpha \times T + \beta$$

$$Ecosystem\ Respiration = \beta + \alpha_1 \times T + \alpha_2 \times T^2 + \gamma \times EVI + k_1 \times W_{scale} + k_2 \times W_{scale} + k_3 \times W_{scale} \times T^2$$

- 近两年的发展

2019.08：Hu et al. (JAMES) – 模式系统的建立，在北美的数值模拟应用

2020.03：Li et al. (JGR) – 在中国东北地区的应用与评估

2021.03：Hu et al. (JGR) – 模式对呼吸过程计算的改进

2021.04：Hu et al. (JGR) – CO_2与大气污染的协同模拟与分析

2021.05：Dong et al. (ACP) – 中国多年CO2的数值模拟与分析

JGR Atmospheres

RESEARCH ARTICLE
10.1029/2020JD034362

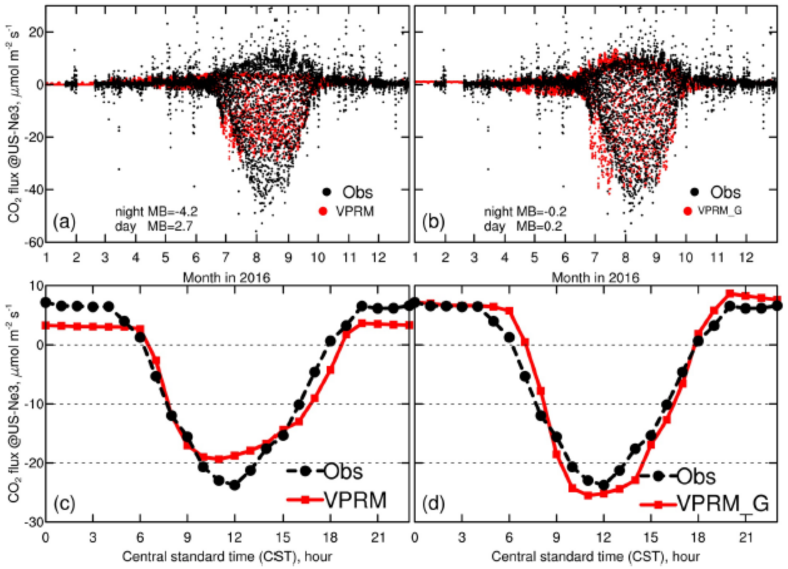
Special Section:
Carbon Weather: Toward the next generation of regional greenhouse gas inversion systems

Implementation of Improved Parameterization of Terrestrial Flux in WRF-VPRM Improves the Simulation of Nighttime CO_2 Peaks and a Daytime CO_2 Band Ahead of a Cold Front

Xiao-Ming Hu[1], Sharon M. Gourdji[2], Kenneth J. Davis[3,4], Qingyu Wang[5], Yao Zhang[6], Ming Xue[1], Sha Feng[3], Berrien Moore[7], and Sean M. R. Crowell[7]

模式机理的改进

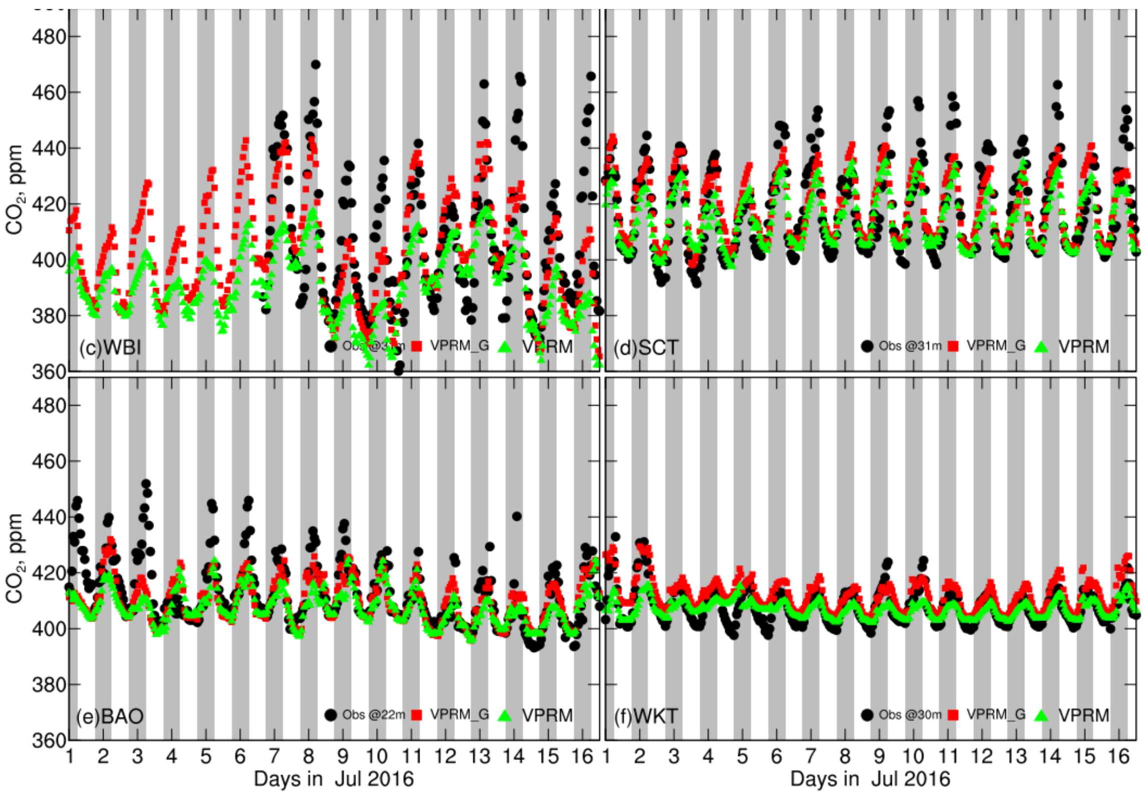
模式与塔基观测的比较



改进前

改进后

模式与地表观测的比较



提高了模式对CO_2峰值的模拟能力

Hu et al., 2021a, JGR

Atmos. Chem. Phys., 21, 7217–7233, 2021
https://doi.org/10.5194/acp-21-7217-2021

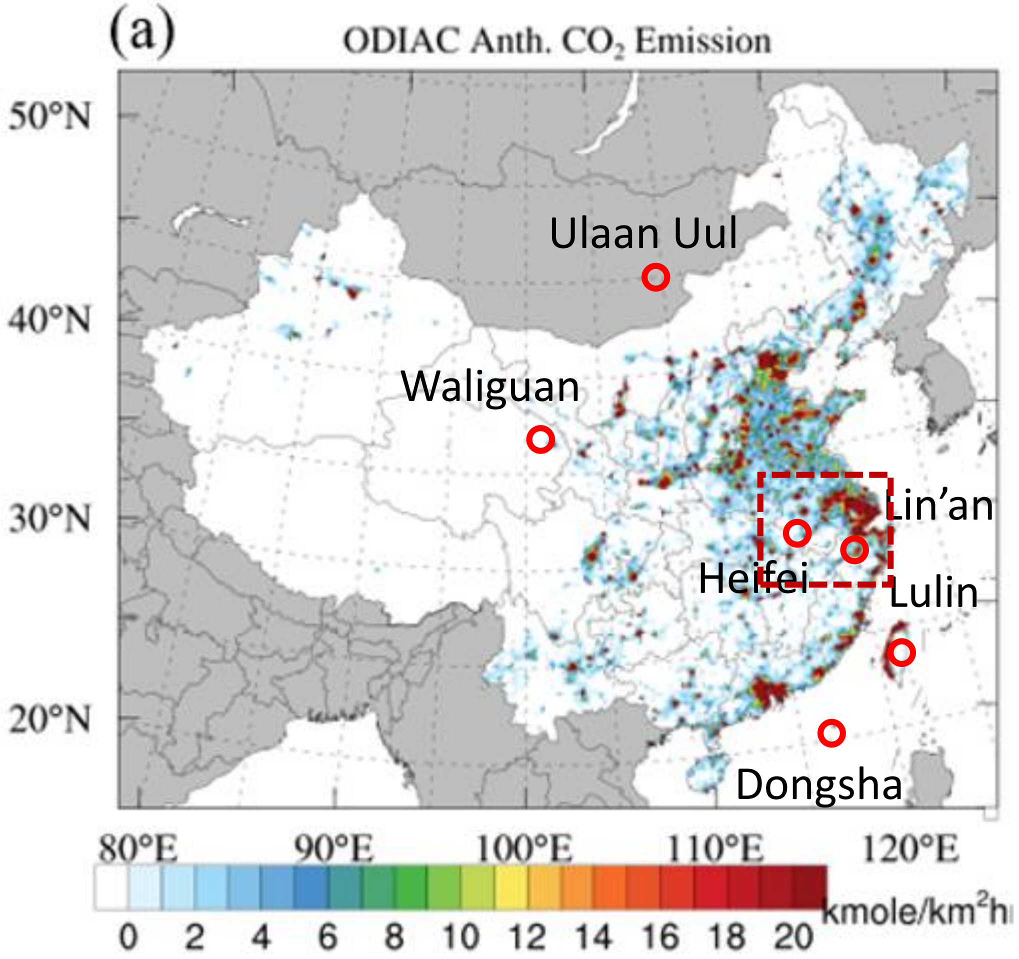
Atmospheric Chemistry and Physics
EGU

Analysis of CO_2 spatio-temporal variations in China using a weather–biosphere online coupled model

Xinyi Dong[1,2], Man Yue[1,2], Yujun Jiang[3,4], Xiao-Ming Hu[5], Qianli Ma[4], Jingjiao Pu[3], and Guangqiang Zhou[6]

长期（2016-2018）数值模拟

- 格网大小：20km（长三角4km）
- 垂直分层：48layer (50hPa top)
- 人为排放：ODIAC (monthly, 0.1°)
- 海洋通量： Takahashi et al. 2009
- 初始场、边界场：CarbonTracker
- 模拟时间：2016-2018逐小时输出
- 数据量：10TB

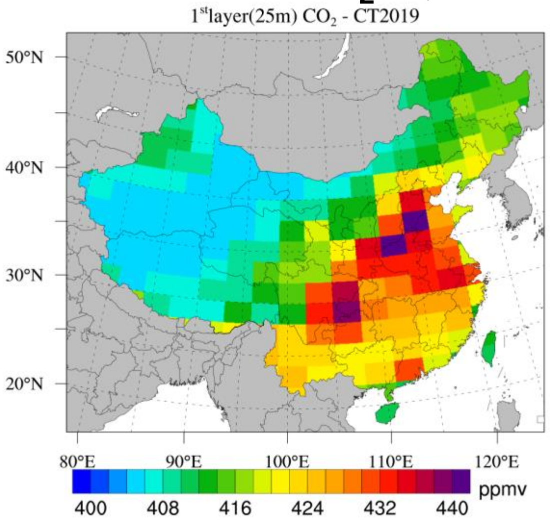


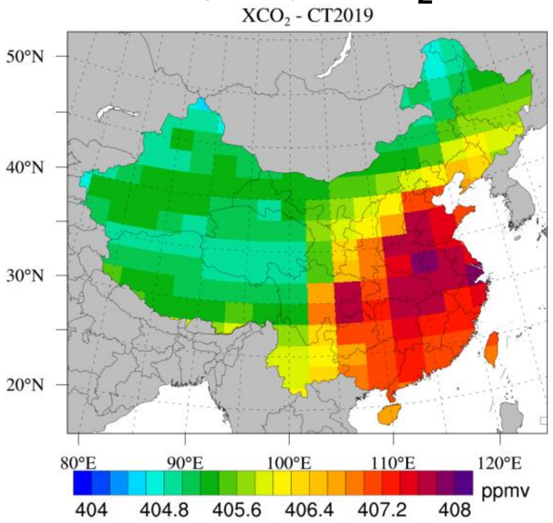
Dong et al., 2021, ACP

CO_2模拟：空间分布

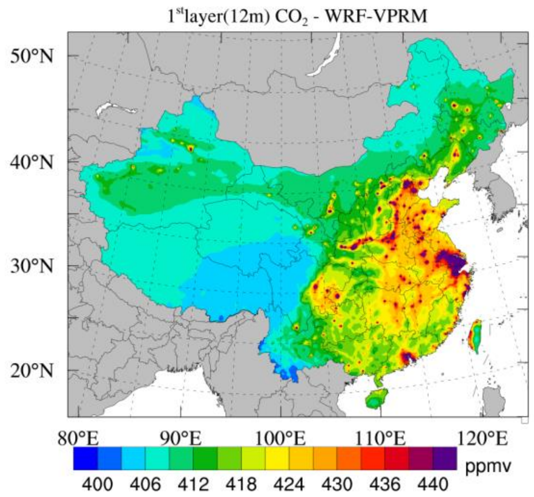
近地表CO_2浓度　　　　柱浓度XCO_2

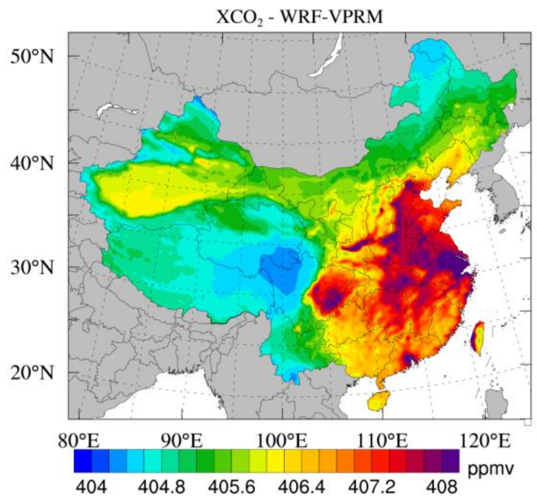
CarbonTracker





WRF-VPRM

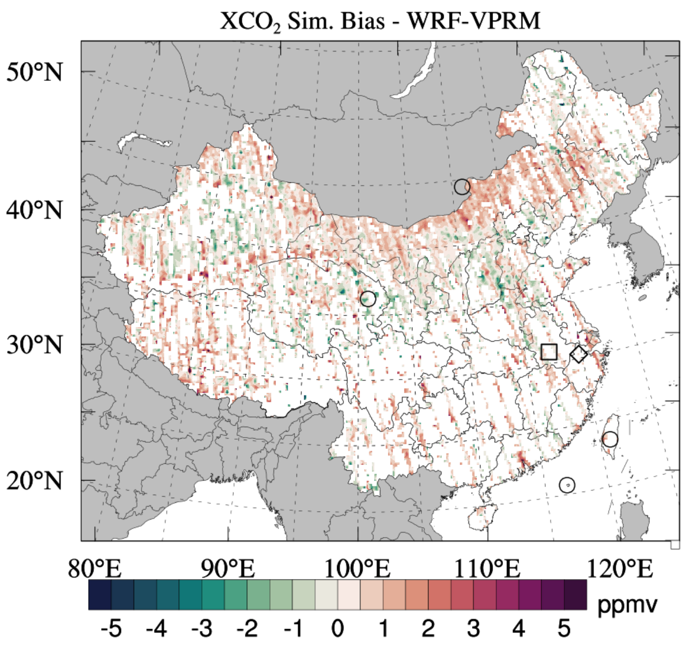




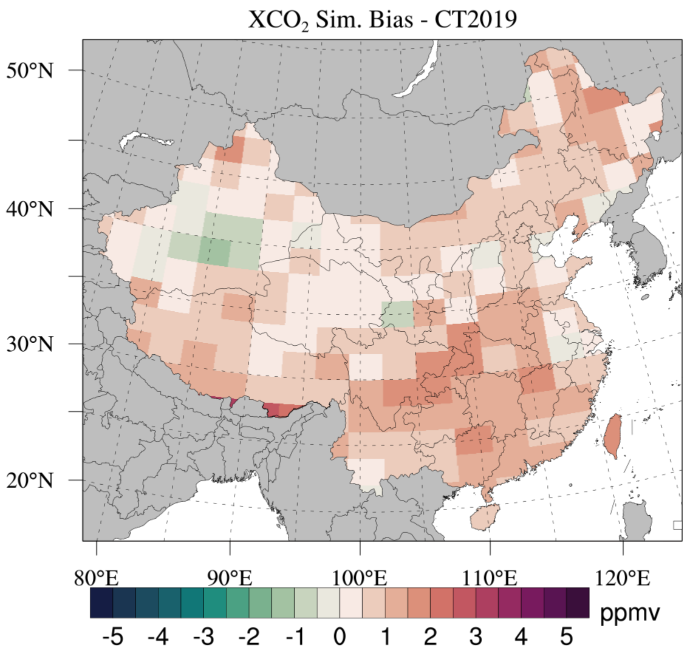
- WRF-VPRM模拟的近地表CO_2与ODIAC排放的空间分布一致
- CarbonTracker对城市地区近地表CO_2浓度的模拟**显著低于**WRF-VPRM
- WRF-VPRM与CarbonTracker柱浓度的空间分布基本一致，在塔克拉玛干地区**显著高估**
- 近地表CO_2的空间梯度变化大于柱浓度XCO_2，WRF-VPRM表现出的梯度大于CarbonTracker

XCO_2模拟：与OCO-2的对比

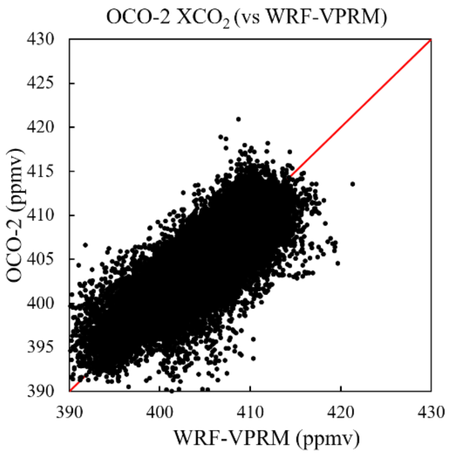
WRF-VPRM



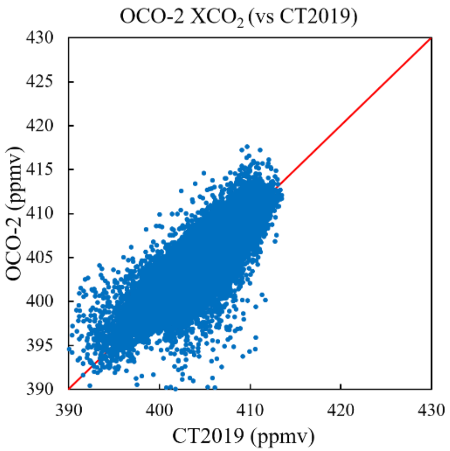
CarbonTracker



WRF-VPRM



CarbonTracker

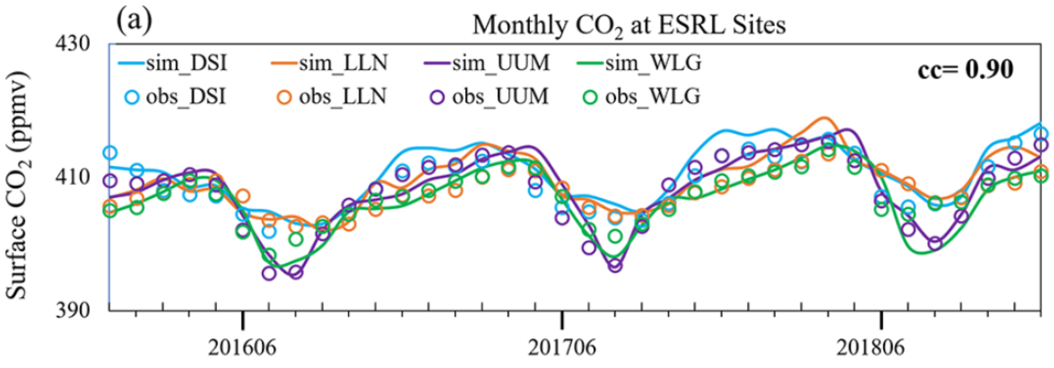


日均柱浓度的平均误差：

- WRF-VPRM： 0.76ppmv （0.19%）
- CarbonTracker： 0.54ppmv （0.13%）

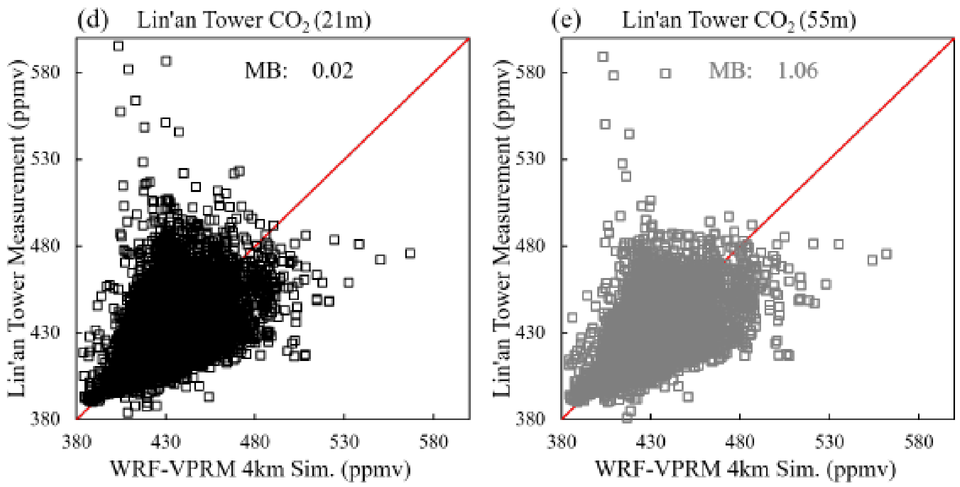
CO_2模拟：与地基观测的对比

ESRL站点
观测



- WRF-VPRM
  - 在ERSL站点的月均值误差 0.69ppmv（0.17%）
  - 在临安站的逐小时误差 0.02/1.06ppmv（0.01%/0.25%）

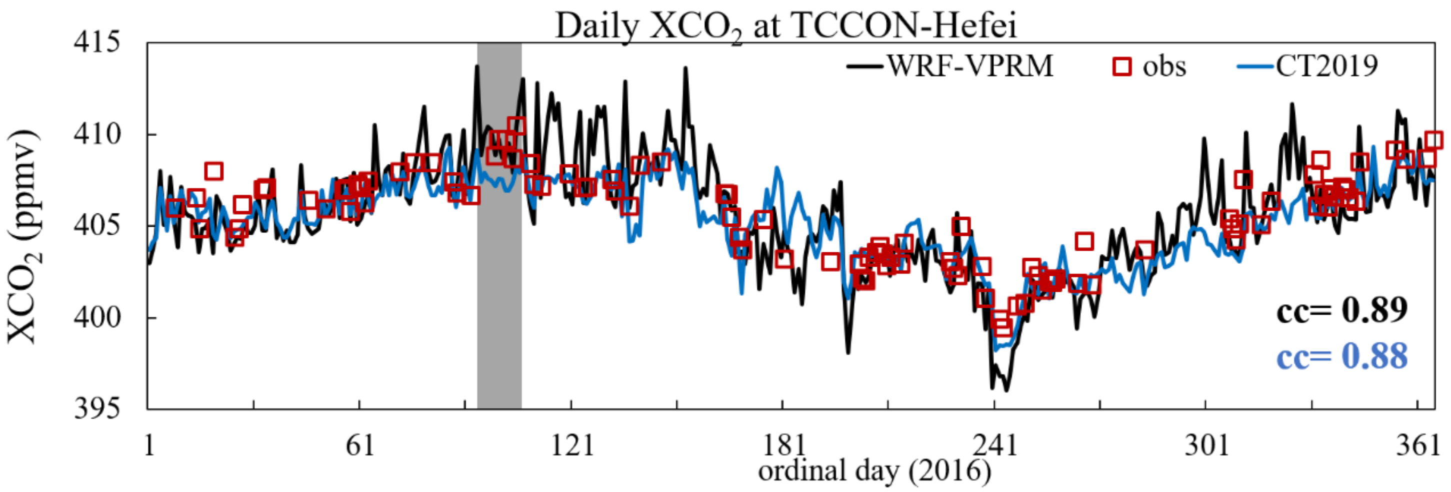
临安塔基观测

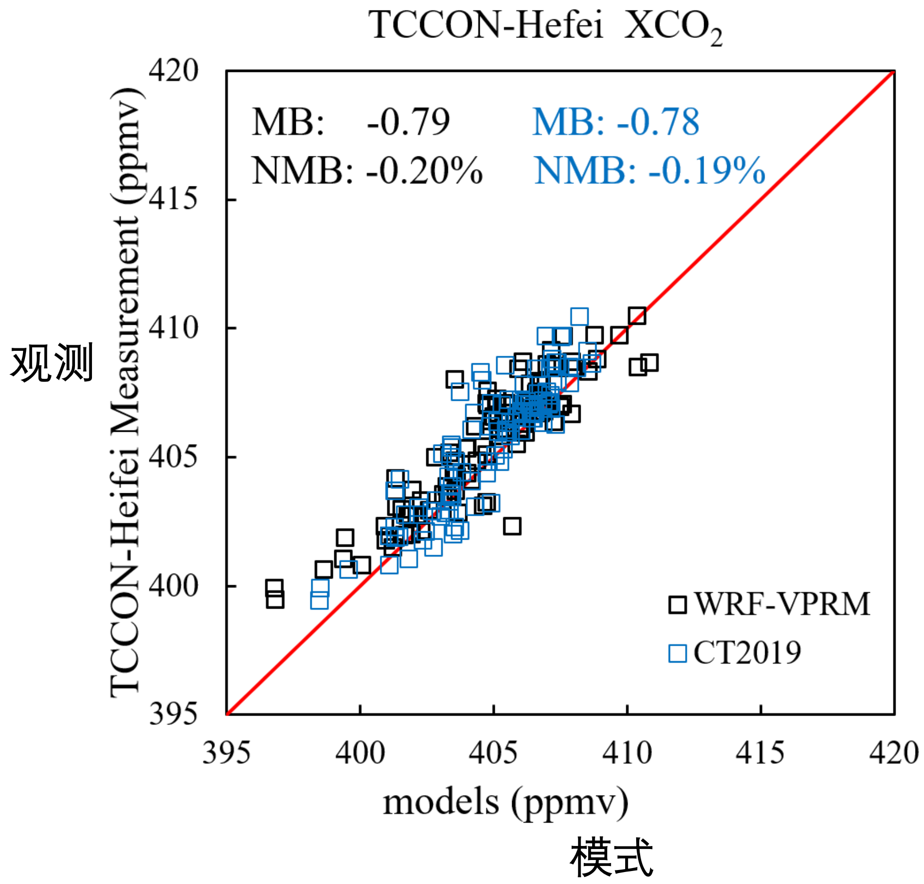


- 观测数据表现出显著的上升趋势
  - ESRL： 2.2ppmv/yr, 0.56%/yr (WRF-VPRM：0.64%/yr)
  - 临安塔基观测： 2.8ppmv/yr, 0.67%/yr (WRF-VPRM: 0.35%/yr)

XCO_2模拟：时间序列

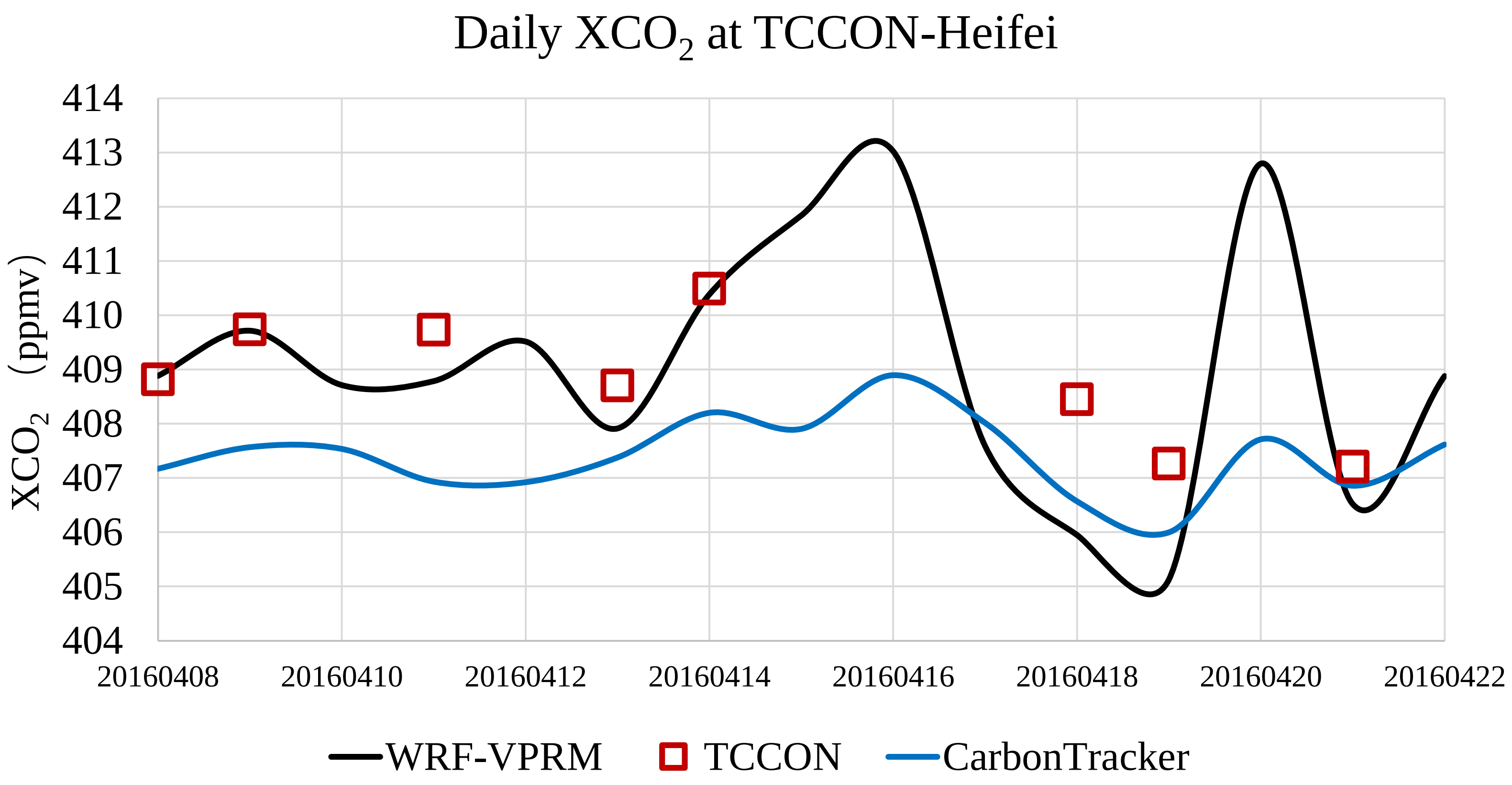
TCCON合肥站柱浓度观测





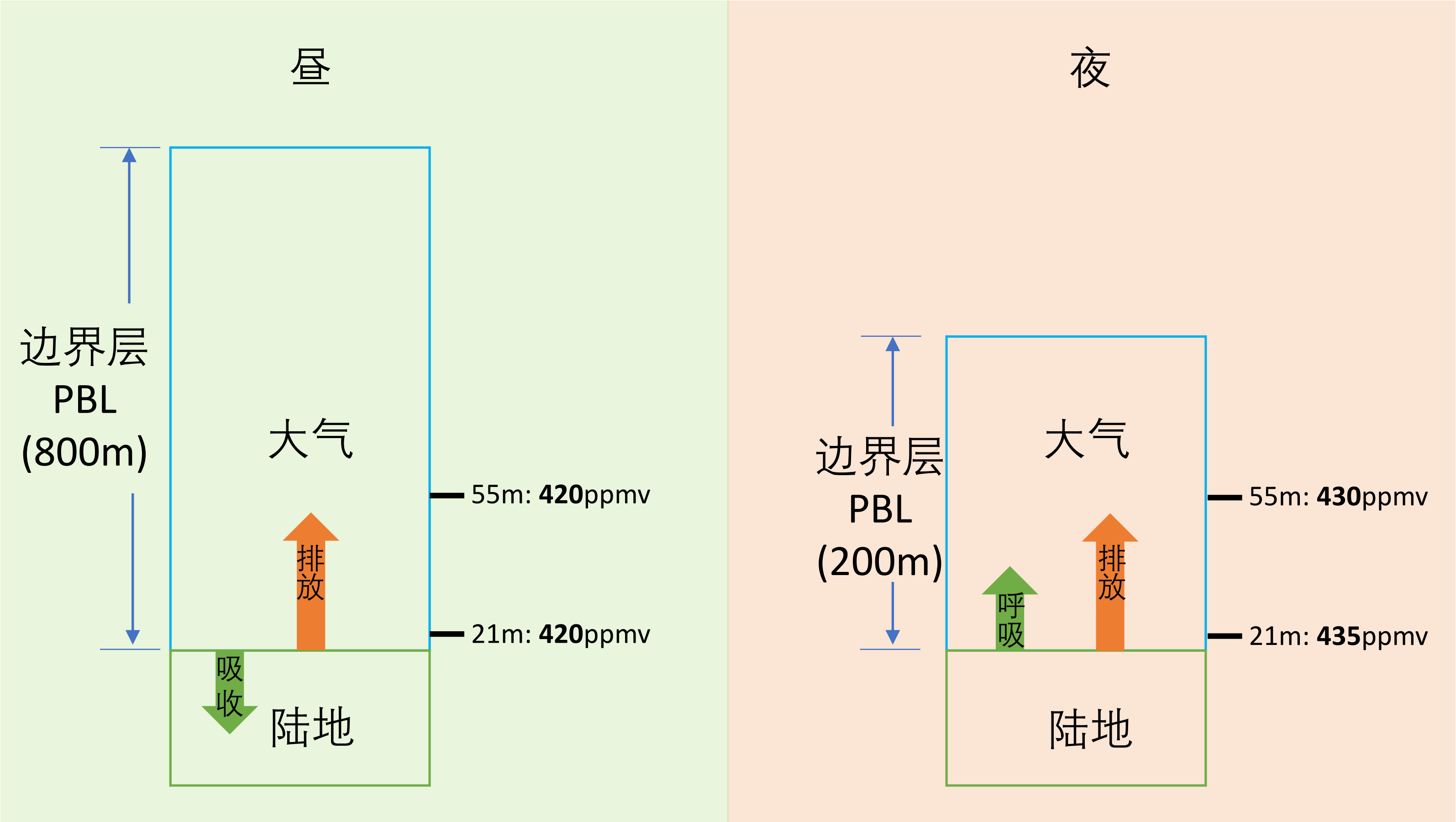
- 在TCCON合肥站的柱浓度观测
  - WRF-VPRM的日均值误差 -0.79ppmv（-0.20%）
  - CarbonTracker的日均值误差 -0.78ppmv（-0.19%）

CO_2模拟：时间序列



- WRF-VPRM模拟的XCO_2日均变化（~5ppmv）大于CarbonTracker（~2ppmv）
- WRF-VPRM认为中尺度天气过程（例如冷锋过境）会导致CO_2浓度的剧烈波动，但往往伴随多云、降雨等恶劣条件，导致观测数据缺失

临安站：边界层对CO_2垂直梯度的影响

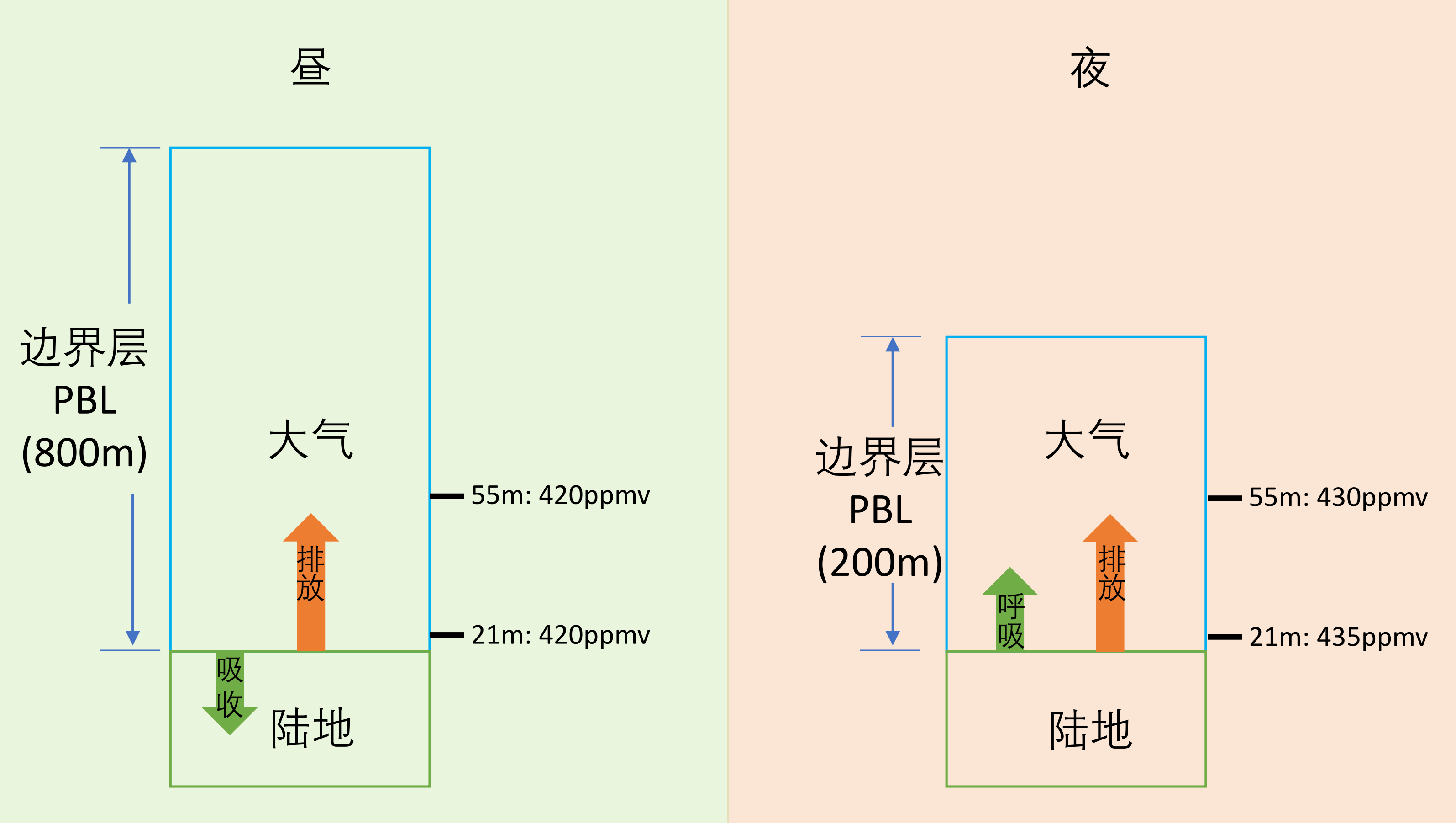


PBL高（扩散范围大），地表光合作用强（-）

PBL低（扩散范围小），地表呼吸作用强（+）

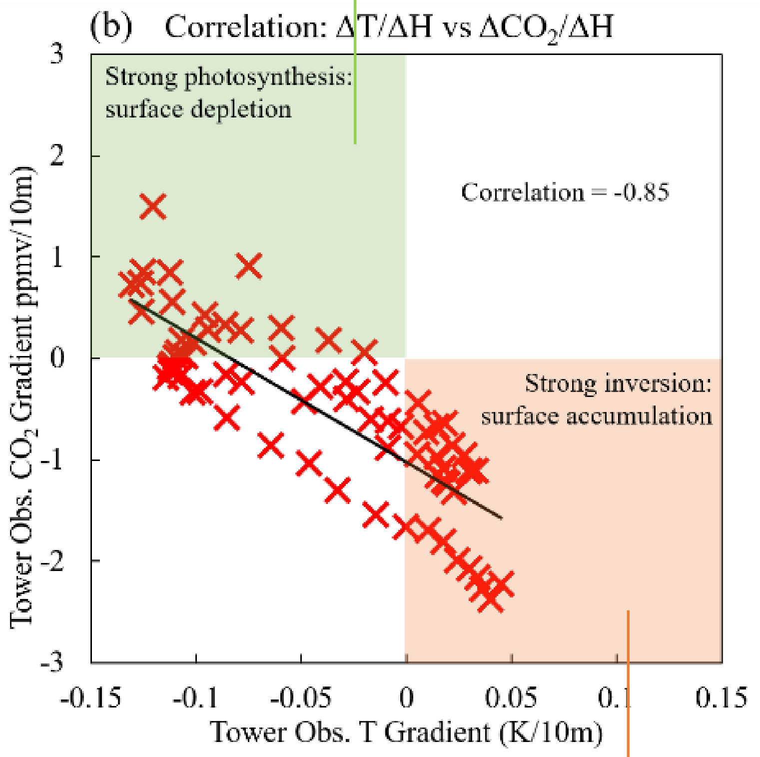
临安塔基监测站

临安站：边界层对CO_2垂直梯度的影响



PBL高（扩散范围大），地表光合作用强（-）　PBL低（扩散范围小），地表呼吸作用强（+）

日间的光合作用，导致近地表（21m）CO_2浓的迅速消耗，因此55m的浓度更高



夜间的强逆温条件，导致近地表的CO_2浓度快速积累，因此21m的浓度更高

基于WRF-VPRM模式的中国 CO_2数值模拟研究

董新奕[1], 姜瑜君[2], Xiaoming Hu[3]

[1]南京大学 大气科学学院

[2]浙江省气象局 临安监测站

[3]Center for Analysis and Prediction of Storms, University of Oklahoma

请各位专家批评指正！

dongxy@nju.edu.cn