



伴随敏感性方法、第一奇异向量方法以及条件非线性最优扰动方法在台风目标观测敏感区识别中的比较研究

周非凡^{1,2} 叶一苇^{1,2} 段晚锁^{2,3} 张贺^{4,5}

1 中国科学院大气物理研究所云降水物理与强风暴重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

4 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

5 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044



1、引言

预报误差的主要部分通常来自于**初始场的不确定性**。

在**关键地区**增强观测

减少初始场不确定性

目标观测

敏感区识别

方法

误差增长动力学

E.g. ADS, LSV, CNOP, BV

资料同化

E.g. ET、EnKF、ETKF

问题:

- 同为基于误差增长动力学理论的线性方法, **LSV** 和 **ADS** 识别出的敏感区有什么不同? 它们识别的敏感区的有效性怎么样?
- LSV是CNOP (非线性方法) 的线性近似, 那么在**不同的非线性程度**下, **LSV**、**ADS** 和 **CNOP** 识别的敏感区会有多大不同?

2、数据和方法

➤ **数据:** NCEP-FNL ($1^\circ \times 1^\circ$)

➤ **模式:** MM5 (PSU-NCAR)及其对应切线性和伴随模式

空间分辨率: 60km;

模式层顶: 100hPa;

水平网格数: 55×55 (2004Meari为 51×55);

垂直层数: 20 (2004Meari和2005Matsa为11);

参数化方案: 干物理过程、大尺度降水、Anthes-Kuo 积云对流参数化和高分辨率边界层参数化等

➤ **方法:**

- 伴随敏感性方法(ADS)
 - 第一奇异向量方法(LSV)
 - 条件非线性最优扰动方法(CNOP)
- 线性方法 非线性方法

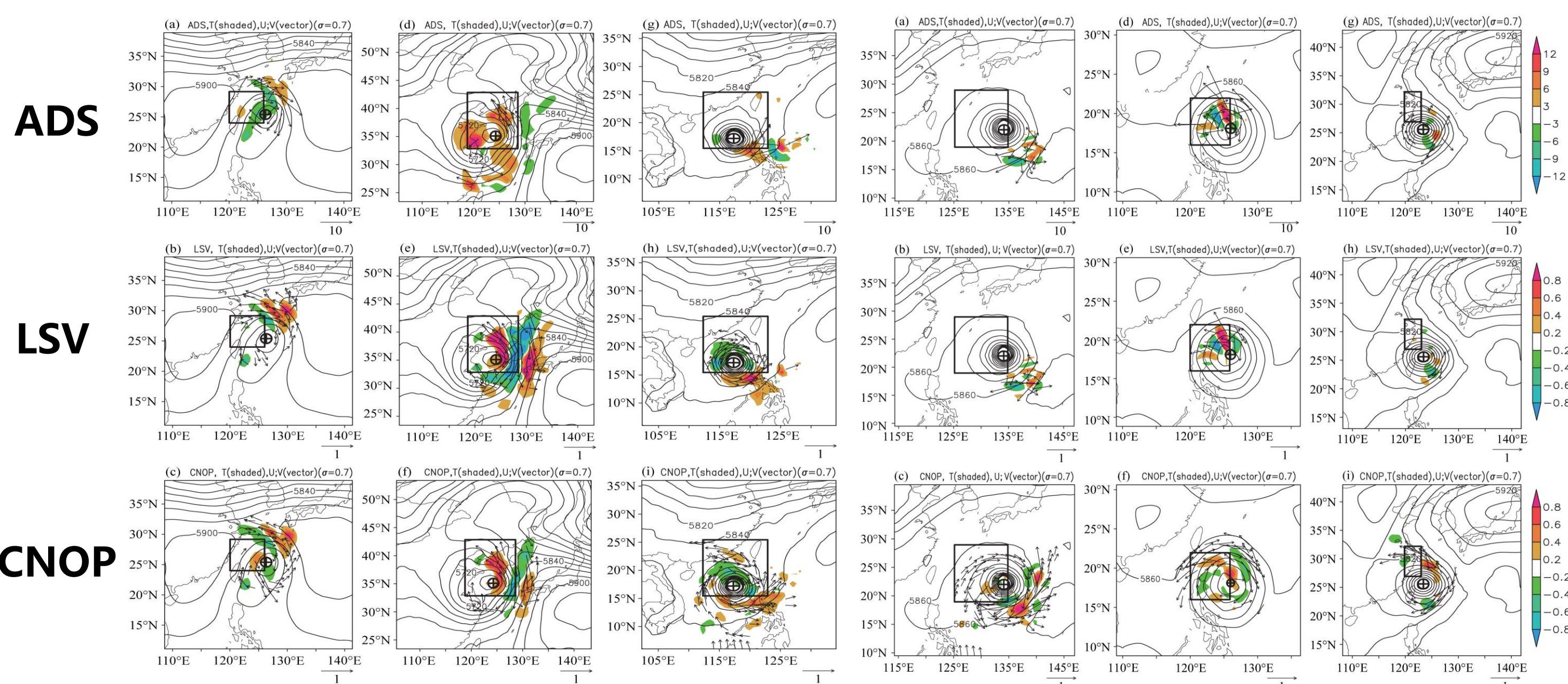
非线性程度: 通过计算CNOP和LSV的相似程度判断:

$$S = \frac{\langle X, Y \rangle}{\sqrt{\langle X, X \rangle} \sqrt{\langle Y, Y \rangle}}, \quad X \text{ 表示 CNOP}, \quad Y \text{ 表示 LSV} \quad N_d = \frac{1}{|S|}, \quad N_d \text{ 越大, 表示非线性越强}$$

验证区域度量范数: 干能量范数

3、数值结果与分析

➤ **不同非线性程度下各方法识别的敏感区差异:**
(ADS vs. LSV vs. CNOP)



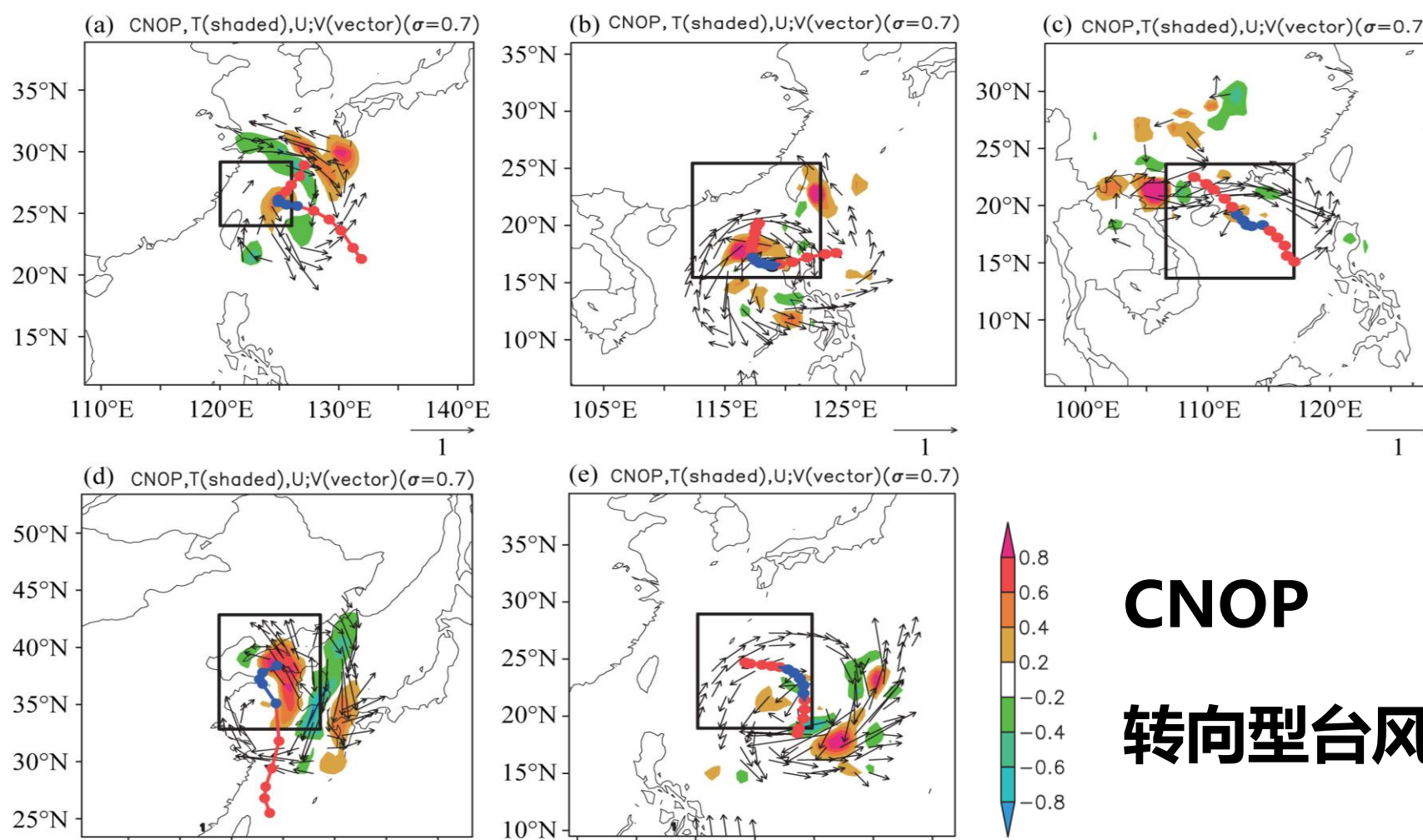
非线性弱个例

非线性强个例

- 在**非线性较弱**的情况下, **CNOP**和**LSV**识别的敏感区**十分相似** (LSV是CNOP的线性近似), 而**ADS**相对来说**相似度较低**。也可看出, 全局考虑所有变量 (LSV) 与单独考虑各个变量 (ADS) 的敏感性时, 敏感区的分布形势会有所不同。
- 当**非线性较强**时, CNOP和LSV识别的敏感区差别较大, 但是此时**ADS识别的敏感区与LSV识别的敏感区较为相似**, 即线性方法识别出的敏感区较为一致。

不论非线性强还是弱的个例, 三种方法识别的敏感区都主要位于**台风和副热带高压的交界处**。

➤ **转向与非转向台风敏感区的差异:**



对于**转向型台风**, 敏感区主要位于台风行进路径的**右前方 (东北象限)**。

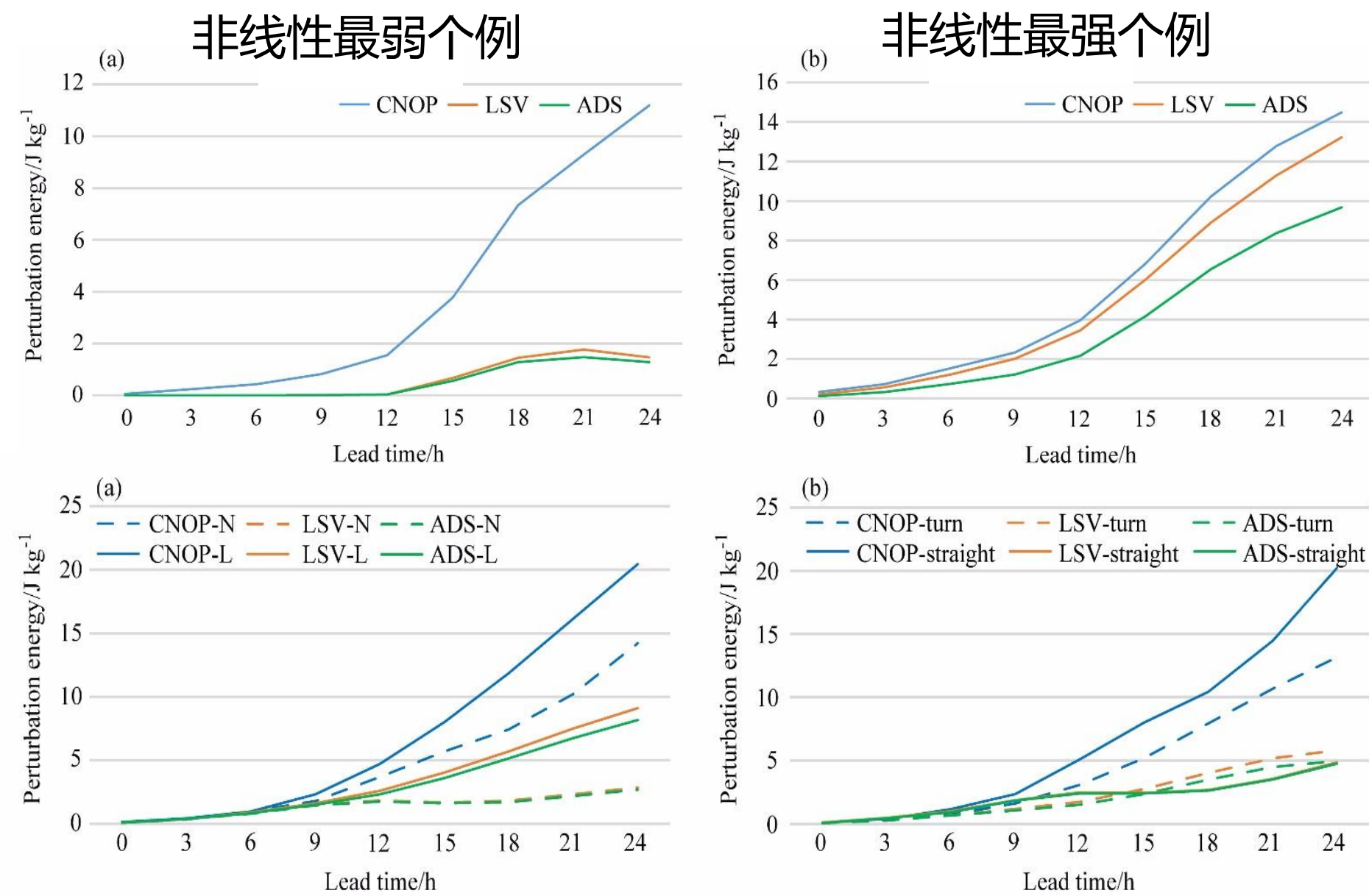
对于**非转向型台风**, 敏感区主要位于台风行进路径的**右后方或正后方 (东南或西南象限)**。

讨论:

我们是否可以通过台风与其敏感区的相对位置来判断其前行的方向?

➤ **敏感区的有效性分析:**

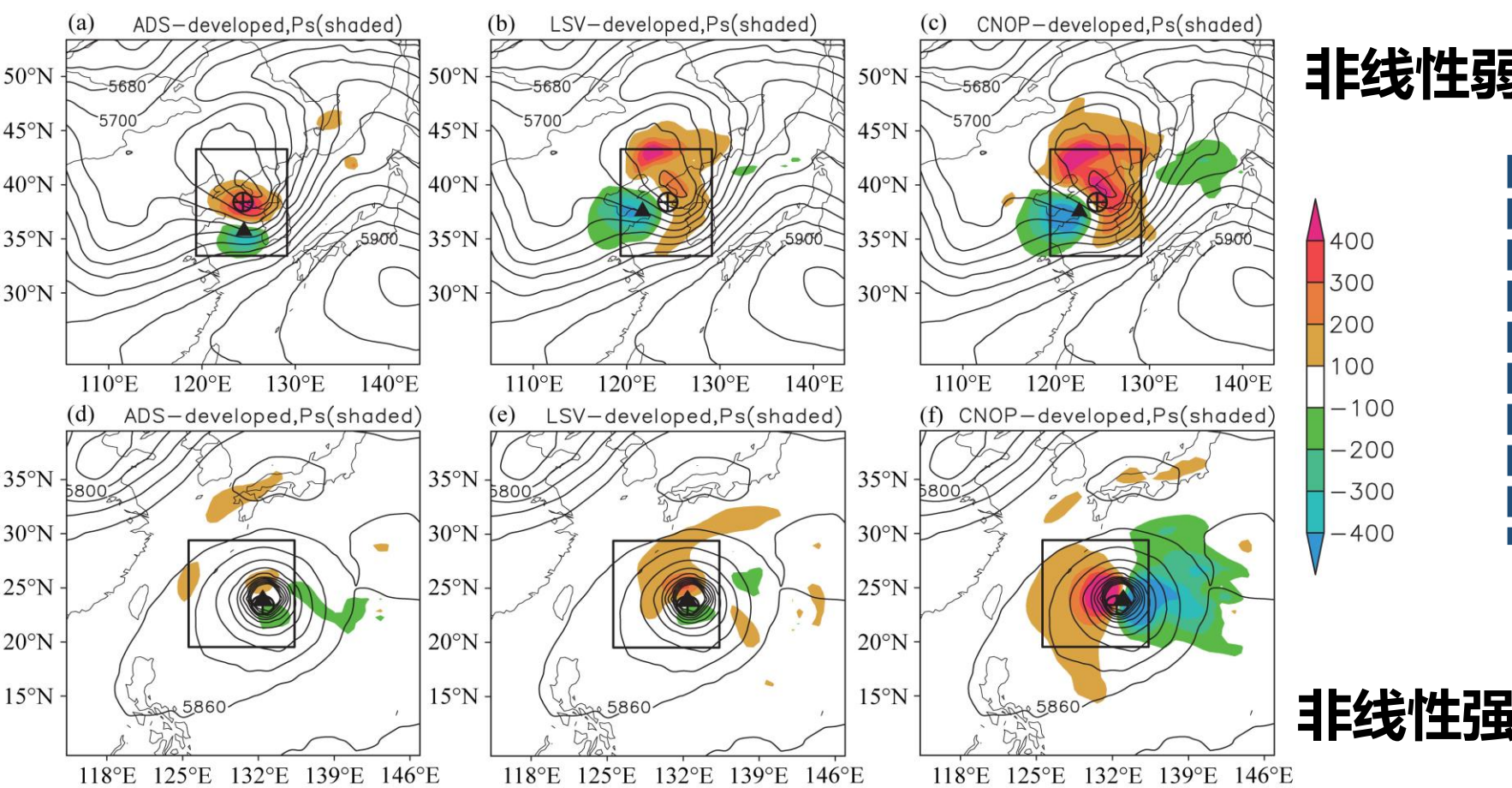
敏感区内随机扰动能量随预报时间的变化:



不论是强非线性台风还是弱非线性台风, **CNOP敏感区内叠加的随机扰动发展都是最大的**, 而LSV敏感区内扰动发展次之, ADS敏感区内扰动发展最小。

N 表示强非线性台风
L 表示弱非线性台风

ADS **LSV** **CNOP**



弱非线性组中扰动的发展明显要大于强非线性组中扰动的发展。

圆圈表示不加扰动时终止时刻台风中心
三角表示叠加扰动后终止时刻台风中心

上述结果说明对于**非线性较弱**的个例, 其预报**受初值的影响更大**, 因此目标观测效果可能会更明显。

4、结论

- 对于**非线性较弱**的台风, 三种方法识别的敏感区较为相似, 在敏感区内添加随机扰动对台风预报效果的影响差别也较小, 在这种情况下, 可以采用 ADS 方法识别敏感区 (计算效率最高)。
- 对于**非线性较强**的台风, LSV 敏感区和 ADS 敏感区不如 CNOP 敏感区有效, 此时推荐用 CNOP 方法去识别敏感区。
- 非线性较弱的台风预报受初值的影响更大。

参考文献

周非凡, 叶一苇, 段晚锁, 等. 2022. 伴随敏感性方法、第一奇异向量方法以及条件非线性最优扰动方法在台风目标观测敏感区识别中的比较研究 [J]. 大气科学, 46(3): 677–690. doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2202.22008

E-mail: zhouff04@163.com