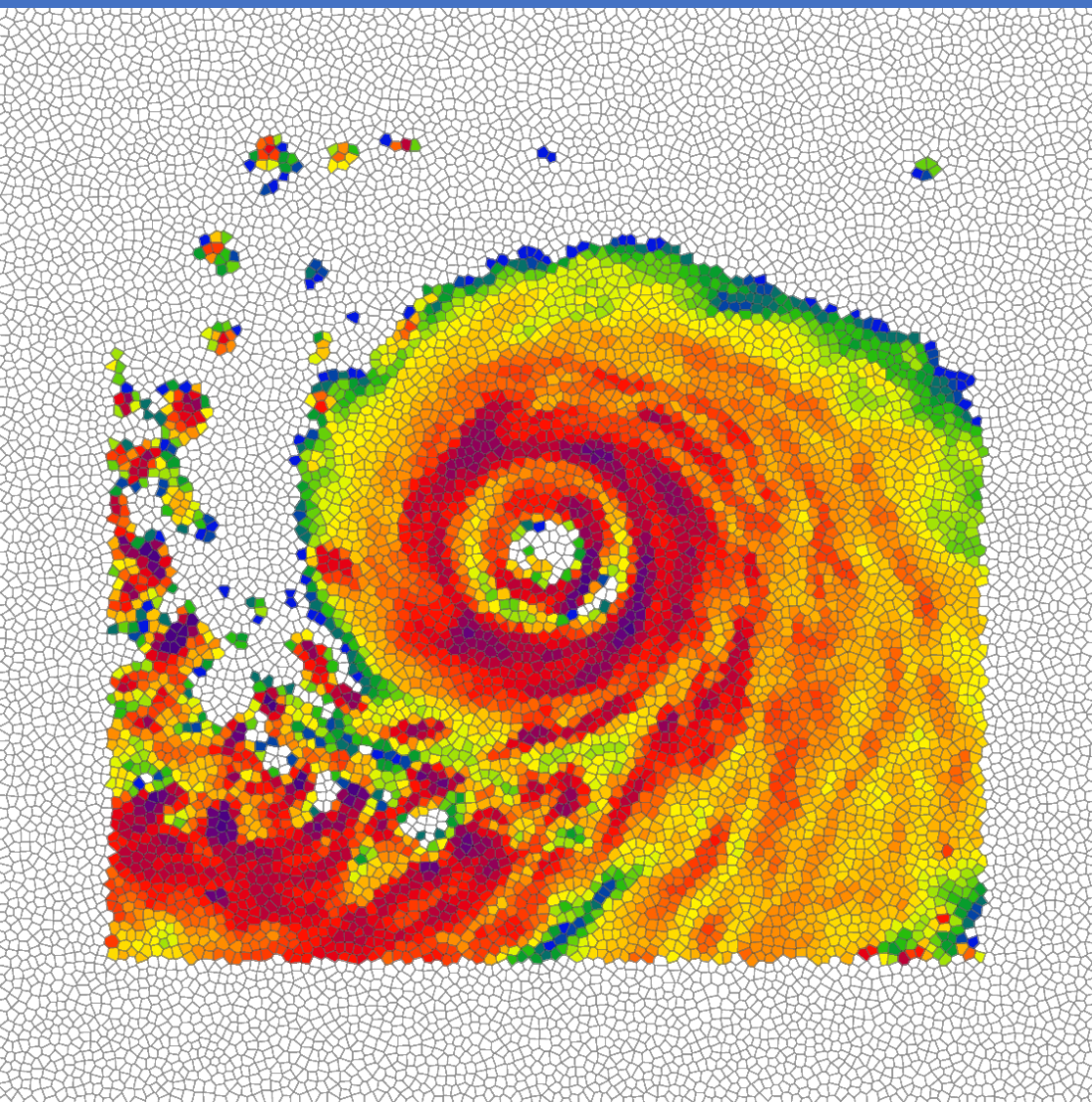


# 基于理想数值试验的垂直风切变影响下热带气旋次眼墙形成机理研究



李青青 刘鑫航 戴宇凡

南京信息工程大学

([liqq@nuist.edu.cn](mailto:liqq@nuist.edu.cn))

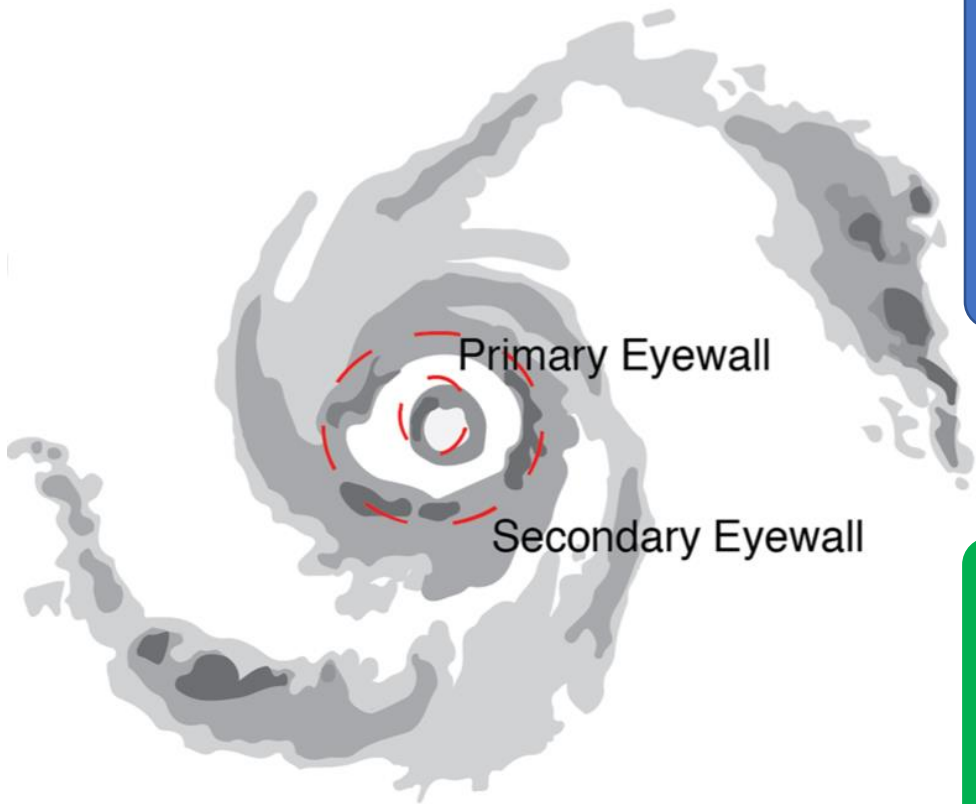
银川

2023年8月10日

# 目 录

- 1. 引言
- 2. 数值试验
- 3. 外眼墙形成的机理
- 4. 总结

# • 1. 引言



内动力学

- **涡旋罗斯贝波理论** (Montgomery and Kallenbach 1997)
- **$\beta$ -skirt轴对称化理论** (Terwey and Montgomery 2008)
- **边界层非平衡动力学** (Huang et al. 2012; Kepert 2013)
- **外雨带动力学** (Zhu and Zhu 2013; Wang and Tan, 2020; Yu et al. 2021)

• .....

- **太阳辐射** (Tang et al. 2017)

- **高层急流** (Dai et al. 2017)

- **垂直风切变** (Zhang et al. 2017; Wang and Tan, 2020)

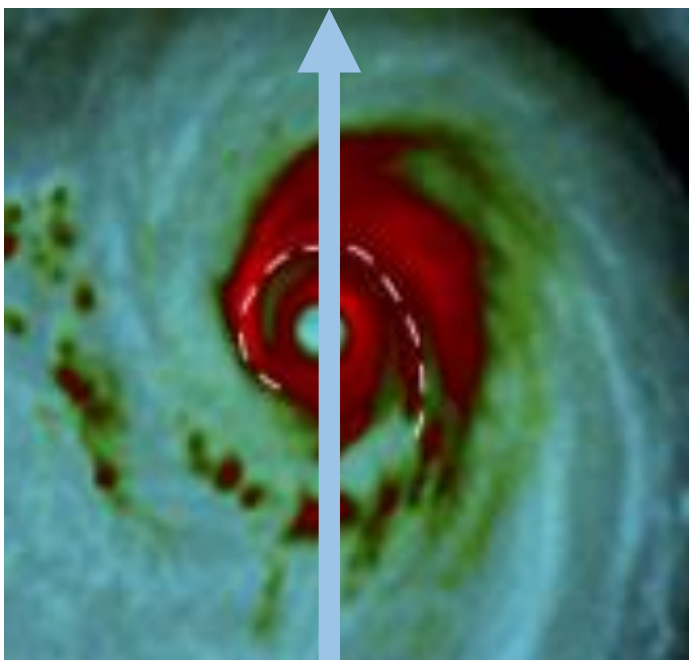
• .....

外强迫

# 79%的涡旋在次眼墙形成前会出现

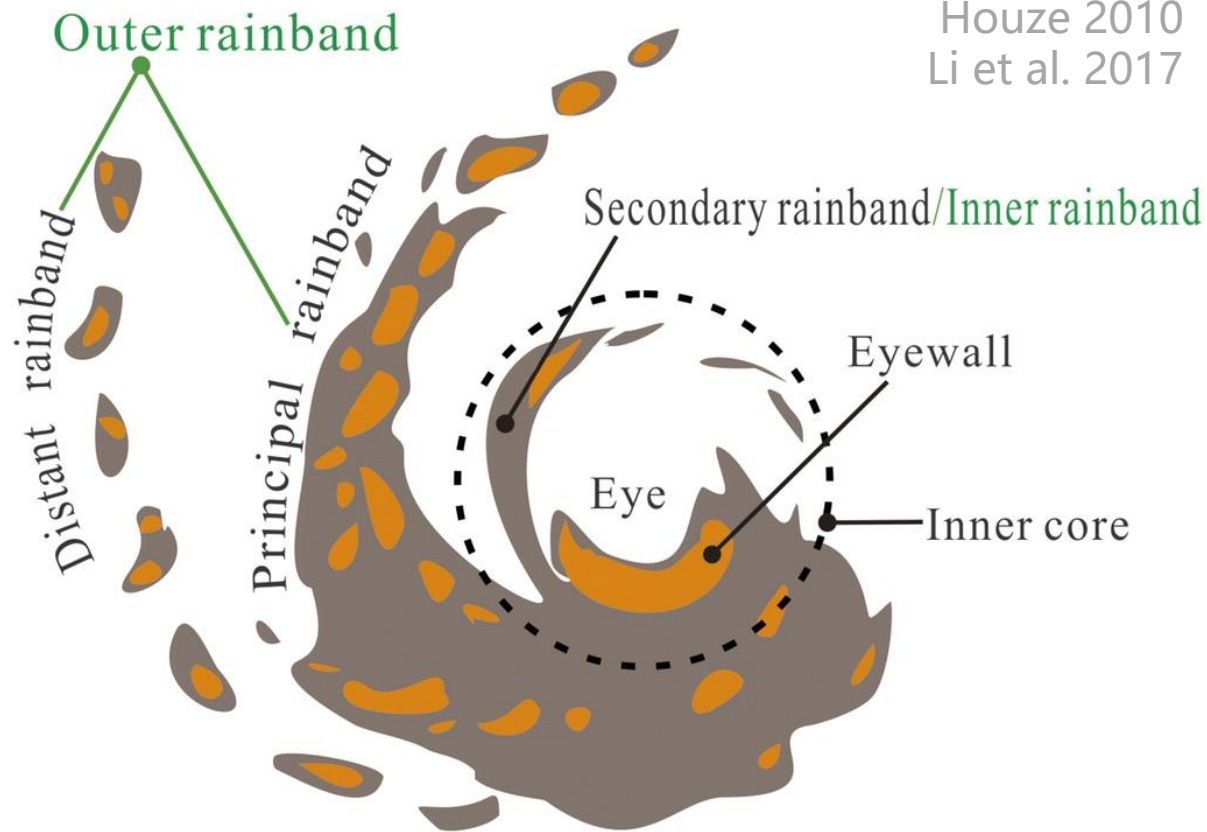
## 准静止雨带复合体

(Vaughan et al. 2020)



## 垂直风切变

Willoughby 1984  
Houze 2010  
Li et al. 2017





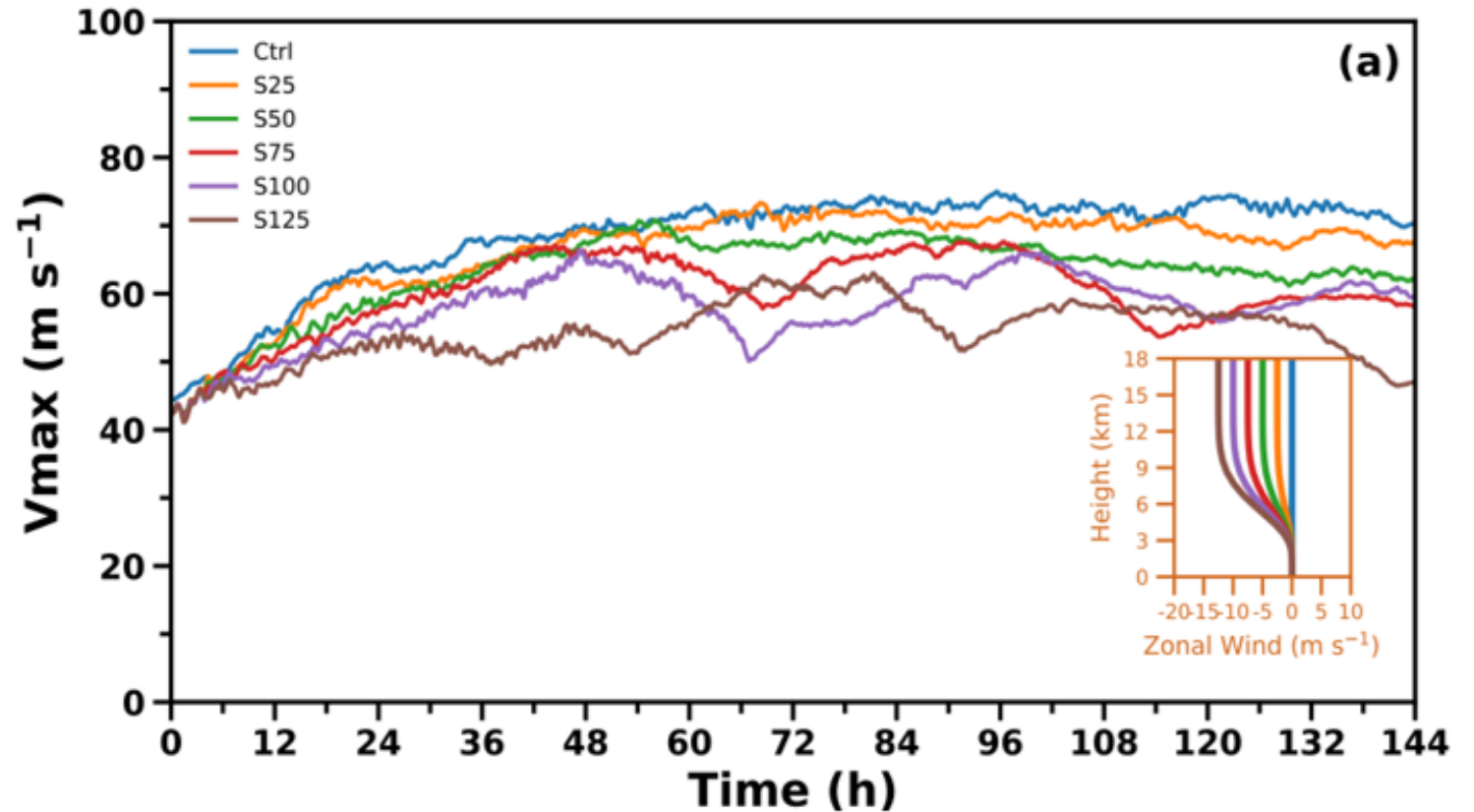
**环境垂直风切变导致的准静止雨带  
复合体如何影响外眼墙形成**



## Tropical Cyclone Model version 4 (TCM4)

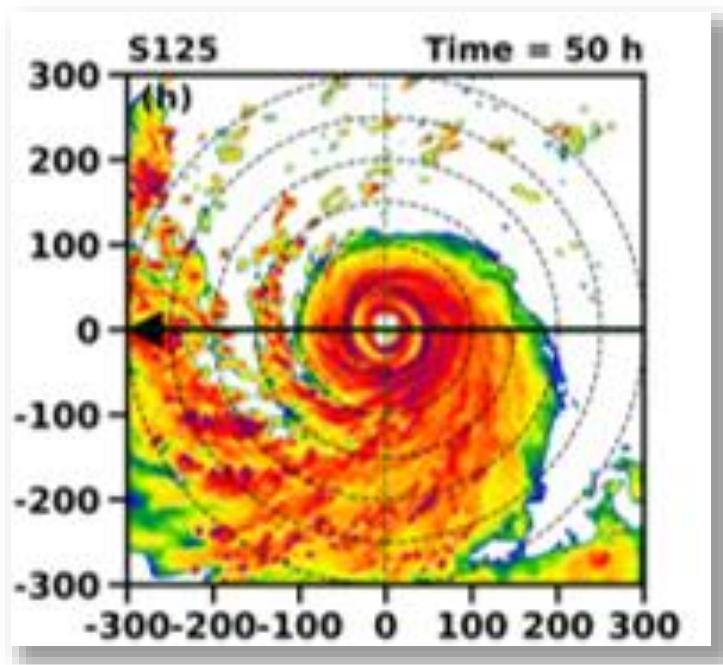
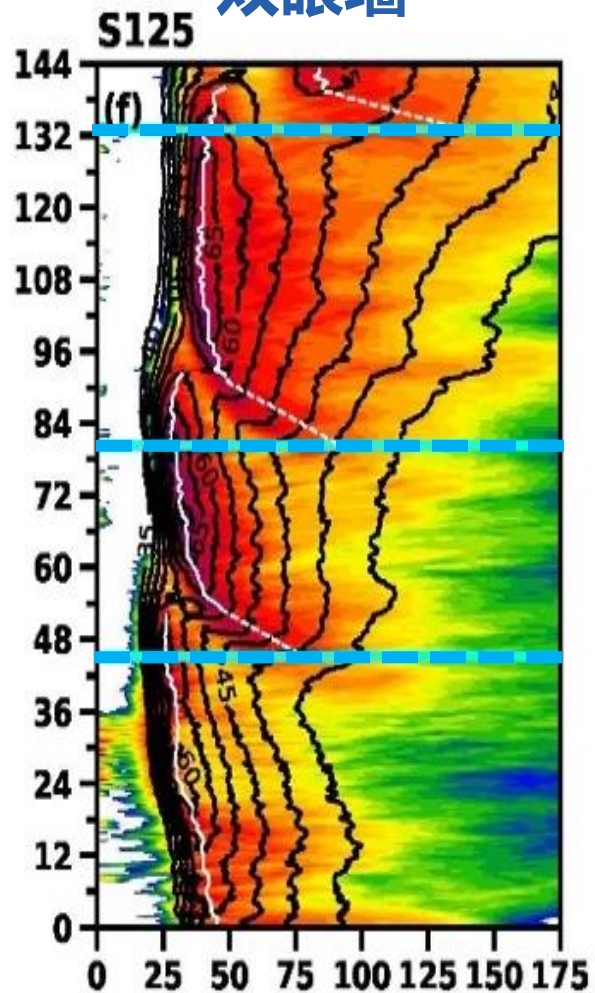
### 东风切变

- 2.5 m s<sup>-1</sup> (S25)
- 5.0 m s<sup>-1</sup> (S50)
- 7.5 m s<sup>-1</sup> (S75)
- 10.0 m s<sup>-1</sup> (S100)
- 12.5 m s<sup>-1</sup> (S125)

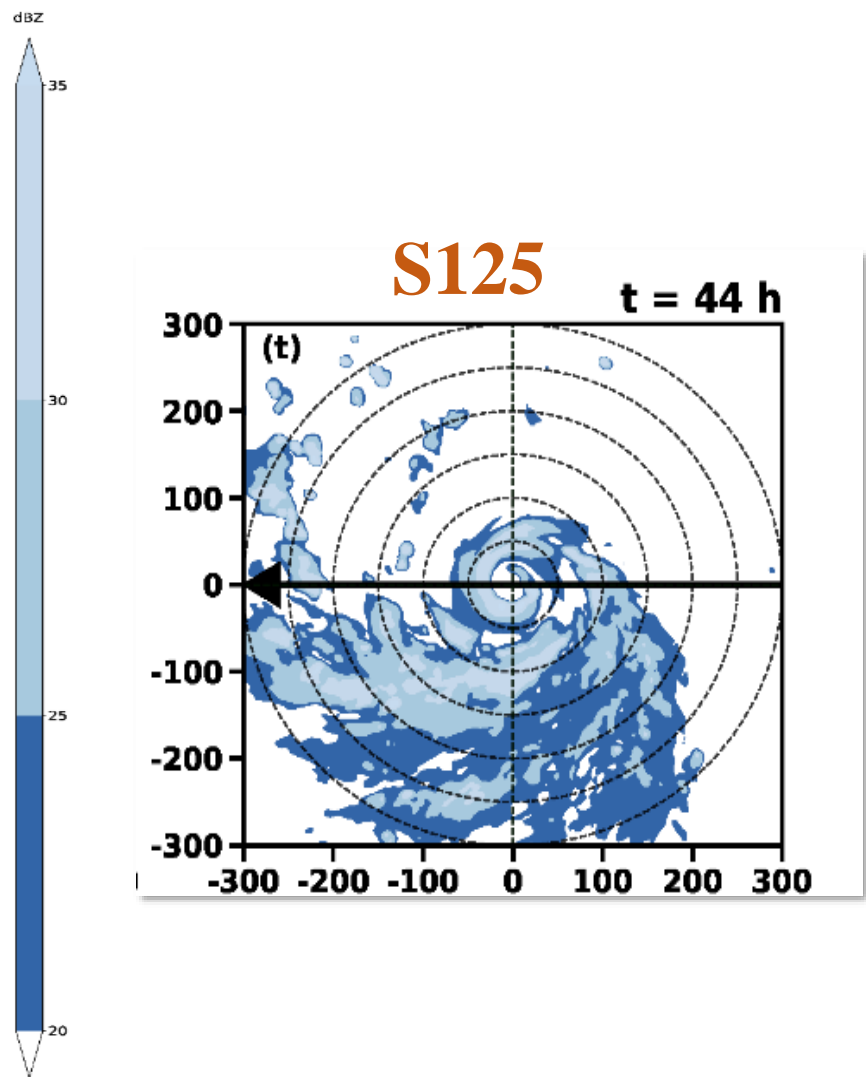


# • 3. 外眼墙形成的机理

## 双眼墙



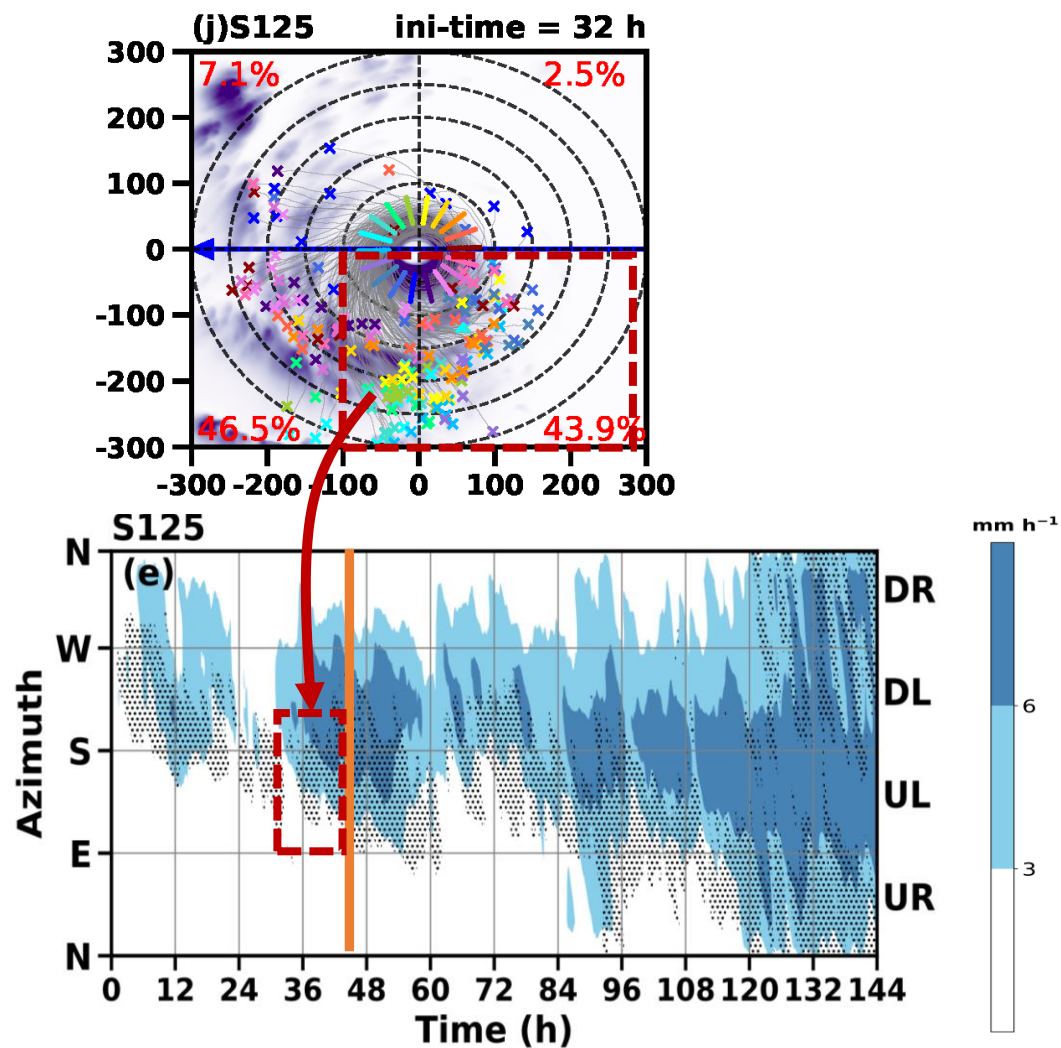
填色： 2.92km雷达反射率 (单位: dBZ)  
等值线： 2.92km切向风速 (单位:  $m s^{-1}$ )



填色:

垂直平均 (8.6-10.6km) 雷达反射率 (单位: dBZ)

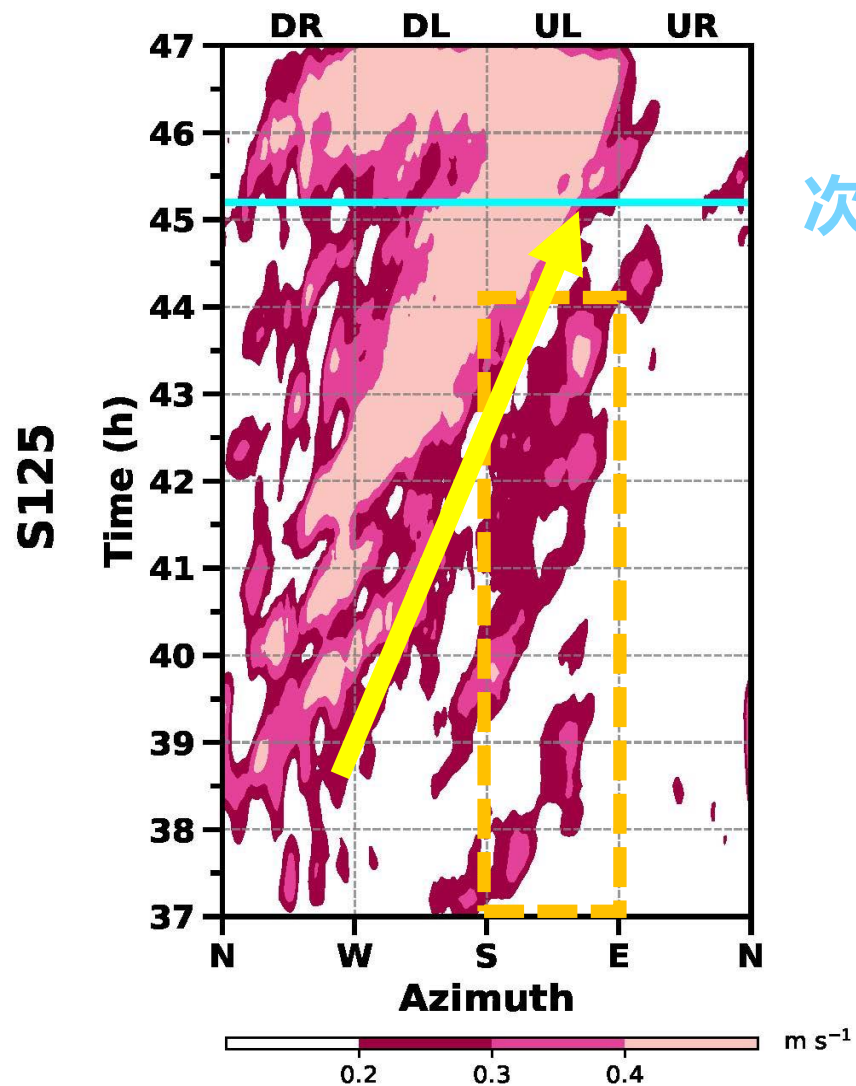
阴影: 高层冰相粒子混合比



点状区域: 100-150km内连续层云区域

阴影: 径向平均 (100-150km) 地面降雨量

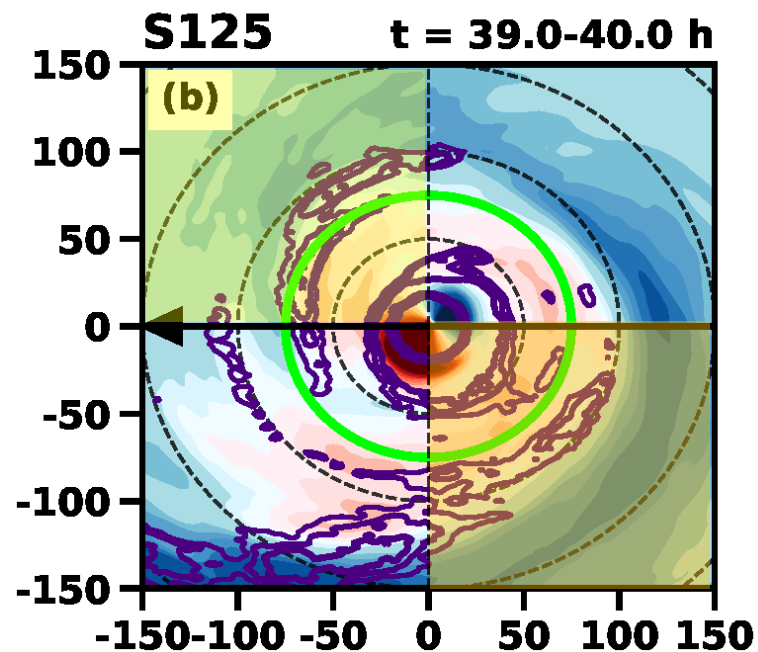




低层垂直速度时间-方位变化图

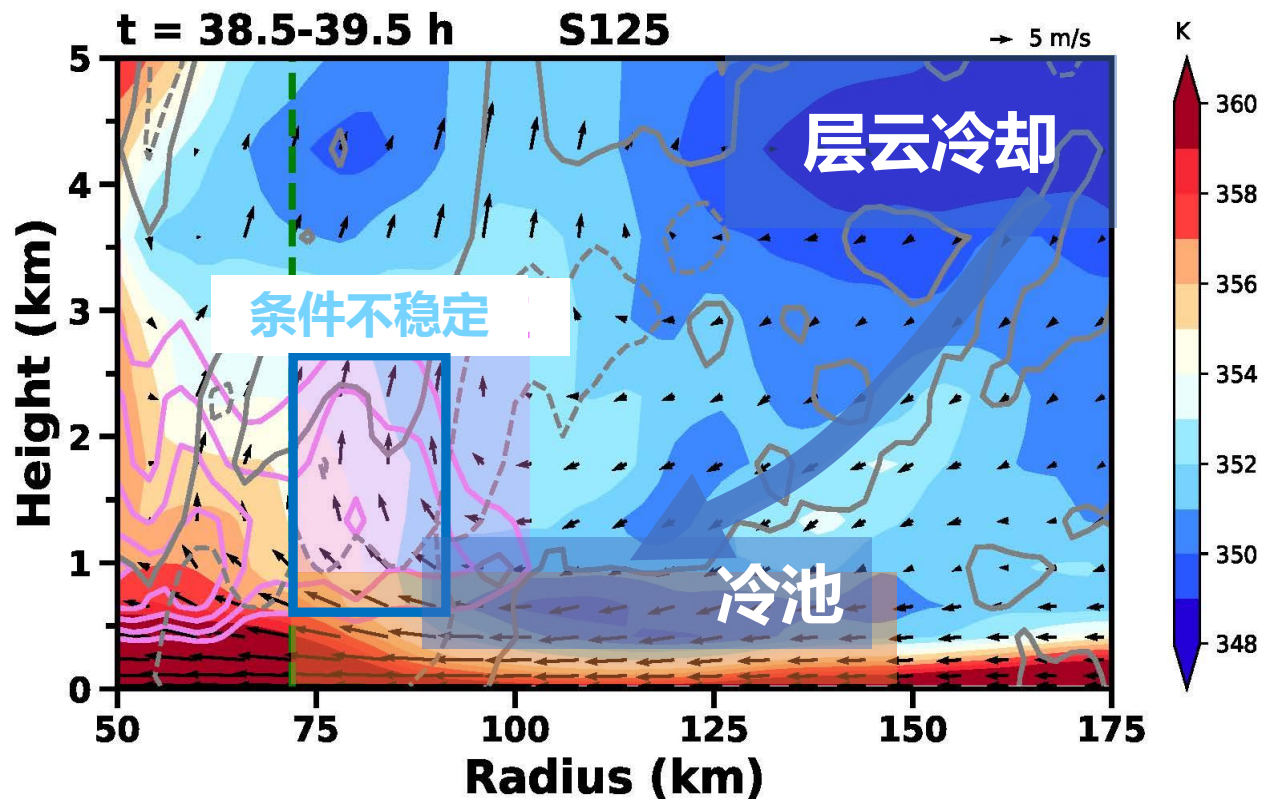
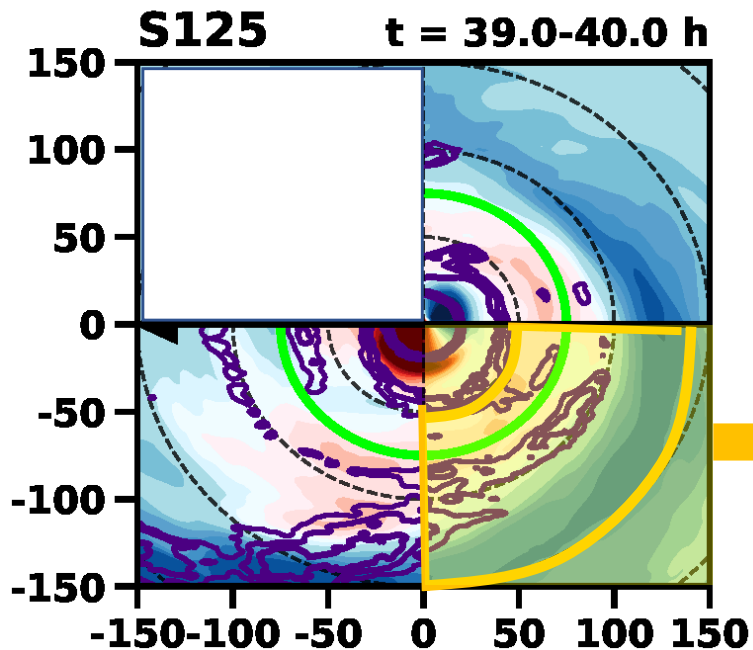
次眼墙形成

次眼墙形成前  
上升运动分布



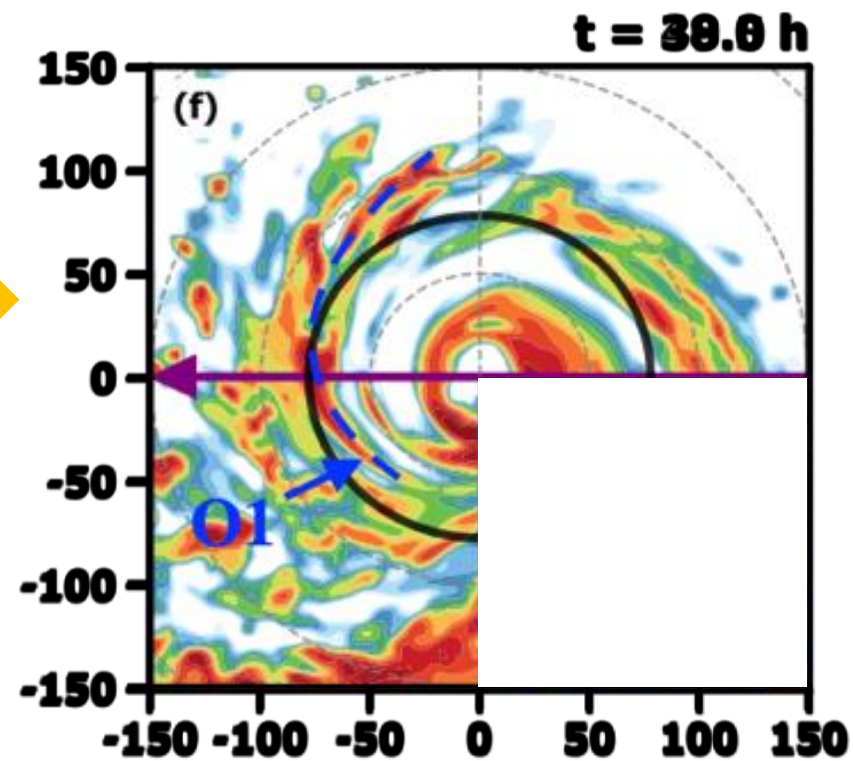
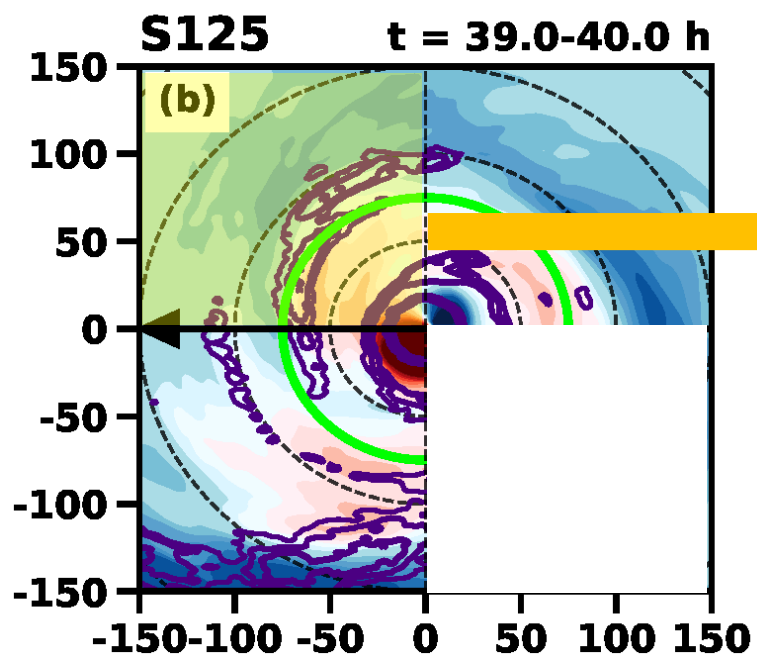
等值线: 高度平均 (0.96-2.92 km) 垂直速度  
 填色: 高度平均 (0.96-3.58 km) 径向速度

# 双眼墙形成前 上升运动分布



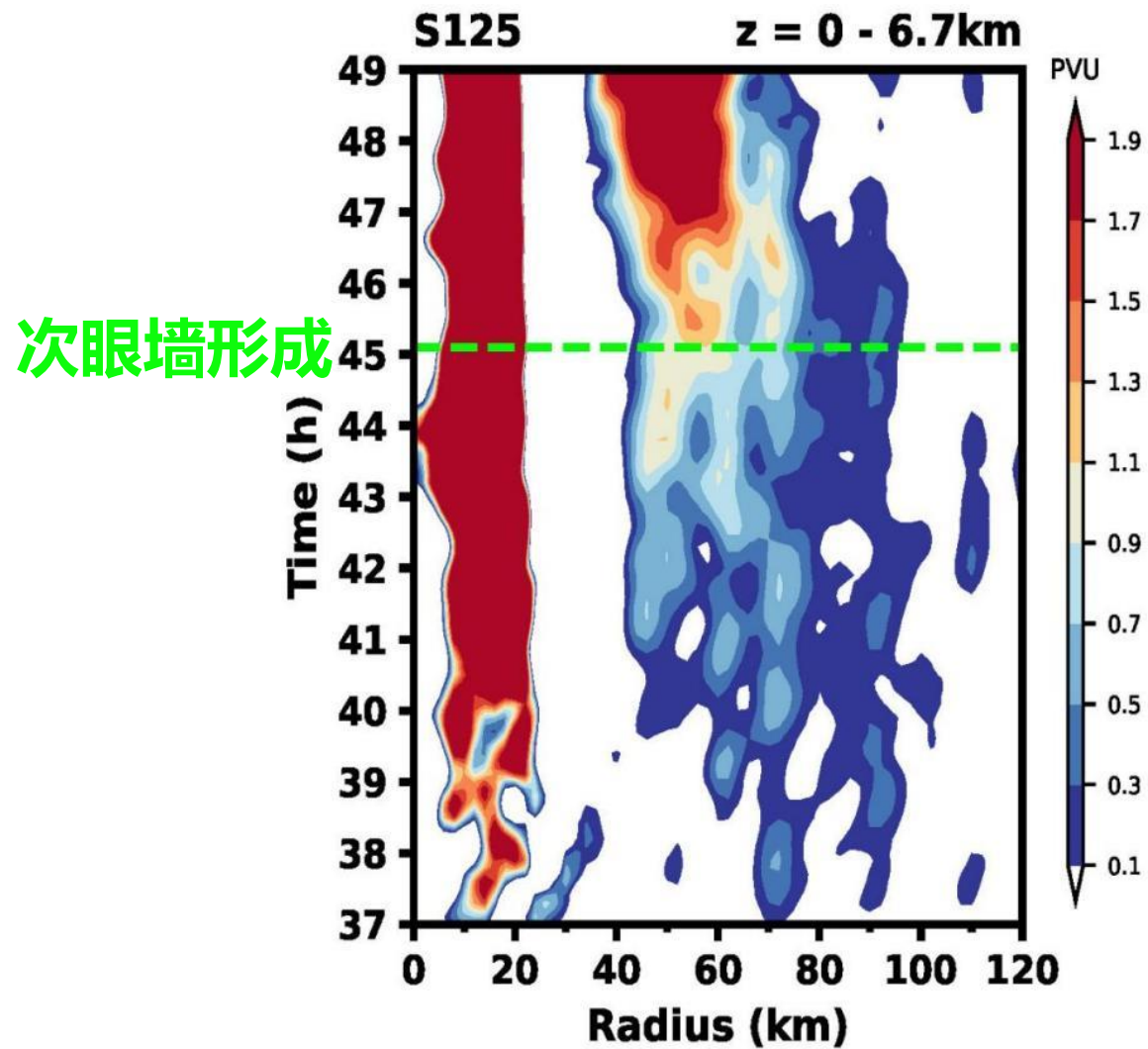
- 阴影: 饱和相当位温 (单位: K)
- 粉色等值线: 超梯度力 (单位:  $\text{m s}^{-2}$ )
- 灰色等值线: 散度 (单位:  $\text{s}^{-1}$ )
- 风矢量: 次级环流风场 (单位:  $\text{m s}^{-1}$ , 垂直速度 $\times 15$ )

## 双眼墙形成前 上升运动分布



等值线: 高度平均 (0.96-2.92 km) 垂直速度  
填色: 高度平均 (0.96-3.58 km) 径向速度

填色: 2.92km 雷达反射率

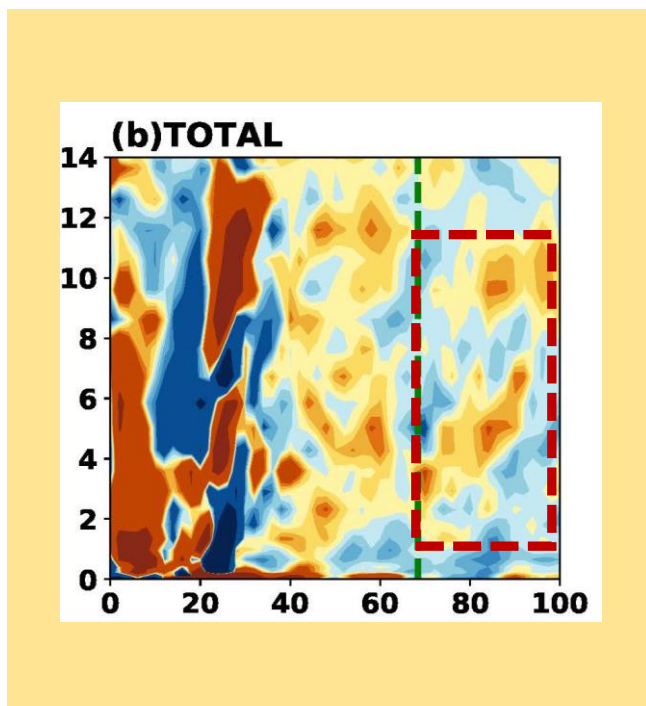


垂直平均 (0-6.7 km) 相对于37 h的轴平均位涡 (单位: PVU)  
半径-时间演变

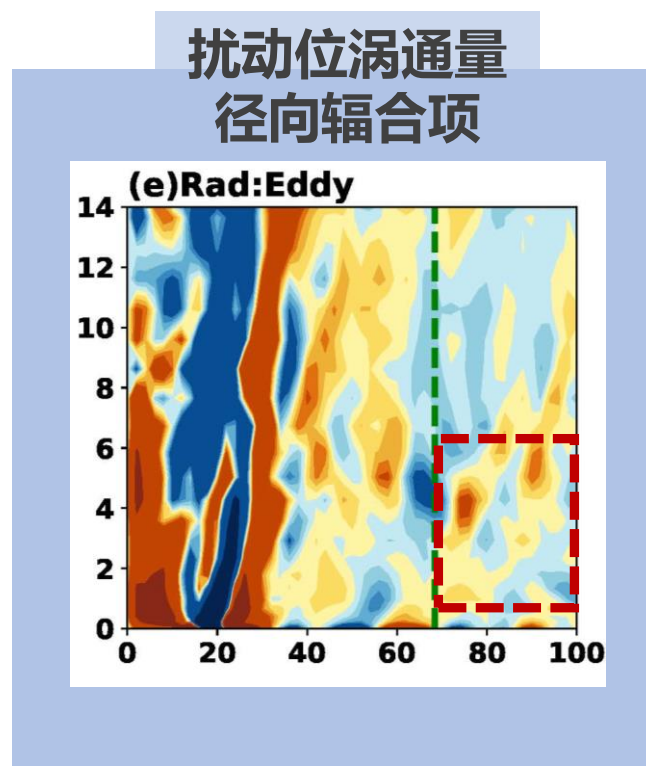


# 位涡 诊断分析

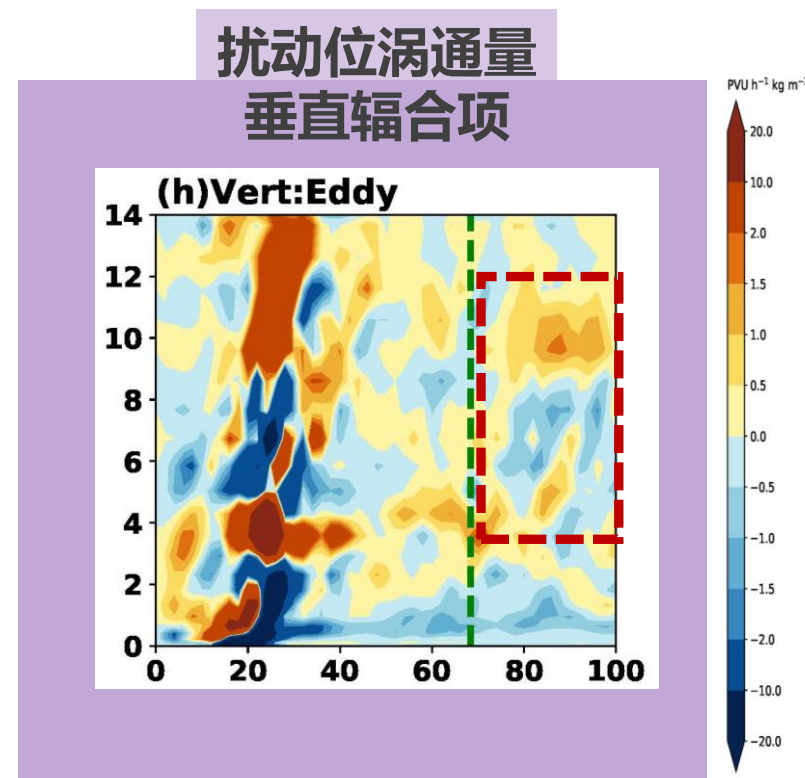
$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = -\frac{1}{r} \frac{\partial r \bar{q} \bar{u}}{\partial r} - \frac{\partial \bar{q} \bar{w}}{\partial z} - \frac{1}{r} \frac{\partial r \overline{q' u'}}{\partial r} - \frac{\partial \overline{q' w'}}{\partial z} + \overline{F_{q,mean}} + \overline{F_{q,eddy}}$$



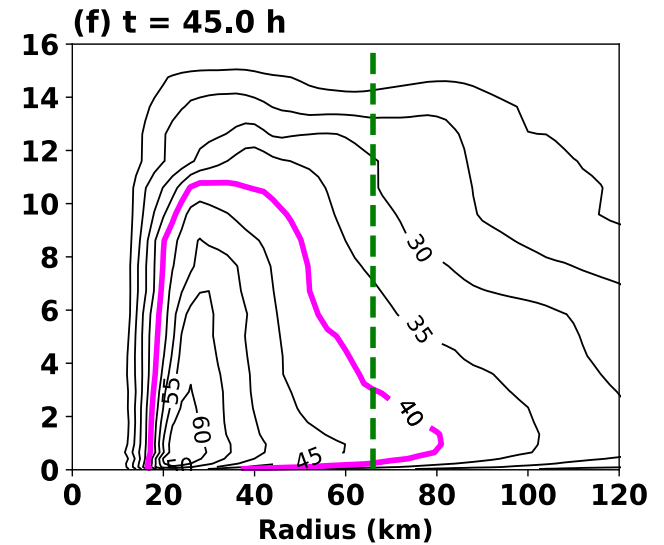
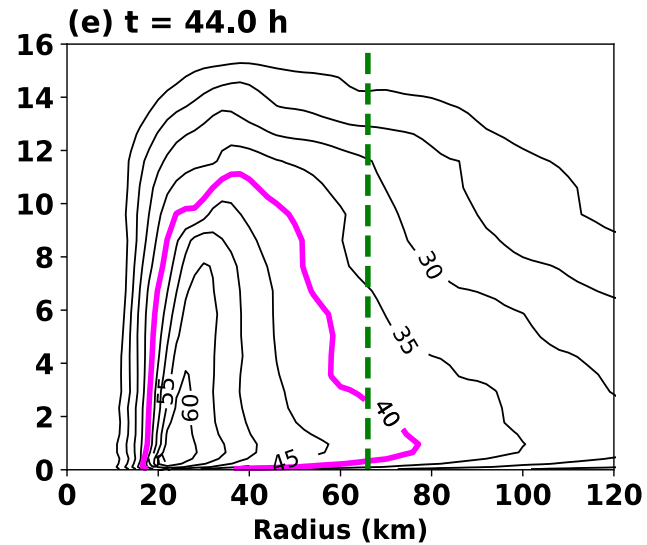
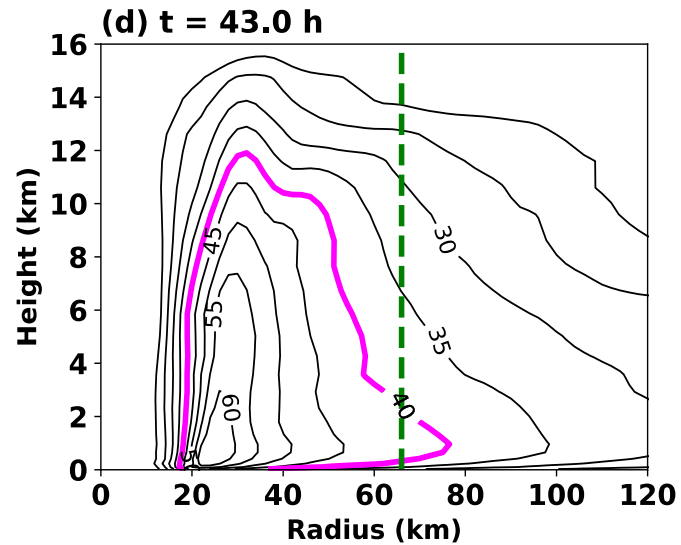
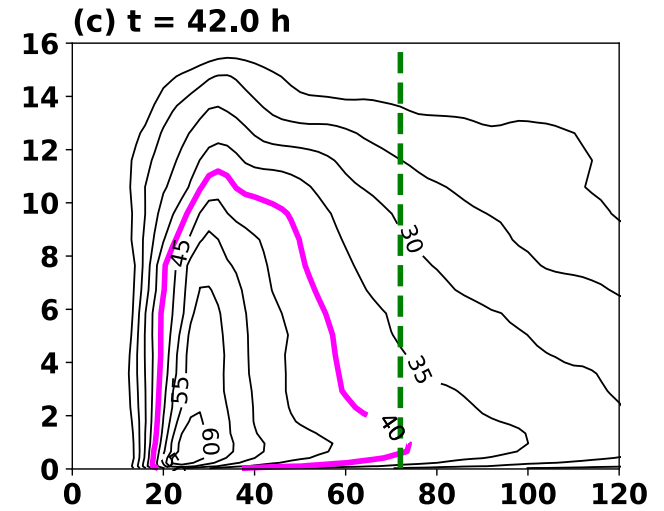
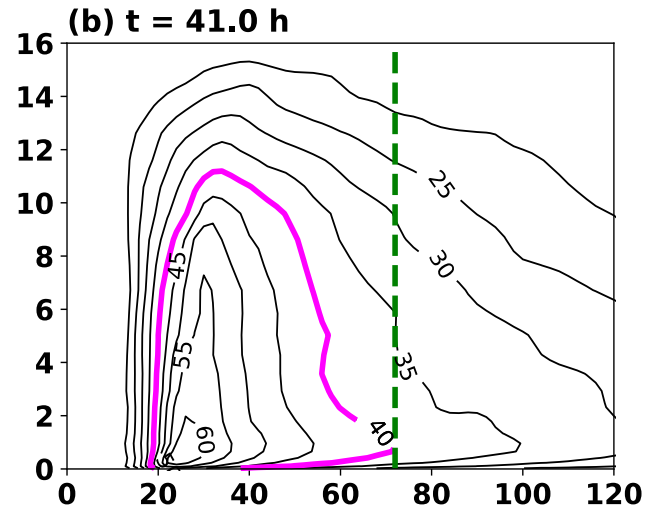
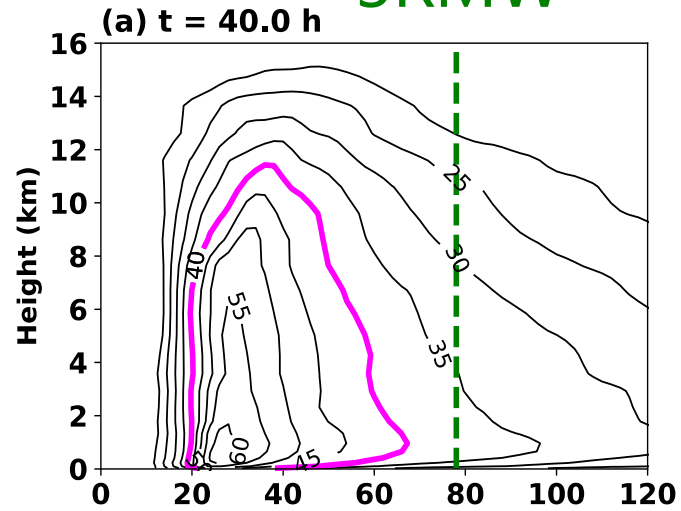
≈



+



# 3RMW



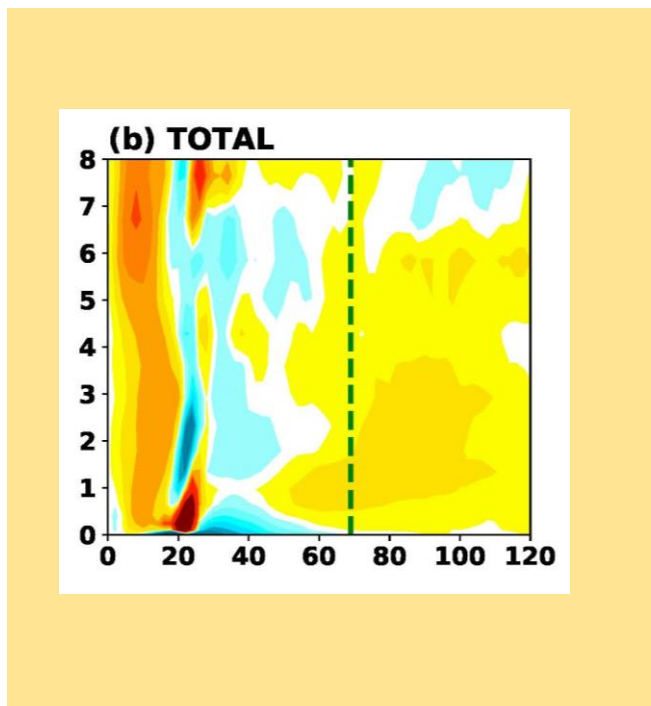
轴平均切向风速的半径-高度图 (单位:  $\text{m s}^{-1}$ )  
粉色等值线表示  $40 \text{ m s}^{-1}$  切向风

# 切向风 诊断分析

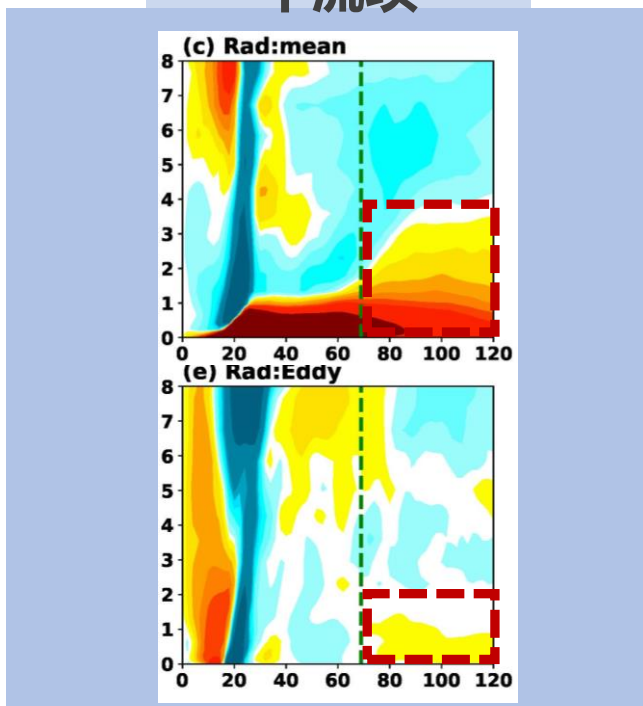
$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = -\bar{u}(\bar{\zeta} + f) - \overline{u'\zeta'} - \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} - \overline{w' \frac{\partial v'}{\partial z}} + \overline{F_{fric}}$$

绝对涡度径向  
平流项

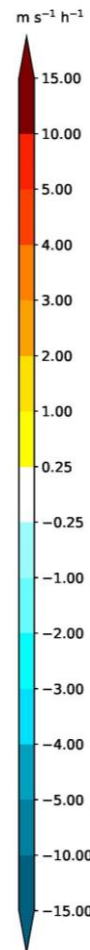
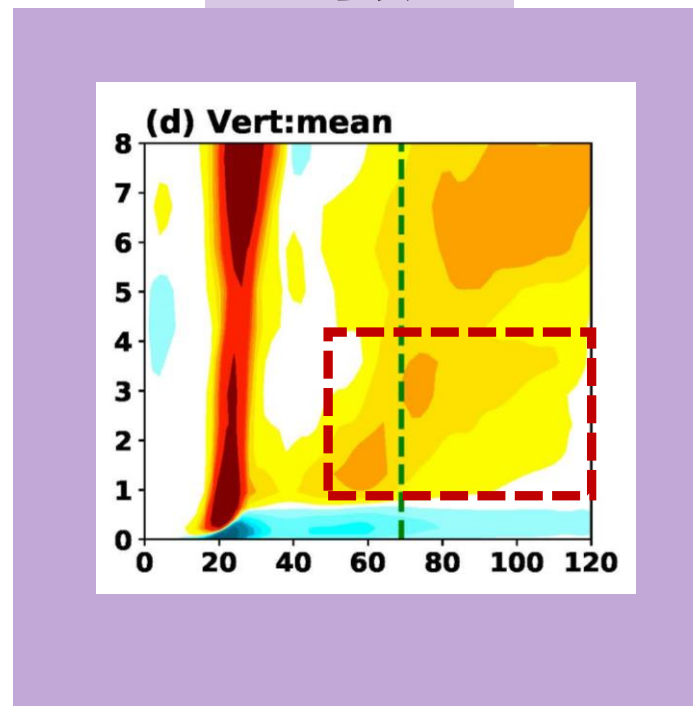
垂直平流平  
均项



≈

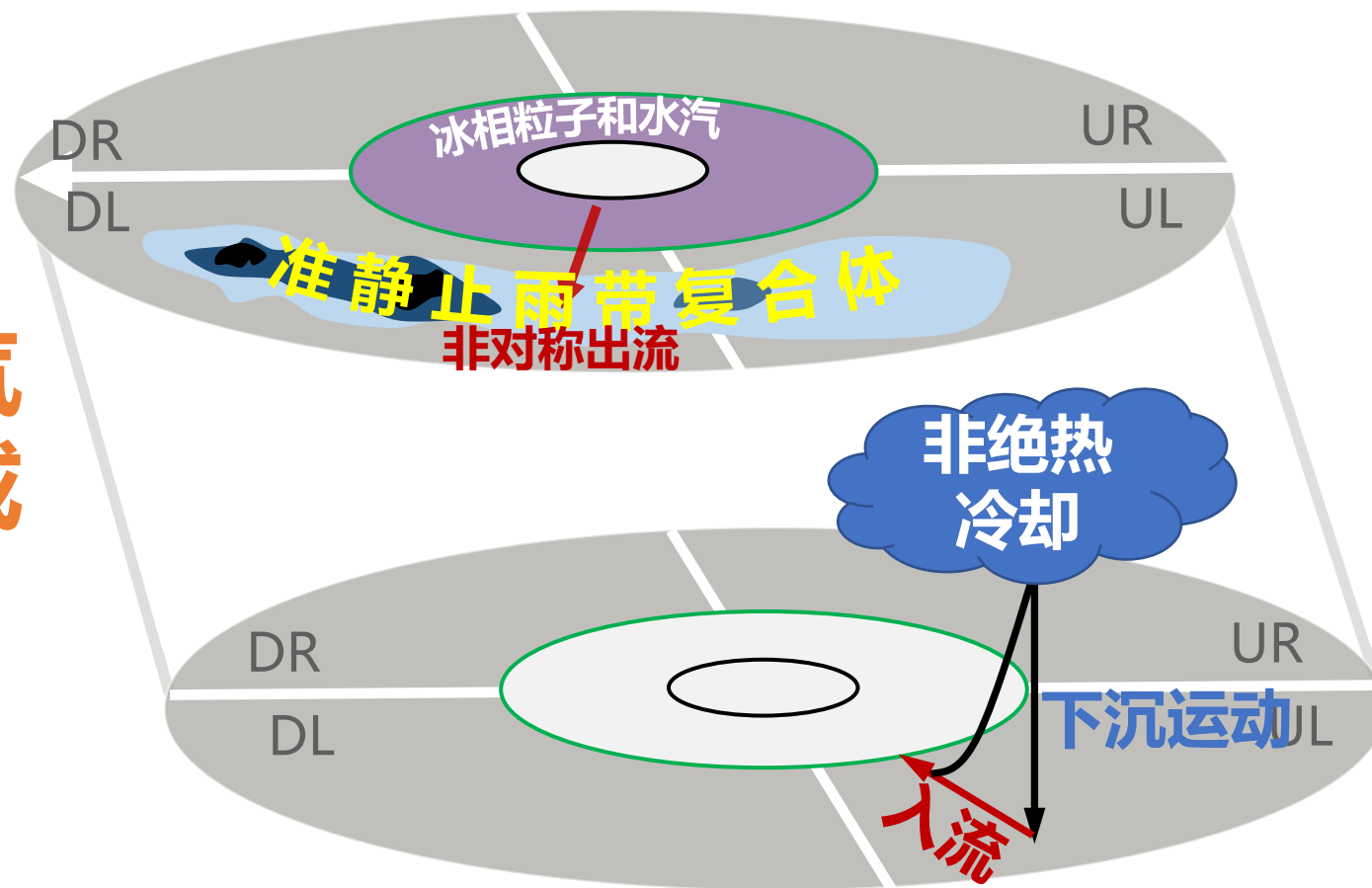


+

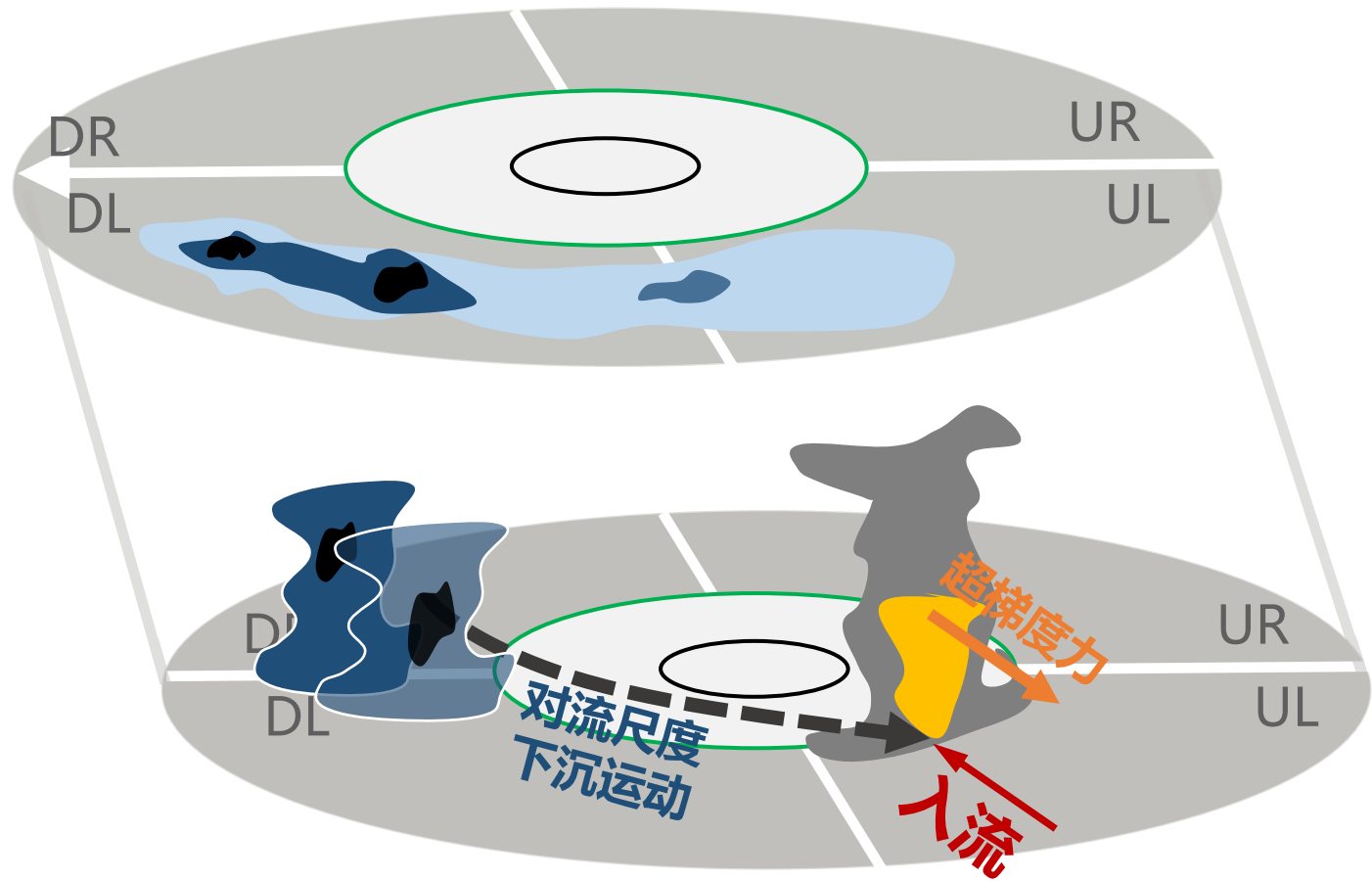


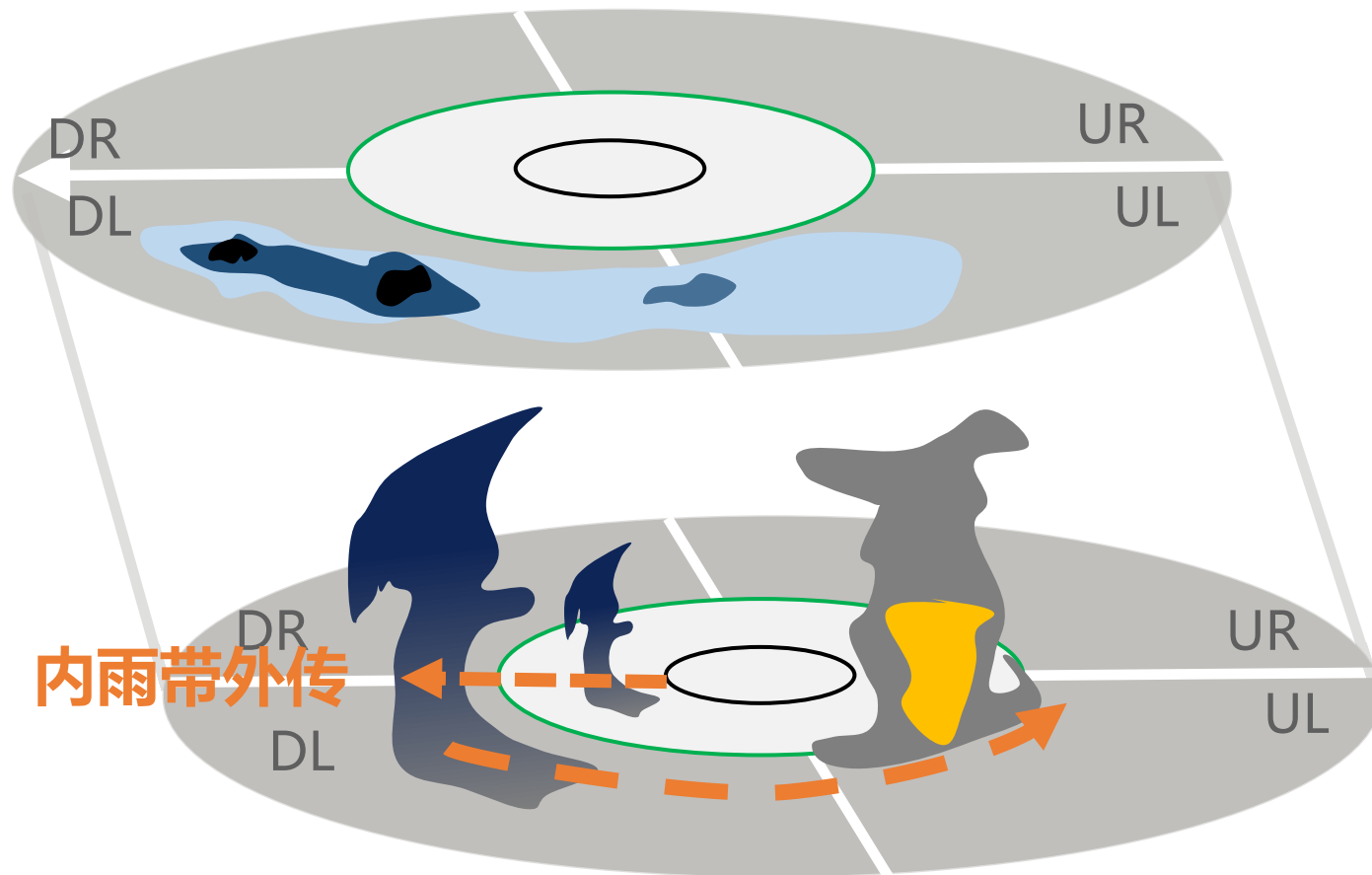
## • 4. 总结

**切变强度越强  
越有利于热带气  
旋次眼墙的形成**











# 谢 谢

Liu, X., Li, Q., & Dai, Y. (2022). Stronger vertical shear leads to earlier secondary eyewall formation in idealized numerical simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL098093. <https://doi.org/10.1029/2022GL098093>

