

Question

热带气旋(TC)的生成过程涉及复杂的多尺度相互作用, 对大尺度环境尤其敏感。

西北太平洋不同的大尺度环流中, 发展扰动(DEV)与不发展扰动(NONDEV)的特征和演变的差异如何?

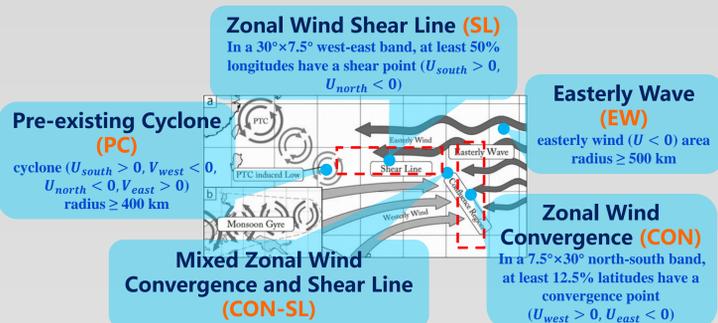


Key points

1. 西北太平洋上, SL和CON-SL型环流最有利于扰动发展, 而EW相对不利。
2. 高层辐散、中层湿度和海表热通量(SHF)增长对五型扰动发展都比较重要。
3. PC、EW和CON中, 靠近中心的较强SHF和MCS是扰动发展的重要条件。
4. SL和CON-SL的DEV和NONDEV都有较强且靠近中心的SHF和MCS, 低层环流都较强, 可能是因为这两型低层环境涡度较高。NONDEV中层湿度不足以支持深对流爆发, 高层上升气流弱, 次级环流较浅, 低层较强的入流容易堵塞低压。

Methodology

1. 五个大尺度环流型的判别标准



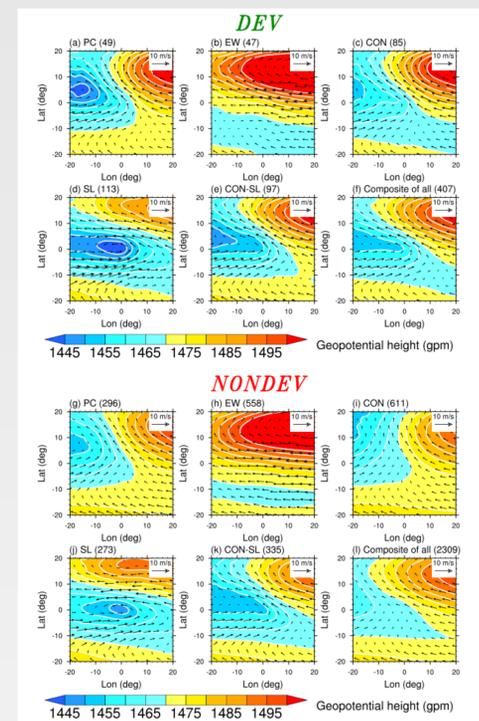
2. 热带扰动的识别标准

- 气旋性环流半径 ≥ 400 km
- 最大相对涡度 $\geq 3 \times 10^{-6} s^{-1}$
- 移速 ≤ 1000 km/day

资料: ERA5, $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 6-hourly

表1. 识别出的五个环流型发展和不发展扰动数量及占比

Flow pattern	Number of disturbances		TC yield
	DEV	NONDEV	
PC	49 (12.0%)	296 (12.8%)	14.2%
EW	47 (11.5%)	558 (24.2%)	7.8%
CON	85 (20.9%)	611 (26.5%)	12.2%
SL	113 (27.8%)	273 (11.8%)	29.3%
CON-SL	97 (23.8%)	335 (14.5%)	22.5%
Unclear	16 (3.9%)	236 (10.2%)	6.3%
Total	407	2309	15.0%



五个环流型的20天低通滤波850-hPa风场和高度场

Results

盒子差异指数(BDI)衡量影响扰动发展的重要因子

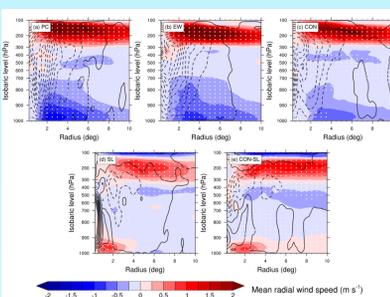
$$BDI_D = \frac{m_{DEV} - m_{NONDEV}}{s_{DEV} + s_{NONDEV}}$$

表2. 五个环流型中各物理量的BDI_D

Variable	BDI _D				
	PC	EW	CON	SL	CON-SL
Dynamic variables					
200-hPa divergence	0.42*	0.65*	0.42*	0.20*	0.22*
850-hPa convergence	0.02	0.28*	0.11	0.01	0.05
850-hPa vorticity	0.37*	0.48*	0.30*	0.05	-0.01
850-hPa vorticity growth	0.06	0.05	0.11	0.17*	0.13*
500-hPa vorticity	0.33*	0.46*	0.29*	0.03	-0.01
500-hPa vorticity growth	0.06	0.04	0.18*	0.16*	0.14*
850-200-hPa VWS	0.02	-0.15*	-0.04	0.03	-0.01
Thermodynamic variables					
500-hPa RH	0.26*	0.45*	0.24*	0.15*	0.16*
SHF	0.26*	0.06	0.17*	-0.04	0.01
SHF growth	0.20*	0.17*	0.23*	0.15*	0.12*

BDI值由-24 h到0 h的平均值得到, *表示发展和不发展扰动的差异通过了95%的显著性检验。

次级环流对扰动发展的影响

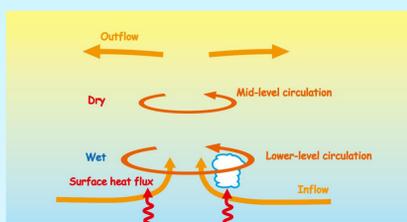


0 h 发展与不发展扰动方位平均径向风和垂直速度之差

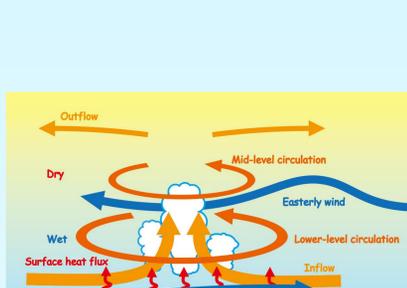
PC、EW和CON的NONDEV
低层入流弱,
整层上升运动都较弱

SL和CON-SL的NONDEV
低层入流强, 高层抽吸弱,
易堵塞低压

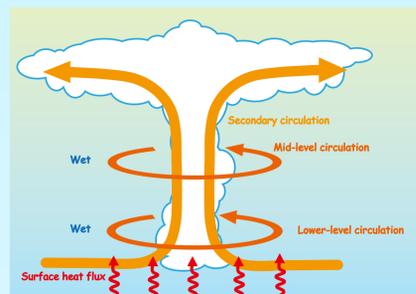
发展和不发展扰动的概念图



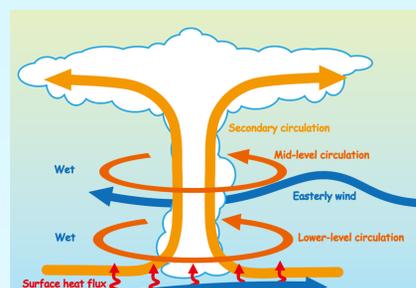
PC、EW和CON型不发展扰动



SL和CON-SL型不发展扰动



PC、EW和CON型发展扰动

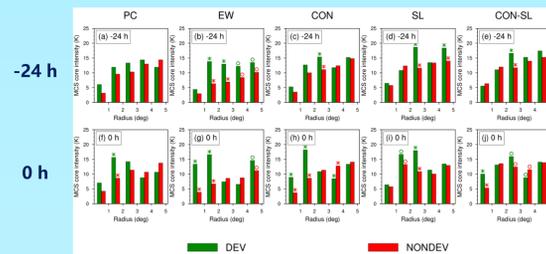


SL和CON-SL型发展扰动

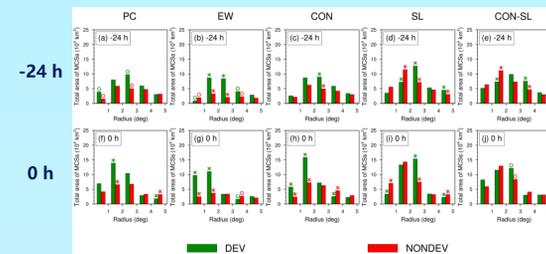
MCS强度和面积对扰动发展的影响

MCS识别标准 距离扰动中心不超过 500 km, BT < 233 K, 面积 ≥ 5000 km²

资料: GridSat-B1, $0.07^\circ \times 0.07^\circ$, 3-hourly



MCS强度



MCS面积

□ 在PC, EW和CON中, DEV的MCS更强, 更靠近扰动中心, 生成前24h在内核区(2°)明显增强;

□ 在SL和CON-SL中, -24 h NONDEV内核区(2°)MCS面积反而更大; 但是, 0 h, DEV内核区已经出现了较深的对流。

PC、EW和CON型
扰动发展的关键因子

- 较强且靠近扰动中心的SHF和MCS
- 较高的中层湿度

SL和CON-SL型
扰动发展的关键因子

- 较高的中层湿度
- 充足的高层抽吸