

气温的日变化

1. 极值

最低气温：日出前后

最高气温：海洋：12^h30^m

陆地：14^h { 冬 13^h~14^h
夏 14^h~15^h

2. 气温日较差：（日最高气温—日最低气温）

纬度升高 小

纬度降低 大

季节：夏 > 冬

海拔高度升高 小

海拔高度降低 大

天气：晴 > 阴

下垫面：海 > 陆

气温年变化（月平均值，北半球）

1. 极值

陆地最冷月：1月，最热月：7月

海洋最冷月：2月，最热月：8月

2. 气温年较差（月平均最高值—月平均最低值）

纬度升高 大

纬度降低 小

下垫面：海 < 陆

海拔高度升高 小

海拔高度降低 大

海平面平均气温的分布

赤道向→两极 降低

冷极：南半球：南极

北半球： { 夏：极地
冬：东西伯利亚、格陵兰岛

气温垂直递减率

气流的水平方向流动：平流

气流的垂直方向流动：对流

气压

1. 温压场对称：（中心轴线垂直）

深厚系统：暖高压、冷低压；高度升高，气压系统增强

浅薄系统：冷高压、热低压；高度升高，气压系统减弱

热带气旋是：暖性低压 深厚系统

2. 温压场不对称：

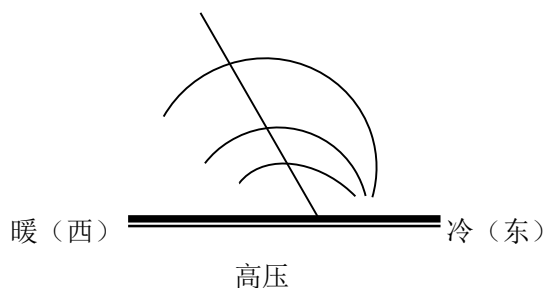
高压中心轴线向暖区倾斜

西暖东冷

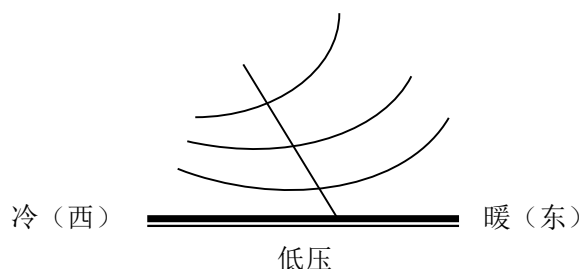
向西倾斜

北半球 向 SW

南半球 向 NW

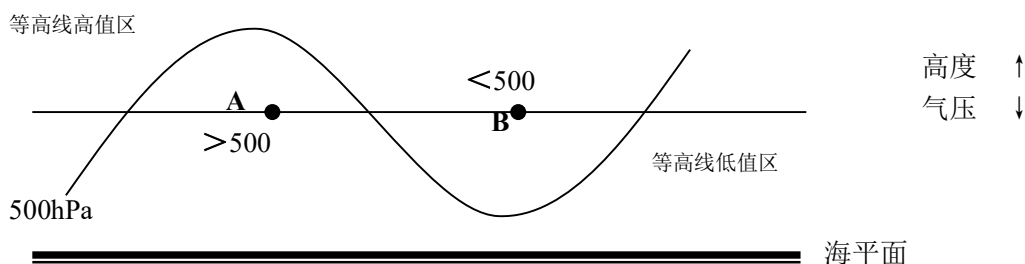


低压中心轴线向冷区倾斜 } 向西倾斜 { 北半球 向 NW
 西冷东暖 } 南半球 向 SW



等高面：平面 等压面：高低起伏的曲面
 地面图：等高面图，海平面气压场-----等压线
 高空图：等压面图，特定等压面高低起伏-----等高线
 平均高度： 500hPa-----5500m
 700hPa-----3000m
 850hPa-----1500m

等压线高空图：

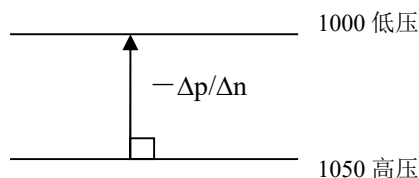


空气的水平运动——风

风是矢量 { 大小 { 风速 1m/s ≈ 2kn
 风力 教材 27 页
 方向：风向、来向

来向：风向、浪向 去向：流向

1. 水平气压梯度力 G^{\rightarrow}

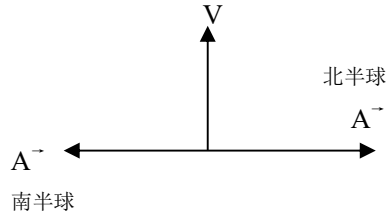


① $G = 1/\rho (-\Delta p/\Delta n)$ 垂直于等压线，由高压→低压

② 空气水平运动原动力，形成风的直接原因

2. 地转偏向力 A^{\rightarrow}

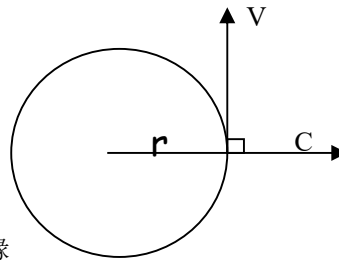
① $A^{\rightarrow} = 2Vw \sin \varphi$ $A \perp V$ 纬度 \uparrow $A \downarrow$



北半球偏右；南半球偏左

② 只改变运动方向，不改变运动速度

3. 惯性离心力 C^{\rightarrow} 曲线运动



$C^{\rightarrow} = V^2/r$ (曲率半径) $V \perp C$ 由曲率中心指向边缘
曲线弯曲，曲率大，曲率半径小；曲线平直，曲率小，曲率半径大。

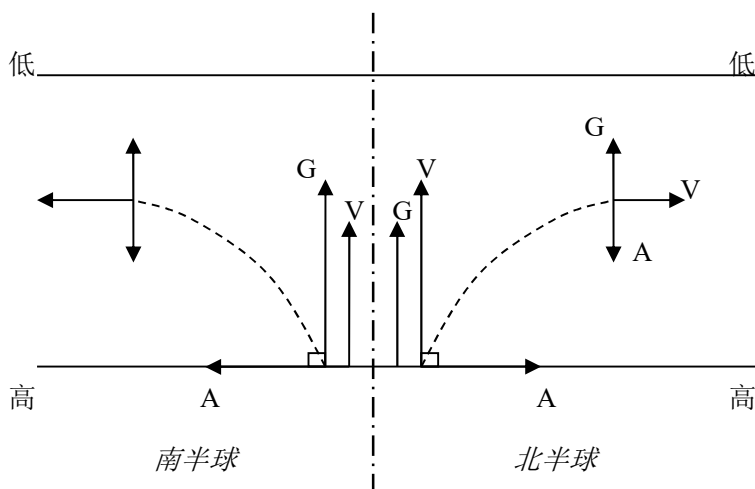
4. 摩擦力 R^{\rightarrow}

摩擦层 $R = -K \cdot V^{\rightarrow}$

自由大气

直线运动：地转风

圆周运动：梯度风



与 $(-\Delta p / \Delta n)$ 水平气压梯度力成正比

与 $\sin \varphi$ 地转偏向力成反比

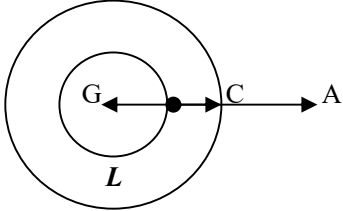
低纬 > 高纬

与 ρ 成反比

白贝罗风压定律

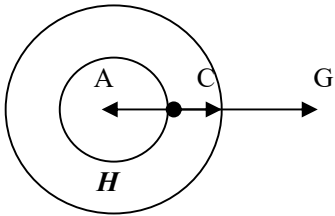
1. 低压（气旋） $G^- = A^- + C^-$

水平气压梯度无极限值，低压往往风速很大。

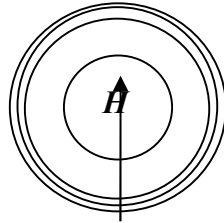


2. 高压（反气旋） $A = G + C$

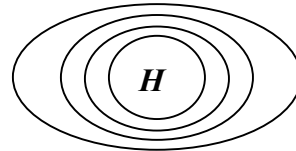
水平气压梯度有极限值。



与 γ 成正比 { 高压中心附近——等压线稀疏
高压边缘——等压线密集



{ 等压线弯曲——较稀疏
等压线平直——较密集



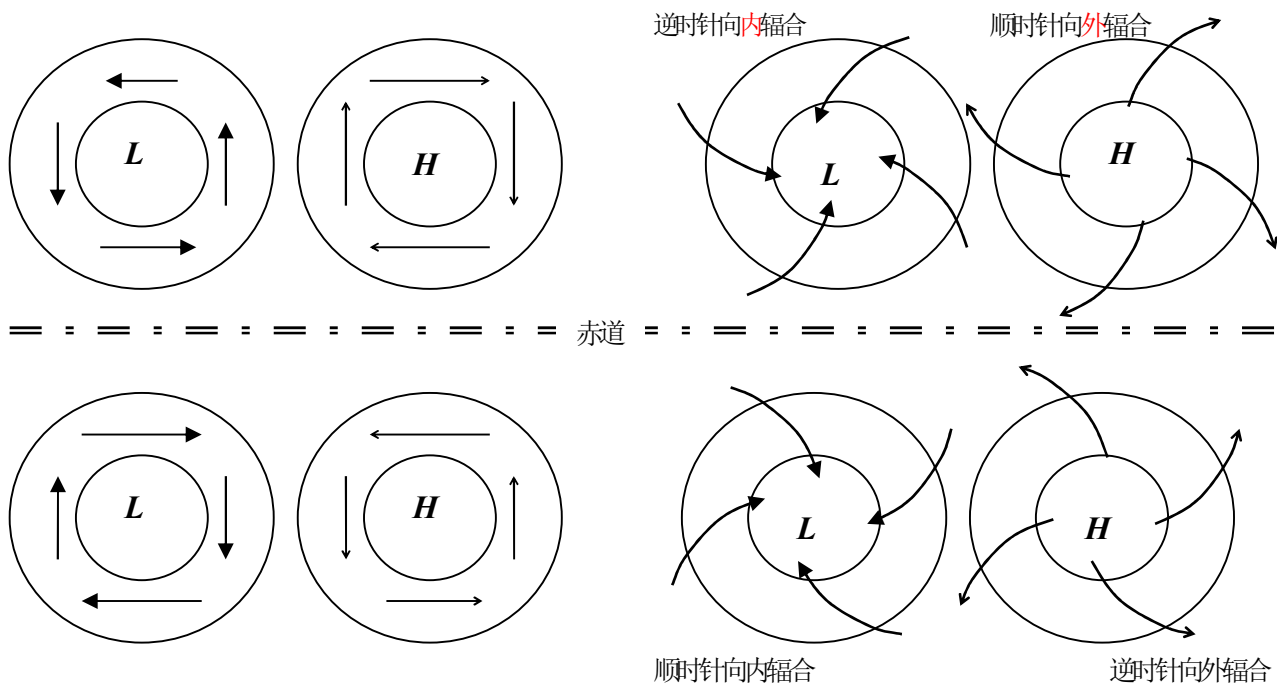
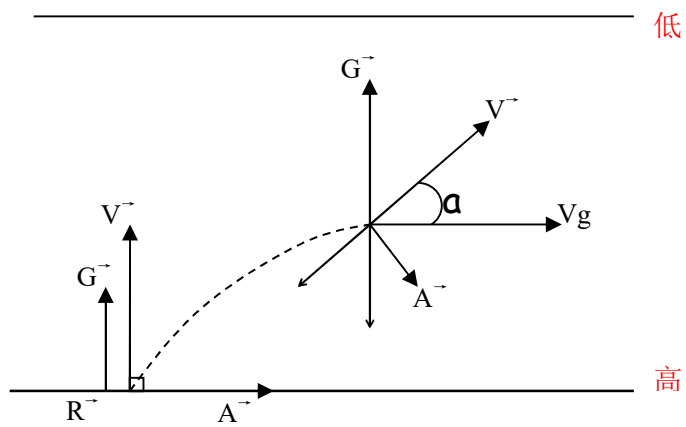
与 ρ 成正比，冬季 > 夏季

与 $\sin \varphi$ 成反比，高纬 > 低纬








摩擦层中的风

背风而立：北半球：低压在左前；高压在右后

南半球：低压在右前；高压在左后



风大小表示符号:

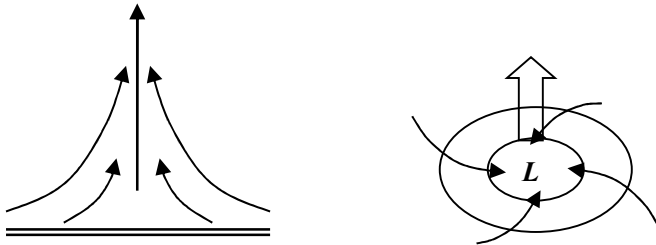
| | 我国 | 国际 | 风级 |
|---|-------|------|------|
|  | 2m/s | 5kn | 1级+ |
|  | 4m/s | 10kn | 2级+ |
|  | 6m/s | 15kn | 3级+ |
|  | 8m/s | 20kn | 4级+ |
|  | 12m/s | 30kn | 6级+ |
|  | 16m/s | 40kn | 8级+ |
|  | 20m/s | 50kn | 10级+ |

风速：m/s × 2.5 = kn

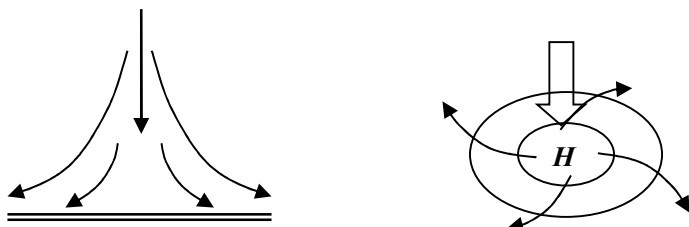
| 风级 | 风名 | 相当风速 | | | 海面状况 | 海面浪高 | |
|----|--------------------|-------|-----------|--------|--------------------|------|------|
| | | kn | m/s | 中数 m/s | | 一般 | 最高 |
| 0 | 无风 Calm | <1 | 0~0.2 | 0 | 平静如镜 Calm-glassy | — | — |
| 1 | 软风 Light air | 1~3 | 0.3~1.5 | 1 | 微波 Calm-rippled | 0.1 | 0.1 |
| 2 | 轻风 Light breeze | 4~6 | 1.6~3.3 | 2 | 小波 Smooth-wavelets | 0.2 | 0.3 |
| 3 | 微风 Gentle breeze | 7~10 | 3.4~5.4 | 4 | 小浪 Wavelets | 0.6 | 1.0 |
| 4 | 和风 Moderate breeze | 11~16 | 5.5~7.9 | 7 | 轻浪 Slight | 1.0 | 1.5 |
| 5 | 清风 Fresh breeze | 17~21 | 8.0~10.7 | 9 | 中浪 Moderate | 2.0 | 2.5 |
| 6 | 强风 Strong breeze | 22~27 | 10.8~13.8 | 12 | 大浪 Rough | 3.0 | 4.0 |
| 7 | 疾风 Near gale | 28~33 | 13.9~17.1 | 16 | 巨浪 Very rough | 4.0 | 5.5 |
| 8 | 大风 Gale | 34~40 | 17.2~20.7 | 19 | 狂浪 High | 5.5 | 7.5 |
| 9 | 烈风 Strong gale | 41~47 | 20.8~24.4 | 23 | 狂涛 Very high | 7.0 | 10.0 |
| 10 | 狂风 Storm | 48~55 | 24.5~28.4 | 26 | | 9.0 | 12.5 |
| 11 | 暴风 Violent storm | 56~63 | 28.5~32.6 | 31 | 非凡现象 Phenomenal | 11.5 | 16.0 |
| 12 | 飓风 Hurricane | ≥64 | ≥32.7 | — | | 14.0 | — |

空气的垂直运动和大气稳定度

上升运动：阴雨，等压线气旋性弯曲，低压加深，高压减弱



下沉运动：晴好，等压线反气旋性弯曲，低压减弱，高压加强



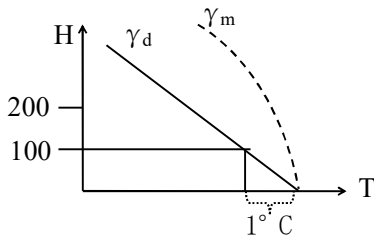
干绝热过程：干绝热直减率 $\gamma_d = 1^\circ\text{C}/100\text{m}$

湿绝热过程：湿绝热直减率 $\gamma_m = 0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 或 $0.6/100\text{m}$

| | | | | |
|-----|-----|-------|------|---------|
| | 干空气 | 未饱和空气 | 饱和空气 | 含水滴饱和空气 |
| 上升： | 干 | 先干后湿 | 湿 | 湿 |
| 下降： | 干 | 干 | 干 | 湿 |

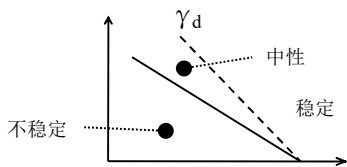
状态曲线 { 干绝热线：直线
 湿绝热线：{ 下陡上缓曲线
 与干绝热线平行

层结曲线（环境曲线）：实际大气



气温垂直递减率 γ

干空气： $\gamma < \gamma_d$ 稳定 $\gamma = \gamma_d$ 中性 $\gamma > \gamma_d$ 不稳定

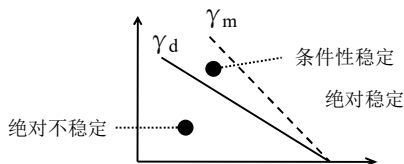


湿空气： $\gamma < \gamma_m$ 稳定 $\gamma = \gamma_m$ 中性 $\gamma > \gamma_m$ 不稳定

$\gamma < \gamma_m$ 绝对稳定：层云、雾、毛毛雨

$\gamma_m < \gamma < \gamma_d$ 条件性不稳定：

$\gamma > \gamma_d$ 绝对不稳定：积云、积雨云、积状云、雷暴、阵性降水、阵性大风



大气环流

太阳辐射，地球自转，海陆分布，地形差异

1. 单圈环流

条件：地表均匀，地球自转

形成因子：太阳辐射

热力原因

赤道低气压带

赤道高气压带

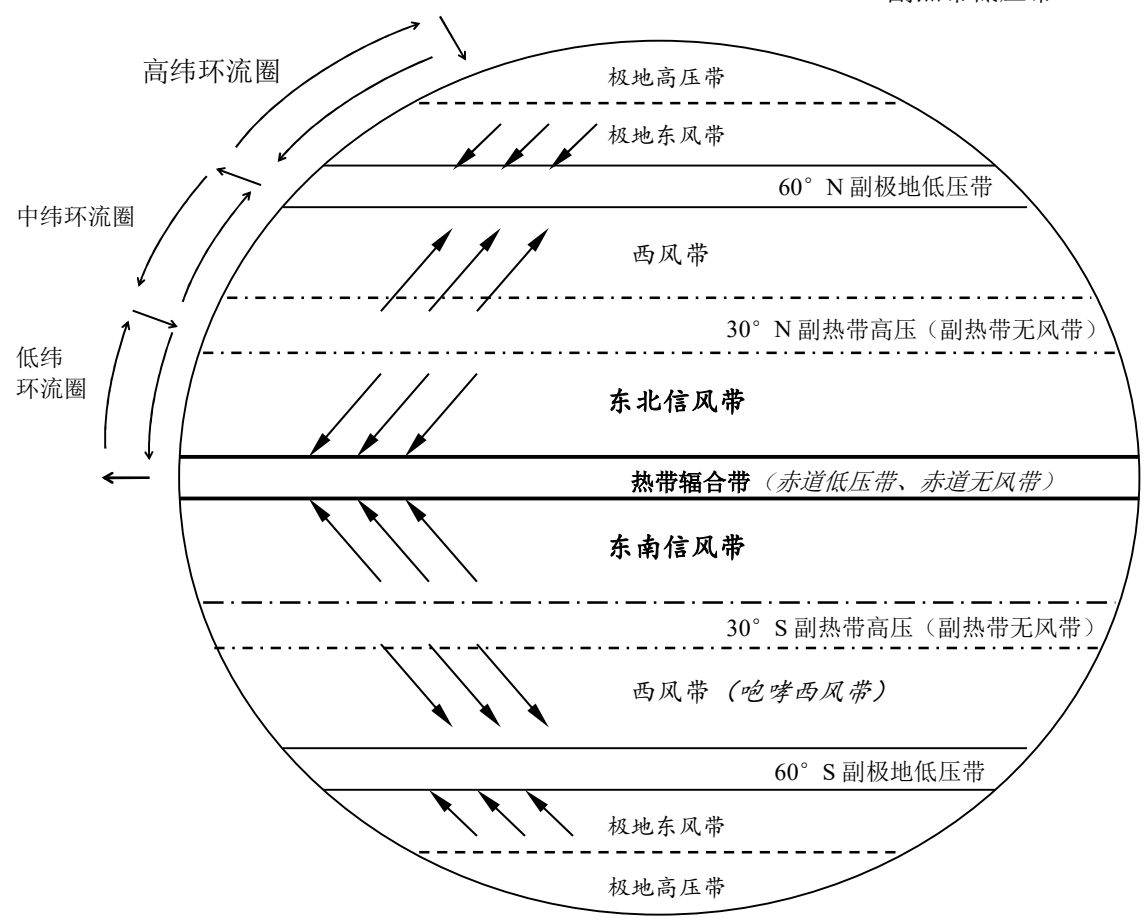
{

2. 三圈环流

条件：地表均匀

形成因子：太阳辐射，地球自转

动力原因 { 副热带高压带
副热带低压带



行星风带

| | | | |
|-----|----|----|---------|
| | 夏季 | 冬季 | |
| 陆地： | 低压 | 高压 | 北半球：断块状 |
| 海洋： | 高压 | 低压 | 南半球：条带状 |

1月：亚洲高压（西伯利亚高压）、北美高压；阿留申低压、冰岛低压 冬强夏弱
 7月：亚洲低压（印度低压）、北美低压；夏威夷高压、亚速尔高压 夏强冬弱

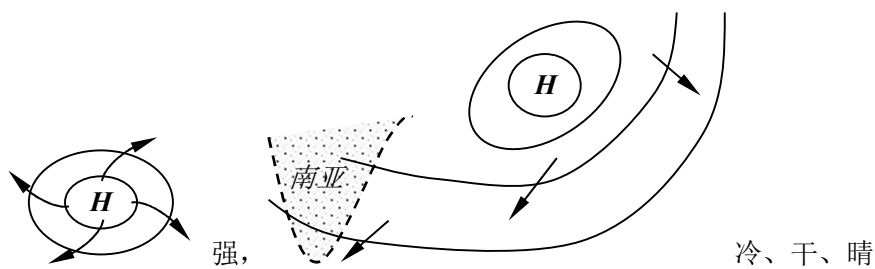
永久性大气活动中心：海洋、南极高压
 半永久性大气活动中心：陆地

青藏高原：阻挡冬季风南下，加强南亚夏季风

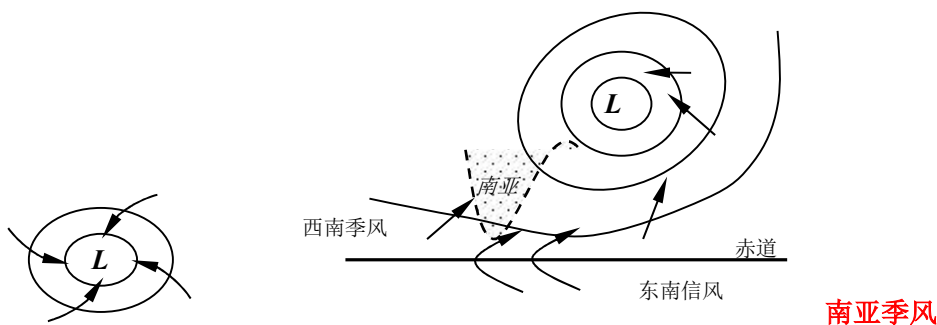
夏季：海洋吹向陆地，暖、湿
 冬季：陆地吹向海洋，冷、干

东亚季风

冬季：



夏季：印度低压，西太平洋副高



11月~次年4月，北印度洋航海黄金季节，旱季
6月~9月，强劲的西南季风，雨季

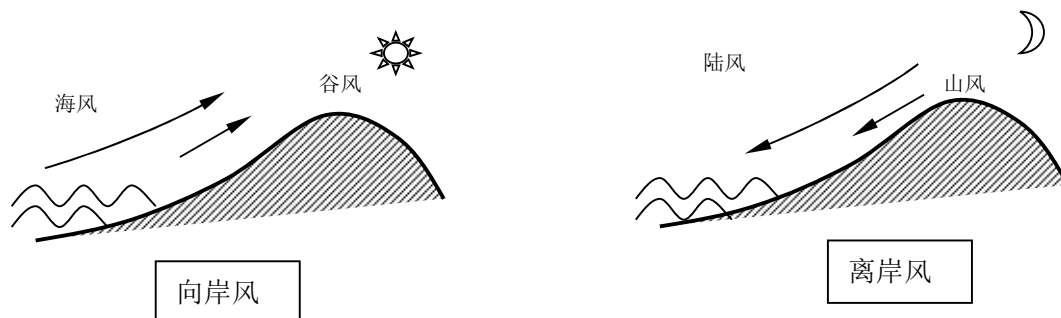
局地热力环流

海陆风

- 白天：海洋→陆地，海风
夜晚：陆地→海洋，陆风
- 地面温度日较差大，海陆风明显；
纬度越高，海陆风越小； 夏季>冬季； 下垫面：海<陆
- 海风>陆风：海风入陆 50~100km，陆风入海<10km
海风厚度可达 1km，陆风<500m

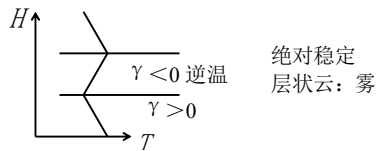
山谷风

白天：山谷→山顶 谷风
夜晚：山顶→山谷 山风
夏季>冬季 谷风>山风



大气中的逆温

高度↑气温↓



大气中水汽的分布

绝对湿度: g/m^3 湿度高, 蒸发量大, 绝对湿度大

{ 空气达到饱和或过饱和状态 }
 { 增加水汽 }
 { 降低湿度 }
 { 吸湿性很强的微粒作为凝结核 }

卷云 Ci 卷层云 Cs 高层云 As 雨层云 Ns 积云 Cu 积雨云 Cb

≡≡≡ 雾 < 1km(0.5nm)

≡≡ 轻雾 < 1~10km(0.5~5nm)

辐射雾: 陆地, 晴朗, 微风, 夜, 辐射冷却, 秋冬, 冷高压中心, 日变化规律

平流雾 (海雾): 暖湿空气流经冷的下垫面, 平流冷却。海洋: 无日变化; 沿海: 日变化

锋面雾 (降水雾): 无日变化

蒸汽雾: 冷气流流经过暖水面。海: 无日变化; 陆: 日变化

雾的分布: 南窄北宽, 南少北多

| | 雾季 | 盛期 |
|-----|--------|-------|
| 黄海: | 4~8 月 | 6~7 月 |
| 东海: | 3~7 月 | 4~6 月 |
| 南海: | 12~4 月 | 2~3 月 |

吹 S~SE~E 风, 2~4 级的风, 最有利于雾的形成, 黄海北部 NE 风时。

世界海洋的雾

(春) 夏: 平流雾

冬: 锋面气旋 → 锋面雾

海雾简易测算方法

湿度大: 干、湿球温差小

干燥: 干、湿球温差大

干湿球温差增大, 成雾的可能性小; 干湿球温差减小, 成雾的可能性大

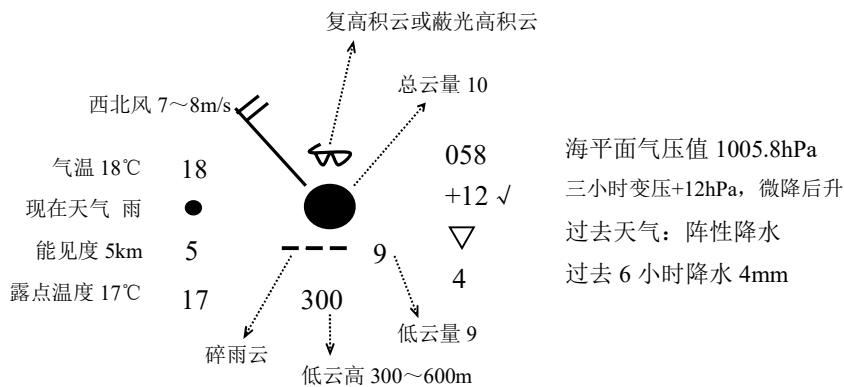
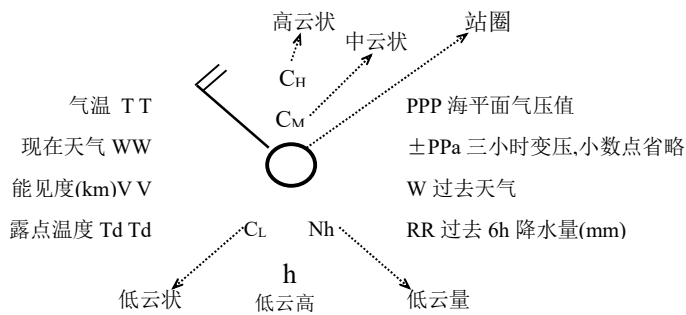
露点温度 td 水汽含量

| | | |
|-------|-------|--------|
| * 雪 | ∞ 霾 | ▽ 阵雨 |
| △ 冰雹 | ≡ 雾 | ⊛ 阵雨夹雪 |
| · 雨 | = 轻雾 | *▽ 阵雪 |
| ， 毛毛雨 | ⚡ 雷暴 | |
| ⚡ 雷雨 | ⊛ 雨夹雪 | 龙卷 |

天气图

地面分析图：00、06、12、18 UTC

高空分析图：00、12 UTC

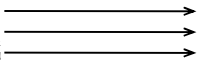


| | | |
|-------|----------------|---------|
| 等压线间隔 | 我国 2.5hPa/5hPa | 国际 4hPa |
| 高压 | 高 或 G | H |
| 低压 | 低 或 D | L |


台风


ρ

T

平直流线 

波状流线 

辐散渐近线(晴好天气) 

辐合渐近线(对流天气) 

气旋式涡旋 C——低压 Cyclone

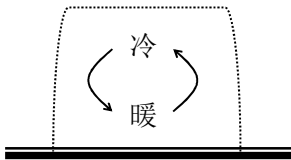
反气旋式涡旋 A——高压 Anti-cyclone

中性点——鞍形场

高压中心

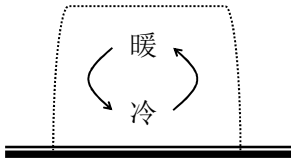
冷气团变性快； 暖气团变性慢

冷气团：



大气层结不稳定
水汽含量多：积云、积雨云
水汽含量少：少云、碧空

暖气团：







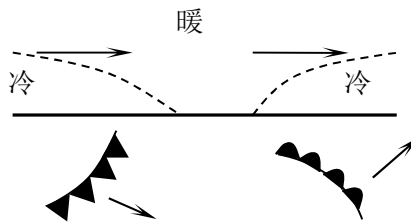
大气层结稳定，能见度差
水汽含量多：层云、层积云、毛毛雨、小雨、小雪、平流雾
水汽含量少：少云、无云

陆地气团入海变性快； 海洋气团移入陆地变性慢。

1. 冰洋气团 (A)：冷、干、晴
2. 基地气团 (P)：①极地大陆气团 (Pc)——冬：冷、干、晴；夏：多云
②极地海洋气团 (Pm)：多云、阴天、有时降水
3. 热带气团 (T)：①热带大陆气团 (Tc)：热、干、晴
②热带海洋气团 (Tm)：晴、热
4. 赤道气团 (E)：积雨云

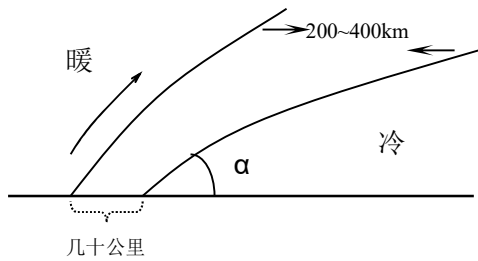
锋

-  冷锋
-  暖锋
-  准静止锋
-  锢囚锋



- 冰洋气团 } 冰洋锋
- 极地气团 } 极锋
- 热带气团 }

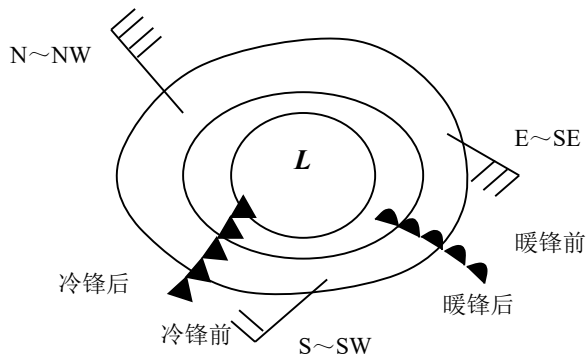
赤道气团 副热带锋



坡度 α : 第二型冷锋
 第一型冷锋
 暖锋
 准静止锋

陡
 ↓
 缓

高空锋：等温线密集区，等高线密集区



冷锋过境：： 气压上升； 暖锋过境： 气压下降

暖锋：

典型：层状云系 Ci→Cs→As→Ns

连续性降水：锋前

锋面雾；暖气团不稳定

第一型冷锋（缓行冷锋）：

典型：层状云系 Ns→As→Cs→Ci

连续性降水：锋后

锋面雾；暖气团不稳定

第二型冷锋（快行冷锋）：

典型：锋线附近发展旺盛积雨云； 冬半年；

锋前 Ci→Cs→As→Ns

连续性降水

准静止锋：

典型：阴雨连绵

暖气团不稳定：积雨云、雷暴、连续性降水

锢囚锋（前期）：

云层增厚、降水区扩大、降水强度增加

锢囚锋（后期）：

减弱→雨消云散

锋面气旋

图：教材 123 页 2-3-6(6)

暖锋前:

层状云系 $Ci \rightarrow Cs \rightarrow As \rightarrow Ns$; 连续性降水 ; 锋面雾 ; 气压下降 ; E~SE 风

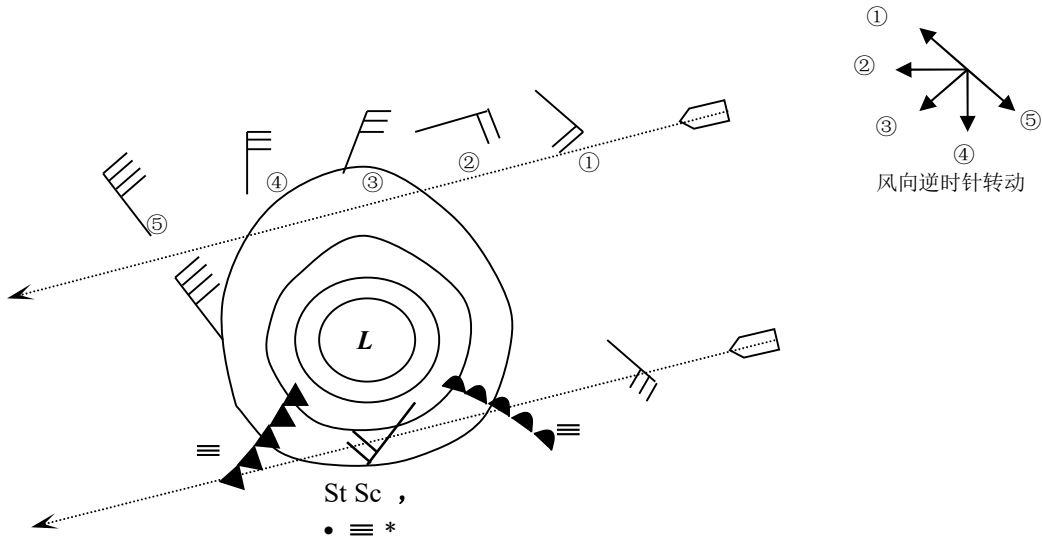
暖区:

层云、层积云、毛毛雨、小雨、小雪 ; 平流雾 ; 气压稳定 ; S~SW

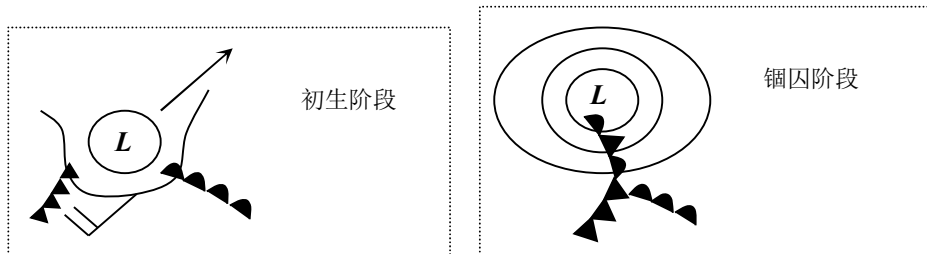
冷锋后:

第一型冷锋: 层状云系 $Ns \rightarrow As \rightarrow Cs \rightarrow Ci$; 连续性降水 ; 锋面雾

第二型冷锋: 积云、积雨云 ; 雷暴、连续性降水 ; 气温下降、气压上升、N~NW 大风



1. 初生阶段 (波动阶段) 暖: 移向与暖区气流方向一致, 移速最快



2. 成熟阶段

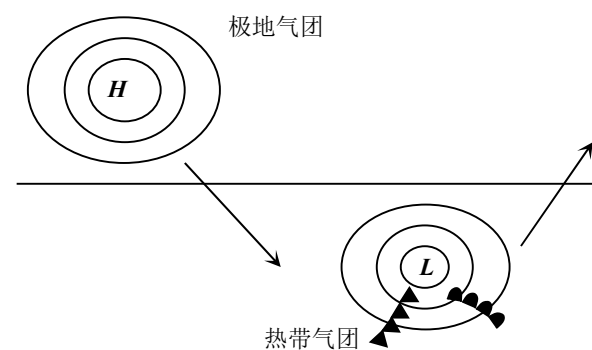
3. 锢囚阶段:

锢囚前期: 最强中心气压最低, 风力最大

锢囚后期: 大风区, 降水区扩大, 风力减弱

4. 消亡阶段

锋面气旋的发生频率和路径



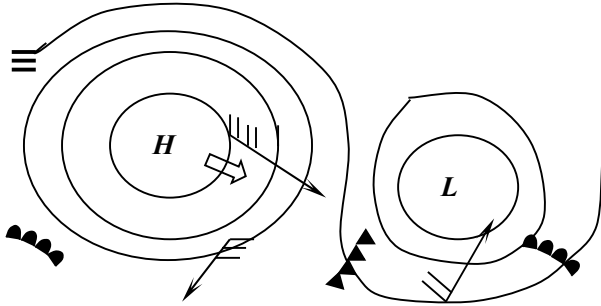
东亚气旋→阿留申低压

北美气旋→冰岛低压

| | | | | |
|------|----|-----------|------|----|
| 极地气团 | 夏北 | 北方气旋；东北气旋 | 黄河气旋 | 大风 |
| 极 锋 | | | | |

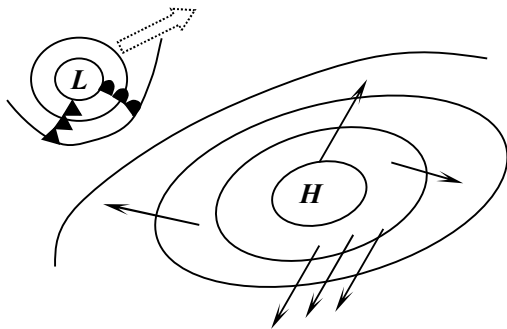
| | | | | |
|------|----|-----------|------|-------|
| 热带气团 | 冬南 | 南方气旋；江淮气旋 | 东海气旋 | 大风、降水 |
|------|----|-----------|------|-------|

冷高压



前部：偏北大风、剧烈降温、伴有雨、雪
 中部：晴朗少云、无风微风、冷（凉）、辐射雾、烟、霾
 后部：气温回升、湿度加大、春(初夏)有平流雾

副热带高压



地面：高压单体位置和强度
 中心：晴朗少云、风力微弱、温暖
 东部：大气层结稳定、雾和层云、冷洋流
 西部：大气层结不稳定、积雨云、雷阵雨、暖洋流
 南部：晴好天气、风向、风力稳定
 西北、北部：有热带气旋和东风波活动、狂风暴雨

西太平洋副高季节变化： 夏 强 偏北偏西
 冬 弱 偏南偏东

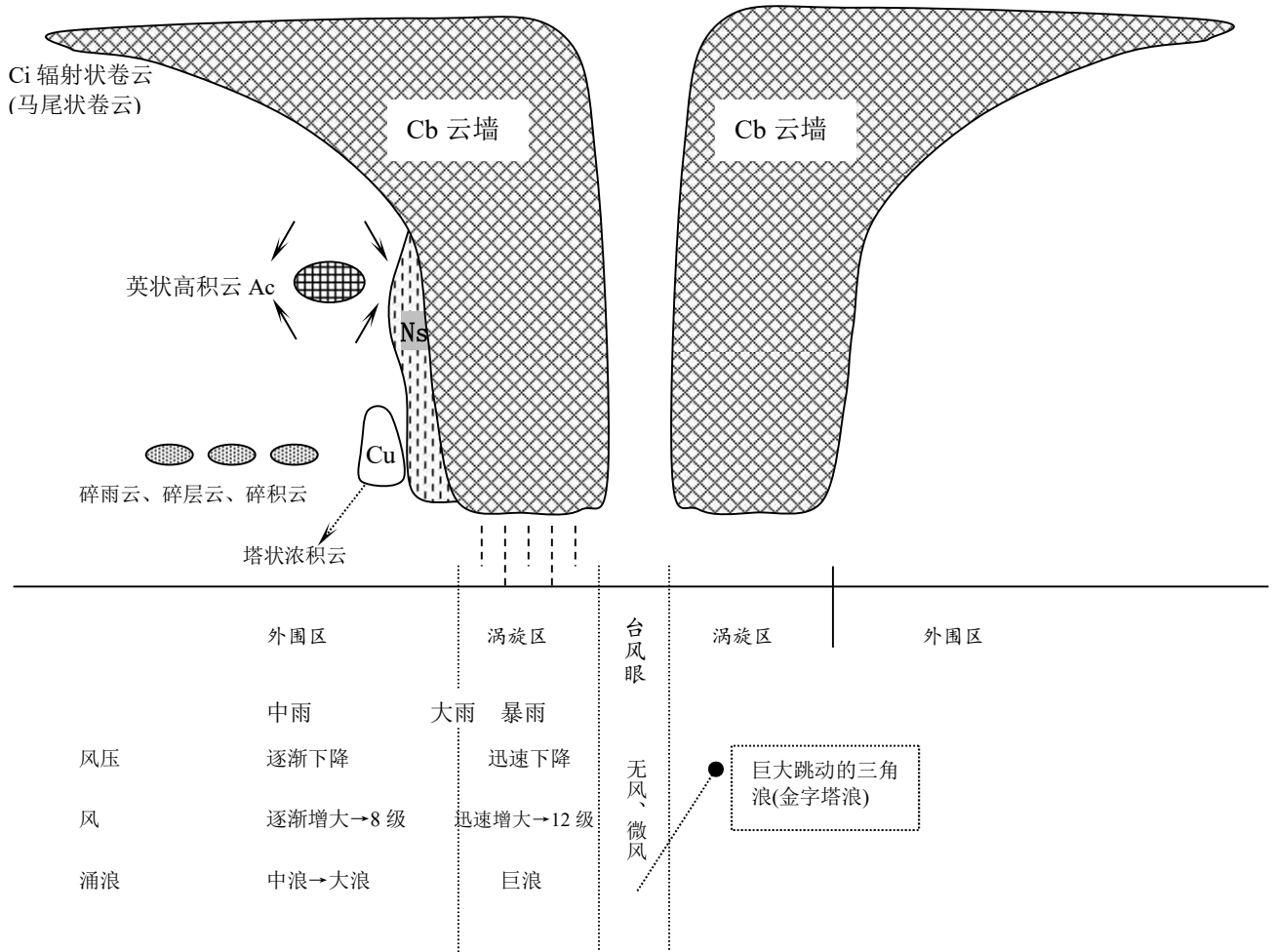
5月~8月：北进、慢、稳定少变、缓慢移动、跳跃

| | | |
|------------------|-------------|---------|
| 9月~10月：南退、快、副高脊线 | 20° N 以南 | 华南前汛期 |
| | 20° N~25° N | 长江中下游梅雨 |
| | 25° N~30° N | 黄淮雨季 |
| | 30° N 以北 | 华北雨季 |

小尺度：龙卷、雷暴，陆→午后~傍晚；海→后半夜~凌晨

中尺度：飚线，风速增大，气温下降，气压升高

阵风与地面风向偏离 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 北半球偏右，南半球偏左



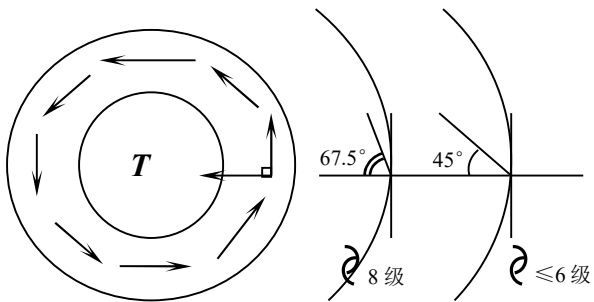
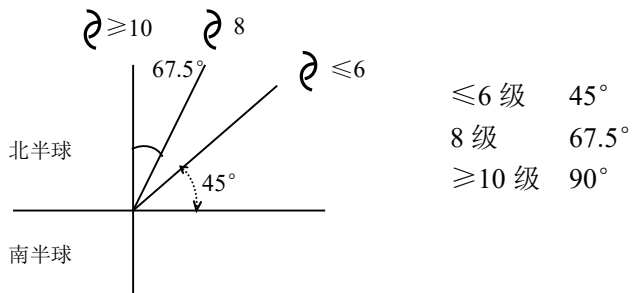
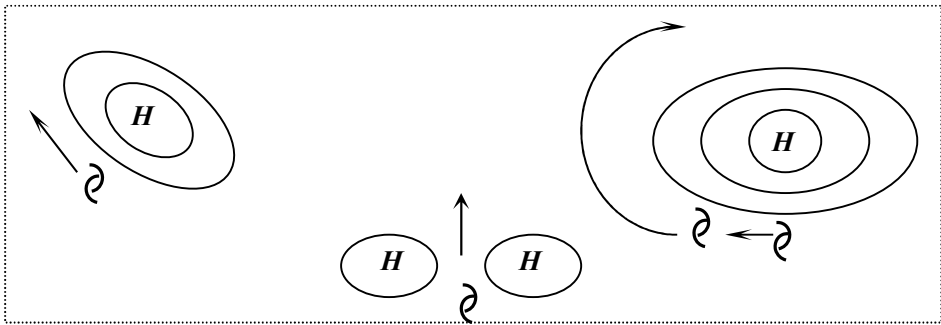
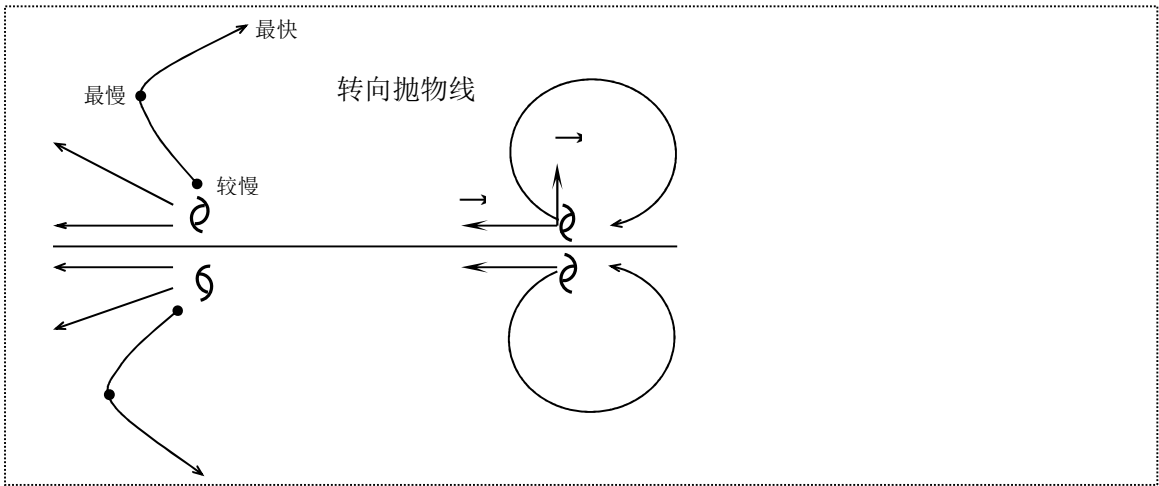
台风能量来源：水汽凝结释放的凝结潜热

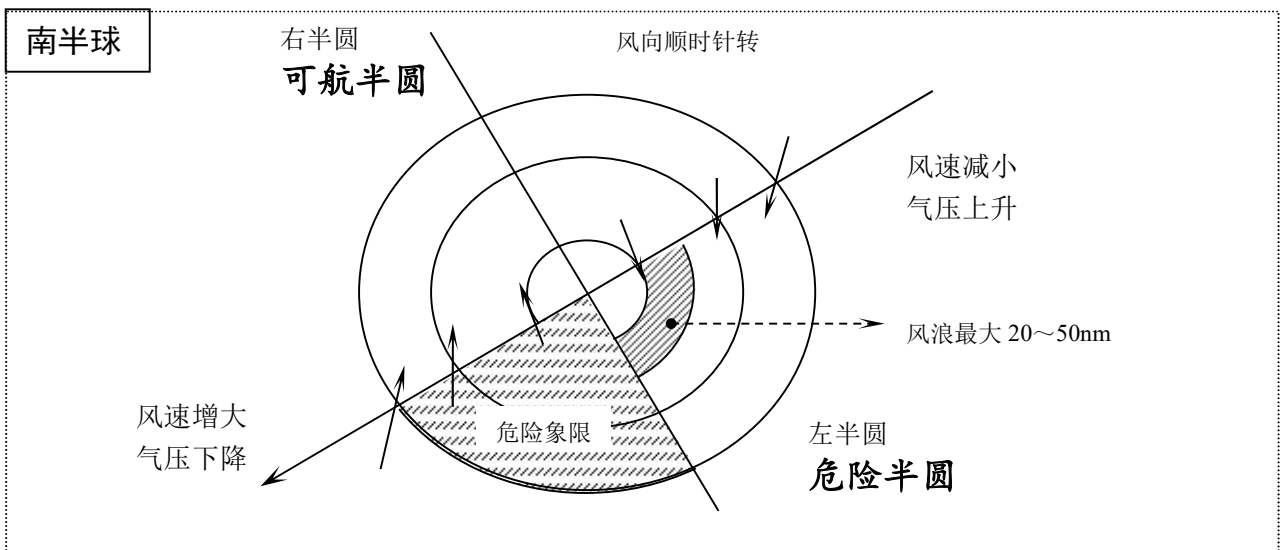
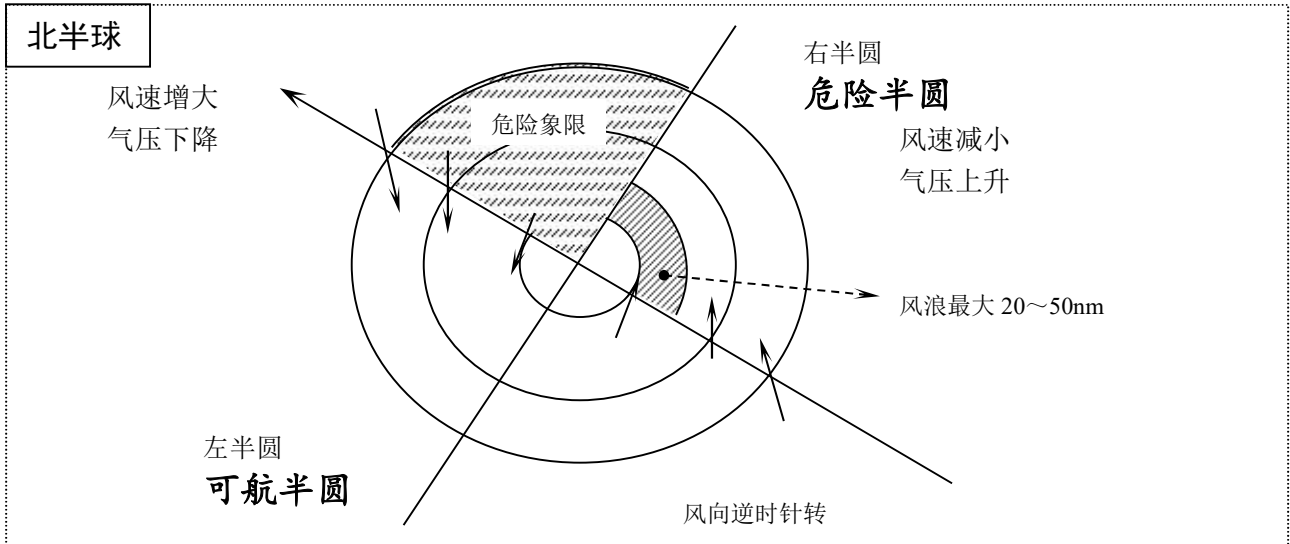
东南太平洋水量低，无热带气旋

北印度洋（孟加拉湾、阿拉伯海）：6~9月 SW 季风 垂直切变大的气流

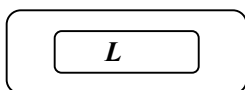
初始扰动 { 热带辐合带 85%
东风坡 15%

南大西洋无热带辐合带





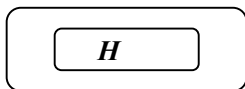
热带辐合带



副极地低压：阿留申低压、冰岛低压



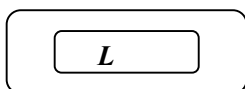
西风带：[地面：温带气旋、冷高压]



副高

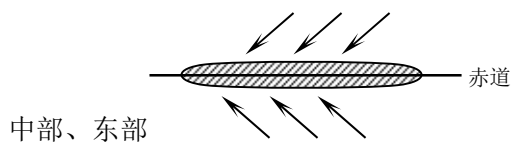


信风带：[高空：东风坡]，[地面：热带气旋、热带云团]



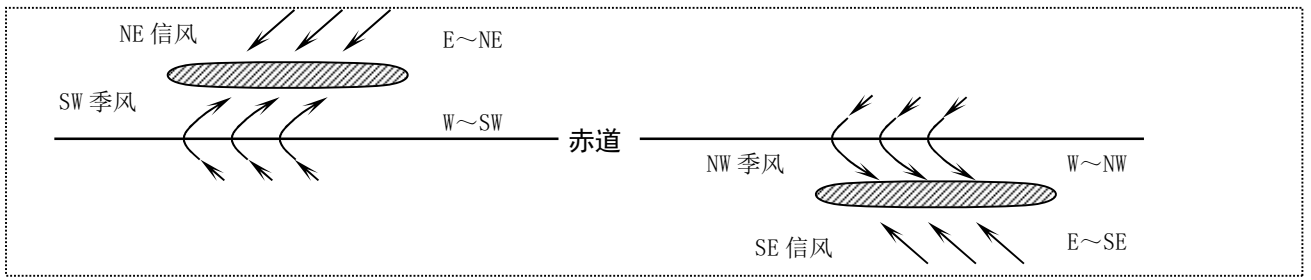
赤道低压带（热带辐合带）

信风槽：信风+信风



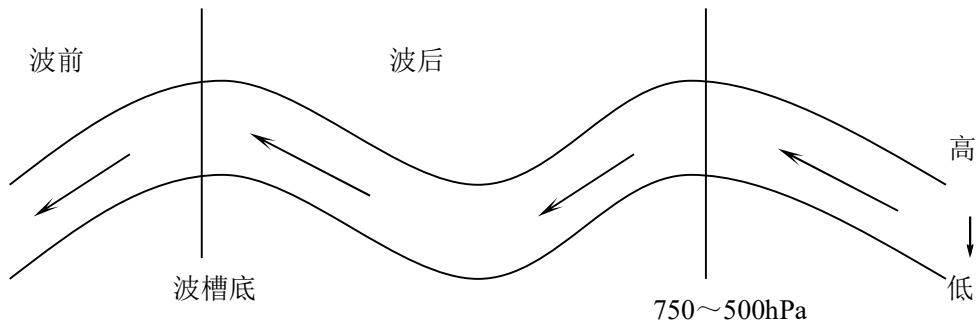
季风槽：信风+季风

南亚、西太平洋



- ☁ 对流单体 (细胞) (1~10)
- ☁ 中尺度对流云体群 (10~100km)
- ☁ 热带云团 (100km~1000km) —— 热带辐合带

东风坡



- 1) 较弱：倒V字型 大西洋中、东部
- 2) 大西洋西部、加勒比海：

| | | | |
|--------|--------|---|-----|
| 波前：好天气 | 波后：雷雨区 | } | 不对称 |
| 波前：雷雨区 | 波后：好天气 | | |
- 3) 太平洋西部：

| | | | |
|--------|--------|---|-----|
| 波前：雷雨区 | 波后：好天气 | } | 不对称 |
| 波前：雷雨区 | 波后：好天气 | | |

海上天气预报

天气形势预报：天气系统
 天气要素预报：风、气温、云、雨、能见度……

基础

主观预报：天气图法
 客观预报：数值预报法

短期预报：~3天
 中期预报：3~10天
 长期预报：>10天

VS 可见光 IR 红外线

气象传真图

TT AA×× CCCC YY GG gg MMM JJJ
 图类 图区 传真台 日时分 月 年

图类: A: 分析(Analysis); F: 预报(Forecast); S: 地面(Surface); U: 高空(Upper-air); W: 海浪;
 ①地面图 (AS,FS) ②高空图 (AU,FU) ③卫星云图 (VS,IR) ④海浪图 (AW,FW)
 ⑤海流图 (SO,F0) ⑥海温图 (CO,F0) ⑦冰况图 (ST,FI) ⑧热带气旋警报图 (WT)

天气形势 (Synoptic Situation)

FS××——预报时间

| | | |
|--------------|-----|------------|
| 02——24 小时预报 | | BAF 北京台 |
| 03——36 小时预报 | | JMH 东京 1 台 |
| 04——48 小时预报 | | JMJ 东京 2 台 |
| 07——72 小时预报 | | |
| 09——96 小时预报 | | |
| 12——120 小时预报 | L | H |
| 14——144 小时预报 | × | × 中心位置 |
| 16——168 小时预报 | 985 | 1028 中心气压值 |
| 19——192 小时预报 | | |

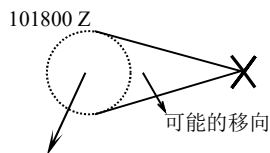
↑ 10KT: 移速 10 节

↑ SLW: 有移向, 移速小于 5 节

STNR(stationary 静止) / (Q STNR 准静止): 移向不定, 移速小于 5 节

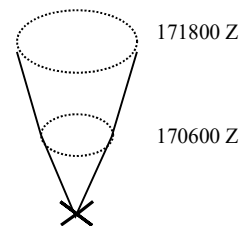
[SW]热带气旋(热带风暴) 10~11 级; 锋面气旋 ≥10 级

TS STS T:



在预报时刻天气系统中心位于圆中心的概率为 70%

风力 ≥10 级 锋面气旋:



| | | |
|------|----------------------------|-------------------|
| | T9018 ED(9018) | 90 年 18 号 |
| | 965 hPa | 中心气压值 |
| 中心位置 | 16.1N 112.9E PSN GOOD | 飞机定位 |
| 移向 | WEST 08KT | 移速 |
| | MAX WINDS 70KT NEAR CENTER | 近中心最大风速 70 节 |
| | OVER 50KT WITHIN 75NM | 50 节的大风圈半径 75 海里 |
| | OVER 30KT WITHIN 225NM | 30 节的大风圈半径 225 海里 |
| | 575NM NE——SEMICIRCLE | 东北半圆的 575 海里 |
| | 255NM ELSE WHERE | 其他方向的 255 海里 |

