

第五章 低纬度和高原环流系统

5.1 概述

5.1.1 低纬度地区的划分

低纬度地区 地理学中，一般指 $30^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{S}$ 以内地区，其中包括**热带和副热带**。

热带地区 南北半球**副热带高压之间**所包括的地区，即赤道两侧盛行东风的地带，**随季节南北变动**。

地理学中，热带地区为南北回归线之间的区域。

副热带地区 盛行东风带与中纬度盛行西风带之间的过渡区，即**副热带高压活动的区域**。

副热带地区也可以认为是低纬度地区除热带地区以外的区域。

赤道地区 一般指 $5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$ 以内地区。

5.1.2 低纬度地区的意义

意义一 低纬度地区约**占全球的一半**，其中**四分之三左右是海洋**。该区的辐射收入大于支出，其盈余的热量，可通过大气和海洋输送到中高纬度地区。故热带地区是全球大气运动的**能量、动量和水汽输送主要源**。

意义二 热带大气还从地表得到角动量，所以热带地区又是**大气角动量的源区之一**。

意义三 低纬地区许多天气系统直接影响中高纬地区：热带地区的大气环流除哈得来环流和信风环流外，还有许多环流系统，如**热带辐合带、副热带高压、季风环流、台风等**。它们的强弱和变化影响着热量和角动量的输送与天气系统的产生和活动，这对中高纬度地区和热带地区都有直接的影响。

5.2 低纬度大气运动的基本特征

5.2.1 中低纬度大气的重要差别

地转参数 **低纬度 $f = 2\Omega \sin \varphi$ 很小**，不能满足地转风关系，天气尺度系统具有非地转特征。但某些尺度非常大的行星尺度运动仍然具有准地转特征。

水汽充沛 热带大气中**水汽充沛，凝结潜热效应对垂直运动和散度场具有显著影响**。雷暴的发生非常频繁。热带大气中凝结潜热的释放对大尺度运动系统的水平散度和垂直速度有显著的影响。

天气分析 ① 由于低纬度地区的天气尺度运动不具有准地转平衡关系，所以不适合用气压场和温度场来揭示运动系统结构和变化规律。**气压场相当稀疏，无法分析**。

② 低纬度大气中的风压场关系可利用天气分析方法，如**流线分析（常用）**、卫星云图分析、风的铅直和水平切变分析、速度位势场分析和层结稳定性分析等。

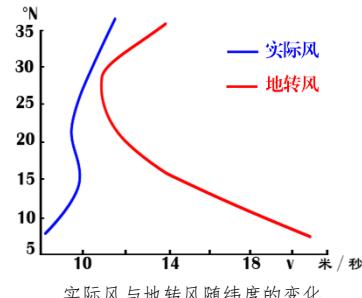
③ 热带天气预报方法，广泛应用**统计预报方法**和**数值预报方法**。前者如台风路径的相似预报，后者如正压模式数值预报。

5.2.2 低纬度地区风场和气压场的关系

风场对比 实际风与地转风随纬度的变化如右图所示，可见低纬度地区偏差极大。因此我们通过分析压能场揭示天气尺度的系统。

压能风 为了得到和地转风类似的形式，风可以表示为： $\vec{V} = \frac{1}{\eta} \vec{k} \times \nabla \Phi$

动力位能 $\Phi = (\phi + V^2/2)$ 其中 Φ 为动力位能（压能）， η 为绝对涡度



$$\nabla \cdot V = -\frac{1}{\eta} V \cdot \nabla \zeta - \frac{1}{\eta} \beta v$$

满足准压能风平衡的热带天气尺度运动，其水平散度取决于相对涡度平流和地转涡度平流

旋转风特征 热带次天气尺度运动的旋转风特征：

- ① 无论涡度大于零还是小于零，即无论流线是气旋性还是反气旋性转变，都对应动力位势场低值区。
- ② 热带次天气尺度运动具有**旋衡风**的特征。在北半球观测到的这种涡旋运动都是气旋性的，如热带中间尺度云团。

5.3 低纬度环流的基本特征

5.3.1 平均气压场和流场

5.3.1.1 平均气压场

北半球 1 月 亚洲大陆冷高压、大西洋/太平洋副高、赤道低压槽 (ITCZ)

北半球 7 月 亚洲热低压（美洲）、大西洋/太平洋副高变强（强度极大增长）、明显低压槽

南半球 1 月 大陆热低压、大西洋/印度洋/太平洋副高

南半球 7 月 澳洲冷高压（南美、南非）、大西洋/印度洋/太平洋副高

半永久性 亚速尔高压（北大西洋副热带高压）、北太平洋副热带高压、冰岛低压、阿留申低压

季节性 蒙古高压（西伯利亚高压）、亚洲低压、北美高压、北美低压

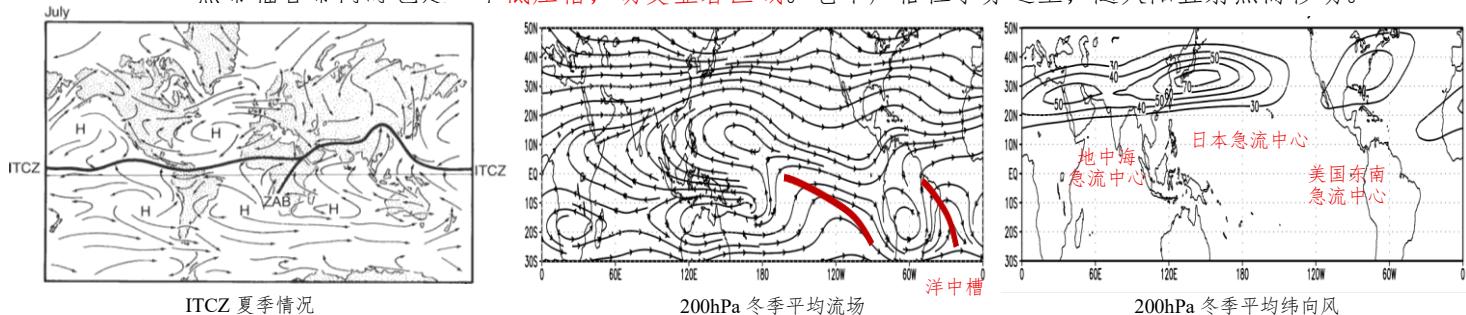
5.3.1.2 平均流场

低层

即梯度风高度层，主要特点有：

- ① 存在季风 **monsoon**（亚洲东部冬季东北季风，夏季西南季风）
- ② 信风 **trade wind**，盛行东风信风（全年维持）。
- ③ 热带辐合带 **Intertropical Convergence Zone**，南北两支信风交汇地带，随季节南北移动，即**热赤道**。

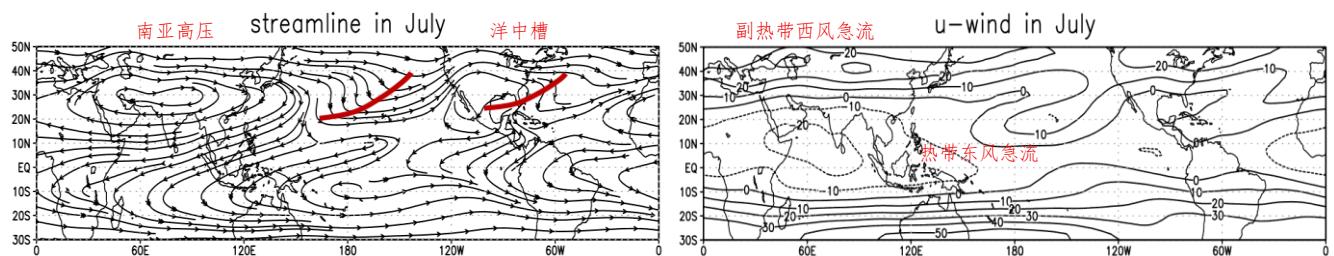
热带辐合带同时也是一个低压槽，切变显著区域。它不严格位于赤道上，随太阳直射点而移动。



对流层高层 冬季：① 地中海、日本沿海（东亚大槽）和美国东南部（北美大槽）上空三个**副热带急流中心**，日本沿海上空的急流最强。急流轴呈现准东西走向 ② 南太平洋中部、南大西洋中部以及印度洋上空呈现为**洋中槽**（存在于夏半球），或称为**热带对流层上部槽 TUTT: tropical upper-tropospheric trough**。

夏季：南亚高压（斜压结构，高层高压，低层低压）、墨西哥高压、西非高压、太平洋和大西洋中部的**洋中槽**，以及**亚洲和赤道非洲**上空的**热带东风急流**。

南亚高压本质上属于陆地高压，副热带高压是海洋高压。



5.3.2 平均温度场和湿度场

平均温度场 低层：在热带温度水平分布均匀，年较差小。中纬度大陆地区温度年较差就比较大了。

高层：热带地区存在多个暖中心（大洋暖池、热带雨林）；夏季暖中心移动到高原上空。

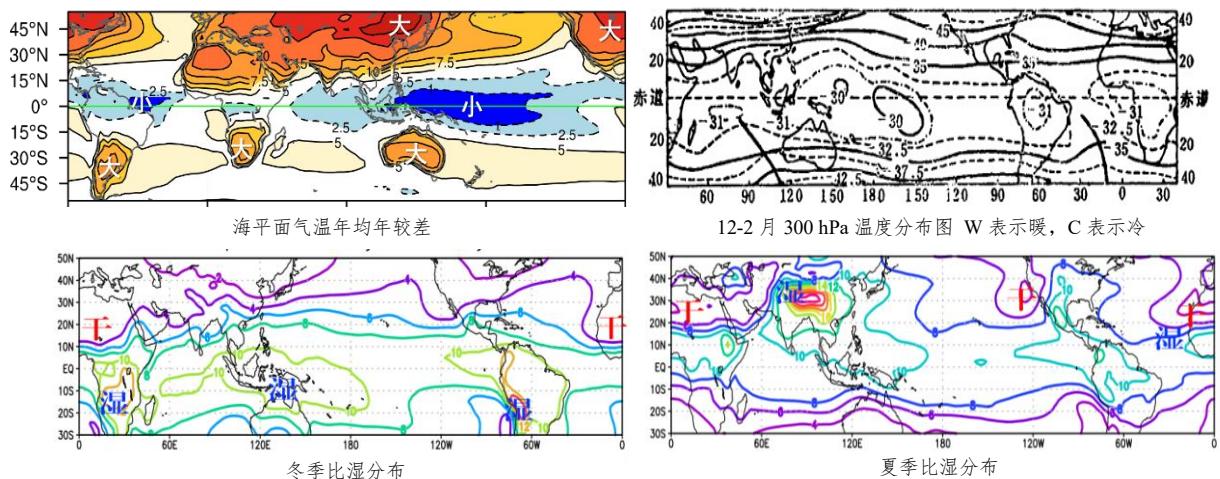
冷中心主要和洋中槽联系。

平均湿度场 我们一般使用比湿来判断空气含水量，热带地区比湿（10g）远大于两极。

冬季：赤道有三个比湿大值区（南非、东南亚海洋性大陆、亚马孙热带雨林）

夏季：有两个比湿大值区（青藏高原降水丰沛，呈现显著的湿中心）

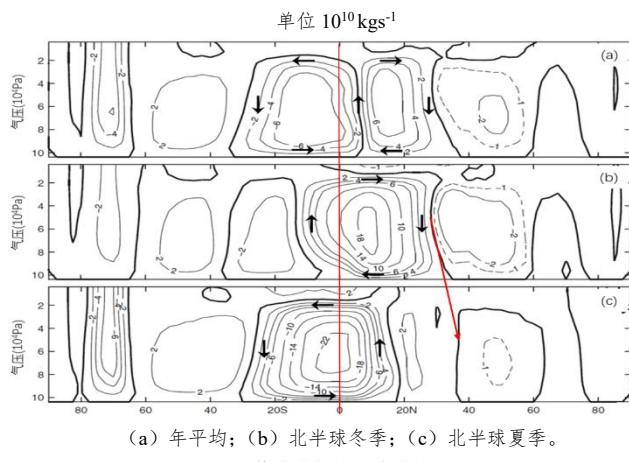
还可以使用 TRMM 卫星资料观测到的全球年平均闪电数据来反推对流降水情况。



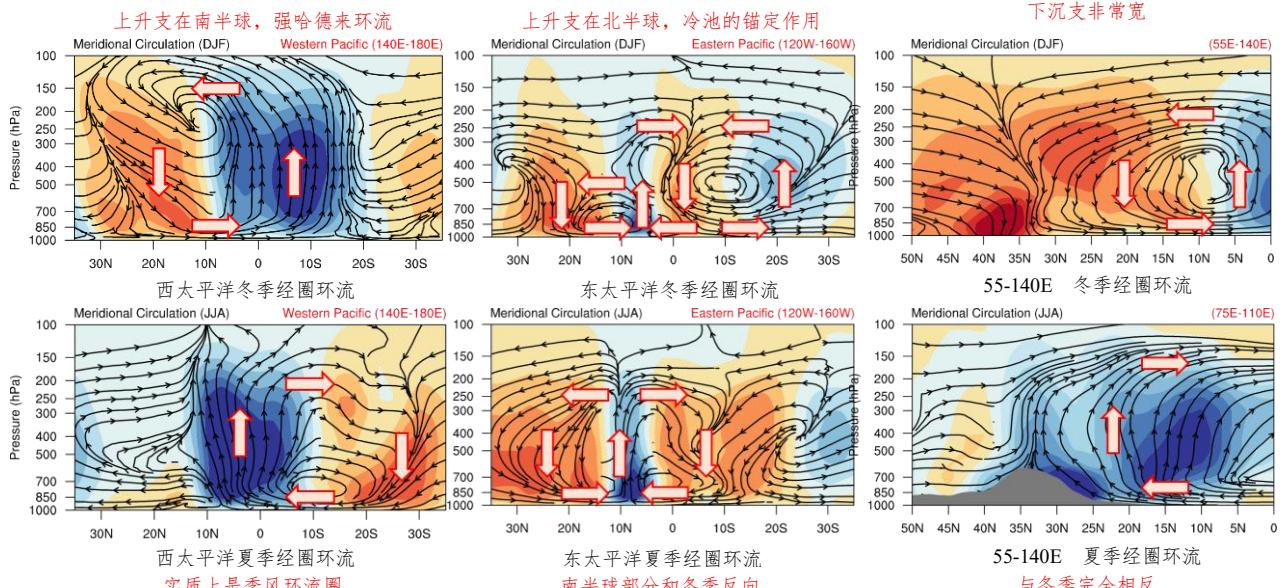
5.3.3 铅直环流的纬向不对称特征

5.3.3.1 平均经圈铅直环流

- ① 每一半球，冬季哈得莱环流最强，所占范围大，夏季哈得莱环流减弱，范围缩小。
- ② 中纬度费雷尔环流冬季较强，夏季较弱。
- ③ 冬季到夏季，三个环流圈位置向高纬度偏移 10 个纬度以上，由此哈得莱环流的强上升支总是出现在赤道的夏季一侧。
- ④ 北半球 500 hPa 质量流函数在热带的最大值常用于表示哈得莱环流的强度，副热带零值表示其经向位置。假设太阳直射点位于南半球，则上升支在南半球，导致北半球扩大发展。

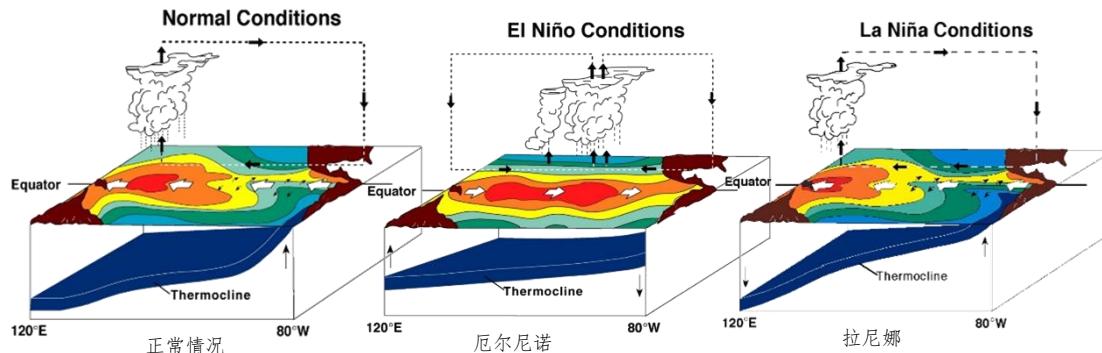


5.3.3.2 经圈铅直环流的纬向不对称性



5.3.3.3 纬向环流

主要结构	印度尼西亚和西太平洋暖洋面上的上升运动，及其东西两侧的下沉运动。
沃克环流	太平洋-印度尼西亚的环流称为沃克环流；印度洋-印度尼西亚的环流称为反沃克环流。
南方涛动	皮耶克尼斯发现赤道地区东西向垂直环流圈，即东太平洋下沉，西太平洋上升，地面偏东风，高层西风。为了纪念沃克，将此纬向垂直环流命名为沃克环流 <i>Walker Circulation</i> 。
厄尔尼诺	大气环流异常，描述热带太平洋地区和热带印度洋地区海平面气压场反相变化的跷跷板现象
厄尔尼诺	东南太平洋副热带高压与印度洋赤道低压之间气压变化的负相关关系，即两者气压变化的跷跷板现象。
厄尔尼诺	海洋异常现象，指赤道中东太平洋每隔几年发生的大规模表层海水持续半年以上异常偏暖/偏冷现象



正常情况	赤道东风；表层暖水在西太平洋堆积、温跃层东浅西深；沃克环流：西太平洋上升（海平面是低压）、东太平洋下沉（海平面是高压）
厄尔尼诺	赤道东风减弱（西风距平）；表层暖水向中东太平洋拓展、温跃层坡度减小，东深西浅；沃克环流减弱，西太平洋异常下沉（高压距平）、中东太平洋异常上升（低压距平）
拉尼娜	赤道东风增强（东风距平）；表层暖水更向西太平洋堆积、温跃层坡度增大，东浅西深；沃克环流加强，西太平洋异常上升（低压距平）、中东太平洋异常下沉（高压距平）

5.4 太平洋副热带高压

5.4.1 太平洋副热带高压的概况与结构

5.4.1.1 基本概况

副热带高压与高原高压的区别

副热带高压：出现于对流层中下层，位于大洋上的暖性高压按惯例称为副热带高压。

高原高压（大陆高压）：出现在对流层上层，位于高原大陆上的暖高压称为高原高压。

定义	形成和活动于太平洋副热带地区的暖性高压，是控制副热带地区的大型天气系统，位于对流层中下层。
概况	常年存在（半永久性活动中心），稳定少动的深厚暖性系统，夏季强大范围广，冬季比较弱范围小。
表现	中层最明显（500hPa，如右图所示）
北半球分布	太平洋副高（对我国影响最大）、大西洋副高、北非副高
气象表达	<p>① 500hPa：588位势什米包围的区域。 700hPa：316位势什米包围的区域。 850hPa：148位势什米包围的区域。</p> <p>② 副高脊线的位置：东西风分界线，其与120°E的交线称为脊线位置，脊最西侧的位置称为西伸脊点。</p> <p>③ 卫星云图：黑色无云或黑色少云区（黑色所示为海面或地面，反射率最低）。</p>

填色部分为副高
副高的强度不一定和位势高度成比例，且和资料有关，所以大西洋的副高没有太平洋的强

5.4.1.2 副高脊线

走向
纬度位置

西西南-东东北走向。 500hPa 以下各层较一致, 纬度位置随高度有很大变化。
 ① **冬季:** 从地面向上, 副热带高压脊轴线随高度向南倾斜, 到 300hPa 以后, 转为向北倾斜。
 ② **夏季:** 对流层中部以下多向北倾斜, 向上则垂直, 较高层后又向南倾斜。

5.4.1.3 要素场

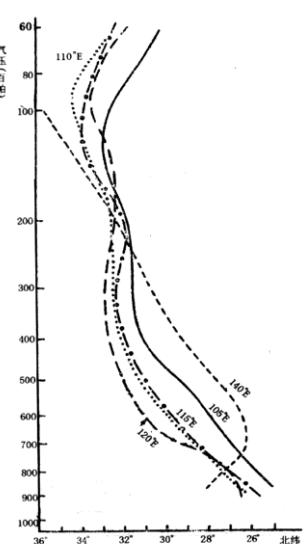
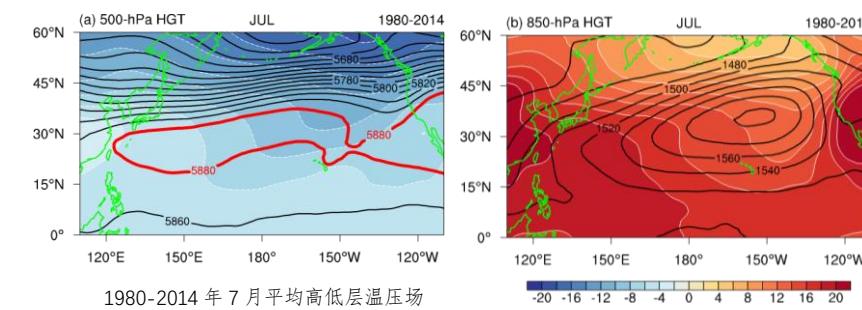
温度场

暖区中**暖中心与高压中心不完全重合**, 低层有逆温存在。

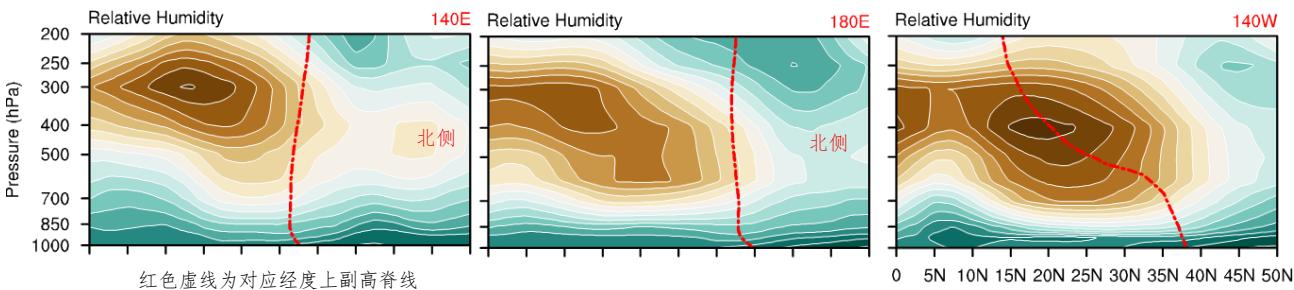
副高具有**趋暖性**, 其随着高度向西侧倾斜 (有利于它发展的地方倾斜)。

湿度场

脊中比较干燥, 脊线北侧有湿区; 逆温层底部湿度大, 上部湿度比较小。



1959 年 8 月 21 日 08 时
西太平洋高压脊线在不同经度上随高度的南北变化图



风场

① 太平洋副热带高压**脊线附近气压梯度较小**, 水平风速也较小。
 ② 南北两侧气压梯度较大, 水平风速大: **南北两侧有急流**。

涡度场

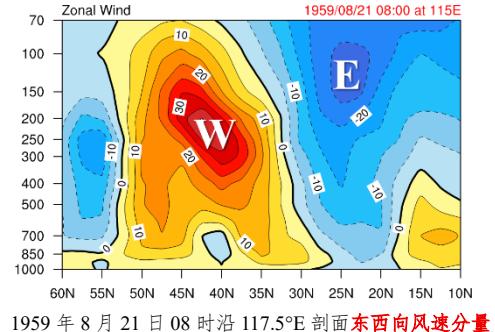
在各高度上相对涡度**在副热带高压区内基本上都是负值**, 而且涡度场相对于高压表现得很匀称。负涡度区的范围和强度**均随高度而增大**。在南北两侧有正相对涡度分布。

散度场

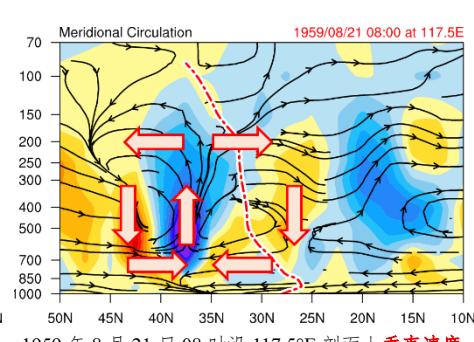
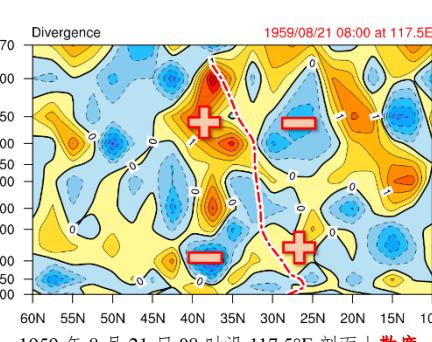
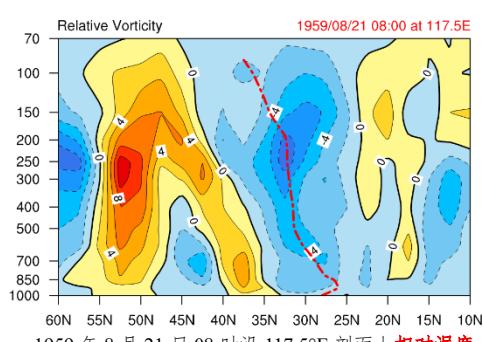
① **低层南侧辐散, 北侧辐合。**
 ② **高层北部辐散, 南部辐合**, 并扩展到中心部分, 辐合辐散强度均很大。

垂直速度

副高**南部辐散下沉且潮湿**; 北部辐合上升; 中心附近存在下沉逆温。实际下会形成很多个次级环流圈。对流层中上层, 高压脊轴南侧存在下沉运动; 北侧及脊轴附近有上升运动, 在更加北侧又有下沉运动。因此, **高压脊轴附近有一反(经圈)环流**, 而其**两侧各有一正(经圈)环流**。



1959 年 8 月 21 日 08 时沿 117.5°E 剖面东西向风速分量



5.4.2 西太平洋副热带高压的变动与我国天气的关系

5.4.2.1 西太副高的变动

副高的表示 ① **副高脊线**: 副高内**东西风分界线**, 在副高脊线上, 东西风速为零, 我国常用 **120°E** 上副高脊线所在纬度变化来表示副高的南北移动。

② **副高西伸脊点**: 500hPa 月平均图上 **588 线最西端**所在的经度表示副高西伸脊点的位置。

③ **面积指数**: 500hPa 月平均图上 **10°N** 以北, **110-180°E** 范围内 **588 线所包含的范围**表示副高强度。

副高变动	副高脊线	天气
	4~5 月, 15°N 附近	华南 进入雨季
	6 月中旬, 第一次北抬 22°N 左右	江淮出现 梅雨 , 华南雨季结束, 相对干旱
	7 月中旬, 第二次北跳 28°N 左右	梅雨结束, 雨带移到 黄淮流域 , 热带天气系统活跃
	8 月初, 北移到 30-35°N	华北 东北雨季 , 长江流域伏旱
	9 月上旬, 迅速南撤 25°N	雨带回到淮河流域, 华西 出现秋雨
	9 月底 10 月初, 南撤到 20°N 以南	秋雨结束