

第五章 大气系统的基本状况

5.1 平均温度结构

基本情况 大气温度结构决定了环流特征(热力学状态和风结构)，可从压高关系等角度考虑

5.1.1 全球温度水平分布

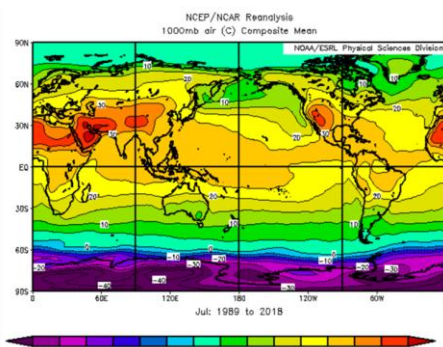
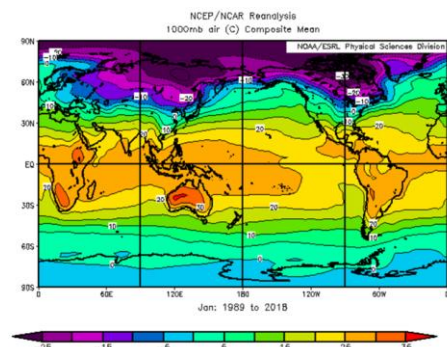
带状分布 随纬度的分布规律，即纬度升高，气温降低，**水平温度梯度由极地指向赤道**。

南半球由于海洋面积大，等温线带状分布更加明显。

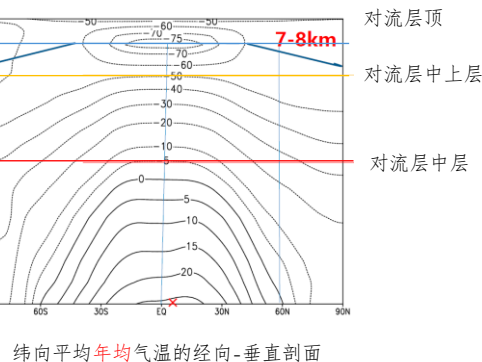
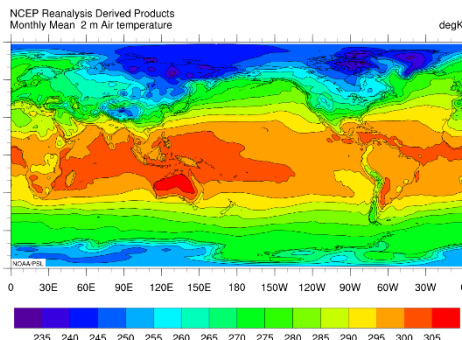
纬向分布 同一纬度，不同经度区域的差异，包括高值或低值中心。

季节差异 冬季和夏季分布的对比：**冬季大陆东岸冷空气堆积→温度槽；海洋东岸较暖→温度脊，夏季相反**
无论冬夏，**海岸附近等温线有沿着海陆交界走向的趋势**，这种走向冬夏相反。

说明：海平面温度不是实际的地表温度，其消除了海拔高度的影响，突出海陆分布、大气环流作用



1月(左)和7月(右)1000 hPa 气温的全球空间分布



5.1.2 垂直结构

5.1.2.1 气温的垂直结构

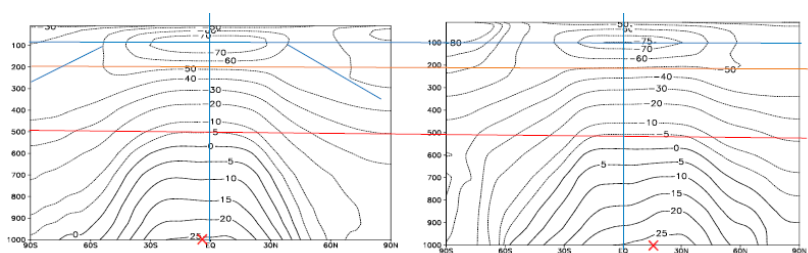
经向分布 随纬度的变化规律 (对流层中下层和对流层顶、北半球和南半球的规律对比)

- ① 热带水平温度梯度最小，**中纬度水平温度梯度最大**
- ② **平流层水平温度梯度与对流层相反**，由低纬指向极地，冷中心位于赤道上空 (臭氧分布)

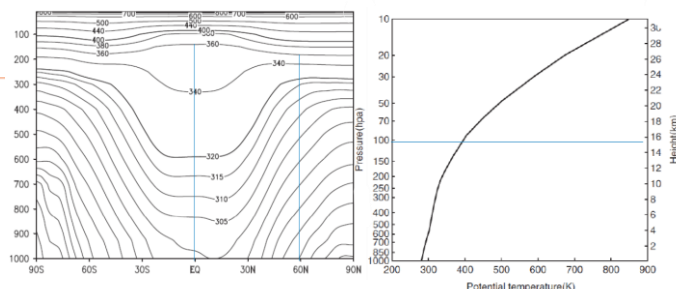
垂直结构 随高度的分布规律 (对比低纬度和高纬度)

- ① 总体随高度增加而温度降低，赤道上空对流层更高，温度梯度较小
- ② 赤道附近地面与对流层温度差最大；**热带对流层上层，气温铅直温度梯度最大**
(赤道辐合带积雨云周围下沉气流导致云底温度升高，且顶部蒸发辐射造成温度降低，达到最大)
- ③ 南北半球 50hPa 以上高度冬季可以观测到最低气温，与极地急流相联系。

冬夏对比 上述经向分布和垂直结构的对比



1月(左)和7月(右)纬向平均的年均气温的经向-垂直剖面



平均位温的垂直剖面

全球平均位温随高度变化

5.1.2.2 位温的垂直结构

经向分布 经向梯度分布**对流层中由极地指向低纬**，平流层中则反之，梯度最大值位于中纬度地区。

独特特点 ① 对流层中等位温面**从热带向极地呈现向上倾斜分布**。

② 位温随高度增加，反映了平均大气**干绝热过程的稳定性**；热带相对更不稳定

③ **平流层中等位温线非常密集**。

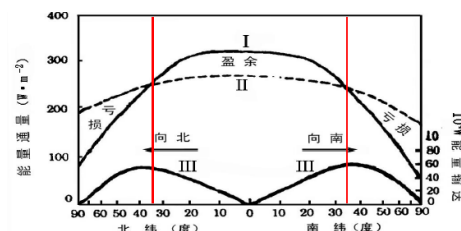
物理解释 温度随气压会变化，气块下沉绝热增温，任何一个高度的任何空气块绝热到 1000hPa，会被绝热压缩增温，压缩到 1000hPa 下的温度就是位温。

低纬度：由于强烈对流，位温在**对流层下部（混合层）变化较小**，甚至接近均匀。但在对流层中上部，由于**湿绝热过程和潜热释放**，**位温可能缓慢增加**，大气处于稳定或弱稳定状态。

高纬度：对流弱，大气更稳定，**位温随高度增加更明显**，反映出较强的垂直稳定性和较低的混合程度。

5.2 大气环流的形成和维持

基本形成 地气系统年平均吸收辐射(曲线 I)和射出辐射(曲线 II)以及指向极地的能量输送(曲线 III)：**低纬盈余，高纬亏损**

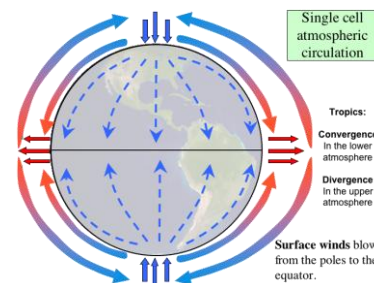


5.2.1 辐射过程与单圈环流

赤道情况 赤道地区温度高，密度小，底层气压低

极地情况 极地地区温度低，密度大，底层气压高

单圈环流 由于热力因素，形成了底层北风，高层南风的单圈环流（北半球）



5.2.2 地球自转与三圈环流和三风四带

形成 在地表性质均匀，地球自转产生的地转偏向力之作用下，形成了理想的**经向三圈环流**和近地层的**三风四带环流**。

5.2.2.1 经向三圈环流

组成 **哈得莱环流+费雷尔环流+极地环流**

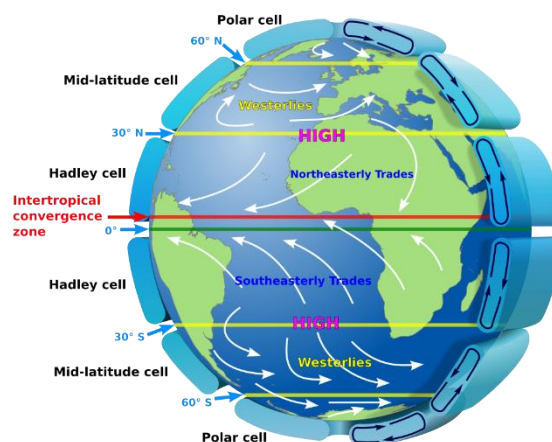
哈得莱环流 从赤道低压地区上升，升至对流层顶，向极地方向直到南北纬 30 度左右，在高压区下沉。部分空气返回地面后于地面向赤道返回，形成信风，完成低纬度环流。

动能产生【直接热力环流圈，强度最强】

费雷尔环流 也称为中纬度环流，是一个次要的环流，依靠其余两个环流而出现。**动能消耗【间接热力环流圈】**

存在冷热交汇：极地的冷空气南下，低纬的暖空气北上，在**西风带内形成了各种高压区域和低压区域**，并以波的形式存在，所以叫西风波动，又称罗斯贝波或行星波。一般以高压脊、低压槽、阻塞高压或切断低压形式存在。

极地环流 也是一个热力环流圈，**强度最弱**。

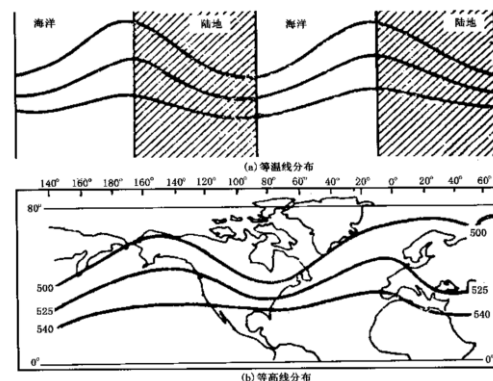


5.2.2.2 三风四带（平均纬向环流）

纬向环流 纬向环流在大气中占据主导地位，是大气环流的基本状态。

四带 **赤道低压、副热带高压、副极地低压、极地高压**

三风 **赤道东北/东南信风、盛行西风、极地东风**



冬季中纬度 500hPa 等温线（上）和等高线（下）分布

5.2.3 下垫面非均匀性

作用 主要包括**海陆分布、高大地形形成大气活动中心、高空槽脊**

海陆分布 由于**温度特征**导致环流变得不规则

高大地形 大范围的高原和高大山脉的**热力作用与动力作用**（绕流、爬坡）

① 大规模气流爬越高原时，**迎风侧受阻质量辐合形成高压脊**；**背风侧辐散形成低压槽**。（南亚高压）

② 地形过于高大或气流比较浅薄时, 气流不能爬越高大地形, 而在山地迎风面发生**绕流或分支**现象, 在背风面发生**气流汇合**现象。例如青藏高原迎风面绕流、分支, 背风面气流汇合形成西南涡

5.2.4 地表摩擦

海表摩擦 使**大气的动量消耗为热量**(陆地)或将**动量传给海洋**, 形成表层洋流

地表摩擦 大气与转动地球之间产生角动量的输送, **使大气环流得以维持**: 近地层东风带, 地球将角动量传给大气 (大气获得西风角动量); 西风带, 大气将角动量传给地球, 大气失去西风角动量。经圈环流将该动量输送到西风带, 大气将角动量传给地球。。

角动量守恒 $M = \omega R^2 \cos^2 \varphi$ 惯性角动量 + $uR \cos \varphi$ 相对角动量 经向运动对角动量没有贡献

东风带: 地形和摩擦都会使得获得西风角动量 (获得西风角动量)

西风带: 地球和摩擦都会使得损失西风角动量 (损失西风角动量)

5.2.5 大气环流的形成和维持

形成总结 ① **太阳辐射**对大气加热不均驱动大气产生大规模运动的**根本原因**。

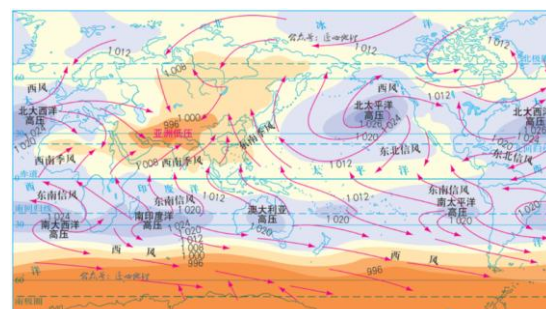
② **地球自转**形成了大气的三圈环流模式, 进一步形成了近地层遍及全球的风带和气压带, 是大气环流形成和维持的**重要因子**。

③ **海陆和地形**的共同作用, 使低层大气环流变得**复杂化**, 中层环流在特定地区出现**平均槽、脊趋势**。

④ **地面摩擦、地形**作用产生的角动量在风带间的输送、平衡是大气环流中的纬向环流与经圈环流得以维持的**重要因素**。

5.3 平均大气环流

概述 5.2 节基于理论分析得到了三风四带, 本节将直接用观测(再分析)资料绘制海平面气压、风场、位势高度等分布图, 定义指标流函数、季风指数等来判断全球平均大气环流情况。



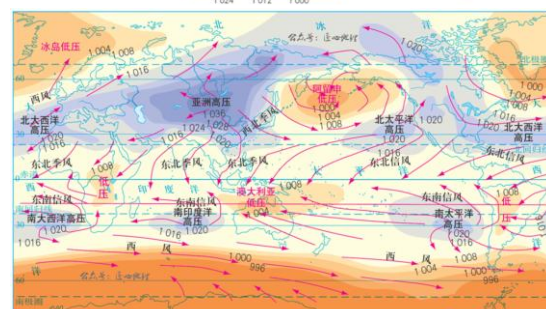
5.3.1 环流水平分布

5.3.1.1 大气活动中心

定义 平均海平面气压分布图上的**大型高压和低压系统**。分为**半永久性** (常年存在, 强度和位置有季节变化, 常出现在海洋上) 和**季节性活动中心** (季节性存在, 陆地常见)

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**



5.3.1.1 近地层

气压分布 ① 呈现带状分布, 各活动中心和气压带位置随季节有南北移动, 且环流有明显的增强和减弱。

② **冬季高低纬之间水平梯度大, 环流更强; 夏季情况相反。**

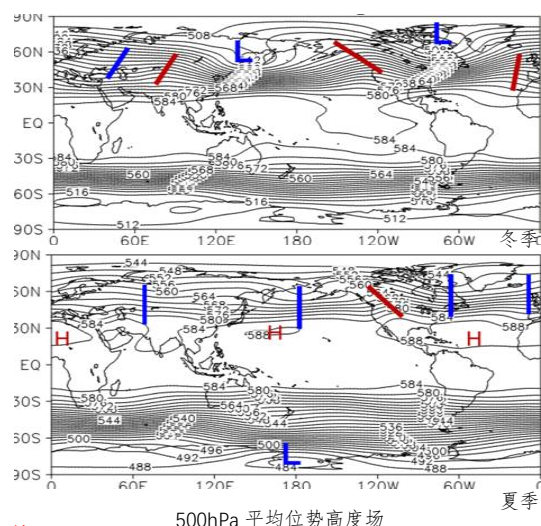
风场分布 和大气活动中心有明显的联系, 表面风存在从高压偏向低压的分量。

5.3.1.2 对流层中层

平均槽脊 **冬季: 北半球三槽三脊** (槽: 亚洲大陆东岸、北美大陆东岸和乌拉尔山以西; 脊: 阿拉斯加、西欧沿岸和贝加尔湖地区)。南半球不明显。

夏季: 北半球四槽四脊 (东亚大槽东移 20 个经度, 引起季节性的长波调整)。南半球为准平直的西风。

副热带高压 脊线冬季约位于 15N, **夏季**向北推移到 25-30N 附近, **显著增强**



风场

中高纬全年为盛行西风，并且冬季西风强于夏季。

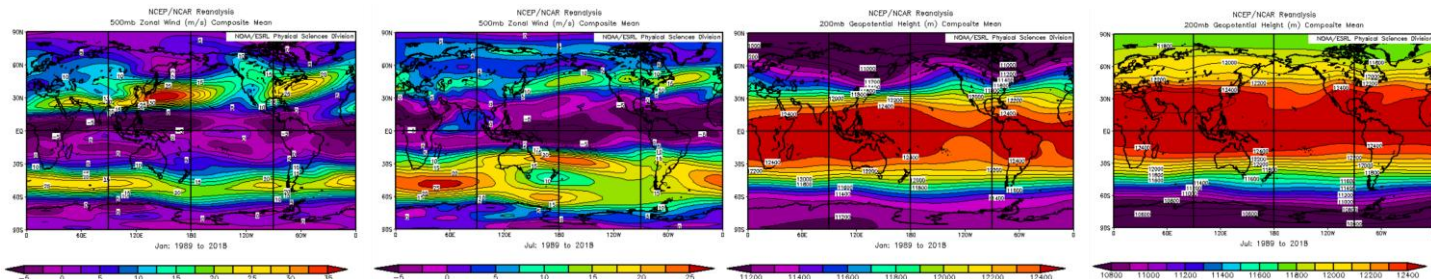
1月三个强西风中心：日本东南，北美东岸和北非阿拉伯地区；7月西风带显著减弱北移

极涡

1月北半球的极涡有两个中心，7月只有一个中心。南半球极涡无论冬夏都只有一个中心

急流

1月平均地转西风轴线比7月偏南。7月北半球最大平均西风轴线向北推移约20个纬度，强西风中心的风速显著减弱，仅为1月中心风速的一半。



对流层中层风场（左1月，右7月）

对流层高层位势场（左1月，右7月）

5.3.1.3 对流层高层

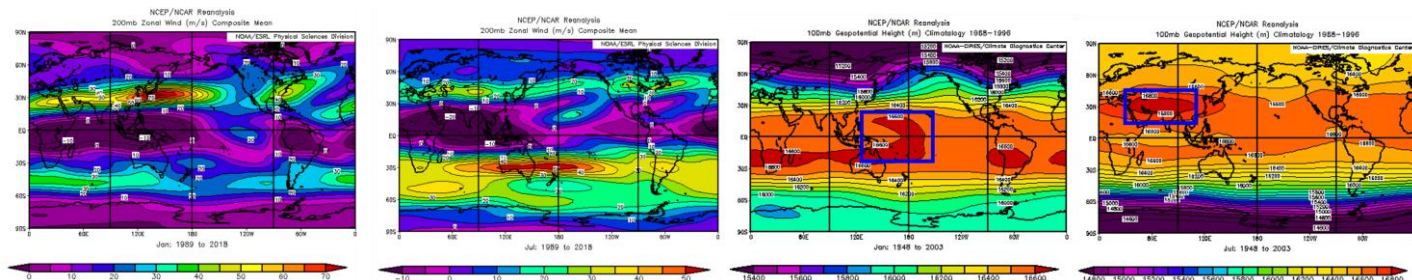
位势场

低纬度全年存在高压（副热带高压）。相比于1月份，7月份高压显著加强北进，在青藏高原有南亚高压；1月份仍可以看到三个大槽，7月份的槽脊位置基本与500hPa一致。

风场

中高纬的纬向西风显著加强，日本以东的大值区风速达到70m/s

低纬东风的南北位置变窄，但强度变强



对流层高层风场（左1月，右7月）

平流层底部位势场（左1月，右7月）

5.3.1.4 平流层底部

极涡

北半球1月两个中心；南半球一个中心。南北半球7月一个中心。

位势场

1月：北半球两波型（槽：亚洲和北美大陆东岸；脊：太平洋和大西洋的中部）。南半球不明显。

7月：北半球西风环流显著减弱，定常波的振幅显著变小。南半球不明显。

风场

呈现明显的季节变化，冬季风速大。

5.3.2 环流垂直结构

5.3.2.1 流函数

引入

定量描述平均经圈环流的特征，例如上升下沉运动、强度、位置等信息

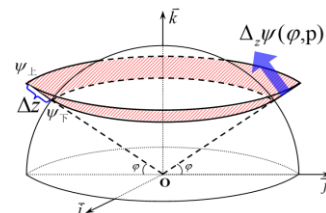
流函数

stream function，满足连续方程的一个描述流速场的标量函数

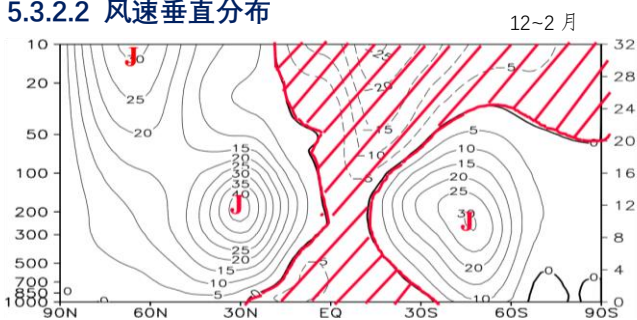
函数表达

单位时间穿过单位环面通过的质量 $2\pi a \cos \varphi \Delta z$

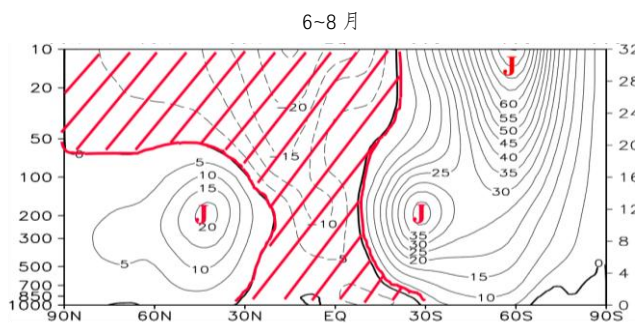
$$\text{用质量流函数来表征大气环流。} \quad 2\pi a \cos \varphi [v] = g \frac{\partial \psi}{\partial p} \quad 2\pi a^2 \cos \varphi [\omega] = -g \frac{\partial \psi}{\partial \varphi}$$



5.3.2.2 风速垂直分布



40 年平均纬向风分布图



极地 极地**近地面层**，**浅薄的东风**，厚度和强度冬季大于夏季，**高层是西风**。

中高纬 **地面到高空都是西风**，且**强度和宽度随高度增加而增加**，在对流层顶达到最大：**西风急流**。

北半球(30°N)冬季大于夏季。

低纬度 **很厚的东风**，热带东风在海平面约占 60 个纬度的地带，**愈往高空东风愈窄**

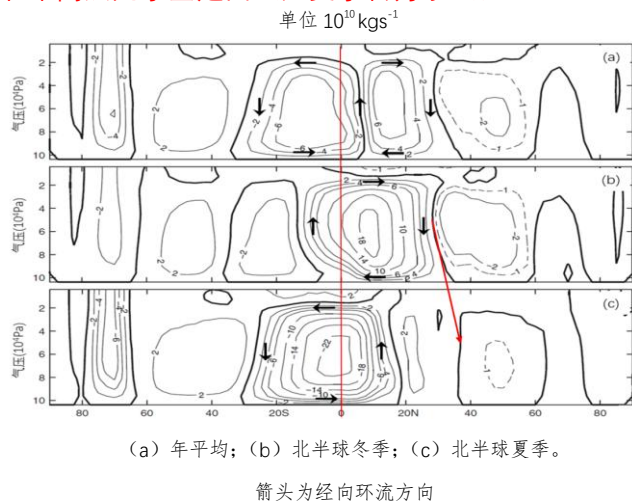
近地面层 三风四带，极地高压、副热带低压、副热带高压和赤道低压

上层 平流层和中间层，**冬夏风存在季节差异**，冬季平流层和中间层几乎全是**西风**；夏季转为**东风**。

5.3.2.3 质量流函数的经向垂直剖面结构

图像分析

- 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。



5.4 季风

5.4.1 季风的定义

古代认识 《史记》帝舜《南风》歌、郑和下西洋等。其名词来源于阿拉伯语 mausim，是季节的意思，英语称 monsoon。早期人们用季风表示印度洋地区地面风向的季节反转。

季风 **大范围地区的盛行风随季节具有显著改变**的大气运动现象，伴随着**降水量发生季节的变化**。

5.4.2 季风的形成

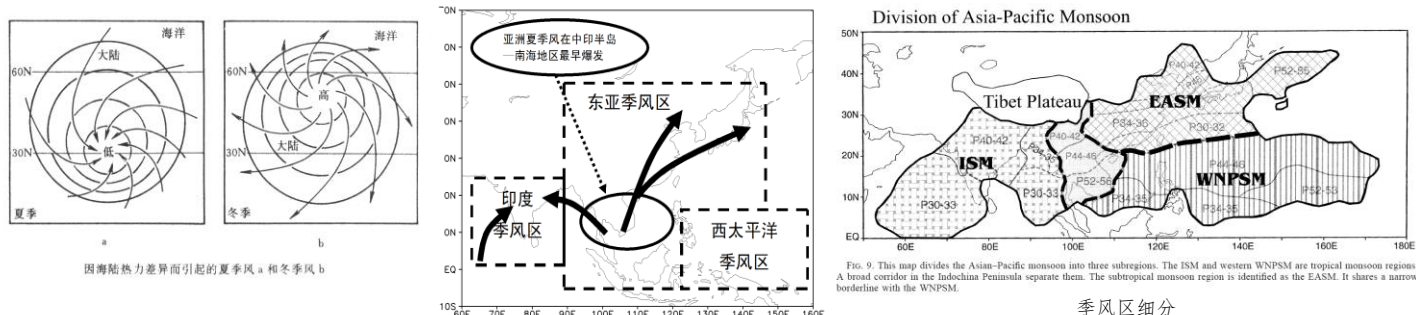
形成

- ① **海陆间的热力差异**以及这种**差异的季节变化**
- ② **行星风系季节位移**
- ③ **青藏高原**的作用（夏季热力作用，冬季动力作用）

5.4.3 亚洲季风

季风区 分为印度季风区、东亚季风区、西太平洋季风区

季风细分 进一步分为**南亚季风**（印度季风）、**东亚季风**（东亚副热带季风、南海季风（西北太平洋季风））

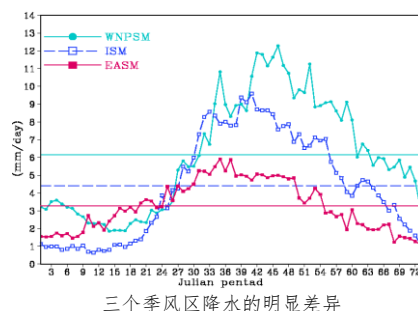


5.4.3.1 东亚季风

形成 海陆热力差异及其季节变化、青藏高原的作用、行星风系季节位移。
青藏高原的作用使东亚季风增强

特点

- ① 冬季风由北而南依次为**西北风**、**北风**和**东北风**；夏季风为**偏南风**，**冬季风强于夏季风**（陆地冬季温度很低，海陆差异巨大）。
- ② 影响我国东部、朝鲜、韩国和日本



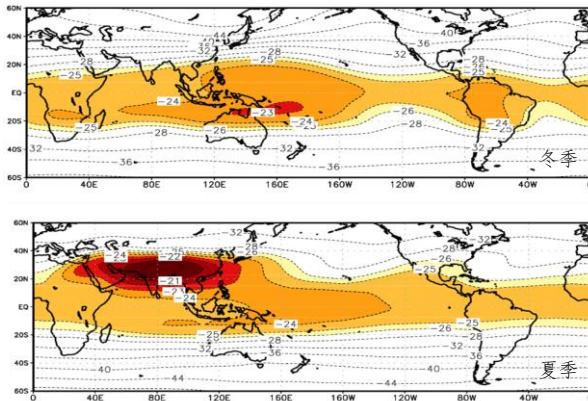
③ 东亚夏季风是全球季风系统中**经向推进最北**的季风。（从海南到东北）

夏季环流

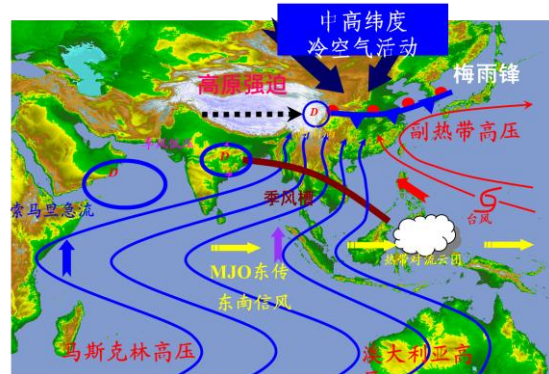
低空：澳大利亚**低空冷高压**、东亚地区**低空越赤道气流**（105E 或 125-130E）、南海-西太平洋热带辐合带 ITCZ（南海部分常称为南海季风槽）、西太平洋**副热带高压**、梅雨锋及西风带槽、MJO 东传季节内影响等。

高空：南亚高压在东亚的部分、**南北两支东风急流**、**自北到南越赤道气流**。

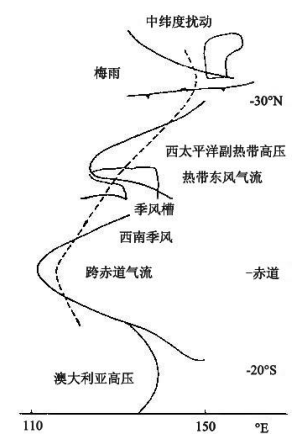
从经圈环流看包括有自 ITCZ 上升气流向副高区下沉的 Hadley 环流及自 ITCZ 上升到南半球反气旋下沉的季风经圈环流。



青藏高原的热力加热作用：增加海陆差异



东亚季风季环流包含的系统



5.4.3.2 南亚季风

形成

行星风系季节位移、海陆热力差异及其季节变化、青藏高原的作用。

特点

夏季风强于冬季风，是热带季风（冬季由于山的阻挡较弱）

夏季环流

印度季风槽、**南亚高空反气旋**、高空自北半球向南半球的**越赤道气流**、**南半球低空马斯克林反气旋**以及索马里低空**越赤道气流**。组成相对简单

5.4.3.3 亚洲季风的季节推进

季风爆发

季风开始影响的时间。如用南海中北部北纬 10-20°，东经 110-120° 850hPa **西风稳定建立**，且假相当位温超过 340K 的日期。

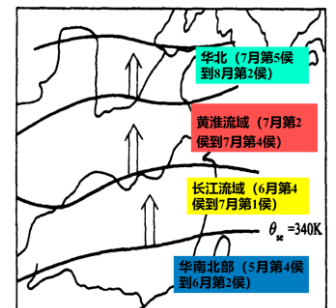
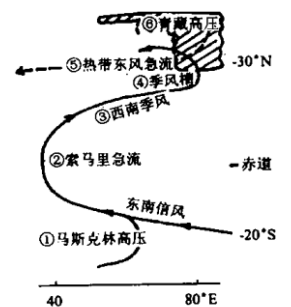
季节推进

季风推进的过程中伴随着**雨带的推进**。

4 月初（盛期在 5-6 月）：**华南前汛期**降水开始

每年 6 月中、下旬到 7 月上半月的初夏：出现**梅雨**，又俗称霉雨。

7 月上、中旬：江淮流域梅雨期结束，**华北雨季**开始。



5.4.4 季风指数

概念

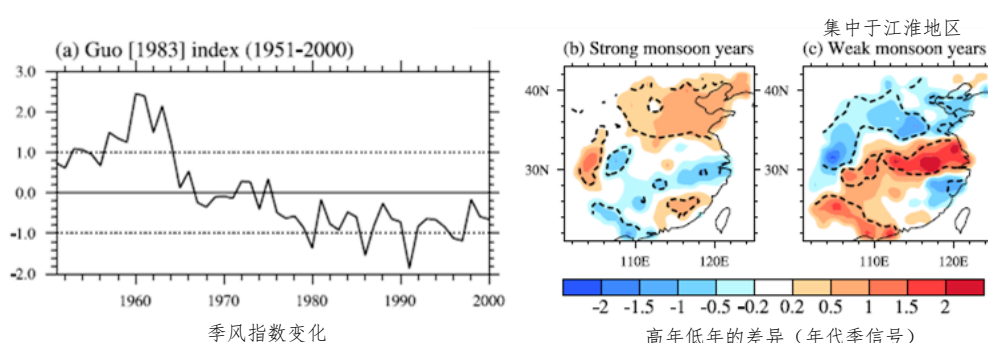
定量描述季风强度及其变化的参数。分为三类：**形成、环流、降水**

示例

风(风向、风速、风切变)、大气环流、海平面气压差、高低空散度差；向外长波辐射、假相当位温取 10°N-50°N 范围内每 10 度纬圈上 110°E 减 160°E 之间的**气压差值**≤ -5**毫巴**的所有数值的和代表夏季风的强度。

趋势

东亚夏季风指数总体减弱（气溶胶的影响、内部变率等）



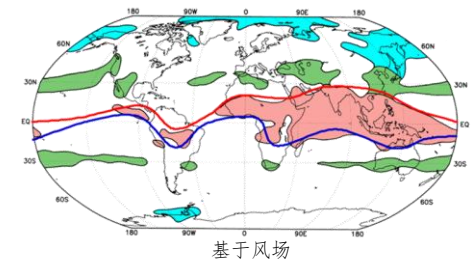
5.4.5 全球季风的分布

季风区 热带季风区、副热带季风区、温带季风区（基于风向转变）

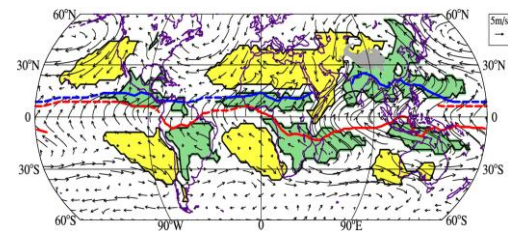
如果基于降水来划分季风区，热带季风区则消失。

季风气候区 西非、南亚、东南亚、澳洲、南美、中美

降水划分 局地夏季与冬季降水率差值超过 2mm d^{-1} ，且夏季降水量占当地年降水总量55%以上。热带基本就不算季风区了。



基于风场



基于降水(冬夏降水之差)

5.5 大气环流与气候形成

5.5.1 环流对温度的影响

- 具体影响**
- ① 赤道与极地间的热量输送，减小了高低纬间的温差及梯度
 - ② 海陆间的热量传输，使同一纬度大陆东西岸和大陆内部气温产生显著的差异

5.5.2 环流对水分的影响

- 具体影响**
- ① 大气环流与水分循环：蒸发过程、云和降水的形成以及降水量的大小、水汽输送
 - ② 环流对水分的影响：缓解了海陆间水分差异、同时形成了大体与海岸线平行，以经向变化为主，干湿程度不同的若干气候类型（湿润、半湿润、半干旱、干旱）。

5.5.3 气候的地带性与非地带性

5.5.3.1 地带性

地带性 气候随纬度的经向变化规律（同一纬度气候特征相似）

赤道带 10°S - 10°N ，太阳两次直射，温度的年变化小

热带 10° - 25° ，温度年变化小，大于赤道带

副热带 25° - 35° ，无太阳直射机会（亚热带）

温带 35° - 55° ，季节变化显著

副寒带 55° - 60° ，昼夜差别大，无极昼极夜现象（亚寒带）

寒带 60° - 75° ，有极昼极夜现象

极地带 75° - 90° ，天文辐射日变化最小，年变化最大

气候带划分（三风四带）

热带辐合带—赤道气候带

热带辐合与信风交替控制带—热带干湿气候带

信风带—热带气候带

信风与西风交替控制带

西风带—温带气候带： 35° - 55° ，季节变化显著

西风与极地东风交替控制带—寒温带

极地东风带—寒带气候带

5.5.3.2 非地带性

非地带性 同一纬度，气候表现出显著的差异。

具体情况 ① 同一纬度海洋与陆地的气候差异（海洋性气候与大陆性气候的区别）

海洋气温日较差小，降水量大且分配均匀，对流产生在冬季夜间，湿度大云雾多，有平流雾，风速大；大陆气温日较差大，降水量小集中在夏季，对流发生在夏季午后，湿度小云量小，多辐射雾，风速小。

② 同一纬度的平原与高山、高原等的气候差异

例如喜马拉雅山南麓的气候垂直地带性、长白山的垂直气候带等。