



大 气 环 流

柯 甫

一般所说的大气环流指的是大范围的大气运行现象。这些运动的水平空间尺度是以千公里计的，垂直空间尺度是10公里以上的，时间尺度是1—2日以上。这种大尺度运动的现象很多，它们构成大气运行的基本状态，不但影响天气的改变，也影响了气候的形成。因此不论从事天气预报或气候研究都需要了解大气环流。

大气运动的根本能源在于太阳辐射。可是大气不仅吸收太阳辐射，本身也放射辐射，同时还吸收地球放射的辐射和地球给予大气的其他类型的能量。吸收和放射的差额在大气里的分布是不均匀的。沿纬圈平均，在热带和副热带大气这种差额是正的，即得到能量；在温带和极地差额是负的，即失去能量。这种差额的分布造成了在对流层大气中沿纬圈平均温度自赤道向两极递减。然而，地球表面是不均匀的，有海陆、高山和平原之分，因此，下垫面给予大气的热量也是不均匀的。这就造成了大气温度平均沿纬圈分布在不同时间也是不一致的。在自转的地球上，这种加热场分布的不均匀决定了大气环流现有的状态。

一、平均纬向环流

大气环流最基本的状态是盛行着以极地为中心而旋转着的纬向气流，也就是东、西风带。图1是1月和7月整个地球各经度上沿纬圈平均的纬向环流的垂直剖面（即沿纬度将同高度的西（东）风分量平均起来，西风为正，东风为负）。在北半球地面北极区冬夏都是一个很浅薄的东风带，称为极地东风带，冬季比夏季厚。在中纬度从地面向上都是西风，称为西风带。它在纬距上的宽度随高度而增大，强度随高度增加。在北半球，其最大值在冬季约位于 27°N 附近的200毫巴高度上，风速达40米/秒。在夏季，最大值减弱到15—20米/秒，位置也北移到 42°N 附近的300—200毫巴之间，通常称西风带的最大风速区为西

风急流。到低纬度，则从地面到高空皆为东风，称东风带。它所占的纬距夏季比冬季宽，强度夏季也比冬季大。

图1是沿整个纬圈的平均情况，但由于海陆和高山分布不均匀，实际的纬圈环流在不同的经度上是不同的，如我国的平均纬圈环流就和图1有不少的不同。冬季情况以1956年1—3月沿东经 105° 的平均西风剖面图（图2a）为代表，图上有明显的两支急流。一支从南面绕过青藏高原，称为南支急流，位于西昌到成都上空的200毫巴，这支急流强度很大，风速达60米/秒以上；另一支从北面绕过青藏高原，称为北支急流，位于 40°N 以北的300—250毫巴之间。北支较南支弱，但也在40米/秒以上。北半球其他有些地区也有两支西风急流。也是北面的较低较弱，南面的较高较强。北面的一般在锋面上空，也称极锋急

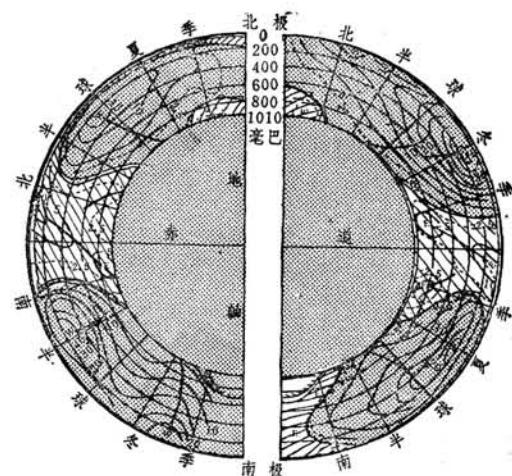


图1 冬季和夏季沿纬圈平均的纬向风（等风速线单位为米/秒）。斜线区为东风，阴影区为西风

流。南面的在副热带高压的北缘，也称副热带急流。

夏季，两支急流的情况就不存在了。以1958年7月75—115°E西风风速剖面图（图2b）为代表，可以看出只有一支西风急流在青藏高原以北的200毫巴左右，强度比冬季弱多了，在30米/秒以上。在青

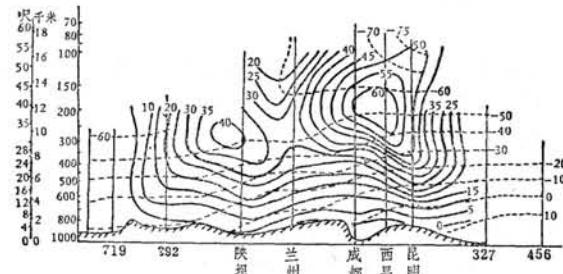


图2a 1956年1—3月沿105°E平均剖面图
实线为等西风风速线(米/秒),
虚线为等温线

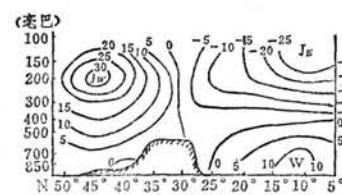


图2b 1958年7月75—115°E西风
风速剖面图(西风为正,东
风为负)

原以南这一带低纬度却为西风，这就是著名的夏季亚洲的西南季风。在西南季风的高空是强大的东风，最强的东风出现在15°N的150毫巴附近。这就是东亚夏季的东风急流。

二、平均垂直环流

上面讨论的是纬圈环流（即东西风）。但大气运动不仅有纬向，还有经向，即南北向。沿纬度将同高度上的南（北）风（南风为正，北风为负）分量平均起来，或者在同一纬度上将同一高度上不同时间的南（北）风平均，在南北向的垂直剖面上，用平均的南、北风和平均的垂直运动绘出平均流线来，称平均经圈环流。这里以1950年冬季北半球的平均经圈环流为例，如图3a。从图上可以看到，在赤道区空气上升到高空，流向北，在纬度30°附近下沉，分两支，一支到达地面转向南，回到赤道区的上升气流，这样完成一个闭合环流，名为哈得莱环流。在纬度30°附近下沉的另外一支未达地面，即沿极锋面上升，到高空又分两支，一支向南回到30°附近的下沉气流，形成中纬度的闭合环流。可以看出，中纬度的闭合经圈环流和低纬度哈得莱环流方向是相反的。沿极锋面上升的另一支在对流层上部流向北，在极圈65°以北再

下沉，极圈内低空气流向南流向极锋锋面，和沿极锋上升的一支气流又组成高纬度的闭合经圈环流。它的环流方向与低纬度的哈得莱环流方向是相同的。

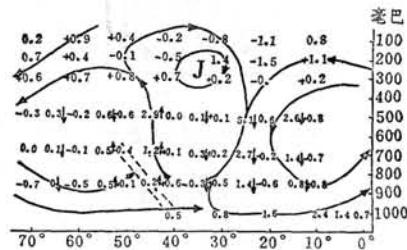


图3a 1950年北半球冬季平均经圈环流。 $0^{\circ}, 10^{\circ}$
……等纬面上各等压面上的数值为经向风
(南风为正, 北风为负), 单位为米/秒; $10^{\circ}-20^{\circ}, 20^{\circ}-30^{\circ}$ 等纬度带内各等压面上的数
值为垂直风速, 单位为毫米/秒; J为西风
急流, 双断线为平均锋面位置

配合温度分布来看，相对于30°，赤道区温度高，高温区空气上升，在温度低的区域下沉，这种经圈环流称正环流。可以看出，高纬度的经圈环流也是正环流。而中纬度的经圈环流则是在温度较低的地方上升，温度较高的区域下沉，这种环流称逆环流。

上面是冬季情况，夏季情况虽有不少变化，但基本上冬夏是相似的。

以上是整个北半球平均情况。由于海陆分布影响，在东亚的夏季就和平均状况差得非常多了。图3b是1958年7月75—110°E平均经圈环流状况。可以看出，空气在青藏高原这部分经度上升，在高空折向南，在低纬度区下沉，下沉后在低空又流向青藏高原，组成一闭合经向环流圈。这就是著名的东亚季风环流。季风环流和哈得莱环流的方向是相反的。这是因为夏季青藏高原上空的空气受热非常强烈，这里的气温要比它南面低纬度空气的温度高得多。暖空气在青藏高原上升，低纬度较冷的空气下沉，在低空冷空气

流向暖区，在高空暖空气流向冷区，而形成季风环流。

夏季青藏高原是个大的高温区，这里上升的空气不仅流向南方，也向东西方向流。所以垂直环流不仅是经向的，也有纬向的。但由于这样引起的风速很小，和东、西风带的风速相比，它显示不出来，这种纬向的垂直环流就很不清楚。但在前面副热带高压这一讲的讨论中我们看到，副高空气是下沉的，所以从

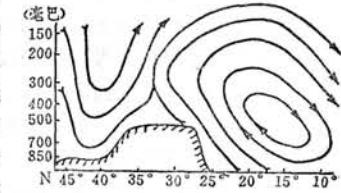


图3b 1958年7月75—110°E
经圈环流图

青藏高原上升的空气有一部份东流，加入西太平洋副高的下沉运动。

这种东西向的垂直环流近赤道区比较明显。沿赤道区，气温有不少的差异。空气在高温区上升，低温区下沉，形成纬向的垂直环流。

三、水平环流

由上面讨论可以看出，大气中常年在比较固定的纬度上存在着东西风带。试问，大气运动是否可以纯粹是前面所讨论的运动状态，也就是大气运动纯粹是平直的东西风，上面附加垂直运动，而没有其他别的运动？回答否！本文一开始，就指出在副热带和热带大气经常是得到热量的，温带和极地经常是失去热量的。这样，就需要有一种或几种运动经常把低纬度的热量输送到高纬度去，否则低纬度气温要比实际观测到的气温高得多，高纬度气温则比实际低得多。此外，大气和地面之间有摩擦力，大气内部相互之间也有摩擦力，摩擦经常使大气运动减速。这样要使东西风带经常维持，就需要一种或几种运动经常从东风带把西风动量输送到西风带去。东风带失去西风动量（正），也就等于得到东风动量（负）。完成所需要的这种热量和动量输送的天气系统就是天气图上经常可以看到的槽、脊和低压、高压等天气系统。

理论上讲，纯粹如图1给出的东西风带也是一种不稳定的气流。受到扰动（如山脉的阻挡和海陆分布的不均匀等），东西风带上也会发展出槽、脊和高、低压来。

图4a、4b和图5a、5b是北半球冬季和夏季500毫巴和地面平均图。可以看出，冬季500毫巴（图4a）

北半球环流最主要的特点是在中高纬度以极地为中心盛行纬向的西风，就是前面讲的西风带。在此之上有三个明显的平均大槽，一个在亚洲沿岸，由鄂霍次克海向西南方倾斜，第二个自北美的大湖区向西南倾斜，第三个自欧洲的白海向西南倾斜。这三个槽中以第三个为最弱。和三个槽相并列的为三个脊，脊的强度比槽弱的多。在较低的纬度带里，槽的位置和数目和中高纬度带不完全一致，如在美洲的加里福尼亚和地中海都有一浅槽。

在地面上（图4b）环流沿纬圈的不均匀性更加显著。主要特点是两大低压，一个在阿留申，一个在冰岛，和一个强大的西伯利亚高压。这就是一般所谓的冬季的几个大的活动中心。两个大低压是和两个高空主槽相对应的，但高空第三个槽（白海槽）相对应的地面没有低压，只表现一个槽。

海上阿留申和冰岛正是冬季北半球低压经常加深的两个地区。冬季西伯利亚高压对我们中国特别重要，它是我国寒潮爆发的一个源地。

到了夏季，在500毫巴（图5a）上整个西风带比冬季要向北移（比较图5a和4a）。此外，夏季在中高纬度出现4个平均槽，比冬季多了一个，即冬季脊区的贝加尔湖以西成了槽区。另外欧洲区域，原来冬季西海岸的平均脊区夏季变为槽区。

夏季500毫巴平均图上还有一个显著特点，就是在两大洋上的副热带高压带，比冬季强大得多，位置也偏北得多。西太平洋上的副热带高压对我国夏季天气有重要影响，它的强弱、位置和东西进退控制着我国夏季雨带的分布，是一个重要的预报对象。

夏季地面（图5b）和冬季地面（图4b）比有非常显著

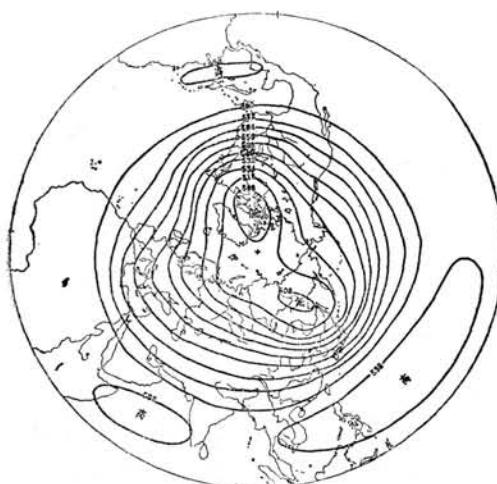


图4a 冬季（1月）北半球500毫巴平均高度图

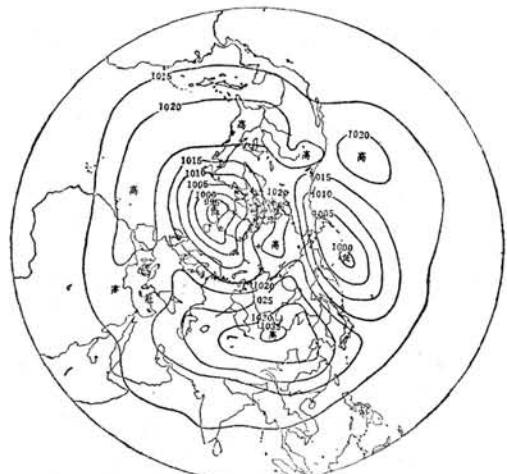


图4b 冬季（1月）北半球海平面平均气压图

的差异，大陆上和海洋上冬夏系统几乎变了相，高变成低，低变成高。这在亚洲尤其明显。这就是大规模风系的季节转变，也就是季风现象，这个问题留在下一部来讨论它。

500毫巴的平均槽区并非每天都有个槽，而是说移动的槽到那里容易加深并且停留。地面的平均低压的地方也表示气旋到这里容易加深并且停留。

上面讨论的都是平均状态，每日的情况就复杂多了。做为例子，我们给出1969年1月8日的500毫巴和地面天气图。比较图4和图6，就可以看出每日天气系统的变化是相当复杂的。仔细比较图6a和6b，可以发现地面的气旋或低槽和500毫巴的系统配合得很好。地面上的气旋和伴随着的锋面对应500毫巴上是一个槽，500毫巴的槽一般在地面气旋或低压之西。地面的气旋或低压一般都顺着高空槽前气流前进。地

面气旋波系和500毫巴长波相互配置的理想关系见图7。图上绘制了4个理想的500毫巴长波槽，每个长波槽前对应地面是一条东北—西南向的冷锋，每条冷锋上有一个气旋族，气旋的强度越向东北愈强。这表示沿着500毫巴槽前气流北上，并且加深。图中的粗线表示500毫巴上等温线密集的地方（即锋区），也表示急流的位置。

四、大气环流的季节交替

前面讨论了冬夏季的平均环流。从冬到夏和从夏到冬，环流的演变称为年变化。随着年变化就有季节的交替。观测的事实表明，冬季的和夏季的环流型式都比较稳定，占全年的时间比较长，而春秋这两个过渡季节相对比较短。从冬季环流型演变到夏季型或由夏季型演变到冬季型都不是渐变，而是经过几次比较迅速

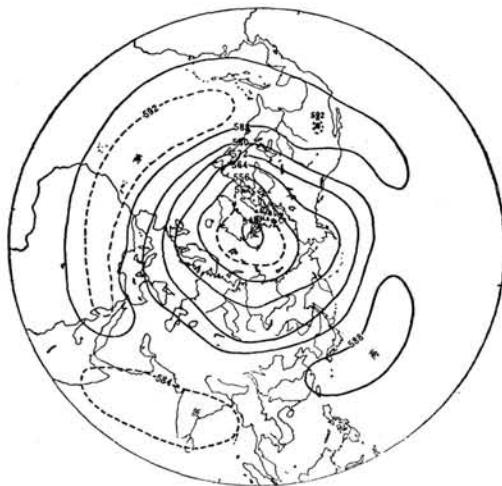


图 5a 夏季（7月）北半球500毫巴平均高度图

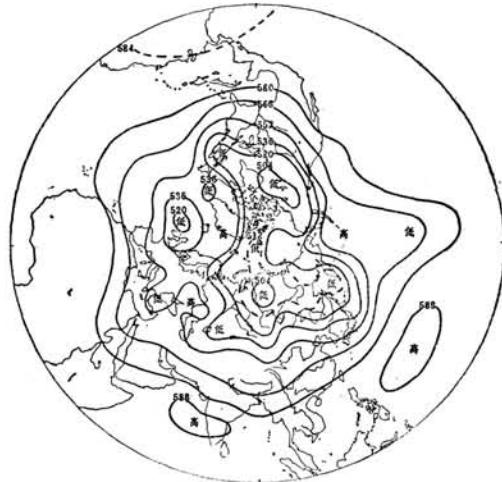


图 6a 1969年1月8日20时500毫巴图



图 5b 夏季（7月）北半球海平面平均气压图



图 6b 1969年1月8日20时地面天气图

的变化演变过去的。相邻两次迅速变化之间的环流比较稳定。其中有两次变化最迅速，具有一定程度的跳跃性。一次发生在5月底到6月，另一次发生在10月中旬。在6月上旬的这次变化中，绕过青藏高原南缘的南支急流突然消失，它的消失，接着就是我国梅雨天气开始建立。此后夏季环流型就比较稳定下来了。在10月中旬这次突然变化中，绕过青藏高原南缘的南支急流迅速建立，印度的西南季风也在此时撤退。

五、经向环流和纬向环流的交替变化

除环流的季节变化外，影响我们日常天气的还在于环流的日常演变。对于北半球或者它的一部份地域（如欧亚地区）的日常水平环流状态主要的有两种，一种是纬向型，另一种是经向型。纬向型就是500毫巴上气流比较平直，在比较平直的西风带上多小槽小脊，缺少深槽大脊。小槽经过时，天气坏一阵；脊过境时，天气好一阵。因为这种环流型上小槽小脊比较多，随气流移动也比较快，所以好坏天气的交替比较快，但强烈的冷暖空气活动比较少。经向型环流是在500毫巴上的西风带为深槽大脊，很强大时深槽可以发展为闭合低涡，大脊也可以发展为强大的闭合高压。闭合的大低涡和闭合的大高压往往移动很慢，常常在一个地区停留比较久。这样，一个地区较长时期被一种天气形势控制，天气就少变，被闭合高压控制的地域容易干旱，被闭合低压影响的地区容易多雨。同时冷空气容易从槽后顺西北气流南下，故易有寒潮活动。纬向型和经向型环流经常交替地演变。一般，这种交替的循环需要2—6周。每次纬向型和经向型交替一次，大范围的天气就发生一次变化。

现在举例阐明这种交替。图8a是1956年2月21

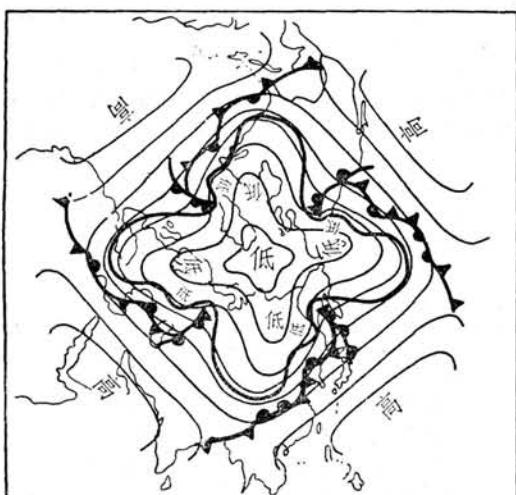


图7 理想的长波和气旋波配置图

日东半球500毫巴形势图。可以看出，这一天东半球的环流比较平直，尤其是北纬50°以南的环流更是如此。此后东半球的环流就逐渐从纬向型变成经向型，到两个多星期以后的同年3月10号（图8b），这个半球的槽脊就发展了。在北欧出现强大的闭合高压，其南为强大的闭合低压；青藏高原之北为一大脊，由此脊延伸出另一脊，经贝加尔湖直伸进极圈。此脊之东为一深槽，鄂霍次克海上空又有一闭合的高压。比较图8a和8b，可以看出，在两个多星期中的东半球，尤其是它的中纬度带的环流经向度有了很大发展。

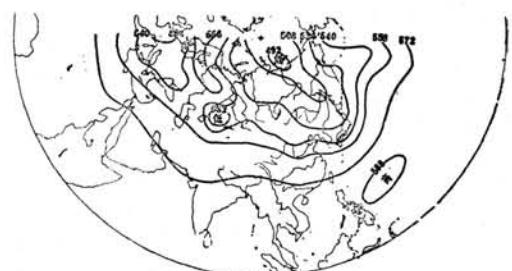


图8a 1956年2月21日23时500毫巴图

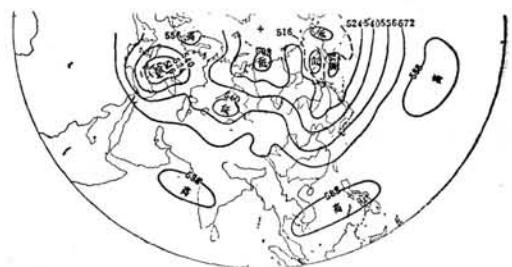


图8b 1956年3月10日23时500毫巴图

经向型和纬向型环流的转变是大气环流中一个重要的问题，它涉及到大范围天气的重要改变。所以环流型的改变是中期预报的一个重要问题。

* * *

由以上讨论可以看出，大气环流是大范围环流的状态，包括空间结构和各种尺度环流系统的演变。一种环流形势演变成另一种环流形势，必将带来大范围天气重大变化。因此大气环流的平均状态影响着气候形成，它的变化反映各种尺度环流系统的演变，是长、中、短期预报的理论基础。

我们知道，灾害性天气（如暴雨、冰雹、狂风等）是比较小的天气系统带来的。但每种小的天气系统都是在适于它形成的大形势环流背景下发展出来的。在不同的大形势背景下，有不同的比较小的系统发生发展。因此，即使对产生灾害性天气的小天气系统的预报来说，研究和掌握大范围环流形势的演变也是很重要的。