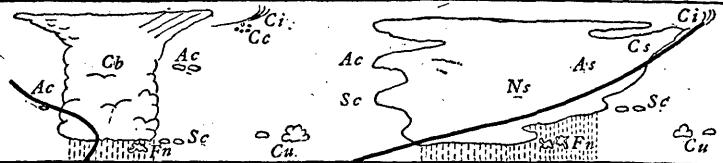


# 云的基础知识 讲座



## 云的宏观特征

童乐天

云的宏观特征是把云作为一个整体来看的许多特征，如云的外貌、生命史，云内的温度、湿度、含水量和气流分布等。而云中水滴的大小、分布等特征则属于云的微观特征。在云雾研究中一般将云按形状和形成系统分为积状云（或称对流云，简称积云，包括积云、积雨云、卷积云、卷云）和层状云（包括高层云、层云、雨层云和卷层云，高积云和层积云也归于这一类）两大类；或按云中的相态分成冰云、水云和混合云；或按云中的温度分为暖云（高于 $0^{\circ}\text{C}$ ）和冷云（低于 $0^{\circ}\text{C}$ ）。这一讲将对积状云和层状云的一些主要宏观特征作些介绍（云的雷达、卫星观测特征将在以后介绍）。

### 积状云的宏观特征

#### 1. 积云的生命史和垂直气流

积云的生命史与垂直气流的关系最为密切。以热对流云为例，在形成之前，地面受太阳照射，近地层形成不稳定层结，出现大大小小的与周围温湿度稍有不同的忽生忽消的气块。气温较高、维持时间较长的气块（也叫对流单体）由于具有一定浮力而飘泊上升，并不断膨胀。当其达到凝结高度以上时，就成为积云的胚胎而形成积云云泡。这种积云云泡的水平尺度一般为几十米，大的也可达几千米以上。几个云泡堆积就形成积云云塔，几个云塔又组成一大块积云。在一大块积云内，各云塔和云泡的生消又是很不一致的。

若把积云作为一个整体来看，在其形成发展阶段，云内盛行上升气流，平均速度约为每秒几米，最大上升气流的位置接近云的顶部。云底及四周则有辐合上升的空气被卷入云内。上升气流带入的水汽凝结后释

放出的潜热，使云中的等温线向上凸起，有利于上升气流的进一步发展。由于云中有较强的上升气流托住水滴，一般不会有降水产生。云的顶部和边缘的轮廓都很清楚（见图1）。

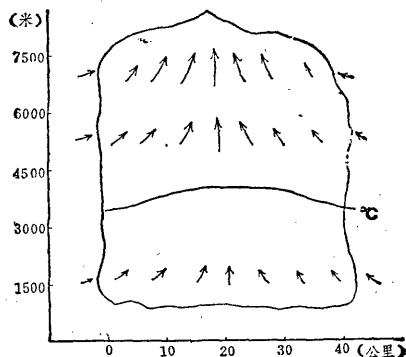


图1 积云形成发展阶段示意图

在积云发展的成熟阶段，云顶发展受到对流层顶或很强的稳定层的阻尼，云顶由花椰菜形而变为顶部结构模糊的砧状，直至其顶部边缘出现冰晶化的丝缕结构。云中水滴由于不断凝结、碰并而长大，到上升气流托不住它时便下降而形成降水。降水物下降时的拖拽作用和降水物在云下蒸发吸热会导致云中出现下沉气流。下沉气流到达地面后又向四周扩散而出现辐散气流。因此，这时云的前部和上部仍有上升气流吸入周围空气，其速度可达20—30米/秒，而在云的后部则是以下沉气流为主的垂直气流，一般速度为2—3米/秒。云内的等温线的形状也与云中的垂直气流分布相一致（见图2）。这一阶段主要的天气现象是雷阵雨和阵风，有时也会出现冰雹。

在积云的消散阶段，云内上升气流已逐渐减弱，下沉气流占主导地位。云中的温度由于下沉气流的作用而比周围温度低。以后，随着降水的减弱，下沉气流也逐渐减弱以至消失，使云中的温度和周围空气温度趋于一致。于是云块逐渐瓦解。云顶部分离出伪卷云或高积云，下部平行为层积云。

以上所述是积云生命史的一般情况。有时积云只发展到淡积云或浓积云或秃积雨云的阶段。各阶段的强度、持续时间和伴随的现象也都随当时的天气条件而会有较大的差异。

在浓积云附近，云外的气流几乎都是向云内辐合

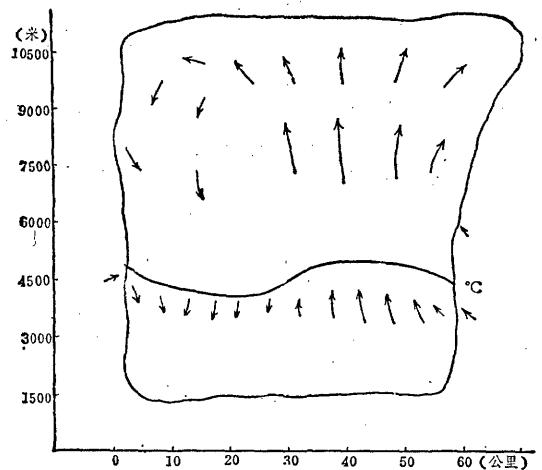


图2 积云成熟阶段示意图

的。而在积雨云附近，中部是辐合气流，上部和底部则是辐散气流为主。

## 2. 积云的空间尺度

积云的水平扩展范围和垂直伸展范围具有同一量级。但其空间尺度在不同地域、不同云块和不同发展阶段都有很大的差异。北方水汽少的地方，积雨云只有3—4公里厚，而在中低纬度，浓积云就可达5—10公里厚，积雨云则可伸展到对流层顶甚至平流层内。

## 3. 积云的含水量

积云内含水量随高度的分布与垂直气流的分布相类似。在浓积云内，每个云泡的上部对应着一个含水量的高中心（见图3）。在积雨云内，含水量的高中心一般在云的中部。这是因为上升气流不断携带水汽入云，云中的水汽凝结成水滴后又碰并增大。大水滴受重力下落时又受上升气流的阻尼。于是在云的中部就形成了水份的累积区。这也是以后开始降水的源地。但是由于积云的云泡不断生消，受云中小股下沉气流和湍流运动的影响，使含水量的分布很不均匀。

由于卷夹干空气使云内外空气有较多的混合，积云中的实际含水量一般都比根据空气团绝热上升凝结计算出来的凝结水量小，并且愈到高空，相差愈大。

## 4. 积云中的湍流

湍流是流体中一种速度随时间和空间变化都没有明显规律性的不规则运动。飞机对一块浓积云的观测表明，湍流强度由云块的外围向云的内部而递增，在云

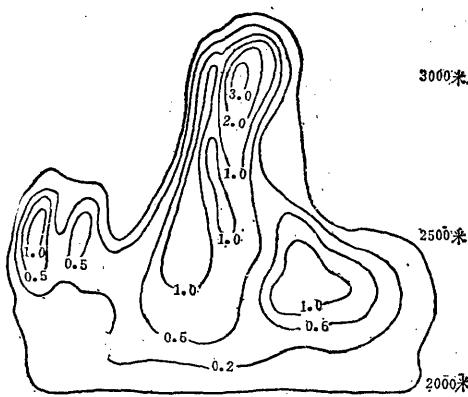


图3 浓积云含水量分布示意图

块的中下部可达7米/秒，而在云的边缘则为1米/秒左右。

观测还表明，大气湍流的水平范围经常超过云底的面积2—3倍，在垂直方向上也往往比云体的厚度大得多，但湍流的强中心一般都在云内。

### 层状云的宏观特征

#### 1. 层状云的生命史

层状云的形成过程可大致分三种情况来叙述。第一种是气层被迫缓慢抬升（主要为锋面抬升）膨胀冷却而凝结成云。微弱的上升气流（一般为1—7厘米/秒之间）源源不断地将水汽输送入云，使层状云维持较长的时间。第二种是气层在湍流运动作用下，湍流混合层内的温度直减率变大，使得上层空气温度降低，外部的水汽又不断卷入混合层。于是在湍流混合层的上部，即逆温层的下面形成比较稳定的层状云。由湍流作用而形成的多为层云、层积云之类，其厚度一般不会太大。第三种是气层因辐射冷却降温而凝结成云。它的开始阶段常为辐射雾，日出后雾抬升为层状云（层云或层积云），以后随着太阳辐射的逐渐增强而消散。

由上述可见，层状云尤其是大尺度的层状云，主要是暖湿空气的缓慢上升所造成的。其维持时间的长短和范围的大小，也主要取决于上述形成条件的变化情况。

#### 2. 层状云的时空尺度

层状云的空间尺度和积云大不相同，以暖锋云系为例，其水平范围在锋线的垂直方向上平均可达六、七百公里，而沿锋线方向则可达一千多公里。其降水区也

可伸展至三、四百公里。虽然其垂直厚度也可达六、七公里，但其水平尺度比垂直尺度还大1—2个量级。

层状云维持的时间，也因其形成过程不同而不同。由锋面缓慢抬升而形成的锋面云系，存在的时间可长达一周以上。而单纯由不规则湍流或夜间辐射冷却而形成的层云或层积云，则存在时间较短，往往夜生晨消。其水平范围也较小。

#### 3. 层状云的温度场

层状云的温度场的一般特征是云的上部或顶部往往有一逆温阻抑层。因此，云层主要向水平方向伸展。云中和云下的温度垂直递减率接近于湿绝热递减率。

观测发现，云内的温度垂直梯度与云顶的起伏有密切的关系。云顶起伏较大时，云内的温度垂直梯度亦较大。而云顶比较平坦时，云内的温度垂直梯度也较小。

层状云的温度水平分布一般比较均匀，没有明显的起伏。

#### 4. 层状云的含水量

层状云的含水量除雨层云外都比较小，而雨层云的含水量也只是与积状云相近。

高积云、层积云和层云主要由近地面的水汽，经过湍流向上输送凝结而成。在云顶附近湍流减弱，水汽不易再往上输送，水分在此处累积而出现含水量的高值区。而雨层云、高层云的内部，由于有较小的上升气流，水汽可一直输送到较高的高空，但其液态含水量的高值区，则仍出现在云的下部接近云底的高度上，并且由此向上，含水量很快减小。

由于层状云的水平尺度很大，云内空气与周围大气的混合作用比较小，所以实测到的含水量与假设空气绝热上升凝结出来的液态水量的数值很接近。

层状云的含水量一般较积状云为少，为什么其降水量又往往很大呢？这是因为层状云（主要指雨层云和高层云）的降水效率高的缘故。层状云将由上升气流带进来的水分，绝大多数都又变成降水下降到地面，并且一边不断带进来水汽，一边又变成降水下到地面。因此，层状云的降水量常常为其云中含水量的几十倍。而积状云的上升气流虽强，但其水平尺度较小，云侧面辐合气流卷夹进来的干空气的混合、湍流作用和云中下沉气流引起的蒸发，都使对流云的降水效率不如层状云。