

第一章 云的观测

概述

定义 云是悬浮在空中的**小水滴或冰晶微粒**，或两者混合组成的可见集合体
有时也包含一些较大的云滴，冰或雪粒。**云的底部不接触地面**。

意义

1. 反应**物理状况**。其外形，数量，分布，移动和变化。
2. 预示未来天气变化的**重要征兆**。云的形成与演变是大气中运动的具体表现。（凝结核：破坏张力）
3. 云与地气系统**能量平衡**（云自身能发生辐射，也能反射太阳辐射，能吸收地面长波辐射等等，对辐射贡献的正负性仍然较难判断，尤其是冰云，其散射很难判断（目前发现有 30 多种冰结构））
4. 云与人工影响天气，云与航空**安全**。

观测云的任务：**云状 云量 云高**

云状的分类

三族十属二十九类

三族：（按云底高度划分）

低云	<2500	赤道地区相对更高
中云	2500-6000	
高云	>6000	

十属：（按形成机理分）

二十九类：（按外形特征分类）

WHO：分为 3 族、10 属、31 类；将雨层云划分在了中云族

积云 Cu

淡积云 下方相对平坦，中间有黑影，形似花菜，**横向宽度大于纵向深度**，扁平

碎积云 淡积云**消散或风吹时**，边缘有不规则的边界，**很薄很碎**。

浓积云 纵向深度高，**厚度可能会超过宽度**，臃肿高耸，顶部开始有向上的突起。由淡积云增长而来。浓积云一般为单个出现。

形成机理：靠**对流**形成，在阳光照射下地面增温使空气变热，气块密度降低，低于背景大气密度导致上升，上升过程为绝热，气块对外界做功，温度下降，直到凝结温度，热对流导致积云产生 **在不稳定层结的空气中，由于热力和动力产生对流作用，使水汽凝结而成的云** 一团空气上升，开始时其内部水汽含量和温度的水平分布基本均匀，从而水汽产生凝结的高度是一致的，因此，积云通常拥有平整水平的底部。由于在形成阶段，云内为上升气流且云顶中央上升气流最强，四周较弱，云外为下沉气流，造成积云具有圆拱形向上突起的顶部与明显的轮廓。

淡积云：抬升高度取决于背景大气的稳定程度。不稳定时斜率高，稳定时斜率低。最高上升至对流层顶。

影响：旺盛的积云可降小阵雨

积雨云 Cb

是**阵性降水云**，有时有冰雹和龙卷风。云顶由冰晶组成，有白色毛丝般光泽的丝缕结构。

秃积雨云：浓积雨云继续向上增长，上方有明显突起，有**尖耸突起**。是一种过渡阶段。

鬃积雨云：积雨云的成熟阶段，顶部到达对流层顶部，向两边延展，顶部有明显的**白色毛丝般冰晶结构，砧状结构**。

其是一边抽水，一边降水的循环机制。大量碰撞产生电场相互作用，使正电荷与负电荷产生距离，导致放电。

悬球状云底：在降水之前，鬃积雨云云底混乱不堪，但有时会有规律，形成悬球状云底，通常预示着降水到来

层积云 Sc

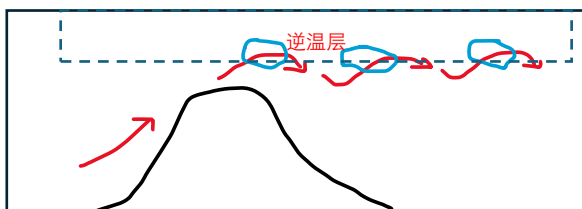
形成机理：由于空气的波状运动和湍流混合作用使水汽凝结而成。一般表示天气稳定，若层积云逐渐加厚，甚至融合成层，则表示天气将有变化。

对天气的影响：影响日气温变化：白天降低日照，夜晚又阻碍冷空气的扩散，所以形成凉爽、潮湿的天气。

透光层积云：呈现一条一条，波状运动形成的云，云条平滑且透光性差，但云缝多且明显。

蔽光层积云：云较厚，不透直射光，仅剩散射光，结构与透光层积云基本一致，厚处很黑，薄处不透光。可能会有多个方向波状运动导致混乱，底部有明显起伏。

堡状层积云：积云发展时有逆温层存在，朝有城堡云，午后雨淋淋。若冷锋过境，会导致逆温层减弱减薄甚至消失，使得下方图示中上升运动能够突破逆温层，导致继续对流，在这些位置形成顶部凸起（需要大量出现）。未来可能变为积雨云。局部垂直发展。



积云性层积云：云块大而厚，成条状，其顶部仍然有积云特点，常出现于夏季的傍晚。有很厚的逆温层，导致向两侧扩展。呈灰色条状，表明天气系统趋向稳定

荚状层积云：类似 UFO，若有多层表明存在震荡。中间厚边缘薄，个体分明。

层云 St

形成机理：层云是在气层稳定的情况下，由于夜间强烈的辐射冷却或湍流混合作用使水汽凝结或由雾抬升而成。

层云：低且均匀的云层，像雾但不接地，呈灰色或灰白色。其厚度很薄很低，常见于夏季山间与海岸线，晴朗夏季山区夜晚形成冷却雾，到早晨时地面二次加热，随即地表雾蒸发，雾被抬升。冬季可能维持数日。早晨的雾一定会被抬升

碎层云：不规则的松散碎片，形状多变，呈灰色灰白色，高度非常低（区别于碎积云）。山地可随时生成，一般为层云导致。

雨层云 Ns

雨层云：厚而均匀的降水云层（至少 2-3km），云顶可延伸至 4-6km，含水量高，可完全遮蔽日月，呈现暗灰色，底面十分平坦，有连续性降水。冬日持续性降雪也为雨层云。例如江淮静止锋梅雨

形成：常出现在暖锋云系中，由潮湿空气系统滑升，绝热冷却而成。常由高层云加厚，云底降低而成。

碎雨云：雨层云下方一块一块的小云朵，低而破碎的云，形状多变，灰色，移动速度快，常出现在降水。高度十分低。

形成：自上而下产生，在雨层云的下方形成小的降水，越往下温度越高，从而又蒸发为水汽。

高层云 As

带有条纹或丝缕结构的云幕，灰白或灰色，可见日月，**云底没有明显的起伏**

透光高层云：较薄而均匀的云层，呈灰白色，**日月轮廓模糊，像透过一层毛玻璃，地物无影**（冰水混合云而致）

蔽光高层云：云层较厚，厚度变化较大，**看不见日月**，呈灰色，有时微带蓝色，有些微微透亮的地方有丝缕结构。

形成：高层云常由卷层云变厚或雨层云变薄而成。多在**中纬度**地区出现

对天气的影响：它的出现表明该地区有上升空气。预示着移动的气旋会到达，形成**长期固定的降雨或降雪**。夏季与风暴或热带气旋有关

高积云 Ac

透光高积云：个体明显，**排列规则**，但各个部分透明度不同，**云缝中可见青天**。云层不厚，目测云条较窄。**注意：其可能与絮状高积云混淆，所以要连续观测。**

形成：逆温层，十分稳定。

蔽光高积云：连续，云块深暗而**不规则**，几乎完全**不透光**

积云性高积云：由积雨云、浓积云延展而成，常常伴随积云出现。透光性相对好一些，**云底不太圆润，预示天气稳定**

堡状高积云：外形和堡状层积云很像，但云块较小，高度较高。

絮状高积云：**云块边缘部分破碎**，像破碎的棉絮团，云块大小不同，高低不同（晴空湍流导致的温度不均匀产生高空对流）**晚霞的那种，零碎不成连续片**

形成：常由天气系统过境，层级不稳定，温差过大。由于空中**潮湿气层不稳定**，有强烈乱流，**预示有雷雨天气**。

荚状高积云：边缘有丝缕结构，中间厚，呈现豆荚状，长产生虹彩。

卷云 Ci

毛卷云：纤细分散的云，呈现丝条、羽毛、马尾形，是**独立的个体**，预示着晴天。若厚度增加，可能发展为卷层云。

密卷云：较厚的，成片的卷云，中部时有暗影，边缘部分卷云特征明显，底部易被风吹散，**常有雪幡**。表示天气稳定。

雪幡：固态降水粒子，从云中降落呈现幕状

伪卷云：**鬃积雨云顶部脱离母体**而形成，云体大而厚。雨过天晴后出现。

形成：降雨导致的云体下降，导致鬃积雨云顶部砧状结构被留下。

钩卷云：形似**逗号**，水平，由于垂直风速不同切削而成（**风切变**），头部有变形，尾部拖尾相当长。将在**短期内有阴雨天气**（大量出现）。

卷云的形成机制是多样的，仍未有定论，不太好观测（雷达截面小，飞行高度不足），观测资料少。

由于**高空对流**而形成，往往带有积云的形状；由于**卷层云边缘展裂**而成；由于**高积云抬升**转化而成；由高积云所降**雪幡残留**空中而成；

卷层云 Cs

卷层云由湿空气作大范围缓慢斜升运动而膨胀冷却所造成，标示了高海拔地区的潮湿地域及大面积的空气上升运动

毛卷层云：**不均匀。白色丝缕**结构明显，云体厚薄不很均匀 形如大量的毛卷云成层出现 大量的冰晶，有环天顶弧。**可编织成网状结构**

薄幕卷层云：十分均匀。日月轮廓清楚可见，**有晕，地面有影，暖锋过境**。或者过冷气候也可形成。

卷积云 Cc

云块很小，**白色细鳞片状**，常成行、成群排列整齐，很象微风吹拂水面而成的小波纹。由**高空层结不稳定产生波动**而形成的：大波和小波交错融合，大波通常由底层波上传，波长与振幅不断增大（底层密度大，顶层密度小），导致不稳定，波产生破碎，形成小波与湍流。常有**暴风雨**天气

三指判断法 若三指能遮挡住云条，就不是层积云；卷积云一个小指头能挡住。

云的形成机理

基本过程

云的形成过程是空气中的**水汽**达到**饱和或过饱和**状态而发生**凝结、冻结、凝华**的过程。途径主要有：

1. 水汽增加 2. 降温冷却 3. 同时出现

对流云：由于**对流作用**，使大气中的水汽上升，达到**凝结高度**形成的云叫对流云。对流云边界轮廓清晰，底部较平整。

取决于背景大气的减温率，每公里 8k，湿绝热 6k；取决于对流强度、水汽含量和凝结高度

形式：**表面加热**自由对流、地形**被迫抬升**、空气**辐合**引起的大范围抬升、沿**锋面**的抬升

冷云：出现于鬃积雨云，受表面张力影响导致中部冷云形成大量过冷水（ $<0^{\circ}\text{C}$ ），给冰雹形成提供非常良好的条件。

波状云 大气层受**地形扰动**抬升，达到凝结高度形成的云

在**逆温层**附近**上升、下沉运动**产生的云

荚状云 在**局部上升和下沉气流汇合处**产生的云。上升气流携带暖湿空气的上升中遇到下沉气流的阻挡，云体不能向上扩展；另外，下沉气流的绝热增温使云体的边缘发生蒸发，导致云体边缘变薄，使云体形成豆荚状

堡状云 **空中对流云**在低层空气较稳定，而中空不稳定时，空中对流突破逆温层而形成的云

絮状云 与堡状云相似，只不过云中湍流和对流更强一些，致使云层发生形变

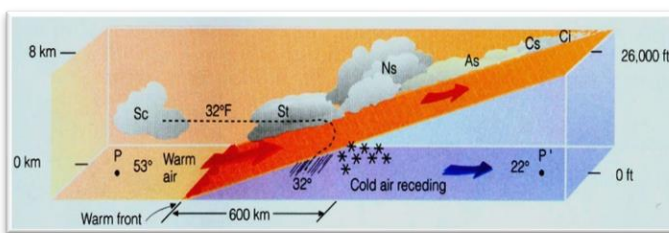
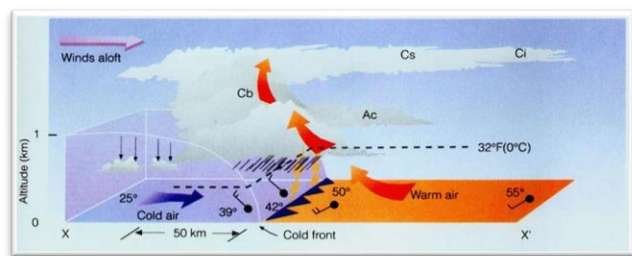
钩状云 由于冰晶云的下垂部分因**高空风速有较大的垂直切变**，并伴有蒸发现象而形成的；意味着大的温度梯度→坏天气

锋面云系

由于气流在锋面的辐合、近地层的摩擦辐合和高空锋区环流的作用下加速辐合，形成大范围的垂直气流

冷锋：积雨云；

暖锋：活跃的**暖锋云带最宽**，云系序列：卷云(Ci)，卷层云(Cs)，高层云(As)，雨层云(Ns)



云量观测

云量指云遮蔽天空视野的**成数**，包括**总云量与低云量**。总云量记为分子，低云量记为分母，例如 10/6
云量记录规则：

全天无云，总云量记 0

天空完全为云所遮蔽，记 10

布满天空但是又有缝隙时记为 10⁻

全天无低云或虽有少许低云但其量不到十分之零点五时，低云量记 0

但如有云隙能见到青天或看到上层云时，低云量记 10⁻

例题：

1. 下层为层积云，布满全天，上层为卷积云，布满全天。则为 10⁻/10⁻
2. 天空有微量毛卷层云，不足 1/20 0/0
3. 云布满全天有空隙，毛卷云 6 成，淡积云 2 成，层积云 2 成 10⁻/4

测量方法：

目测 补贴法、等分法、球带法

器测

全天空成像仪 适用于**白天** 由向下观测的固态 CCD 成像仪获取被加热的半球形旋转镜面上形成的天空图像进行云量测量的。只能应用于白天太阳高度角大于 5~10°的情况

- 1) 主体部分由鱼眼镜头、数字 CCD 相机构成
- 2) 需要一个特殊装置对太阳进行遮挡
- 3) 由于 CCD 的特性，只能适用于可见光波段，在白天使用
- 4) 半球保护罩要配以加热通风装置，保证表面不结冰（露）
- 5) 后期需要图像处理来计算全天空的总云量

为防止过曝：降低分辨率，增大感光面积，50 微米大像素

CCD 电荷耦合器件 CCD 是一种用电荷量表示信号大小，用耦合方式传输信号的面阵传感器，具有波谱范围宽、畸变小、体积小、重量轻、功耗小、寿命长、可靠性高等一系列优点，并可做成集成度非常高的组合件。

红外云分析仪 适用于**夜间** 通过扫描来测量天空红外辐射，可用于夜间观测。硅半导体不能满足要求，所以选别的。

- 1) 使用制冷（降噪，提高信噪比）红外焦平面阵列（*InGaAs or XenICs*）
高端成像红外 CCD 基本无国内产品。
- 2) 获取 8~14 微米波段的全天空向下的云水红外辐射数据
- 3) 昼夜连续进行针对云量、云状、云高自动观测的仪器
- 4) 适用范围广，但成本昂贵

云高观测

目测 准确性差，不关注

1. 凭经验
2. 根据云状估测：根据云状来估测云高，判定云状，同时根据云体结构，云块大小、亮度、颜色、移动速度等情况进行估测。
3. 根据已知目标物高度估测：当测站附近有山、高的建筑物、塔架等高大目标物时，可以利用这些物体的高度估测云高。
4. 根据经验公式测算

积云、积雨云云高（计算露点高度，则可知云高）

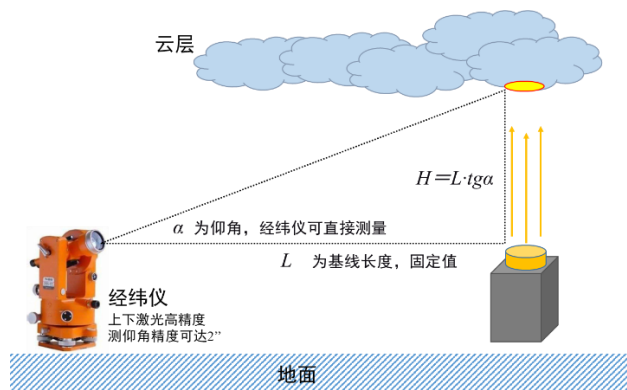
$$H = (t - t_d) / (\gamma_d - \gamma_z) \approx 124 (t - t_d)$$

式中 H 为云高 (m)， t 为地面气温 (°C)， t_d 为地面露点温度 (°C)。

器测

云幕灯 $H = L \tan E$

要求 L 基线值尽可能长，使仰角较小，一般在 1-2km 左右。广泛应用于**机场**



激光雷达

台站观测云高的常规方式。

仪器由发射望远镜、接收望远镜和电子门组成

当激光通过发射望远镜发射激光的同时由参考脉冲使电子门打开，于是计数电路就对时标脉冲计数。

激光脉冲遇到云层被云滴散射，其中后向散射部分被接收望远镜接收后，通过光电转换系统指令使电子门关闭，计数停止。

计数电路记下从电子门开放到关闭的时间间隔，即为激光在测云仪和被测目标物之间往返一次所经历的时间。通过光速和时间，可以得到云底高度。

需要脉冲激光器，一秒钟 50 多个脉冲激光，采集器能够将 1s 中分为 10^9 份，足以精细化判断云高。

云在天空的分布常常是分散的，所以测得的云底高度值与激光云高仪的位置和仰角有关。

为了得到最低云，或者不同位置的云底高度，可以发射仰角不断变换的激光。发射的激光脉冲以 $0^\circ \sim 85^\circ$ 仰角旋转。

云底的概念比较模糊，随着激光雷达的波长不同而有不同取值，其为真实为平滑的渐变层。

气球测云高

已知升速的氢气球，观测其从施放到进入云底的时间，乘以气球升速：云底高度 = 气球升速 × (分钟数 + 秒数/60)