

的冷却过程有绝热冷却、辐射冷却、平流冷却及乱流冷却等。云、雨主要是由空气上升中绝热冷却产生的；辐射雾及平流雾则主要是由辐射冷却及平流冷却形成的。

实际大气中，有时会有以上两种作用并存的情况，既有水汽含量的不断补充，又有大气的冷却过程，这将更有利于空气达到饱和以及水汽的凝结。另外，凝结核对大气中的水汽凝结具有很重要的意义。实验证明，在完全纯净的空气中，相对湿度超过 100% 甚至达到 600% 时，仍不会发生凝结，就是因为缺少凝结核，水汽分子无从依附。可见，大气中如果缺少了微尘杂质，特别是可溶性杂质的话，云、雨、雾等水汽凝结现象也就很难见到了。

※ 自我检测 6：大气中水汽凝结的途径为_____。

I. 增加湿度；II. 降低温度；III. 增加温度；IV. 绝热上升；V. 绝热下沉；VI. 增加凝结核。

A. I ~ IV, VI

B. I, II, IV, VI

C. II, IV ~ VI

D. I, II, IV ~ VI

在船舶货运中，为了防止货物受潮霉变，保证货运质量，要经常注意货舱内外空气湿度的变化，以采取正确有效的换气或通风措施。货舱有“出汗”现象时，是因舱内空气过于潮湿，水汽凝结于较冷的舱壁及货物表面所致，这时最好采取通风措施，将舱内潮湿空气排出。一般而言，应该定时观测、计算舱内舱外空气的露点(t_d)，当舱内 t_d 大于舱外 t_d 时应通风；当舱内 t_d 不大于舱外 t_d 时应停止通风。有关详细内容在船舶货运中有介绍。

【天气小谚语】

天上钩钩云，地上雨淋淋。

第八节 云和降水

【本节内容】

熟悉云的组成、形成和消散条件；掌握云的两种分类方法、各种云的名称及国际简写符号；重点熟知积状云的天气；了解降水的定义和种类；了解降水量和降水强度的含义；掌握不同性质降水与云的对照关系。

【案例导入】

看云识天气

天上的云，真是姿态万千，变化无常。它们有的像羽毛，轻轻地飘在空中；有的像鱼鳞，一片片整整齐齐地排列着；有的像羊群，来来去去；有的像一床大棉被，严严实实地



盖住了天空;还有的像峰峦,像河流,像雄狮,像奔马……它们有时把天空点缀得很美丽,有时又把天空笼罩得很阴森。刚才还是白云朵朵,阳光灿烂,一霎间却又是乌云密布,大雨倾盆。云就像是天气的“招牌”:天上挂什么云,就将出现什么样的天气。

天空中飘浮的云(Cloud)千姿百态、变幻无穷,是自然界最壮观的大气现象之一。有些云出现时,会直接引起强烈的阵风、雷雨、冰雹、龙卷或低能见度等恶劣天气,给海上船舶航行带来严重危害。云就像大气的一面镜子,经常能够很好地反映出大气当时的物理状态或指示未来的变化趋势。因此,掌握云的类型及其变化规律,对分析和预测海上天气具有重要意义。

一、云的形成和消散

云是由大量小水滴、小冰晶或两者的混合物组成的悬浮在空中的可见聚集体。显然,水汽的流入补充和促使水汽在空中达到饱和的大气环境是形成云的基本条件。换言之,形成云的过程就是使空气中的水汽达到饱和或过饱和的过程。当水汽过饱和状态得以维持时,云就继续发展。

研究表明,单凭蒸发作用在多数情况下不足以产生较大厚度内的饱和现象,只有当水汽流入并伴有空气冷却过程时才有利于云的形成。在自由大气中空气的冷却过程主要有绝热上升、乱流交换和辐射冷却,云是上述三种冷却过程单独或共同作用的结果。在大多数情况下,特别是较高和较厚的云层,绝热上升运动起着主要作用(见图 1-48)。

因此,云的形成条件可以简单归纳为下式:

上升运动 + 水汽 → 云形成

下沉运动 → 云消散

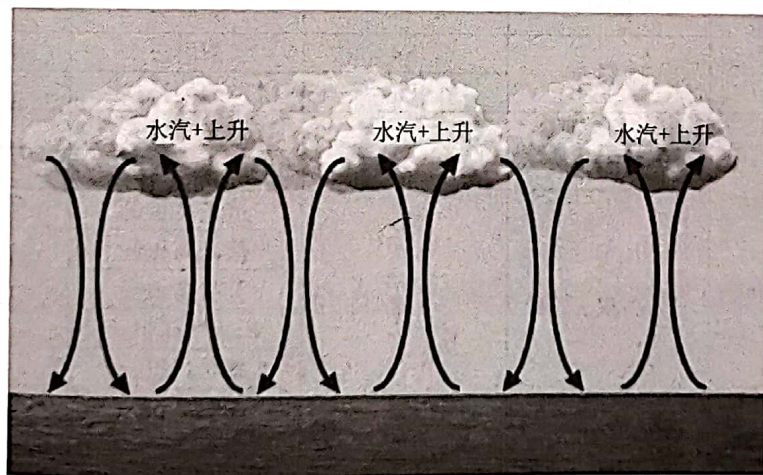


图 1-48 云的形成示意图

※ 自我检测 1: 形成云的最主要的冷却过程为_____。

- A. 绝热冷却
- B. 辐射冷却
- C. 平流冷却
- D. 乱流冷却



二、云的分类

云的种类繁多、形态各异,在气象上根据云的不同特性将它们一一归类,主要有以下两种分类方法。

(一)按云底高度划分

根据云底的高度,我国将云分成高云、中云、低云三大云族,再按云的外形特征、结构和成因将其划分为十属二十九类,如表 1-4 所示。

表 1-4 云的分类(三族十属二十九类)

云族	云属		云类	
	中文学名	国际简写	中文学名	国际简写
低云 ($<2\,500\text{ m}$)	积云	Cu	淡积云	Cu hum
			碎积云	Fc
			浓积云	Cu cong
	积雨云	Cb	秃积雨云	Cb calv
			鬃积雨云	Cb cap
	层积云	Sc	透光层积云	Sc tra
			蔽光层积云	Sc op
			积云性层积云	Sc cug
			堡状层积云	Sc cast
			荚状层积云	Sc lent
	层云	St	层云	St
			碎层云	Fs
	雨层云	Ns	雨层云	Ns
		Fn	碎雨云	Fn
中云 ($2\,500 \sim 5\,000\text{ m}$)	高层云	As	透光高层云	As tra
			蔽光高层云	As op
	高积云	Ac	透光高积云	Ac tra
			蔽光高积云	Ac op
			荚状高积云	Ac lent
			积云性高积云	Ac cug
			絮状高积云	Ac flo
			堡状高积云	Ac cast
高云 ($>5\,000\text{ m}$)	卷云	Ci	毛卷云	Ci fil
			密卷云	Ci dens
			伪卷云	Ci not
			钩卷云	Ci unc
	卷层云	Cs	毛卷层云	Cs fil
			薄幕卷层云	Cs nebu
	卷积云	Cc	卷积云	Cc



(二)按上升气流特征划分

根据形成云的上升气流的特点,云可分为积状云、层状云和波状云三大类。积状云包括淡积云、浓积云、秃积雨云和鬃积雨云,卷云也属于积状云;层状云包括卷层云、高层云、雨层云和层云;波状云包括层积云、高积云和卷积云。

1. 积状云

积状云是孤立、分散、垂直发展的云块,有水平的底和明显的圆弧状结构,如积云和积雨云(见图 1-49)。



图 1-49 积状云

积状云形成于不稳定自由对流的大气中,积云发展是大气层结不稳定的标志,故积状云又称对流云。稳定大气中不可能产生积云。

大气具有不稳定能量,经动力或热力作用抬升到自由对流高度,而且凝结高度低于对流上限时,才会形成积云。各种积云的发展取决于大气中不稳定能量的大小。不稳定能量小的大气中只能形成淡积云,云底高度一般在 500 ~ 1 200 m,厚度为几百米到 2 km。淡积云中上升气流速度不大,一般不超过 5 m/s,云中乱流也极弱。当大气中具有较大不稳定能量时,淡积云可发展为浓积云。发展成熟的浓积云,云厚可达 4 ~ 5 km。在中纬度地区,即使在暖季,云顶也可伸展到温度为 0 ℃ 的高度以上,因此浓积云顶常由过冷却水滴组成。浓积云中上升气流速度比淡积云中大多得多,可达 15 ~ 20 m/s,云中乱流也较强烈。

积雨云(Cb)生成于暖湿、具有很大不稳定能量并有适当抬升作用的大气中。一个积雨云的生命史可分为形成、成熟和消亡三个阶段。其主要特点是,出现阵性降水、阵性大风和雷暴等剧烈天气现象。积雨云的厚度很大,中纬度地区为 5 ~ 8 km,低纬地区可达 10 km 以上,有时可伸展到对流层顶。积雨云中上升气流速度可达 20 ~ 30 m/s,最大曾观测到 60 m/s。云中乱流强烈。

2. 层状云

层状云的主要特点是云层均匀,呈幕布状,范围较大。与积状云相反,层状云形成于稳定大气中,层状云的出现是大气层结稳定的标志。层状云上部通常有逆温层存在,云不易向上发展,只能向水平方向伸展,云顶较为平坦,形如海面起伏,称为“云海”,十



分壮观。

层状云是由系统性抬升作用产生的,其中以发生在暖锋面上的云系最为典型,如图 1-50 所示。此外,在气旋或低压槽的气流辐合区或迎风山坡上也能形成层状云。系统性抬升运动的水平范围通常很大,一般都在几百到几千千米以上。上升速度较小,只有 $1 \sim 10 \text{ cm/s}$ 。持续时间长,有时可达 1 周以上。暖锋上的云系包括卷云、卷层云、高层云和雨层云,排列很有规则。云层较均匀,由薄变厚,云底高度降低,范围宽广。云底大体与锋面斜度符合,云顶近于水平。



图 1-50 层状云

实际暖锋出现的云可能比上述模式复杂得多。云层中有时会出现断裂及稀疏厚薄不均匀的现象,这是上升速度及湿度不均匀所引起的。当空气特别干燥时,暖锋上只出现高层云及卷层云,在垂直方向上可能出现厚达数百米的无云间隙层。此外,空气乱流和辐射冷却能形成层云或雾。

3. 波状云

波状云是由许多呈波浪形的碎云块、云片或云层组成的云,形如耕地或棋盘格,有时可以出现明显的双重波形系统(见图 1-51)。

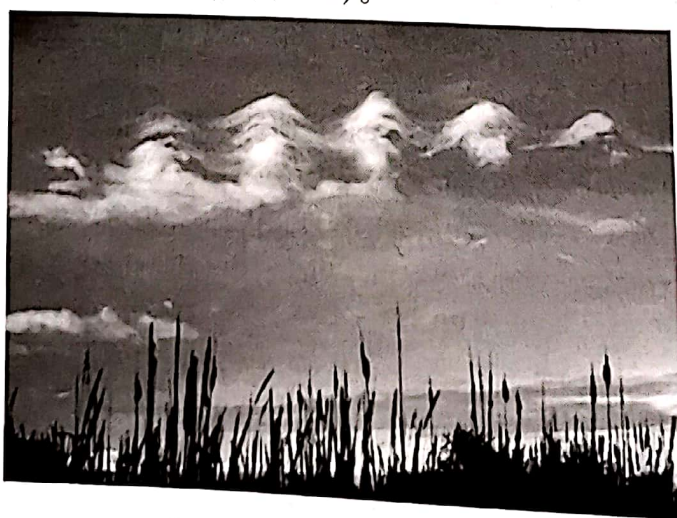


图 1-51 波状云



在逆温层上下,空气的密度以及风向、风速都有较大的差异,因此经常会产生波动。当逆温层下水汽积聚较多时,在波峰处空气绝热上升膨胀冷却而形成云,在波谷处空气绝热下降,增温而不会形成云。大气中的这种波动可形成卷积云(Cc)、高积云(Ac)或层积云(Sc)。如果已存在的层状云上发生波动,则波峰处的云层会加厚,波谷处的云层会变薄,原来均匀的层状云就转变为波状云。当逆温层下积聚大量的水汽或尘粒时,夜间该气层辐射冷却就特别强,常使空气趋于饱和,稍有乱流和波动就会形成波状云。因此,实际上波状云往往是气层辐射冷却和乱流混合共同作用的结果。山的背风坡能产生气流波动,因而常出现波状云。

波状云一般厚度不大,只有几十米到几百米,个别情况下可超过 2 km。有时在不同的高度和方向上同时出现许多振幅和波长不同的波动,使天空出现多层次、复杂壮观的波状云。显然,波状云的出现也是大气层结稳定的标志。

※ 自我检测 2: 下列属于低云的有_____。

I. Cu; II. Sc; III. Ac; IV. Fn; V. Cs; VI. Cc。

A. I ~ VI

B. I, II, IV

C. II ~ IV, VI

D. II, IV ~ VI

三、降水

从云中降到地面上的液态水或固态水,称为降水(Precipitation)。常见的降水形式有雨、雪、霰、冰雹等。

(一) 降水量和降水强度

降水(包括近地面凝结出的露水)未经蒸发、渗透、流失,在水平面上所积聚的水层深度,称为降水量,以 mm 为单位。

单位时间内的降水量,称为降水强度。常用单位是“mm/h”“mm/d”。表 1-5 和表 1-6 分别是我国气象部门规定的常用降雨量等级表、降雪量等级表。

表 1-5 降雨量等级表

降雨等级用语	12 h 总降雨量/mm	24 h 总降雨量/mm
零星小雨	<0.1	<0.1
小雨	0.1 ~ 5.0	0.1 ~ 9.9
中雨	5.1 ~ 15.0	10.0 ~ 24.9
大雨	15.1 ~ 30.0	25.0 ~ 49.9
暴雨	30.1 ~ 70.0	50.0 ~ 99.9
大暴雨	70.1 ~ 140.0	100.0 ~ 249.9
特大暴雨	> 140.0	> 250.0
阵雨	12 h 内阵雨累积时间小于 5 h, 降雨量不超过 15 mm	



微视频
各种云的特征



表 1-6 降雪量等级表

降雪等级用语	12 h 总降雪量/mm	24 h 总降雪量/mm
零星小雪	<0.1	<0.1
小雪	0.1 ~ 1.0	0.1 ~ 2.4
中雪	1.1 ~ 3.0	2.5 ~ 4.9
大雪	>3.0	≥5.0
阵雪	12 h 内阵雪累积时间小于 5 h, 降雪量不超过 3 mm	

(二) 降水性质

降水按性质不同通常分为连续性降水、间歇性降水和阵性降水三种。

1. 连续性降水

连续性降水降自雨层云和高层云,其特点是持续稳定,常具有中等雨量,持续时间常在 10 h 以上。

2. 间歇性降水

间歇性降水降自层积云和厚薄不均匀的高层云。降水强度时大时小、时降时止,但变化很缓慢,云和其他要素也无显著变化。

3. 阵性降水

阵性降水通常降自积雨云、浓积云(不稳定的层积云也可出现)。降水强度变化很快,具有骤降骤止、天空时暗时亮、持续时间较短(通常为几十分钟到几小时),并常伴有强阵风等特点。如果是固体降水,则为大块雪花、霰或冰雹。

※ 自我检测 3:在各种性质的降水过程中,一般降水强度的变化为_____。

- A. 累计降水量多的降水强度大
- B. 降水持续时间长的降水强度大
- C. 连阴雨降水强度小、阵性降水强度大
- D. 连阴雨降水强度大、阵性降水强度小

【天气小谚语】

鱼鳞天,不雨也风颠(卷积云)。

天上鲤鱼斑,晒谷不用翻(透光高积云)。

天上钩钩云,地上雨淋淋(钩卷云)。

满天乱飞云,雨雪下不停(恶劣天气下的碎雨云)。

馒头云,天气晴(淡积云)。

天上扫帚云,三五日内雨淋淋(密卷云)。

火烧乌云盖,大雨来得快(积雨云)。

炮台云,雨淋淋(堡状高积云)。

