

那·符·列別傑娃著

云和降水是怎样形成的

財政經濟出版社

Н. В. Лебедева
**КАК ОБРАЗУЮТСЯ ОБЛАКА
И ОСАДКИ**

Издательство «Знание»

Москва 1955

根据苏联“知識”出版社

1955年莫斯科俄文版本譯出

云和降水是怎样形成的

[苏]那·符·列別傑娃著

倪含礼、董澤瀟譯

沈 浦 洲 校

*

財政經濟出版社出版

(北京西总布胡同7号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第60号

上海國風印刷厂印刷 新華書店总經售

*

787×1092 純 1/32·1 日張·18,000 字

1956年7月第1版

1956年7月上海第1次印刷

印数: 1—13,000 定价: (9) 0.13 元

統一書号: 13005.1 56. 6. 京型

云和降水是怎样形成的

那·符·列別傑娃著

倪合礼、董澤濤譯

沈 浦 洲 校

財政經濟出版社

1956年·北京

目 錄

一	水和水的特性·····	4
二	蒸發、水汽和水汽的特性·····	8
三	凝結和凝結的原因、云的形成和云的結構·····	10
四	降水为什么会落下來·····	17
五	產生降水的云·····	21
六	波狀云·····	27
七	云的分类·····	28
八	降水的預報·····	29

自古以來，天气現象就吸引着人們的注意。这也用不着奇怪，因为天气對人們的生活和經濟活动都有極其重大的影响。

在人类歷史發展的初期，人們對於周圍的大自然是表現得無能為力的。这是因为当时人們只有極其原始的劳动工具，生產的东西很少，因此，也就不能預防自然暴力對自己的襲击。由于人們不懂得自然現象的本質，既不能預見，也不能預防它的為害，因此，他們在威嚴的自然界暴力面前，便經常地驚惶失措。他們認為這些暴力是不可克服的超自然的存在物，因此他們把太陽、閃電、雷、風等等自然界的現象當作神來崇拜。

人們長期認為這些自然現象是神懲罰或者獎賞時的意志表現。古希臘人認為掌管天空、雨和雷的是宙士（Зевс）神，而古羅馬人則認為是尤庇脫（Юпитер）神。東方斯拉夫人崇拜“指揮”閃電、雷、雨和太陽的彼隆（Перун）神。這種拜神迷信的殘余也存在于宗教里——正教對先知以利亞的祭祀之中。教會為了本身的利益，也就大大地利用了人們的愚昧無知。

可是，人們一世紀一世紀地更多的掌握了大自然的“秘密”，愈來愈全面地認識了自然的規律，使自己在实际活动中，能够更加順利地应用這些規律。人类求知的智慧已經深入到海洋的深淵、地殼的内部和無止境的宇宙空間。

現代人們不需要任何宗教神話來解釋宇宙的起源、地球上生命的出現以及天气現象。所有這些問題，科學已經給我們做了

回答。也就是說，不論在什麼地方——在地球上也好，在天空中也好——都沒有神藏身的地方了。僅僅在少數人的思想意識中仍然存在着自相矛盾的宗教觀念（信仰）。

我們知道，雨、雷和其他天氣現象，都不是按照什麼超自然的存在物的願望而產生的。大自然中不存在任何超自然的力量。但是並不是所有的人都懂得降水和雲是怎樣形成的。

大家都知道，為了順利地完成各個經濟部門的工作，不僅要知道最近幾天的天氣，還必須知道未來一個月甚至整個季節的天氣。特別是有關降水的問題，對農業、城市經濟各部門以及各類運輸業來說，更顯得重要。有關雲的問題，對飛行來說，也是很重要的。天才的俄國學者 Д. И. 門捷列夫曾說過：“知道了，就能夠預測”。

在這本小冊子里我們準備敘述的，正是關於雲和降水形成的一般知識，以及在每一個具體情況下為了預報雲和降水我們所需要知道的气象知識。

一 水和水的特性

水是一種最常見的普通物質。它一方面以結合狀態包含在生物的有機體（植物和動物）、礦物、岩石等等物體中；另一方面，它又以自由狀態存在着。非結合水占地球重量的百分之七。極大部分的水都集中在面積為地球表面百分之七十的海洋里。海洋里全部水的總體積約等於十三億七千萬立方千米*。為了更清楚

* 千米，就是公里——譯者注。

地体会这样一个巨大的数字，可以举一个淺顯的例子來說明：如果把全部的水很均匀地分布在整個地球表面上，那么水的深度可以达到二千七百米。兩極和山峯上終年不化的冰雪冻结着二千一百万立方仟米的水。河流、湖泊和土壤里的水只占全部水量的百分之几。云里和經常存在于空气中的水蒸汽里，水量更加少了，总共只有一万三千立方仟米左右。

化学上的純水具有許多一定不变的特性，其中很多特性都被用来作为現行測量制度的基礎。例如冰的融点（冰和水的混合物）被規定为攝氏零度，而水的沸点則規定为一百度。攝氏四度时的一立方厘米水的質量定为密度單位（克）。水的比热就是使一克水升高一度所需要的热量，这个热量被定为一个热量單位——卡。

在自然条件下，就是在地面上和在对流層*中所具有的温度和压力的范围內，水能够以下面的三种状态存在着：固态（冰和雪）、液态和气态（水汽），而且这三种状态时常可以同时观察到。例如，冬天河面已經結了冰，冰下仍然流着水，而在冰上的空气里，还有水汽。夏天在產生陣雨的濃積云里，也同时存在着冰晶、水滴和水汽。

我們对于水从一种状态轉变成成为另一种状态的变化，已經習慣了。根据經驗，我們知道，在温度降到零度以下时，水就要冻结成冰。可是在实验室內的条件，可以得到温度很低（达到攝氏零下三十度、零下四十度）的过冷却水**。在云里，水能够以液

* 对流層是大气的下部，在苏联緯度地区，对流層厚达八仟米到十二仟米。

** 温度低于攝氏零度的水叫做过冷却水。

體小滴的狀態保持到溫度攝氏零下十二度、零下十六度，有時甚至達到攝氏零下三十度、零下四十度。

溫度升高到攝氏一百度時，水便開始沸騰。如果繼續加熱，就會把全部水“燒干”，完全變成水汽。水汽是看不見的。在日常生活中，我們習慣上所叫的“水蒸汽”，如茶壺中的水燒開時，從壺嘴里冒出來的“蒸汽”，事實上並不是什麼水汽，而是由水汽重新凝聚成的極小的水滴組成的乳白色霧縷。

物質的狀態決定於該物質分子的排列情況、分子的結合程度和分子的運動速度。固體里的分子是按照一定的（該物質所固有的）順序排列的，它的運動也只限於很小的振動。在物質由固態轉變成為液態的過程中，它的分子的排列順序發生變化*，分子的運動速度增大，而內聚力就要減弱，物質的分子集團也就有可能作相對的移動。因此，產生了液體的流動性。最後，當物質處於氣體狀態時，分子之間互相離得很遠，沒有了聯繫，這些分子都處在迅速而混亂的連續運動中。

因此，如果要把物質從一種狀態變成為另一種狀態，就必須改變分子之間的聯繫，“破壞”這種聯繫。用消耗熱能（一定的熱量）的方法就可以達到這一目的。

實際上，如果我們把一定質量的低於零度溫度的冰加熱，那麼它的分子運動的速度就會增加。這也表現在冰的溫度的升高

* 通常，當物質處於液體狀態時，它的分子之間的距離增大，但是水是例外。當水在固體狀態時，它的分子結構比它在液體狀態時要“松”（分子之間的距離比較大）。因而冰的密度（ 0.9 克/厘米^3 ）小於水的密度，所以冰在水里不會沉下，而是漂浮著的。

(大家都知道,物体温度的高低是决定于该物体分子的运动速度的)。要使一克冰的温度升高一度,需要消耗半卡的热量。

当冰的温度升高到零度时,它的分子的运动速度就达到最高限度。这时候外加的热量就消耗在克服分子之间的牵制力和改变它的结构上,以促使它融化。在冰完全融化之前,全部热量都消耗在融化上,而冰水混合体的温度却保持不变,并且等于零。

使一克冰变成水,需要八十卡热量,就是相当于使一克冰的温度升高一度所需要的热量的一百六十倍。这八十卡热量就叫做融解热。

这时,全部冰便都融化成了水。外加的热量重新又在使它温度增高(增加它的分子的运动速度),一直到水的温度达到摄氏一百度时为止。如果我们继续烧下去,可以发现在很热的锅底,有气泡——水蒸汽的气泡形成。因为水汽比水轻得很多(比重是水的一千二百四十分之一),所以气泡便很快地向上升起,并且带有呼嘟呼嘟的声音冲破了水面——水“沸腾了”。当水还未曾被烧干时,它的温度一直保持在摄氏一百度。

使一克水的温度从零度升高到一百度需要一百卡热量。如果要使一克温度为一百度的水变成蒸汽,那么需要消耗的热量大约等于上述一百卡路热的五倍半(五百四十卡)。这一个热量就叫做汽化热。

因此,水由固体变成液体或者由液体变成气体,都需要大量的热量,但是在水的逆变化中(由水汽变成水和由水变成冰),却会放出很多的热。除了水具有很大比热并且能够借助于混合作

用而向水面下深处傳遞热量外，上述情况就是海洋能够調剂气候和影响天气变化的一个原因。

二 蒸發、水汽和水汽的特性

在自然界的条件下，水都是通过蒸發而由液体变成为气体的。

在任何温度下，挨近水面而运动速度比較大的个别水分子都可能破坏分子之間的牽制力，而跳出液体表面。水的温度越高，它的分子运动速度越大，那么从液体中跳出变成水汽的分子也就越多。这些处于不規則的連續不断的运动状态中的水分子，也可能重新返回水內，并且被留在水里。可是，如果从液体里跳出的水分子数量大于返回到液体里的水分子数量，那么就產生水的蒸發現象*。如果倒一些水在缸里，不加盖，过一段時間以后，水就会全部消失，就是蒸發掉了。如果把缸盖緊，那么無論放置多長時間，缸里的水是否減少，是不可能用肉眼看出来的。上述現象產生的原因是：当从液体內跳出的水分子数量和返回液体中去的水分子数量平衡时，缸里的蒸發就停止*。这种状态就叫做飽和状态。

气温越高，空气中可能存在的水汽量也就越多。在一立方米温度为三十度的酷热空气中，能够包含三十克水汽，而在零下三

* 这里所說的“蒸發現象”或者“蒸發就停止”中的“蒸發”兩字的意思，是指水汽分子变为水(凝結)的数目少于水变为水汽分子(蒸發)的数目的現象，所以是水汽增加、液水減少的現象。

十度的嚴寒里，同样体積的空气中所能夠包含的水汽只有上述水汽含量的百分之一，总共不过是零点三克左右。当空气中含有最大限度的水汽含量时，这时候的空气，叫做已經水汽飽和，或者叫做飽和空气。

水气和所有別的气体一样也有压力（具有張力），但是和組成大气的別的气体（氮、氧和其他）不同，水汽的压力不是永远不变的，而是有很大的变化范围。这是因为空气中水汽的含量是决定于空气的温度和它的相对湿度，它的值可以是空气体積的千分之一到百分之四。

下面列举不同温度下的飽和水汽張力（压力）的数值（以水銀柱毫米为單位）：

气温(攝氏度数)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	20	30	40	50
飽和空气中水汽的張力(毫米)	0.95	1.43	2.14	3.16	4.58	6.54	9.21	17.54	31.82	55.33	92.5

当空气中的水汽含量接近于上表的極限值时，空气就十分潮湿；如果与之相距很远，那么空气就很干燥。

蒸發現象不但能够在水面產生，而且也能够在冰面和雪面上產生。大家都知道，把湿衣服晾在寒冷的空气中仍然能够晾干。这时候衣服上的水开始先結成冰，而后冰便蒸發掉。可是，在相同的温度下，冰面的蒸發要比过冷却水面的蒸發來得小。这是因为冰分子之間的結合比較牢固，要拆散它們也比較困难。因此，当冰面上水汽已經达到飽和时，对水面來說仍然还是未飽和的。当气温为零下十度、零下十四度时，水面上和冰面上的飽和水汽

張力达到最大的差別。

这里我們还要指出，水溶液表面上的飽和水汽張力要小于純水面上的飽和水汽張力，这仍旧是因为被溶解物質的分子牽引着水分子的緣故。例如飽和食鹽溶液面上的飽和水汽張力就是純水面上飽和水汽張力的百分之八十。

下面我們就会看到，上述二种情况对云的形成具有相当重要的作用。

進入大气中的水汽主要是來自海洋表面水的蒸發。每年从海洋蒸發掉的水層厚度大約为一又四分之一米，而大陸上(包括河流、湖泊、植物和湿土的表面)蒸發的水層厚度大約是半米。

气流和風把蒸發掉的水分从一个地方帶到另一个地方(如从海洋帶到大陸上)。空气的垂直运动使空气本身發生混合，同时就把水汽从对流層下部的貼地气層帶到上層。

水汽經過这样的調配后，就使得甚至是在直接挨近蒸發面的空間中，水汽的含量也要比达到完全飽和时的含量來得少。当然，对流層中的水汽含量是随着高度而减少的：在一千五百米的上空，水汽含量比貼地气層少二分之一。在五千米上空的水汽含量几乎只有貼地气層中含量的十分之一。

三 凝結和凝結的原因、云的形成和云的結構

究竟是什么东西使水汽重又凝結成水呢？

正如上面所說，飽和水汽含量是跟着温度的增高而增加，跟着温度的降低而减少的。因此，由于气温降低，起初是使未飽和

水汽变成饱和水汽(在露点温度时)，接着由于温度的進一步降低，多余的水汽就开始凝結成水。

举一个明顯的例子來說明：当我们呼吸时，呼出的是既热而又湿润的空气。在温暖的房間里，呼出到空气里的水气不会使空气發生饱和，但是当我們走到很冷的地方时，每次从嘴里呼出气体都会形成一縷縷的淡白色霧气，这是因为水汽一遇到冷空气，就馬上冷却，使一定体積的空气飽和，而过剩的水汽便凝結成極小的水滴。举一个完全相类似的例子來說，在鍋里和水壺里的水燒开以后，也会冒出和上述相同的一縷縷淡白色物質。当温度为一百度的水汽从燒沸的器皿里冒出去后，跑到温度比較低的空間，就部分地开始凝結。

但是問題并不單單在于溫度的降低。經驗告訴我們，完全純淨的沒有一點雜質的空气，在冷却的过程中，即使超过了过飽和好多倍，仍然看不到一點凝結的徵象。

要使空气达到飽和以后就產生凝結的現象，必須空气里有所謂“凝結核”——極小的質点——存在，而在這些小質点上落下个别的水汽分子，同时这些水汽又互相合并在一起，便形成了水滴。

这种凝結核就是吸水物質(就是能够吸收水汽的物質)的極小質点——鹽类和酸类以及灰塵、烟霧的極小質点。

空气里凝結核含量的变化範圍是很大的。每个立方厘米体積里的含量可以从几百个到几万个甚至几十万個。凝結核最多的地方是城市和工業中心。在這些地方只要具备了別的有利的条件，便会經常發生霧(譬如誰都听見過倫敦的大霧)。

在通常的条件下，空气中的凝結核是完全足够的，所以决定凝結可能性的并不是凝結核，而是开始的水汽含量和空气冷却的程度。

是什么使得空气和空气里所含的水汽变冷呢？

夜晚地面的冷却促使与它隣接的空气層温度降低。另外，空气从比較暖和的地面移到比較冷涼的地面时（譬如冬天从海面向大陸移动），气温也要降低。

然而空气冷却得最厲害的还是在它上升的时候。情形是这样的：气团上升的时候，受到比較小的压力*，因此气团膨胀，从而冷却（因为空气膨胀时要消耗热量）。已經确定，干燥空气每升高一百米，它的温度要降低一度。饱和空气的冷却度数比干空气小三分之一到二分之一（每上升一百米，降低零点七度到零点四度）**，这是因为当水汽凝結时，要放出凝結潜热，从而减慢了温度的降低值。

这也就是说干空气每升高一千米，温度就降低十度，而饱和空气每升高一千米，温度只降低四度到七度。如果要使空气在水平运动中也能够达到上述那样的冷却，那么空气必須移动几千仟米的距离。

晴朗無云的夜里，由于地面冷却，可以使最低層的空气达到饱和，并且促使地面上、草面上或者貼地气層中發生凝結現象。

* 气压跟着高度的增加而减小，在五仟米的高度上，气压是地面气压的二分之一，在八仟米的高度上，则为地面气压的三分之一。

** 空气的冷却值（在別的条件相同的情况下）决定于水汽的含量：空气中所含的水汽越多，上升时温度的降低也就越小——譯者注。

在前一种情况下，我們能够觀測到露和霜(溫度在零度以下时)的形成。在后一种情况下，我們能够觀測到有霧形成。通常，这种霧(輻射霧)在地面上的分布像分散的斑点狀的，它首先在低窪而潮湿的地方形成，因为这里空气比較冷而湿度又比較大。霧在接近地面的地方最濃，向上面就漸漸稀薄。因此，透过霧層，有时候还可以清楚地看見天空。

当空气由于水平移动而降低溫度时，也可能形成霧。通常，这种霧比輻射霧占的面積大，分布的高度也更高些。透过这种霧，通常是看不見天空的。在某些情况下，这种霧能够上升而形成低而薄的灰白色的密集層云云幕。这种云也可能完全沒有降水，也可能產生微弱的飄紛的降水(毛毛雨和米雪)。

当空气中有足够水汽并且达到饱和以后，空气的上升就可以促使各种主要云狀的形成和降水的降落。

空气上升的原因和因之而產生的特性——速度、所占的面積和延續的時間——都是互不相同的。云狀和降水同样也是互不相同的。

下面我們討論空气上升的兩個基本原因，它們对云和降水的形成起着主要的作用。

其中第一个原因是：空气受到地面的增热。比較热的，因而也就比較四周空气輕的空气就以股流或者气泡的形式上升。空气的这种上升一直持續到周圍气温和上升空气溫度一样为止。

必須牢記，干空气每上升一百米，它的溫度便要降低一度。但是一經达到饱和(上升到凝結高度)以后，溫度的降低就变慢，每升高一百米大約降低零点四度到零点七度。在周圍的大气中，

气温也跟着高度而降低,平均每一百米降低零点六度。夏天白天由于地面受到太阳光的强烈增热,在一千五百米到二千五百米以下的低层大气里,也可以观测到每高出地面一百米气温降低一度左右,甚至一度以上。这种情况能够造成在五千米到十千米以下上升的空气仍然比它周围的空气要热,因此,空气的上升可以达到五千米至十千米的高度。

空气上升的速度决定于上升空气和它周围空气的温度差。并且大致是每秒鐘一米到十米,就是相当于平常的风速。有时候空气上升的速度正如飞行员和滑翔机驾驶员的观测记录所证明的,达到每秒鐘二十米,而按照间接计算所得的资料,甚至达到每秒鐘四十米,就是相当于飓风的风力。这样强烈的上升现象可以出现在几百平方千米的地区上。

当空气具有足够的湿度时,在上升过程中,便很快地促使各个个别云塊的形成。在任何一定的时间之内,我們都可以看到云变化的各个阶段。



圖1 在不同受热的地区上空气上升运动的形成和積云的發展圖

在上升气流区域之間,有着寬廣的空間,在这地区我們可以看到空气在慢慢地下降。由于空气下降时受到的压力比較高,因

此空气就被压缩而增热,同时也就脱离了饱和状态。所以,空气下降的区域便成为明朗的晴天。

夏季里,在中午前后,空气由于温度升高,很快就开始上升;傍晚由于温度降低,空气的上升也就马上停止了,如果由于形成的云或者降下的雨水降低了地面层的温度,那末空气停止上升的时间就会更早些。

圖 1 中画的是具有不同地势及长着不同植物的地区,并且显示了上升气流区域(特别热的地方)和下降气流区域(不大热的地方)。

空气上升的另一个原因是气流的辐合。气流由于一系列的原因(与地面的摩擦、山脉的影响等等),改变了它原有的运动方向,因此就形成了气流发生辐合和辐散的区域。

在发生气流辐散的区域里,对流层下部的空气就会减少,因而上面的空气就下降来补充这里空气的减少。在气流发生辐合的区域里,空气便会聚集,并且促使这里的空气上升。这时候,空气上升得很慢,大约是上述空气上升速度的百分之一。它的速度大约是每秒鐘一厘米到十厘米。但是这种空气上升运动可以同时出现在很广阔的大约十万或者甚至一百万平方厘米的区域上,而它所及到的厚度可以达到五千米到十千米。并且空气的这种上升运动的延续时间,不是以小时计算,而是以半天、一天来计算的,有时甚至延续好几天。自然,这种上升必然会形成巨大的云系——不论在水平方向上或者垂直方向上伸展得很显著的云系。

在气旋区(低压区,它的风系以反时针方向向低压中心吹)