

# 大气中的水

(中国科学院物理研究所 李晖、孟胜 编译自 Bjorn Stevens, Sandrine Bony. *Physics Today*, 2013, (6): 29, 原文详见 <http://ptonline.aip.org>)

地球上的气候及其变化是由水、大气循环和温度之间关系的微妙变化所导致；这些变化有些已经被人们所认识，然而还有更多是人类目前未知的领域。

中学生都学习过大气中的水循环，然而只有很少人去真正研究水是如何决定大气性质的。水由太阳能驱动进行大范围的循环，决定了太阳能在地球表面的分布。水的重要性早为人知。创世纪神话中，造物主首先将黑暗和光明分开创造了世界，然后将水与水汽分开创造了天空。

水的含量只占大气总质量的0.25%，99.5%以汽态形式存在。这些水大概只可以将地球表面覆盖为一个2.5cm厚的液体水层。作为比较，如果将地球上的海洋平均覆盖到地表，可以形成的水层厚度为2.8km。大陆表面的冰川、湖泊、河流、湿地和土壤中存在的淡水也是大气中水汽总量

的2000到3000倍。大气似乎是一个水分子不愿意待的地方；然而正是在这里，水让整个世界都发生了改变。

水由于其独特的物理性质而在大气辐射吸收中脱颖而出。一个小小的水分子就能吸收大量的红外辐射。由于分子翻动时伴随着3个小而分立的具有强偶极的转动惯量，因此水分子具有大量的转动吸收模式。这些模式覆盖了从近红外到微波谱能量区域的一系列的吸收谱线，这些吸收模式与水分子的3个分子振动模式耦合，形成了一些增强的转动—振动吸收带。

水分子对热辐射具有高效的连续吸收性质，因而对整个红外热辐射区具有超乎寻常的吸收能力。这种吸收

能力一直延续到近红外区域，从而对低大气层的太阳光能也有大量吸收。但是云层对太阳光谱的近红外波段并不能进行有效吸收，因此会造成强烈的温室效应。大气中只有极少量的水汽会最终形成雨雪，它们对地球表面的辐射吸收远小于水蒸汽。

水的汽化焓非常大，比二氧化碳、甲烷和氨气大2—3个数量级，结果造成大气温度每相差10K蒸汽压会相差一倍。这样剧烈变化的蒸汽压会导致水汽在大气中随着蒸汽压的不同而具有不同的饱和度。因为空气有质量，所以气压随着海拔升高而降低。于是从低空上升的气流发生膨胀并被冷却；而从高空下降的气流被加热，因此造成了竖直方向上的冷热不均。

能力一直延续到近红外区域，从而对低大气层的太阳光能也有大量吸收。

大气中的水汽也可以凝结成凝聚态的水，例如冰单晶、水滴、雪花、霰和冰雹等形成云（见图1）。由于这些颗粒和热辐射的短波波长接近，因此可以有

效地吸收这些波段的能量。但是云层对太阳光谱的近红外波段并不能进行有效吸收，因此会造成强烈的温室效应。大气中只有极少量的水汽会最终形成雨雪，它们对地球表面的辐射吸收远小于水蒸汽。

理解水与大气循环，以及地球气候间的关系对我们非常重要。尽管模型还不够完美，我们已经能够通过水分子的基本物理化学性质来研究整个大气活动过程。

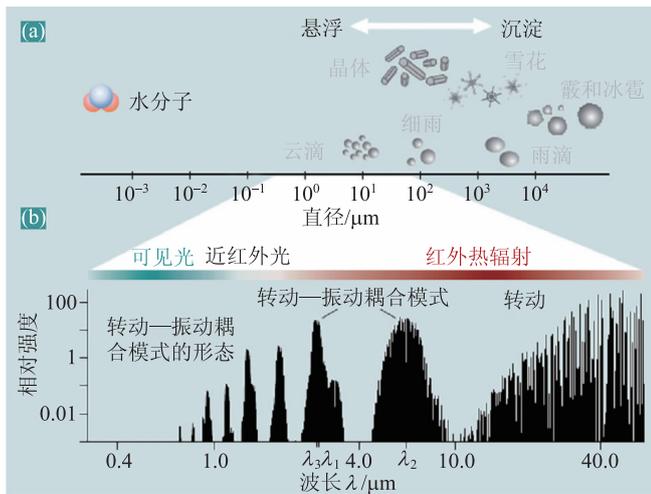


图1 (a)大气中水的凝聚态，以及它们对应的不同尺寸。这些水可以散射可见光，吸收长波辐射；(b)近红外到远红外光谱，以及水分子的转动—振动吸收带