

气象与天气基础

水文气象训练班

03144

华东水利学院

1975年4月

目 录

引 言

- 1、气象学研究内容
- 2、气象学与水文学
- 3、气象学研究的思想斗争史

第一章 大气的一般特性

- 1.1 大气的成分
- 1.2 大气的温度、压力、密度
- 1.3 气体状态方程
- 1.4 空气湿度
- 1.5 用温度——对数压力盆求各种湿度参量
- 1.6 风速风向
- 1.7 云 况
- 1.8 其它气象要素
- 1.9 大气垂直结构

第二章 大气静力学

- 2.1 重 力
- 2.2 位势高度
- 2.3 静力学方程
- 2.4 压高公式
- 2.5 测站气压的海平面订正
- 2.6 气压场

第三章 大气热力学

- 3.1 热力学第一定律
- 3.2 干绝热过程
- 3.3 凝结高度
- 3.4 湿绝热过程
- 3.5 大气湿湿特性量
- 3.6 大气垂直稳定度

第四章 大气动力学

- 4.1 作用于空气的力
- 4.2 运动方程
- 4.3 x 、 y 、 P 坐标
- 4.4 连续方程
- 4.5 风与气压的关系
- 4.6 地转风随高度变化，热成风
- 4.7 大气能量学

第五章 大气径流 — 水汽输送

- 5.1 大气水分平衡
- 5.2 大气可降水量
- 5.3 蒸发量和降水量
- 5.4 大气径流 — 水汽输送

第六章 降水量的计算

- 6.1 计算降水量的基本原理
- 6.2 凝结函数
- 6.3 铅直速度的计算方法
 - 6.3.1 运动学法
 - 6.3.1.1 W 与 ω 之间的关系
 - 6.3.1.2 水平辐散的计算
 - 6.3.2 绝热法
- 6.4 涡度方程
 - 6.4.1 涡度方程的直角坐标形式
 - 6.4.2 涡度方程内各项的尺度分析
 - 6.4.3 P 坐标制中的涡度方程
 - 6.4.4 用涡度方程计算铅直速度
- 6.5 ω 方程概述
 - 6.5.1 ω 方程的推导及其物理意义
 - 6.5.2 用 ω 方程计算铅直速度
 - 6.5.2.1 计算动力铅直速度
 - 6.5.2.2 计算非绝热增湿引起的上升速度
 - 6.5.2.3 地形障碍造成的强迫上升速度
- 6.6 地面摩擦作用造成的上升速度
- 6.7 降水量的计算方法
 - 6.7.1 福尔克斯计算降水量的方法
 - 6.7.2 帕门计算降水量的方法

第七章 天气分析基本知识

- 7.1 天气图
 - 7.1.1 地面图
 - 7.1.2 地面图的分析内容
- 7.2 高空天气图

- 7.2.1 相对形势图
- 7.2.2 地面气压与高空等压面之间的关系
- 7.3 气团的概念
- 7.4 锋
- 7.4.1 锋面天气

第八章 大气环流

- 8.1 一般大气环流
 - 8.1.1 控制环流的重要因子
 - 8.1.2 活动中心
 - 8.1.3 季节变化
- 8.2 二级环流及其他
- 8.3 东亚大气环流
 - 8.3.1 决定东亚大气环流的主要地理因素
 - 8.3.2 东亚大气环流的季节变化和天气特征
- 8.4 西风带的短波槽
 - 8.4.1 西北槽
 - 8.4.2 青兰(高原)槽
 - 8.4.3 印缅槽
- 8.5 阻塞高压和切断低压
 - 8.5.1 阻塞高压
 - 8.5.2 切断低压
- 8.6 江淮切变线
- 8.7 西南(低)涡
- 8.8 东北冷涡

第九章 我国降水地面天气系统

- 9.1 我国的雨情
 - 9.1.1 我国各地的雨量和雨季
 - 9.1.2 我国主要雨带的活动
- 9.2 我国的气旋活动

- 9.2.1 蒙古气旋^{蒙古}
- 9.2.2 东北低压
- 9.2.3 黄河气旋
- 9.2.4 江淮气旋
- 9.2.4.1 江淮气旋的发生
- 9.2.4.2 江淮气旋天气
- 9.3 反气旋
- 9.3.1 移动性反气旋
- 9.3.2 西太平洋高压
- 9.3.2.1 西太平洋高压位置的表示法
- 9.3.2.2 西太平洋高压位置与大尺度降水的关系
- 9.4 梅雨
- 9.4.1 梅雨期前后的环流形势
- 9.4.2 梅雨期中短期天气过程
- 9.5 西太平洋的台风
- 9.5.1 台风的形成条件
- 9.5.2 台风天气
- 9.6 东亚地区常见的环流型
- 9.6.1 纬向型
- 9.6.1.1 平直西风型
- 9.6.1.2 盛夏纬向型
- 9.6.2 经向型
- 9.6.2.1 一槽一脊型
- 9.6.2.2 二槽一脊型
- 9.6.2.3 盛夏经向型
- 9.6.3 阻塞高压型
- 9.6.3.1 雅库次克阻塞高压型
- 9.6.3.2 贝加尔湖阻塞高压型
- 9.6.3.3 乌拉尔阻塞高压型
- 9.7 1963年8月上旬河北省西部特大暴雨
- 9.7.1 特大暴雨期间的大型环流特点
- 9.7.2 西风槽和低涡活动
- 9.7.3 流场与水汽输送
- 9.7.4 中系统分析
- 9.7.5 暴雨成因与地形作用

9.7.6 过程降水量分布与暴雨中心的移动

154

9.8 暴雨移置与天气组合

9.8.1 暴雨移置

9.8.2 天气组合

引言

“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。”

1. 气象学研究内容

在地球周围包围着深厚的空气层。这个空气层称之为大气。在大气中交替发生着许多物理现象，例如冷、暖、雨、雪、风、电等等。气象学的任务就是研究地球大气及大气中所发生的物理现象和物理过程，揭露其变化的规律性，以达到为人类服务的目的。广义的气象学包括：气象观测和仪器，普通气象、天气、动力气象、气候等等内容。此外还有专门为各种专业服务的实用气象学。这次训练班所进修的“可能最大降水(P. M. P)计标方法问题，就是应用气象知识解决规划设计专业之一例。在这本讲义中我们将叙述一些与现行“可能最大降水”(P. M. P)问题有关的一些气象基础知识。

2. 气象学与水文学

在自然界中，水分的蒸发、凝结以及降水等过程是密切相互联系着的，水分自下垫面蒸发出来变成水汽，水汽进入大气以后，在大气中凝结成云，然后又以降水的形式降至地面。图0-1便是自然界水文循环的示意图。

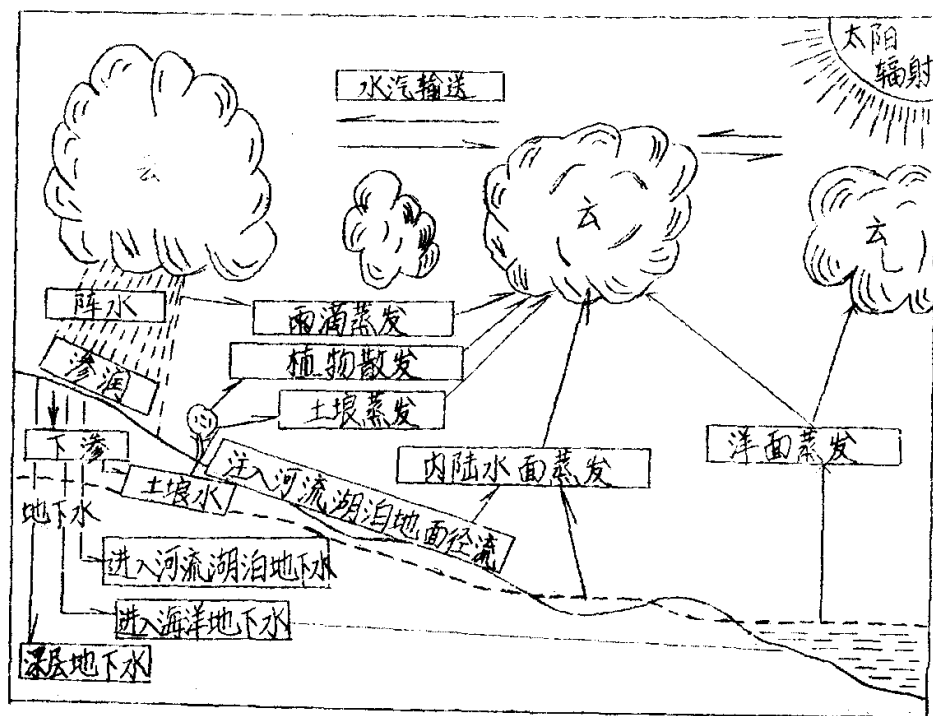


图 0-1 自然界水分循环图

从金中可以看出，大气界是水文循环的必经途径。以水文循环作为主要研究内容的水文学当然与气象学存在着密切的关系。

毛主席指出：“唯物辩证法的宇宙观主张从事物的内部，从一事物对他事物的关系去研究事物的发展。”因此，对水文现象的进一步研究，必然要涉及到气象上的成因，这是不言而喻的。随着生产实践的发展，特别是随着我国水利建设事业的发展，向水文学和气象学提出了日益增多的共同性的研究课题，因而为水文工作者和气象工作者提供了广阔的合作领域。生产实践推动了学科的发展，势所必然地产生了水文气象学这一新生的边缘学科。

水文气象学的任务就是用气象学的原理研究水文问题。在习惯上，把研究设计洪水中的可能最大降水（ P 、 M 、 P ）称为水文气象学，其实这是对水文气象学内容的一种狭义的理解。我们应该看到，以气象学为水库建设服务一项而论，其内容就极其丰富。例如在水库的经营管理中如何应用降水量的中、长期及定量预报问题。在规划设计中对流域旱涝规律以及建库以后水文气象效应的探讨，甚至在将来对人工影响天气等问题都将会成为水文气象学中重要的研究内容。我们水文工作者学习气象基础知识，决非权宜之计（只解决 P 、 M 、 P ），而是为发展祖国的水文气象科学，使之更为有效地服务生产而作出贡献。

3. 气象学的思想斗争史

毛主席在实践论中指出：“人的认识主要地依赖于物质的生产活动，逐渐地了解自然的现象，自然的性质，自然的规律性人和自然的关系，也在各种不同程度上逐渐地认识到人和人的一定相互关系。”

人类定居在大气低层，在从事生产斗争、阶级斗争和科学实验中无不与大气发生关系。气象科学的知识就是劳动人民在世世代代与自然界作斗争的过程中，为了抵御自然灾害，为了利用大气资源而逐渐累积起来的。我国有着悠久的历史，早在奴隶社会，劳动人民就已经掌握了不少气象知识，并保存在各种历史文献和发现在出土文物中，如诗经这部劳动人民的集体巨著，虽经孔老二的糟蹋删改，但仍然保存着劳动人民的许多宝贵的观天经验，诗经上有“朝隰于西，崇朝其雨”（早先亦

现象，天即下雨），“如彼雨雪，先集维霰”（下雪之前，先下雪珠）等不少涉及气象的诗句。这些诗句，都是从生产斗争中体验出来的天气变化真理。科学来源于实践，现代气象科学理论就是在总结人类与大气斗争之经验基础上产生的。今后随着生产发展它将继续向前发展。但自然科学的发展受制于阶级斗争，在劳动人民的朴素观天经验形成气象科学理论过程中，始终充满了唯心主义和唯物主义观点，形而上学与辩证法方法论的斗争，这一斗争在我国历史上的具体表现就是儒法两家的斗争。

在气象科学上儒法斗争的表现如下：对大气中的风雨雷电水旱灾害这些气象现象，儒家认为是天的意志表现，宣扬什么“畏天命”，法家则认为是自然界的客观规律，提倡“制天命”而用之。“畏天”和“制天”之争成为儒法两条路线斗争的焦点。

孔老二等奴隶主阶级的卫道士们，利用当时劳动人民对自然界处于不甚了解的情况，提出了三畏：畏天命，畏大人，畏圣人之言。要奴隶们眼服贴贴地服从他们这些“大人”、“圣人”以及代表他们利益的“上帝”的命令，不能“犯上作乱”以达到其维护和复辟奴隶制的目的。西汉的反动儒家人物董仲舒更把春、夏、秋、冬四个季节说成是“天”的“爱、乐、严、哀。”有些儒生把打雷说成是“天在发怒”，把下雨说成是“天在欢喜。”一句话，人们得听从“天”的摆布，只能等待自然的恩赐，更不要说去掌握自然现象的规律性了。

法家的观点是和孔老二等儒家的唯心主义自然观是针锋相对的。

早在两千年前的战国末期，法家代表人物荀况就提出“人定胜天”的光辉思想，他认为天不是神秘的“上帝”，天没有意志，而是物质性的自然界。日、月、星、辰、寒、暑、风、雨都是自然现象。“天行有常”，自然界是有它自己的客观规律的，“应之以治则吉，应之以乱则凶”，“如果遵循规律，实行正确的措施，事情就可以办好，否则就要办糟。荀况还从朴素的唯物主义自然观出发，进一步提出了“从天而颂之；孰与制天命而用之！”的观点，把被儒家和反动派统治者颠倒了“天人”关系又重新颠倒了过来，它告人不是天的奴隶，而是大自然的主人，人定胜天！

从儒家的“畏天”观点出发，他们将自然界中的大气现象神化，当作偶像崇拜；或者宣扬“天有不测风云”，散布“不可知论”，因此，在我国气象科学知识的发展中，儒家非但未作过任何贡献，而只是起到了阻碍气象科学的发展。一些儒生还卑鄙地利用气候异常现象作为攻击历史上政治革新家的武器。如宋神宗时，正遇大旱，反动儒生借机攻击主张变法的王安石，说什么“旱由安石所致，去安石天必雨。”而当时坚决支持并参加王安石变法的沈括却能总结天气变化规律，对下雨作出了正确的预报，给了那些反动儒生以沉重的打击。与儒家相反，法家从“制天”观点出发，为了达到制天的目的，首先就要对自然界进行深入认真的观察，找出其规律，并进一步预报其变化，使人类在和自然作斗争中能掌握主动权。因此，历史上的法家人物总结和积累劳动人民的观天经验和应用气象知识为当时的生产服务上起了很大的作用。例如北魏法家、农业科学家贾思勰（读“恂”）著的“齐民要术”中就有“天雨初晴，北风寒切，是夜必霜”的预报霜的记载。由于雨后初晴，低层大气中湿度很大，刮来的北风又使气温很快下降，所以夜里就会出现霜，“这是有一定的科学道理的。又如上面提到的北宋法家、自然科学家沈括；在他的杰作“梦溪笔谈”中有有关气象的记载就有17条涉及到天气预报，大气物理现象及气候等各方面具有极大的科学价值。

毛主席说：“思想上的政治上的路线是决定一切的。”“历史的经验值得注意。”研究气象史上儒法两家思想斗争，批判儒家思想，将对我国气象事业的发展，包括水文气象事业的发展有着积极的意义。水文气象学在我国虽然是解放以后才开始发展的新业务，但是并不意味着不存在着儒家思想的影响。譬如儒家的“畏天”观点，不可知论等就对进一步发展水文气象业务起着阻碍作用。

伟大领袖毛主席教导我们：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来赶上和超过世界先进水平。”我们相信，通过批林批孔斗争，踢开了绊脚石，用战无不胜的毛泽东思想占领科研阵地，“水文气象”这门新的边缘科学一定将在祖国的社会主义建设中大放异彩。

第一章 大气的一般特性

大气中所发生的各种物理现象和所进行的各种物理过程，都与大气本身的情况和性质，大气所处的环境有着密切的关系。毛主席说：“不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不能做好那件事。”研究大气也是如此，必须首先了解大气本身的成分、结构及特性，而后才有利于进一步去探讨大气物理的变化规律。因此，我们首先要研究大气的一般特性。

1.1. 大气的成分

1.1.1 干洁空气 空气是各种气体的混合物，除了氮、氧、氩、二氧化碳和水汽等气体外，还有各种含量不定的液体和固体的微粒，如烟粒、雾滴等。不含水汽、液体和固体微粒的空气，称为干洁空气。表1中列有25公里高度以下干洁空气的成分和各成分的分子量。

表1-1 干洁空气的成分（在25公里高度以下）

气体成分	占干空气中单位容积的含量%	分子量
氮	78.09	28.016
氧	20.95	32.000
氩	0.93	39.944
二氧化碳	0.03	44.010
臭氧	1.0×10^{-6}	48.000
干空气	100	28.966

干洁空气的平均分子量与占百分比最大的氮的分子量相近。多次探测和分析的结果表明，在90公里以下，干洁空气的成分和各成分的比例基本上是不变的，这是大气的运动及分子扩散使空气进行充分混合的结果。上述特点，使我们可以把90公里以下的干空气当成是一种分子量为28.97的“单一成分”的气体来处理。这样，将使有关的运算简便一些。在90公里以上，大气的主要成分仍然是氮和氧，但是从80公里开始，由于紫外线

的照射。氮和氧已有不同程度的离解，在100公里以上，氧分子已几乎全部离解为氧原子，到250公里以上，氮也基本上离解了。

在干洁空气的各种成分中，臭氧和二氧化碳所占比例虽极少，但对大气的温度分布却有较强的影响。

臭氧：大气中臭氧是由于在太阳紫外光的照射和雷电作用下，空气中的氧分子离解为氧原子，氧原子再和另外的氧分子化合而成的气体。大气中的臭氧含量很少，按容积计称，总共还不到万分之一。臭氧含量是随高度而改变的。在低层，臭氧含量极少，而且很不固定，从5公里起，含量随高度的升高而增大；在20~25公里高度处达最大值，再往上，又逐渐减少，到55~60公里高度上就极少了。臭氧对太阳紫外辐射的吸收极为强烈。由于这种作用，使40~50公里高度气层中的温度大为增高；同时还保护了地面上的生物，使之免受过多的紫外辐射的伤害。

二氧化碳：二氧化碳主要在有机物的燃烧或腐化和生物呼吸过程中产生的，因而在大工业区，二氧化碳含量较多；在乡村地区，二氧化碳含量大为减少。由于垂直运动和乱流混合作用，二氧化碳的含量比例在20公里以下变化不大，再向上即显著减少。二氧化碳能强烈地吸收和放出长波辐射能，对气温有一定的影响。

1.1.2 湿空气 实际大气中，除了上述气体之外，还有大量的水汽和灰尘微粒。含有水汽的空气称为湿空气。大气中水汽的含量变化很大，随着时间、地点和气象条件（例如温度、风云）而不同。例如在热带多雨地区，空气中水汽含量占单位容积的4%；而在沙漠干燥地区含量还不到总容积的0.01%。一般来讲低纬地区含量比高纬地区大。海面上空比陆面上空含量要多。

由于水汽来自地面，借空气的垂直交换传到上层，因此在一般情况下，水汽含量随高度的升高而减少。观测表明，在1.5~2公里高度上，则减少为地面的十分之一左右；再往上更少。当然，“任何一般只是大致地包括一切个别事物。任何个别都不能完全地包括在一般之中。”某些情况下，个别气层中，水汽含量随高度的升高而增大的情形也是有的。

水汽是大气中唯一能发生相变（即气态、液态、固态三者

间可以互相转变)的成分。它在大气中的含量虽然不多,但在天气变化中却扮演了一个重要的角色。水泡的相变会引起云、雾、雨雪等一系列的天气现象;它能强烈地吸收和放出长波辐射能,在相变过程中也能放出或吸收热量,这些又都能影响到地面和空气的气温。

低层大气中,除了存在上述各种气体物质外,同时还悬浮着各种固体、液体微粒,如微尘、烟粒、水汽凝结物(即小水滴和冰晶等)。大气中固态、液态微粒的分布也是不均匀的。一般城市上空比农村多。微粒随高度增加而很快减少。大气中的固态、液态微粒起了减弱太阳辐射和保持地面湿度的作用。

另外,大气尘粒中,有些(如盐粒)易溶于水,另外一些虽不溶于水,但能为水所润湿,它们都可以成为水汽凝结的核心,促进水汽的凝结,在气象上称之为凝结核。因此,大气尘粒对云、雾的形成也是有贡献的。

1.2、大气的温度、压力和密度

大气的物理现象和过程是用许多物理量来表示的,综合各物理量的特征,便能描述出大气的各种状态。因此,我们称这些物理量为气象要素。气象要素选择愈多,就愈能详细地表达大气状态。下面先介绍温度、压力和密度三个气象要素。

1.2.1、大气的温度(简称气温)

温度是表示大气冷热程度的物理量。

大气的温度是变化着的。一个地方的温度,在一日内有日变化,在一年内又有年变化,随着天气的变化,它还有非周期性的变化。此外,随着海拔高度的不同,温度也要发生变化。

通常我们所说的地面气温是距地面1.5米处观测到的空气温度。地面气温一般用温度表来观测表示温度的单位,在我国常用摄氏温标,有些国家采用华氏温标。如果用F表示华氏表温度度数,C表示摄氏表温度度数,其间关系为:

$$F = \frac{9}{5}C + 32 \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad C = \frac{5}{9}(F - 32) \quad (1-2)$$

在气象学上都采用摄氏或华氏温度,但在作理论上的运算

时，却常常以采用绝对温度为便。如果用 T 代表绝对温度， t 代表摄氏温度，二者间的关系为：

$$T = 273 + t \quad (1-3)$$

1.2.2、大气压力 气压是指垂直地作用在单位面积上的力。

大气压力也是随时间和空间而变化着的，而其随高度的变化更为显著。在同一高度的地球表面上，因气压分布不均匀，使空气从气压高的地方流向气压低的地方，这种空气的大规模流动是引起天气变化的主要原因。因此气压也是一个重要的气象要素。人们常用气压表测量大气压力。表示大气压力的单位，在物理学上常用达因/平方厘米，即1平方厘米的面积上受到1达因的压力。在气象上则常用毫巴来表示大气压力，记为 mb 。一毫巴相当于一平方厘米面积上受到1000达因的力。

$$1 \text{ 毫巴} (mb) = 1000 \text{ 达因/厘米}^2 \quad (1-4)$$

地面观测常使用水银气压表，因此在观测纪录中也采用水银柱高度的毫米 (mm) 数来表示气压。“毫米水银柱高”与“毫巴”的关系如下：

$$1 \text{ 毫巴} = 3/4 \text{ 毫米水银柱高} = 0.75 \text{ mm 水银柱高}$$

$$(1-5)$$

$$1 \text{ 毫米水银柱高} = 4/3 \text{ 毫巴} = 1.33 \text{ 毫巴}$$

$$(1-6)$$

气象上把纬度 45° 海平面上，温度为 $0^\circ C$ 时，760 毫米水银柱高的大气压强称为一个标准大气压。一个标准大气压相当 1013.25 毫巴。

1.2.3、大气密度 空气密度也是变化着的。它随着气温和气压而变。表示密度的单位为克/厘米³。在海平面上，温度为 $15^\circ C$ 时空气的密度大致是 1.225×10^{-3} 克/厘米³，即 1.225 千克/米³。也就是说在 1 立方米中有 1.2 公斤空气，这相当于水的密度的八分之一。

空气的密度不便于直接测量，一般是根据温度和压力，用气体状态方程间接计算。

1.3、气体状态方程

毛主席说：“一切客观事物本来是相互联系的。”描述理想气体状态的三个参量气压、温度和密度也是相互联系的，表示这

种联系的关系式就是理想气体状态方程：

$$p = \rho R T \quad (1-7)$$

式中， p 是气压，以达因/厘米² 为单位；

ρ 是密度，以克/厘米³ 为单位；

T 是气体温度，以绝对温标表示。

$$R = \frac{R^*}{\mu} \quad \text{称为比气体常数。} \quad (1-8)$$

R^* 是普适气体常数，其值为 8.31×10^7 尔格/克分子·度；

μ 是气体的克分子量。气体成分不同， μ 便不同，因而 R 也不同。严格地讲，空气不是理想气体，而是多种实际气体的混合物，其中水汽含量又是变化的，那末它的状态参量间的关系又怎样呢？下面就来讨论这个问题。

1.3.1、干空气的状态方程

在通常大气条件下，由于温度不很低（远离绝对零度），压力不很大（未达到几百个大气压），气体分子间的作用力和分子本身的体积可以忽略，故干空气各状态参量间的关系仍然可以用理想气体状态方程来表示，即

$$p = \rho R_d T \quad (1-9)$$

式中 R_d 是干空气的比气体常数。由第一节知道干空气可视为克分子量 $\mu_d = 28.97$ 克/克分子的“单一成分”气体，故

$$R_d = \frac{R^*}{\mu_d} = 2.87 \times 10^6 \text{ 尔格/克} \cdot \text{度}。$$

1.3.2、湿空气的状态方程

湿空气是干空气和水汽的混合物。实验表明，水汽在发生相变以前也可以看成是理想气体，因而整个湿空气的状态参量间的关系仍可以用理想气体状态方程来表示，即

$$p = \rho R' T \quad (1-10)$$

式中 $R' = \frac{R^*}{\mu'}$ ； μ' 是湿空气的克分子量。由于湿空气中的水汽含量是变化的， μ' 是个变数，所以 R' 也是个变数。

如果以 p 表示湿空气的总压力， e 表示其中水汽的分压力，则其中干空气的分压力为 $(p - e)$ 。于是，干空气的状态方程可写成

$$p_d = \frac{p - e}{R_d T} \quad (1-11)$$

而水汽的状态方程可写成

$$p_w = \frac{e}{R_w T} \quad (1-12)$$

式中 p_w 及 R_w 分别为水汽的密度和比气体常数。其中

$$R_w = \frac{R^*}{u_w} = \frac{8.31 \times 10^7}{18.016} = 4.615 \times 10^6 \text{ 尔格/克·度}.$$

(1-13)

u_w 为水汽的克分子量，或

$$R_w = \frac{u_d}{u_w} \cdot R_d = 1.608 R_d \quad (1-14)$$

因湿空气是干空气和水汽的混合物，故它的密度是干空气密度 (p_d) 与水汽密度 (p_w) 之和，即

$$p = p_d + p_w \quad (1-15)$$

将 (1-11) 式和 (1-12) 式代入后，

$$\begin{aligned} p &= \frac{p - e}{R_d T} + \frac{e}{R_w T} = \frac{1.608(p - e) + e}{1.608 R_d T} \\ &= \frac{p}{R_d T} \left(1 - 0.378 \frac{e}{p} \right). \end{aligned}$$

把上式右边的分子分母同乘以 $(1 + 0.378 \frac{e}{p})$ ，考虑到 e 比 p

小很多，因而 $(0.378 \frac{e}{p})^2$ 很小，可忽略不计，则上式可写成

$$p \approx \frac{p}{R_d T (1 + 0.378 \frac{e}{p})},$$

最后得到湿空气状态方程，即

$$p = p R_d (1 + 0.378 \frac{e}{p}) T. \quad (1-16)$$

与 (2-3) 式相比， $R' = R_d (1 + 0.378 \frac{e}{p})$ 。由于干空气的比气体常数在气象学中应用较广，实际工作中一般都不计标 R' ，通常是把 $(1 + 0.378 \frac{e}{p})$ 与 T 并在一起，用一个虚设的物理量——虚温 (T_v) 来表示，即

$$T_v = T (1 + 0.378 \frac{e}{p}). \quad (1-17)$$