

高等学校交流讲义

气象学

成都工学院水利系陆地水文教研组编

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书是陆地水文专业气象学的交流讲义。内容主要为气象学的基本知识，对与专业有关的气象学问题(如蒸发)作了较多的叙述。全书共分两篇，第一篇讲解大气中的过程和现象，第二篇讲解气象仪器与观测。

本书也可供水文工作者自学之用，对其他专业和中等专科学校的气象学教学亦有参考价值。

气 象 学

成都工学院水利系陆地水文教研组编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

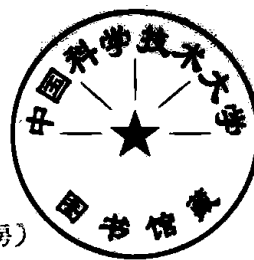
*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $11 \frac{1}{2}$ · 插页 1 · 字数 274,000

1961年12月北京第一版·1961年12月北京第一次印刷

印数 0001 1,120 · 定价 (10-6) 1.45 元

统一书号: 15165·337 (水电-49)



序 言

本书系作为高等学校陆地水文专业五年制的交流讲义而编写的，它的内容主要采自我院和华东水利学院过去的气象学讲义，对其中部分章节作了如下的处理：

1. 取消了大气热力学一章，把它作为大气热状况一章的第一节内容。这样，我们认为系统性更好些。
2. 将大气运动学一章放在凝結降水和蒸发一章之前，便于在讲完大气热状况之后，紧接着讲大气运动，而讲凝結降水和蒸发问题时，正好运用大气运动的知識，这样，学生更易于理解。
3. 适当加深了大气运动学一章的内容，为学生学习天气学奠定更坚固的基础。
4. 考虑到专业的要求，增加了有关蒸发方面的一些内容。

本书由我院主編，华东水利学院参加了审閱及部分修改工作。

本书气象仪器与观测部分采用了 M. C. 阿維尔基耶夫 (Аверкиев) 著“气象学”(翻譯本于 1960 年由人民教育出版社出版) 一书中的相应部分。

本书的編写任务是本年三月在武汉由水利电力部召开的高等水利院校教材工作会议上确定的。由于時間匆促，加以編者的水平有限，不妥之处，在所难免。請讀者予以指正。

成都工學院水利系陆地水文教研組

1961 年 6 月

目 录

序言

緒論	1
第一节 气象学研究的对象、任务和内容	1
第二节 气象学在国民經济和国防上的意义	2
第三节 气象学与其他科学的关系	3
第四节 气象学发展簡史	3
第五节 主要气象要素	5

第一篇 大气中的过程和現象

第一章 大气的基本特征	13
第一节 低层大气的成分	13
第二节 高层大气的物理現象与成分	15
第三节 大气的垂直結構	17
第四节 对流层中大气的水平不均一性	18
第五节 干湿空气的状态方程	20
第六节 大气的靜力方程压高公式及其应用	21
第二章 輻射	25
第一节 太阳概况	25
第二节 太阳輻射与地球輻射	27
第三节 太阳輻射随季节与緯度的分布	28
第四节 大气中太阳輻射的減弱	30
第五节 下垫面的輻射平衡	32
第六节 地表的热量平衡	35
第七节 計算輻射平衡各項的經驗公式	36
第三章 土壤和水体热狀況	38
第一节 土壤表面溫度的日变化和年变化	38
第二节 土壤内部的溫度变化	41
第三节 冻土和霜冻	44
第四节 水体的溫度	45
第五节 土壤和水体内的热儲量	47
第四章 大气的热狀況	48
第一节 大气中的絕热过程	48
第二节 空气中的热量傳遞	54
第三节 空气溫度的日变化和年变化	56
第四节 对流层中溫度随高度的分布	58
第五节 对流层中及平流层底部气温随緯度的分布	59
第六节 大气中的逆溫	60
第五章 大气动力学基础	62

第一节 关于風場的一般概念	62
第二节 大气的运动方程及其简化	68
第三节 无摩擦的简单运动	72
第四节 摩擦对空气运动的影响	78
第五节 地方性風	88
第六节 大气环流概述	93
第六章 凝結与降水	97
第一节 冰面、弯曲水面和溶液表面上的饱和水汽压	97
第二节 凝結过程	99
第三节 地表凝結物	103
第四节 霧	104
第五节 云	105
第六节 降水	103
第七节 积雪	111
第八节 人工影响云霧	112
第七章 蒸發的基本知識	113
第一节 蒸发的实质及其研究目的	113
第二节 水面和土壤蒸发的观测	116
第三节 用經驗公式确定蒸发	117
第四节 用乱流扩散法确定蒸发	118
第五节 由热量平衡方程确定蒸发	119
第六节 由土壤湿度来确定陆面蒸发量	120
第七节 由气象因素确定陆面蒸发量	121
第八章 大气中的光电現象	124
第一节 大气对太阳光的散射所引起的現象	124
第二节 大气的折光和引起的現象	125
第三节 云中的光学現象	127
第四节 雷电現象	131

第二篇 气象仪器与观测方法

第九章 測定大气压力的方法	133
第一节 水銀气压表	133
第二节 水銀气压表的訂正	135
第三节 空盒气压表	136
第四节 气压計	138
第十章 測定土壤、水和空气溫度的方法	140
第一节 液体溫度表概述	140
第二节 溫度表的訂正	140
第三节 基准点的变化, 0° 点的檢定	141
第四节 溫度表的灵敏度	141
第五节 測定地面溫度的溫度表	141
第六节 深土地溫表	143
第七节 測定水溫的溫度表	144

第八节	測定空气溫度的方法	144
第九节	溫度計	146
第十节	电阻溫度表	147
第十一节	温差电溫度表	148
第十一章	測定太阳輻射和有效輻射的方法	150
第一节	相对日射表和絕對日射表	150
第二节	水流絕對日射表	151
第三节	补偿絕對日射表	152
第四节	相对日射表的一般理論	153
第五节	米海里遜及金属相对日射表	153
第六节	日照計	154
第七节	分光測热表	155
第八节	太阳常数的測定	155
第九节	絕對天空輻射表	156
第十节	相对天空輻射表(一般理論)	157
第十一节	揚尼舍夫斯基天空輻射表	157
第十二节	反射輻射的观测、反射率表	159
第十三节	絕對地面輻射表	159
第十四节	沙文諾夫相对地面輻射表	160
第十五节	地面有效輻射的測定	161
第十六节	留捷尔施坦恩和斯克沃尔佐夫輻射平衡表	162
第十二章	測定蒸發和空气湿度的方法	163
第一节	蒸发器	163
第二节	測定空气湿度的干湿表法	164
第三节	毛发湿度表和毛发湿度計	166
第十三章	云、降水和积雪的观测	168
第一节	云量的估計	168
第二节	雨量器和自記雨量計	169
第三节	积雪的厚度和密度的測定	170
第十四章	測定風的方法	172
第一节	維尔德測風器	172
第二节	用測風器观测	174
第三节	轉杯式和桨翼式風速表	174
第四节	电傳風速表和風速計	175
第五节	热力風速表	176
第六节	測風气球法	177

緒 論

大家知道，地球周圍有一層很厚的空氣包圍着，這層空氣被稱為大氣。有史以來，人類在生產鬥爭中積累了豐富的有關大氣中各種現象及其變化的知識，並逐漸建立和發展成一門自然科學——氣象學。

第一節 氣象學研究的對象、任務和內容

大氣中經常發生着各種各樣的物理現象，如冷、暖、風、雲、雨、雪、雷、電等等。這些現象及其演變的過程是彼此相互聯繫，相互依賴和相互約制着。可以說，這些現象和過程，幾乎都是由投射到地球上的太陽輻射，下墊面（海陸表面）的不均一性及大氣本身的物理特性所決定的。研究地球外圍的大氣及其中所發生的各種物理現象和過程的科學，稱為氣象學。

正如其他自然科學一樣，氣象學也是為人們生產鬥爭服務的。為了達到這個目的，氣象學的具体任務可概括為：

1. 長期系統地觀察大氣中所發生的物理現象，提供豐富的資料。
2. 根據觀測資料加以科學地分析和研究，去粗取精，去偽存真，由此及彼，由表及里，找出它們發生和發展的真正原因，並揭露它們發生和發展所服從的客觀規律。
3. 根據所掌握的規律，準確地推斷大氣現象的演變過程。
4. 應用所發現的規律及其它最新科學技術的成就，進一步控制大氣活動。

由此不难看出，氣象學的任務不只是去了解大氣，說明大氣性質和消極地避免它給人們帶來的災害，其最高目的就是要運用客觀規律控制大氣中各種物理過程的發生和發展，使人類成為大氣的主宰。

氣象學所研究的問題是很廣泛的，研究時所採用的具体方法也是不同的，因此又發展出一些支系：

每時每刻的天氣都有不同，天氣隨時間和空間的變化是很大的，研究天氣情況及各種天氣過程的原因，並研究如何對其演變趨勢進行預報的部門為天氣學。

各地多年所特有的天氣稱為氣候，它的特点是太陽輻射、下墊面特性及與之有關的大氣環流決定的。研究氣候的形成、演變和改造氣候的方法等內容便構成了氣候學。

以熱力學和流體力學的基本理論為基礎，研究大氣機械運動及其熱運動的聯繫和相互作用的部門，叫做動力氣象學。

專門研究大氣中的聲、光、電等現象以及它們與大氣過程的內在聯繫的部門名為大氣聲學，大氣光學，大氣電學。

研究發生於高低層大氣中和特殊地區上大氣的物理過程的部門有高空氣象學，近地層氣象學（或微氣象學），海洋氣象學，高原氣象學等。

在直接採用了無線電技術和理論及其最新成就來研究大氣中各種物理現象和過程的部門為無線電氣象學或微波氣象學。

蘇聯人造衛星的發射，宇宙航行的開辟，又出現了宇宙氣象學。

专门研究气象仪器的构造及其工作原理的部门，称为气象仪器学。

另外，由于气象学的研究成果应用到国民经济的各部门中，因而也产生了各种专业气象学的部门，如航空气象学，农业气象学，畜牧气象学，森林气象学，医疗气象学等。

气象学和其它任何科学一样，对大气中各种物理现象的认识，是符合“实践——理论——实践”的过程的。对气象学的研究，是从具体的观察和对占有的大量资料进行分析，概括，把它提高到理论阶段，从而得出各种物理过程所服从的规律。并再回到实践中去检验和指导实践，这样反复进行，逐渐充实和不断地向高级发展。

因此，气象学进行研究的基本活动便是观测。

为此目的，全球各国都有自己的气象台和气象站，它们组成了气象台、站网，对整个大气层内的大气状况进行定时和不定时的观测，并记录现象的发生和发展过程。这样获得的原始资料，便是气象学研究的基础。

除此以外，在气象学的研究中还进一步广泛地应用了理论分析的方法，综合分析原始的庞杂材料，揭露和确定各种现象之间的规律性的联系。

同时也愈来愈广泛地采用室内实验和局地试验的研究方法，如建立云、雾实验室和人工控制云、雨的试验，来研究云、雾、降水和其它物理现象的成因和控制的途径，并研究如何与灾害现象进行斗争。

随着科学技术的迅速发展，研究方法也随之不断更新，最近苏联发射了载人宇宙飞船，使用人造地球卫星研究天气和预报天气即将实现。

第二节 气象学在国民经济和国防上的意义

大家知道，直到现在人们的一切活动都是在大气中进行的。大气中的一切现象和过程（例如：旱、涝、暴雨、大风等）对人们的活动都会发生直接或间接的影响。因此无论在发展国民经济，巩固国防，改造自然和在人类的日常生活中，气象学都具有重大的意义。

农业和气象学的关系是很密切的，各种作物在整个生命活动过程中只能适应一定的气象条件。农业规划，适时的播种，收割，施肥，防旱，防寒等，都要求准确的气象情报。

气象学和水利建设事业有极为密切的关系。根治江河，开发水利资源，进行流域规划，都要考虑该流域的气象条件。例如，一个流域径流的多少、来源、变化等都和降水有紧密的联系。水利部门为了进行水利工程的设计、施工、防洪、灌溉都迫切要求气象条件的保证。如1954年，我国长江和淮河发生了特大的洪水，在与洪水斗争期间，正确的气象情报，对防汛工作胜利的取得是有贡献的。

对林业来说，气象条件是非常重要的，森林的种植和森林火灾的扑灭等活动，在不同的气象条件下，采取不同的办法进行。

适宜的气象条件和突然来临的灾害性天气，对牲畜的生活和生长，有极大的不同影响。因此，在发展畜牧业时，必须充分研究并利用有利的气象条件。

空中、海洋和内河的航行，是在经常变化着的气象条件下进行的，甚至在现代技术装备之下，一系列的气象情况如雷暴、风暴、结冰、雾等，对航行仍是有危险的。为了避免这些危险和保证正常的航行，就需及时而正确的气象情报。

在寒冷地区架设的电线上容易发生冰层增厚的超载现象，以致引起断裂，通讯联系受阻。因而在架设电线时要充分重视气象情况。

漁業需要保證安全捕魚的气象条件。

基本建設不但需要長期可靠的資料，以保證降低造價和節約原材料，幫助選擇該項工程建設在气象狀況适宜的地区，并要求准确的气象預報，以保證工程建設的安全進行。

在國防上，气象学也有很重要的任务，現代化的軍事——尤其是空軍和海軍的活動，不能缺少气象情报以保證战斗活動应在有利的气象条件下進行。

我国气象科学和其他科学一样，也是为社会主义建設服務的。在党的领导下，我国正在進行着改造自然的巨大工作，例如營造了風沙防护林和部分的海灘防风林等。近几年来，在天气預報和人工影响天气等工作中都獲得了巨大的成就。

第三节 气象学与其他科学的关系

根据气象学的内容和研究方法可以看出，气象学与許多科学有密切的关系。

首先气象学与物理学、地球物理学有密切的关系，气象学的任务，就是要弄清楚与地表性质有关的大气中一切物理过程的实质及其发展規律。大多数的内容就是广泛应用物理学中的成果（如热力学、流体力学、光学、声学、电学等等），对大气的深入研究的結果。同时也广泛使用物理学中的最新技术成就及地球物理学中的有关成果来发展气象学領域內的新部門。因此，气象学就是物理学和地球物理学的一个支系。

由于要寻求各現象之間定性的和定量的关系，数学科学的成果也被广泛的应用来确定各种函数关系，进而解决数值預報問題。

因为大气不斷進行着热量交換和水分交換过程。地理环境的差別，使大气中水分活动和热力过程有显著的不同。因此，气象学与海洋学、地理学有着密切的关系。

气象学和水文学之关系是极为密切的。俄国气象学者沃耶科夫曾說“河流是气候的产物”。河流的形成，径流的变化，及水文情况都是受着气候支配的。

进行水文計算、水文預報、水利調度的研究时，不仅要求长期的气象資料，而且越来越多地需要气象知識。大家知道，长期以来，水文水利計算一直是以統計規律为基础的。而統計規律只对大量水文現象才是正确的，認識了統計規律，并不能准确地揭露或預言个别水文現象和过程的变化。因此必須進一步揭露各种現象之間的动态規律。換句話說，必須大力研究作为一切水文統計規律基础的动态規律^①。显然水文現象的动态規律是不能脱离气象过程的。

第四节 气象学發展簡史

气象学和其它科学一样，是人类进行生产过程中不斷向自然作斗争而逐漸建立和发展起来的。

我国三千年以前，当时人們大部分以畜牧为生。对天气就有許多观测和紀錄，从殷墟甲骨文中可以看到有不少是关于阴、晴、雨、雪的卜辞。曾将天气划分为雨、晴、热、冷、风五种类型（見尚書洪範篇）。

春秋战国时代（在二千五百年前），已完成了春、夏、秋、冬四季的区分，并准确地确定了春分，夏至，秋分，冬至的日期。

① 现在一般称为成因方向。

秦汉时代(二千年前),有不少关于物候和灾害性天气的記載(見呂氏春秋,淮南子和大戴礼記等)。东汉王充就正确地解釋了雷雨的成因(見論衡)。到了后魏(一千三百年前),已制定出二十四节气,成为指导农业生产的历书。宋代前后沈括、朱熹曾分別闡述过大气中的虹和成云致雨的原因。

在仪器制造和使用上,汉代張衡(132年)就发明了“相风銅鳥”来观测风,較西洋早了一千多年。宋时秦九韶,曾研究了雨雪測定(論述雨量器容积的計算),到明朝永乐年間(1424年),統一頒发了标准雨量器到各县使用而西洋直到17世紀才用雨量筒。

我国气象台建立很早,远在第五世紀,南京已有司天台的建筑。1385年(明洪武18年)在鸡鳴山北极閣上建設了观象台,該台較古老的英国格林威治观象台还早三百年,而且仪器設備齐全,专职人員日夜观测。到1668年(清康熙七年)南京观象台的仪器,曾移到北京,1927年在南京北极閣原址又重建观象台。

在国外,到十七世紀以后,随着手工业的发展,发明和創造了一些仪器(十六世紀末制有溫度表,1643年有气压表),同时应用了力学和物理学上的一些基本定律,來說明发生的气象現象。

十九世紀中叶,由于生产的发展和科学水平提高,推动了气象学的前进。电报的发明对气象学的进展起着很大的作用,它使人們有可能迅速了解和研究广大地区的天气。在十九世紀末和二十世紀初,气象研究有了新的成就,其中主要的原因是高空观察的发展和无綫电的发明。这样,气象研究的范围就由近地面的空气层进而扩展到三度空間的整个大气层。

近代自然科学都已由純粹的定性描述向实验和定量描述方向发展。由于很多气象学者,特别是由于苏联学者的偉大貢獻,以及現代生产的迫切需要,促使气象学有了飞跃的发展。并成为一門較完整的物理科学。

在沙皇統治时期,一些俄罗斯的天才学者,在学术上得不到应有的发展,但俄国也出現了许多卓越的气象学家,他們在各方面都有很多偉大的貢獻。如 M. B. 罗蒙諾索夫在气象学領域中就做出了非常大的成績。他首先指出必須組織經常观测的台站网。另外,他着手研究高层大气,創造了完整的雷雨理論,指出大气中有垂直上升和下降的气流存在。他还特別重視預測天气的工作,并說明解决这个問題的途径。此外,他还从事气象仪器研究制造工作。

偉大的十月革命以后,苏联共产党和苏維埃政府給予气象学极大的关怀,使苏联气象学获得飞跃的进展,不論在气象学的实践方面,或理論方面的研究,苏維埃学者的成果都大大的超过資本主义国家,特别是在1957年10月4日苏联发射第一顆人造地球卫星以后,不断发射更大的卫星和宇宙火箭,不仅对进一步研究高空气象提供了极其宝贵的資料,而且应用人造卫星进行准确的气象預报也将成为现实。

我国很早以前,虽然在气象学上有很大的卓越成就,但因封建社会对人們思想的束縛,加以帝国主义的侵略,使我国工农业生产和科学技术水平,在較长的时期处于落后状态,因而气象科学进展也非常緩慢。

解放前,我国的气象事业瀕临淹淹一息的境地,不仅台站少,技术人員缺乏,而且仅有的一点气象情报也都成为帝国主义侵略我国的工具。

从1949年解放后,在中国共产党的领导下,我国气象事业得到了飞跃的发展。短短

的几年內，在全国各地都建立了較完整的台站网，培养了不少的技术干部。据不完全统计，我国現有气象台比解放前多 22 倍，有好些气象工作项目已达到了国际水平。例如短期和灾害性天气預告的准确性已达到 85% 以上。特别是在适应全国工农业大跃进的形势下，創立了单站补充天气預告，准确率达到 90% 以上，赶上了国际水平。补充天气預告是我国气象事业独創精神的具体表现。它为我国气象工作如何为工农业生产服务开辟了道路。

1958 年第三次全国气象工作会议指出气象工作必須政治挂帅，坚决依靠全党、全民的力量，多、快、好、省地在全国范圍內建立一个以服务农业为重点工作的气象服务网，和开展大中小相結合的天气預报工作，使我国气象事业在較短期間全面赶上国际最先进的水平。

我国气象事业飞跃发展的事实充分証明了气象事业必須依靠党的领导。沒有党的领导，气象事业的飞跃发展是难于設想的。

第五节 主要气象要素

对大气的物理状态和其中所发生的一切物理現象，我們都可以“定量”或“定性”地加以描述。定量描述大气特性的物理量，統称为气象要素。

气象要素很多，主要的有：1) 气温；2) 气压；3) 空气湿度；4) 风向及风速；5) 云况；6) 降水；7) 能見度；8) 土壤溫度和湿度；9) 蒸发（自水面及土壤表面）；10) 各种天气現象；11) 日照时数；12) 太阳輻射、地面及大气的輻射等。这些气象要素的数值，都是从观测直接获得的。

現在我們扼要地說明其中主要气象要素的特征及其单位。

1. 气温：大气的溫度，它是大气分子运动的平均能量的一种量度，表明大气的冷热程度。

溫度的单位是“度”，但有各种溫标。在实用上常用攝氏溫标 ($t^{\circ}\text{C}$)，在理論計算中常用絕對溫标 ($T^{\circ}\text{A}$ 或 $T^{\circ}\text{K}$)。

$$T^{\circ}\text{K} = 273.16 + t^{\circ}\text{C} = 273.16 (1 + \alpha t^{\circ}\text{C})$$

此处

$$\alpha = \frac{1}{273.16}$$

2. 气压或大气的压力：所謂压力是指作用在单位面积上的垂直作用力（物理上常称“压强”）。

我們都知道，根据气体分子运动論的观点，认为气体的压力是分子与分子之間或分子与器壁之間的碰撞过程中动量迁移的表现。因此，气体的压力是表现在各个方向上，在靜止状态下，气体內部任何一点受到各个方向的压力都是相同的，即在各个方向上經過单位面积 of 分子动量迁移的平均速率相同。

气压的单位可用托里析里管中的水銀柱高度或以单位面积上所受到的“力”来表示。现将气压的单位分別說明如下：

(1) 以水銀柱高度（以毫米为单位）来表示。

由于与同一大气压力平衡的水銀柱的高度随溫度及重力的作用而改变，所以我們規定以溫度为 0°C 的和处于緯度 45° 海平面处（此处重力加速度 $g = 980.6$ 厘米/秒²）的水銀柱

高度作为标准。

(2) 以绝对单位(毫巴)表示(即以单位面积上所受之力表示)。

在气象学上规定① 1巴=10⁶达因/厘米²

1毫巴(mb)=1000达因/厘米²(约等于1克重/厘米²)。

以上两种单位的换算关系推导如下:

设 h 表示托里析里管中水银柱的高度(以厘米作单位); ρ 为 0°C 时水银柱的密度($\rho=13.596$ 克/厘米³); g 为重力加速度($g=980.6$ 厘米/秒²), 则

$$1 \text{ 毫米汞高} = 1 \times 13.596 \times 980.6 \text{ 达因/厘米}^2 = 1.333 \text{ 毫巴} = \frac{4}{3} \text{ 毫巴},$$

或者, $1 \text{ 毫巴} \simeq \frac{3}{4} \text{ 毫米汞高}.$

气象学上, 常把 760 毫米汞高, 即 1013.25 毫巴的大气压力, 称为一个标准大气压力。

3. 空气湿度: 空气湿度是空气中水汽含量(不包括大气中液态水或固态水)多少的量度。

湿度的表示方法很多, 下面我们将分别说明各种表示方法:

(1) 水汽压(e): 即空气中水汽的分压力, 它是由大气中水汽分子作用产生的压力, 它与水汽的密度有关。当水汽密度大时, 水汽压就大。表示水汽压的单位, 也是毫米汞高, 或毫巴。

在讲到水汽压时, 特别应该知道饱和水汽压的意义, 它即是在一定温度下, 清洁冰面上所可能存在的最大的水汽压(此时从水面跑出的水分子数和回到水内的水分子数正好相等)。饱和水汽压, 仅为温度的函数, 常用下列经验公式表明:

$$E = E_0 \times 10^{\frac{at}{t+b}} \quad (0-1)$$

上式中 E_0 是 0°C 时水面上的饱和水汽压($E_0=6.1$ 毫巴); a 、 b 是两个常数, 在冰面上由实验得出 $a=9.5$, $b=265.5$, 在水面上 $a=7.5$, $b=237.5$, t 为温度, 用摄氏温标表示。

(2) 绝对湿度(a): 它为单位体积空气中水汽的含量, 即水汽的密度(ρ_r)。其单位为克/米³或克/厘米³。

绝对湿度(a)与水汽压(e)之间有一定的关系。应用克来普朗方程

$$\rho_r = \frac{e}{R_r T} \quad (0-2)$$

式中 ρ_r ——水汽的密度, 亦即绝对湿度 a ;

e ——水汽压(以毫巴为单位);

T ——绝对温度;

R_r ——一克水汽的气体常数($R_r=4.3 \times 10^6$ 尔格/克·度)。

以 a 代 ρ_r , 并将 R_r 的数值代入上式:

$$a = \frac{10^3 e}{4.6 \times 10^8 T} = \frac{217 \times 10^{-6}}{T} e \text{ 克/厘米}^3 = \frac{217}{T} e \text{ 克/米}^3 \quad (0-3)$$

考虑到

$$T = 273(1 + at)$$

① 注意物理学中把 1 达因/厘米²的压力, 称为 1 巴。

所以(0-3)式可写成

$$= 0.795 \times 10^{-6} \frac{e}{1+\alpha t} \text{ 克/厘米}^3 \approx 0.8 \times 10^{-6} \frac{e}{1+\alpha t} \text{ 克/厘米}^3 \approx 0.8 \frac{e}{1+\alpha t} \text{ 克/米}^3. \quad (0-4)$$

如果 e 是以毫米汞高为单位, 则(0-4)式为

$$a = 0.8 \frac{\frac{4}{3}e}{1+\alpha t} \text{ 克/米}^3,$$

即

$$a = 1.06 \frac{e}{1+\alpha t} \text{ 克/米}^3. \quad (0-5)$$

从(0-5)式可以看出, 当 $t = 16.4^\circ\text{C}$, 系数 $\frac{1.06}{1+\alpha t} = 1$ 时, 此时 e 与 a 在数值上相等 (这时 e 以毫米汞高为单位, 而 a 以克/米³ 为单位)。

因 a 与 e 是成正比, 并且在普通温度下 a 与 e 在数值上相差很小, 故在实用上常用水汽压的毫米汞高数表示绝对湿度。

(3) 比较湿度 ($\bar{q}$): 它是同体积空气中水汽质量与湿空气质量之比, 简称比湿。比湿的单位一般为克/千克或克/克, 即 1 千克 (1 克) 湿空气中含有水汽多少克。

比较湿度不能直接测出, 但可由水汽压 (e) 和气压 (P) 计算出来。

根据比湿的定义知

$$q = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{干}} + m_{\text{水}}}. \quad (0-6)$$

式中 $m_{\text{水}}$ 为一块湿空气中水汽的质量; $m_{\text{干}}$ 为同一块湿空气中干空气的质量。

如以 $\rho_{\text{水}}$ 表示此空气中水汽的密度, 以 $\rho_{\text{干}}$ 表示此空气中干空气的密度, 以 V 为此空气的体积, 则

$$m_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} V,$$

$$m_{\text{干}} = \rho_{\text{干}} V,$$

代入(0-6)式得

$$q = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{干}} + \rho_{\text{水}}}. \quad (0-7)$$

考虑到

$$\rho_{\text{水}} = \frac{e}{R_{\text{水}} T},$$

$$\rho_{\text{干}} = \frac{P - e}{R_{\text{干}} T},$$

以及

$$R_{\text{干}} = \frac{1}{1.608} R_{\text{水}},$$

就得到

$$q = \frac{\frac{e}{R_{\text{水}} T}}{\frac{P - e}{R_{\text{干}} T} + \frac{e}{R_{\text{水}} T}} = \frac{e}{1.608 \left[P - e + \frac{e}{1.608} \right]} = 0.622 \frac{e}{P - 0.378e} \text{ 克/克}. \quad (0-8)$$

因为

$$P \gg 0.378e,$$

所以

$$q \approx 0.622 \frac{e}{P} \text{ 克/克} = 622 \frac{e}{P} \text{ 克/千克}. \quad (0-9)$$

(4) 混合比 (s): 它是单位体积空气中水汽质量与干空气质量之比, 其单位与比较湿度一样, 也是克/克或克/千克。

由定义

$$\rho = \frac{m_{\pi}}{m_{\pi}} \text{ 或 } \rho = \frac{\rho_{\pi}}{\rho_0},$$

即

$$\rho = \frac{\frac{e}{R_v T}}{\frac{P-e}{R_a T}} = \frac{1.608 R_a T}{P-e} = 0.622 \frac{e}{P-e} \text{ 克/克.} \quad (0-10)$$

(0-10) 式与 (0-9) 式比较, 我们知道 $\rho > q$ 。但因 $P \gg e$, 所以 (0-10) 式也可写为:

$$\rho \approx 0.622 \frac{e}{P} \text{ 克/克} = 622 \frac{e}{P} \text{ 克/千克.} \quad (0-10')$$

事实上, 当空气比较干燥时, $\rho = q$ 是相当精确的。

(5) 饱和差 (d): 为饱和水汽压 E 与实际水汽压 e 之差。

即

$$d = E - e. \text{ (毫巴或毫米汞高)} \quad (0-11)$$

d 值大表示相对水汽含量少, d 值小表示相对水汽含量多。

(6) 相对湿度 (f): 它是空气中实际有的水汽压 e 与同温度下饱和水汽压 E 之比, 常以百分数表示。

即

$$f = \frac{e}{E} \times 100\%. \quad (0-12)$$

显然

$$f = \frac{a}{A} \approx \frac{q}{Q} \approx \frac{s}{S}. \quad (0-13)$$

式中 A 、 Q 、 S 分别表示饱和状态时的绝对湿度, 比湿及混合比。

(7) 露点温度 (τ): 就是在气压不变的情况下, 降低气温, 使空气中的水汽达到饱和状态时所具有的温度。

显然露点永远小于或等于气温 ($\tau \leq t$)。露点温度的高低也可用饱和水汽压与温度的关系求出, 通常露点温度愈高, 水汽的绝对含量就愈大; 反之, 就愈小。并且露点温度与温度之差愈大, 空气中相对水汽的含量就愈小; 反之, 就愈大。

4. 风向及风速: 风就是空气的水平运动。风具有大小和方向。

风向是指风来的方向, 例如风由东方来, 称为东风。风向南去, 则为北风。

风的方向一般划分成十六个方位来表示如图 0-1。两相邻方位之间的角度为 22.5° 。

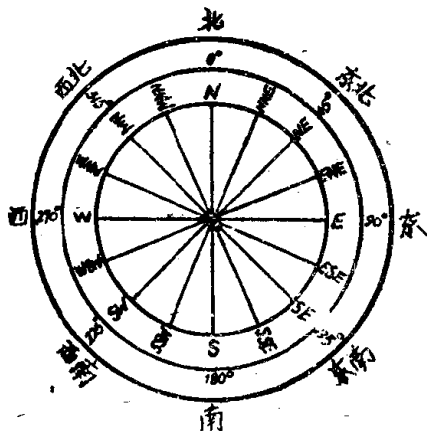


图 0-1

有时风向也用度数来表示, 例如, 正北为 0° , 正东为 90° , 正南 180° , 正西 270° 。海面和高空的风较稳定, 它们的风向常用度数表示。

风速是指单位时间内, 空气运行的距离, 一般以米/秒或千米/时表示, 但有些国家常以英里/时或海里/时作单位。其单位的换算如下:

$$1 \text{ 米/秒} = 3.6 \text{ 千米/时} = 2.33 \text{ 哩/时} = 1.94 \text{ 哩/时}.$$

观测风速的仪器是风速表 (仪), 如仅粗略估计风速, 可依自然界的现象来判断它的大小, 即以风力表之。

风力就是空气作用在物体上的力, 它的大小常以自然界的现象来体现。蒲福在 1805 年根据自然现象将风力分为 13 个等级 (0~12 级) 各级之间不计小数详见表 0-1。

表 0-1 蒲氏風力等級表

風力等級	海面狀況		海岸漁船征象	陸地地面物征象	相當風速		
	浪高(米)				米/秒	千米/時	哩/時
	一般	最高					
0	—	—	靜	靜, 烟直上	0~0.2	小于 1	小于 1
1	0.1	0.1	尋常漁船略覺搖動	烟能表示風向, 但風向標不能轉動	0.3~1.5	1~5	1~ 3
2	0.2	0.3	漁船張帆時, 每小時可隨風移行 2~3 千米	人面感覺有風, 樹葉有微响, 風向標能轉動	1.6~3.3	6~11	4~ 6
3	0.6	1.0	漁船稍覺波動, 每小時可隨風移行 5~6 千米	小樹枝搖動不息, 旌旗展開	3.4~5.4	12~19	7~10
4	1.0	1.5	漁船滿帆時, 可使船身傾于一方	能吹起地面灰塵和紙張	5.5~7.9	20~28	11~16
5	2.0	2.5	漁船縮帆(收去帆的一部分)	有葉的小樹搖擺, 內陸的水面有小波	8.0~10.7	29~38	17~21
6	3.0	4.0	漁船加倍縮帆, 捕魚須注意風險	大樹枝搖動, 電綫呼呼有聲, 舉傘困難	10.8~13.8	39~49	22~27
7	4.0	5.5	漁船停息港中, 在海者下錨	全樹搖動, 大樹枝彎下來, 迎風步行感不便	13.9~17.1	50~61	28~33
8	5.5	7.5	近港的漁船皆停息不出	可折斷樹枝, 人逆風行走, 感覺阻力甚大	17.2~20.7	62~74	34~40
9	7.0	10.0	汽船航行困難	烟囱及平屋房頂受到損壞, 小屋遭受破壞	20.8~24.4	75~88	41~47
10	9.0	12.5	海船航行頗危險	陸上少見, 可拔起樹木或將建築物吹毀	24.5~28.4	89~102	48~55
11	11.5	16.0	汽船遇之極危險	陸上很少, 發生時可造成重大損失	28.5~32.6	103~117	56~63
12	14.0	—	海浪滔天	陸上極少, 其摧毀力極大	大于 32.6	大于 117	大于 63

根據蒲氏制定的公式, 也可粗略地由風級計算風速, 公式為:

風速 $\approx 1.87 \sqrt{F^3}$ (哩/時) $\approx 3.02 \sqrt{F^3}$ (千米/時) F 是風力的等級。

5. 云況 (云量及云狀): 云是空中水汽凝結或凝華後形成的許多微粒 (水滴和冰晶), 由於氣流的支持而飄浮在大氣中。“云”是最易變化的氣象要素。云況通常是用云量和云狀來表征, 但觀測時, 也測定云高、云向和云速。

(1) 云量是云的多少, 常以云遮蔽天空的量來表示, 一般將天空分為十等分, 估計這十等分中為云所掩蓋的分数, 即為云量。

如天空有三分為云所遮蔽, 則云量為“3”。

(2) 云狀是云的形狀, 云狀是多種多樣的, 根據 1932 年國際云學委員會出版的國際云圖, 云狀是按云底的高度和云的形狀分為四族十屬, 每屬又分為若干亞屬、種、類及副類。

現在我們介紹四族云中的“十屬”。

云的四族是：

第一族——高云，它們的云顶高度在 6000 米以上。

第二族——中云，它們的云顶高度在 2000 米~6000 米之間。

第三族——低云，它們的云顶高度在 2000 米以下。

第四族——直展云，是垂直向上发展的云族，它們底部的高度是与低云差不多，但云顶的高度可达高云族所在的范围。

云的十属是：

高云族中包括三属：即卷云、卷积云和卷层云；中云族中包括两属，即高层云和高积云；低云族中包括三属，即层积云、层云和雨层云；直展云族包括两属，即积云和积雨云。

1) 高云族：高云都是由冰晶构成的，其密度不大，因此，高云遮住太阳时，很少减弱太阳的光辉，地面物体的影子，仍然完全清楚。通常，高云族不会有达到地面的降水。

① 卷云——Ci：卷云是具有纖維结构而分散开的云，多数呈白色，云块中間沒有暗影，帶有絹絲的光澤。卷云是高云族中最高的云，因此日出时卷云被日光照耀早于其他的云，而日沒时的变暗（逐漸变为灰色）比其它的云要晚得多。在日出以前和日落以后，卷云常带鮮明的黄色或紅色。

② 卷积云——Co：由白色小球构成的云层，呈棉絮或襞皺状，常排列成群或行，有时，形状似水面的波紋。

③ 卷层云——Cs：为薄如絹綃，帶有乳白色的透光云幕，有卷层云存在时，日月輪廓分明。Cs 上常出現“暈”的現象。

“暈”是日光或月光通过卷层云时，由于折射作用形成半径約为 22° 內紅外紫的光圈（詳見第八章）。

2) 中云族：

① 高积云——Ac：高积云是由片状或球状所构成的波状云层。云块較卷积云的云块大，常呈白色。当云块遮住太阳时，云块中会出现暗影。

高积云一般是由水滴組成，沒有降水，当日光和月光通过高积云时，在云上可出現比暈小的內紫外紅的“华”环。“华”是由于日光或月光通过云时发生衍射形成的光圈（詳見第八章）

② 高层云——As：高层云是具有纖維状或条紋状的云幕，多半是灰色或稍带藍色的云幕。

高层云由水滴和冰晶混合組成的。冬季，As 可降小雪。

3) 低云族：

① 层积云——Sc：层积云是由深灰色的巨大云块所构成的云层，这些云块有时互相离开，有时又靠得很近，以致各云块的边缘汇合在一起产生密集的云层。

层积云主要由水滴組成，通常沒有降水，但有时也可降小雨或毛毛雨。

② 层云——St：层云是呈灰色而均匀的云层，和霧相似，但不靠近地面。层云是由大小不同的水滴組成，可降毛毛雨和小雪。

③ 雨层云——Ns：雨层云是深灰色而均匀的云层，和层云很相似。但雨层云下常有些碎小的云块（称碎雨云）。

雨层云很厚，它的下部为水滴組成，上部为冰晶和水滴混合組成，有連續性的降水。

4) 直展云族:

① 积云——Cu: 积云是垂直发展而分离的云块，它的低部是平的，頂部呈圓弧状。通常把垂直发展不盛的云块称为淡积云 (Cuhum) (或晴天积云); 垂直发展很盛的云块称为濃积云 (Cu Cong)。

Cu 是由細小的水滴組成，一般沒有降水，只在很少的情况下，濃积云可降零星的雨滴。

② 积雨云——Cb: 当濃厚的积云再垂直向上发展，至云頂扩展到高云族的范围时，便形成积雨云。Cb 呈高山或尖塔状，它的頂部具有纖維結構 (伪卷云)，有时呈鉄砧状。

Cb 很厚，它的下部为水滴組成，上部为冰晶組成。Cb 有大量的陣性降水，并常伴有雷暴。因此，一般常称为雷雨云。

以上云的分类是 1932 年的国际云委会所規定的，但这种分类法有很多缺点，如中、高、低云族只是根据云底高度来分的。而云的上限不能在云族中表示出来。另外，在四族十属以下又分出很多种类的云，这样既不利于记忆，又不能很好地說明各种云的独立特征 (特别是在观测时难于分辨)，所以在 1956 年出版的国际新云图中，取消了将云分为高、中、低、直展四族的分法，将經常出現的云按其垂直范围分为三个段，分別称为高段、中段、低段。每一段的范围不仅視該段常出現的厚度而定，也視緯度而异。

云段的范围

段	极 地	溫 带	热 带
高	3~8 千米	5~13 千米	6~18 千米
中	2~4 千米	2~7 千米	2~8 千米
低	自地面到 2 千米	自地面到 2 千米	自地面到 2 千米

高段的云包括卷云、卷积云、卷层云，統称为高段云；中段的云包括高积云一种，称为中段云；低段的云包括层积云及层云，統称为低段云。至于高层云，雨层云及积云和积雨云，由于它們出現范围并不限于某一段，例如高层云虽常出现在中段，但有时能伸展到高段；雨层云虽然大部分出現于中段，但它的两端可伸展到低段及高段中去；积云及积雨云的底部虽然在低段，但它們垂直发展的范围很大，頂部常伸展到中段及高段中，因此这些云都不算各段中的典型云，不列入各段云的中間。由云所在的云段，我們就可知云滴的組成 (是水滴或冰晶)，这样可进一步說明云中的降水。

新的“云的分类法”，是在三段云下再分“十族”，此“十族”相当旧云图的“十属” (名称也相同)；在十族下，新的分类法是比较合理和簡易，但我們不在此討論了。

現在一般还沿用旧的分类法，我們在此对新旧云的分类仅作簡单的介绍。

以上十属 (十族) 云的云状可参看云图。

6. 能見度: 在当时的天气情况下，正常人的眼睛所能看到的最大水平距离，叫能見度 (即水平能見度)。所謂“能見”就是能把目标物的輪廓从它們的天空背景上分辨出来。为了要知道能見距离的远近，事先必須选择若干固定的目标物，例如山头、塔、建筑物等，作为观测能見度的标准。在夜間，必須以灯光作为目标物来确定能見度，能見度的单位常用“米”和“千米”。

由能見度的大小可知大气的混浊程度。