

高等农业院校教材

农林气象学

(农学、林学、果树专业用)



吉 中 礼 主编
陕西科学技术出版社

高等农业院校教材

农 林 气 象 学

(农学、林学、果树专业用)

吉 中 礼 主 编

陕西科学技术出版社

(陕)新登字 002 号

主 编 吉中礼 (西北农业大学)
编 者 董立民 (西北林学院)
钱允祺 (西北农业大学)
甘允平 (新疆八一农学院)
刘克长 (山东农业大学)

主 审 陈世杰 (西北农业大学)

新 登 字 002 号

高等农业院校教材

农 林 气 象 学

(农学、林学、果树专业用)

吉中礼 主编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西北农业大学印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 21 万字

1993 年 1 月第 1 版 1993 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—4,700

ISBN 7-5369-1492-X/S. 165

定价:5.10 元

环境气象学

前 言

农林气象学属于应用气象学范畴,是气象学的重要分支。

为了使农林气象学教材更好地反映国内外,特别是国内近10年来农林气象科技的新成果,适应培养农业现代化建设人才的需要,我们根据教学规律和教学改革的要求,结合多年的教学经验,编写本教材。

教材重点讲述了与农业生产最为密切的太阳辐射、温度、水分、风和乱流、农业气象灾害及其防御、农业小气候及其优化管理措施、中国气候及其区划等方面的基本理论、基本知识,及其在农业生产上的应用和一些研究方法。每章后均有思考题。

书中的名词术语以全国自然科学名词审定委员会1988年公布的《大气科学名词》为准。

在编写过程中,我们力求运用辩证唯物主义观点组织材料,贯彻少而精的原则、理论联系实际的原则,以利于组织教学。在内容安排上,贯彻了由浅入深、循序渐进的原则,以利于培养学生的自学能力、独立思考能力和创造能力。

1989年5月于杨陵农科城召开会议,讨论、审定了编写大纲。1991年3月山东农业大学会议讨论了书稿。修改初稿于1991年6月完成。之后,经反复修改,于1992年2月定稿。

编者分工:吉中礼编写绪论、第一章、第二章;董立民编写第三章、第六章;钱允祺编写第七章;甘允平编写第五章、第八章;刘克长编写第四章。全书由吉中礼统稿。陈世杰老先生对本书作了审查,并提出了许多宝贵的意见。对此,编者表示深切的感谢。

由于我们的水平所限,书中不妥或错误之处,敬希读者不吝指正。

编 者

1992年2月于陕西杨陵

目 录

绪论	(1)
第一节 气象学和气象要素	(1)
第二节 农业气象学及其研究	(1)
一、农业气象学的概念	(1)
二、研究目的	(1)
三、研究的主要内容	(2)
四、研究方法	(2)
第三节 中国气象科学发展简史	(3)
一、中国古代气象学的成就	(3)
二、中国现代气象科学的建立和发展	(3)
三、中国气象科学研究的成就	(4)
第一章 大气概况及时间	(6)
第一节 大气组成及分层	(6)
一、大气组成成分	(6)
二、大气分层	(9)
第二节 四季和昼夜	(10)
一、四季	(10)
二、昼夜	(12)
第三节 时间的种类和换算	(13)
一、时间的种类	(13)
二、时间的换算	(14)
思考题	(15)
第二章 地气系统的辐射状况	(16)
第一节 辐射及其定律	(16)
一、辐射	(16)
二、黑体辐射定律	(17)
第二节 太阳辐射	(18)
一、太阳辐射光谱	(18)
二、太阳辐照度和太阳常数	(19)
三、大气对太阳辐射的减弱	(19)
四、影响太阳辐射减弱的因子	(20)

第三节 到达地平面的太阳辐射	(23)
一、直接辐射垂直分量	(24)
二、到达地面的散射辐射	(24)
三、到达地面的总辐射	(25)
四、地面反射辐射	(25)
五、太阳辐射的光效应	(25)
第四节 地面有效辐射	(27)
一、地面辐射	(27)
二、大气逆辐射	(27)
三、地面有效辐射	(28)
第五节 辐射差额和热量平衡	(28)
一、辐射差额	(28)
二、热量平衡	(32)
第六节 太阳光能的农业利用	(34)
一、太阳光能的计算	(34)
二、光能利用率及其提高途径	(37)
思考题	(39)
第三章 地气系统的热状况	(40)
第一节 土壤的热状况	(40)
一、土壤增温冷却的原理	(40)
二、影响土壤温度的因子	(41)
三、土壤中温度的变化	(44)
第二节 地气系统的热交换	(47)
一、地面和大气间的热交换	(47)
二、大气间的热交换	(47)
第三节 空气温度的变化	(48)
一、气温的周期、非同期变化	(48)
二、气温的垂直变化	(48)
三、空气的绝热变化	(50)
四、大气稳定度	(52)
第四节 温度与农业生产	(53)
一、农林作物对温度的要求	(53)
二、界限温度	(54)
三、积温	(54)
四、农业生产上调节温度的技术措施	(55)
思考题	(56)
第四章 大气水分和降水	(58)
第一节 水的三态及空气湿度	(58)

一、水的三态变化及其潜热	(58)
二、空气湿度参量	(59)
三、空气湿度的变化	(61)
第二节 蒸发和凝结	(62)
一、蒸发及其影响因子	(62)
二、凝结	(65)
第三节 降水及水分平衡	(69)
一、降水的形成	(69)
二、降水参量	(69)
三、降水的种类	(70)
四、水分平衡	(71)
第四节 水分与农业生产	(72)
一、水分与农林作物的关系	(72)
二、农林作物生长发育适宜的水势条件	(74)
三、农林作物需水量和水分利用率	(75)
思考题	(75)
第五章 风和乱流	(77)
第一节 气压	(77)
一、气压的基本知识	(77)
二、压高公式	(81)
第二节 风	(82)
一、风的概念	(82)
二、作用于空气的力	(82)
三、对流层中的风	(85)
第三节 大气环流	(86)
一、三圈环流和大气活动中心	(86)
二、季风	(90)
三、地方性风	(91)
第四节 乱流	(94)
一、贴地气层的主要特点	(94)
二、乱流扩散	(96)
三、热量平衡法确定乱流扩散	(98)
四、影响乱流强度的因子	(100)
第五节 风与农林业生产	(101)
思考题	(102)
第六章 气象灾害	(103)
第一节 气团和锋	(103)
一、气团	(103)

二、锋	(104)
第二节 寒潮、霜冻和低温冷害	(106)
一、寒潮	(106)
二、霜冻	(108)
三、低温冷害	(110)
第三节 干旱、干热风及洪涝	(110)
一、干旱	(110)
二、干热风	(111)
三、洪涝	(112)
四、干旱、洪涝及干热风的防御	(113)
第四节 冰雹、大风和龙卷风	(114)
一、冰雹	(114)
二、大风	(116)
三、龙卷风	(117)
思考题	(118)
第七章 气候和中国气候区划	(119)
第一节 气候形成因素	(119)
一、辐射因素	(119)
二、地理因素	(122)
三、大气环流因素	(124)
四、人类活动因素	(126)
第二节 气候带和气候型	(127)
一、气候带	(127)
二、几种常见的气候型	(129)
第三节 中国气候的特点和中国气候区划	(131)
一、中国气候的特点	(131)
二、中国气候区划	(133)
三、季节划分	(140)
思考题	(142)
第八章 农业小气候	(143)
第一节 小气候形成的物理基础	(143)
一、小气候的概念	(143)
二、小气候形成的物理基础	(145)
第二节 裸地小气候的一般特征	(149)
一、气温的铅直分布	(149)
二、空气湿度的铅直分布	(150)
三、风的铅直分布	(152)
第三节 技术措施的小气候效应	(153)

一、改变土壤状况的气象效应	(153)
二、栽培密度的气象效应	(156)
三、管理措施的气象效应	(158)
思考题	(165)
参考文献	(166)

绪 论

第一节 气象学和气象要素

在地球大气中，始终进行着辐射能的吸收和放射这一特殊的主要矛盾运动，因而造成大气内部的增热和冷却、升压和降压、蒸发和凝结等基本矛盾运动。这些矛盾运动统称大气物理过程。由于这些基本矛盾的运动，引起了千变万化的大气物理现象：阴、晴、雨、雪、寒、暖、干、湿、风、云、雾、露、霜、雷、电、华、虹、晕，等等。研究大气内部基本矛盾的发生、发展、消亡的过程及其伴随的大气物理现象的科学称气象学。

定性定量地描述大气的状态和现象，所采用的特征量称气象要素。主要的气象要素有：太阳辐射、地面和大气辐射、大气温度、湿度、气压、风、云、降水量、蒸发量、雷暴、能见度等。气象要素之间是相互联系、相互制约、相互影响的。例如，云的多少影响到达地面的太阳辐射量，进而影响温度的高低；温度又影响气压，气压分布不均而产生风，风输送着热量、水分和空气，等等。

大气中各种现象的发生、发展和消亡是在不断地进行着，其过程是无穷的。人们对大气物理过程和现象的认识，随着现代科学技术的进步，不断地深化，逐步达到掌握、利用和人工影响大气过程和现象的目的，为社会主义经济建设和国防建设服务，以农业服务为重点，不断地提高服务的经济效益。

第二节 农业气象学及其研究

一、农业气象学的概念

农业气象学是气象学的一个分支。它是研究农业生产与气象条件间的相互关系及其规律，并服务于农业生产的科学。农业气象学是涉及农业和气象两个学科领域的边缘学科，是研究气象条件和气候条件对农业生产对象及生产活动的影响规律，同时研究生产对象及生产活动的气象效应、生态效应和生产效率。

气象条件主要是指光、热、水、气等。研究农业生产对象在生长发育过程中对气象条件的要求和反应，为引种、改革种植制度、发展多种经营、提高经济效益、采取农业技术措施提供农业气象依据，保证农业生产稳产高产。

二、研究目的

农业气象学的研究目的，不仅是为了了解、掌握生产对象与气象条件间的关系及其规

律,而更重要的是运用其关系和规律于农业生产实践,充分利用有利气象条件,避免不利的气象变化,战胜气象灾害,注意保护和优化自然生态环境,不断提高农业生产效率。

三、研究的主要内容

农业气象学研究的主要内容有:

学习研究农业气象学的基本理论、基本知识,以及研究提高农业生产对象对光能、热能、水分和 CO_2 利用率的途径;

研究农业生产对象与气象条件的关系,并确定农业气象指标;

研究农业气候资源的开发利用、气象灾害发生的规律及防御措施;

研究人工改造小气候的措施及其气象效应和自然生态效应;

研究农业气象的观测方法和观测仪器。

四、研究方法

农业气象的研究方法主要有以下几种:

1、观测方法

观测方法是人们认识生产对象与气象条件间关系的第一步。观测所获得的系统资料是研究农业气象的基础。本方法要求对农业生产对象的生长发育动态及农业气象要素作平行观测。根据观测手段分为:

目测—观测生产对象生长发育状况、阶段、气象灾害的危害情况等;

常规仪器观测—观测特定的气象要素、小气候要素;

农业气象遥感—把传感器安装在气球、飞机、火箭、卫星上,可探测自然植被、农业植被的生育过程、生长状况、土壤水分状况、病虫害情况、自然灾害发生情况,为农业气象研究和服务提供新颖的可靠的资料和依据。

2、调查考察方法

在资料缺少或不易获得资料的地区,用调查考察方法可了解农业生产对象生长发育、产量、气象灾害发生的情况和规律、气候变化及其对农业生产影响的基本情况。可分为:

群众调查—到群众中调查访问、收集有关资料。调查要点、线、面结合;

自然景观调查—包括植被、土壤、动植物物候现象的观测等;

短时定点观测—设点对本地的气象要素、农业、土壤进行短时间观测,获得必要的农业气象资料。

3、试验方法

根据试验要求和客观条件有以下几种:

田间试验法—包括对比法、地理播种法、分期播种法;

气候条件人工模拟法—包括人工气候室、人工气候箱、以及温室、冷床等;

试验室法—包括生物化学测定法、生物物理测定法和形态解剖法。它是重要的辅助试验法。

4、理论分析法

根据观测、考察和试验所获得的资料,对生产对象生长发育及其产量与气象条件间的关系,有初步的认识。但要找出它们之间的关系和规律,必须运用理论分析的方法。首

先运用数学的方法将资料进行整理、统计、分析,找出它们之间的关系和所遵循的一般规律。然后根据所得出的关系和一般规律,运用物理理论进行研究,得出相应的结论。再把得出的结论应用到农业生产实践中,在实践中反复验证,并不断提高、完善。

第三节 中国气象科学发展简史

中国气象科学的产生是和农业生产紧密相结合,并随农业生产的发展而发展。因而中国气象科学的发展在一定程度上反映了农业气象的发展,特别是在古代。

一、中国古代气象学的成就

我国气象科学源远流长。根据考古发现,商代甲骨文已有关于风、雨、阴、晴的记载,甚至有保留连续十天的气象记录。我国现存最早的具有丰富物候知识的三千多年前的著作《夏小正》中记载有许多物候、天文和与之相应的农事活动。战国时的《月令》、《吕氏春秋》进一步总结了前人的物候知识,使之进一步完善。汉代《逸周书·时训解》则把物候按24节气和72候依次叙述,使物候观测与季节气候的变化结合得更紧密了。随着农牧业的发展,观测气象的活动也日益增多,同时还使用一些简单的测量器俱。如在《淮南子》中叙述了“絜”的测风器和用羽毛、木炭测定空气湿度的方法。又如汉长安设立的灵台上装有测风的“相风鸟”,比欧洲用“风信鸡”测风早一千多年。南宋时已使用多种器俱测降水量,用竹筐测降雪量,并有计算方法。到明永乐二十二年(1424年)向各县及朝鲜颁发了雨量器,测量降水,这比欧洲要早二百多年。

随着人们对天气、气候变化规律和天气现象的认识不断深化,有关气象的著作也相当丰富。例如东汉王充的《论衡·说日篇》、南北朝贾思勰的《齐民要术》、北宋沈括的《梦溪笔谈》、元娄元礼的《田家五行》、明徐光启的《农政全书》、清梁章钜的《农候杂占》等,都较详细地搜编了流行在民间的天气谚语,记载了物候现象,总结了保墒、防霜等防御灾害性天气的措施,解释了农作物病虫害产生的气象条件,等等。这些都是当时流传较广的气象著作,至今仍有很大价值。

二、中国现代气象科学的建立和发展

我国现代气象科学的奠基人是著名科学家竺可桢教授,他为我国气象科学教学组织的创立、科研机构的建立、气象科学研究都做出了卓越的贡献。

气象台站的建设和发展 旧中国全国共有72个气象台站,有些还掌握在外国人的手里。其设备残缺不全,使用的常规仪器如气压表、温度表等,国内不能生产,全靠进口。新中国的气象事业,就是在这样的基础上发展起来的。

新中国成立以后,在党和政府的关怀下,加快了气象台站网的建设,到1957年底气象台站达1647个。之后,为适应农业发展的需要,气象台站又有很大发展,到1965年全国气象台站达2383个。1971年以后,又建了一批天气雷达探测站、卫星云图接收站。现在全国气象台站达2648个。高空探测站建国初只有两个,1957年建成73个,到现在达120个,居世界第二,仅次于前苏联。此外,还建了一批专业气象台站。至此,我国气象台站的布局 and 密度,除高原、沙漠外,均达世界气象组织所要求的标准,基本建成

了气象台站网和气象服务体系,能较好地适应经济建设和国防建设的需要。

观测仪器、设备的改进和发展 50年代初试制成功并建厂生产常规气象仪器,1959年研制成59型无线电探空仪。60年代常规气象仪器全部实现自给,并于1969年研制成第一台气象卫星接收装备。70年代配备了天气雷达、气象卫星云图接收、传真装备。目前台站使用的天气雷达总数近200部,居世界第一;60多个气象台站配备了静止或极轨气象卫星云图接收、传真设备;部分气象台已使用遥测自动化气象仪器。80年代,我国气象事业进入一个新的发展时期。在1982年1月全国气象局长会议制定的“积极推进气象科学技术现代化,提高灾害性天气的监测预报能力,准确及时地为经济建设和国防建设服务,以农业服务为重点,不断提高服务的经济效益”的气象工作方针的指导下,我国现代化气象事业有了长足地发展。采用了高速数字通讯技术,全国已有1400多个气象台站配备了传真接收设备;建成了北京计算机气象通讯枢纽,并给区域气象中心和省级台配备了计算机,促进了气象通讯的自动化,为国内、以至全球气象情报、资料的交换创造了条件。

气象卫星的发射 自世界第一颗气象卫星于1960年发射成功后,不几年我国不仅能独立自主地接收气象卫星云图和资料,而且开始研制自己的气象卫星,并于1988年9月7日成功发射了极轨气象卫星—“风云一号”。又于1990年9月3日发射了第二颗“风云一号”气象卫星,这标志着我国气象卫星事业进入新的阶段。我们坚信,我国发射地球静止气象卫星为期不远。这样,我国既有从卫星资料接收、传真、处理到应用,又有极轨气象卫星和地球静止卫星的完整卫星业务系统,将很快建立起来。它是我国现代化气象事业的重要标志。

三、中国气象科学研究的成就

40年来,我国气象科学研究工作以“理论与实践相结合,科研为业务服务”和“科研、生产、使用三结合,以应用为主”的原则,先后进行了台风、暴雨、寒潮、热带天气、青藏高原天气、中国气候、青藏高原气候,以及农业气候资源及其利用、小麦干热风、北方作物低温冷害、杂交水稻气象条件、橡胶树北移气象条件的研究,取得了显著成果。下面介绍农业气象的研究主要成就。

农业气候区划,近10年来取得了突出的成绩。全国29省(市、区)2000多个县完成了农业气候区划;同时完成了小麦、水稻、棉花、甘蔗、苹果等主要作物的农业气候区划;开展了山区农业气候资源的研究。随着农业气候区划工作的深入,聚类分析、线性规划、决策论、模糊数学等方法,在区划中得到广泛应用,克服了区划工作中的经验方法的局限性。

农业气象预报取得了可喜成果。70年代后期,我国农业产量气象预报得到迅速发展,进行了气象产量模式的研究、卫星遥感估产方法、以及病虫害预报方法的研究,均取得可喜进展。

农田小气候及保护地小气候的研究进展迅速。80年代以来,开始研究利用电子计算机控制温室生产。

林业气象获得长足发展。对防护林气象效应、森林气象、林火气象、森林与环境生

态等，进行了深入研究，取得了一定成果。

我国地域辽阔，自然灾害频繁，为适应农业生产发展的需要，积极地进行了人工影响天气的研究。例如，为缓解旱灾，进行了多次人工增雨试验，并发展了一种新的催化剂配方，使碘化银成冰核率达到国际先进水平。

开展了气象卫星业务。气象卫星是从宇宙空间对地球大气进行探测，地球上的海洋、沙漠、冰雪、植被和云系都反映在遥感器上，形成图象；同时还进行气象要素的定量探测。这样，就能及时地了解全球范围的温度、湿度、风等要素的分布，更好地为经济建设和国防建设服务。例如，在指挥扑灭1987年5月大兴安岭森林火灾中，气象部门提供火区卫星云图400余张，对指挥灭火起了重要作用。实践证明：气象卫星是现代最先进的探测手段。

第一章 大气概况及时间

在土壤—作物—大气系统中，土壤和大气是作物赖以生存的自然环境，而大气中气象因子是最主导和最多变的。气象因子对农业生产的作用，影响到作物的生长发育、农事活动、果实产量和质量。因此，研究学习大气的组成成分及其分层是很需要的。

第一节 大气组成及分层

一、大气组成成分

地球大气是由多种不同气体、水汽和固态、液态微粒组成。此外，还有由于人类的活动产生的污染物质进入大气。

1、干洁大气

干洁大气的主要成分有氮、氧、氩、二氧化碳、氢、臭氧等等。其中氮、氧占全部干洁空气的 99.04%，氩占 0.93%，其余各种稀有气体占 0.03%（表 1.1）。虽然稀有气体占的比例很少，但有的成分，如 CO_2 、 O_3 却具有重要的生物意义。

二氧化碳和水是绿色植物进行光合作用、制造有机物质不可缺少的原料。大气中二氧化碳浓度的增加，直接影响地面和大气的温度。由于二氧化碳强烈吸收长波辐射，同时又向外放射长波辐射，使得空气和地面增温。

大气中二氧化碳的浓度随季节、天气、地区而变化很大。在一般情况下，冬季多，夏季少；阴天多，晴天少；城市多，农村少。

由于人类活动的影响，大气中二氧化碳含量几乎与日俱增。例如，1958~1963 年期间，每年约增加 0.25%。据估计，二氧化碳增加 10%，就能使全球平均温度升高 0.5℃。但事实上地球上的年平均温度并未上升，这说明除了大气中二氧化碳影响外，必然还有导致温度下降的其他因子存在。

臭氧在大气中含量很少，特别是在近地面气层中含量极少。在高空其含量相对增加，特别在 20~30 公里高空，臭氧含量达到最大值，形成臭氧层。臭氧是地球大气中有效地吸收太阳紫外辐射的最主要的气体，使得 40~50 公里高度上的气体大大增温，同时也是地球生物圈的特别保护物，使地球表面上的生物免受紫外线的伤害。少量的紫外线辐射能杀死多种细菌和病毒，播前晒种起到了杀菌消毒的作用。少量的紫外线辐射能抑制植物生长，使植物节间变短，同时还有利于果品的着色。如果紫外线辐射量增大，又会导致皮肤癌发病率增长，严重影响人体健康，对植物生存和气候也会产生影响。

表 1.1 地球大气干空气的组成(25 公里高度以下)

气 体	含量(%) (按容积)	分子量	气 体	含量(%) (按容积)	分子量
氮 N ₂	78.09	28.016	氦 Kr	1.1×10^{-4}	83.700
氧 O ₂	20.95	32.000	氧化氮 N ₂ O	0.5×10^{-4}	44.016
氩 Ar	0.93	39.944	氢 H ₂	0.5×10^{-4}	2.016
二氧化碳 CO ₂	0.03	44.010	氙 Xe	0.08×10^{-4}	131.300
氖 Ne	1.8×10^{-3}	20.183	臭氧 O ₃	1.0×10^{-6}	48.000
氦 He	5.24×10^{-4}	4.003	氡 Rn	6.0×10^{-18}	222.000
甲烷 CH ₄	2.2×10^{-4}	16.04	干空气	100	28.966

在自然界大气温度和压力条件下,干洁空气的所有成分都处于气态,且离液化的程度很远。因此,可把干洁空气看成理想气体,并用状态方程描述其特征:

$$P_d V_d = R_d T \quad \text{或} \quad P_d = \rho_d R_d T \quad (1.1)$$

式中 P_d 为干洁空气的压强; V_d 为单位质量干洁空气的体积,即比容; R_d 为干洁空气比气体常数 ($=287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); T 为温度 (K)。

式 (1.1) 称干洁空气的状态方程。根据方程可求出空气密度随气压和温度而变化的表达式:

$$\rho_d = \rho_0 \frac{P_d}{P_0} \frac{T_0}{T} \quad (1.2)$$

式中 P_d 、 T_0 和 ρ_0 分别是初始状态的气压、温度和空气密度。即 $P_0 = 1000 \text{ hPa}$, $T_0 = 273 \text{ K}$ 时,则 $\rho_0 = 1.276 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。用式 (1.2) 则可求出任一温度和气压下的空气密度。例如,当气压降低到 500 hPa , T 为 253 K 时,则空气密度 ρ 为 $0.69 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2、水汽

大气中水汽的来源是江、河、湖、海洋水面的蒸发,以及土壤水分的蒸发。因此,随着高度的增加,大气中的水分迅速减少。从地面到高空,每升高 $1500 \sim 2000 \text{ m}$,水汽含量约减少 $1/2$,到 5000 m 高空水汽含量减少到地面的 $1/10$ 。水汽随高度增加而减少的规律如下:

$$e = e_0 10^{-\frac{Z}{\beta}} \quad (1.3)$$

式中 e 为任意高度上的平均水汽压; e_0 为地面上的平均水汽压; β 是经验系数,在对流层大气中为 5000 m ; Z 为高度 (米)。

水汽是大气中一种可变的气体,水汽含量不仅随季节和大气环流条件而发生变化,而且水汽在一定的物理条件下,还会发生相变。在不同的季节水汽含量不同,夏季多于冬季;不同地区,其含量相差亦大,赤道地区多于高纬度地区。另外,水汽还借助大气环流输送到其他地方;由于大气的垂直运动、湍流混合,使水汽从低层输送到更高层次。在垂直输送的过程中,有时水汽凝结而成云致雨,因此,水汽是天气演变的重要角色。

水汽还具有能强烈地吸收长波辐射的能力,因而对地面和空气的温度有很大的影响。

水汽也可用气体方程描述其状态特征:

$$\begin{aligned} eV_m &= R_m T & \text{或} \\ e &= \rho_m R_m T \end{aligned} \quad (1.4)$$

式中 e 为水汽压强; V_m 为水汽比容; R_m 为水汽比气体常数 ($=461\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$)。此式为单位质量水汽状态方程。

实际上,空气中总是含有一定的水汽,称湿空气。单一的干洁空气或水汽在大气中是不存在的。因此,湿空气的状态特征同样可用气体方程描述。假设一块湿空气的温度为 T ,总压强为 P ,密度为 ρ 。根据式 (1.1) 和 (1.2),则 $\rho = \rho_d + \rho_m$; 据道尔顿分压定律,湿空气的总压强为水汽和干空气的分压强之和,即:

$$P = P_d + e$$

把上式和式 (1.1)、(1.2) 联系起来得:

$$\rho_d + \rho_m = \frac{P - e}{R_d T} + \frac{e}{R_m T}$$

给方程右边第二项分子分母同乘以 R_d , 且 $\frac{R_d}{R_m} = 0.622$ 。上式写成:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{P}{R_d T} - \frac{e}{R_d T} + 0.622 \frac{e}{R_d T} \\ &= \frac{P}{R_d T} - \frac{e}{R_d T} (1 - 0.622) \\ &= \frac{P}{R_d T} (1 - 0.378 \frac{e}{P}) & \text{或} \\ P &= \rho R_d \frac{T}{1 - 0.378 \frac{e}{P}} \end{aligned}$$

把上式右边分子分母同乘以 $(1 + 0.378 \frac{e}{P})$, 因为 $e \ll P$, 所以 $(0.378 \frac{e}{P})^2$ 很小, 故可忽略不计, 则上式为:

$$P = \rho R_d T (1 + 0.378 \frac{e}{P}) \quad (1.5)$$

式 (1.5) 为湿空气状态方程。在气压一定时, 比较式 (1.5) 和 (1.1) 可知, 干空气密度大于湿空气密度, 干空气比湿空气重。

3、固态和液态微粒

固态和液态微粒是低层大气的重要组成部分。微粒主要是指大气中的烟粒、尘埃、盐粒、花粉、细菌、孢子, 以及水滴、冰晶等等, 这些大都集中在低层大气中。大气中这些微粒的增多, 使空气的能见度减小; 同时也使凝结核增多, 对云、降水的形成起着重要的催化作用。

大气中微粒的来源可分人工源和自然源两类。

人工源主要有: 煤、木炭、石油的燃烧和工业活动所产生的大量固体烟粒和吸湿性物质, 如二氧化硫、三氧化硫、硫化氢、一氧化氮、二氧化氮等; 由于核试验引起的微