

旅游气候学

LUYOU QIHOU XUE

吴章文 编著



气象出版社

旅游气候学

吴章文 编著

气象出版社 612

内容简介

《旅游气候学》包括气象学基础、天气学基础、旅游气候、气象要素观测与气候资料整理 4 项内容。全书图文并茂,共计 32 万字,紧密结合作者多年来的旅游工作实践,系统阐述了旅游名城、风景名胜、森林公园、景观地段的旅游气候资源、小气候特征、气候与旅游的相互影响及其研究方法。

本书作为国内第一部旅游气候学专著,突出了科学性、系统性、新颖性等特点,具有鲜明的时代特征和广泛的应用前景。它可作为生态旅游、游憩与保护、风景园林等专业的专业基础课教材,也可供旅游业、林业、自然保护、环境保护、规划设计等科研、教学、生产人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

旅游气候学/吴章文编著. —北京市:气象出版社,2001,4

ISBN 7-5029-3110-4

I. 旅… II. 吴… III. 旅游—应用气候学 IV. P46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 15512 号

旅游气候学

吴章文 编著

责任编辑:俞卫平 庞金波 终审:黄润恒 周诗健

责任技编:吴庭芳 责任校对:刘树泽

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街 46 号 100081)

北京金瀑印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:320 千字

2001 年 4 月第一版 2001 年 4 月第一次印刷

印数:1~1500

ISBN 7-5029-3110-4/P·1101

定价:25.00 元

序

《旅游气候学》是本难得的好书。说它难得,是因为作者编写的难度大;称它是好书,是系统性、前沿性和实用性皆备。它的出版,称得上是国内旅游界和气象界的一件喜事,值得庆贺。该书为旅游和气象从业人员提供了有关旅游气候方面的大量知识,阐述了气候资源在旅游资源中独特的作用和巨大的吸引力。它的问世,无疑会受到旅游界、气象界和各界人士的欢迎。

该书的第一大特点是系统性。全书共分气象学基础、天气学基础、旅游气候、气象要素观测与气候资料整理四大部分,既全面介绍了有关气象学的基本知识,又将气候与旅游巧妙地结合起来,布局合理,环环相扣,一气呵成。

第二大特点是前沿性。首先表现在该书的立意上,作者在气象、旅游、林业等诸多领域均有较深的研究,能将气候与旅游的关系单独提出来并著之为书,实属难能可贵。其次是书中作者的独特见解,如将气象要素与空气负离子和植物精气等生态旅游资源联系起来,大大丰富了旅游资源的内涵,并把该领域的研究推向了一个新的层次。

第三大特点是实用性。该书既为气象从业人员提供了气象学的基本知识与操作技能,又扩大了旅游从业人员的视野,还为各旅游区、森林公园、自然保护区等的建设提供科学的指导依据,能收到立竿见影的效果。

众所周知,当今世界旅游业正处在飞速发展的时期,我国的情况更是如此。在传统的旅游项目服务于大众的前提下,我们还应不断创新。创新不仅只限于经营管理的策略上,更应反映在旅游学科基础理论知识的研究上。惟有如此,才能使旅游业永葆青春活力。气象要素在风景旅游中的体现相当普遍。“山以水为血液,以草为毛发,以烟为神彩,故山得水而活,得草木而华,得烟云而秀美”,可见气象要素在风景旅游中点睛之笔的作用。而“一山有四季,十里不同天”、“人间四月芳菲尽,山寺桃花始盛开”等由于气候资源不同而造成的景观差异也常常是吸引游客的一大原因。该书的出版恰好填补了国内此领域研究的空白。

《旅游气候学》着眼于全与新,实与准,而且重点突出,抓住了旅游业发展当中的新发现,新变化,新特点,新成就,是一本应时而生的颇具价值的专业书。它的出版,将对国内旅游气候的基础研究产生积极的推动作用,故乐为之序。

张家诚

张家诚

2001年3月

11/120/13

前 言

旅游是非定居者出于和平目的的旅行和逗留而引起的经济与文化、休闲等社会活动的总和。目前全球旅游业总收入已超过了钢铁工业、军火工业和石油工业而跃居首位。我国旅游业诞生于改革开放的年代,20 多年来取得了长足的发展和进步:在全球旅游业排行榜上,接待海外旅游者人数已位居第五,1999 年旅游外汇收入达 141 亿美元,名列第七;在国内各产业中,已成为国民经济第三产业中的支柱产业,并进一步成为国民经济新的增长点。当前,我国旅游业又面临中国经济格局改变,加入 WTO,融入全球一体化经济的新形势。在挑战与机遇并存的时刻,对旅游业不断进行创新已是迫在眉睫的事情。

在旅游业高速发展中,高等院校的旅游专业应运而生。1993 年,中南林学院成立了全国第一个森林旅游系,招收了第一届森林旅游本科学生。此后,西北林学院、北京林业大学、东北林业大学、南京林业大学、西南林学院等林业院校相继创办了森林旅游或森林游憩与保护专业。气象景观、气候条件,既是人类赖以生存的自然环境,又是旅游环境的重要组成部分,还是一种重要的旅游资源,因此,旅游气候学成为旅游专业的一门必修课。为满足高等旅游教育发展需要,笔者根据使用过 8 轮的旅游气候学讲义,编写了这本《旅游气候学》教材,作为引玉之砖。

旅游气候学是气象学的一个新的分支,是高等院校旅游专业的一门专业基础课,其目的在于使学生掌握必要的气象学基本理论和测定技术,了解气象与旅游业的关系,为学习生态学、森林旅游学、旅游规划设计、导游业务等专业课程以及今后能独立解决旅游工作中的气象问题奠定基础。

全书分为四篇十四章,前三篇为基础理论与实践应用部分,第四篇是技能技巧训练部分。在编写过程中,力求做到理论联系实际,内容安排、取材深度、编写篇幅适合专业需要;为开拓学生思路,有的章节列举了几类范例(如旅游气候资源)。书中基础理论部分主要参考非气象专业的气象学教材,实践应用部分主要来源于笔者的科研成果。

在本书的编写过程中,得到了北京林业大学森林气象学博士、气象学教授、博士生导师贺庆棠校长的指导。中南林学院孟明浩、胡卫华、张咏等同志参加了校对工作。在此表示衷心感谢!

由于笔者水平有限,书中错漏和不妥之处难免,恳请批评指正。

编者

2001 年 3 月

目 录

序

前言

绪论	(1)
§ 1 气象学概述	(1)
§ 2 气候学发展简史	(2)
§ 3 气象、气候与旅游	(3)

第一编 气象学基础

第一章 大气	(4)
§ 1.1 大气的组成	(4)
§ 1.2 大气的铅直分层	(6)
第二章 太阳辐射和地面净辐射	(8)
§ 2.1 辐射的基本知识	(8)
§ 2.2 太阳辐射	(10)
§ 2.3 到达地面的太阳辐射	(12)
§ 2.4 地面有效辐射	(17)
§ 2.5 地面净辐射	(18)
§ 2.6 太阳辐射对人体的影响	(19)
§ 2.7 大气中的光现象	(19)
第三章 空气温度	(26)
§ 3.1 近地层气温及其变化	(26)
§ 3.2 对流层中气温随高度的分布	(28)
§ 3.3 空气的绝热变化和大气稳定度	(29)
§ 3.4 气温与旅游	(30)
第四章 大气中的水分	(32)
§ 4.1 空气湿度	(32)
§ 4.2 蒸发	(34)
§ 4.3 凝结和凝华	(36)
§ 4.4 水汽凝结物	(37)
§ 4.5 降水	(38)
§ 4.6 大气中的水分现象与旅游	(40)

第五章 气压与风	(43)
§ 5.1 气压.....	(43)
§ 5.2 作用于运行空气质点上的力.....	(44)
§ 5.3 风与气压场.....	(47)
§ 5.4 风的变化.....	(49)
§ 5.5 大气环流.....	(50)
§ 5.6 地方性风.....	(51)
§ 5.7 风与旅游.....	(53)

第二编 天气学基础

第六章 天气	(55)
§ 6.1 天气和天气学定义.....	(55)
§ 6.2 天气图简介.....	(55)
§ 6.3 气团及其天气.....	(57)
§ 6.4 锋及其天气.....	(59)
§ 6.5 高、低气压中的天气	(62)
§ 6.6 高空槽脊及其天气.....	(65)
第七章 灾害性天气	(67)
§ 7.1 寒潮.....	(67)
§ 7.2 热带气旋和台风.....	(69)
§ 7.3 旱涝.....	(71)
§ 7.4 冰雹.....	(73)
§ 7.5 大风和龙卷风.....	(76)

第三编 旅游气候

第八章 气候学基础	(78)
§ 8.1 气候的定义.....	(78)
§ 8.2 气候的成因.....	(79)
§ 8.3 季节.....	(83)
§ 8.4 气候带和气候型.....	(86)
§ 8.5 气候的变迁.....	(91)
第九章 中国旅游气候	(96)
§ 9.1 中国气候特征.....	(96)
§ 9.2 四季气候与旅游	(108)
§ 9.3 旅游城市的气候	(113)

§ 9.4 山地旅游气候概述	(119)
§ 9.5 风景名胜山的旅游气候	(120)
第十章 林区旅游气候资源	(126)
§ 10.1 张家界的气候资源	(126)
§ 10.2 桃源洞的旅游气候资源	(133)
§ 10.3 阳明山的旅游气候资源	(141)
§ 10.4 三爪仑的旅游气候资源	(144)
第十一章 小气候	(151)
§ 11.1 小气候的概念	(151)
§ 11.2 小气候形成的物理基础	(151)
§ 11.3 裸地小气候	(153)
§ 11.4 坡地小气候	(154)
§ 11.5 森林小气候	(157)
§ 11.6 城市小气候	(161)
§ 11.7 森林公园小气候	(163)
§ 11.8 景观地段小气候	(165)

第四编 气象要素观测与气候资料整理

第十二章 日照与空气温度的测定	(171)
§ 12.1 日照的测定	(171)
§ 12.2 空气温度的测定	(173)
第十三章 空气湿度、蒸发、降水、风 and 气压的测定	(179)
§ 13.1 空气湿度的测定	(179)
§ 13.2 蒸发的测定	(185)
§ 13.3 降水的测定	(186)
§ 13.4 风的测定	(189)
§ 13.5 气压的测定	(192)
第十四章 气候资料的统计整理	(195)
§ 14.1 地面气象记录月报表和年报表简介	(195)
§ 14.2 气温资料的统计和整理	(196)
§ 14.3 平均初、终霜日和无霜期的统计	(196)
§ 14.4 降水资料的统计和整理	(197)
§ 14.5 风资料的统计和整理	(199)
第十五章 小气候观测方法	(202)
§ 15.1 短期观测	(202)
§ 15.2 长期定位观测	(203)

绪 论

§ 1 气象学概述

地球周围围绕着一层深厚的大气层,简称大气。人们习惯的称大气为空气。大气不断地进行着增热与冷却、水分蒸发与凝结、辐射能的吸收与放射等物理过程。伴随这些物理过程的发生,出现冷、暖、干、湿、风、云、雨、雪、光、声、雷、电等物理现象。大气中物理现象和物理过程的发生、发展和变化,首先决定于太阳辐射,同时也与大气本身的物理性质和下垫面状况有关。研究大气中所发生的各种物理现象和物理过程的科学称为气象学。

气象学的任务,一是要研究和掌握大气的变化规律;二是要根据所掌握的变化规律,预测大气的变化和发展过程。

气象学上常用太阳辐射、温度、湿度、风向、风速、降水量等可用仪器定量测定的物理量,以及云、雾、霜、能见度等许多目测定性的天气现象来说明大气物理现象,这些用来定性、定量描述大气物理过程和物理现象的因子称为气象要素。

气象学的范围广,涉及的问题很多,解决问题的方法也各不相同。随着科学技术的发展,气象学出现了许多分支,其中最基本的是天气学、气候学、大气物理学和小气候学。气象学的基本理论和科学技术应用于许多领域后,又出现了许多分支,如:军事气象学、航海气象学、航空气象学、水文气象学、农业气象学、林业气象学、商业气象学、医疗气象学等。近年来,随着旅游事业的发展,又出现了旅游气象学这个新的分支。1988年卢云亭教授提出了风景气象与风景气候的概念。1996年王利溥先生编写的《旅游气象学》讲义在云南林学院的启用,都可以说是这个新分支学科的萌芽。

天气是指一定地区在较短时间内,由各项气象要素一定的组合所决定的大气状态,也就是说一个地区某一瞬间大气状态和大气现象的综合称为天气。研究天气过程的发生发展规律,并运用这些规律预报未来天气的学科,称为天气学。

气候是在一定地区一较长时段中大气的统计状态,是各种天气的综合表现,一般是用气候要素的统计量表示。气象要素的多年平均值、累积值、极端值(包括出现时间)、频率、保证率以及湿润度或干燥度等两个或多个气象要素组合的综合值称为气候要素。气候要素是反映一地气候特征的主要气候资料。此外,记载当地气候状况的各种文献和地方志等也是重要的气候资料。气候要素统计量往往随着时间和空间的转换而发生变化,这种变化称为气候变化。长时间的气候变化称为气候变迁。研究气候形成、分布和变化规律,综合分析、评价各地气候资源及其与人类关系的学科,称为气候学。

按照时间尺度,气候学可分为古代气候学、近代气候学和现代气候学;按照空间尺度,有世界气候、区域气候(例如亚洲气候、中国气候、日本气候、西北气候)、地方气候(例如湖南气候、溆浦气候、阳明山气候)和小气候等。

小气候的铅直范围和水平范围都很小。它是在具有相同大气候特征的范围内,由于下垫面

构造和特性不同,使热量和水分收支不一样而形成的近地层特殊气候,称为小气候。

§ 2 气候学发展简史

气候学是人类对气候认识的总结,它必然带着浓厚的社会影响。气候学是自然科学的一个组成部分,它必然会随着科学技术的进步而发展。自然科学的发展是以社会生产的发展为基础的。据考证,在 350 万年前,全球气候比较温暖,冬夏差别不大,一年四季花果盛开,人们处于满足于依靠自然的赐予而生活的年代(即社会发展中的原始社会)。但是,大约从 350 万年以后,气候变冷了,出现了第四纪冰河时期,人们为了战胜寒冷,把夏季植物果实种子留到冬天,开始了农业,把幼小的动物饲养到冬天,开始了牧业,从植物和兽皮中找到了衣着,从洞穴中找到了住宅,发明了火。总之,随着冰河时期的到来,人类在同寒冷冬天的斗争中开始了生产劳动,出现了最早的产业——农业和牧业,被称为“第一次浪潮”。人类在生产劳动过程中,必须知道一定的有关自然的知识,导致了古代自然科学知识的产生,古代气候学知识也在这样的条件下诞生了。随着生产劳动技能的提高,古代气候知识不断丰富,到了封建社会阶段,古代气候学的内容已极为丰富,丰富的古代气候学知识为当时的生产和生活作出了巨大贡献。

奴隶社会和封建社会的古代气候学知识虽然内容很丰富,但仍属于古代科学的范畴,那时的朴素辩证的认识仍属于直观经验的结果,并带有臆测性质。

15 世纪下半叶,在欧洲出现了“第二次浪潮”,科学技术和生产力迅速发展,工业成为新的产业,资本主义社会代替了封建社会。自然科学开始向精确化、专业化发展。17 世纪上半叶陆续出现了观测仪器。17 世纪后半叶和 18 世纪许多气象学极为重要的物理学规律相继被发现。从 18 世纪起,气象台站网逐步发展形成,开始积累气象资料。1817 年德国人洪堡德(H. V. Humboldt)绘制出全球等温线图,这被认为是近代气候学的开始。以后经过沃耶伊科夫(А. и. Воейков)和柯本(W. Koppen)等人的发展,气候学形成了一门自然科学。

竺可桢先生 1916 年发表的《中国之雨量和风暴说》是我国近代气候学最早的论文,以后他又在台风、季风、区域气候、农业气候、物候学和气候变迁等方面作过大量具有开创性意义的工作。抗日战争前夕,我国各省建立了 40 多个气象站和 100 多个雨量站,开始出版中国气候资料。这一时期,涂长望、张宝堃、沈孝凰、李宪之、黄仕松、赵九章、叶笃正、朱岗崑等的理论研究都为我国近代气候学作出了重要贡献。新中国成立后,我国气候学的研究得到了前所未有的进步,1953 年和 1955 年出版了《中国气候图集》上、下集,1973 年出版了《中国高空气候图集》,1979 年出版了《中华人民共和国气候图集》,同时在气候普查、山区气候调查、农业气候调查、气候区划、气候变迁、气候形成等方面也都作了大量研究。

现代气候学的诞生,约在 20 世纪 70 年代。1972 年 2 月在瑞士日内瓦召开的“世界气候大会”以及在会上提出的“世界气候计划”被认为是现代气候学诞生的明显标志。从此以后,气候学以引人注目的面貌出现在世界科技界。现在世界上有了高效能的巨型及微型计算机,有了卫星及雷达等探测手段,又有系统论、控制论等现代科学方法,使气候学研究又有了充分的科学技术基础,可以说“第三次浪潮”促进了现代气候学的诞生和发展。

任何一门学科都是整个自然科学系统中的一个组成部分,同时它本身也是由许多分支学科组成的一个复杂系统,气候学也是如此。气候学的基本理论在应用中不可能满足每个应用对

象的特殊要求,例如:工业、农业、交通运输业、旅游业和各项具体活动所相关的灾害与抗灾能力是不同的,它们的有利与不利的大气条件也是不同的,因此就有各种不同的应用气候数据问题和区划问题。应用气候就是气候学基本理论联系具体应用对象的一个中间环节,由基本理论到应用气候之间,体现为一般到特殊的转化过程。气候是一个环境因子,应用在各个行业、每项工程和活动中都开拓着把气候学同各门科学技术连结起来的纽带。应用气候学事实上是气候学与其他学科之间的边缘科学。气候学和工程学、技术科学之间形成了一系列边缘学科,为数众多的应用气候学就是这些边缘学科中的重要组成部分。例如,农业气候、林业气候、建筑气候、医疗气候、城市气候等都是相应的技术学科同地面大气层之间气候关系的应用气候学。随着旅游业的飞跃发展,气候学在旅游这个应用点上的迅速结合,即将诞生出新的分支——旅游气候学,这是社会生产发展的必然,也是科学技术发展的必然。研究旅游地开发建设、旅游资源保护利用、各种旅游活动与天气、气候之间相互关系的科学称为旅游气候学。

§ 3 气象、气候与旅游

气象、气候与人类旅游活动有直接或间接的关系。在不同的气象和气候条件下可以形成不同的自然景观和旅游环境,北方的冰雪景观、山地的云雾景观是旅游者的直接观赏内容。由于气候变化,影响山体、水体、动植物及各种人文景观发生变化,而这些变化又依其特定的功能作用于旅游者,这是气候对旅游的间接作用。气候犹如一个无比巨大的容器,把我们人类以及赖以生存的植物、动物和微生物尽装其内,我们的全部活动都在一定的气候环境中进行。例如选择外出旅游地,冬天避寒、夏天避暑就是选择适宜的气候环境。舒适是人的本能要求,追求适宜的气候是人们外出旅游的重要动机之一。但是,一次计划周密的旅游活动,往往被意外的天气过程所打扰,例如:大雾或暴雨阻碍了交通,旅游计划被迫改变的事情时有发生。人类旅游活动受气候和景观变化的左右,在同一地区,出现淡季、旺季和平季的变化,在世界各国范围内出现旅游热点、热线和冷点、冷线,形成游客时空分布的不均衡性。这些既说明气象和气候有直接的造景功能和间接的育景作用;又说明气象、气候条件既是开展旅游活动的有利因子,也是开展旅游活动的障碍因子,这就要求旅游者在安排行程时考虑气象、气候因素,以应付不测风云,趋利避害,因地制宜,因时制宜,调整旅游项目和内容。

气象和气候条件是旅游开发的重要背景因素之一。各旅游城市、旅游点都有各自不同的气候条件,制定旅游规划时,必须全面收集和研究当地气象、气候资料,对其有利和不利之处进行评价,以根据气象条件、气候特征设计和安排适合当地的旅游项目和旅游设施。

第一编 气象学基础

第一章 大 气

§ 1.1 大气的组成

大气是一种混合气体,由多种气体成分与水汽、杂质混合而成。

§ 1.1.1 干洁空气

不含水汽、杂质的空气,称为干洁空气。不含水汽的空气称为干空气。离地表 25km 以下,干洁空气的成分及其含量见表 1.1。干洁空气中,主要气体是氮、氧、氩和二氧化碳等气体,氦、氖、氫、氙等惰性气体的含量极少。在 90km 以下,除臭氧外,其他气体成分的相对组成基本不变。

表 1.1 干洁空气的成分

气体	含量(按体积,%)	气体	含量(按体积,%)
氮	78.09	氦	5.24×10^{-4}
氧	20.95	氖	1.0×10^{-4}
氩	0.93	氢	5.0×10^{-5}
二氧化碳	0.03	氫	8.0×10^{-6}
氖	1.8×10^{-3}	臭氧	1.0×10^{-6}

实际大气是含有水汽的湿空气。此外,大气中还有大量固体和液体微粒。

空气中各主要成分对人类活动和天气变化的影响分述如下。

§ 1.1.2 主要大气成分的性质

1. 氧气

氧气是生物呼吸必需的气体。大气中氧的含量很高,也很稳定,可以满足植物需要。土壤中,植物根部的呼吸,细菌和真菌的活动都要消耗氧气,可是氧的补充过程十分缓慢,氧的含量常常不足。土壤水分过多和土壤板结情况下,植物有时会出现缺氧中毒现象。

2. 氮气

氮是大气中含量最多的常定气体成分。自然条件下,大气中的氮通过植物的根瘤菌作用,被固定在土壤中,成为植物所需的氮肥。闪电时,大气中的氮和氧结合成氮化物,随降水进入土壤,被植物吸收利用。

3. 二氧化碳

二氧化碳来源于燃料的燃烧,有机物的腐烂分解,以及生物的呼吸等。二氧化碳吸收和放射长波辐射的能力强,影响空气温度,也是植物光合作用制造有机物质不可缺少的原料。

大气中,二氧化碳含量不多,平均只有 0.03%,且集中在 20km 以下的低层大气中。二氧化碳含量随地区有差异,人烟稠密的工业区高,可达 0.05%或超过,农村中含量低。二氧化碳含

量也随时间而变化,一般白天少于夜间,夏季少于冬季。

自工业革命以来,由于大量燃烧煤、石油和天然气等化学燃料,大气中二氧化碳浓度不断增加。夏威夷岛冒纳罗亚观察台和两极监测站的记录指出,1958年二氧化碳浓度为315ppm^①,1984年为345ppm,年增长率超过1ppm。多数科学家认为,到本世纪中叶,二氧化碳浓度仍将继续增加。关于全球二氧化碳含量增加能否导致空气温度升高以及对气候的影响等问题仍在研究中。

4. 水汽

水汽来自海洋、江河湖泊和潮湿陆地的蒸发,以及植物的蒸腾。大气中水汽含量不多,且集中在2~3km以下的低层。由空气的垂直运动把水汽带到高空,才能凝结并成云致雨,所以水汽是天气变化的主要角色。水汽吸收和放射长波辐射的能力很强,凝结时又释放潜热,它对空气温度有一定的影响。

水汽含量随地区的差异显著,一般低纬度地区比高纬度地区多;海洋上空比陆地上空多。随着空气的水平运动,海洋上空的水汽被带到大陆,所以离海愈远,水汽含量愈少。水汽含量随时间变化,在我国是夏季多于冬季。

5. 臭氧

大气中臭氧含量虽少,但很重要。臭氧集中在10~60km高度之间,在20~25km附近浓度最大。臭氧吸收了对生物有害的紫外辐射(波长为0.2~0.3 μm ,以及0.30~0.36 μm),起了保护作用;在臭氧集中的高度上大气增暖,大约在50km附近出现一个暖区。

臭氧含量随纬度的分布是,由赤道向极地减少,并随季节变化,一般春季含量最多,秋季最少。

6. 液体和固体微粒

大气中总有许多固体和液体微粒,它们悬浮在空中。固体微粒的来源有:岩石或土壤风化后的尘粒,各种燃料燃烧产生的烟粒,海水飞溅经蒸发后余下的盐粒,火山爆发时的火山尘埃,流星燃烧后的灰烬,还有植物花粉、微生物和细菌等。液体微粒有水滴和冰晶等悬浮在大气中的水汽凝结物。这些微粒使空气混浊,水平能见度^②降低。但是,它们吸收太阳辐射,其中固体微粒常常又是水汽凝结的核心(水汽凝结在微粒表面),所以对气温有一定影响,对云、雾和降水的生成有重要作用。

固体微粒多分布于低层大气中,其特点是陆地上空多于海洋上空;城市多于农村。它们随时间的变化是夜间多于白天;冬季多于夏季。

7. 大气中的污染物

现代工业和交通运输业迅速发展,工厂的烟囱、汽车和火车的排气管排出大量废气和灰粒,经扩散进入大气。因此,各地的大气成分中人为地增加了若干种含量多变的有毒气体和物质,它们污染大气,引起了人们的关注。据监测,目前已有百十余种大气污染物,其中对人类环境威胁较大,影响范围较广的污染物有煤粉尘(二氧化硫与烟粒混合而成)、二氧化硫、一氧化碳、二氧化氮、硫化氢和氨等。二氧化硫或氮化物等气体被云雾中的水滴吸收和转化,降下的雨水呈酸性,称酸雨。酸雨使土壤和水体酸化,导致植物叶片枯萎或落叶,乃至死亡。酸雨又能腐

① ppm表示该物质的体积分数为 10^{-6} 。

② 水平能见度是指正常人视力能将目标物从背景中区别出来的最大水平距离。白天一般选择离观测点不同距离的目标物,作为估计能见度的依据;夜间则选取观测站周围一定亮度的固定灯光来估计。

蚀建筑物。

目前,解决大气污染的措施有工程措施和生物措施,如采用集尘器和清洗器在排气前清除污染物,以及造林绿化等。

§ 1.2 大气的铅直分层

在地球引力作用下,大约空气质量的一半集中在离地 5.5km 以下的大气层内。随高度增加,空气密度减小,到 700~800km 高度处,空气分子间的距离已达几百米,这里的空气密度已很小。但是,无论在哪个高度上,空气密度都不会减小到零。所以严格说来,大气层和宇宙空间之间不存在截然的界面。尽管如此,气象学家们根据极光^① 现象的出现与否,确定了大气物理上界为 1000~1200km。

20 世纪以来,气象部门用无线电探空仪、火箭和气象卫星等遥测仪器,探测了高层的大气状况,发现铅直方向上大气的物理性质有差异。世界气象组织主要根据温度的铅直分布、大气成分和电的特征等,将大气分为对流层、平流层、中间层、热层和外大气层等五层,见图 1.1。

§ 1.2.1 对流层

对流层位于大气最低层,它的下界与地面相接。对流层的上界高度随纬度、季节和天气状况而异,每日不等。平均来说,低纬度地区的上界高度为 17~18km,中纬度地区为 10~12km,高纬度地区为 8~9km;且夏季高于冬季。

对流层中,随高度增加气温降低,高度每增加 100m 温度平均降低 0.65℃。正由于下层空气的温度高于上层,所以对流发展旺盛,取名对流层。显然,赤道地区的气温高于极地,对流层比极地

厚。对流层内大约集中了大气质量的 3/4,以及全部水汽。空气在对流过程中,把水汽和固体微粒带至高处,水汽凝结并成云致雨,所以大部分天气现象出现在对流层内。

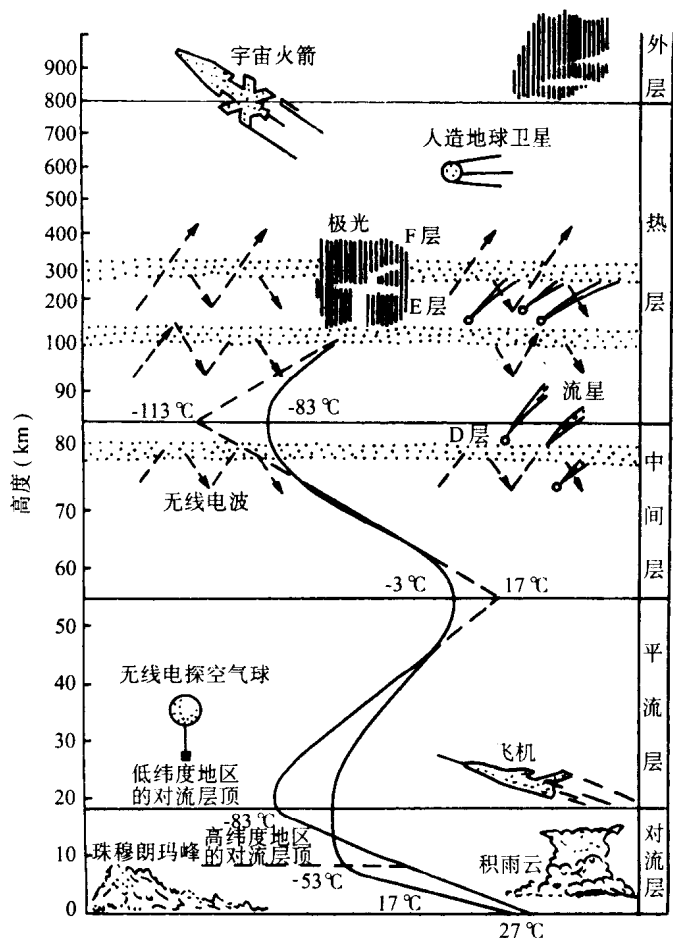


图 1.1 大气铅直结构示意图

① 极光是出现在高纬度地区高空的一种辉煌闪烁的彩色光弧或光幕,多见于暗夜。

从地面向上,厚度为 600~1500m 的大气层称扰动层或摩擦层。这一层中气流受地面摩擦作用的影响最大,大气的不规则运动,即湍流(也称乱流)强盛。摩擦层以上是自由大气。摩擦层内,由地面到 100m 以下,称近地面层。近地面层是地球上生物生活的环境。地面向上,厚度为 2m 的大气层称贴地层。贴地层内的大气状态对农作物和苗木生长颇为重要。

在对流层和平流层之间,有一个厚度为数百米到 1~2km 的过渡层,称对流层顶。对流层顶以上才是平流层。通常,将对流层以上的大气区域称为高层大气。

§ 1.2.2 平流层

从对流层顶到离地面 55km 左右的空间称为平流层。平流层内,25km 以下,空气温度随高度不变或微升,25km 以上,随高度增加空气温度显著升高,50km 左右处,温度可达 270~290K。其原因是臭氧吸收了大量的太阳紫外辐射。平流层中对流很弱,大气以水平运动为主。

§ 1.2.3 中间层

从平流层顶到离地面 85km 左右的空间为中间层。该层特点是,随高度增加空气温度降低。虽然这里的温度分布有利于对流发展,但因空气稀薄,对流运动十分微弱。

60km 以上,在强烈的太阳辐射照射下,气体分子被电离,这里已是电离层的最低层。

§ 1.2.4 热层

从中间层顶到离地面 800km 左右的空间为热层。热层中的气体分子吸收了波长小于 $0.175\mu\text{m}$ 的太阳紫外辐射,所以随高度增加空气温度显著递增,在热层顶部,温度可高达 1000K 或更高。高温使气体分子电离为原子,电离层的中层和上层都在热层内。短波的无线电波经过电离层时,电波被折射而返回地面,这一层对远距离无线电通讯起着重要作用。

§ 1.2.5 外大气层(外层)

热层顶以上就是外大气层。这里空气十分稀薄,受地球引力很小;空气温度也是随高度增加而升高,可高达数千度。外大气层的上部多为质子组成,大约在 1000km 高度以上。这些带电的微粒不断向星际空间逃逸,所以外大气层又称为散逸层。

复习思考题

1. 为什么说对流层对人类环境特别重要?对流层中除干洁空气气体外,还有什么成分,每种成分有哪些作用?

2. 大气铅直分层的依据是什么?简述各层的主要特点。对流层的厚度从冬季到夏季有什么变化,为什么?

3. 臭氧分布在哪些高度上,对地球上的生物和大气环境有什么影响?

第二章 太阳辐射和地面净辐射

太阳辐射给地球提供了热能和光能,它是大气运动的原动力,是天气变化和气候形成的基础。太阳辐射也是植物生长发育过程中的必要条件。

§ 2.1 辐射的基本知识

§ 2.1.1 定义

一切物体,其绝对温度在零度以上时都能发射电磁波,向四周传输能量,这种过程称为辐射,传递的能量就是辐射能。辐射是自然界中最重要的能量传输形式,它不同于分子传导和对流,辐射能的传递,不需要媒介物质。

辐射体发射电磁波,说明了辐射的波动性。电磁波的传递速度等于光速($3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。电磁波的波长与传播速度有以下关系:

$$\lambda = \frac{c}{\gamma} \quad (2.1)$$

式中, λ 是波长,常用单位为微米(μm); c 是光速; γ 是振动频率,单位赫兹(Hz)。

电磁波的波长范围很广,从波长为 10 纳米(nm)的宇宙射线到波长为数千米的无线电波。图 2.1 是各种辐射的波长范围。

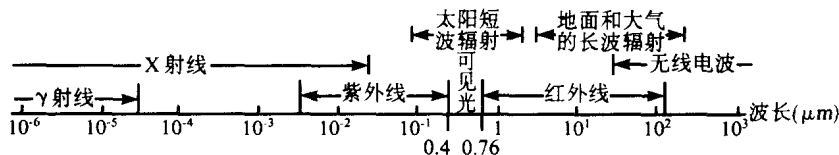


图 2.1 电磁波的波长范围

从微观来看,辐射是由大量微粒流组成,所以辐射还有粒子性。这些微粒称为光子,每个光子具有一定的能量。在研究植物光合作用的能量转换时,需要应用辐射的粒子性概念。

§ 2.1.2 辐射的基本特征量

为了说明各种物体的辐射状况,常用下列物理量:

辐射通量 它是指单位时间通过任一表面的辐射能,单位是焦耳·秒⁻¹($\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$)或瓦(W)。

辐射通量密度 它是指单位时间内通过单位面积的辐射能(包括发射的、传输的或接受的辐射能),现在法定计量单位为瓦·米⁻²($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)。气象学中过去常用的单位是卡·厘米⁻²·分⁻¹($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$),两者的关系如下:

$$1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} = 697.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

§ 2.1.3 辐射定律

斯蒂芬-波尔兹曼定律 该定律说明了黑体辐射的总能量(E ,各波长发射的能量之和)

与发射体绝对温度(T)的四次方成正比,可用下式表示,

$$E = \sigma T^4 \quad (2.2)$$

式中, σ 是斯蒂芬-波尔兹曼常数; $\sigma = 5.68 \times 10^8 \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 。如太阳,其光球层的平均温度为6000K,把太阳视作黑体,则 $E = 7348 \times 10^4 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

维恩位移定律 该定律说明了黑体辐射中能量最强的波长($\lambda_{\max}$)与发射体的绝对温度(T)成反比,可用下式表示,

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{常数} \quad (2.3)$$

式中,常数是 $2884 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 。公式表明黑体的温度愈高,辐射能量最强的波长愈短。以太阳为例, $\lambda_{\max} = 0.48 \mu\text{m}$,即太阳光谱中的蓝绿色光的辐射能量最强。

§ 2.1.4 物体的吸收率、反射率和透射率

投射到物体上的辐射能一部分被吸收,一部分被反射,一部分透过物体,见示意图 2.2。物体吸收、反射和透射的辐射能(E_a, E_r, E_t)与入射到该物体上的总能量(E)的百分比,分别称为吸收率(a)、反射率(r)和透射率(t),即

$$\frac{E_a}{E} = a, \quad \frac{E_r}{E} = r, \quad \frac{E_t}{E} = t$$

根据能量守恒定律,有

$$a + r + t = 1$$

物体的吸收率、反射率和透射率随辐射波长和物体性质而变化。图 2.3 是杨树叶片的透射率、反射率和吸收率。由图可见,在 $0.40 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 波长范围内,叶片的吸收率远大于反射率和透射率;在 $1.5 \mu\text{m}$ 以内的红外区,叶片的透射率和反射率大,吸收率很小。

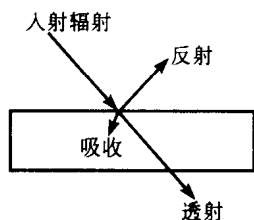


图 2.2 物体对辐射的吸收、反射和透射

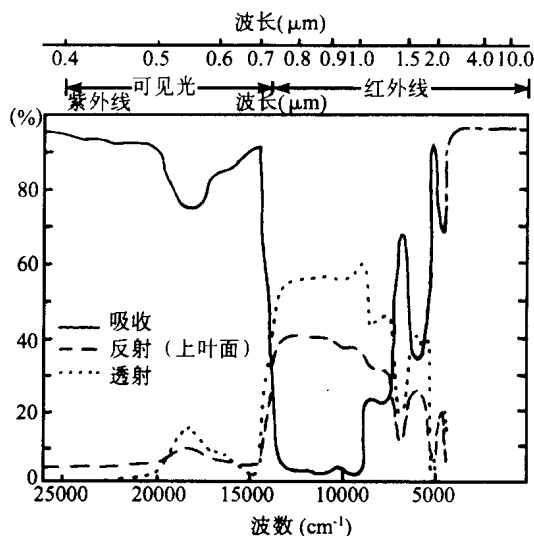


图 2.3 杨树叶片的吸收率、反射率和透射率

如果物体能全部吸收入射的辐射能,即 $a = 1$,这种物体称为绝对黑体,简称黑体。自然界中不存在黑体,但在一定的波长范围内,可把某些物体近似地视作黑体。如潮湿的黑色土壤在 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 波段内可认为是黑体。