

全国高等林业院校试用教材

气象学

云南林学院主编

林业专业用

农业出版社

全国高等林业院校试用教材

气 象 学

云南林学院主编

农 业 出 版 社

全国高等林业院校试用教材

气 象 学

云南林学院主编

农业出版社出版 新华书店北京发行所发行
农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 311 千字
1979 年 4 月第 1 版 1979 年 4 月北京第 1 次印刷
印数 1—34,000 册

统一书号 13144·193 定价 1.50 元

(限 国 内 发 行)

前 言

气象学是高等林业院校林业、森林病虫害防治、水土保持、园林、热带作物栽培、特用经济林等专业的一门专业基础课。它的任务在于使学生掌握系统的气象学基本理论和测定技术，了解气象与林业生产的关系，为学习专业课打好基础，为发展林业生产，实现林业现代化服务。

这本气象学教材，是以 1977 年全国林业专业教材会议制定的《气象学教学大纲》为基础编写的。在编写过程中，我们力求运用马列主义、毛泽东思想，运用辩证唯物主义观点阐明气象科学规律；贯彻基础理论联系林业生产实际的原则，做到有的放矢。在取材上尽量反映国内外先进成果。在内容安排上，由浅入深，便于学生自学。但是，由于我们的水平有限，加之编写时间短促，缺点错误在所难免。我们诚恳希望各地同志批评指正，以便再版时修改。

本书由云南林学院气象教研组主编，参加编写的有：绪论和第八章由云南林学院贺庆棠同志编写；第一章和第七章由云南林学院姚丽华同志编写；第二章和第四章由云南林学院邵海荣同志编写；第三章由云南林学院曹仲恺同志编写；第五章由华南热带作物学院殷秀纯同志编写；第六章和第九章由南京林产工业学院蔡天其同志编写；实习部分由东北林学院姜乃准同志编写。初稿完成后，召开了审稿会议，由南京大学气象系么枕生教授主审，华南农学院方泽蛟同志、湖南林学院张巧琴同志、福建林学院雷敬华同志、西北农学院吉中礼同志参加了审稿，在么枕生教授指导下，对初稿作了详细审阅和删改。中央气象局资料室厉念芬同志为本书提供了资料，在此一并表示感谢。

编 者

1978 年 8 月

目 录

前言

绪论	1
第一节 气象学的概念	1
第二节 大气及其构造	1
第三节 气象学与林业生产的关系	4
第一章 太阳辐射地面辐射和大气辐射	6
第一节 太阳辐射及其光谱	6
第二节 太阳辐射在大气中的减弱	8
第三节 到达地面的太阳辐射	11
第四节 地面有效辐射	15
第五节 地面辐射差额与热量平衡	17
第六节 太阳辐射与林业生产	19
第七节 林业生产中太阳能的技术调节与利用	20
第二章 土壤温度和空气温度	22
第一节 影响土壤温度的因子	22
第二节 土壤温度的变化	24
第三节 土壤的冻结与解冻	27
第四节 空气的增热与冷却方式	28
第五节 空气温度的变化	30
第六节 空气的绝热变化与大气稳定度	33
第七节 温度与林业生产	36
第八节 林业上调节温度的技术措施	38
第三章 大气中的水分	39
第一节 空气湿度	39
第二节 蒸发	43
第三节 凝结与凝华	45
第四节 降水	51
第五节 水分平衡	53
第六节 大气中的水分与林业生产	54
第四章 气压和风	55
第一节 气压及其单位	55

第二节 等压面、等压线和气压系统	56
第三节 气压梯度与气压梯度力	57
第四节 风	61
第五节 季风与地方风	69
第六节 风与林业生产	72
第五章 天气和天气预报	73
第一节 天气的概念	73
第二节 我国的主要天气系统及其天气表现	74
第三节 天气预报方法	82
第四节 群众看天经验	87
第六章 气象灾害及其预防	92
第一节 寒潮	92
第二节 霜冻	94
第三节 干旱和洪涝	96
第四节 冰雹	99
第五节 台风	101
第六节 大风和龙卷风	105
第七章 气候	107
第一节 气候的概念	107
第二节 气候的形成因子	107
第三节 季节与气候带	113
第四节 气候型	117
第五节 气候与树木年轮	129
第六节 气候变迁	131
第七节 中国的气候特征	135
第八节 气候与林业生产	144
第八章 小气候	147
第一节 小气候的概念	147
第二节 小气候形成的物理基础	148
第三节 小气候的一般特征	149
第四节 森林小气候	152
第五节 防护林带小气候	166
第六节 城市绿化小气候	170
第七节 小气候的人工改造	172
第九章 气象与大气污染	175
第一节 大气污染的概念	175
第二节 气象条件与大气污染	177
第三节 森林与大气污染	181

附录 气象学实习指导	183
实习一 太阳辐射与日照的测定	183
实习二 土壤和空气温度的测定	189
实习三 空气湿度的测定	198
实习四 蒸发、降水、气压的测定	205
实习五 风的测定	211
实习六 观测场的综合测定	215
实习七 气候资料的整理	219

绪 论

第一节 气象学的概念

地球周围包围着一层深厚的空气，这层空气称为地球大气或简称为大气。在大气中，不断地进行着各种物理过程，例如大气的增热和冷却过程，蒸发和凝结过程等。在各种物理过程中，经常发生着风、云、雨、雪、寒、暖、干、湿、光、声、电等各种物理现象。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。

大气状态和物理过程经常用综合的定量因子和定性因子表示。这些因子是作天气预报、研究气候及其它科学研究中都要应用的，因此称为气象要素。气象要素中主要有：空气温度、气压、空气湿度、风向及风速、云量和云状、降水量、能见度、太阳辐射、地球和大气的热放射、土壤温度、蒸发量和各种天气现象（雾、雷暴、雨淞等等）。各个气象要素之间互相联系、互相影响和制约着。在短时间内，一个地方大气中所发生的各种物理现象和物理过程，用各个气象要素综合表示的大气状态，称为天气。气候则是一个地方多年和综合的天气状况，是长时间尺度的大气物理过程。

伟大导师毛泽东同志教导我们：“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。”气象学的任务不仅要研究和掌握大气的变化规律，而且更主要的是根据所掌握的大气变化规律预测大气的发展过程，从而利用自然、改造自然、战胜自然灾害，更好地为社会主义经济建设和巩固国防服务，为在本世纪内把我国建设成为伟大的社会主义现代化强国服务。

第二节 大气及其构造

气象学的研究对象是大气。大气是由多种气体混合组成的，除此之外，它还包括悬浮在其中的液态和固态杂质。

① 不包括水汽、液态和固态杂质的整个混合气体，称为干洁空气。它的主要成分是氮和氧，体积约占干洁空气的 99%，加上氩和二氧化碳，约占干洁空气的 99.9%，其它稀有气体如氢、氦、氖、氫、臭氧等的总和仅占 0.01%。干洁空气从地面直到 100 公里高度，它的成分、各种气体的比例，是很少变化的。在干洁空气的各种成分中，臭氧和二氧化碳所占比例虽然极小，但对大气温度分布却有较大影响。

臭氧在大气中含量极少，分布不均匀。在一般情况下，近地面气层内臭氧含量最少，而且很不稳定，从 10 公里高度开始逐渐增加，到 20—30 公里处达最大值，再往上，臭氧含量又逐渐减少，到 55—60 公里处就很微少了。② 臭氧能大量吸收太阳紫外线，使 40—50

公里高度的气层温度大为增高，同时也使地球上的生物免受过多紫外线的伤害。

二氧化碳主要来源于燃料的燃烧、有机质的腐烂和分解、动物和植物的呼吸作用。它只占大气体积的 0.03%。大气中二氧化碳虽少，但它的用途很广，绿色植物的光合作用，需要吸收大量二氧化碳，合成糖类和其他物质，二氧化碳能吸收和放射长波辐射，对空气温度有一定的影响。大气中二氧化碳的含量随地区不同，在人烟稠密的工业区，含量可达 0.05%，甚至达到 0.07%，在农村则大为减少。由于近代工业的发展，大气中二氧化碳含量有些增加，对气候的变迁又产生了一定影响。

大气中的水汽，来源于江、河、湖、海等的水面蒸发，潮湿陆地的蒸发，植物的蒸腾。因此，随高度的增加，水汽含量相应减少。大气中的水汽主要集中在 2—3 公里以下的低层大气里。同时，水汽含量随时间和空间的变化也很大。大气中的水汽平均含量在赤道地区，为 2.6%；在温带地区为 0.9%；寒带地区为 0.2% 以下，甚至为 0.1%。大气中的水汽含量随季节而变化，一般是夏季比冬季多。大气中水汽的含量虽不多，却是天气变化的主要因子。如果没有水汽，也就没有云、雨、雪、霜、露等天气现象。水汽还有一个特点，即由于蒸发和凝结，要吸收和放出潜热。它又能够强烈地吸收和放出长波辐射，对地面和空气温度有很大影响。在自然条件下，空气总是含有水汽的。水汽密度小于干空气的密度；在温度和气压相同的条件下，含有水汽的湿空气密度小于干空气密度。因此，湿空气比干空气轻。

大气中的液态和固态杂质是悬浮在大气中的烟粒、尘粒、盐粒、花粉、细菌、液滴、带电子小质点等等，它们多集中在大气低层。大气中的液态或固态杂质随地区而不同，城市多于农村，陆地多于海洋，而且随高度的增加而迅速减少。大气中的液态和固态杂质使大气能见度变坏，但它们又能充当水汽凝结的核心，对云、雨的形成起着重要作用。因为它们能吸收一部分太阳辐射和阻挡地面放热，所以，对地面和空气温度也有一定的影响。

由于地球的引力作用，大气质量的三分之二都集中在低层。随着高度的增加，空气密度迅速减小，到上层空气异常稀薄。当大气密度等于星际气体密度时，即是大气上界了。据最近人造卫星探测到的资料推算，大约在 2000—3000 公里高度处，地球大气的密度等于星际气体的密度。因此大气层的厚度大约为 2000—3000 公里。

大气中气象要素的分布，无论是在铅直方向，还是在水平方向，都是不均匀的。世界气象组织根据大气温度和水汽的铅直分布、扰动程度、电离现象等不同性质，统一规定将大气在铅直方向上分为五层：即对流层、平流层、中间层、热成层和外大气层。

(一) 对流层 对流层是最近地面的一层大气。它的厚度，在低纬度地区所达到的高度平均为 17—18 公里，在中纬度地区为 10—12 公里，在高纬度地区平均为 8—9 公里。就季节而言，夏季的高度大于冬季。

对流层大约集中了整个大气质量的四分之三和几乎全部的水汽量，主要的大气物理现象都发生在这一层中，它是天气变化最复杂的层次。

对流层有三个主要特征：

第一是气温随高度增加而降低。在不同地区, 不同季节, 不同高度, 气温的降低值是不同的。平均而言, 每上升 100 米, 气温约下降 0.65°C 。

第二是空气具有强烈的对流运动。由于空气的对流运动, 高层和低层的空气得以进行交换和混合, 使得近地面的热量、水汽、固体杂质等向上输送, 这对于兴云致雨有重要作用。

第三是温度和湿度的水平分布不均匀。在寒带内陆上空的空气, 因受热较少和缺乏水源, 就显得寒冷而干燥。在热带海洋上空的空气, 因受热较多, 水汽充沛, 就比较温暖潮湿。由于对流层中温、湿水平分布不均, 从而也经常发生大规模空气的水平运动。

根据对流层内气流和天气现象分布的特点, 又可分为下层、中层、上层及对流层顶。

下层又称为摩擦层。它的范围是自地面到 1—1.5 公里的高度, 因受地面摩擦和热力的影响, 这层空气的对流和紊乱不规则的运动都很强。随着高度增加, 风速增大, 风向右转。气温日变化也很大, 尤其在紧贴地面的薄薄气层中, 昼夜温差可达 $30-40^{\circ}\text{C}$ 。由于本层水汽、尘粒含量较多, 雾和低云多发生在这层。

中层是指高度 1.5—6 公里的一层大气, 它受地面影响比下层小。气流状况基本上可表征整个对流层运动的趋势, 大气中的云和降水现象大都产生在这一层内, 这一层的上部, 气压通常只及地面气压的一半。

上层的范围是从 6 公里高度伸展到对流层的顶部。这一层的气温常年都在 0°C 以下。水汽含量很少, 各种云都由冰晶或过冷却的水滴组成。在中纬度和副热带地区, 这一层中常出现风速等于或大于 30 米/秒的强风带, 即所谓急流。

此外, 在对流层和平流层之间, 还有一个厚度为数百米到 1—2 公里的过渡层, 称为对流层顶。靠近对流层顶的温度分布特征是上下一样或变化很少, 平均气温在低纬度地区约为 -83°C , 在高纬度地区约为 -53°C 。对流层顶对铅直运动的气流有很大的阻挡作用, 上升的水汽、尘粒多聚集其下。

通常离地面 1—1.5 公里高度以上的大气, 因受地面摩擦影响很小, 称为自由大气。

(二) 平流层 平流层位于对流层顶之上, 约伸展到 50—55 公里高度。在平流层的下层, 气温随高度不变或微有上升; 25—30 公里以上, 气温升高较快; 到了平流层顶, 气温约升至 -3°C — -17°C 。平流层的这种气温分布特征, 是和它受地面温度影响很小, 并且存在着大量臭氧能吸收太阳紫外线有关。

在平流层中, 空气的铅直运动远比对流层弱, 是以水平运动为主, 气流平稳, 天气晴好, 适宜飞机飞行。这一层中水汽和尘埃的含量已极少, 基本无云, 但在中、高纬度地区的晨昏, 在 20—27 公里的高度, 有时可见到色彩奇异的贝母云。

(三) 中间层 中间层是从平流层顶伸展到 80—85 公里高度。这一层的特点是气温随高度增加而迅速下降, 到这一层的顶部, 气温可低至 -113°C — -83°C 。它虽然有利于空气铅直运动, 但因空气稀薄, 对流运动极微弱。在 80—85 公里高度, 夏季有时会出现银白色光芒的夜光云。

(四) 热成层 又称为电离层,它位于中间层到800公里高度之间。这一层内空气很稀薄,空气质量仅占大气总质量的0.05%。空气分子在太阳紫外线和宇宙射线的作用下,变为离子和自由电子,所以空气处于高度电离状态,能反射无线电波。短波无线电通讯得以进行,电离层的存在是一个重要条件。在热成层内,随高度的增加,气温迅速升高。据人造卫星观测,在300公里高度上,温度可达1000℃,到800公里处,温度可达到2000℃。这是因为所有波长小于0.175微米的太阳紫外辐射,都被热成层中的气体所吸收的缘故。在这层内有时可出现极光现象。

(五) 外大气层 800公里以上称为外大气层。其上界高度可达2000—3000公里,它是大气与星际空间的过渡区域。那里空气极其稀薄,同时又远离地面,受地球引力作用很小,因而大气质点不断向星际空间逸散。这一层的温度也是随高度增加而升高,其温度超过9000℃,空气分子的运动速度达12公里/秒。

据宇宙火箭资料证明,在地球大气圈外的空间,还围绕着由电离气体组成的极稀薄的气层,称为“地冕”,它一直伸展到22000公里的高空。

第三节 气象学与林业生产的关系

林木生长发育的好坏与产量的高低,首先决定于它的内因,即树种的生物学特性。正如伟大领袖和导师毛主席指出的:“有了优良品种,即不增加劳动力、肥料,也可获得较多的收成。”其次决定于它的外因,即外界环境条件与人为的经营措施。外界环境条件包括地形、土壤条件、气象及气候条件等。其中光照、热量、水分、空气、养分五大因子是林木生长发育最基本的不可缺少的条件。在这五大因子中,光、热、水、气本身就是气象因子,而养分因子也直接或间接受到气象因子的影响。因此,学习气象学,掌握光、热、水、气等气象因子的变化规律及控制调节方法,就能更好地培育森林,使其速生、优质、丰产,为社会主义建设提供更多的林副产品,还能更好地发挥森林的调节气候,保持水土,涵养水源,减免水、旱、风、沙灾害,保证农业稳产高产,净化空气,美化环境等多种效益。

具体到各项林业生产活动与气象学的关系也是很密切的。

在采种工作中,要根据气象及天气条件,预测种子成熟期、采集期,以便及时组织采种。要依据气象及气候条件,作好种实处理和贮藏工作。

在育苗工作中,要根据当地气象及气候条件,灾害性天气预报,采取恰当的耕作、栽培、管理及灾害预防措施,才能培育出高产壮苗。

在造林工作中,要根据当地气象及气候条件,确定造林树种、造林季节、整地方式,做到适地适树。在造林调查设计工作中,要掌握小气候的变化规律,合理安排树种,采用恰当的造林技术。要根据各地的热量和水分条件,进行造林区划,以充分利用气候资源。

在营造防护林时,要根据当地气象及气候资料,统计各风向频率,确定主要害风方向,设计好林带走向、配置、宽度和树种。

在森林经营工作中,要掌握森林与气候的相互作用规律,森林气候的特点,以此为出

发点，确定抚育采伐方式和强度、森林更新方式和主伐方式。

在森林采伐运输工作中，要根据天气状况决定木材运输、木材流送和做好防洪等工作。

在森林病虫害防治工作中，要掌握气象及气候条件与病虫害发生的关系，作好预测预报。并利用适宜的天气条件进行防治，才能收到较好的效果。

在护林防火工作中，要根据当地的气象资料，确定火险等级，作好防火预报，以减少国家财产的损失。

在林木引种工作中，要根据气象条件的相似性和小气候特点进行工作，对原产地与引种地区的温度、湿度、降水、日照、霜期等气候和天气状况，进行对比分析，决定能否引种。以便扩大优良品种的栽培范围或成功地引种外来树种。

在城市及工矿区园林绿化工作中，要掌握城市小气候特点，气象条件与大气污染的关系，以及园林绿化对净化空气、改善小气候的作用，以便合理设计及栽植树木。

总之，林业生产活动与气象及气候条件关系极为密切。对于林业科学技术人员来说，学好气象学的基本理论，掌握好基本的仪器测定技术，不仅是学好林业科学理论和技术的基础，而且是为林业生产服务的必要工具。

辐射
传导

第一章 太阳辐射地面辐射和大气辐射

第一节 太阳辐射及其光谱

物质以电磁波形式向周围空间放射能量，这种放射能量的方式称为辐射，放射出的能量称为辐射能。太阳就是以辐射方式投射给地球巨大的能量，因此称为太阳辐射。太阳辐射除电磁波辐射外，还有微粒子流辐射。微粒子流的速度比光速慢得多，大约每秒 400—2000 公里不等。微粒子流中主要为质子（氢原子核）和电子、中子以及某些化学元素的原子核。

太阳辐射是地球和大气热量的主要来源，是大气运动的原动力，是引起复杂的天气变化和形成气候的重要因子。太阳辐射也是植物生活中不可缺少的因子，它不仅能影响植物的生长和发育，而且也影响产量。地球在一年内获得由太阳来的热量是 1.3×10^{24} 卡，它仅仅是太阳本身发射能量的二十亿分之一。

太阳是一个炽热球体，它的表面温度高达 6000°K *。由于太阳温度很高，所以它放射出大量能量。据研究证明：绝对黑体**的放射能力和它的绝对温度的四次方成正比，即：

$$E_0 = \sigma T^4 \quad (1.1)$$

式中 E_0 是放射能力，它是辐射物体单位面积上、单位时间内放射出的能量，单位为卡/厘米²·分。 T 是绝对温度 $^\circ\text{K}$ 。 σ 是波尔兹曼常数， $\sigma = 8.24 \times 10^{-11}$ 卡/厘米²·分·度⁴。

(1.1) 式说明放射物体的温度愈高，放射辐射能力愈强；物体的温度愈低，放射辐射能力愈弱。太阳温度以 6000°K 计算，则 $E_0 = 107$ 卡/厘米²·分。公式 (1.1) 就是斯蒂凡 (Stefan)——波耳兹曼 (Boltzman) 定律。

太阳辐射不仅能级大，而且放射的波长短。据维恩实验得出：黑体放射能力最强的波长和其绝对温度成反比，即

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2884 \text{ 微米} \cdot \text{度} \quad (1.2)$$

式中 $\lambda_{\max}$ ——放射能力最强的波长，单位为微米，以 μ 表示，1 微米 = 10^{-4} 厘米。

(1.2) 式说明物体的温度愈高，放射能力最强的波长愈短；反之，温度愈低，放射能力最强的波长愈长。太阳温度以 6000°K 计算，那么放射能力最强的波长为 0.48 微米。公式 (1.2) 就是维恩 (Wein) 位移定律。

如果太阳也是黑体辐射，根据理论计算，太阳辐射光谱的能量分布如图 1—1。从图上看出，太阳辐射的波长比较短，由 0.17—4 微米，所以太阳辐射又称短波辐射。由于大气

* K 表示绝对温度 $T^\circ\text{K} = 273 + t^\circ\text{C}$ 。

** 能完全吸收入射辐射，并且具有最大辐射本领的物体，称为绝对黑体，它的辐射称为黑体辐射。

的吸收, 地球表面测得的太阳辐射光谱约在 0.29 微米到 5.3 微米之间 (图 1—2)。显然, 波长小于 0.29 微米的短波处被中断, 这是由于被高空臭氧层所吸收的结果。在太阳辐射的连续光谱中, 可分为三个光谱区。波长大于 0.77 微米的称为红外线光谱区, 它约占太阳辐射能的 43%; 波长 0.39—0.77 微米之间称为可见光光谱区, 约占太阳辐射能的一半 (52%), 其中又分为红光 (0.770—0.622 微米), 橙光 (0.622—0.597 微米), 黄光 (0.597—0.577 微米), 绿光 (0.577—0.492 微米), 青光 (0.492—0.480 微米), 蓝光 (0.480—0.455 微米), 紫光 (0.455—0.390 微米)。波长 0.39—0.005 微米之间为紫外线光谱区, 约占太阳辐射能的 5%。太阳辐射中可见光部分不仅辐射能量大, 而且是辐射最强的部分, 所以太阳光是可见的。

植物叶子吸收的太阳能约为 45—50%, 大部分转换成热能, 供蒸发和蒸腾, 其中用于制造有机物质的太阳辐射能仅占 2—3%。植物不仅吸收太阳可见光的光能, 也吸收一部分热能, 特别是在北方和山地。在可见光的照射下, 植物主要吸收红橙光 (0.68—0.73 微米) 和蓝紫光 (0.47 微米) 进行光合作用和制造有机物质, 通常把植物吸收用来进行光合作用的辐射能, 称为生理辐射。

表示太阳辐射能强弱的物理量, 称为太阳辐射强度, 它是单位时间, 垂直投射在单位面积上的太阳辐射能, 以 I 表示, 单位是卡/厘米²·分。大气上界 (未通过大气), 日地平均距离时的太阳辐射强度, 称为太阳常数, 以 I_0 表示。太阳常数不是永远不变的, 它随着太阳黑子数的增多而增大。此外, 太阳常数测算中, 由于观测高度、观测时使用的仪器和计算方法的不同, 太阳常数也发生变化。六十年代时, 欧洲标度的太阳常数为 1.97 卡/厘米²·分。近年来, 美国国家航空和宇宙航行局太阳电磁委员会提供的数据是 1.95 卡/厘米²·分。我国采用的太阳常数为 1.94 卡/厘米²·分。根据太阳常数计算, 一年内太阳供给整个地球的热量为

$$I_0 \times 60 \text{ 分} \times 24 \text{ 小时} \times 365.2 \text{ 天} \times R^2 \pi \quad (1.3)$$

式中 R 是地球平均半径, $R = 6.371 \times 10^8$ 厘米。用 $I_0 = 1.94$ 卡/厘米²·分 代入 (1.3) 式, 计算结果是 1.3×10^{24} 卡。

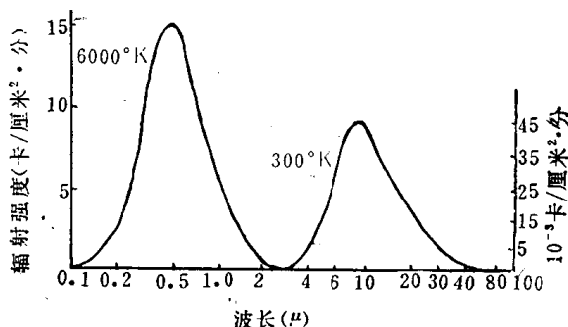


图 1—1 温度 6000°K (太阳表面温度)、300°K (地表面温度) 黑体辐射光谱能量分布

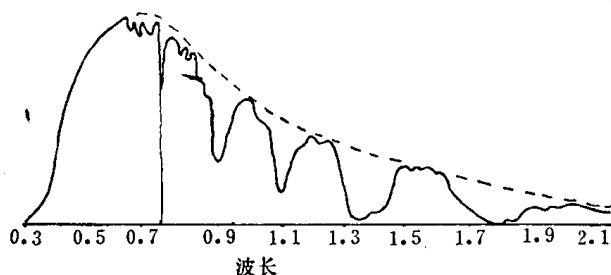


图 1—2 地表面正常太阳光谱能量分布和主要吸收带

第二节 太阳辐射在大气中的减弱

一、减弱方式

太阳辐射通过大气层时,一部分被大气和云层所吸收,一部分被大气中的各种气体分子和悬浮的微粒散射,一部分被云层反射,因此太阳辐射到达地面时已和大气上界的情况大不相同,而显著减弱了。

太阳辐射通过大气时受到三种减弱作用:

(一) 吸收作用 大气中的氧、臭氧、水汽和二氧化碳能直接吸收一部分太阳辐射能量,但吸收的量很少。如以大气上界每平方厘米面积上,在一年内所得到的太阳辐射能量作为 100%,那么大气本身吸收量仅为 6% 左右。大气中的氧和臭氧主要吸收紫外线和远紫外线光谱区。水汽、二氧化碳和尘埃主要吸收红外线光谱区。大气吸收可见光光谱区的能量极微。

云和雾也能吸收太阳辐射。据卫星观测的结果,云层对太阳辐射的吸收率*可以达到 20—40% 不等,并且随云状而不同。云主要吸收太阳辐射的红外线光谱区。以一年为单位计算,进入大气的太阳辐射能量中,大约有 12% 被云层吸收。

(二) 散射作用 大气中各种气体分子和尘埃等微小质点,当它们的直径等于或小于辐射波长时,能把太阳辐射能量向四面八方散开,这种现象称为散射。散射作用将一部分太阳辐射能量逸回太空,以一年计算,大气中散射损失的量大约有 7% 返回宇宙空间。

当质点的半径小于 10^{-6} 厘米时,散射能与波长的四次方成反比,即

$$i = \frac{331 (n-1)^2}{\lambda^4 N} \quad (1.4)$$

式中 i 为散射系数, N 是 1 个立方厘米内的分子数目, n 为空气折射率,它与空气密度和波长有关, λ 为波长。

(1.4) 式说明波长愈短,质点散射能力愈强;波长愈长,质点散射能力愈弱。公式 (1.4) 就是莱雷 (Lord Rayleigh) 散射定律。

散射作用主要发生在可见光光谱区。在可见光中蓝光、紫光的散射能力最强,所以晴朗无云的天空呈淡蓝色。当大气中的水滴、尘埃等各种质点的直径大于太阳辐射波长时,质点对各种辐射光谱具有同等程度的散射能力,这时称为漫射。漫射光和投射光的性质相同。天空有时呈灰白色或乳白色就是漫射的结果。

(三) 反射作用 大气中的云层、较大的尘埃能将一部分太阳辐射能反射到宇宙空间。太阳辐射能量中大约有 27% 被云层反射逸回太空。

太阳辐射经过深厚的大气层,由于吸收、散射和反射等三种减弱作用,仅有大约 48% 的太阳辐射能量到达地面。

* 吸收辐射量和射入辐射量的百分比,称为吸收率。

二、影响减弱的因子

太阳辐射通过大气层时,被减弱的程度决定于太阳辐射在大气中的射程和大气透明系数。太阳辐射在大气中的射程愈长,即通过大气的量愈多,太阳辐射被减弱的愈厉害。反之,射程短,即通过大气的量愈少,太阳辐射被减弱的愈少。太阳辐射在大气中的射程和太阳高度角^{*}有关,从图1—3看出,太阳高度角愈小,射程愈长;太阳高度角愈大,射程愈短。太阳高度角 90° 时,射程最短(图1—3中BC),这时单位面积光束所穿过厚度为BC的柱体的大气质量称为一个大气光学质量,即单位气质。大气光学质量以 m 表示,如不计地表面曲率,略去折射的影响,可根据图1—4中三角形ABC,近似地求出大气光学质量 m 与太阳高度角 h 的关系。

在 $\triangle ABC$ 中, $CB=1$ $AB=m$

$$\therefore \frac{CB}{AB} = \frac{1}{m} = \sin h$$

$$\therefore m = \sec z \quad (1.5)$$

式中 z 为天顶距, $z = 90^\circ - h$ 。当 $z < 60^\circ$, 即 $h > 30^\circ$ 时,可以用上式计算 m 。(1.5)式指出,太阳斜射时通过的大气光学质量 m 是指单位气质的倍数。因此,大气光学质量是一个无单位的相对数值。表1—1是不同太阳高度角时的大气光学质量。

表1—1 不同太阳高度角时的大气光学质量

太阳高度角	0°	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
大气光学质量 (米)	35.40	10.40	5.60	2.90	2.00	1.55	1.30	1.15	1.06	1.02	1.00

由表1—1可见,当太阳高度角由 0° 增加到 30° 时,通过的大气光学质量由35.4减少到2.00,变化很剧烈;太阳高度角由 30° 再增加到 90° 时,通过的大气光学质量由2.0减少到1.0,变化比较缓和。这就是造成日出后和日落前的短时间内,太阳辐射强度变化比

* 太阳光线和地表水平面之间的交角,称为太阳高度角,以 h 表示。

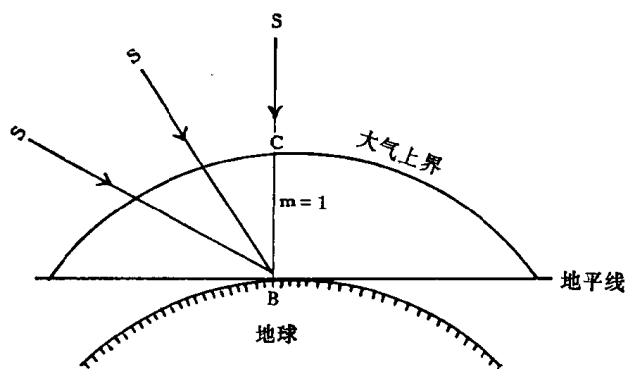


图1—3 大气中太阳光线的路线

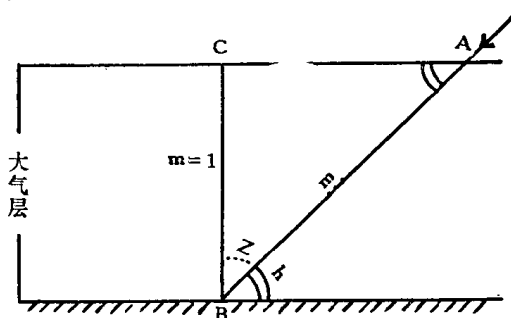


图1—4 大气质量与太阳高度角的关系

较大的原因。

太阳辐射在大气中的减弱程度，还决定于大气透明系数。透明系数是通过单位气质后的太阳辐射强度与未通过前的太阳辐射强度之比，用 P 表示。

$$\text{当 } m=1 \text{ 时, } P = \frac{I_1}{I_0} \quad (1.6)$$

大气中易变成分是水汽及尘埃、烟粒等固体杂质，大气透明系数的变化决定于它们在大气中含量的变化。当大气中水汽比较多或大气被污染，即尘埃、烟粒等固体杂质较多时，大气透明系数减小，太阳辐射穿过大气层时被减弱的量多；反之，水汽和尘粒等减少时，大气透明系数增大，太阳辐射穿过大气层时被减弱的量少。大气对于太阳辐射各种光谱的透明系数是不同的，表 1—2 是太阳高度角 90° 时，大气对各种光谱的透明系数。

表 1—2 大气对各种光线的透明系数

短波紫外线	紫 外 线	紫色光线	蓝色光线	绿色光线	黄色光线	红色光线	红 外 线	长波红外线
0 %	32 %	55 %	64 %	72 %	76 %	78 %	80 %	87 %

由表上看出，短波光线的透明系数最小，长波光线的透明系数最大。日落前或日出后的短时间内，太阳辐射通过的大气光学质量多，可见光中的短波部分大部分被散射，剩下为长波部分的红色光居多，所以这时候太阳呈现红色。从表 1—3 看出，太阳在天顶时 ($h = 90^\circ$ 时)，红光占全部太阳辐射的 28%，当太阳高度角为 1° 时，红光增加到 84%。

表 1—3 各种太阳高度角时，太阳辐射中所含光谱的比例 (%)

太 阳 高 度 角	90°	60°	30°	10°	5°	1°
红 光	28	29	30	36	47	84
黄 光	29	30	31	33	34	13
绿 光	22	22	23	20	14	3
蓝 光	13	12	11	7	4	0
紫 外	8	7	5	4	1	0

太阳辐射通过大气层后，不仅强度减弱，在性质上也有变化，表 1—4 是大气上界及地面上的太阳辐射光谱组成，在地面上太阳辐射的红外线部分增加了，紫外线和可见光部分减少了，紫外线少对植物生长有利。

表 1—4 大气上界及地面上太阳辐射光谱的组成

光 谱 区	紫 外 区	可 见 光 区	红 外 区
大气上界太阳辐射光谱的百分数	5	52	43
太阳高度角 40° 时，在地面上太阳辐射光谱的百分数	1	40	59