



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

海洋与气象

船舶驾驶专业

主编 沈四林



人民交通出版社

中等职业教育国家规划教材

Haiyang Yu Qixiang

海洋与气象

(船舶驾驶专业)

主 编	沈四林
责任主审	蔡存强
审 稿	许曹华
	陈登俊

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为中等职业教育国家规划教材,全书共分为4篇13章,主要内容分别为:航海气象学基础知识,海洋学基础知识及其应用,主要天气系统以及海洋天气预报基础知识等。本书注意到了航海界不同层次和职业教育的需要,结合船员考证,在内容和深度上作了适当的调整,力求简明扼要,通俗易懂。

本书可作为船舶驾驶人员适任考试和培训复习用书,也可供船舶驾驶员、船舶管理人员工作时参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

海洋与气象/沈四林主编. —北京:人民交通出版社,
2002
ISBN 7-114-04412-7

I. 海... II. 沈... III. 海洋气象学—专业学校—
教材 IV. P732

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059100 号

中等职业教育国家规划教材

海洋与气象

(船舶驾驶专业)

主 编 沈四林

责任主审 蔡存强

审 稿 许曹华

陈登俊

正文设计:姚亚妮 责任校对:戴瑞萍 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:369 千

2002 年 9 月 第 1 版

2002 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—1000 册 定价:18.60 元

ISBN 7-114-04412-7

U·03252

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的“职业教育课程改革和教材建设规划”，教育部全面启动了中等职业教育国家规划教材建设工作。交通职业教育教学指导委员会航海类学科委员会组织全国交通职业学校(院)的教师，根据教育部最新颁布的船舶驾驶、轮机管理、船体建造与修理专业的主干课程教学基本要求，编写了中等职业教育船舶驾驶、轮机管理、船体建造与修理专业国家规划教材共 28 册，并通过了全国中等职业教育教材审定委员会的审定。

本套教材的编写以国际、国内和行业的法规、规则及标准为依据，以职业岗位的需求为出发点，始终围绕职业教育的特点，具有较强的针对性。新教材较好地贯彻了“以全面素质为基础，以能力为本位”的教育教学指导思想，结合对培养学生的创新精神、职业道德等方面的要求，提出教学目标并组织教学内容。新教材在内容的编写上以“必需和够用”为原则，紧扣大纲，深度、广度适中，体现了理论和实践的结合，强化了技能训练的力度。新教材在理论体系、组织结构、内容描述上与传统教材有明显的区别。

本套教材是针对四年制中等职业教育编写的，也适用于船员的考证培训和船厂职工的自学。

《海洋与气象》是中等职业教育船舶驾驶专业国家规划教材之一，内容包括：航海气象学基础知识，海洋学基础知识及其应用，主要天气系统，海洋天气预报基础知识，共四篇十三章。

参加本书编写工作的有：上海海事职业技术学院沈四林(编写第一至三章、第七章第二节、第十至十三章)、大连海事大学远洋职业技术学院冷梅(编写第四章、第七章第一节、第八、九章)、上海海事职业技术学院钱立胜(编写第五章)，全书由沈四林担任主编，上海海运学院王长爱副教授担任主审。

本书由上海海运学院蔡存强教授担任责任主审，上海海运学院许曹华、陈登俊副教授审稿。他们对书稿提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

限于编者经历及水平，教材内容很难覆盖全国各地的实际情况，

前言

希望各教学单位在积极选用和推广国家规划教材的同时,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通职业技术学校教学指导委员会

航海类学科委员会

二〇〇二年五月

第一篇 海洋气象学基础知识

第一章 海洋气象要素	1
第一节 大气和海洋概况.....	1
第二节 温度.....	9
第三节 气压	19
第四节 大气湿度	25
第五节 空气的水平运动	29
第六节 空气的垂直运动和大气稳定度	44
第七节 云	50
第二章 大气环流	56
第一节 单圈环流与三圈环流	56
第二节 季风环流与局地环流	59
第三章 海洋上的雾和降水	64
第一节 雾及其分布	64
第二节 世界海洋上的雾及雾的测算	72
第三节 降水	76
第四节 海面能见度与海水透明度	78

第二篇 海洋学基础知识及其应用

第四章 海浪与海流	80
第一节 海浪	80
第二节 世界大洋主要大风浪区和冰情概况	83
第三节 近岸浪与风暴潮	87
第四节 海流	88
第五章 潮汐与潮流	96
第一节 潮汐的成因与潮汐不等	96
第二节 有关潮汐与潮流的名词术语.....	102
第三节 中版《潮汐表》与潮汐计算.....	104
第四节 英版《潮汐表》与潮汐推算.....	112
第五节 潮流推算.....	114

第六章 船舶海洋水文气象要素观测及编报	117
第一节 船舶海洋水文气象要素的观测项目、时次和程序 ..	117
第二节 船舶海洋水文气象编报	124
第三节 常用航海气候资料	130

第三篇 主要天气系统

第七章 气团与锋	133
第一节 气团	133
第二节 锋的概况	136
第三节 锋面天气	138
第八章 锋面气旋	140
第一节 锋面气旋概况	140
第二节 锋面气旋天气	143
第三节 海洋上锋面气旋活动规律	144
第九章 反气旋——冷高压与暖高压	146
第一节 冷高压	146
第二节 副热带高压	150
第十章 热带气旋	154
第一节 热带气旋的概况	154
第二节 热带气旋的形成条件和强度变化	158
第三节 热带气旋的天气结构和风浪分布特征	160
第四节 热带气旋的移动	163
第五节 南海热带气旋	166
第六节 船舶测算和偏离热带气旋的方法	168
第十一章 其他有关的天气系统	173
第一节 中小尺度天气系统	173
第二节 西风带高空常见天气系统	176
第三节 热带辐合带、东风波、热带云团和热低压	181

第四篇 海洋天气预报基础知识

第十二章 天气报告与气象传真图	187
第一节 海上天气报告和警报	187

第二节	天气图的基础知识	191
第三节	海上主要气象传真图	198
第十三章	海上天气预报	216
第一节	天气预报的基本原理	216
第二节	船舶常用的天气预报的方法	219
第三节	跨洋航线的船舶气象导航	226
参考文献		231

第一篇 海洋气象学基础知识

船舶在远洋、近海和沿岸航行时,掌握海上的天气情况是非常必要的。本篇主要介绍大气的概况、温度、气压、大气稳定度、空气的水平运动、大气的稳定度和云基础知识,以及与航海活动密切相关的气象要素和其变化规律等。正确理解和掌握这些内容,是学好海洋气象学的关键所在,也是船舶驾驶员在海上航行时,分析和预报船舶周围环境的海区里的天气情况和海洋状况的基础。

第一章 海洋气象要素

气象要素(Meteorological Elements)是表征在某一地点和特定时刻大气状态的物理量和物理现象,如气温、气压、湿度、风、云、雾、降水和能见度等。表层水温,海流,潮汐,海浪和海冰等是水文要素,但也可以看成广义的海洋气象要素。天气(Weather)是指某一定的地区在某一瞬时或某一短时间内大气中气象要素的空间分布及其伴随气象要素的综合表现。气候(Climate)是指某一区域各种气象要素的多年平均特征,其中包括它们的极值。天气表示大气运动的瞬时状态,而气候则表示长时间统计出来的平均结果。因此,要了解天气变化和海洋气候规律,必须从研究气象要素入手。从本章起,我们陆续介绍海上气象要素的一般特征,相互联系,时空分布,以及在当时的环境和情况下船舶进行海洋水文气象要素观测的方法和要求。海水和大气都是流体,有许多相同或相似之处。因此为了便于比较和对照,了解并预测海洋上的天气和海况变化,必须从观测和研究气象要素入手。

本章主要介绍大气概况和海洋气象要素知识。

第一节 大气和海洋概况

一、海洋的概况

地球上广大的连续水体总称为海洋。它构成了地球的水圈。海洋的面积为 $3.613 \times 10^8 \text{ km}^2$, 体积为 $1.338 \times 10^9 \text{ km}^3$, 面积占地表总面积的 70.8%, 海水的总质量约为地球质量的 0.1%。由于海水中含有大量的盐分,其密度比纯水要大,为 $1.01 \sim 1.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。海水的密度与海水的温度、盐度和压力有关,是它们的函数。

海洋对太阳辐射的反射率比陆地小,因此,海洋单位面积所吸收的太阳辐射能比陆地多 25% ~ 50% 左右,全球海洋表层的年平均温度要比全球陆面温度高 10°C 左右。据估计,到达地表的太阳辐射能约为 80% 被海洋表面吸收,通过海水内部的运动,热量向下传输混合。而大

气与海洋之间的关系尤为密切,通过海-气相互作用来影响大气环流、水循环和气候变化。

根据水文及海洋形态特征,可将海洋划分为主要部分及附属部分。主要部分称之为洋,附属部分就是洋的边缘部分,其包括海(Sea)、海湾(Gulf)和海峡(Strait)。

1. 洋(Ocean)

洋的面积广阔,约为海洋面积的 89%。洋的特点为深度大,一般在 2~3km 以上;水文要素相对来说比较稳定,不受大陆的影响,季节变化小,日较差不大;盐度平均约为 35‰;水色高,透明度大;有独自の潮汐系统和强大的洋流系统。

世界大洋是互相沟通的。根据岸线的轮廓、底部起伏和水文特征,世界大洋分为太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋和南大洋。表 1-1 中已把南大洋三个扇形部分的面积归入三大洋。其中总面积太平洋最大,大西洋次之,北冰洋最小;太平洋最深,北冰洋最浅。

各大洋的面积和深度

表 1-1

名称(不包括附属海)	面积($\times 10^6 \text{km}^2$)	平均深度(m)	最大深度(m)
太平洋	165.246 (45.8%)	4028	11500
大西洋	82.442 (22.8%)	3627	9219
印度洋	73.443 (20.3%)	3897	7450
北冰洋	5.035 (1.4%)	1296	5220

2. 海(Sea)

大洋靠近大陆边缘部分,由弧岛或半岛所隔离,或居于两陆中间,或由陆地包围的部分,皆称为海。海的面积要比洋的面积小得多,只占海洋的 11%,深度较浅。海水的物理化学性质各有特点,受大陆影响大,季节变化显著;水色低,透明度小,没有独立的海流系统和潮汐系统,多数受大陆和大洋的共同影响。

按照海的地理位置可分为内陆海和边缘海。内陆海位于陆地内部,仅通过一个或几个海峡与大洋相通的海,又称为地中海。内陆海分为陆间海和陆内海,陆间海是在几个大陆之间的海,如欧洲与非洲之间的地中海;陆内海是在一个大陆内的海,如波罗的海、红海、波斯湾、渤海等。边缘海是位于大陆边缘,以岛弧或半岛与大洋为界,海流和潮流直接受大洋影响;靠近大陆的那一面受大洋影响大,水文气象状况的季节性变化明显;连接大洋的那一面受大洋影响最大,但水文气象状况相对比较稳定。边缘海如日本海、白令海、鄂霍次克海、中国的黄海和南海等。

3. 海湾(Gulf & Bay)

洋和海延伸入大陆的一部分水域,其深度和宽度逐渐减小,且它大部分范围被陆地所包围,仅有一面通向洋和海,这种水域称为海湾。海湾中的海水与邻近的海或洋可以自由沟通,所以水文气象特性一般与海相似。海湾中潮差一般来说都比较大,这显然和水域较窄以及水深逐渐变小有关,出现最大潮差,如杭州湾的钱塘江潮差达 8.9m,朝鲜金华湾为 12m,加拿大东岸的巴芬湾潮差达 18m,芬兰湾可达 18~21m。海湾的面积大小差别很大,大的很大,如孟加拉湾;小的较小,如大连湾、胶州湾和北部湾等。

4. 海峡(Strait & Channel)

沟通两个海或海与洋,宽度较窄的水道称为海峡。如中国的台湾海峡沟通东海(Donghai)和南海(Nanhai),巴士海峡沟通南海和太平洋。海峡的特点是流急,尤其是潮流的流速大,多旋涡,底质多为岩石或沙砾,细小的沉积物很少。海流有的由上、下层流入或流出,如直布罗陀海峡和博斯普鲁斯海峡;有的由左、右侧流入或流出,如渤海海峡等。因此,海湾中的海水温度、密度在水平及垂直方向上的变化都比较大。如台湾海峡、巴士海峡和津轻海峡等主要的海

峡都是世界各国船舶航行的国际通道。

应当指出的是,由于历史习惯等原因,原本是海,称为湾的有波斯湾、墨西哥湾等;原本是湾,称为海的有阿拉伯海和渤海等。

二、地球大气的成分

地球大气现在的组成是由 46 亿年前地球形成后逐渐变化而来的。要正确地解释发生在地球大气中的各种物理现象和物理过程,进而掌握它们的变化规律,首先必须对大气的成分、结构和基本物理性质等有一个概要的了解。

1. 大气 (Atmosphere)

大气是一种特定的气体,即具有不同物理性质的各种气体的及悬浮其中的不等量固态和液态小颗粒组成。大气是指环绕地球表面的整个空气层,即为大气层中的气体。其总质量为 $5.3 \times 10^{21} \text{g}$,约为地球质量的百万分之一,是地球水圈质量的 $1/250$ 。在标准情况下,地面附近的干空气的密度的数值为 $1293 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由于空气具有可压缩性,在地心引力作用下,大气质量绝大部分集中在大气底层,越往高处越稀薄,即空气的密度随高度的增加而迅速减少。观测表明,大气质量的 75% 集中在 10km 以下,99% 集中在 35km 以下。至于大气上界目前也难以确定,我们只能通过物理分析和现有的观测资料进行两种方法确定,即:一种是根据大气中的某些物理现象,以极光出现的最大高度(1200km)作为大气的上界,因为极光是太阳发出的高速带电粒子使稀薄空气分子或原子激发出来的光,它只出现在大气中,星际空间无这种物理现象;另一种是根据大气密度随高度增加而迅速减小的规律,以大气密度接近星际气体密度的高度定为大气上界,按卫星观测资料推算,该高度约为 2000 ~ 3000km。

2. 大气成分

大气是个混合物,包括气体和一些悬浮的固态和液态杂质。通常将大气分为干洁空气、水汽和大气颗粒物三种。

1) 干洁空气

气象上通常称为不含有水汽和悬浮颗粒物的大气为干洁空气,简称为干空气,其组成为主要成分、微量成分和恒量成分三种。在 80 ~ 90km 以下,干空气成分(除臭氧和一些污染气体外)的比例基本不变,可视为单一成分,其平均分子量为 28.966。干洁空气是组成大气的主要成分,且组成干洁空气的所有成分在大气中均呈气体状态,不会发生相变。干洁空气的主要成分,其浓度在 1% 以上,它们是氮(N_2) 78.09%,氧(O_2) 20.95%,氩(Ar) 0.93%,三者之和为 99.97%;干洁空气的微量成分,其浓度在 1ppm ~ 1% 之间,包括二氧化碳(CO_2) 0.03%、甲烷(CH_4)、氦(He)、氖(Ne)、氪(Kr)等干空气成分;干空气恒量成分,其浓度在 1ppm 以下,主要有氢(H_2)、臭氧(O_3)、氙(Xe)、一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)、氨气(NH_3)、二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)等。此外,还有一些人为所产生的污染气体,它们的浓度多极其微小。而在 90km 高度以下,除 CO_2 和 O_3 等易变成分以外,干洁空气中各主要气体的浓度几乎是恒定的。

众所周知,氧除了生命呼吸外,还在有机物的燃烧、腐化及分解过程中起着冲淡作用,使氧气不致于太浓,氧化作用不过于激烈;二氧化碳对太阳辐射的吸收很小,但能强烈地吸收地面的长波辐射,即二氧化碳能起着对地面和空气增温效应,即温室效应,所以它是一种温室气体,即:地球的平均温度逐年按比例升高有一大部分的原因就是低层大气 CO_2 含量的逐年递增的结果。

臭氧(O_3)的分子由三个氧原子组成,不同于人类呼吸所需的两个原子组成的氧气。大气中臭氧含量极小,体积含量为 $10^{-8} \sim 10^{-7}$,如果将所有的臭氧都置于地表,只能形成一层厚度为 $4\mu m$ 的气层。臭氧随高度的分布是不均匀的,在 $10km$ 以下含量只有 10^{-8} , $10km$ 以上逐渐开始增加,在 $25km$ 处最大,达 10^{-5} 量级,再往高空又逐渐减少,至 $50km$ 高空则含量极小,因此通常称 $10 \sim 50km$ 这一层为臭氧层。臭氧层的形成与大气中的氧气对太阳辐射的吸收休戚相关,氧分子吸收太阳的短波辐射(紫外线)后被分解为两个氧原子,氧原子再与一个未分解的中性氧分子结合而成为一个臭氧分子。

大气中各层臭氧的浓度除随时间而明显变化,这与地理纬度,季节以及天气形式有关,火山活动与太阳活动对它也有影响。南极地区的大气中各层臭氧的浓度变化幅度最大,在春季臭氧含量急剧减小,而会形成“臭氧层空洞”现象。

臭氧对地球大气及地球生命非常重要。臭氧能强烈地吸收太阳紫外线,而使臭氧层及其上层迅速增暖,影响大气温度的垂直分布,从而对大气环流和气候产生重要影响;另一方面,由于太阳的紫外辐射在高空被臭氧挡住,地面上的生物就能免受紫外线的伤害。根据资料,如果臭氧减少 1% ,则将会使到达地面的紫外辐射增强 1% ,因紫外辐射而诱发的皮肤癌病人将每年增加 $2\% \sim 5\%$ 。

2)水汽

大气中的水汽来自江、河、湖泊、海洋及潮湿物理表面的水分蒸发和植物的蒸腾。空气的垂直运动使水汽向上输送,同时又可能使水汽发生凝结而转换成水滴,因此,大气中的水汽含量一般随高度的增加而明显减少。观测证明,在 $1.5 \sim 2.0km$ 高度处,只有地面水汽含量的 $1/10$;再向上含量就更少了。显然,大气中的水汽含量还与地理纬度、海岸分布、地势高低、季节以及天气条件等密切相关。在暖而潮湿的热带地区,低纬的暖水洋面上,低空水汽含量最大,其体积混合比的数可达 4% ,而干燥的沙漠地带和极地,水汽含量极小,仅为 $0.002\% \sim 0.1\%$ 。同一地区,一般夏季的水汽含量多于冬季。

大气中的水汽在天气变化和地球系统的水循环中起着重要角色。水汽是云和降水的源泉,水汽是唯一能在常态中以三种形态存在的物质(固态、液态和气态)。随着大气的垂直运动,空气中的水汽会发生凝结或者凝华,即绝热上升过程,进而绝热冷却而产生云和降水(雨,雪,冰雹等)。当水从一种形态转变为另一种形态时,它会吸收或释放出一定的热量(潜热);水汽又能强烈地吸收和放出长波辐射。因此,它直接影响地面和空气的温度,从而也影响大气的垂直运动。通过水的形态变化,海洋、河流、江湖以及潮湿土壤等的蒸发向大气输送水汽,大气中的水汽通过凝结或者凝华形成降水,又回到海洋、河流、土壤,使不同部分的水不断发生更替,形成水循环,将地球的四圈(岩石圈、水圈、生物圈和大气圈)紧密地联系在一起。

3)大气的颗粒物

大气颗粒物又称大气杂质,它是悬浮在大气中的各种固体和液态的微粒,统称为大气气溶胶粒子。它们在空气中停留时间各不相等,极小的粒子可以停留在空气中相当长时间,而那些比较重的颗粒在重力的作用很快就落到地面。大气杂质来源很广,有自然的,也有人为的。自然的包括海浪破裂产生的海盐细粒,花粉及被风吹起的有机物质,火山喷射及大风卷起的灰尘。这些颗粒在它们的发源地(地球表面)尤其密集,随着上升气流它们也被带到高层大气;另外,一些流星体在穿过大气层时燃烧也会释放一些固体质粒到高层大气中。随着人口增长和工业、交通运输的发展,大气中的烟粒、灰尘、煤粒尘和盐粒等大量增加。

在气象上,这些杂质对云雾、降水、辐射传输、大气、海面能见度、大气光学以及大气污染有

很大影响。它们可以作为大气中水汽凝结或冻结的核心,也是形成雾、云和降水的重要条件;它们能吸收和辐射太阳、大气和地面的辐射,也能改变地球的辐射平衡;它们使大气和海面能见度以及空气质量变坏;它们能造成我们熟知的诸多的大气光学现象,如日出、日落时太阳呈瑰丽的桔色与红色,当大气中存在高密度粒子较大的大气杂质时,天空变成乳白色等,将造成严重的大气污染。

3. 大气污染对地球环境的影响

地球大气既是人类赖以生存的氧的来源,又是人类活动过程中排放各种废气的稀释场所。然而,大气并非无限,大气质量的 $\frac{3}{4}$ 集中在距地球表面十几公里(对流层)的范围,离地面越高,大气越稀薄。当由于人为和自然因素改变了大气的组成(90km 以下),致使人类和生态系统出现不良反应,破坏了系统的平衡和协调,就成为大气污染。造成这种反应的物质称为污染物。目前大气污染成为严重的环境问题,普及全球性的环境问题中最为突出的有 4 个方面,即温室效应与全球气候变暖、臭氧层的破坏、酸雨和城市空气污染。

温室效应与全球气候变暖:大气中 CO_2 、 CH_4 和 NO 等温室气体的增加,将导致对流层大气温度的升高,其中以 CO_2 最为突出。根据资料,由 CO_2 的增加,使近 100 年来世界平均气温升高了 0.6°C ,若大气中的 CO_2 含量由 300ppm 增加到 600ppm,增加一倍,则地球表面的平均气温会升高 $2\sim 4^\circ\text{C}$ 。而气候变暖将会对粮食生产,水资源,能源生产,交通运输,生态系统,以及社会产生极大影响。温室效应与全球气候变暖还会因南极冰层部分溶解而引起海平面上升。

臭氧层的破坏:臭氧层对人类说至关重要,因为它能屏蔽有害的太阳紫外线辐射。1985 年发现了南极上空出现了空洞。近 20 年来观测研究表明,臭氧的减少是全球性的,其中南极平流层尤为明显。

酸雨:它是指酸性的降水。通常把 pH 值低于 5.6 的降水称为酸雨,酸雨是区域尺度的环境问题,它是大气污染物(主要是 SO_2 和氮氧化合物)在远距离输送过程中经过化学转化和清除过程而形成,它可通过土壤和河流、湖泊的酸化,使生态系统受害,即土壤贫瘠化和鱼类死亡等;还能腐蚀建筑材料,油漆,金属结构和海上航行船舶的结构等;酸雨中的汞和镉等金属通过水体和土壤进入动物和植物体内,对人类健康构成严重威胁。

城市空气污染:随着工业和交通事业的发展,工业和汽车排放的有害气体越来越多,城市空气污染越来越引起人们的重视,世界各大城市出现的污染事件很多,其中以 1952 年 12 月 5 日至 8 日的伦敦烟型烟雾;1943 年美国洛杉矶光化学烟雾最为著名;1974 年以来我国兰州西部地区也曾出现光化学烟雾,产生“雾茫茫,眼难睁,人不伤心,泪长流”的情景。

4. 天气与气候

天气与气候是两个不同的概念,但也有不少共同之处。天气在不停地变化之中,一个小时与另一小时,一天与另一天的天气是不同的。天气描述的是在一个特定时间与在一个特定地点的大气状态和天气现象。虽然天气在不停地变化着,有时甚至变化莫测,但可以将其归纳为一个普遍状态,这就是气候。因此,气候是指在影响天气的各因子(太阳辐射,下垫面性质,大气环流和人类活动等)长期互相作用下所产生的天气综合,不仅包括某些多年经常发生的天气状况,还包括某些年份偶然出现的极端状况。也就是说,气候是在一定时段内大量的天气过程综合平均得出的,它与天气之间存在着统计联系,即气候是多年来对某一时段、某一区域天气的平均表现形式。

水汽、二氧化碳和臭氧在整个大气中虽然含量很少,但它们都是天气变化的重要成分、对天气过程、产生各种天气现象影响很大。

三、地球大气的垂直分层

按照传统的观点,将地球分为4个部分:岩石圈,水圈,大气圈和生物圈,它们共同组成一个综合体,称为地球系统。而在垂直方向上,地球大气的下边界是从地球表面或海洋表面开始的,而地球大气的上边界都不像下边界那么明显,因为大气圈与星际空间之间很难有一个“界面”,至今我们是通过资料和物理分析来确定大气的上界的。

观测表明,地球大气在垂直方向上的物理性质(温度、成分、电荷和气压等)有显著差异,根据这些性质随高度的变化特征可将大气进行不同类型的分层(如图 1-1 所示)。

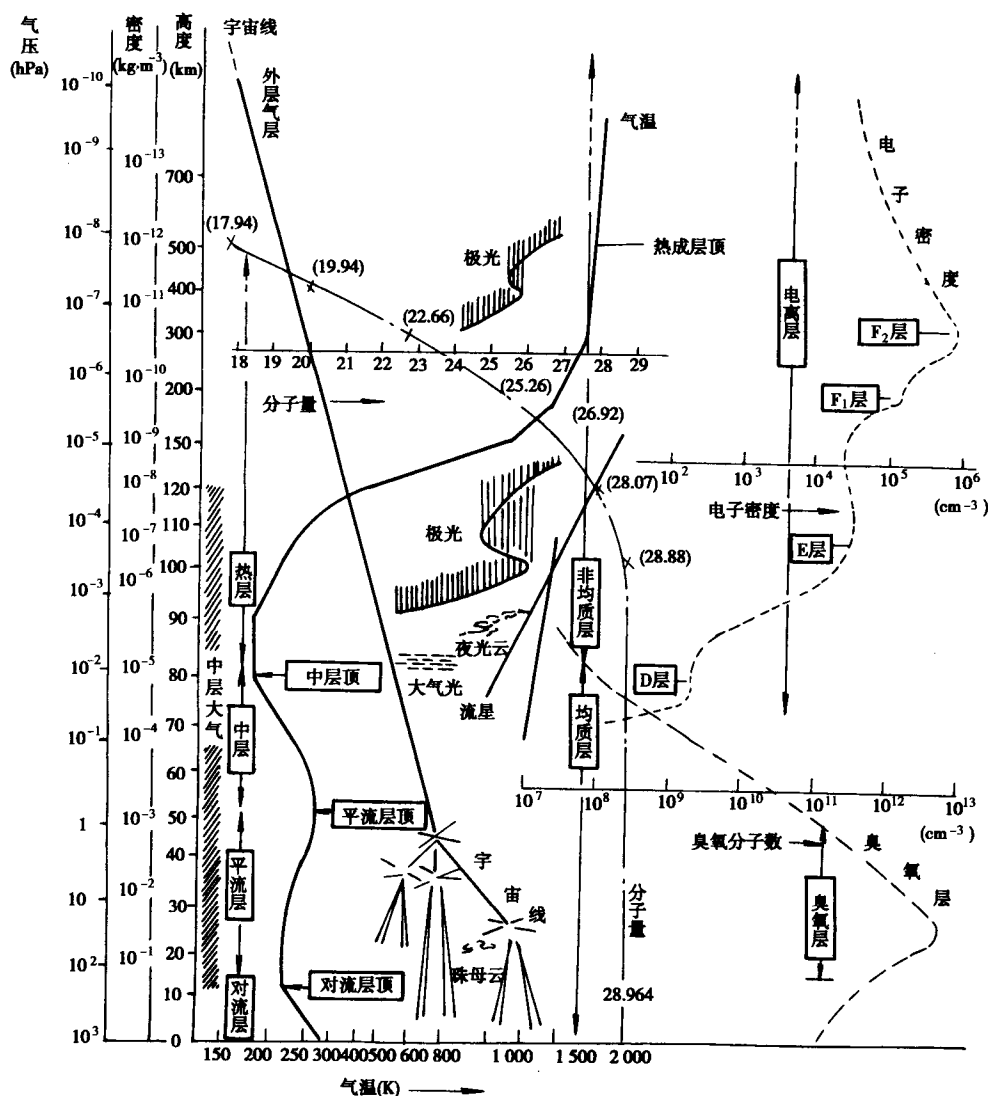


图 1-1 大气的垂直结构图

1. 大气的垂直分布

气温随高度的变化非常明显,但并非单一的降低或增高。按其垂直分布的具体特征,通常将大气分成对流层、平流层、中层、热层和散逸层等5层。

1) 对流层 (Troposphere)

对流层是地球大气的最低层,其下边界为陆面或海面。对流层的平均高度为 10 ~ 12km,其随着纬度和季节等因素而变化,在低纬度地区平均为 17 ~ 18km,中纬度地区平均为 10 ~ 12km,高纬极地附近平均为 6 ~ 8km。就季节而言,夏季对流层高度大于冬季。

概括起来,对流层有 5 个主要特点:①在对流层中气温随高度的增加而降低,其降低的数值是随地区、时间和所在的高度等因素而变。平均而言,每上升 100m 气温约降低 0.65°C ,这个气温降低率称为气温垂直递减率,通常用 γ 表示,即平均值 $\gamma = 0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。当然,有时在某些地区会出现气温不随高度而变,甚至随高度增加而升高的现象,这就我们常说的“逆温”(Inversion, Temperature Inversion)。处于对流层顶的温度在低纬度地区平均约 190K,高纬度地区平均约为 220K;②大气的密度和水汽随高度增加而迅速减少,对流层中几乎集中整个大气质量的 80% ~ 90% 的水汽;③有强烈的空气垂直运动,即有规则的对流和无规则的乱流运动,它们使空气中的动量、水汽、热量以及大气杂质得以混合与交换;④气象要素(如对流层中的温度和湿度等)在水平方向分布不均匀,主要由于海陆分布、地形起伏等差异引起,所以存在气团和锋面等中间尺度或大尺度天气系统;⑤常见的天气现象如雨、雾、雪、云、霾、沙尘暴等都发生在对流层中。

根据大气运动的不同特征,通常将对流层分为摩擦层和自由大气层两个层次。在对流层底部贴地表面或海面的气层,空气的运动主要是受地球下垫面的摩擦和大气的粘性作用,称为摩擦层(Frictional layer),其厚度在 1 ~ 1.5km 左右。在摩擦层中,摩擦作用是随着高度的增加,由于与地面距离的增加和空气密度的迅速减少而减少。通常风是随高度的增加而增大,气温在很大程度上受到下垫面冷热的影响,两者有明显的日变化;在摩擦层以上,由于距地表距离较远,空气密度也很少,摩擦力较小,通常可以忽略不计,称为自由大气(Free Atmosphere)。如航海上常见的高空天气图 500hPa、700hPa 和 850hPa 均属于在自由大气中的图,即高空图。在自由大气中,大气的运动规律显得比较清楚和简单,尤其处于对流层中部(500hPa 等压面上)的气流状况,基本上可以代表整个对流层空气的基本运动趋势,因此 500hPa 的高空图在天气分析与要素预报时是备受关注的主要气层。在中纬度的对流层的中、上部,盛行西风,并且高空风随着高度的增加而增大,并在北半球向右偏转,南半球向左偏转。

此外,在对流层与平流层之间有一厚度约为 1 ~ 2km 的过渡层,称为对流层顶(Tropopause)。其主要特征是气温的垂直递减率突然变小或几乎不变,甚至出现随着高度的增加而上升的现象,即称之为逆温(Inversion, Temperature Inversion)现象,气温随高度增加而不变的现象,称它为同温现象。有逆温的空气具有一定的厚度,即为逆温层,它的作用就是好似一个盖子一样,能有效地抑制对流的发展,从而使绝大部分的水汽、能量和杂质保持在对流层中而不易向高处散逸。由于对流层顶的这种阻碍作用,我们经常可以观察到发展旺盛的积雨云的云顶受逆温层被阻挡,平衍成砧状现象。

2) 平流层(Stratosphere)

自对流层顶向上至 55km 左右这一范围称为平流层。其主要特点为:①最初 20km 以下,气温基本均匀(即随高度基本不变),从 20km 到 55km,温度很快上升,至平流层的顶,其温度可达 270 ~ 290K,这主要由于臭氧吸收太阳辐射所致,从而产生逆温现象,臭氧层(Ozonosphere)位于 10 ~ 50km,在 15 ~ 30km 臭氧浓度最高,30km 以上臭氧浓度虽然逐渐减小,但这里的紫外辐射很强烈,故这里温度随高度能迅速增高;②层内气流稳定,对流微弱,而且水汽极小,因此大多数为晴朗的天空,能见度很好,有时对流层中发展旺盛的积雨云顶部(卷云)也可伸展到平流层下部,在高纬地区有时日出前、日落后,会出现贝母云(也称珍珠云)。

3) 中层(Mesosphere)

自平流层顶部向上,气温又再次随高度增加而迅速下降,至离地 80~85km 处达到最低值,约为 160~190K,这一范围的气层称之为中层,或称之为中间层。造成气温随高度下降的原因,一方面,在这一层几乎已没有臭氧;另一方面,氮和氧等气体能直接吸收的太阳辐射大部分已被上层大气吸收掉。在中层,有相当强烈的垂直对流和乱流混合,故有称之为高层对流层。然而,由于中层中水汽极少,只是在高纬地区的黄昏时刻,在该层顶部附近,有时会看到银白色的夜光云。

4) 热层(Thermosphere)

中层顶(85km)以上是热层,这一层没有明显的上界,而且与太阳活动情况有关,有人观测到其高度约在 250~500km。在这一层,由于氧原子和氮原子吸收大量的太阳短波辐射,而使气温再次升高,可达 1000~2000K。在 100km 以上,大气热量的传输主要靠热传导,而非对流和乱流运动。由于热层内空气稀薄,分子稀少,传导率小,因此该层的气温能很快上升到几百度。然而,由于空气稀薄,分子间的碰撞机会极小,故热层内的温度有很显著的日变化,下午的温度可比早晨温度高出 300K,甚至更多。

5) 散逸层(Exosphere)

热层顶以上是散逸层,它是大气层的最高层。在这层中气温很高,但随高度的增加很少变化。由于气温高,粒子运动速度很大,而且这里的地心引力很小,因此,一些高速运动的空气质粒可能散逸大气层到星际空间,空气极为稀薄。

2. 大气组成随高度的变化

根据大气组成,可将大气分为均匀层和非均匀层两个层次。从地面到 80~100km(平均 90km),大气的气体成分(即干洁空气成分)随高度基本不变,称为均匀层;90km 以上的稀薄空气成分则不均匀,称其为不均匀层。

3. 电离层

高空大气中的气体分子和原子在太阳短波辐射(紫外辐射和 X 射线)和微粒辐射(质子、电子等)作用下会电离而形成离子和自由电子。这种电离现象发生在地面以上 50~1000km 之间,电离的正离子和负离子密度在 80~400km 范围达最大,称为电离层。

电离层的电性结构不均一,它由三个密度不同的层次构成,自下而上依此称为 D、E、F 层。由于电离需要太阳直接辐射,因此,白天和夜间的离子密度有所不同,尤其在 D 和 E 层,它们夜间消失,白天又形成。

电离层对电磁波的传播有重要影响,这是因为电离层对电磁波会发生吸收,反射和折射作用。无线电波可以借助于地面和电离层之间的多次反射而实现其远距离传输,从而使我们可以接收到好几百公里远外的电台。但有时夜间能收到的电台,第二天白天都消失了,这是由于白天被上层反射的电波有一部分被 D 层吸收掉了,而夜间 D 层已不存在。电离层的结构与太阳活动有着密切的关系,当太阳发生各种爆发现象时,会增加射向地球的太阳辐射和粒子流,使电离层状态发生剧烈变化。例如,当太阳出现耀斑时,会使 D 层的电离度突然增加,导致中、短波无线电信号突然衰减,甚至使通信中断。

四、大气状态方程

大气状态方程是气象学的基本方程之一,它反映了大气的基本物理性质及大气状态变化的基本规律。