



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航海气象学与海洋学

● 陈登俊 主编
● 王长爱 主审

Hanghai
Qixiangxue
yu
Haiyangxue



人民交通出版社
China Communications Press



策划编辑 / 黄兴娜
责任编辑 / 钱悦良
美术编辑 / 孙立宁

ISBN 978-7-114-07730-2



9 787114 077302 >

网上购书 / www.jtbook.com.cn

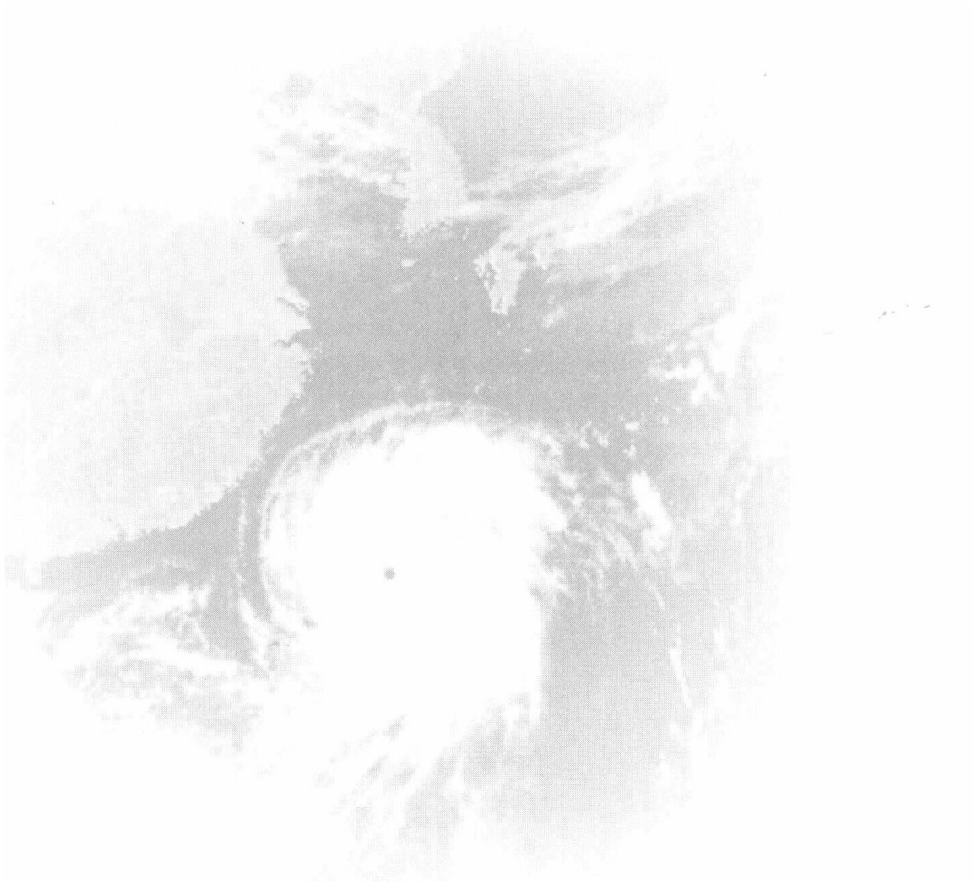
定 价：48.00 元



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航海气象学与海洋学

● 陈登俊 主编
● 王长爱 主审



人民交通出版社

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分两篇二十一章,上篇比较全面和系统地介绍了远洋及近海船舶驾驶员所必备的气象学、海洋学、海上气候、世界和中国主要港口气候方面的基础知识,介绍了船舶海洋水文气象测报的要求及方法;下篇重点阐述了锋面气旋、热带气旋、寒潮冷高压等海上主要灾害性天气系统及天气过程的发展演变规律,以及船舶条件下利用气象传真图、气象报告和海上观测资料,进行航线天气分析和预报的方法,并介绍了船舶气象导航新技术的内容。

本书内容符合中华人民共和国海事局和 STCW 78/95 公约对各类海船驾驶员在气象学与海洋学两方面的要求,既可供高等航海院校海洋船舶驾驶专业本科生作为教材使用,也可作为不同航区海船船长、大副、二/三副或引航员的考证培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

航海气象学与海洋学 / 陈登俊主编. —北京:人民交通出版社,2009.6
ISBN 978-7-114-07730-2

I. 航… II. 陈… III. ①航海学:气象学②海洋学
IV. U675.12 P7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 066011 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名:航海气象学与海洋学

著 作 者:陈登俊

责任编辑:钱悦良

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973,59757969

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.25

字 数:490千

版 次:2009年6月 第1版

印 次:2009年6月 第1次印刷

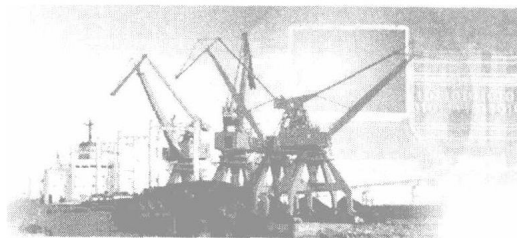
书 号:ISBN 978-7-114-07730-2

印 数:0001~3000册

定 价:48.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 Qianyan



《航海气象学与海洋学》(Meteorology & Oceanography for Mariners)系普通高等教育“十一五”国家级规划教材。教材内容符合普通高等航海教育大纲要求,同时覆盖中华人民共和国海事局和 STCW 78/95 公约对各类海船驾驶员在气象学与海洋学两方面的要求,因此,本书在作为高等航海院校海洋船舶驾驶专业本科生教材的同时,也可作为船舶驾驶专业适任证书考试培训、引航员考试培训、专科、函授自学、航政管理、国际海事等相关专业的教材或参考书,亦可供海船驾驶与管理、海洋渔业捕捞、海上油气开发、沿海工程、海洋环境保护、海上安全监督、海事仲裁、海洋天气预报等部门的有关人员在实际业务中参考。

本书由上、下两篇构成。上篇“气象学与海洋学基础知识”涵盖了气象学、海洋学、海洋气候学及观测方面的基本内容,包括气温、湿度、气压、风、云、降水、雾、海流、海浪、海冰等主要气象、海洋要素的特征、分布及变化规律,大气运动的基本特征和规律,各大洋、世界及中国主要港口的气候概况,船舶海洋水文气象测报的要求及方法等。下篇“航海天气分析”重点阐述了锋、锋面气旋、冷高压、副热带高压、热带气旋等天气系统的天气特征和发展演变规律,论述了在船舶条件下利用气象传真图、气象报告和海上观测资料进行航线天气分析和预报的方法,并介绍了船舶气象导航。

本书以 2000 年 10 月人民交通出版社出版的由王长爱、陈登俊主编的《航海气象与海洋学》一书为蓝本,从本课程知识点内在联系的特点和最新进展出发,对教材篇章结构进行了力度较大的调整,对教材内容进行了必要的删减、充实和更新。其中,根据气象学、海洋学的最新进展和成果,更新了厄尔尼诺现象的编写内容,增加了海水盐度和密度方面的知识,新增了世界主要港口气候概况、中国主要港口气候概况,使航线气候内容更丰富、更有针对性,新增了南半球西风带锋面气旋的移动和活动规律、南半球爆发性气旋的气候规律的研究新进展,使航海者对世界大洋温带风暴系统的活动规律认识更全面、更深入;依据最新颁布的国家标准和行业标准,更新了教材中寒潮等级、热带气旋强度等级、降水量、降雪量等级等内容,并增加了其他国家和地区的相关信息;为满足不同级别航海者实际操作

需要,书中增加了云的观测特征、降水现象特征的描述,并附有典型云图彩照,新增了海浪等级表、多种统计波高之间的换算关系表、地转风速计算系数表、中国灾害性天气预警信号表和最新修订的“西北太平洋和南海热带气旋命名表”,新增了利用配套气象传真图分析和预报航线天气的具体个例,大大强化了实践特色。同时,本书在编写过程中也注重汲取国内外同类教材的优点和精华。在理论上力求概念清楚、正确全面、重点突出、条例清楚,文字上做到言简意赅、浅显易懂,图表直观有代表性。本书尤其注重理论联系实际,内容编排上以“掌握气象学与海洋学基础知识,培养、提高航线天气分析与预报能力,趋利避害,保障航行”这一主线贯穿始终,突出海上实际观测与预报技能的培养,凸显了“航海气象学与海洋学”这一应用学科的很强的实践特点。

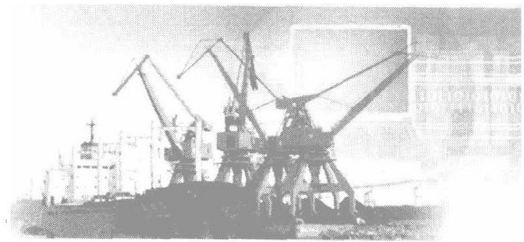
本书由上海海事大学陈登俊主编,王长爱主审。全书共二十一章,其中第一章至第六章、第十四章至第二十章、第二十一章第一节至第二节、附录二至六由陈登俊编写;第七章至第十一章、附录一由金国柱编写;第十二章、第十三章由陈利雄编写;第二十一章第三节由夏海波编写;全书由陈登俊统稿。

在本书编写过程中,一些兄弟院校、海洋气象部门和港航部门的专家学者给予了大力支持和关心,并与编者进行过多次有益的讨论,提供了许多最新信息和宝贵的参考资料,在此表示衷心的感谢和敬意!

由于编者水平有限,书中定有错误、不当和不足之处,热诚欢迎读者批评指正。

编者
2009年4月

目 录



上篇 气象学与海洋学基础知识

第一章 大气概况	3
第一节 大气的组成	3
第二节 大气的垂直结构	5
第二章 气温和湿度	9
第一节 气温	9
第二节 湿度	16
第三章 气压	20
第一节 气压概述	20
第二节 气压系统基本知识	22
第四章 大气的运动	27
第一节 作用于空气微团上的外力	27
第二节 空气的水平运动——风	30
第三节 空气的垂直运动	38
第五章 大气环流	40
第一节 三圈环流和行星风带、气压带	40
第二节 实际大气平均水平环流的基本特征	42
第三节 季风环流	45
第四节 局地环流和地方性风	49
第六章 大气稳定度和水汽凝结物	55
第一节 大气稳定度	55

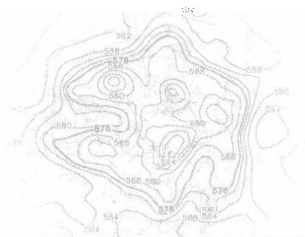
第二节	云和降水	59
第三节	海洋上的雾	64
第七章	海洋概况	68
第一节	海洋的划分	68
第二节	海水温度、盐度和密度	69
第三节	海冰	73
第八章	海流	76
第一节	海流概述	76
第二节	世界海洋表层海流模式	79
第三节	世界大洋海流分布概况	81
第四节	中国近海主要海流分布概况	84
第九章	海浪	86
第一节	波浪概述	86
第二节	前进波、驻波和群波	89
第三节	风浪、涌浪和近岸浪	91
第四节	常用统计波高	94
第十章	海洋气候概况	97
第一节	大洋上的风、浪分布概况	97
第二节	中国近海风、浪分布概况	101
第三节	海洋上雾的分布概况	103
第四节	海冰分布概况	106
第五节	世界主要港口气候概况	108
第六节	中国主要港口气候概况	110
第十一章	船舶海洋水文气象要素观测	120
第一节	概述	120
第二节	气温和湿度的观测	123
第三节	气压的观测	125
第四节	风的观测	125
第五节	云的观测	127
第六节	能见度的观测	129
第七节	天气现象的观测	130

第八节	海浪的观测	131
第九节	表层海温的观测和采水样	131
第十节	海发光的观测	132

下篇 航海天气分析

第十二章	天气图基础知识	135
第一节	天气图概述	135
第二节	地面天气图	137
第三节	低纬流线图	142
第四节	高空天气图	143
第十三章	气象传真图和气象报告	147
第一节	气象传真图概述	147
第二节	传真天气图	150
第三节	传真海况图	160
第四节	传真卫星云图	168
第五节	气象报告	173
第十四章	气团和锋	183
第一节	气团	183
第二节	锋	185
第十五章	锋面气旋	192
第一节	气旋概述	192
第二节	锋面气旋的形成与发展	193
第三节	锋面气旋的天气结构和活动规律	197
第四节	影响中国海域的锋面气旋	200
第十六章	冷高压和副热带高压	203
第一节	反气旋概述	203
第二节	冷高压	204
第三节	副热带高压	208
第十七章	热带气旋	212
第一节	热带气旋概况	212

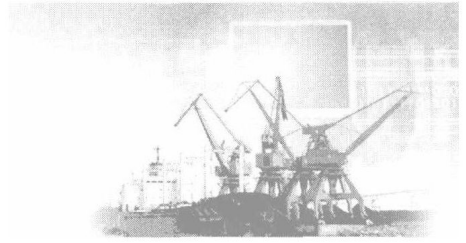
第二节	热带气旋的形成条件和强度变化·····	216
第三节	热带气旋的天气结构和风浪分布特征·····	218
第四节	热带气旋的移动·····	222
第五节	南海热带气旋·····	226
第六节	船舶测算和避开热带气旋·····	228
第十八章	热带辐合带、东风波和热带云团 ·····	234
第一节	热带辐合带·····	234
第二节	东风波·····	236
第三节	热带云团·····	237
第十九章	中小尺度系统 ·····	239
第一节	雷暴·····	239
第二节	飏线和龙卷·····	241
第二十章	西风带高空天气系统 ·····	244
第一节	西风带大型扰动·····	244
第二节	西风带中型扰动·····	247
第二十一章	航线天气分析与预报 ·····	249
第一节	天气预报原理和简易方法·····	249
第二节	船舶条件下的航线天气分析与预报·····	258
第三节	船舶气象导航·····	267
附录一	船舶海洋水文气象辅助测报编码 ·····	280
附录二	常用航海气候资料 ·····	286
附录三	西北太平洋和南海热带气旋命名表 ·····	288
附录四	中国突发气象灾害预警信号 ·····	289
附录五	等高面地转风速查算表 ·····	292
附录六	云图 ·····	294
参考文献	·····	300



气象学与海洋学基础知识

大气和海洋构成了航海环境,海上航行的船舶时刻遭受大气和海洋变化的制约和影响。航海者为了航海安全和提高航运经济效益,必须时时把握大气和海洋的变化,所以对大气和海洋的基本物理性质、运动规律以及海气之间的相互作用要有充分的认识。本篇着重介绍与航海密切相关的气象学与海洋学的基础知识,内容包括:大气和海洋的基本状况、基本运动规律,气象要素、海洋要素及它们的变化规律和气候特征,以及在船舶条件下进行海洋水文气象要素测报的方法和要求等。正确理解和掌握这些内容,是进一步学习和进行航线天气分析及预测的基础。

第一章 大气概况



在地球引力的作用下,大量气体聚集在地球周围,形成地球外圈中最外部的的气体圈层,包围海洋和陆地,这个气体圈层称为大气层(Atmosphere)或大气圈(Aerosphere),简称大气。在大气中存在着各种物理过程和物理现象,它们的发生和变化是与大气的组成、结构及物理性质密切相关的。

第一节 大气的组成

地球大气是由多种气体混合组成的,此外大气中还包括一些固态和液态的悬浮颗粒物即杂质。通常将低层大气的组成为干洁大气、水汽和杂质三部分。

一、干洁空气

干洁空气是指大气中除去水汽、杂质以外的整个混合气体,简称干空气(Dry Air),是大气的主要组成部分。干洁空气包含多种气体成分,它们占干洁空气容积百分比及质量百分比见表 1-1。

干洁大气的成分

表 1-1

气体成分	容 积 比	质 量 比
氮	78.09%	75.52%
氧	20.95%	23.15%
氩	0.93%	1.28%
二氧化碳	0.03%	0.05%
氢、臭氧、氖、氦、氙、氡、氡等	<0.01%	—

由表 1-1 可见,氮、氧、氩三种气体是干洁空气的主要成分,二氧化碳、臭氧、氦及其他稀有气体是干洁空气的次要成分。干洁空气的各种成分在地球的自然温度、气压条件下,总保持气体状态。另一方面,在高度 80~100km 以下,氮、氧、氩以及微量的惰性气体氖、氦、氙、氡等,它们在干洁大气成分中保持基本固定的比例,被称为准定常成分,而二氧化碳、臭氧、氦等成分,它们的比例随时间、地点而变,称为易变成分,但它们的含量极少。因此,通常把 80~100km 以下的干洁空气作为分子量为 28.966 的单一成分的理想气体处理。

单位质量干空气的状态方程可写成如下形式

$$P = \rho_d R_d T \quad (1-1)$$



式中： P 、 ρ_d 、 R_d 、 T 分别为干空气的气压、密度、比气体常数和气温，标准状况下，地面附近干空气的密度为 1.293kg/m^3 ， $R_d = 287\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，其中，J 为能量单位“焦耳”，K 为绝对温标单位“开尔文”。

二氧化碳和臭氧在干洁大气中所占比例虽然极小，但它们对气温的分布和变化有很大影响，所以它们也是大气的重要成分。二氧化碳具有强烈吸收和放射长波辐射的性质，在 $12.9 \sim 17.1\mu\text{m}$ 波长范围内作用特别显著。在空气中二氧化碳含量较多的地方，地面的长波辐射大量被二氧化碳吸收，使热量被截留在二氧化碳层内，不至于散失到宇宙空间去；同时，二氧化碳又向周围空气和地面放射长波辐射，使地面和大气保持一定的温度，这一作用称为温室效应 (Greenhouse Effect)。近一、二百年来，大气层中的二氧化碳含量明显增加，全球气候变暖加剧，由此引起的自然灾害频度增加，危害性加大，对人类生存环境的威胁越来越明显，已成为世界性的热点研究课题。臭氧是分子氧吸收短于 $0.24\mu\text{m}$ 的紫外线辐射后重新结合的产物，主要分布在 $10 \sim 50\text{km}$ 高度的大气层中，在 $20 \sim 30\text{km}$ 处为最大。臭氧对太阳紫外辐射有强烈的吸收作用，保护了地球上的生命，同时，加热了所在高度（平流层）的大气，对平流层温度场和流场起着决定作用。

二、水汽

水汽 (Vapour) 是气体，是大气中变化幅度最大的易变成分，在低层大气中，其变化范围在 $0 \sim 4\%$ 之间。大气中的水汽来源于下垫面，包括水面、潮湿物体表面、植物的蒸腾作用，并借助空气的垂直对流向上空输送。水汽绝大部分集中在大气低层，随高度的增加而迅速减小，例如：有一半的水汽集中在 2km 以下， 75% 的水汽集中在 4km 以下， $10 \sim 12\text{km}$ 高度以下的水汽约占全部水汽总量的 99% 。另外，水汽的水平分布也是不均匀的，赤道地区最大，中纬地区其次，两极地区最小，例如：在热带海洋上空，水汽含量可达 4% ，而在高纬寒冷陆面上空，其含量几乎接近于零。

水汽在大气中含量虽然很少，但它是大气的重要成分之一。在一般的自然条件下，水汽是唯一可以发生相态变化的大气成分，云、雾、雨、雪、霜、露等都是水汽凝结而成的各种形态，因此，水汽是天气变化的主角。同时，水汽在相态变化过程中能吸收或放出潜热，这都直接影响到地面和空气的温度，台风等海上风暴系统发展的主要能量来源就是大量水汽凝结释放出的潜热。此外，水汽也能强烈吸收和放射长波辐射，对气温变化有影响。

单位质量水汽的状态方程为

$$e = aR_a T \quad (1-2)$$

式中： e 、 a 、 R_a 、 T 分别为水汽压、水汽密度（绝对湿度）、水汽比气体常数和气温， $R_a = 462\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

含有水汽的空气称为湿空气 (Wet Air)，实际上大气总是含有水汽的。单位质量湿空气的状态方程为

$$P = \rho_w R_d T_v \quad (1-3)$$

式中： P 、 ρ_w 、 T_v 分别为湿空气的气压、密度、虚温， $T_v = T(1 + 0.378e/P)$ ，其中， T 为湿空气的气温， e 为水汽压。实际上， e/P 很少超过 0.02 ， $0.378 e/P$ 的数值很小， T_v 与 T 之差很少超过 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ 。



由式(1-3)可以看出,当气压和气温相同时,空气越潮湿(e 越大),其密度(ρ_w)越小;在气压相同的情况下,暖湿空气的密度比冷干空气小得多。

三、杂质

悬浮在大气中的固态或液态颗粒称为大气杂质,又称为气溶胶粒子。固态杂质来源于火山爆发、尘沙飞扬、物质燃烧的颗粒、流星燃烧所产生的细小微粒和海水飞溅扬入大气后而被蒸发的盐粒,还有细菌、微生物、植物的孢子花粉等。液体杂质包括悬浮于大气中的水滴、过冷水滴和冰晶等水汽凝结物。

杂质多集中于大气的低层,其分布随时间、地点及气象条件不同而改变。当大量杂质聚集在低空时,会形成雾、霾及沙尘暴等天气现象,使能见度变得恶劣,严重影响海陆交通安全。另外,大气中的固体颗粒物能充当水汽凝结核,加速大气中成云致雨的过程。杂质还能吸收部分太阳辐射,又能削弱太阳直接辐射和阻挡地面长波辐射,对地面和大气的温度变化有一定的影响。

随着全球工业和交通运输业的高度发展,各种污染物大量进入地球大气中,造成大气污染。大气污染物不仅直接危及人体健康和农林作物的正常生长,而且越来越影响天气和气候的变化。受到人们注意的污染物大致有100种左右,其中对人类环境威胁较大的主要是煤粉尘、二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳、一氧化氮、碳化氢、硫化氢和氨等,例如,在臭氧的作用下,二氧化硫能引起有害的酸雨,这种酸雨还会对船体产生腐蚀作用;氮的氧化物和碳化氢经紫外线照射能产生毒性很大的光化学烟雾等。目前,城市污染监测的主要成分有总悬浮颗粒物、二氧化硫、氮氧化物。

第二节 大气的垂直结构

一、大气的垂直范围和垂直分层

大气具有可压缩性,在地球引力的作用下,绝大部分大气质量集中在大气低层,越往高空,空气越稀薄,实测数据表明,大约75%的大气质量集中在10km以下,90%的大气质量集中在16km以下,98%集中在30km以下,到700~800km处,大气已极其稀薄,其密度为海平面处的亿亿分之一,说明大气密度随着高度的增加而迅速减小。大气与星际空间之间实际上不存在一个截然的“分界面”,因而就难于确定出准确的大气上界。通常把“极光”出现的最大高度定为大气上界,其数值约为1000km,理由是“极光”现象只在大气中才有,而星际空间没有。目前,探空火箭在3000km高空仍发现有稀薄大气,有科学家认为,大气层的上界可能延伸到离地面6400km左右。

在垂直方向上,大气中不同层次的物理性质存在显著差异,根据各层大气的温度垂直分布和运动状况的不同,将大气自下而上依次分为对流层、平流层、中间层、热层和散逸层,如图1-1所示。

1. 对流层

大气的最底层称为对流层(Troposphere),在该层内集中了约75%的大气质量和几乎所有

的水汽、云、雨、雾、雪等主要天气现象都发生在该层内,是对人类影响最大的层次,也是气象学研究的重点。有关对流层的主要内容放在本节最后着重介绍。

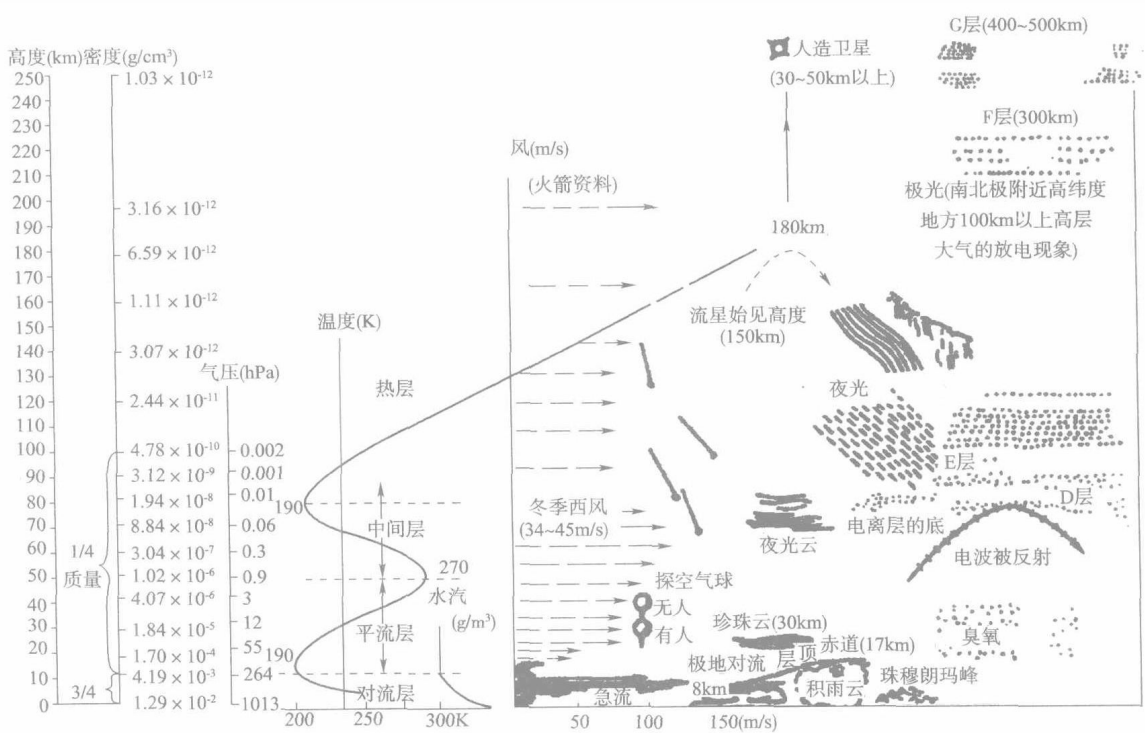


图 1-1 大气的垂直结构

2. 平流层

对流层顶向上直至距地面约 50km 高度之间的气层称为平流层(Stratosphere)。平流层内的大气有如下特点:30~35km 高度下,气温随高度增加而变化甚小,基本保持在 -55°C 左右,35km 以上,气温随高度增加而上升,到平流层顶温度升至 -3°C 以上,如图 1-1 所示;气流主要表现为水平运动,对流现象减弱,故这一大气层叫做“平流层”;层内基本没有水汽,晴朗无云,很少发生天气变化,适于飞机航行。

在 20~40km 高处,氧分子在紫外线作用下,形成臭氧层(Ozonosphere),臭氧浓度在 20~30km 高处达到最大值。臭氧层阻挡了强紫外线辐射到达地面,使地面生物和人类免受紫外线伤害,同时也加热了平流层,使平流层内气温有上述分布特征。

3. 中间层

从平流层顶向上到大约 80~85km 高度之间的气层称为中间层(Mesosphere)。该层的特点是气温随高度的升高而迅速降低,温度可降低至 -100°C ,空气有强烈的垂直运动,因而又有高层对流层之称。另外,在该层的 60km 附近,有一个只有白天出现的电离层,称为 D 层。

4. 热层

中间层顶之上,上界可达 800km 的大气层称为热层(Thermosphere)。该层内大气因直接吸收太阳辐射而得到能量,因此气温随高度而增加,可升到 1100°C 左右,并且日变化和季节变化明显,昼夜温差可达几百度。由于受强烈的太阳辐射和宇宙射线的作用,大部分气体分子发



生电离,而且有较高密度的带电粒子,因此这一层又是电离层的主要分布层(E层、F层)。电离层(Ionosphere)能反射无线电波,其变化对全球的无线通信有重大意义。

5. 散逸层

热层顶以上是散逸层(Exosphere),这里的气温也随高度升高而升高,可达数千度;大气已经极其稀薄,成为大气层与星际空间的过渡带。

此外,若按大气成分随高度分布特征对大气层进行分层,可分为均匀层和非均匀层:均匀层是指从地面到约80km的大气层,其内大气各成分所占的体积百分比保持不变;非均匀层为80km以上的大气区域,不同大气成分所占的体积百分比随高度而变化。若按大气的电离特征分,可将大气层分为电离层和中性层:中性层又称非电离层,是指以中性成分为主的大气层;电离层约从60km高度开始向上,又可分为D层、E层和F层。

由于在热层和散逸层内,气温随高度都是上升的,因此,部分学者将大气层自地面向上分为四层:对流层、平流层、中间层和热层,在热层中再分出电离层和外大气层(又叫磁力层)。

二、对流层的主要特征

对流层的下界是地球表面,上界随纬度和季节而变化,上界与下界的高度差称为对流层的厚度。对流层的厚度平均10km,在赤道低纬地区17~18km,中纬度地区10~12km,高纬极地地区6~8km。可见,对流层厚度在赤道地区最高,向两极减小。并且,对流层厚度夏季要大于冬季。近年来,美欧科学家运用计算机模型等进行分析后发现,1979~1999年,对流层顶的高度平均上升了约200m。

对流层具有三个主要特征:①气温随高度的升高而降低,每升高100m,气温平均下降 0.65°C 。②对流层内的大气具有强烈的对流和湍流运动。这主要是对流层温度的垂直分布特点和地表热力性质的差异造成的。对流层内的对流和湍流运动有利于不同高度上的空气进行热量、水汽和杂质的输送,对成云致雨有重要作用。③气象要素(如温度、湿度等)在水平方向上分布不均匀。如高纬大陆上空气寒冷干燥,低纬洋面上空气高温潮湿。尤其在冷、暖气团交汇地带,气温、湿度等要素水平梯度很大,形成锋区,常伴有严重的天气现象。

在对流层内,根据大气运动时所受摩擦力的情况,将其分为摩擦层和自由大气两个层次。摩擦层(Friction layer)是指对流层底部贴近地面的气层,厚度约为1~2km,这里的空气运动受地面摩擦作用大,湍流交换作用特别强盛,运动形式相对复杂,随着高度的增加,摩擦作用减小,因此摩擦层中风随高度的增加而增大。这层受地面热力作用的影响,气温亦有明显的日变化。再加上本层的水汽、尘粒含量较多,因而,低云、雾、浮尘等出现频繁。

在摩擦层以上,由于距离地面较远和空气密度变小,摩擦作用很小,通常忽略不计,称为自由大气(Free Atmosphere)。在自由大气中,大气的运动规律显得比较简单和清楚,通常用对流层中部(5~6km,气压500hPa)的气流状况表征整个对流层大气运动的趋势。在中纬度对流层的中、上层(6km以上)盛行西风,风速随高度的增加而增大,常出现风速 $\geq 30\text{m/s}$ 的强风带,称为高空急流。

此外,在对流层和平流层之间有一个厚度约为1~2km的过渡层,称为对流层顶(Tropopause)。这里的主要特征是气温随高度的变化很小或不变,甚至随高度升高。对流层顶的气温,在低纬地区平均约为 -83°C ,在高纬地区约为 -53°C 。对流层顶就像是一个盖子,能有效