



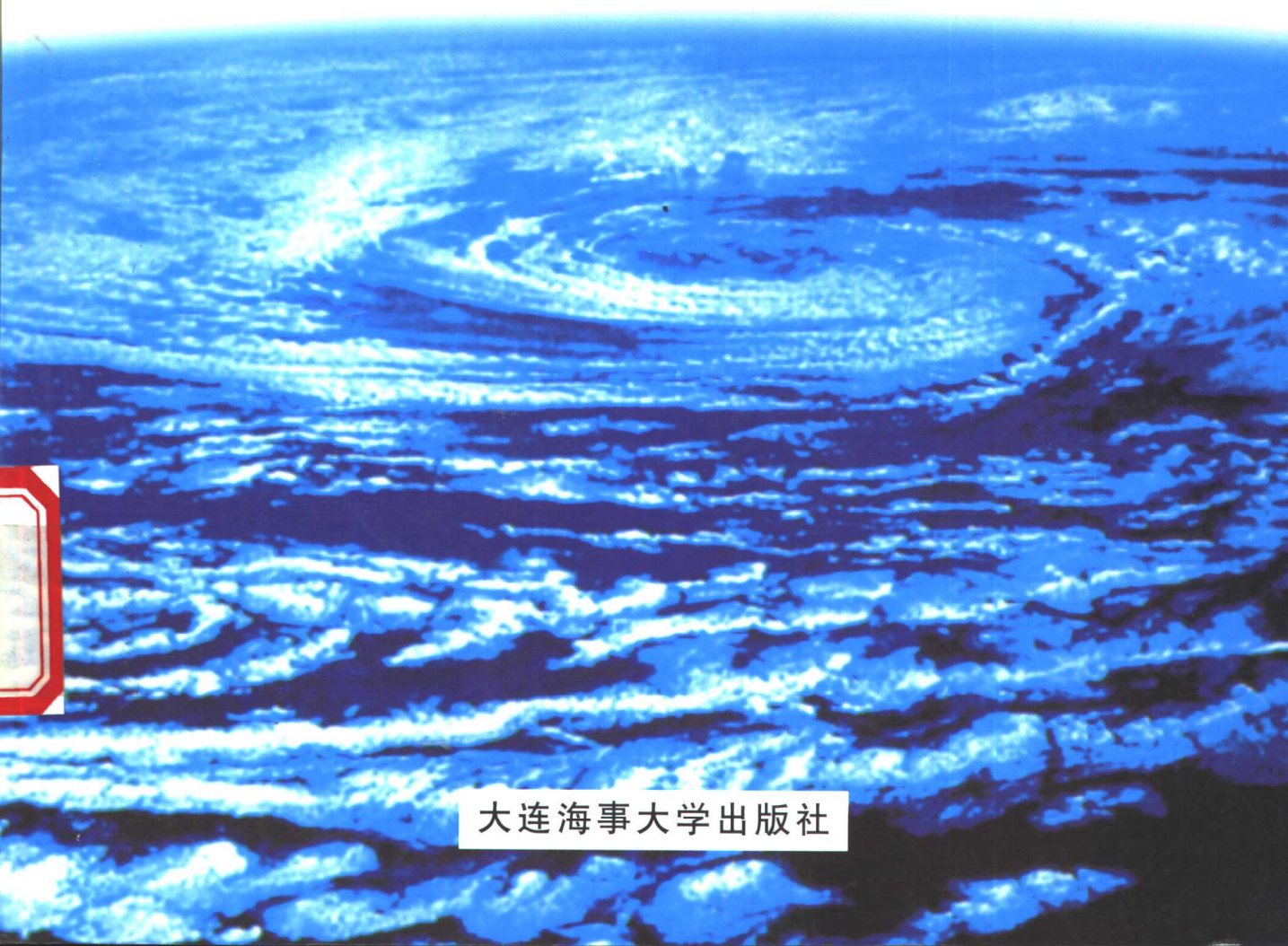
高等学校统编教材

符合 STCW 公约要求
航海类专业教学指导委员会推荐
交通部科技教育司审定
中华人民共和国海事局认可

航海气象学与海洋学

陈家辉 编著

王长爱 主审



大连海事大学出版社

高等学校统编教材

航海气象学与海洋学

陈家辉 编著
王长爱 主审

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

航海气象学与海洋学/陈家辉主编. —大连:大连海事大学出版社,1998
ISBN 7-5632-1241-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 28138 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1999年5月第1版 1999年5月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15

字数:374千 印数:0001~5000册

责任编辑:史洪源 时培育 封面设计:王 艳

责任校对:黎 为 版式设计:王瑞国

定价:23.00元

内 容 简 介

本书共分 15 章,内容涉及普通气象学、船舶海洋水文气象测报、天气分析与预报、海浪、海流、海冰、潮汐和海洋气候学等。

本书较系统和全面地介绍了远洋、近海船舶驾驶员在气象学与海洋学方面的必备知识,重点论述了热带气旋、锋面气旋等各种海上风暴系统和海雾等灾害性天气的发展演变规律,同时还简要介绍了数值天气预报、气象卫星云图和船舶气象定线等高新技术在航海中的应用,反映了本学科发展的最新成果。本书强调理论联系实际,重视在船舶条件下海洋水文气象观测和海上天气预报技能的培养与训练,在编排上刻意将传真天气图的识读与应用作为一条主线贯穿始终。

本书为高等航海院校海洋船舶驾驶专业本科统编教材,亦可作为航政管理、国际海事或其它相关专业以及函授自学、驾驶操作级考证培训的教材或参考书。本书还可供海船驾驶与管理、港口引航、航政管理、海上安全监督、海事仲裁以及海洋渔业捕捞、近海油气开发等部门有关人员在实际业务中参考。

前 言

《航海气象学与海洋学》(Meteorology & Oceanography for Mariners)系交通部高等航海院校海洋船舶驾驶专业本科统编教科书。本书由气象学和海洋学两大基本部分组成,共分15章,内容涉及普通气象学、船舶海洋水文气象测报、天气分析与预报、海浪、海流、海冰、海洋潮汐和海洋气候学等。本书内容符合1998年新制定的“航海气象学与海洋学”课程教学大纲的要求,同时可以覆盖中华人民共和国港务监督局和STCW78/95公约对远洋、近海船舶驾驶操作级在“气象学”和“海洋学”两个方面的基本要求。本书还可作为船舶驾驶专业函授自学、考证培训,以及航政管理、国际海事或其它相关专业的教材或参考书,也可供海船驾驶与管理、海洋渔业捕捞、海上油气开发、沿海工程以及海洋天气预报、海洋环境保护、海上安全监督、海事仲裁等部门的有关人员在实际业务中参考。

本书较系统和全面地介绍了远洋、近海船舶操作级驾驶员在气象学与海洋学方面的必备知识,重点论述了热带气旋、锋面气旋等各种海上风暴系统和海雾等灾害性天气的发展演变规律,同时扼要介绍了数值天气预报、气象卫星云图和船舶气象定线等高新技术在航海中的应用。本书图文并茂,配有大量插图和珍贵照片。本书尽量避免复杂的数学推导,注重物理概念和重要结论的讨论、理解与应用,提倡理论联系实际,突出海上实际观测与预报技能的培养,在编排上刻意将传真天气图的识读与应用作为一条主线贯穿始终。

本书吸收了1992年7月大连海运学院出版社出版的由陈家辉、王长爱主编的《航海气象学》一书的主要精华,在此基础上进行了力度较大的调整、精简、充实和更新。例如,在气象学方面增加了海上气旋的爆发性发展和雷达回波等内容。突出了高科技数值天气预报产品的应用,以先进的时效更长的客观预报取代了落后的半经验的温度平流法和涡度平流法,删除了一些陈旧失效的内容,纠正了几处历史上长期遗留下来的错误,反映了本学科的最新发展。在海洋学方面,除新增了潮汐一章之外,还补充了海洋概况、盐度、水色、海色、深水波、浅水波、群波等概念,以及大洋波高、海冰分布气候图和传真海冰预报图等新内容。这次出版还对重要的专业术语都标注了相应的英文。由于受篇幅限制,部分与实验课有关的内容将编入校内自编讲义《航海气象学与海洋学实验讲义》中。

本书由大连海事大学航海学院陈家辉主编,李志华、张吉平参编,上海海运学院王长爱主审。其中,陈家辉编写第2章~10章,李志华编写第1章、第11章、第12章、第14章和第15章,张吉平编写第13章。全书由陈家辉统稿。

在本书编写过程中,一些兄弟院校、气象部门和港航部门的专家们对本书的编写工作十分关心,与编者进行过多次有益的讨论,提供了许多参考资料,对本书的顺利出版帮助很大,其中特别应当提到的有:集美大学航海学院黄杏文、上海海运职工大学沈四林、大连海运学校冷梅、刘大刚,南通航海学校朱谦阳、大连水产学院崔树勋、海军大连舰艇学院吴文凤、中国气象局李黄、中央气象台董守玉、大连市气象局孟庆楠、大连市气象台孔斌、大连海洋气象科学研究所袁开朗,大连港务监督局赵正庭,以及资深高级船长王瑞举、徐锡金、王家强等。此外,航海气象教研组王淑梅、李栖筠、齐鹏、张永宁、王辉、张崇耀等同志为本书的编写提出了许多宝贵的具体意见或建议,航海气象实验室高超和气象课外兴趣小组的同学们接收了大量可供选择的传真气象图,朱正健和王凤武同志为本书精心绘制了部分插图,我们谨在此一并表示衷心感谢。对于本书的错误、不当或不足之处,热诚欢迎读者批评指正。

编 者

1999年1月

目 录

绪论	(1)
第一章 海洋水文气象要素	(3)
§ 1.1 大气和海洋概况	(3)
§ 1.2 气温和海温	(8)
§ 1.3 大气压	(14)
§ 1.4 风和浪	(22)
§ 1.5 大气湿度和海水盐度	(27)
§ 1.6 海面能见度和海水透明度	(32)
§ 1.7 船舶海洋水文气象观测与编报	(34)
第二章 气象传真图	(44)
§ 2.1 天气图基础知识	(44)
§ 2.2 气象传真图	(51)
§ 2.3 气象传真图实例	(53)
第三章 大气的运动	(59)
§ 3.1 空气的水平运动	(59)
§ 3.2 空气的垂直运动和大气稳定度	(68)
§ 3.3 大气环流	(73)
§ 3.4 季风环流	(77)
§ 3.5 局地环流	(80)
第四章 云与降水	(82)
§ 4.1 云	(82)
§ 4.2 降水	(85)
第五章 海洋上的雾	(87)
§ 5.1 雾的分类与特征	(87)
§ 5.2 平流雾的生消条件	(89)
§ 5.3 海洋上雾的分布	(90)
§ 5.4 海雾的简易测算方法	(94)
第六章 气团和锋	(96)
§ 6.1 气团	(96)
§ 6.2 锋	(98)
第七章 气旋和反气旋	(104)
§ 7.1 概述	(104)

§ 7.2	锋面气旋	(104)
§ 7.3	冷高压	(112)
§ 7.4	副热带高压	(116)
§ 7.5	附录:中小尺度天气系统——雷暴、飑线和龙卷	(120)
第八章	热带气旋	(125)
§ 8.1	概述	(125)
§ 8.2	热带气旋的天气结构特征	(128)
§ 8.3	热带气旋的形成条件与生命期	(130)
§ 8.4	热带气旋的移动	(133)
§ 8.5	南海热带气旋	(138)
§ 8.6	热带气旋的测算和避离方法	(139)
§ 8.7	附录:热带辐合带、东风波和热带云团	(144)
第九章	西风带高空天气系统	(149)
§ 9.1	西风带的大型扰动	(149)
§ 9.2	西风带的中型扰动——短波	(153)
第十章	海上天气预报	(156)
§ 10.1	天气预报的基本原理	(156)
§ 10.2	天气报告和警报	(159)
§ 10.3	数值天气预报产品的应用	(166)
§ 10.4	卫星云图和雷达回波的应用	(172)
§ 10.5	外推法及其它经验方法	(177)
第十一章	海洋波浪的特性及其应用	(184)
§ 11.1	水质点的运动与波形传播的关系	(184)
§ 11.2	深水波和浅水波	(185)
§ 11.3	波群和驻波	(185)
§ 11.4	海啸、内波、潮波和风暴潮	(186)
§ 11.5	波浪传真图和波浪预报方法	(187)
§ 11.6	船舶气象定线	(190)
第十二章	海流	(193)
§ 12.1	海流的分类和表示方法	(193)
§ 12.2	风海流	(194)
§ 12.3	地转流及其它类型海流	(195)
§ 12.4	世界大洋表层海流模式	(197)
§ 12.5	海流传真图	(198)
第十三章	潮汐	(200)
§ 13.1	潮汐现象	(200)
§ 13.2	潮汐产生的原动力——引潮力	(201)
§ 13.3	平衡潮理论	(205)
§ 13.4	潮汐动力理论、分潮和潮流概述	(208)

§ 13.5	中国近海及世界大洋的潮汐·····	(210)
第十四章	海冰 ·····	(213)
§ 14.1	海冰的形成和分类·····	(213)
§ 14.2	海冰的漂移规律与海冰临近的征兆·····	(214)
§ 14.3	冰况传真图·····	(215)
第十五章	大洋气候 ·····	(218)
§ 15.1	大洋上的风与浪·····	(218)
§ 15.2	大洋表层海流系统·····	(220)
§ 15.3	大洋冰况·····	(224)
§ 15.4	附录:常用航海气候资料·····	(227)
主要参考书	·····	(229)

绪 论

阴、晴、冷、暖、风、雾、雨、雪和海浪、海流、海冰、潮汐等常见的一些物理现象都发生在大气或海洋中。气象学和海洋学主要就是研究发生在大气和海洋中的各种物理现象的本质及其发展演变规律的学科。“航海气象学与海洋学”，在国外又称为“航海环境论”，是专门研究大气、海水的运动变化规律以及海—气相互作用在航海活动中应用的学科，在性质上属于物理学的范畴。

航行在海上的船舶时刻处于海水和大气这两种流体的包围之中，因而不可避免地要受到外部环境条件即各种天气与海面状况的直接影响和制约。随着造船和航海技术的不断发展，航海活动的规模和安全程度在不断地提高。然而，即使是目前世界上最现代化的商船也不可能完全排除其负面作用。在险象环生的惊涛骇浪中航行，装备精良的万吨巨轮也会严重失速，造成货损、船损，有时甚至导致灾难的后果。因此，一个优秀的航海者必须懂得如何避免不利天气和尽可能利用有利天气，选择最佳天气航线，从而掌握海上航行的主动权。

联合国宣布 1998 年为“海洋年”，世界气象组织(WMO)则选择“天气、海洋与人类活动”为 1998 年 3 月 23 日世界气象日的庆祝主题，这一切都充分表明了人类对天气和海洋的空前关注。目前，世界上居民人数超过 250 万的城市有 2/3 位于沿海地区，近 2/3 的人口居住在沿海一带。世界海洋还是粮食、能源、水、碳氢化和矿物等资源的重要来源。但海洋也正承受着沿海开发、工业污染和过量的捕捞带来的与日俱增的压力。海洋除了具有经济重要性外，对全球气候和每日天气还发挥着重要影响。热带气旋在温暖的热带水域上形成，它们从洋面热量和水汽的向上转移中取得能量。厄尔尼诺现象清楚地表明了海面温度与未来数月气候状况之间的联系。从陆地移出的气团在越过海洋水体时也会发生实质性改变；反之，天气和气候同样直接影响着海洋状况。冬季，极地的覆冰扩大，严重妨碍哪怕是最大功率破冰船的航行。夏天，不时从冰川和极地冰盖脱离的冰山远距离漂移，对中纬度海域的航运构成危害。例如，1912 年 4 月著名的铁塔尼克号豪华客轮在纽芬兰东南海面与冰山相撞而沉没，约有 1500 人丧生。近海强风、强低气压和天文大潮条件的结合有时会造成大范围的沿海洪水。例如，1970 年 11 月高海潮期，灾害性热带气旋使大水涌进孟加拉国内地，淹死近 30 万人。鉴于海上人员对风、浪的脆弱性，沿海和海洋国家气象部门自然把提供海洋天气服务作为最重要的职能之一。最早期的正式气象服务是向船员提供的。在许多国家，国家气象部门最初都是为向沿海地区提供天气预报和警报而建立起来的。由此可见，气象学作为一门年轻的学科(只有一百多年的历史)，它的产生和发展一开始就与避免或防止海难联系在一起。海洋天气服务的提供有赖于从全球海洋范围获得准确、及时的风、天气现象、海浪、气温、海温、结冰条件等要素的观测资料。为此，WMO 及其会员国在世界天气监视网计划下开展了全球范围的 24 小时监测，为全世界提供天气和气候服务。1905 年，海上和海岸广播电台开始用无线电报转发船舶天气报。之后，首次国际海上生命安全公约(即 SOLAS 公约)呼吁将无线电天气预报广播覆盖所有航线和渔场。多年来，WMO 与各海事组织一起，共同开发了沿海水域和公海海洋预报与警报协调系统。1988 年国际上采用了全球海上救险与安全系统(GMDSS)，向船舶发布气象警报和预报是现代化

GMDSS 系统的一部分。现代气象学属于高科技范畴,是一门研究内容十分广泛的学科,目前已形成许多分支。航海气象学只是其中“应用气象学”中的一个分支。目前气象学正处在不断发展和完善阶段,还有许多困难问题有待解决。在实际业务中仍以天气图方法为主要工具进行天气分析和预报,在此基础上再进一步考虑海况预报。

从望天兴叹“天有不测风云”的蒙昧时代到今天气象、海事卫星上天,人类对大气与海洋的了解与认识经过了漫长而艰苦的历程,取得了巨大的进展。特别是近几十年来,包括世界天气监视网的不断发展与完善,气象传真广播在全球海洋的普及、数值天气预报所取得的突破性进展,以及为船舶横渡大洋进行气象定线服务业务的广泛开展等几件大事的出现,标志着气象学和海洋学在航海中的应用已经进入了一个突飞猛进的新的历史发展阶段。这是航海者的福音!航海气象学与海洋学在现代航海中已日益显示出其重要价值和地位,受到航海界的普遍关注和重视。“水能载舟,亦能覆舟”,“天气不是我们的朋友,就是我们的敌人”,这些著名的中外名言已是不争的共识。目前,对于海上实际气象问题的处理能力,已经成为衡量一名船长业务水准最令人信服的指标之一。本课程的宗旨是使学生掌握驾驶操作级必备的海洋气象理论知识和海上实际观测与预报技能,以便提高航行的安全性和船舶营运效益,增强自觉保护海洋与大气环境的意识。

航海气象学与海洋学是一门实践性很强的应用学科。只有通过长期不懈地刻苦学习和反复实践,并注意认真总结与积累经验,才能不断提高分析与解决海上实际气象问题的能力。

第一章 海洋水文气象要素

气温、气压、湿度、风、云、雾、能见度等,都是表征大气状态的物理量或物理现象,统称气象要素(Meteorological Elements)。表层水温、海浪、海流、海冰等是水文要素,但也可以看成广义的气象要素。天气(Weather)是一定区域在较短时间内各种气象要素的综合表现。气候(Climate)是某一区域各种气象要素的多年平均特征,其中包括极值。天气表示大气运动的瞬时状态,而气候则表示长时间统计平均的结果。因此,要了解天气变化和气候规律,必须从研究气象要素入手。从本章起,我们将陆续介绍航海常用气象要素的一般特征、相互联系、时空分布,以及在船舶条件下进行海洋水文气象观测的方法和要求。海洋和大气都是流体,有许多相同或相似之处。为了便于比较和对照,本章和后面一些章节在介绍主要气象要素的同时,简要介绍海水的一些相应的基本物理性质。

§ 1.1 大气和海洋概况

一、大气的成分和垂直结构

要正确地解释发生在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

环绕地球表面的整个空气层称为大气层(Atmosphere),简称大气。大气的总质量为 $5.3 \times 10^{21} \text{g}$,约为地球质量的百万分之一,地球“水圈”质量的 $1/250$ 。在标准情况下,地面附近干空气密度的数值为 $1.293 \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由于空气的可压缩性,在地心引力作用下,大气质量绝大部分集中大气底层,越往高处越稀薄。观测表明,大气质量的 75%集中在 10 km 以下,99%集中在 35 km 以下。因为地球大气之外的“星际空间”也并非绝对真空,所以难于确定出准确的大气上界。通常人们将只在大气中才有的极光现象出现的最大高度称为大气上界,其数值约为 1 000 km。

2. 大气的成分

大气是由多种气体混合组成的。此外还包含一些悬浮的固体和液体杂质。通常将大气的组成为干洁空气、水汽和杂质三个部分。

1) 干洁空气

大气中除水汽和液体、固体杂质以外的整个混合气体,称为干洁空气或干空气(Dry Air)。它是组成大气的主要成分。干洁空气的主要成分是氮、氧、氩,它们占干空气总容积的百分数分别为 78.09%, 20.95%, 0.93%,三者之和为 99.97%。干洁空气的次要成分为二氧化碳(占 0.03%)以及氢、氦、氖、氪、氙、氡、臭氧等稀有气体,它们的总含量不超过 0.01%。干洁空气所有这些主要和次要成分,在地球的自然温度、气压条件下,总保持气体状态。在 90 km 高度以下,除二氧化碳和臭氧等易变成分外,干洁空气中各主要气体的浓度几乎是恒定的。因此通常可以把 90 km 以下的干洁空气作为分子量为 28.966 的单一成分理想气体处理。干空气状态方

程可写成如下形式:

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

式中: p 、 ρ_d 、 T 、 R_d 分别表示干空气的压强、密度、温度和比气体常数。

2) 水汽

水汽是(Vapour)气体,它与干洁空气成分混合在一起,成为实际大气的重要成分之一。水汽所占的比例,随着时间、地点和气象条件的不同有较大的差异,变化范围在 0%~4%之间。水汽是在一般自然界的温度和压力条件下可以转变成水滴或冰晶,即可以发生相变的惟一大气成分,这是和大气中其它气体成分截然不同的地方。通常称不含水汽的空气为干空气,含有水汽的空气为湿空气(Moist Air, Wet Air)。

水汽、二氧化碳和臭氧这三种气体,在整个大气中虽然含量很少,但它们都是重要的成分,对大气过程影响很大。除了水汽可以成云致雾造成许多天气现象之外,这三种气体对大气的温度分布和变化都有很大影响。其中,二氧化碳能强烈吸收和放射长波辐射,使地面和大气保持一定的温度,称为大气的温室效应(Greenhouse Effect)。

水汽的状态方程可以写成:

$$e = a R_a T \quad (1-2)$$

式中: e 为水汽压强, a 为水汽密度, R_a 为水汽的比气体常数。

湿空气密度为干空气密度与水汽密度二者之和,即 $\rho_w = \rho_d + a$, 因水汽含量不同,比气体常数不确定,但其状态方程在形式上与干空气状态方程相同。水汽密度比干空气小,二者之比为 0.622。因此,水汽的存在使实际大气的密度变得小些。

3) 杂质

大气中的杂质除水滴、冰晶等水汽等凝结物之外,还包括大量尘埃、烟粒、细菌、病毒、植物花粉,以及海洋上飞溅在空中的浪花蒸发后留下的微小盐粒等。大气中的固体杂质有利于水汽的凝结,称为凝结核。在一定的条件下,当大量悬浮在大气中的杂质聚集在一起时,会形成雾、烟、沙尘暴等天气现象,使能见度变得恶劣,严重影响船舶和其他交通工具的安全行驶。大气杂质还有削弱太阳辐射、阻挡地面辐射、保持地面温度的作用。

3. 对流层和平流层

大气在垂直方向上很不均匀,不同高度的气层性质差异很大。根据世界气象组织的建议,通常根据气温和水汽的垂直分布、大气的扰动程度和电离现象等不同特点,自下而上将大气划分为对流层、平流层、中间层、热层和散逸层五个层次,如图 1.1 所示。

1) 对流层(Troposphere)

大气的最低层称为对流层。对流层的平均高度为 10 km 左右。它的下界为地表面,上界随纬度和季节的不同而有变化。中纬度平均 10~12 km,低纬度 17~18 km,高纬度 6~8 km。夏季比冬季高些。

对流层的厚度与整个大气层相比虽然很薄,但却集中了全部大气质量的 80%和几乎全部的水汽。云、雾、雨、雪等常见的大气现象都发生在这一层。它对人类生活和活动有最直接的重大影响,因此是天气预报主要考虑的气层。

在对流层中具有强烈的对流和乱流运动,因而有利于上下气层间热量和水汽的交换。在对流层中通常气温随高度的升高而降低,平均每上升 100 m 下降 0.65℃。在对流层中,气象要素(温度、湿度等)在水平方向分布不均匀,存在着气团和锋(详见本书第六章)。

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两个层次。在对流层底部贴近地表面的气层,空气运动受地面摩擦和空气分子的湍流粘滞作用显著,称为摩擦层(Friction Layer),其厚度大约为1 km。在摩擦层中,摩擦作用随着高度的增加,由于与地面距离的增大和空气密度的减小而减小。通常风随高度的增加而增大,气温在很大程度上受下垫面冷热的影响,两者都有明显的日变化;在摩擦层以上,由于距离地表面较远,空气密度也很小,摩擦作用很小,通常可以忽略不计,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。尤其是处于对流层中部(500百帕等压面上)的气流状况,可以代表整个对流层空气的基本运动趋势,因此是考虑天气预报时备受关注的主要气层。在中纬度对流层的中、上部,盛行西风,并且风速随高度的增加而增大。

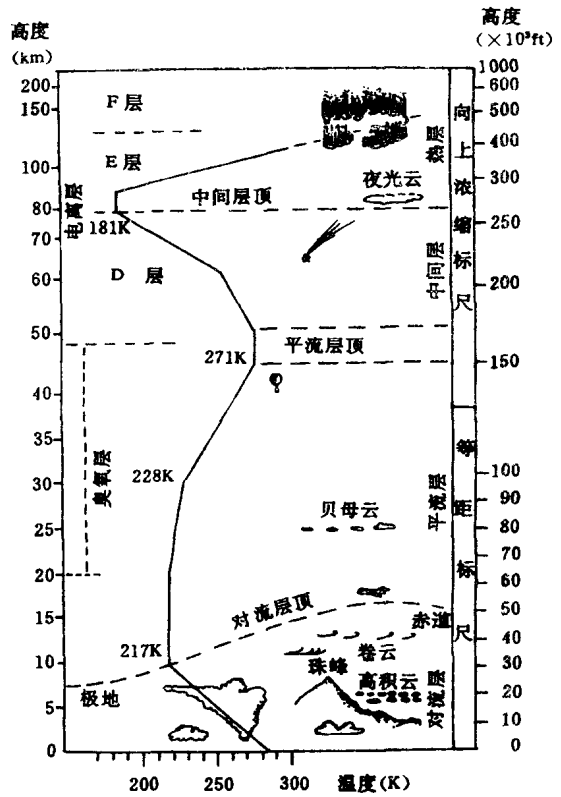


图 1.1 大气的垂直结构

此外,在对流层与平流层之间有一个厚度为1~2 km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(等温),甚至出现气温随高度的增加而上升,即逆温(Inversion, Temperature Inversion)现象。逆温层的作用好像一个盖子,能有效地抑制对流的发展,从而使绝大部分水汽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挡作用,我们经常可以观察到发展旺盛的积雨云顶被阻而平衍成砧状的现象。

2) 平流层(Stratosphere)

从对流层向上到大约55 km高度之间的气层,称为平流层。平流层下层的温度随高度变化很小或者不变,称为同温层。到20 km以上,温度随高度的升高而显著增加,出现一个逆温层,到平流层顶可能超过0℃,即比对流层顶高出60℃~70℃之多,这是由于臭氧层直接吸收大量太阳紫外辐射所造成的。在平流层中没有强烈的对流运动,空气的垂直混合明显减弱,整层气流比较平稳,飞机在此层飞行不易颠簸。在平流层中水汽和尘埃含量很小,天气晴朗,大气透明度好,只是在高纬度地区20~30 km高度上偶尔能观测到色彩绚丽的贝母云。

臭氧主要存在于大约20~40 km的气层中,这一气层称为臭氧层(Ozonsphere)。臭氧是大气中能强烈地直接吸收太阳紫外辐射的惟一成分,是使地面生物圈免受过多紫外线辐射伤害的一种特别重要的保护物。

再向上,在热层,大气由于受强烈的太阳紫外辐射和宇宙射线的作用而处于高度电离状态,因此该层又称为电离层(Ionosphere)。电离层能反射短波无线电波,对实现远距离无线电通

信具有重要意义。

二、海洋的划分

地球上广大的连续水体总称为海洋。它构成了地球的“水圈”。海洋的面积占地表总面积的 70.8%，海水的总质量约为地球质量的 1%。由于海水中含有大量盐分，其密度比纯水要大，为 $1.01 \sim 1.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。海水的密度是盐度、温度和压力的函数。

根据水文及海洋形态特征，可划分为主要部分及附属部分。主要部分称为洋，附属部分是洋的边缘部分，称之为海、海湾和海峡。

1. 洋

洋(Ocean)面积广阔，约占海洋总面积的 89%。洋的深度大，一般在 2~3 km 以上，水文要素不受大陆的影响，相对来说比较稳定，季节变化小，盐度平均为 35‰。水色高，透明度大。有独自的潮波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(有些学者将北冰洋划为大西洋的附属海)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。太平洋最大，大西洋次之，北冰洋最小。

表 1.1 各大洋面积和深度

名称 (不包括附属海)	面积		深度(m)	
	$\times 10^6 \text{ km}^2$	%	平均	最大
太平洋	165.246	45.8	4 028	11 500
大西洋	82.442	22.8	3 627	9 219
印度洋	73.443	20.3	3 897	7 450
北冰洋	5.035	1.4	1 296	5 220

2. 海

大洋靠近大陆边缘部分，由岛弧或半岛所隔离，或居于两陆中间，或由陆地包围的部分，皆称为海(Sea)。海的面积比洋小得多，只占海洋总面积的 11%，深度一般较浅。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波系统，多数受大洋影响。

按照海的地理位置可分为内陆海和边缘海。内陆海是位于陆地内部，仅通过一个或几个海峡与大洋相通的海，它又称为地中海。内陆海又分陆间海和陆内海。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。靠近大陆一面受大陆影响大，水文状况的季节变化显著。连接大洋的那一面受大洋影响大，水文状况相对比较稳定，如日本海、白令海、鄂霍次克海、黄海、东海、南海等。

3. 海湾

洋或海的一部分延伸入大陆，其深度和宽度逐渐减小的水域称为湾(Gulf, Bay)，如比斯开湾、孟加拉湾、北部湾等。在海湾内常出现最大潮差，如杭州湾的钱塘江潮差达 8.9 m，芬兰湾可达 18~21 m。

4. 海峡

海洋中相邻海区之间宽度较窄的水道称为海峡(Strait, Channel)。海峡的特点是流急。世界上可通航的海峡约有 130 个，其中较重要的有 40 个，如佛罗里达海峡、马六甲海峡、台湾海

峡、津轻海峡等。

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

三、大气和海洋污染

1. 大气污染

近百年来由于大工业的兴起,大量的废物和废气被排放到大气中。据测算,每年大约有2 000万吨固体尘埃和一些有害气体,如一氧化碳和二氧化硫等被释放到大气中,通过大气的运动,这些污染物弥漫到整个大气。这种由人类活动使局部甚至全球范围大气成分发生有害于人类和各种生物的变化过程,称为大气污染(Atmosphere Pollution)。

日益严重的大气污染在许多国家已成为“公害”,严重威胁着人们的生活和健康,对周围环境、森林、农作物、建筑物(包括船体)以及动植物的生存等造成了不同程度的危害。据估计,城市附近空气中尘埃的含量要比农村高10倍,一氧化碳高30倍,二氧化碳高40~50倍。一些科学家指出,大气污染,特别是大气中二氧化碳含量的逐年累积,将会使地球变暖并引起全球天气和气候的异常变化,导致极冰覆盖融化、海面上升,一些港口将被淹没。人们还发现在南极上空,由于大气污染臭氧层已出现空洞。因此,保护大气环境,防止和控制大气污染已经日益引起人们的警觉和重视。

大气污染物种类很多,目前尚无确切的统计,对人类危害较大已被人们注意的约有100余种,其中影响范围广、危害较大的,除粉尘外,还有二氧化硫、一氧化碳、一氧化氮、硫化氢、碳氢化合物和氨等。例如,在臭氧的作用下,二氧化硫能引起有害的酸雨,而氮的氧化物和碳化氢物经太阳紫外线照射能产生毒性很大的光化学烟雾。

为了提高市民的生活质量,目前我国许多城市已开展大气质量监测和治理工作,并通过电台每天定时向社会发布空气污染指数、空气质量等级和首要污染物种类(通常有总悬浮颗粒物、二氧化硫和氮氧化物等)。上海市气象局1998年设立了城市环境研究中心,已推出“人体舒适度”、“污染气象条件”等预报。今后,他们还将对“健康与气象”、“花粉指数”、“空气细菌含量”等课题进行研究。

2. 海洋污染

人类自从开发利用海洋资源以来,由于片面地追求使用环境而不注意保护,致使海洋环境日益恶化,海洋生态平衡受到破坏,反过来又危及人类的生存,迫使人类重视海洋环境的保护。

海洋污染的途径很多,主要是降水和江河径流、大气环流、水流、涨落潮给海洋带来大量污染物。其次是管道污水污染、海上采矿以及海上运输排污。海洋中的污染物大部分是由江河从大陆腹地携带而来。

船舶营运过程中,海水冷却内燃机、蒸汽机,冷冻机的压缩机排出的废水,对海洋都会造成油污染和热污染;清洗甲板、机舱的废水也会携带大量石油、去污剂、化学剂,污染海洋环境;压载水排放,船员、旅客、运输的动物卫生用水以及船舶发动机排放的烟尘溶解于海水,都可以造成污染。石油及其制品运输污染海洋包括营运和海损两方面。研究人员对船舶污染海洋环境进行的调查表明,石油的排放量是惊人的。此外,还有散装运输有害液体排放对海洋环境的污染、煤炭及矿砂粉尘污染、垃圾污染等。海洋污染具有污染源广、持续性强、扩散范围大等特点,其危害甚大。因此,保护海洋环境已经成为现代人类急待解决的重要课题,受到全世界各国政府的普遍关注。为了保护海洋环境清洁,早在1954年就在伦敦召开了33个国家参加的国际会

议,并制定了国际公约。1962年、1969年、1971年进行了三次修订。1973年又在伦敦召开了国际会议,会上讨论并通过了《防止船舶污染海洋的国际公约》。公约由二十项条款,两份协议书和五份附件组成。现在不论在何处,凡是对1973年公约条例的任何破坏行为都将按照船旗国的法令来惩处,对这种情况的制裁是相当严格的。

§ 1.2 气温和海温

气温(Air Temperature)是重要的大气状态参数之一,是表示空气冷热程度的物理量。气温的高低与人类活动密切相关。气温不仅是天气预报的直接对象,而且温度场与气压场和风场之间存在着相互制约的内在联系,温度场的变化必然引起气压场和风场的变化,即引起天气形势和天气的变化。此外,气温的分布和变化还与大气稳定度及云、雾、降水等天气现象密切相关。因此,了解气温的变化规律,不论对天气形势预报还是要素预报都是十分重要的。

温度的数值表示法称为温标。气象上通常采用摄氏温标($^{\circ}\text{C}$)和绝对温标(K或开),分别以 0°C , 100°C 和 273K , 373K 表示水的冰点和沸点。它们之间有如下关系:

$$T = 273 + t \quad (1-3)$$

或

$$t = T - 273$$

式中: T 和 t 分别表示绝对温度和摄氏温度。绝对温标多用于理论计算,摄氏温标多用于实际业务工作和日常生活中。有些英语国家习惯上常使用华氏温标($^{\circ}\text{F}$),有时还用来标绘航海气候图。其冰点温度和沸点温度分别为 32°F 和 212°F 。华氏温标与摄氏温标之间的关系可表示为:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32) \quad (1-4)$$

或

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

下面首先研究控制气温变化的因子。

一、太阳、地面和大气的辐射

1. 辐射的基本特性

物理学告诉我们,自然界中一切温度高于绝对零度的物体,都在时刻不停地以电磁波的形式向外传递能量,这种传递能量的方式称为辐射。

辐射不依赖于任何介质,以 $3 \times 10^8 \text{ km/s}$ 的速度向外传播。辐射的频谱很宽,从 $10^{-10} \mu\text{m}$ 的宇宙射线,到波长为几公里的无线电波都属于辐射的范围。不同波长的电磁波具有不同的物理性质,按波长可分为 γ 射线、X射线、可见光、红外线和无线电波。

研究表明,物体的温度越高,放射能力越强,辐射出的波长越短;反之,温度越低,放射能力越弱,辐射出的波长越长。

任何物体一方面因放射辐射消耗内能而使本身的温度降低,另一方面又因吸收其它物体放射的辐射能并转变为内能而使本身的温度增高。

2. 太阳辐射、地面辐射和大气辐射

太阳是表面温度约为 6000K 的炽热球体,它不断向四周放射辐射。太阳辐射(Solar Radiation)是地球表面和大气惟一重要的能量来源。在大气上界垂于阳光的单位面积上,单位时间内所获得的辐射能称为太阳常数(S_0),其值为:

$$S_0 = 1.382 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

一年内整个地球由太阳辐射获得 $5.4 \times 10^{24} \text{ J}$ 的热量。

地面和大气温度约为 300 K, 比太阳表面低很多, 因此放射能力较低, 波长较长。

太阳辐射的主要波长范围为 $0.15 \sim 4 \mu\text{m}$, 地面和大气辐射的范围约为 $3 \sim 120 \mu\text{m}$ 。气象学中习惯上将太阳辐射称为短波辐射, 而将地面辐射(Radiation of the Earth's Surface)和大气辐射(Atmospheric Radiation)称为长波辐射。

研究表明, 太阳辐射能很少直接被大气吸收, 大部分穿过大气射向地面, 被地面吸收之后再通过地面辐射的方式传给大气。地面和大气在获得辐射能的同时, 本身又不断地放射出辐射而冷却。

不同性质的物体对不同波长的辐射具有不同的吸收、反射和透射特性。例如, 雪对短波辐射的反射率很大, 但对长波辐射则几乎全部吸收。干空气对红外线几乎是透明的, 而水汽却能强烈地吸收红外线。因此, 在气温相同的情况下, 若空气中水汽含量较多时, 人就会有闷热之感。

地球上气温的四季变化、昼夜变化及气象中几乎所有的重要现象都与辐射的传递过程有关。

3. 地—气系统的热收支

研究表明, 就全球平均情况而言, 如果把从大气上界进入大气层的太阳辐射作为 100 个单位, 大气本身和漂浮在大气中的云层与粉尘吸收了太阳总辐射的 19%, 地球表面吸收 51%, 剩下的 30% 则被陆地、海面、云层和大气反射回宇宙。地球表面吸收这些辐射后, 除一部分传入深层或存留在近地表的土壤和水层中外, 其余则变成长波辐射散入大气和太空中。另一部分使水分蒸发变成蒸发热进入大气, 还有一部分使近地面空气受热并以乱流和对流的形式进入大气。由此可知, 大气受热的主要直接热源不是太阳直接辐射, 而是地球表面, 它主要靠吸收地面放射的几乎全部波长的长波辐射来维持其一定温度。

二、空气的增热和冷却

当空气从外界得到的热量多于支出时, 空气增温; 反之, 当收入的热量少于支出时, 空气降温。研究表明, 空气增热和冷却的主要过程是非绝热的。如前所述, 下垫面是对流层大气主要的直接热源, 因此空气的增热和冷却主要受下垫面影响, 这种影响是通过下垫面与空气之间的热量交换来实现的。下垫面与空气之间的热量交换途径主要有以下几种。

1. 辐射

如前所述, 地面和大气之间主要是通过辐射进行热量交换的。白天地面的长波辐射为低层大气所吸收。同样, 这些气层也放射辐射而使邻近的上部气层增温, 如此层层向上传递, 最后使所有较高的层次都得到增温。夜间地面因得不到太阳辐射而降温, 地面辐射减弱。大气本身也因放出辐射而使气温降低。

2. 对流与平流

对流(Convection)有热力对流和动力对流之分。由于下垫面受热不均匀而引起空气有规则的升降运动, 称为热力对流或热对流。季风、海陆风、山谷风及积云对流均属不同尺度的热对流。在外力影响下, 如气流受地形阻挡或另一气流冲击而形成的对流, 称为动力对流。广义的对流包括铅直运动和水平运动两部分。在气象上, 通常指铅直运动部分为对流, 水平运动部分为平流(Advection)。