

海船船员适任考试培训用书

中华人民共和国辽宁海事局、大连海事大学组织编写

# 航海气象学与海洋学

陈家辉 张吉平 主编  
孟庆楠 李志华 主审

大连海事大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分5章,内容包括气温、气压、湿度、风、云、雾等主要气象要素及其观测方法,世界海洋气候概况,气象传真图及其应用,温带气旋、热带气旋等大气中的各种风暴系统的特性,海上天气预报和警报,卫星云图和雷达回波,海洋船舶气象定线,以及海浪、海流、海冰和潮汐等海洋学方面知识。

本书内容符合中华人民共和国海事局和STCW 78/95公约对海洋船舶驾驶管理级(船长、大副)及操作级(二副、三副)在气象学和海洋学两方面的基本要求。本书适用于无限航区、近洋航区和沿海航区的海船船长、驾驶员考证培训使用,其中包括职务提升、吨位提高和航区扩大等情况。读者可根据考试大纲的要求,结合自己的实际水平,选择所需要的内容参加培训或自学。

本书还可作为高等航海院校海洋船舶驾驶专业或其他相关专业学生的教学参考书,亦可作为海船驾驶人员和港航有关管理人员的技术参考书。

## 序

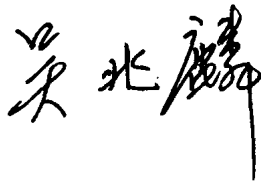
在辽宁海事局和大连海事大学的精心组织下,“海船船员适任考试(驾驶)培训用书”出版发行了,这是航运界的一件大事,我表示衷心地祝贺。

回顾过去,根据中华人民共和国港务监督局《1988年海船船长、驾驶员考试大纲》的要求,大连海运学院和大连海上安全监督局等单位于1992年7月组织编写了“高级船员适任证书考试用航海培训教材”,出版后受到全国各地海员的热烈欢迎,一印再印,长销不衰。在驾驶人员考证培训、自学提高及考试发证机关命题参考等方面,发挥了重要作用。

为了满足《STCW 78/95公约》和中华人民共和国海事局1998年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》的要求,1999年5月,辽宁海事局和大连海事大学又不失时机地组建了船舶驾驶专业海船船员适任考试培训用书编写委员会,选聘有丰富教学经验和航海实践经验的船长、教授和专家担任各书主编,精编严审,高质量地完成了“海船船员适任考试(驾驶)培训用书”的编写工作。编写中注意理论与实践相结合,具有较强的针对性、适用性和系统性。可以说,这套系列培训用书,是新形势下,在总结过去的基础上原培训教材的继续和发展,它一定会像从前一样受到广大海员的欢迎,成为良师益友。

我相信,该系列培训用书的出版,对海员适任考试、培训,提高我国海员整体素质,更好地履行国际公约,从而保证海上人命和财产的安全,一定会发挥重要作用。

大连海事大学校长



# 海船船员适任考试 (驾驶)培训用书编写委员会

主任委员:孙立成 王杰武

副主任委员:李新江 李 凯 袁林新 丁 勇 时培育 孙 广

委 员:(按姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马家法 | 方文治 | 王凤武 | 王建平 | 孙文强 | 史洪源 |
| 李志华 | 刘宗德 | 刘英贤 | 关政军 | 李振华 | 刘德新 |
| 辛成玉 | 张吉平 | 何 欣 | 沈国华 | 陈家辉 | 张 蔚 |
| 郑忠义 | 赵月林 | 顾玉升 | 洪碧光 | 洪德本 | 夏国忠 |
| 徐德云 | 徐德兴 | 戴 冉 |     |     |     |

# 前 言

为满足《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》1995 年修正案(STCW78/95 公约)和中华人民共和国海事局 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》的要求,辽宁海事局和大连海事大学共同组建了船舶驾驶专业海船船员适任考试培训用书编写委员会,选聘有丰富教学经验和航海实践经验的船长、教授和专家为各书的主编。编委会对各书的编写大纲进行了审定。

这套海船船员考试培训用书符合 1998 年《海船船员适任考试和评估大纲》的要求,具有较强的针对性和适用性,取材切题,简明扼要,理论联系实际,适用于海船船舶驾驶人员适任考试和培训,也可作为航海从业人员的业务参考书。

这套丛书共分十册:航海学、船舶值班与避碰、航海气象与海洋学、船舶操纵、海上货物运输、船舶结构与设备、船舶管理、船长业务、航海英语和水手业务。

本书的出版得到了海事局、各航运企业、大连海事大学出版社等单位的关心和支持,特致谢意。

**海船船员适任考试(驾驶)培训用书编写委员会**

## 编者的话

本书较系统和全面地介绍了各类海洋船舶船长、驾驶员在气象学与海洋学方面的必备知识,重点阐述了锋面气旋、热带气旋等各种海上风暴系统和寒潮、海雾等灾害性天气过程的发展演变规律,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、资料和珍贵照片。本书避免复杂的数学推导,注重物理概念和重要结论的讨论、分析与应用,提倡理论联系实际,突出海上水文气象实际观测和天气补充订正预报技能的培养,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。

本书共分5章35节,内容涉及普通气象学,船舶海洋水文气象测报,海上天气分析与预报,海浪、海流、海冰、潮汐和世界海洋气候学等。本书内容符合中华人民共和国海事局和STCW 78/95公约对各类海洋船舶驾驶人员在气象学与海洋学两方面的基本要求,适于无限航区、近洋航区和沿海航区的海船管理级(船长、大副)、操作级(二副、三副)适任证书考试培训使用,其中包括职务提升、航区扩大和吨位提高等各种情况。读者可根据自己的实际情况和需要选择阅读。本书还可作为船舶驾驶专业本科、专科、函授自学以及航政管理、国际海事或其他相关专业的参考书,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。

本书实际上是1994年1月大连海运学院出版社出版陈家辉主编的高级船员适任证书考试试用航海培训教材《航海气象》一书的再版。从十几年来20多次实际培训使用效果的调查情况可以看出,大多数读者是感到满意和比较满意的。这次改版和更改书名是在原书的基础上,根据本学科的最新发展和考试要求,充分吸取教师、学员反馈意见中的有益成分,进行了力度较大的调整、补充和更新。例如,在气象学方面增加了海上气旋爆发性发展、西北太平洋和南海热带气旋最新命名法以及船用雷达回波等内容,充实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。为使用方便,这次出版还对重要的专业术语标注了相应的英文。

本书由大连海事大学航海学院陈家辉、张吉平主编,由辽宁省航海学会副理事长、大连市气象学会理事长孟庆楠和大连海事大学航海学院李志华主审。全书由陈家辉统稿。其中张永宁编写第一章第一节至第三节,王辉编写第一章第四节至第六节,张崇耀编写第一章第七节至第九节,朱金善编写第一章第十节、第十一节,冷梅编写第二章第一节至第三节,刘大刚编写第二章第四节至第六节,刘翠华(金州盐场气象台)编写第二章第七节至第九节,陈家辉编写绪论和第三章,夏咏华(天津理工学院)编写第四章,张吉平编写第五章。

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,并提供许多最新信息和宝贵的参考资料,对本书的顺利出版帮助很大,其中特别应当提到的有:上海海运学院王长爱,上海海运职工大学沈四林,

集美大学航海学院黄杏文,南通航运学校朱谦阳,大连水产学院崔树勋,海军大连舰艇学院吴文凤,青岛海洋大学吴增茂,北京大学朱亚芬,中国气象局李黄,中央气象台董守玉,国家海洋局王跃山,大连市气象局孟庆楠、周铭春、单宝华,大连市气象台孔斌,大连海洋气象研究所袁开朗,大连市气象学会丁合盛、李光亮,中国海事服务中心培训考试部龚利平、刘也,辽宁海事局赵正亭、孙广,资深高级船长王瑞举、徐锡金、王家强等。此外,气象实验室高超和航海气象课外兴趣小组的同学们接收了许多可供选择的气象传真图,胡经仪、朱正健、王凤武同志为本书绘制了许多精美插图,航海教研室全体同事对本书的出版也给予了多方面的积极支持与协助。

在此,我们谨向以上各位专家、同事、同学以及所有关心、帮助本书出版的人们表示诚挚的感谢和敬意。

对于本书中的错误、不当或不足之处,热诚欢迎读者批评指正。

**编 者**

2001年6月

# 目 录

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 绪论                     | (1)   |
| 第一章 气象要素及其观测           | (2)   |
| 第一节 大气和海洋概况            | (2)   |
| 第二节 气温和海温              | (9)   |
| 第三节 大气压                | (18)  |
| 第四节 空气的水平运动——风         | (26)  |
| 第五节 空气的垂直运动和大气稳定度      | (40)  |
| 第六节 大气环流               | (47)  |
| 第七节 大气湿度和海水盐度          | (58)  |
| 第八节 云和降水               | (63)  |
| 第九节 海洋上的雾              | (68)  |
| 第十节 海面能见度和海水透明度        | (78)  |
| 第十一节 船舶海洋水文气象观测及编报     | (80)  |
| 第二章 天气系统及天气过程          | (100) |
| 第一节 天气图基础知识            | (100) |
| 第二节 气团和锋               | (110) |
| 第三节 锋面气旋               | (119) |
| 第四节 冷高压                | (130) |
| 第五节 副热带高压              | (135) |
| 第六节 中小尺度天气系统——雷暴、飑线和龙卷 | (140) |
| 第七节 热带气旋               | (145) |
| 第八节 热带辐合带、东风波和热带云团     | (167) |
| 第九节 西风带高空天气系统          | (173) |
| 第三章 海上天气预报及其应用         | (180) |
| 第一节 天气预报的基本原理          | (180) |
| 第二节 天气报告和警报            | (183) |
| 第三节 气象传真图              | (193) |
| 第四节 数值天气预报产品的应用        | (203) |
| 第五节 卫星云图和雷达回波的应用       | (210) |
| 第六节 外推法及其他经验方法         | (216) |
| 第七节 船舶气象定线             | (225) |
| 第四章 海浪、海流和海冰           | (236) |
| 第一节 海浪                 | (236) |



|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 第二节 海流·····                     | (251) |
| 第三节 海冰·····                     | (265) |
| 第五章 潮汐·····                     | (274) |
| 第一节 潮汐的基本成因和潮汐术语·····           | (274) |
| 第二节 中版《潮汐表》与潮汐推算·····           | (279) |
| 第三节 英版《潮汐表》与潮汐推算·····           | (285) |
| 第四节 潮流推算·····                   | (290) |
| 第五节 世界大洋和我国近海潮汐概况·····          | (293) |
| 附录 1 常用航海气候资料·····              | (296) |
| 附录 2 世界主要气象传真广播台呼号、频率和发图种类····· | (297) |
| 附录 3 北京 BAF 传真广播节目表·····        | (301) |
| 附录 4 东京 JMH 传真广播节目表·····        | (302) |
| 参考文献·····                       | (303) |

# 绪 论

当船舶航行在茫茫的大海上,船长和驾驶员总是警惕地注视着周围的天气和海况,考虑航线前方是否将会有风暴或浓雾袭来以及应采取的对策。“天气不是我们的朋友,就是我们的敌人”。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,在险象环生的惊涛骇浪中航行,即使是装备精良的现代化万吨巨轮也会严重失速,造成货损、船损,有时甚至导致灾难性的后果。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。

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和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、及时的风以及天气现象、海浪、气温、海温、结冰条件等要素的观测资料。为此,世界气象组织(WMO)及其会员国在世界天气监视网(WWW)计划下开展了全球范围的24 h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,首次国际海上救助公约(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遇险与安全系统(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作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洋要素预报。

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,包括气象卫星在内的世界天气监视网的不断发展和完善,无线电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业务服务的广泛开展等一系列重大事件的出现,标志着气象学与海洋学在航海中的应用已经进入了一个崭新的历史发展阶段。航海气象学与海洋学在现代航海中已更加显示出其重要作用和地位,并日益受到航海界的关注和重视。毫无疑问,通过培训学习,进一步熟练掌握那些必备的或应知应会的航海气象学与海洋学方面的知识,可以帮助您排忧解难,使航行更加安全、节时和经济。

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 气象要素及其观测

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。

## 第一节 大气和海洋概况

### 一、大气的成分

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),简称为大气。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 3 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、氦、氫、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

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

式中:  $p, \rho_d, T, R_d$  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(Vapour)是气体,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,这是和大气中其他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 3 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 3 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

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

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  $\rho_w = \rho_d + a$ 。由于水汽含量不同,因此比气体常数不确定,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。

# 二、大气的垂直结构

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 5 个层次,如图 1-1-1 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,但是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 °C。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。

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2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 hPa 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

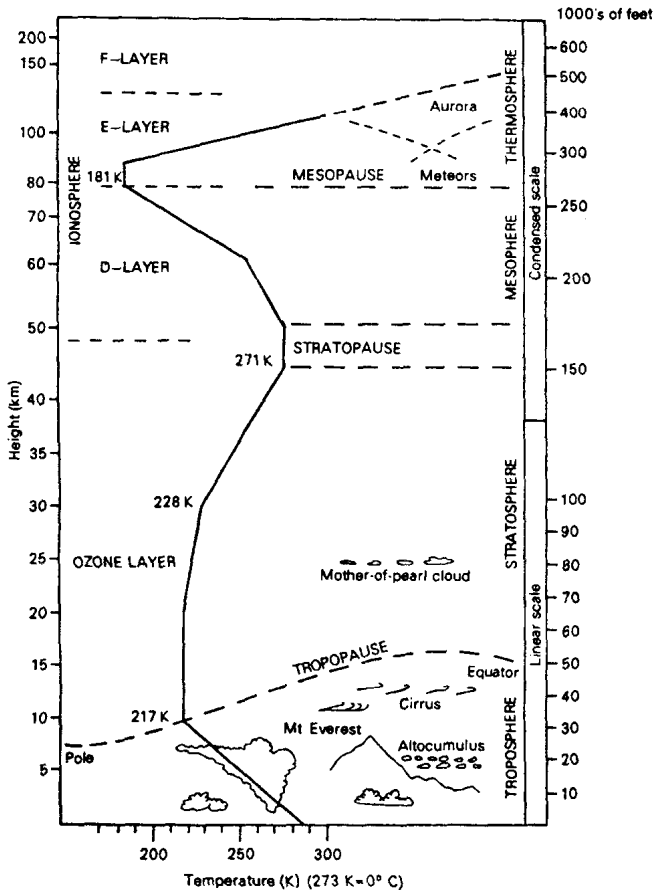


图 1-1-1 大气的垂直结构

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。

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(Ozonosphere)。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。

### 3. 中间层(Mesosphere)

自平流层顶向上大约 85 km 称为中间层,亦称中层。此层最大的特点是温度随高度上升而迅速降低,其顶部温度降低至  $-83 \sim -113^{\circ}\text{C}$ 。其原因是这里无臭氧吸收太阳紫外辐射。另外,氮和氧所能直接吸收的短波太阳辐射又大部分被更上层的大气吸收了。在中间层再次出现明显的空气对流和湍流现象,故又有高空对流层之称。由于强烈垂直运动的结果,通常在黄昏降临时,偶尔能观测到具有特异的银白色并微微发青、形状像卷云的夜光云。在约 60 km 附近存在一个只在白天出现的电离层,称为 D 层。

### 4. 热层(Thermosphere)

从 85 km 到 800 km 左右称为热层,亦称暖层。该层的一个特点是温度随高度增加而迅速升高。据卫星探测,300 km 以上可达  $1\,000^{\circ}\text{C}$  以上,这是因为所有波长小于  $0.175\ \mu\text{m}$  的太阳紫外辐射都被该层中的气体吸收的缘故;又因为这里空气密度极小,造成这层大气温度较高。

热层的另一个特点是该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(Iono-sphere)。热层各高度被电离的程度不同,其中以位于 100~120 km 的 E 层和 200~400 km 的 F 层最显著。F 层还可再细分为  $F_1$  层和  $F_2$  层。它们都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。罗兰 C 等无线电导航仪就是靠电离层的反射作用来实现定位目的的。进一步观测表明,电离层的强度白天强夜间弱。有些层次,如 D 层和  $F_1$  层只在白天存在,夜间就消失了。这种现象表明太阳紫外线是导致空气电离的主要原因。此外,还发现上述各层次的电离程度自下而上逐渐增强,D 层最弱, $F_2$  层最强,再往上又逐渐减小。例如,在  $F_2$  层上面约 400~500 km 处还有一个 G 层,其电子浓度已大大减少。当太阳黑子或太阳耀斑活跃时能引起昼半球电离层的异常扰动,造成短波无线电通信暂时中断。这是来自太阳的高能粒子使电离作用增强,电波通过这一区域时电离层的吸收作用加强所致。

### 5. 散逸层(Exosphere)

热层以上的大气层称为散逸层,这是整个大气的最外层,是地球大气与星际空间的过渡区域,故又称外层。外层的温度也随高度而增高,可高达数千度。该层温度很高,而且距离地心很远,受地球引力作用很小以及非常低的空气密度,其上部又多为质子组成,因而地球磁场对这些质子行动的控制作用比地球引力更重要,故外层的上部亦称磁层。自外层以上,一些高速运动的大气质点可以挣脱地球引力的束缚,克服周围其他大气质点的阻碍,逃逸到宇宙空间中去与太阳大气联结起来,散逸层由此而得名。

## 三、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的盐分,因此其密度比纯水要大,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 1-1-1 中已把南大洋 3 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 1-1-1 各大洋面积和深度

| 名 称<br>(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,或居于两陆地中间,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(表 1-1-2)。

表 1-1-2 各大洋附属海的面积、容积和深度

| 洋           | 名 称    | 面积<br>$\times 10^3$<br>$\text{km}^2$ | 容积<br>$\times 10^3$<br>$\text{km}^3$ | 深 度      |          | 洋           | 名 称    | 面积<br>$\times 10^3$<br>$\text{km}^2$ | 容积<br>$\times 10^3$<br>$\text{km}^3$ | 深 度      |          |
|-------------|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|-------------|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|
|             |        |                                      |                                      | 平均值<br>m | 最大值<br>m |             |        |                                      |                                      | 平均值<br>m | 最大值<br>m |
| 大<br>西<br>洋 | 巴 芬 湾  | 689                                  | 593                                  | 861      | 2 136    | 太<br>平<br>洋 | 白 令 海  | 2 304                                | 3 683                                | 1 593    | 4 773    |
|             | 哈得逊湾   | 819                                  | 92                                   | 112      | 274      |             | 鄂霍次克海  | 1 590                                | 1 365                                | 859      | 3 657    |
|             | 墨西哥湾   | 1 543                                | 2 332                                | 1 512    | 4 023    |             | 日 本 海  | 978                                  | 1 713                                | 1 752    | 4 036    |
|             | 加勒比海   | 2 754                                | 6 860                                | 2 491    | 7 238    |             | 黄 海    | 417                                  | 17                                   | 40       | 106      |
|             | 波罗的海   | 386                                  | 83                                   | 86       | 459      |             | 东 海    | 752                                  | 263                                  | 349      | 2 717    |
|             | 北 海    | 544                                  | 52                                   | 96       | 433      |             | 南 海    | 3 447                                | 2 928                                | 1 140    | 5 420    |
|             | 比斯开湾   | 194                                  | 332                                  | 1 715    | 5 120    |             | 爪 哇 海  | 480                                  | 22                                   | 45       | 89       |
|             | 地 中 海  | 2 505                                | 3 754                                | 1 493    | 5 092    |             | 苏 禄 海  | 348                                  | 553                                  | 1 591    | 5 119    |
|             | 马尔马拉海  | 11                                   | 4                                    | 357      | 1 355    |             | 苏拉威西海  | 435                                  | 1 583                                | 3 645    | 6 220    |
|             | 黑 海    | 423                                  | 537                                  | 1 271    | 2 245    |             | 巴 厘 海  | 119                                  | 49                                   | 411      | 1 590    |
|             | 亚 速 海  | 38                                   | 0.3                                  | 9        | 13       |             | 佛罗勒斯海  | 121                                  | 222                                  | 1 829    | 5 140    |
|             | 里 海    | 370                                  | 77                                   | 197      | 980      |             | 马鲁古海   | 291                                  | 554                                  | 1 902    | 4 180    |
|             | 咸 海    | 64                                   | 1                                    | 15       | 68       |             | 斯 兰 海  | 187                                  | 227                                  | 1 209    | 5 318    |
|             | 几内亚湾   | 1 533                                | 4 592                                | 2 996    | 6 363    |             | 班 达 海  | 695                                  | 2 129                                | 3 064    | 7 260    |
| 印<br>度<br>洋 | 红 海    | 450                                  | 251                                  | 558      | 2 604    | 北<br>冰<br>洋 | 珊 瑚 海  | 4 791                                | 11 470                               | 2 394    | 9 140    |
|             | 波 斯 湾  | 241                                  | 10                                   | 40       | 104      |             | 阿拉斯加湾  | 1 327                                | 3 226                                | 2 431    | 5 659    |
|             | 阿拉伯海   | 2 683                                | 10 070                               | 2 734    | 5 203    |             | 加利福尼亚湾 | 177                                  | 145                                  | 818      | 3 127    |
|             | 孟加拉湾   | 2 172                                | 5 616                                | 2 586    | 5 258    |             | 格陵兰海   | 1 205                                | 1 740                                | 1 444    | 4 846    |
|             | 安达曼海   | 602                                  | 660                                  | 1 096    | 4 171    |             | 挪 威 海  | 1 383                                | 2 408                                | 1 742    | 3 860    |
|             | 萨 武 海  | 105                                  | 178                                  | 1 701    | 3 470    |             | 巴伦支海   | 1 405                                | 322                                  | 229      | 600      |
|             | 帝 汶 海  | 615                                  | 250                                  | 406      | 3 310    |             | 白 海    | 90                                   | 8                                    | 89       | 330      |
|             | 阿拉弗拉海  | 1 037                                | 204                                  | 197      | 3 680    |             | 喀 拉 海  | 883                                  | 104                                  | 118      | 620      |
|             | 大澳大利亚湾 | 484                                  | 459                                  | 950      | 5 080    |             | 拉普帖夫海  | 650                                  | 338                                  | 519      | 2 980    |
|             |        |                                      |                                      |          |          |             | 东西伯利亚海 | 901                                  | 53                                   | 58       | 155      |
|             |        |                                      |                                      |          |          |             | 楚柯奇海   | 582                                  | 51                                   | 88       | 160      |
|             |        |                                      |                                      |          |          |             | 波弗特海   | 476                                  | 478                                  | 1 004    | 4 683    |

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(表 1-1-3)。

表 1-1-3 世界大洋重要海峡的宽度和深度

| 名 称           | 最小宽度<br>km | 最大深度<br>m | 最小深度<br>m | 名 称           | 最小宽度<br>km | 最大深度<br>m | 最小深度<br>m |
|---------------|------------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|
| 丹 麦 海 峡       | 290        | 2 250     | 113       | 霍 穆 兹 海 峡     | 56         | 219       | 71        |
| 戴 维 斯 海 峡     | 320        | 3 078     | 31        | 马 六 甲 海 峡     | 37         | —         | 25        |
| 哈 得 逊 海 峡     | 95         | 704       | 122       | 新 加 坡 海 峡     | 4.6        | 157       | 22        |
| 佛 罗 里 达 海 峡   | 79         | 2 084     | 128       | 巽 他 海 峡       | 26         | 1 080     | 53        |
| 尤 卡 坦 海 峡     | 194        | 2 779     | 12        | 塔 列 索 夫 海 峡   | 150        | 22        | 5         |
| 德 雷 克 海 峡     | 890        | 5 248     | 80        | 巴 士 海 峡       | 148        | 2 620     | 47        |
| 斯卡格拉克海峡       | 111        | 809       | 29        | 白 令 海 峡       | 86         | 70        | 42        |
| 卡特加特海峡        | 111        | 124       | 26        | 拉 彼 鲁 兹 海 峡   | 43         | 118       | 51        |
| 松 得 海 峡       | 4          | 38        | 8         | 津 轻 海 峡       | 18         | 527       | 131       |
| 大 贝 尔 特 海 峡   | 17         | 58        | 12        | 朝 鲜 海 峡       | 49         | 230       | 130       |
| 小 贝 尔 特 海 峡   | 0.6        | 80        | 13        | ( 朝 鲜 水 道 )   |            |           |           |
| 英 吉 利 海 峡     | 96         | 172       | 35        | 对 · 马 水 道     | 46         | 129       | 115       |
| 多 佛 尔 海 峡     | 33         | 64        | 27        | 台 湾 海 峡       | 130        | 1 680     | 60        |
| 直 布 罗 陀 海 峡   | 14         | 1 181     | 301       | 喀 拉 海 峡       | 50         | 200       | 17        |
| 达 达 尼 尔 海 峡   | 1.3        | 106       | 53        | 维 利 基 茨 基 海 峡 | 57         | 210       | 64        |
| 博 斯 普 鲁 斯 海 峡 | 0.7        | 121       | 33        | 山 尼 柯 夫 海 峡   | 57         | 22        | 8         |
| 刻 赤 海 峡       | 4          | 13        | 5         | 拉 普 帖 夫 海 峡   | 48         | 13        | 7         |
| 曼 得 海 峡       | 27         | 323       | 182       | 朗 加 海 峡       | 145        | 48        | 13        |
| 莫 三 鼻 给 海 峡   | 420        | 3 529     | 18        | 罗 伯 逊 海 峡     | 20         | 473       | 33        |

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。

四、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  $2 \times 10^7$  t 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”,严重地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、北极上空,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高度警觉和重视。

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,而氮的氧化物和碳氢化合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,并通过电视台、电台、报纸等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 年率先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的污染物;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、旅客及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亟待解决的重要课题,受到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 3 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 20 项条款、2 份协议书和 5 份附件组成。现在不论在何处,凡是对 1973 年公约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。

## 思考题与习题

1. 简述大气成分并说明水汽、二氧化碳和臭氧的分布与作用。
2. 简述大气垂直分层概况。