



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

航海类专业精品系列教材

航海气象学与海洋学

张永宁 主编



大连海事大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
航海类专业精品系列教材

航海气象学与海洋学

张永宁 主 编

大连海事大学出版社

©张永宁 2008

图书在版编目(CIP)数据

航海气象学与海洋学 / 张永宁主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 4
(航海类专业精品系列教材)
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-5632-2157-8

I. 航… II. 张… III. ①航海学: 气象学—高等学校—教材②海洋学—高等学校—教材 IV. U675.12 P7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 041119 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮政编码: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连天正华延彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 15.5

字数: 379 千 印数: 1 ~ 3000 册

责任编辑: 陆梅 版式设计: 小月

封面设计: 王艳 责任校对: 史洪源

ISBN 978-7-5632-2157-8 定价: 25.00 元

内容简介

本书是在原《航海气象学与海洋学》的基础上,经总结十余年教学实践经验和广泛征求航运界意见并吸收了最新研究成果,编写完成的。全书共分7章,内容包括气象要素和海洋要素的特征、时空分布及其变化规律,大气运动的基本特征及其规律,船舶水文气象观测,各种天气系统及其天气特征,天气图知识,船舶气象信息的获取和应用,船舶气象导航和世界海洋气候。

本书可作为高等航海院校航海技术专业或其他相关专业的航海气象学教材,也可作为海船船员考证培训的教材或参考书。本书也可供海船驾驶、港口引航、港航管理、海上安全监督、海事仲裁和渔业捕捞等有关人员参考。

前 言

海上运输是交通运输的重要组成部分,在促进外贸运输发展和推动对外贸易增长等方面以其他运输方式不可比拟的优势发挥出越来越重要的作用。

大连海事大学作为我国唯一的国家重点航海类专业院校,多年来为我国乃至国际海上运输业培养了大量的航海类专业高级人才,对促进航运业的发展起到了重要作用。近年来,随着科学技术的进步和交通运输业的发展,学校针对航海类专业的鲜明特色,在人才培养方案、教学内容及课程体系改革等方面进行了一系列的研究和实践。在此基础上,我校组织编写出一套与新的培养方案、教学内容及课程体系相适应的航海类专业精品系列教材,旨在加强航海类专业建设,提高航海类人才培养的质量和水平,进一步推动高等航海教育的发展。

为了保证航海类专业精品系列教材顺利出版,学校在人力、物力和财力等方面予以充分保证。组织校内航海类专业的资深专家、骨干教师和管理干部做了大量工作,从筹备、调研、编写、评审直至正式出版,历时三载有余。2005年5月,学校先后组织召开了两次航海类专业教学改革研讨会,来自交通部海事局、辽宁海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、中国船级社等单位的专家为教材编写的筹备工作提出了中肯的意见和建议。2006年初,教材编写工作正式启动,确定重新编写航海类专业教材22种,其中航海技术专业教材13种、轮机工程专业教材9种。教材编写大纲先后征求了中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司及大连海事大学等单位10多位专家的意见。学校组织教材主要编写人员分赴北京、天津、青岛、上海、广州、武汉及厦门等多家航运企事业单位进行调研,收集了大量的最新技术资料,同时听取了有关领导和专家的意见。2007年我校先后召开了五次评审会,来自交通部海事局、驻英大使馆海事处、中国海事服务中心考试中心、辽宁海事局、山东海事局、中国远洋运输(集团)总公司、中国海运(集团)总公司、大连港引航站、上海海事大学、海军大连舰艇学院、大连水产学院、集美大学、青岛远洋船员学院及大连海事大学等单位的多位专家对22种教材的初稿就内容、文字及体例等方面逐一评审,反复推敲,几易其稿,逐步完善,反复审核,最终正式出版。该套教材中共有16种教材入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

这套航海类专业精品系列教材以履行修订后的STCW公约为前提,结合海上运输业发展的国际性和信息性等特点,以更新教学内容为重点,对原有教材做了大量的增删与修改,注重理论基础及内容阐述的逻辑性和准确性,力求反映国内外航海科技领域的新成就与新知识,适应21世纪海上运输业对航海类人才的知识、能力和素质结构的要求,兼顾各教材内容之间的衔接与整合,避免重复与遗漏。我衷心的希望,通过全体编写人员的不懈努力,这套精品系列教材,能够进一步加强我校航海类专业的建设,为国内兄弟院校航海类专业的发展提供有益的借鉴,为我国高等航海教育发展尽微薄之力。

教材在编写和出版过程中,得到了方方面面领导、专家和同仁的大力支持和热心帮助(具体名单附后)。我谨代表大连海事大学及教材编写全体成员对以上单位和个人致以最诚挚的谢意。各位专家和同仁渊博的专业知识、严谨的治学态度、精益求精的学术风范以及细致入微的工作作风为教材的顺利出版作出了卓越的贡献,在很大程度上可以说,这套教材的成功出版,是全体编写人员,各港航企事业单位的领导、专家和同仁共同努力的成果。

航海类专业精品系列教材的编写是一项繁重而复杂的工作,鉴于时间和人力等方面的因素,这套教材在某些方面还不是十分完善,缺点和不妥之处在所难免,希望同行专家不吝指正。同时,希望以此为契机,吸引更多航海技术领域的专家、学者参与到这项工作中来,为我国航海教育献计献策,为我国乃至国际海上运输事业培养出大量高素质的航海类专业人才。

大连海事大学校长



2008年3月

对教材出版给予大力支持和帮助的单位及个人如下:(以姓氏笔画为序)

于晓利	教授	大连水产学院
于智民	高级船长、高工	中远散货运输有限公司
马文华	高工	大连远洋运输公司
方伟江	轮机长	中海国际船舶管理有限公司上海分公司
王 阳	高工	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
王 健	高工、高级引航员	大连港引航站
王国荣	高级轮机长	中远散货运输有限公司
王征祥	船长	中远集装箱运输有限公司
王新全	高工、总轮机长	中国远洋运输(集团)总公司
车 毅	船长	大连远洋运输公司
叶依群	高级船长	中远散货运输有限公司
田喜林	高工	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
石爱国	教授	海军大连舰艇学院
任辰西	高级船长	中远散货运输有限公司
刘 屹	高工	大连远洋运输公司
刘世长	船长	日照海事局
孙 广	高工	辽宁海事局
安 彬	高级船长	大连远洋运输公司
邢 钺	高工	中远散货运输有限公司
吴 恒	教授、博导	大连海事大学
吴万千	副教授	青岛远洋船员学院
张仁平	教授	驻英大使馆海事处
张文浩	高工	中远散货运输有限公司
张均东	教授、博导	大连海事大学
张秋荣	教授	上海海事大学
李 录	高级轮机长	广州远洋船员管理公司
李志华	副教授	大连海事大学
李忠华	高工	珠海海事局

李恩洪	船长、高工	交通部海事局
李新江	副教授	大连海事大学
杜荣铭	教授	大连海事大学
杨君浩	轮机长	中海国际船舶管理有限公司上海分公司
沈毅	工程师	辽宁海事局
邱文昌	教授	上海海事大学
邱铁卫	高级轮机长	大连远洋运输公司
邵哲平	教授、船长	集美大学
邹文生	高级轮机长	大连远洋运输公司
陈志强	高级轮机长	中远集装箱运输有限公司
陈建锋	高工、高级船长	中远散货运输有限公司
周邱克	高工、高级船长	中海客轮有限公司
房世珍	大副	青岛远洋对外劳务合作有限公司
易金华	指导船长、高级船长	中海国际船舶管理有限公司广州分公司
林长川	教授	集美大学
金松	教授级高工	中国船级社大连分社
金义松	船长、高工	中海国际船舶管理有限公司
姚杰	教授	大连水产学院
姜勇	教授级高工	山东海事局
洪碧光	教授、船长	大连海事大学
赵经文	高工、轮机长	大连远洋运输公司
赵晓玲	副教授	青岛远洋船员学院
赵爱屯	高级船长	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
夏国忠	教授	大连海事大学
徐波	高工	中远集装箱运输有限公司
敖金山	高级船长	枫叶海运有限公司
殷传安	高级轮机长	中海国际船舶管理有限公司大连分公司
郭子瑞	教授	辽宁海事局
郭文生	高级船长	广州远洋船员管理公司
顾剑文	高工	大连国际船员培训中心
崔保东	船长	青岛远洋对外劳务合作有限公司
黄党和	轮机长	中国海事服务中心
蔡振雄	教授	集美大学
魏茂苏	轮机长	青岛远洋对外劳务合作有限公司

编者的话

航海气象学与海洋学是航海技术专业开设的一门专业课,是根据新修订的教学计划和大纲编写的。它是研究大气、海洋的运动变化规律以及海-气相互作用对航海活动的影响,其目的就是“趋利避害”,充分利用有利的天气海洋条件,尽可能避免恶劣的天气和海况,以达到安全、经济航行的目的。随着气象学和海洋学的发展,新的天气和海况实践不断揭示,新的大气和海洋运动规律不断发现,天气分析和预报方法不断更新,船舶获取的天气信息和预报产品越来越多,本书必须进行修编,才能适应航海技术发展的要求。

在这次修编《航海气象学与海洋学》过程中,将全书内容整编为七章。第一章包括气温、气压、湿度、风、云、雾和天气现象等气象要素的特征、时空分布及其变化规律,大气运动的基本特征及其规律和船舶水文气象观测;第二章介绍了海流、海浪、海冰等特征及其变化规律;第三章介绍了气团、锋、温带气旋、冷高压、副热带高压、热带气旋等天气系统的天气特征和演变规律;第四章介绍了天气图的基本知识;第五章介绍了船舶气象信息的获取途径、分析及其应用;第六章介绍了船舶气象导航的概念、安全性、经济效益、法律作用,气象导航制作方法及其使用程序;第七章主要概述了世界各大洋的气候特征。

本书吸收了1999年5月大连海事大学出版社出版的由陈家辉主编的《航海气象学与海洋学》教材的主要精华,在此基础上进行了大的调整、精简、充实和更新。剔除了一些陈旧的内容,纠正了一些历史上长期遗留下来的错误,采纳了天气和海况方面最新的研究成果。本书注重基本概念、演变规律、重要特征和方法的讨论、理解及应用,加强理论联系实际,着力培养学生分析问题和解决实际问题的能力。

本书由大连海事大学航海学院张永宁主编、李志华副主编,由刘大刚主审。全书由张永宁、李志华统稿。王辉编写第一章第一节至第六节,陈利雄编写第一章第七节至第九节,高超编写第一章第十节,冷梅编写第二章,张永宁编写第三章、第四章和第七章,李志华编写绪论、第五章和第六章。

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:海军大连舰艇学院石爱国,交通部海事局船员处李恩宏,上海海事大学张秋荣,集美大学航海学院邵哲平,中海客轮有限公司周邱克,大连水产学院姚杰,大连远洋运输公司赵经文,辽宁海事局郭子瑞,大连海事大学航海学院夏国忠,青岛远洋船员学院黄磊。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,白春江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

2007年12月

目 录

绪论	(1)
第一章 气象学基础知识	(3)
第一节 大气概况	(3)
第二节 气温	(6)
第三节 气压	(12)
第四节 空气水平运动—风	(18)
第五节 大气环流	(34)
第六节 大气湿度	(45)
第七节 空气的垂直运动和大气稳定度	(48)
第八节 云和降水	(53)
第九节 雾和能见度	(59)
第十节 船舶海洋水文气象观测	(66)
第二章 海洋学基本知识	(76)
第一节 海洋概况	(76)
第二节 海流	(78)
第三节 海浪	(87)
第四节 海温和海冰	(94)
第三章 天气系统及其天气特征	(101)
第一节 气团和锋	(101)
第二节 锋面气旋	(111)
第三节 冷高压	(121)
第四节 副热带高压	(126)
第五节 热带气旋	(130)
第六节 西风带高空天气系统	(150)
第七节 热带辐合带、东风波、热带云团	(154)
第八节 中小尺度天气系统	(157)
第四章 天气图基础知识	(163)
第一节 天气图的一般知识	(163)
第二节 地面天气图	(165)
第三节 高空天气图	(169)
第四节 低纬流线图	(172)
第五章 船舶气象信息的获取和应用	(174)
第一节 船舶获取气象信息的途径	(174)
第二节 船舶分析和应用气象信息	(177)

第三节	天气预报的基本方法	(199)
第六章	船舶气象导航	(203)
第一节	概述	(203)
第二节	气象航线和气候航线	(203)
第三节	气象导航的安全性与经济效益	(205)
第四节	影响船舶运动的海洋环境因素	(207)
第五节	气象导航优选航线方法简介	(209)
第六节	船舶气象导航服务程序	(211)
第七节	船舶使用气象导航程序及注意事项	(214)
第八节	船舶自行气象导航	(216)
第七章	世界海洋气候	(220)
第一节	太平洋气候特征	(220)
第二节	大西洋气候特征	(223)
第三节	印度洋气候特征	(225)
第四节	中国近海气候特征	(228)
附录	常用航海气候资料	(233)
参考文献	(234)

绪 论

气象学是研究发生在大气中的各物理现象和物理过程及其变化规律的科学。气象学的研究对象主要是覆盖地球的大气层,它是人类赖以生存的自然环境,与人类的活动和生息关系极为密切。同时,人类在生产和生活过程中,也在不断地影响着自然环境,因而对大气产生重要影响。正确认识大气活动的规律,不断提高天气和气候变化预测能力,为防灾减灾服务,是本学科的主要任务。随着科学技术和生产的迅速发展,气象学在国民经济和社会生产中的巨大作用日益显著,涉及领域也越发宽广,人们根据对气象学的不同需求,已分门别类地形成了许多各自独立的应用气象学:如工业气象学、农业气象学、林业气象学、军事气象学、医疗气象学、航空气象学和航海气象学等。

海上的一切活动都离不开大气和海洋,因此,航行在海洋上的船舶,必然要受到天气和海洋条件的影响和制约。特别是恶劣的天气系统,如台风(飓风)、温带气旋、寒潮冷高压、浓雾和强对流性天气等,常常造成大范围的恶劣天气和海况,从而导致船损、货损,甚至发生严重海难事故,危及海上的船舶安全。因为,海上活动的成功与否,很大程度上取决于海洋环境条件。所以,天气和海洋是海上工作人员唯一无法加以控制却具有决定意义的因素。

航海气象学与海洋学是研究大气和海洋的运动变化规律及其与航海活动之间相互关系的实用性科学,它是将气象学与海洋学应用于航海实践之中,是介于气象学、海洋学和航海学之间的边缘学科。它的产生和发展一开始就与避免或防止海难联系在一起,其发展经历了一个漫长的实践过程。远在独木舟航海时代,人类就注意到气象条件对出航时间和航行海域的影响。帆船时代,人们已能利用风作为海上航行的动力。15世纪末,航海者们掌握了信风的规律,商船就利用这种稳定风向和风速的信风进行海上贸易,故称贸易风。17世纪,气压计在海上的应用使人们能够根据气压的变化来预测风暴的来临。1805年,英国人蒲福根据风对地面和海面物体影响程度,拟定出风力等级表(蒲福风级表)。人们在海上实践中,发现了很多大自然的奥秘,也从中找出了许多有规律性的自然现象。随着科学的发展以及人们对自然界认识的提高,大气环流理论的产生,科学地划分了全球气压带和风带的分布,同时根据大气环流的理论得出了大洋洋流的环流模式。气象学和海洋学理论的发展推动了航海技术的进步。

19世纪初期,人们根据航海实践中积累的气候、海洋资料,编制了用于指导大洋航行的各种航海气候图书。1938年美国天气局出版了全球范围的《海洋气候图集》。同时,天气图和无线电报问世,大量的气象海洋信息资料和观测仪器在航海中得到了应用,并成为航线设计和制定航行计划的主要依据。随着航海事业的发展 and 气象、海洋理论研究的不断完善,航海者据此设计出适用于不同季节航行的气候航线(又称习惯航线),用来指导海上船舶的航行,促进了航海技术的迅速发展。

20世纪50年代,海上气象观测、气象信息传输、海洋天气预报等,都有了飞跃的发展,气象传真图和卫星云图在航海上得到了广泛的应用,使得天气和海洋信息资料更加详尽完善,习惯的季节性气候航线已满足不了现代化航海的需求,一门新兴的现代航海技术——海洋船舶气象导航诞生了。气象导航是气象学与海洋学在航海上的重要应用,也是航海气象学与海洋

学的重要发展。气象导航是根据较准确的短、中期及有效的长期天气和海洋预报,结合船舶性能、装载特点等,为横渡大洋的船舶选择的最佳天气航线。航行中气象导航公司跟踪被导船舶,利用不断更新的天气和海况资料修正航线,指导船舶安全、经济航行的现代航海技术。其安全性和经济效益已被大量的实践证实,目前,已被全球航运界广泛采用。

现代航海气象学与海洋学研究的主要课题是在天气和海洋条件下,如何保障海上船舶安全经济航行。在海上,影响船舶航行安全的海洋环境因素很多,其中风和浪是重要因素之一,狂风巨浪会引起船舶横摇、纵摇和垂荡运动。当船舶的横摇周期与波浪周期接近时,会使船舶的横摇振幅骤增,产生谐摇,严重时可导致船舶的倾覆。剧烈的纵摇和垂荡会使船舶产生一系列的如拍底、甲板上浪、失速、尾淹、推进器空转和稳性下降等危险现象,极大地危及船舶安全。海雾是造成海上船舶触礁、碰撞、搁浅等事故的主要因素,尽管现代化的船舶上配有良好的助航仪器和导航设备,但雾中发生的海事仍很多。据资料统计,在多雾的海域,船舶因能见度不良而发生的海事约占60%~70%之多。海流影响船舶航速又影响航迹,使船舶偏离航线危及航行安全,正确利用海流能使船舶增加航速、节省燃料,获取较大的经济效益。海冰和冰山是高纬海区航行的巨大威胁,历史上曾经发生许多次冰海沉船的海难事件。1912年英国豪华客轮“泰坦尼克”号就因在北大西洋撞冰山而沉没,导致船上千余人丧生。因此,可以说“天气不是我们的朋友,就是我们的敌人”。上述影响船舶航行的海洋环境因素,是船舶选择确定航线和制定航行计划的重要依据。一个优秀的航海者必须懂得如何避免不利天气和海况,充分利用有利的天气和海洋条件,以达到安全、经济航行之目的。在现代航海中,航海气象学和海洋学已日益显现出其重要价值和地位,也是航海院校海洋船舶驾驶专业学生必修的主干课程。根据国际STCW78/95公约和中华人民共和国海事局要求,对于海上船舶处理和应对恶劣天气及海况的能力,已经成为衡量一名优秀船舶驾驶人员业务水平的重要标准之一。

本课程的宗旨是通过学习使学生掌握必备的海洋气象学基本理论知识、海洋气象观测方法、海洋气象资料的获取途径及其气象传真图分析与预报产品的应用技能,进一步拓宽学生对大气和海洋的了解和认知,掌握大气和海洋活动演变的基本规律。培养学生识别、分析和判断海上天气的能力,使之在海上的实践中充分做到趋利避害,保障海上生产安全。同时坚定学生热爱海洋、热爱专业的信心,增强保护大气和海洋环境的意识。

第一章 气象学基础知识

气象学是研究发生在大气中的各种天气、气候现象及其演变规律与预报、预测理论和方法的学科。随着科学技术的迅速发展,气象学在国民经济和社会生产中的巨大作用日益显著,其涉及领域也越发宽广。大气过程既可带来阳光雨露造福人类,也可造成酷暑严寒,带来旱涝风雹等灾害,直接影响人类的生产、生活和生命安全。人类在生产和生活过程中,也不断地影响着自然环境,进而也对大气产生重要影响。

气温、气压、风、湿度、云、雾、能见度等,都是表征大气状态的物理量或物理现象,统称为气象要素。天气是一定区域在较短时间内各种气象要素的综合表现。气候则是某一区域30年及以上天气状况的平均值及其极值。可以说,天气表示大气的瞬时状态,而气候则表示大气长时间统计的平均结果。因此,要了解天气变化和气候规律,必须先研究气象要素。本章涉及的气象学基础知识包括:(1)大气的特性和状态;(2)气象要素的特征、时空分布及其变化规律;(3)大气运动的基本特征及其规律;(4)船舶水文气象观测。

第一节 大气概况

包围地球表面的整个空气称为大气层,简称大气(atmosphere)。在大气中存在着各种物理过程(如增热、冷却、凝结、蒸发等)和各种物理现象(如风、云、雾、雨等),它们都与大气本身的性质密切相关。因此本节主要介绍大气的成分、密度、结构和物理性质。

一、大气成分(atmospheric composition)

大气是由多种混合气体、水汽及浮悬其中的液态和固态杂质组成的。通常将大气中除水汽和杂质以外的混合气体称为干洁空气或干空气(dry air)。干空气中氮(78.09%)、氧(20.95%)和氩(0.93%)三者合占大气总体积的99.97%,二氧化碳占0.03%,其他气体(氢、氦、氖、氫、氙、臭氧等)含量甚微。在90 km高度以下,除二氧化碳、臭氧等易变气体外,干洁空气主要成分含量的比例基本上保持不变,可以把干洁空气当成分子量为28.97的“单一成分”来处理。空气在自然界的温度和压力下呈气体状态,而且在标准条件(气压1 013.25 hPa,温度0℃)下,空气密度约为1.293 kg/m³,大气的总质量为5.3 × 10¹⁸ kg。大气是可压缩气体,大气密度随高度增加而迅速减少。观测表明,10 km以内集中了75%的大气质量,35 km以下则集中了99%的大气质量。

在大气成分中,氮气和氧气成分对大气温度的变化影响不大,而含量稀少的二氧化碳、臭氧和水汽是影响大气温度分布及其天气、气候变化的主要成分。

大气中的二氧化碳(carbon dioxide)、甲烷、一氧化二氮等都是温室气体,它们对太阳短波辐射吸收甚少,对地面和大气长波辐射强烈吸收,同时又向周围空气和地面放射长波辐射,对地面和大气的温度分布有重要影响,类似温室效应,直接影响气候变迁。观测证明,由于人类活动,近数十年来这些温室气体的含量都有与年俱增的趋势,从而导致气候变暖。在大气中二氧化碳平均含量约为0.03%,若达到0.2%~0.6%,会对人体有害。二氧化碳的含量城市多

于农村,夏季多于冬季,室内多于室外。

大气中的臭氧主要是由于在太阳短波辐射下,通过光化学作用,氧分子分解为氧原子后再与另外的氧分子结合而形成。臭氧在大气中的分布是随高度、纬度等的不同而变化的,在近地面层臭氧含量很少,从 10 km 高度开始逐渐增加,在 20~40 km 高度处达最大值,再往上则逐渐减少,到 55 km 高度上含量极少。因此,通常把臭氧集中的 20~40 km 气层称为臭氧层 (ozonosphere)。臭氧能强烈吸收太阳紫外线,使臭氧层增暖,影响大气温度的垂直分布,从而对地球大气环流和气候的形成起着重要的作用。同时,臭氧层是一个“保护层”,使人类和动物、植物免受太阳紫外线的伤害。观测表明,近年来大气平流层中的臭氧有减少的现象,尤以南极最为明显,出现“臭氧空洞”。据研究,臭氧减少或臭氧层的破坏与人为排放氟、氯烃等气体成分有关。

大气中的水汽 (vapour) 来自江、河、湖、海及潮湿物体表面的水分蒸发和植物的蒸腾,并借助空气的垂直交换向上输送。通常把含水汽的空气叫做湿空气 (wet air),在同一气压和温度下,湿空气密度只有干空气的 62.2%。空气中的水汽含量占大气的 4%,具有明显的时空变化,一般夏季多于冬季,白天多于夜间,低纬多于高纬。在垂直方向上,空气中的水汽含量随高度的增加而迅速减少。观测表明,在 1.5~2 km 高度上,空气中水汽含量只有地面的一半;在 5 km 高度上,约为地面的 1/10;再向上水汽含量就更少。

大气中水汽含量虽不多,但它却是天气变化的一个重要因素。水汽具有固、气、液三态,是常温下发生相变的唯一大气成分,也是造成云、雨、雪、雾等现象的主要物质来源。水汽能强烈地吸收和放出长波辐射,并在相变过程中吸收和放出潜能,对大气运动的能量转换、地面和大气温度的变化都有重要的影响。

此外,大气中还悬浮着多种固体微粒和液体微粒,统称大气气溶胶粒子或杂质。这些杂质,在水汽相变过程中,成为水汽凝结的核心,对云、雨、雾的形成起重要作用。同时固体微粒能散射、漫射和吸收一部分太阳辐射,也能减少地面长波辐射的外逸,对地面和空气温度有一定影响,并会使大气的能见度变坏。液体微粒常聚集在一起,以云、雾等形式出现,不仅使能见度变坏,还能减弱太阳辐射和地面辐射,对天气气候有很大的影响。

大气污染 (atmosphere pollution) 是由于人类活动使局部甚至全球大气成分发生变化而危害人类和动植物的生存环境的事件。二氧化碳含量的逐年增加引起全球天气和气候的异常变化;二氧化硫在臭氧的作用下引起有害的酸雨;氮氧化物和碳氢化合物在太阳紫外线的照射下产生有毒的光化学烟雾。

二、大气垂直结构

大气的底界是地球表面,又称为下垫面,但其顶界是模糊的,地球大气和星际气体之间不存在一个截然的界面把它们分开,而是逐渐过渡的。为了实际上的应用,仍可将大气划定一个大致の上界。一种是根据大气中极光出现的最大高度,作为大气的物理上界,高度约为 1 000~1 200 km;另一种是以大气密度接近星际气体密度的高度作为大气上界的标准,按卫星探测资料,大气上界约在 2 000~3 000 km 高度处。

大气在垂直方向上的温度、成分、气流状况和电离现象等有显著差异,根据不同高度气层的特点,特别是气温的垂直分布,可从地面到大气上界将大气层分为五层(如图 1-1 所示),依次为对流层、平流层、中间层、热层和逸散层。

1. 对流层(troposphere)

大气的最低层称为对流层。对流层的下界为地面,上界随纬度和季节变化,平均厚度为10~12 km。通常在高纬度为6~8 km,中纬度10~12 km,低纬度17~18 km。夏季对流层的厚度比冬季高。对流层集中了大气质量的80%和全部水汽,大气中几乎所有的物理和化学过程都发生在该层。空气通过对流和湍流运动,高、低层的空气进行交换,使近地面的热量、水汽、杂质等易于向上输送,对云、雾、雨、雪等主要大气现象的形成有重要的作用。

对流层有三个主要特征:

(1)气温随高度增加而降低:在对流层中,气温随高度增加而降低,其量值因所在地区、高度和季节等因素而异。平均而言,高度每增加100 m,气温则下降约0.65 °C,这称为气温直减率,也叫气温垂直梯度,通常以 γ 表示

$$\gamma = \frac{dt}{dz} = 0.65 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m} \quad (1-1)$$

(2)具有强烈的对流和湍流运动:由于地表面的不均匀加热,产生垂直对流运动和湍流运动。对流和湍流运动的强度主要随纬度和季节的变化而不同,一般低纬度较强,高纬度较弱,夏季较强,冬季较弱。

(3)气象要素水平分布不均匀:由于对流层受地表面的影响最大,而地表面有海陆差异、地形起伏等,因此在对流层中,温度、湿度等的水平分布是不均匀的。

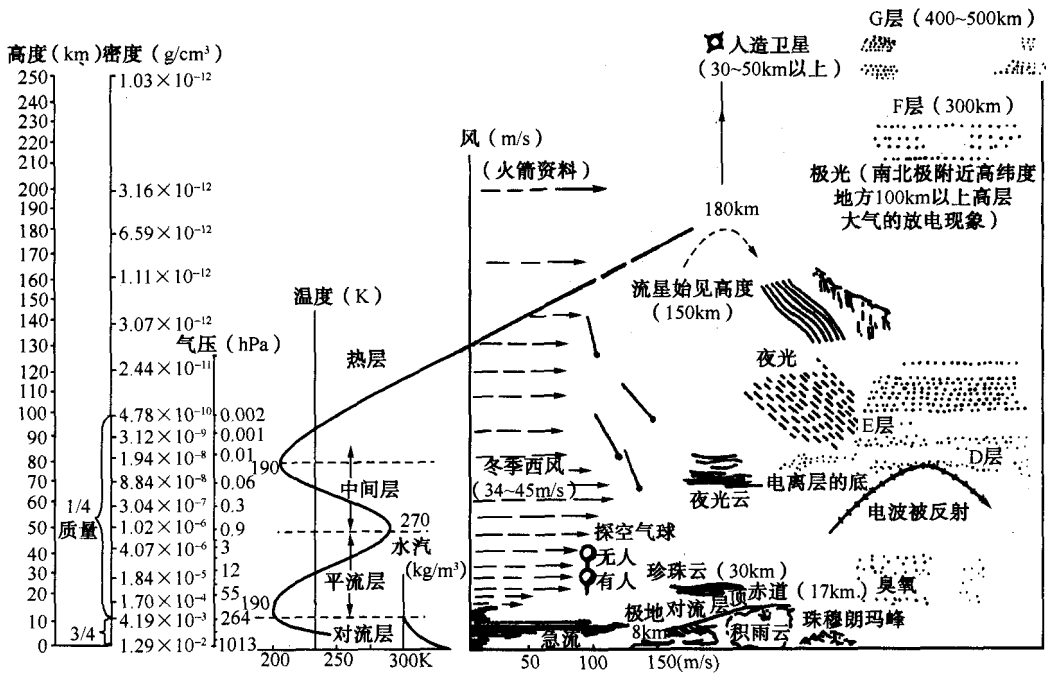


图 1-1 大气的垂直结构

根据大气运动的不同特征又可以将对流层分为摩擦层(friction layer)和自由大气(free atmosphere)。摩擦层(又称行星边界层)的范围一般从地面到1~1.5 km高度,其厚度夏季高于冬季,白天高于夜间,大风和扰动强烈的天气高于平稳天气。湍流输送是该层的基本运动特点,各种气象要素都有明显的日变化。在这一层中,水汽、杂质含量多,因而低云、雾、霾、浮尘

等出现频繁。摩擦层以上的大气层称为自由大气。在自由大气中,地球表面的摩擦作用可以忽略不计,大气运动规律显得比较简单和清晰。自由大气的基本运动形式是层流,气流多波状系统。

在对流层的最上层存在一个厚度为1~2 km的过渡层,称为对流层顶。在对流层顶,气温随高度的增加而降低缓慢,或者几乎不变,成为上下等温。

2. 平流层(stratosphere)

自对流层顶到大约55 km高度之间的气层称为平流层。该层中气流主要以水平运动为主,故得名平流层。平流层的特点包括:(1)空气的垂直运动比较弱,主要是水平运动;(2)水汽含量少;(3)气温随高度升高而递增(最初等温,到20~40 km气温突增,主要是臭氧吸收太阳紫外线所致);(4)气层稳定利于飞机飞行。

3. 中间层(mesosphere)

从平流层顶到85 km高空的气层称为中间层。在中间层几乎没有臭氧,来自太阳辐射的大量紫外线直接穿过这层大气,气温随高度的增加而下降得很快,到顶部气温已下降到-83℃以下。由于下层气温比上层高,有利于空气的垂直对流运动,故又称之为高空对流层。中间层顶部尚有水汽存在,出现很薄且发光的“夜光云”,称为极光。在夏季的夜晚,高纬度地区偶尔能见到这种绚丽多彩的极光现象。

4. 热层(thermosphere)

从中间层顶部到800 km的高空,称为热(暖)层,又叫电离层。热层中空气密度很小,在700 km厚的气层中,只含有大气总重量的0.5%。热层里的气温很高,据人造卫星观测,在300 km高度上,气温高达1 000℃以上。热层特点:(1)气温随高度迅速增加;(2)空气处于高度电离状态,又称电离层。

5. 逸散层(exosphere)

热层顶以上的大气统称为逸散层,又叫外层。它是大气的最高层,高度最高可达到3 000 km。这一层气温随高度增加而升高,空气十分稀薄,受地球引力场的约束很弱,一些高速运动着的空气分子可以挣脱地球的引力和其他分子的阻力逃逸到宇宙空间中去。根据宇宙火箭探测资料表明,地球大气圈之外,还有一层极其稀薄的电离气体,其高度可伸延到22 000 km的高空,称之为地冕。地冕也就是地球大气向宇宙空间的过渡区域。

思考题

1. 何谓气象要素、天气和气候?指出三者之间的区别与联系。
2. 简述大气成分中水汽、二氧化碳和臭氧的分布与作用。
3. 对流层具有哪些特征?对流层厚度如何变化?

第二节 气温

气温是大气重要的状态参数之一,也是日常天气预报的主要指标。由于温度与气压及风之间存在着相互制约的内在联系,温度的变化必然引起气压和风的变化,进而引起天气的变化。此外,气温的分布和变化还与大气稳定度以及云、雾、降水等天气现象密切相关。因此,掌握气温的变化规律,对天气分析和预报都具有重要作用。

一、气温的定义和温标

气温(air temperature)是用来表示空气冷热程度的物理量。空气的冷热程度,实质上是反映空气分子运动的平均动能。当空气获得热量时,其分子运动的平均速度增大,平均动能增加,气温升高。反之当空气失去热量时,其分子运动平均速度减小,平均动能减少,气温降低。

大气中的温度一般以百叶箱中干球温度为代表,温度的数值表示法称为温标。目前我国采用摄氏温标($^{\circ}\text{C}$)和绝对温标(K)。摄氏温标以气压为 1 013.25 hPa 时,纯水的冰点为 0°C ,沸点为 100°C 。在理论研究上常用绝对温标,其零度值等于摄氏 -273.15°C ,称为“绝对零度”。两种温标之间的换算关系为

$$T = t + 273 \quad (1-2)$$

式中, T 表示绝对温度, t 表示摄氏温度。

一些欧美国家使用华氏温标($^{\circ}\text{F}$)。华氏温标将纯水的冰点定为 32°F ,沸点定为 212°F 。华氏温标和摄氏温标之间的关系为

$$t = \frac{5}{9}(F - 32) \quad (1-3)$$

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

二、太阳、地面和大气辐射

自然界中温度高于绝对零度的任何物体,都在时刻不停地以电磁波的形式向四周放射能量,同时也接收着周围射来的电磁波,这种传递能量的方式称为辐射。电磁波作为一种电场和磁场相互作用的交变波动,一般用频率、波长、波数和波速来描述。不同波长和频率的电磁波具有不同的物理性质,因此根据波长和频率来划分电磁波,并给以不同名称,称之为电磁波谱。电磁波的波段从波长短的一侧开始,依次叫做 γ (伽玛)射线、 x (艾克斯)射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波(如图 1-2 所示)。研究表明:物体的温度越高,辐射能力越强,辐射波长越短;温度越低,辐射能力越弱,辐射波长越长。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他物体放射的辐射能并转变为内能而使本身的温度增高。

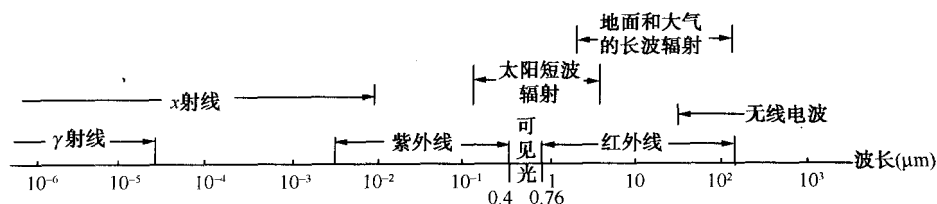


图 1-2 各种辐射的波长范围

1. 太阳、地面和大气辐射

太阳是一个巨大的火球,表面温度约 $6\,000\text{ K}$,直径约 $1.3\,914 \times 10^6\text{ km}$,约为地球直径的 104 倍,它离地球的平均距离为 $1.459 \times 10^8\text{ km}$ 。太阳辐射是地球表面和大气唯一的能量来源。太阳辐射通常以太阳常数、太阳光谱和太阳辐射到达地面后的吸收光谱来描述。所谓太阳常数是指不考虑大气,在平均日地距离处,垂直于太阳入射表面的单位面积上接收的太阳辐射照度。太阳辐射的主要能量集中在波长 $0.15 \sim 4\ \mu\text{m}$ 范围内,气象上称为短波辐射(如图 1-2 所示)。

地面和大气温度约为 300 K ,比太阳表面温度低得多,辐射能量弱,主要是红外辐射。