



中国气象局气象干部培训学院
基层台站气象业务系列培训教材

丛书主编：高学浩

气候与气候变化 基础知识

主编 肖子牛



中国气象局气象干部培训学院
基层台站气象业务系列培训教材

气候与气候变化基础知识

主 编 肖子牛

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书为基层台站气象业务系列培训教材之一,全书共9章内容,简明易懂地讲述了气候和气候变化方面的基础知识。本书首先讲述了有关气候和气候系统的一些基本概念,重点介绍了气候系统中的物理过程,包括东亚季风及其与中国气候的关系,然后从观测、预估、不确定性、应对政策等角度讲述了气候变化基础知识,最后从气候系统监测、短期气候预测、气候影响评价等方面介绍了目前我国主要的气候基础业务,并结合基层气象台站实际情况,详细介绍了基层气候与气候变化业务。

图书在版编目(CIP)数据

气候与气候变化基础知识/肖子牛主编. —北京:气象出版社,2014.2

基层台站气象业务系列培训教材

ISBN 978-7-5029-5879-4

I. ①气… II. ①肖… III. ①气候变化-技术培训-教材

IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 022281 号

气候与气候变化基础知识

肖子牛 主编

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街46号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:张 斌 杨柳妮

封面设计:燕 彤

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:336千字

版 次:2014年2月第1版

定 价:40.00元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

印 张:13.25

彩 插:2

印 次:2014年2月第1次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

总 序

《国务院关于加快气象事业发展的若干意见》(国发〔2006〕3号)提出,要按照“一流装备、一流技术、一流人才、一流台站”的要求,以增强防灾减灾能力、保护人民群众生命财产安全以及满足气候变化国家应对需求为核心,为构建社会主义和谐社会、全面建设小康社会提供一流的气象服务,实现全社会气象事业的协调发展。

基层气象台站是气象工作的基础。中国气象局党组历来高度重视基层气象台站的建设,并始终将其摆在全局工作的重要位置,特别是进入新世纪以来,中国气象局党组强化领导,科学规划,大力推进,不断完善利于基层气象台站发展的政策措施,不断改善基层气象台站的发展环境,不断加大对基层气象台站发展的投入力度,基层气象台站建设取得了明显成效。例如,气象现代化装备和技术在基层气象台站得到广泛应用,气象观测能力显著提高,气象服务能力和效益显著提高,气象队伍素质显著提高,台站工作生活环境和条件显著提高,在保障地方经济社会发展中作用显著提高,地方党委、政府对气象工作的认识也显著提高。可以说,基层气象台站发展面临的形势和机遇前所未有,挑战和任务也前所未有。与经济社会发展对气象预报服务越来越多的需求相比,基层气象台站的气象预报服务能力和水平还难以适应,差距较大,特别是气象服务能力和气象队伍整体素质不适应的问题越来越突出。为此,中国气象局从2009年起开展了全国气象部门县级局局长的轮训,力图使他们通过培训,能够以创新的思维和求真务实的作风,破解基层气象台站建设与发展中遇到的难题,这样轮训的实际效果超出了预期。

做好基层气象工作,推进一流台站建设,既要有一支政治素质和业务素质高的领导干部队伍,也要有一支踏实肯干、敬业爱岗、业务素质高的气象业务服务队伍,这是新时期加强基层气象工作、夯实气象事业发展基础的必然要求。为此,中国气象局气象干部培训学院组织有关教师和业务一线专家,从基层气象台站实际出发,以建设现代气象业务和一流台站的要求为目标,编写了《基层台站气象业务

系列培训教材》。这套教材涵盖了地、县级气象业务服务工作领域,体现“面向生产、面向民生、面向决策”的气象服务要求。我相信,这套教材的编写、出版,将会受到广大基层气象台站工作者的广泛欢迎。我希望,各地气象部门要充分利用好这套教材,通过面授、远程培训等方式,做好基层气象工作者的学习培训工作。我也借此机会,向为这套教材的编写、出版付出努力的专家学者和编辑人员表示衷心的感谢。

郑国光

2010年12月于北京

丛书前言

基层气象工作是整个气象工作的基础,是发展现代气象业务的重要基石。抓基层、打基础是建设中国特色气象事业、实现“四个一流”建设目标的重要任务。基层气象台站承担着繁重的气象业务、服务和管理任务,是气象科技转化成防灾减灾效益的前沿阵地。

全国气象部门现有 2435 个县级基层台站、14050 个乡村信息服务站,36% 的在编职工、45% 的编外人员和 37.5 万气象信息员工作在基层,努力提高基层人才队伍综合素质是当前和今后一段时期气象教育培训面临的一项重要而紧迫的任务。为了全面开展面向基层台站人员的培训工作,加快提高基层台站人员的总体素质,我们根据现代气象业务体系建设对基层气象台站业务服务和管理的总体要求,组织编写了《基层台站气象业务系列培训教材》。

这套教材立足于为基层职工奠定扎实的气象业务理论基础和技术基础,全面提升基层职工岗位业务能力,内容涵盖了地、县级气象业务的主要领域,包括综合观测、分析预测、应用气象、气候变化、气象服务、人工影响天气、雷电灾害防御、信息技术、装备保障、综合管理和气象科普等。教材的编写遵循针对性、实用性、先进性和扩展性的原则,尽可能为基层气象台站人员的学习或省级培训机构培训提供一套实用的系列培训参考教材。

《基层台站气象业务系列培训教材》共分 16 册,分别是《地面气象观测》、《高空气象探测》、《天气雷达探测与应用》、《卫星遥感应应用》、《天气预报技术与方法》、《雷电防护技术及其应用》、《人工影响天气技术与管理》、《农业气象业务》、《气候与气候变化基础知识》、《气候影响评价》、《气象灾害风险评估与区划》、《风能太阳能开发利用》、《基层台站气象服务》、《气象台站信息技术应用》、《台站气象装备保障》和《县级气象局综合管理》。这套系列培训教材计划用两年左右时间完成,并将随着现代气象业务技术的不断发展随时进行修订和补充。

这套系列教材的编写凝聚了多方的智慧,各省级气象部门、相关高等院校及气象行业的专家、学者以及众多气象部门的领导参加了该套教材的编写与审定工

作,《基层台站气象业务系列培训教材》编委会办公室做了大量细致的组织工作,在此,我对他们为此付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。由于开展这项工作尚属首次,难免存在不尽如人意之处,诚挚地欢迎大家提出宝贵意见!

高学浩

2010年12月于北京

前 言

气候是人类生产、生活的重要环境条件。理解和把握气候形成、分布和演变规律,及其与其他不同自然因子、人类活动的关系,可以帮助人类更好地认识自身生存环境、适应气候变化。由于气候变化对农业、生态、水资源、人类健康等都有重要的影响,甚至关乎经济社会的可持续发展和人类生存,气候变化不再是单纯的自然环境问题,其已成为涉及环境、科技、经济、政治和外交等多学科领域交叉的综合性重大战略问题,是当今社会关注的焦点。

气候与气候变化是气象业务的重要组成部分,相关业务服务在基层气象部门也广泛开展,包括气候监测业务、气候咨询服务、气候决策服务等。基层气象部门虽然从研究层面上涉及气候与气候变化问题较少,但在业务服务工作中也非常需要了解和掌握气候与气候变化的基础知识。

目前,介绍气候与气候变化知识的书籍较多,但就阅读对象而言,大多针对高等院校、研究机构的学生、教师、科研人员,或省级以上气象业务部门具有相关专业背景的业务人员。如何针对基层气象部门业务人员,编写一本难易程度恰当、针对性较强,并且具有一定实用性的气候与气候变化教材,是编写本书的出发点。

《气候与气候变化基础知识》本着概念简明准确、内容通俗易懂的原则,希望能编写成为一本提供给基层职工学习气候与气候变化知识的参考书,也可以作为基层台站大规模培训的业务教材。本书从基本概念入手,介绍了气候和气候变化的基础知识,包括基本概念、基本理论、观测事实以及相关的业务工作。全书共9章内容,首先讲述了有关气候和气候系统的基本概念,重点介绍了气候系统中的物理过程,包括东亚季风及其与中国气候的关系,然后从观测、预估、不确定性、应对政策等角度讲述了气候变化基础知识,最后从气候系统监测、短期气候预测、气候影响评价等方面介绍了目前我国主要的气候基础业务,并结合基层气象台站实际情况,详细介绍了基层气候与气候变化业务。

本书由中国气象局气象干部培训学院组织编写并承担主要的编写工作,肖子

牛、邹立尧、宋燕、钟琦、胡宜昌、朱玉祥、杨萍、李宏毅、王启光、王冀、郭军等同志参加编写。全书由肖子牛、邹立尧、胡宜昌负责统稿。在全书编写过程中,有关专家对编写内容提出了很多宝贵意见,《基层台站气象业务系列培训教材》编委会办公室给予了大力支持,彭茹、胡宜昌为本册教材的编写做了大量的组织协调工作,在此对他们付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请广大专家和读者批评指正。

编者

2013年8月

目 录

总序

丛书前言

前言

第1章 概 述	(1)
1.1 气候和气候系统	(1)
1.2 气候异常	(6)
1.3 气候变化	(7)
复习思考题	(13)
第2章 气候系统中的物理过程	(14)
2.1 气候系统辐射平衡	(14)
2.2 气候系统各圈层相互作用及其变率	(18)
2.3 气候系统内部变率	(23)
2.4 气候系统观测	(28)
复习思考题	(32)
第3章 东亚季风与中国气候	(33)
3.1 东亚季风区域定义	(33)
3.2 东亚季风环流系统	(34)
3.3 东亚季风对中国气候的影响	(41)
复习思考题	(47)
第4章 极端事件与气候灾害	(48)
4.1 极端事件	(48)
4.2 极端事件演变特征	(50)
4.3 极端事件的影响与气候灾害	(53)
复习思考题	(57)
第5章 气候变化的观测事实及其影响	(59)
5.1 全球气候变化	(59)
5.2 中国气候变化	(62)
5.3 气候变化对农业的影响	(70)
5.4 气候变化的其他影响	(72)
复习思考题	(75)

第 6 章 气候变化的原因、预估和不确定性问题	(76)
6.1 气候变化的原因.....	(76)
6.2 气候变化预估.....	(81)
6.3 气候变化的不确定性.....	(88)
复习思考题	(91)
第 7 章 减缓和适应气候变化	(93)
7.1 应对气候变化的内涵.....	(93)
7.2 国际社会应对气候变化的历程.....	(94)
7.3 中国应对全球气候变化战略	(101)
7.4 适应气候变化	(104)
7.5 减缓气候变化	(107)
复习思考题.....	(112)
第 8 章 气候基础业务	(113)
8.1 气候业务的需求和内容	(113)
8.2 气候系统的监测与诊断	(115)
8.3 短期气候预测	(121)
8.4 气候影响评价	(127)
8.5 气候应用与服务	(129)
8.6 气候业务的布局 and 流程	(136)
复习思考题.....	(138)
第 9 章 基层气候与气候变化业务	(140)
9.1 市(县)级气候监测业务	(140)
9.2 市(县)级气候咨询服务	(160)
9.3 市(县)级农业气象服务	(167)
9.4 市(县)级气候决策服务材料	(173)
复习思考题.....	(175)
参考文献	(177)
附录 1	(186)
附录 2	(188)
附录 3	(190)
附录 4	(194)

第1章 概述

学习要点

本章介绍了气候、气候系统、气候变化和气候变异等基本概念;概述了地球气候演变的过程;并分别从自然因子强迫、气候系统内部因子变率和人类活动强迫的角度简述了它们对不同时间尺度气候变化的影响。学习要点如下:

- (1)了解大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈的基本属性和主要相互作用,掌握气候系统和气候变化的内涵。
- (2)了解地球气候演变的主要时间尺度,理解近百年气候变暖的主要证据。
- (3)了解气候变化的可能原因,及其作用的主要时间尺度和空间尺度。

1.1 气候和气候系统

1.1.1 气候

气候是一个地方天气要素(气温、气压、降水等)的多年平均状况,是较长时间内天气特征的综合,主要反映某一地区冷、暖、干、湿等基本特征,一些天气现象的概率分布和极端值也都属于气候范畴。因此,气候通常指较长时间尺度内的平均状况,以及对这种平均状态的可能偏差(一般用平均值和距平值表征)。一般认为30年的统计结果是表现气候特征的最短年限,因此世界气象组织(WMO)统一规定把30年作为描述气候的标准时段,用30年内各种气象要素和气象现象的统计性质作为特征值来表示。WMO先后规定以1931—1960年、1961—1990年、1971—2000年平均值为标准,后又建议改用最近30年(1981—2010年)的平均值为标准。

随着科学的发展,人们意识到要解释气候的形成,探讨气候变化的成因,进而预测气候变化,就不能仅仅局限于研究上述地面气候的三个要素(月平均气温、月总降水量及月平均气压)或大气本身,而需要包含大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈及生物圈的整个气候系统。因此,气候系统的概念逐渐取代了经典的气候概念。

1.1.2 气候系统的组成

气候系统是能够决定气候形成及其变化的各种因子的统一体,全球气候系统是由大气圈、水圈(海洋、湖泊等)、冰雪圈(极地冰雪覆盖、大陆冰川、高山冰川等)、岩石圈(平原、高山、盆地、高原等地形)和生物圈(动、植物群落)组成的复杂系统,这些圈层之间发生着明显的相互作

用。这个系统在自身的动力学作用和系统外部的强迫作用下(如火山爆发、太阳变化、人类活动引起的大气成分和土地利用的变化)不断随时间演变。其中,太阳辐射是气候系统的主要能量来源,在太阳辐射的作用下,气候系统内部产生一系列复杂的相互作用过程,各组成部分之间通过物质交换和能量交换,紧密地连接成一个非线性的开放系统,如图 1.1 所示。

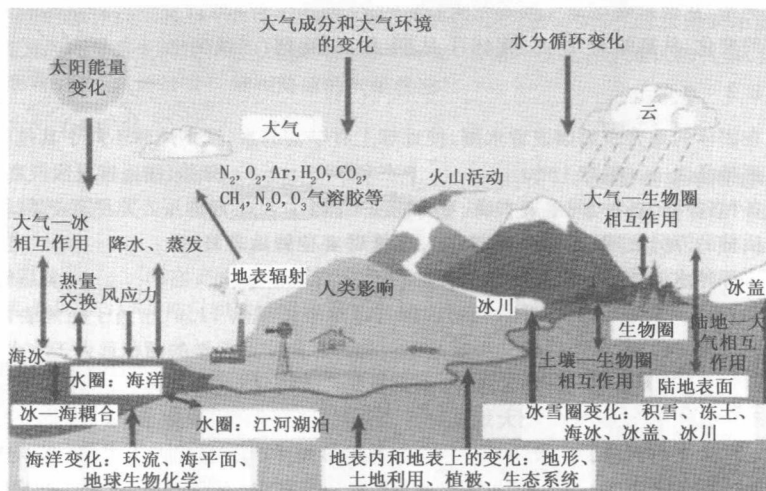


图 1.1 气候系统各组成部分和相互影响示意图(引自IPCC 2007)

气候系统的各个组成部分(子系统)也都是开放系统,因为大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈的内部及其之间普遍存在着能量、动量和物质的输送与交换过程。这些子系统之间复杂的物理、化学和生物作用,共同决定各地区以及全球的气候及其变化特征,并形成了气候系统的多样性和复杂性。下面分别对五大圈层的基本特征作简要概述。

1.1.2.1 大气圈

大气圈是包围地球整个空气层的总称,厚度有 2000~3000 km,总质量 5.2×10^{15} t。大气圈由氮、氢、氧等多种气体混合组成,位于其他四大圈层之上。按照大气物理性质的不同,自下而上可以分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层。大气圈主要通过大气的成分及其辐射收支的变化影响地球气候。在大气圈中可以发生各种空间和时间尺度的变化,如从高频的天气变化到百年以上尺度的缓慢气候变化。

大气圈从地表到对流层顶的部分称对流层,对流层顶的高度随纬度和季节变化,平均在 10~15 km,其中在赤道地区可高达 18 km,极区 8 km 左右(图 1.2)。虽然与大气总高度相比对流层只占很小一部分,但它却集中了大气总质量的 80% 和几乎全部的水汽,这是人类活动最集中,也是天气活动最剧烈的大气层,其垂直混合过程因对流和湍流活动快速进行。对流层以上到 50 km 左右的部分称为平流层,平流层温度随高度是增加的,主要是由于大气臭氧层吸收了太阳紫外辐射;火山爆发的尘埃和气溶胶喷射到平流层中可以影响地球的气候。平流层之上是中间层和暖层(又称电离层)以及散逸层。在气候系统中主要把它们处理作大气顶部,一般它们并不直接影响气候,而是通过辐射过程来影响地球系统和气候的。

大气圈中的大气成分是由各种气体、水汽以及固、液态质点(气溶胶)和云等组成。其中大气的组成按照浓度可分为:(1)主要成分(一般浓度在 1% 以上),包括氮(N_2)(体积混合比占

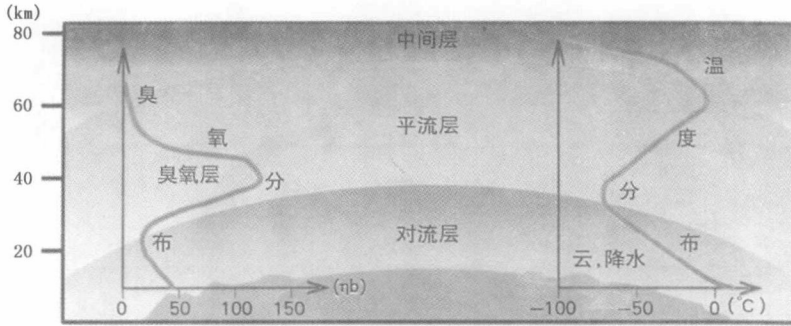


图 1.2 气候系统中大气层的垂直结构(引自丁一汇等 2003)

78.1%)、氧(O_2) (占 20.9%)、氩(Ar) (占 0.93%)，这些气体是惰性气体，一般与入射的太阳辐射相互作用甚小，与地球放射的红外长波辐射也无相互作用，也就是说，他们既不吸收也不放射热辐射；(2)微量成分，其浓度在 $1 \sim 10^4$ ppm(1%)，包括二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氦(He)、氖(Ne)、氪(Kr)等干空气成分和水汽(H_2O)；(3)痕量成分，其浓度在 1 ppm 以下，主要包括氧化亚氮(N_2O)、二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、一氧化氮(NO)等。此外，还有一些人为产生的污染气体，浓度多为 ppt 量级。对地球气候有重大影响的正是大气中的许多微量和痕量气体，如二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)。虽然这些气体只占大气总体积混合比的 0.1% 以下，但由于它们吸收和放射辐射，是大气中能产生温室效应的气体成分，所以这些气体又称温室气体。大气中的水汽(H_2O)也是一种自然的温室气体，它可以通过相变转化成水滴、云滴与冰晶，因而对大气圈辐射收支影响很大，其体积混合比随时间和地点变化甚大，一般占大气总体积混合比的 1% 左右。臭氧(O_3)在地球的能量收支中也起着重要作用。大气圈下层(平流层下部和对流层)的 O_3 是一种温室气体，而平流层中上层的 O_3 浓度很高，形成了自然的臭氧层，它吸收太阳紫外辐射，在平流层的辐射平衡中起着重要作用。大气中悬浮的固、液态物质(如气溶胶)和云以极其复杂的方式与入射太阳辐射和射出地球长波辐射相互作用，进而影响地球的气候变化(丁一汇等 2003)。

大气圈是气候系统中最不稳定、变化最快的部分。大气圈不但受到其他四个圈层的直接作用与影响，而且与人类活动有最密切的关系。气候系统中其他圈层变化产生的最终影响结果都会反映在大气圈中，因而大气圈是气候系统最重要的组成部分。

1.1.2.2 水圈

水圈由所有的液态地表水体和地下水组成，既包括淡水(如江、河、湖及岩层中的水)也包括海洋中的咸水。海洋和陆地的水通过蒸发或蒸散，以水汽的形式进入大气中，尤其是海洋中的水汽大量的被大气环流输送到陆地上空，在那里成云致雨。降水的一部分又以地表径流(主要是在河流中)的形式流入海洋，影响着海洋的盐分和环流；另一部分渗透入地下变成地下径流和地下水。前者又可回流到海洋，后者则储存于地下，补充不断被采汲的地下水。上述水圈循环(彩)图 1.3)周而复始，为地球的各种系统提供必需的水源。

在水圈中，对气候影响最大的是海洋。海洋占地球面积的 70% 左右，它可以储存和输送大量的能量。最近的估算表明，地球获得的净能量的 90% 都储存于海洋中。同时，海洋还可以溶解与储存大量的 CO_2 ，是全球碳循环中非常重要的部分。海洋环流比大气环流要慢得多，

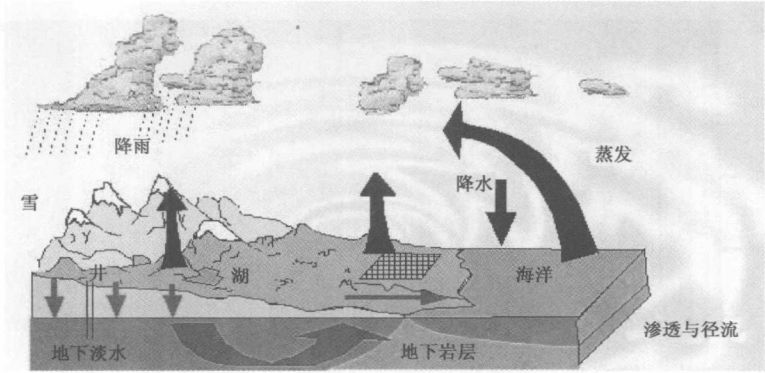


图 1.3 气候系统中水圈示意图(引自李维京 2012)

它是由盐分与温度梯度产生的密度差(即热盐环流)驱动的。海洋有很大的热惯性,这主要是由于海水的热容很大。它一方面可以阻尼或减缓剧烈的温度变化,起到地球气候调节器的作用;另一方面,由于它有较强的记忆力(尤其是在热带海洋),可以长时期通过海—气相互作用影响大气的变化,成为自然气候变率的源。所以对气候变化而言,海洋被称为是一种很重要的耦合强迫,以区别于气候系统的外强迫(火山爆发、太阳活动等)(丁一汇等 2003)。

水圈中所有的水都是通过水循环联系在一起的,它直接涉及自然界中一系列物理、化学和生物过程。水循环对人类生存和人类社会的生产生活过程都有极其重要的意义。一方面,由于水循环的存在,人类赖以生存的水不断得到更新和补充,成为一种可重复利用的再生性资源;另一方面,水循环也使各个地区的气温、湿度等不断得到调整。

1.1.2.3 冰雪圈

冰雪圈包括大陆冰原、高山冰川、海冰和地面雪盖等(表 1.1)。目前全球陆地约有 10.6% 被冰雪所覆盖。海冰的面积比陆冰的面积要大,但是由于世界海洋面积广阔,海冰仅占海洋面积的 6.7%。陆地雪盖有季节性的变化,海冰也有从季节到几十年际的变化,而大陆冰原和冰川的变化要缓慢得多,其体积和范围显示出重大变化的周期在几百年甚至几百万年。冰川和冰原的体积变化与海平面高度的变化有很大关系。由于冰雪对太阳辐射的反射率很大,且在冰雪覆盖下,地表(包括海洋和陆地)与大气间的热量交换被阻止,因此冰雪对地表热量平衡有很大影响。

表 1.1 现代地球冰雪圈(引自丁一汇 2010)

组成	面积 (10 ⁶ km ²)	占全球面积(%)			存留时间 (年)
		全球	陆地	海洋	
大陆雪盖	23.7	4.7	15.9		10 ⁻² ~10 ¹
海冰	24.4	4.8		6.7	10 ⁻² ~10 ¹
大陆冰川	15.4	3.0	10.3		10 ³ ~10 ⁵
山岳冰川	0.5	0.0	0.3		10 ¹ ~10 ³
永冻土	32.0	6.2	21.5		10 ¹ ~10 ³

冰雪圈中的大陆冰原、高山冰川、冻土、海冰等又常称为冰冻圈,它是特定气候(如寒冷)作

用于水体的产物,其变化与气候和水资源的变化有着密切的关系。冰冻圈变化不仅直接影响全球气候、海平面、湖泊水位和河流径流的变化,同时还会对与地表水热平衡密切相关的生态环境及人类活动产生影响。

1.1.2.4 岩石圈

岩石圈是指由地壳和上地幔顶部坚硬岩石组成的地球外壳,其厚度从不足 50 km 到 125 km 以上不等,平均约为 75 km,既包括陆地,也包括海洋。岩石会受大气、水和生物等因素影响而产生机械的和化学的风化作用,使其破碎和形成土壤、化学成分和矿物成分发生改变,其中气候和地形条件是影响岩石风化的重要因子。岩石圈受大气过程的影响会形成覆盖层(如雨水和冰雪)。火山活动是岩石圈运动的一部分,是一种影响地球气候的自然外强迫因子。

岩石圈的这些特征对地质时期的气候变化有巨大影响,地质构造的变化是地质年代气候变化的一个主要驱动力,但对近代在季节、年际、十年际乃至百年际尺度上的气候变化的影响基本可以忽略。在上述近代气候变化的时间尺度内,除火山爆发外,岩石圈对大气的作用主要还是发生在陆地表面。陆地表面具有不同的海拔高度和起伏形势,可分为山地、高原、平原、丘陵和盆地等地表类型。它们以不同的规模错综分布在各大洲,构成崎岖复杂的下垫面并影响着气候。在此下垫面上又因岩石、沉积物和土壤等性质的不同,对气候造成复杂多样的影响。

1.1.2.5 生物圈

生物圈是地球上出现并感受到生命活动影响的地区,是地表有机体(包括微生物)及其自下而上环境的总称,是行星地球特有的圈层,也是人类诞生和生存的空间。

生物圈的概念是由奥地利地质学家休斯在 1875 年首次提出的,是指地球上生命活动的领域及其居住环境的整体。它在地面以上达到大致 23 km 的高度,在地面以下延伸至 10 km 的深处,其中包括平流层的下层、整个对流层以及沉积岩圈和水圈。但绝大多数生物通常生存于地球陆地之上和海洋表面之下各约 100 m 厚的范围内。

生物圈是一个复杂的、全球性的开放系统,是一个生命物质与非生命物质的自我调节系统。它的形成是生物界与水圈、大气圈及岩石圈长期相互作用的结果,也对大气成分有着重要的影响,例如,海洋通过生物过程吸收大量 CO_2 ,以此控制大气长期的 CO_2 浓度;通过植物—浮游生物的光合作用减少海洋表层的 CO_2 含量,以此使大气中更多的 CO_2 溶解于海洋中。在海洋上层,植物—浮游生物吸收的碳大约有 25% 又沉入海洋内部,在那里它不再与大气接触,储存于深海达几百或几千年,这称之为生物泵。这种所谓生物泵与上述 CO_2 的溶解过程控制着海洋—大气的 CO_2 交换分布型。因而生物圈在碳循环中起着重要作用。

另外,生物圈还可以获得来自太阳的充足光能,使绿色植物吸收太阳能合成有机物而进入生物循环中,从而为生命物质提供所需的各种营养元素,包括 O、N、C、K、Ca、Fe、S 等。生物的生命活动促进了能量转化和物质循环,并引起生物的生命活动发生变化。

生物圈的各个部分变化的时间尺度有显著差异,但它们对气候的变化都很敏感,且反过来又可以影响气候。生物对于大气和海洋的二氧化碳平衡、气溶胶粒子的产生,以及其他与气体成分和盐类物质有关的化学平衡等都有很重要的作用。植物自然变化的时间尺度为一个季度到数千年不等,其可以影响地面的粗糙度、反射率以及蒸发、蒸腾和地下水循环。由于动物需要得到适当的食物和栖息地,所以动物群体的变化也反映了植物和气候的变化。人类活动既受气候的影响,又通过诸如农牧业、工业生产及城市建设等过程,不断改变土地、水资源等的利

用和植被状况,从而改变地表的物理特性以及地表与大气之间的物质和能量交换,对气候产生影响。

1.1.3 气候系统各圈层的相互作用

气候系统的各圈层不是独立存在的,它们之间存在复杂的相互作用,这种相互作用不但有物理的、化学的,也有生物的。陆地、冰雪和海洋表面之间的能量和物质交换是多种多样的,其可以通过各种渠道在各种时空尺度内发生。因而气候系统是一个非常复杂的系统。气候系统的各圈层虽然在组成、物理与化学特征、结构和状态上有明显差别,但它们通过质量、热量和动量交换紧密联系在一起。

在气候系统各圈层的相互作用中,最重要的是海—气相互作用、陆—气相互作用和陆—海相互作用。海洋和大气有大量的物质能量交换,例如,海洋和大气通过感热输送、动量输送和蒸发过程交换热量、动量和水汽;大气与海洋间又存在 CO_2 的交换,并且是全球碳循环的重要部分。陆—气相互作用是气候系统中另一个最基本的相互作用,包括冰雪圈中的积雪、冰川、冻土及岩石圈与大气的相互作用,其间各种物质、热量、水汽输送与转换,以及土地利用变化等都是陆—气相互作用的重要内容。在陆—海相互作用中,最关键的问题是海岸带地区的变化及跨边界输送问题,包括跨陆—海界面的物质输送及沿岸生态系统对气候变化的影响、气候系统的系统变化对海岸带特别是最脆弱地区的影响以及海—气界面对加热场及大气环流的影响等。

除了上述三种相互作用之外,地球其他圈层间的其他相互作用也是值得注意的。如海冰可阻碍大气与海洋之间的物质能量交换,生物圈通过光合作用和呼吸作用影响 CO_2 含量,生物圈通过植物的蒸散作用影响水分向大气的输入,陆地表面通过改变地表反射率影响大气的辐射平衡,等等。总之,气候系统中任一圈层的任何变化,不论它是人为的或是自然的,内部或外强迫的,都会通过相互作用造成气候系统的变化或气候的变异(丁一汇等 2003)。

1.2 气候异常

1.2.1 气候变率

气候变率是指在所有空间和时间尺度上气候平均状态和其他统计值(如标准偏差、出现极值的概率等)的变化,这种变化超出了单个天气事件的变化尺度(IPCC 2007)。通常将在 30 年统计时段内各个年份之间的气候差异作为气候变率(潘守文 1994)。气候变率反映了气候要素变化大小的量。气候变率或由于气候系统内部的自然过程(内部变率),或由于自然、人为外部强迫(外部变率)所致。气候系统的自然变率,尤其在季节乃至更长时间尺度上,主要反映了大气环流的动力学特征及其与陆地和海洋表面的相互作用。

1.2.2 气候异常判定指标

气候变化如果超过了一定的标准,就称为气候异常。通常是指月、季时间尺度气候状况与平均值的显著偏差。这是相对正常气候而言的。所谓正常,是指气候的变化接近于多年的平均状况;异常则是不经常出现的,如干旱、特大暴雨、夏季低温、超强台风等。