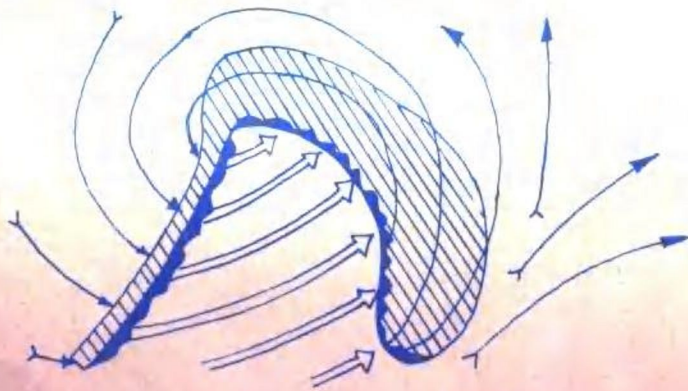


● 主编/李克煌

气象学与气候学 简明教程

QIXIANGXUE YU QIHOXUE
JIANMINGJIAOCHENG



河南大学出版社

气象学与气候学简明教程

主 编 李克煌
副主编 阎育华
编著者 (以姓氏笔划为序)
千怀遂 李克煌
施其仁 阎育华

河南大学出版社

(豫)新登字 09 号

内 容 提 要

本书是根据高等院校地理系开设气象学与气候学课程的需要、该学科最新科学成就以及教学经验编写的。全书共分十章,以气象学内容为基础,以气候学内容为重点,着重论述气候形成的五大因子(热力、动力、下垫面、人类活动、宇宙—地球内部等因子)和气候的时空变化规律,结合阐述有关气象学的理论和知识。插图 164 幅,文图结合,各章附有复习思考题和主要参考文献。本书可作为高等院校地理系有关专业的教材,亦可供农林、水文、气象和环保等专业人员参考。

气象学与气候学简明教程

主 编 李克煌

责任编辑 董庆超

河南大学出版社出版

(开封市明伦街85号)

河南省新华书店发行

中国科学院开封印刷厂印刷

开本: 850×1168 毫米1/32 印张: 16.25 插页: 4 字数: 423 千字

1994年7月第1版 1994年7月第1次印刷

印数: 1—2000 定价: 9.20元

ISBN7-81041-053-9/K·122

前 言

气象学与气候学在全国高等院校地理系教学计划中是一门以气象学为基础、以气候学为重点的专业基础课,也是一门基本技术训练课程。它的基本要求是:(1) 通过实习实验,掌握气象观测、气候调查、气候分析、气候分类区划的方法;(2) 掌握气候形成、变化和分布的规律,了解气候预测的基本原理和基本方法;(3) 为学好气候学,必须掌握有关的气象学和天气学的基本理论与基本知识;(4) 将所学的气象气候理论应用于实际,为社会主义物质文明和精神文明建设服务。

根据气象学与气候学发展情况和地理系教学要求,本书除前言和绪论外,共分十章。第二章“辐射过程和热力过程”、第五章“大气环流与气候”、第六章“下垫面因素对气候的影响”、第七章“人类活动对气候的影响”、第十章“宇宙及地球内部因子与气候”分别对气候形成的热力因子、动力因子、下垫面因子、人类活动因子和宇宙—地球内部因子进行了论述。在论述中除了阐明有关的物理现象、物理过程和形成机制外,着重剖析这些因子在气候形成和气候变化中的作用。在五大因子中,动力因子特别是大气环流常是本课程教学中的重点和难点,为了突出这个重点,在教学中攻克这个难点,本书第三章和第四章对大气环流、水分循环和水分平衡的基本原理进行了论述。在学习“大气环流与气候”之前,先学习第三章和第四章,以奠定必要的基础,加深对大气环流及其在气候形成中作用的理解。为了说明气候规律及其应用,本书除在论述气候形成原因时,剖析与之有关的气候规律外,还专辟两章论述气候的时间变化和空间分布的规律,即在第八章“气候分类与气候区划”

中,揭示气候的空间分布规律及其实际应用,在第九章“气候变化”中,论述气候的时间变化规律,并讨论气候预测的有关问题。可以看出,本书主要是介绍气候学内容,着重剖析气候形成因子和基本气候规律。本书第一章“大气概述”介绍了大气组成、结构、主要气象要素和空气状态方程等气象学基础知识,其他的气象学内容在各章中紧密结合气候形成因子和气候规律穿插介绍。这样既有助于理解相关的气候问题,又突出了本书以气候学内容为重点、兼顾气象学内容的指导思想。

为了加强教材的先进性,本书注意介绍最新科学成就,每一章都有较丰富的例证。全书插图 164 幅,文图紧密结合。各章附有复习思考题和主要参考文献,便于自学。

本书前言、绪论、第二、六章由李克煌编写,第一、三、九、十章由阎育华编写,第四、五章由施其仁编写,第七、八章由千怀遂编写。全书由李克煌(主编)、阎育华(副主编)修改定稿,统一校订。河南大学地理系绘图室彭红、江黎、石萍、夏素娟等同志为本书绘制了插图。对此,编者由衷地表示感谢。由于编者水平所限,本书会有不少缺点和错误,欢迎批评指正。

编著者

1993年6月

目 录

绪论	(1)
一、气象学与气候学的概念	(1)
二、气象学与气候学在国民经济中的意义	(3)
三、气象学与气候学的发展	(7)
复习思考题	(10)
主要参考文献	(10)
第一章 大气概述	(11)
第一节 大气的组成	(11)
第二节 大气的垂直结构	(17)
第三节 主要气象要素与天气现象	(23)
第四节 空气的状态方程	(30)
第五节 气压的时空变化	(33)
复习思考题	(46)
主要参考文献	(47)
第二章 辐射过程和热力过程	(48)
第一节 辐射的基本知识	(48)
第二节 太阳辐射	(51)
第三节 地球辐射	(70)
第四节 辐射平衡与热量平衡	(73)
第五节 地面和低层大气的增热与冷却	(86)
第六节 空气的绝热变化和大气稳定度	(90)
第七节 气温的变化与分布	(107)
复习思考题	(120)
主要参考文献	(121)
第三章 大气运动的基本原理	(122)

第一节	质量守恒定律	(122)
第二节	牛顿第二运动定律	(125)
第三节	达朗伯原理	(129)
第四节	大气运动方程组	(138)
第五节	自由大气中空气运动的基本形式	(141)
第六节	风随高度的变化	(149)
	复习思考题	(158)
	主要参考文献	(159)
第四章	水分循环和水量平衡	(160)
第一节	水分循环	(160)
第二节	蒸发、凝结和降水	(163)
第三节	大气中的水分输送	(184)
第四节	水量平衡	(190)
	复习思考题	(198)
	主要参考文献	(199)
第五章	大气环流与气候	(200)
第一节	大气平均环流特征及其形成	(200)
第二节	气团与锋	(216)
第三节	中高纬地区大中型环流系统	(229)
第四节	低纬地区主要环流系统	(239)
第五节	中小尺度系统	(250)
第六节	大气环流在气候形成中的作用	(252)
	复习思考题	(266)
	主要参考文献	(267)
第六章	下垫面因素对气候的影响	(268)
第一节	海陆对气候的影响	(268)
第二节	地形对气候的影响	(288)
第三节	水体气候特征	(307)
第四节	土壤气候特征	(313)
第五节	森林气候特征	(323)
第六节	冰雪覆盖地区气候特征	(334)

复习思考题·····	(342)
主要参考文献·····	(343)
第七章 人类活动对气候的影响 ·····	(345)
第一节 人为荒漠化和农田化对气候的影响·····	(345)
第二节 人为改变大气成分对气候的影响·····	(359)
第三节 城市化对气候的影响·····	(375)
第四节 气候工程的气候效应·····	(385)
复习思考题·····	(392)
主要参考文献·····	(392)
第八章 气候分类和气候区划 ·····	(394)
第一节 气候分类和气候区划的基本原理·····	(394)
第二节 世界气候分类方法·····	(405)
第三节 中国气候区划·····	(426)
复习思考题·····	(433)
主要参考文献·····	(434)
第九章 气候变化 ·····	(435)
第一节 气候变化引论·····	(435)
第二节 地质时期的气候变化·····	(440)
第三节 历史时期的气候变化·····	(450)
第四节 仪器观测时期的气候变化·····	(460)
第五节 气候变化的预报问题·····	(465)
复习思考题·····	(469)
主要参考文献·····	(469)
第十章 宇宙及地球内部因子与气候 ·····	(471)
第一节 造山运动及大陆漂移与气候·····	(471)
第二节 火山活动与气候·····	(473)
第三节 太阳活动与气候·····	(476)
第四节 地球自转运动变化与气候·····	(480)
第五节 地球轨道参数变化与气候·····	(488)
第六节 引潮力与气候·····	(494)
第七节 九星地心会聚与气候·····	(496)

第八节 太阳系绕银心运动与气候.....	(500)
复习思考题.....	(507)
主要参考文献.....	(507)
附录 气象上常用的数据	(509)

绪 论

一、气象学与气候学的概念

包围地球的气体圈层,称为大气层。研究大气结构、组成、物理现象、化学反应、运动规律及其他问题的科学,称为大气科学。大气科学按传统可分为两门学科——气象学与气候学^[1]。

(一) 气象学的概念

气象学是大气科学的主要部分,是地球物理学中的重要分支。气象学是研究大气现象(风、云、雨、雪、干、湿、雷、电等)及其状态(温度、压强、湿度、密度等)的形成原因、变化规律和时空分布的科学。大气中的冷与暖、高压与低压、干与湿、晴与雨、动(风)与静等矛盾,既表现为对立,又在一定条件下呈现出相对的统一。正是这种矛盾的对立与统一决定了气象现象与气象过程的演变和发展。气象学的任务是查明大气中各种现象和过程之间互相联系、互相制约的规律性,并把这些规律应用于实际,以便合理地利用自然和改造自然,为人类造福。

气象学的内容很广泛,可根据研究内容和研究方法的差别来分类。例如,根据研究方法可分为理论气象学和实验气象学,前者包括动力气象学和大气物理学(又分为近地层大气物理学、自由大气物理学和高层大气物理学),后者包括大气探测、雷达气象学、无线电气象学、气象仪器学等。从应用观点出发,可分为农业气象学、水文气象学、污染气象学、航空气象学、航海气象学、军事气象学、医疗气象学等。从地理分布出发,可分为热带气象学、极地气象学、南半球气象学等。近年来,随着宇宙事业的发展,气象学产生一门新的分支——宇宙气象学。按传统,气象学可分为以下三个分支:

1. **物理气象学** 研究大气中的辐射过程,地球热量、水分平衡,大气光学、声学、电学,云雾物理学和降水物理学等。

2. **天气学** 综合广阔地理空间上同时刻大气运动状况进行分析并作出天气预报的学科,分析部分为天气分析学,预报部分为天气预报学。以流体力学、大气动力学、热力学为理论基础,以计算数学和高速电子计算机为实现方法和手段的现代天气预报方法,已成为一门独立的学科——数值预报学。

3. **动力气象学** 运用大气动力学与大气热力学相结合的观点和方法研究大气现象的理论性学科。主要研究大气运动状态,选取气压、大气密度、水汽含量等热力学参量以及空气运动的三个速度分量,建立大气方程组,用解析法或数值法求解。

(二) 气候学的概念

气候学是研究气候的特征、分布、变化、形成及其与人类活动相互关系的学科。气候不同于天气,天气是短时间尺度(或高频)的大气现象和过程;气候则是长时间尺度(或低频)的大气现象和过程,是多年天气的综合,包括多年的大气平均状态和极端状态。一个地区的气候条件通常使用气候要素的平均值与极端值表示。世界气象组织认为,30年时段的气候平均状况具有一定的代表性,基本上能反映出当地的气候特征,并提出以1931—1960年的各种气象要素平均值,作为最近一段时期内相互比较的标准值。按传统,气候学也可分为三个分支:

1. **物理气候学** 以物理原理和数学分析的方法研究气候形成机理的学科,包括研究辐射气候、热量气候、水分气候、能量气候等。目前动力气象学的基本原理在气候学研究中得到广泛应用,已发展成一门学科——动力气候学。

2. **描述气候学** 系统地阐述全球性、地区性、局部及微尺度的气候特征、成因、分布和变化规律的气候学分支。

3. **应用气候学** 揭示气候学与有关专业的相互关系并把气

候学理论应用于各个专业以解决实际问题的学科。例如,建筑气候学、农业气候学、航空气候学、航海气候学、医疗气候学等。

二、气象学与气候学在国民经济中的意义

气象气候是自然环境的一个组成成分,它能够促进或阻碍经济的发展。历史经验证明,人类的经济和社会发展活动,如果顺应气象气候规律,就能推动社会,提高其完成各项活动的能力,在不同的天气、气候条件下,做到顺天时,量地利,获得最大的经济效益和社会效益。若违背气象气候规律,就要受到惩罚。以论述气象气候规律为内容的气象学与气候学在经济建设中可以发挥多方面的作用。

(一) 气象气候情报服务

对气象观测资料进行整理分析,找出它们的规律性,供生产建设部门应用。我国各级气象部门定期和不定期地为各级政府、有关经济和农业等管理部门提供农业气象与农业气候服务。定期情报有农业气象旬(月)报、季报与年报。基本内容大多是根据过去一旬(月、季、年)的气象和农业气象要素值与同期多年平均值比较,分析与鉴定气象和农业气象条件正常与异常状况及其对各种作物生长发育的利弊,包括灾害种类、强度、受灾范围等,使用户从宏观上了解与掌握过去一旬(月、季、年)内农业生产概况和发生的重要事件。不定期情报有:雨情,墒情,灾情,农情,春秋播种季节地温,作物某一生育期或全年的农业气候条件评价,产量的丰歉趋势等等。这些不定期的农业气象情报,不仅送到政府部门、农业领导机关,而且也发给有关的生产单位和农户。

各生产建设部门根据专业工作需要,可直接到气象部门收集有关资料。例如,林业部门进行防护林带的规划,需要风向、风速、湿度方面的资料;在水利建设中,为了做好流域的总体规划、水库设计、灌溉工程、防洪等工作,需要月、年平均降水量、最大降水量、

降水强度、暴雨持续时间与范围、降水变率等等的统计资料及其综合研究成果；在城市建设中，为了合理地布置工厂与住宅区，需要盛行风向、风速和混浊指数的资料；建设高大建筑物（如电视塔、水塔、烟囱）时，需要风压和雪压资料；在设计粮食仓库、印刷厂、造纸厂时，需要考虑温度、湿度和风的状况，进行厂房内的温湿度调节和通风设计。所有这些需求，气象部门应给予方便，提供服务，以促进生产建设的发展。

（二）天气、气候预报服务

各行各业为了取得更大的社会和经济效益，对各类预测服务（如天气预报、气候预报、展望性气候影响评价）的需求日趋强烈。气象部门应当提供各类气象预报，做好生产建设部门的参谋。

1. 天气预报服务 为了加强各种农事活动的计划性，需要利用短期、中期和长期天气预报，编制播种期预报、物候期预报、土壤水分和灌溉量预报、作物产量预报。为了保护农作物，克服不利的天气条件，如霜冻、大风、干热风等，必须洞悉这些灾害性天气的发生发展规律，及时作出预报，以便采取措施，预防危害。农业病虫害的发生与气象条件有一定关系，如能揭示这种关系，找出发生病虫害的前期气象因子，便可根据这些因子作出病虫害预报，采取相应的防治措施，减轻病虫害的危害。

海、陆、空交通和邮电通讯与天气条件有密切关系。海洋上常有大风和海雾，对航行有很大影响，必须弄清海域的盛行风向、风暴路径与频率、海冰的厚度、浓雾的频数，以便选择安全、节能、省时的航线。在航行时，要依靠天气预报，作好防御工作。阵雨、大风、吹雪和雨淞都会影响陆上交通，特别是大量雨淞会压断电线、折断电杆，使通讯遭受破坏。必须及时发布这些恶劣天气的预报，事先做好防御工作。航空路线的选择，应根据云量、云状、云高、风向、风速、能见度等气象资料，来确定安全舒适的航线。在飞机起飞、飞行和降落时，都必须根据当时的天气情况和天气预报采取措

施,保证安全。

此外,水利建设、森林保护、渔业盐业生产、医疗卫生等部门都需要天气预报。例如,防汛抗洪需要汛期降水量预报,特别是大雨暴雨的落区、持续时间的预报。预防森林灾害,如火灾、风折、雪压等,都必须利用天气预报及早采取措施,防患于未然。捕鱼与风的关系密切,风力适宜既利于渔船出海,又利于鱼类群栖,因此准确的风力预报可以指导渔业生产。盐业生产过程,实质上是海水蒸发过程,需要了解日照、气温、湿度、风向、风速和晴雨日数等气象资料,一次生产作业过程最好有连续七八天的晴天,最忌中途出现大雨,这就需要准确的天气预报。

2. 气候预报服务 气候预报是一个复杂的综合性科学问题,现在还处在试验研究阶段。目前还不能用物理的方法预报气候系统的自然变化,而使用统计学方法做出的预报,都是建立在某些假定基础上实现的,多是一些气候变化趋势的概率预测,虽然可靠性受到一定的限制,但仍有一定的实用价值。

为了作好国民经济长期发展规划,需要对未来气候变化趋势作出预测。据研究^[2,8],从现在起到下世纪中期气候变化的总趋势是增暖,最大增温幅度为 2°C ,在气候变暖时期,我国东部地区特别是黄淮海地区,出现干旱的概率将增大。温度每升高 1°C ,我国粮食将增产40亿kg(以全国粮食总产约400亿kg计),而年降水减少100mm,相当于每亩减少50kg的水分潜力,全国有16亿亩农田,收获量将有800亿kg的变化。在作长期发展规划时,必须考虑这些气候变化趋势。气候变暖,海平面上升,大片海涂被淹没,海岸侵蚀加剧,海堤需加高加固,风暴潮影响增加,内陆排水困难,海水内浸,沿岸建筑受到威胁。在开发沿海地区时,必须考虑这些因素。

我国地域辽阔,经常发生气候异常,发展农业生产需要了解气候异常及其所引起的灾害。例如,安排明年农业生产,就要提前知

道春旱、伏旱、夏季低温、春季低温连阴雨、秋季寒露风等气候灾害是否发生及其发生的时间和地点。这就要求了解这些气候灾害发生的物理原因和大气环流背景,根据前期大气环流与气候变化的关系,预测未来气候异常出现的时间和地点及其造成的灾害。各有关部门根据气候预测,及早采取措施,进行防御。必须指出,气候灾害预测是一种概率预测,它只表明出现某种气候灾害的可能性。如预报降水比常年偏少三成的可能性为75%,预报的使用者应理解为:有75%可能偏少,要做好抗旱准备;但还有25%可能偏多或偏少不到三成,要做出相应计划,准备一旦降水偏多时,生产部署应有所改变。

3. 展望性气候影响评价 各生产建设部门即使获得了天气预报和气候预报,常常不能确定所预报的天气现象、气候状态对他们会有什么样的影响。展望性气候影响评价就是为解决这些问题而开展的一种服务活动。

展望性气候影响评价的形式和思路有以下四种^[4]: (1) 依据长期天气预报编制展望性评价。这是在长期天气预报较准确的前提下,对所预报的气象因子在未来一定时期内的影响进行评价。(2) 利用气候影响的滞后性编制展望性评价。这是对大量的气候和经济资料进行统计分析,或通过试验方法找出某些气候因子对某些经济生产后期过程的影响指数或评价模式,对有关经济或产量等作出预测。(3) 采用积温法编制展望性评价。某一作物由一个生育期到另一个生育期所需要的有效积温是比较稳定的,因此可利用有效积温和生物学下限温度来预测物候期、收获期和病虫害发生期。(4) 早期警告评价。对已经发生或正在发生的重大天气、气候事件(如台风、龙卷风、干旱、洪涝、高温、强冰雹、霜冻、雪灾等)在将来一定时期内,可能造成的不利影响进行估计,以专门报告或其他形式及时提供给有关部门或用户。

(三) 人工影响天气与改善气候环境

人工影响天气是用人工方法改变天气发展过程的措施。正在试验研究的项目有：人工降水，人工抑雹，人工消雾，人工消云，人工防霜，人工抑制闪电和人工削弱台风等。其中用人工方法部分或全部消除雾滴，达到改善能见度目的的人工消雾试验，有较好的效果，已在一些重要机场投入应用。

人类对气候环境的改善，有大范围的，也有小范围的^[6]。大范围地改善气候环境的工程有：跨流域调水，大面积垦荒，兴建大型水库，营造防护林带等等。这些大工程对农业、对人类关系重大，气候工作者要预先作好研究，提出建议，使其为人类造福，而不是为人类闯祸。小范围地改善局地气候环境主要是通过改变下垫面的辐射特性、温湿状况和动力条件等，使其有利于人类活动和动植物生长，如绿化城市、绿化荒山、建造房屋、兴建水库、玻璃温室、塑料大棚、地膜覆盖、设置风障、营造护田林等等。这是人们利用局地气候易于控制和改造的特点，与自然界作斗争，克服不利的气象条件的一种重要手段。

三、气象学与气候学的发展

17世纪以前，人们依靠肉眼对天气与气候现象进行观察，积累了丰富的经验。17世纪至19世纪初，由于地面和高空气象仪器的发明和使用，气象的观测和研究开始进入定量描述阶段。19世纪初到20世纪中叶，由于天气图的发明和使用，锋面学说、长波理论和降雨学说的出现和应用，大气现象得到了系统研究。20世纪中叶至今，随着科学技术的发展，尤其是在以原子能、空间技术和电子计算机为标志的工业技术革命的影响下，气象学的许多方面在广度与深度上都向前推进一大步，具体表现在以下几个方面^[1]。

(一) 气象业务技术自动化

例如，大气探测技术已由人工直接探测发展到自动化、遥感化；气象资料的收集、传输、加工和分析预报等正在向自动化发展，

形成完整的系统,利用这个系统可以使气象科技人员从繁重的日常工作中解脱出来,进一步提高气象工作的效率。

(二) 气象科学数学化

天气分析和预报正在从手工分析和主观定性预报发展为客观、定量和自动化的分析与预报。使用电子计算机广泛地对各种大气物理现象和过程进行精确的、定量的数值模拟试验,从大气环流的形成到云内雨滴的生成都进行模拟试验,使气象科学进入试验科学的新阶段。

(三) 重视观测试验和大气整体研究,气象科研规模日益扩大

由于某一局部地区的天气和气候与大气环流甚至与全球环流有关,所以要研究大气状态的变化规律,需要大范围的观测资料,这就使气象科研规模日益扩大,走向国际合作。本世纪50年代以后进行过四次有几十个国家参加的大规模的大气观测试验,目前全球大气研究集中于一个大规模的国际研究计划——全球大气计划(通过国际科学家联合理事会和世界气象组织,由大气科学家和各国气象局共同组织),其目的是研究全球大气的环流和运动特性的一些基本问题。在气象科研中,值得注意的趋势是把大气作为一个整体进行研究,把对流层与平流层、中高纬度与低纬度、南半球与北半球结合起来进行研究。

本世纪70年代以来,全球性的气候异常已引起各国政府和科学家的关注,加上现代科学技术的迅速发展,气候学发生了重大变革,首次引入了气候系统的新概念。1974年在瑞典的斯德哥尔摩召开的气候物理基础和气候模拟的国际会议指出^[9]:气候系统是大气、海洋、陆地、冰雪、生物圈相互作用的复杂系统。它包括这五个组成部分中与气候有关的各自的和相互作用的物理、化学和生物学运动变化过程,其状态由以下四种特性表示:(1) 热力特性。如气温、地温、水温和冰温。(2) 运动特性。包括风和洋流的三维流动及洋面冰块的运动。(3) 含水特性。包括空气中的汽态