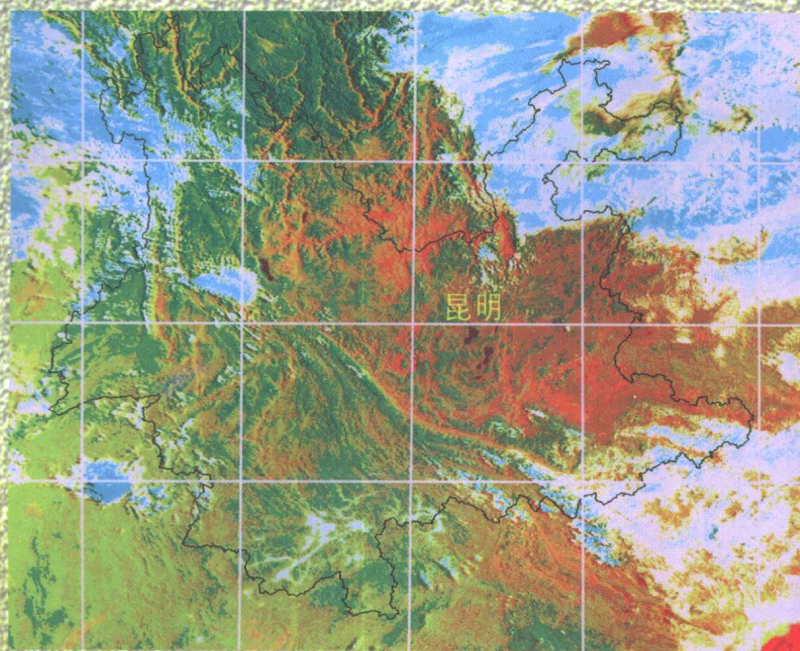


国家“九五”重中之重科技项目云南专题
“云南短期气候预测系统的研究”专著之二

云南短期气候预测 方法与模型

解明恩 张万诚 编著



气象出版社

国家“九五”重中之重科技项目云南专题
“云南短期气候预测系统的研究”专著之二

云南短期气候预测方法与模型

解明恩 张万诚 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书是近年来我国省级气象部门有关短期气候预测方法与模型研究的新成果。全书共分十章,内容涉及气候趋势诊断、气候突变检测、气候周期提取、经典统计预测方法、气候变化物理成因研究、气候要素场的统计预测模型、多元分析方法、单时间序列与多时间序列预测模型、逐段线性化的非线性预测模型、小波分析技术、相空间投影技术、相似插值方法以及预报集成等。书中给出了每一种方法和模型的基本原理、建模步骤和应用实例。

本书可供气象、农业、地震、海洋、水文、环保、生态、部队等部门的专业科技人员和有关院校师生参阅,特别适合具有一定数理统计基础知识的科技人员和省地两级气象预报员使用。

图书在版编目(CIP)数据

云南短期气候预测方法与模型/解明恩,张万诚编著.
北京:气象出版社,2000.12
ISBN 7-5029-3040-X

I.云... II.①解...②张... III.①短期天气预报-方法
②短期天气预报-数学模式 IV.P456.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 57864 号

云南短期气候预测方法与模型

解明恩 张万诚 编著

责任编辑:潘根娣 终审:周诗健

封面设计:刘 扬 责任技编:陈 红 责任校对:李 新

气象出版社 出版

(北京海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

北京市宏远兴旺印刷厂印刷

气象出版社 发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:480 千字

2000 年 12 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—500 定价:40.00 元

ISBN 7-5029-3040-X/P·1054

序 言

近年来,全球气候出现了世界范围的异常现象,各种灾害性天气和异常气候频繁发生,已日益引起各国政府的高度重视。许多灾害性气候如干旱、洪涝、低温冷害等都与气候的异常密切相关。气候异常造成的灾害常常给社会、经济和人民生命财产造成巨大的影响和损失。

短期气候变化是指月、季和年际时间尺度的气候变化和气候异常,短期气候预测与社会、经济发展特别是农业的发展关系最为密切。短期气候预测问题目前已成为各国政府关注的焦点,加强短期气候预测研究已成为国际大气科学界的共识,发展相应的短期气候预测业务系统是各国气象现代化发展的重点。开展短期气候预测业务系统的研究,对增强防灾减灾能力,趋利避害,促进国民经济的快速发展和社会效益的全面提高等都具有重大的意义。

云南地处低纬高原,地形复杂,立体气候特征明显,气候类型多种多样。由于受季风的影响,各地的气候变率很大,是气象灾害多发地区之一。干旱、洪涝、低温冷害、连阴雨、霜冻、冰雹、大风、雪灾等气象灾害频繁发生,并呈现加剧的趋势,给全省的国民经济建设造成了巨大的损失。云南省是一个农业省,云南的农业是气候型农业,基本上是靠天吃饭,农业的丰歉直接受天气、气候条件的制约。因此,做好短期气候预测,对于促进云南国民经济持续、快速、健康发展,特别是实现云南农业稳定增产作用很大。农业是云南经济建设的重中之重,为农业生产服务,为各级政府指挥生产提供决策依据是云南气象工作的重中之重,这就需要我们加快短期气候预测研究和预测业务系统的建设,为防灾减灾和农业增产保驾护航。

云南气候具有其独特的条件和特征,根据全国大范围的预报结果,很难完全满足云南的特殊需要。因而必须研制适合云南低纬高原季风气候区特点的短期气候预测系统。这个工作做好了,也将是对我国短期气候预测系统的建立与完善是一个贡献。

短期气候预测与国计民生关系极大,目前短期气候预测远不能满足云南国民经济建设和社会发展需要。为了提高云南短期气候预测水平,更好地为云南经济社会发展服务,云南省气象局于1996年上半年提出在“九五”期间开展《云南短期气候预测系统的研究》攻关项目,经中国气象局科教司于1996年6月20日批准,此项目被列入国家“九五”重中之重科技攻关项目(96-908)中的05课题“区域中心短期气候预测业务系统的建立与产品应用研究”,称为云南专题,编号为96-908-05-08。

开展《云南短期气候预测系统的研究》目的在于:适应云南经济、社会可持续发展战略的需要,特别是农业、水资源、能源和交通等国民经济重要领域发展以及重大工程建设的迫切需求,建立符合云南特点的现代化短期气候预测业务系统及气候异常对国民经济影响的评估咨询服务系统,有效地提高预测准确率和评估水平,以便定期制作、发布月、季、年际气候趋势和气候异常的业务预测和服务产品,更好地为党和政府制订国民经济发展计划和防灾减灾决策提供科学依据,为促进云南社会、经济的持续、快速、健康发展提供优质的气象服务。

《云南省短期气候预测系统的研究》总体目标是:在对云南气候和气候异常规律及预测信号研究的基础上,研制一套有物理依据的短期气候监测、预测系统以及气候异常对国民经济影响的评估、咨询、服务系统。重点研究经验的、统计的和动力相结合的综合短期气候预测新技术,并据此建立比较先进的、投入业务使用的、新一代短期气候预测业务系统,为各级政府以及国民经济有关部门提供较准确的月、季、年际降水、气温等气候预测及其对社会经济影响评估

44424/15

的产品以及旱涝、低温冷害等重大气候灾害的预测意见,为有关部门尤其是农业和水利部门在作出月、季度、年度与跨年度的国民经济发展计划和重大项目的决策以及制定防灾和抗灾措施提供科学的依据和信息,为云南国民经济建设,特别是农业的发展提供直接的优质服务。项目完成后,其预测准确率将在“八五”的基础上提高 5%~10%。

为了完成以上研究目标,云南专题下设 4 个子专题和 15 个次子专题,4 个子专题为:1. 云南气候异常物理过程及预测信号的研究;2. 云南短期气候预测技术及预测业务系统的研究;3. 气候分析预测资料库及灾情监测、预测产品服务系统的研究;4. 短期气候预测检验、评估及气候灾害评估咨询、对策、服务系统的研究。本课题主持单位为云南省气象局,参加单位为云南大学,云南省气象局局长、高级工程师刘建华同志任课题组组长,参加课题研究的有高、中、初级科技人员近百人。

在中国气象局和云南省科技厅的大力支持下,云南省气象局领导高度重视,经过课题组全体科技人员的团结协作、共同努力,已全面完成了各项研究任务。4 年多来,课题组在国家自然科学核心刊物和有关刊物上发表了 100 多篇论文,研制了 6 个业务化应用子系统:①气候资料咨询服务自动化子系统;②短期气候预测专用资料库子系统;③短期气候灾情实时动态监测预警子系统;④短期气候预测业务子系统;⑤短期气候预测产品服务子系统;⑥气候灾害评估咨询服务子系统,并开始将上述业务应用子系统总装成“云南短期气候预测业务系统和服务系统”。这些业务应用系统已投入业务应用和业务试运行,在业务、服务、科研工作中发挥了重要的作用。通过攻关研究和技术开发,云南短期气候预测水平和服务水平上了一个新的台阶,预测准确率明显提高,1999 年和 2000 年连续两年报准对云南工农业生产有重要影响的雨季开始期,得到政府和社会各界的好评,同时培养和锻炼了一批年轻科技人员,提高了云南气象科技工作者的科研能力和业务水平。

本课题得到了云南省副省长黄炳生、中国气象局副局长颜宏、原副局长马鹤年以及云南省科技厅林文兰厅长、国家气象中心李泽椿院士、国家气候中心主任丁一汇教授、原中国气象局科教司萧永生司长等悉心指导和帮助,也得到了中国气象局科教司、国家气象中心、国家气候中心以及云南省科技厅、云南省财政厅等有关部门及许多同志的大力支持,谨致诚挚的感谢。

按预定研究计划,本课题研究成果将汇编出版 4 本专著:1.《云南气候异常物理过程及预测信号的研究》;2.《云南短期气候预测方法与模型》;3.《云南短期气候预测业务系统》;4.《云南气象灾害史料及评估咨询系统》。这四本专著由各个子专题组织编写,总课题统一制定编写大纲,并对书稿进行审改。

短期气候预测是当今气象科学的前沿课题,影响因子复杂,技术难度大。通过“九五”攻关研究,我们已经取得了较大的成绩,但要做好短期气候预测工作,仍需进一步努力。今后还要继续加强这方面的研究,为云南短期气候预测水平进一步提高,为云南经济建设和社会发展做出更大的贡献而不懈追求。

云南专题课题组
2000 年 11 月

前 言

云南地处低纬高原,气候类型复杂多样,气候年际变率大,气象灾害频繁,近年来因灾损失呈逐年加剧的趋势。云南农业属典型的气候型农业,农业的丰歉直接受天气、气候条件的制约。做好短期气候预测,对实现农业稳产增收,防灾减灾具有重要的意义。

短期气候预测是指月、季、年时间尺度内的气候趋势预测。我省开展短期气候预测业务工作已有 40 余年的历史,有关短期气候预测方面的科研已有 20 余年,取得了一定的成绩,经过我省气象科技工作者的努力,云南短期气候预测经历了从简单的经验定性预报到初步应用统计方法制作预报再到应用现代数理统计自动化处理的发展轨迹。预报准确率得到进一步提高,多次报准了影响重大的气候灾害。但由于短期气候变化的复杂性,短期气候预测仍然是我省天气预报工作的一个薄弱环节,远远不能满足各行各业的需求。月、季、年时间尺度气候预测的科学性、准确率还有待进一步提高。

国家“九五”重中之重科技项目云南专题“云南短期气候预测系统的研究”是我省气象部门在“九五”期间针对短期气候预测而开展的大规模研究,给我们提供了一个全面系统地研究云南短期气候预测方法的机遇和条件。本书就是我们承担的有关短期气候预测方法和预测模型研究方面的最新科研成果。

目前,数值天气预报对 5~7 天的预测已有相当的精度,但用气候模式来制作短期气候预测却还有相当大的困难,离投入实际业务应用仍有较大的差距。国内外制作短期气候预测的方法主要仍以统计方法或动力-统计方法为主,省、地两级气象部门制作短期气候预测的主要工具亦是统计方法。随着计算机技术应用于概率论和数理统计领域,使数理统计科学得到了重大发展和飞跃,与经典的统计学相比,目前基于数理统计理论提出的各种方法和模型均有了质的变化。我们进行预测方法和预测模型研究的最终目的就是要建立起有可靠物理基础、有较强预测能力、动力与统计相结合的新一代短期气候预测业务系统。

全书着眼于云南短期气候预测和气候诊断的实际业务应用,较详细地介绍了数十种预测方法和模型的基本原理、计算步骤及应用结果。书中给出的大量应用实例,绝大部分是作者或我省气象科技工作者在“九五”期间或多年从事气候诊断与预测方法研究中得出的,可以帮助读者更好地应用这些方法去解决气候预测的实际问题,对指导我省的短期气候预测有较好的参考作用。有关的预测方法和模型也可移植到其它省(区)气象部门或相关的学科领域使用。

在写作过程中我们尽最大可能地反映我省短期气候预测方法研究的全貌,使读者对我省短期气候预测方法的发展有一个清晰的图像和系统的概念。书中各章自成一体又互相联系,既注意介绍各种适用的经典传统方法,又重视最近预测方法的描述。

本书由解明恩、张万诚编著完成。全书共分十章,第一、二、三、六、十章由解明恩撰写,第四、五、七、八、九章由张万诚撰写。全书由解明恩负责修改、统稿和校稿。在撰稿过程中,得到郑建萌、沙文生、刘瑜、晏红明、鲁亚斌、陶云、范立张等同事的大力支持和协助,在此表示衷心的感谢。同时,作者也非常感谢中国气象科学研究院的曹鸿兴研究员、魏凤英副研究员在气候统计模型方面给予的热情赐教和积极帮助,对此表示深深的谢意。需要补充说明的是本书原子课题和书稿编撰人员尤卫红同志(已离开本部门)研究的有关内容也由我们归纳到本书中。

在此,我们要感谢“九五”攻关课题组组长、云南省气象局局长刘建华高级工程师,他认真

阅读了本书全文,提出了许多宝贵意见。我们还要感谢云南省气象局的几位局领导和有关专家、科技人员给予的大力支持和帮助。为了保持本书的系统性,书中部分地参考或引用了其他作者有关的公式、资料、图表,较详细地给出了云南气象科技工作者 40 年来在短期气候预测方法研究方面的参考文献,在此向原作者表示衷心谢意。

由于气候预测科学和低纬高原天气气候的复杂性,涉及的学科面广,加之作者学识水平有限,虽经一再努力,书中难免有不当或错误之处,恳请读者批评指正。

21 世纪的大门正向我们敞开,新世纪的曙光即将出现,“十五”科技攻关的序幕已经启动,愿本书能为研究 21 世纪的云南气候变化和气候预测作出一点微薄的贡献。

解明恩 张万诚

2000 年 10 月 1 日于昆明

目 录

序言

前言

第一章 云南气候特征与气候变化背景	(1)
第一节 云南气候的基本特征.....	(1)
第二节 云南气候变化的背景.....	(5)
第三节 影响云南短期气候变化的物理因素	(11)
第二章 气候趋势诊断、突变检测与周期提取方法	(15)
第一节 气候趋势诊断的主要方法	(15)
第二节 气候突变检测的主要方法	(21)
第三节 气候诊断的小波分析方法	(25)
第四节 气候序列周期提取的主要方法	(28)
第三章 云南短期气候预测的传统方法	(37)
第一节 云南短期气候预测方法的简要回顾	(37)
第二节 云南短期气候预测的传统方法	(40)
第三节 影响云南初夏气候变化的物理成因分析	(52)
第四章 气候要素场的统计诊断与预测	(65)
第一节 要素场分析的基础知识	(65)
第二节 经验正交函数的分解	(69)
第三节 扩展经验正交函数分析	(76)
第四节 因子分析	(78)
第五节 旋转经验正交函数展开	(81)
第六节 复经验正交函数展开	(84)
第七节 典型相关分析	(87)
第八节 BP 典型相关分析	(91)
第九节 奇异值分解	(92)
第十节 多自变量场对多因变量场预报模型	(98)
第十一节 要素场预测的 EOF 迭代模型	(113)
第十二节 关于场预报方法的讨论	(116)
第五章 短期气候预测的多元分析方法	(118)
第一节 逐步回归方法	(118)
第二节 多种物理因子的逐步回归方法	(121)
第三节 最优子集回归	(124)
第四节 岭回归方法	(130)
第五节 灰色预测模型	(131)
第六节 灰色时变参数预测模型	(134)

第七节	多因变量回归预测模型	(138)
第八节	多元样条回归预测模型	(141)
第六章	单时间序列预测模型	(144)
第一节	自回归预测模型	(144)
第二节	均生函数预测模型	(148)
第三节	均生函数场预测模型	(159)
第四节	模糊均生函数预测模型	(162)
第五节	最优气候均态预测模型	(164)
第六节	滑动平均双向差分预测模型	(168)
第七章	逐段线性化的非线性预测模型	(172)
第一节	门限自回归模型	(172)
第二节	逐步门限回归模型	(174)
第三节	时变参数预测模型	(177)
第四节	多层递阶预测模型	(181)
第五节	改进的时变参数预测模型	(183)
第六节	时变参数的门限自回归模型	(188)
第七节	多元门限回归模型	(194)
第八节	混合门限回归模型	(196)
第九节	场对场的复合门限回归模型	(201)
第十节	非线性动态系统预报方法	(204)
第十一节	非线性统计—动力气候模式	(207)
第十二节	半截多项式的门限回归模型	(212)
第八章	多时间序列预测模型	(218)
第一节	相空间投影预测模型	(218)
第二节	相空间相似统计预测模式	(220)
第三节	月雨量的可预报性估算	(222)
第四节	K_n 近邻预测模型	(224)
第五节	相空间相似年度预测模型	(227)
第六节	汛期降水过程的相空间相似预测模型	(231)
第七节	云南 5 月雨量和雨季开始期的相空间预测模型	(235)
第九章	小波分析在云南气候诊断与预测中的应用	(239)
第一节	小波变换的基本原理和方法	(239)
第二节	多尺度分析	(243)
第三节	时间函数的小波变换及其反演	(247)
第四节	小波变换预测模型	(247)
第五节	小波分析的讨论	(249)
第六节	自适应多分辨数据滤波器	(250)
第七节	云南 8 月低温冷害的短期气候预测	(250)
第十章	短期气候预测的其它方法与预测集成	(253)
第一节	短期气候预测的 Shepard 插值方法	(253)

第二节	云南 5 月雨量的人工神经网络预测模型	(256)
第三节	距离系数预测法	(260)
第四节	相似系数预测法	(261)
第五节	逐步相似预测法	(263)
第六节	秩相关秩相似预测法	(265)
第七节	短期气候预测集成方法	(269)
参考文献		(281)

第一章 云南气候特征与气候变化背景

气候是在自然地理环境和人类社会生产活动的相互作用下形成的。云南地处中国西南边陲,位于 $21.14^{\circ} \sim 29.25^{\circ}\text{N}$ 和 $97.52^{\circ} \sim 106.19^{\circ}\text{E}$ 之间,北回归线穿省而过,东西跨 9 个经度,最长距离 864.9km,南北纵跨 8 个纬度达 990km,总面积 39.4 万 km^2 ,占全国陆地总面积的 4.1%,居全国第 8 位。云南北依亚洲大陆、南濒两大热带海洋,与世界屋脊青藏高原相邻。最南的西双版纳地处热带,最北的迪庆高原属高原型寒带。云贵高原地区处于我国地势的第二阶梯,是我国唯一的低纬度高原,也是全球十大著名的低纬高原地区之一。同时由于处于全球最强盛的印度季风与东亚季风的交叉影响范围内,故形成了云南独特的气候特征与变化背景。

第一节 云南气候的基本特征

太阳辐射、大气环流、地理环境和人类活动是形成和制约气候形成和变化的主要因素,由于云南独特的低纬高原环境和境内多山的地形特征(图 1.1),形成了云南气候的三大主要特征。

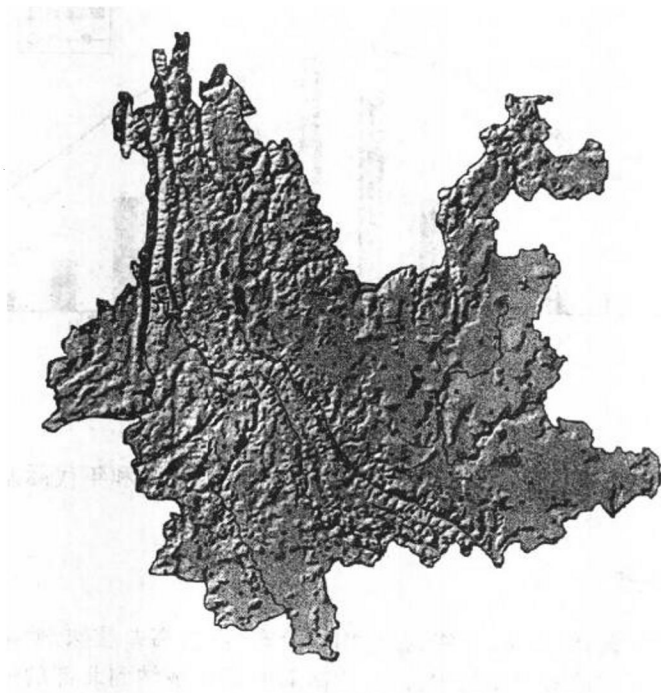


图 1.1 云南地形地势分布示意图

一、干湿季分明的季风气候

季风现象是云南气候的最主要特征。云南的季风不能沿袭经典的季风概念中盛行风向的季节变化来解释,云南季风气候是多种季风系统影响和大地形相互作用的产物。云南大多数地方全年盛行风向变化不大,但季风气流的气团属性则截然不同。云南属我国的西部型热带季风气候区,在冬季风和夏季风的影响下,云南气候的季节变化表现为明显的冬干夏雨、干湿分明的特征。干季(11月至次年4月),受热带干暖大陆气团控制,除滇西北的怒江州北部外,云南境内天气晴朗、干燥、少雨,风向以偏西风为主。整个干季雨量仅占全年雨量的5%~15%,与云南同纬度的东部地区形成鲜明的反差。例如昆明冬春季雨量仅占全年的15%,而南昌、长沙、福州、广州、南京、贵阳则分别达56%、55%、47%、38%、37%和33%,是昆明的2~3倍。雨季(5~10月),云南受东亚季风和西南季风的双重影响,在热带海洋气团和赤道气团控制下,雨日多、日照少、湿度大、多数地方夏季高温条件不足,风向以西南风为主,雨量集中,雨季降水量占全年的85%~95%,其中以盛夏的6~8月最多,约占全年的55%~65%,雨季中雨日占全年降雨日数的80%~90%。如昆明雨季降水量为887mm,占全年总量的88%,其中6~8月合计雨量为584mm,占全年的58%。相反,东部地区6~8月降水所占比例却小得多,如长沙、南昌仅为29%和31%,广州也只有44%。图1.2为云南多年平均(1961~1990年)的逐月雨量与气温变化图。

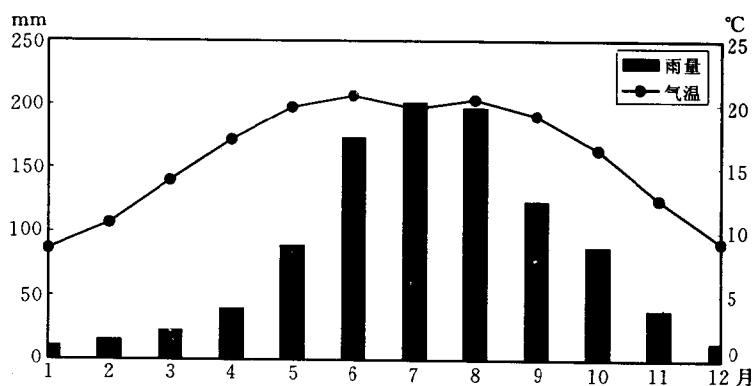


图 1.2 云南逐月雨量与气温变化图

由于季风气候具有大变率的特征,造成云南季风气候的年际和年代际差异变化十分明显(图1.3)。

二、独特的立体气候

由于云南地形地貌复杂,高山、河谷、盆地相间分布,海拔高差悬殊,使得气候的水平和垂直差异十分显著。从纬度的南北变化看,云南从南部的西双版纳到北部的迪庆高原可划分为7种气候类型,即北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、南温带、中温带和高原气候区(图1.4、图1.5)。云南的年降水量有从南部、东部、西部向金沙江流域递减的分布趋势,最大值与最小值可相差3倍以上。

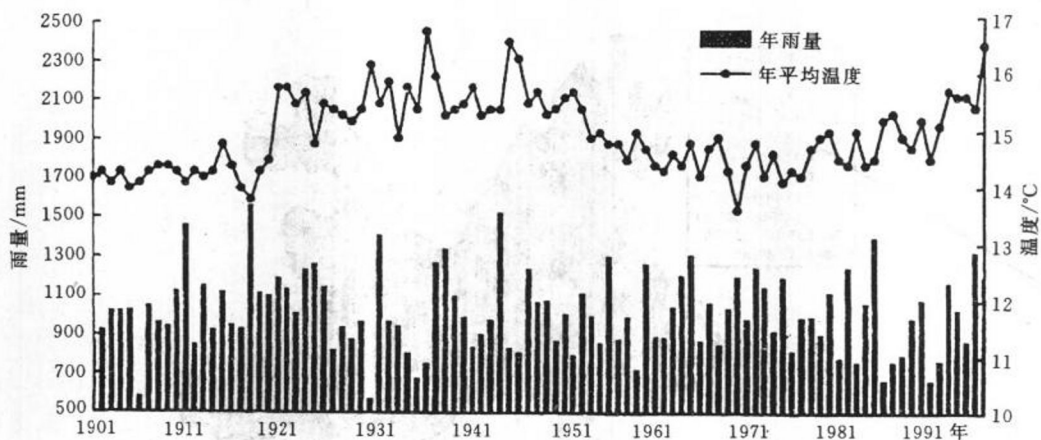


图 1.3 昆明 1901 ~ 1998 年雨量、气温年际变化图

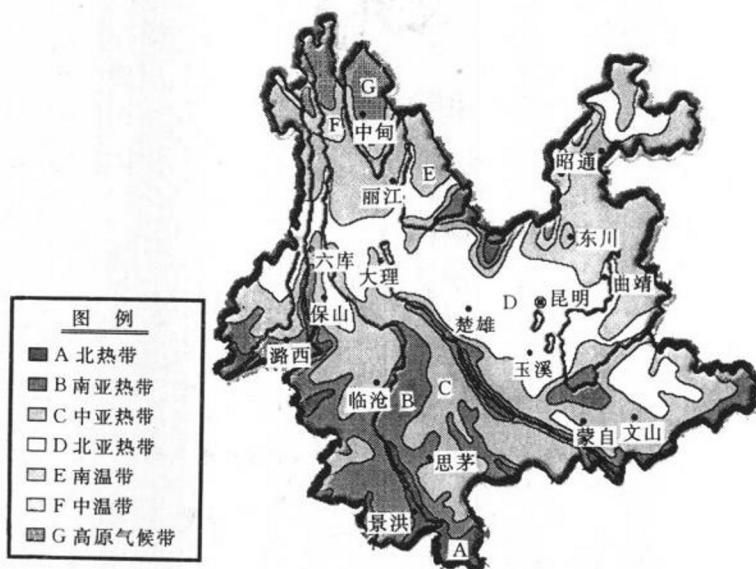


图 1.4 云南气候类型水平分布图

表明在云南不大的纬度变化范围内涵盖了中国东部从海南岛到东北黑龙江的气候带类型,这在中国乃至世界上是少有的。不仅如此,并且在很小范围(一个县、一个乡)的地区内,随海拔高度的变化,亦有几个气候带的垂直差异。在同一座山,山下鸟语花香、山上寒气袭人,“一山分四季,十里不同天”是云南立体气候的真实描述。山谷相对高差越大,气候的垂直差异性越明显,云南多南—北走向的高山,尤其是滇西横断山区,气候的垂直层次之多,类型和植被景观之丰富,是全国不多见的(图 1.6)。云南山地立体气候以哀牢山为界,东部与西部山区差异较大,西部垂直带谱完整,且东、西部各气候带的海拔高程界线明显不同。

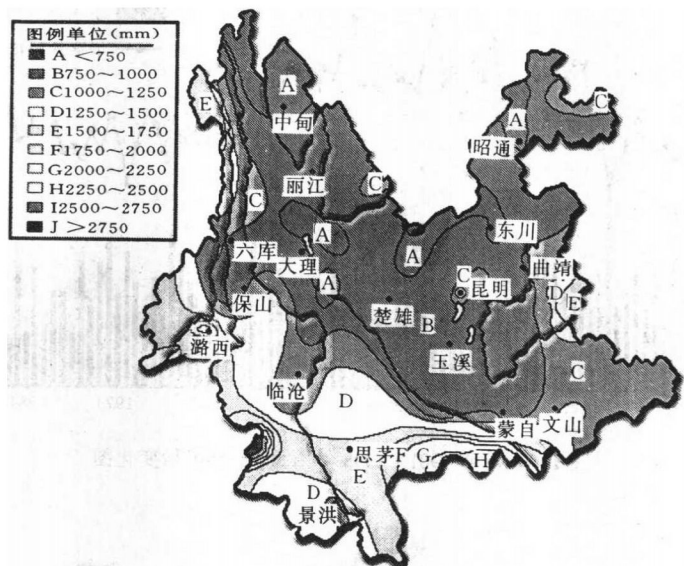


图 1.5 云南年雨量水平分布图

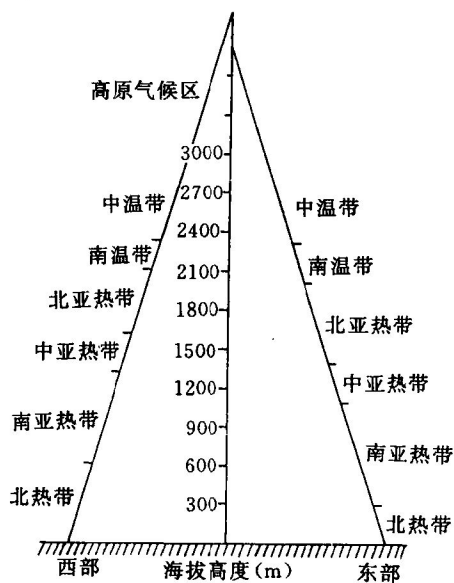


图 1.6 云南山地垂直气候带示意图

三、鲜明的低纬高原气候

云南气候还兼有低纬和高原的双重特征。云南属低纬度地区,北回归线从南部穿过,形成了年温差小,四季不明显的低纬气候特征。除河谷地带和南部少数地区外,大部地区夏无酷暑,最热月平均气温在 20~28℃ 以下,35℃ 以上的高温日数很少出现。除少数高寒山区外,多数地区冬无严寒,最冷月平均气温多在 8~10℃ 以上,“四季如春”是云南大部分地区气候的基本特征。同时,由于云南地处高原,平均海拔高度约 2000m,故又有高原的气候特征,即气温日

较差大、太阳辐射强,最大的日温差可超过 20℃,每天的气温变化是早晚凉爽(冬春季甚至有些寒冷),中午燥热(见表 1.1)。

表 1.1 昆明(25°01'N,102°41'E,海拔 1891.4m)月平均气候状况

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均	年较差
平均气温(℃)	7.6	9.5	12.6	16.1	18.9	19.6	19.7	19.1	17.5	15.0	11.3	7.9	14.6	12.1
平均最高气温(℃)	15.1	17.1	20.4	23.5	24.6	23.8	23.9	23.9	22.5	20.3	17.3	15.0	20.6	8.9
平均最低气温(℃)	1.5	2.9	5.5	9.1	13.9	16.3	16.8	15.9	14.2	11.5	6.9	2.5	9.7	15.3
平均日较差(℃)	13.6	14.2	14.9	14.4	10.7	7.5	7.1	8.0	8.3	8.8	10.4	12.5	10.9	7.8
平均相对湿度(%)	69	63	59	60	67	79	83	84	84	81	77	73	73	25
降水量(mm)	11.7	12.4	16.2	26.8	91.9	173.2	204.8	205.9	121.6	88.6	40.1	13.5	1006.6	194.2
≥0.1mm 日数	4.0	4.2	5.1	7.2	11.7	17.6	20.3	20.0	16.3	14.4	7.6	4.4	132.9	16.3
≥25mm 日数	0	0	0.1	1.1	0.9	1.7	2.2	2.4	1.0	0.5	0.3	0.1	9.3	2.4
日照时数(h)	231.7	231.4	266.3	253.6	225.3	141.6	141.6	160.5	138.3	152.6	180.0	204.5	2327.5	128.0
平均风速(m/s)	2.4	3.0	3.1	2.9	2.7	2.3	1.9	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	2.2	1.7
最多风向	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	SW	SW	SW	SW	不明显

云南还是我国气候大陆度最小的地区,大部分地区气候具有海洋性的特征。云南独特的低纬高原气候可形象地喻为“冬暖夏凉”和“夜冬昼夏”。

第二节 云南气候变化的背景

气候变化与气候预测是当前各国政府和人民普遍关注的焦点问题。由于自然环境因素和人类活动的综合作用,全球气候出现了世界范围的异常现象,各种灾害性气候频繁发生,对各国社会、经济的可持续发展和人民生命财产的安全造成了极大的影响。人们不仅在关注因温室效应带来的全球变暖问题,也在关注区域气候的变化问题。特别是季风气候区,气候的年际和年代际变率非常明显,气候灾害频繁,更值得深入研究。云南气候变化与全球和中国气候变化相比,有共性的一面,也有其特殊性。而要最终解决云南的气候预测问题,着重是解决云南气候的特殊性。由于气候变化的多空间尺度和多时间尺度,就是云南本省范围内,各地的气候变化也有差异,对此,王宇在《云南气候变化概论》一书中已对云南近 40 年、近 100 年和 500 年来的气候变化规律及其与中国气候变化的差异进行了详细的描述,对了解云南气候变化的大背景有着重要的科学价值和实用价值。

一、庞大而复杂的气候系统

气候是一个复杂的全球性耦合系统,它是由大气、海洋、冰雪、陆面和生物圈共同组成的,它们通过各种各样的物理、化学和生物学过程互相耦合联系在一起(图 1.7)。气候系统中的每一个组成部分都有各自的物理性质和变化速度。

大气是气候系统中最重要和最直接的部分,它是气候系统中最易变化的部分,其它部分的作用和影响,往往通过与大气的相互作用导致大气状况的变化进而实现对气候及其变化的影响。由于大气的热惯性小,它对外界的特征响应时间或热力调整时间一般不超过 1 个月。太阳辐射是驱动整个气候系统的基本能源,大气通过吸收太阳短波辐射和地面向上的感热和潜

热输送而获得能量,同是还向宇宙空间放射长波辐射而失去能量。因地球上各地的大气能量收支不同,加之地表特征明显存在差异,对大气加热的贡献作用也就不同,故形成了世界各地千差万别的区域气候和局地气候。

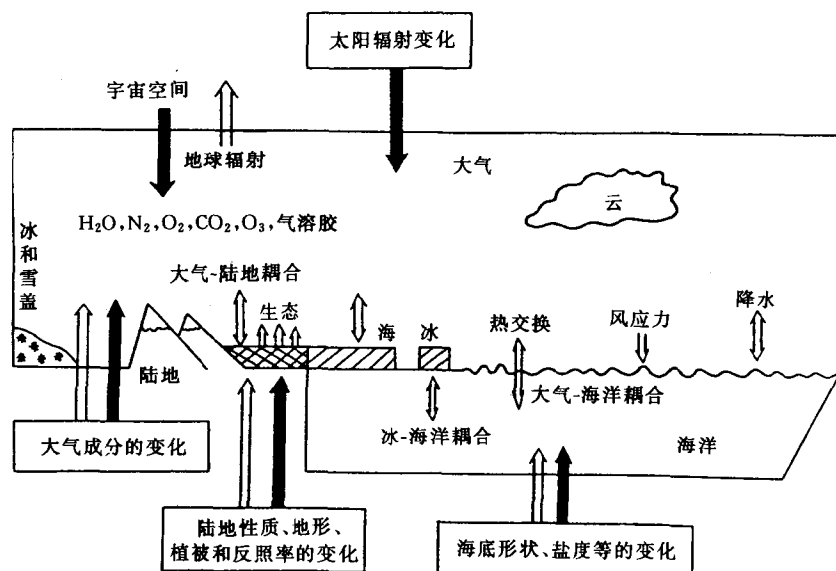


图 1.7 地球气候系统示意图

地球表面约 71% 为海洋所覆盖,全球海洋吸收的太阳辐射量约占进入地球大气顶的总太阳辐射量的 70% 左右,因此,海洋,特别是热带海洋,是全球大气的重要能源。海水的热容量极大,海洋和大气同属旋转的地球流体,但两者的物理和化学性质差异极大,相对大气运动而言,海洋运动较稳定,运动和变化较缓慢。海洋可与大气交换 CO_2 ,海洋是地球大气系统中 CO_2 最大的汇。80 年代以来的科学研究表明,海洋—大气耦合相互作用是气候变化的核心问题。海洋对气候变化的影响主要表现在:

- (1)对地球大气系统热力平衡的影响;
- (2)对水汽循环的影响;
- (3)对大气运动的调谐作用;
- (4)对温室效应的缓解作用。

故人们经常将海洋称为气候调节器和气候异常的启动器。

冰雪包括大陆冰原、山地冰川、海冰和雪盖等。雪盖和海冰范围有很大的季节变化,而冰川和冰原的变化则缓慢得多。冰雪的主要作用是增加地表反照率,对大气运动起冷源作用,而在冰雪消融过程中要吸收大量热量,可减缓区域性气候的季节性升温。

陆面是由大陆的陆块,包括山脉、地表岩石、冲积物、土壤以及湖泊、河流和地表水等组成。陆块位置和高度发生变化的时间尺度在气候系统的所有组成部分中最长的,它们作为地球流体的动力学边界条件,制约着大气和海洋的运动。地表是大气中悬浮微粒物的主要源地,而湖泊、河流以及地表水也是大气水汽循环的重要成员。

生物圈主要包括陆地和海洋中的各种植物以及大气、海洋和陆地上的动物以及人类活动。生物圈在大气和海洋的 CO_2 收支中,在气溶胶的产生以及在其它的气体 and 盐粒成分的有关化

学平衡中起着重要的作用。植被是地表状况的重要特征,不同的气候带因降雨量及气温的不同而有各自相应的植被类型,气候状态与生物群落是一种动态的平衡,相互影响相互制约。气候系统中水分循环主要通过凝结和降水、蒸发和蒸腾、径流、渗透和地下水四种方式完成。人类活动可改变水循环的方式从而影响局地气候的变化。

此外,太阳活动、火山喷发、生态系统破坏等也会对地球气候系统造成极大的影响。特别是工业化革命以来,由于科学技术的进步,全球性的气候环境问题也日趋突出,已开始威胁到我们人类的生存。气候系统内部各种要素间通过各种物理过程发生相互作用,影响气候和气候变化,概括起来,这些过程主要包括:辐射过程、云过程、陆面过程、海洋过程、冰雪圈过程、CO₂ 过程、臭氧和其它微量气体过程及气溶胶过程,火山活动与地球运行轨道参数变化对气候也有明显的强迫因子作用。

云南气候系统的组成几乎包涵了以上所述的各个部分,类型之全是全国其他省(区)无法相比的。世界三大气象前沿课题(低纬度问题;大地形作用问题;热带海洋问题)都同时在云南得到了集中体现。云南处于青藏高原东南延伸部位,属背风坡地带,是受青藏高原大地形影响最直接的地区之一。数值计算表明,位于青藏高原东南角的云南是亚洲季风区的主要大气热源区,从春季开始出现热源到盛夏发展成为强大的大气热源中心,若云南的下垫面性质和大气环流发生了某种异常,将会对其上空的大气热源结构和强度造成一定的影响,进而影响云南及周围地区的气候。云南西北部分布有数十座海拔在 4000m 以上的雪山,是北半球纬度最低的雪山群所在地。云南山地面积占全省的 94%,是全国山地面积最多的省份之一。高山、低山、丘陵、谷地、盆地交错分布,全省面积在 1km² 以上的坝子(即盆地)共有 1442 个,面积在 100km² 的大坝子有 49 个。云南是我国喀斯特地貌发育齐全的地区之一。云南分布有 6 大水系(即金沙江水系、珠江水系、红河水系、澜沧江水系、怒江水系和伊洛瓦底江水系),600 多条大小河流,是全国水系最多的省区之一,有大小高原湖泊 40 余个,是世界上湖泊最多的高原地区之一。云南土壤类型达 18 种之多,约占全国的 1/4。云南气候垂直地带性分布极为显著,水平地带性分布和非地带性分布交错,气候类型多样,是我国生物多样性最显著的地区,素有“动植物王国”的美誉。全省植被可分为热带雨林、季雨林、亚热带常绿阔叶林、高山寒温带针叶林 4 大类,各大类内又由于水分、湿度和土壤不同而分成若干亚类,全省仅高等植物就达 15000 多种,占全国种子植物的一半以上。云南还是我国农业作物和经济作物种植种类较多和熟制复杂的省区。受冬春季南支槽影响,滇西北的怒江流域是全国雨季开始最早的地区之一,2~4 月就可进入雨季。受云贵间的气候锋——昆明准静止锋影响,冬春季滇东与滇中以西地区气候截然不同。云南是我国唯一受两大热带气旋(南海台风和孟加拉湾风暴)影响的省(区),是两支夏季风(东亚季风与南亚季风)交叉影响最显著的地区,是形成全国东部大范围降水天气的最主要水汽通道。云南最南端是中国大陆陆地部分的最南缘,充分体现了云南虽身居高原内陆,但气候强烈的受热带海洋、低纬度和高原条件的制约。云南还是我国的主要地震活跃带,每年均有大小不等的地震发生,地震活动造成的地温(地热)异常对气候也有一定的影响。这些因素既是云南气候系统的组成部分,同时它们的变化又反过来影响云南的气候变化。试想,如果没有云贵高原的存在、没有众多的高山、河流和湖泊,云南的立体气候与四季如春也就不复存在了。这表明云南气候变化的内部与外部制约因素是极其复杂的,在考虑气候变化的预测时须从内部和外部寻找原因。

云南所处的地理位置是印度季风系统和东亚季风系统的结合部位,所以它的气候变化理当受到这两支季风气候系统振荡的影响。为此,首先要弄清如何在这两种季风系统影响下形