

云南省“八五”攻关课题(85A03201)成果

云南气候变化概论

王 宇 编著

气象出版社



序 言

气候变化和气候变化的预测,是当前人们共同关注的问题。特别是在季风气候区,气候的年际和十年际变化非常明显。人们不仅在关注全球气候变暖的问题,也关注区域气候变化的问题。我们研究气候变化,首先在于搞清楚气候变化的实际情况,探索气候变化的原因,然后指出气候变化对生态环境将产生怎样的影响,并提出我们的对策。

近年来,在我国有关气候变化的论文已发表不少。但我还没有看到有关我国气候变化的专著,特别是某一个省的气候变化专著。王宇同志编著的《云南气候变化概论》一书,是我读到的第一本省级的有关气候变化分析和预测的专著。著者根据所能收集到的云南省的气候资料(包括历史资料和器测资料),详细地分析了云南省近40年、近100年和500年来气候冷暖变化及干湿变化的特征,并将所分析的结果与全国和全球的气候变化相比较。指出云南省的气候变化与全国和全球的气候变化有一致的共性,也有它的特殊性。著者还对云南省未来5年、15年以及更长一段时间的气候变化趋势作了预测,指出了云南省的气候变化对该省的生态环境将会产生怎样的影响,并提出我们应该采取的对策。

本书是王宇同志近年来对云南省气候变化研究成果系统、全面的概括和总结,内容很丰富,并且具有科学性和实用性,已达国内先进水平。我非常希望其他省市也写出象本书那样的气候变化专著,这样我们对全国的气候变化将会有更全面的了解。我非常感谢云南省比其他省市先走了一步。

陶诗言

前 言

气候是一种人类赖以生存和发展的宝贵的自然资源。气候本身存在着不同时间尺度的冷暖变化和干湿变化规律。气候的冷暖变化和干湿变化,对人类社会活动和经济发展有着重大的影响。

近年来,世界各地不断发生天气气候异常的事件,各种气象灾害频繁出现,严重地威胁着人类的生存和发展。气候变化及其与人类活动的相互关系问题已逐步引起国际社会和各界人士的广泛重视。人们担心气候变化和气候异常对人类社会和经济发展造成越来越严重的不利影响,认识到保护和改善气候环境是人类面前一项严肃、迫切的科学任务。国际上普遍加强了对气候变化、影响及其对策的研究,多次召开了关于气候问题的政府和专家会议。我国也成立了国家气候委员会,召开了关于气候变化问题的一系列会议,许多专家和学者发表了许多有关气候变化的重要研究成果和论文。

云南地形复杂,气候多样。气象灾害是影响云南工农业生产与经济建设的最主要的自然灾害。气候的干湿变化和冷暖变化对云南国民经济有着重要的影响。为了提高灾害性天气预测预报水平,防灾减灾,趋利避害,实现云南国民经济快速发展,云南省科学技术委员会 1990 年下达了省“八五”攻关课题“云南灾害性天气预测预报的研究”,由云南省气象局、云南大学等单位承担。“云南干湿、冷暖气候变化趋势的分析与预测”是该项攻关课题的一个子课题,本书就是上述子课题部分研究成果内容的汇集。

本项工作得到中国科学院院士陶诗言先生、云南省科委原主任张敬罗研究员、国家气候中心主任丁一汇研究员、中国气象局气象服务与气候司沈国权司长、中国气象科学研究院陈隆勋、张家诚研究员、北京大学王绍武教授、中山大学谭冠日教授、南京气象学院屠其璞教授等专家的热情指导。在整个研究工作中,云南省气象局领导十分重视,总课题组长朱云鹤高级工程师自始至终关心本项研究工作,课题组的全体同志团结一致,努力工作,是本项研究工作得以顺利完成研究任务的重要原因。在此,仅对所有给予编著者指导、关心、支持和帮助的专家、领导和各位同志表示衷心的感谢。

本书从 1995 年上半年开始编写,准备资料、编制程序、上机计算、查阅文献、分析研究、执笔编写等均由编著者独立完成。由于编著者水平有限,加之时间仓促,资料缺乏,书中不妥和错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

王 宇

1996 年 4 月

编审委员会

主任:朱云鹤

委员:冯国柱 秦 剑 张家智

张万诚 肖 伟 朱天禄

缪启龙 李 敏 曹 杰

绘图:谢国清 王 宇 肖 伟

资料:张双仙

目 录

序 言

前 言

第一章 引 论	(1)
第一节 气候变化研究的重要意义	(1)
第二节 云南气候变化研究的简况	(2)
第三节 本项研究工作主要内容和说明	(3)
第二章 云南 40 年来气候变化	(4)
第一节 代表站的选取及历史沿革、资料审查和处理方法	(4)
第二节 40 年来气温变化	(6)
第三节 40 年来降水变化	(43)
第三章 云南近百年来气候变化	(88)
第一节 资料及处理方法	(88)
第二节 近百年来气温变化	(88)
第三节 近百年来旱涝变化	(118)
第四章 云南 500 年来气候变化	(134)
第一节 资料及处理方法	(134)
第二节 500 年来的冷暖变化	(135)
第三节 500 年来的干湿变化	(146)
第五章 云南历史时期和地质时期气候变化	(157)
第一节 资料来源	(157)
第二节 历史时期的气候变化	(158)
第三节 地质时期的气候变化	(162)
第六章 云南气候变化的影响与评价	(167)
第一节 气候的冷暖变化对社会经济的影响与评价	(168)
第二节 气候的干湿变化对社会经济的影响与评价	(169)
第三节 重大气候事件的影响与评价	(172)
第七章 云南未来气候变化趋势及影响、对策和建议	(181)
第一节 90 年代后半期(1996~2000 年)气候变化趋势的预测	(181)
第二节 21 世纪初(2001~2010 年)气候变化趋势的预测	(182)
第三节 21 世纪前半叶(2011~2050 年)气候变化趋势的预测	(183)
第四节 影响、对策和建议	(186)
参考文献	(189)

第一章 引 论

气候是人类生产和生活的一个重要的自然条件。人民生活、经济建设和社会发展都直接或间接地与气候有密切的关系。近年来,随着全球气候变暖和异常气象的频繁发生,气候问题日益受到各国政府和国际社会的广泛关注。

气候一直以长短不等的时间尺度在变化着,并且总是以小概率出现。当这种变化超出人们对长时期大概率气候状况所适应的范围时,往往发生各种气象灾害,导致严重的社会经济危害后果。因此,近十多年来世界各国都非常重视对气候变化的监测、诊断、预测及其影响对策的研究。

第一节 气候变化研究的重要意义

气候变化对国民经济建设和社会发展具有重要的影响。气候的冷暖变化和旱涝变化与工农业生产、水资源的开发利用、环境、交通运输和国民经济等均有密切的关系。

我国是季风气候显著的国家。在我国,低温、霜冻、干旱、洪涝等灾害每年都会出现,大范围低温冷害和旱涝灾害常常造成粮食作物大幅度的减产乃至绝收,工业部门、交通运输部门、国民经济其它部门以及人民生命财产都会遭到很大的损失。

云南地处祖国西南边疆,低纬高原特殊的地理环境,加之境内各地地形条件差别很大,受东亚季风、南亚季风、高原季风等综合影响和制约,是低温和旱涝等异常气候发生频率高、气象灾害严重的省份。近年来,在世界大范围气候异常频繁出现的情况下,云南各种气象灾害也有加剧发生的趋势。

大范围的低温冷害和旱涝灾害都是由于气温和降水异常变化所造成的。分析研究气温和降水变化规律是研究低温和旱涝发生规律的基础和前提,我们应该加强这方面的研究,应该十分重视由于冷暖变化和旱涝变化对国民经济造成的影响,因此分析研究云南冷暖变化和旱涝变化的规律,提高预测水平,做好未来变化趋势的预测,防患于未然,对保证国民经济高速发展和人民生命财产安全具有十分重要的意义。

宋健同志指出^[1],研究各种尺度的中长期气候的变化规律,深刻了解全球气候、东亚气候、中国气候、各地的局部气候变化规律,对中华民族的发展和建设具有重大的指导意义。

他又指出,全球性气候变化,如冰河期的发生和消退,海洋对气候的影响,厄尔尼诺现象,太阳活动的影响等等,对这些大尺度自然现象,今天我们还无力施加有效的影响。但是,气候科学有巨大的潜力,对这些现象进行研究,认识它们的发生、发展和演变规律,让各级政府和人民了解这些规律,用以指导工农业建设,引导社会发展,不是与大自然做对,而是适应潮流,顺从和利用这些规律,这同样具有重大战略意义。

气候变化关系到千家万户、各行各业,由它所引起的利弊影响也有千差万别。天气的演变可能给人民的生命财产带来重大的损失,但气候的变化所造成的影响涉及面更广泛、更深远、更持久。云南幅员广阔,地形复杂,气候千差万别。各级政府和有关部门应该高度重视气候异常、气候变化对社会经济造成的影响,在制定规划、安排计划时充分考虑这些影响,不

断增强对气候异常、气候变化的适应能力,掌握气候变化规律,合理利用气候资源,扬长避短,趋利避害,使国民经济能快速、高速的发展。

第二节 云南气候变化研究的简况

云南气候变化的分析研究起步较晚。1950年以前,云南从事气象和气候工作的人很少,国内基本上没有发表单独论及云南气候及气候变化的文章。1956年11月樊平在《天气月刊》上发表《云南气候概论》,这是论及云南气候的开篇文章。1961年6月9日《云南日报》上刊登了云南省气象局的《昆明三十年来的气候变化》文章,该文是首篇论及云南气候变化的文章。

1975年10月下旬在湖南长沙召开了“全国气候变迁和超长期预报会议”,云南省气象局科研室在会上交流了《云南近500年来水旱周期演变规律和未来15年内水旱趋势估计》的论文。此后,在1976年10月又撰写出了《云南近500年来的气候冷暖变化和未来气候冷暖变化趋势估计》论文。1978年于希贤在《昆明师范学院学报》上发表了《苍山雪与云南历史时期气候变迁》论文。1978年刘恭德在“全国气候变化学术会议”上发表了《近两千年昆明地区八月气温变化的分析》论文。这一时期是云南气候变化研究的第一个高潮时期。

70年代末到80年代前期,关于云南气候变化的文章较少。1980年云南省气象科学研究所出版了《云南天气灾害史料》一书,书中对云南近700年来干旱、洪涝、霜冻、低温等灾害性天气变化规律作了初步分析。1980年刘恭德在云南省气象局、云南省气象学会编辑出版的《云南气象文选》上发表了《昆明地区八月低温冷害气候变化初步探讨》论文。80年代后期至90年代初,在有关刊物和学术会议上陆续发表了一些分析研究云南气候变化的文章,这一时期进入云南气候变化研究的第二个高潮时期。这段时间有影响的论文主要有:李选周《云南未来的气候冷暖和重大灾害天气趋势预报与发展经济作物生产对策的建议》(《云南气象》,1987年第1期)、王明等《到本世纪末期西南地区气候趋势及重大气候灾害出现概率的预报》(《云南气象》,1989年第2期)、王宇等《云南近40年来气候变化的初步分析》(《全国气候变化诊断分析会议论文集》,气象出版社,1991年)、王宇等《本世纪来昆明气温变化的诊断分析》(《低纬高原天气》,第4卷,1991年)、刘恭德在《西南气候》一书(气象出版社,1991年出版)第七章“气候变化”中论及了云南地质时期、历史时期与现代气候变化、王裁云《近四十年来云南气温的变化趋势》(《云南气象》,1993年第1期)、朱天禄等《80年代到90年代初云南气候变化特点分析》(《云南气象》,1994年第1期)、王宇《近百年来云南旱涝变化的初步研究》(《低纬高原天气》,第7卷,1994年)、1994年王宇在“中国气候变化及其成因研讨会”上发表了《本世纪来昆明气温异常及其成因的初步分析》论文、王宇等《云南40年气温场的基本特征》(《低纬高原天气》,第8卷,1995年)、张家智《近40年云南气温异常的初步分析》(《云南气象》,1995年第1期)、王宇《本世纪来昆明气温突变的分析》(《云南气象》,1995年第2期)、缪启龙等《云南40年降水的基本特征》(《气象科学》,1995年第3期)、1996年4月王宇在“全国气候变化学术研讨会”上发表了《云南500年来干湿变化及未来趋势预测》论文等。

1990年云南省科学技术委员会下达了省“八五”攻关课题“云南灾害性天气预测预报的研究”,“云南干湿、冷暖气候变化趋势的分析与预测”是该项攻关课题的一个子课题。经过

5年的努力,取得了一批研究成果,发现了云南气候变化的一些新的事实,揭示了云南气候变化许多重要特征,发表了20多篇论文,培养和发现了一批优秀的气候科技人材。本项研究是系统、全面分析研究云南气候变化基本特征和规律的开始,也为今后进一步深入研究打下了良好的基础。

第三节 本项研究工作主要内容和说明

本项研究工作从40年来、近百年来、500年来、历史时期和地质时期4种时间尺度对云南气候冷暖变化和干湿变化的规律和基本特征进行分析研究。云南40年来的气温变化和降水变化,因其资料丰富,站点也多,故分析研究得较为详细深入。近百年来云南气候的冷暖变化和旱涝变化,也有一部分资料,故作了一般的分析。对500年来云南气候的冷暖变化和干湿变化,因其年代久远,且资料匮乏,只是在可能的情况下作了一些分析。历史时期和地质时期云南的气候变化,资料更为稀罕,年代更为遥远,只能从零星的文献中,摘引有关内容加以介绍,很不系统、不连续、也不全面。

气候变化的特点和趋势的分析研究是本项研究重要的方面,也是整个研究工作的基础。本书初步揭示了云南气候变化的基本特征和规律,分析了云南气候变化的趋势,揭露了云南气候变化若干新的事实,首次给出了云南40年来气温变化和降水变化的类型、幅度、变率和周期,云南40年来气温场和降水场的基本特征,云南100年来冷暖等级和500年来旱涝等级年表,并分析了80年代以来云南城市发展对气温的影响。为今后进一步深入研究云南气候变化规律、可能原因及未来变化趋势等打下基础。

气候变化研究还应包括气候对国民经济影响的评价,其最终目的是预测未来的气候变化趋势,气候变化规律的分析是评价和预测的前提和基础。本书对气候的冷暖变化和干湿变化、气象灾害对云南国民经济的影响作了初步评价,对未来几十年云南气候变化的趋势作了初步预测。上述工作为各部门分析总结气候与云南国民经济的关系、制定经济发展长远规划提供了可靠的背景材料和科学依据。

需要说明的是,以上各项分析研究侧重于揭示云南气候变化特征和规律的基本事实,对气候变化和各种物理因子的关系未能深入研究,对气候变化的机理和原因多未涉及,这有待于今后进一步深入研究和探讨。

我们希望本项研究工作能引起广大气象工作者、各级政府、有关部门和各界人士的重视,特别是各级领导的关注和重视,为做好云南气候冷暖变化和旱涝变化的预测、进一步深入探讨气候变化对云南经济发展的影响、防灾减灾、趋利避害、实现云南国民经济的快速发展而努力。

任重而道远,让我们不断去努力探索吧。

第二章 云南 40 年来气候变化

40 年来云南气候发生了一系列变化,云南 40 年来气候变化是在北半球和全国气候变化的大背景之下发生的,既有其与北半球和全国的共同点,也有其不同点。本章主要分析研究云南 40 年来气温变化和降水变化的主要特征。气温变化包括年平均气温、夏季平均气温、冬季平均气温的变化,降水变化包括年降水量、雨季降水量、夏季降水量的变化。在以上各种时段中,主要分析研究了变化类型、倾向率、变率、每 10 年一段变化特征、极值、周期、异常、突变等特征,分析了云南省 40 年气温场和降水场的基本特征以及全省域气温变化和降水变化特征。80 年代后期开始,云南城市发展速度很快,云南省有部分气象台站观测场周围建筑物增多,环境发生了明显的变化,本章也分析研究了云南城市化对气温的影响。

第一节 代表站的选取及历史沿革、资料审查和处理方法

一、代表站的选取及历史沿革

为了分析研究云南气候变化的特征,关键在于选取若干个能基本代表云南省气候变化特征的气象观测台站。我们在代表站选取时综合考虑以下各方面的因素,首先是省内分布相对均匀,尽可能各个地州市都能有代表站,其次是资料年代要长,站址变动要小,代表性要好,再次是观测质量要有保证,一般尽可能选取基本站(基准站),如果要选气候站,最好是 4 次观测、夜间守班的站,同时要充分考虑地、州、市所在地的气象站。

按以上要求,我们选定了 18 个代表站。云南省共有 17 个地、州、市,其中保山地区选了 2 个站,即保山和腾冲,之所以增选腾冲,是因为腾冲站在 1911 年即开始有气象观测资料,是云南省资料年代长度最长的两个站中的一个(另一个是昆明),在分析研究近百年来云南气候变化时有很大的使用价值。云南省 18 个代表站在省内分布情况可参见云南省 40 年气温场基本特征这一节的有关图。

我们选定的 18 个代表站,除沾益、蒙自、腾冲、泸水 4 站不在地州市所在地外,其余 14 个代表站均在地州市所在地。在这 18 个代表站中,1951 年有资料的有昆明、昭通、沾益、玉溪、蒙自、腾冲、大理、丽江、保山 9 站,1955 年以前有资料的有东川、思茅、景洪、临沧、楚雄、潞西 6 站,其余文山、泸水、中甸 3 站分别为 1956 年、1957 年、1958 年开始有资料。

站址的变动、观测场环境的变化对气温和降水记录可能会产生或大或小的影响。在这 18 个代表站中,自 50 年代建站至今,站址和观测场未有任何变动的有泸水、中甸、东川(新村)3 站。站址未变、观测场有过移动,但离原址很近,移动距离不超过 100m 的有景洪、文山、临沧 3 站。站址未变、观测场移动距离较大(一般在 2000m 以内),但观测场周围地形条件变化不大的有腾冲、大理、思茅、玉溪、蒙自、楚雄、昭通、沾益、潞西、丽江 10 站。站址变动较大的有昆明、保山 2 站。表 2-1 列出云南省 18 个代表站地理位置、海拔高度(指观测场)、记录开始年月及观测场变动的情况。

表 2-1 云南省代表站地理位置、海拔高度及站址变动情况表

站名	北纬	东经	海拔高度(m)	开始年月	观测场变动情况
昆明	25°01′	102°41′	1891.4	1951.1	1953.6.1 西北移 600m, 1957.7.1 西移 2500m
昭通	27°20′	103°45′	1949.5	1951.1	1955.12.1 西北移 600m
东川	26°06′	103°10′	1254.1	1954.7	无变动
沾益	25°35′	103°50′	1898.7	1951.1	1954.3.1 西南西移 750m
玉溪	24°21′	102°33′	1636.7	1951.1	1953.12.3 西南西移 287m
蒙自	23°23′	103°23′	1301.7	1951.1	1953.12.3 西南西移 2750m
文山	23°23′	104°15′	1271.6	1955.11	1976.9.1 东移 25m
楚雄	25°01′	101°32′	1772.0	1952.9	1953.6 南移 1100m, 1955.12 北移 30m
思茅	22°47′	100°58′	1320.1	1951.11	1954.9.1 西移 100m
景洪	22°00′	100°48′	552.7	1953.8	1955.7.1 南移 70m
临沧	23°53′	100°05′	1502.4	1953.4	1981.11.24 南移 25m
潞西	24°25′	98°35′	913.8	1954.1	1960.1 西移 450m
保山	25°27′	99°10′	1653.5	1951.1	1953.3 东北北移 2700m, 1958.2 东北北移 3800m
腾冲	25°01′	98°30′	1654.6	1951.1	1956.1.1 南移 1100m
泸水	25°59′	98°49′	1804.9	1957.1	无变动
大理	25°42′	100°11′	1990.5	1951.1	1951.1 东南移 400m, 1958.6 东北北移 1500m
丽江	26°52′	100°13′	2393.2	1951.1	1954.5 西南移 1500m
中甸	27°50′	99°42′	3276.1	1958.1	无变动

在这 18 个代表站中,有 4 个基准站(昆明、蒙自、腾冲、丽江),12 个国家基本站(昭通、沾益、玉溪、文山、楚雄、思茅、景洪、临沧、保山、泸水、大理、中甸),2 个气候站(东川、潞西)。东川和潞西两站虽然是气候站,但都是州、市所在地,均为 4 次观测夜间守班的站,观测资料的代表性和准确性都比较好。

80 年代以来,由于城市化的影响,云南有部分气象台站观测场周围建筑物增多,观测环境有了明显的改变,对气温产生了一定的影响。经对比分析,在 18 个代表站中,昆明、景洪、楚雄、保山、玉溪站影响较为明显,思茅站也有一些影响,其它站影响较小。关于城市化对气温的影响可详见本章第二节的有关内容。

需要说明的是,沾益气象站现已改名为曲靖市气象站,为了与曲靖地区气象台观测组的资料有所区别,我们在文中仍沿用沾益的站名。在全省要素分布图上,因规范化要求,沾益地名已改为曲靖。

二、资料审查和处理方法

分析研究云南 40 年来气候变化的基础是观测资料。在统计分析之前,首先应对气温和降水观测资料进行评定和审查。以下我们从观测资料的准确性、代表性、均一性、比较性等几个方面进行审查和评定。

我们所选的 18 个代表站,考虑了省内地域分布及各种气候特点的要求,大部分是国家基本站或基准站,少数是州、市气象台所在地的气候站,一般都进行 4 次观测,有严格的观测规章制度,报表也经过了审核。因此,可以认为观测资料是精确的,有代表性的。

均一性主要指观测资料能否反映整个观测时期的真实气候状况。由于站址迁移、观测场环境的变化、仪器类型的变更、观测时次的改变等等所造成的系统变化,即非均一性。在我们所选定的18个代表站中,除昆明、保山两站外,其余16个代表站40年来站址均未变动过,部分站观测场有所迁移,但移动的水平距离不大,海拔高度的变化也很小。40年来观测时次是有一些变化,但都是按照气象部门统一规定实行的。百叶箱和雨量筒安装高度也未发生变化。因此,由以上诸项因素所引起的观测资料前后不连续的现象即非均一性基本上可以排除。对昆明、保山两站由于站址迁移是否引起观测资料产生不连续的现象进行了审查,我们采用文献⁽²⁾⁽³⁾中所提出的方法,对昆明、保山站两次迁站前后的气温和降水观测资料进行均一性检查,检查结果表明,两站站址变动前后气温和降水观测资料是连续的,可以合并使用。这主要因为昆明、保山两站虽然站址变动水平距离较大,但都在同一个平坝里,迁站前后站址周围地形环境等基本是一致的,加之观测场的海拔高度变化很小(都在10m以下),故气温和降水观测资料未出现非均一性的情况。

40年来,云南18个代表站观测场周围的环境或多或少都发生了一些改变,特别是80年代以来,由于经济发展,城镇建设规模扩大,观测场周围建筑物明显增多,对观测资料可能会产生一些影响,必须考虑由城市化影响所引起的气温和降水观测资料的非均一性的问题。经过对比分析,在这18个代表站中,城市化对观测资料的影响,有少数代表站较为明显,其它代表站影响不大。城市化的影响主要表现在80年代后期开始气温有所增高这一方面。

云南18个代表站中只有9个站是1951年建站的,对于其余9个站1951年至建站前所缺的气温和降水资料,采用差值法、比值法和回归法等方法进行插补、延长,并进行插补和延长的适当性检验。在18个代表站中,由于文化大革命的影响,有昭通、东川、文山3站出现过缺测,对于这3个站所缺时段的资料,采用气候学方法进行插补,并进行插补适当性的检验。经过以上处理,从而得到了18个代表站1951~1994年各月及年平均气温和年降水量完整的资料序列,作为我们分析研究云南40年来气温变化和降水变化的基础资料。此外,在研究40年来冬季平均气温变化情况时,还使用了1995年18个代表站的有关资料。

第二节 40年来气温变化

气候是一种人类赖以生存和发展的宝贵的自然资源。气候本身存在着不同时间尺度的冷暖变化规律,本节根据云南省18个代表站1951~1994年44年的气温资料,分析研究了云南40年来气温变化的基本特征。

一、年平均气温

(一)年平均气温的变化类型

我们绘制了云南省18个代表站1951~1994年年平均气温变化曲线图,为了滤去高频振动趋势,还绘制了上述18个代表站1951~1994年年平均气温5年滑动平均变化曲线图(图2-1至图2-4,图中折线为气温变化曲线,粗线为5年滑动平均曲线,以下夏季、冬季平均气温曲线图均同此)。由图可见,云南40年来年平均气温的变化可分成以下4种类型:

1.“U”型:以昆明站为代表(见图2-1),年平均气温变化特点是“两头高中间低”,呈“U”型分布,50年代气温高,60年代末至70年代气温低,80年代到90年代初气温升高。省内还

有玉溪、楚雄、中甸、保山、文山、蒙自等站属于此型。

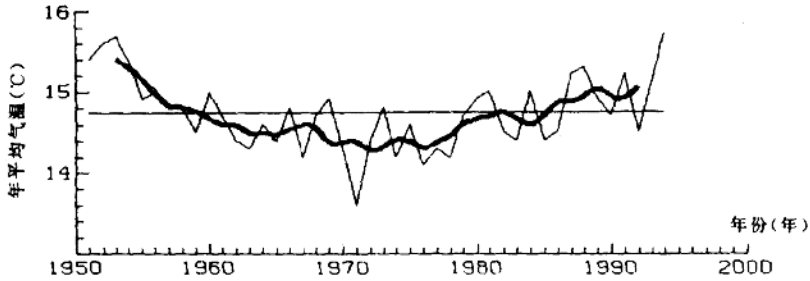


图 2-1 昆明站 1951~1994 年年平均气温变化曲线和 5 年滑动平均曲线图

2. 上升型:以景洪站为代表(见图 2-2),年平均气温从 50 年代开始一直在波动中不断升高,80 年代末到 90 年代初气温最高。省内思茅、腾冲、临沧等站属于此类型。

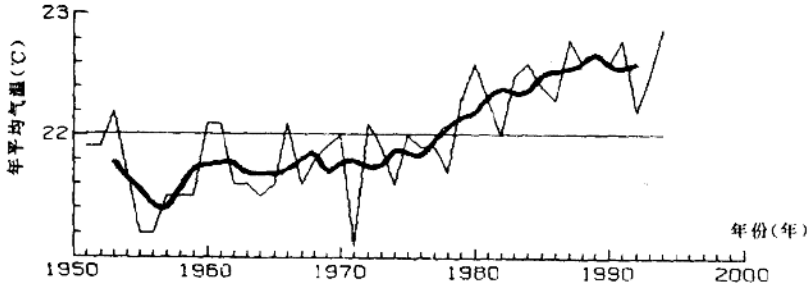


图 2-2 景洪站 1951~1994 年年平均气温变化曲线和 5 年滑动平均曲线图

3. 下降型:以大理站为代表(见图 2-3),从 50 年代开始,年平均气温在波动中缓慢下降,80 年代末到 90 年代初气温明显偏低。省内东川、昭通、沾益、潞西站属于此类型。

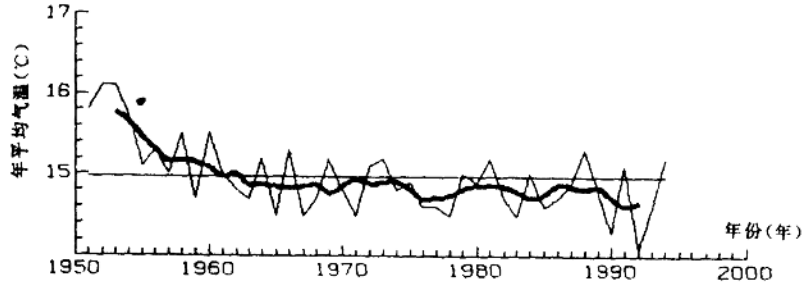


图 2-3 大理站 1951~1994 年年平均气温变化曲线和 5 年滑动平均曲线图

4. 波动型:以丽江站为代表(见图 2-4),从 50 年代开始,年平均气温的变化都在平均值附近摆动,无明显的上升或下降的趋势,省内泸水站属此类型。

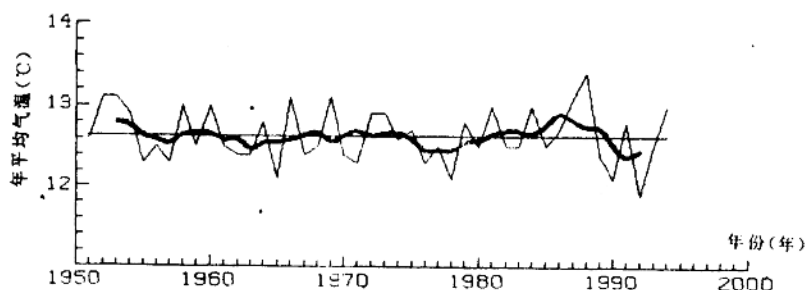


图 2-4 丽江站 1951~1994 年年平均气温变化曲线和 5 年滑动平均曲线图

(二) 年平均气温的倾向率

我们采用倾向率来定量表述 40 年来云南气温变化的幅度,其计算方法如下,设某站年平均气温的时间序列为 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, 它总可以用一个多项式来表示:

$$\hat{Y}(t) = B_0 + B_1 t + B_2 t^2 + \dots + B_p t^p \quad (1)$$

上式中 t 为时间,单位为年。一般来说,温度的气候趋势用一次直线方程就能满足,即

$$\hat{Y}(t) = B_0 + B_1 t \quad (2)$$

其趋势变化率方程为:

$$\frac{d\hat{Y}(t)}{dt} = B_1 \quad (3)$$

我们把 $B_1 \times 10$ 年称为气温倾向率,单位为 $^{\circ}\text{C}/10$ 年。方程(1)或(2)中系数 $B_0, B_1, B_2, \dots, B_p$ 可用最小二乘法或经验正交多项式来确定。本工作中我们用最小二乘法来确定,即满足: $\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}(t)) = \text{最小}$ 。

气温变化趋势方程中系数 B_1 的计算式为:

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (4)$$

式中, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$, n 为资料样本长度, y_i 为逐年平均气温, t_i 为 y_i 对应的年份(年序)。

我们采用(4)式计算了云南省内 18 个代表站 1951~1970 年、1971~1994 年、1951~1994 年 3 种不同时段年平均气温变化的倾向率,列于表 2-2,夏季平均气温、冬季平均气温的倾向率也列于表 2-2。

由表可见,云南省 18 个代表站年平均气温变化倾向率,在 1951~1970 年这一时段除思茅、景洪两站为正值外,其余 16 个站均为负值,其中玉溪、保山两站负值最大分别为 -0.72 、 $-0.70^{\circ}\text{C}/10$ 年,丽江、泸水、蒙自站负值较小,其值分别为 -0.11 、 -0.16 、 $-0.18^{\circ}\text{C}/10$ 年,其余各站在 $-0.35 \sim -0.56^{\circ}\text{C}/10$ 年之间。这表明,在 1951~1970 年这 20 年间云南省多数站年平均气温是下降的,其速率多数站达到 $-0.35 \sim -0.56^{\circ}\text{C}/10$ 年。在 1971~1994 年这一时段,年平均气温变化的倾向率除大理、东川两站为负值外,其余 16 站均为正值,其中思茅、景洪、楚雄、昆明 4 站倾向率值较大,其值在 $0.40^{\circ}\text{C}/10$ 年以上,丽江、沾益、昭通、潞西、

泸水 5 站倾向率值较小,其值在 $0.10^{\circ}\text{C}/10$ 年以下,其余各站在 $0.20 \sim 0.30^{\circ}\text{C}/10$ 年之间。以上表明,在 1971~1994 年这 24 年期间,云南省多数站年平均气温呈上升趋势,其速率多数站达到 $0.20 \sim 0.40^{\circ}\text{C}/10$ 年。综合计算,在 1951~1994 年这一时段内,省内 9 站倾向率为负值,其值在 $-0.02 \sim -0.25^{\circ}\text{C}/10$ 年之间。有 2 站倾向率为 $0.0^{\circ}\text{C}/10$ 年,有 7 站倾向率为正值,其值在 $0.08 \sim 0.27^{\circ}\text{C}/10$ 年之间。这说明,云南省 40 年来年平均气温变化除西南部部分站表现出升温趋势外,多数站总的趋势是下降的,尽管从 70 年代以后开始升温,但 80 年代末到 90 年代初年平均气温还没有 50 年代初数值高。

表 2-2 云南省代表站 1951~1994 年年平均气温变化倾向率($^{\circ}\text{C}/10$ 年)

站名	1951~1970			1971~1994			1951~1994		
	年	夏季	冬季	年	夏季	冬季	年	夏季	冬季
昆明	-0.56	-0.31	-0.64	0.44	0.40	0.44	-0.03	0.06	-0.03
昭通	-0.38	-0.48	-0.52	0.03	0.08	0.11	-0.07	-0.07	-0.07
东川	-0.52	-0.39	-0.74	-0.16	0.10	-0.03	-0.25	-0.04	-0.25
沾益	-0.35	-0.25	-0.48	0.03	0.12	0.06	-0.08	0.01	0.01
玉溪	-0.72	-0.41	-0.85	0.27	0.35	0.32	-0.19	-0.02	-0.21
蒙自	-0.18	-0.06	-0.41	0.22	0.27	0.16	0.00	0.10	0.01
文山	-0.43	-0.20	-0.62	0.28	0.38	0.30	0.00	0.15	0.02
楚雄	-0.38	-0.19	-0.30	0.47	0.45	0.54	0.08	0.13	0.12
思茅	0.13	-0.03	0.42	0.50	0.37	0.65	0.26	0.20	0.40
景洪	0.07	-0.05	0.11	0.49	0.37	0.60	0.27	0.25	0.36
临沧	-0.09	0.01	-0.10	0.22	0.27	0.23	0.10	0.16	0.09
潞西	-0.43	-0.25	-0.59	0.03	0.18	-0.03	-0.06	0.00	-0.08
保山	-0.70	-0.04	-1.23	0.30	0.38	0.43	-0.07	0.11	-0.14
腾冲	-0.09	-0.06	-0.01	0.15	0.06	0.37	0.10	0.05	0.20
泸水	-0.16	-0.07	-0.07	0.07	0.31	0.03	0.03	0.12	0.00
大理	-0.59	-0.25	-0.72	-0.04	0.15	-0.20	-0.19	-0.03	-0.33
丽江	-0.11	-0.02	-0.15	0.01	0.26	-0.02	-0.02	0.09	-0.01
中甸	-0.43	-0.17	-0.62	0.27	0.42	0.40	0.09	0.13	0.14

(三)变率、最冷年、最暖年和气温异常的分析

气温变率是揭示一个地方气温数值离散情况的特征量,计算公式为:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N |T_i - T|}{N \cdot T} \quad (5)$$

式中, P 为气温变率, N 为资料样本长度, T_i 为逐年平均气温, T 为气温多年平均值。采用上式对云南代表站 1951~1994 年年平均气温作每 10 年一段变率的计算,结果列入表 2-3。

表 2-3 云南省代表站 1951~1994 年年平均气温每 10 年一段变率

站名	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1951~1994
昆明	3.8	1.4	2.3	2.2	2.6
昭通	3.1	2.6	3.2	2.8	2.9
东川	3.3	2.1	2.0	1.9	2.3
沾益	2.9	2.0	2.4	1.9	2.3
玉溪	5.3	1.4	1.7	1.5	2.6
蒙自	1.7	1.5	2.0	1.2	1.6
文山	2.1	1.4	2.0	1.4	1.8
楚雄	2.4	1.6	2.0	2.6	2.3
思茅	2.7	1.2	1.5	2.1	2.0
景洪	1.9	1.3	1.4	2.0	1.7
临沧	1.8	1.1	1.4	1.4	1.5
潞西	2.4	1.0	1.1	0.9	1.3
保山	4.2	1.3	1.4	1.5	2.3
腾冲	2.3	1.5	1.6	1.8	1.8
泸水	2.4	1.5	1.8	1.8	1.9
大理	4.6	1.6	1.4	1.7	2.3
丽江	2.3	2.2	1.8	2.5	2.3
中甸	4.7	8.3	3.1	7.0	6.1

由表可见,云南年平均气温变率 50 年代稍大,各站数值在 1.7~5.3 之间,60 年代除中甸外,各站的数值均较小,大多在 1.0~2.0 之间,70 年代数值也较小,绝大多数站在 2.0 以下,80 年代除中甸站外,其它各站数值亦小,多在 2.5 以下。1951~1994 年年平均气温变率在 1.3~6.1 之间。以地区而言,省内中甸变率最大,各年代值在 3.1~8.3 之间,潞西最小,各年代值在 0.9~2.4 之间。以上结果说明,云南年平均气温变率数值小,气温偏离平均状态不厉害。新疆每 10 年一段变率最大可达 14.8,远比云南的数值大。

我们统计了云南省 18 个代表站 1951~1994 年间最暖年、最冷年出现年份和年平均气温数值,列于表 2-4,最暖年和最冷年气温差值也列入表 2-4。

由表可见,云南省最暖年出现在 50 年代前期的有 10 站,出现在 1988 年的有 4 站,出现在 1994 年的有 5 站,1991 年出现的有 1 站,以上站数总和超过 18 个,是因为有些站最暖年出现在 2 个年份或 3 个年份,故站数总和超过 18 个,最冷年也同此道理。这几年来是云南的暖年,各站大多出现最高值或次高值,其中 1952 年、1953 年出现最高值站数最多,故这两年是云南最暖的年份。最冷年出现年份大多集中在 1965~1971 年这个时段,少数站出现在 1957 年、1959 年、1976 年、1977 年、1992 年,其中 1971 年出现站数最多,达 10 站,最冷年不在 1971 年的站该年也大多为次低值,可见 1971 年是云南最冷的年份。

云南省最暖年与最冷年年平均气温差值玉溪站最大为 2.3℃,临沧站最小为 1.1℃,其它各站差值在 1.4~2.1℃之间。

气温异常是指气温严重偏离平均状态而言。世界气象组织(WMO)对气候异常给出了

两种判别标准,一种是某年某要素值与多年平均值的距平值超过该要素标准差的二倍以上,另一种是该要素值出现的机率为25年以上一遇。由于第二种标准不易统计,并且定量性不强,因此本工作采用第一种标准,即距平绝对值超过标准差二倍以上为达到异常的标准,若为正距平则是高温异常,若为负距平则是低温异常。

表 2-4 云南省代表站 1951~1994 年年平均气温最暖年、最冷年情况表

站名	最 暖 年		最 冷 年		极 差 (℃)
	出现年份	T(℃)	出现年份	T(℃)	
昆明	1953、1994	15.7	1971	13.6	2.1
昭通	1952	12.7	1976	10.8	1.9
东川	1952、1953	21.5	1977	19.3	2.2
沾益	1952	15.4	1967、68、71、92	13.9	1.5
玉溪	1951	17.3	1971	15.0	2.3
蒙自	1952	19.4	1971	17.7	1.7
文山	1952、1953	18.7	1971	17.0	1.7
楚雄	1988	16.8	1971	14.9	1.9
思茅	1994	18.9	1971、1955	17.1	1.8
景洪	1994	22.9	1971	21.1	1.8
临沧	1988、1991、1994	17.9	1971	16.8	1.1
潞西	1954	20.5	1968	18.9	1.6
保山	1953	16.9	1968、1971	15.1	1.8
腾冲	1988	15.6	1957	14.2	1.4
泸水	1994	15.9	1959	14.5	1.4
大理	1952、1953	16.1	1992	14.1	2.0
丽江	1988	13.4	1992	11.9	1.5
中甸	1988	6.7	1965	4.9	1.8

气温标准差计算公式如下:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (6)$$

式中, S 为气温标准差, t_i 为逐年(季)气温值, $\bar{t}$ 为多年气温平均值, n 为资料长度。

按以上公式,我们求得云南省 18 个代表站年平均气温标准差,根据世界气象组织关于气候异常的第一种标准,并求得年平均气温异常次数,结果如表 2-5 所示。夏季平均气温、冬季平均气温标准差及异常次数也列入表 2-5。

按云南省 18 个代表站 1951~1994 年年平均气温统计,年平均气温异常共出现 78 站次,占记录总站年数(792 次)的 9.8%,其中年高温异常 65 站次,年低温异常 13 站次,分别占记录总站年数的 8.2% 和 1.6%。与外省相比,云南出现气温异常概率较小,这说明云南气温变化比外省幅度要小,这正表现出云南气候特殊性的一方面。

表 2-5 云南省代表站 1951~1994 年年、夏季、冬季平均气温标准差(℃)及气温异常次数表

站名	年			夏 季			冬 季		
	标准差	高温异常	低温异常	标准差	高温异常	低温异常	标准差	高温异常	低温异常
昆明	0.4	6	1	0.3	2	0	0.8	1	1
昭通	0.4	3	0	0.5	2	2	1.2	0	1
东川	0.5	5	0	0.6	0	1	1.3	0	2
沾益	0.4	3	0	0.3	1	1	1.1	0	1
玉溪	0.3	6	0	0.3	4	0	0.6	7	1
蒙自	0.4	2	1	0.3	2	0	1.0	0	0
文山	0.3	3	1	0.3	2	1	1.1	0	0
楚雄	0.4	4	0	0.4	2	0	0.7	1	1
思茅	0.4	2	3	0.3	1	2	0.7	1	1
景洪	0.4	1	3	0.4	1	0	0.8	0	2
临沧	0.3	3	0	0.3	1	3	0.5	1	1
潞西	0.2	5	1	0.3	2	1	0.5	3	1
保山	0.3	8	0	0.3	4	2	0.5	6	0
腾冲	0.3	3	1	0.3	2	4	0.6	1	1
泸水	0.3	2	0	0.4	3	1	0.6	1	2
大理	0.3	6	1	0.3	1	1	0.6	6	3
丽江	0.3	1	1	0.5	1	0	0.7	0	2
中甸	0.4	2	0	0.4	2	1	0.8	0	0
合计	-	65	13	-	33	20	-	28	22

(四)年平均气温每 10 年一段变化特征

为了表述 1951~1994 年各阶段云南年平均气温变化的情况,我们计算了 18 个代表站每 10 年一段年平均气温的平均值,并计算出各段平均值与世界气象组织规定的标准 30 年(1961~1990 年)气候平均值的差值,列于表 2-6。年平均气温标准 30 年(1961~1990 年)气候平均值也列于表 2-6 中。

由表可见,云南省 18 个代表站 1951~1960 年这一段平均值有 13 个站高于准 30 年气候平均值,玉溪正距平最大,为 +0.9℃,有 4 站低于准 30 年平均值,景洪、思茅负距平最大为 -0.4℃。由此可见,这 10 年是 40 年来云南气温较高的 10 年。1961~1971 年这一段各代表站 10 年平均值与准 30 年平均值差值较小。而 1971~1980 年这一段平均值只有 2 站高于准 30 年气候平均值,数值仅为 +0.1℃,其余各站均低于或等于准 30 年气候平均值,这 10 年是云南 40 年来气温较低的 10 年。1981~1990 年这一段平均值只有 1 站(东川)低于准 30 年气候平均值,距平值为 -0.1℃,有 6 站(大理、蒙自、潞西、昭通、玉溪、沾益)与准 30 年气候平均值相同,差值为 0.0℃,其余 11 站均高于准 30 年气候平均值,其中思茅、景洪两站差值为 +0.4℃。由此这 10 年也是云南 40 年来气温较高的 10 年。以上结果清楚表明,40 年来对云南省多数地区而言,50 年代和 80 年代年平均气温高,70 年代年平均气温偏低。