

近 44 年云南年平均气温的时空变化特征

姚 愚^{1,2} 李晓鹏¹ 闫丽萍¹ 罗 园¹ 李卫红¹ 李毅巍¹

(1. 云南昆明市气象台, 650034; 2. 云南大学资源环境与地球科学学院)

提 要: 利用云南省 121 个地面测站 1961—2004 年的年平均气温, 分析了云南最近 40 多年来气温变化的基本特征。在气温的年代变化上, 1960 年代和 1980 年代云南气温波动较小, 1970 年代是近 44 年来最冷的一个年代, 1990 年代以后逐步转暖, 但 1990 年代的年平均气温波动也较大。各地不同时段具有不同的气温倾向率, 1980 年代以来全省平均气温倾向率为 $0.24^{\circ}\text{C}/10$ 年, 与全国大部地区的升温率接近, 滇西的保山、中甸和思茅等地是近 40 年全省升温最快的地区, 而滇中地区则是最近 10 多年全省升温最显著的地区。主分量分析揭示了云南各地气温变化的时空分布特征, 第 1 特征向量场的高值区是云南气温变化的敏感区, 第 1 主分量序列是反映云南整体年均气温变化趋势的指标, 第 2 特征向量场的正值区和负值区基本对应第 1 特征向量的低值区和高值区。在第 1 特征向量的高值区 1960 年代以来的气温变化具有前低后高的特点, 低值区则相反。

关键词: 年平均气温 时空变化特征 倾向率 主分量分析

Spatial-Temporal Variation of Annual Mean Temperature in Yunnan Province for Last 44 Years

Yao Yu^{1,2} Li Xiaopeng¹ Yan Liping¹
Luo Yuan¹ Li Weihong¹ Li Yiwei¹

(1. Kunming Meteorological Office, Yunnan Province 650034; 2. Resource and Environment College, Yunnan University)

Abstract: With the annual mean temperature of 121 meteorological surface observation stations in Yunnan Province from 1961 to 2004, the spatial-temporal features of temperature variations in Yunnan is discussed. From the view of temperature variation of various dec-

ades, the fluctuation of temperature is slight in the 1960's decade and 1980's decade. The 1970's decade is the coldest one in the latest four decades. During the 1990's decade, the temperature turns higher gradually and the fluctuation of temperature in 1990's decade is considerable. Since 1980, average linear trend of annual temperature in Yunnan is warming up with 0.24°C per decade, which is close to the average linear trend of main area of China. Baoshan, Zhongdian and Simao, which locate in the west of Yunnan, take on the fastest warming linear trend in the last 40 years, whereas the temperature's ascending trend of mid Yunnan is the most remarkable in the latest ten years. By using principal component analysis of factor fields, the larger value area of the first eigenvector is the sensitive area to the variation of temperature, and its time series is an index standing for the mean annual temperature variation of the whole province. The positive/negative areas of the second eigenvector correspond the lower/higher value areas of the first eigenvector respectively. In the higher value area of the first eigenvector, the feature of temperature variation possesses the character that the temperature is lower in the former time and higher in the latter time since 1960's decade, and the lower value area of the first eigenvector has reverse character.

Key Words: annual mean temperature spatial-temporal variation tendency principal component analysis

引 言

近年来,气候变化最显著的特点是气候变暖。有关研究表明^[1-3],从19世纪后期至20世纪末全球表面平均气温上升了 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。但在气候变暖的大背景下,不同地区气温变化对气候变暖的响应不尽相同,一些地区近年来气温上升较为迅速,另一些地区的气温却出现了下降的趋势^[4-7]。总的来看,目前对区域气候变化的研究还不够全面,进一步研究区域气候变化的差异,对于充分认识和利用区域气候资源有着重要意义。本文利用云南省1961—2004年的年平均气温资料进行研究,分析了各个年代气温变化情况和气温倾向率的分布,并采用主分量分析方法阐明了云南各地气温变化的时空分布特征,为短期气候预测和气候资源利用提供依据。

1 资料选取

本文选取的资料是云南省124个地面测站1961—2004年的月平均气温,资料来自云南省气象台。计算平均值时采用的年限是1961—2000年40年的平均。由于在选用资料的年限内大理云龙、红河元阳及思茅西盟3个测站迁移过,且迁移后海拔高度或地理位置差异较大,在计算时出现了异常极值的情况^[8,9],故在分析中去掉这3个站的数据,实际使用的资料有121个测站。

2 气温的年代变化及其时空分布特征

图1为各年代云南年平均气温距平图。1960年代气温的正距平区主要分布在滇中附近及大理西部、临沧的部分地区,丽江东部、昆明楚雄北部的金沙江流域地区有 0.2°C 的正距平中心,滇西及滇南的大部地

区为负距平区，3 个负值中心区分别在滇西北的中甸、滇西的保山及滇西南的思茅、西双版纳地区，中心值均低于 -0.5°C 。1970 年代除北部的金沙江流域为正距平外，全省大部均为负距平区，负距平中心的幅度较 1960 年代稍低为 -0.3°C 。1980 年代滇西的中甸、大理东部、思茅、西双版纳地区率先转暖，思茅南部及西双版纳地区出现了 0.4°C 的正距平中心。1990 年代正距平区的

范围较 1980 年代明显扩大，且中心值也明显增大，在中甸、西双版纳和保山的部分地区出现了 0.6°C 以上的正距平中心，负距平区在大理西部及云南北部的金沙江流域地区。2001—2004 年气温距平的分布与 1990 年代大致相同，但正距平区的范围及幅度均进一步扩大，负距平区主要分布在云南北部的金沙江流域地区。

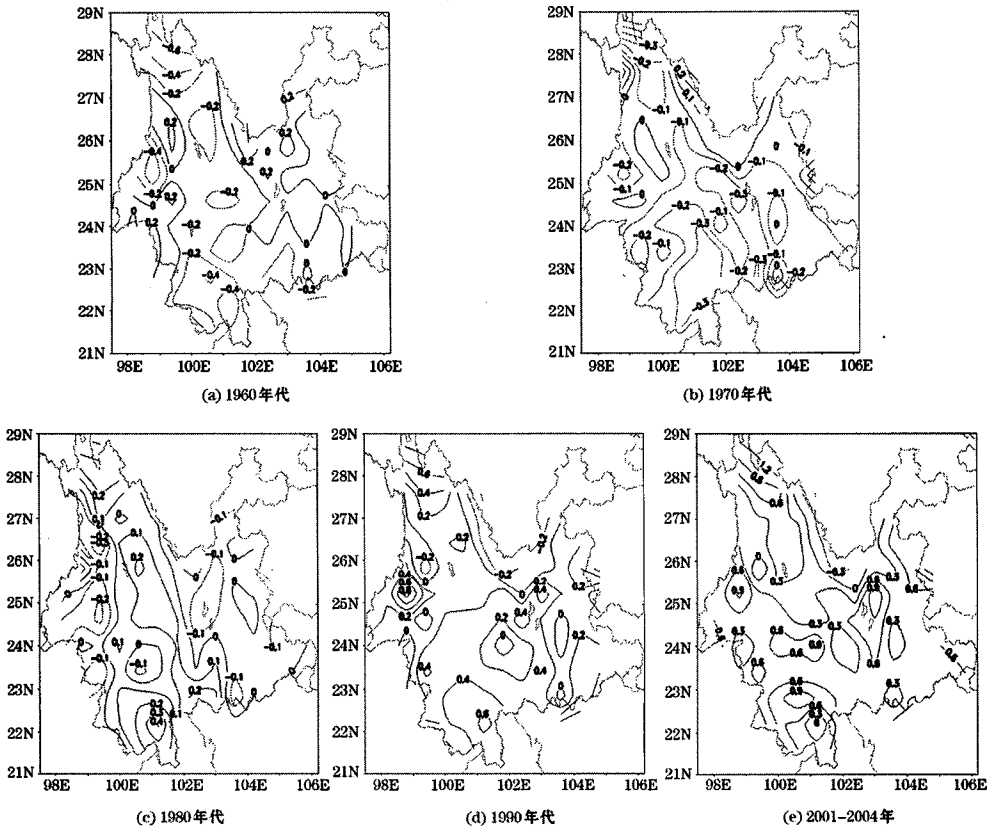


图 1 各年代云南年平均气温距平分布 (单位： $^{\circ}\text{C}$)

根据 WMO 的有关规定，气温距平绝对值大于或等于两个标准差则为气温异常，按文献 [5] 中提到的标准，当气温距平超过 2 倍标准差为异常偏冷（暖），气温距平在 1.5~2 倍标准差之间为显著偏冷（暖），

在 1~1.5 倍标准差之间为偏冷（暖），在 1 倍标准差以内为正常，把 121 个测站 1961—2004 年的年平均气温分为异常偏冷（暖）、显著偏冷（暖）、偏冷（暖）及正常共 7 级，按年代计各类出现的站次分布和频

率分布见表 1 和表 2。

表 1 云南 121 个测站 1961—2004 年各级年平均气温的出现站次

	异常 偏冷	显著 偏冷	偏冷	正常	偏暖	显著 偏暖	异常 偏暖
1960 年代	4	32	161	874	96	30	13
1970 年代	52	72	217	768	67	29	5
1980 年代	1	17	103	936	103	36	14
1990 年代	18	51	66	693	187	73	122
2001—2004 年	0	1	8	205	94	84	92

表 2 云南 121 个测站 1961—2004 年各级年平均气温的出现频率/%

	异常 偏冷	显著 偏冷	偏冷	正常	偏暖	显著 偏暖	异常 偏暖
1960 年代	0.3	2.6	13.3	72.2	7.9	2.5	1.1
1970 年代	4.3	6.0	17.9	63.5	5.5	2.4	0.4
1980 年代	0.1	1.4	8.5	77.4	8.5	3.0	1.2
1990 年代	1.5	4.2	5.5	57.3	15.5	6.0	10.1
2001—2004 年	0.0	0.2	1.7	42.4	19.4	17.4	19.0

由表 1 和表 2 可见, 1960 年代和 1980 年代云南气温波动相对较小, 在这两个年代中气温正常的站次频率最高, 分别为 72.2% 和 77.4%, 而显著偏暖、异常偏暖及显著偏冷、异常偏冷四个档次出现频率之和最小, 分别为 6.5% 和 5.7%。1970 年代是最近 40 多年来最冷的一个年代, 异常偏冷、显著偏冷及偏冷的站次出现频率均为各年代中同档次最高, 而异常偏暖、显著偏暖及偏暖的站次出现频率则为最低。1990 年代是云南气候逐步变暖的年代, 偏暖、显著偏暖及异常偏暖的站次较前三个年代均显著增加, 但这段时期气温的波动也较大, 气温正常的站次出现频率仅为 57.3%, 显著偏冷和异常偏冷的站次出现频率和为 6.7%, 仅次于 1970 年代。21 世纪的头 4 年中, 全省气温变化以偏暖的趋势为主, 且偏暖的幅度较大, 显著偏暖和异常偏暖的站次出现频率达 36.4%, 偏冷的站次则很少。

3 气温变化倾向率及其时空分布特征

将云南年平均气温序列分为三个时段, 分别是 1961—2004 年 (总计 44 年)、1981—2004 年 (总计 24 年) 及 1991—2004 年 (总计 14 年), 用线性回归方程: $y(t) = a + bt$ 来拟合每个测站的气温序列 (其中 $t = 1, 2, 3, \dots, n$), b 为气温倾向率, 可定量反映气温随年份增加的线性变化趋势, 其符号表示气温的升降, 数值的大小反映了气温变化的剧烈程度。

图 2a 是 1961—2004 年云南气温倾向率分布, 图中大部地区为正倾向率, 正值区中心分布在滇西北的中甸、滇西的保山及滇西南思茅的部分地区, 这些地区在最近 40 多年的升温幅度达 $0.3 \sim 0.4^\circ\text{C}/10$ 年, 是全省气温上升最显著的地区, 负值区主要分布在云南北部的金沙江流域, 这里目前的气温较 1960 年代偏低, 平均降温幅度达 $-0.2^\circ\text{C}/10$ 年。图 2b 是 1980 年代以来的气温倾向率, 大部地区的数值有所升高, 中甸、保山和思茅的部分地区仍是全省升温最快的地区, 升温率达 $0.4^\circ\text{C}/10$ 年, 金沙江流域仍是负值区。图 2c 是 1990 年代以来的气温倾向率, 全省除个别地区外均为正值区, 滇中的昆明、玉溪地区是最近 10 多年来全省升温最为显著的地区, 升温率达 $0.6^\circ\text{C}/10$ 年以上。

1961—2004 年云南全省平均的气温倾向率是 $0.12^\circ\text{C}/10$ 年, 1980 年代以来则升至 $0.24^\circ\text{C}/10$ 年, 与文献 [3] 中提到的最近 25 年来我国大部地区 $0.25^\circ\text{C}/10$ 年升温率接近。自 1990 年代以来云南气温倾向率增至 $0.41^\circ\text{C}/10$ 年, 表明云南近年来升温趋势极为迅猛。

为进一步了解云南年平均气温变化的时空分布特征, 对其距平场进行主分量分析。

表 3 列出了前 4 个主分量的特征值及其累积方差贡献百分率，第 1 主分量的方差占了总方差的大部分，达到 63.8%，前 4 个主分

量的累积方差贡献率已达到了 86.6%，故选取前 4 个特征向量和对应的主分量进行分析。

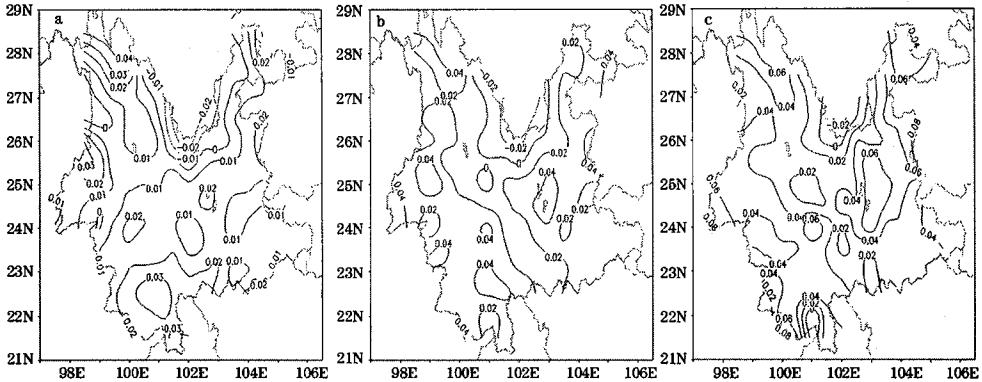


图 2 云南年平均气温倾向率分布图 (单位:℃/年)

a. 1961—2004 年; b. 1981—2004 年; c. 1991—2004 年

表 3 云南年平均气温距平前 4 个特征向量的特征值及累积方差贡献百分率

序号	特征值	累积百分率
1	605.7	63.8
2	114.4	75.9
3	67.6	83.0
4	33.9	86.6

第 1 特征向量场各地均为正值，反映了全省气温变化的一致性 (图 3a)。在中甸、保山、思茅及滇中的部分地区为一高值中心，大理西部及云南北部的金沙江流域为一低值中心。在同样的主分量序列值下，第 1 特征向量场的高值区的气温变化幅度相对较大，是全省气温变化的敏感区。从前述分析中可看到，第 1 特征向量高值区在 1960 年代是气温负距平中心，1990 年代以后又转为正距平中心。由于第 1 特征值的方差贡献已占到 63.8%，第 1 特征向量场集中了云南年平均气温距平的大部分信息，故第 1 主分量序列基本可定出全省气温变化的主要趋势。从第 1 主分量序列值的逐年变化上看 (图 4)，最近 44 年波动上升由负变正，反映了

云南全省范围最主要的升温趋势。第 1 主分量最小值和最大值分别出现在 1971 和 1998 年，分别为 -7.3 和 8.9，表明这两年分别是最近 44 年来的全省的最冷年和最暖年，且 1998 年偏暖的幅度较 1971 年偏冷的幅度大。

第 2 特征向量场正值区中心在大理西部及金沙江流域等地 (图 3b)，基本对应第 1 特征向量场的低值区，负值区中心在中甸、保山、思茅、西双版纳等地，基本对应第 1 特征向量场的高值区。此外在滇中的部分地区也为负值区，在滇东南的部分地区为正值区。从第 2 主分量序列的变化趋势上看 (图 4)，最近 44 年来呈波动下降、由正变负的趋势，在 1982 年前后由正值转为负值，表明从 1960 年代至 1980 年代初期，在第 2 特征向量的正值区存在一增温的趋势，而负值区则有一降温的趋势，从 1980 年代初期至今的变化趋势则正好相反。由于第 2 特征向量的负值区基本对应第 1 特征向量的高值区，这些地区在 1960—1970 年代出现气温的负距平以及 1990 年代以后的较强增温可

看作是第 1 和第 2 两个主分量共同作用后叠加的结果。而在第 1 特征向量的低值区，气温的变化主要由第 2 特征向量与第 2 主分量的计算结果决定，表现为在 1960 年代是气温的正距平区而 1990 年代则转为负距平区，与第 1 特征向量高值区的气温变化趋势相反。

第 3 特征向量场在滇中及以西的大部分地区为负值区，滇东一带为正值区（图 3c），表明云南东部和西部气温具有相反的变化趋势。第 4 特征向量场在全省自西向东呈负正负的分布（图 3d），它对云南气温距平的贡献已很小。

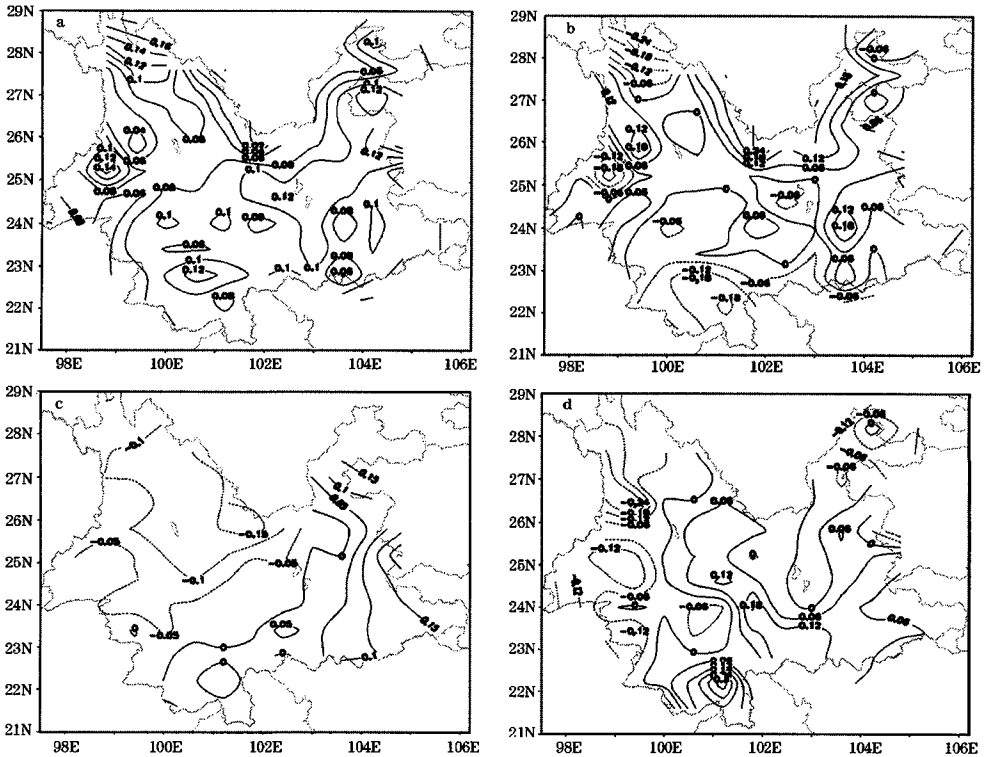


图 3 云南年平均气温距平场前 4 个特征向量

a. 第 1 特征向量； b. 第 2 特征向量； c. 第 3 特征向量； d. 第 4 特征向量

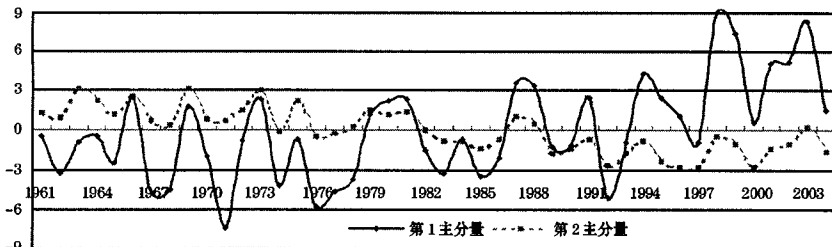


图 4 第 1 和第 2 主分量序列逐年变化

4 结 语

(1) 从年平均气温距平变化的空间分布特征来看, 云南大部地区 1960 年代以来气温距平由负转正呈升温趋势, 但北部金沙江流域的变化趋势则与之相反。在年代际变化特征上, 1960 年代和 1980 年代云南气温的波动相对较小, 1970 年代是近 44 年来最冷的一个年代, 1990 年代升温趋势明显, 但气温波动剧烈。21 世纪的头 4 年云南气温表现出明显偏暖。

(2) 1960 年代以来, 云南不同地区的升温率有所不同, 最近 44 年来大部地区升温率为正, 但北部金沙江流域为负。就全省平均而言, 最近 24 年的升温率为 $0.24^{\circ}\text{C}/10$ 年, 与我国大部地区 $0.25^{\circ}\text{C}/10$ 年的升温率接近。

(3) 对云南年平均气温距平场进行主分量分析, 第 1 特征向量场高值区对应云南近年升温最显著的地区, 低值区则对应气温下降的地区。第 1 主分量序列的变化可表征云南全省逐年气温变化趋势。第 2 特征向量场的正值区基本对应第 1 特征向量场的低值区, 负值区对应第 1 特征向量场的高值区。云南 1980 年代以来大部地区的升温是第 1

和第 2 两个特征向量和其对应的主分量共同作用叠加的结果, 而金沙江流域的降温主要由第 2 特征向量场与第 2 主分量的作用决定。

(4) 限于篇幅, 本文未能进一步探讨各季节的气温变化趋势及其对年平均气温的影响, 这方面的工作仍有待进一步开展。

参考文献

- 1 王绍武. 现代气候学研究进展 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 82-83.
- 2 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化 [J]. 气象, 1994, 20 (12): 19-26.
- 3 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析 [J]. 高原气象, 2004, 23 (2): 238-244.
- 4 池再香, 白慧. 黔东南地区近 40 年来气候变化研究 [J]. 高原气象, 2004, 23 (5): 704-708.
- 5 林培松, 李森, 李保生. 近 50 年来海南岛西部气候变化初步研究 [J]. 气象, 2005, 31 (2): 51-54.
- 6 曾琮, 陈创买, 李晓娟. 广东冬季气温时空变化特征 [J]. 气象, 2005, 31 (3): 56-60.
- 7 袁玉江, 魏文寿, 何清. 天山山区近 40 年冬季温度变化特征 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 12-16.
- 8 晏红明, 肖子牛, 黄传坤. 气候平均值的改变对云南气候业务的影响 [J]. 云南气象, 2003, 23 (1): 21-26.
- 9 解明恩, 高锡帅, 范薇. 云南气象台站迁址造成的气候突变分析 [J]. 云南气象, 2005, 25 (2): 40-43.