

文章编号: 1008-2786-(2006)3-291-07

近几十年我国极端气温变化特征分区方法探讨

刘吉峰^{1,2}, 李世杰¹, 裕国³, 姚书春¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘 要: 采用聚类统计检验分析和旋转主分量分析相结合确定中心站的方法, 利用我国多年极端气温资料, 对我国最高和最低气温年际变化型态进行区划。结果表明, 这两种方法结合可以互相补充, 使分区结果更具客观性。中国极端高温和极端低温年际变化分别可划为 12 和 11 个不同类型的区域, 分别计算了各区域第一主成分的方差贡献率以及各区域之间的两两相关系数, 检验证明分区是合理的。

关键词: 极端气温; 聚类统计检验; 旋转主分量分析

中图分类号: P423.7

文献标识码: A

气温是气候变化的最为重要的指标, 气温变化对人类的生产和生活以及自然环境状况都会产生重大影响。近百年来随着全球气候迅速变暖, 极端天气事件发生频率也急剧上升, 由此给人类带来巨大的灾害与损失。因此, 对极端气温的研究日益引起人们的重视^[1-3]。我国地域辽阔, 自然条件千差万别, 气温变化具有明显的区域特征。因此, 对我国极端气温的年际变化进行客观区划, 研究不同区域极端气温的年际变化特征, 掌握极端气温的年际变化规律, 以便对未来气温极值进行预测, 这对国家和各级政府的规划决策具有重要的意义。因此, 寻找一种合理的分区方法客观地反映各个区域极端气温的年际变化特征是很有必要的。

经典的气候区划是将气候要素或气候指标的多年均值作为一、二级指标对气候在地理空间域上的分布做各种划分。这种区划方法, 虽然考虑了物理气候因素, 指标比较全面, 但却只代表了一种静态的气候特征地理分类^[4-6]。而且, 这种区划所确定的边界带有很多的人为因素。其后发展的统计学方法

如旋转主分量分析(即 REOF)进行区划的方法, 较为客观地反映了气候要素场的区域变化特征, 但是, 使用这种方法区划的基本标准是在同一荷载向量场中, 荷载大于某个临界值归属为一类。而荷载值的确定带有一定程度的主观因素, 不是真正意义上的数值分类。聚类分析是从主观分类法发展起来的多元分析方法, 并在气象学中得到了广泛的应用^[7-9]。但是 Davis 早已经认为这些聚类分析缺乏统计学基础^[10]。么枕生^[11]提出的统计检验聚类方法, 改变了传统的聚类分析中缺少显著性检验的缺陷, 使其分类成为一种动态的、更为客观的数值分类方法, 对区划和聚类的发展有重要的理论和实际意义。这种聚类方法可分为均匀聚类和中心聚类两种, 后者更适合实际的气候分类或区划的需要。然而, 在使用中心聚类进行气候区划时如何选择中心站并没有完全的客观标准。本文试图采用聚类统计检验分析和 REOF 相结合确定气温变化型和中心站的方法, 利用我国多年极端气温资料, 对我国极端气温变化场及其特征分区进行探讨。

收稿日期 (Received date): 2005-12-25 改回日期 (Accepted): 2006-04-11

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (批准号: 40471001) 和中科院南京地理所知识创新工程前沿项目 (批准号: CXNGLAS-A01)。

[Supported by National Science Foundation of China (No. 40471001) and the Knowledge Innovation Program of CAS (No. CXNGLAS-A01)]

作者简介 (Biography): 刘吉峰 (1972-): 男 (汉族), 山东聊城人, 博士研究生, 从事气候变化与陆地水文过程方向研究。E-mail: jifengliu@163.com. [Liu Jifeng (1972-), male (Han Nationality), PhD candidate with main research on climate change and land surface hydrology]

1 资料与计算方案

1.1 基本资料及其预处理

根据我国 740 个测站逐日最高气温和最低气温记录资料,考虑到城市热岛效应对极端气温的影响,剔除了人口在 100 万以上的大城市测站,选取年限和样本长度统一的(共 45 a 1957~2001 年)均匀散布于我国境内的 203 个测站资料。为了尽可能减少抽样随机性和非均匀性,增加极值概率的稳定性,采用每年选取前 3 个最极端记录的平均值来表示该年度的极端气候值。同时,为了消除地理原因引起的平均值和变率差异的影响,对所有资料序列分别进行了标准化处理。在此基础上,使用聚类统计检验与旋转主分量分析相结合的方法进行客观区划。

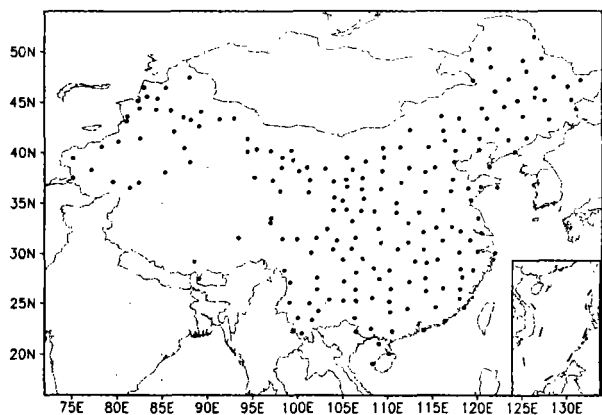


图 1 全国 203 个气象测站分布图

Fig 1 The distribution of 203 meteorological stations of China

1.2 聚类统计检验方法

所谓聚类统计检验,就是具有统计学的显著性检验标准的聚类分析。一般可有两种计算方案:均匀聚类和中心聚类。对于地理空间的气候区划来说,更适合用中心聚类方案。

设任意两站某气候指标(本文为极端气温)的年代表值分别为 X_i 和 X_j , 其中 $i = 1, 2, \dots, p$ 和 $j = 1, 2, \dots, p$ 它们实际是气候变量场中每个变量的样本取值。根据么枕生(1978)^[12]推导的距离抽样分布参数,可求得已标准化的 X_i 和 X_j 的欧氏距离为

$$d_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^n (x_{ki} - x_{kj})^2 \right\}^{1/2} = \left\{ 2n(1 - r_{ij}) \right\}^{1/2} \quad (1)$$

式中 r_{ij} 为两者的线性相关系数, n 为其样本容量。基于同类别样品的抽样分布参数,可有统计特征量

$$E(d_{ij}) = \sqrt{2n(1 - p_{ij})} \quad (2)$$

$$\text{Var}(d_{ij}) = 1 - p_{ij} \quad (3)$$

式中 p_{ij} 为相关系数的理论值(总体相关系数),由上可见, d_{ij} 为随机变量,文献[11]已证明在同类样本中,它符合正态分布。而 $E(d_{ij})$ 的极大似然估计为

$$\bar{d} = \sum_{i < j} w_{ij} d_{ij} / \sum_{i < j} w_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, p-1; \quad j = i+1, 2, \dots, p) \quad (4)$$

$$\text{其中} \quad w_{ij} = \frac{1}{\text{var}(d_{ij})} \quad (5)$$

由此可构造服从自由度为 $\eta - 1$ 的 χ^2 分布的统计量

$$X^2 = 2n \sum_{i < j} w_{ij} (c_{ij} - \bar{c})^2 \quad (6)$$

其中

$$c_{ij} = d_{ij} / \sqrt{2n} = \sqrt{1 - r_{ij}}; \\ \bar{c} = \sum_{i < j} w_{ij} c_{ij} / \sum_{i < j} w_{ij}; \\ \eta = \frac{1}{2} p(p-1)$$

式中 η 实际上就是(6)式中求和的项数,而 p 则为同类样品中变量的个数。聚类统计检验方法,就是依据(6)式逐一计算出相应的 χ^2 统计量,并检验零假设 $H_0: d_{ij} = \bar{d}$ 和备择假设 $H_1: d_{ij} \neq \bar{d}$ 。在给定信度 α 下,可有临界区间

$$X^2 \geq \chi^2_{1-\alpha}(\eta-1) \quad (7)$$

如若

$$X^2 < \chi^2_{1-\alpha}(\eta-1) \quad (8)$$

则表明该测站可归于同类区域,否则可在一定信度下判定其不属于该类区域。根据(1)式的关系,我们可直接计算出每两两测站的相关系数,从而构成相关系数矩阵。在此基础上,选择中心站点,依据(1)~(8)式,就可编制计算程序进行分类。本文中,取 $n = 45$ (a), $p = 203$ (站)。

如前所述,聚类统计检验法分区存在的问题是选取哪些站作为聚类中心,并无较为客观的标准。在同一个气候区内如果选择不同的中心站其气候特征并不完全一致。那么,怎样才能使选出的中心站更能代表该气候区的典型特征,根据基于主分量分析的旋转载荷场原理(REOF),高荷载中心实际上可作为聚类分区的中心站,进行区划。既然 REOF 能客观地识别空间型,空间场上每一个空间点对应的变量只与一个主分量存在高相关,那么该向量场的高值区就代表了该区域的典型特征,因此,具有高荷载的站点就可以认为是该气候区的中心,可以选取其作为聚类分析的中心站。

1.3 聚类统计检验与 REOF 的关联性

统计聚类检验分析与主成分分析 (即 PCA) 两者在本质上是一致的。一方面, 由于 PCA 本身是对各变量的相关系数矩阵的正交变换, 而相关系数矩阵可以转换为相应变换变量 (即距离矩阵) 的正交变换。换言之, PCA 本身与距离系数的聚类统计检验有间接的对应关系。另一方面, 对任一主分量而言, 其载荷值实际上是主分量与原变量的相关系数。PCA 就是从原变量场序列中逐一提取代表原气象变量场随时间变化的各种主要振荡信号型 (主分量)。不同的分量序列对应着时间域上不同的 (彼此互不相关的) 振荡型, 而其空间函数 (荷载值) 大小则代表了相应振荡分量与哪些地理区域最为相关, 即这种振荡型主要来源于哪些区域 (格点或站点), 或说各站点原序列对于该振荡型 (主分量) 的贡献。在此基础上的分型区划实际上代表了气象变量场序列的各种振荡型的空间分布区划, 它所对应的载荷场必有相对高值区。气候型的分类区划, 实质上就是按载荷值的高低, 将与某一主分量最为相似的高相关或高载荷区聚为同一类型; 反之则属于其他类型。

2 极端气温场的区划

2.1 区划步骤

综上所述, 对我国 203 个站 45 a 最高最低气温的年际振荡类型作区划的步骤可大致归结为:

- 1) 分别建立最高最低气温的年际记录的相关矩阵;
- 2) 对最高最低气温相关矩阵分别进行旋转主

分量变换, 由各主分量的相应高荷载区, 选择聚类中心, 关于旋转主分量方法许多文献有过介绍^[13-17], 本文不再赘述;

3) 根据 (1) ~ (8) 式计算相应的 χ^2 统计量, 并给出一定信度 α 下分区的检验判据;

4) 为了更准确合理地分区, 对已分的各区边界 (尤其是那些边界过渡区或交叉混合区) 加以鉴定, 检测分区的合理性。

2.2 旋转主分量方法

分量在具体操作时, 首先要确定待旋转主分量个数。旋转主分量个数太少, 会导致区划时将有不同的自然区域混淆, 太多则会使得有的主分量荷载场没有高荷载中心或仅有极少数孤立站具有高荷载值, 不具有区域性特征。与此同时, 还应根据以往经验的气候学知识, 对所确定的聚类中心点加以鉴定。关于旋转主分量个数的确定有多种方法, 如: 旋转方差 > 80% (或根据实际情况适当调整); Guttman 准则; North 准则; 堆砌图检验原则^[18] 等等。本文选取累计方差 > 80% 作为标准。之所以没有采用通常 83% 原则是考虑到极端气温的变化较之平均气温变化更具有复杂性, 因而, 正交函数收敛较慢。表 1 列出了旋转前后的方差贡献和累计方差贡献。由表 1 可见, 旋转后的各主分量物理意义更明显表现出空间相关性的分布特征, 其方差只集中于某一较小的区域, 是其他区域的方差贡献尽量减小。而旋转前的主分量是着重于把整个区域的方差集中到前几个分量上。这也说明了为什么旋转主分量更适合于气候分区。由表 1 还可看出, 极端低温收敛速度较快, 而极端高温收敛速度慢。

表 1 旋转前、后特征值及其方差贡献 (%)

Table 1 The eigenvalues and variance contribution before and after rotating

极端高温				极端低温		
序号	特征值	旋转前	旋转后	特征值	旋转前	旋转后
		方差贡献	方差贡献		方差贡献	方差贡献
1	40.2	19.81 (19.8)	10.7	63.1	31.1 (31.1)	10.6
2	27.95	13.77 (33.6)	6.6	29.3	14.4 (45.5)	17.0
3	13.79	6.79 (40.4)	4.5	13.9	6.9 (52.4)	8.3
4	12.81	6.31 (46.7)	11.7	11.3	5.5 (57.9)	8.4
5	11.55	5.69 (52.4)	5.1	7.6	3.7 (61.6)	6.7
6	8.85	4.36 (56.7)	9.5	6.9	3.4 (65.0)	5.9
7	7.80	3.84 (60.5)	3.2	6.4	3.2 (68.2)	2.4
8	6.63	3.26 (63.8)	6.8	5.2	2.6 (70.7)	5.2
9	5.51	2.72 (66.5)	2.5	4.4	2.2 (72.9)	3.2
10	5.13	2.53 (69.1)	3.2	4.0	2.0 (74.8)	2.2
11	4.61	2.27 (71.4)	2.1	3.7	1.8 (76.7)	5.2
12	4.15	2.04 (73.4)	2.3	3.3	1.6 (78.3)	2.5

根据前 12 个主因子旋转后的极端高温荷载场的空间分布,前 11 个旋转因子均有比较明显的高荷载区,且荷载值都在 0.5 以上。其余旋转因子的荷载仅在极少数孤立的测站较大,故分区时未予以考虑。同样极端低温荷载场前 10 个旋转因子均有比较明显的高荷载区,且荷载值都在 0.5 以上。需要说明的是,青藏高原由于资料较少,不能形成荷载中心,在相邻因子中荷载值均比较小,但由于其位置和气候的独特性^[19]故单独划分成一个区域。

荷载中心代表了该荷载场的典型特征,因此,以荷载中心代表站作为聚类分析中的中心站则更具有实际气候意义。根据以上所确定的荷载中心就可以选择客观的区域和合适的中心站对各个站点进行聚类分析。

2.3 统计聚类分析

在计算过程中结合前面的 (3) ~ (8) 式采用逐步增加站点的方法^[20]。当站点增至

$$x_{\text{实}}^2(\eta) < x_{1-a}^2(\eta - 2) \tag{9}$$

且有

$$x_{\text{实}}^2(\eta + 1) \geq x_{1-a}^2(\eta - 2) \tag{10}$$

则表明该区域所包含的 $\eta + 1$ 个站点已经足够,不能再增加,由此就可以确定该区域的大致边界。

在本工作中,进行聚类的原则是: (1) 选择某一中心站聚类的站点数超过 5 个,且在地域上连成一片的可以划分为同一个极端气温区。(2) 以同一站为中心若有地理上不连续的两块或以上符合条件 (1) 的区域,则将其为不同的气温区。(3) 假设某一中心站周围的测站少于 5 个,则该中心站自动变为一般站,相应区域也就不存在,所聚测站按与周围区域的相似程度 (相关系数大小) 决定其归属。(4) 对于同时归属于不同中心站的个别台站和不属于任何中心站的台站按其与周围中心站的相似程度决定其归属。这样,各气温极端区之间就有了明确的界限,便于今后做进一步的研究。

2.4 区划结果

根据各区域聚类中心 (表 2), 将我国极端最低温度和极端最高温度分别分为 11 个和 12 个具有不同年际变化特征及趋势的区域 (图 2 图 3)。

最高温度场分为 11 个客观分区: U1 区, 东北地区; U2 区, 华中地区; U3 区, 西南地区; U4 区, 西北地区中部; U5 区, 新疆南部; U6 区, 华东地区; U7 区, 华南沿海区; U8 区, 天山及其以北的新疆; U9 区, 藏东南; U10 区, 华北北部; U11 区, 黄淮流域; U12 区, 青藏高原区。

表 2 各极端气温区域聚类中心
Table 2 Clustering Center in each extreme temperature area

高温区域	中心站点	低温区域	中心站点
东北地区	伊春	东南沿海区	连县
华中地区	奉节	东北地区	伊春
西南地区	楚雄	北疆	苏西
西北地区中部	民勤	华东地区	信阳
南疆	和田	华中地区	武冈
华东地区	宜春	西北地区东部	高台
华南沿海	汕头	青海和藏东区	马尔
北疆	奇台	南疆	阿克苏
藏东南	甘孜	西南地区	会理
华北北部	榆林	华北西北部	银川
黄淮流域	惠民		
青藏高原区		单独作为一个气候区	

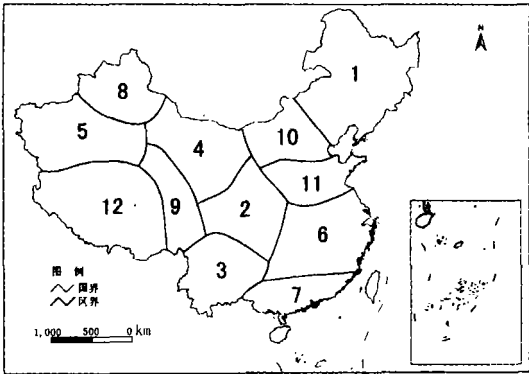


图 2 中国极端高温变化特征分区

Fig 2 Characteristic zoning of the maximum temperature changes in China

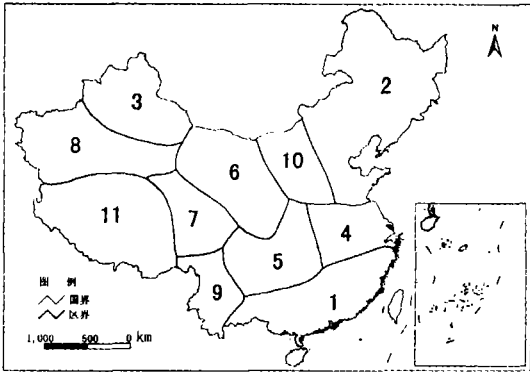


图 3 中国极端低温变化特征分区

Fig 2 Characteristic zoning of the minimum temperature changes in China

依据同样原则对最低温度变化场进行区划,最低温度场分为 11 个客观区。包括: L1 区, 东南沿海; L2 区, 东北及华北东部; L3 区, 新疆北部; L4 区, 华东地区; L5 区, 华中地区; L6 区, 西北地区中部; L7 区, 青海和藏东区; L8 区, 新疆南部; L9 区, 西南

地区; L10 区, 华北西北部; L11 区, 青藏高原区。

3 分区的合理性检验

为了检验分区的合理性, 计算了各区气温场进行了主成分分析(标准化资料), 各区第一主成分方差贡献率及各区间的相关系数(表 3 表 4 表 5)。各区第一主成分方差贡献率除了第 9 区(极端高温)和第 7 区(极端低温)略 < 50% 之外, 其余均 > 50%, 说明各区域内的变化是基本一致的。计算各区域之间的相关系数发现, 对极小值区划中, 5 区和 1 区呈显著反相关, 8 区和 5 区的相关系数略 > 0.5, 但两区由于地理上不连续, 不能划为一个区。其余各区之间的相关系数均 < 0.5。由此可见, 各区域间极端气温的变化基本上是独立的, 证明分区合理, 这种分区方案是可行的。

表 3 各区域第一主分量方差贡献率 (%)

Table 3 The ratio of variance contribution of the first principal component in each area

区域号	极端高温各区位置	方差贡献率	极端低温各区位置	方差贡献率
1	东北区	58	华南及东南沿海	61
2	四川、重庆	62	东北及华北东部	67
3	西南地区	51	新疆北部	69
4	西北地区中部	54	淮河和长江中下游	71
5	新疆南部	72	华中区	63
6	华东区	60	内蒙西部及华中北部	56
7	华南沿海区	56	青海及藏东区	49
8	天山及其以北的新疆	61	新疆南部	64
9	藏东南	56	西南地区	65
10	华北北部及内蒙中部	69	华北西部和内蒙中部	72
11	黄淮流域	73	青藏高原区	72
12	青藏高原区	72		

表 4 各区第一主分量之间的相关系数(极端高温)

Table 4 Correlations between the first principal components of each area (maximum temperature)

区号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.13	-0.08	0.49	0.15	-0.13	0.10	0.43	0.21	0.23	0.30	0.20
2	-	-0.07	0.36	0.10	0.18	-0.13	-0.10	0.14	0.06	0.17	-0.04
3	-	-	-0.13	0.05	0.08	0.17	-0.29	0.26	0.16	-0.02	0.17
4	-	-	-	0.07	0.07	0.05	0.30	0.28	0.24	0.29	0.27
5	-	-	-	-	-0.02	-0.12	-0.11	0.15	-0.00	0.04	0.18
6	-	-	-	-	-	0.10	-0.27	0.25	-0.03	0.27	0.05
7	-	-	-	-	-	-	0.04	0.27	0.09	-0.24	0.23
8	-	-	-	-	-	-	-	-0.19	0.19	0.04	-0.12
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.17	0.11	0.26
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.14
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08

表 5 各区域第一主分量之间的相关系数(极端低温)

Table 5 The correlations between the first principal components of each area (minimum temperature)

区号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.01	-0.13	-0.12	-0.54	-0.24	-0.16	-0.04	0.22	-0.21	0.12
2	-	0.26	0.29	0.34	0.13	-0.05	0.27	0.24	0.13	-0.20
3	-	-	0.23	0.16	0.22	-0.02	0.19	0.18	0.09	0.10
4	-	-	-	0.23	0.21	0.15	0.19	0.21	0.15	0.18
5	-	-	-	-	0.30	0.32	0.53	0.09	0.26	0.31
6	-	-	-	-	-	0.08	0.16	0.10	0.37	0.24
7	-	-	-	-	-	-	0.25	0.09	0.35	0.28
8	-	-	-	-	-	-	-	0.12	0.09	0.17
9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.06
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20

4 小结

1 旋转主分量分析和聚类统计检验相结合用于气候区划,既避免了前者确定荷载值界限的主观性,又克服了后者选择气候中心的不确定性,使之区划结果更具有客观性。从而实现了真正意义上的数值分类。

2 中国近几十年来极端高温和极端低温变化分别可以分为 12 11 个特征分区,它们的划分界线有所差异。这为进一步研究我国极端气温变化的区域分异规律奠定了基础。

参考文献 (References)

- [1] Easterling D R, Evans J L, Gorman P Y *et al*. Observed Variability and trends in extreme climate events: A brief review [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2000, 81: 417~425
- [2] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, *et al*. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada [J]. *J. Climate*, 2001, 5 (14): 1959~1976
- [3] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P M, *et al*. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th century [J]. *Clim. Res.*, 2002, 19: 193~212
- [4] Zhang Suping, Zhang Wen. Preliminary exploration of human biological climate zoning [J]. *Meteorology*, 1994, 20(5): 10~15 [张苏平, 张文. 中国人类生物气候区划初探 [J]. 气象, 1994, 20(5): 10~15]
- [5] Chen Mingrong. A preliminary study on climate regionalization in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1990, 10(4): 308~315 [陈明荣. 试论中国气候区划 [J]. 地理科学, 1990, 10(4): 308~315]
- [6] Committee of zoning work, Chinese Academy of Sciences. China climate zoning (primary copy) [M]. Beijing: Science Press, 1959. [中国科学院自然区划工作委员会, 中国气候区划 (初稿) [M]. 北京: 科学出版社, 1959.]
- [7] Gadgil S. and N V. Joshi. Climatic clusters of the Indian region [J]. *J. Climatology*, 1983, (3): 47~64
- [8] McCutchan M. H. Use of cluster analysis to classify synoptic weather types in southern California: preprints 8th Conf. on Weather Forecasting and Analysis [J]. *Amer. Meteor. Soc.*, 1980, 310~315
- [9] Zheng Zuguang. A cluster scheme with varying K and N applied in meteorological field analysis [J]. *Meteorology*, 1984, (10): 7~11 [郑祖光. 变 K 变 N 聚类方案在气象场分析中应用 [J]. 气象, 1984, (10): 7~11]
- [10] Davis J. C., *Statistics and data Analysis in Geology* [M]. New York: Science Press, 1973.
- [11] Yao Zhenzheng. Cluster analysis with statistic test used for climate classification [A]. In *Climatology Research* (4): Climate theory and application [C]. Beijing: Meteorology Press, 1997. 85~94 [么枕生. 聚类统计检验用于气候分类 [A]. 见: 气候学研究 (4): 气候理论与应用 [C]. 北京: 气象出版社, 1997. 85~94]
- [12] Yao Zhenzheng. Cluster analysis used in numeric classification [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1994, (2): 1~12. [么枕生. 用于数值分类的聚类分析 [J]. 海洋湖泊通报, 1994, (2): 1~12]
- [13] Huang Jiayou. Rotated principal component analysis and applications in analysis of climate and weather [J]. *Meteorology*, 1988, 14 (9): 47~51 [黄嘉佑. 转动主分量分析在气候天气分析中的应用 [J]. 气象, 1988, 14(9): 47~51]
- [14] Wang Xiaochun, Wu Guoxiong. Preliminary analysis of summer precipitation with uniform grid in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1996, 54(3): 324~332 [王晓春, 吴国雄. 利用空间均匀网格对中国夏季降水异常区域特征的初步分析 [J]. 气象学报, 1996, 54(3): 324~332]
- [15] Haman H. H. *Modern Factor Analysis* [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1976. 487
- [16] Horel J. D. A rotated principal component analysis of the inter-annual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field [J]. *Mon. Rev.*, 1981, 109: 2 080~2 092
- [17] Ridman M. B. Review article: rotation of principal components [J]. *J. Climate*, 1986, 6(3): 293~333
- [18] Huang Jiayou. Temporal and spatial analysis of summer temperature and precipitation fields in China [J]. *Atmospheric Sciences*, 1991, 15(3): 124~132 [黄嘉佑. 我国夏季气温、降水量场的时空特征分析 [J]. 大气科学, 1991, 15(3): 124~132]
- [19] Ye Duzhang, Gao Youxi. *Tibetan Plateau Meteorology* [M]. Beijing: Science Press, 1979. [叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979.]
- [20] Ding Yuguang, Jiang Zhong. A new cluster method applied in China climate zoning [A]. In *Climatology Research* (4): Climate theory and application [C]. Beijing: Meteorology Press, 1997. 148~153 [丁裕国, 江志红. 一种新的聚类方法在中国气候区划中的应用 [A]. 气候学研究 (4). 见: 气候理论与应用 [C]. 北京: 气象出版社, 1997. 148~153]

The Discussion of the Characteristic Zoning Method of Extreme Temperature in China in Recent Decades

LU Jifeng^{1, 2}, LI Shijie¹, DING Yuguo³, YAO Shuchun^{1, 2}

(1 Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract The yearly characteristics of maximum and minimum temperature fields are zoned in China with the method of the combination of the Clustering Analysis with Statistic Test (CAST) and the rotating principal component Rotating Principal Component (RPCA). The rotating principal component (RPCA) is used to find the center stations with maximum loading values in every eigenvector field. Based on these center stations, extreme temperature fields are divided into different regions by the CAST. The result shows that the two methods can supplement each other, not only avoiding the subjectivity of REOF zoning but also overcoming the uncertainty of selecting center stations in cluster analysis method. The yearly characteristics of maximum and minimum temperatures fields in China can be divided respectively into 12 and 11 regions. The ratio of variance contributes of the first principal component and the pairwise correlation coefficients of every region are calculated. The results show that the zoning is reasonable. This compound method can be further used in the research on rules of regional climate differentiation.

Key words extreme temperature; clustering analysis with statistic test; the rotating principal component