

东北夏季低温的空间分布及其环流条件

白人海 李大山 郭家林 魏松林

(黑龙江省气象科学研究所)

近年来，东北低温冷害的研究有很大的进展，对大范围持续性低温做了大量的研究。这些研究是以大范围气温的平均状况为基础的。这里将以表征气温大范围分布特征的参数为基础，研究夏季气温的空间分布特征、低温的分类和发生的环流条件等问题^[1-2]。

在取得表征大范围气温分布特征的参数时，采用经验正交分析方法^[3]，对经验正交函数的稳定性进行了讨论。

一、计算方法

经验正交分析的原理和方法已有很多的介绍，我们所采用的计算公式如下。

根据给定的气象要素场资料，可以构成距平资料矩阵：

$$G = \begin{matrix} G_{11} & G_{12} \dots G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} \dots G_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ G_{m_1} & G_{m_2} \dots G_{mn} \end{matrix},$$

其中n为空间点数，m为时间次数。相应的协方差矩阵为：

$$W = \begin{matrix} W_{11} & W_{12} \dots W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} \dots W_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ W_{n_1} & W_{n_2} \dots W_{nn} \end{matrix},$$

$$\text{其中 } W_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{v=1}^m G_{iv} \cdot G_{jv}.$$

利用雅可比对角化法对W求解全部特征值λ和相应的特征向量矩阵：

$$A = \begin{matrix} A_{11} & A_{12} \dots A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} \dots A_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ A_{n_1} & A_{n_2} \dots A_{nn} \end{matrix},$$

根据特征向量矩阵A和距平矩阵G可以求出时间系数矩阵T：

$$T = \begin{matrix} T_{11} & T_{12} \dots T_{1n} \\ T_{21} & T_{22} \dots T_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ T_{m_1} & T_{m_2} \dots T_{mn} \end{matrix} = \begin{matrix} G_{11} & G_{12} \dots G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} \dots G_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ G_{m_1} & G_{m_2} \dots G_{mn} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} A_{11} & A_{21} \dots A_{n_1} \\ A_{21} & A_{22} \dots A_{n_2} \\ \vdots & \vdots \\ A_{n_1} & A_{n_2} \dots A_{nn} \end{matrix}.$$

这样，可以将G用A和T来表示：

$$G = \begin{matrix} G_{11} & G_{12} \dots G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} \dots G_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ G_{m_1} & G_{m_2} \dots G_{mn} \end{matrix} = \begin{matrix} T_{11} & T_{12} \dots T_{1n} \\ T_{21} & T_{22} \dots T_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ T_{m_1} & T_{m_2} \dots T_{mn} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} A_{11} & A_{12} \dots A_{1n} \\ A_{12} & A_{22} \dots A_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ A_{n_1} & A_{n_2} \dots A_{nn} \end{matrix}.$$

可见经过经验正交分析，气象要素场可以分解成为两个部分：一部分只依赖空间的函数A，称为经验正交函数；另一部分为只依赖时间的函数T。

二、夏季气温的分布特征

利用上述经验正交分析程序，分析了东北区夏季气温。所使用的资料是漠河、海兰泡、海拉尔、嫩江、伯力、阿尔山、齐齐哈尔、佳木斯、白城、哈尔滨、扎鲁特旗、长岭、牡丹江、四平、长春、吉林、海参威、延吉、赤峰、阜新、沈阳、通化、锦州、丹东和大连的1951—1982年6—8月平均气温。为了能够照顾到边界上的分布，将苏联靠近我国的3个站包括在内，共25个站。

解出的特征值，前10项及相应的方差比和累积方差比列在表1中。由于经验正交函数具有收敛快的特点，根据误差公式

$$\epsilon^2 = 1 - \sum_{i=1}^k \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

仅取前四项即可使拟合误差在15%左右。以后各项占总方差的百分比均小于3%，可以不考虑。

表1 夏季气温经验正交分析的前10个特征值及其占总方差的百分比

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ_1	14.46	4.24	1.56	1.04	0.76	0.61	0.51	0.33	0.30	0.23
$\lambda_1 / \sum_{i=1}^n \lambda_i$	57.8	17.0	6.3	4.2	3.0	2.4	2.1	1.3	1.2	0.9
$\sum_{i=1}^k \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i$	57.8	74.8	81.1	85.2	88.3	9.07	9.28	94.1	95.3	96.2

这四个特征向量代表夏季气温的主要分布特征。

第一特征向量（图1a）表明，夏季气温趋势具有明显的一致性，中心在长春，亦即气温若偏高则全区都偏高，若偏低则全区都偏低，长春的振幅最大。此型占总体方差的57.8%，可见东北低温的大范围特征是很突出的。

第二特征向量（图2a）表明北部的气温距平符号与南部相反。其分界线大约在45°N附近，即黑龙江省为北部，吉林省和辽宁省为南部。此型占总体方差的17.0%。因此，在注意到东北低温一致性特征的同时，也不可忽视南北的差异。由于这种差异的存在，会产生南部或北部出现局部低温。

第三个特征向量（图3a）表明东部的气温距平符号与西部相反。其分界线大约在125°E附近，亦即黑龙江省大部和吉林省为东部，黑龙江省的西北部、辽宁省和内蒙古自治区的东三盟为西部。此型仅占总体方差的6.3%，这项以后的各项所起的作用就比较小了。

第四特征向量（图4a）表明东北区的气温距平分布具有鞍型场的特征。东、西部的气温距平符号与南北两端相反，即东西两侧气温偏高时，南北两端偏低；反之东西两侧气温偏低时，南北两端偏高。此型仅占总体方差的4.2%。

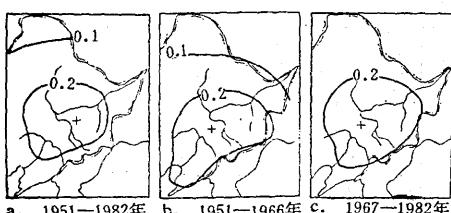


图1 第一特征向量

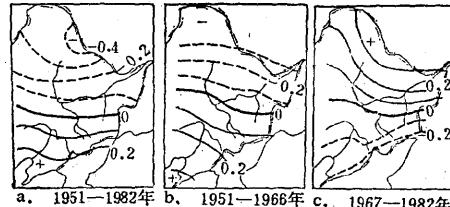


图2 第二特征向量

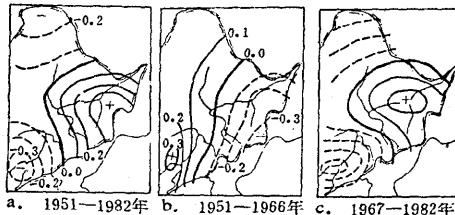


图3 第三特征向量

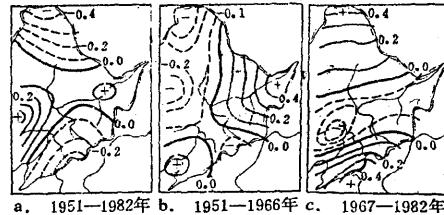


图4 第四特征向量

三、经验正交函数稳定性分析

经验正交函数并不是固定不变的，而是随展开的对象和资料长短而变化的，因此经验正交分析应用于天气分析和预报时要考虑“稳定性”问题。所谓稳定性，是指经验正交函数随资料的延伸而不出现明显变化。如果能满足这个条件，就可以根据一定长度年代的资料计算所得的时间系数进行要素场的外延预报。

关于经验正交函数稳定性的问题已有人做过专门的讨论，认为满足各态历经性的n维平稳随机过程是经验正交函数的稳定条件^[1]。我们这里只是用东北夏季气温实际观测资料，对其经验正交函数的稳定性进行讨论。

将1951—1982年东北夏季气温资料分成两部分，每部分各有16年，按上述计算方案分别进行经验正交分析。表2列出两次结果的前10个特征值及其占总方差的百分比，图1—4的b、c分别是前4个特征向量的两个时段的图形。

表2 1951—1966年和1967—1982年夏季气温经验正交分析结果的比较

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ_i	1951—1966年	15.15	4.10	1.44	1.20	0.91	0.70	0.41	0.33	0.25
	1967—1982年	14.96	3.73	2.45	1.36	0.70	0.59	0.34	0.25	0.18
$\lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i$	1951—1966年	60.6	16.4	5.7	4.8	3.6	2.8	1.6	1.3	1.0
	1967—1982年	59.8	15.0	9.8	5.4	2.8	2.4	1.4	1.0	0.7

从表2可以看出两次计算结果的特征值和占总方差的百分比是基本一致的，并与1951—1982年的展开结果相近。

由图1—4的b、c可知，两次展开结果中的第一、二特征向量都是很相似的，即全区气温趋势以一致性为主，其次是南北之间的差异。这也与1951—1982年展开结果相一致。第三特征向量还保留部分的一致，而第四特征向量就很不一致了。

为了定量地说明这个结果，计算了前4个特征向量两次展开结果之间的相关系数，列在表3中。前3个特征量之间的相关系数均通过0.05信度的显著性检验。

需要指出，第二特征向量两次展开的相关系数为较大的负值，即图形虽然相似，但符号相反。这是由于1951—1966年期间北部气温偏低的机会比1967—1982年多，而1951—1966年期间南部气温偏高的机会比1967—1982年多。这说明第二特征向量随时间的变化存在着较长的周期，而计算资料年代较短使得两次展开结果符号相反。但是南北差异的特征在两段时间内都是明显存在的。同样，第三特征向量也有类似情况。

因此可以认为，由第一特征向量所反映出夏季气温趋势一致性的特征和第二特征向量所反映出夏季气温趋势存在着南北相反的差异是相当稳定的。

由于经验正交函数具有收敛快的特点，一般仅用少数的几项即可抓住主要特征，我们在

表3 1951—1966年和1967—1982年前4个特征向量之间的相关系数

特征向量	1	2	3	4
相关系数	0.406	-0.880	-0.565	-0.274

下边的讨论中着重分析前两项特征。

四、夏季低温的分类

由上述分析，可以根据夏季低温发生的范围进行低温分类，并从经验正交函数的时间系数来讨论各类低温的指标。

东北夏季低温可以分成以下三种类型。

L型：全区性低温。

L_N 型：北部低温型，主要是指黑龙江省发生低温。

L_S 型：南部低温型，主要是指辽宁和吉林省南部发生低温。

同样也相应将高温分成 H 、 H_N 、 H_S 三种类型与低温类型相对比。

为了定量确定历次低温发生的类型，在北部选了嫩江、佳木斯和海兰泡3个站，在中部选了长春和牡丹江2个站，在南部选了沈阳、锦州和延吉3个站。以各区所选站的夏季月平均气温平均值代表该区的气温，列在表4中。表4中还列出历年经验正交函数前两项的时间系数。

表4 东北区夏季气温分型及相应的气温距平和时间系数

年份	北部	中部	南部	类型	第一时间系数	第二时间系数	年份	北部	中部	南部	类型	第一时间系数	第二时间系数
1951	-0.1	0.2	0.5		2.05	1.09	1967	0.0	0.1	0.3		1.55	0.87
1952	0.4	0.7	0.8	H	4.17	0.89	1968	0.4	-0.4	-0.0		0.29	-1.93
1953	0.4	0.1	0.0		0.94	-0.90	1969	-0.7	-1.1	-0.6	L	-6.53	-0.23
1954	0.7	-0.8	-1.5	L_S	-4.29	-4.62	1970	1.0	0.6	0.0	H_N	2.87	-3.30
1955	0.3	0.9	0.8	H	6.03	1.28	1971	-0.3	-0.8	-0.2		-3.14	-0.40
1956	-0.4	-0.7	-0.8	L	-3.74	-0.49	1972	-1.4	-0.6	-0.1	L_N	-4.38	4.17
1957	-1.2	-0.9	-0.8	L	-6.98	1.15	1973	0.6	0.6	0.4	H	3.02	-0.71
1958	-0.1	0.5	0.5	H_S	1.82	2.59	1974	0.2	-0.3	-0.6	L_S	-0.97	-3.14
1959	-0.4	-0.4	0.1		-1.34	0.24	1975	0.6	0.3	0.2	H	3.47	-0.55
1960	-0.2	-0.3	-0.2		-1.53	-0.66	1976	-0.7	-0.7	-1.3	L	-7.35	-0.20
1961	-0.4	0.9	0.9	H_S	4.80	4.23	1977	0.2	0.1	-0.1		-0.37	-0.26
1962	-0.2	0.2	-0.1		-0.06	0.07	1978	0.4	1.0	0.4	H	3.89	2.00
1963	-0.1	0.4	0.4		2.64	0.59	1979	-0.0	-0.1	-0.3		-1.49	-0.66
1964	-1.1	-0.8	-0.3	L	-4.43	1.59	1980	1.1	0.4	-0.2	H_N	2.44	-3.90
1965	-0.3	-0.3	0.2		-1.59	1.60	1981	-0.6	-0.1	0.5	H_S	0.96	2.72
1966	-0.0	-0.1	-0.3		-1.53	-0.52	1982	1.8	1.6	0.7	H	8.81	-2.63

当以第一特征向量为主时，全区气温趋势是一致的。若其第一时间系数 ≤ -3.5 ，可定为全区性低温（ L ），如1956、1957、1964、1969、1976年。这几年三个区的气温距平均为负值，且至少有两个区的负距平 $\leq -0.6^{\circ}\text{C}$ ，其余一区也达偏低程度，距平 $\leq -0.3^{\circ}\text{C}$ 。低温强度随时间系数的绝对值增大而增强。相反，第一时间系数 ≥ 3.0 时，可定为全区性高温（ H ），如1952、1955、1973、1975、1978、1982年。这几年三个区的气温距平均为正值，且多数年至少有两个区的气温距平 $\geq +0.5^{\circ}\text{C}$ 。

当第二特征向量的时间系数绝对值较大或占主要地位时，气温趋势的南北差异就较为突出了，易发生局部低温或局部高温。此时第一时间系数的正负仍反映全东北区的总趋势。特别是在其绝对值较大时，可做为局地低温或高温的条件，即第一时间系数为正值时易出现局地高温，为负值时易出现局地低温。

第二特征向量的时间系数 $\geq +2.5$ ，东北区的北部气温偏低，而南部气温偏高。如1958、1961、1972、1981年。根据第一时间系数的正负，1972年可定为北部低温型（ L_N ），该年北部出现 -1.4°C 的低温，而南部气温为正常稍低；1958、1961、1981年可定为南部高温型（ H_S ），这几年南部的气温距平 $\geq +0.5^{\circ}\text{C}$ ，出现高温。需要指出的是，1981年第一时间系数是较小的正值，该年北部气温偏低较为严重。

第二特征向量的时间系数 ≤ -3.0 ，东北区的北部气温偏高，而南部气温偏低，如1954、

1970、1974、1980年。根据第一时间系数的正负，1954、1974年可定为南部低温型(L_S)，这两年南部气温距平 $\leq -0.6^{\circ}\text{C}$ ，而北部为正距平；1970、1980年可定为北部高温型(H_N)，这两年北部气温距平 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ，而南部仅为正常。

其余各年时间系数都较小，均属正常年。仅有1971年接近全区性低温指标。

五、各类低温发生的环流条件

下面依时间系数的变化与环流的关系来分析各类低温发生的环流条件。

图5是第一特征向量的时间系数与同期北半球500毫巴高度的相关系数分布，可以看出和用全区平均气温计算的结果比较相似^[1]。主要有这样一点值得注意：即从北半球大范围来看，纬度间的差异是极明显的，高纬度是以负相关为主，中纬度是以正相关为主，从东亚到北美洲西岸整个太平洋在内的范围都可以通过0.05信度的检验，最大相关中心

(0.72)就在东北区上空。表5是各纬圈上的平均相关系数，从中亦可看出这一点。因此，东北地区大范围低温的发生是和北半球整个环流的变化相联系的。

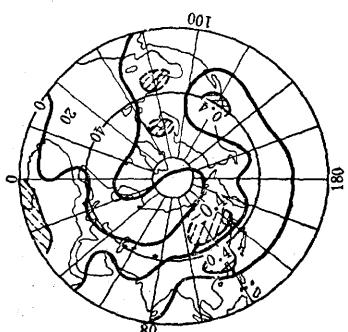


图5 第一特征向量的时间系数与同期500毫巴高度的相关图 图中实线和虚线区分别是大于0.95置信限的正负相关区

表5 各纬圈平均相关系数

纬 度	80	70	60	50	40	30	20	10
相关系数	-0.11	-0.12	-0.05	0.22	0.33	0.25	0.10	0.11

图6是第二特征向量的时间系数与同期北半球500毫巴高度的相关分布，它的变化与整个半球范围的环流关系不明显，主要是受东亚区域性环流变化的影响。它与45°N以南的高度呈正相关(中心在35°N、115°E)，与45°N以北的高度呈反相关(中心在55°N、125°E)。这说明南北局部低温与东亚高度的南北梯度有关。南北梯度大，负距平偏北，锋区明显时，则北部气温偏低，易发生 L_N 型低温，还会伴随较多的降水。南北梯度小，负距平偏南，东亚上空环流为南槽北脊，锋区在40°N以南时，南部气温偏低，易发生 L_S 型低温。

因此，全区性(L型)低温是与整个半球的环流变化相联系的，是由于整个中纬度带高度下降，特别是东亚上空的高度下降引起的，而南、北两类局地低温主要是由东亚上空高度的南北梯度引起的。

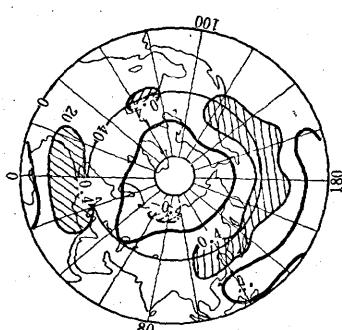


图6 第二特征向量的时间系数与500毫巴高度场的相关分布

六、小结

根据对东北夏季低温空间分布的研究，可以得出如下结论。

- 经验正交分析表明东北夏季气温分布的主要特征有二：一是全区的一致性，二是南、北部呈相反趋势。这两种特征约占总方差的75%，且比较稳定。
- 东北区夏季低温可以分成三种类型，一是全区性的低温，二是南部型局地低温，三是北部型局地低温。
- 全区性低温与整个北半球环流变化相联系。中纬度500毫巴高度的下降，特别是东亚上空的高度下降是全区性低温发生的环流条件，而南北两类局部低温则主要是受东亚上空环流的影响而产生的。

参考文献

- [1] 章基嘉等：亚洲500毫巴候平均环流的天气统计学分析，南京气象学院院报，1979年第1期。
- [2] John E. Walsh and Anthony Mostek, A Quantitative Analysis of Meteorological Anomaly Patterns Over the United States, 1900—1977, Mon. Wea. Rev. Vol. 108, Nos. 5—8, P. 615—630.
- [3] 黄嘉佑编：气象统计预报试用教材，北京大学，1980。
- [4] 章基嘉等：对自然正交函数稳定性条件的讨论，气象学报，Vol. 39, No. 1, P. 82—89。