

气象科研成果汇编

(一)

湖北省气象局科学研究所

一九七七年十月

前 言

为了使我们在气象工作中的技术经验得到广泛的交流，促使气象科研工作的开展。我所将近几年的部分科研成果汇编成《气象科研成果汇编》。由于我们水平有限，难免有错误，敬請读者提出宝贵意見，以便改进我们的工作。

湖北省气象局科学研究所

1977年10月

目 录

1. 梅雨期内連續暴雨的初步分析	湖北省气象局科研所	(3)
2. 场的自然正交展开和统计动力结合预报暴雨场的初步试验	湖北省气象局科研所 武汉大学数学系 武汉中心气象台	(9)
3. 1974年7月7日——15日江淮切变线的分析	湖北省气象局科研所	(22)
4. 青藏高原的加热作用与湖北省初夏暴雨的中短期预报	湖北省气象局科研所	(32)
5. 西太平洋台风移动路徑预报方程	湖北省灾害性天气预报研究协作小组	(43)
6. 湖北初夏季节特大暴雨能量初步分析	湖北省气象局科研所 中山大学气象专业七三级毕业实习小组	(58)
附: 散度和涡度计算公式	湖北省气象局科研所	(78)
7. 抓冷暖规律, 报春播低温	湖北省气象局科研所 阳新县气象站 黄陂县气象站	(82)

8. 单站综合要素时间剖面图与春季天气系统的关系

..... 湖北省气象局科研所
阳新县气象站 (86)
黄陂县气象站

9. 用季节转换观点做梅雨预报

..... 湖北省气象局科研所
阳新县气象站 (95)

10. 用冬季特征作寒露风长期预报

..... 湖北省气象局科研所 (104)

11. 极差分析在周期检验中的应用

..... 武汉大学数学系
湖北省气象局科研所 (108)
黄陂气象站

梅雨期内连续暴雨的初步分析*

湖北省气象局气象科学研究所

一、前 言

梅雨期内的连续暴雨（以下简称“连暴”）是湖北省初夏季节重要的灾害性天气。它的出现对农业生产往往造成严重的损失，同时给江河防汛、水库安全也威胁极大。有关暴雨方面的工作，过去已做了不少分析，为了认识和掌握我省连暴产生前后大尺度环流的背景和中尺度系统的活动规律，我们在过去工作的基础上，对我省1962—1973年梅雨期内出现的十六次连暴过程，（在此时段内我省共出现46次暴雨过程，总日数为100天，其中三天以上的连暴过程16次，共67天。出现机率为35%，而占总日数的67%，可见连暴在暴雨过程中所占有的重要地位）进行了分析，重点考察了连暴发生时急流、切变线、涡和高层200毫巴东、西风交界线的位置和动态，发现我省梅雨期内连暴与上述系统的位置有比较明显的关系。根据这些关系，提出了利用急流（均系采用全风速）涡、切变线等预报连暴的方法。

二、连暴的产生与急流、低涡、切变线及高层东、 西 风 交 界 线 的 关 系

早在五十年代初期，叶笃正在研究中国平均降水分布中指出，降水带几乎与高空急流轴心相重合。〔1〕近期也有人指出，对应于急流有一定的降水型出现。急流和与其有关的高空槽一样，一般是呈现波状起伏的，当槽的振幅不大时，急流的振幅也较小，主要是纬向的。同时，许多关于暴雨研究的文献都曾指出，一次强的暴雨过程往往同一支强的低空西南急流、低涡、切变线的活动有关〔2〕〔3〕〔4〕。我们分析的这16次连暴过程，其结果也有许多共性。

1、急流

100毫巴面上，东风急流（全风速 $\geq 30\text{m/s}$ ）轴的位置（指 100°E —— 120°E 这一区间）在 15°N —— 20°N 之间摆动。

200毫巴面上，西风急流（全风速 $\geq 30\text{m/s}$ 以上同）轴的位置（指 110°E —— 120°E 这一区间）一般在 32°N —— 40°N 之间摆动。见下表：

暖性切变形成的暴雨，西风急流轴呈准纬向分布，在 34°N —— 40° 之间摆动；冷性切变

急流轴在110°E——120°E相变位置表

纬度	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°
天数	0	0	3	4	8	7	18	14	9	4	0

形成的暴雨，急流轴先呈纬向分布，位置同暖性切变相同，后期急流轴呈经向分布，位置在32°N——40°N之间。

700毫巴，850毫巴面上，低空西南急流（指全风速 $\geq 12\text{m/s}$ ）轴的位置，一般都在27°N——30°N之间，（指115°E的剖面）。

低空西南急流与连暴关系表

等压面	700毫巴						850毫巴					
类 自	急流变化			风速等级			急流变化			风速等级		
项 目	无	先有	同时有	≥ 12	≥ 16	≥ 20	无	先有	同时有	≥ 12	≥ 16	≥ 20
次 数	0	7	9	0	5	11	0	9	7	3	7	6

注：十六次，按700或850毫巴只要有一层先出现，为先有急流，则先有急流者为11次，同时有5次。

由表可见，连暴产生时，全都有西南急流出现。

2、切变线

产生暴雨时切变线的位置，暖性切变线在30°N——33°N（一般在成都——老河口——信阳、和重庆——宜昌——汉口间），冷性切变线在105°E——122°E（即：包头——西安——成都、和大连——徐州——恩施间）呈东北——西南走向的竖槽。

3、低涡

产生连暴时，700毫巴和850毫巴切变线上一般都有涡，涡多来自高原和四川盆地，自西向东传。

4、东、西风交界线

产生连暴时，200毫巴东、西风交界线风（即付热带高压脊线）位置在25°N——28°N之间。

三、连续暴雨带的位置与低空西南急流、涡、切变线的关系

雨带和暴雨带出现在暴雨前一天的850毫巴和700毫巴切变线以南，低空西南急流轴（或最大风速中心轴）以北地区。这是因为在西南急流轴的左侧，是一个辐合上升区，同时，急流又可以向北输送大量的暖湿空气。

大—暴雨带的走向与切变线、西南急流轴的走向基本相一致。雨带中的暴雨中心连线，出

现在切变线和急流轴之间的距离，大约在一半处略偏于切变线一侧。（见图A）实例见附图一。若为冷性切变，暴雨中心连线则更靠近切变线一侧。实例见附图三。

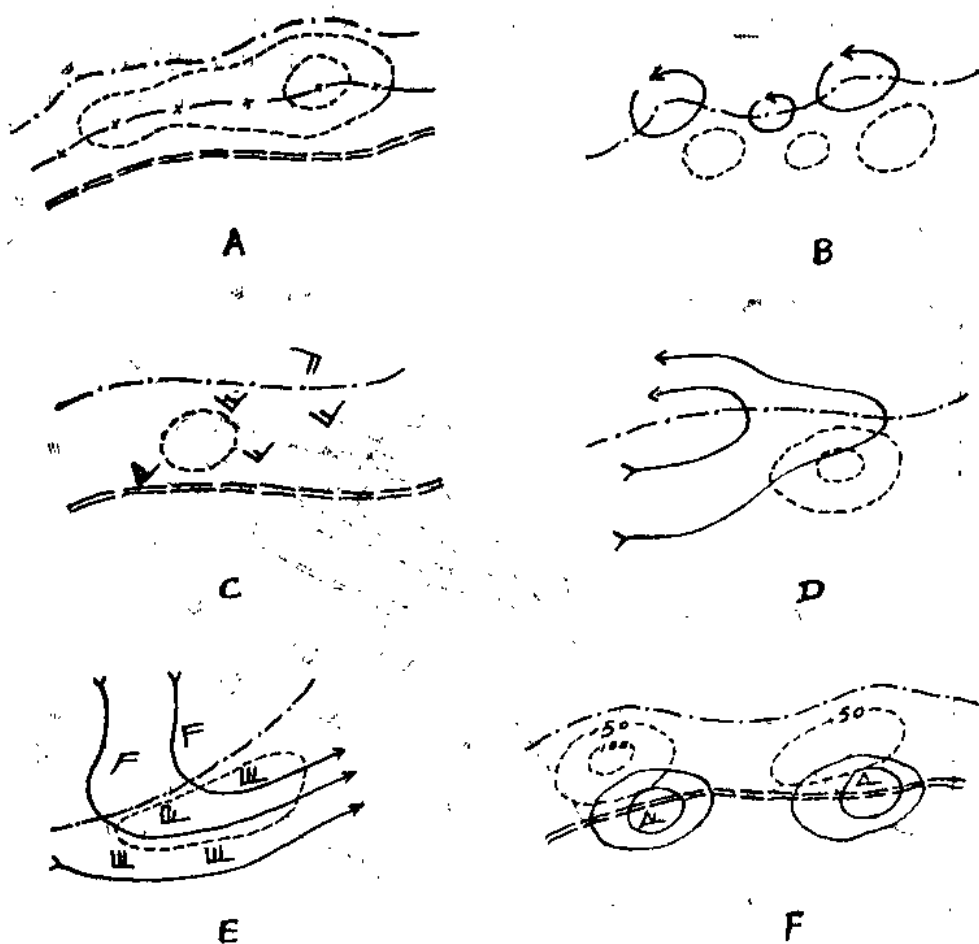
一条切变线上同时有多个涡旋存在，有时多达四个之多，一般出现在暖性切变线上（如：1962.7.3—8；1964.6.23—30）。涡的东南部，距涡中心约240公里左右，伴有一个暴雨中心。（见图B）实例见附图一。

切变线与低空西南急流轴之间的风速辐合区，易于产生质量堆集，气流辐合上升，常伴有一个暴雨中心。（见图C）

暖性切变线上，气旋性曲率较大处，切变线南侧，伴有一个暴雨中心。（见图D）

冷性切变线上，风向辐合区南侧，伴有一个暴雨中心。（见图E）

低空西南急流轴上，最大风速中心的北侧伴有一个暴雨中心。（见图F）



实线为流线，点划线为切变线，双虚线为急流轴线，叉划线为中线，虚线为雨量线，划线为暴雨中心连线。以下各图均同）

四、預 報 連 暴 的 步 驟

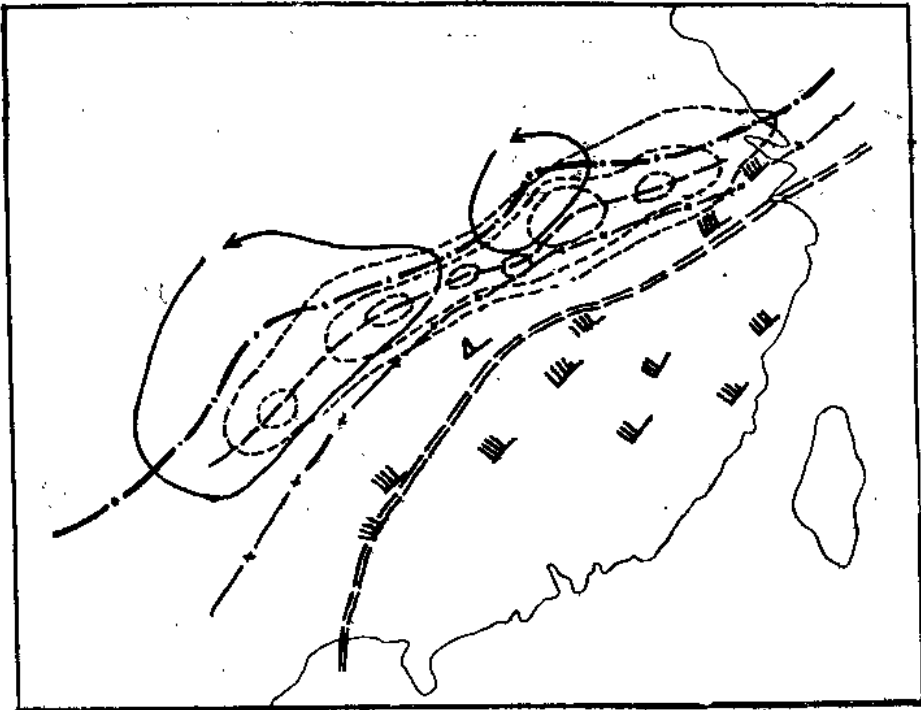
第一步：分析100毫巴东风急流和200毫巴付热带（西风）急流的位置；分析200毫巴东风、西风的交界线（付热带高压脊线）的位置，是否符合出现连暴所要求的纬度范围。

第二步：分析低空西南急流轴的位置，并根据 $Cy = V_s \sin \alpha$ （ Cy 表示急流沿着 y 轴方向的移速， V_s 为流线与急流轴交点处的风速， α 为流线与急流轴的交角）。来预报未来12—24小时后急流轴的位置，是否出现在 27°N — 30°N 之间。

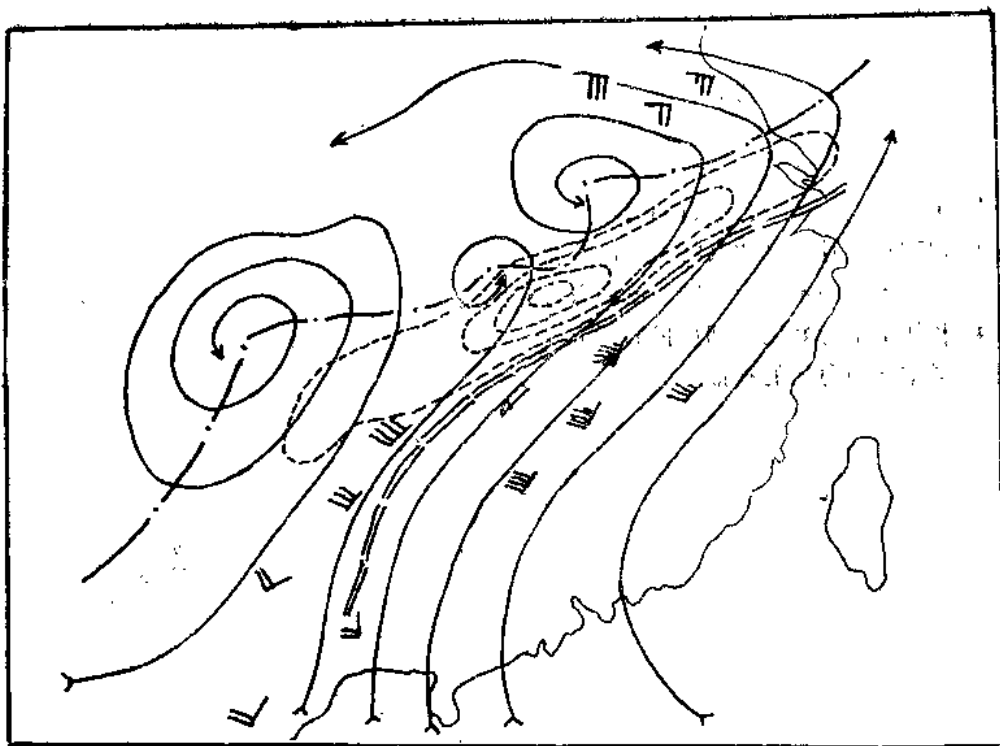
第三步：将预报期内的850毫巴（700毫巴）切变线和西南急流轴，描在一张预告图上，作出切变线与急流轴之间的距离的中线。

第四步：根据涡的位置、切变线上风向辐合区、切变线与急流轴之间的风速辐合区，以及切变线上气旋性曲率最大处和急流轴上最大风速中心等，定出暴雨中心的落点。

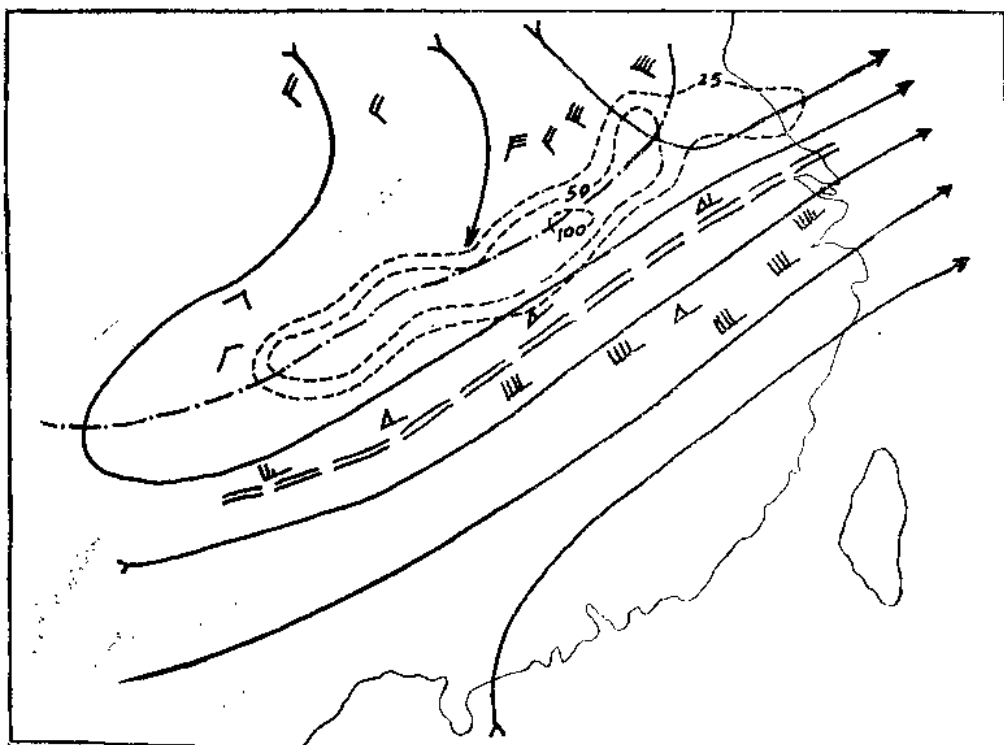
* 本文原名《梅雨期内连续暴雨与急流、切变线、涡的关系的初步分析》。此次汇编时有删节。



附图—1964.6.26.08h (850mb流场)



附图二1964. 6. 25. 08h (850mb流场)



附图三1968. 7. 16. 08h (700mb流场)

参 考 文 献

- | | |
|---------------------------|--------|
| [1] Tellus, 2, 174 (1950) | 叶笃正 |
| [2] 1973年7月2日北京特大暴雨分析 | 王继志 |
| [3] 伴有大雨的不平衡低空急流和力管环流 | 松本诚一 |
| [4] 长江中上游暴雨短期预报的研究 | 陶诗言等 |
| [5] 低空西南急流的预报 | 南京气象学院 |

1974.4.28完稿

场的自然正交展开和 统计动力结合预报暴雨场的初步试验

省气象局科研所
武汉大学数学系
武汉中心气象台

前 言

长期以来统计学的天气预告方法，基本上是以利用单站的气象要素为基础的。随着气象情报资料的日益增多。电子计算技术的不断发展。人们越来越想在一个预告方程中能包含尽可能多的主要“大气信息”。近年来提出了用自然正交展开气象要素场的新方法，这种方法展开的优越性在于整个场的序列所含的重要信息，可以集中在为数不多的前几项中，函数是事先没有给定的，而是需要根据实际资料来确定。这样，函数也就反映了给定场的序列的性质和特点。

为了掌握暴雨场的重要信息，提高中短期灾害性（暴雨）天气的预告准确率，我们用自然正交函数从几个方面来开展我省暴雨场的试验工作。一、展开五次700毫巴连续暴雨场（1962、7.2—8；1964、6.23—30；1968、7.12—20；1969、7.1—17；1973、6.19—24）找出连暴场的主要信息，并探索这些主要场在连暴期内的变化规律。二、展开暴雨开始前3—5天的700毫巴高度场，找出暴雨形成前3—5天的天气形势的重要信息，并用这种重要信息做暴雨预告。三、用统计动力相结合的方法预告未来1—5天的天气形势。下面分别介绍这一试验工作的情况：

一、用自然正交分解展开气象要素场的方法：

矩阵的自然正交分解：

自然正交分解法是处理原始数据的一种方法。其目的是力图用较少的数据来逼近原始观测资料，使之更便于进行理论分析，探求其蕴含的规律性。

设在 n 个不同时刻观测到的 K 个气象要素场量。 $x_1, x_2, \dots, x_k$

列表如下:

$t \backslash X$	X_1	X_2	.....	.....	.....	X_k
t_1	X_{11}	X_{12}	.....	.....	.....	X_{1k}
t_2	X_{21}	X_{22}	.....	.....	.....	X_{2k}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				$\vdots$
t_n	X_{n1}	X_{n2}	.....	.....	.....	X_{nk}

为书写方便起见, 我们采用矩阵形式

记:

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1k} \\ X_{21} & X_{22} & & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & & X_{nk} \end{pmatrix}$$

而用

$$X^T = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{n1} \\ X_{12} & X_{22} & & X_{n2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{1k} & X_{2k} & & X_{nk} \end{pmatrix}$$

来表示矩阵 X 的转置。

我们的目的就是要将矩阵 X 分解成为如下形式

$$X = \sum_{i=1}^k \begin{pmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{ni} \end{pmatrix} (V_{1i}, V_{2i}, \cdots, V_{ki}) \cong \sum_{i=1}^k \begin{pmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{ni} \end{pmatrix} (V_{1i}, V_{2i}, \cdots, V_{ki})$$

取其前1项 (1要比 K 小得多), 使它就能较好地反映原始场 X 。

定理 1 对实 $n \times K$ 矩阵 X ($n \geq K$), 若 $X^T X$ 为正定矩阵, 则 X 可分解为:

$$X = U \Lambda V^T \quad (1)$$

其中

$$U^T U = V^T V = V V^T = I_k \text{ 及对角矩阵}$$

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1^{\frac{1}{2}} & & 0 \\ & \lambda_2^{\frac{1}{2}} & \\ 0 & & \ddots \\ & & & \lambda_k^{\frac{1}{2}} \end{pmatrix}$$

矩阵 U 是由矩阵 $X X^T$ 的 k 个最大特征值相应的标准正交特征向量所组成, 矩阵 V 是由矩阵 $X^T X$ 的相应于特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ 的标准正交特征向量所组成。

$$\text{证明, 因为 } X^T X V = V \Lambda^2 \quad (2)$$

故

$$X X^T X V = X V \Lambda^2 \quad (3)$$

这就是说, $Z = X V$ 是矩阵 $X X^T$ 的特征向量系, 而

$$Z^T Z = V^T X^T X V = V^T V \Lambda^2 = \Lambda^2$$

$$= \begin{pmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \lambda_2 & \\ 0 & & \ddots \\ & & & \lambda_k \end{pmatrix}$$

故 Z 是正交的, 令 $Z = U \Lambda$, 则有

$U^T U = (Z \Lambda^{-1})^T (Z \Lambda^{-1}) = \Lambda^{-1} Z^T Z \Lambda^{-1} = \Lambda^{-1} \Lambda^2 \Lambda^{-1} = I_k$, 故 U 是 $X X^T$ 的标准正交向量系, 从而有

$$X = X V V^T = Z V^T = U \Lambda V^T$$

定理得证

这个定理可写成展开形式。

$$X = \sum_{i=1}^k \begin{pmatrix} X_{1i} \\ X_{2i} \\ \vdots \\ X_{ni} \end{pmatrix} (V_{1i}, V_{2i} \dots V_{ki}) = \sum_{i=1}^k \sqrt{\lambda_i} \begin{pmatrix} u_{1i} \\ u_{2i} \\ \vdots \\ u_{ni} \end{pmatrix} (V_{1i}, V_{2i} \dots V_{ki}) \quad (4)$$

由于 U 与 V 是由场 X 本身自然地决定的, 且 U 、 V 都是正交的, 故上面这种分解方法称为“自然正交分解法”。

我们用 Jacolin 方法求矩阵 $X^T X$ 的特征值和特征向量。并把 $X^T X$ 的特征值按大小排列:

$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_k \geq 0$, 如果前 l 个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l$, 远远大于它后面的特征值 $\lambda_{l+1}, \lambda_{l+2}, \dots, \lambda_k$, 则有近似分解式:

$$X \cong \tilde{X} = \sum_{i=1}^l \sqrt{\lambda_i} \begin{pmatrix} u_{1i} \\ u_{2i} \\ \vdots \\ u_{ni} \end{pmatrix} (V_{1i}, V_{2i} \dots V_{ki}) \quad (5)$$

为了考察从 (5) 式表示的 $\tilde{X}$ 来逼近 X 的误差, 我们记:

$$SP(A) = \sum_{i=1}^n a_{ii} \quad (\text{矩阵 } A \text{ 的对角线元素之和})$$

则:

$$SP(X^T X) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ji}^2 \quad (\text{它是 } X \text{ 的所有元素的平方和})$$

$$SP(\tilde{X}^T \tilde{X}) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ji}^2 \quad (\text{它是 } X \text{ 的近似矩阵 } \tilde{X} \text{ 的所有元素的平方和})$$

故用 $\tilde{X}$ 代替 X 时的广义绝对误差就可用:

$SP(X^T X) - SP(\tilde{X}^T \tilde{X})$ 来度量。其广义相对误差可用:

$$\frac{SP(X^T X) - SP(\tilde{X}^T \tilde{X})}{SP(X^T X)} \text{ 来度量。}$$

另一方面, 利用特征矩阵 U 与 V 的标准正交性, 由 (4) 式可以计算得:

$$SP(\tilde{X}^T \tilde{X}) = \sum_{i=1}^k \lambda_i \quad (6)$$

由 (5) 式可以得:

$$SP(\tilde{X}^T \tilde{X}) = \sum_{i=1}^l \lambda_i \quad (7)$$

故得误差定理:

定理 2 公式 (4) 中取前 l 项 $\tilde{X}$ 来逼近 X 时, 其广义绝对误差是

$$SP(X^T X) - SP(\tilde{X}^T \tilde{X}) = \sum_{i=1}^k \lambda_i - \sum_{i=1}^1 \lambda_i = \sum_{i=1+1}^k \lambda_i \quad (8)$$

其广义相对误差是：

$$\frac{SP(X^T X) - SP(\tilde{X}^T \tilde{X})}{SP(X^T X)} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^1 \lambda_i}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \quad (9)$$

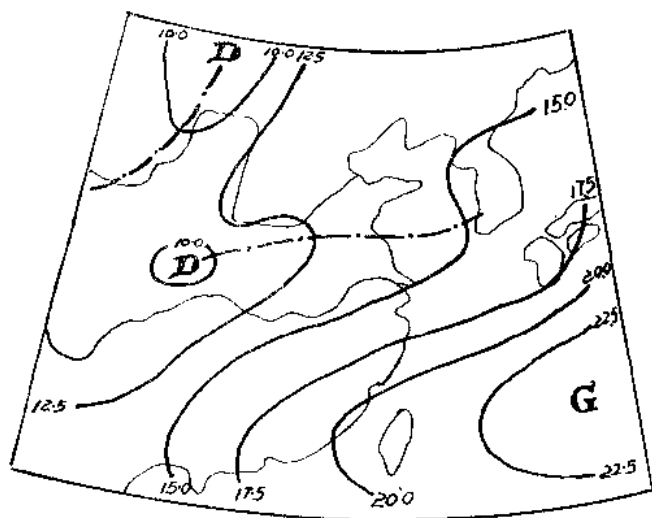
从定理2，可知，当前1个特征值比后面的值越大时，则逼近误差越小，当 $1=K$ 时，则误差为零。

二、用自然正交分量展开五个暴雨场的试验，

根据上述原理，将 $(100^\circ E-130^\circ E, 20^\circ N-40^\circ N)$ 这一地区的700毫巴高度场，按自然正交分解法，分解了五次连续暴雨场（三次暖性连暴场、两次冷性连暴场）。分解共取了42个点。展开结果列入下表，并见附图

由上表可见：1962.7.2—8的700毫巴连暴场，当取前1项时的精确度对700毫巴高度场来说达到98.7%。当取前3项时，精确度达到99.3%。1964.6.23—30的连暴场，当取前1项时的精确度对700毫巴高度场来说达到98.0%，当取前3项时，精确度达到99.3%。1968.7.12—20的连暴场，当取前1项时的精确度对700毫巴高度场来说达到98.0%，当取前3项时，精确度达到99.5%。1969.7.1—17的连暴场，当取前1项时的精确度对700毫巴高度场来说达到97.4%，当取前3项时，精确度达到98.9%。1973.6.19—24的连暴场，当取前1项时的精确度对700毫巴高度场来说达到98.7%，当取前3项时，精确度达到99.4%。这里，一个共同特点是收敛快，重要信息集中在前1项。

附图—A、B、C、D是1964.6.23—30连暴场的空间分解场之一、二、三、

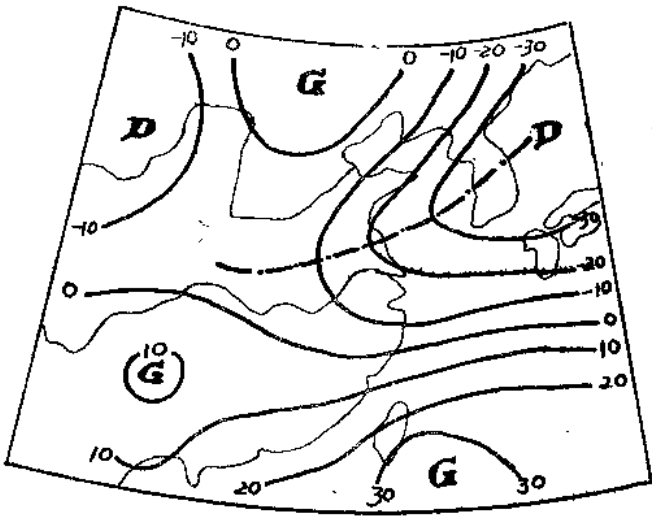


1964.6.23—30. AT 700 第-特征向量场

A

六特征向量的分布图；图·A是700mb高度场的第一特征向量的分布图。

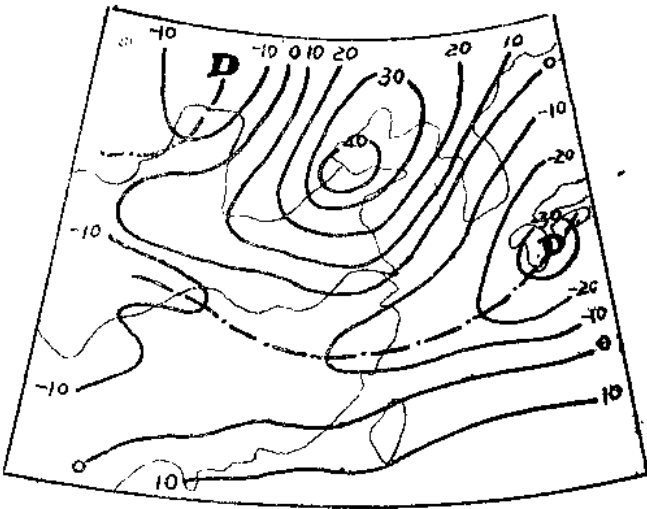
图一、B是700毫巴高度场的第二特征向量的分布图；



1964.6.23-30. AT 700 第二特征向量场

B

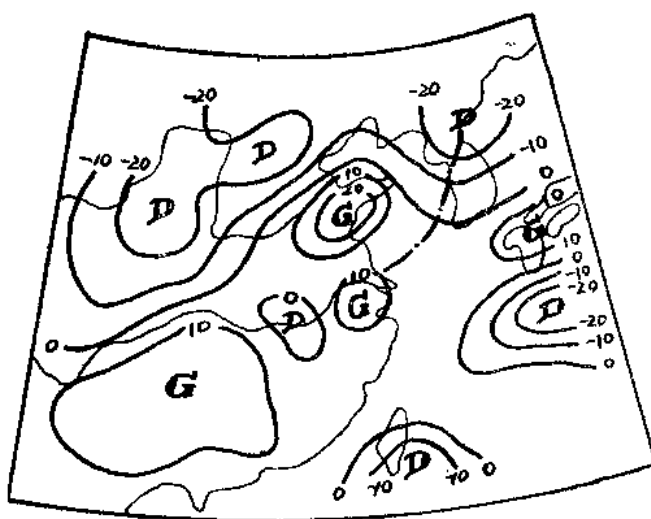
图一、C是700毫巴高度场的第三特征向量场的分布图；



1964.6.23-30. AT 700 第三特征向量场

C

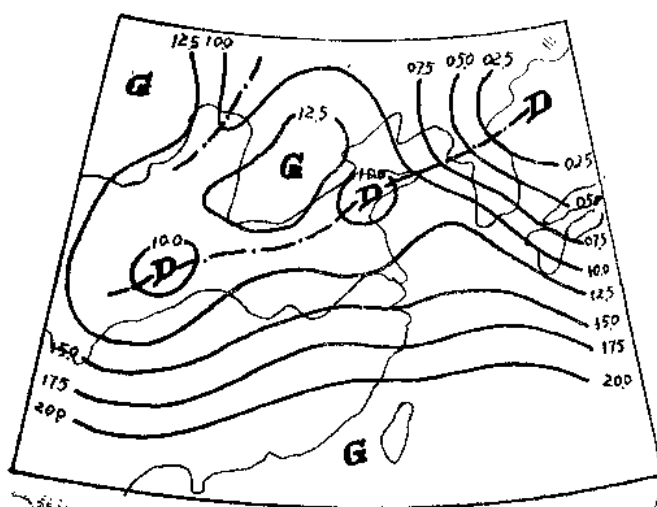
图一、D是700毫巴高度场的第六特征向量场的分布图。



1964.6.23-30. AT 700第六特征向量场

D

附图二、A、B、C、D分别为73年、62年、68年、69年、700毫巴暴雨场第一特征向量的分布图，附图三是64年第一特征向量场时间分量的演变曲线和第二特征向量场时间分量的演变曲线。



1973.6.19-24. AT 700第一特征向量场

A