

丹江口水库秋汛期降水的环流特征

司 有 元

(中国科学院地理研究所)

摘 要

本文应用群分析的方法,对 1951—1980 年 9 月分 10°E — 165°W , 10°N — 70°N 范围内的 500 毫巴环流形势场进行分类,以便了解不同类型的大气环流特征以及在不同大气环流型影响下,丹江口水库区流域降水和平均入库流量发生变化的情况。进而为水库的调度方案的编制和洪水预报提供气候学依据。

一、前 言

丹江口水库位处长江最大支流——汉江上游,是一项具有防洪、发电、灌溉、航运、养殖等综合效益的现代化大型水利设施。库区流域跨鄂、豫、陕三省,北有秦岭,南有大巴山、米仓山,而且处于我国东部平原与青藏高原的过渡地带,在天气气候方面,具有一定的特殊性。从丹江口平均入库流量的变化过程(图1)来看:冬季各月的平均入库流量都在 500 米³/秒以下,4 月开始明显上升,10 月以后开始明显下降,全过程有三个峰值,分别出现在 5、7、9 月,其中以 9 月的峰值最为突出。这就是说,丹江口水库除有春汛、夏汛,还有明显的秋汛。秋汛期主要是指 8 月下旬到 10 月中旬的这一时期,而 9 月的平均入库流量约占这一时期总入库流量的 60% 以上。由此可见,秋汛期 9 月对丹江口水库的防洪、蓄水来说,

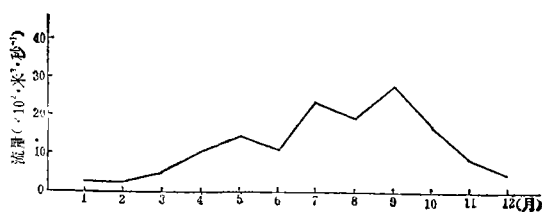


图 1 多年平均入库流量过程线

是一个关键时段,作好这一时段的长期旱涝预报,是十分重要的。本文应用群分析方法,着重对 10°E — 165°W , 10°N — 70°N 范围的 9 月 500 毫巴大气环流场进行分类,目的在于弄清楚秋汛期 9 月影响丹江口水库流域降水的天气系统和降水偏多和偏少年份的环流特征,进而为水库调度方案的编制和洪水预报提供气候学依据,使水库发挥最大效益。

二、群分析的基本思想和相似性统计量

群分析是根据样本多种变量的观测数据,应用数学方法,定量地确定样本或变量相互之间的相似性,并按相似程度的差异,把它们逐步归类成群的多元统计分析方法。它能反应样

本或变量间的内在组合关系,其结果可用二维谱系图(或枝状图)形象地将研究对象之间的相似性表示出来,使我们一目了然。群分析根据其研究的对象又分为两种:Q型群分析和R型群分析,Q型群分析研究样本间的关系,R型群分析研究变量之间的相互关系。

群分析要求给出一个能反映样本或变量之间相似程度的数字指标。因此,必须找到能度量相似关系的统计量。常用的相似性统计量有以下几种。

(一) 距离系数 d

当样本的变量数为 V 时,则第 i 个与第 k 个样本在 V 维空间中的距离为:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^V (x_{ij} - x_{kj})^2 / V} \quad (1)$$

($i \neq k, i, k = 1, 2, \dots, N$)

式中 x_{ij} 为第 i 个样本第 j 个变量的观测值, N 为样本数, V 为变量数,上式中除以 V 是为了扣除变量影响,在归类成群时, d 选最小者优先合併。

(二) 相似系数 $\cos\theta$

系数 $\cos\theta$ 用于样本间的比较,设有 N 个样本,每个样本由 V 个变量组成,把每个样本看成是 V 维空间中的一个向量,两个样本之间的相似程度可由其向量间夹角的余弦表示,系数 $\cos\theta$ 的公式为:

$$\cos\theta_{ip} = \frac{\sum_{j=1}^V (x_{ij} \cdot x_{pj})}{\sqrt{\sum_{j=1}^V (x_{ij})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^V (x_{pj})^2}} \quad (2)$$

式中 $i, p = 1, 2, \dots, N$, 为被比较的两个样本, N 为样本总数, x 为样本的观测值, $\cos\theta$ 选取最大者优先合併。

(三) 相关系数 r

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (3)$$

式中 $j, k = 1, 2, \dots, V$, 为比较的两个变量, N 为样本数, x 为样本观测值, r 的取值范围是 $0 \leq r \leq 1$, r 选取最大者优先合併。

每个样本有许多测定值,每种测定值的量纲和数量大小是很不一样的,如果直接用原始数据进行计算,就会突出那些绝对值大的变量的作用而降低绝对值小的那些变量的作用。为了给每种变量以同一量度,在进行分群前,有时需要对数据均匀化,数据均匀化可按下述二种方法进行。

1. 标准化

经变换后的新数据为

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, N$ 为样本数, $j = 1, 2, \dots, V$ 为变量数, \bar{x}_j 为第 j 个变量的平均值, S_j 为第 j 个变量的标准差, x_{ij} 为原始数据, 经过这样变换后, 每个变量的平均值为 0, 方差为 1。

2. 正规化

选出数据中每个变量的最大值 x_{\max} 和最小值 x_{\min} , 使变换后的数据为:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

这样得到的最大值为 1, 最小值为 0。

三、群结构的形成

根据计算的相似性统计量, 直接进行各个级别群的形成。首先选择相似性统计量最大的样本对。然后再选择次大的样本对, 以此类推。选出样本对后, 对两个样本可按下述原则来处理: (1) 若两个样本在已形成的群中没有出现过, 则由这对样本形成一个独立的新群,

(2) 若两个样本中有一个在已经分好的群中出现过, 则另一个加入该群。(3) 若两个样本都在已分好的两群中, 则可把这两群连在一起。(4) 若两个样本都在同一群中, 则这对样本不再处理。

这样反复进行, 直到把所有的样本归类完毕为止, 最后形成一个完整的群结构。在归组成群过程中, 会涉及到如何选取各群代表性样本和如何连接样本的问题。

对于如何选取各群代表性样本的问题, 通常有两种方法, 一是在各群中选取一个有代表性的实际样本作为该群的代表性样本, 二是选取各群中的一些或所有样本的平均值作为该群的代表性样本。虽然此样本实际上并不存在, 但它可以较好地反映该群样本的特征。

对于样本的连接也有两种方法, 即紧邻连接和远邻连接。所谓紧邻连接, 是指两群连接时, 用两群中最相似的两个样本作为该两群连接的代表, 也就是把这两个样本的相似性统计量作为连接的相似性水平。所谓远邻连接, 就是决定两群连接时, 仍然把最相似的两群连接在一起, 不同的是把两群中距离最远的样本对作为两群相似性水平的标志。

四、9 月两群样本的环流特征及相应的降水

根据实际需要, 确定了一个包括欧亚和西北太平洋的分析范围 (10°E — 160°W 、 10°N — 70°N)。在这个范围内选取了 228 个格点高度值作为样本变量。因此, 从 1951 年到 1980 年就有 30 个分析样本, 每个样本有 228 个变量。在确定了分析范围和分析对象的基础上, 首先对 9 月的 30 个分析样本进行分类, 在成群过程中, 选择距离系数 d 作为相似性统计量, 并采用紧邻连接的方式, 但对原始资料没有做均匀化处理。图 2 是 9 月的二维谱系图,

从图 2 可以明显地看到 30 个样本被分别划归到不同的两个大群中，其中第一群包括 13 个

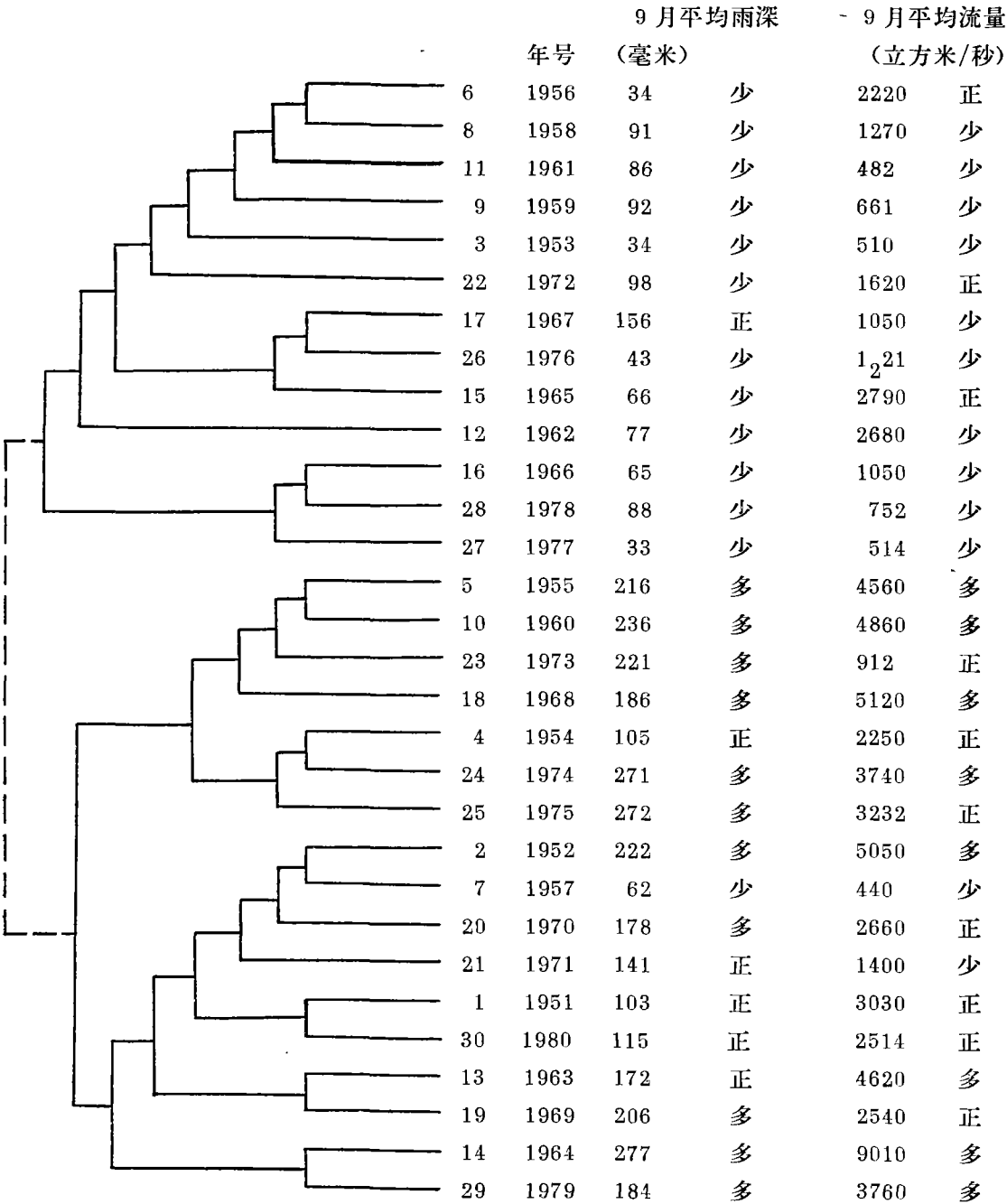


图 2 9 月群结构的二维谱示图

(少：雨深 (流量) 偏少，多：雨深 (流量) 偏多，正：雨深 (流量) 正常)

样本，第二群包括 17 个样本，然后，分析 9 月两群样本的环流特征及对应的降水。

对于 9 月，从第一群中选取 1953、1956、1958、1961、1965、1966、1976、1977、1978

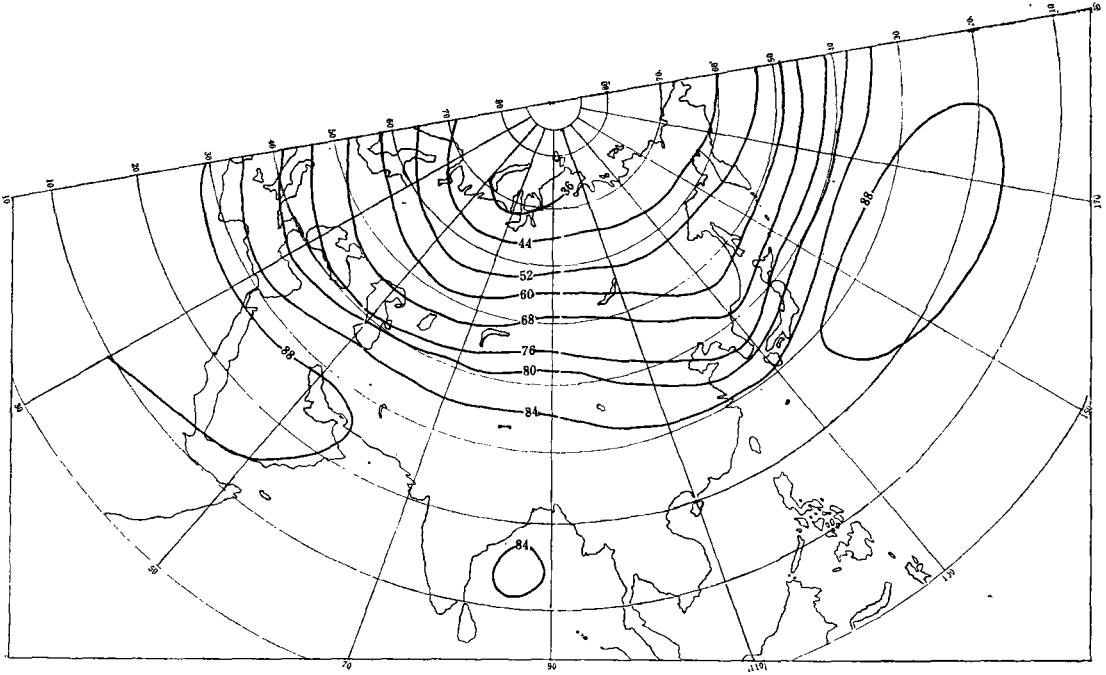


图 3 9 月第一群样本的 500 毫巴高度（单位：毫巴）

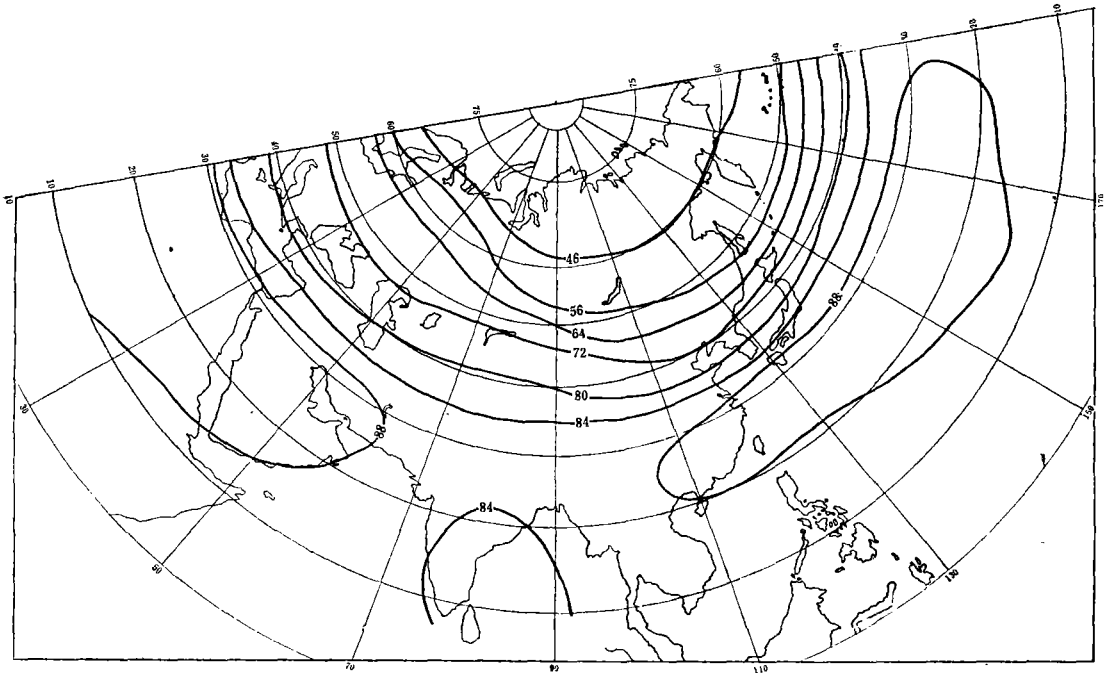


图 4 9 月第二群样本的 500 毫巴高度（单位：毫巴）

年共 9 个样本, 求其平均作为该群的代表性样本; 从第二群中选取 1952、1955、1960、1963、1964、1968、1969、1974、1975、1979 年共 10 个样本, 求其平均作为该群的代表性样本。图 3 和图 4 分别是 9 月第一群代表性样本和第二群代表性样本的 500 毫巴高度场, 把这两幅图对比分析就会发现图 3 中, 西风带槽脊分布的形势比较明显, 在乌拉尔山西侧和东亚沿岸各有一槽, 其中东亚槽比较深, 从东经 110° 到东经 140° 之间, 584 位势什米线的位置很靠近 30°N, 在以上两槽之间, 巴尔喀什湖东侧为一脊。在图 4 中, 高纬度乌拉尔山附近有一脊, 欧亚中纬度地区槽脊不明显, 环流比较平直, 584 位势什米线的位置几乎是沿着 35°N 纬圈的。在图 3 中副热带西太平洋高压(以下简称副高)脊线位于北纬 25°, 强度较弱, 588 位势什米线包括的网格(5×5)点数只有 23 个(多年平均值为 34 个), 副高的位置也明显偏东, 西伸脊点在东经 140° 附近的海上。而在图 4 中, 副高脊线虽然也在北纬 25° 附近, 但较强, 588 位势什米线包括的网格点数达 43 个, 西伸脊点位置在东经 105° 左右, 副高的这些差别在沿 25°N 纬圈两群样本的 500 毫巴平均高度廓线图 5 上, 也反映的很明显。对第一群样本来说, 从东经 105° 到东经 140° 之间, 格点高度值均小于 588 位势什米, 大于 588 位势什米的格点值出现在东经 145° 与东经 175° 之间; 而对第二群样本来说, 从东经 105° 到西经 175° 之间, 网格点的高度值都达到或超过 588 位势什米。这一事实进一步说明两群样本中副高的强弱, 位置有明显差异。

在两群样本的高度场上, 孟加拉湾低槽的强度也有很大差异。在图 3 中, 孟加拉湾及其邻近地区, 584 位势什米线包括的范围很小, 而在图 4 中, 584 位势什米线包括的范围是比较大的。这一点在图 6 中反映的更清楚, 图 6 是沿 15°N 纬圈两群样本的 500 毫巴平均高度廓线图。从图可知, 第一群样本的孟加拉湾低槽比较狭窄。而第二群样本的孟加拉湾低槽比较宽阔。两群样本之间的显著差别表明, 前者孟加拉湾低槽强度弱, 不明显, 后者孟加拉湾低槽强且明显。图 7 是两群样本沿 100°E—140°E 的平均地转西风廓线, 该图表明: 100°E—140°E 之间, 第二群样本的西风较第一群样本的西风强, 第一群样本的最大风速出现在北纬 45° 附近, 而第二群样本的最大风速出现在北纬 40° 附近。图 8 和图 9 分别是第一群样本和第二群样本的高度距平场, 十分明显, 两群样本的正负距平分布, 是很不相同

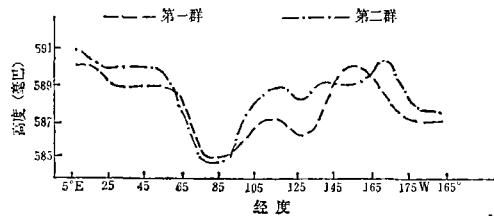


图 5 9 月沿 25°N 纬圈两群样本的 500 毫巴平均高度廓线图

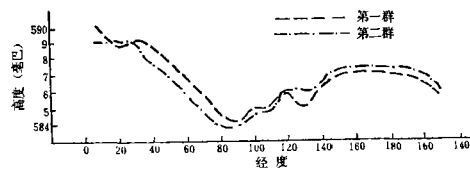


图 6 9 月沿 15°N 纬圈两群样本的 500 毫巴平均高度廓线图

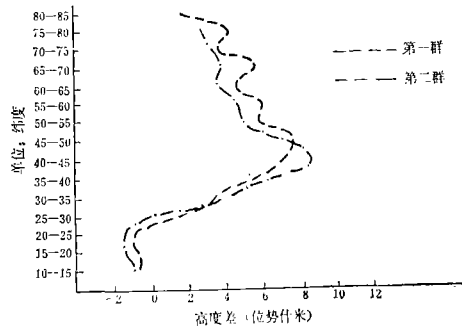


图 7 9 月沿 100°E—140°E 两群样本的平均地转西风廓线图

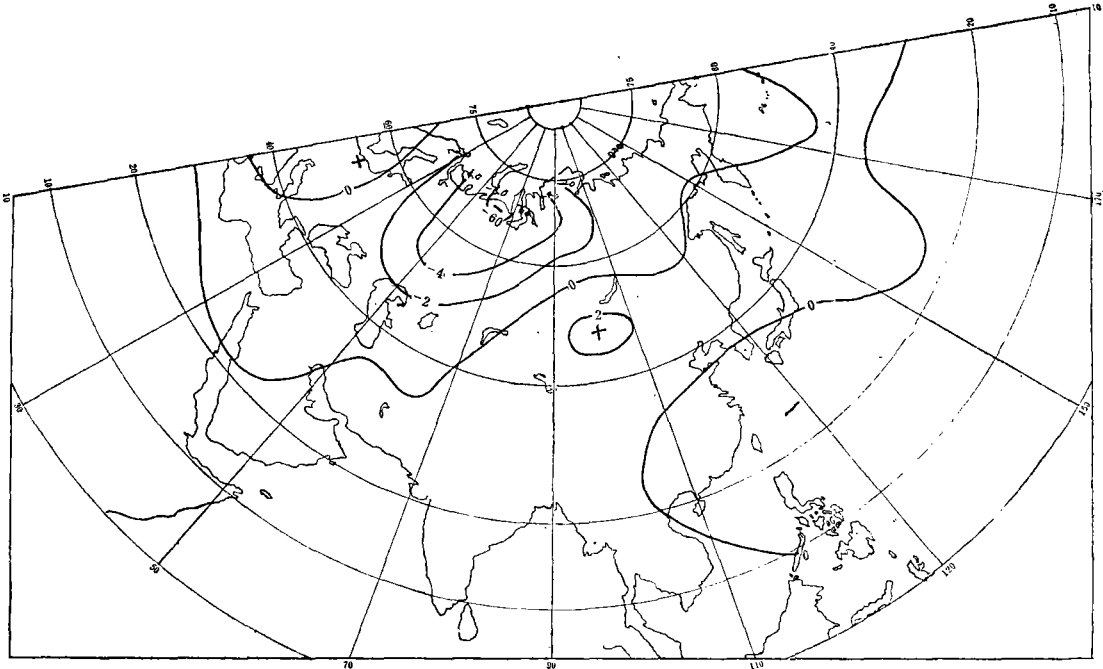


图 8 9 月第一群样本的 500 毫巴高度距平（单位：毫巴）

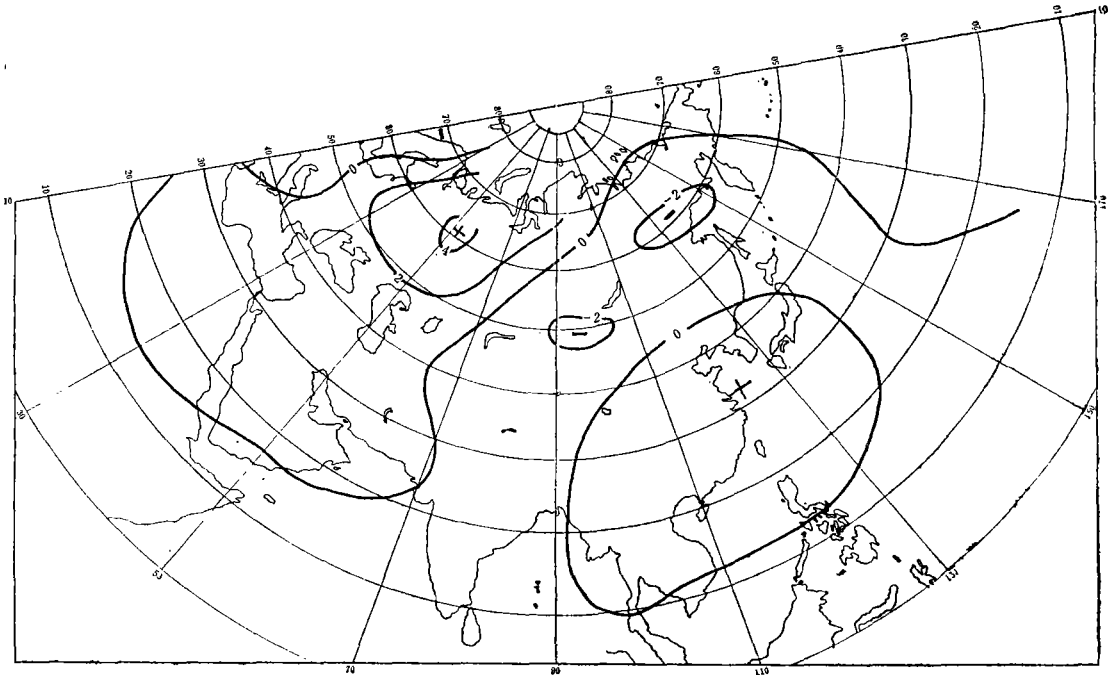


图 9 9 月第二群样本的 500 毫巴高度距平（单位：毫巴）

的。在图 8 上，几乎整个欧洲和亚洲地区的高纬度为负距平，中心在乌拉尔山北部，强度为

-6 位势什米, 从亚洲南部经亚洲中部到鄂霍次克海以东的大洋上, 为正距平, 中心在贝加尔湖南侧, 强度较小, 只有 2 位势什米。我国东部及其以东的太平洋上为负距平, 没有明显的负距平中心。在图 9 上, 除沿岸以外的整个欧洲地区为正距平, 中心在乌拉尔山附近, 其强度为 4 位势什米, 从南亚次大陆经巴尔喀什湖, 贝加尔湖到东北亚为负距平, 有两个中心, 分别在贝加尔湖西南部和鄂霍次克海北部, 其强度约为 -2 位势什米, 东南亚及其邻近的太平洋上为正距平, 中心在我国黄海附近, 强度较弱, 不到 2 位势什米。正负距平分布的差别, 直接反映了两群样本大气环流场的不同特征。

根据以上分析, 就第一群样本而言, 由于巴尔喀什湖东侧有脊存在, 加之东亚槽比较深, 使库区流域及邻近地区处在单一的西北气流控制下, 另外, 由于副高强度较弱, 位置偏东, 孟加拉湾低槽不明显, 东南气流和西南气流都偏弱, 暖湿空气的活动路径偏东偏南。大气环流系统的这种配置不利于南方的暖湿空气跟北方的干冷空气在库区流域及其邻近地区汇合, 不利于库区流域形成较多的降水, 因而使月平均流量偏枯。对第二群样本来说, 大气环流系统的配置就不是这样, 西风带环流比较平直, 北方脊前的冷空气下来后, 迭加到平直的环流上, 形成一些小的波动, 东移南下。跟第一群样本的冷空气势力相比, 该群的冷空气势力虽然弱一些, 但副热带西太平洋高压比较强, 而且西伸到东经 105° 左右, 孟加拉湾低槽也比较明显, 东南气流和西南气流有条件北上, 向库区流域及其邻近地区输送大量的暖湿空气, 这些暖湿空气一旦和北方来的一股股冷空气相汇合, 就会在库区流域产生较多的降水, 形成偏丰的月平均流量。

以上这些结论与实际情况是否相一致, 还要经过进一步的检验。为此, 把每个样本对应的流域月平均雨深和月平均流量标在图 2 上, 结果可以看到第一群样本所对应的月平均雨深或月平均流量, 基本上都是偏少的。第一群中有 13 个样本, 有 12 个样本月平均雨深偏少, 10 个样本月平均流量偏枯, 不论是月平均雨深, 还是月平均流量, 都没有出现偏多的情况。而第二群样本对应的月平均雨深或月平均流量基本上都是偏多的, 第二群中有 17 个样本, 有 16 个样本对应的月平均雨深是偏多 (11 个) 或正常 (5 个) 的, 只有一个样本对应的月平均雨深是偏少的。就月平均流量而言, 17 个样本中有 15 个对应的月平均流量是偏多或正常的, 2 个是偏少的。检验结果表明, 分析的结论和实际是很一致的。

综上所述, 可以看出高纬冷空气的活动及其路径, 西风带的槽、脊位置、强度, 副高的强弱、位置, 西伸的经度和孟加拉湾低槽的明显与否等, 都是决定库区流域降水多少的主要环流因子, 把握它们的活动规律是作好库区流域旱涝长期预报的关键。

五、分析结果的检验

在图 2 中, 可以清楚地看到两群样本所对应的月平均雨深和月平均流量是有很大的差别的。但是这种差别在给定的信度下是否显著, 还需要作统计检验才能确定。这里主要是通过检验两类样本所对应的月平均流量和月平均雨深的数学期望, 来判断它们之间差别的显著性。t 检验法可以检验两总体的数学期望是否相等的问题。设两个样本的容量各为 n_1 和 n_2 , 均值为 \bar{x}_1 和 \bar{x}_2 , 标准差为 S_1 和 S_2 , 则在原假设 $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ 成立条件下统计量:

$$t = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \quad (6)$$

服从自由度 $f = n_1 + n_2 - 2$ 的 t 分布, 对于给定的信度 α , 检验假设 $H_0: \mu_1 = \mu_2$ 的否定域为 $|t| > t_\alpha$ 。

用 t 检验法对 9 月两群样本所相应的月平均雨深和月平均流量进行显著性检验。9 月第一个样本的容量是 13, 第二个样本的容量是 17, 雨深的平均值分别为 73.8 和 186.3 (毫米), 流量的平均值分别为 1158 和 3616 (立方米/秒), 取信度 $\alpha = 0.05$, 按 $f = 13 + 17 - 2$ 查 t 分布表得置信限 $t_\alpha = t_{0.05} = 2.048$, 由公式 6 计算雨深和流量的 t 值, 其结果分别为 -5.75 和 -4.45, 这两个数的绝对值都大于 2.048, 即 $|t| > t_\alpha$, 假设 $H_0: \mu_1 = \mu_2$ 被否定, 由此可以认为 9 月两群样本所对应的月平均雨深和月平均流量的数学期望在信度 $\alpha = 0.05$ 的情况下, 有显著差别。

通过月 9 两群样本所对应的平均雨深和平均流量的数学期望的显著性检验, 可以看到, 应用群分析方法, 对 9 月大气环流进行的分类, 效果是比较明显的, 还可以看到, 不同类型的环流, 确实与不同的降水相对应, 这对通过分析大气环流型来预报降水提供了一个好的途径。

六、结 束 语

通过对丹江口水库秋汛期降水成因的群分析, 可以得到以下几点结论:

1. 利用群分析分类法划分的类, 比传统分类方法划分的类更能反映出样本之间的内在联系, 也更接近实际。
2. 利用群分析分类, 不但能够反映出样本类型之间的定性关系, 而且也能够反映出样本类型之间的定量关系。
3. 利用群分析分类, 不受变量多, 天气现象复杂的影响。
4. 高纬度冷空气强度、活动路径, 西风带的环流平直与否以及槽脊位置, 副热带西太平洋高压的强度、脊线位置, 西伸脊点位置, 孟加拉湾低槽发展的程度等, 都是影响丹江口流量和库区降水的重要大气环流因子。旱涝年份, 这些环流因子的配置有相反变化的趋势。

参 考 文 献

- (1) 中国科学院计算中心概率统计组: 概率统计计算, 科学出版社, 1979 年。
- (2) 关家骥、翟永然: 概率统计习题解答, 湖南科学出版社, 1979 年。
- (3) 司有元、殷延珍: 安康地区秋汛期环流形势分析, 地理集刊 11 号, 科学出版社, 1979 年。

THE CIRCULATION PATTERNS OF PRECIPITATION AT THE AUTUMN FLOOD PERIOD OVER THE DAN-JIANG-KOU RESERVOIR

Si Youyuan

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

In this Paper Clustering analysis was used to classify the 500 mb circulation fields in September at 10°E - 165°W and 10°N - 70°N in 1951-1980, for the purpose of understanding the characteristics of atmospheric circulation in different patterns, the variations of the precipitation in the Dan-Jiang-Kou reservoir basin and the mean discharge of the entering flow under the influences of different patterns. This paper provided too the climatic background for the rational dispatch and flood control of the reservoir to make the maximum benefit of it.