

频率组合法及其在干旱频率分析中的应用*

——以泾河流域干旱频率分析为例

刘 燕¹;杜学挺²;高博平³;胡安焱¹;彭翠华¹

(1. 长安大学水资源与环境工程系, 陕西 西安 710054;

2. 新疆城建股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830069; 3. 陕西省农业厅, 陕西 西安 710003)

摘 要: 介绍了频率组合法基本原理和方法, 分析了自然条件下干旱发生的影响因素和频率组合法自身特点, 对该方法在干旱频率分析中应用的可行性进行了初步论证, 将其应用到泾河流域的干旱频率分析中, 把降水和天然径流系列进行组合得到新的干旱变量。通过组合计算, 可得出不同频率下降水与地表河川径流同时遭遇干旱的情况, 使其可行性和有效性再次得到证实。通过尝试, 证实频率组合法理论推导严密、操作过程简单、结论可信度高, 是进行干旱频率分析和预测的重要手段。

关键词: 频率组合法; 干旱; 频率分析; 泾河

中图分类号: S165+.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)02-0195-05

干旱问题已经引起越来越多的关注, 用于描述干旱的降雨或径流系列称为干旱变量^[1]。现有的干旱识别和预测手段^[2~5]都是把干旱变量孤立起来单独进行分析, 然而干旱却与若干干旱变量(降雨和径流)紧密相关, 因此, 要对干旱进行客观的识别和预测就必须进行全面考虑, 尽可能多地把重要干旱变量指标都考虑进去。频率组合法是研究两种或两种以上随机变量联合影响下的某种现象的频率分布情况的一种重要手段^[6]。本文将尝试着利用频率组合法将若干重要的干旱变量组合在一起, 进行干旱频率分析。

2 频率组合法基本原理与方法^[6~8]

2.1 原 理

组合频率属于多元随机变量系的分布问题^[9]。它是研究两种或两种以上随机变量联合影响下的某种现象的频率分布情况。设某随机变量 Z 是由两个随机变量 X 及 Y 组合而成, X 与 Y 之间相互独立或存在相关关系, 他们之间组合关系可表示为 $Z = Z(X, Y)$, 常见的函数形式为 $Z = X \pm Y$ 或 $Z = XY$, 应视具体问题而定。

频率组合法一般解决这一类型的问题: 在已知自变量 X 及 Y 的频率分布情况下, 如何通过组合频率的分析来推求出依变量 Z 的频率分布。在求解过

程中, 通常采用 3 种方法进行频率组合计算, 即频率曲线组合的近似算法, 亦称频率组合离散求和法、图解法和理论分析法。

2.2 方 法

在频率组合分析计算中, 一般采用图解算法或是组合离散求和法, 这些方法是一种近似计算方法, 均存在一定的误差, 为了提高计算精度, 本文进行理论推导方法, 来进行频率组合计算, 其具体步骤如下:

首先对随机变量 X 、 Y (待组合变量) 进行相关性检验, 以 95% 的置信度进行检验, 若所求相关系数小于临界相关系数 γ_{\min} , 则两待组合变量相互独立, 反之认为待组合变量不独立, 且存在相关关系。因文章篇幅有限, 在此仅考虑待组合变量之间存在相关关系的情况。

在 X 、 Y 不独立时, 应进行独立性处理, 可假定 X 、 Y 存在线性相关关系, 即 $Y = a + bX$, 则可采用下式, 即: $y = E_Y + k_1(x - a)$ 或 $x = E_X + k_2(y - y)$, 系数 k_1 、 k_2 可由最小二乘法确定, 即:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^n xy_i - nx \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x^2 - nx \cdot \bar{x}} \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1}^n xy_i - nx \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n y^2 - ny \cdot \bar{y}} \quad (2)$$

假定用 X 来表示 Y , 则:

* 收稿日期: 2005-08-23

基金项目: 国家科技部项目“中国西北不同生态地域山川秀美试验示范区建设与重大难题研究”(2002BA901A43)

作者简介: 刘 燕(1978-), 女, 湖北监利人, 博士, 主要从事环境水文及水资源方面的研究。

$$z = x + k_1(x - x) + E_y$$

则

$$E(z) = E(x + y) = (1 + a)E(x) + b \quad (3)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{z} = \frac{\sigma^2 + 2\rho\sigma\sigma + \sigma^2}{E(z)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{\sum(z_i - z)^3}{n\sigma^3} \\ &= E\left\{\left[\frac{(x + y) - E(x + y)}{\sigma}\right]^3\right\} \\ &= E\left\{\left[\frac{x - E(x) + a + bx - a - bE(x)}{\sigma}\right]^3\right\} \\ &= (1 + b)^3 E\left\{\left[\frac{x - E(x)}{\sigma}\right]^3\right\} \\ &= \frac{(1 + b)^3 C_{sxy} \sigma^3}{\sigma} \quad (5) \end{aligned}$$

其中, ρ 为随机变量 x, y 的线性相关系数, σ 为系列的均方差。

根据(3)、(4)、(5)可计算出组合变量 Z 的3个参数:均值 $E(z)$ 、离差系数 C_v 、偏差系数 C_s , 据此可以作出 x, y 不独立情况下的理论频率组合曲线, 从而得到组合变量 Z 的频率分布情况。

3 频率组合法在干旱频率分析中应用的可行性分析

3.1 自然条件下干旱发生的影响因素

干旱问题涉及气象、水文、农业与社会经济等诸多方面, 从而也相应产生了气象干旱、水文干旱、农业干旱及供水系统水文干旱等说法^[1~4]。然而定义一个客观的干旱指数并能较好地反映干旱程度是比较困难。Byun^[10]曾列表比较了现行主要干旱指数的特点, 指出一个比较好的干旱指数应兼顾考虑干旱时气象、水文、农业、经济4个方面的影响。

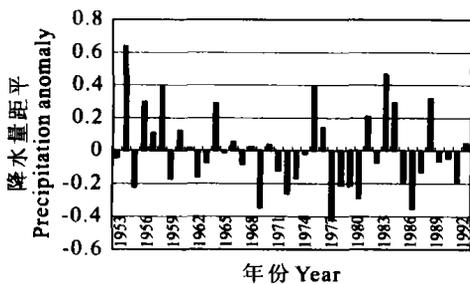


图1 泾河张家山水文站逐年降水量距平图
Fig. 1 Precipitation anomaly of Zhangjiashan Hydrological Station

但是当假定一个地区的干旱情况只与自然条件有关, 而忽略农业和经济方面与人类活动有关因素的影响, 则干旱就是一个仅与气象条件与水文条件密切相关的自然现象。一个地区的气象条件和水文条件都是自然界的随机现象, 而两者相互影响、相互作用, 表现出紧密的相关性, 且在我国大多数地区水文气象要素大都服从皮尔逊-III曲线分布。以降水和径流为例, 两者均是逐年变化的随机变量, 表现出明显的随机性, 但两者又同为水循环过程中的两个环节, 彼此相互依赖、相互影响。因此, 如何选取一种科学的方法把两者联系在一起进行自然条件下干旱的识别或预测将是值得研究的问题。

3.2 频率组合法的应用特点

目前在许多的水文水利计算问题中, 频率组合法曾经被用来分析多条支流汇合后的洪水遭遇计算、降水量与径流系数组合成径流量的分析等^[11,12], 并且被验证是一种研究两种或两种以上随机变量联合影响下的某种现象的频率分布情况的一种重要手段。因此, 可不可以将气象条件和水文条件综合考虑, 应用频率组合法进行干旱频率分析将是一种十分值得尝试的方法。

4 应用实例

4.1 研究区自然概况^[13]

泾河是渭河的最大一级支流, 发源于宁夏回族自治区泾源县, 流经宁夏、甘肃和陕西三省, 于陕西省高陵县的泾渭堡汇入渭河。泾河全长 544.1 km, 总流域面积 45 373 km², 流域多年平均降水量 545.4 mm, 总径流量 21.3 亿 m³, 且年际丰枯变化悬殊, 流域干旱现象时常发生。

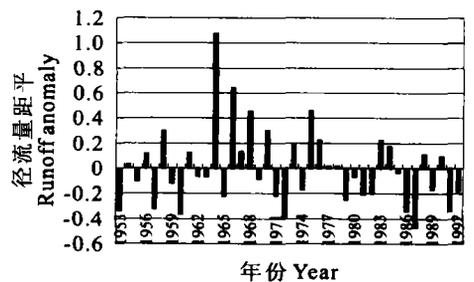


图2 泾河张家山水文站逐年径流量距平图
Fig. 2 Runoff anomaly of Zhangjiashan Hydrological Station

4.2 应用分析

4.2.1 应用中分析变量的选取 本文拟以泾河流

域张家山水文站 1953~1992 年 40 a 的降水和天然径流资料为基础, 对泾河流域干旱频率进行分析。

鉴于泾河流域地处干旱半干旱地区,降水和地表径流是衡量干旱水平的关键性指标^[14],因此,在本次应用中选取这两个因子作为待组合变量。

4.2.2 计算过程 首先,设流域降水量为 X ,径流量为 Y ,利用频率试错适线法^[15]绘制出这两个变量的频率曲线图,如图3、4所示。

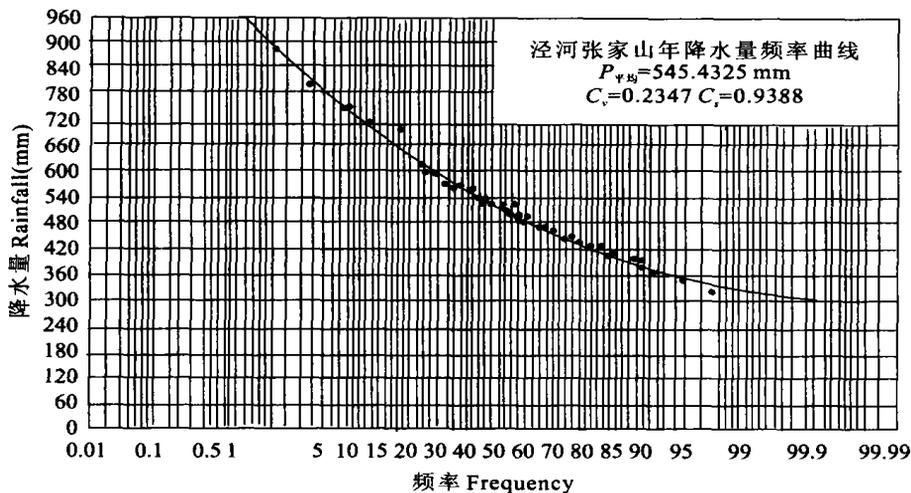


图3 泾河张家山年降水量频率曲线

Fig.3 Precipitation frequency curve of Zhangjiashan Hydrological Station

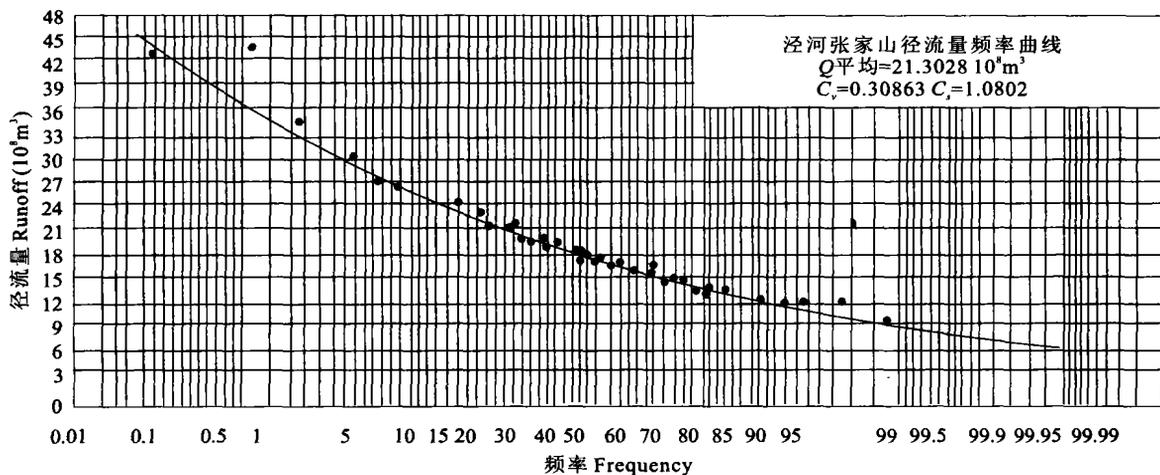


图4 泾河张家山年径流量频率曲线

Fig.4 Runoff frequency curve of Zhangjiashan Hydrological Station

然后以95%的置信度对 X 和 Y 的相关性进行检验,求得流域降水量和径流量的相关系数 ρ 为0.45大于临界相关系数 $\gamma_{\min}=0.312$ (由置信度和样本资料长度决定),说明降水量与径流量有相关关系。

由于降水量与径流量量纲不同,在变量组合前先进行无量纲化处理:

$$x' = x_i / (1/n \sum x_i), y' = y_i / (1/n \sum y_i)$$

从而得到新样本系列 X' 、 Y' 。并求得组合变量的表达式: $Z = 1.6X' + 0.4Y'$ 。最后根据前述方法计算组合变量 Z 的特征值,见下表。

表1 泾河流域干旱变量特征值表

Table 1 Eigenvalues of drought variables in Jinghe Basin

特征值 Eigenvalues	均值 E Mean value	离差系数 C_v Coefficient of variance	偏差系数 C_s Coefficient of skewness
降水量(mm) Precipitation	525.4	0.234	0.939
径流量(亿 m^3) Runoff ($10^8 m^3$)	21.3	0.308	1.080
组合变量 Combination variable	2	0.388	0.938

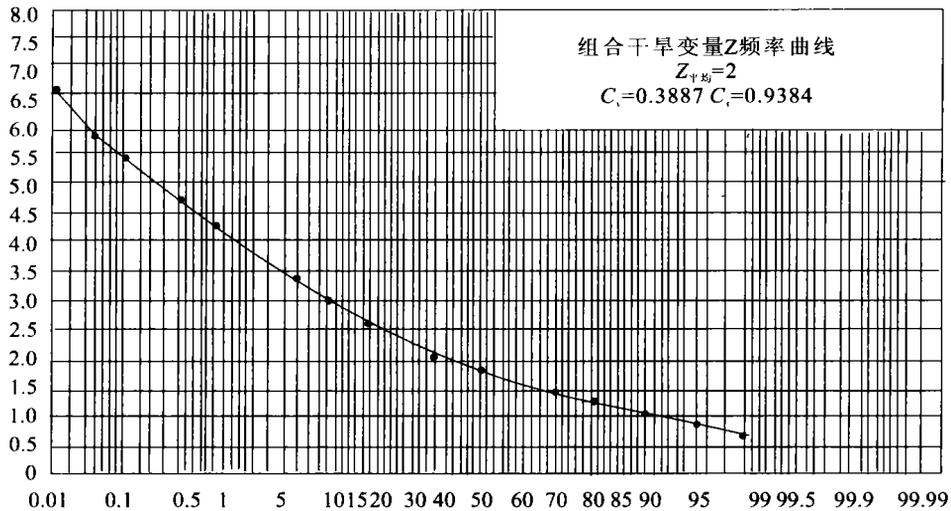


图5 泾河张家山干旱变量Z 频率组合曲线

Fig. 5 Frequency combination curve of drought variables (Z) of Zhangjiashan Hydrological Station

4.2.3 计算结果 通过组合变量Z的理论频率曲线取不同频率下所对应的Z值,求出 x' 和 y' ,最后经过还原 $x = x' \cdot (1/n)^{1/p_i}$, $y = y' \cdot (1/n)^{1/p_i}$,绘制出以上频率曲线图,以供查阅不同干旱频率下的组合情况,即可得到如下的分析结果:

表2 泾河流域干旱频率组合法分析结果

Table 2 Analysis results of drought frequency combination method in Jinghe Basin

量值 value	频率 Frequency				
	75%	80%	90%	95%	99%
组合变量 Combination variable	1.72	1.33	1.11	0.99	0.74
径流 Runoff (10^8 m^3)	19.1	15.9	14.2	13.0	11.3
降水 Precipitation (mm)	350.7	318.4	244.42	192.9	118.2

从表2可以看出,利用频率组合法,可以得到不同干旱频率下的降水与径流同时遭遇干旱的发生情况。以75%的干旱频率为例,表示当泾河出现年径流量 19.1 亿m^3 和年降水量 350.7 mm 的情况下,流域将出现以75%为概率的干旱现象。

因此,应用频率组合法可以根据地区的多年降水量和径流量资料,分析计算得出不同典型年降水量和河川径流量同时遭遇干旱的定量组合关系,为泾河流域的干旱预测与防治提供有力的参考依据。

5 结论

1) 频率组合法是指在已知自变量X及Y的频

率分布情况下,通过组合频率的分析来推求出依变量Z的频率分布,是一种研究两种或两种以上随机变量联合影响下的某种现象频率分布的有效手段。

2) 通过分析自然条件下干旱发生的影响因素和频率组合法的自身特点,初步论证了利用频率组合法进行干旱频率分析的可行性。

3) 通过在泾河流域干旱频率分析中的应用,充分地证实了利用频率组合法进行流域干旱频率分析中的可行性和有效性,对于干旱半干旱地区的干旱频率分析具有一定的参考借鉴价值。

4) 干旱的发生是由众多因素共同决定的,地区不同,干旱的决定性影响因素也不尽相同,在今后的研究中应因地制宜,正确选取影响因素,更全面地进行干旱频率分析。

参考文献:

- [1] 周振明,周兰香.干旱系统特征参数统计分析方法与应用研究[J].中国农村水利水电,2003,(7):7-9.
- [2] 冯平,李绍飞.干旱识别与分析指标综述[J].中国农村水利水电,2002,(7):13-15.
- [3] 王文胜.河川径流水文干旱分析[J].甘肃农业大学学报,1999,34(2):184-187.
- [4] 冯平,贾湖.供水系统水文干旱预测模型的研究[J].天津大学学报,1997,30(3):337-342.
- [5] 丁晶,袁鹏.中国主要河流干旱特征的统计分析[J].地理学报,1997,52(4):375-381.
- [6] 周维博.提高半干旱地域灌区水资源开发利用综合效益研究[D].西安:长安大学,2002:21-27.
- [7] 沈恒范.概率论与数理统计教程[M].北京:高等教育出版社,1995,278-289.
- [8] 王锐琛,陈源泽.梯级水库下游洪水概率分布的计算方法[J].

- 水文, 1990, (1): 1-8.
- [9] 华东水利学院, 西北农学院, 武汉水利水电学院. 水文及水利水电规划(上册) 工程水文[M]. 北京: 水利出版社. 1979.
- [10] Un H-r R yong Donald A Wilhith. Objective quantification of drought severity and duration[J]. J Climate. 1999: 2747 - 2755.
- [11] 秦 毅. 河流交汇处设计洪峰流量的分析研究[J]. 西安理工大学学报, 2001, 17(1): 57-61.
- [12] 黄国如, 芮孝芳. 感潮河段设计洪水位计算的频率组合法[J]. 水电能源科技, 2003, 21(2): 72-74.
- [13] 史 鉴, 陈兆丰. 关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护[M], 郑州: 黄河水利出版社. 2002.
- [14] 李佩成, 冯国章. 论干旱半干旱地区水资源可持续供给原则及节水型社会的建立[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(2): 1-6.
- [15] 马学尼, 叶镇国. 水文学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996: 55-57.

Frequency combination method and its application in drought frequency analysis — A Case of Jinghe River

LIU Yan¹, DU Xue-ting², GAO Bo-ping³, HU An-yan¹, PENG Cui-hua¹

(1. Dept. of Water Resource and Environment Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Xinjiang Municipal Construction Co. Limited, Urumchi 830069, China;

3. Shaanxi Agricultural Bureau, Xi'an 710003, China)

Abstract: Abstract: Based on the introduction of theory of frequency combination method, the paper analyzes the influence factors of drought occurrence and the features of this method, and demonstrates the feasibility of applying this method in drought analysis. By using the frequency combination method in Jinghe Basin, a new drought variable is formed with precipitation and natural runoff. Through combination and calculation, the condition of drought co-occurrence of precipitation and runoff can be predicted under different frequency, and the feasibility and validity of the method is further proved. The frequency combination method is proved to be accurate in deduce, simple in operation and reliable in results, and can be used as an important measure to predict drought.

Key words: frequency combination method; drought; frequency analysis; Jinghe River