

Drought Evolution Analysis of Zhaotong City in Changing Environments*

Zhijie Liang¹, Ping Xie¹, Bin Xu¹, Xi'nan Li¹, Li Chen²

¹State Key laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

²Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan

Email: liangzhijie0209@163.com

Received: Aug. 11th, 2012; revised: Aug. 26th, 2012; accepted: Sep. 11th, 2012

Abstract: Under the influence of climate changes and human activities, drought disaster emerged the inconsistent features such as rate of recurrence higher, duration longer, disaster losses increased and so on. Based on the inconsistent hydrological frequency calculation principle, put forward the drought frequency calculation based on jump analysis to analyze drought variation under changing environment. The example about Zhaotong Yunnan Province was attached, and the results show that: compared with the past conditions, the level and the frequency of drought occurs a significant change. The probability of occurrence of extraordinary drought is 0.5% in the past; but it's 5% now. The probability of occurrence of heavy drought now is seven times than it's in past. This indicates that the climate in the Zhaotong City is developing toward the direction which is not conducive to the crop growth and the development and utilization of water resources. It will also increase the drought threat in Zhaotong City in the future.

Keywords: Drought; Changing Environment; Alteration Diagnosis; Frequency Analysis; Evolution Pattern; Zhaotong

变化环境下昭通市干旱演变规律分析*

梁志杰¹, 谢平¹, 许斌¹, 李析男¹, 陈丽²

¹武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

²长江科学院, 武汉

Email: liangzhijie0209@163.com

收稿日期: 2012年8月11日; 修回日期: 2012年8月26日; 录用日期: 2012年9月11日

摘要: 由于受到气候变化和人类活动的影响, 干旱灾害表现出频次增高、持续时间延长和灾害损失加重等非一致性特点。本文基于非一致性水文频率计算原理, 提出基于跳跃分析的干旱频率计算方法, 并分析变化环境下的干旱演变规律。以云旱演变规律表明: 昭通现状条件与过去条件相比, 干旱发生的等级、频率均发生了显著的变化: 特南省昭通市为例, 其干旱在过去条件下发生的概率为 0.5%, 而现状条件下发生的概率为 5%; 现状条件下重旱发生的概率是过去条件下的 7 倍左右。结果表明昭通市的气候向着不利于水资源开发利用和农作物生长的情形发展, 也使得昭通市未来的抗旱形势变得更加严峻。

关键词: 干旱; 变化环境; 变异诊断; 频率分析; 演变规律; 昭通

*基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51179131; 50979075; 51190094; 50839005)。

作者简介: 梁志杰(1988-), 男, 河南汝阳人, 硕士研究生, 主要从事变化环境下的水文水资源研究。

1. 引言

干旱是我国主要的自然灾害之一，近几十年来随着全球气候变暖的不断加剧，以及社会经济的快速发展对水资源需求的不断加大，造成我国干旱事件出现的频率呈现明显的上升趋势^[1]。2008年中华人民共和国水利部编制的“抗旱规划工作大纲”指出^[2]：二十世纪九十年代以来，干旱灾害表现出频次增高、持续时间延长和灾害损失加重等特点；干旱发生的范围也在不断地扩大，过去旱灾高发区域主要是在干旱的北方地区，特别是西北地区，近些年来，我国南方和东部湿润半湿润地区的旱情也在扩展和加重，目前旱灾发生的范围已经遍及全国：如2010年我国西南五省爆发了严重旱情，云南、贵州、广西、四川及重庆遭遇了百年一遇的特大旱灾。这些事实说明我国绝大部分区域的干旱序列发生了变异(如干旱频次增高、干旱范围扩大等)，使得用于干旱频率分析与计算的干旱序列失去了一致性，导致传统的基于一致性的干旱频率计算方法得出的干旱统计规律失真，严重影响了干旱灾害的评估、抗旱规划的制定以及抗旱预案的选择与实施。

目前针对统计途径的干旱频率分析与计算主要是根据历史干旱资料，对干旱的经验频率进行分析^[3-5]，并统计不同等级干旱事件发生的频率，但主要是人为划分时间段，对干旱发生变异的时间、形式、程度考虑不足，且无法预测未来干旱发生的频率，而且研究主要针对的是一致性干旱序列，而对不同环境条件下形成的非一致性干旱序列的频率计算方法研究较少。本文提出基于跳跃分析的非一致性干旱频率计算方法，结合云南省昭通市1961~2010年标准化降水指数资料，分析其干旱演变规律，对云南省昭通市抗旱规划制定及干旱灾害评估具有一定的参考价值。

2. 资料及方法

2.1. 研究区概况及资料来源

昭通市位于云南省东北部， $26^{\circ}48' \sim 28^{\circ}30'N$ 、 $102^{\circ}53' \sim 105^{\circ}18'E$ 。它坐落在四川盆地向云贵高原抬升的过度地带，与贵州、四川两省接壤，居于云岭高原与四川盆地的结合部，属典型的山地构造地形。地势南高北低，海拔高差大，最低海拔267 m，最高海拔4040 m，总面积23,021 km²。昭通市气候属亚热带、

暖温带共存的高原季风立体气候，四季不明显，全市年平均气温为 $11.4^{\circ}C \sim 20.9^{\circ}C$ ，年平均降雨量在660~1230 mm，总的分布特点是北部多于南部，东部多于西部，高海拔多于低海拔^[6]。

本文采用1961~2010年的年降水量序列来自于中国气象科学数据共享服务网，然后按照标准化降水指数SPI的计算公式将其转化为年标准化降水指数序列。

2.2 研究方法

2.2.1. 标准化降水指数 SPI

SPI是表征某时段降水量出现的概率指标，该指标适合于月尺度以上相对当地状况的干旱监测与评估^[1]。由于SPI计算简单，仅需要降水量资料即可，而且不涉及干旱的形成机理，时空适应性较强，在生产实际中得到了广泛的应用，具体计算过程见文献^[7]。

2.2.2. 基于跳跃分析的非一致性干旱频率计算方法

基于非一致性水文频率计算原理^[8]，本文对非一致性的年尺度标准化降水指数干旱序列提出如下假设：非一致性的干旱序列由相对一致的随机性成分和非一致的确定性成分两部分组成。首先采用水文变异诊断系统^[9]识别非一致性年标准化降水指数的跳跃点，以该跳跃点为分界将干旱序列划分为气候变化与下垫面变化不显著和显著两个阶段，并用跳跃分析方法将非一致性的干旱序列分解成随机性与确定性两种成分；然后对确定性成分进行拟合或预测计算，对干旱序列的随机性成分进行频率计算，得到非一致性干旱序列在时间域上的成因规律以及在频率域上的统计规律；最后采用分布合成的方法得到过去、现在、未来不同时期的年标准化降水指数的频率分布，然后根据国家气象干旱等级标准中的标准化降水指数干旱等级划分指标，统计变化环境下不同时期不同等级的干旱灾害发生的频率，为变化环境下的干旱灾害风险评价提供参考依据。

3. 年标准化降水指数的分解与合成

3.1. 确定性跳跃成分的拟合计算

利用水文变异诊断系统^[9]对昭通站1961~2010年的年标准化降水指数序列进行变异诊断，诊断结果表明该序列在1986年发生了显著的跳跃下降变异，因此年标准化降水指数序列在1986年前后可以分为两个序

列 1961~1986、1987~2010，在 1986 年变异前均值为 0.438，在 1986 年变异后的均值为-0.475。由此可以得到昭通站年标准化降水指数序列的跳跃成分为：

$$Y_t = \begin{cases} 0 & t \leq 1986 \\ -0.913 & t > 1986 \end{cases} \quad (1)$$

3.2. 随机性成分的提取

由于原始标准化降序列 X_t 含有跳跃成分 Y_t ，不满足非一致性要求，不能直接进行干旱频率计算，必须先对原始标准化降水指数序列进行分解，以求出相对一致性的随机性成分和非一致性的确定性成分。

根据时间序列 X_t 的分解原理，随机性成分 $S_t = X_t - Y_t$ ，因此有：

$$S_t = \begin{cases} X_t & t \leq 1986 \\ X_t + 0.913 & t > 1986 \end{cases} \quad (2)$$

由此得到去除确定性成分后的随机序列见图 1。利用水文变异诊断系统^[9]对随机性成分 S_t 进行变异诊断(取第一信度水平 $\alpha = 0.05$ ，第二信度水平 $\beta = 0.01$)，诊断结果表明年标准化降水指数随机性成分 S_t 无变异，证明上述分解是合理的，随机性成分满足序列的一致性要求。

3.3. 随机性成分的频率计算

对昭通站年标准化降水指数序列的随机性成分进行频率计算，采用有约束加权适线法^[10]计算 P-III型分布频率曲线的均值 $\bar{x} = 0.438$ ，变差系数 $Cv = 2.271$ ，偏态系数 $Cs = 0.116$ ，样本点据与频率曲线拟合的模型效率系数 $R^2 = 99.13\%$ 。频率曲线如图 2 中“过去”频率分布曲线所示。

3.4. 非一致性干旱序列的合成计算

采用分布合成方法^[8]对昭通站年标准化降水指数序列进行非一致性干旱序列的合成计算。首先根据非一致性干旱序列的确定性规律计算某一时刻的确定性成分，再根据随机性成分的规律，采用蒙特卡洛法生成随机样本序列，与该时刻的确定性成分进行合成，得到合成样本序列。采用有约束加权适线法求得合成样本序列满足 P-III型频率分布的统计参数： \bar{x} 、 Cv 和 Cs ，其中昭通站的年标准化降水指数考虑现状条件，即 2010 年条件下合称序列的均值 $\bar{x} = -0.483$ ，

变差系数 $Cv = -2.034$ ，偏态系数 $Cs = 0.112$ ，样本点据与频率曲线拟合的模型效率系数 $R^2 = 99.98\%$ ，频率曲线如图 2 中“现状”频率分布曲线所示。如果未来 2020 年影响降雨形成的跳跃条件与现状相同，则 2020 年条件下合成序列的计算结果与 2010 年相同，因此图 2 中“未来”频率分布曲线与“现状”频率分布曲线完全重合。

4. 不同时期年标准化降水指数频率分析

随机性成分的频率计算结果可以反映过去影响 SPI 的条件，2010 年确定性成分与随机性成分的合成，可以反映现状条件下 SPI 的影响条件，两个时期的频率分布曲线如图 2 所示。

SPI 值越小，代表着干旱程度越严重，从图 2 可

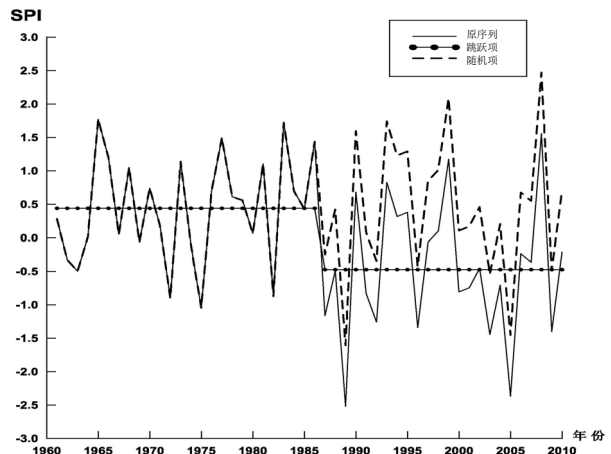


Figure 1. Jump alteration of annual standardized precipitation index during the different periods
图 1. 昭通站年标准化降水指数跳跃成分与随机成分图

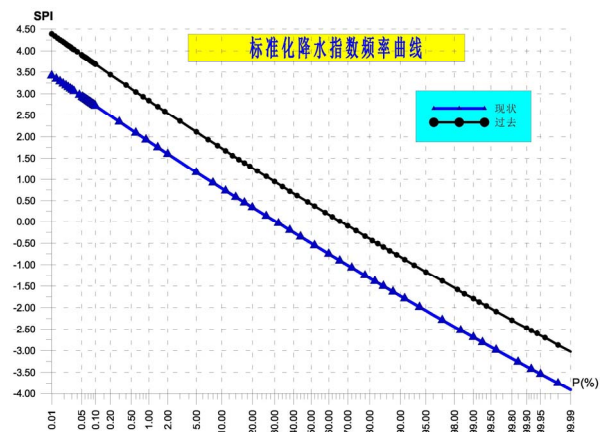


Figure 2. Frequency distribution curves of Zhaotong annual standardized precipitation index during the different periods
图 2. 昭通站不同时期年标准化降水指数序列频率曲线

以看出，现状与过去条件相比，昭通站年 SPI 有较大程度的减小，减小幅度在 0.89~0.96 之间，说明现状与过去相比干旱程度加重了。

图 2 中的频率是指大于某一 SPI 值的频率，称为超过值频率 P，其不及值频率为 1-P。将图 2 中的超过值频率 P 转化为不及值频率 1-P，其结果见表 1。标准化降水指数的大小反应了时段内气象干旱的严重程度，本文根据国家气象干旱等级标准^[1]，按照标准化降水指数划分的气象干旱等级如表 2 所示。

结合表 2 中的标准化降水指数干旱等级划分，从表 1 中可以看出过去在百年一遇的情况下，昭通站年 SPI 值为-1.79，为重旱等级；十年一遇的情况下，昭通站年 SPI 值为-0.83，为轻旱等级；频率为 50%时，即多年平均情况下，昭通站年 SPI 值为 0.42，为无旱等级。现状在百年一遇的情况下，昭通站年 SPI 值为-2.69，为特旱等级；十年一遇的情况下，昭通站年 SPI 值为-1.73，为重旱等级；频率为 50%时，昭通站年 SPI 值为-0.50，为轻旱等级。由此可见，在同样重现期的情况下，干旱发生的等级增强了，即同等量级的干旱程度发生的重现期缩短了。

依据表 2 中的干旱等级划分，在各个时期年标准化降水指数频率曲线上查出不同干旱程度发生的概率，结果见表 3。

由表 3 可以看出，昭通站现状发生特旱的概率是过去条件下发生特旱概率的十倍，现状条件下重旱发生的概率也是过去条件下的将近 7 倍。可见现状条件下与过去相比，同样等级的干旱程度发生的概率大大增大了。

5. 结论

1) 本文根据变化环境下非一致性水文频率计算原理，提出了基于跳跃分析的干旱频率分析方法，以此方法来分析变化环境下昭通市的干旱演变规律。该方法在序列发生跳跃变异的前提下，以跳跃点为分界点，将序列分为不同的阶段，变异后序列均值与变异前序列均值之差为确定性成分。该方法物理含义明确，且计算简单，对于跳跃变异明显的序列具有很好的应用效果，并能计算得到任何时期干旱的频率分布，能够反应变化环境下的干旱演变规律。

2) 对云南省昭通站过去、现状的干旱频率分析结

Table 1. The frequency blank of Zhaotong annual standardized precipitation index smaller than a number
表 1. 昭通站年标准化降水指数不及值频率表

频率(%)	重现期	过去	现状(未来)	频率(%)	重现期	过去	现状(未来)
0.2	500	-2.29	-3.18	40	2.5	0.17	-0.75
0.5	200	-2.02	-2.91	50	2	0.42	-0.5
1	100	-1.79	-2.69	60	1.67	0.67	-0.25
3	33.33	-1.39	-2.29	70	1.43	0.95	0.02
5	20	-1.17	-2.07	80	1.25	1.27	0.34
10	10	-0.83	-1.73	90	1.11	1.73	0.79
20	5	-0.41	-1.32	95	1.05	2.11	1.17
25	4	-0.24	-1.16	99	1.01	2.84	1.89
30	3.33	-0.1	-1.01	99.9	1	3.68	2.72

Table 2. Drought grade divided by annual standardized precipitation index
表 2. 标准化降水指数干旱等级划分

等级	1	2	3	4	5
类型	无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
SPI 值	-0.5 < SPI	-1.0 < SPI ≤ -0.5	-1.5 < SPI ≤ -1.0	-2.0 < SPI ≤ -1.5	SPI ≤ -2.0

Table 3. The frequency blank of different drought grade happened in different times
表 3. 不同时期不同干旱等级发生概率表

类型	无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
过去	83	12	5	1.5	0.5
现状(未来)	50	20	15	10	5

果表明: 昭通现状与过去相比干旱发生的等级、频率、概率都发生了明显的加大, 特别是过去发生特旱的概率为仅 0.5%, 现状条件下发生特旱的概率为 5%。此外现状条件下发生重旱的概率也是过去条件下的将近 7 倍。这说明昭通地区的气候向着不利于水资源开发利用和农作物生长的情况发生, 也使得昭通地区未来的抗旱形势变得更加严重。

3) 标准化降水指数只是气象干旱的一个指标, 干旱程度的评价标准只涉及到降水量一个因素, 没有考虑到气温和蒸发对形成干旱的影响, 仅适合于讨论气象干旱的问题。干旱的种类还包括农业干旱、水文干旱、社会经济干旱等, 根据目标需要, 变化环境下的干旱演变规律可以选取其它类别的干旱指标进行研究。另一方面, 由于农作物的生长期对水分有不同的要求以及年内降水分配的不均匀性, 变化环境下的季尺度或者是月尺度的干旱演变规律有待于进一步的研究。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国国家标准 GB/T 20481-2006. 气象干旱等级 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 11.
National Standard of the People's Republic of China GB/T 20481-2006. Classification of meteorological drought. Beijing: China Standard Press, 2006: 11. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国水利部. 抗旱规划工作大纲[R], 2008. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Drought planning outline, 2008. (in Chinese)
- [3] M. Hallack-Alegria, D. W. Watkins Jr. Drought frequency analysis and prediction in Sonora, Mexico. Anchorage: American Society of Civil Engineers, 2005: 501.
- [4] 魏凤英, 张婷. 东北地区干旱强度频率分布特征及其环流背景[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 1-7.
WEI Fengying, ZHANG Ting. Frequency distribution of drought intensity in Northeast China and relevant circulation background. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(3): 1-7. (in Chinese)
- [5] 杨成芳, 薛德强, 孙即霖. 山东省近 531 年旱涝变化气候诊断分析[J]. 山东气象, 2003, 23(4): 5-8.
YANG Chengfang, XUE Deqiang and SUN Jilin. Diagnostic analysis on drought and flood variance in Shandong Province in the past 531 years. Journal of Shandong Meteorology, 2003, 23(4): 5-8. (in Chinese)
- [6] 叶木林, 夏金鼎, 蔡晶, 等. 2009~2010 年昭通市干旱分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(18): 10956-10959, 11005.
YE Mulin, XIA Jinding, CAI Jing, et al. Analysis on drought characteristics in Zhaotong during 2009-2010. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(18): 10956-10959, 11005. (in Chinese)
- [7] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529.
YUAN Wenping, ZHOU Guangsheng. Comparison between standardized precipitation index and Z index in China. Journal of Plant Ecology, 2004, 28(4): 523-529. (in Chinese)
- [8] 谢平, 陈广才, 夏军. 变化环境下非一致性年径流序列的水文频率计算原理[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(6): 6-9.
XIE Ping, CHEN Guangcai and XIA Jun. Hydrological frequency calculation principle of inconsistent annual runoff series under changing environments. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(6): 6-9. (in Chinese)
- [9] 谢平, 陈广才, 雷红富, 等. 水文变异诊断系统[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 85-91.
XIE Ping, CHEN Guangcai, LEI Hongfu, et al. Hydrological alteration diagnosis system. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(1): 85-91. (in Chinese)
- [10] 谢平, 郑泽权. 水文频率计算有约束加权适线法[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(1): 49-52.
XIE Ping, ZHENG Zequan. A constrained and weighted fitting method for hydrologic frequency calculation. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Hydroelectric Engineering, 2000, 33(1): 49-52. (in Chinese)