

# Analysis on Drought-Flood Abrupt Alternation and Extreme Low Flow Change Rule in the Yichang Station of Yangtze River

Yixuan Wang<sup>1</sup>, Caihong Hu<sup>1</sup>, Xiaoling Chai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou

<sup>2</sup>Design and Research Institute of Reconnaissance in Yangtze River, Wuhan

Email: [wangyx4108@163.com](mailto:wangyx4108@163.com)

Received: Sep. 30<sup>th</sup>, 2013; revised: Nov. 20<sup>th</sup>, 2013; accepted: Nov. 26<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2014 Yixuan Wang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Yixuan Wang et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

**Abstract:** Based on the runoff data during 1950-2007 at Yichang Station in the Yangtze River Basin, by using long-cycle runoff drought-flood abrupt alternation index (RDFAI) and Round Analysis, this article analyzed the drought-flood abrupt alternation and extreme low flow. The results showed that the time of LRDFAI before 1950 is more frequent than that after 1950, besides that in 1985. Phenomenon of RDFAI of before 1950 had more smooth trends than that after 1951. The extreme low water volume totally showed an increasing trend, and it reached maximum in the 70s, and the time mainly occurred in non-flood season from January to April. Totally, extreme low water events showed an increasing trend, and it reached maximum in the 70s. The amount of extreme low water and the frequency synchronization are not prominent. Using different percentile value analysis, extreme low water events that are chosen by the 20th percentile value show more accordance with the actual drought situation of Yichang station, and it can be used to describe the drought situation of Yichang station.

**Keywords:** Yichang Station; Drought-Flood Abrupt Alternation; Round Analysis; Extreme Low flow; Drought

## 长江流域宜昌站旱涝急转及极端干旱事件变化规律分析

王艺璇<sup>1</sup>, 胡彩虹<sup>1</sup>, 柴晓玲<sup>2</sup>

<sup>1</sup>郑州大学水利与环境学院, 郑州

<sup>2</sup>长江勘测规划设计研究院, 武汉

Email: [wangyx4108@163.com](mailto:wangyx4108@163.com)

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2013年11月20日; 录用日期: 2013年11月26日

**摘要:** 本文基于长江流域宜昌站 1882~2007 年径流量资料, 通过径流旱涝急转指数和轮次分析法, 分析了长江流域宜昌站径流旱涝急转现象和极端枯水情况, 研究结果表明: 长周期径流旱涝急转在 1950 年以前发生次数较多, 而 1950 年以后发生次数相对较少; 除下 1985 年涝转旱额外显著外, 从 1951~2007 年旱涝转化现象相对于 1951 年之前有平稳的趋势。极端枯水总量总体呈增加趋势, 到 70 年代达到最大, 并且主要发生时段为 1~4 月的非汛期。极端枯水事件总体呈增加趋势, 到 70 年代达到最多。极端枯水总量与发生次数同步性并不突出。利用不同百分位值分析, 只有第 20 百分位值筛

作者简介: 王艺璇(1988-), 女, 汉族, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源方面的研究。

选出来的极端枯水事件比较符合宜昌站的实际干旱情况, 可以用来描述分析宜昌站的干旱情况。

**关键词:** 宜昌站; 旱涝急转指数; 轮次分析法; 极端枯水; 干旱

## 1. 引言

政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告指出<sup>[1]</sup>, 在全球气候变化的大背景下, 下垫面的能量和水分循环特征发生了很大变化, 特别是对极端气候事件的发生产生了严重影响。气候变化将改变全球水文循环的现状, 导致高温干旱和暴雨洪涝等极端气候事件的发生频率与强度出现加剧的趋势, 对全球和区域水安全构成严重威胁, 成为人类生存和社会可持续发展面临的重大挑战。近年来, 由于气候变化的影响, 导致旱、涝等极端水文事件频繁发生, 引起了国际社会的普遍关注<sup>[2,3]</sup>。

长江是中国水量最丰富的河流, 水资源总量 96.16 亿 m<sup>3</sup>, 约占全国河流径流总量的 36%。为黄河的 20 倍。长江干流自江源至湖北宜昌为长江上游, 流域面积约 100 万 km<sup>2</sup>, 径流量占全流域的 47%。宜昌水文站地处长江流域气候变化的敏感区, 位于长江上游与中游的交界处, 是长江干流上中游的咽喉所在, 也是长江三峡的出口控制站, 控制流域面积占全流域面积的 55%。由于近几年长江流域发生了不同程度的干旱事件, 并且在全球气候变暖的大背景下, 极端气候事件发生的频率和强度都有所增强, 加上流域大型水利工程的兴建和跨流域调水的影响及工农业和生活用水的剧增, 长江水资源紧缺问题日益凸显, 枯水问题愈发严重, 迫切需要研究。基于此, 深入研究长江流域宜昌站极端枯水径流的时空分布规律和统计概率特征, 对防灾减灾、区域水安全具有十分重要的意义。

历史上长江流域洪涝灾害的频率远远高于旱灾, 造成的影响也比枯水更直接, 因此长期以来对于长江流域洪涝灾害的关注程度较高<sup>[4]</sup>, 研究也更为充分, 而对枯水干旱问题的关注和研究较少。已有研究主要是对枯水季节的径流情况或是发生干旱的年份的枯水情况进行研究分析<sup>[5,6]</sup>, 没有具体全面的研究旱涝之间转变的特点以及多年枯水流量的演变特征。因此, 本文尝试利用径流量资料来分析长江流域宜昌站的旱涝急转和多年枯水流量的变化特征。通过分析长江流域汛期(5~8 月)内的长、短周期径流旱涝急转特征,

研究长江流域径流旱涝变化的特点, 并结合轮次分析法, 在年代际的变化规律基础上分析了长江流域枯水流量的时空变化规律, 检测和验证近些年来长江流域的极端干旱事件, 准确把握抗旱防汛总体趋势, 以期长江流域抗旱防汛工作提供科学依据。

## 2. 研究方法

本文定义汛期长周期旱涝急转为 5~6 月和 7~8 月(即旱和涝的尺度都为两个月, 5~6 月旱, 7~8 月涝; 或 5~6 月涝, 7~8 月旱), 短周期旱涝急转则以月为单位对 5~8 月进行分析。

采用线性趋势法<sup>[7]</sup>、累积距平法<sup>[8]</sup>等来分析径流随时间的变化与异常规律。另外, 参考 Wu 等<sup>[9]</sup>基于降水分析对旱涝急转的研究, 定义了径流旱涝急转指数(Runoff Drought-Flood Abrupt Alternation Index, RDFAI), 分别有长周期径流旱涝急转指数和短周期径流旱涝急转指数, 共同来分析长江流域汛期内的径流旱涝变化特征。长周期径流旱涝急转指数:

$$RDFAI = (R_{78} - R_{56}) \times (|R_{56}| + |R_{78}|) \times 1.8^{-|R_{56} + R_{78}|} \quad (1)$$

式中:  $R_{78}$  为 7~8 月份标准化径流量,  $R_{56}$  为 5~6 月份标准化径流量。( $R_{78} - R_{56}$ ) 为旱涝急转强度项, ( $|R_{56}| + |R_{78}|$ ) 为旱涝强度项;  $1.8^{-|R_{56} + R_{78}|}$  是权重系数, 作用是增加长周期旱涝急转事件所占权重, 降低全旱或全涝事件权重。径流距平标准差小于 -0.5 为偏旱, 小于 -1 为显著偏旱; 而大于 0.5 为偏涝, 大于 1 为显著偏涝, 介于 -0.5~0.5 的属于径流量正常年份。

为了使单位不一样, 平均值及标准差也不同的各个要素能够在同一水平上进行比较, 常使用标准化的方法, 使它们变成同一水平的无单位变量, 常使用标准化的方法, 这种变量称为标准化变量。常用的数据标准化方法有最大值法、最小值法、标准差法等。本文采用标准化径流的公式为

$$Z_t = \frac{X_t - \bar{X}}{S}, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中:  $Z_t$  表示标准化后的径流量的时间序列,  $X_t$  是未

经标准化的时间序列,  $\bar{X}$  是径流量序列的均值,  $S$  为标准差。

随机序列中, 某种状态的随机事件, 在一段时间内连续出现, 称为轮次现象。其连续出现的历时, 称为该状态的轮长; 某一轮长在一个样本中发生的次数, 称为该轮长的轮次。轮次的概念最早是由 Yevjevich 引入水文分析中的。

本文利用流量历时曲线, 将日流量资料进行从大到小的顺序排列, 参考杨帆基于极端水文事件的研究, 将第 60 百分位值确定为挑选枯水事件的阈值, 即轮次分析法中的截取水平。通过轮次分析方法对日流量资料处理得到枯水历时、枯水总量、枯水极值等一些新的枯水事件的特征值序列, 再将第 20 百分位值确定为挑选极端枯水事件的阈值, 即可定出极端枯水事件。

从流量资料中挑选出枯水事件首先要选取截取水平, 并以截取水平来作为判断枯水事件发生与否的标准。再通过确定极端枯水事件的阈值来最终选出所发生的极端枯水事件(根据与气象资料的对应性, 本次研究选用日资料)。

### 3. 研究结果

#### 3.1. 长江流域宜昌站旱涝急转特征

从表 1 可以看出, 高 R DFAI 年 7~8 月标准化径流量中有 6a (a 表示年) 大于 0.5, 仅有 1a 小于 0.5, 但也属于径流量正常年份, 且有 2a 大于 1, 说明 10 个高 R DFAI 年基本偏涝, 2a 显著偏涝, 而 5~6 月距平中有 8a 小于 -0.5, 其中 4a 小于 -1, 显著偏旱, 另外, 还有 2a 标准化径流量大于 -0.5, 表明该年径流量偏小于多年平均水平; 低 R DFAI 年 5~6 月标准化径流量中 6a 大于 0.5, 偏涝, 2a 略小于 0.5, 接近偏涝, 另有 2a 属正常年份, 而 7~8 月距平中 9a 小于 -0.5, 偏旱, 1a 略大于 -0.5, 接近偏旱, 其中, 5~6 月中 1a 都是显著偏涝, 7~8 月中 5a 显著偏旱(1978 年为特旱)。另外, 高 R DFAI 年 7~8 月标准化径流量均大于 5~6 月径流量, 低 R DFAI 年 7~8 月标准化径流量均小于 5~6 月径流量。由此可见, 高 R DFAI 对应着径流的旱转涝, 低 R DFAI 对应着径流的涝转旱。

选取 10 个高 R DFAI 年作为长江流域宜昌站流域汛期径流典型旱转涝年, 在 10 个低 R DFAI 中选取 7

**Table 1. The first 10 highest (lowest) rainy season long-cycle R DFAI and standardization runoff distribution during 1882-2007**  
**表 1. 1882~2007 年间汛期长周期 R DFAI 最高(低)前 10a 及其标准化径流量分布**

R DFAI 最高			R DFAI 最低		
年份	5~6 月	7~8 月	年份	5~6 月	7~8 月
1948	-0.94	0.92	1985	1.28	-1.23
1923	-1.84	0.40	1939	0.58	-1.38
1998	-1.25	0.54	1917	0.67	-0.85
1913	-1.67	0.33	1909	0.69	-0.68
1897	-0.45	1.12	1933	0.13	-2.92
1887	-0.45	1.10	1975	0.96	-0.55
1886	-0.55	0.68	1900	-0.09	-2.63
1937	-0.89	0.41	1953	0.42	-0.89
1947	-0.57	0.54	1929	0.76	-0.47
1978	-1.12	0.28	1996	-0.29	-2.56

个(除下 1933 年、1900 年和 1996 年)作为宜昌站典型涝转旱年。需要说明的是, 在典型旱转涝年中, 1897 年 5~6 月的径流距平不到 0.5 个标准差, 但考虑到 7~8 月份径流距平为 1.12, 接近 1.0 个标准差, 异常明显; 以及 1931 年的 7~8 月份距平为 0.41; 近 0.5 个标准差, 且 5~6 月份距平为 -0.89, 小于 -0.5, 较明显; 为增加分析的样本数, 将这两年近似作为典型旱转涝年。另外, 同样也在典型涝转旱年分析中增加了 1953 年和 1975 年。因此, 宜昌站在 1882~2007 年期间共发生 17 次典型旱涝急转现象(如图 1 所示)。

长周期旱涝急转现象在 1882~1950 年期间表现为: 典型旱转涝 8a, 8.8a/次, 典型涝转旱 6a, 9.8a/次。旱转涝频次多于涝转旱频次。1951~2007 年则表现为: 典型旱转涝 2a, 22.0a/次, 典型涝转旱 4a, 11.2a/次。1951~2007 年旱涝急转现象发生的频率小于 1882~1950 年。另外, 从图 1 还可以看出, 除下 1985 年涝转旱额外显著外, 从 1951~2007 年旱涝转化现象相对于 1951 年之前有平稳的趋势。

另外, 从 1882~2007 年宜昌站 5~6 月和 7~8 月的标准化径流分布(表 2)可知: 在 1882~2007 的 126a 间共计发生全旱和全涝 18 次, 其中全旱 4 次, 全涝 14 次, 且其强度都很大。另外, 在 1882~1950 的 68a 间, 全旱、全涝共计发生 12 次, 约 6.1a/次, 而在 1951~1970 的 20a 间, 全旱和全涝共计发生 4 次, 3.3a/次, 之后

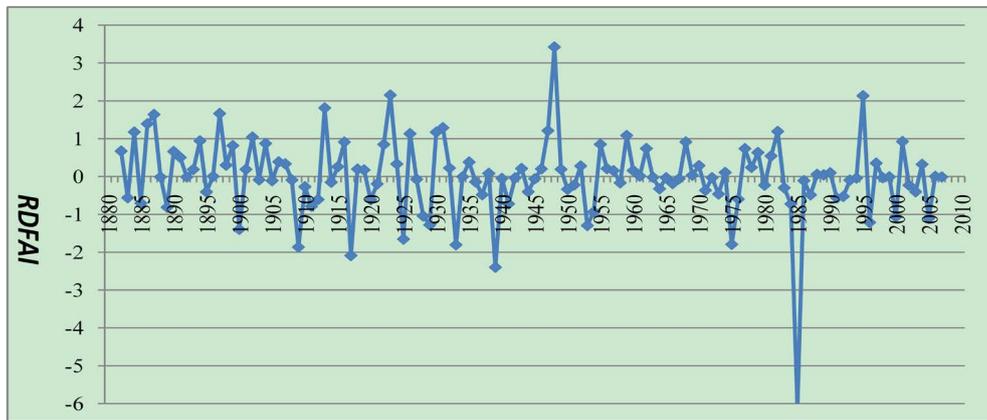


Figure 1. Long-period RDFAI time series in Yichang station from 1882 to 2007  
 图 1. 宜昌站 1882-2007 年汛期长周期径流旱涝急转指数(RDFAI)时间序列

Table 2. The rainy season standardization runoff distribution of total drought and total flood during 1882-2007  
 表 2. 1882~2007 年间汛期全旱、全涝年标准化径流量分布

年份	5~6 月	7~8 月	年份	5~6 月	7~8 月
1888	0.60	0.59	1943	0.70	1.04
1892	-0.41	-0.43	1946	1.03	1.37
1893	0.40	0.73	1949	0.57	0.88
1901	0.99	1.30	1951	1.09	0.73
1915	0.84	1.27	1957	-0.88	-0.63
1919	0.51	0.80	1960	0.56	0.82
1927	0.64	0.51	1961	0.49	0.51
1932	0.70	1.06	1993	0.79	0.64
1942	-0.60	-0.66	1999	0.79	0.77

到 1993 年才发生全涝。因此, 全旱和全涝现象在 1950~1961 年之间更为频繁。

可见, 近年来, 旱涝急转的振荡频数较以前表现出增加的趋势, 而全旱和全涝的频数却表现出减少的趋势。这表明长江流域宜昌站汛期长周期全旱或是全涝在向旱涝急转过渡, 这也是导致 1970 年以来 RDFAI 年际振荡幅度相对较大的原因之一。

### 3.2. 年代际和年内极端枯水量变化规律

由于近几年长江流域接二连三发生极端干旱事件, 对国家经济和人民生活造成的损失难以估量。因此, 利用轮次分析法对干旱事件做进一步的研究。由于旱涝急转指数只能分析出汛期径流滞与干旱早年际上总的变化幅度, 不能够从发生的次数、历时和时间等方面对干旱全面深入的探讨说明, 所以利用极端

枯水事件来对干旱时事件进行分析。

将一个负轮的截止日期作为这个负轮的时间点, 即一个枯水期的最后一天作为这个枯水期的时间点来进行极端枯水事件年发生次数的一个统计依据, 来分析其年代际的变化与年内发生时段的情况。

表 3 反应的是宜昌站年代际极端枯水事件的特征值。从表中可以看出, 极端枯水总量总体上递增趋势。在 30 年代以前极端枯水量比较平缓, 而 30 年代之后枯水量开始增大, 到 70 年代达到最大, 为  $109,370 \text{ m}^3/\text{s}$ , 其次为 60 年代的  $60,610 \text{ m}^3/\text{s}$ , 之后虽有所缓解, 但枯水总量依旧比 30 年代以前的要大。极端枯水总量相对较多的年份分别为 1937 年、1959 年、1961 年、1978 年、1988 年、1998 年和 2000 年。其中, 极端枯水量最多的年份发生在 1978 年, 为  $24,870 \text{ m}^3/\text{s}$ , 枯水历时 68 天, 枯水极值  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 其次发生在 1961 年,

**Table 3. The statistical feature of extreme low flow of interdecadal variation in Yichang station**  
**表 3. 宜昌站年代际极端枯水事件的特征值**

年代	枯水总量	极端干旱发生次数	日期	枯水极值(m <sup>3</sup> /s)	枯水历时(天)	枯水总量(m <sup>3</sup> /s)
1882~1889	17,330	3	18850226	30	47	9120
1890~1899	13,310	5	18910309	30	54	11,170
1900~1909	13,020	3	19010324	30	54	11,170
1910~1919	15,230	1	19150407	60	48	15,230
1920~1929	17,000	5	19240404	30	69	9470
1930~1939	46,950	3	19370421	30	51	23,020
1940~1949	34,640	7	19410311	20	45	11,460
1950~1959	39,710	6	19590330	60	46	12,040
1960~1969	60,610	5	19610407	40	71	23,790
1970~1979	109,370	14	19780410	60	68	24,870
1980~1989	25,410	4	19880410	20	56	16,250
1990~1999	43,020	6	19980307	30	38	14,260
2000~2007	15,870	2	20000216	60	34	15,870

为 23,790 m<sup>3</sup>/s, 枯水历时 71 天, 枯水极值 40 m<sup>3</sup>/s; 枯水量最少的年份发生在 1941 年, 为 11,460 m<sup>3</sup>/s, 枯水历时 45 天, 枯水极值 20 m<sup>3</sup>/s。这与前面旱涝急转指数得出的极端干旱年份是相吻合的, 并且与长江流域中下游实际干旱情况是基本相一致的<sup>[10]</sup>。

从表中还可以得出, 年代际最小极端枯水总量与最大枯水总量值相差很大, 说明年代极端枯水事件在量值的方面离散性很大, 具有不稳定的状态。但每个年代极端枯水量所在最大年份值相差并不大, 并且枯水历时和枯水极值也相差较小, 都在一定的范围之内。说明长江流域宜昌站的枯水情况虽呈逐渐增加的趋势, 但枯水量增加的趋势并不明显。并且极端枯水事件发生时段是从 1 月到 4 月的时段, 均处于非汛期。看来春季是极端枯水事件的高发期, 每年进入这个时段后都应对可能发生的极端事件做好准备。

图 2 反应了长江流域宜昌站 1882~2007 年极端枯水发生次数和年最大枯水总量的变化。可见 126 年的研究时段内, 共发生 64 次极端枯水事件, 有 71 个年份发生过极端枯水事件。30 世纪初以前极端枯水事件发生的次数并不多, 共 20 次, 只有在 19 世纪末和 20 世纪 20 年代发生相对较多, 分别达 5 次。30 世纪以后极端枯水次数逐渐增多, 在 70 年代极端枯水事件发生次数达到历年代最多, 共 14 次; 其中以 1978 年

枯水历时最久, 达 60 天。80 年代进入了一个极端枯水事件发生相对较少的一个年代, 有 6 年没有发生极端事件, 进入 90 年代极端枯水事件的发生次数有所提高, 共发生了 6 次。总体呈增加趋势。从图中还可以看出, 极端枯水事件发生的次数与极端枯水总量虽然有一定的关系, 但同步性并不突出。

表 4 是在挑选出枯水事件的基础上, 再按第 10 百分位值和第 20 百分位值分别确定出的极端枯水事件的特征值。可以看出第 10 百分位挑选出来的极端枯水次数为 152 次, 20 世纪 50 年代以后, 各年代极端枯水总量最大值所在年份为 1959 年、1963 年、1973 年、1988 年、1998 年和 2003 年。第 30 百分位挑选出来的极端枯水次数为 13 次, 20 世纪 50 年代以后, 各年代极端枯水总量最大值所在年份为 1959 年、1976 年和 1998 年。这与长江中下游流域干旱的实际情况并不十分相符合, 不能准确反映出流域的枯水状况。因此可以得出按第 20 百分位值挑选出来的极端枯水情况在长江流域宜昌站是适用的, 在一定程度上可以反映出流域的枯水情况, 为以后的防灾减灾工作提供理论基础。

#### 4. 结论

本文在旱涝急转指数和轮次分析基础上, 运用不

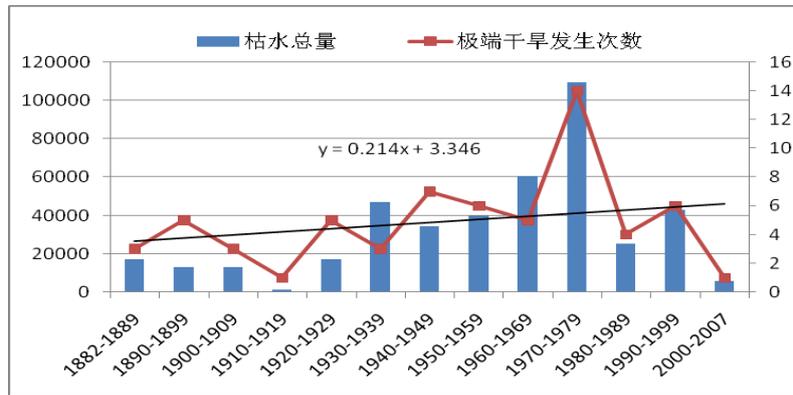


Figure 2. Variation on extreme times and annual extreme low water in Yichang station from 1882 to 2007  
图 2. 宜昌站 1882~2007 年极端枯水发生次数和年极端枯水总量变图

Table 4. The statistical feature of extreme low flow of different percentile in Yichang station  
表 4. 宜昌站不同百分位下端枯水事件的特征值

年代	第 10 百分位		第 30 百分位	
	极端干旱次数	年份	极端干旱次数	年份
1882~1889	9	1889	1	1886
1890~1899	11	1891	3	1891
1900~1909	8	1901	0	1901
1910~1919	10	1913	0	1914
1920~1929	12	1923	2	1924
1930~1939	13	1931	0	-
1940~1949	16	1941	2	1941
1950~1959	12	1959	1	1959
1960~1969	9	1963	0	-
1970~1979	12	1973	6	1976
1980~1989	12	1988	0	-
1990~1999	16	1998	1	1998
2000~2007	12	2003	0	-

同的百分位值确定出极端枯水事件, 并对其规律进行研究分析可得以下结论:

(1) 长周期旱涝急转特征分析中, 高 R DFAI 对应着径流的旱转涝, 低 R DFAI 对应着径流的涝转旱。R DFAI 指数变化存在较大的年际差异, 总体上看, R DFAI 在 1950 年前比 1950 年后振荡更为频繁。另外, 近年来, 长江流域宜昌站汛期长周期全旱或是全涝在向旱涝急转过渡。并且除下 1985 年涝转旱额外显著外, 从 1951~2007 年旱涝转化现象相对于 1951 年之前有平稳的趋势。

(2) 宜昌站所筛选出来的极端枯水事件中, 枯水

总量与枯水历时并没有很好地同步性。极端枯水总量总体呈增加趋势, 主要从 20 世纪 30 年代开始递增。到 70 年代达到最大, 为 109,370 m<sup>3</sup>/s, 其中, 枯水量最多的年份发生在 1978 年, 最少的年份为 1941 年, 并且主要发生时段为 1~4 月的非汛期。

(3) 宜昌站 1882~2007 年极端枯水事件发生次数为 64 次, 总体呈增加趋势。在 20 世纪 30 年代以后开始增加, 到 70 年代达到最多, 为 14 次。极端枯水总量与发生次数虽然有一定的关系, 但同步性并不突出。

(4) 通过运用第 10、20、30 百分位值对宜昌站极

端枯水序列进行筛选分析可得, 只有第 20 百分位值筛选出来的极端枯水事件比较符合宜昌站的实际干旱情况, 可以用来描述分析宜昌站的干旱情况, 并为以后的防灾减灾工作提供理论基础。

需要指出的一点是本文的研究仅是对径流旱涝转化和极端枯水径流的变化规律进行描述分析, 事实上也与实际情况有一定的出入, 也会给研究结果带来一定的误差, 同时如何将影响原因及其相互作用机理辨识清楚, 还需要更仔细的数据及深入的研究工作, 需要深入分析气候变化与人类活动(三峡大坝蓄水等)的影响, 并与该方法结果进行相应的校核。

## 5. 基金项目

由国家自然科学基金(51079131)和河南省高校科技创新团队支持计划(IRTSTHN)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate change 2007. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 赵学敏, 胡彩虹, 吴泽宁等. 汾河流域降水及早涝时空结构特征分析[J]. 干旱区研究, 2007, 24(3): 1115-1122.  
ZHAO Xuemin, HU Caihong, WU Zenming, et al. Analysis on the spatiotemporal change of precipitation flood and drought in the Fenhe River Basin. Arid Zone Research, 2007, 24(3): 1115-1122.
- [3] NANDINTSETSEG, B., GREENE, J. S. and GOULDEN, C. E. Trends in extreme daily precipitation and temperature near lake Hövsgöl, Mongolia. International Journal of Climatology, 2007, 27(3): 341-347.
- [4] 施雅风, 苏布达, 姜彤. 长江中游西部地区洪水灾害的历史演变——人文因素与当前趋势[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 1-9.  
SHI Yafeng, SU Buda and JIANG Tong. Historic evolution of flood hazard in western middle reaches of the Yangtze River: human impact and current flood situation. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 1-9.
- [5] 刘振胜, 李英, 黄薇等. 长江下游干流枯季水量分配方案研究[J]. 人民长江, 2005, (10): 15-18.  
LIU Zhensheng, LI Ying, HUANG Wei, et al. On water distribution plan in dry season of the lower Yangtze river. Yangtze River, 2005, (10): 15-18.
- [6] 徐俊杰, 何青, 刘红等. 2006 年长江特枯径流特征及其原因初探[J]. 长江流域资源与环境, 2008(9): 716-722.  
XU Junjie, HE Qing, LIU Hong, et al. Preliminary analysis of characteristics of the exceptional low discharge and its cause over Yangtze River, 2006. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008(9): 716-722.
- [7] 刘宇峰, 孙虎, 原志华. 1960 年至 2007 年汾河流域气温年际和季节性变化特征分析[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 489-496.  
LIU Yufeng, SUN Hu and YUAN Zhihua. Annual and seasonal change characteristics of temperature in the Fenhe River Basin during the period 1960-2007. Resources Science, 2011, 33(3): 489-496.
- [8] 王文圣, 丁晶, 向红莲. 小波分析在水文学中的应用研究及展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 515-520.  
WANG Shengwen, DING Jing and XIANG Honglian. Application and prospect of wavelet analysis in hydrology. Advances in Water Science, 2002, 13(4): 515-520.
- [9] WU, Z. W., LI, J. P., HE, J. H., et al. The occurrence of droughts and floods during the normal summer monsoons in the mid- and lower reaches of the Yangtze River. Geophysical Research Letters, 2006, 33(5): L05813.
- [10] 杨翼. 从历史角度看今年长江流域的旱情[URL]. 2011.  
<http://env.people.com.Cn/GB/211746/225986/225999/15148303.html>  
YANG Yi. The drought of the Yangtze river basin from a historical perspective. 2011.  
<http://env.people.com.Cn/GB/211746/225986/225999/15148303.html>