

# Extreme Hydrological Event Concept and Its Analysis and Application in the Small Watershed\*

Caihong Hu<sup>1</sup>, Fan Yang<sup>1,2</sup>, Xi'nan Li<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>School of Hydraulic and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou

<sup>2</sup>Luoyang Design Institute of Water Conservancy, Luoyang

<sup>3</sup>State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan  
Email: hucaihong@zzu.edu.cn, yf\_frank@sohu.com, lixinan1985@126.com

Received: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2013; revised: Mar. 9<sup>th</sup>, 2013; accepted: Mar. 24<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Caihong Hu 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.

**Abstract:** Based on the characteristics of flood and low water events, and combined with the definition of extreme weather events method, the concept of extreme hydrological event was preliminarily defined, and the method of extreme hydrological event threshold value was determined on the research basin. The trend and regularity of extreme hydrological event were analyzed in the Nianyushan reservoir control basin. The results show that threshold of extreme flood events in Nianyushan reservoir is 211.64 m<sup>3</sup>/s, and low flow is 338.1 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>. Extreme hydrological events change trend is not obvious in the study time series.

**Keywords:** Extreme Hydrological Event; Threshold Value; Watershed

## 极端水文事件概念内涵及其在小流域的分析应用\*

胡彩虹<sup>1</sup>, 杨帆<sup>1,2</sup>, 李析男<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>郑州大学水利与环境学院, 郑州

<sup>2</sup>洛阳水利勘测设计院, 洛阳

<sup>3</sup>武汉大学水资源与水电工程科学国家重点学实验室, 武汉

Email: hucaihong@zzu.edu.cn, yf\_frank@sohu.com, lixinan1985@126.com

收稿日期: 2013年3月2日; 修回日期: 2013年3月9日; 录用日期: 2013年3月24日

**摘要:** 本文在对洪水与枯水事件特点进行归纳总结的基础上, 结合极端气候事件的定义方法, 初步定义了极端水文事件的概念, 并确定了研究流域极端水文事件阈值的方法, 对鲇鱼山水库控制流域1975~1999年极端水文事件的整体变化趋势及规律进行了实例分析, 极端洪水事件阈值  $E_f$  为 211.64 m<sup>3</sup>/s(日流量), 枯水事件阈值  $E_l$  为 338.1 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>(枯水总量), 结果表明, 研究时段内极端水文事件变化趋势不明显。

**关键词:** 极端水文事件; 阈值; 流域

### 1. 引言

随着全球气候的变暖, 使得水循环加剧, 导致高

\*基金项目: 国家自然科学基金(51079131)和中国气象局气候变化专项(CCSF201312)和河南省高科技创新团队支持计划(TRTSTHN)资助。

作者简介: 胡彩虹(1968-), 女(汉), 山西平遥人, 博士, 教授, 主要从事水文学及水资源方面的教学和科研工作。

温干旱和暴雨洪涝等极端气候事件发生的强度与频率呈现加剧的趋势。极端水文灾害事件已经成为当今国际社会、各国政府和科学界愈来愈关注的焦点<sup>[1]</sup>。在水文水资源学的研究领域, 干旱和洪涝是研究水文事件中重要的组成部分, 因此属于极值水文学范畴的枯水与洪水就成为极端水文事件研究的主要内容。国

内外有关洪水方面的研究做了大量的工作,主要集中在:洪水的推演和预报<sup>[2-5]</sup>;洪水的管理和检测<sup>[6]</sup>;洪水的特征成因、风险及灾害分析<sup>[7-9]</sup>等方面。枯水方面也有研究,但无论从内容、方法以及深度等方面都远低于洪水的研究水平。近些年来,随着水资源供需矛盾的突出水资源短缺问题日趋严重,由枯水造成的社会经济的危害也越来越严重,因而对于枯水的研究也越来越多<sup>[10-12]</sup>。然而,在这些研究中洪水和枯水多是作为两个独立的概念出现,也没有对所研究的内容有明确量化定义,且均局限于单次或少次极端水文事件的研究和分析,对整个极端水文事件系统的发展变化研究甚少,同时,缺少对极端水文事件的明确定义,首先使得人们仅能从感官上认识,而不能上升到理论层面,其次使极端水文事件不能形成一个有机整体,也使研究显得分散而不能形成完整的系统。因此,本文在对以往曾出现过的单一极端水文事件的概念进行归纳总结的基础上,参照极端气候事件的定义方法,定义了极端水文事件,并提出了极端水文事件阈值的确定方法。针对鲇鱼山水库控制流域的水文情势,对流域极端水文事件的整体变化及趋势进行实际应用和分析。

## 2. 研究理论与方法

### 2.1. 极端水文事件的概念

极端水文事件主要的研究对象就是极值水文学中的极端洪水和极端枯水现象,洪水和枯水是水文事件中极值水文学的范畴<sup>[13]</sup>。《中国水利百科全书》中洪水的定义为:河湖在较短时间内发生的流量急剧增加、水位明显上升的水流现象。洪水来势凶猛,具有很大的自然破坏力,淹没河中滩地,漫溢两岸堤防<sup>[14]</sup>。百度百科中关于洪水的定义有三条:1) 河流水位超过河滩地面溢流的现象的总称。为平滩和大于平滩的流量;2) 河道中流量迅猛增加,水位急剧上涨的现象;3) 河流、湖泊、海洋等水位上涨,淹没平时不上水的地方的一种水文现象,常威胁有关地方安全或导致淹没灾害<sup>[15]</sup>。在互动百科中,洪水的定义为:由暴雨、急骤融冰化雪、风暴潮等自然因素引起的江河湖海水量迅速增加或水位迅猛上涨的水流现象,常淹没堤岸滩涂,甚至漫堤泛滥成灾<sup>[16]</sup>。在维基百科中,洪水是指河流、湖泊、海洋所含的水体上涨,超过常规水位

的水流现象<sup>[17]</sup>。以上关于洪水的定义可以将洪水事件的特点归纳为三点:时间短、水量大、具有破坏性。这样的水文事件是在短时间内流量发生明显的变化(增加),具有破坏力的水文现象。

《中国水利百科全书》关于枯水的定义为:河流、湖泊中一定时段内发生明显的流量减少,水位下降的水文情势。此时,江河、湖泊水源主要靠积蓄在流域地表和地下的水分补给,水量较小,变化迟缓。对流域面积较小,河道切割不深或没有足够的补给来源的中、小河流,甚至出现补给枯竭,河流断流现象<sup>[14]</sup>。百度百科中关于枯水的定义是河流在少雨季节主要靠流域蓄水补给的水文情势<sup>[18]</sup>。有关枯水的定义并不多,但从以上定义中可以将枯水事件的特点也归为三点:有时间持续性、流量减少、同样具有一定的危害性。这样的水文事件是在一定时期内流量发生明显变化(减少),具有一定危害性的水文现象。

通过以上定义来看,水文事件都是在一定时间尺度内,由于径流量的变化,对周围环境产生影响的水文现象,而洪水和枯水事件只是在发生的时间尺度和流量变化上有所不同。这些洪水和枯水的定义均从特性上给出了水文事件的概念。

与极端水文事件是由水文事件的延伸和发展类似,极端气候事件也是气候变化研究发展的一个重要分支,其发展始于20世纪90年代初,经历了由概念到认识,再到模式模拟的发展过程<sup>[19]</sup>。IPCC第四次评估报告对极端气候事件进行了简单明确的定义<sup>[20]</sup>,对一个特定的地点和时间来说,极端气候事件就是从概率分布的角度考虑,发生概率极小的事件,通常发生的概率只占该类天气现象的10%或者更少。这样的定义方法具有不随区域和时间改变而变化的优越性,考虑了不同研究区域的气候差异,避免了事件的绝对强度由于研究区域的不同而差别较大,难以用统一标准来要求的问题,同时IPCC是由WMO和UNEP在1988年共同组建成立的,专门从事气候变化科学评估,定期总结最新科研成果,并提供权威性气候评估报告的组织。因此,由其定义的极端气候事件的概念具有公认性和权威性,各国学者也根据此定义对极端气候事件进行了大量的研究。

在极端气候事件研究的发展过程中,Beniston等<sup>[21]</sup>简单归纳了常用的定义极端事件的3种标准:1)发

生频率低; 2) 有相对较大或小的强度值; 3) 事件导致了严重的社会经济损失。水文事件的特点与其符合程度较高, 但发生频率上并没有严格的范围, 为了进一步量化极端水文事件, 参照极端气候事件的定义方法作出如下定义: 极端水文事件是指, 对于特定的流域来说, 在一定时间尺度内, 发生径流量明显变化的、概率极小的、并具有一定破坏力的水文事件, 通常发生的概率只占该类水文事件的 10% 或者更少。这样的定义方法在水文研究领域同样具有不随区域和时间改变而变化的优越性, 考虑了不同流域具有不同的气候条件、不同的下垫面条件、不同的来水量等等因素, 避免了事件的绝对强度由于流域的不同而差别较大, 不能用统一标准来要求的问题, 具有很强的通用性和较广泛的实用性。其不仅融入了极端事件的发生频率, 而且对水文事件的定义和特点进行综合考虑, 能较全面和准确的表达极端水文事件的含义, 也为极端水文事件形成系统奠定了基础条件。

## 2.2. 极端水文事件阈值的确定方法

极端水文事件属于水文事件的极值化范畴, 对极端水文事件阈值的确定是建立在发生水文事件的基础之上的, 且其发生的概率只占该类事件的 10% 或者更少, 因此, 这样的事件就需要在已发生的水文事件中进行统计分析。

借用极端气候事件分析方法, 采用百分位阈值法分析极端水文事件。多年平均流量仅是对多年径流量值的均值, 其不能准确的表示河道常年流量的大小。在确定水文事件时, 以流量历时曲线的分位值作为截取水平来确定是否发生水文事件。其具体方法为: 将日流量资料从大到小排列, 流量历时曲线第 50 百分位值左右的流量是该河道常年发生次数最多的一个流量范围, 故将第 40 百分位值和第 60 百分位值分别定为提取极端洪水事件和提取极端枯水事件的基础水文事件的截取水平  $Q_f$  和  $Q_l$ 。提取两个极端水文事件所发生的基础水文事件的流量分别高于和低于常年流量, 但又不高出很多, 首先是因为避免提取的基础水文事件有交叉, 其次可以包含尽可能多的基础水文事件和排除部分非水文事件, 以使两个极端水文事件的提取基础更为合理和全面, 也使得本研究对阈值的定义方法更为统一。

### 2.2.1. 极端洪水事件

由于洪水按照成因和位置又分为多种, 各种洪水的发生与发展都具有区域性与季节性, 因此有关洪水的定义均无量化要求。但对于极端洪水事件的筛选, 就需要对筛选所需要的基础水文事件作出量化要求, 这个基础事件既要包含更多的数据又不能超越范围。潘彩英<sup>[22]</sup>曾在对太湖流域洪水特性分析的基础上, 对流域性大洪水、特大洪水进行了定义, 并提出了量化指标, 而这里的定义及量化缺乏通用性。为了能与极端气候事件相对应, 本研究尝试选用日径流量资料进行分析, 研究中从日资料中以一个具体的量化标准选出基础水文事件, 进而确定极端洪水事件。将流量历时曲线第 40 百分位值确定为挑选极端洪水事件基础水文事件的截取水平  $Q_f$ , 即当日流量大于  $Q_f$ , 且有一个明显的涨落过程, 即为一次洪水过程。

从径流资料中挑选基础水文事件的具体步骤如下:

- 1) 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, 确定基础水文事件的截取水平  $Q_f$ ;
- 2) 依据洪水有涨有落的特性, 将日流量序列中, 符合条件的涨落曲线挑选出来, 并记录曲线最高点的流量值  $Q_i$ ;
- 3) 当  $Q_i > Q_f$  时, 就记为发生一次极端洪水事件的基础水文事件;
- 4) 根据降水量是否连续来进行一次水文事件和多次水文事件的区分, 最终确定基础水文事件  $f$ 。

根据以上步骤得出基础水文事件的特征值, 再将特征值组成新的序列, 通过极端洪水事件的阈值来进一步进行极端洪水事件的挑选。

极端洪水事件阈值  $E_f$  的定义: 将研究时段内, 水文站每一次基础水文事件  $f$  的洪峰流量  $Q_j$  按照降序排列第 10 百分位值, 定义为该站上游控制流域的极端洪水阈值。表征洪水特征的主要因素包括洪水总量、洪峰流量和洪水总历时。实际应用中可根据主要因素选择洪峰流量或洪水总量。

当基础水文事件中  $Q_j > E_f$ , 记为发生一次极端洪水事件  $M$ 。该洪峰流量值以及其对应的其他特征值, 即为极端洪水事件的特征值。

### 2.2.2. 极端枯水事件

枯水和洪水一样, 都有区域性和季节性的特点。

根据枯水在一定持续时间内, 径流量明显减少的特点, 一些学者采用轮次分析的方法对枯水的进行了研究<sup>[23-25]</sup>, 这种方法中轮长、轮次等概念能较好的表现枯水的发生次数以及枯水历时等的一些研究特征。研究也借鉴轮次分析的方法对枯水事件进行研究。

轮次分析法在挑选枯水事件的时候, 首先要确定一个截取水平  $Q_0$ 。 $Q_0$  也可以叫做枯水限值<sup>[26]</sup>, 它决定了枯水历时的长短、枯水发生的次数以及枯水期的缺水总量。有的学者用均值流量的倍数来作为截取水平  $Q_0$  对枯水频率进行分析<sup>[27]</sup>, 虽然通过不同截取水平下的枯水历时的频率分析, 估计出连续枯水的频率和重现期等定量指标, 但截取水平的确定有些简单, 缺乏说服力。与确定极端洪水事件基础水文事件的截取水平方法相同, 同时借鉴轮次分析方法的原理, 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的第 60 百分位值确定为挑选极端枯水事件的基础水文事件的截取水平  $Q_l$ , 即轮次分析法中的截取水平  $Q_0$ 。

从径流资料中挑选基础水文事件的具体步骤如下:

- 1) 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, 确定基础水文事件的截取水平  $Q_l$ ;
- 2) 当  $Q_i < Q_l$  时且连续发生 2 天, 记为发生一次极端枯水事件的基础水文事件  $l$ 。

通过以上步骤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基础水文事件的特征值序列, 再从新的特征值序列中根据极端枯水事件的阈值定出极端枯水事件。其中枯水总量为一个负轮内, 日径流值  $Q_i$  与截取水平  $Q_l$  相比缺水流量的和, 表示的是枯水期缺乏水量的总体状况; 枯水极值是指一个负轮内,  $Q_i$  与  $Q_l$  相比缺水量的最大值, 其表示的是枯水期内最严重缺水日的缺水量大小; 枯水历时是指一个负轮的长度, 其表示的是枯水期持续的时间。

极端枯水事件阈值  $E_l$  的定义: 将研究时段内, 水文站每次一基础水文事件  $l$  中的枯水总量  $S$  序列按照降序排列第 10 百分位值, 定义为该站上游控制流域的极端枯水阈值。

研究选用枯水总量作为筛选的主要特征值, 是通过比较后发现其相比于枯水历时和枯水极值能更全面的表达枯水的影响程度。当枯水事件中  $S > E_l$ , 就记为发生一次极端枯水事件  $Y$ 。该枯水总量值以及其

对应的其他枯水事件特征值, 即为极端枯水事件的特征值。

### 3. 研究区域概况与基础资料

#### 3.1. 鲇鱼山水库及水文气象条件概况

鲇鱼山水库坝址在淮河支流史灌河西支流灌河上, 灌河发源于河南省商城县西南部的大伏山脉海拔 1315 m 的棋盘石北麓, 北流折向东流, 经商城县中部, 至固始县蒋集与史河汇合后称为史灌河。灌河全长 164.8 km, 集雨面积 1651.5 km<sup>2</sup>。多年平均流量 33 m<sup>3</sup>/s。鲇鱼山水库河道长 10.35 km, 上游支流共 12 条, 呈叶脉状分布, 河陡流急, 由南向北倾斜, 依次分为深山、浅山、丘陵, 海拔调高程在 15.75~25 m 之间, 土质条件较好, 南部山区为砂土、砂壤土。其地理位置及其水系情况见图 1。鲇鱼山水库控制流域属东亚季风副热带暖湿气候, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷干燥。区内气候温和, 多年平均气温 16.0℃。最高气温 42.0℃, 最低气温 -14.0℃。雨量充沛, 多年平均降雨量为 1200.0 mm, 全年降雨主要集中在汛期的 6~9 月, 占全年降雨量的 60% 以上, 多年平均径流量为 6.26 亿 m<sup>3</sup>。多年平均蒸发量 760.0 mm。由于受季风影响, 天气变化剧烈, 降雨时空分布极不均匀, 从南向北递减, 降雨走向一般由南向北或由西南向东北。

#### 3.2. 研究资料

研究中所用水文资料为鲇鱼山水库坝上水文站(以后简称鲇鱼山站)1975~1999 年的日径流量资料, 以及上游 7 个雨量站点 1975~1999 年的日降水量资料, 与其对应的气象资料为河南省气候中心提供的商城县气象站气象资料。由于鲇鱼山水库控制流域面积不大, 通过对水文站点的气象资料与气象站点的气象资料进行相关性分析得出, 两者的相关性非常高,  $R = 0.91$ , 通过  $\alpha = 0.001$  极显著性水平检验, 完全可以相互替代, 采用商城县气象站的气象资料分析流域内的极端气候事件。

### 4. 研究结果及分析

#### 4.1. 极端洪水事件的变化趋势分析

将极端洪水事件作为一个整体来分析研究在国内外鲜有所见, 本文通过对极端水文事件概念的初步

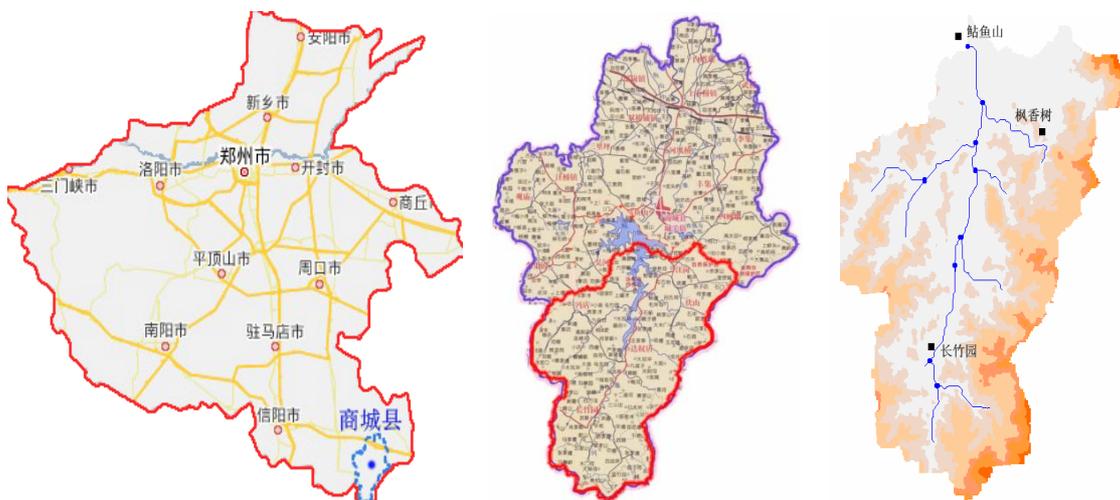


Figure 1. Shangcheng county administrative region figure and drainage map of Nianyushan reservoir watershed  
图 1. 商城县行政区图和鲇鱼山水库控制流域水系图

定义, 确定了极端洪水事件阈值的确定方法和步骤, 首先通过流量历时曲线将鲇鱼山水库坝上水文站 1975~1999 年日径流资料按从大到小排列, 取第 40 百分位值作为挑选极端洪水事件基础水文事件的截取水平  $Q_f$ , 挑选出基础水文事件, 并根据其特征值, 按照极端洪水阈值的确定方法, 计算出鲇鱼山水库控制流域极端洪水事件阈值  $E_f = 211.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , 即在基础水文事件中, 当洪峰流量大于  $211.64 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 即为发生极端洪水事件。根据阈值选定极端洪水事件, 并对鲇鱼山水库上游流域的极端洪水事件在时间分布及整体变化趋势方面展开研究。

鲇鱼山站从 1975~1999 年共发生极端洪水事件 62 起, 洪峰流量超过  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  的极端事件只有 5 起, 低于  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  的极端事件有 46 起, 说明在极端洪水事件中, 高低洪峰流量的发生次数有很大差别, 表 1 详细列出了表征极端洪水事件的特征值, 还包括该洪峰发生的日期即洪号, 如 860716 表示发生的日期为 1986 年 7 月 16 日。极端洪水事件是按照洪峰流量从大到小的顺序排列的。

图 2 为鲇鱼山水库流域 1975~1999 年年极端洪水发生次数的统计柱状图。可见, 1987 年为该流域极端水文事件发生最多的一年, 共发生了 9 次极端事件; 1983 年极端洪水事件发生了 6 次也比较频繁; 1978 年、1981 年、1988 年和 1997 年均没有发生极端洪水事件, 这说明并不是每年都会发生极端洪水事件的, 当然这些年份的年最大洪峰流量也没有达到极端洪

水事件的阈值。

对 1975~1999 年极端洪水发生次数进行线性回归计算, 回归系数为  $-0.0246$ , 说明极端洪水的发生次数正在减少, 但趋势并不明显。

从表 1 中摘出每年的最大洪峰流量, 将没有发生极端洪水事件年份的年最大洪峰流量补齐, 绘制出图 2 中鲇鱼山水库流域 1975~1999 年年最大洪峰流量的变化曲线。图 2 中的黑色虚线为极端洪水事件的阈值线, 阈值为  $211.64 \text{ m}^3/\text{s}$ 。图中显示大多数年份的年最大洪峰流量值偏离阈值并不是很多, 仅有 1980 年、1983 年、1986 年、1987 年和 1991 年五年的最大洪峰流量值偏离较大, 且都超过了  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。20 世纪 70 年代后 5 年的曲线较平稳, 进入 80 年代曲线较波折, 90 年代曲线也有波折但幅度较小。这说明 80 年代和 90 年代初期是年最大洪峰流量年变化情况较大的一段时期。

图 3 显示了鲇鱼山水库流域 1975~1999 年极端洪水事件发生月旬的统计图, 从图中可以看出, 鲇鱼山水库流域发生极端洪水事件的时间范围是从 4 月下旬开始到 11 月上旬结束。从 9 月份以后, 包括 4 月份, 极端洪水事件每个旬均只发生了 1 次, 发生次数很少, 其发生时间主要集中在 5 月到 8 月这 4 个月当中。其中 7 月份是极端洪水事件发生次数最多的一个月, 总计发生极端洪水 25 次, 其次是 6 月份, 发生了 13 次, 8 月份发生了 11 次, 5 月份发生了 8 次。从 6 月下旬开始到 7 月下旬, 这 40 天的时间段里, 共发生了 33

Table 1. Eigenvalue of extreme flood events  
表 1. 极端洪水事件的特征值

洪号	洪峰(m <sup>3</sup> /s)	洪量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	历时(d)	洪号	洪峰(m <sup>3</sup> /s)	洪量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	历时(d)
860716	2094.6	37,834	5	960625	364.2	6276	3
800718	1518.3	39,616	8	760715	362.8	7608	6
830723	1465.8	23,385	4	910807	354.8	11,337	7
910703	1223.2	31,966	7	870502	351.9	7067	5
870706	1183.1	22,811	7	790710	329.7	5543	4
910709	875.6	27,962	9	860721	324.2	7070	5
960715	822.4	29,131	9	870825	323.8	5900	4
820720	812.2	19,528	5	830705	323.5	7638	5
960629	809.7	13,306	5	850707	321.1	7369	5
990628	660.0	12,638	7	750604	318.9	4968	5
870823	612.6	13,631	4	980817	318.4	7545	6
800825	545.0	12,743	8	770813	311.5	8911	5
820822	514.0	20,774	8	750701	311.5	13,961	9
950621	508.5	7949	4	860630	306.2	10,000	5
870807	503.3	9067	5	760518	299.8	4932	5
910613	502.4	9009	4	890511	298.3	5619	4
980524	467.0	9617	6	870721	296.2	6609	6
770504	453.2	12,395	8	840809	286.0	4364	4
870829	442.8	7209	4	830916	285.8	6131	5
960705	439.4	10,424	5	920907	281.8	8864	6
830626	438.4	8876	5	980511	273.4	9389	10
890806	438.4	9856	6	800709	269.2	4518	3
770730	434.9	8979	8	751012	265.7	5807	6
800625	426.1	11,759	7	950625	255.6	4648	4
960710	418.8	9435	5	890608	241.9	5647	6
950423	413.7	8391	6	831006	230.2	6250	6
770719	409.5	9588	7	850515	223.0	7727	8
820724	396.8	9151	4	871101	219.6	4957	7
870712	396.1	7328	5	790722	215.8	4258	5
890616	378.7	7784	6	900702	215.0	3624	4
930521	374.6	7095	6	940610	211.6	6236	6

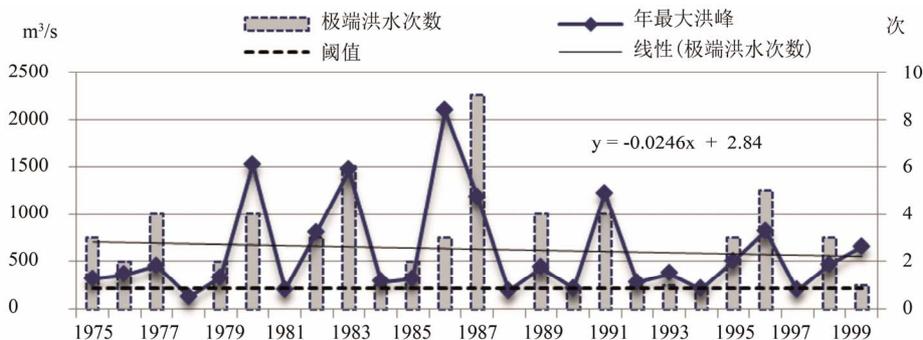


Figure 2. Chart for the times of extreme flood and variation of annual maximum peak in Nianyushan reservoir basin during 1975-1999  
图 2. 鲇鱼山水库流域 1975~1999 年年极端洪水发生次数和年最大洪峰变化图

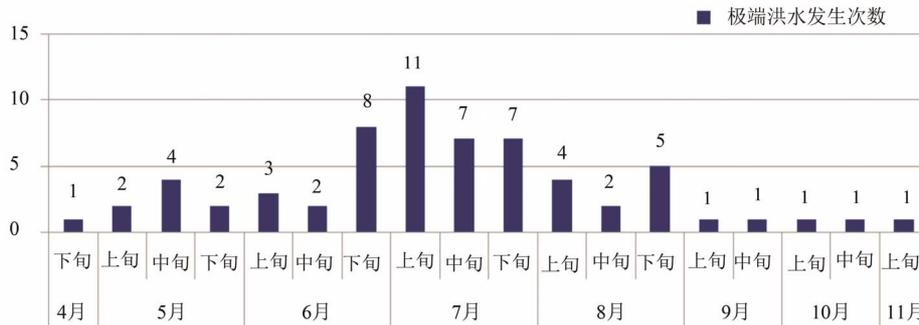


Figure 3. Charts for extreme flood events periods in Nianyushan reservoir basin during 1975-1999

图3. 鲇鱼山水库流域 1975~1999 年极端洪水事件发生时段统计图

次极端洪水事件, 占总事件的一半以上, 可以认为这 40 天为鲇鱼山水库流域极端洪水事件的高发期。

#### 4.2. 极端枯水事件的变化趋势分析

将鲇鱼山水库坝上水文站 1975~1999 年日径流资料按从大到小排列, 制作流量历时曲线, 取第 60 百分位值作为挑选极端枯水事件基础水文事件的截取水平  $Q_l$ , 挑选出基础水文事件, 并根据其特征值, 按照极端枯水阈值的确定方法, 计算得到鲇鱼山水库控制流域极端枯水事件阈值  $E_l = 338.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 即在基础水文事件中, 当枯水总量大于  $338.1 \times 10^4 \text{ m}^3$  时, 即为发生极端枯水事件。将对统计筛选出的鲇鱼山水库上游流域的极端枯水事件, 展开在时间分布及整体变化趋势方面的研究。表 2 中为能够表示极端枯水事件的特征值, 其中枯水号采用枯水期结束日期来作为编号即枯水号, 如 790329 表示枯水期结束日期为 1979 年 3 月 29 日。

从 1975~1999 年鲇鱼山站在极端枯水阈值的确定下, 共发生了 25 次极端枯水事件。枯水事件的三要素反映了枯水不同的特征。枯水历时与枯水总量有较好的相关性, 相关系数 R 达到了 0.92, 说明枯水期的时间越长, 枯水总量就可能越大, 但枯水历时仅能反应发生枯水持续时间的长短并不能反应枯水时水量的缺失程度, 而且枯水极值仅仅反应的是枯水期最严重枯水日的水量缺失程度不能反应枯水期整体的情况, 故以枯水期枯水总量作为选取极端枯水事件的依据, 即极端枯水事件的选取与排序主要是依据枯水总量来进行计算与统计的。从极端枯水事件的枯水总量统计可以发现, 790329 号极端枯水总量与 920127 号极端枯水总量值相差很大, 说明极端枯水事件在量值

的方面离散性很大, 具有不平稳的状态。枯水历时前后的相差也较大, 枯水极值基本都在  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  以上。

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, 来分析其年际的变化与年内发生时段的情况。

图 4 反应了鲇鱼山水库流域 1975~1999 年年极端枯水发生次数和年最大枯水总量的变化。25 年的研究时段内, 共有 16 个年份发生过极端枯水事件, 20 世纪 70 年代的后 5 年极端枯水事件发生比较频繁, 其中 75 年和 79 年均发生了 3 次, 为历年最多; 80 年代进入了一个极端枯水事件发生较少的一个年代, 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 10 次。从年最大枯水总量的角度来分析枯水的年变化, 可以得到与极端枯水次数近似的分析结果: 70 年代末发生了一次较严重的极端枯水事件, 枯水总量达到了  $4117.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ; 进入 80 年代年最大枯水总量进入了低谷期, 曲线变化幅度不大; 90 年代的年最大枯水总量变化曲线有上下波动的趋势, 1991 年较高达到了  $1855.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。从极端枯水事件总体来讲从变化剧烈到逐渐缓和的趋势。

对 1975~1999 年极端枯水发生次数进行线性回归计算, 回归系数为  $-0.0277$ , 说明极端枯水的发生次数正在减少, 但趋势并不十分明显。

将表 2 中的极端枯水事件按发生月的时间段来进行统计, 得到表 3 的极端事件发生时段统计表。从表中可以看出, 极端枯水事件发生时段是从 10 月到 4 月 7 个月的时段, 均处于非汛期, 且秋末和冬季(11 月~2 月)极端枯水事件发生次数最多, 共发生 19 次。

Table 2. Eigenvalue of extreme low-flow events  
表 2. 极端枯水事件的特征值

枯水号	枯水总量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	枯水极值(m <sup>3</sup> /s)	枯水历时(d)	枯水号	枯水总量(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	枯水极值(m <sup>3</sup> /s)	枯水历时(d)
790329	4117.5	3.95	132	750201	565.9	2.84	24
781106	2454.2	3.53	79	800225	463.2	3.38	27
911221	1855.2	4.06	53	921201	460.5	3.02	23
960114	1324.5	3.22	61	890217	437.7	4.03	18
770204	1249.6	2.84	91	791117	433.9	4.00	21
761023	1059	3.30	44	750304	421	2.78	17
820123	909	2.21	56	951113	392.8	2.8	19
941127	801	2.98	40	940103	380.1	3.28	23
991231	780.8	2.48	34	791218	377.5	3.15	21
770310	693.3	2.84	29	951004	368.7	3.32	16
750407	669.6	2.64	31	860216	348.6	3.65	11
960217	646.4	2.02	32	920127	338.1	2.40	31
881210	588.6	3.21	26				

Table 3. Statistical table for extreme low-flow events periods in Nianyushan reservoir basin during 1975-1999 (unit: times)  
表 3. 鲇鱼山水库流域 1975~1999 年极端枯水事件发生时段统计表(单位: 次)

时间	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
上旬	1	1	2	1	2	2	1
中旬	0	2	1	1	3	0	0
下旬	1	1	2	2	1	1	0
总计	2	4	5	4	6	3	1

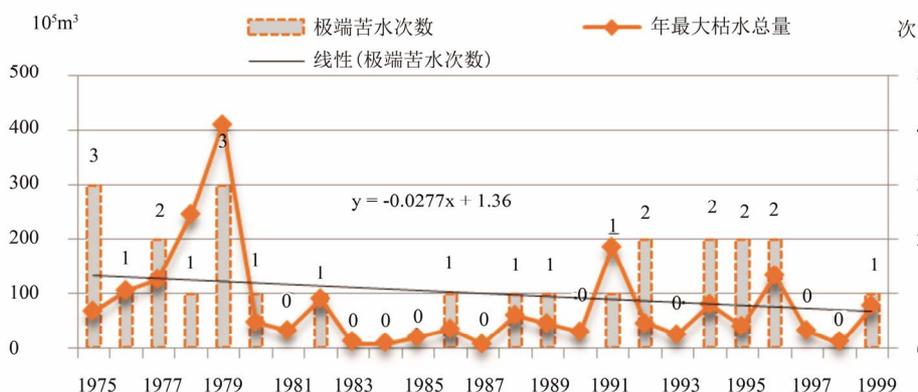


Figure 4. Chart for the times of extreme low-flow events and variation of the total number of annual maximum low-flow in Nianyushan reservoir basin during 1975-1999

图 4. 鲇鱼山水库流域 1975~1999 年年极端枯水发生次数和年最大枯水总量变化图

看来秋末和冬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。

总体而言, 从 1975~1999 年, 鲇鱼山水库控制流

域共发生极端洪水事件 62 次, 极端枯水事件 25 次; 极端水文事件并不是每年都会发生, 其中极端洪水事件发生的年内分布从 4 月到 11 月, 从 6 月下旬进入

高发期, 均发生在汛期, 且从 1975~1999 年发生次数趋于减少, 但并不明显; 极端枯水事件均发生在非汛期, 冬季是其发生次数最多的季节, 从 1975~1999 年发生次数也趋于减少。

通过对鲶鱼山流域极端气候事件和极端水文事件关系的研究, 发现极端降水与极端洪水相关性很高, 极端枯水历时与无雨日数的相关性极高, 因此得出结论, 气候变化对极端水文事件的影响占主导地位<sup>[28]</sup>。

## 5. 结语

极端水文事件与研究极端气候事件同属于极端事件, 两者之间既有因果关系, 又有较大的相似性, 故对于正处在起步阶段的极端水文事件的研究来说, 在研究方式和方法上可以有所借鉴, 而且极端水文事件发生与极端气候事件有很紧密的联系, 概念定义以及研究方法相似和统一, 可以为以后两者之间关系的研究建立纽带和桥梁。

本文在分析总结水文事件特点的基础上, 借用极端气候事件的定义, 对极端水文事件进行了定义, 并明确了确定方法, 运用该方法, 对鲶鱼山水库控制流域的极端水文事件进行了实例研究, 为极端水文事件的定义及其研究方法奠定了理论基础。

文章旨在探讨和建立一种研究极端水文事件系统的理论方法, 理论框架就是从径流中挑选出基础水文事件, 再从基础水文事件中筛选出极端水文事件, 进而对极端水文事件作为整体来进行研究。而对于定义中有关 10% 的发生概率是否达到发生极端事件的标准, 从概率论上讲, 10% 为小概率事件, 属于极端事件的范畴。当然发生概率可以更小, 但意味着研究样本的数量也会更少, 对于在发展变化趋势方面的研究并不有利。同时发生概率为 10% 或者更少, 究竟多少更为适合作为极端水文事件发生的标准, 还需要进一步做大量的研究工作。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨涛, 陆桂华, 李会会, 等. 气候变化下水文极端事件变化预测研究进展[J]. 水科学进展, 2011, 22(2): 279-286.  
YANG Tao, LU Guihua, LI Huihui, et al. Advances in the study of projection of climate change impacts on hydrological extremes. *Advances in Water Science*, 2011, 22(2): 279-286. (in Chinese)
- [2] HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions American Geophysical Union*, 1931, 12: 189-202.
- [3] MCCARTHY, G. T. The unit hydrograph and flood routing. Conference of US Corps of Engineers, North Atlantic Division, 1938.
- [4] CRAWFORD, N. H., LINSLEY, R. K. Digital simulation in hydrology: Stanford watershed model IV. Stanford: Department of Civil Engineering, Stanford University, Technical Report No. 39, 1966.
- [5] LIU, Z. Towards a comprehensive physically-based rainfall-runoff model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2002, 6(5): 859-881.
- [6] 吴鸿亮, 唐德善, 周克发. 洪水管理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 759-760  
WU Hongliang, TANG Deshan and ZHOU Kefa. Research advances of flood management. *Anhui Agricultural Science*, 2008, 36(2): 759-760. (in Chinese)
- [7] XU Q. Conditional symmetric instability and mesoscale rain bands. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1986, 112(472): 315-334.
- [8] DAVIES, H. C., ROSSA, A. M. PV front genesis and upper-troposphere fronts. *Monthly Weather Review*, 1998, 126(6): 1528-1539.
- [9] UEEELLINI, L. W., KOCH, S. E. The synoptic setting and possible energy sources for mesoscale wave disturbances. *Monthly Weather Review*, 1987, 115(3): 721-729.
- [10] 孟钰秀, 陈喜. 喀斯特流域枯水频率分析线型的比较研究[J]. 人民黄河, 2009, 31(2): 34-37.  
MENG Zhengxiu, CHEN Xi. Comparative study on frequency analysis in linear of low flow in Karst. *Yellow River*, 2009, 31(2): 34-37. (in Chinese)
- [11] 梁虹, 王剑. 喀斯特地区流域岩性差异与洪、枯水特征值相关分析[J]. 中国岩溶, 1998, 17(1): 67-73.  
LIANG Hong, WANG Jian. A Relative analysis between the lithological features and the characteristics of flood discharge and low flow in Karst district. *Carsologica Sinica*, 1998, 17(1): 67-73. (in Chinese)
- [12] DURRANS, S. R. Low-flow analysis with a conditional Weibull tail model. *Water Resources Research*, 1996, 32(6): 1749-1760.
- [13] 李秀云, 汤奇成, 傅肃性, 等. 中国河流的枯水研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 33-34.  
LI Xiuyun, TANG Qicheng, FU Suxing, et al. Low water research of Chinese rivers. Beijing: Ocean Press, 1993: 33-34. (in Chinese)
- [14] 《中国水利百科全书》编辑委员会. 中国水利百科全书[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.  
Editorial Committee of Water Conservancy Encyclopedia China. *Water conservancy encyclopedia China*. Beijing: China Water-power Press, 2006. (in Chinese)
- [15] 百度百科. 洪水[URL], 2011.  
<http://baike.baidu.com/view/39896.htm>  
Baidupedia. Floods, 2011.  
<http://baike.baidu.com/view/39896.htm> (in Chinese)
- [16] 互动百科. 洪水[自然现象][URL], 2011.  
[http://www.hudong.com/wiki/洪水\[自然现象\]](http://www.hudong.com/wiki/洪水[自然现象])  
Interactivepedia. Floods [natural phenomenon], 2011.  
[http://www.hudong.com/wiki/FLOODS\[NaturalPhenomenon\]](http://www.hudong.com/wiki/FLOODS[NaturalPhenomenon]) (in Chinese)
- [17] 维基百科. 洪水(消歧义)[URL], 2010.  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/洪水\\_\(消歧义\)](http://zh.wikipedia.org/wiki/洪水_(消歧义))  
Wikipedia. Floods (disambiguation), 2010.  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/FLOODS\(Disambiguation\)](http://zh.wikipedia.org/wiki/FLOODS(Disambiguation)) (in Chinese)
- [18] 百度百科. 枯水[URL], 2010.  
<http://baike.baidu.com/view/51790.htm#1>  
Baidupedia. Low water, 2010  
<http://baike.baidu.com/view/51790.htm#1> (in Chinese)
- [19] KATZ, R. W., BROWN, B. G. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climatic Change*, 1992, 21(3): 289-302.

- [20] IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis. In: SOLOMON, S. D., QIN, M., MANNING, Z., et al., Eds., Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [21] BENISTON, M., STEPHENSON, D. B., CHRISTENSEN, O. B., et al. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 2007, 81 (Suppl. 1): 71-95.
- [22] 潘彩英. 太湖流域流域性洪水定义及量化指标分析[A]. 第三届长三角气象科技论坛论文集[C], 2006.  
PAN Caiying. Basin flood definition and analysis of the quantitative indicators in Taihu lake basin. The Memoirs on the Third Meteorological Science and Technology Forum of Yangtze River, 2006. (in Chinese)
- [23] 王双银, 冯国章. 河流日平均流量过程极限枯水历时概率分布[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(4): 94-99.  
WANG Shuangyin, FENG Guozhang. An analysis of probabilistic distribution of the longest low flow durations in daily average streamflow processes. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1996, 14(4): 94-99. (in Chinese)
- [24] 李秀云, 傅肃性, 李丽娟. 河流枯水极值分析与模型预测研究[J]. 资源科学, 2000, 22(5): 73-77.  
LI Xiuyun, FU Suxing and LI Lijuan. Analysis of river low-flow extremes and study on model prediction. *Resources Science*, 2000, 22(5): 73-77. (in Chinese)
- [25] 丁晶, 袁鹏, 杨荣富, 等. 中国主要河流干旱特性的统计分析[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 374-381.  
DING Jing, YUAN Peng, YANG Rongfu, et al. Stochastic analysis of the drought properties of the main river in China. *Acta Geographica Sinica*, 1997, 52(4): 374-381. (in Chinese)
- [26] 耿鸿江, 沈必成. 水文干旱的定义及其意义[J]. 干旱区农业研究, 1992, 10(4): 91-94.  
GENG Hongjiang, SHEN Bicheng. Definition and significance of hydrologic droughts. *Agriculture Research in the ARID AREAS*, 1992, 10(4): 91-94. (in Chinese)
- [27] 周秀平, 邓杰群, 黄伟军, 等. 漓江连续枯水日变化特性分析[J]. 广西水利水电, 2008, 3: 26-28.  
ZHOU Xiuping, DENG Jiequn, HUANG Weijun, et al. Analyze variation characteristics of continuous low water days for Lijiang river. *Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering*, 2008, 3: 26-28. (in Chinese)
- [28] 杨帆. 区域气候背景下流域极端气候与水文事件的关系研究[D]. 郑州大学, 2011.  
YANG Fan. Research on the relationship of extreme weather and hydrological events in the basin under the regional climate background. Zhengzhou University, 2011. (in Chinese)