

# Analysis on the Runoff Regulation of Three Gorges Reservoir

Xiaofang Sun, Junkai Zhao\*

College of Tourism and Geography, Jiujiang University, Jiujiang Jiangxi  
Email: \*191703285@qq.com

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 11<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 18<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, Mann-Kendall test method, non-uniformity coefficient, concentration degree and concentration period were mainly used to analyze the annual distribution and inter-annual variation of the inflow and outflow runoff of the Three Gorges Reservoir (TGR). By comparing the characteristics of runoff in and out of TGR, the reasons for the change were discussed and the runoff regulating effects of the reservoir were analyzed in this paper. The results show that after the operation of TGR, the runoff decreases in the flood season (June to September) and increases in the non-flood season (November to next May), and the water replenishment was significant in spring and winter; the variation range and seasonal distribution of runoff decreased, the concentration ratio decreased and the concentration period advanced. It was obvious that the control and regulation of annual runoff inner distribution of the Yangtze River after the operation of TGR were more beneficial to the development and utilization of water resources and to flood control, drought resistance in the middle and lower reaches.

## Keywords

Three Gorges Reservoir, Runoff Regulation, Annual Distribution

---

# 三峡水库的径流调节作用分析

孙小方, 赵军凯\*

九江学院旅游与地理学院, 江西 九江  
Email: \*191703285@qq.com

收稿日期: 2019年9月18日; 录用日期: 2019年11月11日; 发布日期: 2019年11月18日

---

## 摘要

本文主要是运用Mann-Kendall检验法、不均匀系数、集中度与集中期等方法对三峡水库出入库径流量进行年内

作者简介: 孙小方, 男, 学士。  
\*通讯作者。

分配和年际变化分析。通过对比三峡水库出入库径流量特征,探讨其变化原因,分析了水库的径流调节作用。结果表明:三峡水库运行后,出库径流量汛期(6~9月)减少,非汛期(11月~翌年5月)增加,春冬两季补水显著;径流量年内变化幅度和季节分配差异减小,集中度下降,集中期提前。显然三峡水库运行后对长江径流量年内分配的控制和调节更加有利于中下游防洪抗旱和水资源的开发利用。

## 关键词

三峡水库, 径流调节, 年内分配

Copyright © 2019 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

三峡水库位于长江上游,作为骨干性水利工程,蓄水运行后对中下游产生了极为深远的影响。长江中下游是我国社会生产力和经济最繁荣的地区之一,尤其是近年来经济飞速增长,用水需求也随之急速攀升[1]。但在十几年前长江就已经被世界自然基金会(WWF)列为世界十大水资源危机河流之一[2]。由于人类高强度的活动干扰,长江流域已经出现了一些生态环境问题,并引起了政府部门的高度重视和国内外学者的普遍关注[3]。习总书记2018年视察长江明确地指出长江经济带发展的根本方向和实践基准:“共抓大保护,不搞大开发”[4]。胡向阳研究了三峡水库利用洪水资源增大效益的可行性方案[5];多年试验性蓄水实践表明适度的滞洪调度,既能减轻长江中下游的防洪压力,又可以提高洪水资源利用率[6]。仲志余教授从三峡水库运行前后长江中下游汛期水位的变化,告诉我们三峡水库是长江中下游的防洪调度中不可或缺关键因素[7]。因此了解和研究三峡水库的径流调节作用有利于优化水库调度方案,充分发挥防洪、发电和航运效益,对于推动我国经济增长具有重大现实意义。

## 2. 研究区域

长江流域介于 $24^{\circ}30' \sim 35^{\circ}45'N$ ,  $90^{\circ}33' \sim 122^{\circ}25'E$ 之间(见图1),形状呈东西长、南北短的狭长形,流域总面积 $180$ 万 $\text{km}^2$ ,是中国流域面积最广的河流。长江流域贯穿我国三大阶梯,流域内地貌类型复杂多样,地势大致由西北向东南倾斜,平均高程约 $1650$  m,总落差约 $5400$  m。长江干流全长约 $6300$  km,以湖北宜昌和江西湖口为界划分为上中下游。长江流域大部分地区受到典型的亚热带季风气候影响,夏季高温多雨,冬季低温少雨,年内降水分配很不均匀。流域内人口众多、物产丰盛、水运条件得天独厚,自古就是我国重要的工农业生产基地;中下游地区河湖密布,江湖相通,为江河洪水的调蓄做出了巨大贡献[8]。

三峡工程位于我国湖北省宜昌市(见图1),1994年12月正式开工;1997年完成大江截流,意味着第一期工程结束。2003年三峡工程开始围堰蓄水;2006年大坝全线建成,进入汛末初期蓄水阶段,水库已具备了一定的调蓄能力,可同时发挥防洪、发电、航运三大效益;2009年修建完毕,总工期长达17年。三峡水库蓄水至 $175$  m时,库容为 $393 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;防洪限制水位为 $145$  m,防洪库容为 $222 \times 10^8 \text{ m}^3$  [9]。

## 3. 数据与方法

### 3.1. 数据说明

收集了三峡水库2006~2017年每天2、8、14、20时四个时间段的出入库流量和水位数据([www.cjh.com.cn](http://www.cjh.com.cn))

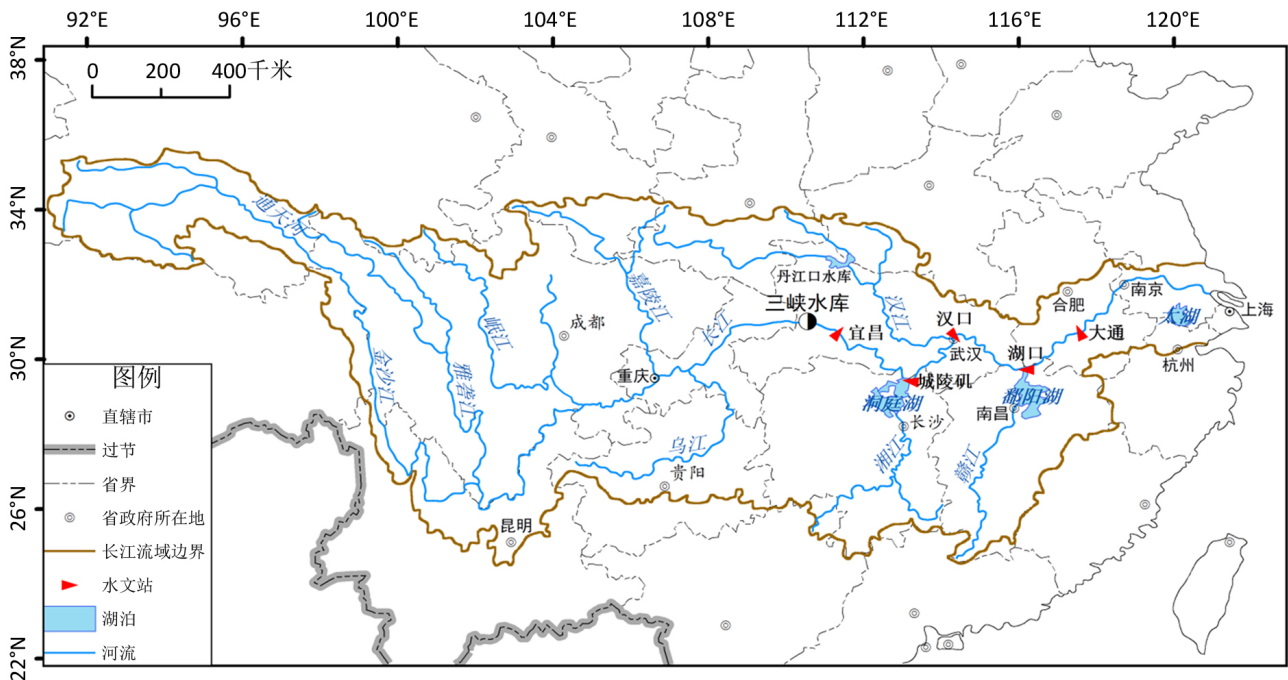


Figure 1. Sketch map of Yangtze River basin and Three Gorges Reservoir (TGR)

图 1. 长江流域和三峡水库示意图

和 [www.ctg.com.cn](http://www.ctg.com.cn))。分别对日、月、年数据求均值得到相应的出入库流量和水位数据，然后利用公式  $W = Qt(Q$  表示断面平均流量， $t$  表示时间)求得日、月、年的出入库径流量。

### 3.2. 主要研究方法

#### 1) Mann-Kendall 趋势检验

Mann-Kendall 属于非参数统计分析法，简称  $M-K$  法，其优点是样本无需遵从一定的分布，结果不受少数异常值干扰，被广泛应用于降水、径流、气温等统计分析。 $Z$  为时间序列的统计量，当  $Z > 0$  时，表示增加趋势； $Z < 0$  时，则反之。若  $Z$  的绝对值大于等于 1.96、2.56，表示该序列的变化趋势分别通过了置信度 95%、99% 的显著性检验[10]。

#### 2) 不均匀系数

不均匀系数  $C_{vy}$  常用于反映年内径流量分配不均匀程度。 $C_{vy}$  是一个可用于不同时间和空间的同类比较分析的综合性指标，难度小，适用性强，应用较广[11]。 $C_{vy}$  值越大，表示年内径流分配越不均匀，即年内各月径流量差异越大；反之亦然。

#### 3) 集中度 $C_d$ 和集中期 $D$

集中度是反映径流量在年内的集中程度，集中期则表示年内径流量最集中的月份。此法将年内各月径流量视为向量，把月径流量的大小作为向量的长度，根据各月的顺序依次选取不同的矢量方向。将一年 12 个月视为一个圆周 360°，每个月相当于 30°，然后对各月径流量进行矢量分解求和，合成矢量的值占年径流量的百分比为年径流量集中度，合成矢量的方向为集中期[12]。

## 4. 三峡水库运行对长江中下游径流调节分析

### 4.1. 出库径流量各月分配及其年际变化

2006~2017 年三峡水库月出库径流量年内分配统计结果见表 1：三峡水库出库径流量主要集中分布在 5~10

月, 占全年的 66.6%~77.9%, 其中 6~9 月各月平均径流量占比均大于 10%, 总径流量占全年的 55.7%。最大月(7 月)出库径流量占全年的 13.6%~25.3%, 最小月(2 月)仅为 2.2%~4.2%, 最大月是最小月的 3.2~11.5 倍。最大月径流量年际间波动较大, 最小月较稳定。出库径流量绝对变化幅度  $\Delta R(\Delta R = r_{\max} - r_{\min}, r_{\max}$  和  $r_{\min}$  分别表示年内月径流量最大值和最小值)的最大值为  $882 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 其相对变化幅度  $C_m(C_m = r_{\max}/r_{\min})$  为 6.9 [11], 出现在 2012 年; 最小值均出现在 2017 年, 分别为  $400 \times 10^8 \text{ m}^3$  和 3.5。水库调节后, 出库径流量变化幅度减小, 尤其是最近几年来变化更小, 由此可见三峡水库年内径流调节的削峰补枯效果显著。从整体来看, 三峡水库入库径流量年内分配很不均匀, 汛期峰高量大易涝, 枯水期径流量偏低易旱; 水库削峰补枯调节后年内分配更加均匀, 有利于长江中下游水资源的开发利用和管理, 促进社会经济的发展。

**Table 1.** The annual distributed ratio of runoff from the Three Gorges Reservoir (Unit: %)

**表 1.** 三峡水库出库径流量年内分配(单位: %)

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2006	4.4	4.2	5.8	5.6	9.3	11.7	17.2	8.6	10.9	11.5	6.1	4.7
2007	3.1	2.5	2.9	4.2	5.6	11.6	20.8	15.9	15.7	9.2	5.0	3.4
2008	2.8	2.6	3.5	5.2	6.3	9.2	13.9	17.3	16.1	9.7	9.6	3.7
2009	3.7	3.1	3.2	5.1	8.5	8.9	16.5	21.7	12.7	8.7	4.6	3.5
2010	2.9	2.2	2.8	3.9	6.5	10.9	22.7	15.9	14.6	9.2	4.8	3.7
2011	4.5	3.0	4.4	4.7	6.0	12.1	15.1	15.5	13.0	8.6	8.3	4.7
2012	3.0	2.5	2.9	3.5	7.7	8.9	25.3	13.8	14.9	9.8	4.3	3.5
2013	3.8	2.7	3.6	4.5	7.5	11.1	23.1	14.1	13.1	7.6	4.9	3.9
2014	2.9	2.6	3.3	5.6	5.7	9.3	16.1	16.3	19.1	9.9	5.4	3.9
2015	4.0	3.3	4.3	6.0	6.1	11.3	14.0	13.6	16.0	11.1	5.7	4.5
2016	4.1	3.7	4.7	6.5	8.8	13.1	17.7	12.5	9.3	9.0	6.5	4.1
2017	3.4	3.2	4.3	5.8	7.5	11.2	13.6	12.6	13.9	14.0	6.2	4.3
平均值	3.5	2.9	3.7	5.0	7.1	10.7	18.1	14.9	14.2	9.9	5.9	4.0

## 4.2. 出库径流量季节分配的年际特征

三峡水库 2006~2008 年为汛末蓄水的初期, 2009~2017 年处于 175 m 试验性蓄水期。两个蓄水期的可调节库容不同, 势必会影响水库径流调节作用的发挥, 所以本文将 2006~2017 年划分为 2 个时段进行径流量季节分配分析, 结果如表 2。

由表 2 可知: 各时段季节径流量距平值有正有负, 说明季节径流量在不同时段存在相对丰枯变化。其中, 春季、夏季、冬季在 2006~2008 年相对偏枯, 在 2009~2017 年相对偏丰; 秋季在两个时段的相对丰枯变化情况与之相反。两个时段内季节平均径流量分配规律一致, 均为: 夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。通过对比两个蓄水时段内季节平均径流量在该时段内年均径流量的占比, 发现春夏冬三季都增加了, 唯独秋季减少。秋季距平值在这两个时段显示的相对丰枯变化情况也恰好与其它三季相反, 初步推断是 2008 年后三峡水库抬升蓄水水位, 加大秋季蓄水量所致。三峡水库春冬两季出库径流量的占比在 2009~2017 年 175 m 蓄水期明显增大, 秋季明显减小, 说明水库通过径流调节削减了秋季径流量, 增加了春冬两季的径流量。水库增加蓄水量后, 对出库径流量季节分配的调控更加明显, 调节效果较显著。

**Table 2.** The characteristic value of runoff from Three Gorges Reservoir in four seasons  
**表 2.** 三峡水库出库季节径流量特征值

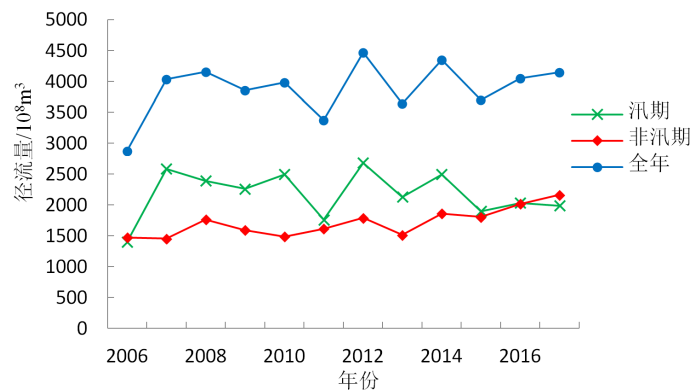
时段	春季		夏季		秋季		冬季	
	百分比/%	距平值/ $10^8 \text{ m}^3$	百分比/%	距平值/ $10^8 \text{ m}^3$	百分比/%	距平值/ $10^8 \text{ m}^3$	百分比/%	距平值/ $10^8 \text{ m}^3$
2006~2008	17.3	-91.4	42.8	-96.8	28.9	56.6	11.1	-67.0
2009~2017	18.8	30.4	43.6	30.2	25.2	-18.8	12.4	22.3
多年平均	18.3	0	43.5	0	26.3	0	11.9	0

### 4.3. 汛期与非汛期出库径流量的变化

三峡水库出库径流量汛期与非汛期分配情况如表 3:2006~2017 年汛期(6~9 月)平均径流量是  $2176 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 年均占比为 55.7%; 非汛期(11 月~翌年 5 月)为  $1712 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占 44.3%。丰水年汛期径流量全年占比高于 2006~2017 年的汛期均值, 非汛期低于均值; 枯水年反之。2015~2017 年径流量相对较大, 但汛枯期年内占比情况却与上述相反。这种异常的年内汛枯期分配变化情况恰好与历年各月、季节的分配变化分析结果大致相同。从图 2 中可以看出, 汛期径流量的波动性较大, 且与年变化基本一致; 非汛期径流量较稳定, 呈增加趋势且越来越显著, 尤其是 2017 年已明显大于汛期。从表 3 和图 2 可以看出, 2015~2017 年三峡水库汛期出库径流量的年内占比相对下降, 非汛期相对上升, 波动幅度也相对减小, 表明 2015 年后三峡水库的径流调节效果更加明显。

**Table 3.** Runoff distribution change of Three Gorges Reservoir in flood and non-flood seasons  
**表 3.** 三峡水库汛期与非汛期出库径流量分配变化

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
汛期	径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	1401	2583	2392	2261	2495	1761	2683	2127	2495	1897	2033	1986
	比例/%	48.7	64.0	57.5	58.6	62.6	52.2	60.0	58.4	57.3	51.2	50.2	47.9
非汛期	径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	1474	1454	1764	1596	1491	1613	1791	1516	1859	1805	2016	2164
	比例/%	51.3	36.0	42.5	41.1	37.4	47.8	40.0	41.6	42.7	48.8	49.8	52.1



**Figure 2.** Various process of runoff of Three Gorges Reservoir in flood and non-flood seasons

**图 2.** 三峡水库汛期与非汛期出库径流变化过程

### 4.4. 出库径流量年际趋势性

#### 4.4.1. 月径流量趋势分析

为定量分析三峡水库历年各月出库径流量的变化趋势, 本文运用 *M-K* 法对 2006~2017 年出库径流量进行统计分

析(表 4)。表 4 显示: 三峡水库除了 7~10 月, 其余各月出库径流量均为增加趋势, 其中 3、4、5、6 四个月增加趋势显著, 12 月、1 月、2 月增加趋势非常显著, 11 月份增加趋势不显著。虽然 8~10 月份呈减少趋势, 但并不显著。

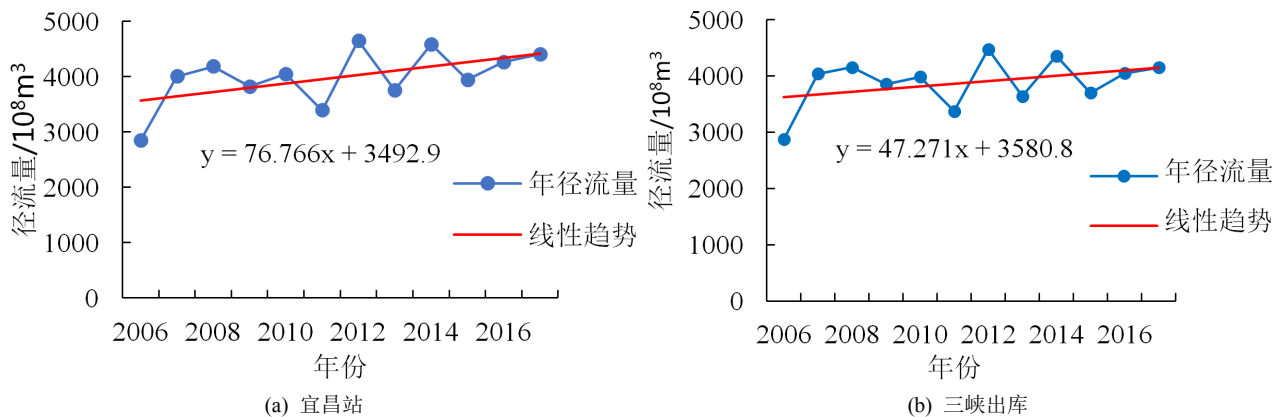
**Table 4.** The results of monthly runoff trend test of Three Gorges Reservoir  
**表 4.** 三峡水库各月出库径流量趋势性检验结果

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
Z 值	2.81	2.88	2.54	2.13	1.99	1.99	0	-1.17	-0.48	0.48	0.89	2.67
趋势	+**	+**	+*	+*	+*	+*	-	-	-	-	+	+**

注: “+”表示原序列有增加趋势, “-”表示原序列有减少趋势; “\*”表示趋势性显著; “\*\*”表示趋势性非常显著。

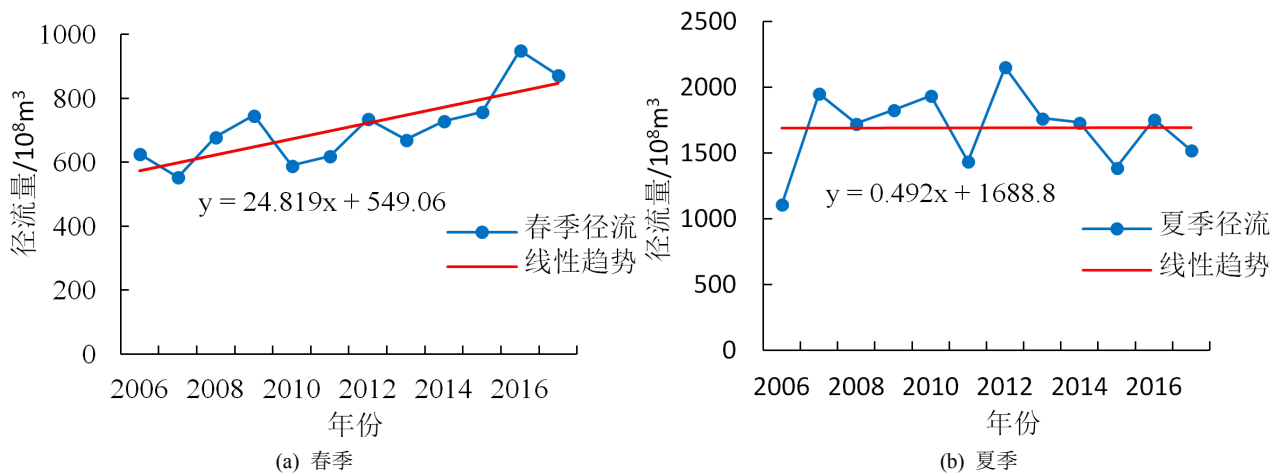
#### 4.4.2. 季节径流量趋势

为了更加准确地分析三峡水库出库季节径流量的变化趋势, 本文对 2006~2017 年宜昌站和三峡水库出库年径流量进行了 *M-K* 法趋势性检验, *Z* 值分别为 1.44、0.89, 均呈不显著性增加趋势, 与图 3 的线性趋势一致。从图 4 来看, 水库四季出库径流量与年径流量的趋势性一致, 都有增加趋势, 其中春季增加速率最快, 冬季次之, 秋季较低, 夏季最低。由长江径流量季节分配规律可知, 对年径流量增加贡献最大的季节应该是夏季, 因为夏季径流量的年内占比最大, 但增加速率结果显示: 春季的贡献最大, 夏季的贡献最小。由此可知, 三峡水库运行后削峰补枯作用对季节径流量分配的影响显著。



**Figure 3.** Annual runoff change process at Yichang hydrologic station (a) and outflow of Three Gorges Reservoir (b)

**图 3.** 宜昌站(a)和三峡水库出库(b)年径流量变化过程



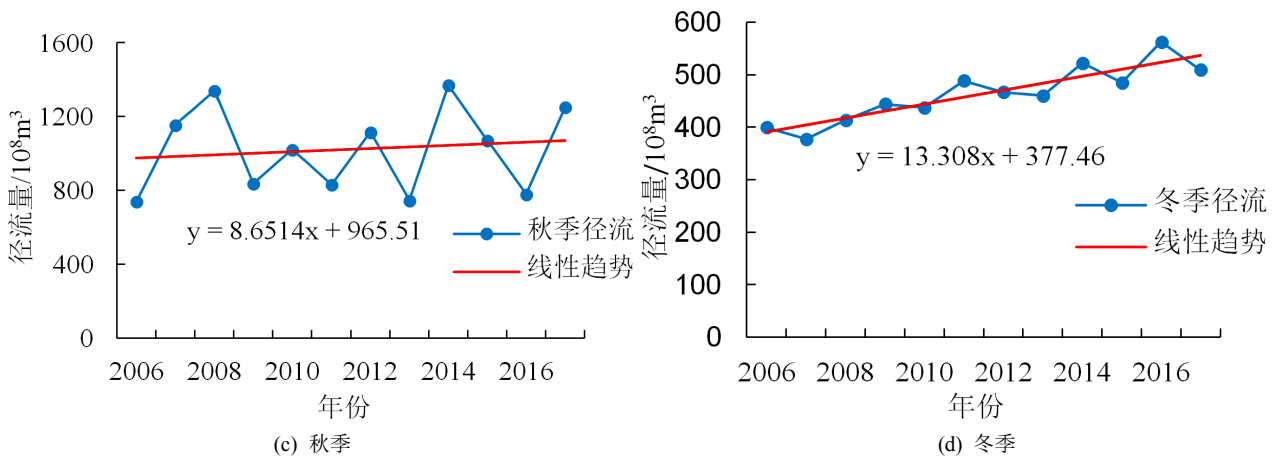


Figure 4. The various process of runoff from Three Gorges Reservoir in four seasons  
图 4. 三峡水库四季出库径流量变化过程

## 5. 三峡水库运行前后长江中下游径流对比分析

### 5.1. 出入库径流量变化过程

三峡水库属于季节性调节水库，每年的出入库径流量基本相当。只有个别年份出入库径流量差异较大，如 2006 年、2008 年和 2015 年，这与当年降水量和水库调度有关(表 5)。其中，2006 年是长江流域发生大旱上游来水量减少和三峡水库第二期首次蓄水的共同作用[13]；2008 是初次 175 m 试验性蓄水所致；2015 年是因为长江中下游来水大量增加，为了降低中下游的防洪压力，水库降低了下泄流量[14]。

从 2006~2017 年三峡水库各月平均出入库径流量来看，最大值出现在 7 月，最小值在 2 月，年内各月分配很不均匀且呈现非对称的单峰形态(图 5)。1~5 月径流量出库大于入库，7 月、9 月和 10 月相反，出库小于入库，6 月、8 月、11 月和 12 月出入库无明显变化；出入库径流量的变化过程和曲线形态基本一致。入库径流量年内绝对变化幅度为  $571 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，相对变化幅度为 6.2；出库分别为  $526 \times 10^8 \text{ m}^3$  和 4.8，三峡水库调节后径流量变化幅度明显缩小，削峰补枯效果较为显著。

Table 5. Comparison of annual inflow and outflow of Three Gorges Reservoir  
表 5. 三峡水库出入库年径流量对比

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
入库/ $10^8 \text{ m}^3$	2980	4037	4253	3870	4052	3363	4468	3657	4339	3806	4042	4190
出库/ $10^8 \text{ m}^3$	2875	4038	4156	3856	3986	3374	4474	3642	4354	3702	4050	4151
绝对差值/ $10^8 \text{ m}^3$	-105	1	-97	-14	-66	11	6	-15	15	-104	8	-39
相对变化/%	3.7	0.0	2.2	0.3	1.6	0.3	0.1	0.4	0.3	2.7	0.2	0.9

### 5.2. 出入库径流量年内特征值对比

#### 5.2.1. 特征值分析

为了更好地了解和研究三峡水库的径流调节作用，本文对出入库径流量进行了年内分配特征值统计分析，结果图 6。

从绝对变化幅度  $\Delta R$  来看，出入库均值分别为  $573 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $642 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，相差约  $130 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2006~2009 年，出入库径流量的绝对变化幅度差值很小；其余各年差值相对较大(图 6(a))。由此可知，2006~2009 年三峡水库的削峰补枯作用与 2010~2017 年相比较弱。

观察三峡水库出入库径流量的相对变化幅度  $C_m$  值的变化过程(图 6(b)), 可以发现入库的波动性较出库为大,  $C_m$  值整体呈减少的趋势; 2010 年和 2012~2014 年对  $C_m$  值的影响较大, 是由于这几年入库径流量及其波动性较大。

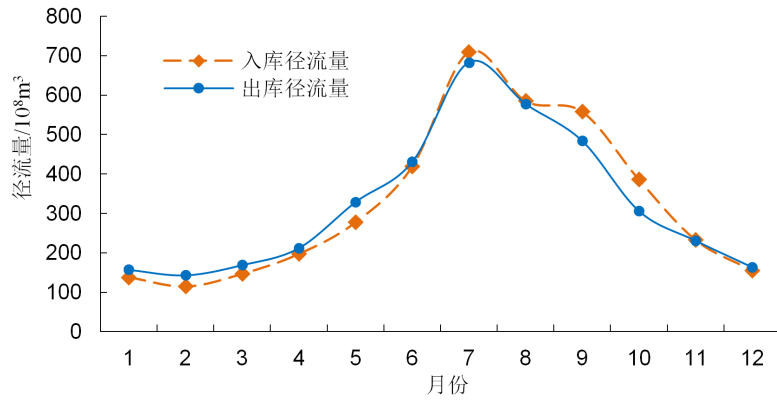


Figure 5. The annual change of the average monthly inflow and outflow of Three Gorges Reservoir

图 5. 三峡水库多年平均出入库月径流量年内变化

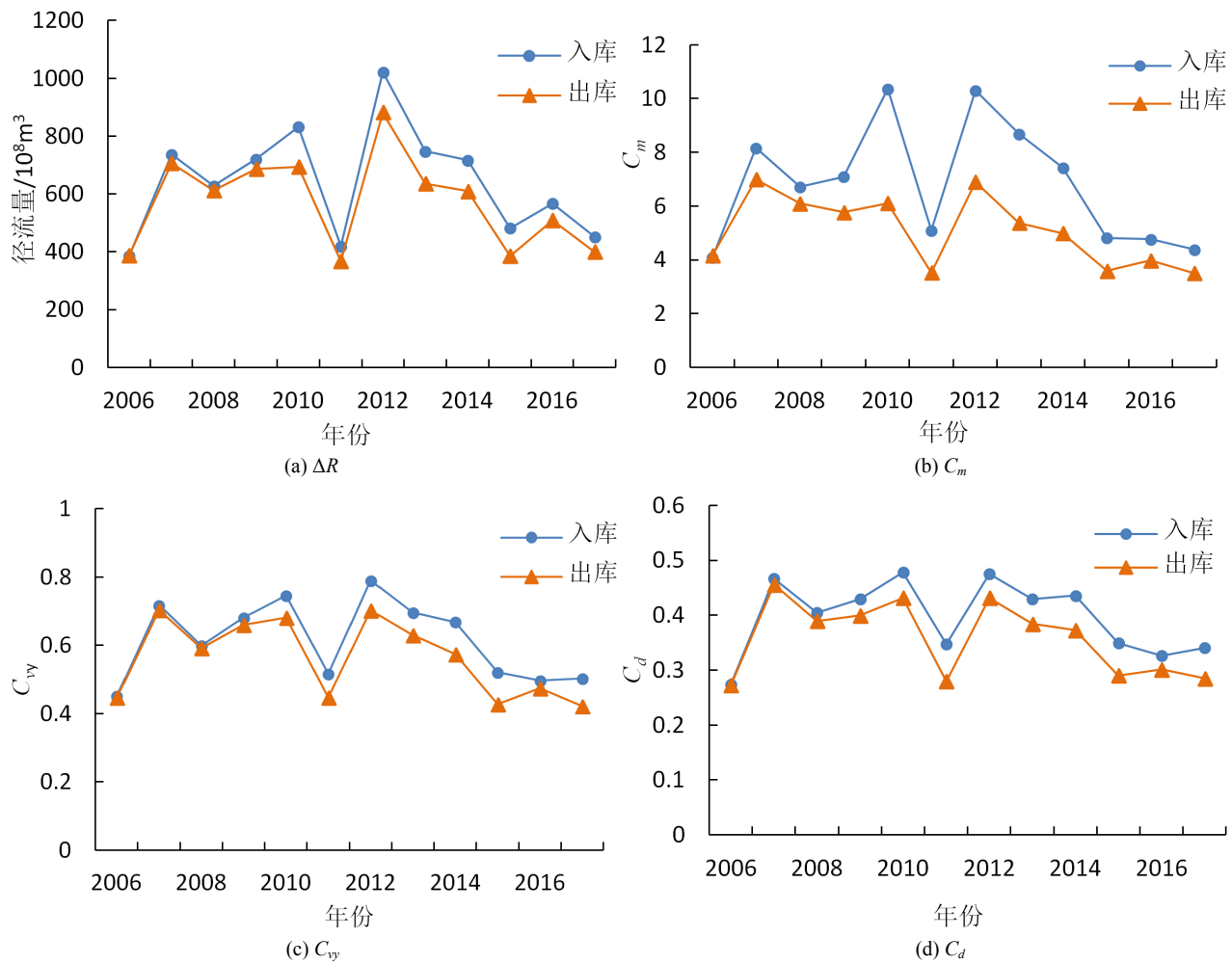


Figure 6. Annual change curve of runoff characteristic value of Three Gorges Reservoir

图 6. 三峡水库径流特征值年际变化曲线



从不均匀系数  $C_{vy}$  值和集中度  $C_d$  值的变化过程(图 6(c)和图 6(d))来看, 2006~2008 年出入库几乎完全重合; 2009 年出库开始小于入库, 差值逐渐增大并趋于稳定, 但整体呈减少趋势。这些现象说明三峡水库径流调节作用在 2006~2009 年相对微弱, 之后影响开始逐渐增大, 2012~2017 年出入库径流量年内分配比例逐渐趋于稳定。

2006~2017 年三峡水库径流量集中期  $D$  均为出库略小于入库, 多年平均出入库径流量集中期分别为  $209^\circ$  和  $218^\circ$ 。出径流量集中期减小, 意味着集中期提前, 全年径流量集中中心出现从 8 月份向 7 月份转变的趋势。

### 5.2.2. 变化原因分析

水库径流调节作用是通过不同的调度方式改变天然径流过程, 从而达到区域水资源合理开发利用的目的。因此, 水库径流调节强度主要是受到水库上游来水、库容、调度方案等因素的影响。

2006~2008 年三峡水库处于汛末蓄水初期, 库容有限, 所能发挥的径流调节作用较小, 对出库径流量的影响不大。2009 年三峡水库开始 175 m 试验性蓄水, 可调节库容增大, 随着蓄水经验的累积, 径流调节作用效果越来越显著, 出入库径流量特征值的差异逐渐增大。由于三峡水库汛期拦水削峰防洪, 使汛期各月出库径流量下降; 非汛期水库泄水发电, 出库径流量增加, 所以出库径流量年内分配差异减小。据统计, 到 2017 年为止, 长江上游修建了 13,000 多座水坝, 共计库容约  $1590 \times 10^8 \text{ m}^3$  [3], 随着长江上游水库群联合调度的日益完善, 对中下游的防洪态势和维护河流水系健康更为有利。

## 6. 结论

本文利用三峡水库的相关水文资料对水库的径流调节作用进行了分析和研究, 得出以下主要结论: 三峡水库主要对径流量年内分配进行调节; 春季、冬季及非汛期出库径流量增加, 秋季和汛期减少, 各月分配变化情况与上述情况基本一致。经过三峡水库径流调节后, 出库径流量年内变化幅度缩小, 集中度降低, 削峰补枯效果显著, 集中期从 8 月提前到 7 月。2009 年以后水库对出库径流量年内分配的调节较为显著。

## 基金项目

国家自然科学基金项目(41361003)和江西省教育厅科技项目(GJJ180903)资助。

## 参考文献

- [1] 周建军, 张曼. 近年长江中下游径流节律变化、效应与修复对策[J]. 湖泊科学, 2018, 30(6): 1471-1488.  
ZHOU Jianjun, ZHANG Man. Effect of dams on the regime of the mid-lower Yangtze River runoff and countermeasures. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(6): 1471-1488. (in Chinese)
- [2] WONG, C. M., WILLIAMS, E. E., PITTOCK, J., et al. World's top 10 rivers at risk. Gland: WWF International, 2007.  
<http://wwf.org>
- [3] 周建军, 张曼. 当前长江生态环境主要问题与修复重点[J]. 环境保护, 2017, 45(15): 17-24.  
ZHOU Jianjun, ZHANG Man. On the forefront ecological and environmental problems of the current Yangtze River and restoration priorities. Environmental Protection, 2017, 45(15): 17-24. (in Chinese)
- [4] 霍小光. 习近平乘船考察长江[EB/OL]. [http://www.xinhuanet.com/2018-04/25/c\\_1122741011\\_2.htm](http://www.xinhuanet.com/2018-04/25/c_1122741011_2.htm), 2019-02-25.  
HUO Xiaoguang. Xi Jinping explored the Yangtze River by boat. [http://www.xinhuanet.com/2018-04/25/c\\_1122741011\\_2.htm](http://www.xinhuanet.com/2018-04/25/c_1122741011_2.htm), 2019-02-25.
- [5] 胡向阳, 邹强, 周曼. 三峡水库洪水资源利用 I 调度方式和效益分析[J]. 人民长江, 2018, 49(3): 15-22.  
HU Xiangyang, ZOU Qiang and ZHOU Man. Scheduling and benefit analysis on flood resources utilization of Three Gorges Reservoir. Yangtze River, 2018, 49(3): 15-22. (in Chinese)
- [6] 周曼, 徐涛. 三峡水利枢纽多目标优化调度及其综合效益分析[J]. 水力发电学报, 2014, 33(3): 55-60.  
ZHOU Man, XU Tao. Optimal operation for multiple targets and analysis on comprehensive benefits of the Three Gorges Complex. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(3): 55-60. (in Chinese)
- [7] 仲志余, 刘艳飞. 三峡工程的防洪效益无可替代[N]. 中国水利报, 2012-08-02(5).  
ZHONG Zhiyu, LIU Yanfei. The flood control benefits of the Three Gorges Project are irreplaceable. China Water Resources News, 2012-08-02(5). (in Chinese)

- [8] 长江水利网. 长江一览[EB/OL]. <http://www.cjw.gov.cn/zjzx/cjyl/shjj>, 2018-11-16.  
Changjiang Water Network. Social economy in the Yangtze River basin. <http://www.cjw.gov.cn/zjzx/cjyl/shjj>, 2018-11-16. (in Chinese)
- [9] 郑守仁. 三峡工程 175 米试验性蓄水运行期的科学调度优化运行试验[N]. 人民长江报, 2019-05-04(005).  
ZHENG Shouren. Scientific dispatching and optimal operation test of 175 m experimental water storage period of the Three Gorges Project. People's Yangtze River Daily, 2019-05-04(005). (in Chinese)
- [10] 张盛霖, 邓高燕, 黄勇奇. Mann-Kendall 检验法在 Excel 中的实现与应用[J]. 地球科学, 2014(6): 27-31.  
ZHANG Shenglin, DENG Gaoyan and HUANG Yongqi. Implement and application of Man-Kendall test method in Excel. Earth Science, 2014(6): 27-31. (in Chinese)
- [11] 周光涛. 呼兰河流域河川径流年内分配变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2018, 36(9): 39-43.  
ZHOU Guangtao. Study on the intra-annual runoff distribution characteristics in Hulan River Basin. Water Resources and Power, 2018, 36(9): 39-43. (in Chinese)
- [12] 汤奇成, 程天文, 李秀云. 中国河川月径流的集中度和集中期的初步研究[J]. 地理学报, 1982, 37(4): 383-393.  
TANG Qicheng, CHENG Tianwen and LI Xiuyun. Preliminary study on the degree and time of concentration of monthly runoff of Chinese streams. Acta Geographica Sinica, 1982, 37(4): 383-393. (in Chinese)
- [13] 戴志军, 李九发, 赵军凯, 等. 特枯 2006 年长江中下游径流特征及江湖库径流调节过程[J]. 地理科学, 2010, 30(4): 577-581.  
DAI Zhijun, LI Jiufa, ZHAO Junkai, et al. Adjustment processes of runoff among river, lake and reservoir along mid-lower reaches of Changjiang River during 2006 extreme drought year. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(4): 577-581. (in Chinese)
- [14] 长江水文网. 2015 长江泥沙公报[EB/OL]. [http://www.cjh.com.cn/article\\_142\\_189887.html](http://www.cjh.com.cn/article_142_189887.html), 2019-01-15.  
Changjing Hydrological Network. Changjiang sediment bulletin 2015. [http://www.cjh.com.cn/article\\_142\\_189887.html](http://www.cjh.com.cn/article_142_189887.html), 2019-01-15. (in Chinese)