J. Lake Sci.(湖泊科学),2015,**27**(6):991-996
DOI 10.18307/2015.0601
© 2015 by *Journal of Lake Sciences*

近30年洞庭湖季节性水情变化及其对江湖水量交换变化的响应*

何　征[1,2],万荣荣[1**],戴　雪[1,2],杨桂山[1]
(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所流域地理学重点实验室,南京 210008)
(2:中国科学院大学,北京 100049)

摘　要:江湖水量交换的变化影响着通江湖泊洞庭湖的水情,进而影响湖区社会经济及生态的可持续发展.以洞庭湖城陵矶站、南咀站以及长江干流宜昌站、螺山站1981－2012年逐日水位、流量观测数据为基础,采用单位根检验、方差分析和水位-流量绳套曲线等方法对洞庭湖季节性水情变化特征进行提取,并探究江湖水量交换变化对其产生的影响.研究表明:近30年来洞庭湖水情呈阶段性特征,与相对稳定的1981－2002年相比,2003－2012年湖泊水位总体呈下降趋势,年均水位下降0.43 m;枯、涨、丰、退水期各季水情变化特征为:2003年以后洞庭湖丰水期水位平均下降0.60 m,呈现出"高水不高"现象;退水期水位平均下降1.49 m,退水加快;枯水期水位略有上升,平均上升0.18 m;涨水期水位变化不明显.湖泊退水期水位降幅最为明显,尤其是10月大幅下降,平均下降2.03 m,有提前进入枯水期的趋势.水情变化与江湖水量交换变化密切相关:丰水期,三口(松滋、太平和藕池)分流量减小在一定程度上降低湖泊水位;退水期,三口分流量减小叠加城陵矶出口长江水位下降对洞庭湖产生拉空作用,湖泊出流加快水位被拉低;枯水期,主要是1－3月,城陵矶出口长江水位上升对湖泊顶托作用增强,湖泊出流减缓水位略有抬升.
关键词:湖泊季节性水情;江湖水量交换;水位-流量绳套曲线;洞庭湖

Characteristics of the changing seasonal water regime in Lake Dongting and their response to the change of river-lake water exchange in recent 30 years

HE Zheng[1,2], WAN Rongrong[1], DAI Xue[1,2] & YANG Guishan[1]
(1: *Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences*, *Nanjing Institute of Geography and Limnology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008, *P. R. China*)
(2: *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *P. R. China*)

Abstract: The adjustment of river-lake water exchange will cause water regime of lake to change and threat the sustainable development of social economy and ecology. In this paper, based on daily observation data of water level and water discharge from 1981 to 2012 at Chenglingji Station, Nanzui Station in Lake Dongting, Yichang Station and Luoshan Station in the main reaches of the Yangtze River, the characteristics of the changing water regime in Lake Dongting and their response to the changes of river-lake water exchange were analyzed by means of unit root test, analysis of variance and the comparison of stage-discharge curve. The results suggestted that the water regime in Lake Dongting showed periodic characteristics during 1981 to 2012. The period of 1981－2002 was viewed as relatively stable phase. Mean water level decreased 0.43 m in 2003－2012. In the flood season, water level of Lake Dongting decreased 0.60 m. In the retreating season, water level fell 1.49 m. In the dry season, water level rose 0.18 m. The change of water level was not significant in the rising season. The dry season may be early in consideration of 2.03 m drop in October. The changes of hydrological regime were related to changes of river-lake water exchange: In the flood season, flow diversion at the three outlets reduced and the lake level dropped. In the retreating season, reduced flow diversion at the three outlets coupled with stepping up outflow intensified lake water withdrawal. In the dry season from January to March, outflow slowed down and the lake level rose.
Keywords: Seasonal water regime of lake; river-lake water exchange; stage-discharge curve; Lake Dongting

---

* 国家重点基础研究发展计划"973"项目(2012CB417006)资助. 2014－10－17收稿;2015－05－25收修改稿. 何征(1989～),女,硕士研究生;E-mail:hezhengzheng2010@126.com.
** 通信作者;E-mail:rrwan@niglas.ac.cn.

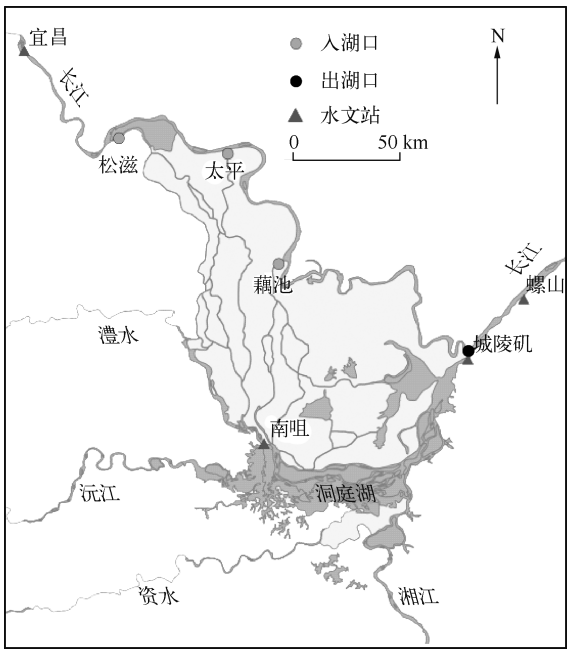


图 1 洞庭湖区及水文站点位置

Fig. 1 Lake Dongting area and locations of the hydrological stations

洞庭湖(28°44′~29°35′N, 111°53′~113°05′E)是中国第二大淡水湖,位于湖南省东北部,长江中游荆江段南岸. 洞庭湖南有湘、资、沅、澧四水入湖,北有长江水自松滋、太平、藕池三口入湖,来水经湖泊调蓄由城陵矶注入长江,形成复杂的江湖水系格局(图 1). 江湖关系在自然和人类活动的双重作用下不断调整[1-5],尤其近百年来的一系列水利水电工程对其产生了不可逆转的影响[6-8]. 卢金友等指出荆江裁弯期间,荆江三口分流分沙比大幅下降[9-10];而三峡工程建库蓄水,使得清水下泄,荆江河段遭受严重冲刷,长江水位降低,湖泊出流加快[11-15]. 江湖关系变化对长江中下游及洞庭湖产生了不同程度的影响[16-18]. 因此,有学者试图从江湖关系变化的角度探讨其对湖泊水情的影响规律[19-21].

湖泊水情具有重要的季节循环[22-23],洞庭湖遵循着枯(12、1、2、3 月)-涨(4、5 月)-丰(6、7、8、9 月)-退(10、11 月)的水位季节波动. 现有工作对洞庭湖水情的研究多从年尺度进行[7-8,24-26],对季节尺度的研究尚有不足,且从江湖关系的视角揭示湖泊水情变化的研究还有待深入开展. 基于此,本文将着重分析洞庭湖水位季节波动变化特征,并尝试揭示江湖水量交换变化对其产生的影响. 这对科学认识洞庭湖水情以及恢复湖泊自然水情变化具有重要的现实意义.

1 数据与方法

本文数据来源于长江水利委员会和湖南省水文局,选用了洞庭湖城陵矶站、南咀站 1981－2012 年的水位、流量日观测数据,长江干流螺山站 1981－2012 年的水位、流量日观测数据和宜昌站 1981－2012 年的月平均流量数据(水位均采用黄海高程). 洞庭湖分为东洞庭湖、南洞庭湖、西洞庭湖,其中东洞庭湖为主体. 城陵矶站位于洞庭湖湖口处,是洞庭湖代表性水文站,不仅反映东洞庭湖水情,还反映洞庭湖出流变化;南咀站位于西洞庭湖,接纳长江松滋口、太平口分流和流域上游澧水来水,在一定程度上反映三口分流对洞庭湖水情的影响[20,24]. 螺山站位于城陵矶下游,可反映长江城陵矶-螺山河段水位变化. 宜昌站位于三峡大坝下游,可反映三口上游长江流量变化.

为探究洞庭湖近 30 年的水情变化规律,首先以 2003 年为时间节点划分两个时段,对城陵矶站进行时间序列分析,检验各阶段水位序列的平稳性. 然后,采用方差分析得到不同阶段水情差异最为显著的季节和月份;对城陵矶站月尺度水位数据进行滑动平均,探索总结湖泊各季节水位波动变化特征. 最后,通过城陵矶站、南咀站和螺山站不同阶段水位-流量绳套曲线对比,以及同期宜昌站流量的变化情况,从江湖水量交换变化的角度揭示洞庭湖季节性水情发生变化的原因.

2 洞庭湖季节性水情变化特征

2.1 洞庭湖近 30 年水情的阶段性

洞庭湖水情不仅受气候变化的影响,还受到水利工程建设等人类活动的影响[27-28]. 自 1980s 以来,以 2003 年三峡水库蓄水为节点,湖泊水情可划分为 1981－2002 年和 2003－2012 年 2 个阶段. 对这 2 个时段城陵矶站水位数据进行时间序列分析,结果表明,1981－2002 年湖泊水位呈弱上升趋势,时间序列相对平稳,除了 5 月之外,年、季、月水位序列均通过单位根检验($P < 0.05$);而 2003－2012 年水位呈显著下降趋势.

1981－2002 年和 2003－2012 年平均水位分别为 23.31 和 22.88 m.

2.2 不同阶段湖泊水情特征

以方差分析验证城陵矶站 1981－2002 年和 2003－2012 年多年日平均水位在各月份差异的显著性,结果表明大部分月份水位差异都很显著(表 1),只有 5、6 月表现不明显. 表明 2003 年前后除了涨水期后期和丰水期前期,洞庭湖其他季节水位均差异显著.

表 1 城陵矶站 1981－2002 年和 2003－2012 年各月水位方差分析

Tab. 1 *P* values of analysis of variance at Chenglingji Station during 1981－2002 and 2003－2012

	枯水期				涨水期		丰水期				退水期	
	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
P 值	9.12×10^{-5} ***	$<2\times10^{-16}$ ***	0.00345 **	9.03×10^{-8} ***	0.00151 **	0.384	0.77	2.88×10^{-16} ***	2.37×10^{-10} ***	4.47×10^{-8} ***	8.11×10^{-16} ***	7.26×10^{-8} ***

***、**、* 分别表示显著性水平为 $P<0.001$、$P<0.01$、$P<0.05$.

2003－2012 年与 1981－2002 年相比,城陵矶站 7 月和 10 月水位变化幅度最大. 7 月水位从 1980s 中后期至 1990s 后期呈上升趋势,2000 年后水位呈明显下降趋势(图 2a),水位平均下降 1.05 m. 10 月水位 2000 年前保持平稳,2000 年后出现下降趋势(图 2b),水位平均下降 2.03 m.

从季节尺度来看,城陵矶站枯水期 12 月水位下降 0.41 m,而 1－3 月水位均升高,分别升高 0.36、0.32、0.47 m;因此,其枯水期水位总体呈现微弱的上升趋势,平均上升 0.18 m. 涨水期 4 月水位下降 0.60 m,但涨水期水位总体变化不明显($P>0.1$). 丰水期除了 7 月水位大幅下降,其 8、9 月水位也均下降,分别下降 0.59、0.83 m;因此,丰水期水位总体呈现显著下降趋势,平均下降 0.60 m,因而呈现“高水不高”水情. 退水期除了 10 月,其 11 月水位也显著下降,下降 0.93 m;因此,退水期水位总体亦呈显著的下降趋势,平均下降 1.49 m,表现为退水加快.

综上所述,洞庭湖水情的变化特征为:2003 年后,丰水期水位大幅下降,呈现“高水不高”水情;退水期水位亦大幅下降,尤其是 10 月,退水加快;枯水期,水位略有上升;涨水期水位变化不明显. 因此,洞庭湖退水期水位变化最大,出现了枯水期提前的趋势.

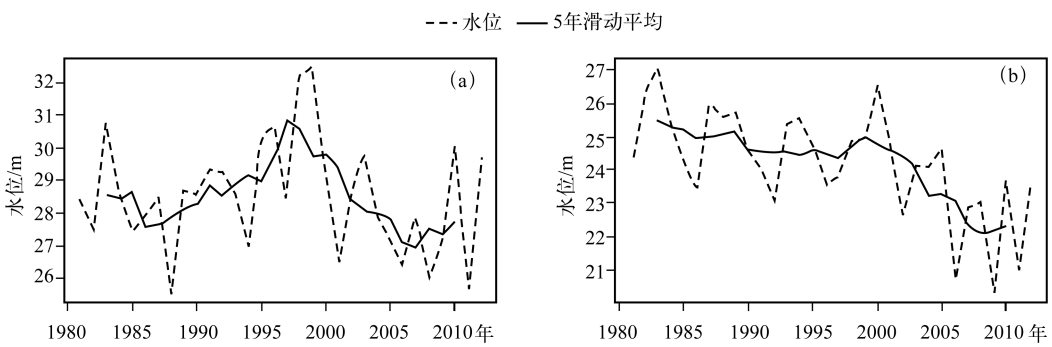


图 2 城陵矶站 7 月(a)、10 月(b)水位变化及趋势

Fig. 2 Variations of annual mean water level of Chenglingji Station in July(a) and October(b)

3 洞庭湖季节性水情变化与江湖水量交换

荆江三口分泄长江水补给洞庭湖,经湖泊调蓄后,由城陵矶出流补给长江,由此构成江湖水量交换关系. 城陵矶站、南咀站多年平均的日水位、流量绘制而成的水位-流量绳套曲线可以表征湖泊蓄泄过程. 对比城陵矶站、南咀站 1981－2002 年和 2003－2012 年的水位-流量绳套能够得到 2 个阶段湖泊年内蓄泄过程变化,辅以螺山站同步水位-流量绳套曲线进而反映江湖水量交换变化. 城陵矶站位于洞庭湖下游湖口处,水位-流量绳套曲线呈逆时针,而南咀站位于洞庭湖上游,湖泊蓄泄过程对它的作用与城陵矶站相反,使得南咀站水位-流量

绳套曲线呈顺时针.螺山站位于长江干流,因存在河底比降水位-流量绳套曲线趋近单一曲线.

3.1 城陵矶站水位-流量绳套曲线

城陵矶站 2003－2012 年水位-流量绳套曲线与 1981－2002 年相比各个季节均有不同程度的差异(图 3):①枯水期,1－3 月同水位流量下降,说明出流减缓.②涨水期,4 月同水位流量减少,但涨水期整体蓄泄关系变化并不明显.③丰水期,7－9 月水位-流量曲线发生显著位移,并且水位显著下降的同时伴随流量的大幅减少.以 7 月为例,相对稳定阶段 7 月的最高水位和最大流量分别为 29.15 m 和 18770.9 m^3/s,而 2003－2012 年 7 月的最高水位和最大流量为 28.40 m 和 15069 m^3/s,分别减少了 0.75 m 和 3701.9 m^3/s.水位、流量的同步大幅下降说明湖泊入流量减少,而与此同时,洞庭湖上游南咀站 7－9 月流量分别减少了 549.48、278.03、456.17 m^3/s.④退水期,水位-流量曲线不仅发生了明显的位移,且在形态上也表现出巨大的差异.10 月下旬的水位、流量都大幅减少,其最低水位由 23.53 m 下降到 21.51 m,最小流量由 6090 m^3/s 下降到 3300 m^3/s;11 月上旬出现水位稳定波动而流量迅速增大的"大转折",水位维持在 21.50 m 附近,而流量则由 3212 m^3/s 增加到 4673 m^3/s,随后水位和流量才同步稳定下降.

3.2 南咀站水位-流量绳套曲线

南咀站 2003－2012 年水位-流量绳套曲线与 1981－2002 年相比各个季节均有不同程度的差异(图 3):①枯水期和涨水期,12－5 月同水位流量均增大,但是这种变化并不明显.②丰水期,6 月水位、流量变幅减小,2 个阶段最小水位和流量相差不大,均在 28.50 m 和 2100 m^3/s 附近;而最高水位由 30.46 m 下降到 29.68 m,最大流量由 5017.3 m^3/s 下降到 4166 m^3/s.7－9 月,水位-流量曲线有明显位移,水位、流量同时大幅减小,最高水位分别减小 0.6、0.5、0.8 m;8、9 月最大流量分别减少 151.5、345.8 m^3/s.同一时期,长江干流宜昌站 7－9 月流量分别减少 4149.5、2733.4、2967.7 m^3/s.由此可见,丰水期长江流量减少在一定程度上造成了三口分流量减小,使得湖泊水位降低.③退水期,10 月水位、流量都大幅降低,其最高水位(27.64 m)还未达到相对稳定阶段的最低水位(27.76 m),最小流量由 1981－2002 年的 1617.9 m^3/s 下降到 984.7 m^3/s;11 月同水位流量增大.2003－2012 和 1981－2002 年宜昌站流量分别下降 5008.9 和 726.2 m^3/s.由此可见,退水期长江流量减少同样造成三口分流量减小,降低了湖泊水位.

3.3 螺山站水位-流量绳套曲线

螺山站 2003－2012 年水位-流量绳套曲线与 1981－2002 年相比各个季节均有不同程度的差异(图 3):①枯水期,1 月水位、流量均大幅上升,其最低水位(17.64 m)和最小流量(8016 m^3/s)超过了 1981－2002 年同期最高水位(17.58 m)和最大流量(7814.5 m^3/s).2、3 月的最低水位分别上升 0.23、0.36 m,最小流量分别增加 578.8、828.5 m^3/s;此时,城陵矶站水位与螺山站水位差出现了减小,主要集中在 2 月下旬和 3 月中旬,分别由 1.25 m 和 1.20 m 减小到 1.24 m 和 1.18 m,落差减小了 0.017 m 和 0.02 m.以上分析表明城陵矶出口长江水位上升对洞庭湖顶托作用增强从而造成湖泊出流减缓.②涨水期,4－5 月水位-流量曲线无明显变化.③丰水期,6－9 月水位、流量出现大幅下降,最高水位由 28.19 m 下降到 27.36 m,最大流量由 43400 m^3/s 减少到 37740 m^3/s.④退水期,10 月水位、流量大幅下降,其最低水位由 23.53 m 下降到 21.51 m,最小流量由 6090 m^3/s 下降到 3300 m^3/s.11 月上旬出现了与城陵矶站类似的水位稳定波动而流量迅速增大的"大转折",水位维持在 20.34 m 附近,而流量则由 13230 m^3/s 增加到 14990 m^3/s,随后水位和流量才同步稳定下降.11 月城陵矶站与螺山站水位差明显增大,由 1.07 m 增加到 1.16 m,落差增加了 0.09 m.由此推断,退水期城陵矶出口长江水位下降对洞庭湖产生拉空作用导致湖泊出流加快.

综上所述,江湖水量交换变化对洞庭湖水情变化具有极其重要的影响.2003 年后,洞庭湖在丰水期呈现出"高水不高"水情,江湖水量交换中三口分流量下降、湖泊入流减少是其重要原因.在退水期呈现的迅速退水现象,是三口分流量减少和城陵矶出口长江水位下降对湖泊产生拉空导致的湖泊出流加快共同作用的结果.在枯水期水位总体上呈现出微弱上升的趋势,可能是城陵矶出口长江水位上升对湖泊产生顶托导致的洞庭湖出流减缓的结果.涨水期,江湖水量交换变化对湖泊水情的影响较小.

4 结论

1980s 以来,洞庭湖水情演变呈现阶段性特征,以三峡水库蓄水为节点分为 1981－2002 年和 2003－

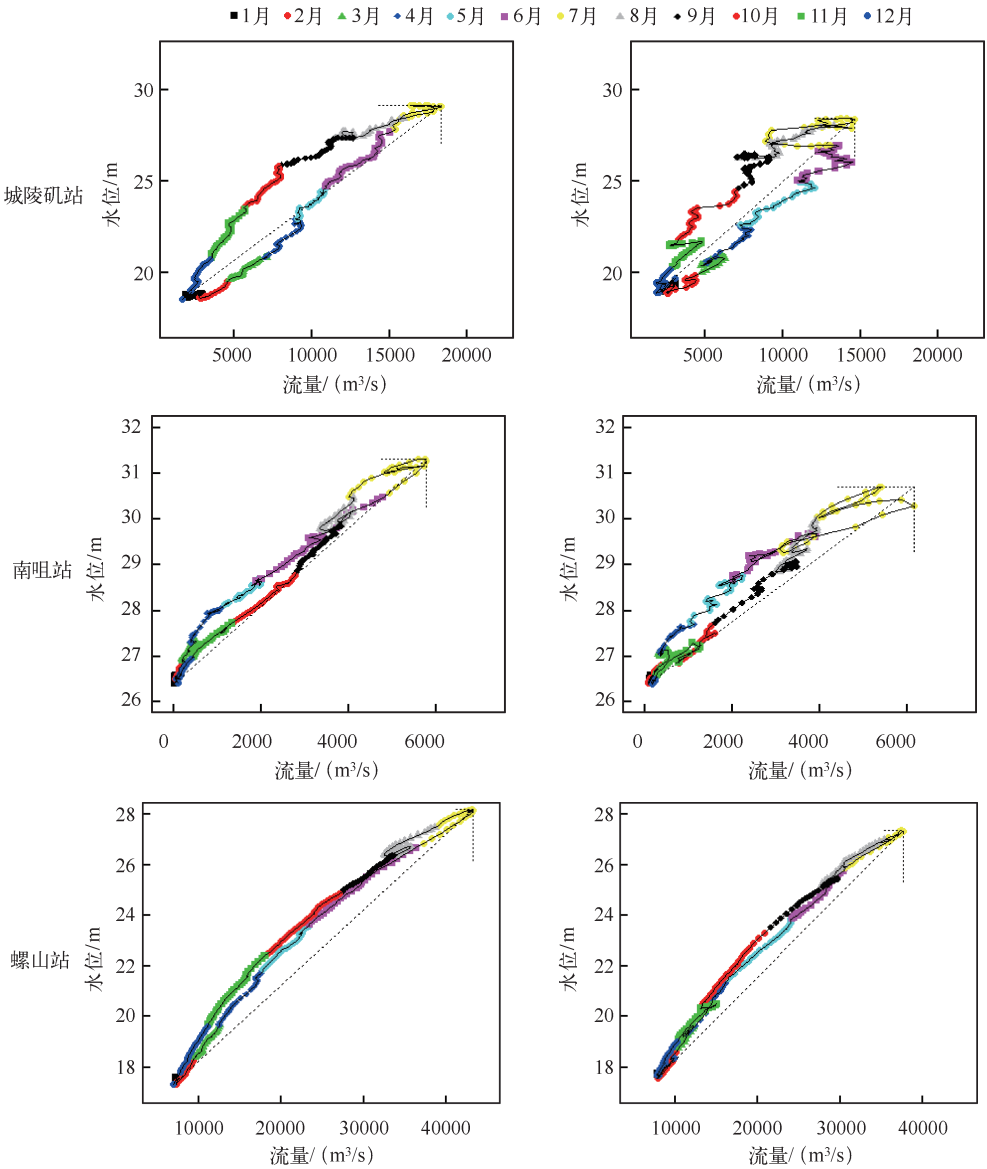


图 3 城陵矶站、南咀站和螺山站 1981－2002 年、2003－2012 年水位-流量绳套曲线对比

Fig. 3 Comparison of water level - discharge curves during 1981 - 2002, 2003 - 2012 at Chenglingji Station, Nanzui Station and Luoshan Station

2012 年 2 个阶段,其中 1981－2002 年相对稳定,2003 年以来洞庭湖水位总体呈下降趋势,具体表现为:

1）洞庭湖水情:丰水期水位大幅下降,平均下降 0.60 m,呈现“高水不高”水情;退水期水位亦大幅下降, 平均下降 1.49 m,退水加快;枯水期,水位略有上升,上升 0.18 m;涨水期水位变化不明显. 洞庭湖退水期水位降低最为显著,尤其是 10 月,下降 2.03 m,枯水期有提前趋势.

2）江湖水量交换:枯水期,湖泊出流减缓,可能是城陵矶出口长江水位上升对洞庭湖产生顶托作用;涨水期,江湖水量交换无明显变化;丰水期,三口分流量减小;退水期,三口分流量减小且湖泊出流加快,可能是城陵矶出口长江水位下降对湖泊产生了拉空作用导致的.

3）水情对江湖水量交换变化的响应:枯水期,主要在 1－3 月,城陵矶出口长江水位上升对洞庭湖水位产生顶

托,使得湖泊水位抬升;涨水期,湖泊水位变化不大;丰水期,三口分流量减少在一定程度上造成湖泊水位降低,湖泊偏干;退水期,三口分流量减小叠加城陵矶出口长江水位下降对洞庭湖产生拉空作用,湖泊水位被拉低.

5 参考文献

[1] 姜加虎,黄 群. 洞庭湖近几十年来湖盆变化及冲淤特征. 湖泊科学,2004,**16**(3):209-214. DOI 10.18307/2004.0303.

[2] Du Y, Xue HP, Wu SJ *et al*. Lake area changes in the middle Yangtze region of China over the 20th century. *Journal of Environmental Management*, 2011,**92**:1248-1255.

[3] 姜加虎,黄 群. 洞庭湖区退田还湖的洪水效应模拟. 自然灾害学报,2004,**16**(4):325-330.

[4] Jiang JH, Lai XJ, Huang Q. The characteristics of flood responses to the restoration of polders on Lake Dongting, China. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 2007,**52**(4):671-685.

[5] Nakayama T, Watanabe M. Role of flood storage ability of lakes in the Changjiang River catchment. *Global and Planetary Change*, 2008,**63**:9-22.

[6] 万荣荣,杨桂山,王晓龙等. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展. 湖泊科学,2014,**26**(1):1-8. DOI 10.18307/2014.0101.

[7] 许全喜,胡功宇,袁 晶. 近50年来荆江三口分流分沙变化研究. 泥沙研究,2009,(5):1-8.

[8] 李 晖,尹 辉,白 旸等. 近60年洞庭湖区水沙演变特征及趋势预测. 水土保持研究,2013,**20**(3):139-142.

[9] 卢金友. 荆江三口分流分沙变化规律研究. 泥沙研究,1996,(4):54-61.

[10] 卢金友,罗恒凯. 长江与洞庭湖关系变化初步分析. 人民长江,1999,**30**(4):24-26.

[11] 姜加虎,黄 群. 三峡工程对洞庭湖水位影响研究. 长江流域资源与环境,1996,**5**(4):367-374.

[12] 李景保,常 疆,吕殿青等. 三峡水库调度运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应. 地理学报,2009,**64**(11):1342-1352.

[13] 黄 群,孙占东,姜加虎. 三峡工程运行对洞庭湖水位影响分析. 湖泊科学,2012,**23**(3):424-428. DOI 10.18307/2012.0312.

[14] Sun ZD, Huang Q, Christian O *et al*. Impacts and implications of major changes caused by the Three Gorges Dam in the middle reaches of the Yangtze River, China. *Water Resource Management*, 2012,**26**:3367-3378.

[15] 赖锡军,姜加虎,黄 群. 三峡工程蓄水对洞庭湖水情的影响格局及其作用机制. 湖泊科学,2012,**24**(2):178-184. DOI 10.18307/2012.0212.

[16] 李义天,孙昭华,邓金运. 洞庭湖临界入湖洪量变化及对防洪的影响. 安全与环境学报,2001,**1**(1):13-18.

[17] 赵军凯,李九发,戴志军等. 长江宜昌站径流变化过程分析. 资源科学,2012,**34**(12):2306-2315.

[18] 杨桂山. 长江水问题基本态势及其形成原因与防控策略. 长江流域资源与环境,2012,**21**(7):821-830.

[19] 李正最,谢悦波,徐冬梅. 洞庭湖水沙变化分析及影响初探. 水文,2011,**31**(1):45-53.

[20] 赵军凯,李九发,蒋陈娟等. 长江中下游河湖水量交换过程. 水科学进展,2013,**24**(6):759-770.

[21] 李景保,周永强,欧朝敏等. 洞庭湖与长江水体交换能力演变及对三峡水库运行的响应. 地理学报,2013,**68**(1):108-117.

[22] John D. Lenters. Long-term trends in the seasonal cycle of great lakes water levels. *Journal of Great Lakes Research*, 2001,**27**(3):342-353.

[23] Coops H, Beklioglu M, Crisman TL. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems-workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 2003,**506**:23-27.

[24] 覃红燕,谢永宏,邹冬生. 湖南四水入洞庭湖水沙演变及成因分析. 地理科学,2012,**32**(5):609-615.

[25] 尹 辉,杨 波,蒋忠诚等. 近60年洞庭湖泊形态与水沙过程的互动响应. 地理研究,2012,**31**(3):471-483.

[26] 胡光伟,毛德华,李正最等. 60年来洞庭湖区进出湖径流特征分析. 地理科学,2014,**34**(1):89-96.

[27] 杨桂山,马超德,常思勇. 长江保护与发展报告2009. 武汉:长江出版社,2009.

[28] 杨桂山,朱春全,蒋志刚. 长江保护与发展报告2011. 武汉:长江出版社,2012.