

# 水利工程兴建后洞庭湖径流与泥沙的变化

林承坤 高锡珍

(南京大学大地海洋科学系, 南京 210008)

**提要** 本文根据1951—1988年洞庭湖及其入湖河流的水文泥沙资料,研究大型水利工程兴建后洞庭湖径流与泥沙的变化。研究表明,近40年来洞庭湖的径流量减少了29.2%,输沙量减少了48.7%。引起水沙变化的主要原因是荆江四口分流河床的淤积,使荆江入湖的径流量与输沙量减少。1966—1972年下荆江三个弯道裁弯取直,使荆江河床下切,导致荆江及其分流水位的下降,也促使荆江分流的流量与输沙量的减少。40年来洞庭湖水沙变化的趋势对洞庭湖、江汉平原与长江中下游的防洪较为有利。

**关键词** 洞庭湖 径流量 输沙量 水利工程

## 1 洞庭湖水沙变化的分期

洞庭湖跨湘鄂两省,湖泊面积 $2691\text{ km}^2$ ,共道 $1013\text{ km}^2$ ,容积 $174\times 10^8\text{ m}^3$ <sup>[1]</sup>,承纳了湘、资、沅、澧四水和松滋、虎渡、藕池、调弦四口(1959年调弦口筑坝后断流)的来水。洞庭湖容蓄了四水与三(四)口的径流,经城陵矶七里山汇入长江。其入湖河流如图1所示。

洞庭湖及其入湖河流自1951年以来均有长系列的水文与泥沙测验资料,为研究近40年来洞庭湖水沙的特性与变化创造了十分有利的条件。但自1959年以来,荆江与四口分流、长江中游、四水均兴建了大型水利工程,例如调弦口筑坝、下荆江人工裁弯工程、资水柘溪水库、沅江凤滩水库、长江中游葛洲坝水利枢纽等。这些工程的兴建对入湖水沙变化有不同程度的影响。为了研究这些工程对洞庭湖水沙变化的影响,根据工程兴建的时间,将洞庭湖的水沙变化分为五个时期:

(1)第Ⅰ期(1951—1958年) 除荆江分洪工程外,在荆江、四口、四水均未兴建大型水利工程。而荆江分洪工程只在1954年洪水起用过,对本期水沙影响不大,因此这时期荆江、四口、四水与洞庭湖的水沙及其过程均处在天然状态下。

(2)第Ⅱ期(1959—1965年) 因在调弦口分流进口处筑坝,分流口门被泥沙淤积,使该分流断流。从此荆江由四口分流变为三口分流。

(3)第Ⅲ期(1966—1972年) 1966年与1969年分别在下荆江中洲子与上车弯进行了人工裁弯,1972年在下荆江沙滩子发生了自然裁弯,从而改变了荆江及其分流的径流与输沙量。

(4)第Ⅳ期(1973—1980年) 是下荆江裁弯后荆江及其分流河势调整时期,此外在资

• 国家自然科学基金资助项目(49271010)。

收稿日期:1992年6月20日;接收日期:1992年9月20日。

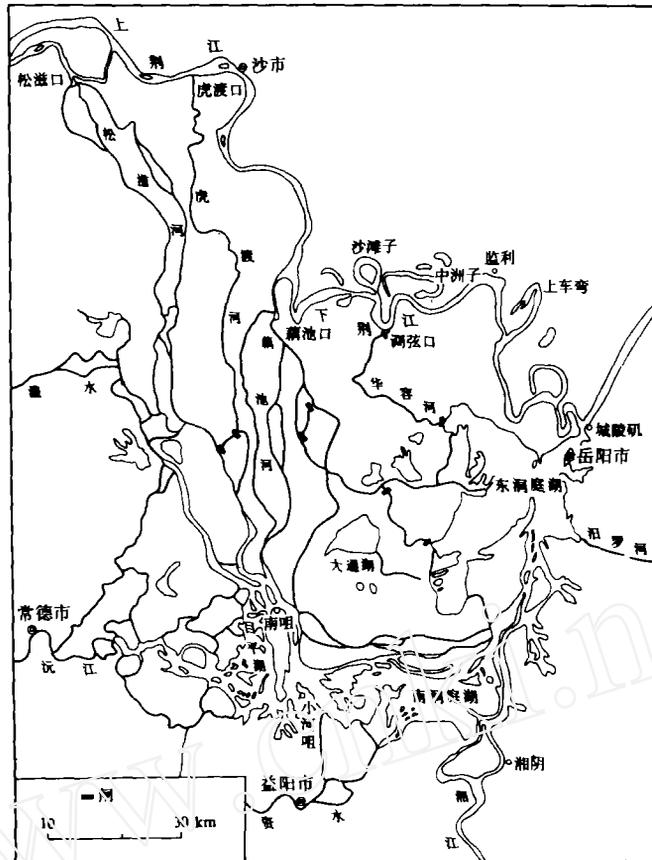


图1 洞庭湖水系图

Fig. 1 Water system of Dongting Lake

水兴建大型水库——柘溪水库,从而影响到三口与四水的径流与输沙量。

(5)第V期(1981—1988年)在长江宜昌葛洲坝水利枢纽截流蓄水,在沅江兴建了大型水库——凤滩水库,从而影响到荆江与四水的径流与输沙量。

通过对1951—1988年间洞庭湖及其入湖河流的径流量与输沙量资料的分析,统计出各时期的年平均径流量与输沙量,研究大型水利工程兴建后洞庭湖水沙的变化;并通过相邻两期径流量与输沙量的比较,研究洞庭湖的水沙变化趋势。

## 2 洞庭湖的径流与泥沙特性的分析

### 2.1 径流特性

洞庭湖多年平均径流量为  $3019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,其中来自四水的径流量占 54.6%,来自荆江分流的占 37.1%,来自区间的只占 8.3%,所以洞庭湖的径流主要来源于四水。在四水径流量中以沅江、湘江为最大,分别占四水径流量的 38.9%和 38.6%,其次是资水,占 13.4%,澧水最少,仅占 9.1%。在三口径流量中,以松滋口分流为最大,占 44.5%,藕池口

分流次之,占37.8%,太平口(虎渡口)分流为最少,仅占17.7%。荆江的径流通过三口流入洞庭湖,三口分泄的径流量,占荆江(枝江站)总径流量的24.4%(表1)。

## 2.2 泥沙特性

洞庭湖多年平均的入湖沙量为  $193 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,其中来自三口分流的沙量为  $158.8 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,占82.3%;来自四水的沙量为  $34.2 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,只占17.7%。由此可见洞庭湖大多数泥沙来源于三口,而三口的泥沙以藕池口为最多,占三口入湖沙量的47.4%,松滋口与太平口(虎渡口)分别占37.3%和15.3%。三口的泥沙占荆江(枝江站)年平均沙量的30.2%。若将三口沙量分布情况与径流相比,可以看出两者有较大的差异。四水的泥沙以沅江为最大,占四水入湖量的38.9%,湘、澧、资等河分别占33.9%、21.3%和5.9%(表2)。将其同相应径流分布情况相比则差异不大。

洞庭湖泥沙自城陵矶输入长江,多年平均出湖沙量为  $49.6 \times 10^6 \text{ t/a}$ 。若称输出湖的沙量占全湖总沙量的百分数为湖泊的输沙比,则洞庭湖的输沙比为25.7%,也就是说洞庭湖输出的泥沙只占入湖总沙量的1/4左右。

根据沙量平衡原理,由表2计算出洞庭湖多年平均淤积量为  $143.4 \times 10^6 \text{ t/a}$  ( $102.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ ),洞庭湖的湖泊与洪道面积为  $3704 \text{ km}^2$ ,所以平均淤积率为  $0.028 \text{ m/a}$ 。若称淤积量占全湖总沙量的百分数为湖泊的沉积比,则洞庭湖的沉积比达74.3%,也就是说入湖泥沙约有3/4沉积在湖内。

表1 洞庭湖及其入湖河流的径流量  
Tab.1 Runoff volume of Dongting Lake and its inlet rivers

河流名称	径流量 ( $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ )	占全湖 百分比(%)	占枝江站 百分比(%)
三口	1119	37.1	24.4
松滋	498		
虎渡	198		
藕池	423		
四水	1648	54.6	
湘江	636		
资水	221		
沅江	641		
澧水	150		
区 间	252	8.3	
总 计	3019	100	

\* 荆江(枝江站)年径流量为  $4593 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表2 洞庭湖及其入湖河流的输沙量  
Tab.2 Sediment load of Dongting Lake and its inlet rivers

河流名称	入湖输沙量		出湖输沙量		全湖泥沙淤积	
	总量 ( $10^6 \text{ t/a}$ )	百分比 (%)	总量 ( $10^6 \text{ t/a}$ )	输沙比 (%)	总量 ( $10^6 \text{ t/a}$ )	淤积比 (%)
三口	158.8	82.3				
松滋	59.2					
虎渡	24.3					
藕池	75.3					
四水	34.2	17.7				
湘江	11.6					
资水	2.0					
沅江	13.3					
澧水	7.3					
总 计	193	100	49.6	25.7	143.4	74.3

\* 荆江(枝江站)年输沙量为  $526.57 \times 10^6 \text{ t}$ 。

## 3 大型水利工程兴建后洞庭湖水沙的变化

根据1951—1988年的水沙资料,采用上述分期,分别统计出荆江、三(四)口、四水与洞

洞庭湖的径流量、输沙量,并采用沙量平衡原理,计算出洞庭湖各期的淤积量。通过与荆江各期径流量、输沙量和淤积量的比较,定量分析洞庭湖径流、泥沙与淤积的变化(表 3)。

表 3 洞庭湖及其入湖河流径流量与输沙量的变化<sup>1)</sup>

Tab. 3 Changes of runoff volume and sediment load in Dongting Lake and its four inlet rivers

地点	径流与泥沙	单位	1951—1958年 (第Ⅰ期)	1959—1965年 (第Ⅱ期)	1966—1972年 (第Ⅲ期)	1973—1980年 (第Ⅳ期)	1981—1988年 (第Ⅴ期)
荆江 <sup>2)</sup>	径流量 (增减量)	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a	4669	4609 (-60)	4312 (-297)	4441 (+129)	4511 (+70)
	输沙量 (增减量)	10 <sup>6</sup> t/a	541.0	520.0 (-21.0)	503.3 (-16.7)	513.0 (+9.7)	586.0 (+73.0)
三(四)口	径流量 (增减量)	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a	1616	1364 (-252)	1041 (-323)	834 (-207)	772 (-62)
	输沙量 (增减量)	10 <sup>6</sup> t/a	230.64	190.56 (-40.08)	138.60 (-51.96)	110.76 (-27.84)	115.71 (+4.95)
四水	径流量 (增减量)	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a	1743	1571 (-172)	1668 (+97)	1701 (+33)	1545 (-156)
	输沙量 (增减量)	10 <sup>6</sup> t/a	42.35	29.02 (-13.33)	33.36 (+9.04)	36.56 (+3.20)	24.37 (-12.29)
区间	径流量 (增减量)	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a	264	223 (-61)	228 (+5)	255 (+27)	261 (+6)
入湖	径流量 (增减量)	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a	3643	3158 (-485)	2973 (-185)	2790 (-183)	2578 (-212)
	输沙量 (增减量)	10 <sup>6</sup> t/a	272.81	219.58 (-53.23)	187.06 (-32.52)	147.42 (-39.64)	140.08 (-7.34)
出湖	径流量 (增减量)	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a	3626	3160 (-466)	2937 (-223)	2789 (-148)	2582 (-207)
	输沙量 (增减量)	10 <sup>6</sup> t/a	67.16	58.67 (-8.49)	51.27 (-7.40)	41.40 (-9.87)	32.70 (-8.70)
	输沙比	%	24.6	26.7	27.4	26.4	23.3
洞庭湖 <sup>3)</sup>	淤积量 (增减量)	10 <sup>6</sup> t/a	205.65	161.99 (-43.66)	135.79 (-26.2)	109.03 (-26.76)	107.38 (+1.65)
	累积淤积量	10 <sup>8</sup> t	16.452	27.7913	37.2966	46.0190	54.6094

1) 表中“+”表示径流量、输沙量或淤积量的增加,“-”表示径流量、输沙量或淤积量的减少;

2) 指枝江站; 3) 指七里山站。

### 3.1 入湖河流水沙的变化

3.1.1 荆江水沙变化不大 以枝江水文站代表荆江未分流时的径流量与输沙量,从该站不同时期水沙资料的比较结果中获悉,第Ⅰ至第Ⅲ期水沙递减,第Ⅳ至第Ⅴ期水沙递增。水沙变化过程相同,但变化的幅度不尽相同。径流量增加最多的是第Ⅳ期,减少最多的是第Ⅲ期,分别相当于所在期年均径流量的 2.9% 和 6.9%。输沙量增加与减少最多的分别是第Ⅴ期

与第Ⅱ期,分别相当于所在期年均输沙量的 12.5%和 4.0%。由此可见除第Ⅴ期的输沙量略偏大外,40年来荆江的水沙变化不大。第Ⅴ期径流量增加量只相当于该期年均径流量的 1.55%,说明该期输沙量的增加并非流量增加所致。输沙量增加的主要原因是葛洲坝截流蓄水后,引起坝下游河床的冲刷。1981年与 1987年长江宜昌河段流量为  $5000 \text{ m}^3/\text{s}$  时,水位下降了  $0.56 \text{ m}$ <sup>[2]</sup>,说明河床下切了  $0.56 \text{ m}$ ,冲刷下来的泥沙,补给荆江,使其输沙量增加。

3.1.2 三(四)口的水沙明显减少 水沙变化逐期递减,第Ⅴ期与第Ⅰ期相比较,径流量减少了 52.2%,输沙量减少了 49.8%。水沙减少量均以第Ⅲ期为最大,分别相当于该期年均径流量与输沙量的 31.0%和 37.5%。第Ⅲ期水沙减少的主要原因是该期下荆江发生了三次弯道裁弯取直,使荆江比降增大,流速增加,导致河床下切  $0.93 \text{ m}$ <sup>[3]</sup>,使荆江与三口水位下降,三口分流的过水断面随之减小,造成三口径流量与输沙量的减少。第Ⅲ期水沙减少量仅次于第Ⅲ期,分别相当于该期年均径流量与输沙量的 18.5%和 21.2%,主要原因是调弦口筑坝断流。据统计,调弦口筑坝前的径流量为  $39.428 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,输沙量为  $4.88 \times 10^6 \text{ t/a}$ ,分别占四口水、沙的 2.4%和 2.1%<sup>[4]</sup>。第Ⅳ、Ⅴ期水沙减少量分别列第 4、5 位。第Ⅳ期处在裁弯后荆江及其分流河势调整阶段,经过第Ⅳ期河势的调整,荆江与三口河床开始趋向稳定,所以第Ⅴ期的水沙减少量均较小,分别相当于同期年均水、沙的 8%和 4.2%。

3.1.3 四水径流量变化小,输沙量变化大 径流变化以第Ⅲ期最大,径流减少量相当于该期年均径流量的 11%;第Ⅳ期变化最小,径流增加量只占该期的 2%,由此可见径流变幅不大。但四水的输沙量变化幅度较大,第Ⅴ期与第Ⅰ期相比,输沙量减少了 42.5%。第Ⅴ期输沙减少量相当于该期年均输沙量的 50.4%,是四水输沙量变化最大的时期。水沙变化过程是第Ⅰ期至第Ⅲ期水沙减少,第Ⅲ期至第Ⅳ期水沙增加,在第Ⅲ期以后,径流量是第Ⅳ期增加,第Ⅴ期减少;而输沙量第Ⅳ、Ⅴ两期均减少。造成四水的输沙量及其过程变化较大的原因是第Ⅳ、Ⅴ期在资水和沅江分别建成柘溪、凤滩两座大型水库,其拦沙作用,不仅使四水输沙量减少,而且还改变了四水的输沙过程。

### 3.2 洞庭湖水沙的变化

3.2.1 入湖水沙逐期减少 第Ⅴ期同第Ⅰ期相比,入湖水沙分别减少了 29.3%和 48.7%。入湖径流量的变化以第Ⅲ期为最大,第Ⅳ期最小,分别相当于同期年均径流量的 15.4%和 6.6%。第Ⅲ期径流量变化的主要原因是调弦口筑坝断流,使入湖径流减少。第Ⅳ期处在荆江裁弯后河床调整时期,三口河床趋向稳定,径流变化减少并趋向稳定。入湖输沙量逐期减少,在第Ⅱ、Ⅳ期较接近,但因各期年均输沙量的不同,第Ⅱ、Ⅳ两期输沙减少量分别相当于同期年均输沙量为 24.2%和 26.9%,故以第Ⅳ期输沙量变化最大;第Ⅴ期变化最小,输沙减少量只相当于该期年均输沙量的 5.2%。从表 3 获悉,入湖输沙量的变化过程同三(四)口基本一致,说明入湖输沙量的变化主要受三(四)口控制,所以调弦口筑坝与下荆江裁弯是入湖输沙量变化的主要原因。

3.2.2 出湖水沙逐期递减 第Ⅴ期同第Ⅰ期相比,出湖水沙分别减少了 28.8%和 51.3%,出湖径流量的变化以第Ⅲ期为最大,第Ⅳ期最小,径流减少量分别相当于同期年均径流量的 14.7%和 5.3%。同入湖径流量变化相比较可以看出,出湖与入湖的径流量变化是一致的,说明出湖径流量的变化也是受三(四)口的控制,调弦口筑坝断流与下荆江裁弯是造成出湖径流量变化的主要原因。出湖输沙减少量第Ⅳ期与第Ⅴ期较为接近,但因各期年均

输沙量不同,第Ⅳ、Ⅴ两期输沙减少量分别相当于同期年均输沙量的 23.8% 和 26.6%,以第Ⅴ期输沙量变化最大。出湖输沙量以第Ⅲ期变化最小,输沙减少量相当于该期年均输沙量的 14.4%。若称输出洞庭湖的沙量占全湖来沙量的百分数为该湖的输沙比,则输沙比以第Ⅲ期为最大,达 27.4%,第Ⅴ期最小,只有 23.3%(表 3)。主要原因同入湖河流的输沙量及其泥沙的粒径有密切关系。有关研究表明<sup>[4]</sup>,入湖泥沙中值粒径三口为 0.030—0.039 mm,四水为 0.004—0.021 mm,三口的沙粒比四水粗。第Ⅲ期因受下荆江裁弯的影响,使三口入湖泥沙减少,导致入湖较粗泥沙数量减少,较细泥沙则相对增加,由于细沙比粗沙较易输移,导致第Ⅲ期洞庭湖泥沙输沙比增大。三口河床在下荆江裁弯后,经第Ⅳ期的河势调整,至第Ⅴ期河床已趋稳定。但在第Ⅳ与第Ⅴ两期,因四水大型水库的兴建导致入湖较细泥沙的数量相对减少,使输沙比相应减少。

3.2.3 入湖与出湖的径流量基本平衡而输沙量却不平衡 从表 3 中知,洞庭湖出湖径流量( $R_{出}$ )与入湖径流量( $R_{入}$ )之比为 0.9992,说明洞庭湖出、入径流量基本平衡。但出湖输沙量( $S_{出}$ )与入湖输沙量( $S_{入}$ )之比为 0.2570,两者相差很大,说明洞庭湖出、入输沙量是不平衡的,只有 25.7% 的泥沙输出湖外,大部分泥沙在湖内沉积。1951—1988 年洞庭湖淤积淤积量达  $54.6094 \times 10^8 \text{ t}$  ( $39.0067 \times 10^8 \text{ m}^3$ ),使洞庭湖及其洪道在此期间平均淤高 1.053 m。但自 1959 年以来,因受各种大型水利工程的影响,各期入湖输沙量逐期递减,同时各期出湖输沙比增加。根据表 3 资料,计算出 1959—1988 年间洞庭湖的入湖沙量共减少  $9.7609 \times 10^8 \text{ t}$  ( $6.972 \times 10^8 \text{ m}^3$ ),相应期间洞庭湖多输出的泥沙为  $0.4308 \times 10^8 \text{ t}$  (或  $0.3077 \times 10^8 \text{ m}^3$ )。由此可见,因受水利工程影响,在 30 年间洞庭湖少淤积的泥沙累计达  $7.2798 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,使洞庭湖及其洪道平均少淤了 0.259 m。

## 4 结 语

(1) 洞庭湖以泥沙淤积量大、河湖演变迅速、洪涝灾害频繁著称而引起人们的关注。对洞庭湖的地质<sup>[5]</sup>、地貌<sup>[6]</sup>、水文<sup>[4]</sup>、泥沙<sup>[7]</sup>、湖泊演变<sup>[8]</sup>、自然灾害<sup>[9]</sup>等方面,前人均做了深入的研究,唯在水利工程兴建后对洞庭湖水沙变化影响的研究甚少,本文的研究填补了洞庭湖这方面研究的空白。

(2) 根据近 40 年来水沙资料的统计,洞庭湖入湖径流量为  $3019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,其中 54.6% 来自四水,37.1% 来自三口,8.3% 来自湖区区间。三口分泄荆江的径流量占荆江总径流量的 24.4%。洞庭湖入湖沙量为  $193 \times 10^8 \text{ t/a}$ ,其中 82.3% 来自三口,17.7% 来自四水。三口分泄荆江的沙量占荆江总沙量的 30.2%。

(3) 近 40 年来洞庭湖的水沙均呈递减的变化趋势,第Ⅰ期(1951—1958 年)与第Ⅴ期(1981—1988 年)相比径流量减少了 29.2%,输沙量减少了 48.7%。引起水沙变化的主要原因是荆江分流河床的淤积和荆江裁弯等大型水库工程的影响。

(4) 1959 年以来因受各种大型水利工程的影响洞庭湖累计少淤的泥沙达  $7.2798 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,使洞庭湖及其洪道平均少淤了 0.259 m。

致谢:湖南省水利厅洞工局周松鹤局长为本文提出了宝贵修改意见,为此深表感谢。

## 参 考 文 献

- 1 中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室.中国地理信息系统检索地图集(第2卷).北京:科学出版社,1990.
- 2 水利水电科学研究院.长江中游宜昌至武汉河道考察报告,见:长江三峡工程泥沙研究文集.北京:中国科学技术出版社,1990.
- 3 潘庆棠等.长江中游段人工裁弯河道演变的演变.中国科学,1978,(2).
- 4 林承坤.洞庭湖水沙特性与湖泊沉积.地理科学,1987,7(1).
- 5 黄第藩等.长江下游三大淡水湖的湖泊地质及其形成与发展.海洋与湖沼,1965,7(4).
- 6 阎国年.长江中游湖盆扇三角洲的形成与演变及地貌的再现与模拟,北京:测绘出版社,1991.
- 7 周松鹤.洞庭湖泥沙淤积的分析.泥沙研究,1985,(2).
- 8 张修柱.洞庭湖演变的历史过程.历史地理,1982,创刊号.
- 9 林承坤.洞庭湖的演变与治理(下).地理学与国土研究,1986,2(1).

## EFFECT OF WATER CONSERVANCY PROJECT ON THE CHANGES OF RUNOFF AND SEDIMENT IN DONGTING LAKE

Lin Chengkun Gao Xizhen

(Department of Geo and Ocean Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

### Abstract

Hydrological data from 1951 to 1988 show that the average runoff of Dongting Lake was  $3019 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , of which 54.6 % came from four inlet rivers (Xiangjiang River, Zishui River, Yuanjiang River and Lishui River), 37.1 % from three diversion waterways (Ouchi Waterway, Songzi Waterway and Hudu Waterway) of the Jingjiang River and the rest 8.3 % from other sources. The average sediment load transported into Dongting Lake was  $193 \times 10^6 \text{ t/a}$ , of which 82.3 % came from three diversion waterways and 17.7 % from four inlet rivers. From 1951—1958 to 1981—1988, the runoff volume and sediment load of Dongting Lake were decreased by 29.2 % and 48.7 % respectively as a result of the follows: (1) the deposition of three diversion waterways of the Jingjiang River; (2) curve cut-off in the lower reaches of the Jingjiang River. The decreases in runoff and sediment of Dongting Lake have favorable effects on the flood control at Dongting Lake, Jiangnan Plain and the middle reaches of the Changjiang River.

**Key Words** Dongting Lake, runoff volume, sediment load, water conservancy project