

# 人类活动对长江泥沙特性的影响

李琼芳 邹振华 郭 瑾 夏自强 马 颖

( 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 )

**摘要** 随着长江流域水资源开发利用程度的提高,长江泥沙特性在一定程度上也发生了变化.为分析水资源开发利用对长江泥沙特性的影响,以长江万县、宜昌、汉口、大通、白河、仙桃 6 个水文站为研究对象,以丹江口、葛洲坝及三峡水库关闸蓄水时间划分研究阶段,利用各站近 50 a 的日含沙量资料对比分析了各研究阶段长江年、汛期、非汛期、月输沙量变化特性.结果表明,不同历时的输沙量均呈显著减少趋势.该研究成果为评价人类活动对长江生态系统健康与稳定性的影响提供了参考.

**关键词** 长江 输沙量 丹江口水库 葛洲坝水库 三峡水库

**中图分类号** :TV213.2      **文献标识码** :A      **文章编号** :1000-1980( 2007 )04-0364-05

长江是我国第一大河流,其输沙量居世界第 4 位<sup>[1]</sup>.由长江泥沙塑造的河口三角洲不仅在我国经济发展中占有重要地位,而且在世界范围内具有独特的学术价值<sup>[2]</sup>.1912 年以后,长江上游森林植被开始遭到严重破坏.1949 以后,天然森林的砍伐进一步加剧.从 20 世纪 60 年代开始,长江流域大量修建水库.这些人类活动都在一定程度上改变了长江的泥沙特性.由于泥沙在改造河流形态以及维护河流地貌环境、生态系统健康等方面具有不可忽视的作用,泥沙特性的改变会使流域生态系统受到影响,如生物多样性下降、一些重要的生物物种受到胁迫、生态系统服务功能减弱等<sup>[3]</sup>.这种变化环境下的水文循环及其时空演化规律是当前水文研究领域的热点之一<sup>[4]</sup>.

为了评价水利工程对河流泥沙特性的影响,本文利用长系列日流量资料和日含沙量资料,按丹江口、葛洲坝和三峡水库关闸蓄水时间,分阶段对比分析了长江万县、宜昌、汉口、大通、白河、仙桃 6 个水文站年、汛期、非汛期及月输沙量的变化特性.

## 1 研究水文站点概况

宜昌水文站位于长江上游与中游的交界处,它完整地控制了长江上游 100.6 万 km<sup>2</sup> 的广大地区,约一半的河流水量来源于该站以上区域.宜昌上游约 44 km 处修建了全世界最大的水电站——三峡水电站,上游 6 km 处修建了葛洲坝水电站.这两个重要的水利工程都建成于 20 世纪 80 年代以后.万县水文站位于三峡上游,距三峡水库坝址 277 km.汉口站位于长江中游,控制流域面积 148.8 万 km<sup>2</sup>,其上游有长江最大的支流——汉江汇入.汉江中游建有库容仅次于三峡的丹江口水电站,丹江口水库也是南水北调中线工程的取水源.白河和仙桃水文站位于汉江上,白河为丹江口水库的入库站,仙桃为汉江上的最后一个控制站.大通站位于长江河口潮区界附近,该站控制流域面积 170.548 万 km<sup>2</sup>,此流域面积占长江流域面积的 94.7%.大通站距长江入海口约 620 km,是长江入海水沙的参考站,其泥沙特性的变化对长江河口演变的影响较大.

## 2 研究方法

### 2.1 资料的选用及研究阶段的划分

本文选用了宜昌站 1950~2005 年、汉口站 1954~2004 年、大通站 1953~2004 年、万县站 1969~1986 年、白河站 1955~1986 年以及仙桃站 1955~1987 年的日流量资料和日含沙量资料.为了分析丹江口、葛洲坝和三峡 3 个大型水利工程的修建对长江中下游输沙特性的影响,以 3 个水库关闸蓄水的时间点为分界点对研

收稿日期 2006-10-09

基金项目 国家自然科学基金重点资助项目( 30490235 ) 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目( B06041 ) 江苏省“青蓝工程”项目

作者简介 李琼芳( 1966—),女,湖北武汉人,教授,博士,主要从事水文水资源方面的研究.

究时段进行了划分(表 1).需要指出的是,丹江口的修建不会对宜昌站产生影响,但为了对比分析不同站在相同时段的泥沙变化规律,各站采用了相同的研究时段划分方法.本文规定 5~10 月为汛期,11 月至次年 4 月为非汛期<sup>[5]</sup>.

表 1  研究时段的划分  
Table 1  Division of study periods

| 测站 | 第 1 时段      | 第 2 时段      | 第 3 时段                  | 第 4 时段      |
|----|-------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 宜昌 | 1955~1966 年 | 1967~1980 年 | 1981~1986 年,1981~2002 年 | 2003~2004 年 |
| 汉口 | 1955~1966 年 | 1967~1980 年 | 1981~1986 年,1981~2002 年 | 2003~2004 年 |
| 大通 | 1955~1966 年 | 1967~1980 年 | 1981~1986 年,1981~2002 年 | 2003~2004 年 |
| 万县 |             | 1969~1980 年 | 1981~1986 年             |             |
| 白河 | 1955~1966 年 | 1967~1980 年 | 1981~1986 年             |             |
| 仙桃 | 1955~1966 年 | 1967~1980 年 | 1981~1986 年             |             |

2.2 分析方法

利用日输沙量资料,计算并分析不同研究时段内年、汛期、非汛期输沙量及其变化趋势以及输沙量年内分配的变化情况,计算并比较 3 处水利工程建设坝前后多年平均月输沙量及其所占比例的变化特性.

3 成果与分析

3.1 年输沙量变化趋势分析

由万县、宜昌、汉口和大通站年输沙量过程线(图 1)可以看出:各站年输沙量的变化趋势基本一致,且上游各站的年输沙量明显较中下游站的大,这表明中下游的沙量与上游沙量密切相关且主要来源于上游,各站年输沙量的变化基本与年径流变化相对应.由于宜昌至汉口以及汉口至大通之间河道的调节作用,汉口、大通的年输沙量过程较宜昌和万县平稳.近年来,由于长江流域大量修建水库,而水库具有拦沙作用,各站年输沙量过程均呈显著减小趋势(图 1).分析结果表明,葛洲坝水库的拦沙作用除了在关闸蓄水的 1981 年较明显外,其他年份拦沙作用不明显.由于葛洲坝水库的库容相对较小,对泥沙的拦截作用不大,像葛洲坝这样小库容的径流式低坝,对下游泥沙特性的影响有限.

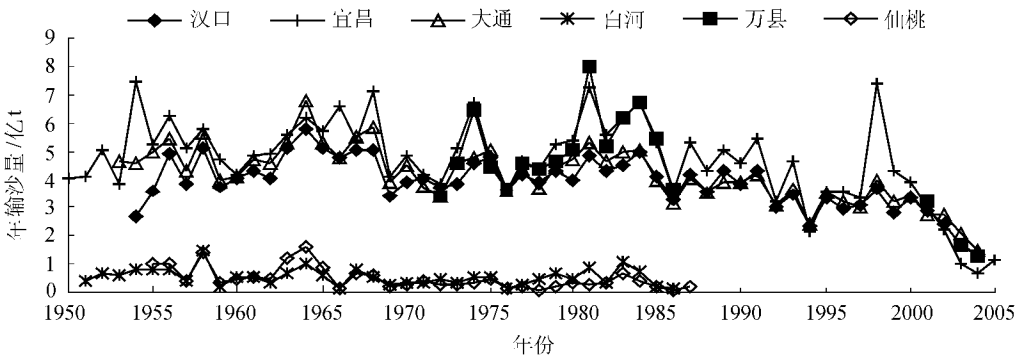


图 1  各站年输沙量变化过程

Fig.1  Variation of annual sediment load at each hydrological station

从仙桃和白河站的年输沙量过程线(图 1)可以看出:在丹江口水库蓄水前后年输沙量变化十分明显;1967 年以前,仙桃的年输沙量明显高于白河站,而在 1967 年以后,其值明显小于白河站,这表明丹江口水库对汉江泥沙的拦截作用显著.由于汉口站年输沙量变化受到宜昌上游、汉江以及宜昌至汉口段区间来沙的共同作用,仙桃站年输沙量的减小、中游干流河床和洞庭湖淤积的加剧<sup>[6]</sup>均会影响汉口站的泥沙变化.由图 1 可以看出,丹江口水库的拦沙作用也导致了大通站年输沙量的减少,而葛洲坝水库的影响则十分有限,因为葛洲坝水库拦沙作用不明显,而且汉口、大通距葛洲坝水库较远.

从 2003 年开始,由于三峡水库关闸蓄水的影响,宜昌、汉口、大通站年输沙量均呈明显的减小趋势,并且影响作用的大小与距三峡水库的远近有关,因此宜昌站的减小趋势最为明显.

3.2 汛期、非汛期输沙量变化趋势分析

各站汛期、非汛期输沙量变化过程如图 2 所示.各阶段输沙量多年平均值及汛期所占比例如表 2 所示.

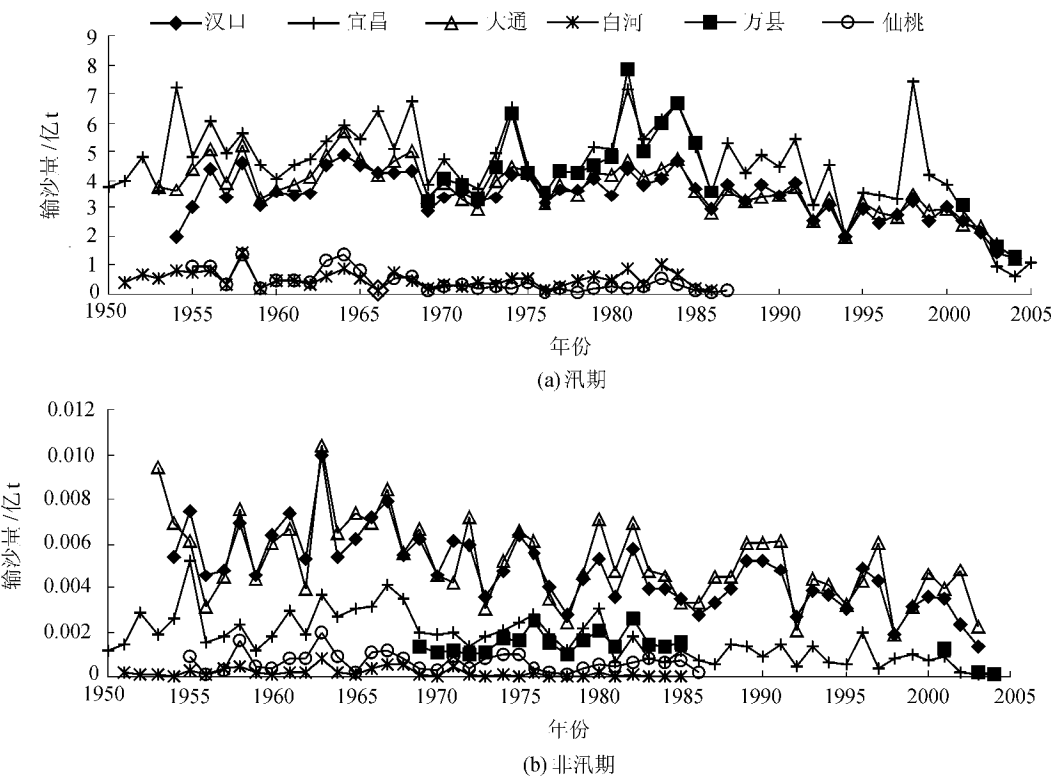


图2 各站汛期及非汛期输沙量变化过程

Fig.2 Variation of sediment load in flood season and non-flood season at each hydrological station

在第2时段,即1969~1980年,宜昌站汛期多年平均输沙量所占比例为95.7%,略低于万县站的96.7%,但在第3时段,即1981~1986年,宜昌站的比例增加到98.1%,略高于万县的97.3%,这是由葛洲坝水库“动水冲沙”运行方式的影响所致.同时,葛洲坝水库对非汛期泥沙的拦截作用较汛期要明显,通过此运行方式可以有效地减少水库坝前的泥沙淤积<sup>[7]</sup>.由于葛洲坝水库的库容相对较小,而泥沙又大都集中在汛期,采用“动水冲沙”运行方式后葛洲坝水库对输沙量季节分配的影响并不明显.2003~2004年,受三峡水库“蓄清排浑”调度方式的影响,宜昌站汛期多年平均输沙量所占比例进一步增加(表2).

由图2可以看出,在丹江口水库关闸蓄水前,仙桃站汛期、非汛期输沙量大都高于白河站,而在丹江口水库关闸蓄水后,仙桃站汛期、非汛期输沙量发生了不同的变化.汛期输沙量急剧减少,普遍小于白河站;非汛期输沙量有所增加,明显高于白河站.受丹江口水库拦沙作用的影响,仙桃站第2时段汛期输沙量所占比例较白河站明显偏小(表2).由于沙量的变化与径流特性密切相关,通常高水即伴随着高沙,丹江口水库的汛期滞洪的调度方式,在大水年发挥防洪作用时,会使泥沙淤积更加显著.汉口站第2时段多年平均汛期输沙量所占比例较前一时段明显增加,但仙桃站该时段汛期所占比例有所减少,同时宜昌站汛期所占比例也无明显变化,这说明汉口站输沙

表2 不同时段输沙量多年平均值及汛期输沙量所占比例

Table 2 Mean annual values of sediment load in different sub-periods and the proportion of sediment load in flood season

| 测站 | 时 段        | 输沙量/亿 t |       |       | 汛期所占<br>比例/% |
|----|------------|---------|-------|-------|--------------|
|    |            | 汛期      | 非汛期   | 年平均   |              |
| 宜昌 | 1955~1966年 | 5.201   | 0.258 | 5.453 | 95.4         |
|    | 1969~1980年 | 4.542   | 0.202 | 4.746 | 95.7         |
|    | 1981~1986年 | 5.684   | 0.099 | 5.792 | 98.1         |
|    | 1981~2002年 | 4.494   | 0.091 | 4.589 | 97.9         |
|    | 2003~2004年 | 0.803   | 0.005 | 0.811 | 99.0         |
| 万县 | 1969~1980年 | 4.247   | 0.145 | 4.392 | 96.7         |
|    | 1981~1986年 | 5.722   | 0.163 | 5.880 | 97.3         |
|    |            |         |       |       |              |
| 汉口 | 1955~1966年 | 3.929   | 0.634 | 4.546 | 86.4         |
|    | 1967~1980年 | 3.660   | 0.522 | 4.192 | 87.3         |
|    | 1981~1986年 | 3.939   | 0.411 | 4.353 | 90.5         |
|    | 1981~2002年 | 3.230   | 0.374 | 3.612 | 89.4         |
|    | 2003~2004年 | 1.350   | 0.137 | 1.508 | 89.5         |
| 白河 | 1955~1966年 | 0.598   | 0.026 | 0.621 | 96.3         |
|    | 1967~1980年 | 0.421   | 0.015 | 0.438 | 96.2         |
|    | 1981~1986年 | 0.544   | 0.002 | 0.548 | 99.3         |
| 仙桃 | 1955~1966年 | 0.718   | 0.078 | 0.790 | 90.9         |
|    | 1967~1980年 | 0.265   | 0.057 | 0.322 | 82.3         |
|    | 1981~1986年 | 0.259   | 0.057 | 0.321 | 80.6         |
|    |            |         |       |       |              |
| 大通 | 1955~1966年 | 4.415   | 0.611 | 5.012 | 88.1         |
|    | 1967~1980年 | 3.919   | 0.537 | 4.455 | 88.0         |
|    | 1981~1986年 | 4.035   | 0.483 | 4.538 | 88.9         |
|    | 1981~2002年 | 3.278   | 0.441 | 3.725 | 88.0         |
|    | 2003~2004年 | 1.458   | 0.226 | 1.764 | 82.6         |

量所占比例较前一时段明显增加,但仙桃站该时段汛期所占比例有所减少,同时宜昌站汛期所占比例也无明显变化,这说明汉口站输沙

量的变化受到宜昌至汉口区间来沙的影响,第 2 时段下荆江裁弯取直后,流量增大使得裁弯后的荆江河道发生冲刷,1980 年后基本达到冲淤平衡<sup>[8]</sup>。另外,20 世纪 70 年代长江上游经历了枯水期,而宜昌至汉口间的流域却在某些年份经历了丰水年,因而导致汉口站与宜昌站汛期沙量所占比例变化有所不同。虽然汉口站在一定程度上受丹江口水库对汉江来沙拦截作用的影响,但由于汉口站的泥沙主要来源于长江上游地区,第 3 时段汉口站与宜昌站汛期输沙量所占比例呈相同变化趋势,均较前一时段有所增加(表 2)。葛洲坝水库在影响宜昌站泥沙季节分配的同时,也在一定程度上影响到了汉口站的泥沙季节分配,但由于汉口站距葛洲坝 632 km,汉口站的影响程度较宜昌站小。在第 4 时段,三峡水库关闸蓄水影响到了汉口站的泥沙季节分配,同样受距离的影响,汉口站距三峡坝址 670 km,与宜昌站相比,其影响较小。大通站距上述 3 处水利工程距离更远,在前 3 个时段,大通站多年平均汛期输沙量所占比例的变化幅度均较汉口站小。在第 4 时段,大通站汛期、非汛期输沙量受三峡水库关闸蓄水的影响,呈明显减少趋势,但其多年平均汛期输沙量所占比例却有所减小,这与支流来沙以及河道调节有一定的关系。

3.3 月输沙量变化过程

丹江口、葛洲坝、三峡水库关闸蓄水前后,白河、仙桃、皇庄(位于丹江口坝址与仙桃之间)和宜昌站的输沙量年内分配如图 3~5 所示。

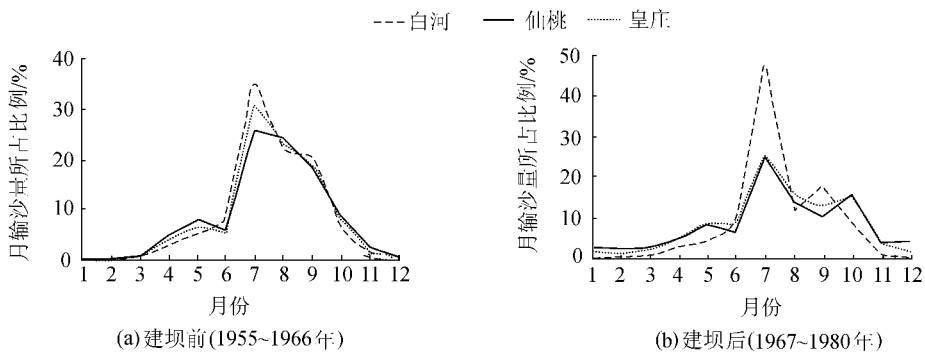


图 3 丹江口水库修建对泥沙年内分配的影响

Fig.3 Impact of Danjiangkou Reservoir on monthly distribution of sediment load

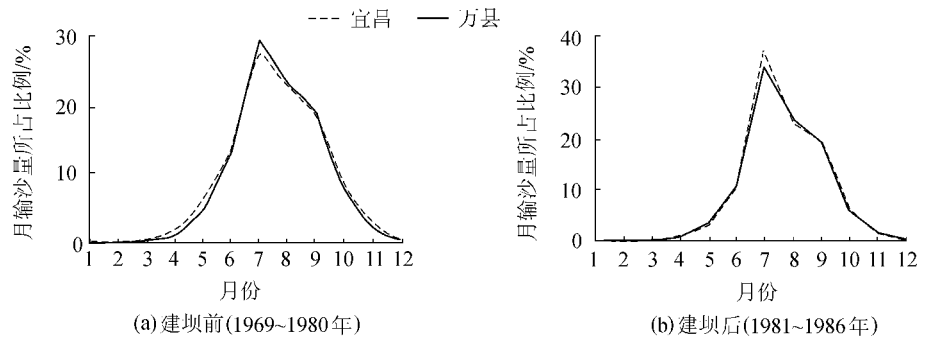


图 4 葛洲坝水库修建对泥沙年内分配的影响

Fig.4 Impact of Gezhouba Reservoir on monthly distribution of sediment load

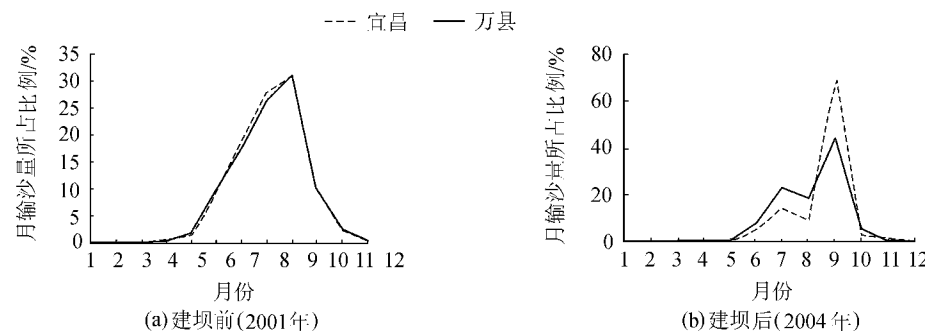


图 5 三峡水库修建对泥沙年内分配的影响

Fig.5 Impact of Three Gorges Reservoir on monthly distribution of sediment load

由图3可以看出,丹江口水库的运行对皇庄和仙桃两站输沙量的年内分配产生了显著的影响,尤其是汛期,挟带大量泥沙的洪水进入库区后,泥沙大量淤积。通过皇庄和仙桃两站泥沙变化的比较可以发现,皇庄站距离丹江口水库较近,它受到的影响也较仙桃站显著。由图4可以看出,葛洲坝水库对其下游泥沙的年内分配产生的影响并不明显。因为葛洲坝水库库容相对较小,为径流式水库,所以其拦沙作用很小。由图5可以看出,三峡水库关闸蓄水后,宜昌站输沙量急剧减少且其年内分配不均。可以预计,随着水库蓄水量的增加,三峡下游泥沙特性将进一步发生变化。

## 4 结 论

本文分析了近年来人类活动尤其是建坝对长江泥沙特性的影响。结果表明,水库对河流泥沙的影响与水库库容大小、水库运行方式以及研究站点与水库距离的远近有关。水库对泥沙的拦截作用、河道湖泊淤积变化以及有效的水土保持使年、汛期、非汛期输沙量过程均呈显著减少趋势,但个别年份极端降雨事件的发生以及下荆江的裁弯取直,造成了沙量的增加。葛洲坝水库的“动水冲沙”以及三峡水库的“蓄清排浑”运行方式改变了泥沙的季节分配和年内分配规律,但丹江口水库汛期滞洪的运行方式对泥沙分配规律的影响恰恰与葛洲坝和三峡水库对泥沙分配规律的影响相反。由于宜昌与大通两站相距近1200 km,其间河段对泥沙起到了一定的调节作用,与宜昌和汉口站相比,大通站泥沙的变化幅度较小。虽然大通的泥沙主要来源于宜昌上游,但经河道调节后,水利工程修建所产生的影响变小。

### 参考文献:

- [1] EISMA D. Intertidal deposits: river mouths, tidal flats and coastal lagoons[M]. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1998: 459.
- [2] 杨世伦, 朱骏, 赵庆英. 长江供沙量减少对水下三角洲发育影响的初步研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(5): 83-90.
- [3] 黄德林, 黄道明. 长江流域水资源开发的生态效应及对策[J]. 水利水电快报, 2005, 26(18): 1-6.
- [4] 夏军, 谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学, 2002, 24(3): 1-7.
- [5] 陈竹青. 长江中下游生态径流过程的分析计算[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [6] 贺松林, 王盼成. 长江大通站水沙过程的基本特征: II 输沙过程分析[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2004, 32(2): 81-86.
- [7] 周建军. 三峡工程上引航道低水位冲沙方案研究: 水库不恒定流分析[J]. 泥沙研究, 1999, 23(2): 1-6.
- [8] 唐日长. 下荆江裁弯对荆江洞庭湖影响分析[J]. 人民长江, 1999, 30(4): 20-23.

## Human-induced alteration in the sediment load of the Yangtze River

LI Qiong-fang, ZOU Zhen-hua, GUO Jin, XIA Zi-qiang, MA Ying

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,  
Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** With the development and utilization of water resources of the Yangtze River, its sediment characteristics have changed to some extent. To assess dam-induced alterations in the sediment load of the Yangtze River quantitatively, the Danjiangkou Reservoir, the Gezhouba Reservoir and the Three Gorges Reservoir were selected as case study sites, and the whole study periods were divided into four sub-periods according to the years when these three reservoirs initially started to store water. On the basis of the time series of daily sediment discharge from six key hydrological stations (Wanxian, Yichang, Hankou, Datong, Baihe and Xiantao) in nearly 50 years, the changes in annual, seasonal and monthly sediment load in different sub-periods were comparatively analyzed. The results revealed that the sediment load of river reaches downstream the reservoirs decreased significantly due to sediment trapping in the reservoirs. This paper could provide reference for the assessment of impacts of human activities on the health and stability of the Yangtze River ecosystem.

**Key words:** the Yangtze River; sediment load; Danjiangkou Reservoir; Gezhouba Reservoir; Three Gorges Reservoir