

# 近 50 年来玛纳斯河泥沙变化及影响因素分析

张宏锋, 欧阳志云, 郑 华

(中国科学院 生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

**摘 要:** 河流泥沙对水利工程具有巨大的危害性, 泥沙淤积直接造成水库和湖泊容积损失, 河道河床抬高, 间接影响防洪、供水、发电、灌溉等效益的正常发挥。分析了玛纳斯河 1960 - 2005 年 40 余年不同季节河流泥沙变化特征, 并分析了影响河流泥沙变化的原因。分析结果表明: 玛纳斯河泥沙年内分布具有极大的集中性, 93 % 的输沙量都集中在夏季 3 个月。玛纳斯河各个季节的泥沙输移量表现为递增的趋势。玛纳斯河肯斯瓦特水文站以上侵蚀发生区侵蚀模数由 20 世纪 60 年代的  $802.78 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  上升到 21 世纪初期的  $2\,056.82 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 比 20 世纪 60 年代上升了 156 %。侵蚀等级由 20 世纪 60 年代的微度上升到 21 世纪初期的轻度。山区日益扩张的放牧活动以及森林采伐行为, 是河流泥沙输沙量增加的驱动因素。输沙量的增加对河流电站和下游平原水库的正常运行造成巨大影响。加强流域管理, 严格限制超载, 禁止采伐天然林, 对山地水源地进行养护, 是控制河流泥沙的重要举措。

**关键词:** 泥沙输沙量; 玛纳斯河; 年内变化; 年际变化; 驱动因素

中图分类号: P332.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0124-04

## Analysis of Sediment Yields and Impact Factors of Manas River in the Last 50 Years

ZHANG Hong-feng, OU YANG Zhi-yun, ZHENG Hua

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Ecological Sciences,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** The sediment of river is harmful to the hydraulic engineering. The sediment deposition directly results in the loss of storage volume of reservoirs and lakes and the rising of riverbed, indirectly influences the normal running of flood control, water supply, electricity generation, irrigation. This paper analyzes the seasonal character of sediment of the Manas River from 1960 to 2005. Furthermore, the factors affecting the change of sediment are explored. The results show that there is a big concentricity in the innerannual distribution of sediment of the Manas River. 93 percent of sediment discharge concentrates in summer. There is an upward trend in the sediment discharge in all seasons. The soil erosion modulus at the erosion region above Kensiwate station is  $802.78 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  in 1960s, while  $2\,056.82 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  in 2000s, increasing by 156 %. The soil erosion class upgrades from slight water erosion in 1960s to light water erosion in 2000s. The increasing grazing and timber fall activities are dominant driving forces of the increasing of sediment discharge. The increasing of sediment discharge has greatly negative influence on the normal operation of electric power plant and plain reservoirs in the lower reaches of the Manas River Watershed. Therefore, conserving the mountain water sources region, limiting the overloading of livestock, and forbidding the natural forest cutting should be adopted.

**Key words:** sediment discharge; Manas River; innerannual changes; interannual changes; driving forces

## 1 引言

河流的含沙量和输沙量是反映一个地方水土流

失的主要指标, 同时河流泥沙也是水资源质量的指标之一。河流泥沙含量增加是水土流失加剧的直接表现。河流泥沙含量增加, 一方面使河流水质变差;

\* 收稿日期: 2008-05-15

基金项目: 十一五国家科技支撑计划课题(2006BAC01A01); 国家自然科学基金委创新研究群体项目(4062061)

作者简介: 张宏锋(1978 - ), 男, 山东文登人, 博士生, 主要从事区域气候变化与生态学研究。E-mail: zhanghf77925@sohu.com

通信作者: 欧阳志云(1962 - ), 男, 湖南人, 博士, 研究员, 从事生态系统评价与规划和生物多样性保护方向的研究。E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

另一方面其携带的泥沙淤积直接造成水库和湖泊容积损失,河道河床(包括渠道)抬高,进而影响防洪、供水、发电、灌溉等效益的正常发挥<sup>[1-4]</sup>。流失的泥沙沉积在中下游的河床和湖泊、水库里,导致汛期水位高,险情多,危害大。目前,全国大中型蓄水工程累计淤积泥沙达  $200 \times 10^8 \text{ t}$  以上。河流中所含的泥沙使中国水库泥沙淤积严重,例如黄河三门峡水库因淤积损失库容 57%,青铜峡水库 78%,大渡河龚嘴水库损失 80%,汾水库 45%,全国水库因淤积总库容损失达 40 %<sup>[5]</sup>。在新疆玛纳斯河流域,由于山区日益扩张的放牧活动以及森林采伐行为,使山区草地、森林的抗侵蚀能力减弱,使侵蚀加剧,致使河流泥沙含量增加。

分析玛纳斯河 1960 - 2005 年 40 余年不同季节河流泥沙变化特征及影响河流泥沙变化的原因,以为玛纳斯河流域水土保持、生态环境建设及人地关系的协调发展方面提供科学依据。

2 研究区概况

玛纳斯河流域位于新疆天山北麓中段,地处准噶尔盆地南缘(图 1)。 $43^{\circ}27' - 45^{\circ}21' \text{ N}$ ,  $85^{\circ}01' - 86^{\circ}32' \text{ E}$ ,流域总面积  $19\,800 \text{ km}^2$ ,其中山区面积  $5\,150 \text{ km}^2$ ,平原面积  $14\,650 \text{ km}^2$ 。玛纳斯河发源于天山北麓依连哈比尔尕山,流向由南向北,河流全长  $324 \text{ km}$ ,多年平均径流量为  $11.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是准噶尔盆地南缘最大的一条融雪型山溪河流。河流沿途接纳了大小十余条河流后,经红山嘴进入平原,流经玛纳斯县、沙湾县及石河子垦区,最终注入玛纳斯湖。玛纳斯河肯斯瓦特水文站的控制面积为  $4\,637 \text{ km}^2$ 。

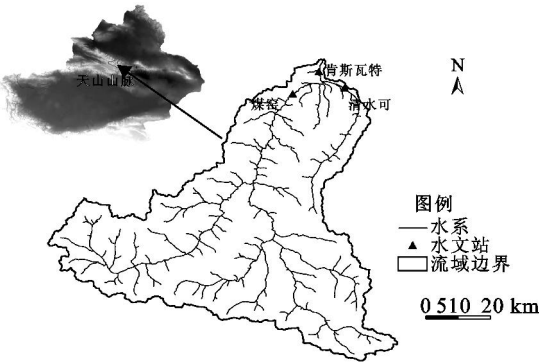


图 1 玛纳斯河流域水系图

3 结果分析

3.1 玛纳斯河泥沙变化分析

3.1.1 玛纳斯河泥沙含量变化分析 从玛纳斯河泥沙的季节变化可以看出,玛纳斯河泥沙含量最大的季节是夏季,其次是春季(图 2)。春季和夏季的

泥沙含量占到全年的 94 % 以上。从 20 世纪 60 年代至 21 世纪初期,各个时期河流的泥沙含量都呈现逐级攀升的现象。夏季河流泥沙含量从 20 世纪 60 年代的  $2.07 \text{ kg/m}^3$  上升到 21 世纪初期的  $4.38 \text{ kg/m}^3$ ,上升幅度达到 110 %;春季河流泥沙含量则经历了一个先升后降的过程,从 20 世纪 60 年代的  $0.45 \text{ kg/m}^3$  上升到 90 年代的  $1.72 \text{ kg/m}^3$ ,后下降到 21 世纪初期的  $1.15 \text{ kg/m}^3$ ,相比 20 世纪 60 年代,仍有 155 % 的升幅。秋季虽然上升幅度较大,达到了 265 %,但其绝对值变化较小,含量仅增加了  $0.20 \text{ kg/m}^3$ 。冬季河流泥沙含量上升幅度最小,为 56 %,其绝对变化量为  $0.007 \text{ kg/m}^3$ 。

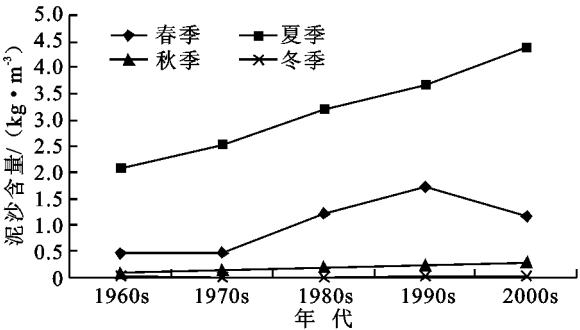


图 2 玛纳斯河泥沙含量变化

3.1.2 玛纳斯河泥沙输移量与侵蚀模数变化分析

与玛纳斯河泥沙含量类似,玛纳斯河各个季节的泥沙输移量也表现为递增的趋势(图 3)。但与泥沙含量变化不同的是,玛纳斯河河流泥沙输移量集中在夏季,占到全年的 93 % 以上,其他季节不到 7 %。夏季河流泥沙输移量从 20 世纪 60 年代的  $195.07 \times 10^4 \text{ t}$  增加到 21 世纪初期的  $497.96 \times 10^4 \text{ t}$ ,泥沙输移量增加了 155 %;春季河流泥沙输移量从 20 世纪 60 年代的  $6.55 \times 10^4 \text{ t}$  增加到 21 世纪初期的  $13.55 \times 10^4 \text{ t}$ ,泥沙输移量增加了 106 %;秋季河流泥沙输移量从 20 世纪 60 年代的  $2.77 \times 10^4 \text{ t}$  增加到 21 世纪初期的  $12.16 \times 10^4 \text{ t}$ ,泥沙输移量增加了 339 %;冬季河流泥沙输移量从 20 世纪 60 年代的  $0.07 \times 10^4 \text{ t}$  增加到 21 世纪初期的  $0.17 \times 10^4 \text{ t}$ ,泥沙输移量增加了 142 %。

玛纳斯河肯斯瓦特水文站的控制面积为  $4\,637 \text{ km}^2$ 。玛纳斯河流域玛纳斯河肯斯瓦特水文站以上景观主要由冰川、裸岩、草地、森林和农田组成,其中草地、森林和农田面积为  $2\,547 \text{ km}^2$ 。由于冰川、裸岩的侵蚀很小,河流泥沙来源主要来自草地、森林和农田。因此,20 世纪 60 年代玛纳斯河肯斯瓦特水文站以上侵蚀发生区的侵蚀模数为  $802.78 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。到了 21 世纪初期,侵蚀模数增加到  $2\,056.82 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,比 20 世纪 60 年代上升了 156 %。侵

蚀等级由 20 世纪 60 年代的微度上升到 21 世纪初期的轻度。

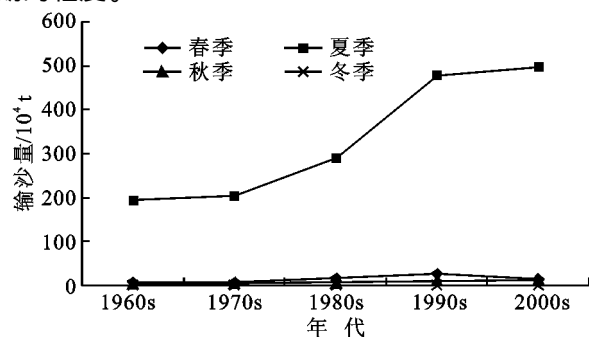


图3 玛纳斯河泥沙输移量变化

### 3.2 玛纳斯河泥沙变化原因分析

玛纳斯河泥沙输移量增加的原因,一方面是由于玛纳斯河上游低山丘陵区的地理环境造成,该区表层由亚沙土和亚黏土组成,植被稀疏,一旦遇到暴雨,水土流失严重。另一方面也与该区域不合理的人类活动关系密切。主要包括森林采伐和过度放牧以及采矿。森林采伐和过度放牧破坏了该地区的植被结构,使土层易受暴雨侵蚀;采矿行为破坏了山体,造成地面塌陷和滑坡。这些活动都加剧了玛纳斯河泥沙的输移量。

3.2.1 玛纳斯河流域森林采伐量分析 20 世纪 60 - 70 年代,玛纳斯河流域的林场以“采伐”为主业,“重采轻造”。根据统计,从 1960 - 2004 年累计有  $88.8 \times 10^4 \text{ m}^3$  的森林被砍伐掉(图 4)。其中 60 年代砍伐量最大,平均年砍伐量为  $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。而后逐渐下降,70 年代年平均砍伐量为  $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,80 年代年平均砍伐量为  $1.56 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,90 年代年平均砍伐量为  $1.02 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,21 世纪初期年平均砍伐量为  $0.47 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在 2005 年,由于国家实行了天然林保育政策,使得森林砍伐量缩减为零。

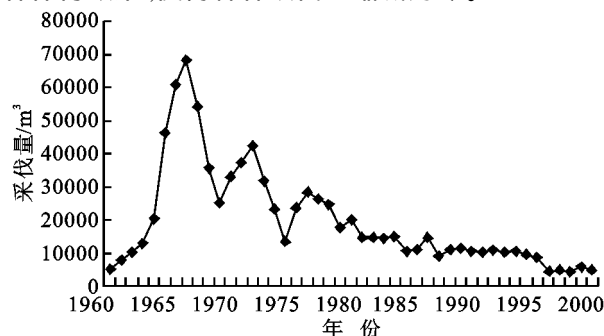


图4 玛纳斯河流域森林采伐量变化

3.2.2 玛纳斯河流域载畜量变化分析 玛纳斯河流域的沙湾县和玛纳斯县牲畜存栏数逐年增加,从 60 年代的年均  $90.88 \times 10^4$  标准畜增加到 21 世纪初期的  $169.85 \times 10^4$  标准畜,牲畜存栏数增加了 86%。由于牲畜头数的增加给玛纳斯河流域的山区

草地造成了巨大的压力,导致草地退化,侵蚀加剧。例如,在玛纳斯县山区夏草场,产草量核定理论可载标准畜  $24.3 \times 10^4$  绵羊单位,截至 2003 年,进入夏牧场的牲畜已高达  $49 \times 10^4$  绵羊单位,超载现象十分严重,超载率达到了 100%。

## 4 讨论

玛纳斯河流域位于天山北麓。其上游的天山支脉喀拉乌成山、依连哈比尔尕山及比依克山的山结,海拔 5 000 ~ 5 500 m,是仅次于天山主峰托木尔峰(海拔 7 435.3 m)地区的天山第二大高山带山结,其冰川总面积仅次于托木尔峰地区,这是造成该区发源的玛纳斯河能成为准噶尔盆地流程最长、流量最大的内陆河的重要条件。该区的自然景观随着海拔升高,呈现出有规律的变化。根据袁国映的划分,可以将玛纳斯河山区分为 8 个垂直自然带<sup>[6]</sup>:在海拔 3 200 m 以上的高山寒冷垫状植被、苔藓、地衣-原始土带和高山永久冰雪裸岩带,降水全部为固体降水,是高山冰雪积累的补给区。该区是调节玛纳斯河河水的主要水源补给区,但水体含沙量极少。在海拔 1 500 ~ 3 200 m 的山地寒温带草甸-黑钙土带、山地寒温带针叶林-灰褐色森林土带、亚高山寒冷草甸-亚高山草甸土带和高山寒冷草甸-高山草甸土带,降水丰沛,植物生长茂盛,是玛纳斯河重要的水源补给区域,但由于森林砍伐、过牧,导致水土流失,土壤侵蚀加重。在海拔 800 ~ 1 500 m 的山地温带半荒漠草原-棕钙土带和山地寒温带草原-栗钙土带,是玛纳斯河流域的重要草场。由于载畜量成倍增加,已出现过度放牧状态,在夏季暴雨时水土流失严重。

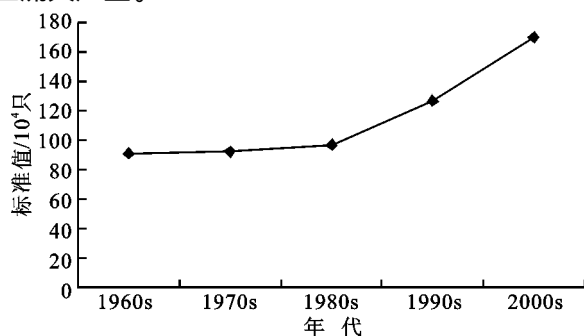


图5 玛纳斯河流域山区载畜量变化

玛纳斯河属于一条多泥沙河流,泥沙来自于降雨、融雪对流域面上的侵蚀和水流对河道的冲刷。从河源至出山口,泥沙随高程的递减而逐渐增加。玛纳斯河泥沙年内分布具有极大的集中性,93%的输沙量都集中在夏季 3 个月。在玛纳斯河流域,目前现已建成二、三、四、五级电站 4 座,总装机容量

$5.7 \times 10^4$  kW, 年发电量  $1.84 \times 10^8$  kW · h。玛纳斯河流域现有 14 座平原水库, 分布于玛纳斯河中、下游泉水溢出带。河流所携带的泥沙会对电站和水库的正常运行造成很大影响。以玛纳斯河流域的第二大水库跃进水库为例, 设计总库容  $1.033 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 年调节水量  $2.5 \times 10^8 \sim 2.8 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。经过 50 多年的运行, 由于水库引蓄洪水, 泥沙含量较高, 水库淤积严重, 截止 2007 年, 水库泥沙淤积量达  $0.25 \times 10^4$  m<sup>3</sup>, 实际库容仅有  $0.78 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 仅为设计总库容的 75.5 %<sup>[7]</sup>。

河流中的泥沙亦对分布在河流上的电站的正常运行产生严重影响。玛纳斯河红山嘴电厂, 受到冰、沙、草和洪水等自然灾害的威胁, 机组一直不能稳定运行, 出力达不到设计能力。玛纳斯河红山嘴电厂的泥沙危害主要表现为夏季引水渠泥沙严重淤积及对水轮机过流部件严重磨损。水轮机过流部件磨蚀严重, 机组大、小修周期短, 运行成本增大, 经济效益低下。20 世纪 80 年代二、三级电站投产之初, 年发电量仅维持在  $1.5 \times 10^8$  kW · h, 为设计年发电量  $2.154 \times 10^8$  kW · h 的 69.7 %<sup>[8]</sup>。

因此, 为了保护流域山区水源涵养区, 减轻泥沙对电站的损害, 减少平原水库的泥沙淤积, 应该加强对玛纳斯河流域山区的保护。在森林保护方面, 应

该严禁采伐天然林, 加强人工更新造林, 恢复森林的水土保护能力。在草原保护方面, 应该严格限制草地载畜量, 杜绝过牧。逐步改变牧民逐水草而居的游牧生活, 加强牧民定居点的建设工作, 建设高标准饲草料基地, 发展现代畜牧业, 减轻山区草场压力。

#### 参考文献:

- [1] 徐国宾. 陕西省水库泥沙淤积灾害及其防治对策[J]. 水土保持通报, 1994, 14(4): 55-58.
- [2] 于广林, 李志敏. 刘家峡水电站泥沙问题的解决措施与运用实践[J]. 水力发电学报, 1999, 65(2): 45-51.
- [3] 韦方强, 刘淑珍, 范建容, 等. 小江流域生态环境灾害与治理对策[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 109-114.
- [4] 赵资乐. 湟水干流青海段泥沙危害及其成因[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 116-118.
- [5] 王兆印, 林秉南. 中国泥沙研究的几个问题[J]. 泥沙研究, 2003(4): 73-81.
- [6] 袁国映, 屈喜乐, 李竞生. 中国新疆玛纳斯河流域农业生态环境资源保护与合理利用研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995: 1-200.
- [7] 黄委水利专家复核跃进水库除险加固工程[EB/OL]. <http://www.huaxia.com>, 2007.
- [8] 梯级引水式电站群提高发电生产能力的途径[EB/OL]. <http://www.hwcc.com.cn>, 2006.

(上接第 123 页)

## 5 结论

(1) 河北省耕地面积逐渐减少, 经历了缓慢减少到快速减少的耕地变化过程, 人均耕地面积也有类似的变化。

(2) 耕地资源面积随着 GDP 的增加呈对数递减趋势, 用模型的对数方程对耕地面积的估算值和实际值误差较小, 证明用对数递减模型方程预测耕地面积随 GDP 增长的变化具有很好的可行性。

(3) 不同的经济发展阶段, 增长等量 GDP 所占用的耕地面积不同。预测结果表明耕地面积随着经济发展水平的增加逐渐减少, GDP 达到一定水平后, GDP 的增长主要是依靠产业高度化和技术革新, 而不再靠土地投入的增加。

#### 参考文献:

- [1] 李秀彬. 中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 329-333.
- [2] 许月卿, 李秀彬. 河北省耕地数量减少原因及对策研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 123-127.

- [3] 熊鹰, 王克林, 郭娴. 湖南省耕地数量动态变化与经济发展关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 69-72.
- [4] 蔡文春, 杨德刚. 新疆耕地变化及驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 20(2): 144-148.
- [5] 苏玉燕, 吕成文. 芜湖市近 30 年耕地数量变化特征分析[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(5): 440-442.
- [6] 李兆富, 杨桂山. 苏州市近 50 年耕地资源变化过程与经济发展关系研究[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 50-55.
- [7] 邵金花, 刘贤赵. 烟台市耕地数量变化与经济发展人口增长关系的研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2006, 22(1): 25-28.
- [8] 张景芳, 刁承泰, 刘贵芬, 等. 重庆市近十年耕地变化过程及其与经济发展关系研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 272-276.
- [9] 阎同生, 董继国. 河北省耕地变化研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(8): 2392-2393.
- [10] 河北省统计局. 河北省经济统计年鉴[Z]. 2005.
- [11] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-86.
- [12] 汪朝辉, 王克林, 蒋凌燕, 等. 湖南省耕地动态变化与可持续利用对策研究[J]. 热带地理, 2003, 23(3): 255-259.