

## 三峡库区河段水质同步观测与联合评价

王渺林<sup>1,3,\*</sup>, 傅 华<sup>2</sup>, 吕平毓<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 重庆交通学院 河海学院, 重庆 400074;

3. 长江水利委员会 长江上游水文水资源勘测局, 重庆 400014)

**摘要:** 三峡大坝蓄水后对库区水质的影响一直是国内外广泛关注的问题, 对三峡库区河段的水质监测与评价分析无疑是十分重要的。笔者介绍了三峡库区河段水流水质在两次同步观测时段的沿程变化情况, 并利用灰关联分析方法对 4 个重点断面的洪水期和枯水期的水质进行评价分析, 结论认为洪水期的水质偏差, 认为在三峡大坝蓄水后, 由于水位抬高, 流速减少, 大量泥沙淤积在库区内, 将可能引起二次污染, 应及早研究防范措施。

关 键 词: 三峡库区; 水质评价; 灰关联分析; 同步观测

中图分类号: X824; X832      文献标识码: B      文章编号: 1001-716X(2004)05-0122-04

三峡库区河段的水文水质状况一直是社会各界广泛关注的问题.三峡水库属河道性水库,库区范围从重庆江津到坝址,全长约 600km,涉及重庆市和湖北省的 20 个县(市).笔者介绍了三峡库区河段水流水质在两次同步观测时段的沿程变化情况,并利用灰关联分析对 4 个重点断面的洪水期和枯水期的水质进行评价分析.

## 1 三峡库区河段水质同步观测

三峡库区河段从地貌上通常分为 4 个河段: 江津至涪陵(约 220km)、涪陵至万州(约 200km)、万州至奉节(约 120km)、奉节至三峡坝址(约 150km), 三峡库区河段及布设观测断面示意图见图 1。通过对库区河段已有水文水质等资料的分析研究, 选取清溪场、沱口、晒网坝、奉节 4 个断面进行水文水质和区间污染源的同步观测, 两次典型观测时段分别选为: 洪水期—2001 年 7 月 29 日至 8 月 5 日历时 8d 的洪水过程, 枯水期—2001 年 3 月 12 日至 3 月 19 日连续 8d 枯水过程。在水质指标观测成果中, 挑选 3 个主要的且有代表性的水质指标  $\text{COD}_{\text{mn}}$ 、 $\text{BOD}_5$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  进行分析, 洪水期  $\text{COD}_{\text{mn}}$  浓度取自浑水样结果(即水质采样后未经过沉淀的水质观测结果), 其余水质指标观测结果为清水样分析测试结果(即样品经过沉淀, 取上部清水样本分析观测的水质浓度结果)。表 1 列出 4 个断面洪水期和枯水期监测结果

的平均值,表2给出4个断面洪水期和枯水期间水位、流量和含沙量的平均值。



图1 三峡库区河段及布设观测断面示意

表1 三峡库区河段同步观测期间水质监测结果平均值

监测指标	清溪场	沱口	晒网坝	奉节
COD <sub>mn</sub> (洪水期 浑水样)	8.26	7.54	8.00	8.13
BOD <sub>5</sub> (洪水期 清水样)	1.80	1.12	2.20	2.18
NH <sub>3</sub> -N(洪水期 清水样)	1.79	1.98	2.10	2.05
COD <sub>mn</sub> (枯水期 清水样)	2.71	2.49	2.65	2.54
BOD <sub>5</sub> (枯水期 清水样)	1.79	1.67	1.54	2.01
NH <sub>3</sub> -N(枯水期 清水样)	1.98	2.08	2.12	2.19

从表 2 可以看出在三峡蓄水前, 平均水位沿程是逐渐降低的. 洪水期和枯水期水质指标平均浓度沿程变化见图 2, 可以看出:

1) 观测浑水样  $\text{COD}_{\text{mn}}$  浓度高达  $8\text{mg/l}$ , 比枯水期清水样观测结果大 3 倍左右. 这与浑水样水体中泥沙的吸附作用有关. 泥沙对污染物吸附量与含沙

\* 收稿日期: 2003-12-01

基金项目: 全国水资源综合规划专题研究项目(SZYZB-1)资助

作者简介: 王渺林(1975—), 男, 安徽黄山人, 工程师, 博士生, 从事流域动力学模拟研究。

表 2 三峡库区河段同步观测期间水文数据平均值				
监测指标	清溪场	沱口	晒网坝	奉节
洪水期平均水位(m)	146.1	113.2	113.2	93.1
枯水期平均水位(m)	137.2	100.6	100.6	77.1
洪水期平均流量(m³/s)	19600	19800	19800	19900
枯水期平均流量(m³/s)	4060	4070	4070	4080
洪水期平均含沙量(kg/m³)	1.35	0.86	0.86	0.75
枯水期平均含沙量(kg/m³)	0.026	0.021	0.021	0.020

量有关<sup>[1]</sup>。从表 2 可以看出洪水期含沙量要远大于枯水期含沙量,从而也导致了浑水样 COD<sub>mn</sub> 浓度偏高。分析还表明,洪水期在洪峰和落腰时的 COD<sub>mn</sub> 浓度较大,随流速的增大而增大。相对于清水样而言,

浑水样更能体现汛期库区的污染情况,因为水体中的泥沙吸附着大量的污染物,其吸附量必然与含沙量有关,也必然随着吸附量达到饱和而使水体受到二次污染。浑水样的资料将有助于我们对耗氧量和溶解氧量与含沙量关系的深入认识。

2) 污染物浓度沿程分布比较均匀,并有下降的趋势。但在晒网坝断面污染物浓度稍有增大,研究表明,这与万州城区污染源影响有关。

3) 洪水期清水样 BOD<sub>5</sub>和 NH<sub>3</sub>-N 多数断面浓度比枯水期低,从另一方面也说明沉淀物(如泥沙颗粒)对污染物的吸附作用,从而导致洪水期清水样污染物浓度降低。

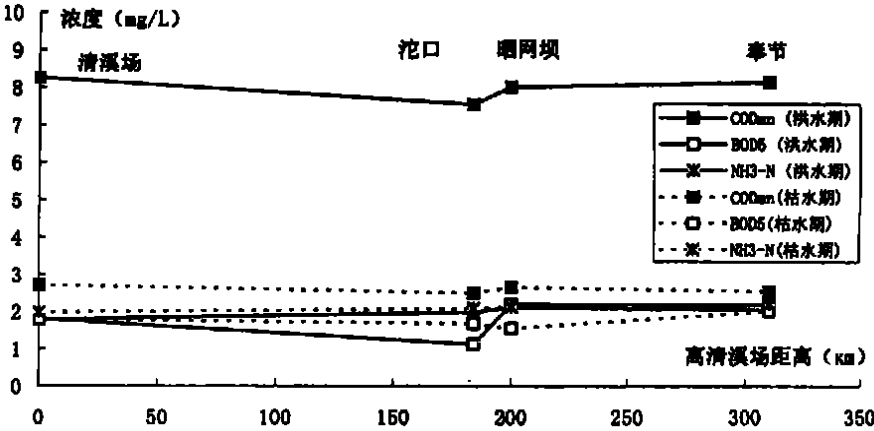


图 2 洪水期和枯水期水质指标平均浓度沿程变化

2 水质评价

水质评价是指对水环境各个要素进行单项及综合评价。从系统分析的观点来看,水质评价具有多层次、多因子的关联系统特征。灰关联分析<sup>[2,3]</sup>的概念是依据数列间几何相似的序化分析与关联测度,来量化不同层次中多个序列相对于某一级别质量序列的关联性。通过关联分析,便能从中找出哪些因素之间的关系密切,哪些不密切,进而揭示出系统的主要特征。下面将应用灰关联分析方法对四个断面的洪水期和枯水期的水质进行评价。评价标准依据(GB3838-2002《地表水环境质量标准》)。

首先对监测数据和评价级别标准的元素归一化,即转变为[0, 1]内取值数。对于 BOD<sub>5</sub>、重金属毒物等指标,它有数值愈大,污染愈严重的特点,可采用如下变换方法:

$$b_j(k) = \frac{S_{\max}(k) - S_j(k)}{S_{\max}(k) - S_{\min}(k)} \quad (j = 1, \dots, L; k = 1, \dots, n)$$

(1)

$$a_j(k) = \begin{cases} 1 & X_j(k) \leq S_{\min}(k) \\ \frac{S_{\max}(k) - X_j(k)}{S_{\max}(k) - S_{\min}(k)} & S_{\min}(k) < X_j(k) \leq S_{\max}(k) \\ 0 & X_j(k) > S_{\max}(k) \end{cases}$$

(2)

其中,  $b_j(k)$  为标准矩阵(评价级别标准)的元素;  $a_j(k)$  为样本矩阵(监测数据)的元素;  $S_j(k)$  为水质指标值;  $S_{\max}(k)$  为单项水质指标的最大值;  $S_{\min}(k)$  为单项水质指标的最小值。  $X_j(k)$  为监测样本值。表 1 和表 2 中的样本数据和标准数据经(2)式和(1)式坐标变换为:

$$A_{8 \times 3} = \begin{bmatrix} 0.09 & 0.91 & 0.79 \\ 0.18 & 0.99 & 0.76 \\ 0.13 & 0.87 & 0.75 \\ 0.11 & 0.87 & 0.75 \\ 0.79 & 0.91 & 0.76 \\ 0.81 & 0.93 & 0.75 \\ 0.79 & 0.94 & 0.74 \\ 0.81 & 0.89 & 0.74 \end{bmatrix}$$

$$B_{5 \times 3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0.75 & 0.78 & 0.99 \\ 0.5 & 0.67 & 0.89 \\ 0.25 & 0.44 & 0.76 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,  $A_{8 \times 3}$  为样本矩阵;  $B_{5 \times 3}$  为评价级别标准矩阵。  
经过上述预处理后, 水质评价的灰关联分析方法可归纳如下:

取第 1 个断面的监测样本为参考序列(母序列), 即  $a_1 = [0.09 \quad 0.91 \quad 0.79]$ . 先取归一化水质标准矩阵中的一级水为子序列, 即  $b_1 = [1.00 \quad 1.00 \quad 1.00]$ , 可以求得  $a_1 \sim b_1$  间的绝对差  $\Delta_{11}(k)$ :

$$\begin{aligned} \Delta_{11} &= [\Delta_{11}(1) \quad \Delta_{11}(2) \quad \Delta_{11}(3)] \\ &= [0.91 \quad 0.09 \quad 0.21] \end{aligned}$$

计算关联系数  $\zeta_{ij}(k)$  的方法很多, 邓聚龙教授的计算公式如下:

$$\zeta_j(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_{ij}(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_{ij}(k)}{\Delta_{ij}(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_{ij}(k)} \quad (4)$$

式中,  $\Delta_{ij}(k) = |b_j(k) - a_i(k)|$ ;  $\rho$  为分辨系数, 其数值在 0 与 1 之间, 用来调整关联系数的分辨程度。例如在计算中发现各因子之间的关联系数很接近, 难以分辨各因子的主次关系, 可调整分辨系数  $\rho$ . 经反复试验证明,  $\rho$  的取值不影响最终的评价结果, 笔者在本文取  $\rho = 0.6$ . 这样, 可求得对应的  $a_1 \sim b_1$  间关联系数  $\zeta_{11}(k)$ :

$$\begin{aligned} \zeta_{11} &= [\zeta_{11}(1) \quad \zeta_{11}(2) \quad \zeta_{11}(3)] \\ &= [0.394 \quad 0.901 \quad 0.753] \end{aligned}$$

按照统一取等权方式计算关联度:

$$\gamma_{11} = \sum_{k=1}^n \zeta_{11}(k) / n = 0.683 \quad (5)$$

同理, 取  $B_{5 \times 3}$  中的 2 级水为子序列, 即  $b_2 = [0.75 \quad 0.78 \quad 0.99]$ , 可以求得  $a_1 \sim b_2$  间的绝对差  $\Delta_{12}(k)$ :

$$\Delta_{12} = [0.66 \quad 0.13 \quad 0.20]$$

对应的  $a_1 \sim b_2$  间关联系数为:

$$\zeta_{12} = [0.476 \quad 0.845 \quad 0.763]$$

对应的  $a_1 \sim b_2$  间的关联度:

$$r_{12} = 0.695$$

依次取  $B_{5 \times 3}$  中的各级水为子序列分别求得:

$$r_{13} = 0.736, r_{14} = 0.792, r_{15} = 0.573$$

这样, 通过灰关联分析可以得到第 1 个断面水质  $a_1$  分别与 5 个水质级别标准序列  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  的关联排序关系:

$$r_{14} = 0.792 > r_{13} = 0.736 > r_{12} = 0.695 > r_{11} = 0.683 > r_{15} = 0.573$$

基于灰关联分析原理, 第  $j$  个空间点(断面)的质量评价, 应取关联度  $r_{ij}$  中最大者对应的级别. 由此, 综合评价第 1 个断面属于 4 级水质.

依此原理, 分别取各个断面的监测样本为参考序列, 可以求得各个断面相对于各级水质标准的关联度. 所有综合评判的关联系数矩阵结果为:

$$R_{5 \times 8} = \begin{bmatrix} 0.683 & 0.706 & 0.631 & 0.629 \\ 0.695 & 0.660 & 0.683 & 0.677 \\ 0.736 & 0.711 & 0.716 & 0.710 \\ \underline{0.792} & \underline{0.807} & \underline{0.798} & \underline{0.788} \\ 0.573 & 0.527 & 0.546 & 0.549 \\ 0.762 & 0.788 & 0.796 & 0.777 \\ \underline{0.819} & \underline{0.811} & \underline{0.823} & \underline{0.841} \\ 0.723 & 0.721 & 0.729 & 0.739 \\ 0.682 & 0.683 & 0.689 & 0.693 \\ 0.403 & 0.410 & 0.418 & 0.416 \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ 1 \text{ 级} \\ \\ 2 \text{ 级} \\ 3 \text{ 级} \\ 4 \text{ 级} \\ 5 \text{ 级} \end{matrix} \quad (6)$$

不难看出, 综合评判关联矩阵是一种实测序列与水质标准序列(分级)间距离的度量. 二者接近度愈大, 则隶属性就愈大. 由此得出本次水质评价的结果: 洪水期的断面评价均为 4 级, 而枯水期的断面均为 2 级.

3 结论与建议

笔者应用灰关联分析方法对三峡库区 4 个断面的洪水期和枯水期的水质进行评价分析, 可以看出, 由于长江水量大、稀释能力较强, 在枯水期间三峡库区观测河段总体水质良好, 为 2 级水质. 但在洪水期间泥沙含沙量较大, 观测浑水样 COD<sub>mn</sub> 浓度高达 8mg/l, 比枯水期清水样观测结果大 3 倍左右, 被评价为 4 级水质. 可见在洪水期, 由于大量泥沙进入库区的同时将携带大量污染物入库, 水质状况应引起人们注意, 尤其是三峡大坝建成后水位抬高、流速减少, 大量泥沙淤积在库区, 将可能引起二次污染, 应及早研究防范措施.

为有效的防止水污染, 保护三峡水库建库后的水资源与水环境, 建议:

1) 加强监测, 完善管理体制, 将水资源保护落到实处. 建立以流域为单元的水资源监测与保护机构, 进行统一规划、系统管理.

2) 建立以总量控制为基础的入江排污管理法规体系. 根据污染源构成特点, 结合水体功能区划, 确定污染物允许排放负荷总量及分配原则. 有计划、分步骤的削减污染物入江量, 已达到控制和改善水环境的目的.

3) 为有效保护水资源与水环境, 应进一步开展

与库区水环境的相关研究, 并结合三峡水库调度, 充分发挥水利工程调度优势, 通过改善库区水体流动形态和调整蓄水时段等有效手段, 保护三峡水库水质.

参考文献:

[ 1 ] 石 伟, 王光谦. 流量和含沙量对水质参数影响分析 [ J ]. 水利学报, 2002 ( 5 ).

[ 2 ] 叶守泽. 水库水环境模拟预测与评价 [ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.

[ 3 ] 夏 军. 区域水环境及生态环境质量评价—多级关联评估理论与应用 [ M ]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 1999.

Synchronous observation and evaluation for the water quality  
in Three Gorges reach

WANG Miao-lin,<sup>1,3</sup> FU Hua<sup>2</sup>, LU Ping-yu<sup>3</sup>

( 1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 2 School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. Exploration Survey Bureau of Hydrology and Water Resources of the Upper Yangze River, Chongqing 400014, China )

**Abstract:** The effect of the construction of Three Gorges project on the water quality in the reservoir have and will have attracted widely many experts' interests from abroad and inland. It is important to carry on the observation and evaluation for the water quality in Three Gorges Reach. The changes of the water flows and quality along the Yangtze River in the reservoir during two representative observation phases were introduced. And the gray relation model was used to evaluate the water quality of four chief sections during the flood and low water representative observation phases. The results show that the water quality during the flood phase is worse than the one during the low water phase. It was concluded that lots of sediment will deposit in the reservoir and the twice pollution will be caused since the water level will be raised and the flow velocity will descend after the sluice of Three Gorges project. It is suggest that the preserve measures must be researched and applied.

**Key words:** Three Gorges reach; water quality evaluation; the gray relation model; synchronous observation

(上接 42 页)

Summarize of recycled mixture for old asphalt pavement

NI Xiao-jun<sup>1</sup>, CHEN Shi-zhou<sup>2</sup>, LING Tian-qing<sup>1</sup>

( 1. School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;  
2 Chongqing Communications Research & Design Institute, Chongqing 400067, China )

**Abstract:** The technology of recycling old asphalt pavement is new. Nowadays the all countries value it very much. In this paper the feasibility and necessity of recycled mixture of old asphalt pavement , the design and construction technology of reclaimed mixture of old asphalt pavement are analyze.

**Key word:** recycling of asphalt pavement; mix design; recycling agent