

## 澜沧江 - 湄公河干流底沙重金属含量 空间变化及污染评价

苏 斌, 傅开道, 钟荣华, 宋静宜

(云南大学亚洲国际河流中心, 云南 昆明 650091)

**摘 要:** 国际河流澜沧江 - 湄公河流域资源开发引起的水文情势、泥沙和水环境变化一直是国际社会关注的重点。本研究选取了该河干流境内外 8 个关键河段的底沙进行采样, 并进行 5 种重金属元素( 锌 Zn、铅 Pb、铜 Cu、铬 Cr、砷 As) 含量实验测试, 分析了该河干流底沙重金属含量空间变化。运用沉积学原理, 应用地积累指数法和潜在生态危害指数法评价了澜沧江 - 湄公河流域干流底沙重金属污染的情况。结果显示: 1. 在澜沧江 - 湄公河流域干流底沙重金属元素中 Zn、Pb、As 在上游中国境内澜沧江底沙中的含量平均值分别为 91.43 mg/kg、41.85 mg/kg、21.84 mg/kg, 均大于其在下游境外湄公河底沙中平均含量, 其平均含量分别为 68.17 mg/kg、28.22 mg/kg、14.97 mg/kg; Cr 在境外湄公河底沙中含量的平均值为 418.86 mg/kg, 大于境内上游澜沧江底沙中的平均含量 42.19 mg/kg, 且主要集中在琅勃拉邦和巴色采样点, 其含量分别为 762.93 mg/kg、422.9 mg/kg; Cu 除在戛旧和界碑含量较小分别为 11.7 mg/kg、7 mg/kg 外, 在上下游其他采样点的含量分布变化不明显。2. 地积累指数法评价结果表明干流底沙重金属在上游中国境内 Zn、Pb、As 有污染, 其中 Pb、As 的污染较 Zn 严重。在下游中国境外 Cr 污染较严重, 其污染主要集中在琅勃拉邦和巴色两个采样点, As 在巴色采样点也出现了轻微污染。3. 潜在生态危害指数法评价结果表明干流底沙重金属元素单一潜在生态危害系数和多种重金属潜在生态危害指数均较小, 各采样点重金属潜在生态危害程度均属于轻微污染。由此可见澜沧江 - 湄公河境内局部河段因地球化学背景或矿产开采致使的水体和底沙重金属污染, 沿程经水体稀释和水库淤积后, 尚未出现污染的跨境迁移现象。本研究能在一定程度上填补澜沧江 - 湄公河流域在干流上对重金属污染研究的空缺, 为澜沧江流域资源开发的评价影响提供理论依据。

**关键词:** 澜沧江 - 湄公河流域; 重金属污染; 地积累指数法; 潜在生态危害指数法

**中图分类号:** X522

**文献标识码:** A

河流底沙是重金属元素主要的沉降和汇集场所, 而重金属是一种持久性污染物<sup>[1]</sup>, 其特点是不容易被微生物降解, 且具有累积效应。重金属通过矿山开采, 金属冶炼、加工及工业生产废水, 化石燃料的燃烧, 施用农药化肥和生活垃圾等人为污染源, 以及以侵蚀、风化等天然源形式进入水体, 大部分重金属污染物质在水体里富集到底沙底沙中<sup>[2]</sup>, 并且在河流环境条件发生变化时, 从沉积物中释放出从而产生二次污染<sup>[3]</sup>, 是流域环境保护研究密切关注

的对象。为了对重金属污染进行研究人们提出了许多评价方法<sup>[4]</sup>和相应的沉积物质量基准<sup>[5]</sup>, 现国际上较为通用和具有代表性的方法, 如地积累指数法 (Geoaccumulation Index)<sup>[6-7]</sup>、污染负荷指数法 (The Pollution Load Index)、潜在生态危害指数法 (The Potential Ecological Risk Index) 及 Hilton 等的回归过量分析法 (Excess after Regression Analysis)。而国内较多地应用模糊集理论 (Theory of Fuzzy Subset) 和脸谱法 (Face-graph) 对沉积物中重金属进

**收稿日期** (Received date): 2011 - 06 - 20; **改回日期** (Accepted): 2011 - 10 - 12。

**基金项目** (Foundation item): 国家自然科学基金项目; 云南省中青年学术技术带头人后备人才计划。[ National Natural Science Foundation of China, No. 40801218; The Reserver's Training Projects of Yunnan Mid - Youth Scientific Technical Leader, No. 2009CI050. ]

**作者简介** (Biography): 苏斌 (1986 - ), 彝族, 云南昆明人, 跨境生态与安全硕士研究生, 从事国际河流泥沙污染及其迁移方向研究。[ Yi, born in Kunming, master, engaged in international migration of river sediment pollution and its. ] E-mail: kdfu@ynu.edu.cn

行评价<sup>[4-7]</sup>。

澜沧江-湄公河是一条重要国际河流,其流经中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南6国(图1),流域面积为 $81.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,从源头到入海口干流全长4 880 km<sup>[8-9]</sup>,其水质好坏直接影响着下游沿岸国家的利益。然而近年来由于矿山的开发和区域人口与经济的增长,使得流域内工厂污水和人们生活用水及垃圾排放量增加,从而对流域水质带来了很大的影响,致使澜沧江流域水污染源及污染物排放呈增长状态<sup>[10]</sup>,水质总体上呈恶化趋势<sup>[11]</sup>。此外,近20年来澜沧江干流上尤其是中下游河段人为活动干扰强烈<sup>[12]</sup>,已建和在建的多项水电工程切断了河流的流通性,无疑使泥沙组成,包括粒径大小、矿物组成、化学成分等性质发生变化<sup>[13-15]</sup>,这已影响到水体功能及流域生态系统健康乃至下游多国及多边关系<sup>[16]</sup>。因此,对澜沧江-湄公河流域重金属污染进行客观的评价及研究并提出相应的改善措施已是当务之急。在澜沧江-湄公河流域,对于重金属污染评价的研究在其支流上(如沱江和南览河

等)<sup>[17]</sup>,已有开展,而在干流上的研究还比较少。

因此,本次研究选择了干流上8个采样点进行采样分析,对澜沧江-湄公河干流底沙中常见的Zn、Cr、Cu、Pb、As等5种重金属元素含量进行空间变化分析,并根据沉积学原理,分别应用地积累指数法和潜在生态危害指数法,对该5种重金属元素的污染进行评价。以填补澜沧江-湄公河流域在干流上对重金属污染研究之空缺,并为澜沧江-湄公河流域矿产与水能资源开发提供量化依据,可为澜沧江流域资源开发的环境影响评价提供一定的理论依据,具有重要的实际意义和战略意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与测试

样品采集。2006年汛期,对澜沧江中下游干流进行床沙沉积物样品采集,采样点包括干流8个主要控制断面(自上至下游:旧州、戛旧、允景洪、关累、界碑、琅勃拉邦、沙湾拿吉、巴色)。采样点选择在水文站附近。根据相关水文测量规范,视河宽及断面水位情况,对干流床沙沉积物取样。床沙沉积物样品的采集选择在河边水沙交接处且较少受到人为干扰,上下100 m河流没有明显弯道的河段,以消除某些河段特殊的水力特征对输沙动力的干扰。在河道水体与边滩过渡带表面取样,深度不超过10 cm。每个采样点在不同位置取3袋样品,每袋重约1 kg,自然风干,并将样品放置在42℃的恒温箱内干燥24 h。每个样点的床沙样品分别由该断面的干样混合而成。

样品分析与测试。泥沙沉积物化学成分分析在中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室用X射线荧光光谱仪(XRF, PANalytical, Ea Almelo, The Netherlands)完成。其中床沙样品采用粉末压片制样法,大约5 g样品用玛瑙研钵研磨后全部过200目的标准筛,然后在压片机上以30 t力压制成型,保压时间20 s,压片时以硼酸镶边垫底,制成外径32 mm的压片。悬移质样品由于样量较少则采用溶样法制样,0.6 g样品与6 g焦硼酸锂( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )混合后在1 180℃的条件下熔融,然后冷却成32 mm直径的玻璃片。实验过程中平行分析国家标准物质(GSS-8)表明所有元素的分析不确定性<5%。

### 1.2 重金属污染评价方法

#### 1. 地积累指数法



图1 研究区及底沙采样断面位置示意图

Fig. 1 A sketch map for studied area and bed loads sampling positions

法地积累指数法 (Index of geoaccumulation) 是德国海德堡大学沉积物研究所的科学家 Muller 提出的一种研究水环境沉积物中重金属污染的定量指标<sup>[18]</sup>,其公式为

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (k \times B_n)] \tag{1}$$

式中  $C_n$  是元素  $n$  在沉积物中的浓度; $B_n$  是沉积物中该元素的地球化学背景值(本研究选取的是云南土壤重金属元素背景值的几何平均<sup>[19]</sup>(表 1); $k$  是考虑各地岩石差异可能会引起背景值的变动而取的系数(一般取值为 1.5)。

地积累指数法在评价沉积物中重金属的污染时,考虑到了人为污染因素、环境地球化学背景值外,还考虑到了由于自然成岩过程可能会引起背景值变动的因素(常数)。弥补了其他评价方法的不足,所以本研究采用了地积累指数法。依据地积累指数( $I_{geo}$ )将重金属污染情况分为 0~6 级共 7 个等级,其分法见表 2。

表 1 土壤重金属元素背景值

Table 1 Geochemical background values of heavy metals /mg · kg<sup>-1</sup>

元素	Zn	Cr	Cu	Pb	As
背景值	80.50	57.6	33.60	36.0	10.8

表 2 地积累指数及其污染程度等级划分

Table 2 Classification of pollution indexes

地积累指数	等级	污染程度
$0 \leq I_{geo}$	0	清洁
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	轻度污染
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	偏中度污染
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	中度污染
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	偏重污染
$4 < I_{geo} \leq 5$	5	重污染
$5 < I_{geo}$	6	严重污染

2. 潜在生态危害指数法

潜在生态危害指数法是瑞典科学家 Hakanson 于 1980 年从沉积学角度提出的一个关于沉积物重金属污染评价方法<sup>[20]</sup>,该方法不仅反映了特定沉积物中个单一污染物的生态风险,同时也注意了多种污染物的综合作用,并且用定量的方法划分出沉积物污染的生态风险等级。潜在生态危害指数值 ( $RI$ ) 计算公式为

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i \tag{2}$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \tag{3}$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_s^i / C_n^i \tag{4}$$

式中  $C_f^i$  为某一金属的污染参数; $C_s^i$  表为环境中重金属的实测含量; $C_n^i$  为计算所需的参比值,采用工业化以前沉积物中重金属的最高背景值,本研究引用的是全球工业化以前沉积物中重金属的最高背景值<sup>[21-22]</sup>,见表 3; $T_r^i$  为各重金属的毒性响应系数,用来反映重金属的毒性水平与水体对金属污染的敏感程度,本研究所选取的重金属元素毒性系数<sup>[21-22]</sup>,见表 3; $E_r^i$  为某一金属潜在生态危害系数; $RI$  为多种金属潜在生态危害指数。潜在生态危害系数 ( $E_r^i$ ) 是描述某一污染物从低到高 5 个变化等级的值;而潜在生态危害指数 ( $RI$ ) 是描述多个污染物危害系数的综合值,分为 4 个等级<sup>[20-22]</sup> 具体的等级划分见表 4。

表 3 底沙重金属的参比值和毒性系数

Table 3 Toxic coefficient of heavy metals

元素	Zn	Cr	Cu	Pb	As
$C_n^i / \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	80.00	60.0	30.00	25.0	15.0
$T_r^i$	1.00	2.0	5.00	5.0	10.0

表 4 潜在生态危害系数 ( $E_r^i$ )、潜在生态危害指数 ( $RI$ ) 生态危害程度等级划分

Table 4 Ecological risk level of potential ecological risk factor ( $E_r^i$ ) and index ( $RI$ )

生态危害程度	轻微	中等	强	很强	极强
$E_r^i$	<40	40~80	80~160	160~320	≥320
$RI$	<150	150~300	300~600	≥600	

2 分析结果

2.1 河流底沙重金属元素的空间变化

各样点底沙重金属元素测试结果列表并制图观察,从表 5 中的数据结合图 2 可以看出 Zn 的含量分布自上游至下游有先减少后增大的趋势,在上游旧州和戛旧的含量分别为 161.8 mg/kg 和 137.3 mg/kg 大于其他采样点含量。Cr 在下游中国境外的琅勃拉邦和巴色采样点的含量分别为 762.9 mg/kg 和 422.9 mg/kg,远大于干流其他采样点的含量。Cu 含量的分布从数值上看也有自上游至下游先减小后增大的趋势。Pb 在上游旧州采样点的含量为 123.9 mg/kg,大于其他采样点的含量。As 在上游旧州和戛



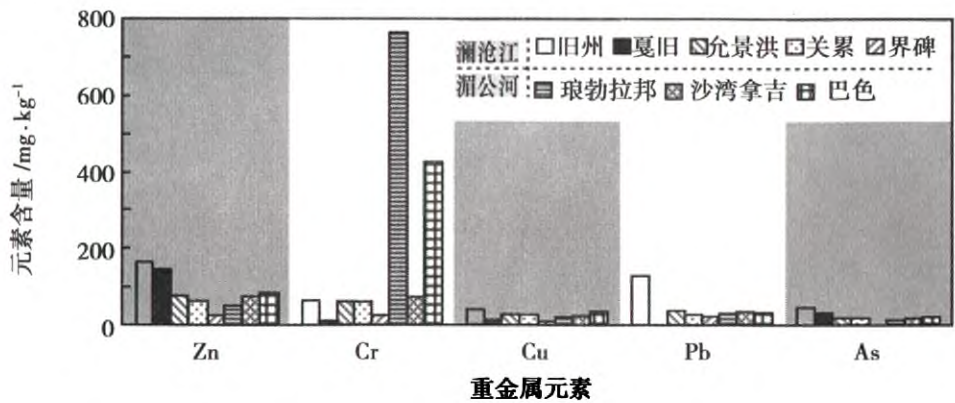


图2 澜沧江-湄公河干流底沙重金属元素含量沿程分布图

Fig.2 Heavy metal concentrations in bed loads along the mainstream of Lancang - Mekong River

旧采样点的含量分别为43.6 mg/kg和26.5 mg/kg,大于其他采样点的含量。从整体上来看,Zn、Pb、As在上游中国境内澜沧江底沙中的含量平均值分别为91.43 mg/kg、41.85 mg/kg、21.84 mg/kg,均大于其在下游境外湄公河底沙中的平均含量68.17 mg/kg、28.22 mg/kg、14.97 mg/kg,Cr在境外湄公河底沙含量平均值为418.86 mg/kg,大于境内上游澜沧江底沙的平均含量42.19 mg/kg,且主要集中在琅勃拉邦和巴色采样点其含量分别为762.93 mg/kg、422.9 mg/kg。Cu除在戛旧和界碑含量较小分别为11.7 mg/kg、7 mg/kg外,在上下游其他采样点的含量分布变化不明显。

表5 澜沧江-湄公河流域干流底沙重金属含量实测值

Table 5 Heavy metal content of bed sediment in main stream

采样点	of Mekong				
	Zn	Cr	Cu	Pb	As
旧州	161.8	62.4	36.9	123.9	43.6
戛旧	137.3	9.9	11.7	1.0	26.5
允景洪	73.60	58.20	26.30	34.80	17.67
关累	61.5	57.0	23.1	27.2	15.6
界碑	22.9	23.4	7	22.3	5.9
琅勃拉邦	51.25	762.93	17.69	24.03	11.00
沙湾拿吉	73.2	70.8	23.0	29.4	15.9
巴色	80.1	422.9	30.9	31.2	18.0

2.2 地积累指数法评价结果分析

将干流底沙重金属实测含量值和重金属含量背景值及变动系数代入公式(1)中,算出地积累指数见表6,由此可以得出其污染程度等级见表6和

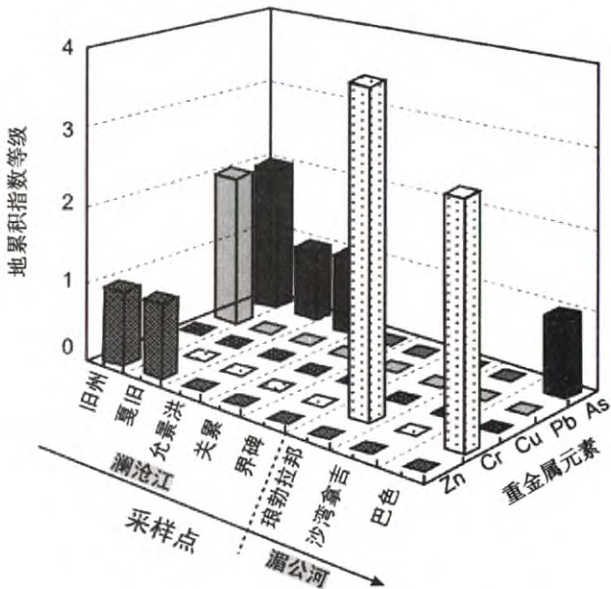


图3 澜沧江-湄公河干流底沙重金属元素含量地积累指数等级图

Fig.3 The classification of the index of geoaccumulation in bed loads along the mainstream of Lancang - Mekong River

图3。从图3中可以看出,在干流底沙中富集最不明显的是Cu,其在8个采样点的地积累指数等级均为0,污染程度为清洁。富集最为明显的是Cr,Cr在琅勃拉邦和巴色采样点出现了富集,其地积累指数等级分别是4和3,污染程度分别为偏重污染和重度污染。Zn在旧州和戛旧采样点出现了轻微富集,其地积累指数等级均为1,污染程度均为轻度污染。Pb只在旧州采样点出现了富集,其地积累指数等级为2,污染程度为偏中度污染。As在中国境内的富集情况比较明显,在旧州、戛旧、允景洪的地积累指数等级分别为2、1、1,污染程度为偏中度污染

表 6 澜沧江-湄公河流域干流底沙中重金属的地积累指数及其等级

Table 6 The index of geoaccumulation (Igeo) and its classification

地名	Igeo					As	Zn	Igeo 等级			As
	Zn	Cr	Cu	Pb	Cr			Cu	Pb		
旧州	0.42	-0.47	-0.45	1.20	1.43	1	0	0	2	2	
戛旧	0.19	-3.12	-2.10	-5.70	0.71	1	0	0	0	1	
允景洪	-0.71	-0.57	-0.94	-0.63	0.13	0	0	0	0	1	
关累	-0.97	-0.60	-1.12	-0.99	-0.06	0	0	0	0	0	
界碑	-2.40	-1.88	-2.85	-1.28	-1.46	0	0	0	0	0	
琅勃拉邦	-1.24	3.14	-1.51	-1.17	-0.56	0	4	0	0	0	
沙湾拿吉	-0.72	-0.29	-1.13	-0.88	-0.03	0	0	0	0	0	
巴色	-0.59	2.29	-0.71	-0.79	0.15	0	3	0	0	1	

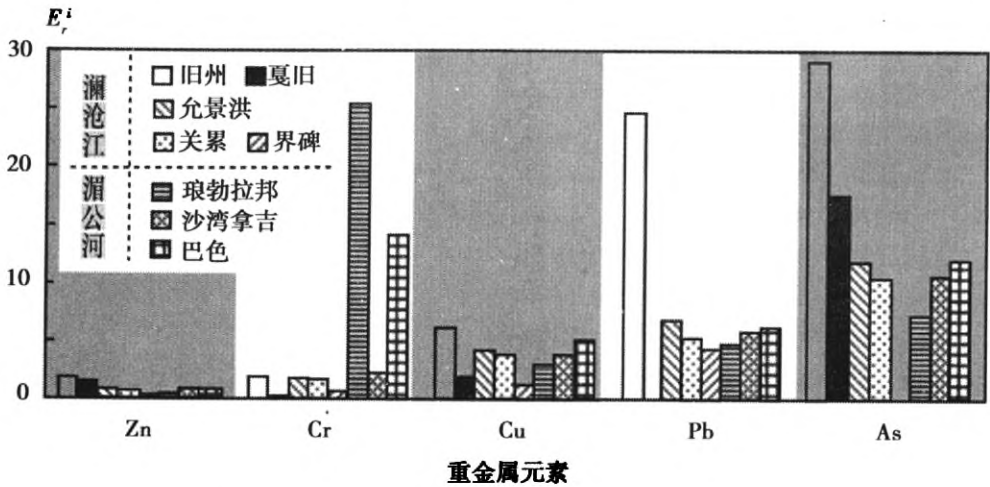


图 4 澜沧江-湄公河干流底沙单一重金属潜在生态危害系数值

Fig. 4 Potential ecological risk factor ( $E_r^i$ ) in bed loads along the mainstream of Lancang - Mekong River

和轻度污染,此外在境外巴色采样点也出现了富集,其地积累指数等级为 1,污染程度为轻微污染。总的来看,澜沧江-湄公河流域干流河流底沙重金属在上游中国境内 Zn、Pb、As 有污染,其中 Pb、As 的污染较 Zn 严重。在下游中国境外 Cr 污染较严重,其污染主要集中在琅勃拉邦和巴色两个采样点,As 在巴色采样点也出现了轻微污染。

2.3 潜在生态危害指数法评价结果分析

利用干流底沙重金属实测含量值,计算参比值,重金属毒性系数,根据公式(2)、(3)、(4)计算得到单一重金属生态危害系数,和多种重金属潜在生态危害指数 RI 见表 7。从表 7 结合图 4 可以看出,各采样点所评价的五种元素单一生态危害系数均没有超过 40,其潜在危害程度均为轻微。8 个采样点多种重金属潜在生态危害指数 RI 也均 < 150, 各采样

表 7 澜沧江-湄公河流域干流底沙重金属潜在生态危害系数及潜在生态危害指数

Table 7 Potential ecological risk factor ( $E_r^i$ ) and index (RI) of bed sediment

地名	$E_r^i$					RI
	Zn	Cr	Cu	Pb	As	
旧州	2.02	2.08	6.15	24.78	29.07	64.10
戛旧	1.72	0.33	1.95	0.21	17.64	21.85
允景洪	0.92	1.94	4.38	6.96	11.78	25.98
关累	0.77	1.90	3.85	5.44	10.39	22.35
界碑	0.29	0.78	1.17	4.46	3.93	10.63
琅勃拉邦	0.64	25.43	2.95	4.81	7.34	41.16
沙湾拿吉	0.91	2.36	3.64	5.88	10.59	23.58
巴色	1.00	14.10	5.14	6.24	12.01	38.49
平均值	1.03	6.11	3.68	7.35	12.84	

点潜在生态危害程度也均为轻微。从数值上看澜沧江-湄公河干流从旧州到巴色河段河流底沙重金属污染程度从重到轻依次为As、Pb、Cr、Cu、Zn。各采样点多种重金属潜在生态危害程度由重到轻依次为旧州、琅勃拉邦、巴色、允景洪、沙湾拿吉、关累、戛旧、界碑。

### 3 讨论

由于多数重金属元素是吸附在悬移质泥沙或富集于河流沉积物中。而根据澜沧江-湄公河流域已有的研究表明,漫湾电站对河流泥沙具有一定的阻拦<sup>[13]</sup>作用,显然漫湾大坝对吸附或者包含在悬沙和推移质中的重金属污染有一定的拦截作用<sup>[23]</sup>。根据本研究所的采样点元素含量实测值来看,各元素在戛旧采样点均出现明显减少现象,而漫湾大坝位于旧州和戛旧采样点之间说明大坝可能对重金属具有一定的拦截作用,使得在戛旧采样点重金属元素含量分布出现骤减,而除As元素外其他元素的含量在允景洪采样点有所回升。在旧州断面Zn、Pb、As含量较高,这可能是因为其上游附近兰坪铅锌矿的污染这与黄江成等<sup>[23]</sup>的研究相同。此外,Cr在下游琅勃拉邦和巴色采样点含量较高,这可能是由于琅勃拉邦和巴色均位于湄公河畔,随着城市化进程和人口的增长以及河道内航运的增多<sup>[24]</sup>使得湄公河在所处河段人为的污染增加而导致Cr元素在该区域的污染。

从所评价重金属单一生态危害系数数值来看虽然其数值均没有超过40,潜在危害程度均为轻微,而上游中国境内As在旧州和戛旧采样点的潜在生态危害系数较其他采样点大,Pb在旧州采样点的潜在生态危害系数较其他采样点大,说明其污染程度相对明显。在下游中国境外Cr在琅勃拉邦和巴色采样点的生态危害系数较其他采样点大,且As在巴色采样点的生态危害系数较其他采样点大,也说明其污染程度相对明显。这与本研究中用地积累指数法评价所得的结果一致。潜在生态危害指数法和地积累指数法评价结果不相同的是对于Zn的污染评价,地积累指数法显示Zn在旧州和戛旧采样点有轻微污染现象,可Zn的潜在生态危害系数数值在所有采样点却较小,导致这种现象的原因主要是地积累指数评价法侧重于对沉积物重金属含量的对比评价,而生态危害指数法侧重于在考虑不同重金属

离子的毒性差异的同时,对比考察沉积物重金属的含量<sup>[25]</sup>。

在计算地质累积指数时,Muller选择以全球页岩的平均值作为元素的地球化学背景值。但是后来研究者认识到不同的地区的地球化学差异有很大的不同,研究者们直接使用当地的土壤背景值,或采用周边未被污染的样品测量出的元素含量作为背景值,以减少这种差异带来的影响<sup>[4-7]</sup>。由于缺乏下游澜沧江-湄公河流域的数据资料,本文所采取的元素背景值为中国土壤重金属元素背景值中的云南地区土壤重金属元素背景值的几何平均值,这样在计算中国云南省境外的琅勃拉邦、沙湾拿吉、巴色采样点样品的地积累指数时存在一定的误差,使得数据处理结果不能很精确,需要在获取更多更为精确的背景资料后再进一步进行研究和完善。

通过对流域干流旧州、戛旧、允景洪、关累、界碑、拉伯拉帮、沙湾拿吉、巴色8个采样点河流底沙的数据进行分析和研究,从流域干流来看,所选取的采样点偏少,在进一步研究时需要多增加采样点使研究更精准和更具说服力。此外,本文根据沉积学原理,应用地积累指数法和潜在生态危害指数法对底沙中重金属污染开展研究,结合河流泥沙性质输沙量,矿物质变化及其河床河型演变等因素以及流域生态环境等进行分析。

### 4 主要结论

1. 在澜沧江-湄公河流域干流底沙重金属元素中,Zn、Pb、As在澜沧江中国境内河段底沙中的含量平均值分别为91.43 mg/kg、41.85 mg/kg、21.84 mg/kg,大于其在下游境外湄公河底沙中平均含量68.17 mg/kg、28.22 mg/kg、14.97 mg/kg,Cr在境外湄公河底沙含量平均值为418.86 mg/kg,大于境内上游澜沧江底沙的平均含量42.19 mg/kg,且主要集中在琅勃拉邦和巴色采样点,其含量分别为762.93 mg/kg、422.9 mg/kg。Cu除在戛旧和界碑含量较小,分别为11.7 mg/kg、7 mg/kg外,在上下游其他采样点的含量分布变化不明显。

2. 地积累指数法评价结果表明澜沧江-湄公河流域干流河流底沙重金属在上游中国境内Zn、Pb、As有污染,其中Pb、As的污染较Zn严重。在下游中国境外Cr污染较严重,其污染主要集中在琅勃拉邦和巴色两个采样点,As在巴色采样点也出现了

轻微污染。

3. 潜在生态危害指数法评结果表明澜沧江—湄公河流域干流底沙重金属元素单一潜在生态危害系数和多种重金属潜在生态危害指数较小,各采样点重金属潜在生态危害程度均属于轻微污染。

## 参考文献 (References)

- [1] Jiang Bingyan, Wang Linlin. Research status of heavy metal pollution in the sediment in water system of China [J]. Science and Technology Information, 2009(9): 383–384 [蒋炳言, 汪琳琳. 中国水系沉积物重金属污染研究现状[J]. 科技信息, 2009(9): 383–384]
- [2] Wang Yujuan, Lu Wenying, Liu Guoguang. Progress in research on heavy metal speciation and bioavailability in sediment [J]. Safety and Environmental Engineering, 2009, 16(4): 27–29 [汪玉娟, 吕文英, 刘国光等. 沉积物中重金属的形态及生物有效性研究进展[J]. 安全与环境工程, 2009, 16(4): 27–29]
- [3] He Guangjun, Li Junfei, Gu Liping. Pollution situation and control progress of heavy metal in the bottom sediment of the river [J]. Reservoir Fisheries, 2007, 27(5): 60–62 [何光俊, 李俊飞, 谷丽萍. 河流底泥的重金属污染现状及治理进展[J]. 水力渔业, 2007, 27(5): 60–62]
- [4] Zhou Xiuyan, Wang Ende. Method on how to apply index of geoaccumulation to evaluate heavy metal pollution as result of index of inter-tidal sediment in Liaodong bay [J]. Journal of Safety and Environment, 2004, 4(2): 22–23 [周秀艳, 王恩德. 辽东湾潮间带底质重金属污染地累积指数评价[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(2): 22–23]
- [5] Zhu Lingyan, Deng Baole, Liu Nannan. Application of equilibrium partitioning approach to derive sediment quality criteria for heavy Metals [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(7): 763–766 [祝凌燕, 邓保乐, 刘楠楠. 应用相平衡分配法建立污染物的沉积物质量基准[J]. 环境科学研究, 2009, 22(7): 763–766]
- [6] Corinna Kowalik, Jürgen W. Einax. Modern chemometric data analysis-methods for the objective evaluation of load in river systems [J]. Acta Hydrochim. Hydrobiol., 2006, 34: 425–435
- [7] H Lokeswari and G T Chandrappa. Effects of heavy metal contamination from anthropogenic sources on Dasarahallitank, India [J]. Research and Management, 2007, 12: 121–128
- [8] Chen Qian, Kong Xiaosha. Lancang–Mekong river basin basic data collections [M]. Yunnan: Yunnan Scientific and Technical Publishers, 2000: 1–8 [陈茜, 孔晓莎. 澜沧江—湄公河流域基础资料汇编[M]. 云南: 云南科技出版社, 2000: 1–8]
- [9] He Daming, Wu Shaohong, Peng Hua. A study of ecosystem changes in longitudinal range-gorge region and transboundary eco-security in southwest China [J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(3): 338–344 [何大明, 吴绍洪, 彭华, 等. 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 338–344]
- [10] Li Lijuan. Water quality status assessment and causal analysis of Lancang river [J]. Acta Geographica Sinica, 1999, 54 (suppl.): 127–131 [李丽娟. 澜沧江水环境质量评价与成因分析[J]. 地理学报, 1999, 54(增刊): 127–131]
- [11] Chen Fan. Status quo and influence of water quality in the basin of Lancang River [J]. Yunnan Environmental Science, 1999, 18(1): 47–49 [陈帆. 澜沧江流域水质现状及影响分析[J]. 云南环境科学, 1999, 18(1): 47–49]
- [12] Yao Weike, Yang Zhifeng, Liu Zhuo, et al. Spatio-temporal characteristics of Lancangjiang River water quality along middle reaches [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 149–152 [姚维科, 杨志峰, 刘卓, 等. 澜沧江中段水质时空特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 149–152]
- [13] Fu Kaidao, He Daming. Analysis and prediction of sediment trapping efficiencies of the reservoirs in mainstream of Lancang River [J]. Chinese Science Bulletin, 2007 (suppl.): 117–112 [傅开道, 何大明. 澜沧江干流水库拦沙效应分析与预测[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊): 117–112]
- [14] Hu Guohua, Zhao Peilun, Xiao Xiangqun. Sediment characteristics of Yellow River and their influence on water environment [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(8): 17–20 [胡国华, 赵沛伦, 肖翔群. 黄河泥沙特性及对水环境的影响[J]. 水利水电技术, 2004, 35(8): 17–20]
- [15] Gerard Klaver, Bertil Van O. Influence of hydropower dams on the composition of the suspended and riverbank sediments in the Danube [J]. Environmental Pollution, 2007, 148: 718–728
- [16] He Daming, Feng Yan. Rational utilization and coordination management of transboundary water resources in the international river [M]. Beijing: Science Press, 2006: 20–47 [何大明, 冯彦. 国际河流跨境水资源合理利用与协调管理[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 20–47]
- [17] Su Yuelong. Initial exploration of overall prevention and control countermeasures for pollution and danger in Bijiang River [J]. Yunnan Environmental Science, 2004, 23 (suppl.): 118–119 [苏跃龙. 北江污染及危害综合防治对策初探[J]. 云南环境科学, 2004, 23(增刊): 118–119]
- [18] Muller G. Index of geoaccumulation in sediment of the Rhine River [J]. Geojournal, 1969, 2: 108–118
- [19] Wei Fusheng. Background values of elements in soils of China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 330–482 [魏复盛. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 330–482]
- [20] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control—A sediment biological approach [J]. Water Research, 1980, 14: 975–1001
- [21] Chen Jingsheng, Zhou Jiayi. The research of heavy metal in water environment of China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 168–170 [陈静生, 周家义. 中国水环境重金属研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 168–170]
- [22] Xu Zhengqi, Ni Shijun, Tuo Xianguo, et al. Calculation of heavy metals' toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index [J]. Environmental Science and Technology, 2008, 31



- (2):112-114 [徐争启,倪师军,庾先国,等.潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数的计算[J].环境科学与技术,2008,31(2):112-114]
- [23] Huang Jiangcheng, Fu Kaidao, He Daming. Analysis on the characteristics of sediment in the middle and lower parts of the Lancang river[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science edition, 2010, 42(3):112-119 [黄江成,傅开道,何大明.澜沧江中下游泥沙特性分析[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(3):112-119]
- [24] Ian Charles Campbell. The Mekong biophysical environment of an international river basin [M]. Academic Press, 2009, 11:297-319
- [25] Ding Zhenhua, Jia Hongwu, Li Caie, et al. Pollution and assessment of heavy metals in Huangpu River sediments [J]. Environmental Science and Technology, 2006, 29(2):64-66 [丁振华,贾洪武,刘彩娥,等.黄浦江沉积物重金属的污染及评价[J].环境科学与技术,2006,29(2):64-66]

## Spatial Change of Heavy Metal Concentration and Pollution Assessment in Bed Loads along Mainstream of the Lancang – Mekong River

SU Bin, FU Kaidao, ZHONG Ronghua, SONG Jingyi

(Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** More global attention is being paid to hydrological regime, sediment and water environmental changes caused by resource development in the Lancang – Mekong River Basin. In this paper, Eight critical reaches along mainstream of the Lancang – Mekong River were chosen for bed loads sampling, and 5 heavy metal elements were tested in the laboratory to discuss their spatial changes and pollution assessment in the watercourse. Methods of Index of Geoaccumulation and Ecological Risk Index were employed to assess heavy metal pollution status in the mainstream of the Lancang – Mekong river. The results show that (1) the average concentration of the heavy metal elements Zn、Pb、As in the bed loads in the Lancang (Upper Mekong) river is 91.43 mg/kg, 41.85 mg/kg, 21.84 mg/kg, respectively, greater than the average concentration of those heavy metal elements in the bed loads of the Mekong (Lower Mekong) river (68.17 mg/kg, 28.22 mg/kg, 14.97 mg/kg), the average concentration of Cr in the bed sediment of the downstream – Mekong river is 418.86 mg/kg larger than that in the Lancang river where the average concentration of Cr is 42.19 mg/kg, and Cr concentration reaches 762.93 mg/kg at Luang Prabang and 422.9 mg/kg at Pakse. The Cu concentrations of in the 8 samples are almost equivalent, though they are slightly low at Jiajiu as 11.7 mg/kg and at the boundary 7 mg/kg. (2) The result of the Index of Geoaccumulation shows that the contamination induced with Zn, Pb and As in the Upper Mekong has exceeded the pollution standard, in which Pb and As are worse than Zn. However, Cr is the major pollutant in the Lower Mekong, especially at Luang Prabang and Pakse. (3) The Ecological Risk Index suggests that the potential ecological risk of heavy metal in the whole Mekong is light. Based on analysis above, we argue that the heavy metal pollution in bed loads caused by mining of mineral resources or geochemical background in the upper part of the basin has not led to transboundary pollutant issue, probably due to reservoir trapping and dilution along the river. This research and results could enhance the deficiency of study in heavy metal pollution in the whole Mekong River, as well as a reference for government to decision-making during resource utilization in the watershed.

**Key words:** the Lancang – Mekong River; heavy metal pollution; index of geoaccumulation; potential ecological risk index



作者: 苏斌, 傅开道, 钟荣华, 宋静宜, SU Bin, FU Kaidao, ZHONG Ronghua, SONG Jingyi  
作者单位: 云南大学亚洲国际河流中心, 云南昆明, 650091  
刊名: 山地学报 **ISTIC PKU**  
英文刊名: Journal of Mountain Science  
年, 卷(期): 2011, 29(6)

## 参考文献(25条)

1. 蒋炳言;汪琳琳 中国水系沉积物重金属污染研究现状[期刊论文]-科技信息 2009(09)
2. 汪玉娟;吕文英;刘国光 沉积物中重金属的形态及生物有效性研究进展[期刊论文]-安全与环境工程 2009(04)
3. 何光俊;李俊飞;谷丽萍 河流底泥的重金属污染现状及治理进展[期刊论文]-水力渔业 2007(05)
4. 周秀艳;王恩德 辽东湾潮间带底质重金属污染地累积指数评价[期刊论文]-安全与环境学报 2004(02)
5. 祝凌燕;邓保乐;刘楠楠 应用相平衡分配法建立污染物的沉积物质量基准[期刊论文]-环境科学研究 2009(07)
6. Corinna Kowalik;Jürgen W. Einax Modern chemometric data analysis-methods for the objective evaluation of load in river systems 2006
7. H Lokeshwari;G T Chandrappa Effects of heavy metal contamination from anthropogenic sources on Dasarahallitank, India 2007
8. 陈茜;孔晓莎 澜沧江-湄公河流域基础资料汇编 2000
9. 何大明;吴绍洪;彭华 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究[期刊论文]-地球科学进展 2005(03)
10. 李丽娟 澜沧江水环境质量评价与成因分析 1999(增刊)
11. 陈帆 澜沧江流域水质现状及影响分析 1999(01)
12. 姚维科;杨志峰;刘卓 澜沧江中段水质时空特征分析[期刊论文]-水土保持学报 2005(06)
13. 傅开道;何大明 澜沧江干流水库拦沙效应分析与预测[期刊论文]-科学通报 2007(增刊)
14. 胡国华;赵沛伦;肖翔群 黄河泥沙特性及对水环境的影响[期刊论文]-水利水电技术 2004(08)
15. Gerard Klaver;Bertil Van O Influence of hydropower dams on the composition of the suspended and riverbank sediments in the Danube[外文期刊] 2007(3)
16. 何大明;冯彦 国际河流跨境水资源合理利用与协调管理 2006
17. 苏跃龙 批江污染及危害综合防治对策初探 2004(增刊)
18. Muller G Index of geoaccumulation in sediment of the Rhine River 1969
19. 魏复盛 中国土壤元素背景值 1990
20. Hakanson L An ecological risk index for aquatic pollution control-A sediment biological approach[外文期刊] 1980
21. 陈静生;周家义 中国水环境重金属研究 1992
22. 徐争启;倪师军;虞先国 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数的计算[期刊论文]-环境科学与技术 2008(02)
23. 黄江成;傅开道;何大明 澜沧江中下游泥沙特性分析[期刊论文]-四川大学学报(工程科学版) 2010(03)
24. Ian Charles Campbell The Mekong biophysical environment of an international river basin 2009
25. 丁振华;贾洪武;刘彩娥 黄浦江沉积物重金属的污染及评价[期刊论文]-环境科学与技术 2006(02)

## 引证文献(1条)

1. 宋静宜, 傅开道, 苏斌, 张继来, 王兴勇 澜沧江床沙重金属污染及其环境磁学指示[期刊论文]-环境化学 2013(9)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201106004.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201106004.aspx)