

乐安河水体重金属出入河通量探究

汪艳芳,武心嘉,戚晓明,白夏,杨兰
(蚌埠学院,机械与车辆工程学院,安徽 蚌埠 233030)

摘要:在分析乐安河沿程水质的基础上,将乐安河全年按丰水期、平水期、枯水期分别统计进出水量、总重金属及溶解态重金属年出入河通量。结果表明:乐安河总重金属质量浓度及溶解态重金属质量浓度呈先上升后下降趋势,出水水质仍能达到Ⅲ类水质标准;2016年乐安河内新增Cu、Zn、Pb质量分别为36.968 t、51.39 t、0.288 t;乐安河内每年可新增重金属量已逐年减少,大量重金属元素将最终排入鄱阳湖内。

关键词:重金属;通量;水质;沉积物;乐安河

中图分类号: X522

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2019)04-0060-04

Study on Heavy Metal Flux In and Out of Le'an River

WANG Yan-fang, WU Xin-jia, QI Xiao-ming, BAI Xia, YANG Lan

(Bengbu College, College of Mechanical and Vehicle Engineering, Bengbu, Anhui 233030, China)

Abstract: Based on the water quality of Le'an river, the water volume, total and dissolved heavy metal flux in and out of Le'an river during wet season, normal season and dry season were studied. Results showed that the mass concentration of total and dissolved heavy metal were ascend at first and descend at last. The effluent quality reached the water quality standard of III grade. In 2016, the increment of Cu, Zn and Pb in Le'an river were 36.968 t, 51.39 t and 0.288 t, respectively. The annual acceptable increment of heavy metals were decreased year by year, and a large amount of heavy metals were discharged into Poyang Lake finally.

Key words: Heavy metal; Flux; Water quality; Sediment; Le'an river

乐安河系饶河一级支流,鄱阳湖二级支流,全长280 km,流域面积8 521 km²,位于28°55'41"N~29°1'21"N,116°29'35"E~117°48'24"E,全年气候温和,雨量充沛,年均降水量1 540 mm,年均气温16.4℃~20.1℃^[1]。据报道,鄱阳湖重金属污染程度不高,乐安河水体重金属是鄱阳湖重金属的主要来源^[2-3]。乐安河始于德兴市上游,途径乐平市,最后在鄱阳县境以下与昌江汇合流入饶河。乐安河支流较多,尤以德兴市大陂河重金属污染最为严重。大陂河全长14.3 km,每年德兴铜矿有大量酸性废水及碱性废水排入大陂河,最终汇入乐安河,酸性废水pH值为2.5~3.5,废水中含有大量的重金属物质,碱性废水pH值在10.5左右^[4],大量废水由大陂河排入乐安河中,导致乐安河水质严重污染。

目前,关于污染物出入湖通量的研究多数是常

规生化指标统计分析^[5-6],对重金属出入湖通量的研究甚少。今拟计算乐安河年流入及排出的溶解态和颗粒态重金属通量,探讨乐安河重金属污染来源,以为乐安河重金属污染治理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 监测点位布置

根据江西气候特征,乐安河一年划分为丰水期(6月—9月)、平水期(3—5月、10—11月)和枯水期(12月—次年2月),期间水位变化幅度不大。2016年全年用10个月(其中1月、2月未采集水

收稿日期:2018-05-27;修订日期:2019-05-13

基金项目:安徽省高校科学研究基金资助项目(113052015KJ04);2017年安徽省高校自然科学基金资助项目(2017ZR21)

作者简介:汪艳芳(1988—),女,安徽太湖人,助教,硕士,主要从事水文水资源研究工作。

样)对乐安河采样分析,分别在源头(S1)、海口(S2)、戴村(S3)、韩家渡(S4)、蔡家湾(S5)共设置 5 个监测断面,采样点具体位置见图 1。

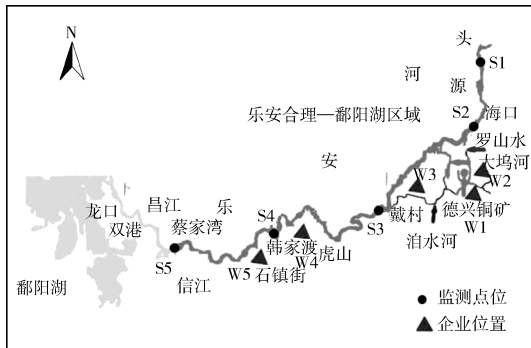


图 1 乐安河监测点位布置

Fig. 1 Distribution of monitoring site in Le'an river

1.2 分析项目与方法

选取乐安河重金属污染水平较高的 Cu、Pb、Zn 分析,水样采集完经 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤处理后加体积分数为 50% 的 HNO_3 溶液固定,分别测定原水及过滤水中各重金属。过滤水中重金属浓度为溶解态,颗粒态重金属浓度等于原水中重金属浓度减去溶解态。样品检测严格参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[7],每个项目均平行检测 3 次取平均值,再根据乐安河丰水期、枯水期、平水期的划分求取不同时期的重金属质量浓度均值。滤膜过滤前置于烘箱中 ($80 \text{ }^\circ\text{C}$) 恒重处理,直至 2 次称量误差 $\leq 0.5 \text{ mg}$ 。采集的水样 (2 L) 盛装在容积为 5 L 的经过稀盐酸浸泡 24 h 的聚丙烯塑料桶中,水样采集后现场加入 20 mL 体积分数为 50% 的 HNO_3 溶液酸化处理,带回实验室分析。原水过滤前摇晃 5 min 左右,使原水中悬浮物分布均匀。

2 结果与讨论

2.1 重金属浓度分析

2.1.1 总重金属含量分析

由于每一时期水质波动不大,故水质均以每一时期的平均值分析。对乐安河水体沿程总重金属含量分析表明:乐安河海口断面(S2)未受到污染,Cu、Pb、Zn 含量均能达到 II 类水质标准;戴村断面(S3)由于有大量的酸性及碱性废水排入,乐安河水体重金属含量大幅升高,相比海口断面,Cu 含量增加 25 ~ 55 倍,Zn 含量增加 14 ~ 20 倍,Pb 含量增

加 2.5 ~ 3.5 倍,说明向乐安河排入的废水中含有大量 Cu、Zn。相比戴村断面,韩家渡断面(S4) Cu、Zn、Pb 含量分别下降了 8% ~ 19%、18% ~ 22%、20% ~ 27%,蔡家湾断面(S5)各元素含量仍有继续下降的趋势,然而下游各重金属含量仍高于上游。因重金属元素难被生物降解,说明水体中大量的重金属元素沉积在乐安河沉积物中。

2.1.2 溶解态重金属含量分析

乐安河溶解态各元素含量沿程变化状况与总重金属含量沿程变化状况类似,除枯水期与平水期溶解态 Zn 外,其他时期各元素含量均在戴村断面达到最大值,相比海口断面,溶解态 Cu 含量增加 12 ~ 30 倍,溶解态 Zn 含量增加 8 ~ 17 倍,溶解态 Pb 含量增加 1.7 ~ 2.6 倍。相比总重金属含量,各元素溶解态含量沿程增加幅度较低,说明排入的废水中含有大量的颗粒态重金属。由于韩家渡断面之后无废水排入乐安河,正常而言,该断面重金属含量应比戴村断面含量低,而枯水期与平水期溶解态 Zn 含量却有上升趋势,这可能是由采砂等人为活动引起沉积物中重金属的释放造成的。

2.1.3 颗粒态重金属含量分析

颗粒态重金属质量浓度沿程变化状况见表 1。由表 1 可知,上覆水中颗粒态 Pb 质量浓度在各时期沿程变化不大,可能是随着水体的流动从上覆水中慢慢迁移到沉积物间隙水中或底泥中,因只研究上覆水中重金属(上覆水指沉积物以上水体,间隙水指沉积物经离心分离后所收集的水体),具体原因有待广大研究学者对乐安河沉积物间隙水和沉积物中 Pb 作进一步分析。颗粒态 Cu 与 Zn 含量在 S3 及 S4 断面涨幅较大,且在 S4 断面仍继续上升,相比海口断面分别增长 30 ~ 50 倍、20 ~ 25 倍。颗粒态重金属含量约占总重金属含量的 60% ~ 80%,说明乐安河排入的废水中主要含有颗粒态重金属。枯水期含量远高于丰水期含量,推测可能是由枯水期乐安河重金属主要以颗粒态迁移,枯水期风浪较大,水动力较强,沉积物释放作用明显,水体中悬浮物含有大量的细小黏土矿物质造成。

2.2 污染源调查

2016 年至研究区实地调查,乐安河沿程共有 36 家企业向乐安河排入工业废水及生活污水,其中德兴铜矿(W1)、江西东风药业有限公司(W2)、江西电化有限公司(W3)、江西省德兴市百勤异 VC 钠有限公司(W4)、江西化纤化工有限公司

表 1 各元素颗粒态质量浓度
Table 1 Mass concentration of particle element

断面名称	丰水期			平水期			枯水期		
	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb
S1	0.012	0.022	0.006	0.016	0.023	0.007	0.018	0.026	0.009
S2	0.012	0.031	0.008	0.012	0.028	0.007	0.014	0.037	0.008
S3	0.460	0.594	0.013	0.536	0.613	0.016	0.638	0.635	0.014
S4	0.413	0.473	0.012	0.574	0.524	0.013	0.616	0.647	0.017
S5	0.195	0.269	0.010	0.364	0.318	0.012	0.332	0.364	0.012

(W5)等5家企业每年排入乐安河重金属质量占总排入量的94.2%~96.7%,而德兴铜矿每年排入乐安河总重金属量就占90.3%~93.1%,其他31家企业排入的重金属质量占总排入量的3.3%~5.8%,这些企业年排入乐安河水量及总重金属量见表2(各企业年排放重金属总量由各企业每月废水排放量乘以该企业该月废水中重金属质量浓度汇总而得)。

表 2 2016 年乐安河污染源调查情况

污染源	污水排入量	Q(Cu)	Q(Zn)	Q(Pb)
	Q/(t·a ⁻¹)	/(t·a ⁻¹)	/(t·a ⁻¹)	/(t·a ⁻¹)
W1	26 438 574	52.876	87.2	1.85
W2	1 958 400	1.78	2.63	0.014
W3	135 731 550	1.2	1.24	0.021
W4	7 581 300	0.96	0.73	0.08
W5	843 720	0.53	0.62	0.065
其他	134 583 720	3.52	5.16	0.058
合计	271 158 990	60.868	97.58	2.088

上述5家企业相对乐安河分布位置见图1。重金属排放总量居前三的企业均分布在S2与S3断面之间,故不论何种形态重金属含量均是在S3断面达到最大值;至S4断面时,各元素总重金属含量略有下降,而溶解态Zn含量甚至略有上升,推测可能是W4公司排放的重金属元素主要以Zn为主,且距S4断面约10 km,重金属吸附沉淀不完全导致;至S5断面时,各形态重金属含量急剧下降,说明江西化纤化工有限公司(距S5断面约35 km)排放污染物中重金属含量不多,且水体经长距离流动重金属在环境中发生一系列转换所致。综上,乐安河内重金属在上覆水-间隙水-沉积物三者之间的迁移转化主要集中在S2—S5断面,且水体流动距离越长,上覆水中重金属含量越低,更多的重金属集中在间隙水及沉积物中。

2.3 2016 年乐安河重金属出入河通量

参考文献[8],2016年乐安河丰水期平均流量为724 m³/s,枯水期平均流量为217 m³/s,平水期平均流量为482 m³/s。根据每一时期流量及各重金属质量浓度,计算^[9]2016年乐安河水体总重金属及溶解态重金属出入河通量,计算方法参照公式(1)(2),结果见表3。

$$W_{入} = Q_{丰入} \times C_{丰入} + Q_{平入} \times C_{平入} + Q_{枯入} \times C_{枯入} \quad (1)$$

$$W_{出} = Q_{丰出} \times C_{丰出} + Q_{平出} \times C_{平出} + Q_{枯出} \times C_{枯出} \quad (2)$$

式中: $W_{出}$ 和 $W_{入}$ 表示乐安河全年重金属入河或者出河通量,t/a; $Q_{丰入}$ 、 $Q_{平入}$ 、 $Q_{枯入}$ 分别表示乐安河在丰水期、平水期、枯水期对应的入河水流总量,m³/a; $C_{丰入}$ 、 $C_{平入}$ 、 $C_{枯入}$ 分别表示丰水期、平水期、枯水期对应的各重金属元素质量浓度(S1断面)的平均值,t/m³; $Q_{丰出}$ 、 $Q_{平出}$ 、 $Q_{枯出}$ 分别表示乐安河在丰水期、平水期、枯水期所对应的流出乐安河水流总量,m³/a; $C_{丰出}$ 、 $C_{平出}$ 、 $C_{枯出}$ 分别表示丰水期、平水期、枯水期对应的各重金属元素质量浓度(S5断面)平均值,t/m³。

计算得2016年乐安河水体中Cu、Zn、Pb总重金属的入河通量分别为119.6 t、217.41 t、31.6 t,出河通量分别为143.5 t、263.6 t、33.4 t。2016年乐安河水体Cu、Zn、Pb排出量相比总入河量(重金属总入河通量=重金属入河通量+沿程废水中重金属排放量)分别减少36.968 t/a、51.39 t/a、0.288 t/a,说明乐安河Cu、Zn污染较为严重,且减少的重金属元素全部沉积在乐安河沉积物中。文中未指明形态的“通量”是根据原水中重金属质量浓度求得。

2.4 近5年乐安河总重金属出入河通量

根据江西省水利厅网站公布的2012年—2016年每季度乐安河监测数据及有关文献^[6-7,10]报道的入河流量与出河流量情况,按公式(1)(2)统计当年乐安河总重金属出入河通量,结果见表3(出、

表 3 近 5 年乐安河总重金属出入河通量
Table 3 Flux of heavy metals in and out of Le'an river in the past five years

年份	出河通量				入河通量			
	水量 V / $10^9 m^3$	$Q(Cu)$ / $(t \cdot a^{-1})$	$Q(Zn)$ / $(t \cdot a^{-1})$	$Q(Pb)$ / $(t \cdot a^{-1})$	水量 V / $10^9 m^3$	$Q(Cu)$ / $(t \cdot a^{-1})$	$Q(Zn)$ / $(t \cdot a^{-1})$	$Q(Pb)$ / $(t \cdot a^{-1})$
2012	15.56	136.27	229.34	25.61	15.33	119.63	218.24	30.91
2013	15.57	128.04	228.27	27.03	15.32	119.32	217.37	30.03
2014	15.53	133.27	236.19	28.06	15.34	118.97	216.93	31.06
2015	15.58	136.21	248.53	30.28	15.37	119.62	218.14	31.28
2016	15.59	143.5	263.6	33.4	15.32	119.60	217.41	31.6

入河通量分别由 S5 及 S1 断面的数据计算而得)。由表 3 可知,2012—2016 年,乐安河 Cu、Zn、Pb 出河通量相比 2008 年略有增加,近 5 年乐安河重金属入河通量相差不大,出河通量在逐年增加。

2.5 乐安河内每年新增重金属量

由于各种环境条件的变化,水流在运动过程中,重金属在上覆水-间隙水-沉积物三者之间动态迁移转化,故仅统计每年乐安河内新增的重金属量,根据重金属总量平衡关系计算^[11],结果见表 4。

$$W_{\text{新增}} = W_{\text{入}} + W_{\text{废}} - W_{\text{出}} \quad (3)$$

式中: $W_{\text{新增}}$ 表示乐安河内每年新增的重金属量, t/a ; $W_{\text{入}}$ 表示水体中每年入河重金属量, t/a ; $W_{\text{废}}$ 表示每年排入的废水中重金属总量, t/a ; $W_{\text{出}}$ 表示水体中每年出河重金属量, t/a 。

表 4 近 5 年乐安河内每年新增重金属量 t/a
Table 4 The increased heavy metals in Le'an river in the past 5 years t/a

年份	Cu	Zn	Pb
2012	43.56	86.03	7.318
2013	49.52	87.31	4.963
2014	44.91	76.92	5.162
2015	42.841	65.92	3.134
2016	36.968	51.39	0.288

由表 4 可知,乐安河内每年能新增的重金属量已逐年减少,说明近 5 年污染较大的企业往乐安河排放污水水量及水质相差不大,乐安河沉积物吸附的重金属量已逐年减少,直至达到饱和后,大量的重金属元素将最终排入鄱阳湖内,同时也说明开展乐安河重金属治理迫在眉睫。

3 结语

乐安河水体 Cu、Zn、Pb 含量自戴村断面显著升高,至下游断面水体各重金属含量有所减少,出河处重金属含量均能达到 III 类标准。2016 年乐安

河 Cu、Zn、Pb 入河量分别为 119.6 t/a 、217.4 t/a 、31.6 t/a ,出河量相比入河量分别减少 36.968 t/a 、51.39 t/a 、0.288 t/a 。乐安河内每年可新增重金属量已逐年减少,大量的重金属元素将最终排入鄱阳湖。上述调查仅对乐安河重金属元素出入河通量进行了统计分析,而对于乐安河内重金属总滞留量达到多少才能达到饱和有待进一步探究。

[参考文献]

[1] 张建,黄小兰,张婷,等. 鄱阳湖河湖交错带重金属污染对微生物群落与多样性的影响[J]. 湖泊科学,2018,30(3):640-649.
 [2] JIANG Y M,ZHANG C,HUANG X L et al. Effect of heavy metals in the sediment of Poyang Lake estuary on microbial communities structure base on Mi-seq sequencing[J]. China Environmental Science,2016,36(11):3475-3486.
 [3] 陆健刚,钟燮,吴海真,等. 不同流速下湖泊水体重金属含量垂向分布特征[J]. 农业机械学报,2016,47(2):179-185.
 [4] 张杰,陈熙,刘倩纯,等. 鄱阳湖主要入湖口重金属的分布及潜在在风险评价[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(1):96-100.
 [5] YANG S Q,HAO R X,WU F, et al. Characteristics of distribution of soil microorganisms in Dexing copper ore deposit[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis,2016,52(2):287-294.
 [6] ZHUANG P,LI Z A,ZOU B, et al. Heavy metal contamination in soil and soybean near the Dabaoshan Mine, South China[J]. Pedosphere,2012,23(3):298-304.
 [7] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002:335-367.
 [8] 张永江,邓茂,黄晓容,等. 生态保护区域饮用水源地水质金属健康风险评估[J]. 环境监测管理与技术,2017,29(3):32-37.
 [9] 李文明,杨忠芳,周雷,等. 鄱阳湖水系重金属元素地球化学特征及入湖通量[J]. 现代地质,2014,28(3):513-524.
 [10] 李卫平,陈阿辉,于龄红,等. 呼伦湖主要入湖河流克鲁伦河丰水期污染物通量(2010—2014)[J]. 湖泊科学,2016,28(2):281-286.
 [11] 姚靖,李清芳,张永江,等. 黔江区饮用水源地水质模糊综合评价研究[J]. 环境监测管理与技术,2017,29(2):31-36.