

研究简报

滇池、洱海水及沉积物中重金属元素的行为*

黎秉铭 万国江 江成忠 曾世光

(中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要 洱海水中重金属元素的含量不高, 平均值以 10^{-9} 计算: Cu1.6, Pb0.59, Zn9.8, Cd0.009, Cr0.24, 水质较好; 沉积物中每一样品同一元素的含量一般均趋近于平均值, 以 10^{-6} 计算: Cu111, Pb60, Zn127, Cd0.591, Cr130。因此, 洱海至今仍是一个较清洁的湖泊。滇池水质较差, 内草海段水中重金属元素含量明显上升, 以 10^{-9} 计算: Cu5.8, Pb0.55, Zn32, Cd1.611, Cr0.24, 但远未超过国家饮用水标准。不同湖段的沉积物已受到一些重金属元素的污染, 外草海较明显, 内草海较严重, 表层沉积物中重金属含量以 10^{-6} 计算: Cu920, Pb647, Zn2208, Cd164.85, Cr55。

关键词 滇池, 洱海, 沉积物, 重金属。

滇池和洱海是我国重要湖泊之一。滇池水面面积 297 km^2 , 蓄水量 15 亿 m^3 , 平均水深 5.1 m; 洱海水面面积 246 km^2 , 蓄水量 29.5 亿 m^3 , 平均水深 12 m^[1]。这 2 个湖泊在云南省国民经济和日常生活中发挥着重要的作用, 监测其水质和沉积物中的重金属是十分必要的。

1 样品的采集和分析

为了获得较全面反映湖泊水质和沉积物现状的样品, 笔者等在这 2 个湖泊的上、中、下游进行布点, 用下沉自动采样器分层采集水样, 用本实验室设计自制的“湖泊沉积物-水界面采样装置”^[2]采集了底层上覆水样和沉积物柱芯样。所采集的沉积物柱芯样及上覆水样仍保持原态, 水-沉积物界面清晰可见, 未发生任何扰动。

所采湖水每个样均分为原状湖水和用 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤的湖水 2 份。水样均用超纯硝酸酸化到 pH2 左右备测。水样中铁、锰含量直接用火焰原子吸收分光光度法测定, 测不出的适当浓缩富集后测定。其它元素通过浓缩富集后直接用火焰原子吸收分光光度法测定, 测不出的用石墨炉原子吸收法测定。

沉积物样品用超纯硝酸和超纯盐酸加热分解, 过滤后定容, 用火焰原子吸收分光光度法测定。此外, 为了探讨 2 湖水体、沉积物中各金属元素的迁移富集规律, 笔者选择了部分沉积

物样品分析了有机碳和矿物成分。

2 结果和讨论

2.1 湖水中重金属元素的含量水平

洱海 4 个采样点分上、中、下层和沉积物上覆水共取水样 14 个, 滇池 5 个采样点分上层和沉积物上覆水共取水样 10 个。

洱海沿岸地区工矿企业不多, 受工业废水的影响不大, 水质清澈透明, 水样中重金属元素的含量不高, 平均值以 10^{-9} 计算: Cu1.6, Pb0.59, Zn9.8, Cd0.009, Cr0.24, Ni0.24, Co0.12, Mn4.5, Fe33, 水质较好, 过滤水样和沉积物上覆水样中重金属元素的含量与原水样中重金属元素的含量有所不同, 但多数元素波动不大, 未出现异常现象。

滇池上游和沿岸地区工矿企业较多, 工矿废水和生活污水量大, 水体透明度不如洱海, 特别是内草海段污染较重, 水质较差, 但由于湖水 pH 均在 8 左右, 有利于这些金属的水解、沉淀和吸附, 所以水体中重金属元素的含量不高, 平均值以 10^{-9} 计算: Cu3.6, Pb0.24, Zn14, Cd0.388, Cr0.19, Ni2.72, Co0.31, Mn16, Fe49, 过滤水样中多数重金属的含量比

* 国家自然科学基金项目

收稿日期: 1994-09-15

上层原状湖水中的含量低,但在沉积物上覆水样中 Zn、Pb 等元素的含量比上层原状湖水中的含量高。滇池污染较重的内草海段原状湖水中重金属元素的含量明显升高,以 10^{-9} 计算: Cu5.8, Pb0.55, Zn32, Cd1.611, Cr0.24, Ni10.2, Co0.60, Mn50, Fe48, 但与国家饮用水卫生标准比较,远未超标。

2.2 沉积物中重金属含量变化的历史记录

在调查和研究湖泊演化的过程中,由于湖水在时间和空间上变化很大,污染物的浓度很低,因而不易觉察出其污染的历史和现状。湖

泊沉积物具有吸附和接收湖泊水体中污染物的特性,因此它已成为记载环境污染物最好的储存器和信息库。根据湖泊沉积物中重金属元素的分布特征和自然背景值,可以大致看出湖泊环境质量的好坏。

为了研究 2 湖泊沉积物中重金属元素的演化,确定 2 湖泊沉积物中重金属元素含量的背景值,特参考了笔者曾参加研究的“云南土壤环境背景值研究报告”中有关岩石和土壤中重金属元素的背景值(见表 1)。

洱海周围岩石、土壤类型较多,大理苍山

表 1 云南省同种母质母岩上发育土壤和云南省土壤重金属背景值(算术平均值, mg/kg)

岩 土 类 型	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	Co	Cr	Mn	
石灰岩	石灰土	68.70	48.84	147.26	0.705	66.76	25.74	89.0	1202
	红 壤	65.58	85.78	254.91	1.213	70.64	31.70	119.8	921.6
玄武岩	红 壤	173.4	33.43	138.08	0.188	63.18	38.01	94.9	1191
	黄 壤	141.8	42.06	145.16	0.270	65.39	37.30	112.2	1018
云 南 省 土 壤	47.2	42.42	93.76	0.240	43.61	19.37	76.32	697.8	

属变质岩,洱海东面和西面多为石灰岩,但表土以红壤、水稻土和冲击土为主。由于洱海位于工业城市下关的上游,入湖河溪以受农业影响为主。从洱海 4 个湖段取表层和垂直剖面沉积物柱所分析的文笔 Er-02(0—5 cm)、挖色 Er-03(0—5、5—8、8—11、11—14、14—17、17—22 cm)、双廊 Er-04(0—5 cm)共 8 个样品中重金属的含量和分布情况看,除 Er-02(0—5 cm)的 Mn(2.006 mg/g)和 Er-03(8—11 cm)的 Cr 111×10^{-6} 有所不同外,一般每个样品的同一元素的含量均趋近于平均值,其平均值以 10^{-6} 计算, Cu111, Pb60, Zn127, Cd0.591, Ni80, Co29, Cr130, 而 Mn1.406(mg/g), Fe54.22(mg/g), 此外,粘土 54.26(%),有机碳 1.36(%)。根据取样点的位置和云南省同种母质母岩(如石灰岩、玄武岩)上发育的红壤、石灰土中重金属元素的含量,笔者认为洱海除上层(0—5 cm)沉积物样品中有机质(2.20%—2.26%)有所升高外,至今为止还未受到重金属污染,是一个比较清洁的湖泊。

滇池所处的位置与洱海截然不同,它位于昆明工业区和昆明城区的下游,沉积物中的重

金属除来自周围山麓岩石的风化和土壤的侵蚀以外,主要还来自滇池的 20 余条河流输送的物质,特别是受到工矿废水和生活污水流入的影响。表 2 显示,滇池的不同湖段已受到一些重金属元素的污染。若以 D-04(14—17 cm)沉积物中获得的各元素的含量(除 Cd 以 0.25×10^{-6} 为自然背景值较为合理外)作为渐近自然背景值,可以明显看出外草海段 Cd、Pb、Mn、Cu、Zn、Ni、Cr 的含量均有所升高,尤其是接纳大观河、运粮河、新河河水和城市污水的内草海的污染较为严重,按污染系数或富集系统公式 $c_f = \frac{c_{i-n}}{K_n}$ 计算^[3],内草海 D-05(0—5 cm)沉积物中各元素的污染系数 Cu 为 11.95, Pb12.44, Zn35.61, Cd659.40, Ni8.63, Co2.75, Cr2.29, Mn14.06, Fe1.98。

2.3 湖泊重金属元素的迁移富集

以 2 湖泊原状水样和过滤水样中各元素的平均含量相比较可以看出,洱海水体中 Mn、Fe、Ni、Co、Pb 除一部分赋存于 $0.45 \mu\text{m}$ 以上的悬浮微粒外,均溶于水中或赋存于 $0.45 \mu\text{m}$ 以下的微粒上进行迁移;滇池水体中各元素的

表 2 滇池沉积物中重金属和有机碳、粘土矿物的含量

样品位置、 编号和深度	Cu (10 ⁻⁶)	Pb (10 ⁻⁶)	Zn (10 ⁻⁶)	Cd (10 ⁻⁶)	Ni (10 ⁻⁶)	Co (10 ⁻⁶)	Cr (10 ⁻⁶)	Mn (mg/g)	Fe (mg/g)	有机碳 (%)	粘土 (%)
西华村 D-01(0-5 cm)	101	70	126	0.875	49	22	76	0.834	53.46	3.01	42.47
白鱼口 D-02(0-5 cm)	85	86	114	0.875	53	21	85	0.942	51.75	3.34	52.70
海埂村 D-03(0-5 cm)	90	86	120	0.925	58	23	81	0.782	55.11		56.70
D-03(5-8 cm)	92	80	115	1.050	58	23	89	0.701	55.33	1.38	59.75
D-03(8-11 cm)	96	77	118	0.975	60	24	90	0.691	57.32	1.03	68.84
D-03(11-14 cm)	94	78	117	1.025	60	25	83	0.676	56.41	0.47	68.54
D-03(14-17 cm)	94	78	117	1.050	60	25	87	0.673	55.61	0.62	73.27
外草海 D-04(0-5 cm)	100	94	157	5.925	89	8	35	2.371	14.11	37.3	32.40
D-04(5-8 cm)	100	105	156	5.575	89	7	33	1.481	14.33	38.5	37.34
D-04(8-11 cm)	132	132	201	8.025	82	8	32	1.175	16.85	32.8	29.65
D-04(11-14 cm)	117	111	164	7.125	70	8	30	0.980	16.13	32.9	28.69
D-04(14-17 cm)	77	52	62	2.300	54	8	24	0.408	17.53	27.0	63.67
内草海 D-05(0-5 cm)	920	647	2208	164.85	466	22	55	5.738	34.68	11.3	28.44
古湖泊沉积物(Ries湖) ^[3]	25	16	105	0.2	51	15	59	0.406	18.200		

迁移规律与洱海有所不同，水体中 Mn、Pb、Cd、Ni、Cr、Zn 有相当一部分赋存于 0.45 μm 以上的悬浮微粒上，而 Fe、Cu、Co 则几乎都溶于水或赋存于 0.45 μm 以下的悬浮微粒上，这可能是由于滇池水体已受到污染，水体中无机和有机微粒成分增多而引起的。

将洱海沉积物的上覆水与各层湖水中各元素的含量数据进行比较，可以看出上浮水中 Fe、Mn、Ni、Co、Cr 等元素的含量比各层湖水中的含量高得多，说明这些元素有相当部分赋存于 0.45 μm 以上的悬浮微粒上并向沉积物上迁移，同时也说明吸附于沉积物上的这些元素有可能重新返回水体进行再迁移。滇池沉积物柱的上覆水样中除 Zn、Pb 的含量比上层湖水中的含量稍高以外，其它元素的含量没有明显的差异，这可能反映滇池湖水不深、赋存于悬浮微粒上的各重金属容易沉降，同时也说明水体中无机和有机悬浮物质增多，吸附能力增强，吸附沉降于沉积物上的重金属元素在环境 pH8 以上的条件下很难返回水体。滇池沉积物中重金属元素的含量较高，但湖水中各重金属元素的含量除内草海以外仍然很低，这一事实也说明了湖泊沉积物对排入水体中的重金属具有巨大的吸附净化能力。

洱海沉积物中表层有机碳含量稍高，但是各重金属元素和粘土矿物的含量，除个别样品的个别元素以外，一般均趋近于平均值，因而从表观上看不出重金属元素与有机碳、粘土矿物之间有什么相关性。滇池由于有机污染已经较严重，特别是内、外草海沉积物中草类植物的死亡腐烂使有机碳含量剧增，导致铁、粘土矿物在这些沉积物中的含量相对降低，破坏和掩盖了各重金属元素与有机碳、粘土矿物之间可能存在的相关关系。因而从表观上和运算过程中也看不出它们之间有什么明显的相关性。

2.4 滇池治理探讨

根据滇池水体中重金属元素的含量远未超过国家饮用水标准和被吸附于沉积物上的重金属在目前 pH 条件下不易返回水体的事实，滇池的治理应放在上游工矿污染源和城市生活污水上，而不是花大量人力和财力去清理已污染的沉积物，让治理后的新沉积物自然沉降覆盖已污染的沉积物，也许是可行的。

参考文献

- 1 王洪道等. 我国的湖泊. 北京: 商务印书馆, 1984: 143-146
- 2 吴德殊等. 环境科学丛刊. 1988, 9(3): 62
- 3 L·霍坎松, M·杨松[瑞典]著, 郑光庸译. 湖泊沉积物原理. 北京: 科学出版社, 1992: 222-224

for 3 hours at a temperature of 90°C. The coagulant thus prepared was used to treat various kinds of industrial wastewaters, giving a COD removal of 53%—83%, a colourness removal of 89%—98%, a higher rate of settlement, a smaller volume of sludge, and a lower cost of treatment.

Key words: fly ash, coagulant, pyrite slag, wastewater treatment.

Concentration Levels, Change Records and Enrichment Patterns of Heavy Metals in Waters and Sediments in Both Lake Dianchi and Lake Erhai, Yunnan Province.

Li Bingmin et al. (National Laboratory of Environ. Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 50—52

The heavy metals in waters of Lake Erhai, Yunnan Province, were found not at higher levels, with the following mean values calculated in ppb: Cu 1.6, Pb 0.59, Zn 9.8, Cd 0.009, and Cr 0.24, so that the water quality was assessed as a better one. The same elements in each sample of the sediments from Lake Erhai generally had a value approximate to their respective average levels as calculated in ppm as follows: Cu 111, Pb 60, Zn 127, Cd 0.591 and Cr 130, so that so far Lake Erhai has been still a cleaner lake. Lake Dianchi in the Yunnan Province was found to have a rather worse water quality, particularly in its section of Inner Caohai where there were significantly increased levels of heavy metals in water as calculated in ppb as follows: Cu 5.8, Pb 0.55, Zn 32, Cd 1.611 and Cr 0.24, which are well below the national standards for drinking water. The sediments in different sections of the lake have been found to be polluted with some heavy metals, to a more significant extent in the section of Outer Caohai and to a more serious extent in the section of Inner Caohai. The heavy metals in the top layer of sediment were calculated in ppm at the following levels: Cu 920, Pb 647, Zn 2208, Cd 164.85 and Cr 55.

Key words: Dianchi, Erhai, Sediment, heavy metals.

Effects of Environmental Change on the Corrosion of Historical Bronze Relics.

Cheng Derun et al. (College of Culture and Museology, Northwest Univ. Xi'an 710069); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 53—55

Affected by the change in environmental factors, the ancient bronze relics in several famous cultural relics sites in Shaanxi Province were found being

subject to a serious rusting corrosion, especially by forming a powdery copper rust, the development of which may lead the historical relics to being destroyed in a moment. Based on the environmental monitoring carried out in the above relics sites, the reports on the environmental monitoring in Xi'an area, and the analysis for the chemical compositions of the main body and surface rust of the ancient bronze relics, a corrosion mechanism of cultural bronze relics was suggested, which was a combination of chemical and electrochemical corrosions. The conditions under which the historical bronze relics were being rustingly corroded were identified as a chloride ion contained, humid and acidic environment. Thus, it was pointed out that the environmental control would be a key to the protection of the historical bronze relics. In order to maximize the life time of the historical bronze relics, it was necessary to improve the environmental conditions that were a radical measure for conserving the relics.

Key words: historical bronze relics, chemical corrosion, electrochemical corrosion, environmental factors.

Environmental Impact Assessment of Electromagnetic Radiation by a Doppler Very High Frequency Omnidirectional/Distance Measuring Equipment (DVOR/DME).

Yao Gengdong et al. (School of Public Health, Zhejiang Medical Univ., Hangzhou 310006); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 56—58

Based on an analogic survey and a theoretical calculation, an environmental assessment impact of the electromagnetic fields (EMF) of a Doppler very high frequency omnidirectional/distance measuring equipment (DVOR/DME) to be extensively applied in China has been conducted. The results show that the field intensities were below 8.5×10^{-2} V/m at an altitude of 1.7—20 m above the ground within an area of a 1000 m radius centred on the antenna of a DVOR/DME, indicating that the low level of EMF from a DVOR/DME used in the guide station of civil aviation would not cause a health hazard among the local residents.

Key words: DVOR/DME, electromagnetic radiation, environmental impact assessment.

Determination of Anionic Surfactants in Water.

Liu Weiguo, Zhu Herong (Environ. Protection Research Institute, Shanghai Petrochemical Company Ltd., Shanghai 200540); *Chin. J. Environ. Sci.*, **16**(2), 1995, pp. 59—62

The molar concentration of various kinds of