

# 长江重庆段河道 植物营养元素、污染元素分布和古貌分析

赵琦<sup>1</sup>, 陈桐军<sup>2</sup>, 沈前斌<sup>3</sup>, 李雁龙<sup>4</sup>

(1. 四川省地质矿产勘查开发局, 四川 成都 610081; 2. 四川省地质矿产勘查开发局 404 地质队, 四川 西昌 615000; 3. 四川省地质矿产勘查开发局物探队, 四川 成都 610072; 4. 四川省地质矿产勘查开发局攀西地质大队, 四川 西昌 615000)

**摘要:** 重庆市沿江经济带多目标地球化学项目研究表明, 长江河道内为偏碱性的植物营养元素富集的沃土, 是名优特产发育各具特色的“黄金河道”。该江段水系是污染元素(特别是 Cd)的高含量区。古代该区段长江江水曾经倒流, 三峡、涪陵珍珠有古水坝, 万州以北有古河道发育。

**关键词:** 植物营养元素; 污染元素; 长江古貌; 重庆市长寿—巫山长江段

**中图分类号:** P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2009)05-0562-7

长江重庆市长寿—三峡段是长江中游重要的河段, 全长约 400 km。三峡水库蓄水前夕, 中国地质调查局给重庆市地勘局下达了重庆市沿江经济带多目标地球化学测量的任务就涵盖这一江段。项目系统采集了两岸土壤深层、表层样品和深度粒度样品, 岩石样品和长江水系沉积物、水样品, 植物、人发样品, 进行了 52 种元素和污染元素的相态、赋存状态的定量分析。现就这一江段的植物营养元素和污染元素分布和古貌特征进行分析。

## 1 长江的植物营养元素

### 1.1 本区长江河道概况

长江重庆段分为上游长寿—涪陵段, 中游万州段, 下游云阳—三峡段。该段长江两岸物产十分丰富, 是名副其实的“黄金河道”, 盛产粮食、甘蔗、蚕桑, 并有柑橘柚、苹果、桃、梨等水果。在上游有榨菜、亚热带水果、枣、苎麻等特产, 下游有奉节脐橙、魔芋、芝麻、药材特产区。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 指标种类

植物营养指标为 N、P、K<sub>2</sub>O、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mn、Cu、Zn、Mo、B 及其有效态。文中的全量和 pH 值为本次调查采样分析成果, 有效态为农业部门已往工作的结果。

#### 1.2.2 数据标准化

为便于不同量纲分析数据的对比, 我们进行了

标准化处理。

#### (1) 全区表层样品平均值

全区土壤表层样品植物营养元素平均值见表 1。

表 1 全区土壤表层植物营养指标平均值

元素	Corg	N	P	K <sub>2</sub> O	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Cu	Zn	Mo	B	pH
平均值	0.795	957	508	2.54	5.13	576	22.5	71.6	0.625	55.3	7.24

注: 含量单位为  $w(\text{氧化物})/\%$ ,  $w(\text{其余指标})/10^{-6}$ ; 样品分析由成都岩矿测试中心承担

#### (2) 各地层的元素平均值的衬度

用全区 3 085 件表层样品平均值来计算对比样本的原始值衬度, 有利于对比和标准化的计算。采样时, 给各采样大格赋予地层层位意义, 并计算各地层的平均值, 再计算统计数值与对应地层平均值的衬度, 得到统计大格的地层衬度, 并计算了衬度/原始值的比值。长江河道多是侏罗系新地层, 仅计算全区衬度会压低新地层区河道部分元素的衬度。

#### (3) 有效态含量标准化

表 2 中示出四川省农业部门原来的分级标准, 为了计算方便, 本次采用统一的新的统计级别。对全区进行的土壤采样 4 km<sup>2</sup> 大格取新的统计级别值, 计算全区 3 085 格的植物营养元素有效态的平均值, 并用全区有效态平均值进行各统计大格的有效态衬度的计算。

#### 1.2.3 对比区段划分

在江段划分上, 西段上游为长寿和涪陵, 中段中

表 2 植物营养元素及有效态含量级别及变换

10<sup>-6</sup>

项目	分级标准	1	2	3	4	5	6
速效磷 (1.70)	原标准	>20	20~16	15~11	10~6	5~4	≤4
	新标准	≤4	4~5	6~10	11~15	16~20	>20
速效钾 (2.79)	原标准	>200	200~151	150~100	100~51	50~31	≤30
	新标准	31~50	51~100	100~150	151~200	>200	
有效铁 (3.02)	原标准	>20	20~10.1	10~4.6	4.5~2.6		
	新标准	2.6~4.5	4.6~10	10.1~20	>20		
有效锰 (2.36)	原标准	>30	30~15.1	15.0~5.1	5.0~1.1		
	新标准	1.1~5.0	5.1~15.0	15.1~30	>30		
有效铜 (2.52)	原标准	>1.80	1.80~1.01	1.00~0.21	0.20~0.11		
	新标准	0.11~0.2	0.21~1.001	1.01~1.80	>1.80		
有效锌 (2.86)	原标准	>3.00	3.00~1.01	1.00~0.51	0.50~0.31	≤0.30	
	新标准	≤0.30	0.31~0.50	0.51~1.00	1.01~3.00	>3.00	
有效铝 (1.51)	原标准	>0.30	0.30~0.20	0.19~0.15	0.14~0.11	≤0.10	
	新标准	≤0.10	0.11~0.14	0.15~0.19	0.20~0.30	>0.30	
有效硼 (1.24)	原标准		2.00~1.01	1.00~0.51	0.50~0.21	≤0.20	
	新标准	≤0.20	0.21~0.50	0.51~1.00	1.01~2.00		

注:此表系四川省农业部门分析成果;括号中数据为全区平均值  
 涪陵为万州,东段下游为云阳和巫山。

地层分区上,老地层包括二叠系和三叠系,新地  
 层为侏罗系地层。

江岸表层土壤样品对比分析,是以长江内侧  
 (长江通过的土壤大格)、外侧(距长江 2~6 km 土  
 壤大格)和远岸(6 km 以外)范围来进行对比的。  
 采样大格以 4 km<sup>2</sup> 作为分析和统计单元。

以 10 个植物营养元素总量衬度的平均值作全  
 区水平标准,定值为 1。

### 1.3 长江是植物营养元素富集的“黄金河道”

表 3 所示为长江各段植物营养元素衬度特征。

长江河道土壤地层衬度总量由大至小,依次为  
 内侧(1.06)、外侧(1.01)、远岸(0.99)。pH 由大至  
 小为内侧(7.81)、外侧(7.46)、远岸(7.10)。内侧  
 土壤的地层衬度高的元素为 P、Cu、Mn、Zn,说明由  
 两岸向江心带入明显。从地层衬度/原始值看,N、  
 Fe、Mn、Zn、Mo、B 明显富集,内侧河道的次生碱性环  
 境有利于植物营养元素的富集。

涪陵和巫山是名优特积聚的河道,植物营养元  
 素总量明显富集,分别为 1.11 和 1.64。这里也是  
 新、老地层均有的河道,但两者有所差异,涪陵地区  
 速效 P 和有效 Fe 高,巫山速效 K、有效 Cu、有效 Zn、  
 有效 Mo 高;两地所产作物不同,涪陵以榨菜为代  
 表,巫山以奉节脐橙为代表。

植物营养元素总含量是老地层的大于新地层的,  
 pH 也是老地层的大于新地层的。

老地层区是营养元素富集区,但是河道的地层  
 衬度则是新地层区大于老地层区,新地层衬度/原始  
 含量的总量(1.06)远远大于老地层的(0.68)。这  
 说明老地层区是植物营养元素带出区,新地层区是

带入区,特别是 N、Fe、Mn、Zn、Mo、B 表现得明显。

各元素在河道中的含量高低不同。P 在各江段  
 普遍高。植物营养元素即有由本地流水向低处带入  
 的,也有由上游江水向下游带入的。

长江河道是本区植物营养元素集中富集的地  
 段,其分布区既有现代河道,也有古河道。新、老长  
 江河道是本区农林牧业发展最有利的地段,更是名  
 优特的发育区。

## 2 长江河道污染元素

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 污染元素种类

污染元素主要指 Cd、Hg、Pb、As、Cr 和 Cu、Zn、  
 Ni,前者称为“五毒元素”。

#### 2.1.2 样品种类

长江内侧和外侧的土壤表层样品 1 129 件,长  
 江沿岸的水系沉积物样品 32 件,深度试验样包括沿  
 岸土壤样 24 件和长江水系沉积物样 36 件,相态分  
 析样有 8 类 94 件。前几类分析 8 种有毒元素,相态  
 分析“五毒元素”,其中 Cd 还分析了 42 件样品的矿  
 物含量。巫山污染区的 3 件长江水样和 10 件人发  
 样,分别分析了 Cd、Hg、F 等元素。

#### 2.1.3 统计数据

上游地区 15 个图幅污染元素平均值;重庆市主  
 城区 25 件区域土壤样品,34 件城市垃圾样品和工作  
 区 3 085 件土壤样品的有关污染元素统计值。

#### 2.1.4 衬度统计

分别计算了本区土壤表层样平均值的衬度和全  
 国水系、长江水系平均值的衬度。污染元素总量,包  
 括 8 种或 5 种污染元素衬度总量的平均值。

表3 长江各段植物营养元素衬度特征

位置		长江近岸分段							距江心位置		
		长寿	涪陵	万州	云阳	巫山	新地层	老地层	内侧	外侧	远岸
样本/件		192	28	450	315	144	957	172	294	825	1956
N	原始含量/%	0.92	1.03	0.94	0.90	1.66	0.92	1.56	0.95	0.99	1.02
	地层衬度	1.03	0.99	1.01	0.95	1.02	0.99	1.02	1.01	1.01	1.00
	地层衬度/原始含量	1.12	0.96	1.07	1.06	0.61	1.08	0.65	1.06	1.02	0.98
P	原始含量/%	1.10	1.21	1.15	1.07	1.13	1.11	1.14	1.19	1.07	0.95
	地层衬度	1.05	1.28	1.12	1.02	1.02	1.07	1.06	1.16	1.05	0.96
	地层衬度/原始含量	0.95	1.06	0.97	0.95	0.90	0.96	0.93	0.97	0.98	1.01
	速效磷	1.43	1.30	1.23	0.90	0.64	1.16	0.75	1.10	1.11	0.94
K	原始含量/%	0.96	0.91	1.01	1.02	1.22	1.00	1.17	0.99	1.01	1.00
	地层衬度	1.03	0.98	1.01	1.00	0.96	1.01	0.96	1.00	1.02	1.00
	地层衬度/原始含量	1.07	1.08	1.00	0.98	0.79	1.01	0.82	1.01	1.01	1.00
	速效钾	0.78	0.84	1.01	0.94	1.24	0.94	1.17	0.96	0.99	1.02
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	原始含量/%	0.94	1.11	0.94	0.99	1.50	0.96	1.44	0.99	1.00	1.01
	地层衬度	0.97	1.06	1.00	1.00	1.06	0.99	1.06	1.02	1.01	1.00
	地层衬度/原始含量	1.03	0.95	1.06	1.01	0.71	1.03	0.74	1.03	1.01	0.99
	有效铁	1.11	1.11	1.00	0.97	0.80	1.01	0.85	0.95	1.01	1.01
Mn	原始含量/10 <sup>-6</sup>	0.95	1.00	0.97	0.99	1.46	0.97	1.39	1.03	1.00	1.00
	地层衬度	0.97	0.96	1.04	1.00	1.03	1.01	1.02	1.06	1.01	0.99
	地层衬度/原始含量	1.02	0.96	1.07	1.01	0.71	1.04	0.73	1.03	1.01	0.99
	有效锰	1.07	1.02	1.02	0.96	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02	1.00
Cu	原始含量/10 <sup>-6</sup>	0.96	1.12	0.96	1.07	1.89	1.00	1.76	1.17	1.04	0.96
	地层衬度	0.98	1.01	1.03	1.06	1.17	1.03	1.14	1.17	1.01	0.98
	地层衬度/原始含量	1.02	0.90	1.07	0.99	0.62	1.03	0.65	1.00	0.97	1.02
	有效铜	0.98	0.79	1.05	0.91	1.13	0.99	1.07	0.98	1.02	1.00
Zn	原始含量/10 <sup>-6</sup>	0.98	1.08	0.98	0.98	1.46	0.98	1.40	1.04	1.00	1.00
	地层衬度	1.00	1.04	1.03	0.98	1.06	1.01	1.06	1.06	1.01	0.99
	地层衬度/原始含量	1.02	0.96	1.05	1.00	0.73	1.03	0.76	1.02	1.01	0.99
	有效锌	0.98	0.99	0.91	1.04	1.06	0.97	1.05	0.98	0.99	1.01
Mo	原始含量/10 <sup>-6</sup>	0.85	1.48	0.76	0.83	2.36	0.80	2.22	0.94	0.98	1.02
	地层衬度	1.03	1.28	0.92	0.96	1.05	0.96	1.09	1.03	0.97	1.01
	地层衬度/原始含量	1.21	0.86	1.21	1.16	0.44	1.20	0.49	1.10	0.99	0.99
	有效钼	1.03	1.04	0.76	0.83	1.27	0.84	1.23	0.84	0.93	1.06
B	原始含量/10 <sup>-6</sup>	0.86	1.08	0.84	0.80	2.11	0.83	1.94	0.91	0.96	1.04
	地层衬度	1.05	0.99	1.05	0.91	1.08	1.00	1.07	1.04	1.01	0.99
	地层衬度/原始含量	1.22	0.92	1.25	1.14	0.51	1.20	0.55	1.14	1.05	0.95
	有效硼	1.09	1.10	0.97	0.90	1.09	0.97	1.09	0.96	1.01	1.01
总量	原始含量/10 <sup>-6</sup>	0.95	1.11	0.95	0.96	1.64	0.95	1.55	1.02	1.01	1.00
	地层衬度	1.01	1.07	1.02	0.99	1.05	1.01	1.05	1.06	1.01	0.99
	地层衬度/原始含量	1.06	0.96	1.07	1.03	0.64	1.06	0.68	1.04	1.00	0.99
pH值		6.78	7.28	7.35	7.87	8.16	7.41	8.02	7.81	7.46	7.10

注:有效态系四川省农业部门分析成果的变换,其他参数系本次工作分析成果

2.2 本区长江水系沉积物的污染状况

表4是长江各段有毒元素在水系沉积物和内侧土壤表层样衬度。

本区长江沿岸土壤的衬度是全区表层土壤的1.06倍,水系沉积物样为1.95倍,水系沉积物样比沿岸土壤样富集了1.84倍。总体上污染比较严重。表层样土壤衬度由高至低依次是Cd→Cu、Pb→Zn、Hg→As、Ni、Cr。 $w_{\text{水系沉积物}}/w_{\text{土壤}}$ 比仍是上述顺序,说明污染元素主要是来自长江的流水作用为主。

本区长江水系样元素含量是整个长江水系样平均值的1.65倍,较高的依次是Cd、Pb→Zn、Cu、Hg

→Ni、Cr、As,地球化学性质活泼的元素在长江水系中的污染是明显的。

水系中污染较重的是上游西段的长寿和涪陵段,均达2.28。长寿段的Cu、Pb和涪陵段的Cd、Hg为极大值。说明长江污染来源主要来自上游。

Cd是水系中污染最明显的元素,Hg在涪陵段长江沿岸污染最严重。前者主要来源于流水,后者则有人为的污染。

污染元素深度试验结果表明,水系中各元素均高于土壤。水系深度试验表明长江中、西段多峰,东段近地表是单峰,中、西段污染元素发育史更复杂。

表 4 长江主河道各类样品污染元素表层样衬度

10<sup>-6</sup>

江段	样品性质	样本/件	Cd	Cu	Pb	Zn	Hg	As	Ni	Cr	总量
西段	土壤	192	0.95	0.96	1.04	0.98	1.30	0.71	0.92	0.99	0.98
	江中水系沉积物	4	3.56	2.93	3.63	2.71	1.48	1.41	1.36	1.12	2.28
	$W_{\text{水系沉积物}}/W_{\text{土壤}}$		3.75	3.05	3.49	2.77	1.14	1.99	1.48	1.13	2.33
涪陵	土壤	28	1.09	1.12	1.10	1.08	4.26	1.41	1.03	1.12	1.53
	江中水系沉积物	2	3.88	2.35	3.60	2.10	2.88	1.13	1.17	1.10	2.28
	$W_{\text{水系沉积物}}/W_{\text{土壤}}$		3.56	2.10	3.27	1.94	0.68	0.80	1.14	0.98	1.49
万州	土壤	450	1.04	0.96	0.98	0.98	1.02	0.73	0.95	0.97	0.95
	江中水系沉积物	12	2.41	2.20	1.75	1.77	1.47	1.15	1.19	1.07	1.63
	$W_{\text{水系沉积物}}/W_{\text{土壤}}$		2.32	2.29	1.79	1.81	1.44	1.58	1.25	1.10	1.72
云阳	土壤	315	0.92	1.07	0.95	0.98	0.63	0.86	1.03	0.98	0.93
	江中水系沉积物	8	3.58	2.71	2.11	1.99	2.06	1.55	1.37	1.17	2.07
	$W_{\text{水系沉积物}}/W_{\text{土壤}}$		3.89	2.53	2.22	2.03	3.27	1.80	1.33	1.19	2.23
三峡	土壤	144	1.91	1.89	1.36	1.46	1.48	2.43	1.54	1.47	1.69
	江中水系沉积物	6	3.46	2.64	1.98	2.05	2.06	1.47	1.33	1.31	2.04
	$W_{\text{水系沉积物}}/W_{\text{土壤}}$		1.81	1.40	1.46	1.40	1.39	0.60	0.86	0.89	1.21
平均	土壤	1129	1.10	1.11	1.03	1.04	1.10	1.00	1.04	1.04	1.06
	江中水系沉积物	32	3.16	2.53	2.32	2.05	1.80	1.35	1.28	1.14	1.95
	$W_{\text{水系沉积物}}/W_{\text{土壤}}$		2.87	2.28	2.25	1.97	1.64	1.35	1.23	1.10	1.84
水系沉积物中元素活泼性			最活泼	活泼	活泼	较活泼	较活泼	不活泼	不活泼	不活泼	活泼
表层土壤平均值		3085	0.214	22.5	25.3	71.6	0.064	7.40	31.5	79.4	1.00
深度 试验	沿岸土壤	24	0.68	1.20	1.08	1.08	0.85	0.94	1.04	0.85	0.97
	江中水系沉积物	36	2.30	2.07	1.52	1.79	1.65	1.02	1.07	1.06	1.56
$W_{\text{本区水系沉积物}}/W_{\text{长江水系沉积物}}$			2.70	1.63	2.17	1.88	1.44	1.04	1.22	1.10	1.65

注:江岸土壤分段系长江两岸 3 格浅层样土壤元素平均值

表 5 本区土壤、水系的活动与稳定相比值

%

样品性质	自然界土壤					水系和人类活动有关的土壤				
	紫色土	石灰土	砂岩黄壤	页岩黄壤	平均	水稻土	长江水系	排污水系	城市垃圾	平均
样本/件	18	6	8	11		9	28	3	11	
Cd	0.45	0.64	0.48	0.81	0.60	1.48	1.23	1.26	0.91	1.22
Hg	0.56	0.75	0.58	2.48	1.09	0.35	0.27	0.18	0.15	0.24
Pb	0.17	0.18	0.26	0.17	0.20	0.26	0.43	0.30	0.32	0.33
Ni	0.16	0.10	0.18	0.16	0.15	0.19	0.14	0.15	0.13	0.15
Cr	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
平均值	0.24	0.28	0.28	0.37	0.29	0.34	0.32	0.28	0.25	0.30

2.3 污染元素的相态分析

表 5 是 8 类 94 件样品的相态分析结果,包括有自然界土壤和与人类活动有关的土壤和水系两大类。活动相与稳定相的比例,Cd 最高,Hg、Pb 次之,Ni、Cr 最低,这与长江水系中污染元素含量对应,说明污染元素在水系中的含量与元素活动相有关。

Cd 在长江水系、排污水系、水稻土中高,这些均与水介质有关;Hg 在页岩风化的黄壤中最高;Pb 在长江水系中较高。

Cd 是最活泼的元素,其活动相特别是离子交换相很高,在水稻土中甚至高达 1.48%。

不同介质中 Cd 的赋存矿物不同:在长江水系中主要赋存在黏土矿物中;在土壤中赋存在石英矿物里;在垃圾土中则分布在赤铁矿和高岭石中。

Cd 在土壤中特别是黏土质和有机质含量很多时的吸附能力很强,在河水中被吸附的速度很高,由底泥进入水溶液仅 2 min 就可以达到吸附平衡。底泥 Cd 的浓度系数在 5 000 ~ 50 000 之间,底泥可能是河水中 Cd 的最主要来源。Cd 极其活泼的地球化学性质和本区及其上游丰富的物质来源,是造成本区长江水系和全国整个长江 Cd 高污染的最主要的原因。

表 6 不同介质中 Cd 与矿物的相关系数

类型	样本/件	相关 临界值	黏土矿物				石英	易风化碎屑矿物					
			高岭石	绿泥石	蒙脱石	伊利石	石英	方解石	白云石	斜长石	钾长石	赤铁矿	闪石
长江水系	14	0.50	0.65	0.61	0.58	0.63	-0.09	0.02	0.04	-0.35	-0.15	-0.18	-0.08
各类土壤	17	0.46	0.02	-0.07	-0.20	-0.08	0.62	-0.13		-0.55	-0.31	-0.48	-0.08
垃圾土	11	0.55	0.30	0.04	-0.11	0.23	-0.10	0.21		-0.54	0.02	0.43	0.18

### 2.4 污染元素的来源

污染元素的来源有3个。

一是本地地质体。本区长江Cd的本地来源是东段巫山地区长江沿江的二叠系孤峰组黑色岩系，Cd和F已造成长江水、水系的污染，并已进入到植物和人发中，是严重的高F地方病发病区(表7、8)。

表7 巫山建坪污染区水样分析

元素	w(F)/10 <sup>-6</sup>	w(Cd)/10 <sup>-9</sup>	w(Hg)/10 <sup>-9</sup>
长江水	0.58	0.58	<0.05
异常区水源	0.44	0.47	0.015
背景区水源	0.10	0.28	0.016

注:水样由成都岩矿测试中心分析

表8 巫山建坪Cd污染区人发Cd含量

位置	样本	病区	w(Cd)/10 <sup>-9</sup>
建坪	5	病区	0.472
巫峡	5	非病区	0.234
中国			0.25

本区Cd的高背景受控于隐伏断裂,是分布在涪陵东西向和万州南北向隐伏断裂夹持的地区,这一地区深部可能有丰富的天然气分布,区域地球化学图上出现大片不协调的Cd异常。

二是上游物质供应。表9统计了本区长江上游的15个1:20万图幅有毒元素的平均值。老地层发育区是有毒元素最主要的来源,以全国水系平均值计算的衬度总量1.36远高于新地层的0.81衬度总量。老地层区长江沿岸的矿产开发直接给长江带来污染,特别是一些大的高Cd矿山,污染更为严重。

三是人居地的污染。表10是人居地有毒元素的统计,可见城市的污染更为严重,该区上游是工业发达的重庆市所在地,对于本区污染元素的含量有重要影响。

表9 本区长江上游1:20万图幅全国水系的有毒元素衬度

平均衬度	样本/件	Cd	Hg	Zn	Pb	Cr	Ni	As	Cu	总量
全国水系		0.262	0.076	75.7	29.2	65.5	28.0	13.2	26.1	1.00
本区长江水系	126	2.31	1.28	1.94	1.72	1.33	1.33	0.65	0.90	1.43
老地层图幅	11个	1.42	0.71	1.34	1.22	1.76	1.50	1.11	1.85	1.36
新地层图幅	4个	0.67	0.82	0.94	0.75	1.01	1.01	0.44	0.86	0.81

注:全国水系为中国地质调查局《中华人民共和国地球化学图集》2005年;本区水系指长江主流126件样品;老地层图幅包括昌台、义墩、得荣、永宁、盐边、会理、米易、西昌、雷波、马边、峨眉11个1:20万图幅;新地层区包括宜宾、泸州、内江、重庆幅4个图幅。统计值系全国土壤平均值的衬度

表10 长江沿岸人居地污染元素的地区衬度

衬度	样本/件	Cd	Hg	Pb	Cr	As	Cu	Zn	Ni	总量
重庆主城区土壤	25	2.12	6.81	4.03	2.33	缺	缺	缺	缺	3.83
城市垃圾	34	3.34	4.88	3.98	1.37	1.60	3.30	2.89	1.05	2.80
县城区土壤	65	1.05	2.25	1.14	1.08	0.89	1.14	1.08	1.05	1.21
城镇区土壤	261	1.11	1.58	1.03	1.04	0.95	1.05	1.01	1.00	1.10
农村区土壤	2759	0.99	0.92	0.99	0.99	1.01	0.99	1.00	1.00	0.99
长江主流水系	32	3.16	1.80	2.32	1.14	1.35	2.53	2.05	1.28	1.96
表层土壤	3085	0.214	0.064	25.3	79.4	7.40	22.5	71.6	31.5	1.00

本区长江水系有毒元素含量在西段上游河道最高。可见,上游地段存在的污染元素的高含量地质体和特大城市重庆市,是本区污染元素的最主要来源。

### 3 该河道古代曾有水坝,江水向西倒流

#### 3.1 长江的倒流

成都商报在2006年10月22日1版刊登了赵世龙的“地理大发现:长江造出‘大三峡’”。文中报导,1959年以来,为配合三峡筑坝,中国科学院地理研究所、北京大学、中山大学地理系组成了三峡地貌野外调查。专家认为,古代巫山山脉和大巴山脉是连在一起的高地,当时长江水以巫山为界东西

背流,300~50万年时,随着喜马拉雅山的隆起长江水切深巫山上千米,形成了三峡,长江水才向东流。长江倒流的依据有以下方面:地形上表现为本区东段长江的支流与现在的长江主流成直角,甚至是钝角相交,有类似于河流支流与主流锐角相交的特征;三峡以西的万州发现有古河道,具有河道西流的动力学的流动模式;地质上在现代长江河床之上存在有古底砾岩,而且古底砾石层发育标高是东高西低,由高至低为湖北恩施(1650m)、巫山(1350m)、三峡河段(540m)、重庆河段(315m);在三峡以西的云阳地区钻探证实有深达数百米的破碎岩石层发育,可能是古河床的遗址。

本区地球化学调查证实了专家的古代长江倒流

之说。在三峡上游的云阳长江河道发现了有毒元素的高异常,这些异常是其下游老地层区的特征;水系深度试验表明这一江段的有毒元素仅在近地表富集成单峰,而在上游的涪陵地区为多峰,深部还有 2 个峰值,这说明三峡地区现代河床元素富集历史较短。

### 3.2 涪陵珍溪地区的古水坝

从地形上看,珍溪长江河道狭窄,形状弯曲如鸡脖,有利水坝形成。珍溪之上河道宽阔,有台地、丘陵、平坝、河坝等地貌特征,之下河道狭窄,是水坝形成的有利地形区。古水坝附近长江沿岸发育有从上游带来的砂金矿。

专家研究发现,古代重庆市曾经被淹没在 100 多米深的水下,淹没时间一直持续到距今 5 000 年左右,在巴东江段 310 m 找到了东汉时水淹的痕迹。该段沿岸老地层发育区有大量紫色土和水稻土,所处位置标高很高,而老地层区通常是石灰土和黄壤。

涪陵之上新地层区长江内侧江段深层样土壤有热液元素 Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Cd、U、Th、W、Sn、Be、Bi; 铁族元素  $Fe_2O_3$ 、Co、V、Ti; 稀有元素 Y、La、Sc、Nb、N、Corg 均有富集; 水系中有毒元素 Cd、Hg 比两岸壤富集了 2.33 倍; 植物营养元素也大量富集,河道明显偏碱性。这些元素不仅来自当地,还应来自长江和乌江上游。乌江上游区有大量的 Hg 矿发育。无论是岸边土壤或是江中水系深度试验,均表明有 3 个峰值,而且最大的峰值不是在现代,说明古代曾经有过这些元素的富集时期。

这一江段名优特产丰富,北岸有涪陵榨菜,南岸有苕麻、芝麻、雪枣等,发育高度可达 500 m 标高。沿岸土壤肥沃,农作物品种多,产量高,但施肥量并不大,深部有较充足的肥源供应。

以上资料表明,该区古代在珍溪曾经发生过较长时期的堵塞,古水坝高度可达 300 ~ 500 m,这种特殊的地质环境造就了著名的涪陵榨菜。

### 3.3 长江三峡可能存在古堵塞

三峡以西的云阳段各类元素均是低值区,但在长江水系样中发现紧贴长江延长很长的有毒元素含量带,其强度甚至高于东侧的巫山地区,另外还有 CaO、MgO、C 和植物营养指标的异常。在河道两岸肥沃的土壤中发育有奉节脐橙、芝麻、魔芋等名优特产。这一地区长江沿岸发育有厚 10 余米水生的细粒纯净的条带状含钙结核的黄土,巴东江段 310 m 标高曾找到过东汉时期长期被水淹的痕迹。三峡江道十分狭窄,现代就有多次堵塞,三峡长江沿岸老

地层元素在上游河道中大量富集,如同现代的三峡水坝把江水升高一样,故推测三峡曾存在一个古水坝。

### 3.4 万州江段的古河道

云阳之上万州以西,现在长江现河道北侧,有植物营养元素和有毒元素的高异常带,偏碱性环境,与侏罗系元素低背景区很不协调。该区是著名的梁平柚子的生长地。从水力动力学看,长江如果倒流,其古河道就应从此通过。

## 4 结论

长江河道是次生偏碱性环境的植物营养元素富集地段,使长江成为作物十分发育的“黄金河道”。特别是涪陵和巫山地段,新老地层共同发育区更为富集,两者各具特色,有涪陵榨菜和奉节脐橙为代表的众多的名优特产的发育。

长江河道是有毒元素富集地段。最富集的是 Cd, 次为 Cu、Pb、Zn、Hg。地球化学性质十分活泼,是 Cd 富集最主要的内因。污染元素来自当地和长江上游的老地层和采矿活动,并与人类活动密切相关。该区长江地质体和重庆市特大城市是本区长江水系污染元素的最主要来源。

区域化探和地质资料及其专家研究资料表明,长江以三峡为界,江水曾经向西倒流,涪陵珍溪和巫山可能有三峡古水坝,万州长江北岸可能有古河道发育。

本文中部分资料来自四川省地质矿产勘查开发局、重庆市地勘局川东南队,在此表示感谢。

### 参考文献:

- [1] 赵琦. 成都市多目标地球化学调查和双层采样的效果[J]. 中国地质, 2002(2): 186.
- [2] 李忠惠, 赵琦, 袁兴平, 等. 重庆市环境污染地球化学调查[J]. 四川地质学报, 2003(1).
- [3] 唐将, 赵琦, 沈前斌, 等. 成都市区域化探深层样品元素异常与物探重、磁异常及遥感解译构造的关系[J]. 物探与化探, 2004, 28(5): 415.
- [4] 赵琦, 李萍. 成都地区隐伏构造元素的地球化学特征[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(3): 257.
- [5] 赵琦, 罗正春, 刘应平. 土壤化探元素预测天然气的探索[J]. 物探化探计算技术, 2001, 23(3): 250.
- [6] 赵世龙. 地理大发现: 长江造出“大三峡”[N/OL]. 成都商报, 2006-10-22(1)[2008-08-20].

## THE DISTRIBUTION OF NUTRITIVE ELEMENTS AND POLLUTION ELEMENTS IN THE CHONGQING SECTION RIVER CHANNEL OF THE YANGTZE RIVER AND AN ANALYSIS OF THE PALEOGEOMORPHOLOGY

ZHAO Qi<sup>1</sup>, CHEN Tong-jun<sup>2</sup>, SHEN Qian-bin<sup>3</sup>, LI Yan-long<sup>4</sup>

(1. Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Chengdu 610081, China; 2. No. 404 Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Xichang 615000, China; 3. Geophysical Exploration Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Chengdu 610072, China; 4. Panxi Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Xichang 615000, China)

**Abstract:** Multi-objective geochemical researches of the Chongqing economic zone along the Yangtze River show that the Yangtze River channel is a fertile soil and a "gold river channel" with the enrichment of meta-alkaline plant nutritive elements and the development of famous and high-quality special local products. Nevertheless, the water system of this river section has high content of pollution elements (especially Cd). In ancient time, the river water in this section was once flowing backwards. In the Three Gorges and Zhenxi area of Fuling, there exist ancient dams, and in north of Wanzhou, ancient river channels are well developed.

**Key words:** plant nutritive elements; pollution elements; paleogeomorphology of the Yangtze River; Changshou-Wushan section of Chongqing City

作者简介: 赵琦(1943-), 男, 汉族, 天津市人, 教授级化探高级工程师, 目前从事化探多目标应用的研究。

上接 551 页

## THE APPLICATION OF GEOCHEMICAL METHOD TO SURVEYING URBAN CONCEALED FAULTS

YAO Dao-pin<sup>1</sup>, XU Yi-xi<sup>1</sup>, ZHANG Yong-gu<sup>1</sup>, ZHUO Qun<sup>2</sup>, ZHANG Yi-feng<sup>1</sup>, FU Ping<sup>1</sup>

(1. Xiamen Research Center of Earthquake Reconnaissance, Xiamen 361021, China; 2. Xiamen Seismological Bureau, Xiamen 361001, China)

**Abstract:** Concealed faults constitute a latent threat to the city, and the application of geochemical method to surveying concealed faults has already become a relatively mature means. Nevertheless, the urban environment is rather complex, and the disturbance factors are numerous, which increases the detection difficulty. The authors determined the threshold of the anomaly through the surveying work in the experimental area, and raised the anomaly reliability through a series of quality guarantee mechanisms. The effective anomalous spots reach 82% in the geochemical survey, and there exists fairly high consistency between the inferred faults and the broken points detected by shallow seismic prospecting.

**Key words:** geochemical survey; concealed fault; geochemical anomaly

作者简介: 姚道平(1973-), 汉族, 福建晋江人, 高级工程师。一级地震安评工程师, 主要从事地震安评、工程抗振等研究。