

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2016.01.009

珠江三角洲平原区第四纪沉积物地球化学特征及其控制因素

李文胜, 窦磊, 刘子宁

LI Wen-Sheng, DOU Lei, LIU Zi-Ning

(广东省地质调查院, 广州 510080)

(Guangdong Institute of Geological Survey, Guangzhou 510080, China)

摘要:在珠江三角洲经济区多目标区域地球化学调查基础上,根据珠江三角洲第四纪地质、基底地形、水系走向等方面的资料,在珠江三角洲布署了 6 条钻孔剖面,共 44 个第四纪地质钻探,对其晚更新世以来沉积物的地球化学特征进行了系统分析。结果表明:珠江三角洲平原区重金属元素富集,特别是以 Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、Ni、As 为代表的重金属元素较为富集,形成高背景区。不同区域富集元素类型及富集程度呈现较大差异,其中以西北江三角洲各元素最为富集,而潭江三角洲仅 U、Al₂O₃ 富集,其 Cl、Cd、Cu、Sb、CaO 等元素含量明显低于全区平均含量,东江三角洲 Mo、S、Th、Tl、U 等元素富集,Cd、Cl、Co、Cr、Hg、Mn、Ni、Sb、Sr、Ti、V、MgO、CaO、Na₂O 等元素含量明显低于全区平均含量。元素空间分布差异的控制因素是三角洲平原物质来源差异及沉积体系变迁。

关键词:珠江三角洲;第四纪沉积物;元素地球化学;分布特征;物源;沉积环境

中图分类号:P534.63;P596

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2016)01-068-10

Li W S, Dou L and Liu Z N. Element geochemical characteristics and controlling factors of the Quaternary Sediments in the Pearl River Delta plain. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2016, 32(1):68-77.

Abstract:Based on multi-purpose regional geochemical survey in Pearl River Delta Economic Zone, quaternary sediments of 44 cores were emplaced in the Pearl River delta plain. Totally 39 elements and indicators for soils and sediments were determined. According to the characteristics of this area, we firstly carried out the study of geochemical characteristic of delta formation evolution. The results indicate that the average concentrations of most elements in sediment were significantly enriched, the heavy metal elements Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、Ni、As have accumulated remarkably, especially. Element type and enrichment degree are distinguishing in different area of the Pearl River delta pain. The main enrichment areas are West River and North River alluvial, Tan River and East River alluvial are the background area; the main factors that control the element contents of sediments in this area are the source material and the change of sedimentary environment.

Key words: the Pearl River delta; quaternary sediment; element of geochemistry; Distribution characteristics; material sources; sedimentary environment

收稿日期:2015-08-31;修回日期:2015-12-27.

基金项目:中国地质调查“广东省珠江三角洲经济区农业地质与生态地球化学调查”(编码:1212010511216)和广东省环境保护专项(粤环[2014]126)联合资助.

第一作者:李文胜(1968—),男,高级工程师,主要从事地球化学与地质信息研究工作,E-mail:1724329129@qq.com.

珠江三角洲平原区是广东省乃至我国人口最密集、经济最发达的城市群区域,同时也是生态地质环境的过渡带和敏感带。已有调查结果表明,珠江流域是重金属元素高度富集区,尤其是镉元素的富集最受关注^[1-3]。长期以来,不同领域的学者对该区域土壤或沉积重金属元素做了大量细致的工作,研究内容涉及重金属元素的分布特征、赋存形态、环境背景值、生态效应(生物毒性)等诸多方面^[4-9],但由于缺少系统的地球化学数据,这些研究都局限于平原区局部地区的表层土壤,而对整个三角洲地区缺少系统的调查研究,尤其对三角洲基底之上晚更新世以来整套沉积物镉的分布特征、高含量来源、富集规律等研究至今仍较缺乏。本文在珠江三角洲经济区多目标区域地球化学调查基础上,通过开展珠江三角洲平原区 44 个地点的第四纪地质钻探,对其晚更新世以来沉积物的化学成分进行分析,结合沉积环境分析,探讨珠江三角洲平原区第四纪沉积物元素地球化学特征、物质来源及其控制因素,旨在丰富对珠江三角洲平原区元素地球化学方面的认识,为珠江三角洲平原区土壤重金属污染的防治与修复提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 地质地貌特征

珠江三角洲主要由西江、北江、东江、潭江携带泥沙在湾内堆积复合而成。东江水系流域主要为燕山期的花岗岩,侏罗纪的砂岩、粉砂岩,兼下游的云开群片岩;北江水系上游(广东境内)流经石炭、二叠纪石灰岩,中下游流域以燕山期花岗岩和泥盆系碎屑岩为主;西江水系流经区域则主要为泥盆纪的石灰岩、砂砾岩,燕山期花岗岩;潭江流域以寒武纪细砂岩,燕山期花岗岩,白垩纪砂砾岩为主。三角洲内有五分之一的面积为星罗棋布的丘陵、台地,使水道分八个口门出海,“四江汇合,八口分流”,构成珠江三角洲的地貌特色(图 1)。珠江三角洲除东南面为南海外,周围主要由花岗岩类和变质岩类等组成的低山和丘陵环绕,平原上岛丘众多,出露的基岩多为奥陶纪二长花岗岩以及云开群的变质岩。

1.2 沉积环境

珠江三角洲是一个由多条河流与南海相互作用而形成的复合三角洲,从三角洲的腹地至三角洲入海口,不同区域的沉积特征表现出巨大的差异^[10]。考

虑三角洲的沉积断陷和物源,按流域将珠江三角洲划分为西北江三角洲,东江三角洲,潭江三角洲三个沉积单元。三个沉积单元的总沉积序列类似,均由晚更新世三角洲沉积体系和全新世三角洲沉积体系构成,随海平面的升降构成晚更新世和全新世两个大的沉积旋回,每个大的旋回又包含两个次级的沉积旋回,分别对应于四次次级的海平面波动,全新世沉积物以海相沉积为主体,而晚更新世则以河流相和海相共同作用为特征,全新世的粒度小于晚更新世。在横向空间特征上,从北西至南东沉积相的变化可相应划分为河流相、三角洲平原相、三角洲前缘相和前三三角洲相。西北江三角洲为珠江三角洲最大的沉积单元区,其物源主要为西江和北江以及流溪河输送而来的碎屑物质^[10-11]。

2 样品采集与分析测试

根据珠江三角洲第四纪地质、基底地形、水系走向等方面的资料,分别在西北角三角洲、潭江三角洲及东江三角洲布设布署了 6 条钻孔剖面(按序号 I、II、III、IV、V、VI 编号),共 44 口第四纪地质钻孔(图 1),总进尺 1597.90 m。全孔连续取心,采样时,首先划分不同岩性层,钻孔上部 10.0 m 内同一岩性层按 0.5m 间隔连续采集样品,当岩性出现明显的异常(变化)时,则按不同岩性采样,即有些标志沉积层厚度尽管很薄,也进行单独采样分析;钻孔 10.0 m 以下按不同岩性层采样,当同一岩性层厚度较大时,按 2.0 m 间隔连续采集样品。共采集沉积物样品 1594 件。选取的沉积物样品测试项目为 As、Cd、Cu、Pb、Zn、Hg、Cr、Ni、F、Sb、Tl、N、P、K、Sr、Rb、Ga、Ba、B、Co、Mo、Si、S、Se、Cl、V、Mn、Al、Na、Ca、Mg、Fe、Ti、Zr、U、Th、TC、Corg、pH 等 39 项。岩石样品测试元素为 As、Cd、Cu、Pb、Zn、Hg、Cr、Ni、F、Sb、Tl、N、P、K、Sr、Rb、Ga、Ba、B、Co、Mo、Si、S、Se、Cl、V、Mn、Al、Na、Ca、Mg、Fe、Ti、Zr、U、Th 等 36 项。分析测试按照《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》(DD2005-01)和《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》(DD2005-03)执行^[12-13],具体分析方法及检出限见表 1。测试由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所完成。样品分析测定的精确度和准确度由国家标准参考样和重复样控制,质量完全符合规范要求。

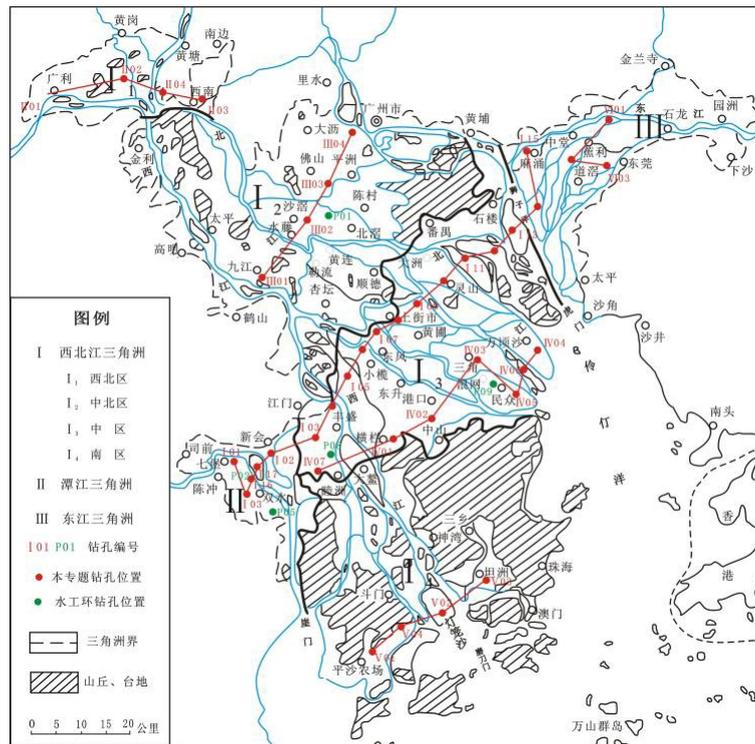


图1 珠江三角洲沉积分区与钻孔点位图

Fig.1 Geomorphology and core position of the Pearl River delta

表1 样品元素分析方法与检出限

Table 1 Analysis method and detection limits for samples

序号	分析项目	分析方法	检出限	单位	序号	分析项目	分析方法	检出限	单位
1	As	AFS	1	μg/g	21	Se	AFS	0.01	μg/g
2	B	ES	2	μg/g	22	Sr	XRF	5	μg/g
3	Ba	XRF	5	μg/g	23	Th	ICP-MS	1	μg/g
4	Cd	ICP-MS	30	ng/g	24	Ti	XRF	10	μg/g
5	Cl	XRF	20	μg/g	25	Tl	ICP-MS	0.1	μg/g
6	Co	ICP-MS	1	μg/g	26	U	ICP-MS	0.2	μg/g
7	Cr	XRF	5	μg/g	27	V	XRF	5	μg/g
8	Cu	ICP-MS	1	μg/g	28	Zn	ICP-MS	2	μg/g
9	F	ISE	100	μg/g	29	Zr	XRF	5	%
10	Ga	XRF	1	μg/g	30	SiO ₂	XRF	0.1	%
11	Hg	AFS	2	ng/g	31	Al ₂ O ₃	XRF	0.1	%
12	Mn	XRF	10	μg/g	32	TFe ₂ O ₃	XRF	0.1	%
13	Mo	ICP-MS	0.3	μg/g	33	MgO	XRF	0.05	%
14	N	氧化热解— 气相色谱法	20	μg/g	34	CaO	XRF	0.05	%
15	Ni	ICP-MS	2	μg/g	35	Na ₂ O	XRF	0.05	%
16	P	XRF	10	μg/g	36	K ₂ O	XRF	0.05	%
17	Pb	ICP-MS	2	μg/g	37	Org.C	电位法	0.1	%
18	Rb	XRF	5	μg/g	38	TC	氧化热解— 气相色谱法	0.1	%
19	S	XRF	50	μg/g	39	pH	电位法		
20	Sb	ICP-MS	0.05	μg/g					

注: XRF - 压片法X射线荧光光谱; ICP-MS - 等离子体质谱法; AFS - 原子荧光光谱法; ISE - 离子选择性电极法; ES - 发射光谱法。

3 分析结果

3.1 珠三角第四纪沉积物元素含量特征

元素含量的空间分布特征受控于物源和沉积特征^[10]。为了分析从总体空间分布特征到不同空间、时间范围内元素的地球化学行为,本次首先将所有钻孔不同深度的元素进行总体平均,与地壳元素丰度进行对比,分析其特征;然后根据碎屑物质源区的差异、至海岸线的距离和沉积空间及时间分别进行讨论。44 个钻孔所有沉积物样品求得三角洲沉积物某一元素的算术平均值见表 2。将此平均值与地壳元素丰度进行比较发现:

(1) 显著比地壳元素丰度高的元素为 B、As、Sb、Cd、Cl、Pb、Zr、Zn、Fe、Al、Se、U、Th 和 S、N 等。其中,Cd 含量是地壳元素丰度 1.5 倍,是三角洲表层土壤 Cd 含量的 1.6 倍;U、Th 元素分别是地壳元素丰度 1.2、1.7 倍;Cl、Pb、Se 元素是地壳元素丰度 2~3 倍,As、B、S、Sb 元素是地壳元素丰度 7 倍;N 元素则高达地壳元素丰度的 33 倍。

在含量高于地壳丰度的元素中,B、As、Cl、Pb、Zr、U、Th 等元素在花岗岩和砂岩中也比较富集,这部分元素反映了三角洲沉积区碎屑源区的特征;而另外一部分元素 Sb、Se、Cd、Zn 和 Al、Fe 等在花岗岩和砂岩中缺乏,而在三角洲富集,其原因与珠江水系周围一些金属矿山有关。Cd 含量是地壳元素丰度的 1.5 倍,是三角洲表层土壤(0~20 cm)平均含量的 1.6 倍。根据对现代珠江水系重金属元素年输入通量的研究,Cd 达到了 $2.9 \times 10^4 \text{ kg/a}$,尤其是西江和北江的年输入量达到 $2.7 \times 10^4 \text{ kg/a}$ ^①。而西北江输沙量占珠江水系输沙量的 93.1%,对珠江三角洲营造起了最主要的作用^[14]。西北江运载的自然碎屑物质中富含 Cd,是导致珠江三角洲沉积区 Cd 含量偏高的主要原因。U、Th 元素含量分别是地壳元素丰度的 1.2、1.7 倍。珠江水系流域出露大片花岗岩区,富含 U、Th 元素的风化物在珠江三角洲平原区沉积,造成该区 U、Th 元素相对富集。Cl、Pb、Se 元素含量是地壳元素丰度 2~3 倍,As、B、S、Sb 元素含量则是地壳元素丰度的 7 倍。B、Cl、N 元素的高含量与本区在第四纪时期多次遭受海水的侵入有关。Pb(Zn)元素高含量与珠江流域粤北地区、珠江三角洲平原区西江沿岸等多处存在大中型多金属矿和矿化异常带有关^②。

(2) 显著低于地壳丰度的元素为 Ni、Ba、Sr、Ca、Na、P 等。作为碱土和碱金属元素,一方面它们在水中都以高溶解度为特征,另一方面,它们在花岗岩和砂岩中都以贫乏为特征。这部分元素的负异常,可能反映了此两方面的共同作用。

其他元素接近地壳元素平均含量。总体而言,与地壳元素丰度相比较,珠江三角洲沉积物中元素含量较丰富,特别是以 Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、Ni、As、U、Th 为代表的重金属和放射性元素含量较高,形成了高背景区。

3.2、钻孔基岩岩石元素含量

在本次钻孔所揭露的基岩中,以砂岩和泥岩为主,少量样品为花岗岩。统计结果表明(表 1),本次所测定的各类岩石样品元素含量明显高于中国东部对应岩石类型元素丰度,尤其是砂岩中绝大多数元素含量偏高,呈富集特征,仅 Ba 元素含量偏低。不同岩性元素含量有一定差异,如 As、Cr、Hg、Ni、Cu、F 泥岩 > 砂岩 > 花岗岩,Cd 砂岩 > 泥岩 > 花岗岩,Zn 泥岩 > 花岗岩 > 砂岩、Pb、Th、U、Tl 花岗岩 > 泥岩 > 砂岩。总体而言,泥(页)岩中多种元素含量较高,而花岗岩中除放射性元素 Th、U 和 Tl、Pb 等几种与岩浆作用关系密切的元素外,多种元素含量较低。

4 讨论

4.1 元素含量与物质来源的关系

珠江三角洲是在三次海侵、海退交互作用的过程中发育起来的,整体上具有相同的发展模式,经历了基本一致的演变过程^[10]。在三角洲内部,受沉积物质来源和海平面变化共同影响下形成的三个主要沉积单元,即西北江沉积区,东江沉积区和潭江沉积区也体现出不同的元素组合特征(图 2)。其中,西北江三角洲以 Cd、Cl、Sb、CaO、Na₂O 最为富集,潭江三角洲与西北江三角洲元素含量大体相近,表现出较大差异的有:Cl、Cd、Cu、Sb、CaO 和 U、Al₂O₃ 等 7 个元素,其中 Cl、Cd、Cu、Sb、CaO 含量偏低,U、Al₂O₃ 偏高。与西北江三角洲相比,东江三角洲 Cd、Cl、Co、Cr、Hg、Mn、Ni、Sb、Sr、Ti、V、MgO、CaO、Na₂O 含量偏低,Mo、S、Th、Tl、U 含量偏高。

沉积物中化学组成的差异受控于其流域表层岩石地层的化学组成,河流水体主要侵蚀搬运表壳岩石的风化残积物。珠三角第四纪沉积物多为珠江

表 2 珠江三角洲第四纪沉积物及基岩元素平均含量对比表

Table 2 Comparison of element concentrations in Quarter sediment and rock from the Pearl River Delta

元素名称	珠江三角洲沉积物			A/C	珠江三角洲				中国东部华南褶皱系 ^[14]		
	平均值(A)	标准偏差	CV		基岩	花岗岩(N=5)	砂岩(N=24)	泥岩(N=21)	花岗岩	砂岩	泥(页)岩
	地壳元素丰度(C) ^[12]										
As	11.43	8.88	0.78	1.7	16.62	1.87	12.72	24.59	1	5.1	8.3
B	64.93	56.4	0.87	9	121.61	23.61	90.24	180.79	4.3	30	62
Ba	330.37	103.14	0.31	590	373.82	660.38	378.92	299.78	640	510	480
Cd	297	0.44	1.48	200	182.34	66.8	217.58	169.57	68	95	100
Cl	1181.55	1418.47	1.2	320	348.66	104.8	465.88	272.75	65	39	35
Co	13.58	7.24	0.53	12	12.99	7.68	11.31	16.17	4.5	6.3	8.3
Cr	59.54	25.98	0.44	70	49.33	22.38	51.38	53.4	7.7	37	59
Cu	27.44	46.71	1.7	30	17.42	16.28	16.38	18.89	7.8	12	18
F	497.71	266.97	0.54	720	1141.24	745.74	813.36	1610.13	660	455	640
Ga	16.99	6.99	0.41	17	19.09	17.45	16.19	22.8	17.4	14.7	1.9
Hg	83	0.27	3.28	80	10.19	5.39	8.59	13.15	5	8	12
Mn	553.38	364.24	0.66	690	741.29	916.38	712.15	732.91	450	395	335
Mo	0.95	1.01	1.06	1	2.2	0.98	0.67	4.24	0.95	0.56	0.44
N	665.29	489.4	0.74	20	33.26	142.33	263.5	537.6	31	220	440
Ni	25.66	15.23	0.59	44	27.61	16.64	24.65	33.6	7.8	16	24
P	426.44	237.38	0.56	810	594.44	687.79	478.98	704.16	490	320	415
Pb	36.25	51.27	1.41	15	28.51	33.43	26.03	30.17	26	25	24
Rb	127.17	57.52	0.45	120	232.86	263.18	187.48	277.5	180	125	155
S	1758.12	2361.09	1.34	310	1181.27	155.32	190.65	2557.69	230	110	260
Sb	1.32	2.41	1.83	0.2	1.86	0.12	2.11	1.99	0.11	0.39	0.52
Se	0.28	0.16	0.58	0.09	0.13	0.04	0.08	0.22	0.04	0.067	0.08
Sr	64.91	35.84	0.55	290	103.18	80.54	90.71	122.83	220	84	82
Th	18.27	12.18	0.67	11	18.45	27.95	16.23	18.73	20	13	16.5
Ti	4483.24	1793.76	0.4	4700	3592.94	2149.02	3726.34	3784.28	1970	2830	4000
Tl	0.81	0.4	0.49	1.3	1.16	1.33	1.03	1.28	0.98	0.84	0.81
U	4.27	2.85	0.67	3.5	6.2	10.35	3.2	8.64	4	2.6	3.4
V	90.05	41.75	0.46	95	74.87	38.9	70.24	88.74	35	60	87
Zn	87.09	103.35	1.19	60	70.98	62.85	62.42	82.71	48	58	65
Zr	268.59	116.69	0.43	160	182	125.2	197.68	177.6	165	200	215
SiO ₂	69.65	10.18	0.15	*72.63	64.86	71.61	66	61.95	71.05	73.78	63.47
Al ₂ O ₃	13.15	5.3	0.4	*10.91	16.46	13.43	15.6	18.17	13.92	11.62	16.21
Fe ₂ O ₃	4.9	2.37	0.48	*2.46	5.12	3.31	4.86	5.84	1.09	2.63	3.88
MgO	0.88	0.54	0.61	*1.26	1.66	0.88	1.35	2.21	0.97	0.98	1.42
CaO	1.08	1.72	1.59	*2.52	2.46	0.55	3.41	1.84	1.73	1.58	2.42
Na ₂ O	0.51	0.31	0.61	*1.41	1.13	2.05	0.49	1.64	2.49	0.99	0.53
K ₂ O	2.23	0.74	0.33	*2.40	4.04	4.88	3.57	4.37	4.42	2.87	3.79
Org.C	0.77	0.68	0.88	—	—	—	—	—	—	—	—
TC	0.95	0.85	0.89	—	—	—	—	—	—	—	—

含量单位: SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、CaO、Na₂O、K₂O为百分比(%),其它元素为μg/g。*指中国东部砂岩元素的丰度值。

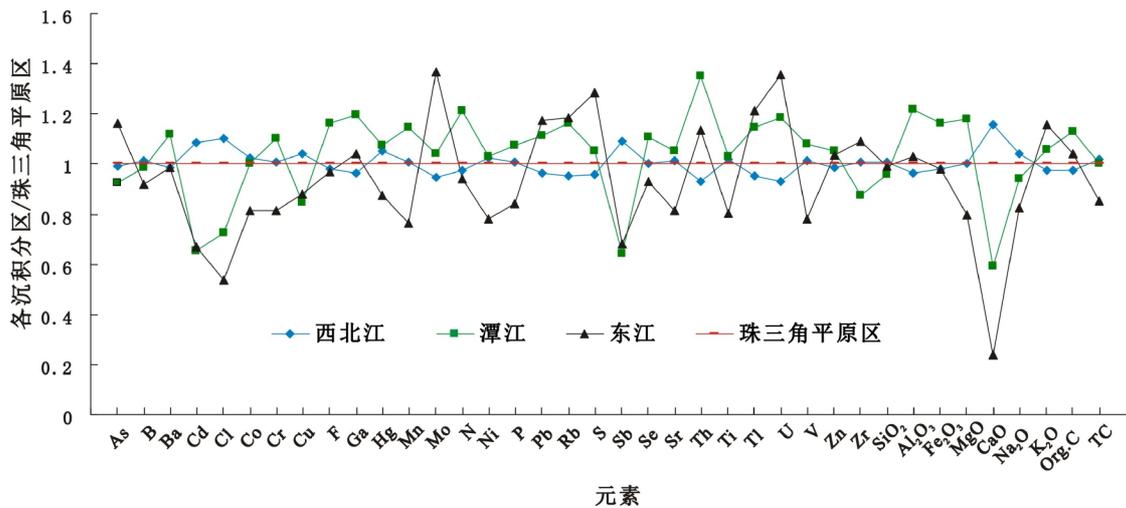


图2 珠江三角洲各沉积分区第四纪沉积物元素和指标含量对比

Fig. 2 Comparison of elements concentration in different sedimentary zone of the Pearl River Delta

水系流域的岩石风化产物经河流搬运堆积而成,因此不同沉积区元素含量的这种差别实际反映了物质来源的差异。

北江流域在广东境内流经韶关市、清远市和肇庆市,是广东省重要成矿区(带),广东省著名的仁化凡口大型铅锌-硫铁矿床、曲江一六大型砷矿床、英德红岩大型硫铁矿床、英德西牛大型硫铁矿床、曲江大宝山大型铅锌-硫铁-镓-铟-镉矿床等都位于流域内。区内主要分布寒武系、泥盆系、石炭系等地层,以石炭系分布最广。《广东省地球化学图说明书(1:50万)》资料表明^⑨,区内寒武系显著富集 As、Sb、Cu、B、Ba、Cr、Ni、Co、V、MgO 等元素或化合物,泥盆系显著富集 As、Sb、B、Au、Hg、Ag、Cu、S、Cd、F、Li、P、Cr、Co、Ni、V、Mn、MgO、CaO 等多元素或化合物,石炭系显著富集 As、Sb、Zn、Cd、Cr、Ni、CaO、Au、Hg、Ag、Cu、S、Mo、F、Li、Sr、B、Mn、V、Ti、Co、P、MgO、Fe₂O₃ 等元素或化合物。

西江流域广东省部分主要在肇庆市、云浮市境内,主要的地质背景有蓟县纪、奥陶纪、侏罗纪侵入岩和寒武系、奥陶系、志留系、白垩系等地层,是粤西地区重要成矿区(带),河台大型金矿床、云浮大降坪大型硫铁矿、云浮大降坪大型铊矿、云浮茶洞中型毒砂矿床、信宜银岩大型锡矿床等都位于流域内。区内云浮 As-Sb-Au-Cu-B 地球化学区内 As、Au、B、Cu、Zn、Ag、Bi、Ba、MgO、CaO 等元素主要呈高背景-异常分布,Sn、S、Sb、Cr、V、Ti 等局部呈高背景异常分布。信宜-廉江 Y-Zr-Ba 地球化学

区 Y、La、U、Th、Nb、Zr、Li、Ba、Cs、K₂O、Na₂O、MgO、Al₂O₃、Cr、Co、Ni、V、Ti 主要呈高背景分布,Au、Cu、Mo、W、F 等局部呈高背景异常分布。

东江流域在广东境内流经河源市、惠州市、东莞市和广州市,主要的地质背景有侏罗纪地层和侵入岩,连平锯板坑大型钨矿床、连平大顶大型磁铁矿床、增城派潭大型铋钼矿床、河源到吉大型萤石矿床、连平大尖山中型铅锌(镉)矿床等都位于流域内。区内九连山 W-Cu-B-Mn 地球化学区 B、MgO、Mn、Cu、Fe₂O₃、F、Li、SiO₂、Cr、Co 等元素及化合物主要呈高背景-异常分布,W、Sn、Pb、Zn、K₂O、La、Y 等局部呈高背景异常分布,W、Cu、Pb、Zn、Ag、La 局部富集程度较高。河源-惠州 Sn-W-Nb-As 地球化学区 Sn、W、Bi、As、Nb、La、Zr、B、Ba、Hg 等元素主要呈高背景-异常分布,Sb、Ag、Cr、Ni、Co、V、Ti 等局部呈高背景异常分布。

珠江水系不仅为地质历史时期珠江三角洲平原的形成提供了丰富的物质来源,而且在当今还不断携带大量的碎屑颗粒物和溶解态物质进入三角洲平原,成为平原区河流水体元素的重要来源。尤其是上游矿山开采活动,进一步加剧了元素的活化迁移^[6]。由东江、北江、西江、潭江、流溪等五大支流携带到达珠江三角洲的元素年通量调查结果表明^⑩(表 3),年输入通量最大的为 Ca、Mg、Na,达百万吨以上;其次为 K、Al、Sr、P、Mn、Ba,年输入通量在万吨以上;Ti、Zn、Rb、Cu、Sb 输入通量也较大,为数千吨每年;Ni、REE、As、Li、Pb、U、Y 年输入通量为数

表3 珠江水系携带进入珠江三角洲平原区的元素通量

Table 3 Major element flux carried into the Pearl River Delta plain by the Pearl River system

元素	东江	北江	西江	流溪河	潭江	合计
Al	21057	8848	62725	5602	1957	100189
As	80.7	136.2	454.3	10.8	7.1	689.1
Ba	998.6	1153.1	9688.5	149.1	160.7	12150
Be	6957	5029	10147.2	644.3	777.1	23554.5
Bi	2278.7	4983	4668	907.7	253.2	13090.7
Ca	263284	1250796	11433872	98364	91018	13137334
Cd	1343.6	5596.6	21912.6	455.3	306.9	29615
Co	11.9	9.2	63.7	4.0	2.1	90.9
Cu	217.1	153.9	606.2	55.6	27.8	1060.6
Hg	166.0	270.5	2053	62.2	39.0	2590.7
In	203.2	267.8	1124.1	70.8	35.6	1701.4
K	73309	99459	415838	23716	34726	647048
Li	75.2	144.4	280.4	20.7	19.9	540.5
Mg	46774	154052	1502493	11351	33301	1747971
Mn	1966.2	1673.4	8995.7	557.1	372.2	13564.6
Na	166091	272058	896219	121843	253882	1710093
Ni	192.6	140.4	557.2	68.5	29.9	988.7
P	3718	1738	20504	1234	791	27985
Pb	64.6	70.2	253.2	19.6	9.2	416.9
Rb	262.5	383.8	666.3	66.2	77.6	1456.5
REE	228.3	122.6	456.1	39.7	31.3	878
Sb	6.4	50.3	937.6	4.8	3.0	1002.1
Sr	821.3	2744.8	30620	266.4	367.7	34820.8
Th	15075	7994	30737	3233	2590	59630
Ti	711.3	557.6	5509	87.1	239.4	7104.5
Tl	2068	9094	15436	253	633	27483
U	7.1	34.7	137.4	2.7	1.7	183.6
W	7.7	26.7	19.3	2.9	0.5	57
Y	41.2	24.3	95.1	6.9	5.2	172.7
Zn	445.5	976.4	3706.7	125.5	102.5	5356.6

单位:Be、Bi、Cd、Hg、In、Th、Tl为kg/a,其它为t/a.

百吨;Co、Th、W、Cd、Tl、Be、Bi、Hg、In 输入通量相对较小,每年数吨至数十吨。总体上,大部分元素的输入通量为西江 > 北江 > 东江,西江是珠江三角洲平原区重金属的重要来源。

综上所述,珠江三角洲平原区典型重金属含量偏高,是多种重金属元素的高背景区,其原因主要与珠江水系流域基岩,即珠江三角洲平原的物源区母岩矿物组成中重金属元素含量丰富以及多处存在的多金属矿区有关。

4.2 元素含量与沉积环境的关系

元素的聚积和分散要受到沉积环境的控制。在珠江三角洲第四纪地质时期,气候经历了冷暖交替。海平面的波动、沉积环境的变迁无疑将对沉积物中元素含量分布造成影响。

西北江三角洲范围广大,根据沉积特征、地貌

特征、构造特征、发育过程、成陆年代等的差异,分为西北部区、中北部区、中部区和南部区,其中,中部区根据该沉积区内西北的剖面线(剖面 I)和东南的剖面线(剖面 IV),再细分为中区 I 和中区 IV。各沉积区元素含量分布图表明(图 3),它们的元素含量存在着一定的规律,大多数元素含量自北西南东:西北部区 - 中北部区 - 中部区 - 南部区,存在着由低到高的趋势,即位置愈是濒海的沉积区,其元素含量相对富集。元素含量由低到高的趋势主要反映了沉积环境的影响,西北江三角洲自北西南东,其沉积环境依次为近口段 - 河口段(潮谷湾) - 口外海滨段(海湾)。西北部和中部以河流相,河口相为主,受河流因素影响大;中部和南部区主要是在滨海和浅海环境中发育起来的三角洲相,受海洋因素的影响大。显然,位置濒海的中部和南部

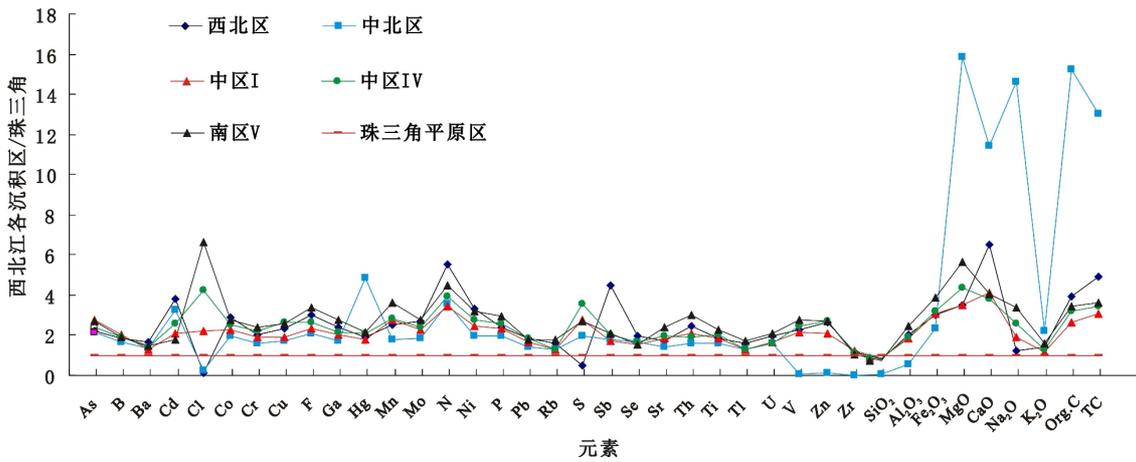


图3 西北江三角洲各沉积分区元素含量对比

Fig. 3 Elements concentration in different sedimentary zone of the Delta of West River and North River

沉积区,其沉积物颗粒更细,有机质含量更多,更有利于各种元素的聚积富集。

西北江三角洲元素含量与沉积环境关系的这种特征,也表现在各个钻孔剖面上,本次工作在西北江三角洲共布设了五条剖面线,控制自北西向南东的四个沉积区,依据钻孔的沉积环境、沉积特征、地球化学元素的含量和分布以及钻孔周边的资料,选取五个代表钻孔,自北西向南东依次为: II 03(三水西南)、III 03(南海平洲)、I 07(中山东凤)、IV 01(中山横栏)、V 01(珠海灯笼沙)(图 1),沉积环境依次为近口段(河流地貌)–河口段(溺谷湾)–口外海滨段(海湾),与此对应,沉积相由河流相–三角洲平原相–三角洲前缘相–前三三角洲相。通过各

代表钻孔元素含量平均值可以看出(图 4),由于受不同沉积环境的影响,西北江三角洲自北西向南东沉积物中的元素丰度与分布随着海平面的变化表现出一定的差异,总体表现出陆相至海相逐渐升高的趋势,反映了珠江三角洲地球化学元素聚积受沉积环境影响的基本特征。

元素富集特征受沉积环境的影响在垂向分布上也表现出相似的特征,限于篇幅,在此以镉元素为例,对元素的垂向分布于沉积环境的关系进行讨论。沉积物中的 B、Ba、Sr 含量,对珠江三角洲第四纪沉积相具有指示意义^[17,18]。以第四纪海相沉积物中 B>100 μg/g、Ba>400 μg/g、Sr>100 μg/g,陆相沉积物中 B<50 μg/g、Ba<300 μg/g、Sr<50 μg/g 为标

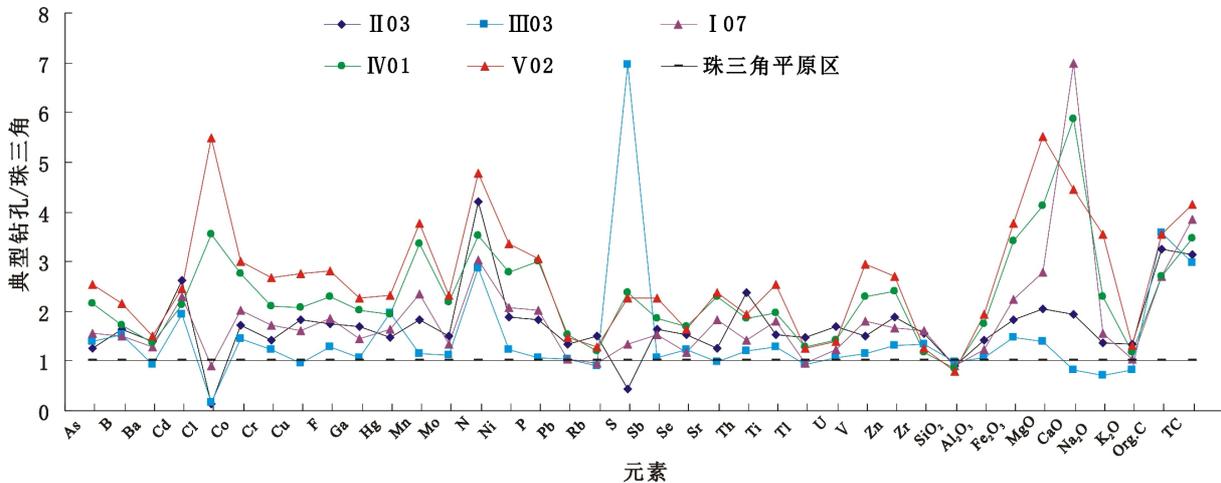


图4 西北江三角洲5个代表钻孔元素平均含量对比(比值)

Fig. 4 Comparison of elements concentration in five typical drilling cores of the Delta of West River and North River

准^[7],利用微量元素所反映的沉积相,讨论晚更新世以来珠江三角洲不同沉积环境对元素含量的影响。钻孔 V06(中山东凤)中 B、Ba、Sr 等指相元素的含量曲线分布特征清晰显示(图 5),该剖面可分为六段,对应三角洲三次海侵和三次海退,包含三段元素富集和三段元素分散层段。三角洲海退时期,气候干燥寒冷,B、Ba、Sr 指示的沉积物在陆相环境下堆积形成,主要为陆相的黄色粗砂、中粗砂,镉含量水平低于 200 ng/g,属于含量低值、分散阶段。三次海侵时期,气候温暖湿润,B、Ba、Sr 指示的沉积环境为海陆交互相,总体偏于海相,沉积物在海陆交互作用的环境下堆积形成,主要为深灰色的粉砂、淤泥质粉砂。对应深度的镉含量偏高,均达 300 ng/g 以上,属于含量峰值、富集阶段。表明在珠江三角洲形成过程中,温暖湿润、海陆交互作用强烈的沉积环境有利于镉等重金属元素的聚积富集。

西江、北江三角洲大部直接受三次海侵影响^[10-11],普遍存在海侵形成的细粒级、粘粒级沉积物。沉积物中细粒级、粘粒级组成越高,越有利于微量元素的富集,推测其原因一方面是由于细粒级组分多为富含微量元素的粘土矿物及部分暗色矿物,另一方面沉积物中细粒级组分越多,则对微量元素的吸附保持能力越强,微量元素也就越易累积富集^[15-16],加之上游物源区母岩矿物组成中重金属元素含量丰富,重金属元素随沉积物经河流搬运迁移,随着沉积环境的改变,聚积于珠江三角洲第四纪沉积物

中。因此,珠江三角洲第四纪沉积物中元素的含量与分布,主要是受物质来源与沉积环境控制,即上游提供了丰富的物源供给,而三角洲平原区特殊的沉积环境为元素的聚集提供了适宜的赋存条件。

5 结论

(1) 珠江三角洲平原区沉积物中重金属元素普遍呈现出富集特征,富集元素主要为 B、As、Sb、Cd、Cl、Pb、Zr、Zn、Fe、Al、Se、U、Th 和 S、N 等,尤其以 Cd、Hg、Cu、Pb、Zn、Ni、As 为代表的重金属元素最为富集,而 Ni、Ba、Sr、Ca、Na、P 等元素则呈现出贫乏特征。与中国东部华南褶皱系岩石元素丰度相比,珠江三角洲平原区基岩各元素含量也呈现出多种元素偏高的特点,不同岩性元素含量有一定差异,泥(页)岩中多种元素含量较高,而花岗岩中除放射性元素 Th、U 和 Tl、Pb 等几种与岩浆作用关系密切的元素外,多种元素含量较低。

(2) 珠江三角洲是一个由多河流与海洋相互作用而形成的复合三角洲,不同区域富集元素类型及富集程度呈现较大差异,其中以西北江三角洲各元素最为富集,而潭江三角洲仅 U、Al₂O₃ 富集,Cl、Cd、Cu、Sb、CaO 等元素或化合物含量明显低于全区平均含量,东江三角洲 Mo、S、Th、Tl、U 等元素富集,Cd、Cl、Co、Cr、Hg、Mn、Ni、Sb、Sr、Ti、V、MgO、CaO、Na₂O 等元素或化合物含量明显低于全区平均含量。

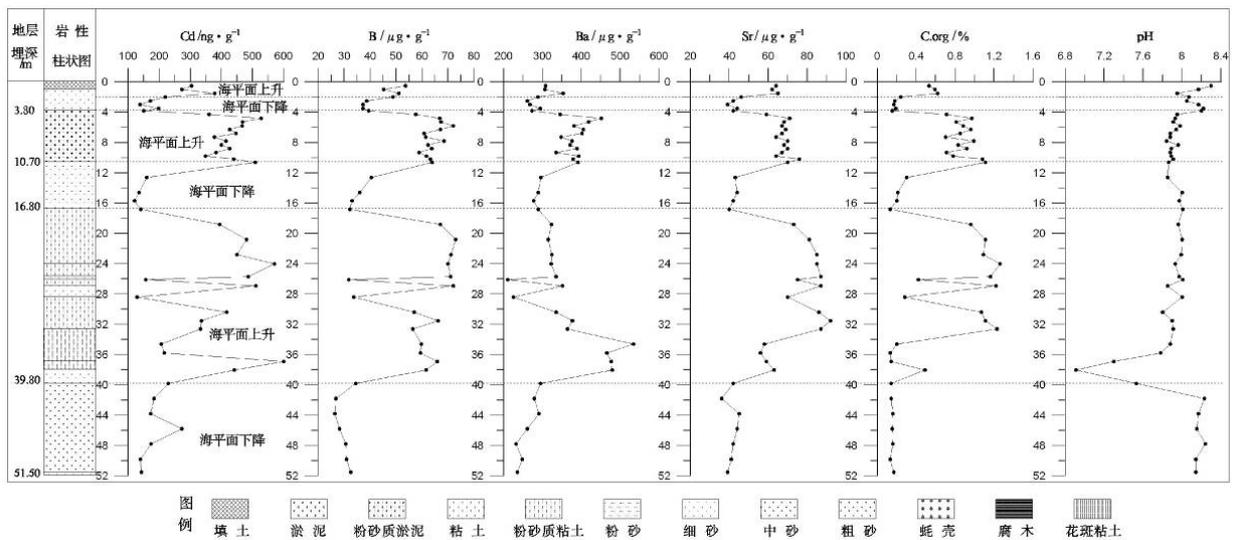


图5 珠江三角洲V06孔Cd元素含量分布图

Fig. 5 Distribution of Cd concentration of core V06 in the Pearl River delta

(3)珠江三角洲第四纪沉积物重金属元素的高含量区分成西北江西北部和东南濒海两大片区,究其原因,前者物源由区域发育的富镉、铅、锌等重金属元素的岩石风化产物构成,特别是具高强度镉含量的铅锌多金属矿区控制,后者则受海陆交互作用的沉积环境影响。

注释:

- ① 中国地质科学院地球物理与地球化学勘查研究所. 珠江水系生态地球化学评价[R].2009.
- ② 广东省地质调查院. 广东省珠江三角洲经济区多目标区域地球化学调查[R]. 2010.
- ③ 广东省佛山地质局. 广东省地球化学图说明书(1:50万)[R]. 1995.

参考文献:

- [1] 成杭新,杨忠芳,奚小环,赵传冬,吴新民,庄广民,刘英汉,陈国光.长江流域沿江镉异常源追踪与定量评估的研究框架[J].地学前缘,2005,12(1):261-272.
- [2] 李娟,杨忠芳,夏学齐,侯青叶,傅野思.长江沉积物环境地球化学特征及生态风险评价[J].现代地质,2012,26(5):939-946.
- [3] Cheung K C, Poon B H T, Lan C Y. Assessment of Metal and Nutrient Concentrations in River Water and Sediment Collected from the Cities in the Pearl River Delta, South China[J]. Chemosphere, 2003, 52(9):1431-1440.
- [4] Liu W, Li X, Shen Z, Wang D. Multivariate Statistical Study of Heavy Metal Enrichment in Sediments of the Pearl River Estuary[J]. Environmental Pollution, 2003, 121(3):377-388.
- [5] Zheng J, OU J, Mo Z. Mercury Emission Inventory and its Spatial Characteristics in the Pearl Delta region, China [J]. Science of the Total Environment, 2011,412 : 214-222.
- [6] Zhou H Y , Peng X T, Pan J M. Distribution, Source and Enrichment of Some Chemical Elements in Sediments of the Pearl River Estuary, China [J]. Continental Shelf Research, 2004, 24(16):1857-1875.
- [7] 赖启宏,杜海燕,方敬文.珠江三角洲冲积平原土壤镉高含量区形成原因 [J]. 农业环境科学学报,2005,24(4):746-750.
- [8] Zhang C S, Wang L J. Multi-element Geochemistry of Sediments from the Pearl River system, China [J]. Applied Geochemistry, 2001,9(16):1251-1259.
- [9] Wong S C, Zhang G, Qi S H. Heavy Metals in Agricultural Soils of the Pearl River Delta, South China [J]. Environmental Pollution, 2002, 119(1):33-44.
- [10] 龙云作,霍春兰,司桂贤,杨丰容,朱卫勤,石瑞祥,牛作民,马道修,徐明广,周青伟,张光威,蓝先洪. 对珠江三角洲沉积特征和沉积模式的一些认识[J]. 海洋地质与第四纪地质,1985,5(4):49-57.
- [11] 黄镇国,李平日,张仲英.珠江三角洲形成发育演变[M]. 广州:科学普及出版社广州分社,1982.
- [12] 中华人民共和国国土资源部. 多目标区域地球化学调查规范(1:250000)(DZ/T 0258-2014)[S]. 中国标准出版社. 2014.
- [13] 中国地质调查局. 生态地球化学评价样品分析技术要求(DD2005-03)[S].
- [14] 迟清华,鄢明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社,2007,82-83.
- [15] 蓝先洪,马道修,徐明广,周清伟,张光威.珠江三角洲若干地球化学标志及指相意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,1987,7(1):39-49.
- [16] 蔡锦辉,吴明光,汪雄武,王晓地.广东大宝山多金属矿山环境污染问题及启示 [J]. 华南地质与矿产,2005,21(4):50-54.
- [17] 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学的若干模式[J]. 地质科学,1983,4:307~314.
- [18] 刘子宁.珠江三角洲中山横栏地区晚第四纪以来的沉积特征[J].华南地质与矿产,2015,31(2):210-216.