

# 广东省韶关市土壤环境背景值及其影响因素

叶素琪

广东省化工地质勘查院, 广东 广州  
Email: 414969090@qq.com

收稿日期: 2021年8月15日; 录用日期: 2021年9月2日; 发布日期: 2021年9月9日

## 摘 要

通过对韶关市18,218平方千米土地质量地球化学调查,分析测试了该区表层土壤的54种元素和指标,并计算了全区及7类不同成土母质的土壤环境背景值。通过对比全国、广东省、韶关全区、各成土母质的背景值,分析认为,韶关市土壤环境背景值主要与其地质背景及区域成矿条件等密切相关。结合不同成土母质的地质背景,进一步分析了影响土壤环境背景值的主要因素。为土壤环境背景值地方标准制定、划分统计单元提供依据。

## 关键词

背景值, 韶关地区, 成土母质, 地质背景

# Soil Environmental Background Values and Their Influencing Factors in Shaoguan City, Guangdong Province

Suqi Ye

Guangdong Chemical Geological Survey Institute, Guangzhou Guangdong  
Email: 414969090@qq.com

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2021; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The land quality of 18,218 square kilometers in Shaoguan City was geochemically investigated, and 54 elements and indicators of the surface soil in the area were analyzed and tested. The soil environmental background values were also calculated for the whole region and 7 types of different soil-forming parent materials. The background values of the whole country, Guangdong Prov-

ince, the whole region of Shaoguan, and each soil-forming parent material were compared. The analysis concluded that the background values of soil environment in Shaoguan are mainly related to its geological background and regional mineralization conditions. Combining the geological background of different soil-forming parent materials, the main factors affecting the soil environmental background values were further analyzed. It provides a basis for the development of local standards for soil environmental background values and the division of statistical units.

## Keywords

Background Value, Shaoguan Area, Soil-Forming Parent Material, Geological Background

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

20 世纪初, 美国学者克拉克提出关于地壳元素平均含量的研究, 后来费尔斯曼等西方学者和我国黎彤等先后进行研究、不断探索, 建立了地壳背景值系列参数。20 世纪 50 年代环境问题出现, 到 60 年代欧美、日本等国对背景值的研究逐渐增多[1] [2] [3]。七十年代初, 联合国环境规划署环境问题科学委员会(SCOPE)提出开展全球性的环境监测行动。从 70 年代中期开始, 我国由中科院有关研究所在北京、南京、广州等地, 与环境保护部门合作开展了土壤元素环境背景值研究[4] [5] [6]。

背景值的调查与研究, 是地球化学、环境科学的一项重要的基础性工作。一个多世纪以来, 背景值已成为地球化学勘查、环境质量标准制定与环境评价、环境监测与管理、地方病研究与防治不可或缺的基础资料和依据[7] [8] [9]。2004 年上海环境监测中心采用系统的粘土矿物分析与重矿物组合分析的方法, 研究上海地区土壤环境背景值与粘土矿物[10]。2020 年 7 月 1 日起正式实施深圳市《土壤环境背景值》地方标准, 确定了赤红壤、红壤、黄壤 3 种主要土类 20 项污染物的土壤背景含量基本统计量[11]。

本文通过对韶关市 18,218 平方千米土地质量地球化学调查, 查明该区 54 种元素和指标的区域地球化学分布特征, 获得了全市高精度土壤元素和指标地球化学分布特征, 创新基于成土母质单元统计了韶关市土壤环境背景值, 为韶关市土壤环境背景值地方标准制定, 划分统计单元提供依据。后续可广泛应用于环保、国土、农业、卫生等领域, 为改善人居环境、保障人民身体健康、建设生态型可持续发展经济社会提供技术支撑。

## 2. 区域地质概况

韶关市地处广东省北部, 东毗江西, 西临清远, 北连湖南, 南临惠州, 东南与广东省河源接壤。研究区总体地势北高南低, 山峦起伏, 高峰耸立, 中低山广布。地貌以中山、低山为主, 丘陵、岩溶准平原次之, 局部为山前冲积平原和山间冲洪积平原。岩溶地貌类型包括岩溶山地、岩溶丘陵、岩溶准平原三类。韶关地区各时代地层发育较齐全, 前泥盆纪地层属深海 - 浅海类复理式沉积碎屑岩夹硅质岩, 属低绿片岩相变质岩; 泥盆纪 - 晚三叠世时期主要以陆源碎屑及陆表海内碎屑碳酸盐岩沉积为主、岩性为灰岩、硅质岩、杂砂岩、粉砂岩的岩石组合; 白垩纪 - 古近纪地层为山麓冲积扇及盐湖等红盆; 第四纪地层岩性主要由松散堆积卵石层、砂砾层、含砾砂层和含砂粘土等组成。岩浆活动频繁, 分布面积广泛。尤其侏罗纪酸性侵入岩最为发育, 出露少量志留纪火山岩及白垩纪火山岩。

### 3. 样品采集与分析

#### 3.1. 样品采集

本项目在样品布设时, 主要考虑采样小格地形地貌、土地利用等, 以具有代表性为主要原则, 兼顾空间分布均匀性和合理性。由于表层、深层土壤样品采集的方法和目的不同, 并受资金等各方面限制, 分一般区和放稀区进行分别布设, 故其采样的密度也不同。表层土壤采样密度为 1 点/4~8 km<sup>2</sup>, 采样深度为 0~20 cm, 垂直采集地表至 20 cm 深的土柱。采样物质为采样单元内主要类型土壤。农业区采样点通常布设在农田、菜地、林(果)地及山地丘陵土层较厚地带。避开明显点状污染地段、垃圾堆及新近堆积土、田埂等。采样避开施肥期。样品干燥后全部过 20 目筛, 将重量大于 500 g 的分析样送到实验室检测。全区共采集表层土壤样 4006 件、深层土壤样 1023 件, 表层、深层土壤调查面积 18,412 km<sup>2</sup>。

#### 3.2. 分析测试

韶关市土壤环境背景值调查的表层土壤、深层土壤样品采用单样分析, 测定指标为: Ag、As、Au、B、Ba、Be、Bi、Br、Cd、Ce、Cl、Co、Cr、Cu、F、Ga、Ge、Hg、I、La、Li、Mn、Mo、N、Nb、Ni、P、Pb、Rb、S、Sb、Sc、Se、Sn、Sr、Th、Ti、Tl、U、V、W、Y、Zn、Zr、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、TC、Corg、pH 共 54 项指标。韶关市土壤环境背景值调查样品分析的分析质量控制系统选择了以当今世界最先进的三种现代大型分析仪器 XRF(X 射线荧光光谱仪)、ICP-MS (等离子体质谱仪)和 ICP-OES (等离子体光学发射光谱仪)为主体, 结合其他先进灵敏的专项分析仪器所组成。在本次测试任务过程中, 同步测试的国家一级标准物质、监控样分析的对数标准偏差合格率全部达到了 100%。

### 4. 土壤环境背景值

#### 4.1. 背景值的概念和计算方法

土壤环境背景值是指在不受或很少受人类活动影响和不受或很少受现代工业污染与破坏的情况下, 土壤原来固定有的化学组成和结构特征。土壤环境背景值具有双重属性, 一个是自然属性, 其含量包含了自然背景的一部分, 一个是人为属性, 包含了一定的面源污染物(如大气降尘等)。其概念包含了以下几个方面: 1) 背景值只是一个相对的概念, 具有随时间变化的特征; 2) 背景值受自然成因和人为活动的双重影响, 自然成因和人为活动的影响区域一般是非重合的, 从而造成背景值的基本求取单元难以统一; 3) 背景值可以是全国性的背景值、区域性的背景值、局域性的背景值、地质单元背景值、土壤类型背景值等; 4) 背景值具有相对代表性, 背景值由于受多重因素控制, 往往是分布形态复杂, 难以用单一的函数确定地球化学元素的分布特征, 确定有绝对代表性的数值[12] [13]。

由于不同元素浓度的概率分布类型不同, 因而元素浓度测值的变化规律各异, 因此不可能用同一种方法表示出不同分布类型元素浓度的背景值范围。土壤中元素浓度概率分布类型有: 正态分布, 对数正态分布和偏态分布。正态分布的元素, 其背景值范围应该用均值和标准差表示, 我们取( $x \pm 2s$ )表示土壤环境背景值范围。对数正态分布的元素, 其背景值范围应该用几何平均值和几何标准差表示, 我们取( $M/D^2 \sim M \cdot D^2$ )表示其背景值范围。偏态分布的元素, 其元素浓度值的偏度和峰度, 都较元素对数浓度值的偏度和峰度为大, 即偏态分布元素样本浓度的概率曲线偏离对数正态分布密度函数曲线的程度, 比偏离正态分布密度函数曲线的程度稍小一些。因此我们采用对数正态分布元素背景值浓度的表示方法, 即用几何平均值乘除几何标准差( $M/D^2 \sim M \cdot D^2$ )近似表示本区偏态分布元素浓度的背景值范围。

## 4.2. 区域土壤环境背景值的特征

研究区表层 3969 件样品分别进行了 54 项元素的分析测试, 对测试结果进行参数计算, 统计了原始数据剔除离群数据(平均值  $\pm 3$  倍标准差)后的平均值、标准差、变异系数、背景值、异常下限等地球化学参数, 并利用偏度有方向检验元素浓度概率分布类型, 统计结果列于表 1。

**Table 1.** Shaoguan city soil environment background value parameters statistics (n = 3969)

**表 1.** 韶关市土壤环境背景值参数统计表(n = 3969)

元素	算数平均值	算数标准差	变异系数	几何平均值	几何标准差	背景值	浓度概率分布类型
Ag	0.08	0.0339	39.95	0.08	1.5018	0.03~0.18	偏态
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.89	4.7437	29.85	15.16	1.3679	8.1~28.37	偏态
As	9.64	7.8951	81.87	6.80	2.3942	1.19~38.98	偏态
Au	1.41	0.8327	58.91	1.18	1.8714	0.34~4.12	偏态
B	65.31	46.5737	71.31	47.72	2.3737	8.47~268.88	偏态
Ba	310.23	129.7296	41.82	280.99	1.6024	109.43~721.48	偏态
Be	3.50	2.3688	67.69	2.82	1.9441	0.74~10.64	对数正态
Bi	1.16	0.8184	70.46	0.92	1.9861	0.23~3.63	偏态
Br	3.16	2.0960	66.39	2.59	1.8793	0.73~9.13	偏态
CaO	0.15	0.0868	56.19	0.13	1.8579	0.04~0.45	偏态
Cd	0.17	0.0962	56.67	0.14	1.7836	0.05~0.46	偏态
Ce	91.4	32.0181	35.03	86.12	1.4148	43.02~172.38	偏态
Cl	48.65	13.6714	28.10	46.72	1.3346	26.23~83.22	偏态
Co	6.70	4.3438	64.86	5.38	1.9847	1.37~21.21	偏态
OrgC	1.33	0.5838	43.84	1.20	1.6361	0.45~3.2	偏态
Cr	45.53	28.2693	62.10	35.61	2.1403	7.77~163.12	偏态
Cu	17.26	8.7157	50.50	14.82	1.8065	4.54~48.38	偏态
F	524.07	156.3961	29.84	501.89	1.3421	278.63~904.01	对数正态
Ga	19.33	6.5824	34.06	18.15	1.4415	8.74~37.72	偏态
Ge	1.40	0.2137	15.26	1.38	1.1634	1.02~1.87	对数正态
Hg	0.11	0.0494	46.43	0.10	1.6138	0.04~0.25	偏态
I	1.73	1.2542	72.36	1.38	1.9434	0.36~5.2	偏态
K <sub>2</sub> O	2.89	1.3651	47.16	2.57	1.6597	0.93~7.07	偏态
La	40.63	14.2915	35.18	38.24	1.4216	18.92~77.28	偏态
Li	48.45	23.2846	48.06	43.10	1.6432	15.96~116.37	偏态
MgO	0.48	0.2195	45.58	0.43	1.6092	0.17~1.12	偏态
Mn	299.55	174.4933	58.25	251.29	1.8503	73.4~860.31	偏态

## Continued

Mo	0.87	0.4122	47.54	0.77	1.6209	0.29~2.04	偏态
N	1206.02	472.3901	39.17	1109.31	1.5336	471.66~2609.02	偏态
Na <sub>2</sub> O	0.22	0.1452	64.84	0.18	1.8978	0.05~0.66	偏态
Nb	22.81	8.0154	35.14	21.51	1.4073	10.86~42.6	偏态
Ni	15.29	9.5046	62.17	12.41	1.9571	3.24~47.54	偏态
P	520.19	218.4041	41.99	473.12	1.5735	191.09~1171.39	偏态
Pb	51.87	24.8985	48.01	45.84	1.6716	16.41~128.1	偏态
pH	5.08	5.0966	96.41	5.54	0.951227852	6.12~5.01	偏态
Rb	208.22	139.3631	66.93	166.60	1.9711	42.88~647.26	对数正态
S	228.08	80.3732	35.24	214.05	1.4373	103.62~442.2	偏态
Sb	0.95	0.7043	74.42	0.73	2.0494	0.17~3.07	偏态
Sc	8.89	2.9482	33.18	8.39	1.4116	4.21~16.72	偏态
Se	0.36	0.1676	46.44	0.33	1.5708	0.13~0.8	对数正态
SiO <sub>2</sub>	68.25	7.4622	10.93	67.83	1.1178	53.33~83.17	正态
Sn	9.77	7.4319	76.07	7.50	2.0517	1.78~31.56	偏态
Sr	36.01	17.9989	49.98	31.66	1.6835	11.17~89.73	偏态
TC	1.41	0.5931	42.10	1.28	1.5661	0.52~3.15	偏态
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.66	1.6062	43.86	3.31	1.5919	1.3~8.38	偏态
Th	25.3	15.6765	61.97	21.24	1.7888	6.64~67.98	偏态
Ti	3955.91	1389.2283	35.12	3664.39	1.5229	1580.01~8498.55	偏态
Tl	1.35	0.8246	61.05	1.12	1.8525	0.33~3.85	对数正态
U	6.99	5.0906	72.87	5.40	2.0502	1.28~22.69	偏态
V	64.24	31.3124	48.74	55.70	1.7738	17.7~175.26	偏态
W	5.16	2.7487	53.32	4.51	1.6804	1.6~12.73	偏态
Y	30.45	9.4912	31.17	29.05	1.3614	15.67~53.84	偏态
Zn	67.43	23.5700	34.96	63.22	1.4475	30.17~132.47	偏态
Zr	284.2	76.6799	26.98	273.24	1.3356	153.17~487.41	偏态

注：单位：μg/g；Au为ng/g；氧化物、TC、OrgC：%；pH无量纲。

由表可见，韶关市表层土壤元素分布以偏态分布为主，其中，符合正态分布的仅 SiO<sub>2</sub>，符合对数正态分布的元素有 Be、F、Ge、Rb、Se、Tl 等 6 个元素，其余元素分布均为偏态分布。全区元素以较均匀分布型为主，Zr、Cl、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、F、Y、Sc、Ga、Ce、La、Nb、S、Ti、Zn、N、Ag、Ba、P、TC、OrgC、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Hg、MgO、Se、K<sub>2</sub>O、Li、Mo、Pb、V 等 28 个元素，这些元素区域背景场总体上呈含量起伏变化不大的分布特点。强度变异型元素包括 Sr、Cu、W、CaO、Cd、Mn、Au、Tl、Cr、Ni、Th、Co、Na<sub>2</sub>O、Br、Rb、Be、Bi、B、I、U、Sb 等 21 个元素，高度变异指标分别为 Sn、As 两个元素和 pH。该组元素区域上含量起伏较大，分异特征明显，不同地质背景及不同自然环境区含量差异较大，区域地球化学场

表现为在多个生态环境区呈现富集或异常区(带)的不均匀分布特征。

与中国土壤 A 层背景值[14]相比(表 2、图 1), 韶关市土壤环境背景值稀有稀土元素(Sc、La、Zr 除外)、放射性元素、钨钼族元素(Mo 除外)、亲铜中元素族和  $Al_2O_3$  均有不同程度的富集, 其中达强度富集的元素有 Se、Li、Be、Rb、Th、Pb、Tl、U、Cd、W、Hg、Bi、Sn 等 13 个元素, 相对富集的有  $Al_2O_3$ 、B、Ce、Y 等 4 个元素, 表明这些元素在韶关地区呈区域性富集; 严重贫乏的有 CaO、 $Na_2O$ 、Sr、Cl、MgO、Co、Mn、Ni、I 等 9 个元素, 主要亲铜成矿元素、部分铁族元素、Sc、Mo、Ba、Br 也均不同程度贫乏, 表明韶关地区是这些元素的相对低背景区; 其它元素含量与中国土壤 A 层背景值相当。与广东土壤 A 层背景值[15]相比(图 1、表 3), 韶关市土壤富集或较富集的元素有造岩元素、铁族元素( $Fe_2O_3$ 、Co、Ni 除外)、稀有稀土元素、钨钼族元素(Mo 除外)、硫化矿床典型元素族(大部)、分散元素(Ge 除外)及 F、B 等, 其中强度富集的元素包括 F、Cu、V、Ti、Ga、Pb、Ce、Mn、W、Hg、Zn、Sr、Sb、Tl、MgO、Sn、CaO、Ba、Be、Li、Bi、Rb、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、Cd、B 等 26 个元素。

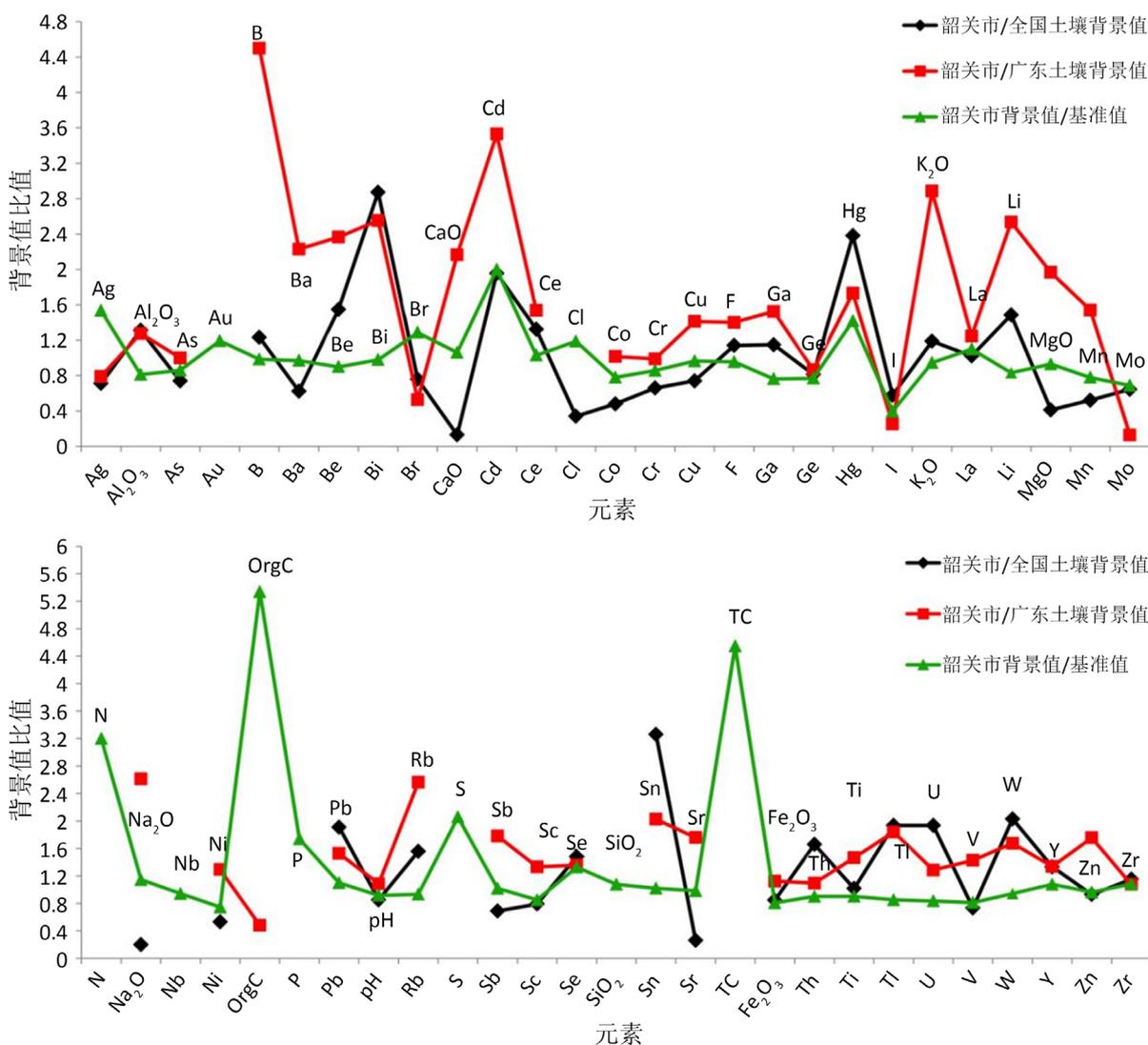


Figure 1. Ratio of Shaoguan soil background values to Chinese soils, Guangdong soil background values and geochemical benchmark values for the whole region

图 1. 韶关市土壤背景值与中国土壤、广东土壤背景值及全区地球化学基准值比值图

**Table 2.** Combination of enrichment and depletion of soil elements in Shaoguan City relative to the national soil environmental background values**表 2.** 韶关市土壤环境背景值相对全国土壤元素富集与贫乏组合

元素	与中国土壤背景值相比		
	富集(17) $K \geq 1.2$	相当(9) $1.2 < K < 0.8$	贫乏(19) $K \leq 0.8$
造岩元素	$Al_2O_3$	$K_2O$	MgO、 $Na_2O$ 、CaO
铁族元素		Ti、 $Fe_2O_3$	V、Cr、Mn、Ni、Co
稀有稀土元素	Be、Ce、Rb、Li、Y	La、Zr	Sc
放射性元素	U、Th		
钨钼族	Sn、Bi、W		Mo
亲铜成矿元素	Pb、Hg	Zn	As、Ag、Cu、Sb
分散元素	Cd、Se、Tl	Ga、Ge	Ba、Sr
矿化剂及卤族元素	B	F	Br、Cl、I

注：K 为韶关市土壤环境背景值与中国土壤背景值比值。

**Table 3.** Combination of enrichment and depletion of soil elements in Shaoguan City relative to Guangdong soil environmental background values**表 3.** 韶关市土壤环境背景值相对广东土壤元素富集与贫乏组合

元素	与广东土壤背景值相比		
	富集(33) $K \geq 1.2$	相当(8) $1.2 < K < 0.8$	贫乏(4) $K \leq 0.8$
造岩元素	$Al_2O_3$ 、 $K_2O$ 、MgO、 $Na_2O$ 、CaO		
铁族元素	Mn、Ti、V、Ni	$Fe_2O_3$ 、Cr、Co	
稀有稀土元素	Sc、La、Be、Ce、Rb、Li、Y	Zr	
放射性元素	U	Th	
钨钼族	Sn、Bi、W		Mo
亲铜成矿元素	Cu、Pb、Hg、Zn、Sb	As	Ag
分散元素	Ba、Ga、Cd、Se、Tl、Sr	Ge	
矿化剂及卤族元素	F、B		Br、I

注：K 为韶关市土壤环境背景值与广东土壤背景值比值。

这与韶关地区的地质背景密切相关，充分表明作为广东省重要的矿产资源产地，韶关地区强度富集与酸性岩浆岩、成矿作用有关的元素，中弱贫乏与碳酸盐岩有关的元素，强度贫乏与偏基性岩有关的元素。

#### 4.3. 主要成土母质土壤环境背景值的特征

韶关市土壤环境背景值统计单元划分见表 4。韶关地区的成土岩母质可归纳为岩浆岩类、沉积岩类、变质岩类及第四纪沉积物 4 大类。岩浆岩类以侵入岩类的花岗岩分布最广，侵位造山构成韶关地区山地地貌的主要格架；喷出岩以中生代酸性流纹质火山岩较多局部少量分布。沉积岩类在韶关地区分布也较

广泛,主要有砂页岩类、紫红色砂页岩,碳酸盐岩类。其中以泥盆系浅海相沉积分布最广,在韶关盆地、翁源盆地、乐昌周边常构成褶皱丘陵。紫红色砂页岩主要分布在南雄盆地、仁化等地,形成于白垩纪至第三纪,多呈现紫红、砖红等色,反映沉积时的强氧化环境。变质岩类分布较为分散,面积不大,主要为片岩,其次为板岩、千枚岩、石英岩等,作为区域变质基底分布于盆地外围。第四纪沉积物主要由冲积、洪积等地质作用形成多级阶地,为全新世-更新世的河流冲积相、河流洪冲积相、洪积相等组成,沉积物质主要为砂质粘土、中细砂、砂质砾石等,主要分布于山间及河流流域等区域。

**Table 4.** Statistics unit division of soil environmental background value in Shaoguan

**表 4.** 韶关市土壤环境背景值统计单元划分

项目	类型	统计单元
环境背景值	第四纪沉积物成土母质	河流冲洪积沉积物
		砂页岩类风化物
	沉积岩类成土母质	碳酸盐岩类风化物
		紫红色砂页岩类风化物
		花岗岩类风化物
	火成岩类成土母质	酸性火山喷出岩类风化物
	变质岩类成土母质	变质岩、浅变质岩类风化物

分别统计上述七个单元土壤元素环境背景值,并将统计单元土壤元素环境背景值与全区土壤元素环境背景值及全区地球化学基准值比较(表 5),其主要成土母质土壤环境背景值含量及分布特征如下:

1) 第四纪沉积物母质土壤背景值与全区土壤背景值相比,大部分元素背景值与全区土壤背景值相当,其比值变化范围大多在 0.8~1.2 之间, Au、As、CaO、Sb、B 等 5 个元素强度富集(比值  $\geq 1.4$ ),表现为高背景,在区域分布上, As 富集主要分布于一六镇东北部河流冲积相, B、Sb 富集主要分布于一六镇-乳源一带的河流洪冲积相,反映出第四系重砂类矿物迁移局部富集的土壤的地球化学特征,并与低温热液成矿的地质背景密切相关。统计单元没有显著低背景的元素。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比,第四纪沉积物母质土壤元素环境背景值含量较为平均,高低值均不显著,其中背景值为各类成土母质最高值的仅 Zr、Ag 两个,也仅有  $K_2O$ 、Mn、I 等 3 项为各类成土母质背景值最低值。

2) 全区沉积岩类成土母质划分为 3 个统计单元:

①紫红色砂页岩类成土母质背景值与全区土壤背景值相比,与全区土壤背景值相当的元素数量占大多数,其比值变化范围大多在 0.8~1.2 之间,没有强度富集的元素项目,仅 CaO、MgO、Sr 等 3 个元素表现中弱富集(比值 1.2~1.4),表现中弱贫化的元素包括 Sn、Th、I、Br、Bi、Mo、Se、Ga、Hg、Pb、OrgC、 $Al_2O_3$ 、Be、TC、Nb、Tl、Rb、N、W 等 20 个元素, U 表现出显著低背景,与全区比值为 0.53。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比,紫红色砂页岩类成土母质土壤元素环境背景值以含有最多最低值元素为特点,包括 U、 $Al_2O_3$ 、Y、Hg、Ga、Ce、S、Zn、N、TC、P、OrgC、Mo、Sc、Se、Br 等 16 个元素各类成土母质背景值最低值,背景值为各类成土母质最高值的仅 Sr、 $SiO_2$  两个元素。反映出紫红色砂页岩中偏碱性、有机质含量低的土壤的地球化学特征,与其红盆内陆盐湖相的沉积物源主要为碳酸盐岩岩屑,高钙、镁、生物骨质碎屑,且炎热干旱的性气候条件下的陆相沉积环境,有机质含量少不易吸附,不利于生物富集密切相关地质背景密切相关。

②砂页岩类成土母质土壤背景值与全区土壤背景值相比,砂页岩类成土母质土壤背景值富集、相当、贫乏的元素均占有相当的数量,表明其与全区土壤元素背景值差异较为显著,其中 Sn、U、Rb、Be 等 4

个元素为强度贫乏, 表现为低背景, Tl、Na<sub>2</sub>O、Th、Bi、Pb、K<sub>2</sub>O、W、Li 中弱贫乏, 比值在 0.6~0.8 之间, Ti、Co、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Se、Ni、V、Au、Br、Cr、B、As、Sb、I 等 13 个元素表现为高背景, 其中 Br、Cr、B、As、Sb、I 等 6 个元素的比值均大于 1.4, 为强度富集元素。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比, 砂页岩类成土母质土壤元素环境背景值以不含最高值元素为特点, 各类成土母质中背景值最低值元素包括 Rb、Tl、Pb、Be、Li、Ag 等 6 个元素, 主要为稀有稀土元素。反映出其成矿元素局部强度富集的土壤的地球化学特征, 与花岗岩岩体外围形成碎屑岩低温成矿带, 其主要低温成矿元素与矿化剂组合富集的地质背景密切相关。

③碳酸盐岩类成土母质土壤背景值与全区土壤背景值相比, 碳酸盐岩类成土母质土壤背景值以强度富集元素数量最多为特点, 比值大于 1.4 的元素有 15 个, 主要为铁族元素(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V, Co, Ni, Cr)、亲铜成矿元素(Cu, Au, As, Sb)、造岩元素(MgO, CaO)、矿化剂及卤族元素(F, I, B)和 Cd, 比值大于 1.2, 表现富集的元素还有 Zn、Mn、Se、Ti、Hg 等 5 个元素, 强度贫乏的元素仅 Sn 一个, 其余元素背景值表现基本与全区土壤相当或中弱贫乏。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比, 碳酸盐岩类成土母质土壤元素环境背景值的碱性是最高的, pH 均值达 6.35。各类成土母质土壤中, 碳酸盐岩类土壤背景值最高值元素包括 CaO、pH、F、Hg、S、Cd、B、Au、Sb、Cr、As 等 11 项, 各类成土母质中背景值最低值元素 Sn、Cl、Ba 等 3 个元素。反映出碳酸盐岩具碱性障、成矿元素强度富集的地球化学特征, 与碳酸盐岩主要矿物成分为方解石 CaCO<sub>3</sub>、白云石 MgCO<sub>3</sub>, pH 较高, 土壤环境中游离氧, 有机质、水分等缺少, 导致其铁族及镉元素地球化学行为强度较弱, 不易迁移扩散, 易于残留富集, 且常在花岗岩岩体外围形成中低温成矿带, 中低温成矿元素与矿化剂组合富集。

### 3) 研究区火成岩类成土母质划分为两大类:

①花岗岩类母质土壤背景值与全区土壤背景值相比, 土壤背景值富集、相当、贫乏的元素均占有相当的数量, 其中, W、Pb、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、Tl、Th、Be、Rb、Sn、U、Bi 等 11 个元素表现得强度富集, 比值均大于 1.4, 表现出富集特点的还有 Li、I、Y、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、La、Ce、Ga、Nb 等 8 个元素, 比值均大于 1.2, 另外, 有 B、Cr、As、Ni、Sb、Au 等 6 个元素显示强度贫乏, 背景值与全区比值均小于 0.6, B 的比值更是低至 0.36。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比, 花岗岩类成土母质土壤元素环境背景值的酸性是最为强烈的, pH 值低至 4.99。背景最高值元素数量 20 个, 主要是放射性元素(U, Th)、造岩元素(Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)稀有稀土元素(Be, La, Ce, Y, Nb, Rb, Li)、钨钼族元素(Sn, Bi, W)、分散元素(Tl, Ge, Ga)以及 Pb、Cl; 背景最低元素包括 pH、Cd、B、Ti、MgO、Au、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、V、Sb、Cu、Cr、Ni、Co、As 等 14 项指标。反映出花岗岩具放射性元素、高温成矿元素强度富集, 铁族及亲铜成矿元素等总体贫乏的地球化学特征。花岗岩内云母类及长石类铝硅酸盐矿物(KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, CaAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)含量较高, Be 等稀有稀土元素与部分分散元素为亲石元素, 硅酸盐矿物中含量较高, Pb 元素富集不仅与放射性元素衰变后同位素富集相关, 与局部矿化富集亦密切相关。酸性侵入岩相对富集钨钼族等高温成矿元素, 大部分成矿元素与矿化剂分异分散至岩体外其他成土母质中, 其结晶成岩后硫化物矿物及暗色矿物(铁镁质矿物)含量较少。

②酸性火山喷出岩类成土母质土壤中元素背景值总体分布仍以均匀为主, 变异系数低于 0.50 间的元素有 36 个, 其中, pH、SiO<sub>2</sub>、U、Nb、Rb、Zr、K<sub>2</sub>O、Ge、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Th、Ce、Cl、La 等 13 项指标的变异系数低于 0.25, 显示分布均匀, 但对比其它成土母质土壤后, 可以发现, 酸性火山喷出岩类土壤背景值分布不均匀的元素数量是最多的, 包括 As、CaO、Sn、I、Bi 等 5 个元素, 变异系数 0.78~0.98, 为高度变异, 表现出分布不均匀。②酸性火山喷出岩类母质土壤背景值与全区土壤背景值相比, 铁族元素(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, V, Cr, Ni, Co)、造岩元素(CaO, MgO)、亲铜成矿元素(As, Sb, Cu)、矿化剂及卤族元素(Br、I)以及 Sc 等 14 个元素表现出强度富集的特征, 比值均大于 1.4, 表现出富集特点的还有 Li、N、TC、OrgC、

Ti、Zn、Ba 等 7 个元素, 比值均大于 1.2; 另外, 有 U、Bi、Th、Rb、Pb、Sn、Nb、K<sub>2</sub>O、Be 等 9 个元素显示中弱贫乏, 与全区背景值比值介于 0.6~0.8 之间, 强度贫乏的元素仅 Na<sub>2</sub>O 一个。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比, 酸性火山喷出岩类成土母质土壤元素环境背景值的背景最高值与最低值元素数量仅次于花岗岩类, 其中, 背景最高值元素包括 Zn、N、TC、P、OrgC、Ti、Sc、MgO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mn、V、Ni、Co、等 13 个元素, 主要以铁族元素、造岩元素、矿化剂及卤族元素和碳赋存元素族为主; 背景最低元素包括 Na<sub>2</sub>O、Bi、Th、Nb、F、Zr、La、SiO<sub>2</sub> 等 8 项指标。反映出酸性火山喷出岩铁族元素、部分成矿元素富集的地球化学特征, 因酸性岩浆溶融和结晶过程中元素分异, 稀有稀土元素多属不相容元素, 趋于进入到熔体或冷却慢结晶程度高的侵入岩中, 而 Sc 及铁族元素属不相容元素趋于保留在岩石的固相矿物或冷却快结晶程度低的喷出岩当中。且由于喷出岩冷却速度较快, 多形成隐晶、脱玻化、玻璃质, 微细粒的岩石。形成的土壤粒度细且质地紧密, 土壤较肥沃有机质含量高, 易形成吸附障, 铁族元素、部分亲铜成矿元素及分散元素易吸附残留富集。

4) 变质岩类成土母质土壤背景值与全区土壤背景值相比, 以铁族元素(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, V, Cr, Ni, Co)、矿化剂及卤族元素(Br, I)、亲铜成矿元素族(Au, Sb, Cu, As)和 MgO 的强度富集, Na<sub>2</sub>O 的强度贫乏为特点, 另外 Mo、Sc、Ba、Se 等 4 个元素表现中弱富集(比值 1.2~1.4), 表现中弱贫化的元素包括 Sn、Sr、CaO、U、Bi、Rb、Tl、Th、Pb、Be、W、Nb 等 12 个元素, 其余元素背景值与全区相当。与其它各类成土母质土壤元素背景值相比, 变质岩类成土母质土壤元素环境背景值最低值元素包括 Mo、Ba、Se、Cu、Br 等 5 个元素, 各类成土母质背景值最高值的元素有 Sr、CaO、W、Ge 等 4 个元素。反映出变质岩成矿元素局部强度富集、生物元素富集的土壤地球化学特征, 与其作为区域变质岩基底, 在岩体花岗岩岩体外围形成中低温成矿带, 主要中低温成矿元素与矿化剂元素组合富集, Se、Br、I 元素富集不仅与岩浆分异、成矿元素及挥发份等分散相关, 与韶关地区变质岩系沉积环境主要为浅海 - 深海相密切相关, 其原岩成土母质中 Br 等卤族元素较富集, 且该类变质岩系中藻类等生物群较多, 其原岩中有机碳等相对富集, Se 元素也存在生物富集等因素。

**Table 5.** The background value of each soil-forming parent material and the ratio of the background value of the soil environment in the whole region

**表 5.** 各成土母质土壤背景值与全区土壤环境背景值比值统计

母质单元	≤0.6	0.6~0.8	0.8~1.2	1.2~1.4	≥1.4
第四纪沉积物		U、I、Rb、Tl、Br、Th、K <sub>2</sub> O、Be、Mn	Sn、Ga、Pb、Na <sub>2</sub> O、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Bi、Se、OrgC、TC、Mo、Li、Nb、N、Ce、Zn、Ba、Cl、Ge、F、La、S、Y、MgO、Co、W、Sc、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、pH、Sr、Ag、Cd、P、V、Zr	Ti、Cu、Ni、Hg、Cr	Au、As、CaO、Sb、B
紫红色砂页岩	U	Sn、Th、I、Br、Bi、Mo、Se、Ga、Hg、Pb、OrgC、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Be、TC、Nb、Tl、Rb、N、W	Mn、Ce、P、As、Zn、Sc、S、Y、K <sub>2</sub> O、La、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cl、Ge、V、F、Zr、Ti、Ba、Au、Ni、Ag、pH、Co、SiO <sub>2</sub> 、Li、Cd、Sb、Cr、Na <sub>2</sub> O、Cu、B	CaO、MgO、Sr	
砂页岩	Sn、U、Rb、Be	Tl、Na <sub>2</sub> O、Th、Bi、Pb、K <sub>2</sub> O、W、Li	Nb、CaO、Ga、Ce、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、La、Zn、Y、Sr、Ag、Cd、Mn、pH、F、Cl、SiO <sub>2</sub> 、S、Ba、P、Ge、OrgC、MgO、Mo、TC、N、Hg、Zr、Sc、Cu	Ti、Co、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Se、Ni、V、Au	Br、Cr、B、As、Sb、I
碳酸盐岩	Sn	U、Rb、Th、Be、Tl、Bi、Na <sub>2</sub> O、K <sub>2</sub> O	Nb、Pb、Cl、W、Y、Ce、Ba、Ga、La、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、SiO <sub>2</sub> 、Ge、Li、Ag、Zr、S、TC、Br、OrgC、pH、Mo、P、Sr、Sc、N	Zn、Mn、Se、Ti、Hg	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Cu、Au、MgO、V、F、I、Co、Ni、CaO、Cr、B、Cd、As、Sb

## Continued

花岗岩	B、Cr、As、Ni、Sb、Au	Cu、V、Co、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、MgO、Ti	Sc、Cd、P、pH、CaO、Hg、Zr、Se、SiO <sub>2</sub> 、Ba、Ag、N、F、Sr、S、Zn、Ge、Br、TC、Mn、OrgC、Cl、Mo	Li、I、Y、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、La、Ce、Ga、Nb	W、Pb、K <sub>2</sub> O、Na <sub>2</sub> O、Ti、Th、Be、Rb、Sn、U、Bi
酸性火山喷出岩	Na <sub>2</sub> O	U、Bi、Th、Rb、Pb、Sn、Nb、K <sub>2</sub> O、Be	W、Ce、Hg、Tl、La、Sr、F、Y、Zr、B、pH、SiO <sub>2</sub> 、Ge、Ag、Cd、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Mo、S、Ga、Cl、Se、Au、P	Li、N、TC、OrgC、Ti、Zn、Ba	CaO、Sb、Cu、MgO、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Sc、Mn、Br、V、Cr、Ni、Co、As、I
变质岩	Na <sub>2</sub> O	Sn、Sr、CaO、U、Bi、Rb、Tl、Th、Pb、Be、W、Nb	K <sub>2</sub> O、Li、pH、Ge、F、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Y、Hg、Ga、Zr、La、SiO <sub>2</sub> 、Ce、Cl、Ag、S、Cd、Zn、N、TC、B、P、OrgC、Ti	Mo、Sc、Ba、Se	MgO、Au、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Mn、V、Sb、Cu、Cr、Ni、Co、I、As

## 5. 结果与讨论

### 5.1. 结论

韶关市的土壤环境背景值与区域地质背景密切相关,充分表明韶关作为广东省重要的矿产资源产地,地区强度富集与酸性岩浆岩、成矿作用相关的元素,中弱贫乏与碳酸盐岩相关的元素,强度贫乏与偏基性岩相关的元素。第四纪沉积物母质 Au、As、CaO、Sb、B 等 5 个元素局部强度富集,并表现为高背景。紫红色砂页岩成土母质土壤中,具有偏碱性、有机质低背景的地球化学特征。砂页岩类成土母质土壤中,具有低温成矿元素局部强度富集土壤的地球化学特征。碳酸盐岩类成土母质土壤中,具有碱性障、中低温成矿元素高背景的地球化学特征。花岗岩类成土母质土壤中,具有放射性元素、稀有稀土元素、高温成矿元素高背景,铁族、亲铜成矿元素低背景等地球化学特征。酸性喷出岩类成土母质土壤中,具有铁族元素、部分成矿元素高背景的地球化学特征。变质岩类成土母质土壤中,具有中低温成矿元素、生物元素高背景的地球化学特征。

### 5.2. 影响因素讨论

- 1) 韶关地区第四系沉积物母质周边低温热液矿产地较多,河流洪冲积相常迁移富集重砂类矿物。
- 2) 紫红色砂页岩成土母质其沉积物源主要为碳酸盐岩岩屑,高钙、镁、生物骨质碎屑的地质背景,内陆盐湖炎热干旱气候条件下的氧化沉积环境,有机质含量少,不利于生物富集。
- 3) 砂页岩类成土母质其花岗岩岩体外围形成碎屑岩低温成矿带,其主要低温成矿元素与矿化剂组合富集。
- 4) 碳酸盐岩类成土母质,其母岩主要矿物成分为方解石 CaCO<sub>3</sub>、白云石 MgCO<sub>3</sub>,pH 较高,土壤环境中游离氧,有机质、水分等缺少,导致其铁族及镉元素地球化学行为强度较弱,不易迁移扩散,易于残留富集[16],且常在花岗岩岩体外围形成中低温成矿带,中低温成矿元素与矿化剂组合富集。
- 5) 花岗岩类成土母质,其母岩内云母类及长石类铝硅酸盐矿物含量较高,Be 等稀有稀土元素、部分分散元素为亲石元素,硅酸盐矿物中含量较高;而 Pb 元素富集不仅与放射性元素衰变后同位素富集相关,与局部矿化富集亦密切相关;酸性侵入岩相对富集钨钼族等高温成矿元素,大部分成矿元素与矿化剂分异分散至岩体外其他成土母质中,其结晶成岩后硫化物矿物及暗色矿物(铁镁质矿物)含量较少。
- 6) 酸性喷出岩类成土母质,其母岩在酸性岩浆溶融和结晶过程中元素分异,稀有稀土元素多属不相容元素,趋于进入到熔体或冷却慢结晶程度高的侵入岩中,而 Sc 及铁族元素属不相容元素趋于保留在岩石的固相矿物或冷却快结晶程度低的喷出岩当中。且由于喷出岩冷却速度较快,多形成隐晶、脱玻化、玻璃质,微细粒的岩石,形成的土壤粒度细且质地紧密,土壤较肥沃有机质含量高,易形成吸附障,铁

族元素、部分亲铜成矿元素及分散元素易吸附残留富集。

7) 变质岩类成土母质, 其母岩作为区域变质岩基底, 在花岗岩岩体外围常形成中低温成矿带, 成矿元素与矿化剂元素组合富集; 而 Se、Br、I 元素富集不仅与岩浆分异、成矿元素及挥发份等分散相关, 与韶关地区变质岩系为浅海-深海相沉积环境密切相关, 其原岩成土母质中 Br 等卤族元素较富集, 且该类变质岩系中藻类等生物群较多, 原岩中有机碳等相对富集, Se 元素也存在生物富集等因素。

## 参考文献

- [1] 奚小环, 侯青叶, 杨忠芳, 叶家瑜, 余涛, 夏学齐, 成杭新, 周国华, 姚岚. 基于大数据的中国土壤背景值与基准值及其变化特征研究——写在《中国土壤地球化学参数》出版之际[J/OL]. 物探与化探: 1-14[2021-09-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1906.P.20210527.1112.002.html>
- [2] 郑春江, 张东威, 张燕, 屠礼廉, 王春艺. 国内外土壤环境背景值图件编制研究现状趋势[J]. 环境科学研究, 1989, 2(2): 48-53.
- [3] 陈年, 徐茂其, 尹启后. 关于土壤环境背景值的研究现状[J]. 重庆环境保护, 1981(3): 9-16.
- [4] 张吉娜. 国内外环境背景值研究现状及趋势[J]. 地球科学信息, 1987(1): 31-33.
- [5] 董岩翔, 郑文, 周建华, 等. 浙江省土壤地球化学背景值[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [6] 谢玉洁, 谷志云, 潘涵香, 张妍, 贺晓琨. 淳安县土壤元素基准值与背景值分布特征[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(7): 125-128.
- [7] 中国土壤环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [8] 农业环境背景值研究编写组. 农业环境背景值研究[M]. 上海: 上海科学出版社, 1997.
- [9] 王春松, 盛奇, 裴瑞亮. 河南商丘地区土壤元素基准值与背景值研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(12): 1-5.
- [10] 叶嗣宗, 王云, 庞金华, 等. 上海市土壤环境背景值调查研究[Z]. 上海环境监测中心, 2004.
- [11] 深圳市生态环境局. DB4403/T 68-2020 深圳市地方标准土壤环境背景值[S]. 深圳: 深圳市市场监督管理局, 2020.
- [12] 戎秋涛, 翁焕新. 环境地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990-06.
- [13] 生态环境部. GB36600-2018 土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行) [S]. 深圳: 国家市场监督管理总局, 2018.
- [14] 赖启宏, 游远航, 窦磊, 张伟, 李文胜, 朱鑫, 叶思源, 陈恩, 黎旭荣, 刘子宁. 广东省珠江三角洲经济区 1: 250,000 多目标区域地球化学调查报告[R]. 广州: 广东省地质调查院, 2011.
- [15] 朱鑫, 罗思亮, 黎旭荣, 贾磊, 贾黎黎, 李婷婷, 赵艺, 陈恩, 等. 广东阳江-茂名地区多目标地球化学调查项目成果报告[R]. 广州: 广东省地质调查院, 2016.
- [16] 王云, 魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.