

DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202508200019

安徽省水系沉积物39种元素地球化学背景值

夏飞强, 朱梦蕾, 于勤勤

(安徽省地球物理地球化学勘查技术院, 安徽 合肥 230022)

摘要: 自1982年开始, 安徽省相关部门开展以水系沉积物测量为主的区域地球化学调查, 共完成调查面积 8.38×10^4 km², 积累了海量的高质量基础地球化学数据。开发利用这些基础地球化学数据进行不同尺度、不同范围的对比研究是开展元素分散富集、成矿潜力和异常评价的一项重要内容。以安徽省1:20万区域化探原始数据为依托, 以 $X \pm 3S$ 为临界值, 一次性剔除离群值后的数据集的中位数作为背景值的估计值, 计算出了全省范围及7个大地构造单元、7个成矿带的水系沉积物中39种元素地球化学背景值。结果显示, 与全国水系沉积物元素地球化学背景值相比, 安徽省水系沉积物显著富集Ti、Zr, 强烈富集Ag、Au、B、Hg、Sn、W。受大地构造、地质背景、岩浆活动及成矿作用等影响, 不同构造单元、不同成矿带的元素地球化学特征存在显著差异。与全省水系沉积物元素地球化学背景值相比, 徐淮地块富集Ni、CaO、MgO, 北淮阳构造带、大别构造带均富集Ba、Sr、Na₂O, 下扬子地块富集Au、B, 江南地块、浙西地块均富集Cd、Hg、Mo、Sn、W、Zn。这些背景值为开展区域成矿规律研究提供了重要的对比参数。

关键词: 水系沉积物; 区域地球化学调查; 背景值; 中位数

中图分类号: P595; P596; P632

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2026)04-1281-13

Background Values of 39 Chemical Elements in Stream Sediments of Anhui Province, China

XIA Feiqiang, ZHU Menglei, YU Qinqin

(Anhui Institute of Geophysical and Geochemical Prospecting Techniques, Hefei, Anhui 230022, China)

Abstract: Since 1982, relevant departments in Anhui Province have carried out regional geochemical surveys primarily focused on stream sediment measurements. A total area of 83800 square kilometers has been surveyed, accumulating a vast amount of high-quality baseline geochemical data. The utilization and development of these baseline geochemical data for comparative studies at different scales and scopes constitute a crucial aspect of researching element dispersion and enrichment, evaluating metallogenic potential, and assessing anomalies. Based on the 1:200000 regional geochemical raw data from Anhui Province, using $X \pm 3S$ as the threshold, the median of the dataset after a one-time removal of outliers was employed as the estimated background value. The geochemical background values of 39 elements in stream sediments were calculated for the entire province, seven tectonic units, and seven metallogenic belts. The results reveal that, compared to the national geochemical background values for stream sediment elements, the stream sediments in Anhui Province are significantly enriched in Ti and Zr, and strongly enriched in Ag, Au, B, Hg, Sn, and W. Influenced by

收稿日期: 2025-08-20; 修回日期: 2026-03-05; 编辑: 董立。

基金项目: 安徽省公益性地质工作项目(2024-g-1-9)

作者简介: 夏飞强, 男, 高级工程师, 1989年出生, 地球化学专业, 主要从事矿产地球化学勘查、土地质量地球化学调查及科研工作。
Email: 243807071@qq.com。

引用格式: 夏飞强, 朱梦蕾, 于勤勤. 安徽省水系沉积物39种元素地球化学背景值[J]. 现代地质, 2026, 40(4): 1281-1293. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202508200019.

XIA Feiqiang, ZHU Menglei, YU Qinqin. Background Values of 39 Chemical Elements in Stream Sediments of Anhui Province, China [J]. GEOSCIENCE, 2026, 40(4): 1281-1293. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202508200019.

tectonic setting, geological background, magmatic activity, and mineralization processes, the geochemical characteristics of the elements show significant variations across different tectonic units and metallogenic belts. Compared to the provincial geochemical background values for stream sediment elements: the Xuhuai Block is enriched in Ni, CaO, and MgO; both the North Huaiyang Structural Belt and the Dabie Structural Belt are enriched in Ba, Sr, and Na₂O; the Lower Yangtze Block is enriched in Au and B; and both the Jiangnan Block and the Western Zhejiang Block are enriched in Cd, Hg, Mo, Sn, W, and Zn. These background values provide important comparative parameters for conducting research on regional metallogenic patterns.

Key words: stream sediment; regional geochemical survey; background value; median

0 引言

地球表层各类沉积物中的化学元素含量水平可以作为地球化学勘查研究中水系沉积物、土壤元素分散富集特征的对比依据,是基础地质研究、矿产资源勘查及生态环境评价的重要基础资料^[1-4]。长期以来,地球化学科研工作者不断探索着地表各类沉积物的元素地球化学背景值和基准值,这些基础数据对研究沉积物中元素的地球化学行为和特征具有重要意义^[5-7]。

以水系沉积物测量为主的区域地球化学调查(即区域化探全国扫面计划)自1978年开始以来,截止2010年已完成 $760 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的扫面,取得了142万个高质量39种元素的含量数据,涉及1:20万图幅1299个、1:50万图幅18个,圈出了近6万个综合异常,对筛选出的万余异常进行初步检查,见矿异常2900余处,经过进一步详细异常检查和钻探、槽探验证,发现贵金属、有色金属矿产地700余处^[8-9]。作为区域化探全国扫面计划的组成部分,安徽省1:20万区域化探扫面工作始于1982年,至1988年底完成野外采样工作,于1997年印发最后一份地球化学图说明书评审意见。累计完成调查面积约 $8.38 \times 10^4 \text{ km}^2$,涉及27个图幅,基本实现了全省可扫面积的全覆盖,采集水系沉积物、土壤样品共计13.36万件,获取了20605件 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 网格组合样的39种元素(或氧化物)的高质量地球化学数据。这些资料和数据不仅在安徽省矿产勘查中发挥了巨大作用,还为基础地质、生态环境、农业等方面研究提供了重要依据。

基于水系沉积物测量数据,不同学者计算了不同区域的元素地球化学背景值。伦知颖等依据全国区域化探扫面成果,以61863个1:2.5万图幅的算术平均值作为原始数据,采用中位数和迭代剔除异常值(即元素含量大于 $X + 3S$ 和小于 $X -$

$3S$ 的值, X 为算术平均值, S 为标准离差)后数据集的算术平均值作为背景值,计算提出了全国及6个不同景观区水系沉积物中39种元素的背景值^[10]。程志中等利用云南、四川等12个省(自治区)区域化探扫面采集的水系沉积物副样,按照每1:5万图幅一个组合样的密度,获取了5244件样品分析数据,以迭代剔除 $X \pm 2S$ 离群值后的算术平均值,提出了中国南方地区水系沉积物中76种元素丰度^[11]。刘汉粮等以每1:2.5万图幅一件样品的密度,采用 $X \pm 3S$ 为临界值一次性剔除离群值后的数据集的中位数作为背景值的估计值,提出了中蒙边界地区汇水域沉积物中69种元素背景值^[12]。杜佩轩等以迭代剔除大于 $X + 3S$ 和小于 $X - 2.5S$ 的离群值后的数据集的算术平均值作为背景值,计算了新疆水系沉积物中39种元素地球化学背景值^[13]。李旭东等依据区域化探数据,采用迭代剔除法统计计算了黑龙江省嫩江—黑河地区及7个地质子区的水系沉积物中12种元素地球化学背景值^[14]。程乃福依据区域化探原始数据统计计算了安徽南部及其V级成矿区内水系沉积物中22种成矿及伴生元素地球化学背景值^[15]。张万仁等基于1:5万水系沉积物测量数据,计算提出了甘肃宕昌—崖湾一带12种元素地球化学背景值^[16]。上述背景值为全国及不同区域水系沉积物测量数据对比、地球化学异常特征研究等提供了依据,是开展不同范围、不同尺度地球化学找矿工作可供参考的重要资料。然而,区域化探扫面工作至今,安徽省全域水系沉积物地球化学背景值的系统研究仍未见公开报道。

本文以安徽省区域化探原始数据为基础,按照不同统计单元计算了全省范围、不同构造单元、不同成矿带水系沉积物的39种元素地球化学背景值,以期为区内开展不同范围和尺度的地球化学特征及异常研究等提供可供对比的基础数据,为

在地质找矿新形势下安徽省进一步开发利用以往化探工作成果提供参考。

1 数据来源

数据来源于安徽省区域地球化学调查成果，数据分布覆盖安徽省陆域面积约 $8.38 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，涉及宣城幅等27个1:20万图幅、徐淮地块等7个省内二级构造单元、北淮阳成矿带等7个成矿带，数据具有广泛的代表性。

自1982年开始的安徽省1:20万区域化探以水系沉积物测量为主，基本采样密度为1个点/ km^2 ，已发现水系异常持续性短的地区，适当加密至平均1~2个点/ km^2 ，主要采集淤泥、粉砂、细砂等物

质；水系不发育或基本采集不到水系沉积物样品的，用土壤样品代替^[17]。全部样品经预处理后按每 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 范围进行等量组合成一件样品，采用以X射线荧光光谱仪(XRF)为主体的多元素多方法配套分析方案分析测试32种微量元素和7种氧化物，并执行统一严格的分析质量控制体系，确保了样品分析质量和数据可靠性^[18]。

2 统计方法

2.1 统计单元划分

本次元素地球化学背景值的计算分3个统计单元进行(图1)，包括①全省范围；②7个构造单元：徐淮地块、六安地块、北淮阳构造带、大别构造带、下扬子地块、江南地块、浙西地块。

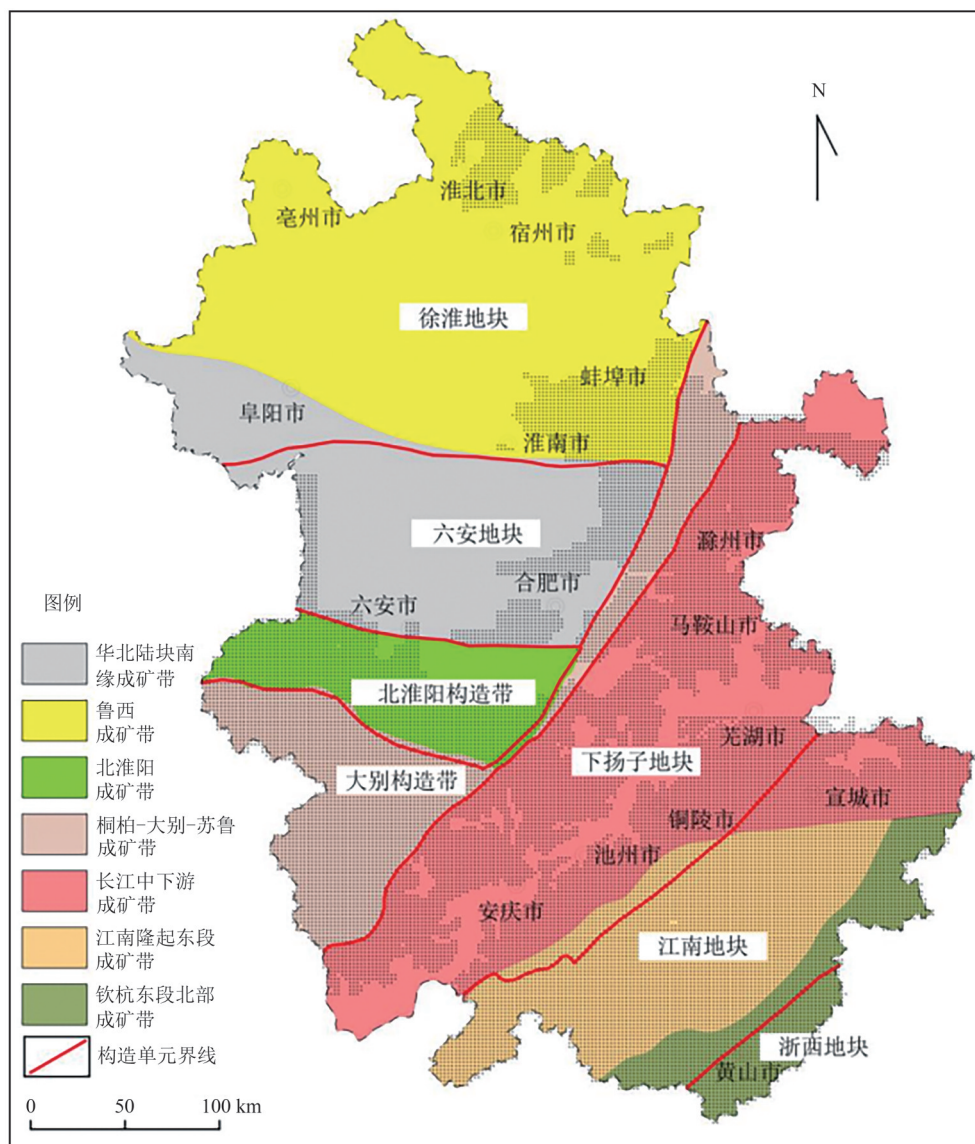


图1 采样点位和统计单元示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling sites and statistical units

带、下扬子地块、江南地块、浙西地块；③7个成矿带：华北陆块南缘成矿带、鲁西成矿带、北淮阳成矿带、桐柏—大别—苏鲁成矿带、长江中下游成矿带、江南隆起东段成矿带、钦杭东段北部成矿带。

2.2 背景值确定

在地球化学参数统计中，背景值的计算有很多种方法，例如迭代法、箱图剔除法、含量-面积分形法（C-A法）等，化探工作者通常采用迭代剔除“ $X \pm nS$ ”离群值后的算术平均值作为背景值，其具有经典统计概率学依据^[19]。

为确定本文系列背景值的计算方法，对安徽省区域化探全部原始数据分别采用一次性剔除和迭代剔除 $X \pm 2S$ 、 $X \pm 2.5S$ 、 $X \pm 3S$ 离群值后的数据进行计算试验，通过正态分布检验表明，各种方法剔除后的数据基本都不服从正态分布。而常规的经典统计学中以算术平均值作为背景值的前提是数据服从正态分布，因此，上述剔除后的算术平均值不适宜作为元素的地球化学背景值。安徽省南北跨度较大，区域地质背景、地形地貌及气候差异显著，某一地区的元素自然含量在另一地区可能就是异常值，同时考虑到区域化探工作中采样、分析测试等各种原因造成的偶然误差和系统误差的客观存在，通过剔除离群值并不能从根本上排除对算术平均值的影响，且不具有更强的地球化学意义和实际使用价值^[20]。而中位数属于稳健统计学参数，可以消除一些与均值相差较远的离群数据对统计结果的影响，适宜作为背景值的估计值^[21]。

对比一次性剔除离群值后的算术平均值、几何平均值和中位数（表1）可以发现，大多数元素在剔除离群值前后的中位数变化最小，近乎无变化，而算术平均值变化较为显著，几何平均值次之，显示中位数十分稳定，受离群值影响微弱；而中位数中以按 $X \pm 3S$ 剔除离群值后的中位数变化最小，该结论与史长义等相关研究^[6]一致。因此，本文采用以 $X \pm 3S$ 为临界值一次性剔除离群值后的中位数作为背景值。

3 安徽省水系沉积物元素地球化学背景值

安徽省水系沉积物统计参数见表2。研究元素的区域分散和富集规律是化探工作的一项重要内

容，区域浓集系数（ RCC ）是同种介质中同种元素在不同范围内平均含量的比值，其主要受地质背景和成矿环境制约，可用以估计各地质单元中元素的相对富集与贫化，探讨元素的区域集中和成矿趋势^[22]。安徽省水系沉积物元素地球化学背景值与全国背景值^[6]相比，As、Cu、Li、Mn、Ni、Th、Y、Zn、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的 RCC 为1.00~1.10显示略有富集，Ba、Co、Cr、La、Nb、Pb、V的 RCC 为1.10~1.20呈富集，Ti、Zr的 RCC 为1.20~1.30呈显著富集，Ag、Au、B、Hg、Sn、W的 $RCC > 1.30$ 呈强烈富集，其他元素的 RCC 均小于1显示贫化。其中Co、Cr、Cu、Mn、Ni、V和Au、B、Sn、Ti、Y、Zr等元素的富集特征分别与安徽省江淮流域深层土壤和表层土壤中相应元素的富集特征^[23]一致。

4 不同构造单元水系沉积物元素地球化学背景值

计算各构造单元的水系沉积物元素地球化学背景值，并与全省背景值对比计算 RCC 值（表3）。总体上以浙西地块多数元素背景值相对高于全省背景值，其次是下扬子地块和江南地块，以六安地块、北淮阳构造带、大别构造带多数元素的背景值相对低于全省背景值，可见皖南地区背景值总体较高、皖西地区背景值总体较低。

徐淮地块Ag、B、Cu、F、Li、Mn、Sn、 Al_2O_3 、 Na_2O 的 RCC 为1.0~1.1显示略有富集，As、Au、Cr、Sr的 RCC 为1.1~1.2呈富集，Ni的 RCC 为1.2~1.3呈显著富集，CaO、MgO的 $RCC > 1.3$ 呈强烈富集。六安地块As、Cr、U、 SiO_2 的 RCC 为1.0~1.1显示略有富集，B、 Na_2O 的 RCC 为1.1~1.2呈富集（图2）。

北淮阳构造带Mn、P、Pb、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的 RCC 为1.0~1.1显示略有富集，Zr的 RCC 为1.1~1.2呈富集， K_2O 的 RCC 为1.2~1.3呈显著富集，Ba、Sr、 Na_2O 的 $RCC > 1.3$ 呈强烈富集。大别构造带Mn、Zn、 Fe_2O_3 的 RCC 为1.0~1.1显示略有富集，Zr、 Al_2O_3 、 K_2O 的 RCC 为1.1~1.2呈富集，MgO的 RCC 为1.2~1.3呈显著富集，Ba、P、Sr、 Na_2O 、CaO的 $RCC > 1.3$ 呈强烈富集（图3）。

下扬子地块As、Cr、Cu、F、La、Li、Ni、Th、Ti、U、V、W、Zr、 SiO_2 的 RCC 为1.0~1.1

表1 离群值剔除前后参数对比
Table 1 Comparison of parameters before and after outlier removal

元素	X_2-X_1	X_3-X_1	X_4-X_1	$X_{g2}-X_{g1}$	$X_{g3}-X_{g1}$	$X_{g4}-X_{g1}$	m_2-m_1	m_3-m_1	m_4-m_1
Ag	-15.12	-13.65	-12.35	-3.78	-3.17	-2.67	0.00	0.00	0.00
As	-1.30	-1.10	-1.00	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	-0.10	-0.10
Au	-0.60	-0.50	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	-5.00	-5.00	-5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	-38.00	-29.00	-24.00	-12.00	-8.00	-6.00	-2.00	-1.00	-1.00
Be	-0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	-0.07	-0.06	-0.05	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
Cd	-62.11	-54.63	-47.63	-5.77	-4.48	-3.40	0.00	0.00	0.00
Co	-0.40	-0.30	-0.20	-0.20	-0.20	-0.10	-1.00	-1.00	0.00
Cr	-2.70	-2.20	-1.90	-1.40	-1.10	-0.90	0.00	0.00	0.00
Cu	-4.90	-4.80	-4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	-16.00	-16.00	-16.00	-2.00	-2.00	-2.00	0.00	0.00	0.00
Hg	-5.00	-4.00	-4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La	-2.60	-2.00	-1.50	-1.60	-1.20	-0.90	-1.00	0.00	0.00
Li	-0.90	-0.70	-0.50	-0.20	-0.40	-0.30	-0.50	-0.40	-0.20
Mn	-21.00	-17.00	-14.00	-9.00	-6.00	-5.00	-2.00	-1.00	-1.00
Mo	-0.19	-0.17	-0.15	-0.04	-0.04	-0.03	0.00	0.00	0.00
Nb	-0.90	-0.80	-0.70	-0.50	-0.50	-0.40	0.00	0.00	0.00
Ni	-1.20	-1.00	-0.90	-0.60	-0.50	-0.40	0.00	0.00	0.00
P	-24.00	-15.00	-11.00	-8.00	-4.00	-2.00	-4.00	-2.00	-1.00
Pb	-1.50	-1.40	-1.30	-0.40	-0.40	-0.30	0.00	0.00	0.00
Sb	-0.15	-0.13	-0.12	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00
Sn	-0.40	-0.40	-0.30	-0.20	-0.20	-0.10	0.00	0.00	0.00
Sr	-15.00	-15.00	-15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Th	-1.10	-0.90	-0.80	-0.50	-0.40	-0.30	0.00	0.00	0.00
Ti	-85.00	-79.00	-70.00	-43.00	-47.00	-44.00	-14.00	-12.00	-9.00
U	-0.20	-0.20	-0.20	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	-4.50	-3.70	-3.10	-2.40	-1.80	-1.40	-1.00	0.00	0.00
W	-0.35	-0.32	-0.30	-0.06	-0.05	-0.05	-0.03	-0.02	-0.02
Y	-0.90	-0.70	-0.50	-0.50	-0.40	-0.30	0.00	0.00	0.00
Zn	-4.90	-3.80	-3.20	-2.40	-1.70	-1.30	-1.50	-1.00	-1.00
Zr	-24.00	-20.00	-16.00	-11.00	-9.00	-7.00	-2.00	-2.00	-1.00
SiO ₂	0.35	0.14	0.05	0.42	0.17	0.07	0.11	0.05	0.01
Al ₂ O ₃	-0.05	-0.04	-0.02	0.01	-0.01	0.00	-0.03	-0.03	-0.01
Fe ₂ O ₃	-0.16	-0.12	-0.08	-0.10	-0.08	-0.05	-0.05	-0.03	-0.02
Na ₂ O	-0.20	-0.08	-0.02	-0.10	-0.04	-0.01	-0.06	-0.02	0.00
K ₂ O	-0.10	-0.06	-0.03	-0.07	-0.04	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01
CaO	-0.20	-0.15	-0.13	-0.06	-0.04	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01
MgO	-0.08	-0.05	-0.03	-0.05	-0.03	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01

注: X_1 、 X_{g1} 、 m_1 为剔除前算术平均值、几何均值、中位数; X_2 、 X_3 、 X_4 , X_{g2} 、 X_{g3} 、 X_{g4} , m_2 、 m_3 、 m_4 分别为按 $X \pm 2S$ 、 $X \pm 2.5S$ 、 $X \pm 3S$ 剔除离群值后的算术平均值、几何均值、中位数。

显示略有富集, Hg、Mo、Sb的RCC为1.1 ~ 1.2 江南地块Be、Mn、U、K₂O的RCC为1.0 ~ 1.1呈富集, Au、B的RCC为1.2 ~ 1.3呈显著富集。示略有富集, Ag、As、Cu、Li、P、Pb、Sb的

表2 安徽省水系沉积物39种元素统计参数

Table 2 Statistical parameters of 39 elements in stream sediments , Anhui Province

元素	样品数	$\bar{X}$	G	S	m	m_0	RCC
Ag	20 358	101.7	92.9	54.6	91.0	69.0	1.32
As	20 342	9.3	7.2	6.8	8.3	8.0	1.04
Au	20 551	2.2	1.5	2.8	1.6	1.1	1.45
B	20 604	55.0	40.0	31.0	59.0	41.0	1.44
Ba	20 498	667	603	363	540	474	1.14
Be	20 412	2.1	2.0	0.6	1.9	2.0	0.95
Bi	20 456	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.93
Cd	20 447	170.7	116.3	252.8	100.0	110.0	0.91
Co	20 339	12.9	12.4	3.6	13.0	11.0	1.18
Cr	20 350	61.7	58.1	19.7	63.0	54.0	1.17
Cu	20 604	25.5	22.8	24.0	22.0	20.0	1.10
F	20 583	409	388	154	375	460	0.82
Hg	20 577	58.0	46.0	51.0	45.0	27.0	1.67
La	20 197	43.8	41.6	14.4	40.0	36.0	1.11
Li	20 423	31.0	28.6	11.1	31.3	30.0	1.04
Mn	20 503	664	633	214	629	622	1.01
Mo	20 313	0.9	0.7	0.8	0.6	0.7	0.86
Nb	20 193	18.0	17.6	4.1	18.0	15.0	1.20
Ni	20 368	24.6	22.7	9.5	23.0	22.0	1.05
P	20 561	581	516	335	495	535	0.93
Pb	20 492	26.8	25.6	9.0	25.0	22.0	1.14
Sb	20 461	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.98
Sn	20 405	4.5	4.1	2.5	3.9	2.7	1.44
Sr	20 602	138.0	107.0	124.0	97.0	129.0	0.75
Th	20 192	12.4	11.7	4.4	12.0	11.0	1.09
Ti	20 333	5002	4922	879	5018	3881	1.29
U	20 315	2.3	2.1	1.2	2.1	2.2	0.95
V	20 331	84.7	80.2	27.6	84.0	75.0	1.12
W	20 433	2.4	2.0	1.7	2.2	1.6	1.36
Y	20 228	25.3	24.9	4.3	25.0	24.0	1.04
Zn	20 350	75.7	69.8	32.1	68.0	65.0	1.05
Zr	20 308	332	317	111	308	248	1.24
SiO ₂	20 557	69.1	68.9	6.0	69.9	65.5	1.07
Al ₂ O ₃	20 474	12.9	12.7	2.1	12.9	12.8	1.01
Fe ₂ O ₃	20 291	4.5	4.4	1.1	4.4	4.3	1.01
Na ₂ O	20 535	1.3	1.0	0.9	1.0	1.3	0.78
K ₂ O	20 341	2.2	2.2	0.6	2.1	2.4	0.88
CaO	20 180	1.1	0.8	0.9	0.8	1.3	0.58
MgO	20 311	1.1	1.0	0.5	1.0	1.2	0.86

注：含量单位：Ag、Au、Cd、Hg为10⁻⁹；氧化物为10⁻²；其他元素为10⁻⁶； $\bar{X}$ 算术平均值； G 几何平均值； S 标准偏差； m 中位数； m_0 ^[6]中国水系沉积物元素地球化学背景值； $RCC^{[22]}=m/m_0$ 。

RCC 为1.1 ~ 1.2呈富集，Au、Sn、W、Zn的1.3呈强烈富集（图4）。
 RCC 为1.2 ~ 1.3呈显著富集，Cd、Hg、Mo的不同构造单元间对比来看，亲石元素Ba、Sr、 $RCC > 1.3$ 呈强烈富集。浙西地块Ag、F、Mn、Zr、Na₂O在北淮阳构造带和大别构造带含量明显高Al₂O₃、Fe₂O₃的 RCC 为1.0 ~ 1.1显示略有富集，于其他构造单元；Li、W在江南地块和浙西地块高Cu、P、U、Y的 RCC 为1.1 ~ 1.2呈富集，Be、于其他单元，在北淮阳构造带和大别构造带明显低Hg、Li、K₂O的 RCC 为1.2 ~ 1.3呈显著富集，于其他单元；CaO、MgO在徐淮地块和大别构造带As、Bi、Cd、Mo、Pb、Sb、Sn、W、Zn的 $RCC >$ 高于其他单元；B在六安地块和下扬子地块、Be在

表3 安徽省不同构造单元水系沉积物39种元素背景值与RCC值

Table 3 Background values and Reginal concentration coefficient(RCC)values of 39 elements in stream sediments from different tectonic units, Anhui Province

元素	徐淮地块		六安地块		北淮阳构造带		大别构造带		下扬子地块		江南地块		浙西地块	
	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>
Ag	95.0	1.04	84.0	0.92	85.0	0.93	84.0	0.92	88.0	0.97	101.0	1.11	99.0	1.09
As	9.8	1.18	8.4	1.01	4.7	0.57	2.3	0.28	9.1	1.10	10.0	1.20	11.2	1.35
Au	1.8	1.13	1.4	0.88	0.9	0.56	1.0	0.63	2.0	1.25	2.0	1.25	1.6	1.00
B	61.0	1.03	70.0	1.19	24.0	0.41	8.0	0.14	73.0	1.24	57.0	0.97	47.0	0.80
Ba	526	0.97	521	0.96	823	1.52	937	1.74	501	0.93	516	0.96	517	0.96
Be	1.9	1.00	1.8	0.95	1.8	0.95	1.9	1.00	1.9	1.00	2.0	1.05	2.4	1.26
Bi	0.3	1.00	0.3	1.00	0.2	0.67	0.2	0.67	0.3	1.00	0.3	1.00	0.4	1.33
Cd	80.0	0.80	70.0	0.70	90.0	0.90	90.0	0.90	91.0	0.91	152.0	1.52	180.0	1.80
Co	13.0	1.00	11.0	0.85	12.0	0.92	13.0	1.00	13.0	1.00	12.0	0.92	12.0	0.92
Cr	72.0	1.14	66.0	1.05	52.5	0.83	58.0	0.92	66.0	1.05	61.0	0.97	45.0	0.71
Cu	22.4	1.02	20.0	0.91	20.0	0.91	19.0	0.86	23.0	1.05	25.2	1.15	25.6	1.16
F	392	1.05	334	0.89	354	0.94	375	1.00	379	1.01	374	1.00	392	1.05
Hg	28.0	0.62	32.0	0.71	29.0	0.64	26.0	0.58	54.0	1.20	64.0	1.42	56.0	1.24
La	36.0	0.90	39.0	0.98	40.0	1.00	40.0	1.00	43.0	1.08	39.0	0.98	33.0	0.83
Li	34.0	1.09	31.0	0.99	21.0	0.67	16.6	0.53	32.0	1.02	36.5	1.17	39.0	1.25
Mn	648	1.03	536	0.85	634	1.01	648	1.03	592	0.94	679	1.08	663	1.05
Mo	0.5	0.83	0.4	0.67	0.6	1.00	0.5	0.83	0.7	1.17	0.8	1.33	0.8	1.33
Nb	17.0	0.94	18.0	1.00	18.0	1.00	17.0	0.94	18.0	1.00	17.0	0.94	18.0	1.00
Ni	29.0	1.26	23.0	1.00	18.0	0.78	23.0	1.00	25.0	1.09	22.0	0.96	19.0	0.83
P	392	0.79	334	0.67	504	1.02	686	1.39	443	0.89	562	1.14	558	1.13
Pb	24.2	0.97	24.0	0.96	27.0	1.08	23.0	0.92	24.0	0.96	27.7	1.11	32.7	1.31
Sb	0.6	1.00	0.6	1.00	0.4	0.67	0.2	0.33	0.7	1.17	0.7	1.17	0.8	1.33
Sn	4.0	1.03	3.3	0.85	3.2	0.82	3.1	0.79	3.8	0.97	4.9	1.26	7.8	2.00
Sr	110.0	1.13	95.0	0.98	167.0	1.72	245.0	2.53	94.0	0.97	65.0	0.67	58.0	0.60
Th	11.0	0.92	12.0	1.00	12.0	1.00	10.0	0.83	13.0	1.08	12.0	1.00	12.0	1.00
Ti	4726	0.94	4860	0.97	4818	0.96	4970	0.99	5172	1.03	5010	1.00	4987	0.99
U	1.9	0.90	2.3	1.10	1.8	0.86	1.5	0.71	2.3	1.10	2.3	1.10	2.4	1.14
V	81.0	0.96	81.0	0.96	77.0	0.92	83.0	0.99	88.0	1.05	83.0	0.99	71.0	0.85
W	2.1	0.95	2.0	0.91	1.5	0.68	0.8	0.36	2.3	1.05	2.7	1.23	3.8	1.73
Y	24.0	0.96	24.0	0.96	22.2	0.89	24.0	0.96	25.0	1.00	25.0	1.00	29.0	1.16
Zn	53.3	0.78	49.0	0.72	65.0	0.96	74.0	1.09	63.0	0.93	88.0	1.29	98.0	1.44
Zr	286	0.93	303	0.98	370	1.20	357	1.16	318	1.03	273	0.89	279	0.91
SiO ₂	68.7	0.98	73.0	1.04	69.0	0.99	63.8	0.91	71.8	1.03	69.6	1.00	67.2	0.96
Al ₂ O ₃	13.1	1.02	12.0	0.93	13.2	1.02	14.7	1.14	12.3	0.95	12.5	0.97	13.5	1.05
Fe ₂ O ₃	4.4	1.00	4.1	0.93	4.6	1.05	4.8	1.09	4.3	0.98	4.4	1.00	4.5	1.02
Na ₂ O	1.1	1.10	1.2	1.20	1.7	1.70	2.9	2.90	0.9	0.90	0.5	0.50	0.8	0.80
K ₂ O	2.1	1.00	1.9	0.90	2.6	1.24	2.4	1.14	1.9	0.90	2.2	1.05	2.6	1.24
CaO	1.2	1.50	0.7	0.88	0.8	1.00	1.8	2.25	0.7	0.88	0.6	0.75	0.5	0.63
MgO	1.4	1.37	1.0	0.99	1.0	1.00	1.3	1.26	0.9	0.89	1.0	0.92	0.9	0.89

注: 含量单位: Ag、Au、Cd、Hg为10⁻⁹; 氧化物为10⁻²; 其他元素为10⁻⁶; $RCC^{[22]}$ =某单元某元素背景值/该元素全省背景值。

浙西地块、P在大别构造带、K₂O在浙西地块明显高于其他单元。亲铜元素Ag、Ni在徐淮地块显著高于其他单元。亲铁元素Co、Fe₂O₃在各单元中差异不大; Mo在江南地块、浙西地块明显高于其他单元; As、Bi、Cd、Cu、Hg、Pb、Sb、Sn、Zn在江南地

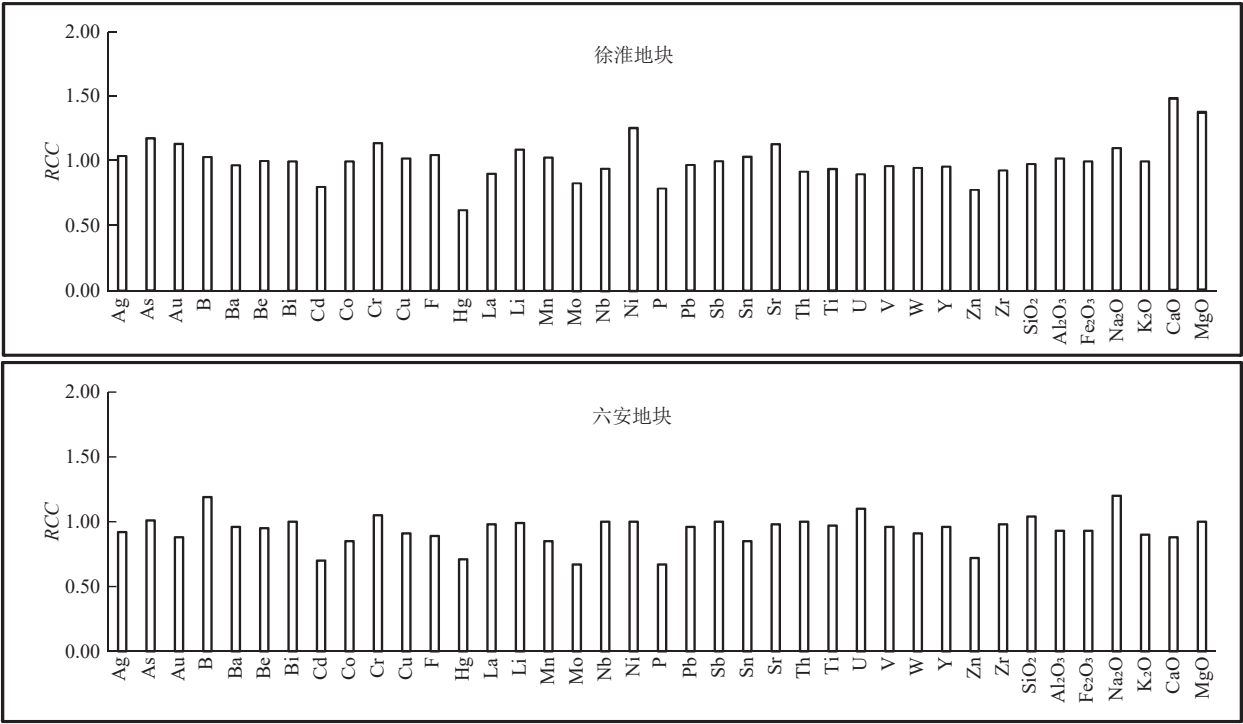


图2 徐淮地块、六安地块区域浓集系数对比
Fig. 2 Comparison of *RCC* values of Xuhuai block and Lu' an block

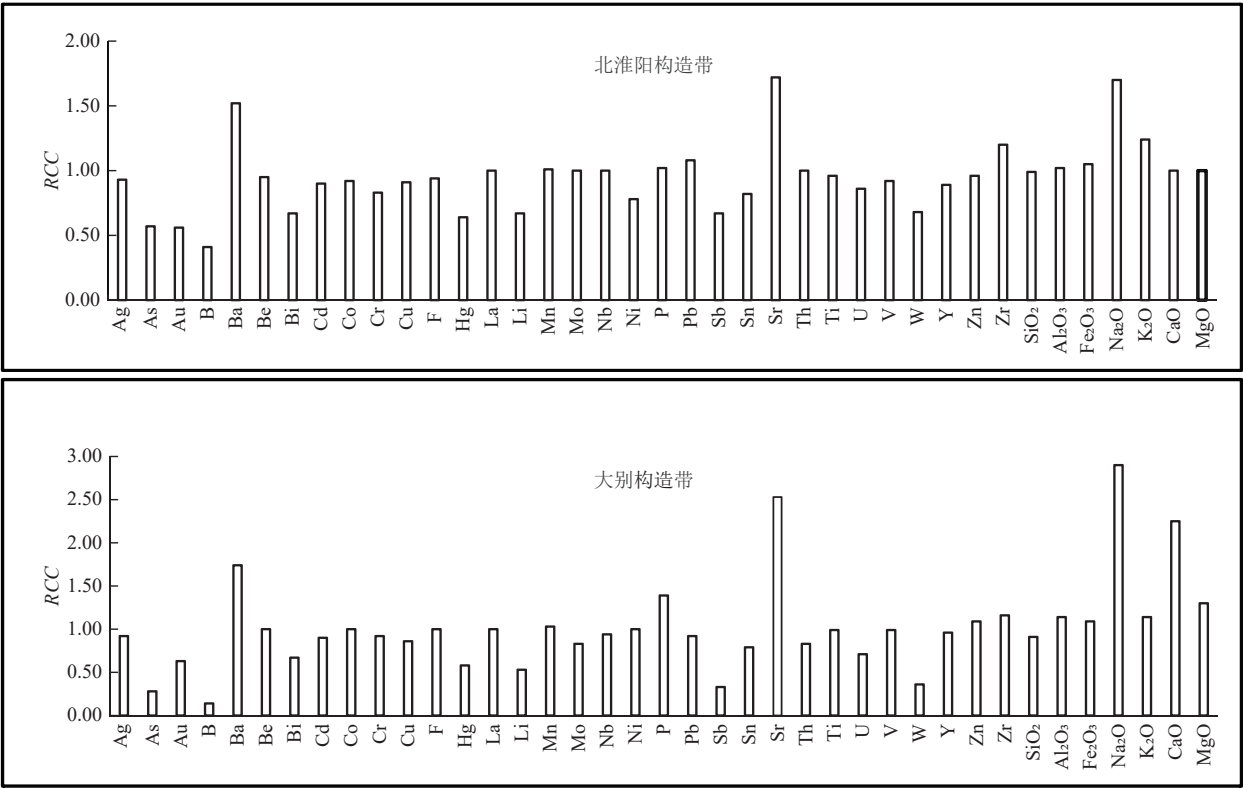


图3 北淮阳构造带、大别构造带区域浓集系数对比
Fig. 3 Comparison of *RCC* values of North Huaiyang tectonic belt and Dabie tectonic belt

块、江南地块、徐淮地块高于其他单元，在北淮阳构造带、大别构造带明显低于其他单元。 总之，不同的构造单元具有不同的大地构造背景、岩石地层及构造岩浆活动^[24-26]，导致水系

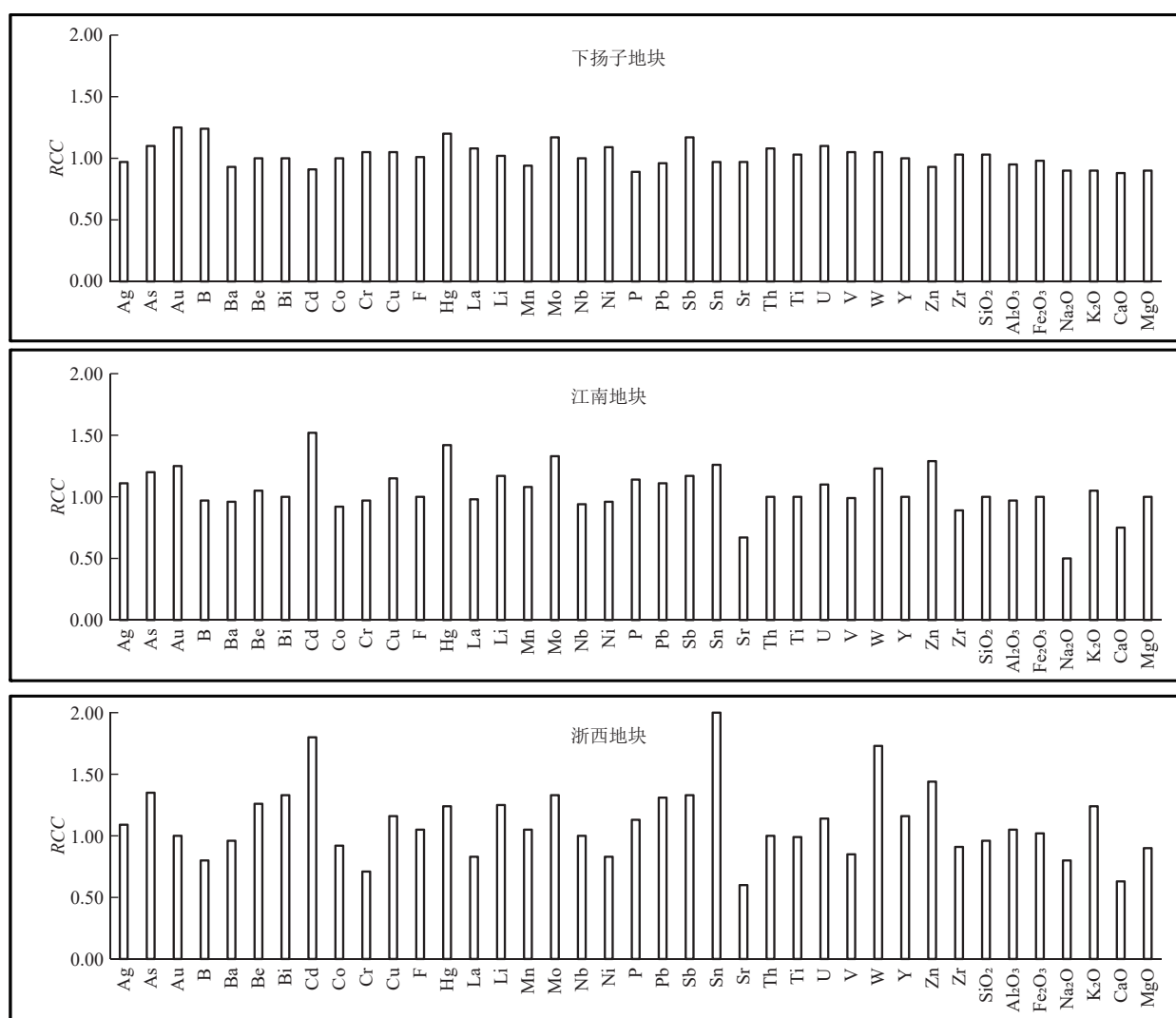


图4 下扬子地块、江南地块、浙西地块区域浓集系数对比

Fig. 4 Comparison of RCC values of Lower Yangtze block, Jiangnan block and Western Zhejiang block

沉积物具有显著差异的区域元素分散和富集特征。某些构造单元显著富集特征元素，如江南地块富集 Au、W、Pb、Zn 等元素，为区内大中型多金属矿床的形成提供了充足的物质来源^[27-28]。

5 不同成矿带水系沉积物元素地球化学背景值

统计计算各成矿带的水系沉积物元素地球化学背景值，并与全省背景值对比计算 RCC 值（表4）。江南隆起东段成矿带、钦杭东段北部成矿带的多数元素背景值相对高于全省背景值，华北陆块南缘成矿带、北淮阳成矿带多数元素的背景值相对低于全省背景值，显然不同的成矿区带表现出不同的元素富集和贫化特征。

华北陆块南缘成矿带 Cr、U、SiO₂ 的 RCC 为

1.0 ~ 1.1 显示略有富集，B、Na₂O 的 RCC 为 1.1 ~ 1.2 呈富集。鲁西成矿带 Ag、B、Cu、F、Li、Mn、Sb、Sn、Al₂O₃、Na₂O 的 RCC 为 1.0 ~ 1.1 显示略有富集，As、Au、Cr、Sr 的 RCC 为 1.1 ~ 1.2 呈富集，Ni 的 RCC 为 1.2 ~ 1.3 呈显著富集，CaO、MgO 的 RCC > 1.3 呈强烈富集（图5）。

北淮阳成矿带 Mn、Pb、Al₂O₃、Fe₂O₃ 的 RCC 为 1.0 ~ 1.1 显示略有富集，Zr、K₂O 的 RCC 为 1.1 ~ 1.2 呈富集，Ba、Sr、Na₂O 的 RCC > 1.3 呈强烈富集。桐柏—大别—苏鲁成矿带 F、La、Mn、V 的 RCC 为 1.0 ~ 1.1 显示略有富集，Zn、Zr、Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O 的 RCC 为 1.1 ~ 1.2 呈富集，Ba、P、Sr、Na₂O、CaO、MgO 的 RCC > 1.3 呈强烈富集（图6）。

长江中下游成矿带 As、Cr、La、Li、Ni、Th、

表4 安徽省不同成矿带水系沉积物39种元素背景值与RCC值

Table 4 Background values and Regional concentration coefficient(RCC)values of 39 elements in stream sediments from different metallogenic belts in Anhui Province

元素	华北陆块 南缘成矿带		鲁西成矿带		北淮阳 成矿带		桐柏-大别-苏鲁成矿带		长江中下游成矿带		江南隆起东段成矿带		钦杭东段 北部成矿带	
	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>	<i>m</i>	<i>RCC</i>
Ag	85.0	0.93	95.0	1.04	84.0	0.92	85.0	0.93	85.0	0.93	107.0	1.18	108.0	1.19
As	8.3	1.00	9.8	1.18	5.0	0.60	2.1	0.25	8.9	1.07	10.7	1.29	11.3	1.36
Au	1.4	0.88	1.8	1.13	0.9	0.56	0.9	0.56	2.0	1.25	1.8	1.13	2.0	1.25
B	69.0	1.17	61.0	1.03	28.0	0.47	7.0	0.12	73.0	1.24	54.0	0.92	52.0	0.88
Ba	521	0.96	527	0.98	769	1.42	990	1.83	493	0.91	547	1.01	517	0.96
Be	1.8	0.95	1.9	1.00	1.8	0.95	1.9	1.00	1.9	1.00	2.1	1.11	2.2	1.16
Bi	0.3	1.00	0.3	1.00	0.2	0.67	0.1	0.33	0.3	1.00	0.4	1.33	0.4	1.33
Cd	70.0	0.70	80.0	0.80	87.0	0.87	100.0	1.00	90.0	0.90	169.0	1.69	181.0	1.81
Co	11.0	0.85	13.0	1.00	12.0	0.92	13.0	1.00	12.0	0.92	13.0	1.00	13.0	1.00
Cr	66.0	1.05	72.0	1.14	52.4	0.83	58.0	0.92	65.0	1.03	61.0	0.97	55.0	0.87
Cu	20.0	0.91	22.5	1.02	20.0	0.91	19.7	0.90	22.0	1.00	28.0	1.27	26.6	1.21
F	333	0.89	392	1.05	347	0.93	385	1.03	362	0.97	384	1.02	421	1.12
Hg	32.0	0.71	28.0	0.62	29.0	0.64	26.0	0.58	54.0	1.20	63.0	1.40	64.0	1.42
La	40.0	1.00	36.0	0.90	39.0	0.98	41.0	1.03	42.0	1.05	40.0	1.00	35.0	0.88
Li	31.0	0.99	34.0	1.09	22.0	0.70	16.0	0.51	32.0	1.02	38.0	1.21	38.8	1.24
Mn	528	0.84	649	1.03	633	1.01	658	1.05	578	0.92	731	1.16	668	1.06
Mo	0.4	0.67	0.5	0.83	0.5	0.83	0.5	0.83	0.7	1.17	0.9	1.50	0.8	1.33
Nb	18.0	1.00	17.0	0.94	18.0	1.00	17.0	0.94	18.0	1.00	17.0	0.94	18.0	1.00
Ni	23.0	1.00	29.0	1.26	18.0	0.78	23.0	1.00	24.0	1.04	23.0	1.00	22.0	0.96
P	333	0.67	392	0.79	476	0.96	749	1.51	413	0.83	599	1.21	595	1.20
Pb	23.0	0.92	24.1	0.96	27.0	1.08	23.0	0.92	23.0	0.92	29.4	1.18	31.1	1.24
Sb	0.6	1.00	0.6	1.00	0.4	0.67	0.2	0.33	0.7	1.17	0.8	1.33	0.8	1.33
Sn	3.4	0.87	4.0	1.03	3.2	0.82	3.1	0.79	3.7	0.95	5.1	1.31	7.0	1.79
Sr	95.0	0.98	110.0	1.13	153.0	1.58	268.0	2.76	93.0	0.96	63.0	0.65	62.0	0.64
Th	12.0	1.00	11.0	0.92	12.0	1.00	10.0	0.83	13.0	1.08	12.0	1.00	12.0	1.00
Ti	4857	0.97	4728	0.94	4809	0.96	4985	0.99	5176	1.03	4972	0.99	4924	0.98
U	2.3	1.10	1.9	0.90	1.9	0.90	1.5	0.71	2.3	1.10	2.4	1.14	2.3	1.10
V	81.0	0.96	81.0	0.96	75.0	0.89	85.0	1.01	86.0	1.02	87.0	1.04	81.0	0.96
W	2.0	0.91	2.1	0.95	1.6	0.73	0.8	0.36	2.3	1.05	2.9	1.32	3.0	1.36
Y	24.0	0.96	24.0	0.96	23.0	0.92	24.0	0.96	25.0	1.00	25.0	1.00	27.0	1.08
Zn	48.0	0.71	53.9	0.79	64.0	0.94	77.0	1.13	58.0	0.85	98.9	1.45	93.8	1.38
Zr	302	0.98	285	0.93	365	1.19	361	1.17	324	1.05	265	0.86	262	0.85
SiO ₂	73.0	1.04	68.7	0.98	69.7	1.00	62.9	0.90	72.6	1.04	68.5	0.98	67.4	0.96
Al ₂ O ₃	12.0	0.93	13.1	1.02	13.0	1.01	14.9	1.16	12.0	0.93	13.1	1.02	13.3	1.03
Fe ₂ O ₃	4.0	0.91	4.4	1.00	4.5	1.02	5.0	1.14	4.1	0.93	4.6	1.05	4.6	1.05
Na ₂ O	1.2	1.20	1.1	1.10	1.6	1.60	3.0	3.00	0.8	0.80	0.5	0.50	0.7	0.70
K ₂ O	1.9	0.90	2.1	1.00	2.5	1.19	2.5	1.19	1.8	0.86	2.3	1.10	2.5	1.19
CaO	0.8	1.00	1.2	1.50	0.7	0.88	2.0	2.50	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.75
MgO	1.0	1.00	1.4	1.40	1.0	1.00	1.4	1.40	0.8	0.80	1.0	1.00	1.1	1.10

注：含量单位：Ag、Au、Cd、Hg为10⁻⁹；氧化物为10⁻²；其他元素为10⁻⁶；RCC^[22]=某单元某元素背景值/该元素全省背景值。

Ti、U、V、W、Zr、SiO₂的RCC为1.0 ~ 1.1显示略有富集，Hg、Mo、Sb的RCC为1.1 ~ 1.2呈富集，Au、B的RCC为1.2 ~ 1.3呈显著富集。江南隆起东段成矿带Ba、F、V、Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O的RCC为1.0 ~ 1.1显示略有富集，Ag、Au、Be、F、P、K₂O的RCC为1.1 ~ 1.2呈富集，Au、Cu、Mn、Pb、U的RCC为1.1 ~ 1.2呈富集，As、Cu、Li、P的RCC为1.2 ~ 1.3呈显著富集，Bi、Cd、Hg、Mo、Sb、W、Zn的RCC > 1.3呈强烈富集。钦杭东段北部成矿带Mn、U、Y、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO的RCC为1.0 ~ 1.1显示略有富集，Ag、Be、F、P、K₂O的RCC为1.1 ~ 1.2呈富集，Au、Cu、Li、Pb的RCC为1.2 ~ 1.3呈显著富集，As、Bi、

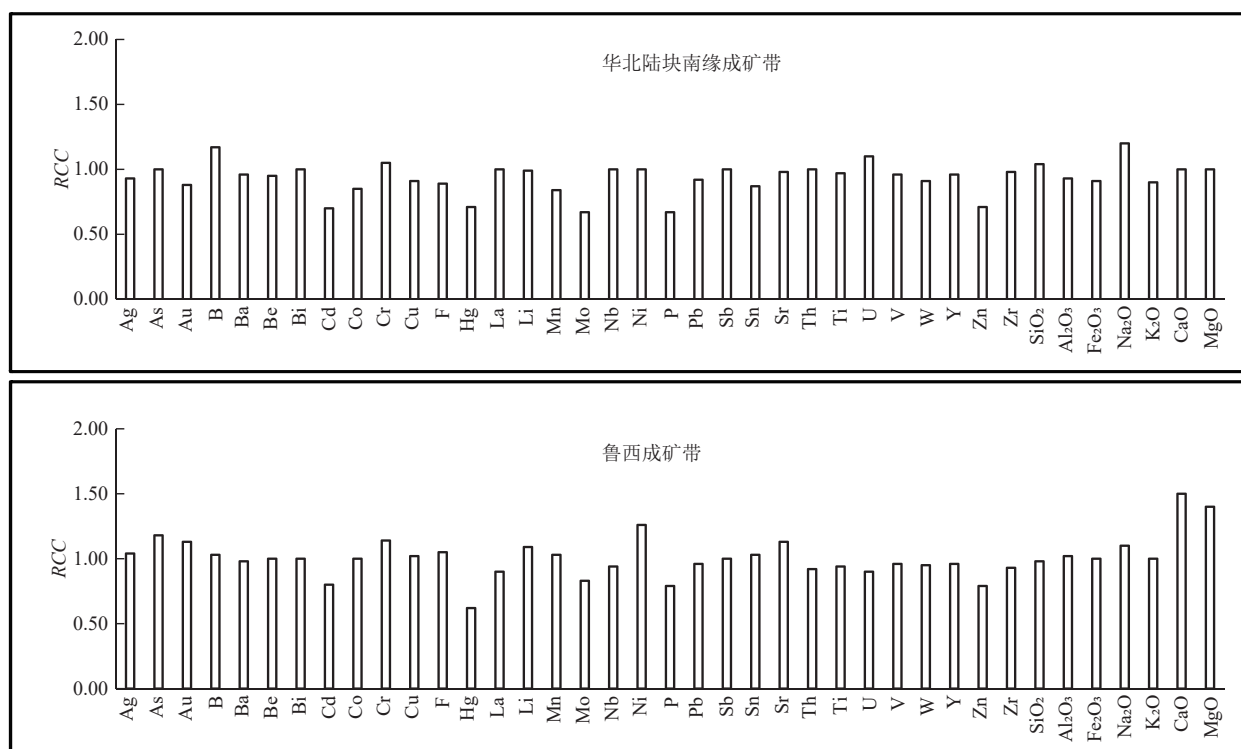


图5 华北陆块南缘成矿带、鲁西成矿带区域浓集系数对比

Fig. 5 Comparison of RCC values of metallogenic belt on the southern margin of the North China craton and Western Shandong metallogenic

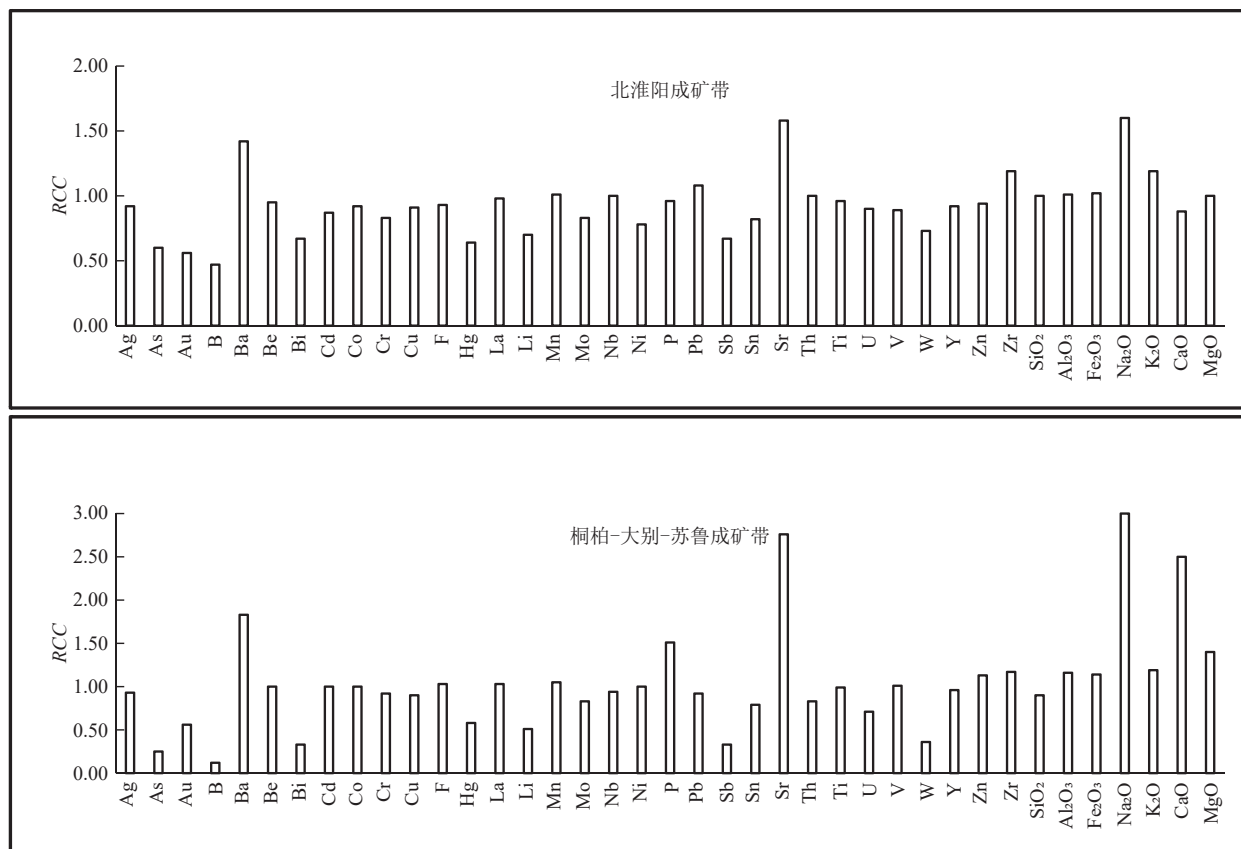


图6 北淮阳成矿带、桐柏-大别-苏鲁成矿带区域浓集系数对比

Fig. 6 Comparison of RCC values of North Huaiyang metallogenic belt and Tongbai-Dabie-Sulu metallogenic belt

Cd、Hg、Mo、Sb、Sn、W、Zn 的 $RCC > 1.3$ 呈强烈富集 (图7)。

不同成矿带之间对比来看, 亲石元素 B 在华北陆块南缘成矿带和长江中下游成矿带较其他成矿带高, 在北淮阳成矿带和桐柏—大别—苏鲁成矿带显著低于其他成矿带; Ba、Sr、Zr、 Na_2O 在北淮阳成矿带和桐柏—大别—苏鲁成矿带显著高于其他成矿带; Be、Li、W 在江南隆起东段成矿带和钦杭东段北部成矿带, Cr 在鲁西成矿带, F 在钦杭东段北部成矿带, Al_2O_3 在桐柏—大别—苏鲁成矿带, CaO、MgO 在鲁西成矿带和桐柏—大别—苏鲁成矿带显著高于其他成矿带; La、Nb、Th、Ti、V、 SiO_2 在不同成矿带差异不大。亲铁元素 Co 在各成

矿带差异不大, Mo 在长江中下游成矿带、江南隆起东段成矿带和钦杭东段北部成矿带较其他成矿带高, Ni 在鲁西成矿带、 Fe_2O_3 在桐柏—大别—苏鲁成矿带显著高于其他成矿带。亲铜元素 Ag、As、Bi、Cd、Cu、Hg、Pb、Sb、Sn、Zn 在江南隆起东段成矿带和钦杭东段北部成矿带普遍高于其他成矿带, Au 在鲁西成矿带、长江中下游成矿带、江南隆起东段成矿带和钦杭东段北部成矿带较其他成矿带高, Au、Bi、Hg、Sb 在北淮阳成矿带和桐柏—大别—苏鲁成矿带显著低于其他成矿带。

总之, 受不同的成矿作用和构造岩浆活动影响, 不同成矿带水系沉积物呈现出不同的元素区域分散富集特征。

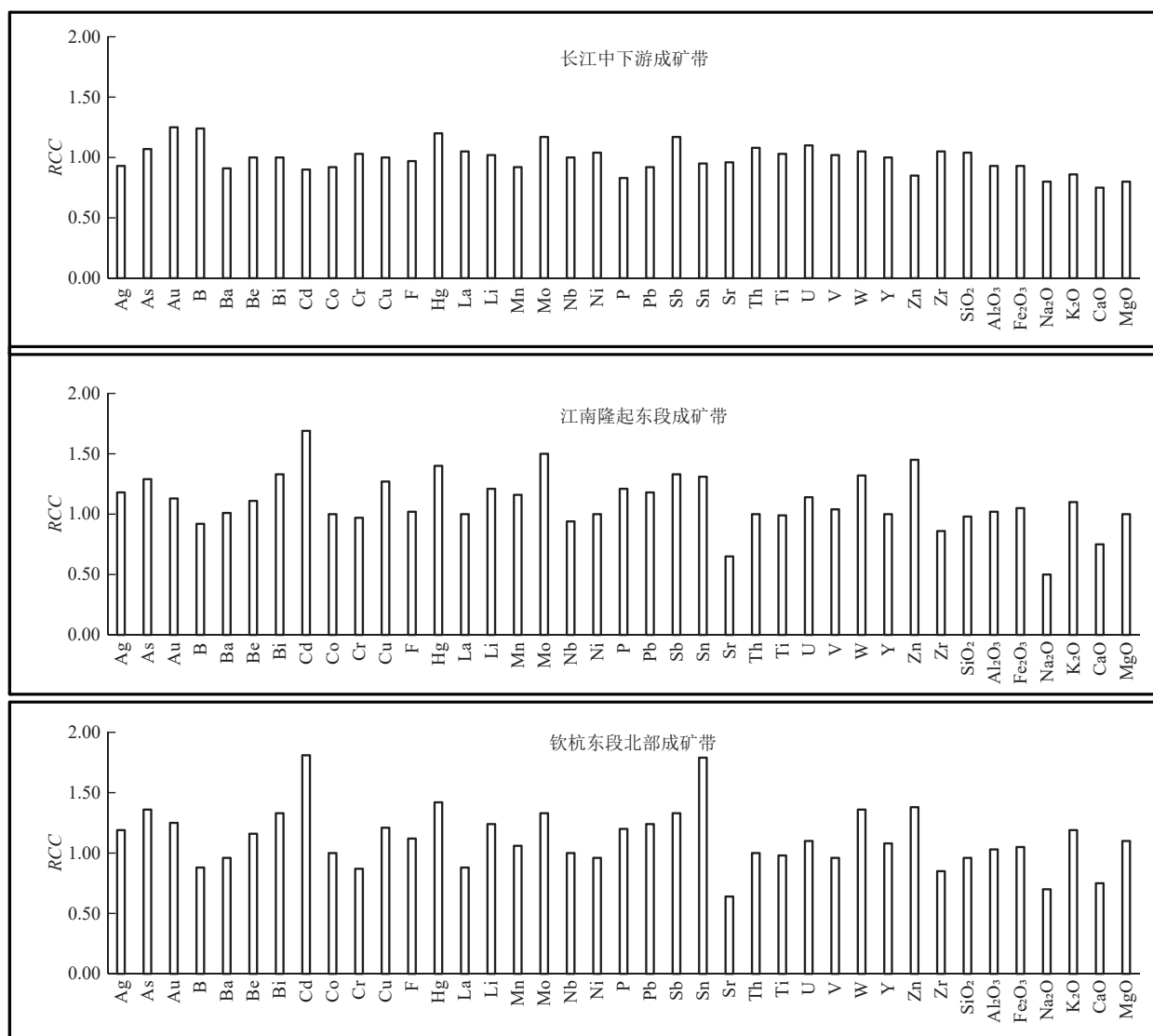


图7 长江中下游成矿带、江南隆起东段成矿带、钦杭东段北部成矿带区域浓集系数对比

Fig. 7 Comparison of RCC values of Middle-Lower Yangtze River metallogenic belt, the eastern segment of the Jiangnan rise metallogenic belt, and the northern part of the eastern Qin-Hang metallogenic belt

6 结 论

本文基于安徽省1:20万区域化探全部原始数据,以 $X\pm 3S$ 为临界值一次性剔除离群值后数据集的中位数作为背景值的估计值,计算并提出了全省、徐淮地块等7个构造单元、华北陆块南缘成矿带等7个成矿带水系沉积物中39种元素地球化学背景值,具有数据量丰富、数据质量可靠、适用性强等特点,可为安徽省及邻区开展不同范围、不同尺度水系沉积物和土壤元素含量富集贫化特征及农业、环境等领域研究提供可供对比的基础数据。

与全国水系沉积物元素地球化学背景值相比,安徽省水系沉积物显著富集Ti、Zr,强烈富集Ag、Au、B、Hg、Sn、W。受区域大地构造、地质背景、岩浆活动及成矿作用等影响,不同构造单元、不同成矿带的水系沉积物元素分散富集特征存在显著差异。与全省水系沉积物元素地球化学背景值相比,徐淮地块显著富集Ni,强烈富集CaO、MgO,北淮阳构造带显著富集K₂O,强烈富集Ba、Sr、Na₂O;大别构造带显著富集MgO,强烈富集Ba、P、Sr、Na₂O、CaO;下扬子地块显著富集Au、B;江南地块显著富集Au、Sn、W、Zn,强烈富集Cd、Hg、Mo;浙西地块显著富集Be、Hg、Li、K₂O,强烈富集As、Bi、Cd、Mo、Pb、Sb、Sn、W、Zn;六安地块无显著或强烈富集元素。

致谢:本文研究数据是安徽省化探前辈们辛勤工作取得的成果,论文编写中得到了审稿专家和编辑部老师的悉心指导,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 龚庆杰,夏学齐,刘宁强. 2011 ~ 2020中国应用地球化学研究进展与展望[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2020, 39(5): 927 - 944.
- [2] 王欣,郑德顺,孙风波,等. 豫西何家寨组沉积地球化学特征及古环境意义[J]. 现代地质, 2025, 39(3): 825 - 838.
- [3] 赵少攀,杨森,张茜,等. 郑州地区全新世以来沉积物地球化学风化特征及其古气候意义[J]. 地质与勘探, 2024, 60(6): 1183 - 1195.
- [4] 张波,郭晓英,孟涛,等. 渤南洼陷沙四下亚段微量元素地球化学特征及其对沉积环境的指示[J]. 华东地质, 2025, 46(1): 55 - 67.
- [5] 王学求,周建,徐善法,等. 全国地球化学基准网建立与土壤地球化学基准值特征[J]. 中国地质, 2016, 43(5): 1469 - 1480.
- [6] 史长义,梁萌,冯斌. 中国水系沉积物39种元素系列背景值[J]. 地球科学, 2016, 41(2): 234 - 251.
- [7] 刘立芬,栾欣婷,李瑛,等. 黑龙江省农业主产区土壤地球化学基准值与背景值[J]. 现代地质, 2025, 39(4): 1068 - 1082.
- [8] 谢学锦,任天祥,奚小环,等. 中国区域化探全国扫面计划卅年[J]. 地球学报, 2009, 30(6): 700 - 716.
- [9] 向运川,牟绪赞,任天祥,等. 全国区域化探数据库[J]. 中国地质, 2018, 45(S1): 32 - 44.
- [10] 伦知颖,程志中,严光生,等. 中国不同景观区水系沉积物中39种元素的背景值[J]. 地学前缘, 2015, 22(5): 226 - 230.
- [11] 程志中,谢学锦,潘含江,等. 中国南方地区水系沉积物中元素丰度[J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 289 - 295.
- [12] 刘汉粮,聂兰仕,SHOJIN Davaa,等. 中蒙边界地区汇水域沉积物69种元素的背景值[J]. 地学前缘, 2020, 27(3): 202 - 221.
- [13] 杜佩轩,田素荣. 新疆岩石·岩屑·水系沉积物元素背景平均值[J]. 物探与化探, 2001, 25(2): 117 - 122.
- [14] 李旭东,李成禄,杨元江,等. 黑龙江省嫩江-黑河地区水系沉积物测量地球化学特征及成矿预测[J]. 地质与勘探, 2024, 60(6): 1153 - 1167.
- [15] 程乃福. 安徽南部成矿区地球化学特征[J]. 安徽地质, 2014, 24(1): 36 - 41.
- [16] 张万仁,吴保祥,韦枫,等. 甘肃宕昌一崖湾地区水系沉积物地球化学特征与锆找矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2025, 55(5): 1462 - 1480.
- [17] 中华人民共和国地质矿产部. 区域地球化学勘查规范 比例尺1:200000(DZ/T 0167-1995)[S]. 北京:地质出版社, 1995.
- [18] 白金峰,杜雪苗,郭心玮,等. 应用地球化学样品分析测试技术进展[J]. 物探化探计算技术, 2022, 44(6): 842 - 853.
- [19] 鲁江,朱丽芬,骆检兰,等. 湘江流域土壤重金属元素地球化学背景值与基准值研究[J]. 物探与化探, 2025, 49(3): 687 - 696.
- [20] 杨峥,彭敏,赵传冬,等. 中国土壤54项指标的地球化学背景与基准研究[J]. 地学前缘, 2024, 31(4): 380 - 402.
- [21] 成杭新,李括,李敏,等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 265 - 306.
- [22] 史长义. 研究微量元素区域分散与富集规律的新方法[J]. 物探与化探, 1994, 18(3): 219 - 227.
- [23] 陈兴仁,陈富荣,贾十军,等. 安徽省江淮流域土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 302 - 310.
- [24] 吕古贤,张宝林,焦建刚,等. 新华夏构造体系地块的多层次“构造隆起—拆离凹陷”特征:大兴安岭造山带例析[J]. 现代地质, 2024, 38(4): 853 - 864.
- [25] 吕古贤,张宝林,胡宝群,等. 构造物理化学的理论纲要和应用前景[J]. 现代地质, 2024, 38(4): 837 - 852.
- [26] 陈浩宇,和文言. 岩浆演化过程中硫化物饱和和对斑岩型Cu-Au矿床形成的控制[J]. 现代地质, 2024, 38(4): 947 - 958.
- [27] 翁望飞,王德恩,王敏. 安徽省休宁-歙县地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2018, 37(5): 932 - 942.
- [28] 翁望飞,王德恩,王邦民,等. 安徽省祁门-黟县地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2020, 44(1): 1 - 12.