

赣南地区寒武纪 - 震旦纪沉积地球化学特征差异性及其地质意义

徐文坦^{1,2*}, 王 斌^{1,2,3}, 杨博琨^{1,2}, 王庶丞^{1,2}, 张 榕^{1,2}

¹防灾科技学院地球科学学院, 河北 三河

²河北省地震动力学重点实验室, 河北 三河

³山东惠众财金新材料科技有限公司, 山东 滨州

Email: xuwentan1993@163.com

收稿日期: 2021年8月30日; 录用日期: 2021年9月23日; 发布日期: 2021年9月30日

摘 要

赣南地区是华南东段的重要组成部分, 广泛出露的震旦纪和寒武纪地层使其成为研究华南物源分析的理想之地。前人研究多集中于碎屑锆石同位素体系, 对不同时代沉积岩地球化学特征差异性研究较少涉及。沉积地球化学特征研究表明赣南地区震旦纪和寒武纪沉积岩具有相似的主量元素组成, 微量元素方面都具有亏损Nb、Sr、P和Ti等元素特征, 稀土元素配分曲线表现出右倾, 强烈的Eu负异常及弱Ce负异常, 但寒武纪样品具有更高的La/Yb_N值, 暗示沉积物源区发生了明显的变化。结合前人研究认为, 赣南地区震旦纪和寒武纪沉积岩物源主要为长英质物质, 晚新元古代到早古生代构造背景为被动大陆边缘。

关键词

地球化学特征差异性, 物源分析, 震旦纪, 寒武纪, 构造背景, 赣南地区

The Differences of Geochemical Characteristics between Cambrian and Sinian Sedimentary Rocks in Southern Jiangxi Province and Its Geological Significance

Wentan Xu^{1,2*}, Bin Wang^{1,2,3}, Bokun Yang^{1,2}, Shucheng Wang^{1,2}, Rong Zhang^{1,2}

¹College of Earth Sciences, Institute of Disaster Prevention, Sanhe Hebei

*第一作者。

文章引用: 徐文坦, 王斌, 杨博琨, 王庶丞, 张榕. 赣南地区寒武纪 - 震旦纪沉积地球化学特征差异性及其地质意义[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(9): 1259-1270. DOI: 10.12677/ag.2021.119122

²Hebei Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Sanhe Hebei³Shandong Huizhong Caijin New Material Technology Co., Ltd., Binzhou Shandong

Email: xuwentan1993@163.com

Received: Aug. 30th, 2021; accepted: Sep. 23rd, 2021; published: Sep. 30th, 2021

Abstract

Gannan area is an important part of the eastern section of South China. The widely exposed Sinian and Cambrian strata make it as an ideal place for provenance analysis of South China. Previous studies mostly focused on the isotopic analysis of detrital zircons, and seldom involved on the differences in geological characteristics of sedimentary rocks. In this paper, geochemical characteristics have shown that the Sinian and Cambrian sedimentary rocks in south Jiangxi Province have similar major element compositions, and trace elements which all depleted in Nb, Sr, P and Ti. The rare earth elements show strong Eu anomalies and weak Ce anomalies, but the Cambrian sedimentary rocks have the higher La/Yb_N values, suggesting that sediment source area has changed significantly. Based on previous studies, it is believed that the source of Sinian and Cambrian sedimentary rocks in southern Jiangxi is mainly felsic material, and the tectonic setting from Late Neoproterozoic to Early Paleozoic is a passive continental margin.

Keywords

Differences of Geochemical Characteristics, Provenance Analysis, Sinian, Cambrian, Tectonic Setting, Gannan Area

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

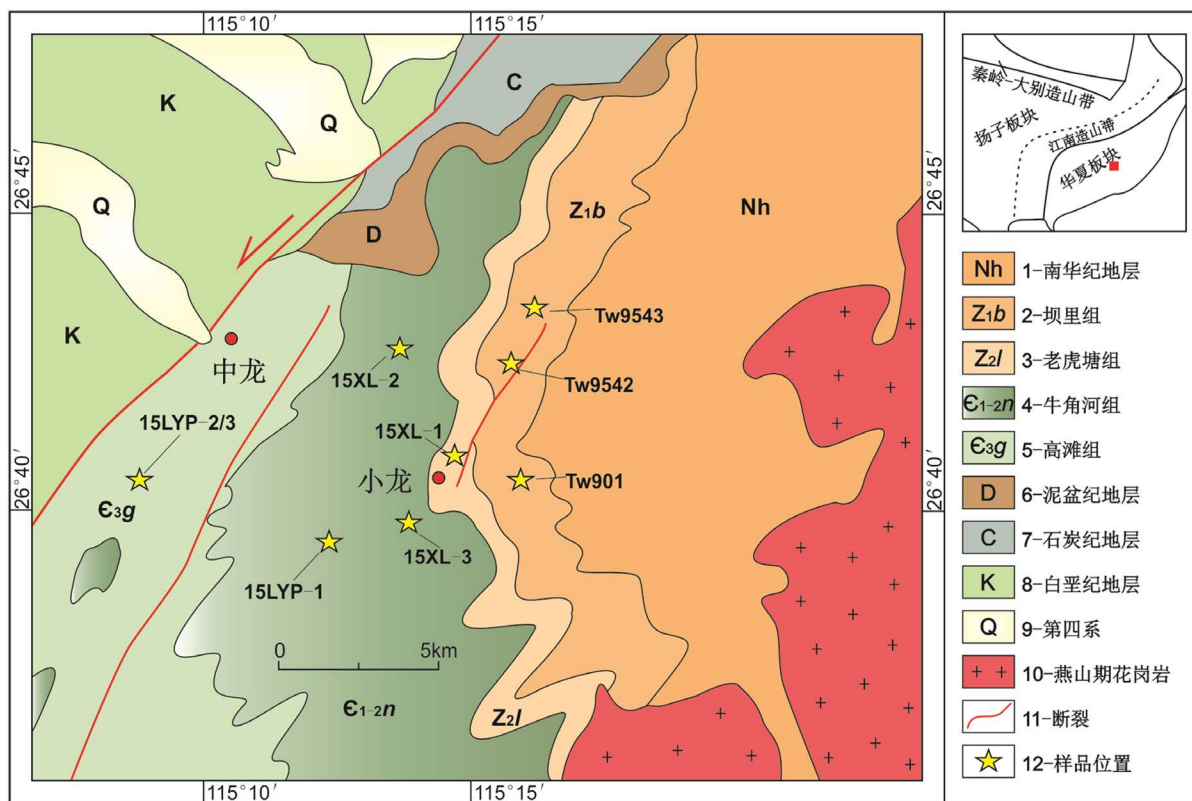
由扬子板块和华夏板块沿江南造山带在新元古代拼合而成的华南板块一直是地学研究的热点问题[1][2]。其争论的主要焦点是华南板块在 Rodinia 超大陆中的位置、早古生代构造背景及华南中生代大规模成矿作用及其动力学机制等问题[2][3][4][5]。其中关于华南板块在 Rodinia 超大陆中的位置历来受到国内外学者的关注。部分学者认为华南板块位于超大陆的中心,并与 Laurentia 大陆具有一定的亲缘性[6],但更多的学者倾向于认为华南板块位于 Rodinia 超大陆的边缘,与 India 板块和(或) Australia 板块相连[7][8]。同时针对华南板块震旦纪-寒武纪以来沉积岩的物源一直存在争议,部分学者认为华南板块震旦纪沉积岩物源主要来自 India 和东南极板块,仅有少量来自澳大利亚板块[9],而绝大多数学者认为澳大利亚为华南板块震旦纪提供了大量物源[3]。针对这一问题国内外学者多利用碎屑锆石 U-Pb 年代学结合 Lu-Hf 同位素分析体系将不同板块相当地层沉积岩碎屑锆石进行系统对比分析,推断华南板块与各板块的亲缘性并为华南板块在 Rodinia 超大陆中的位置提供制约[2][3][6][7][8][9]。

研究表明,沉积岩地球化学特征因其记录了源区岩石的重要地质信息,可以用来追溯沉积岩物源及为沉积构造背景等提供约束[10][11]。沉积岩全岩地球化学数据一般表示为岩石平均组分,同一地区整合接触两套地层物源发生变化势必会造成该沉积岩地球化学特征的变化。但对于震旦纪和寒武纪沉积岩地球化学特征的差异性研究前人较少涉及。赣南地区位于华夏板块一侧,是华南板块东段的重要组成部分,

该区震旦纪、寒武纪地层广泛出露，是研究华南板块亲缘性、沉积岩地球化学特征差异性的理想之地。本文在详细的野外地质调查基础之上，对研究区震旦纪和寒武纪地层系统采样，并对这些样品进行了系统的主微量元素对比分析，通过对沉积岩地球化学特征差异性的分析为华南板块亲缘性及构造背景等热点问题提供新的思路，为区域研究提供重要的基础地质资料。

2. 地质背景

研究区位于江西省泰和县小龙镇附近，大地构造位置属于华南板块华夏一侧加里东造山带的东段(图1)，赣南隆起带的罗霄-诸广山隆起，地层分区隶属于华夏地层分区的永新-井冈山地层小区[12] [13]。新元古代以来由于受到 Rodinia 超大陆裂解聚合的影响，赣南地区自南华纪至早古生代奥陶纪为连续沉积，地层接触关系为整合接触。奥陶纪末期开始由于受到加里东运动的影响，志留纪地层在区域上整体缺失，使得上覆泥盆纪地层与奥陶纪地层呈现角度不整合。由于受到全球构造事件及区域变质变形作用的影响，赣南地区经历了一系列复杂且广泛的构造-岩浆事件，产生了加里东期、印支期及燕山期等多旋回的岩浆活动，其中又以燕山期岩浆活动最为强烈，并伴随 W-Sn-Cu 等大规模成矿记录[14]。区域构造主要以褶皱和断裂为主，其中断裂主要为受燕山期构造活动影响的北东向及北北东向断裂。



1-Nanhuianian strata; 2-Bali Formation; 3-Laohutang Formation; 4-Niujiache Formation; 5-Gaotan Formation; 6-Devonian strata; 7-Carboniferous strata; 8-Cretaceous strata; 9-Quaternary; 10-Yanshannian granites; 11-fault; 12-location of samples

Figure 1. Sketch geological map of the study area (modified from the reference [12] [13])

图 1. 研究区地质简图(底图据文献[12] [13])

震旦纪和寒武纪地层在研究区广泛分布，其中震旦纪地层主要包括坝里组(Z_1b)和老虎塘组(Z_2l)，坝里组主要包括凝灰质长石石英砂岩、细砂岩及绢云母板岩等，老虎塘组岩性主要为粉砂质板岩和千枚岩。老虎塘组地层上部白色硅质岩是划分寒武纪和震旦纪地层的明显标志[15]。寒武纪地层主要包括牛角组

(C_{1-2n})、高滩组高滩组(C_{3g})及水石组(C_{4s})，牛角河组主要岩性为砂岩及板岩互层，高滩组主要岩性为长石石英杂砂岩夹碳质板岩，水石组主要为长石石英杂砂岩、板岩和千枚岩，本文寒武纪样品采自牛角河组和高滩组。

3. 测试方法

本文对采自赣南地区震旦纪和寒武纪 11 件样品进行全岩地球化学测试分析，为保证全岩地球化学数据的准确性，样品均为新鲜无风化的样品。全岩地球化学元素测试工作在中国地质调查局南京地质调查中心测试中心完成。其中主量元素测试采用 XRF 方法测定，仪器为 Axios 4.0 型波长色散型 X 射线荧光光谱仪，X 射线工作电压为 40 KV，分析电流为 60 mA，分析精度优于 5%，微量元素采用 Finnigan Element II 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测定，样品用 1 mL 浓 HF + 015 mL 浓 HNO₃ 混合溶解 48 小时保证样品完全溶解后进行测定，精度优于 5%。

4. 岩石地球化学特征

4.1. 主量元素特征

测试分析样品主量元素测试结果均见表 1。其中寒武纪 5 件样品 SiO₂ 在 68.6%~76.36% 之间变化，平均为 73.628%，Al₂O₃ 在 10.73%~14.28% 之间变化，平均为 12.54%，K₂O 含量变化范围不大，分布于 2.26%~3.11% 之间，平均为 2.51%，TFeO 含量在 2.69~5.41 之间变化。由于风化淋滤等作用的影响，个别

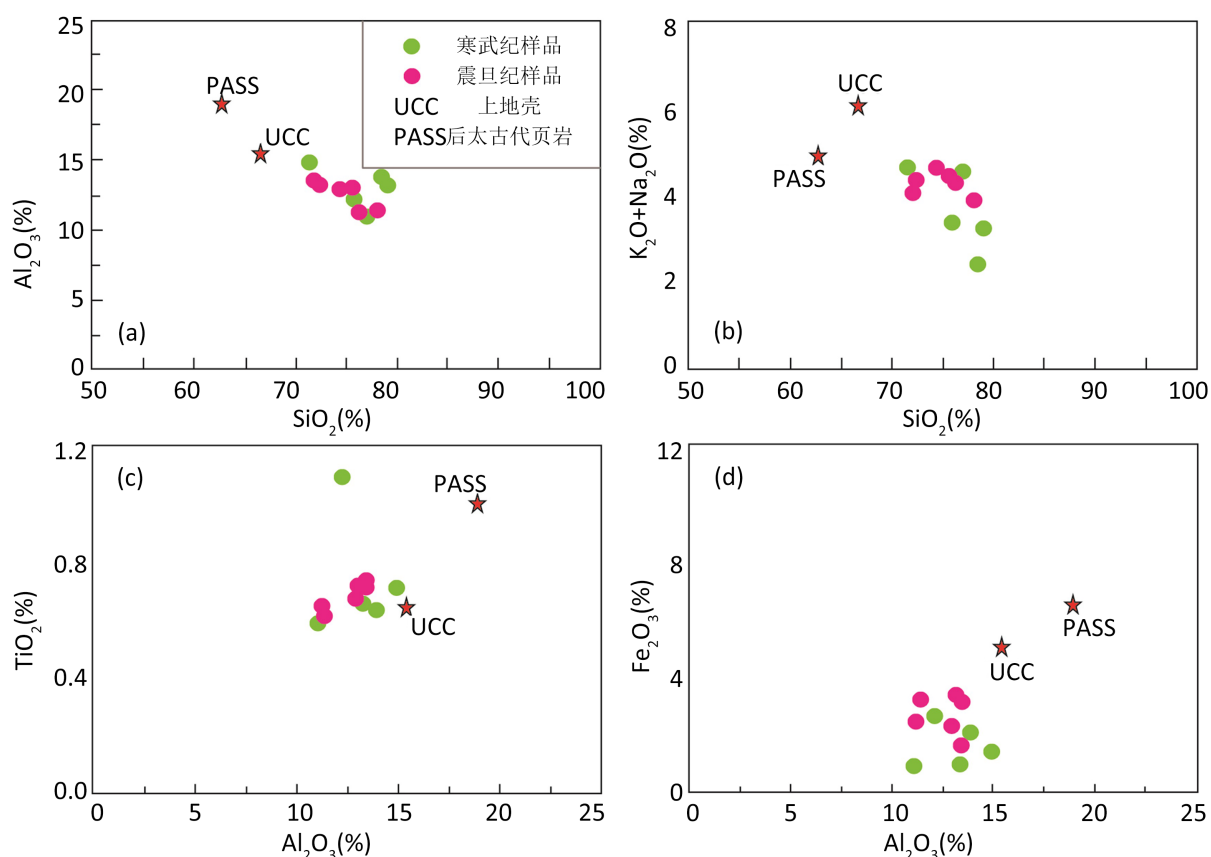


Figure 2. Selected variation diagrams of major elements against SiO₂ wt% and Al₂O₃ wt% for all the studied sedimentary rocks; the compositions of PAAS and UCC after [11]

图 2. 研究区沉积岩主量元素图解(图例下同; PAAS 和 UCC 元素组成据文献[11])

样品(15LYP-1 和 15LYP-3) Na 含量很低, 其他样品 Na₂O 含量在 1.2%~2.06 之间变化。所有样品均表现出低 MnO (0.02%~0.05%)、P₂O₅ (0.08%~0.14%)和较高的 TiO₂ (0.57%~1.05%)含量特征。由图 2 可知, 相较于寒武纪样品, 震旦纪沉积岩 6 件样品 SiO₂ 变化范围较小(69.32%~75.46%, 平均 72.56%), 相对较高 K₂O + Na₂O 值(3.77%~4.58%, 平均 0.72%), 相对较高的 TiO₂ (0.59%~0.7%, 平均 0.66%)含量和 TFeO (3.95%~6.13%, 平均 5.07%)。

4.2. 微量元素特征

11 件样品微量元素测试结果均见表 2。寒武纪沉积岩 5 件样品微量元素具有以下特征: 相容元素 Cr、Ni、Co、V 和 Sc 变化范围分别为 69.9~98.7 ppm、23.7~34.5 ppm、5.42~9.95 ppm、61.7~107 ppm 和 9.35~14 ppm; 大离子亲石元素 Rb、Cs、Sr 和 Ba 在 84.3~143 ppm、3.64~6.44 ppm、10.7~70.6 ppm 和 446~560 ppm 之间变化, 高场强元素 Zr、Hf、Th 和 U 分布区间则分别为 225~714 ppm、6.07~18.2 ppm、16.1~37.7 ppm 和 2.99~6.26 ppm 之间变化。震旦纪沉积岩 6 件样品微量元素中相容元素 Cr、Ni、Co、V 和 Sc 含量变化区间分别为 75.9~115 ppm、34.9~49.6 ppm、10.7~83.8 ppm、76~88 ppm 和 10.5~13.3 ppm, Rb、Cs、Sr 和 Ba 等大离子亲石元素含量则在 96.9~164 ppm、5.21~20.9 ppm、18.7~53.5 ppm 和 467~1056 ppm 之间变化, 高场强元素 Zr、Hf、Th 和 U 元素含量分别为 191~285 ppm、5.11~7.41 ppm、11.3~15.8 ppm 和 1.68~2.58 ppm 之间。从微量元素蛛网图解可知(图 3), 两个时代沉积岩样品具有相同的微量元素分布范围, 并且均亏损 Nb、Sr、P 和 Ti 等元素。

Table 1. Major elements (%) data of sedimentary rocks in Cambrian and Sinian strata

表 1. 寒武纪和震旦纪沉积岩样品主量元素(%)分析结果

样品号	15XL-2	15XL-3	15LYP-1	15LYP-2	15LYP-3	TW9542	TW9543	TW901-3-2	TW901-6-2	TW901-9-2	15XL-1
地层	Є _{1-2n}	Є _{1-2n}	Є _{1-2n}	Є _{3gt}	Є _{3gt}	Z _{1b}	Z _{1b}	Z _{1b}	Z _{1b}	Z _{1b}	Z _{2l}
岩性	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩	砂质岩
SiO ₂	75.42	72.92	76.36	68.6	74.84	69.32	69.98	74.47	73.23	72.91	75.46
Al ₂ O ₃	10.73	11.73	12.76	14.28	13.18	12.87	12.87	10.99	12.71	12.55	11
CaO	0.75	0.15	0.09	0.21	0.09	0.22	0.18	0.18	0.28	0.27	0.13
Fe ₂ O ₃	0.96	2.62	0.88	1.36	1.98	1.55	3.07	2.3	2.24	3.16	3.08
FeO	3.34	3.05	1.9	4.56	1.76	4.74	3.09	3.48	2.84	1.11	1.33
K ₂ O	2.39	1.99	3.11	2.82	2.26	2.42	2.42	2.52	2.34	2.49	2.63
MgO	1.57	1.41	0.81	1.86	0.62	2.69	2.32	1.19	1.64	1.09	1.15
MnO	0.06	0.04	0.02	0.05	0.02	0.05	0.05	0.06	0.07	0.12	0.05
Na ₂ O	2.06	1.2	<0.01	1.59	<0.01	1.49	1.8	1.68	2.24	1.81	1.14
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.08	0.14	0.1	0.12	0.13	0.1	0.15	0.17	0.05
TiO ₂	0.57	1.05	0.63	0.68	0.6	0.68	0.7	0.63	0.66	0.69	0.59
CO ₂	0.12	0.31	0.31	0.31	0.21	0.41	0.3	0.22	0.21	0.31	0.31
H ₂ O ⁺	1.1	3.1	2.5	3	3.94	2.78	2.83	1.68	1.92	2.62	2.44
LOI	1.07	2.85	2.93	2.76	3.9	2.72	2.91	1.51	1.86	2.68	2.62
Na ₂ O + K ₂ O	4.45	3.19		4.41		3.91	4.22	4.2	4.58	4.3	3.77
TFeO	4.20	5.41	2.69	5.78	3.54	6.13	5.85	5.55	4.86	3.95	4.10

Table 2. Trace elements (ppm) data of sedimentary rocks in Cambrian and Sinian strata
表 2. 寒武纪和震旦纪沉积岩样品微量元素(ppm)分析结果

样品号	15XL-2	15XL-3	15LYP-1-1	15LYP-1-2	15LYP-1-3	TW9542	TW9543	TW901-3-2	TW901-6-2	TW901-9-2	15XL-1
地层	C_{1-2n}	C_{1-2n}	C_{1-2n}	C_{3gt}	C_{3gt}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{2l}
Li	27.1	21.7	17	25.1	19.8	92.9	31.5	47.8	30.8	32.2	36.7
Be	1.51	1.75	1.92	2.38	2.44	2.52	2.56	3.03	2.78	2.12	2.17
Cr	69.9	98.7	94.9	90.2	98	98.5	103	71.1	115	81.7	75.9
Mn	403	280	101	342	176	356	343	412	434	622	901
Co	8.34	7.1	5.42	9.95	6.52	19.1	11.3	11.4	10.7	73.5	83.8
Ni	23.7	32.9	32.1	32.6	34.5	49.6	34.9	30.1	35.4	43.1	36.7
Rb	84.3	76.9	147	135	91.1	107	101	164	96.9	97.4	97.9
Sr	70.6	40.5	15.3	47.9	10.7	36.1	35.6	18.7	53.5	48.6	54.4
Cs	3.98	3.64	6.01	5.17	6.44	5.71	5.21	10.3	20.9	8.59	5.29
Ba	520	446	518	560	507	467	558	1056	629	495	649
Th	19.2	37.7	18.7	16.1	16.6	11.3	12.6	12.4	15.8	13.1	15.1
U	2.99	6.26	4.46	3.56	3.2	2.08	2.58	1.68	2.12	2.19	1.68
Nb	11.5	21	13.5	14.4	12.8	12.6	12.2	10.1	11.2	11.7	12.4
Ta	0.93	1.74	1.1	1.13	1	0.99	1.02	0.84	0.93	1.11	1.23
Zr	283	714	269	225	262	191	194	224	285	250	278
Hf	7.46	18.7	7.2	6.07	6.91	5.11	5.29	5.87	7.41	6.63	7.26
Ti	3359	6284	3877	4204	3770	4159	4183	3539	3899	4041	4269
W	0.23	1.6	1.99	1.13	0.08	5.53	2.28	10	3.11	210	267
V	61.7	82	107	95.7	74.3	85	88	80.5	76	80.3	79.5

Table 3. Rare earth elements (ppm) data of sedimentary rocks in Cambrian and Sinian strata
表 3. 寒武纪和震旦纪沉积岩样品稀土元素(ppm)分析结果

样品号	15XL-2	15XL-3	15LYP-1	15LYP-2	15LYP-3	TW9542	TW9543	TW901-3-2	TW901-6-2	TW901-9-2	15XL-1
地层	C_{1-2n}	C_{1-2n}	C_{1-2n}	C_{3gt}	C_{3gt}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{1b}	Z_{2l}
La	38.3	77.3	45.9	38	44.6	40.5	27.6	36.8	44.3	33.1	35.7
Ce	67.5	160	86.9	74.7	74.7	68.4	53.9	39.4	67.1	64.4	71.9
Pr	8.9	18.2	11.2	9.32	10.3	9.33	7.15	9.25	10.8	8.3	8.76
Nd	36.7	62.9	45.1	37.5	40.4	38.9	28.6	37.8	44.8	34.1	36.1
Sm	6.13	11.6	7.89	6.51	6.9	6.83	5.33	6.91	7.56	6.04	6.25
Eu	1.24	2.08	1.64	1.41	1.29	1.45	1.09	1.39	1.41	1.22	1.28
Gd	5.8	10.5	7.4	6.31	6.56	6.87	5.36	6.53	7.6	6.04	6.1
Tb	0.81	1.51	1.02	0.84	0.91	1.02	0.83	0.93	1.07	0.9	0.88
Dy	5.28	9.35	6.2	4.86	5.66	6.28	5.31	5.74	6.55	5.54	5.56
Ho	1.02	1.74	1.16	0.91	1.08	1.21	1.04	1.12	1.29	1.1	1.09

Continued

Er	3	5.11	3.3	2.63	3.04	3.3	3.03	3.1	3.7	3.13	3.24
Tm	0.44	0.74	0.47	0.38	0.44	0.47	0.43	0.42	0.51	0.46	0.47
Yb	2.9	5.02	3	2.56	2.9	2.88	2.78	2.77	3.38	3.02	2.99
Lu	0.43	0.76	0.46	0.41	0.43	0.44	0.42	0.41	0.52	0.45	0.46
Sc	9.35	14	11	13.7	10.3	13.3	13.3	10.5	11.2	12.5	12.7
Y	27.2	44.8	31.2	22.3	28.2	33.8	26	31.6	35	29.4	30.1
Σ REE	178.45	366.81	221.64	186.34	199.21	187.88	142.87	152.57	200.59	167.80	180.78
LREE	158.77	332.08	198.63	167.44	178.19	165.41	123.67	131.55	175.97	147.16	159.99
HREE	19.68	34.73	23.01	18.90	21.02	22.47	19.20	21.02	24.62	20.64	20.79
LREE/HREE	8.07	9.56	8.63	8.86	8.48	7.36	6.44	6.26	7.15	7.13	7.70
LaN/YbN	9.47	11.05	10.97	10.65	11.03	10.09	7.12	9.53	9.40	7.86	8.56
δ Eu	0.64	0.58	0.66	0.67	0.59	0.65	0.62	0.63	0.57	0.62	0.63
δ Ce	0.90	1.05	0.94	0.97	0.85	0.86	0.94	0.52	0.75	0.95	1.00

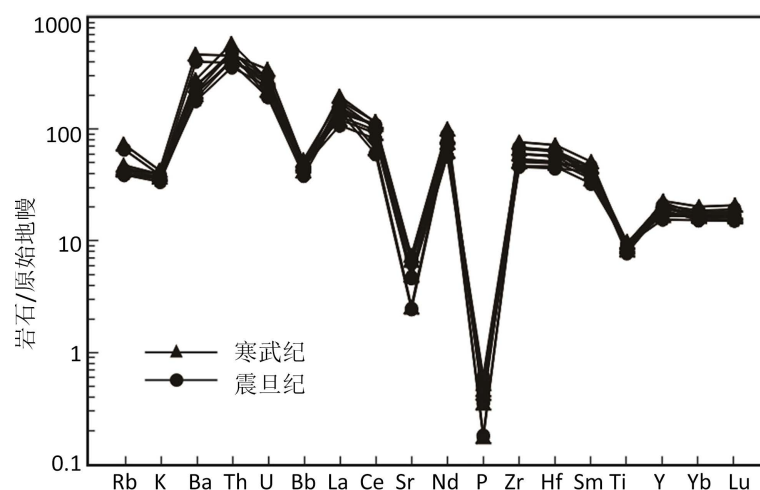


Figure 3. Normalized multi-elements diagrams of sedimentary rocks in studied area
图 3. 研究区沉积岩多元素标准化图解

4.3. 稀土元素特征

11 件样品稀土元素测试结果均见表 3。赣南地区寒武纪样品稀土元素总量(Σ REE)在 178.45~366.81 ppm 之间变化, 其中轻稀土元素 LREE 总量在 158.77~322.08 ppm 之间变化, 重稀土含量 HREE 的分布区间为 18.90~34.73 ppm, 轻重稀土之比(LREE/HREE)分布范围为 8.07~9.56, 稀土元素 La/Yb_N 的值在 9.47~11.05 之间变化。震旦纪样品稀土元素总量(Σ REE)分布范围较大, 在 142.87~200.59 ppm 之间, 其中轻稀土含量 LREE 分布在 123.67~175.97 ppm 之间, 重稀土元素 HREE 则在 19.20~24.62 ppm 之间变化, 轻重稀土之比(LREE/HREE)分布范围为 6.44~7.70 之间, 稀土元素 La/Yb_N 的值在 7.86~10.09 之间变化。由稀土元素配分曲线可知(图 4), 除寒武纪一件样品具有很高的稀土元素总量外, 两个时代样品稀土元素分布范围较为一致, 稀土元素具有明显右倾性, 轻稀土元素相对富集, 重稀土元素相对平坦, 并且都具有相同的 Eu 负异常及较弱的 Ce 负异常。

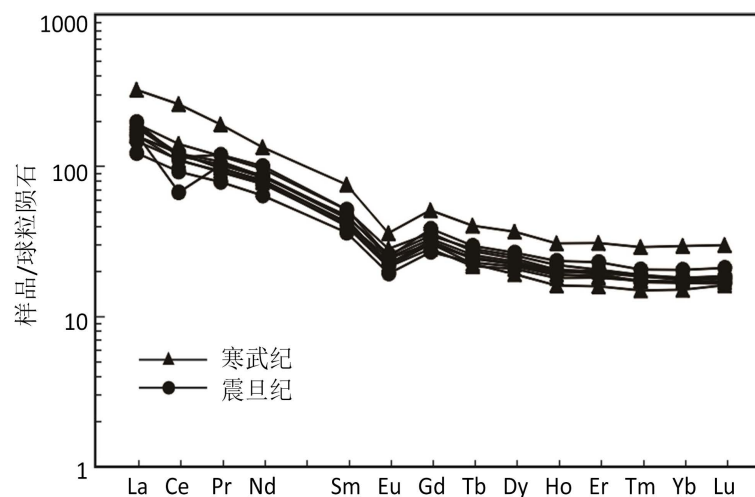


Figure 4. Chondrite-normalized REE pattern of the sedimentary rocks in studied area (Chondrite-normalized data after reference [11])

图 4. 研究区沉积岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(球粒陨石标准化数值据[11])

5. 讨论

5.1. 沉积岩化学成分变化

锆石、独居石和磷灰石等在沉积过程中保存下来的矿物因含有特征性元素可以用来判别不同沉积岩成分的变化[11]。两个时代样品中稀土元素特征(如 La/Yb_N 和 Eu/Eu^*)与 SiO_2 之间不具有明显的相关性(图 5(a)和图 5(b))，这说明沉积过程中稀土元素特征不受硅酸盐矿物分选的影响。 La/Yb_N 和 Sr 元素与 P_2O_5 之间缺少一定的相关性(图 5(c)和图 5(d))，这说明样品中独居石和磷灰石分选对沉积岩中化学成分的影响不明显。这说明绝大多数的矿物在沉积分选的过程中对矿物化学成分的影响不明显，因此特征性矿物中包含的特征元素能够很好包含源区成分信息。值得注意的是，寒武纪样品具有更高的 La/Yb_N 值(图 5)，这说明锆石自源区的输入减少，因为锆石是富重稀土而贫轻稀土的矿物，锆石的输入量的增加使得 La/Yb_N 明显减小。两个不同时代沉积岩在 Zr/Sc-Th/Sc 图解中(图 5(f))分别落入不同源区成分范围也说明沉积物源区可能发生变化，这与锆石输入量的减少代表物源变化呈现一致性特征。前人研究表明华南震旦纪沉积岩物源主要来自 Northern India、East Antarctica 和 Western Australia，而寒武纪以来由于受到了 Gondwana 大陆聚合的影响 Western Australia 沉积物输出通道受到影响关闭，导致华南震旦纪到寒武纪沉积岩物源区发生了明显的变化[16]。因此赣南地区两套不同时代连续沉积岩地球化学特征的差异性对该地区沉积物源变化具有指示意义，但具体物源变化如何使得沉积岩全岩地球化学特征发生变化值得进一步研究。

5.2. 物源特征

赣南地区寒武纪和震旦纪沉积岩为连续沉积，地层接触关系为整合接触，前人对于该区寒武纪沉积岩的物源进行过详细的研究，并认为寒武纪早期到晚期物源没有发生过明显的变化[12]。但对于与其整合接触的下伏震旦纪地层物源分析及其对比关系，前人研究还未涉及，限制了区域研究。在物源分析图解中两个不同时代沉积岩样品点均落入长英质岩石范围内(图 6 和图 7)，但是在 Hf-La/Th 图解中(图 7(b))，除长英质源区外，还有古老祖坟增加的趋势，前人也得出过相似的结论[12]。因此我们认为赣南地区震旦纪和寒武纪沉积岩源区主要以长英质岩石为主，可能有一些古老物质的加入。

沉积岩在搬运及固结成岩等沉积作用下微量元素可以保持一定的稳定性，因此可以用来追溯沉积物源、构造背景等重要信息。本文中部分样品 Na_2O 含量很低，说明成岩后风化淋滤作用使得样品中的 Na 元素丢失，因此主量元素不适用于构造背景图解，因此本文选用两个时代样品的微量元素进行构造背景判别。

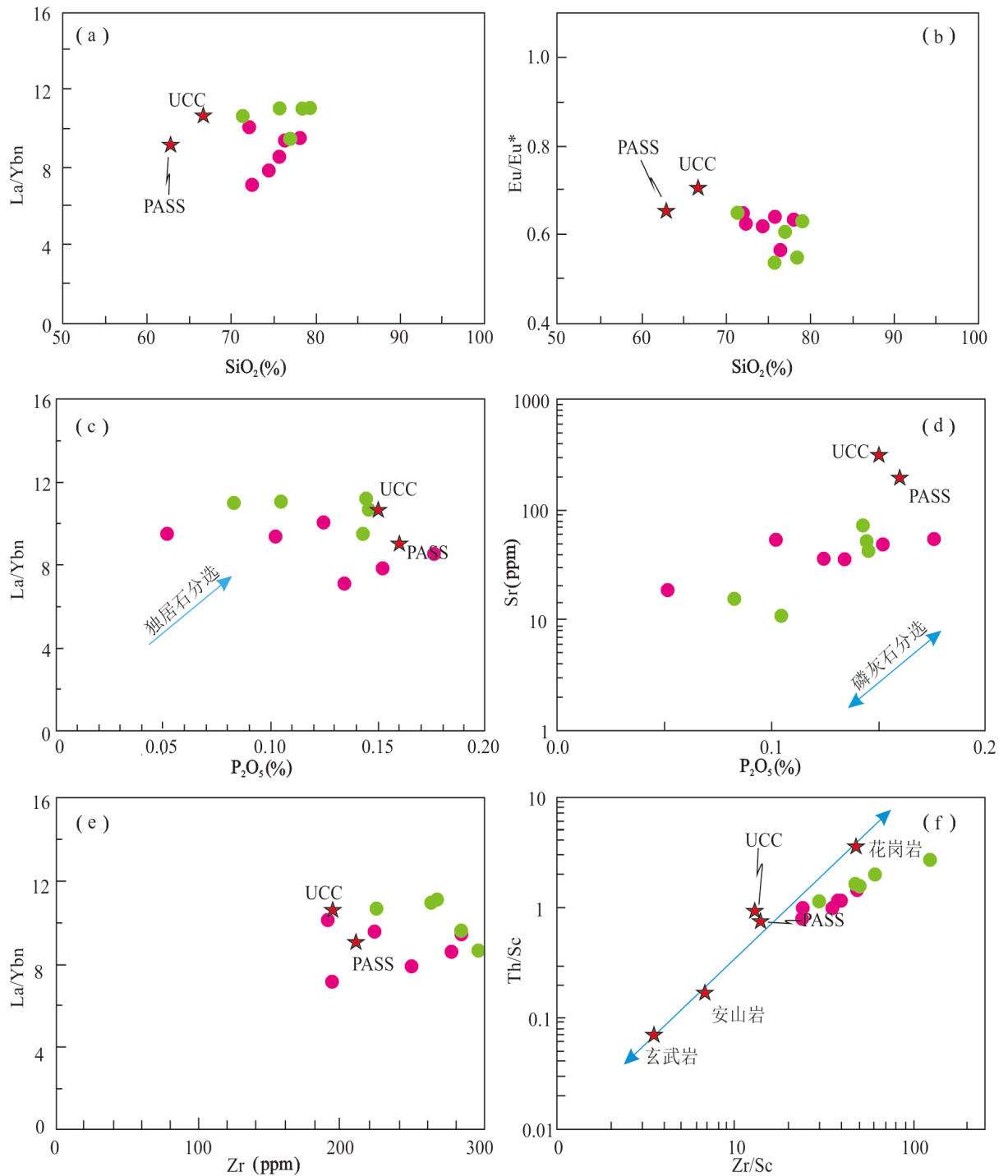


Figure 5. Diagrams showing correlations between different elements or elements parameters in studied area

图 5. 研究区沉积岩不同元素关联图

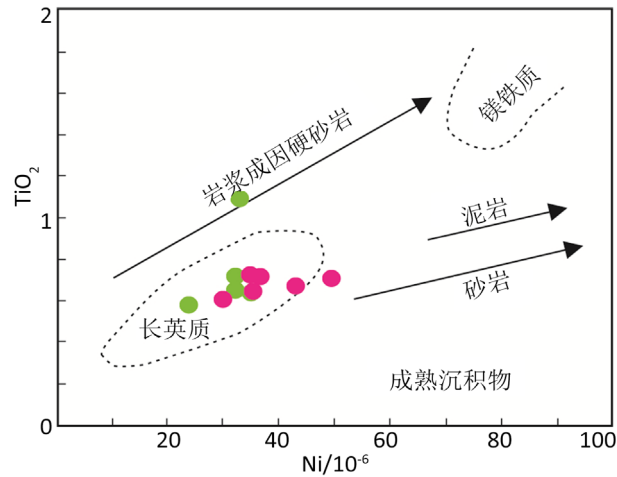


Figure 6. Ni-TiO₂ diagram of the sedimentary rocks in studied area (after reference [17])

图 6. 研究区沉积岩 Ni-TiO₂ 图解(根据文献[17])

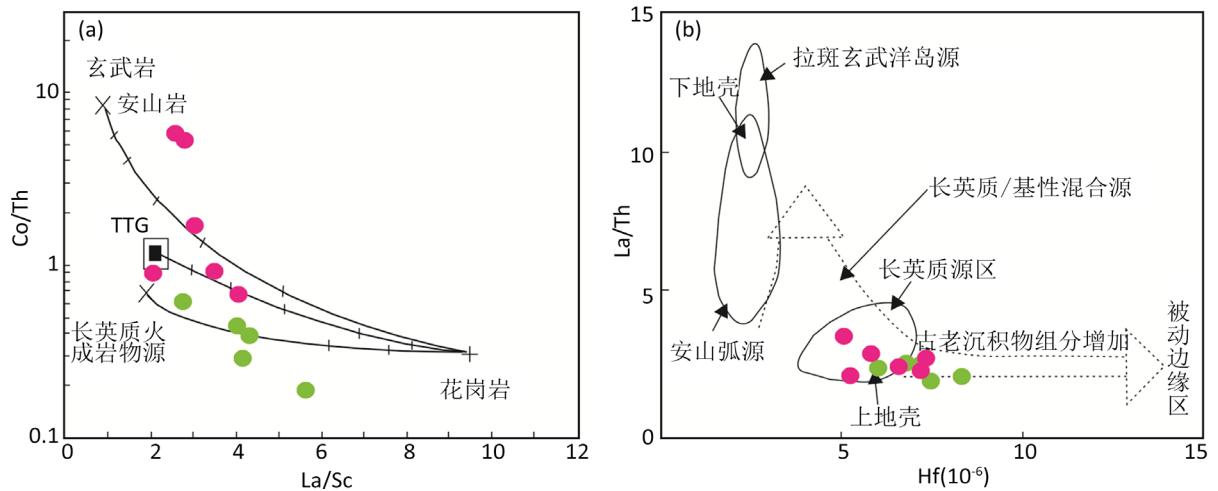


Figure 7. La/Sc-Co/Th (a) and Hf-La/Th (b) diagrams of the sedimentary rocks in studied area (a after reference [18]; b after reference [17])

图 7. 研究区沉积岩 Co/Th-La/Sc (a)和 La/Th-Hf (b)图解(a 据文献[18]; b 据文献[17])

5.3. 沉积构造背景

在 La-Th-Sc 图解中(图 8(a))绝大多数的样品均落入大陆边缘环境, 在 Th-Co-Zr/10 图解中(图 8(b))部分落入被动大陆环境, 部分落入大陆岛弧环境, 在 Th-Sc-Zr/10 图解中(图 8(c))也出现了类似的情况。被动大陆边缘相对稳定, 在威尔逊旋回中其属于旋回的“成熟期”, 原岩中包含了一部分大陆岛弧等活动大陆边缘信息, 说明其经历了复杂了构造 - 岩浆活动, 而大陆岛弧和活动大陆边缘作用下形成的沉积盆地一般代表了快速堆积及火山物质的加入, 其原岩一般不包含被动大陆边缘的信息[19]。因此, 赣南地区两个时代整合接触的沉积岩形成于被动大陆边缘构造背景。

6. 结论

通过对赣南地区震旦纪和寒武纪沉积岩主量、微量和稀土元素等地球化学特征差异性的对比分析, 结合前人的研究得出以下结论:

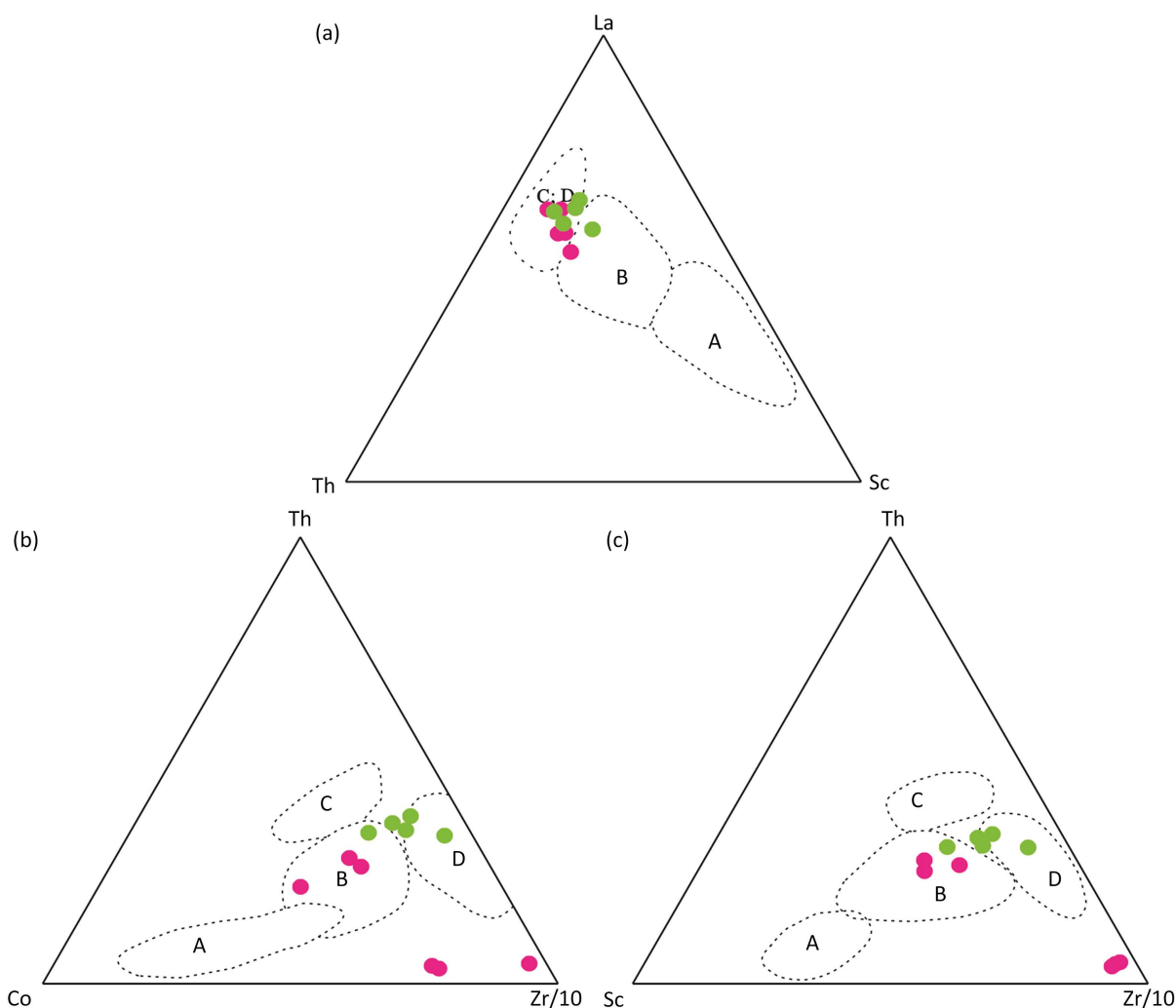


Figure 8. Tectonic discrimination diagrams of the sedimentary rocks from rare elements in Cambrian; the fields of different tectonic setting are from [20]: A-oceanic island arc; B-continental arc; C-active continental margin; D-passive continental margin

图 8. 寒武纪沉积岩微量元素构造环境判别图解；不同构造环境的分布区域根据[20]：A-大洋岛弧；B-大陆岛弧；C-活动大陆边缘；D-被动大陆边缘

1) 赣南地区震旦纪到寒武纪物源主要来自长英质物源区，从震旦纪到寒武纪研究区沉积岩的物源区可能发生过明显的变化。

2) 研究区晚新元古代到早古生代为裂谷环境，沉积构造背景为被动大陆边缘。

基金项目

本文受中国地质调查局地质调查项目钦杭成矿带德兴-歙县地区地质矿产调查项目(1212013065500)资助。

参考文献

- [1] 高秦, 于津海, 朱光磊. 地幔组成差异对扬子板块和华夏板块西延边界的限定: 来自幔源岩脉的地球化学证据[J]. 地球化学, 2019, 48(1): 9-29.
- [2] Li, Z.X., Li, X.H., Li, W.X. and Ding, S. (2008) Was Cathaysia Part of Proterozoic Laurentia?—New Data from Han-

- nan Island, South China. *Terra Nova*, **20**, 154-164. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2008.00802.x>
- [3] Xu, Y.J., Cawood, P.A., Du, Y.S., Hu, L., Yu, W., Zhu, Y., *et al.* (2013) Linking South China to Northern Australia and India on the Margin of Gondwana: Constrains from Detrital Zircon U-Pb and Hf Isotopes in Cambrian Strata. *Tectonics*, **32**, 1547-1558. <https://doi.org/10.1002/tect.20099>
- [4] 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 彭元桥. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. 地球科学, 1999, 24(1): 1-12.
- [5] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2006, 11(1): 45-55.
- [6] Wu, L., Jia, D., Li, H.B., Deng, F. and Li, Y. (2010) Provenance of Detrital Zircons from the Late Neoproterozoic to Ordovician Sandstones of South China: Implications for Its Continental Affinity. *Geological Magazine*, **147**, 974-980. <https://doi.org/10.1017/S0016756810000725>
- [7] Yu, J.H., Oreilly, S.Y., Wang, L.J., Griffin, W.L., Zhang, M., Wang, R., *et al.* (2008) Where Was South China in the Rodinia Supercontinent? Evidence from U-Pb Geochronology and Hf Isotopes of Detrital Zircons. *Precambrian Research*, **164**, 1-15.
- [8] Han, Z.R., Yang, Z.Y., Tong, Y.B. and Jing, X.Q. (2015) New Paleomagnetic Results from Late Ordovician Rocks of the Yangtze Block, South China, and Their Paleogeographic Implications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **120**, 4759-4772. <https://doi.org/10.1002/2015JB012005>
- [9] Qi, L., Xu, Y.J., Cawood, P.A. and Du, Y. (2018) Reconstructing Cryogenian to Ediacaran Successions and Paleogeography of the South China Block. *Precambrian Research*, **314**, 452-467.
- [10] Bhatia, M.R. (1983) Plate Tectonics and Geological Composition of Sandstones. *The Journal of Geology*, **91**, 611-627. <https://doi.org/10.1086/628815>
- [11] Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1985) The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [12] 徐文坦, 马虎超, 龚安州, 杨圣都, 黎家强, 周博文. 赣南地区寒武纪沉积岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(6): 557-570. <https://doi.org/10.12677/AG.2019.96060>
- [13] 徐文坦, 陆丽娜, 马虎超, 张雷, 周博文, 等. 赣南地区寒武系牛角河组碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 2019, 55(2): 542-561.
- [14] 陈毓川, 王登红. 华南地区中生代岩浆作用的四大问题[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 315-321.
- [15] 冯永鑫. 江西省兴国地区震旦纪沉积物物源及构造背景分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- [16] Wang, W., Zeng, M.F., Zhou, M.F., Zhao, J.-H., Zheng, J.-P. and Lan, Z.-F. (2018) Age, Provenance and Tectonic Setting of Neoproterozoic to Early Paleozoic Sequences in Southeastern South China Block: Constraints on Its Linkage to Western Australia-East Antarctica. *Precambrian Research*, **309**, 290-308.
- [17] Floyd, P.A. and Leveridge, B.E. (1987) Tectonic Environment of the Devonian Gramscatho Basin, South Cornwall: Framework Mode and Geochemical Evidence from Turbiditic Sandstones. *Journal of the Geology Society*, **144**, 531-542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>
- [18] Gu, X.X., Liu, J.M., Zheng M.H., Tang, J.X. and Qi, L. (2002) Provenance and Tectonic Setting of the *Proterozoic turbidites* in Huannan, South China: Geochemical Evidence. *Journal of Sedimentary Research*, **72**, 393-407. <https://doi.org/10.1306/081601720393>
- [19] 柏道远, 周亮, 王先辉, 张晓阳, 马铁球. 湘东南南华系 - 寒武系砂岩地球化学特征及对华南新元古代 - 早古生代构造背景的制约[J]. 地质学报, 2007, 81(6): 755-771.
- [20] Bhatia, M.R. and Crook, K.A.W. (1986) Trace Element Characteristics of Graywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **92**, 181-193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>