# 贵州铜仁地区南华系铁丝坳组一南沱组沉积环境及 古气候演变<sup>\*1</sup>

## 唐婷婷,牟军,王安华,强希润

(贵州省地质调查院,贵州 贵阳 550081)

【摘要】: 在野外路线和剖面观察实测的基础上,对铜仁地区南华系沉积环境进行了讨论,并通过南华系碎屑岩的化学成分研究对铁丝坳组一南沱组古气候进行了分析。其中铁丝坳组沉积环境为冰水浅海环境沉积,由向上变细的退积型副层序组成低水位体系域; 大塘坡组共分为两段, 第一段为局限边缘盆地沉积, 主体由向上变深的退积型副层序组成海侵体系, 第二段为浅水陆棚沉积, 其中泥质逐渐减少, 砂质含量逐渐增多, 为高水位体系域; 南沱组为海洋冰碛砾岩沉积, 为不显层理的变余冰碛砾岩、冰碛砂砾岩、含砾不等粒砂岩组成。对碎屑岩的化学成分结果分析表明: 铁丝坳组和南沱组具有低的 CIA 指数和 Ti/AI 比值,说明该时期主要为寒冷、干燥的气候环境,化学风化程度低,物源供给相对降低,具有较低的沉积速率,为冰期特点。南沱组的 CIA 指数和 Ti/AI 比值相对较高,表明该时期主要以温暖湿润气候为主, 化学风化程度较高,物源供应和沉积速率相对较高,为间冰期特点。

【关键词】:铜仁,南华系,铁丝坳组一南沱组,沉积环境,古气候

【中图分类号】: P539 【文献标识码】:A 【文章编号】: 1003-6563(2019)06-0067-07

#### 引言

新元古代成冰系是全球气候变化剧烈的时期(包括古海洋、古环境、古气候等),曾发生过多次冰期事件<sup>[1-3]</sup>。与成冰系相对应,我国南华系经历新元古代最早一次冰期和最晚一次冰期沉积<sup>[1-5]</sup>。有关我国南华系冰期一间冰期时限、沉积环境对比及古气候特征一直是研究的重点<sup>[6-9]</sup>。南华系先后沉积了两界河组一铁丝坳组(或古城组一渫水组、长安组),可分别与 Sturtian 冰期和 Marinoan 冰期事件相对应,而铁丝坳组与南沱组之间的大塘坡组则代表间冰期沉积<sup>[10-13]</sup>。在贵州铜仁地区南华系地层从下向上为铁丝坳组、大塘坡组和南沱组,其中铁丝坳组和南沱组的冰碛岩可与 Sturtian 冰期和 Marino-an 冰期一一对应,而大塘坡 组底部沉积了一套凝缩的黑色炭质页岩夹菱锰矿的组合,俗称"含锰岩系",为间冰期的产物。为了厘清铜仁地区南华系的地层 层序、沉积环境以及古气候演变,本文通过地层出露较好的剖面,对南华系进行了剖面实测,拟对区内南华系地层序列进行梳 理、沉积环境进行分析,并利用其碎屑岩的化学分析,示踪了冰期前后的气候与沉积环境的变化。

## 1地质背景

研究区位于贵州省东南部,大地构造上位于扬子基底隆起西南侧,属扬子板块,其南东方向与华夏板块相邻<sup>[14-15]</sup>。新元古代时期"晋宁一四堡"运动使得整个扬子地块成为 Rodinia 超级大陆的一部分。之后在雪峰构造运动(760Ma)至南华纪,扬子陆

#### <sup>1</sup>收稿日期:2019-05-26;修回日期:2019-06-11

基金项目:贵州省地矿局青年地质科学研究项目《荔波一独山地区晚二叠世成煤古地理环境研究》(黔地矿科合〔2015〕24号); 1:5万漾头司、万山特区、瓦屋、新晃幅区域地质调查项目(项目编码:12120114068201)联合资助。 作者简介:唐婷婷(1990-),女,工程师,硕士研究生,研究方向:区域地质调查、地层学。 块一拉张裂隙陷为主,发育了较多小型陆内裂谷,伴随着地壳的整体升降运动和轻微褶皱运动,为研究区南华系沉积不同环境、 气温下的岩石创造了良好场所(图1)。

区内南华系地层发育完整,一直是我国南华纪地层发育较好的地区,区内南华纪地层是不整合于下伏清水江组或者平略组 之上、整合或平行不整合于陡山沱组之下的一套含砾杂砂岩、深色锰质岩、浅变质泥质岩和南沱期的冰碛岩。划分为铁丝坳组、 大塘坡组及南沱组(图 2)。





若:5-音硬灰质变奈砂石:0-种裂石;1-砂砾石;8-音柳砂砂石; 9-粉砂质粘土岩;10-含砾粘土岩;11-碳质粘土岩;12-粘土岩; 13-硅质岩;14-含锰质透镜体。

图 2 贵州铜仁地区南华系实测剖面柱状图(pm021)

### 2 地层层序及沉积相

#### 2. 1 地层层序

铁丝坳组:该组与下伏平略组或清水江组地层之间,常见一层厚度 lm 至数米的角砾状、渣状钙质粘土质角砾岩,角砾以棱 角状、次棱角状为主,磨圆度和分选性均较差,铁锰质胶结,岩石外貌十分破碎,具有风化壳的一般特征(图 3a)由向上变细的 退积型副层序组成低水位体系域沉积(图 3b)。研究区铁丝坳组对应贵州区域地质志(2018 年)的富禄组,为富禄组"古城冰 期"沉积,但因与传统意义上的"富禄砂岩"不同,故还是沿用"铁丝坳组"这一命名。



大塘坡组为间冰期沉积物,底部为锰矿赋矿层位。前人根据下部凝灰层锆石 U-Pb 定年结果限定其低界年龄分为(663 ±4) Ma)(667.3 ± 9.9)Ma<sup>[16-17]</sup>。并将大塘坡组自下而上分为3段<sup>[16-18]</sup>,第一段岩性为黑色炭质粘土岩,粘土岩夹菱锰矿;第二~ 三段岩性为灰色粘土岩、粉砂质粘土岩,粉砂岩为主。贵州区域地质志(2018 年)将其分为两段,其分别对应上述一段,和二三 段岩性。本文采用贵州省区域地质志,将大塘坡组分为两段。

大塘坡组第一段岩性为灰黑、黑色(风化呈灰白色)浅变质的炭质(有机质)粘土岩,夹两层浅灰色黄铁矿粘土岩,为重要的含锰层位(图 4a),习称"含锰岩系"。一段主体由向上变深的退积型副层序组成的海侵体系域沉积(图 4c)



大塘坡组第二段岩性由灰色至深灰色风化后灰黄色、灰緑色薄层至中厚层变质粉砂岩、浅变质粉砂质粘土岩组成,夹少量 浅变质粉砂岩和灰岩透镜体,具有向上变粗的特征,构成高水位体系域(图 3)。其厚度的大小与一段含锰岩系的厚度以及含锰 性无明显规律,一、二段之间以第一段黑色炭质(有机质)浅变质的粘土岩、含锰质岩结束划分,二者为渐变整合接触关系。

南沱组:岩性为灰、深灰至灰緑色、灰紫、紫红色厚层至块状不显层理的变余冰碛砾岩、冰碛砂砾岩、含砾不等粒砂岩组成,间夹薄层状变余冰碛含砾砂质粘土岩。砾石含量 30~40%,砾石大小为 2~30mm,主要集中于 20 mm 左右,大的达 70 mm, 少数达十多厘米,为次棱角状-次圆状,无明显分选定向,砾石成份主要为变余砂岩、板岩、凝灰岩、硅质岩、石英等,偶见花 岗岩砾石(图 4b),基底为粉一细砂岩。其顶面个别地区含灰色黄铁矿结核,结核内见松散粒状黄铁矿颗粒,结核大小一般 2~ 8 cm,具有风化淋虑特征(图 4c)。

可见厚块砾岩夹含砾砂岩层序(图 3f),而宏观上具有单个韵律厚几十米到上百米、砾岩由粗变细的正粒序特征(图相), 体现了水体逐渐变深,为进积型副层序组成的低位体系域沉积。底为黄绿色块状变余含砾粉砂岩 f 与下伏地层过渡,为整合接触关系,属于海洋冰碛砾岩沉积环境。

2. 2 沉积相

铁丝坳组一南沱组主体为一套海洋冰川沉积系,表现为铁丝坳组冰段一大塘坡组间冰段一南坨组冰段三个阶段,可划分为 冰水浅海、局限边缘盆地、浅水陆棚、斜坡相4种沉积相。

冰水浅海环境沉积发育于铁丝坳组,主要为含砾中一细粒长石岩屑砂岩(图 5a, 5b),含砾不等粒长石岩屑砂岩,砾质砂岩,

砾岩,局部夹粉一微晶白云岩,岩石中多含钙质。整体特征为粒度变化极大,不等粒特征明显。砾石成分以石英、砂岩、板岩 为主,含量约 1~30%,砾径约 3~10 mm,呈棱角一次棱角状。表现为冰筏坠石沉积相:冰筏坠石可以作为南华纪曾经出现过全 球性寒冷冰川作用事件的直接证据之一<sup>[19]</sup>。在铁丝坳里中正常浅海沉积的含钙质含粘土岩的变质粉砂岩中或含钙质的板岩中(原 岩水平纹层,变形纹层清晰可见)往往见到不规则状、条状、团块状、棱角状的陆源砾石,将水平纹层压弯变形或切穿纹层。 推测当时山岳冰川在向海推进的过程中,刨蚀并俘获两侧的各种岩石,之后漂进海洋成为筏冰,最终将沉降至海底软泥之中<sup>[19]</sup>(图 4d)。该时期对 Sturtian 冰期上部<sup>[20-22]</sup>。

局限边缘盆地沉积发育于大塘坡组第一段,主要为主要由黑色炭质板岩、碳质粉砂岩组成夹炭质灰岩透镜体及炭硅质层、 条带状菱锰矿(图 3d,图 5c),为重要的含锰层位,习称"含锰岩系",底部见黄铁矿夹层,黄铁矿呈侵染状密集分布,局部不 稳定呈透镜状。水平层理发育。周琦等い 3,24]通过对该层位沉积构造分析,结合碳、硫同位素以及有机地球化学特点,认为 该套"含锰岩系"应是发育于南华裂谷盆地中的次级断陷盆地中心<sup>[23-24]</sup>。许效松等(1991)根据锰矿层的枕状、粒序层状和层纹状 矿体组成,具皮壳状和胶状结构,由菌藻团粒、团块、硅质放射虫及豁土等悬浮沉积物组成层序等特征,得出锰质沉积于低能 深水还原环境中。该段岩石中炭质粘土岩,菱锰矿与黄铁矿共生,也可反映水体循环较差的还原环境。且该层有机质岩中反映 陆源的 Al<sub>2</sub>0<sup>a</sup>与 TiO<sub>2</sub>含量极少,综合前人分析,认为其为南华裂谷盆地背景下,发育于次级断层盆地中水体较深的局限边缘盆地 环境。



浅水陆棚沉积发育大塘坡组第二段,主要由灰色至深灰色薄层至中厚层状板岩、粉砂质板岩组成(图 5d),顶部夹有灰色泥 晶灰岩透镜体,水平层理发育。 南沱冰碛岩是我国最早报道的前更新世的冰期沉积<sup>[25]</sup>,对应 Marinoan 冰期<sup>[21, 26-27]</sup>。对于南沱组的沉积环境,前人也做过较 多研究,主要观点包括 3 种:(1)陆相冰川堆积地层<sup>[28-30]</sup>;(2)冰海相一浅海相沉积<sup>[31-32]</sup>;(3)重力流沉积:根据南沱组沉积特 点,提出了南沱组不具冰海沉积相的"落石"特点、岩石具有层性,而是具有杂乱堆积,具有碎屑流沉积的特点<sup>[33-34]</sup>。认为南沱 组冰碛岩是在陆架、陆坡,由于重力作用,形成沉积物重力流<sup>[19, 35-36]</sup>。综合前人分析,认为本区南沱组冰碛岩也具有重力流沉积 特点。按砾石含量和大小,分为泥石流型和泥流型:1)泥石流相,岩石呈灰、灰緑色,厚块状结构,砾石含量一般为 20%~30% 左右,砾石大小不等,砾径多在 1~3cm,大者可见 10~15cm,多呈次棱角状、次圆状或圆状,磨圆度一般,分选性较差。砾石 成分复杂,多为石英、砂岩、板岩、硅质岩。杂基支撑,基底式胶结。基质主要多为粘土岩、粉砂、砂岩(图 4e,图 5e)。2)泥 流相,岩石呈灰色、灰黄绿色、灰红色,厚块状结构。砾石含量一般为 1%~5%(薄层粘土岩、粉砂岩中甚至看不到砾石),砾石 分布不均,砾径细小,以小于 3cm 为主。砾石一般呈圆状、次圆状,少数呈次棱角状,磨圆度较好。砾石成分一般为砂岩、板 岩、石英。杂基支撑,基底式胶结。基质成分主要为粘土、粉砂等(图 4f,图 5f)。南沱组混杂沉积的砾石,具有由下向上变 小副层序,反映了当时沉积环境应属于斜坡环境。

## 3 古气候

化学蚀变指数(Chemical Index of Alteration,简称CIA),常被用来研究物源区风化程度的判别<sup>[37-38]</sup>。近年来,国内外 学者将CIA指数多用于沉积物沉积时古气候环境的判别<sup>[39-41]</sup>(表 1)。

CIA 指数范围	所代表的古气候环境	
50-65	寒冷、干燥的气候条件下低等风化程度	
65-85	温暖、湿润的气候条件下中等化学风化程度	
85-100	炎热、潮湿的热带、亚热带条件下強烈的化学风化程度	
注:CIA 的表达	式为 CIA = A1203/「(A1203+ CaO * + Na20+K20) × 100〕。	

表 1 CIA 指数范围与古气候环境对应表[41]

其中各元素采用摩尔百分含量,Ca0\*的计算和矫正,本次采用MeLennan提出的简化方法<sup>[42]</sup>:若Ca0\*摩尔百分含量>Na<sub>2</sub>0摩尔百分含量,则Na<sub>2</sub>0摩尔百分含量=Ca0\*摩尔百分含量;若Ca0\*摩尔百分含量<Na<sub>2</sub>0摩尔百分含量,则Ca0摩尔百分含量=Ca0\*摩尔百分含量;若Ca0\*摩尔百分含量<Na<sub>2</sub>0摩尔百分含量,则Ca0摩尔百分含量=Ca0\*

依据对清水江组至南沱组岩石样品的主量元素数据(表 2),计算可得出其相应的 CIA 指数:清水江组:68. 38~68. 48(平均 68.43);铁丝坳组:59.52~63.80(平均 61.59);大塘坡组:65~ 66.66(平均 66.65);南沱组 59.98~65.56(平均ぬ.77)。 将其对应表— CIA 指数范围,其清水江组至南沱组分别对应温暖湿润—寒冷、干燥—温暖湿润—寒冷、干燥的气候变化。

组名	样品编号	$A1_20_3$	$SiO_2$	$TFe_20_3$	$TiO_2$	$K_20$	Na <sub>2</sub> 0	Ca0	MgO	$P_2 0_5$	CIA	Ti/Al
清水江	PM021-40H1	13.20	73.51	3. 76	0. 46	2.55	1.79	0.24	1.01	0. 03	68.38	0. 039
组	PM021-40H2	11.58	76. 25	3.44	0.42	2.30	1.49	0. 23	0. 80	0. 03	68.48	0.041
	PM021-41H2	12.95	70. 57	3. 55	0.49	2.99	1.25	1.98	0. 83	1.22	63.80	0.043
	PM021-41H3	12.25	74.64	3.35	0. 39	2.04	2. 68	0. 25	0. 85	0.04	63.54	0. 036
铁丝坳	PM021-41H4	13.72	70. 37	2. 62	0. 42	2.69	2. 29	1.45	0. 89	0. 09	59.80	0. 035
组												
	PM021-42H1	11.97	75. 82	2. 42	0. 45	1.96	3. 33	0. 34	0.64	0.07	<b>59.</b> 52	0.043
	PM021-42B1	12.25	76. 11	2. 10	0.45	2.08	3.07	0.29	0. 68	0.09	61.32	0.041

表2铜仁地区清水江组一南沱组主量元素分析结果(wt/%)

	PM021-43H1	18.16	60. 90	5.41	0. 85	4.75	1.93	0. 10	1.05	0. 05	68.30	0. 053
	PM021-43H2	1. 13	13. 32	3.40	0. 05	0.12	0. 13	39.99	3.60	0. 12	66.66	0.049
大塘坡	PM004-88B1	15.76	69.45	0. 83	0. 76	3.10	2. 70	0. 11	0. 58	0.09	66.65	0. 055
组												
	PM021-45B1	16.68	62.91	6. 26	0. 70	3.88	2. 30	0. 65	2.24	0. 16	65.00	0. 048
南沱	PM021-48B1	15.82	<b>65.</b> 24	5. 83	0.64	4.00	1.89	0. 55	1.97	0. 11	65.56	0.046
组	PM021-49B1	14.48	65.90	5. 16	0. 65	2.81	2. 66	1.31	2. 12	0. 13	59.98	0. 051

Ti/A1比值被用作碎屑岩矿物颗粒的指数,也可以被用来指示沉积速率<sup>[43-44]</sup>,A1通常存在粘土矿物中,而Ti不但存在粘土 矿物中,还富裕在砂级或粉砂级的钛铁矿、进红石河普通辉石等矿物中<sup>[45-46]</sup>。铁丝坳组Ti/A1为o.035~0.043(平均0.040); 大塘坡组Ti/A1为0.048~0.055(平均0.051);南沱组Ti/A1为0.046~0.051(平均0.049);总体上看铁丝坳组与 南沱组相比大塘坡组具有较低的沉积速率,这可能也反映了在冰期温度低,大面积被冰雪覆盖,风化作用降低,物源供给相对 降低;间冰期,气候转暖,风化作用加强,物源供给相对较多<sup>[47]</sup>。这也与前人在扬子板块南华纪研究成果一致:南华纪古气候大 致经历了从 Sturian 全球冰期到 Marinoan 冰期的寒冷一温暖一寒冷的过程<sup>[49-51]</sup>。

#### 4 结论

研究区南华系从下到上发育铁丝坳组、大塘坡组、南沱组。其中铁丝坳组为冰水浅海环境沉积,由向上变细的退积型副层 序组成低水位体系域。大塘坡组第一段为为南华裂谷盆地背景下,发育于次级断层盆地中水体较深的局限边缘盆地环境,主体 由向上变深的退积型副层序组成的海侵体系域沉积。大塘坡组第二段,为浅水陆棚沉积。南沱组为冰水沉积,发育斜坡相重力 流沉积,为进积型副层序组成的低位体系域沉积。

铁丝坳组、南沱组具有较低的 CIA 指数,说明该时期以寒冷干燥的气候为主,铁丝坳组具有相対较高的 CIA 指数,说明该时期主要以温暖湿润气候为主。

铁丝坳组、南沱组相对于大塘坡组具有较高的 Ti/A1 比值,说明铁丝坳组、南沱组的物源供应和沉积速率较低,也间接反映了铁丝坳组、南沱组的比大塘坡组古气候温度低。

#### 参考文献【REFERENCES】

[1]HOFFMAN P F, SCHRAG D P. The snowball Earth hy-pothesis : testing the limits of global change [J]. Term Nova, 2002(14) :129-155.

[2]HOFFMAN P F, HALVERSON G P, DOMACK E W, etal. Are Basal Ediacaran (635 Ma) postglacial " cap dolostones " diachronous [J]. Earth and Planetary Science Letters ,2007,258 : 114-131.

[3] HOFFMAN P F. Did the breakout of Laurentia turn Gond-wana land inside-out[J]. Science, 1991, 252 : 1409-1412.

[4]彭学军,刘跃荣,吴能杰,等.扬子陆块东南缘南华纪地层对比[J].地层学杂志,2004,28(4): 355-359.

[5] 卢定彪,肖加飞,林树基,等.湘黔桂交界区贵州省从江县黎家坡南华系剖面新观察——一条良好的南华大冰期沉积记录剖面[J].地质通报,2010,29(8): 1143-1151.

[6]赵彦彦,郑永飞.全球新元古代冰期的记录和时限[J].岩石学报,2011,27(2):545-563.

[7] 王叶, 延晓东. 新元古代地球气候研究进展[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(3): 399-406.

[8]陆松年.关于中国新元古界划分几个问题的讨论[J].地质评论,2002,48(3): 242-248.

[9]王剑. 华南新元古代裂谷盆地沉积演化: 兼论与 Rodin-ia 解体的关系[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 78-99.

[10]黄晶,储雪蕾,张启锐,等.新元古代冰期及其年代[J].地学前缘,2007,14(2):249-256.

[11]CONDON D, ZHU M Y, BOWRING S, et al. U-Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China [J]. Sci-ence, 2005, 5718(308) : 95-98.

[12]ZHANG Q R, LI X H, FENG L J, et al. A new age con-straint on the onset of the Neoproterozoic glaciations in the Yan-gtze Platform, south China [J]. The Journal of Geology, 2008, 116(4): 423429.

[13]储雪蕾, TODTW, 张启锐, 等. 南华一震旦系界线的锆石 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 2005, 50(6): 600-602.

[14] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1-517.

[15]刘宝珺,许效松,潘杏南,等.中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M].北京:地质出版社,1994:1-517.

[16]ZHOU C, TUCKER R, XIAO S, et al. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in South China[J]. Geolo-gy , 2004, 32(5) : 437440.

[17]尹崇玉, 王砚耕, 唐蜂, 等. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩错石 SHRIMP E U-R)年龄[J]. 地质学报, 2006, 80(2): 273-278.

[18]余文超,杜远生,周琦,等.黔东松桃南华系大塘坡组锰矿层物源:来自 Sr 同位素的证据[J].地球科学,2016,41(7): 1110-1120.

[19]何明华.贵州东部及邻区震旦纪铁丝坳期和南沱期沉积相与环境演化及构造属性探讨[J].贵州地质,1998,15(1):26-31.

[20]郑永飞. 新元古代岩浆活动与全球变化[J]. 科学通报, 2003, 28(16): 1705-1720.

[21]ZHANG Q R, CHU X L, BAHLBURG H, et al. Strati-graphic architecture of the Neoproterozoic glacial rocks in the Xiang-Qian-Lrui region of the central fangtze Block [J].South China, 2003, 13(10) : 783-787.

[22] 汪正江, 许效松, 杜秋定, 等. 南华冰期的底界讨论: 来自沉积学与同位素年代学证据[J]. 地球科学进展, 2013, 28(4):

477489.

[23]周琦, 杜远生, 王家生, 等. 黔东北地区南华系大塘坡组冷泉碳酸盐岩及其意义[J]. 地球科学, 2007, 32(3): 339-346.

[24]周琦,杜远生,覃英.古天然气渗漏沉积型锰矿床成矿系统与成矿模式:以黔湘渝毗邻区南华纪"大塘坡式"锰矿为例 [J].矿床地质,2013,32(3):457-466.

[25]张启锐,储雪蕾.扬子地区江口冰期地层的划分对比与南华系层型剖面[J].地层学杂志,2006,30(4): 306-314.

[26]张飞飞,朱祥坤,高兆富,等.黔东北西溪堡锰矿的沉淀形式与含锰层位中黄铁矿异常高δ34S 值的成因[J].地质论 评,2013,59(2): 274-286.

[27] MACDONALD F A, SCHMITZ M D, CROWLEY J I, et al. calibrating the uryogenian [ J ]. Science, 2010, 327 : 1241-1243.

[28]马国干, 王砚耕. 鄂、湘、川、黔毗邻地区早震旦世冰川地质问题的讨论[J]. 中国地质科学院宜昌研究所所刊, 1983 (7): 43-52.

[29]陆松年,马国干,高振家,等.中国晚前寒武纪冰成岩系初探[M].北京:地质出版社,1985:1-86.

[30]全国地层委员会.中国地层指南及中国地层指南说明书:修订版[M].北京:地质出版社,2001:1-14.

[31]张启锐. 湖北省宜昌县震旦系南沱组成因的新认识[J]. 地质科学, 1995, 30(2): 147-152.

[32] 王剑. 华南新远古代裂谷盆地沉积演化——兼论与 Rodinia 解体的关系 [D]. 成都:成都理工大学,1999.

[33]刘波. 大庸市四都坪震旦系南沱组岩石特征及成因探讨[J]. 湖南地质, 1990, 9(4): 43-50.

[34] 刘波. 华南震旦系冰川地层及冰川演化规律[J]. 成都理工大学学报: \_ 然科学版, 1991, 18(2): 4047.

[35]张雄华,章泽军,蔡雄飞.江西修水地区震日系南沱组冰成岩研究[J].沉积与特提斯地质,2003,23(6): 58-61.

[36] 蔡雄飞,罗中杰,叶琴.湖南四都坪南沱组沉积特征与古气候变化耦合关系[J]. 华东地质, 2017, 38 (2) : 91-98.

[37] NESBITT H W, YOUNG G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistrv of lu-tites [J]. Nature, 1982, 299 (5885) : 715-717.

[38] MOREY G B, SETTTERHOLMD R. Rare earth elements in weathering profiles and sediments of Minnesota : implications for provenance studies [J]. Journal of Sedimentary Research, 1997, 67(1) : 105-115.

[39]冯连君,储雪蕾,张启锐,等.化学蚀变指数(CIA)及其在新元古代碎屑岩中的应用[J].地学前缘,2003,10(4):539-543. [40]刘兵,徐备,孟祥英,等.塔里木板块新元古代地层化学蚀变指数研究及其意义[J].岩石学报,2007,23(7):1664-1670. [41] 董挨管,张尚清,钟庄华,等.晋西北兴县地区铝土矿层准沉积期古气候及其沉积环境研究[J].地质资源与勘查, 2017,40(5): 1-6.

[42]BOCK B, MCLENNAN S, HANSON G. Geochemistry and provenance of the Middle Ordovician Austin Glen Member (Normanskill Formation) and the Taconian Orogeny in New Eng-land[J], Sedimentology, 1998, 45(4) : 635-655.

[43]MURPHY A E, SAGEMAN B B, HOLLANDER D J,etal. Black shale deposition and faunal overturn in the Devonian Appalachian Basin : clastic starvation, seasonal water-columnmixing, and efficient biolimiting nutrient recycling [J]. Paleo-ceanograpy, 2000,15(3) : 280-291.

[44] RIMMER S M, THOMPSONA J A, GOODNIGHT S A, etal. Multiple controls on the preservation of organic matter in De-vonian-Miesissippian marine black shales : geochemical andpetrogiaphic evidence [ J ]. Palaeogeography, 2004, 21b (1/2): 125-154.

[45] SHIMMIELD G B. Can sediment geochemistry record changes in coastal upwelling palaeoproductivity : evidence from northwest Africa and the Arabian Sea [J]. Geological Society, 1992, 64(1): 29-46.

[46] CALVERT S E, PEDERSEN T F. Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments : implications for the geological record [J]. Marine Geology, 1993, 113(1/2) : 67-88.

[47] 谯文浪, 汪建国, 陈武. 贵州丹寨地区南华系地层地球化学特征及其对古气候、古环境的意义[J]. 地质科学, 2013, 48(3): 847-859.

[48] 罗亮, 孙志明, 马志鑫, 等. 黔东渝东南地区南华纪沉积序列与沉积环境演变[J]. 地质难情报, 2015, 34(2): 27-35.

[49]赵小明,刘圣德,张权绪,等.鄂西长阳南华系地球化学特征的气候指示意义及地层对比[J].地质学报,2011,85(4):576-585.

[50]王自强,尹崇玉,高林志,等.宜昌三斗坪地区南华系化学蚀变指数特征及南华系划分、对比的讨论[J].地质论 评,2006,52(5):577-585.

[51]王自强,尹崇玉,高林志,等.黔南-桂北地区南华系化学地层特征[J].地球学根,2009,30(4):465474.