湘南地区寒武系沉积环境分析

蒋金晶[1], 何幼斌[1], 罗 薇[1], 游国庆[2]
JIANG Jin-jing[1], HE You-bin[1], LUO Wei[1], YOU Guo-qing[2]

1. 长江大学地球科学学院,湖北 荆州 411100;
2. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037
1. *School of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 411100, Hubei, China;*
2. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

摘要:湘南地区寒武系自下而上依次发育香楠组、茶园头组、小紫荆组。岩石类型主要以碎屑岩为主,碳酸盐岩、硅岩次之。其中,砂岩与泥(页)岩常构成典型的复理石韵律。通过对岩性、古生物、沉积构造等相标志的分析,认为研究区寒武系沉积环境主要为深水斜坡至盆地环境,建立了沉积模式并分析了其沉积演化。区内寒武纪经历了 3 次海侵,第一次海侵始于早寒武世晋宁期,结束于南皋期;第二次海侵始于都匀期,结束于王村期;第三次海侵出现于古丈期,至牛车河期结束。

关键词:湘南地区;寒武系;岩石特征;古生物特征;沉积环境
中图分类号:P534.41 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2012)07-1094-11

Jiang J J, He Y B, Luo W, You G Q. An analysis of the Cambrian sedimentary environment in southern Hunan Province. *Geological Bulletin of China,* 2012,31(7):1094–1104

Abstract: The Cambrian strata in southern Hunan can be divided from bottom to top into Xiangnan Formation, Chayuantou Formation and Xiaozijing Formation. The rock types are mainly clastic rock and subordinately carbonate rock and siliceous rock, in which sandstone and mudstone (shale)often form typical flysch rhythms. Based on a comprehensive study of such facies indicators such as lithologic character, palaeobiologic fossils and sedimentary structure, the authors hold that the Cambrian sedimentary environment of the study area was a deep-water slope to basin environment. The sedimentary environment evolution was analyzed and the sedimentary model was set up. The area experienced three transgression events during Cambrian. The first transgression began in the Jinning stage and ended in the Nangao stage. The second transgression began in the Duyun stage and ended in the Wangcun stage. The third transgression began in the Guzhang stage and lasted until the Niuchehe Age.

Key words: southern Hunan; Cambrian; petrological characteristics; paleontological characteristics; sedimentary environment

湖南省地层发育齐全,地质构造复杂,沉积类型多样。众多学者对华南地区矿产成矿规律、大地构造演化进行了大量研究,在有利区矿带的预测和构造演化方面取得了一定的成果[1-9]。然而,沉积学研究作为成矿研究的基础和重要组成部分,在该地区研究中还未受到足够的重视。区内寒武系地层连续沉积,岩性简单,出露范围广泛,但沉积学研究较为薄弱。早先有学者对区内早寒武世黑色页岩进行过较为详细的研究[2-5],但对寒武纪沉积环境的研究还不够系统。为深化认识区内寒武纪的沉积环境及其演

收稿日期:2012-01-17;**修订日期**:2012-05-16
资助项目:中国地质调查局项目《中国构造区划及其在全国地质志中的应用》(编号:121201112011)《华南早古生代沉积-构造演化史》专题
作者简介:蒋金晶(1987-),女,在读硕士,从事沉积学研究。E- mail:jiangjingjing126@126.com
通讯作者:何幼斌(1964-),男,博士,教授,从事沉积学的教学和研究工作。E-mail:heyb122@163.com

化,为华南地区早古生代造山带构造属性的研究提供依据,笔者在前人工作的基础上,进行了野外调查和采样,通过综合分析,对区内寒武纪的沉积环境进行了分析,取得了一些新的认识。

1　区域地质背景

湖南省由扬子陆块和华南板块 2 个Ⅱ级构造单元组成,雪峰山—加里东运动期间,华南褶皱隆升,形成叠置在扬子大陆边缘的前陆盆地。加里东运动之后,华南褶皱带初步形成。同时,先前彼此分立的主要陆块扬子陆块和华南陆块拼合成统一的板块,从此结束了早古生代各陆块彼此分立的构造历史[10]。根据不同时期大地构造运动形成的断裂、褶皱等构造现象,将湖南省进一步划分为 5 个Ⅲ级构造单元(即Ⅲ-4-1 湘北断褶带、Ⅲ-4-2 雪峰构造带、Ⅲ-4-3 湘桂结合带、Ⅲ-4-4 洞庭盆地、Ⅲ-5-1 湘东南断褶带)和 10 个Ⅳ级构造单元(图 1)。本文的研究区主要位于Ⅲ-5-1 湘中南断褶带中,隶属华南板块。

湖南寒武系分布广泛,地层横向变化大、沉积类型多样。在着重考虑生物-环境作用的同时,以岩性、含矿性和地质构造为依据,将湖南的寒武系进一步划分为Ⅰ湘西北区、Ⅱ武陵过渡区、Ⅲ湘中区和Ⅳ湘南区。湘中区又细分为Ⅲ1 泸溪-安化小区、Ⅲ2 洞口-双峰小区[10-11](图 2)。

受基底性质、构造活动等因素的影响,寒武纪湘中、湘南地区的沉积演化出现了分异,扬子陆块和华南板块形成不同的沉积充填序列。本文研究区主要集中在湘南区(Ⅳ)。研究区分布了以碎屑沉积为主的香楠组、茶园头组和小紫荆组,主要位于宁远、江华剖面。研究区寒武系与湘中区地层划分对比见表 1。

2　岩石类型和特征

研究区寒武系岩石类型主要有碎屑岩、碳酸盐岩、硅岩,其中以碎屑岩为主,碳酸盐岩和硅岩次之。碎屑岩包括砂岩、粉砂岩和泥(页)岩。根据其成分、构造、生物及其特征可将研究区的岩石划分为若干个次一级的岩石类型(表 2)。

2.1　砂　岩

砂岩在区内分布广泛,于香楠组、茶园头组、小紫荆组均不同程度出现,主要有石英砂岩、长石石英砂岩、杂砂岩等岩石类型。这类岩石的颜色为浅灰—深灰色,多为中—厚层状。取 2 件样品作粒度概率曲线(图 3),两图均为“一段式”,平均粒径范围分别为 0.2~0.4mm、0.14~0.25mm,粒级为中砂到细砂。颗粒大小在 0.1mm 以上,最大可达 1mm,沉积物主要以跳跃方式搬运;斜率为 40~46°。两条曲线标准偏差 σ 值达 0.6~0.8,分选中等至较好;偏态 SK 为 0.02~0.09,近于对称;峰态 KG 均小于 0.67,很平坦,表现为典型的浊流沉积特征。砂岩中颗粒成分主要为石英,偶见长石和岩屑。石英砂岩中杂基含量在 10%左右,且以绢云母化的粘土矿物为主,多充填于孔隙或颗粒的接触处,呈颗粒支撑。石英砂岩磨圆较好,呈次棱角状—次圆状,分选较差,颗粒大小约为 0.2mm;石英砂岩中常见块状层理、粒序层理,部分砂岩底具冲刷面。杂砂岩碎屑成分较石英砂岩复杂,

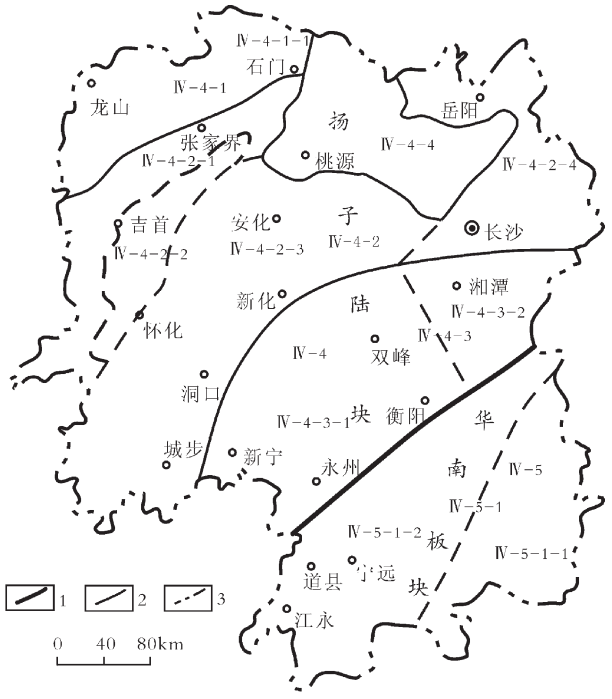


图 1　湖南省寒武纪大地构造分区略图[9]

Fig. 1　Geotectonic division of Cambrian in Hunan Province

1—二级构造单元分界线;2—三级构造单元分界线;3—四级构造单元分界线;Ⅳ-4—扬子陆块;Ⅳ-5—华南板块;Ⅳ-4-1—湘北断褶带;Ⅳ-4-2—雪峰构造带;Ⅳ-4-3—湘桂结合带;Ⅳ-4-4—洞庭盆地;Ⅳ-5-1—湘东南断褶带;Ⅳ-4-1-1—石门-桑植复向斜;Ⅳ-4-1-2—沅潭褶冲带;Ⅳ-4-2-1—武陵断弯褶皱带;Ⅳ-4-2-2—沅麻盆地;Ⅳ-4-2-3—雪峰冲断带;Ⅳ-4-2-4—湘东北断隆带;Ⅳ-4-3-1—邵阳坳褶带;Ⅳ-4-3-2—醴陵断隆带;Ⅳ-5-1-1—炎陵-汝城冲断褶隆带;Ⅳ-5-1-2—宁远-桂阳坳褶带

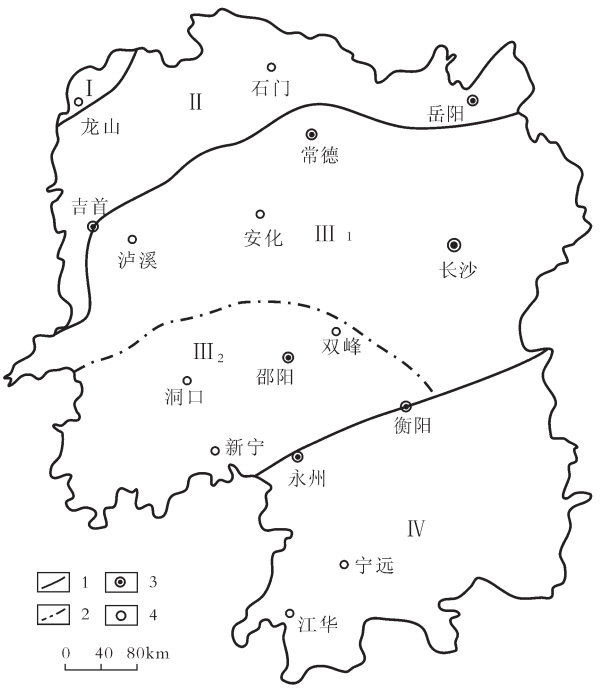


图 2 湖南省寒武系分区图①

Fig. 2 Cambrian division in Hunan Province

1—一级分区界线;2—二级分区界线;3—地级市;4—县;Ⅰ—湘西北区;Ⅱ—武陵山过渡区;Ⅲ—湘中区;Ⅲ$_1$—泸溪-安化小区;Ⅲ$_2$—洞口-双峰小区;Ⅳ—湘南区

颗粒成分主要为石英,偶见长石和岩屑,还见少许云母,颗粒一般为次棱角状,具不等粒结构。杂基主要由云母、泥质、炭质及其它粘土矿物组成,占全岩的15%~42%,一般为 25%~35%,胶结物为铁质及硅质,含量较少,分选、磨圆均较差,杂基含量较高,成分、结构成熟度均低(图版Ⅰ-1)。杂砂岩占全区地层总厚度的 15%左右,其中常见块状层理和粒序层理,砂岩的底部见有起伏不平的冲刷槽和重荷模,根据岩石样品地球化学分析结果[12-13],SiO_2、Al_2O_3、K_2O、TiO_2、CaO 偏高,Na_2O 偏低,K_2O/Na_2O 比值大于 1,显示砂岩成分成熟度较低,与 Bhatia 总结出的不同环境下砂岩的化学成分和稀土元素参数特征对比[13],本区寒武系砂岩应形成于被动大陆边缘环境。

2.2 粉砂岩

区内粉砂岩相对较少见,主要在茶园头组出现,约占茶园头组地层厚度的 5%, 单层厚度小于 7cm,一般为 0.5~2cm。按颗粒大小可分为粗粉砂岩和细粉砂岩 2 种, 粒级范围分别在 0.1~0.05mm、0.05~0.0lmm 之间。研究区以钙质粉砂岩、泥质粉砂岩为主,颜色为灰色、灰绿色和黄绿色。粉砂岩的碎屑颗粒中稳定组分较多,成分较单纯,以石英为主(4%~38%),长石次之,多为钾长石,次为酸性斜长石,多被绢云母化;岩屑极少,含较多的白云母;重矿物含量可达 2%~3%,杂基含量较高,常过渡形成粉砂质泥岩。碳酸盐胶结物较常见。颗粒的分选性较好,磨圆度不高,以基底式胶结为主。粉砂岩多呈透镜状和条带状,泥质粉砂岩中具微细纹层,纹层呈平行波状或交错状,厚 0.5~15mm,连续性差。交错层理在泥质粉砂岩中较少见,部分粉砂岩底见冲刷面。

表 1 湘中、湘南地区寒武系地层划分对比

Table 1 Cambrian stratigraphic correlation of central and southern Hunan

地层				湘中区		湘南区
下古生界	寒武系	芙蓉统	牛车河阶	探溪组(∈$_{3-4}t$)		小紫荆组(∈$_{3-4}x$)
			桃源阶			
			排碧阶			
		武陵统	古丈阶			
			王村阶	污泥塘组(∈$_{2-3}w$)		茶园头组(∈$_{2-3}cy$)
			台江阶			
		黔东统	都匀阶			
			南皋阶	牛蹄塘组(∈$_{1-2}n$)		香楠组(∈$_{1-2}xz$)
			梅树村阶			
		滇东统	晋宁阶			
新元古界	震旦系		灯影峡阶	灯影组	留茶坡组	丁腰河组

表 2　湘南区寒武系岩石类型及其分布

Table 2　Cambrian rock types and their distribution in southern Hunan

岩石类型		主要分布层位
陆源碎屑岩	砂岩：石英砂岩、杂砂岩	新化香楠组、茶园头组、小紫荆组
	粉砂岩	少量茶园头组
	泥(页)岩：炭质页岩、硅质页岩	香楠组、茶园头组、小紫荆组
碳酸盐岩	石灰岩：泥晶石灰岩	小紫荆组
	白云岩	少量小紫荆组
硅岩	薄层硅岩	少量香楠组、小紫荆组

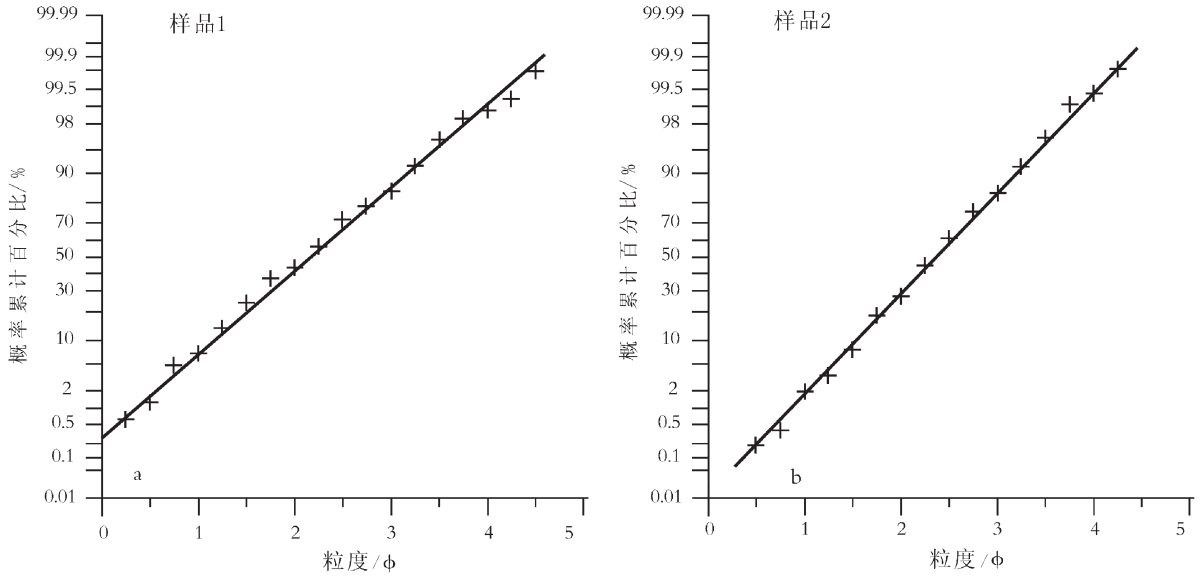


图 3　江华雾江、宁远扎元坪剖面香楠组、茶园头组砂岩粒度概率分布

Fig. 3　Log-probability grain-size distribution of sandstone in Xiangnan Formation along the Wujiang section of Jianghua County and in Chayuantou Formation along the Zhayuanping section of Ningyuan County

2.3　泥(页)岩

泥(页)岩在本区分布范围较为广泛,以炭质泥岩最为常见，部分地区由于发生轻变质作用而形成板岩,本文暂且统一称其为泥(页)岩。泥(页)岩颜色主要为黑色、灰黑色,有机质含量高,有机碳平均值达 8%~10%,最大可达 36.4%,页岩中发育水平层理,岩层中见结核状、星点状的黄铁矿。前人研究发现,页岩中见丰富的磷结核,结核大多为球形、椭球形,长轴 1~2cm,最大可达 7cm[14],结合现代海洋沉积研究成果,磷结核形成于氧最低值的边界附近[14-15]。此外，香楠组底部的炭质页岩中还含 V、Mo、Ni、U、Pt 等多种稀有元素并可形成矿床[11]。页岩样品中铀的地球化学分析结果表明，页岩的 Uau 值大于 12×10^{-6}[16],Uau 值常应用于氧化还原环境的判断,Uau>12×10^{-6} 代表贫氧和缺氧的环境[16-17]。

本区的砂岩一般与泥(页)岩组成韵律性互层,也可称之为复理石韵律(图版Ⅰ-2)。这种韵律性互层中可见 5 种常见的基本层序(图 4)。层序 A 主要为灰—深灰色巨厚、厚层状细粒石英砂岩、长石石英砂岩与粉砂质泥岩、泥(页)岩构成的韵律,由下至上砂岩减少、变薄,具粒序层理,单层厚 10~30cm;粉砂质泥岩具微斜层理;页岩中具水平层理(图 4-A)。层序 B 主要为浅灰色中—厚层石英砂岩、粉砂岩与泥岩组成的韵律层,垂向上呈下粗上细的正粒序,砂岩中见块状层理、粒序层理，砂岩底还见底冲刷构造，粉砂岩中见微斜层理，页岩中水平层理较常见

图版 I Plate I



湖南宁远扎元坪剖面寒武系砂岩和石灰岩

1—杂砂岩,分选较差,次棱角状,杂基支撑,泥质含量达 25%~40%,正交偏光,来自茶园头组, 物镜×25 倍,对角线 0.8mm;2—砂岩与泥岩呈互层状产出,组成复理石韵律,自下而上为变厚变粗层序,来自茶园头组; 3—石灰岩,具有纹层构造,泥质含量较高,来自小紫荆组;4—泥晶石灰岩,见极少量海绵骨针,单偏光,小紫荆组,物镜×4 倍,对角线 1.9mm

(图 4-B)。层序 C 为灰色细粒长石石英砂岩与黑色炭质泥(页)岩互层组成的韵律,页岩中见水平层理(图 4-C)。层序 D 为深灰色中细粒长石石英杂砂岩、细粒石英砂岩、泥岩组成的韵律层,砂岩形态常呈透镜体。岩层多为厚层状,向上一般变薄、变细,泥质岩石很少出现。层序底部砂岩常见块状层理、粒序层理,粒序层由中细粒—细粒—粉砂质(泥质)构成,单个粒序层宽 2~10cm 不等; 并见完整或不完整的鲍马序列,砂岩底部可见似槽模构造、沟模等底模构造。单个韵律层厚薄不一,薄者仅 0.5m 左右,厚者可达 2~3m, 且一般泥岩层相对较薄, 砂岩层较厚(图 4-D)。层序 E 为粉砂岩、泥岩组成的韵律层,粉砂岩通常与泥(页)岩互层或在厚层的泥(页)岩中呈薄层、夹层产出(图 4-E),页岩中可见水平层理。

在地质剖面上虽然可以较明显的区别出以下 5 种层序的类型, 但是各种层序常相互叠加, 频繁交替,形成类型较为复杂的沉积序列。层序 B 由正常事件形成的一类岩石,其与上下岩石在成分、结构、构造方面为渐变过渡关系。结合研究区实际资料,认为层序 A、C、D 主要是浊流沉积作用形成的, 如层序 D,粒级层呈韵律式的重复,是地壳构造作用表现为脉动式的振荡活动的结果, 表明浊积活动频频发生。层序 A 大致相当于鲍马序列 AE 段,层序 D 大致相当于鲍马序列 ABE 段。层序 C、E 则组成砂泥互层的复理石韵律。本区内 AC、ABE、BD 常叠加出现,说明当时沉积环境的不稳定性。为多触发浊流沉积岩相,表现较深水域的静水沉积环境。

2.4 碳酸盐岩

碳酸盐岩在区内主要分布于小紫荆组,以石灰岩为主,均为薄层状,常呈夹层或互层出现。白云岩仅在

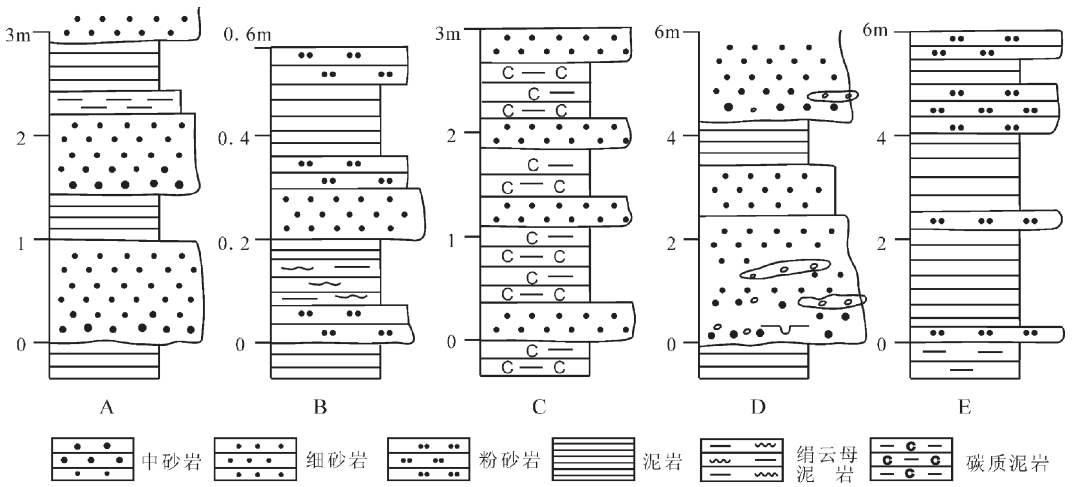


图 4　东南地层区寒武系韵律层中的基本层序示意图

Fig. 4　Sequence schematic diagram of Cambrian rhythmic layers in eastsouthern stratigraphic area

小紫荆组底部极少量出现。石灰岩的常见类型为泥晶石灰岩。泥晶石灰岩颜色一般为深灰至灰黑色,致密块状构造。单层多为薄层状,常见水平层理,部分石灰岩因含有较多泥质而成为含泥灰岩或泥质灰岩(图版Ⅰ-3)。岩石由方解石及少量的陆源泥质或铁质组成,颗粒含量小于 10%,重结晶作用较小(图版Ⅰ-4)。灰岩中含有极少量的生物化石如海绵骨针,生物扰动微弱。泥晶石灰岩常于海水能量较低的环境中出现。

2.5　硅　岩

硅岩主要分布在寒武系香楠组底部,小紫荆组也有局部分布。占地层总厚度的 1%~2%,在地层中主要伴生于页岩中。由于含泥质较多,颜色一般呈灰黑色、黑色,常以薄层状或条带状产出,水平层理发育;其岩性坚硬且脆,节理发育;矿物组成简单,多为石英,含少量粘土、碳酸盐矿物和有机质杂质。本区寒武系香楠组硅岩普遍含有机碳,平均为 1.99%,含放射虫、菌、藻生物,并含少量的凝灰质物质、黄铁矿[18]。前人在对硅岩沉积环境的研究中发现,硅岩的 δCe 值可以作为硅岩沉积环境的判别标准[19-20]。据前人的研究成果,本区硅岩的 δCe 比值为 0.33~0.55[21-22],说明其主要形成于大洋盆地的深海至大陆边缘斜坡的半深海环境。此外,利用 Si 同位素也能证明这一结果。宋天锐[23]指出,从深海→半深海→深浅海环境,$\delta^{30}Si$ 值从 0.16→0.4→1.3 逐步增大。而本区硅岩的 $\delta^{30}Si$ 值介于 0.0‰~0.7‰(0.3~0.5)之间[23],该数据显示了研究区硅岩应属于较深水区域[16,24-25]。

3　古生物特征

区内寒武系化石种类较少且单调,主要有海绵动物、三叶虫、腕足类、微古植物化石(表 3)。对研究区产出的生物化石特征进行分析,有助于研究区内寒武纪各沉积期的沉积环境。

表 3　湘南寒武系化石类型和分布

Table 3　Cambrian fossil types and their distribution in southern Hunan

化石类型	代表化石		分布层位	赋存岩性类型
海绵动物	*Protospongia* sp.(原始海绵)		香楠组、茶园头组、小紫荆组	页岩、粉砂岩、石灰岩
三叶虫	营浮游生活	*Ptychagnostus* sp.(褶纹球接子)	小紫荆组	泥岩、石灰岩
腕足类	*Obolus* sp.(圆货贝),*Lingulella* sp.(舌形贝)		茶园头组	泥岩、石灰岩
微古植物	*Laminarites* sp.(古片藻)		香楠组、茶园头组	砂岩、页岩

海绵动物化石分布较广，在研究区寒武系各层位均有发育。海绵化石门类单调，以硅质海绵为主，常见原始海绵 *Protospongia* sp.，并以零星孤立的骨针保存，亦可见三叶虫和小壳化石伴生。通常生活于较深的海水中，在 200m 深度以下最为丰富。硅质海绵骨针产于深水、缺氧的页岩或硅岩中[26-30]。

区内三叶虫化石主要赋存于泥(页)岩或石灰岩中，大多适应于底栖爬行生活。如莱德利基虫，这类三叶虫常与腕足、头足等动物共生，一般生活于较温暖的浅海。还有一些在远洋中游泳或漂浮生活，本区主要是 *Ptychagnostus* sp.(褶纹球接子)、*Hupeidiscus* sp.(古盘虫)等球接子类及褶颊类，营浮游生活。这类三叶虫不适合海水混浊而动荡的环境[31-32]，多适应于浮游微生物丰富的洁净富氧的环境，且在海水较深、水动力能量较低、正常底栖生物稀少的环境下可大量保存[33-36]。

腕足类化石主要见于荼园头组。腕足类为海相底栖单体生物[26]，以无铰纲为主，包括 *Obolus* sp.(圆货贝)，*Lingulella* sp.(舌形贝)。圆货贝的壳由碳酸钙组成，该属栖居浅海水域。舌形贝表栖锚定在软的泥质基底或缠绕在其它大型生物表面，营假漂浮生活[37]。现代腕足类常与藻类、棘皮类等共生，见于砂底、泥底质上，在低潮带到深海均有分布，而较浅的陆棚区则分布最为广泛[38-39]。无铰腕足类大都生活在潮汐带及水深小于 30m 的滨浅海区，有铰腕足类大都生活在 80~200m 的温带和热带海域。3.5%的正常盐度最适宜于现代腕足类生活，盐度小于 3%，腕足类很难生存。根据将今论古的原则可推测，地史时期的腕足类大多数生活于阳光充足、氧气充分、盐度正常、宁静而清洁、宜于固着的温带和热带浅海。

微古植物化石主要见于香楠组、荼园头组，多为以球藻、次球藻群为主的浮游植物(疑源类)，是以球藻亚群为主的单细胞类，其形态多为球形，其次为纤维状碎片，少数为不规则状，个体均大于 50μm，表面粗糙，有简单至复杂的褶皱，一般具较厚的膜壳。常见的有 *Laminarites* sp.(古片藻)、*Micrhystridium*(小刺藻)等，疑源类化石曾广泛分布在寒武纪海洋中，营表层水浮游生活[40-41]。

4 沉积环境和演化分析

4.1 香楠组的沉积环境

寒武系香楠组主要见于研究区永州市江华县等地。本组下部主要为浅灰色中—厚层状石英砂岩、长石石英砂岩、中层状粉砂岩及薄层状泥岩、炭质泥岩组成的韵律，以板岩为主，夹含炭质层、含硅质层，即基本层序 A、C、E(图 4)，垂向上呈下粗上细的正韵律；泥质粉砂岩中见少量微斜层理、透镜状层理，页岩中水平层理则较发育，页岩底部常见石煤层，并含磷结核和黄铁矿；地层中含海绵骨针化石，表明其沉积环境为水体平静、还原的盆地环境。中部主要以含厚层—块状砂岩为特征，为由砂岩、泥岩组成的韵律性互层，砂岩粒度较下段变粗，单层变厚；砂岩中可见块状层理、粒序层理、同生炭质泥砾等沉积构造，有的砂岩底部具水下冲蚀印痕，局部见不完整的鲍

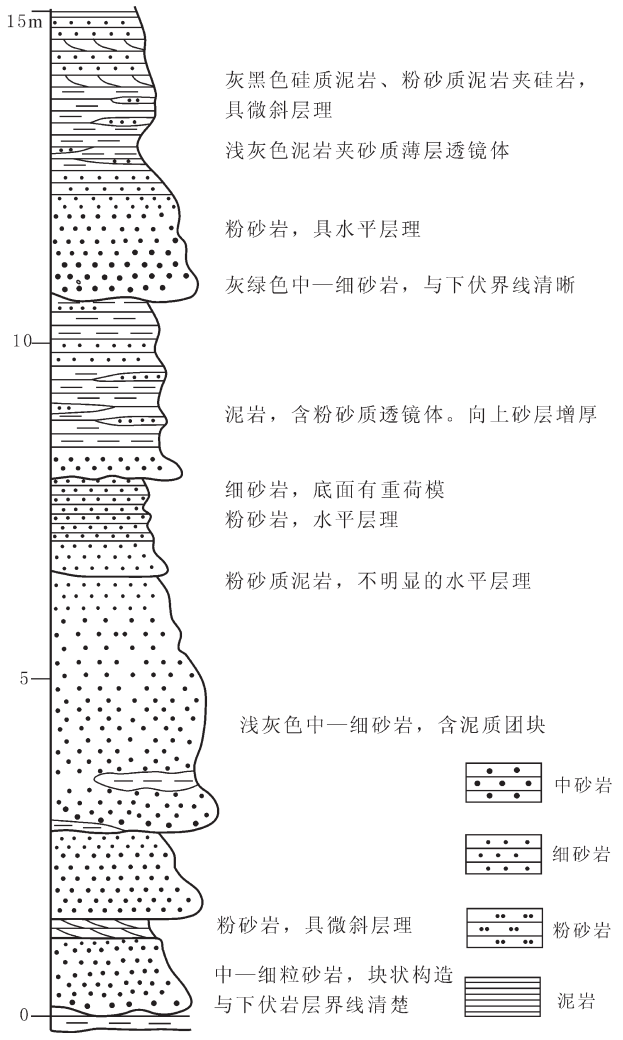


图 5 江华雾江剖面香楠组上部垂向沉积序列示意图

Fig. 5 Vertical sedimentary sequences schematic diagram of Upper Xiangnan Formation along the Wujiang section of Jianghua County

马序列;其沉积环境可能为盆地边缘—斜坡环境。上部主要由浅灰、灰色中层状细粒长石石英杂砂岩、灰色薄—中层状粉砂质泥岩组成，上部底夹有 1 层薄层深灰色含炭硅质泥岩,即基本层序 A、C,向上粒度变细,单体厚度减薄,泥岩组分居多(图 5);砂岩中发育粒序层理,页岩中水平层理较常见,产腕足类及海绵骨针;炭质板岩中含黄铁矿,呈透镜状顺层分布,属于水体较深、平静、还原的盆地边缘环境。故本组沉积时期经历了由盆地边缘—盆地—斜坡—盆地边缘的沉积演化过程。

4.2　茶园头组的沉积环境

本组主要分布于湘南区江华、新宁等地。下部主要为厚层状浅变质中—细粒石英砂岩、长石石英砂岩与黑色薄层状泥(页)岩组成的韵律性互层,即主要是基本层序 A、D 组成的韵律旋回。相对香楠组来说,本组所含炭层相对减少。砂岩里见块状层理、粒序层理,粉砂质泥岩中见微斜层理,黑色薄层页岩中见水平层理，反映该段应属于距陆较远的次深海沉积环境。上部主要沉积了由浅灰色中—厚层状中粗粒石英杂砂岩、细粒长石石英砂岩、粉砂岩、灰色薄层状绢云泥板岩、炭质泥岩组成的韵律,垂向上呈正韵律,即基本层序 B、D、E。砂岩具块状层理、粒序层理,并含黑色炭泥质同生角砾,粉砂质泥岩中见小型微斜层理,页岩中常发育水平层理。指向矿物为黄铁矿。地层中所含生物化石稀少单调，主要为海绵骨针、以无铰纲为主的腕足类及少量微古植物化石。上述特征表明本组应属斜坡—盆地沉积。

4.3　小紫荆组的沉积环境

本组主要分布于湘南区江永—郴县—桂东一线以北地区。下部主要以含泥砂质碎屑沉积为特征,由一套灰黑色中—厚层状中细粒长石石英砂岩、灰色薄层粉砂岩、薄—中层绢云母泥板岩组成的韵律旋回,即层序 A、B、E,由下至上粒度变细,层厚变薄,呈下粗上细的正韵律;厚层状砂岩中发育粒序层理,页岩、硅质页岩中见水平层理和条纹、条带构造,可见鲍马序列 ad 段。因此,本组上部应属斜坡环境。本组中部沉积了一套薄—厚层细粒长石石英砂岩、粉砂岩及粉砂质泥岩组成的韵律,偶夹炭质泥岩;炭质页岩中发育水平层理和条纹、条带构造,常见粉砂岩呈透镜状,与薄层状绢云母泥板岩组成基本层序,即基本层序 B、E,显示本组中部应属盆地沉积环境。上部主要由基本层序 A、B、E 组成韵律,垂向上呈下粗上细的正韵律,以泥砂质碎屑沉积为特征,顶部夹透镜状泥晶石灰岩,碳酸盐岩及其透镜体不稳定,由西向东呈现减少趋势。砂岩中见粒序层、微斜层理,页岩具水平层理和条纹条带状构造等，可见不完整的鲍马序列,且含少量营底栖生活的三叶虫化石[10-11]。表明本组下部应属斜坡—深水陆棚环境。综合以上分析得知，本组经历了从斜坡—盆地—斜坡—深水陆棚的沉积演化过程。

综上所述，结合湘南区寒武系香楠组、茶园头组、小紫荆组的特征,其沉积演化特征可用图 6 概括示意。

4.4　沉积演化历史

早寒武世晋宁期继承了晚震旦世的海侵[42-43],海平面快速升高,主要发育炭质泥岩,局部含少量细粒石英砂岩，至梅树村—南皋期主要发育了一套厚层状细粒石英砂岩、长石石英砂岩夹泥岩、炭质泥岩或与之互层,构成下细上粗的沉积结构,反映海水渐浅的过程。

黔东世都匀期主要发育厚层状细砂岩，底部出现同生角砾,砂岩粒度由下至上逐渐变细,反映一个海进过程。至武陵世台江期形成了一套厚层—块状细粒石英砂岩夹泥岩,往上泥岩增多,并具纹层状,代表到达最大海泛面的位置，王村期泥岩过渡到中细粒、细粒石英砂岩,反映一个海退的过程。相对于滇东世，本时期对应的海平面变化幅度较大，由远洋—半远洋生物化学沉积逐渐变化为近源高密度的浊流沉积[33];武陵世古丈期,沉积的岩性从薄层泥灰岩到厚层状细粒石英砂岩,海平面上升。至芙蓉世排碧—桃源期黑色泥岩到达最大海泛面的位置，往上海水变浅,形成由细粒石英砂岩、泥岩组成的不等厚韵律,夹不稳定的灰岩,构成一个海退过程。武陵世古丈期海平面上升较快，至排碧—牛车河期则呈现缓慢下降的趋势。晚寒武世海平面变化幅度相对较小,主要以海水的振荡为主[44-45]。

总地来说，研究区寒武纪发生了 3 次较大规模的海侵、海进旋回。第一次始于滇东世晋宁期,结束于黔东世南皋期;第二次始于黔东世都匀期,结束于武陵世王村期;第三次始于武陵世古丈期,结束于芙蓉世牛车河期。

5　盆地演化过程中的沉积响应

在早、中元古代变质岩系和可能更古老的结晶

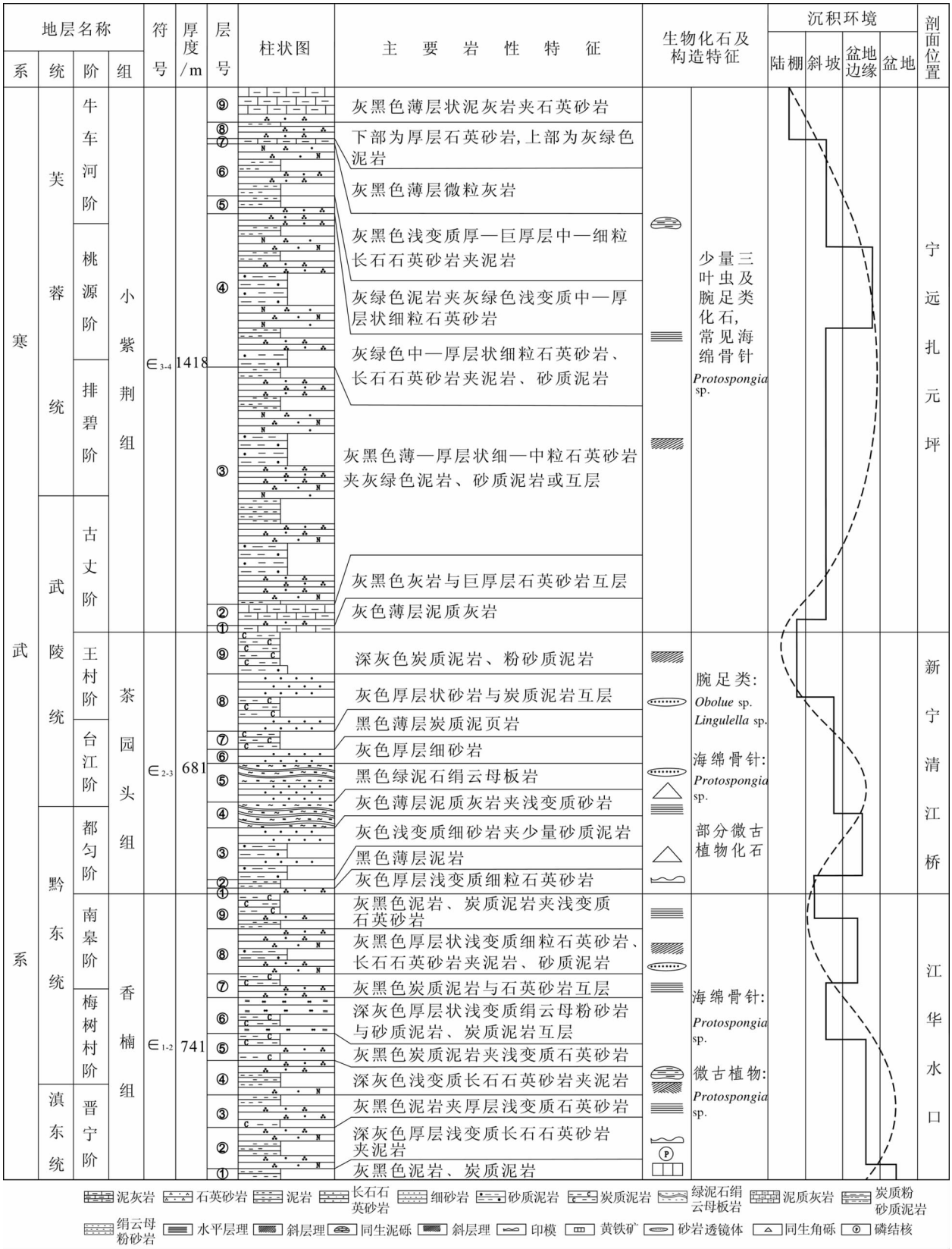
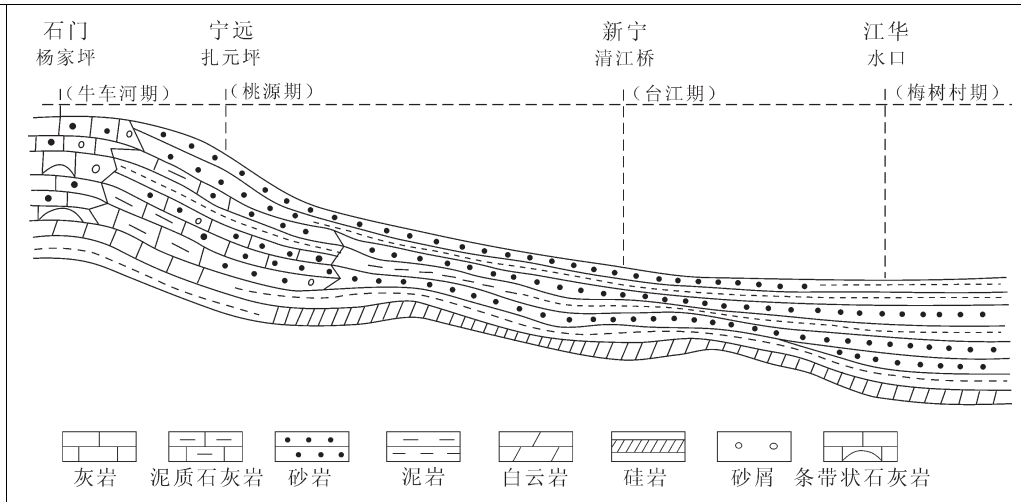


图 6 湘南寒武系岩石特征及其沉积环境分析综合柱状图

Fig. 6 Composite columnar section of Cambrian rock characteristics and sedimentary environment in southern Hunan



相带	浅海陆棚	斜坡	盆地边缘	盆地
岩性	白云岩、条带状石灰岩、砂岩、泥岩	泥质石灰岩、炭质页岩、砂岩	炭质泥岩、泥质石灰岩、硅岩、砂岩	炭质泥岩、硅质泥岩、硅岩、砂岩
颜色	灰色	灰色、深灰色	深灰、灰黑色	黑色、灰黑色
层理厚度	中层	中—厚层	薄—中层	薄—中层
生物	主要为微古植物化石和(疑源类)三叶虫	主要为海绵骨针、球接子类三叶虫、腕足类	海绵骨针、球接子类三叶虫、多节类三叶虫	常见海绵骨针 *Protospongia* sp.

图 7　湘南寒武系沉积模式

Fig. 7　Cambrian sedimentary model of southern Hunan

基底的基础上，加里东海盆经裂解沉陷形成陆间裂陷海盆。盆地的基底性质应属过渡地壳[46]。晚震旦世至黔东世梅树村期为拉张裂谷阶段，形成了以充填为主的碎屑岩和非补偿型磷酸盐黑色页岩沉积层序[47]。滇东世晋宁期和梅树村期早期,南方大陆的拉张活动达到顶峰,使海平面快速上升,海底形成缺氧环境，表现为香楠组底部黑色页岩覆盖在扬子板块的克拉通上。晋宁期受强烈的地壳构造作用影响,海底间歇做脉动式振荡活动,沉积了含磷矿结核、黄铁矿的硅质岩,浊积物与炭硅质物重叠堆积,形成一个较稳定的被动边缘沉积盆地。盆地的部分水体受周围高地的限制,产生半封闭的沉积环境,营浮游生活的海绵动物群、藻类等低等动物群得以大量繁殖。至南皋期末,中国广大地区地壳总体呈上升的趋势。

中晚寒武世至早奥陶世为热下沉阶段，形成了被动大陆边缘以碳酸盐岩为主的沉积层序[10,47]。黔东世都匀期初期继承了南皋末期的特点，为被动边缘沉积盆地,但盆地范围相对缩小。由于浊流活动频繁,海水含盐度、温度和氧化条件常发生变化,附着力强的浮游生物无铰纲腕足类在本区得以大量埋藏。武陵世古丈期,沉积了厚逾 1000m 的碎屑沉积物,并同样产无铰纲腕足类和海绵骨针化石,说明本区仍属盆地边缘沉积;至芙蓉世牛车河期,由于海底逐渐上隆,海盆缩小,扬子陆块东南边缘为斜坡至深海盆地相的超密度碳酸盐灰泥浊流沉积物[47]。此时已由盆地边缘演变为斜坡环境。其沉积模式见图 7。

6　结　论

(1)湖南寒武系岩石类型多样,主要为砂岩、泥岩,次为石灰岩,硅岩较少。砂岩可进一步划分为石英砂岩、杂砂岩等。砂岩与泥(页)岩构成了典型的复理石韵律特征,应属深海浊流沉积的产物。这些砂泥岩互层可能形成于水体较深的被动大陆边缘环境。

(2)研究区寒武系沉积环境主要发育有陆棚、斜坡、盆地边缘、盆地等。

(3)本区寒武系曾发生过 3 次较大规模的海进,

分别对应于滇东世早期、黔东世晚期和武陵世晚期，从而构成了 3 次海进—海退的旋回过程。

致谢：中国地质科学院地质研究所刘训、李向东、郑宁和湖南省地矿局谭正修一起参加了野外考察，并对文稿提出了诸多宝贵的修改意见，在此致以诚挚的感谢。

参考文献

[1]李聪,陈世悦,张鹏飞,等.华南加里东期陆内构造属性探讨[J].中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(5):18−24.

[2]吴朝东,杨承运,陈其英.湘西黑色岩系地球化学特征和成因意义[J].岩石矿物学杂志,1999,18(1):26−39.

[3]雷加锦,李任伟,曹杰.上扬子区早寒武世黑色页岩磷结核特征及生化淀磷机制[J].地质科学,2000,35(3):277−287.

[4]Mao Jingwen, Lehmann B, Du Andao ,et a1.Re−Os Dating of Polymetallic Ni−Mo−PGE−Au Mineralization in Lower Cambrian Black Shales of South China and its Geologic Significance[J].Economic Geology, 2002,17:1051−1061.

[5]陈兰.湘黔地区早寒武世黑色岩系沉积学及地球化学研究[D].中国科学院研究生院(地球化学研究所)博士学位论文,2006:38−50.

[6]唐朝勇.湖南省构造地层地体的划分及其与有色多金属成矿的关系[J].地质与勘探,2007,43 (2):14−18.

[7]周小进,杨帆.中国南方新元古代—早古生代构造演化与盆地原型分析[J].石油实验地质,2007,29(5):446−451.

[8]王幼惠,郭成贤.宜昌地区下寒武统沉积环境分析[J].江汉石油学院学报,1991,13(3):19−22.

[9]游先军,戴塔根.湘西北黑色岩系中的镍钼矿床及其贵金属矿化特征[J].地质找矿论丛,2009,24(1):18−22.

[10]湖南省地质矿产局.湖南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1988:41−61.

[11]湖南省地质矿产局.湖南省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:62−80.

[12]柏道远,周亮.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.

[13]李方林,陈德兴.湘南地区沉积构造环境的地球化学探讨[J].地球科学,1997,22(1):65−68.

[14]郭成贤,朱忠德. 湘西北杨家坪寒武纪事件[J].沉积地质与资源,1999,20(1):39−45.

[15]马莉燕,林丽.湖南天门山牛蹄塘组底部沉积环境分析[J].成都理工大学学报(自然科学版),2010,37(3):249−255.

[16]林治家,陈多福,刘羊.海相沉积氧化还原环境的地球化学识别指标[J] .矿物岩石地球化学通报,2008,27(1):72−80.

[17]冯增昭,彭永民,金振奎,等.中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M].北京:地质出版社,2001:59−129.

[18]黄燕,林丽.湘西北张家界地区早寒武世牛蹄塘组黑色岩系镍钼矿层生物标志物的特征[J].地质通报,2011,30(1):126−133.

[19]冯彩霞,刘家军.硅岩的研究现状及其成矿意义[J].世界地质,2001,20(2):119−123.

[20]Murray R W. Rare earth element as indicators of different marine depositional environments in chert and shale[J]. Geology,1990,18:268−271.

[21]李胜荣,高振敏.华南下寒武统黑色岩系中的热水成因硅质岩[J].矿物学报,1996,16(4):416−422.

[22]彭军,徐望国. 湘西上震旦统层状硅质岩沉积环境的地球化学标志研究[J].地球化学,2001,30(3):293−298.

[23]宋天锐,丁悌平.硅质岩中的硅同位素(δ^{30}Si)应用于沉积相分析的新尝试[J].科学通报,1989,(18):1408−1411.

[24]曾允孚.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1986 : 219−240.

[25]江永宏,李胜荣.湘、黔地区前寒武—寒武纪过渡时期硅岩生成环境研究[J].地学前缘,2005,12(4):622−629.

[26]何心一,徐贵荣.古生物学教程[M].北京:地质出版社,1987: 1−440.

[27]杨兴莲,赵元龙.贵州遵义下寒武统牛蹄塘组生物群中的海绵化石[J].贵州工业大学学报(自然科学版),2009,29(6):30−35.

[28]Wu Wen, Ai −hua Yang, Dorte Janussen, et al. Hexactinellid sponges from the Early Cambrian black shale of South Anhui ,China[J]. Journal of Paleontology, 2005,79(6): 1043−1051.

[29]Xing−Lian Yang, Yuan−Long Zhao, Mao−Yan Zhu, et al. New Sponges from the Lower Cambrian of Guizhou[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2005,44(3):454−463.

[30]杨瑞东,钱逸,张杰,等.贵州织金早寒武世戈仲伍组磷块岩中海绵骨针[J].自然科学进展,2004,14(8):898−903.

[31]杨爱华,朱茂炎.扬子地台早寒武世古盘虫类的地层分布及其古地理控制[J].古地理学报,2005,7(2):219−232.

[32]杨彦均,魏绪寿.湖南省石门县杨家坪上前寒武系剖面研究[J].湖南地质,1984,3(4):1−94.

[33]许仲威,陆刚,潘艺文,等.桂西四城岭地区寒武系的地层特征[J].城市建设,2009,(31):53−61.

[34]李荣森,陆刚.四城岭地区上寒武统生物化石的新发现及意义[J].南方国土资源,2010,(3):31−34.

[35]肖传桃,朱忠德.湖南石门杨家坪早寒武世三叶虫动物群[J].石油与天然气地质,1993,14(4):297−302.

[36]Palmer A R. East−Gondwana/Laurentia trilobite connections—what do they tell us?[J].Geosciences Journal, 2005,9(2):75−79.

[37]张振晗.贵州寒武系都匀阶、台江阶腕足类化石及生态初步研究[D]. 贵州大学硕士学位论文,2006.

[38]Steiner, Michael, Zhu Mao−Yan, et al. The Lower Cambrian in eastern Yunnan: trilobite−based biostratigraphy and related faunas[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2001,40(sup.):63−79.

[39]郭俊峰.湖北宜昌早寒武世岩家河生物群研究[D]. 西北大学硕士学位论文,2009: 24−87.

[40]尹凤娟,薛祥煦.早寒武世疑源类的古生物地理学意义[J].西北大学学报(自然科学版),2002,32(2):177−180.

[41]尹磊明.论我国新元古代微体浮游植物化石及其生物地层意义[J].古生物学报,1999,38(2):1−17.

[42]黄革非,侯茂松.湘南早古生代层序地层及海平面变化研究[J] .湖南地质,1996,15(2):71−74.

[43]李忠雄,陆永潮,王剑,等.中扬子地区晚震旦世—早寒武世沉积特征及岩相古地理[J].古地理学报,2004,6(2):151−162.

[44]马永生,陈洪德,王国力,等.中国南方层序地层与古地理[M].北京:科学出版社,2009.

[45]梅冥相,张海,孟晓庆,等.上扬子区下寒武统的层序地层划分和层序地层格架的建立[J].中国地质,2006,33(6):1292−1304.

[46]段太忠,曾允孚. 根据沉积历史分析华南古大陆边缘的构造演化[J].石油与天然气地质,1988,9(4):410−420.

[47]尹福光,许效松. 华南地区加里东期前陆盆地演化过程中的沉积响应[J].地球学报,2001,22(5):425−428.

① 湖南省地质调查院.《湖南省区域地质志》修编成果报告.2012.