



论文

华南奥陶-志留系龙马溪组黑色笔石页岩的
生物地层学樊隽轩^{①*}, Michael J. MELCHIN^②, 陈旭^①, 王恽^①, 张元动^①, 陈清^①,
迟昭利^{①③}, 陈峰^①

① 中国科学院南京地质古生物研究所, 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京 210008;

② Department of Earth Sciences, St. Francis Xavier University, Antigonish, Nova Scotia B2G 2W5, Canada;

③ 中石化国际石油勘探开发公司阿尔及利亚分公司, 东营 257000

* E-mail: fanjunxuan@gmail.com

收稿日期: 2010-11-25; 接受日期: 2011-04-20

中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-EW-111)、国家科技重大专项(编号: 2008ZX05005-001-007HZ)和国家自然科学基金(批准号: 40839910 和 40772002)资助

摘要 基于湖北 7 条奥陶-志留系界线剖面的野外和室内工作, 并参考邻近地区的剖面资料, 详细讨论了这一地区龙马溪组黑色笔石页岩的顶、底界线, 并对其时空分布进行了深入研究. 扬子区龙马溪组黑色笔石页岩跨越了奥陶系-志留系的界线, 从奥陶系赫南特阶顶部的 *Normalograptus persculptus* 带至志留系特列奇阶最底部的 *Spirograptus guerichi* 带, 共包含 10 个笔石带. 扬子区龙马溪组黑色笔石页岩的顶、底界线都是穿时的, 其底界从 *N. persculptus* 带至 *Coronograptus cyphus* 带, 共穿越了 2 个阶的 5 个笔石带; 其顶界从 *Demirastrites pectinatus*-*Monograptus argenteus* 带到 *Spirograptus guerichi* 带, 共穿越了 2 个阶的 4 个笔石带. 受宜昌上升的影响, 在湖北、湖南、重庆交界地区有一湘鄂水下高地. 这一水下高地在赫南特期至鲁丹早期甚至更晚时间存在沉积缺失现象. 通过对比晚奥陶世赫南特期和志留纪鲁丹早期该地区黑色笔石页岩的分布范围可以发现, 从赫南特期至鲁丹早期, 湘鄂水下隆起的影响范围逐渐收缩, 这与赫南特冰期之后的全球冰川消融和海平面上升是一致的.

关键词华南
奥陶系-志留系
龙马溪组
黑色笔石页岩
烃源岩

志留纪兰多维列世地层在华南分布广泛(图 1). 其下部地层在中、上扬子区被称为龙马溪组, 在下扬子区与之相当的地层被称高家边组. 它们的下部均为黑色笔石页岩. 龙马溪组下部的黑色笔石页岩富含有机质, 是重要的烃源岩, 因此其时空分布对扬子区油气资源的勘探至关重要. 2007 年春、秋, 笔者及同事在湖北、湖南、四川等地开展了一系列野外工作,

特别是详细踏勘了这一地区龙马溪组黑色笔石页岩的顶、底界线, 本文即基于这些新近的工作进展而成.

龙马溪组一名源自 Lee 和 Chao^[2]对长江三峡地质研究. 他们将新滩统(Sintan Series)下部 32 m 厚、富含笔石的地层命名为龙马页岩(Lungma Shale), 包括了当时划分的下志留统下部的部分地层. 随后, Hsieh 和 Chao^[3]在研究湖北宜昌罗惹坪的志留系时,

英文引用格式: Fan J X, Melchin M J, Chen X, et al. Biostratigraphy and geography of the Ordovician-Silurian Lungmachi black shales in South China. Sci China Earth Sci, 2011, 54: 1854-1863, doi: 10.1007/s11430-011-4301-3

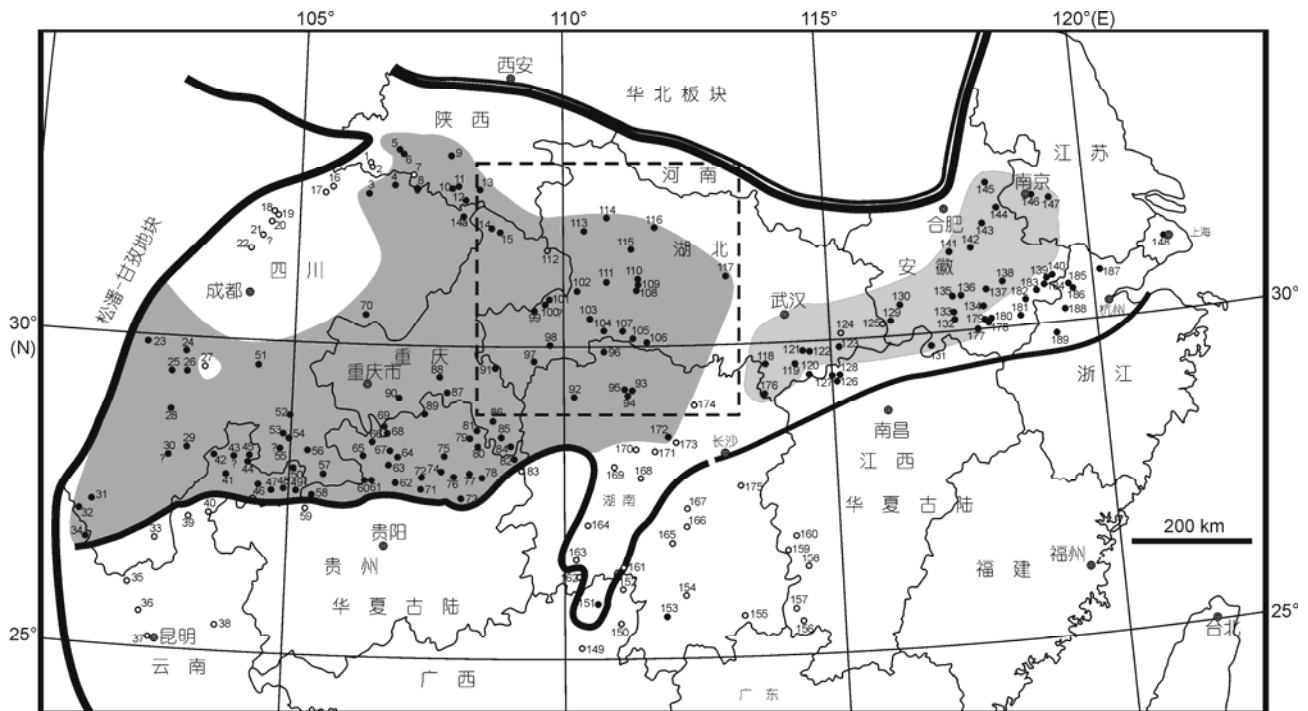


图 1 华南奥陶系-志留系界线附近龙马溪组黑色笔石页岩剖面点的分布

据 Chen 等^[1]修改. 实心点代表发育兰多维列统笔石页岩地层的剖面; 空心点代表未发育兰多维列统笔石地层的剖面; 深灰色阴影区代表龙马溪组黑色笔石页岩沉积的范围; 浅灰色阴影区代表龙马溪组在下扬子区的同期地层-高家边组黑色笔石页岩沉积的范围; 粗实线指示扬子区的边界; 细实线代表省界; 虚线框代表本文的研究地区

认为剖面底部厚 7 m, 富含笔石的黑色页岩与龙马页岩相当(事实上, 该段地层很可能仅相当于龙马页岩下部的一部分). 由于 Lungma 一词早为 Hayden 用于西藏侏罗纪地层中, 尹赞勋^[4]在征询李四光的意见后, 建议改用龙马溪(Lungmachi)页岩.

1 研究剖面与材料

2007 年春秋之际, 为了了解华南龙马溪组黑色笔石页岩的时空分布, 笔者及同事先后勘察了湖北竹山老码头、神农架清泉、巴东思阳桥、宣恩高罗、来凤三堡岭、恩施太阳河、京山道子庙等多个剖面, 并采集了大量的笔石标本. 这几个剖面的生物分带概述如下.

1.1 湖北竹山老码头

该剖面位于竹山县城南偏西 24° 的 40 km 处(直线距离, 下同), 即柳林乡老码头村西北口的公路边(31°52'19.5"N, 110°03'33.5"E), 自东南向西北出露了

自奥陶系分乡组至志留系龙马溪组的地层序列. 剖面发育受构造影响较大, 五峰组以及龙马溪组底部的黑色笔石页岩层理不清楚、岩石破碎. 但我们仍在龙马溪组近底部采集到一层笔石 (AFU83), 含 *Cystograptus vesiculosus* (Nicholson), *Paraclimacograptus innotatus* (Nicholson) 和 *Normalograptus rectangularis* (M'Coy) 等, 属于 *Cystograptus vesiculosus* 带. 在龙马溪组黑色笔石页岩顶部采集到一层笔石 (AFU84), 其中产笔石 *Spirograptus guerichi* Loydell, Štorch et Melchin, *Torquigraptus valens* (Přibyl et Münch), *Petalolithus fusiformis* Chen et Lin 等, 属于特列奇阶最底部的 *Spirograptus guerichi* 笔石带, 表明该剖面龙马溪组黑色笔石页岩的最高层位不超过 *Spirograptus guerichi* 笔石带. 该笔石带之前尚未在扬子区被报道, 其层位和对比参见后文.

1.2 湖北神农架林区(松柏镇)清泉村

剖面位于松柏镇东 10 km 的清泉村公路边(31°44'37"N, 110°45'4.9"E). 该地龙马溪组下部的黑

色笔石页岩与上部的土黄色、灰绿色页岩、泥岩为过渡沉积。在土黄色、灰绿色页岩、泥岩底部夹少量黑色笔石页岩薄层, 其中产 (AFU532) *Spirograptus guerichi*, *Streptograptus barrandei* (Suess), *Monograptus marri* Perner, *Torquigraptus decipiens* (Törnquist), *Torquigraptus proteus* (Barrande), *Glyptograptus* ex gr. *tamariscus* (Nicholson) 等, 属于特列奇阶最底部的 *Spirograptus guerichi* 带。之下的黑色笔石页岩的最高层位为 *Stimulograptus sedgwickii* 带。该剖面未见上奥陶统观音桥层; 龙马溪组底部未见 *Akidograptus ascensus* 带的带化石或特征分子, 目前仅采得 *Parakidograptus acuminatus* (Nicholson), 指示了志留系鲁丹阶的第二个笔石带-*P. acuminatus* 带的存在。

1.3 湖北巴东思阳桥

剖面位于巴东县城正南 23.5 km 处的思阳桥村 (30°50'8"N, 110°19'29.7"E), 出露了奥陶系宝塔组、临湘组、五峰组和志留系龙马溪组。该剖面龙马溪组底部的露头较差, 风化后呈灰白色。根据葛治洲等^[5]的资料, 此处龙马溪组底部产 *Akidograptus* sp., 由于 *Akidograptus* 的部分种可上延至 *Parakidograptus acuminatus* 带, 因此在没有更多化石记录的情况下, 仅可暂时将之归入有疑问的 *Akidograptus ascensus* 带。黑色笔石页岩的顶部 (AFU90) 产丰富的笔石, 包括 *Stimulograptus sedgwickii* (Portlock), *Torquigraptus decipiens*, *Campograptus obtusus* (Rickards), *Normalograptus scalaris* (Hisinger) 和 *Pseudoretiolites perlatus* (Nicholson) 等, 属于 *Stimulograptus sedgwickii* 带。之上为龙马溪组上段的青灰色和土黄色页岩、砂质页岩, 未采集化石。

1.4 湖北宣恩高罗

剖面位于恩施自治州宣恩县城南偏东 8°33 km 处的高罗乡西北公路边 (29°43'26.9"N, 109°29'41.8"E)。剖面沿公路展布, 出露了奥陶系南津关组、分乡组、红花园组、紫台组、宝塔组、五峰组以及志留系龙马溪组等。该剖面五峰组顶部至龙马溪组底部地层被流水淋滤, 很难采集。根据葛治洲等^[6]的资料, 高罗乡东南的卡门至穿心店剖面龙马溪组底部产 *Cystograptus vesiculosus*, 因此该地至少发育 *Cystograptus vesiculosus* 带地层。龙马溪组上部发育较好, 风化后呈土黄色-灰白色。最顶部的采集层位

为 AFU180, 产笔石 *Stimulograptus* cf. *sedgwickii* (Portlock), *Monoclimacis crenularis* (Lapworth), *Campograptus* ex gr. *communis* (Lapworth), *Petalolithus palmeus clavatus* (Bouček et Přibyl), *Rastrites pheloides* 等。其中, *Stimulograptus* cf. *sedgwickii* 仅有一个断枝, 且未保存笔石体的始端。该标本与巴东思阳桥 AFU90 层位的大量 *Stimulograptus sedgwickii* 标本在度量数据上非常相似, 但未发育胞管口刺。由于与之共生的其他笔石主要见于 *Lituigraptus convolutus* 带, 因此我们将 AFU180 归入 *Lituigraptus convolutus* 带上部。

AFU180 之下 17.5 m 处采集了一层笔石 (AFU179), 包括 *Lituigraptus convolutes*, *Cephalograptus tubulariformis* (Nicholson), *Cephalograptus cometa cometa* (Geinitz), *Pseudorthograptus inopinatus* (Bouček), *Petalolithus intermedius* 和 *Rastrites pheloides* 等, 为典型的 *Lituigraptus convolutus* 带动物群。

1.5 湖北来凤三堡岭

在高罗乡西南 22 km 的来凤县三湖乡三堡岭村发育很好的奥陶-志留系界线地层 (29°35'55.3"N, 109°18'45.6"E)。五峰组黑色笔石页岩顶部为 *D. complexus* 带, 假整合于其上的为龙马溪组黑色笔石页岩。龙马溪组距底 25 cm 处产 *Parakidograptus acuminatus*, 指示了该地区志留系底部 *P. acuminatus* 带的存在。因此该剖面缺失了上奥陶统凯迪阶 *Paraorthograptus pacificus* 带至志留系兰多维列统鲁丹阶 *A. ascensus* 带共 4 个笔石带。

1.6 湖北恩施太阳河

剖面位于恩施自治州太阳河乡东南 4 km 的公路边 (30°34'7.3"N, 109°32'53.2"E)。剖面沿公路展布, 自下而上发育了奥陶系宝塔组、临湘组、五峰组和志留系龙马溪组。五峰组黑色笔石页岩的顶部产笔石 *Dicellograptus ornatus* Elles et Wood, *Dicellograptus minor* Toghil, *Appendispinograptus supernus* (Elles et Wood), *Amplexograptus latus* (Elles et Wood), *Pararetiograptus regularis* Mu, *Rectograptus abbreviatus* (Elles et Wood), *Paraorthograptus brevispinus* Mu et Li 等。由于 *Paraorthograptus brevispinus* 一种的出现, 因此相当于 *Paraorthograptus pacificus* 带。假整合于其上的志留系龙马溪组黑色笔石页岩可识

别出 *Coronograptus cyphus* 带和 *Demirastrites triangulatus* 带. 其上部地层的露头缺失, 出露的最高层位(AFU138)产 *Agetograptus cf. spiniferus* Obut et Sobolevskaya, *Pseudorthograptus iropinatus*, *Pseudoretiolites perlatus* (Nicholson), *Agetograptus primus* (Obut et Sobolevskaya), *Rastrites approximatus* Perner, *Coronograptus gregarius* (Lapworth)等, 可能相当于埃隆阶的 *Demirastrites pectinatus*-*Monograptus argenteus* 带, 但未见带化石. 根据葛治洲等^[6]的资料, 此处最高层位可达 *Stimulograptus sedgwickii* 带. 因此, 该地五峰组和龙马溪组之间的假整合导致了上奥陶统赫南特阶 *N. extraordinarius* 带至志留系兰多维列统鲁丹阶 *Cystograptus vesiculosus* 带共 6 个笔石带的层缺失.

1.7 湖北京山道子庙

剖面位于荆门市京山县城西南 3 km 的新市镇道子庙的公路边(30°59'54.5"N, 113°06'20.9"E). 剖面沿公路分布, 下段出露上奥陶统宝塔组、临湘组、五峰组的连续露头, 假整合于其上的是志留系龙马溪组下段的黑色笔石页岩, 再上沿公路边断续出露龙马溪组的黑色笔石页岩, 最高层位为 *Lituigraptus convolutus* 带(AFU66), 产笔石 *Pseudoglyptograptus n. sp. sensu* Melchin (1989)^[7], *Lagarograptus inexpeditus* (Obut et Sobolevskaya)和 *Lituigraptus richteri* (Perner)等. 五峰组顶部为 *Paraorthograptus pacificus* 带的 *Diceratograptus mirus* 亚带(AFT102), 产丰富的奥陶纪 DDO (*Dicranograptidae*-*Diplograptidae*-*Orthograptidae*^[8])动物群分子, 如 *Diceratograptus mirus* Mu, *Appendispinograptus supernus*, *Dicellograptus ornatus*, *Anticostia uniformis* (Mu et Lin), *Amplexograptus latus*, *Climacograptus hastatus* T. S. Hall 等. 龙马溪组底部(AFT103-104)笔石保存不佳, 见 *Normalograptus mirnyensis* (Obut et Sobolevskaya), *N. avitus* (Davies)等奥陶-志留系界线上下常见分子. 之上的 AFT105 层位产笔石 *Normalograptus bicaudatus* (Chen et Lin)和 *N. rhizinus* (Li et Yang)等, 再上 AFT105A 和 AFT106 层位均产笔石 *A. ascensus*. 由于 *Normalograptus bicaudatus* (Chen et Lin)首现于 *A. ascensus* 带, 因此, AFT105 指示了 *A. ascensus* 带的底界, 亦即志留系的底界. 而 *N. mirnyensis* 和 *N. avitus* 两种首现于 *N. persculptus* 带, AFT102-104 层位可能相当于

N. persculptus 带. 因此, 该剖面仅缺失相当于奥陶系 *N. extraordinarius* 带的五峰组黑色笔石页岩顶部地层, 龙马溪组黑色笔石页岩的底部地层基本完整.

2 笔石分带

基于上述剖面以及之前已发表的资料, 我们确认, 龙马溪组的黑色笔石页岩在这一地区跨越了从奥陶系顶部至志留系兰多维列统的 10 个笔石带(表 1), 包括赫南特阶(Hirnantian)上部的 1 个笔石带、鲁丹阶(Rhuddanian)的 4 个笔石带、埃隆阶(Aeronian)的 4 个笔石带以及特列奇阶(Telychian)最底部的 1 个笔石带. 这一笔石分带与研究区及邻近地区的前人工作^[9-12]可以很好地对比(表 1).

2.1 奥陶系赫南特阶

在扬子区的多条连续剖面上, 龙马溪组黑色笔石页岩整合覆盖于富含赫南特贝动物群(*Hirnantia fauna*)的观音桥层泥质灰岩之上^[13,14]. 其中, 龙马溪组黑色笔石页岩的底部为 *Normalograptus persculptus* 带, 如湖北宜昌王家湾(图 1, 剖面点 110)、分乡(图 1, 剖面点 109)、贵州仁怀石场(图 1, 剖面点 61)等剖面. *N. persculptus* 带的特征分子包括 *N. persculptus*, *N. avitus*, *N. minor* 和 *Neodiplograptus shanchongensis* 等^[15]. 少数躲过了奥陶纪末大灭绝第一幕(亦即主幕)的奥陶纪特有的 DDO 笔石动物群的孑遗分子, 如 *Paraorthograptus pacificus*, *Amplexograptus latus* 等, 或可出现于这一层位中, 但无论丰度或分异度都很低^[16,17].

2.2 志留系兰多维列统鲁丹阶

鲁丹阶包括四个笔石带, 自下而上分别是 *Akidograptus ascensus* 带、*Parakidograptus acuminatus* 带、*Cystograptus vesiculosus* 带以及 *Coronograptus cyphus* 带. 其中, 前两个笔石带广泛分布于扬子地台上^[14]. 本文采用的鲁丹阶的笔石分带与 Mu 等^[18]分带意见的主要区别在于, *N. persculptus* 带被作为奥陶系最顶部的笔石带, 而非志留系. 此外, *N. persculptus* 带之上的 *P. acuminatus* 带被一分为二, 即下部的 *Akidograptus ascensus* 带和上部的 *P. acuminatus* 带.

表 1 华南龙马溪组黑色笔石页岩的生物分带^{a)}

统	阶	湖北 (本文)	峡东地区 ^[9]	陕南宁强 ^[10]	陕南山郑 ^[10]	黔北桐梓 ^[11]		四川城口 ^[12]
志留系三多维列统	特列奇阶	<i>Spirograptus guerichi</i>	<i>Monoclimacis arcuata</i>		<i>Spirograptus minor</i>	?		<i>R. maximus</i>
								<i>P. folium</i>
	埃隆阶	<i>Stimulograptus sedgwickii</i>	<i>Stimulograptus sedgwickii</i>	<i>Stimulograptus sedgwickii</i>	?	?		<i>P. leptotheca</i>
		<i>Lituigraptus convolutus</i>	<i>Lituigraptus convolutus</i>	<i>Lituigraptus convolutus</i>				
		<i>Demiras. pectinatus</i> - <i>Monogr. argenteus</i> (?)	<i>Monogr. argenteus</i> <i>Neo. magnus</i> - <i>Neo. thuringiacus</i>	?	?	?		
		<i>Demirastrites triangulatus</i>	<i>Demirastrites triangulatus</i>					
	鲁丹阶	<i>Coronograptus cyphus</i>	<i>Coronograptus cyphus</i>	<i>Coronogr. cyphus</i> - <i>M. lunata</i>	?	<i>C. gregarius</i>	<i>Demirastrites triangulatus</i>	<i>P. leei</i>
			<i>Huttagraptus acinaces</i>				<i>Rastrites guizhouensis</i>	
		<i>Cystograptus vesiculosus</i>	<i>Cystograptus vesiculosus</i>	?			<i>Cystograptus vesiculosus</i>	<i>Orthograptus vesiculosus</i>
		<i>Parakidograptus acuminatus</i>	<i>Parakidograptus acuminatus</i>				?	<i>P. acuminatus</i>
		<i>Akidograptus ascensus</i>				<i>"Climacograptus miserabilis"</i>		<i>A. ascensus</i> - <i>N. bicaudatus</i>
<i>Normalograptus persculptus</i>			<i>N. persculptus-sinuatus</i>					
上奥陶统	赫南特阶	<i>Normalograptus persculptus</i>						

a) 生物分带与区域对比主要基于带化石的首现。由于 *Rastrites* 和 *Petalolithus* 仅现于埃隆阶及以上地层中，因此桐梓的 *C. gregarius* 带相当于 *D. triangulatus* 带，而宁强的 *C. cyphus*-*M. lunata* 带同时包含了鲁丹阶顶部和埃隆阶底部(陈旭，个人交流，2009)。由于 *O. communis* 的延限可从 *D. triangulatus* 带至 *L. convolutus* 带，因此，在时代上该化石仅可指示早、中埃隆期，而不能指示准确的笔石带

这一新的分带意见也与 Melchin 等^[19]提出的全球分带意见吻合。

1984 年，志留系底界的界线层型被正式确立在苏格兰的 Dob's Linn^[20]。根据其定义，*P. acuminatus* 带被作为志留系最底部的笔石带，其底界以 *P. acuminatus* s.l.(广义)的首次出现为标志。然而，正如部分学者^[21,22]指出的，在志留系底界的全球界线层型剖面—苏格兰 Dob's Linn 的 Linn Branch 剖面上，真正的 *P. acuminatus* s.s.(狭义)的首现层位位于 GSSP 标定的志留系底界层位之上 1.5 m 处。而被 Williams^[23]鉴定为 *P. acuminatus* s.l.并用来定义志留系底界的标本，实际上是 *P. praematurus* (Davies)。该种与 *A. ascensus* 同时出现于志留系底部。因此，

Williams^[23]原来划分的 *P. acuminatus* 带应当被分为两个笔石带，即下部的 *A. ascensus* 带和上部的 *P. acuminatus* 带^[19]。对志留系底界全球界线层型的这一修订意见，最近被国际地层委员会和国际地科联正式接受和批准^[24]。志留系底界的界线依然位于苏格兰 Linn Branch 剖面 Birkhill Shale 组底之上 1.6 m 处，但其层位由 *A. ascensus* 而非 *P. acuminatus* s.l. 的首次出现界定。这一生物地层分带和序列可以在全球广泛识别，如华南、哈萨克斯坦、波西米亚、波兰、阿根廷、西藏等^[14, 25]。根据 Chen 等^[14]以及笔者等最新的研究，华南的 *A. ascensus* 的首现层位可全球对比。因此，在华南也可以采用这一笔石种的首现来指示志留系的底界。*A. ascensus* 带的特征分子包括 *A.*

ascensus, *P. praematurus*, *N. anjiensis* (= *N. lubricus*) 和 *N. bicaudatus* 等.

P. acuminatus 带的特征分子包括 *P. acuminatus*, *Cystograptus ancestralis* 和 *Hirsutograptus sinizini* 等.

C. vesiculosus 带和 *Coronograptus cyphus* 带在扬子地台的很多剖面均有发育和出露, 如黔北^[11]、江西武宁^[26]和安徽^[27, 28], 此处不再赘述.

2.3 埃隆阶

埃隆阶包括四个笔石带, 自下而上分别是 *Demirastrites triangulatus* 带、*Demirastrites pectinatus*-*Monograptus argenteus* 带、*Lituigraptus convolutus* 带和 *Stimulograptus sedgwickii* 带.

华南埃隆阶下部地层, 以前通常仅识别出一个笔石带, 即 *Coronograptus gregarius* 带或 *Demirastrites triangulatus* 带^[18, 27]. 而在欧洲及世界其他一些地区, 埃隆阶下部通常可以被划分为三个笔石带. Koren 等^[29]以及 Melchin 等^[19]根据全球的资料将埃隆阶下部划分为下段的 *Demirastrites triangulatus*-*Demirastrites pectinatus* 组合带和上段的 *Monograptus argenteus* 笔石带. 基于此次采集的材料, 在华南可识别出单独的 *Demirastrites triangulatus* 带, 但是 *Demirastrites pectinatus* 带和 *Monograptus argenteus* 带的识别和区分, 还需要进一步的详细采样. 埃隆阶上部包括两个笔石带, 即下段的 *Lituigraptus convolutus* 带和上段的 *Stimulograptus sedgwickii* 带. 这两个带在华南过去已有报道^[18], 并可与全球序列对比^[19, 29]. 埃隆阶的几个笔石带均可通过带化石的出现来判断, 仅 *Demirastrites pectinatus*-*Monograptus argenteus* 带, 由于未找到带化石, 因此主要是通过一些典型分子, 如 *Rastrites approximatus* (京山道子庙和恩施太阳河)、*Monograptus paradenticulatus* (京山道子庙) 和 *Pseudoglyptograptus* n. sp. sensu Melchin (1989)^[7] (京山道子庙) 的出现来判断.

华南埃隆阶的笔石生物地层和系统古生物学研究可以参考陈旭^[10]和 Li^[27]. 埃隆阶的一些常见属包括 *Pseudorthograptus*, *Rastrites*, *Demirastrites*, *Metaclimacograptus*, *Cephalograptus* 和 *Petalolithus* 等.

2.4 特列奇阶

根据目前的资料, 在扬子地台的龙马溪组黑色笔石页岩中仅发现了特列奇阶最底部的笔石带, 即 *Spirograptus guerichi* 带. *Spirograptus guerichi* 是 *Spirograptus minor* 的同物异名. 该种见于湖北竹山、神农架林区等地的龙马溪组黑色笔石页岩中. 此外, 根据前人的研究, 还见于四川城口^[12]、广元^[10], 陕西宁强、南郑^[10]等地.

3 讨论

3.1 宜昌上升

志留纪鲁丹早期 (*A. ascensus* 带-*P. acuminatus* 带), 龙马溪组的黑色笔石页岩广泛分布于扬子地台上 (图 2). Chen 等^[1]指出, 由于宜昌上升的影响^[30], 在湖北、湖南、重庆交界地区有一湘鄂水下高地 (Hunan-Hubei Submarine High^[1]). Chen 等^[1]的研究表明, 在这三省交界地区内, 至少缺失了鲁丹早期的两个笔石带的地层. 我们的研究确认了这一事实; 并且, 综合前人的资料^[1, 6, 9, 14, 30~32]及本文的材料, 可以发现, 这一水下高地的发育形式和模式比过去所认识的还要复杂. 需指出的一点是, 我们的证据表明这一地区存在沉积缺失现象, 但这一沉积缺失究竟是未接受沉积, 还是沉积后又被剥蚀? 目前尚未找到足够的证据以判定. 因此, 在本文中我们仍沿用 Chen 等^[1]的“湘鄂水下高地”一词. 至于这一沉积缺失现象形成的机制与发育模式, 将在有足够证据后进一步阐述.

奥陶纪赫南特期, 湖北恩施太阳河、宣恩高罗、来凤三堡岭、巴东思阳桥、五峰前河、长阳花桥、松滋卸甲坪与西斋、宜都毛湖淌、湖南石门龙池河、慈利二坊坪、张家界温塘均缺失相当于 *N. extraordinarius* 和 *N. persculptus* 两个笔石带的地层. 之外的地点, 如湖北秭归新滩与龙马溪、宜昌黄花场与王家湾、重庆黔江干河沟、湖南桃源九溪等地, 却发育了该期地层, 因此, 赫南特期湘鄂水下高地的范围可据此大致圈定 (图 3).

至志留纪鲁丹早期 (*A. ascensus* 带-*P. acuminatus*

1) 四川省地质局. 区域地质调查报告, 黔江幅(1:20 万). 成都: 四川省地质局, 1975. 1-107

2) 湖北省地质局. 区域地质调查报告, 宜昌幅(1:20 万). 武汉: 湖北省地质局, 1970. 1-124

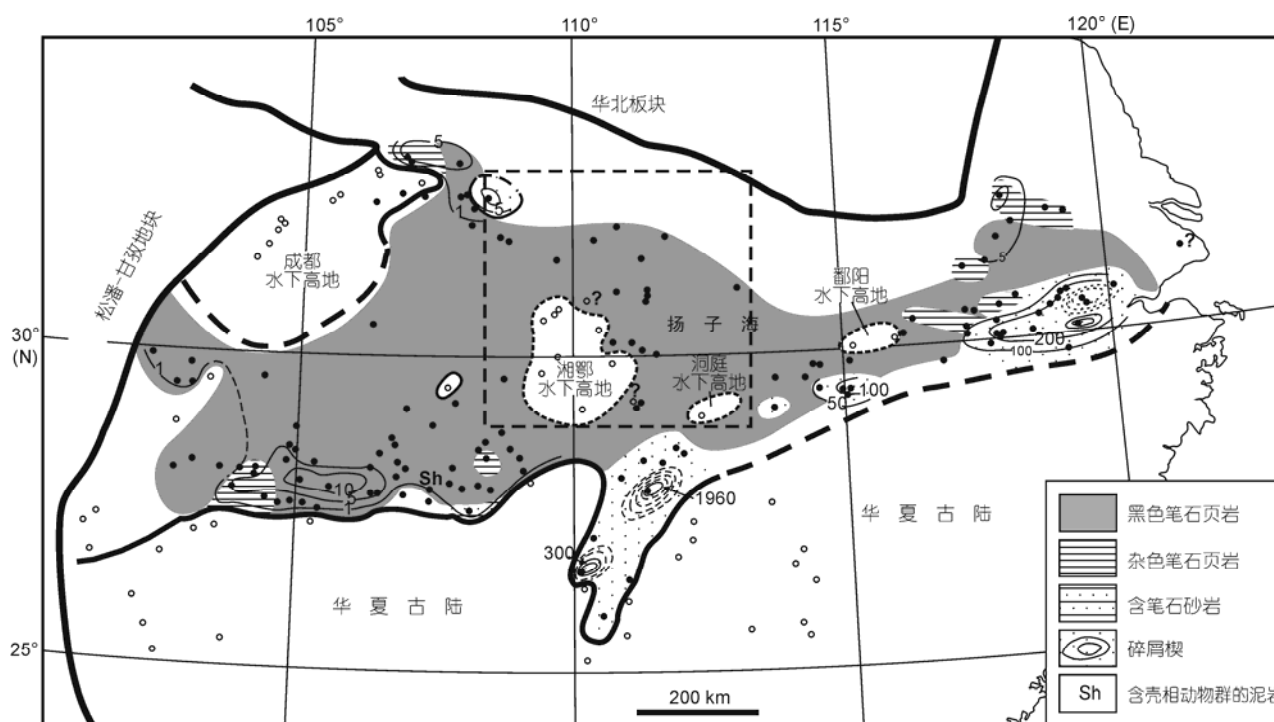


图2 华南志留系兰多维列世鲁丹早期龙马溪组黑色笔石页岩的分布

带), 湖北恩施太阳河、宣恩高罗、长阳花桥、宜都毛湖淌、湖南石门龙池河、慈利二坊坪、张家界温塘缺失了相当于该期的地层, 之外的地点, 如湖北巴东思阳桥、秭归新滩与龙马溪、宜昌黄花场与王家湾、松滋卸甲坪、来凤三堡岭、重庆黔江干河沟、湖南桃源九溪等地, 均发育了该期地层. 因此, 鲁丹早期湘鄂水下高地的范围可据此圈定(图3).

从图3可以看出, 从赫南特期至鲁丹早期, 湘鄂水下高地的范围在逐渐缩小. 其边界向中心地区退后了约数十公里. 众多的证据表明, 在凯迪晚期开始, 发生了一次全球性的冰川事件. 由于位于现今北非的大陆冰盖的凝聚^[33], 导致全球海平面持续下降, 并在赫南特中期达到高潮. 根据戎嘉余^[13]的观点, 这一海平面下降的幅度可达到 50~100 m. 与之相伴, 由于海洋生物栖居环境的剧变, 导致了显生宙第二大生物灭绝事件-奥陶纪末生物大灭绝事件的发生. 根据戎嘉余等^[34]的统计, 赫南特期与之前的时间段相比, 在华南, 约 75%的属、66%的科灭绝. 伴随着笔石的第一幕灭绝, 在华南广泛发育了凉水的赫南特贝动物群. 之后, 在赫南特晚期, 冰川快速融解, 海平面上升, 水温上升, 导致了凉水的赫南特贝动物群的灭绝以及志留纪早期的大规模海泛. 显然, 图3显

示的湘鄂水下高地在这一时期的范围缩小, 很可能是这一冰川消融过程在华南的一个体现. 此外, 陈旭等^[30]指出, 宜昌上升可能是源于广西运动或崇余运动的推动作用. 但目前的证据尚不足以证实这一点.

根据笔者等的新资料, 这一水下高地在赫南特期之前即已存在. 恩施太阳河、来凤三堡岭等地凯迪阶 *P. pacificus* 带的地层就已缺失. 此外, 前人资料表明, 湖北巴东思阳桥、宣恩高罗、五峰前河、松滋卸甲坪与西斋、宜都毛湖淌、湖南石门龙池河等地也已缺失了凯迪阶的部分地层; 长阳花桥可能缺失了凯迪阶最顶部 *P. pacificus* 带的 *Diceratograptus mirus* 亚带地层; 而重庆黔江干河沟、湖南张家界温塘、桃源九溪、慈利二坊坪、湖北秭归新滩与龙马溪、宜昌黄花场与王家湾等地则发育了完整的凯迪阶地层. 虽然这些资料尚不够精细, 但这一水下高地在赫南特冰期之前即已存在基本可以确认, 进一步的野外考察将能更为准确地圈定这一水下高地在赫南特期之前的不同笔石带的分布范围, 从而建立一个更为详细和精确的时空分布格局.

3.2 龙马溪组黑色笔石页岩的底界

目前的资料表明, 扬子地台龙马溪组黑色笔石

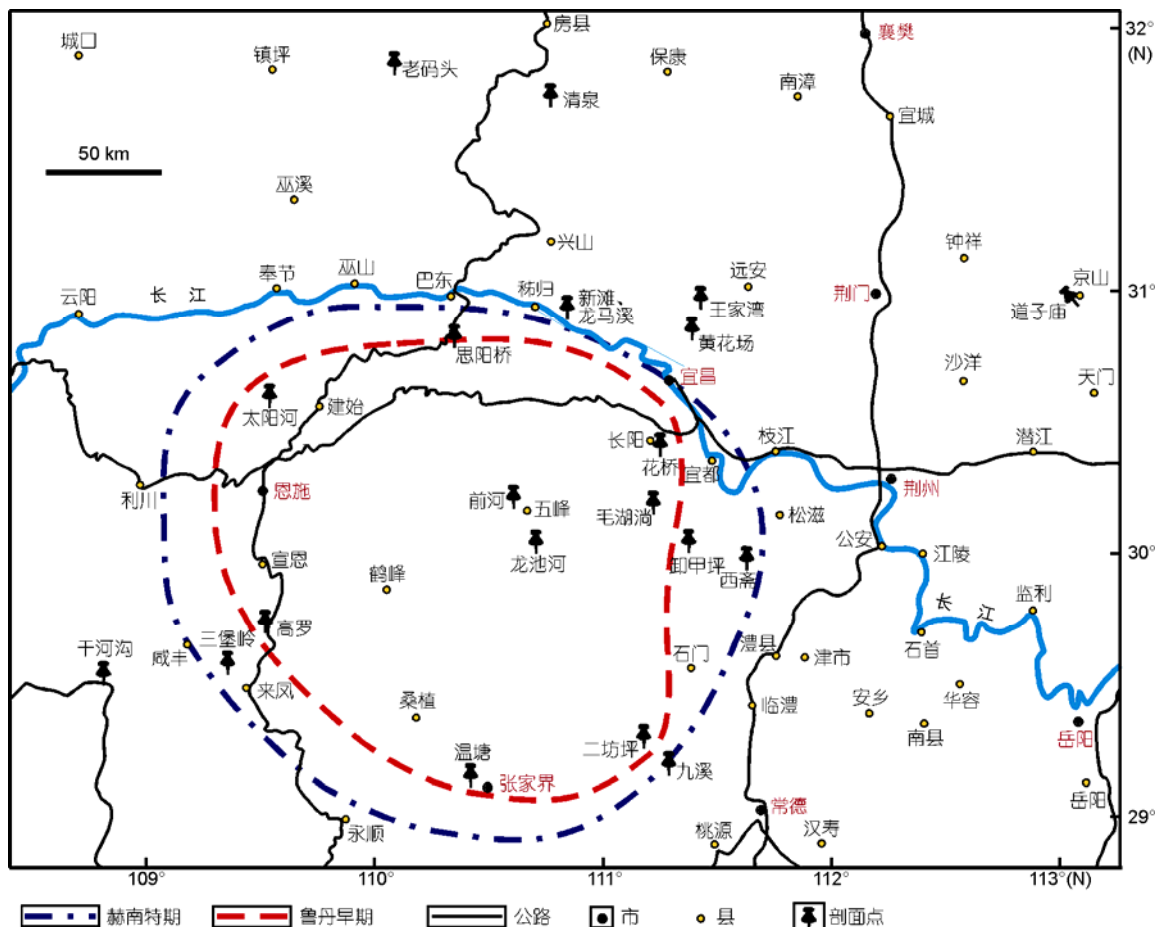


图3 赫南特期-鲁丹早期湘鄂水下高地的时空分布范围

1. 巴东思阳桥(葛治洲等^[6]及本文); 2. 恩施太阳河(葛治洲等^[6]及本文); 3. 宣恩高罗(葛治洲等^[6]及本文); 4. 来凤三堡岭(本文); 5. 重庆黔江干河沟^[1]; 6. 秭归新滩与龙马溪^[31]; 7. 宜昌王家湾^[9, 14]; 8. 宜昌黄花场^[9]; 9. 长阳花桥^[32]; 10. 五峰前河^[31]; 11. 宜都毛湖淌^[2]; 12. 松滋卸甲坪^[31]; 13. 松滋西寨^[31]; 14. 石门泥市龙池河^[6]; 15. 慈利二房坪^[1]; 16. 桃源九溪^[1]; 17. 张家界温塘^[30]; 18. 竹山老码头(本文); 19. 神农架清泉(葛治洲等^[6]及本文); 20. 京山道子庙(本文)

页岩与下伏地层的接触关系,可分为以下两种情况(图4):

(1) 龙马溪组黑色笔石页岩整合盖覆于富含赫南特贝动物群的观音桥层灰岩之上. 其最底部的地层为 *N. persculptus* 带,见于湖北宜昌的王家湾和分乡,贵州仁怀石场和桐梓松坎韩家店等地.

(2) 龙马溪组黑色笔石页岩假整合或不整合盖覆在五峰组甚至临湘组地层之上. 因此,龙马溪组的底界明显穿时,可从 *N. persculptus* 带延续到 *C. cyphus* 带,最多可缺失四个笔石带. 湖北京山道子庙,龙马溪组 *N. persculptus* 带的黑色笔石页岩直接假整合于 *P. pacificus* 带的五峰组地层之上,之间缺失了 *N. extraordinarius* 带以及观音桥层;湖北来凤三堡

岭、巴东思阳桥,龙马溪组黑色笔石页岩的底部地层为 *A. ascensus* 带;湖北宣恩高罗、竹山老码头,龙马溪组黑色笔石页岩的底部地层为 *C. vesiculosus* 带;湖北恩施太阳河、神农架清泉,龙马溪组黑色笔石页岩的底部地层为 *Coronograptus cyphus* 带.

3.3 龙马溪组黑色笔石页岩的顶界

扬子地台龙马溪组下段黑色笔石页岩与龙马溪组上段灰绿色、黄绿色页岩、泥岩和粉砂岩虽为连续渐变的关系,但它们之间的界线代表了不同生物相之间的关系,也是穿时的. 根据笔石的最高层位,可将龙马溪组下段黑色笔石页岩的顶界发育情况划分为以下几种情况(图4):

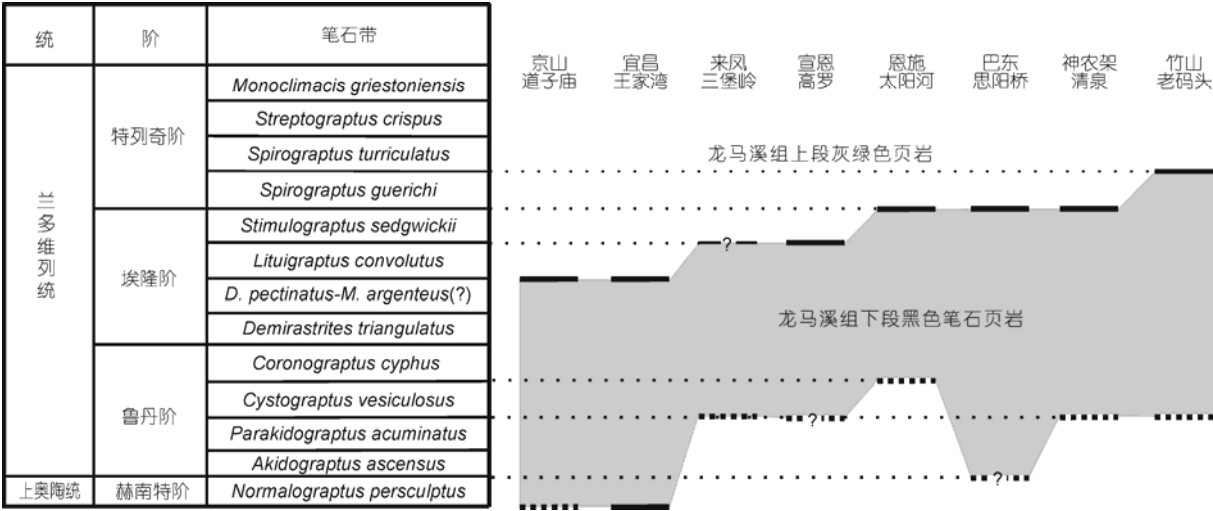


图 4 湖北省龙马溪组黑色笔石页岩的时空分布

(1) 黑色笔石页岩的顶部为 *D. pectinatus-M. argenteus* 带, 之上为龙马溪组的黄绿色页岩、砂质页岩及少量粉砂岩, 例如湖北宜昌王家湾、京山道子庙等地。这是扬子地台上目前已知的黑色笔石页岩顶界的最低层位。

(2) 黑色笔石页岩的顶部为 *L. convolutus* 带, 如湖北宣恩高罗。

(3) 黑色笔石页岩的顶部为 *S. sedgwickii* 带, 如湖北恩施太阳河和巴东思阳桥。

(4) 黑色笔石页岩的顶部为 *Spirograptus guerichi* 带, 如湖北神农架清泉、竹山老码头。

因此, 黑色笔石页岩的最高层位分布在湖北省的西北角、毗邻陕西紫阳、重庆城口等地。向东南方向至湖北宜昌王家湾和京山道子庙, 向南至湖北宣恩高罗, 龙马溪组黑色笔石页岩的顶界则越来越低。该顶界穿时的原因, 需要进一步的岩石地层学和化学地层学的工作来揭示。

4 结论

(1) 扬子区龙马溪组黑色笔石页岩跨越了奥陶系-志留系的界线, 从奥陶系赫南特阶顶部的 *Normalograptus persculptus* 带至志留系特列奇阶底部的 *Spirograptus guerichi* 带, 共包含 4 阶 10 个笔石带。

(2) 扬子区龙马溪组黑色笔石页岩的顶、底界线都是穿时的, 其底界从 *N. persculptus* 带至 *C. cyphus* 带, 共穿越了 2 个阶的 5 个笔石带; 其顶界从 *D. pectinatus-M. argenteus* 带到 *Spirograptus guerichi* 带, 共穿越了 2 个阶的 4 个笔石带。

(3) 受宜昌上升的影响, 在湖北、湖南、重庆交界地区有一湘鄂水下高地。这一水下高地赫南特期至鲁丹早期甚至更晚时间存在沉积缺失现象。通过对比赫南特期和鲁丹早期该地区黑色笔石页岩的分布范围, 可以发现, 从赫南特期至鲁丹早期, 湘鄂水下隆起范围逐渐收缩, 这与赫南特冰期之后的全球冰川消融和海平面上升是基本一致的。

致谢 袁文伟、徐洪河、成俊峰、陈金春等诸同事在野外给予了无私的帮助, 戎嘉余院士、冯洪真教授及詹仁斌研究员细心审阅文稿并提出了宝贵的修改意见, 在此一并致以诚挚的谢意。本研究系“Geobiodiversity Database”项目系列成果之一。

参考文献

- 1 Chen X, Rong J Y, Li Y, et al. Facies patterns and geography of the Yangtze region, South China, through the Ordovician and Silurian transition. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2004, 204: 353–372

- 2 Lee J S, Chao Y T. Geology of the Gorge District of the Yangtze (from Ichang to Tzekuei) with special reference to the development of the Gorges. *Bull Geol Soc China*, 1924, 3: 351–391
- 3 Hsieh C Y, Chao Y H. A study of the Silurian section at Lo Jo Ping, I Chang district, W. Hupeh. *Bull Geol Soc China*, 1925, 4: 39–44
- 4 尹赞勋. 关于龙马溪页岩. 地质论评, 1943, 8: 1–8
- 5 葛治洲, 戎嘉余, 杨学长, 等. 西南地区的志留系. 见: 中国科学院南京地质古生物研究所, 编. 西南地区碳酸盐生物地层. 北京: 科学出版社, 1979. 155–220
- 6 葛治洲, 戎嘉余, 杨学长, 等. 西南地区志留系十条剖面资料. 地层古生物, 1977, 8: 92–111
- 7 Melchin M J. Llandovery graptolite biostratigraphy and paleobiogeography, Cape Philips Formation, Canadian Arctic Islands. *Can J Earth Sci*, 1989, 26: 1726–1746
- 8 Melchin M J, Mitchell C E. Late Ordovician extinction in the Graptoloidea. In: Barnes C R, Williams S H, eds. *Advances in Ordovician Geology*, Geological Survey of Canada, Paper 90-9. 1991. 143–156
- 9 汪啸风, 倪世钊, 曾庆奎, 等. 长江三峡地区生物地层学(2), 早古生代分册. 北京: 地质出版社, 1987. 1–641
- 10 陈旭. 陕南及川北志留纪笔石并论单笔石的分类. 中国古生物志, 新乙种第 20 号. 北京: 科学出版社, 1984. 1–102
- 11 陈旭, 林尧坤. 黔北桐梓下志留统的笔石. 中国科学院南京地质古生物研究所集刊, 1978, 12: 1–106
- 12 葛梅钰. 四川城口志留纪笔石. 中国古生物志, 新乙种第 26 号. 北京: 科学出版社, 1990. 1–157
- 13 戎嘉余. 上扬子区晚奥陶世海退的生态地层证据与冰川活动影响. 地层学杂志, 1984, 8: 19–29
- 14 Chen X, Rong J Y, Mitchell C E, et al. Latest Ordovician to earliest Silurian graptolite and brachiopod biozonation from the Yangtze region, South China with a global correlation. *Geol Mag*, 2000, 137: 623–650
- 15 Chen X, Fan J X, Melchin M J, et al. Hirnantian (latest Ordovician) graptolites from the upper Yangtze region, China. *Palaeontology*, 2005, 48: 1–47
- 16 陈旭, 樊隽轩, Melchin M J, et al. 华南奥陶纪末笔石绝灭和复苏的进程和机制. 见: 戎嘉余, 方宗杰, 主编. 生物的大灭绝及其后的复苏—来自华南古生代的证据. 合肥: 中国科技大学出版社, 2004. 9–54, 1037–1038
- 17 Chen X, Melchin M J, Sheets H D, et al. Patterns and processes of latest Ordovician graptolite extinction and recovery based on data from South China. *J Paleontol*, 2005, 79: 842–861
- 18 Mu E Z, Boucot A J, Chen X, et al. Correlation of the Silurian rocks of China (A part of the Silurian correlation for East Asia). *Spec Papers Geol Soc Amer*, 1986, 202: 1–80
- 19 Melchin M J, Cooper R A, Sadler P M. Silurian System. In: Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, eds. *A Geologic Time Scale*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 188–201
- 20 Bassett M G. Towards a “common language” in stratigraphy. *Episodes*, 1985, 8: 87–92
- 21 Melchin M J, Williams S H. A restudy of the Akidograptine graptolites from Dob’s Linn and a proposed redefined zonation of the Silurian stratotype. *Palaeontology Down Under 2000. Geol Soc Australia Abstracts*, 2000. 63
- 22 Melchin M J, Naczk-Cameron A, Koren’ T N. New insights into the phylogeny of Rhuddanian (Lower Llandovery) graptolites. In: Ortega G, Aceñolaza G F, eds. *Proceedings of the 7th International Graptolite Conference & Field Meeting of the International Subcommittee on Silurian Stratigraphy*. INSUGEO, Serie Correlación Geológica. Tucumán: Comunicarte Editorial, 2003. 67–68
- 23 Williams S H. The Ordovician-Silurian boundary graptolite fauna of Dob’s Linn, southern Scotland. *Palaeontology*, 1983, 26: 605–630
- 24 Rong J Y, Melchin M J, Williams S H, et al. Report of the restudy of the defined global stratotype of the base of the Silurian System. *Episodes*, 2008, 31: 315–318
- 25 Chen X, Rong J Y, Fan J X, et al. The Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Hirnantian Stage (the uppermost of the Ordovician System). *Episodes*, 2006, 29: 183–196
- 26 方一亭, 梁诗经, 张大良, 等. 江西省武宁县梨树窝组及其笔石. 南京: 南京大学出版社, 1990. 1–155
- 27 Li J J. Lower Silurian graptolites from the Yangtze Gorge district. *Palaeont Cathayana*, 1995, 6: 215–344
- 28 李积金. 安徽南部下志留统笔石. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 1999, 14: 70–157
- 29 Koren’ T N, Lenz A C, Loydell D K, et al. Generalized graptolite zonal sequence defining Silurian time intervals for global paleogeographic studies. *Lethaia*, 1996, 29: 59–60
- 30 陈旭, 戎嘉余, 周志毅, 等. 上扬子区奥陶-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升. 科学通报, 2001, 46: 1052–1056
- 31 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 一、区域地质, 第 20 号. 北京: 地质出版社, 1990. 1–705
- 32 穆恩之, 李积金, 葛梅钰, 等. 华中区上奥陶统笔石. 北京: 科学出版社, 1993. 1–393
- 33 Ghiene J F. Late Ordovician sedimentary environments, glacial cycles, and post-glacial transgression in the Taoudeni Basin, West Africa. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2003, 189: 117–145
- 34 戎嘉余, 樊隽轩, 李国祥. 华南史前海洋生物多样性的演变型式. 见: 戎嘉余, 方宗杰, 周忠和, 等, 主编. 生物起源、辐射与多样性演变——华夏化石记录的启示. 北京: 科学出版社, 2006. 785–816