

峡东地区寒武系岩石学、 沉积学特征及储集性

潘荣胜

陈小兰

翟永红

(地矿部石油地质研究所) (国家建材局地质研究所) (江汉石油学院)

研究区位于扬子板块中段，地层发育齐全，构造层次清晰，交通方便（图1），因此早在本世纪初就有不少地质学家涉足此地（李四光、赵亚曾，1924）。该区地质研究程度较高，尤其在古生物地层学研究方面成果甚丰，其中前寒武系和寒武系的界线剖面已被国际地科联确定为该界线层型的主要参考点；寒武系和奥陶系亦被确定为我国南方寒武系、奥陶系的主要标准剖面；奥陶系与志留系界线剖面正在争取成为国际层型剖面。寒武系的研究有不少公开出版的论文和专著（宜昌地矿所，1987；汪啸风等，1987），地层划分日趋完善（表1）。但迄今为止，其岩石学、沉积学研究尚未见报道，为了弥补这一不足，我们曾三度到该区进行实地考察，测制基干剖面和辅助剖面（图1），采集标本，再进行室内研究，确定了岩石分类原则，对该区的岩石类型、沉积特征进行了详细的研究，结合生物组合分析了本区的沉积演化历史，并对岩石的储集性作了简略概括。

一、主要岩石类型及其特征

本区寒武系由碳酸盐岩和碎屑岩（包括粘土岩）两大类岩石组成，其中以碳酸盐岩为主。碳酸盐岩又以白云岩最为发育，占实测基干剖面厚度的77%。各类岩石的分布具有一定的规律性（表2）。

（一）颗粒灰岩

1. 颗粒灰岩

在石牌组顶部和天河板组、新坪组中有发育。颗粒大小0.50—0.75mm，呈圆形，少

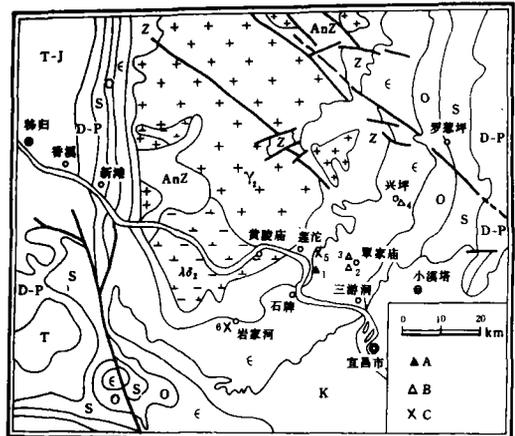


图1 峡东地区地质略图及剖面位置

A-实测基干剖面；B-实测辅助剖面；C-参考剖面

1-黄麟洞剖面；2-官山璜剖面；3-磁麟包剖面；

4-新坪剖面；5-天柱山剖面；6-岩家河剖面

Fig. 1 Sketch map showing the geology and location of the sections in the eastern Yangzi Gorges area

A=measured primary section; B=measured auxiliary section; C=reference section

1=Huangshandong section; 2=Guanshannao section;

3=Kexibao section; 4=Xinping section;

5=Tianzhushan section; 6=Yanjiuhe section

数为椭圆形、长条形及不规则形。内部结构复杂,有同心鲕、放射鲕、放射-同心鲕以及复鲕、偏心鲕等。鲕粒含量 50—75%。部分鲕粒经后期成岩——压实、云化、溶蚀充填或重结晶等改造而形成变形鲕、云质鲕、单晶鲕、多晶鲕等。该区鲕粒大多数被亮晶方解石胶结,部分被泥晶填隙。亮晶胶结组构较复杂,常见世代胶结,同时也有反映特殊成岩环境的定向胶结组构(图 2)。世代胶结多为二或三代胶结。二世胶结者,第一世代为纤状或刃状,第二世代为粒状;三世胶结者,第一世代为细小粒状或马牙状,第二世代呈叶片状,第三世代为粒状。

这类岩石具有两种产状:其一是薄层状或透镜状。与薄层泥晶灰岩互层或夹于泥晶灰岩中。鲕粒灰岩多由放射鲕、放射-同心鲕组成,且大多数已被云化成云质鲕,鲕粒多为泥晶填隙,局部亮晶胶结,它可能是在潮汐流作用下潮汐、潮渠等微环境沉积的产物,或者是台内小型浅滩受风暴浪作用或波浪作用间歇性地侧向迁移堆积而成;其二是以稳定层状或块状鲕粒灰岩产出,这种产状的鲕粒多为同心鲕,各种交错层理发育,是高能浅滩环境的产物。

2. 核形石灰岩

主要产于天河板组中部。核形石多呈圆形、椭圆形或长条形,粒径 3—5mm,个别 8—10mm,核心主要为三叶虫、腕足等生物碎屑。纹层构造规则而清晰,局部见葛万藻藻丝体。核形石含量 45—55%,通常伴有 15—20%的分选磨圆较好的三叶虫、棘皮和软体动物类生屑。亮晶方解石胶结,具三代胶结组构。其产状也有两种:第一是以薄层一条带状产于泥粉晶灰岩中,厚度数厘米,横向分布不稳定。此类核形石大小似鲕粒,粒径多 1—2mm,形态较特殊,多数是在鲕粒作为核心的基础上向一个或两个方向侧向加积,形成不规则形状,含量高达 60%以上。亮晶方解石胶结作用为主,局部泥晶填隙。是滩间或滩后沉积环境的产物;第二类是厚层或中一厚层状核形石灰岩,层位稳定,属较高能浅滩沉积的产物。

3. 砾屑灰岩

表 2 岩石基本类型及其分布

Table 2 Main types and distribution of the Cambrian rocks in the study area

岩石类型		时代分布
石灰岩	颗粒灰岩	E _{1d} 中部, E _{2k} , E _{2r}
	含颗粒-颗粒泥晶灰岩	E _{1oj} 顶部, E _{1d}
	泥(粉)晶灰岩、叠层石灰岩	E _{1d} , E _{1d} , E _{2r}
	礁灰岩	E _{1d} 中部
白云岩	泥粉晶白云岩	E _{2k} , E _{2r} 下部
	藻白云岩	E _{3d}
	(残余)颗粒白云岩	E _{1d} , E _{2r} 上部, E _{3d} 中部
	细晶、中晶白云岩	E _{1d} , E _{3d} 上部
碎屑岩	细、粉砂岩	E _{1oy}
	水云母粘土岩	E _{1oj} , E _{1oy}

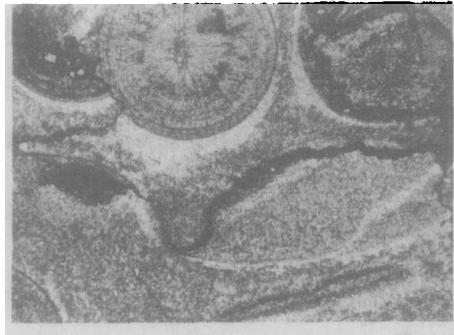


图 2 亮泥晶鲕粒灰岩,见海水重力型胶结 N(-), ×10, E_{1d}

Fig. 2 Sparry-micritic ooidal limestone showing marine gravitational cementation N(-), ×10, Lower Cambrian Tianheban Formation

主要分布于天河板组和礁膝包组中。砾屑灰岩呈薄层或中层，与鲕粒砂屑灰岩和泥粉晶灰岩构成向上变细的正粒序结构。砾屑形态呈竹叶状、扁圆状，粒径最大 10×15 (mm)，一般为 2×5 (mm)至 3×4 (mm)，磨圆、分选均一般。砾屑内部为泥晶或亮晶粒屑结构，砾屑含量45—65%，通常约有15—25%的砂屑和生屑与之伴生。填隙物随韵律结构部位不同，其类型也不同，如图3所示，下部韵律为泥粉晶灰岩填隙；而上部粒序则为亮晶方解石胶结，且具二世胶结结构。礁膝包组中的砾屑多顺层定向排列，局部呈双向叠瓦状排列或直立呈放射状排列。

4. 砂屑灰岩

主要见于三游洞组、水井沱组的顶部，呈薄层或透镜状产出。砂屑大小0.4—1.25mm，磨圆、分选中等—差，含量50—65%。常有砾屑、生屑等与之伴生，可见亮晶方解石胶结，也可见灰泥填隙。

(二) 泥(粉)晶灰岩

主要见于下寒武统，通常含有一定量的生物碎屑、砂屑、白云石、炭质等，构成生屑泥(粉)晶灰岩、泥粉晶云质灰岩和泥粉晶含炭—炭质灰岩。

(三) 礁灰岩

主要为厚层—块状古杯生物灰岩、含古杯表附藻灰岩。出现于天河板组中部，厚度1.5—2.5mm。下部古杯含量10—15%，往上古杯富集，个体较完整，以原始生长生态保留，构成骨架灰岩。表附藻呈树枝状，丛状，粘结古杯及其它喜礁生物。据地矿部宜昌地矿所的研究，古杯主要有 *Archaeocyathus*, *Protopharetta*, *Retecyathus*, *Sanziacyathus* 等属种。这类岩石是在亮晶颗粒灰岩作为基底上发育的，顶部被(泥)云质条带灰岩、云斑灰岩等披覆，说明该环境适宜造礁生物生长发育，但持续时间很短。

(四) 白云岩

白云岩是本区最具特色的岩类，岩石类型和成因都十分复杂。

1. 泥(粉)晶白云岩

广泛发育于中上寒武统，岩石具土黄色、砖红色，富含陆源碎屑组分。白云石呈泥—粉晶、半自形。少数白云石呈针状或刃状，可能为交代文石或石膏之产物。常伴有鸟眼构造、层纹构造和干裂纹等沉积构造，部分可见石膏假晶(方解石交代充填)，

2. 藻白云岩

主要包括层纹石白云岩、缓波状叠层石白云岩和半球状叠层石白云岩三类，前两类多见，主要分布于中上寒武统。富藻纹层一般宽0.5—1mm，明亮的富屑层宽一般0.5—1.5mm。岩石中通常有少量陆源粉砂和球粒、粉砂屑等。镜下可见到石膏假晶或石膏铸模、冲刷面等沉积组构。

3. 内碎屑白云岩

包括砾屑白云岩和砂屑白云岩。前者有竹叶状砾屑和板条状砾屑两种。板条状(或竹叶状)砾屑如图4所示，砾屑内部结构较复杂，有球粒、砂屑、鲕粒、团块等以及它们彼此相混合，砾屑含量50—65%。胶结物多为亮晶粒状白云石，部分为粉晶白云石。在剖面

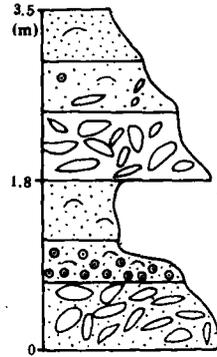


图3 天河板组中砾屑灰岩沉积韵律结构

Fig. 3 Sedimentary rhythms of calcirudite in the Tianheban Formation

上常与砂屑或其它颗粒白云岩、泥粉晶白云岩构成成正或逆粒序层。竹叶或板条状砾屑多顺层排列，局部呈陡倾斜状或直立状排列。

4. 泥亮晶球粒白云岩

主要见于官山璠组中。球粒很小(图5)，数量多(70%)，形态较规则，颜色深。填隙物主要为亮晶胶结物和泥晶填隙物。



图4 亮晶砾屑白云岩, N(-), $\times 5$, \in_{38}
Fig. 4 Sparry dolorudite N(-), $\times 5$, Upper Cambrian Sanyoudong Formation

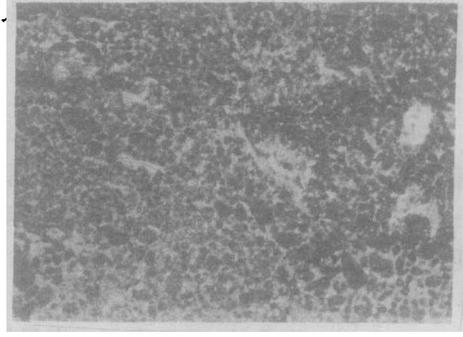


图5 泥亮晶球粒白云岩, N(-), $\times 30$, \in_{28}
Fig. 5 Micritic sparry peloidal dolostone N(-), $\times 30$, Middle Cambrian Guanshannao Formation

5. 亮晶团块白云岩

团块主要由藻类粘结粪球粒、细小砂屑等组成(图6)，形态不规则，颜色深，主要为粗砂级，部分为砾级，团块数量50—65%。填隙物主要为粒状亮晶白云石，少量泥粉晶白云石填隙。这类岩石主要见于官山璠组中。

6. 残余颗粒白云岩

这部分岩石在石龙洞组、官山璠组、磕膝包组、三游洞组中都十分发育。

(1) 残余砾(砂)屑白云岩

细晶白云岩中具残余砾(砂)屑结构，白云石穿过砾(砂)屑边界，且结晶程度较均一。从阴极发光分析结果看，砾屑磨圆、分选均较好，粒径2—3mm，颗粒类型单一，仅偶见少量砂屑与之伴生。野外呈厚层块状，交错层理发育，说明原颗粒岩系高能浅滩环境的产物。

(2) 残余鲕粒白云岩

鲕粒由粉晶白云石组成，边界模糊，内部结构不清(图7)，但在阴极发光镜下，同心圈层结构再现。鲕粒大小一般0.25mm—0.75mm，含量50—80%不等，有的鲕粒经早期成岩压实作用，变形普遍，形成蝌蚪状、异形粒状等，常伴生有少量残余砾屑、砂屑等结构组分。说明其原始沉积环境亦为高能浅滩。主要发育在石龙洞组中。

7. 晶粒(细晶、中晶)白云岩

在石龙洞组及中上寒武统中广泛发育。晶体以细晶为主，部分达中晶。白云石常具雾心亮边结构，呈半自形—自形晶。电镜下，单个白云石晶体圈层结构发育(可能为重结晶之产物)。阴极发光镜下，呈蓝紫色发光，略显发光环带构造。

(五) 碎屑岩(包括粘土岩)

碎屑岩主要见于下寒武统水井沱组和石牌组，以细砂岩，粉砂岩和水云母粘土岩为主，

在官山组与磁滕包组之间有一层厚约 1.5m 的长石石英砂岩。

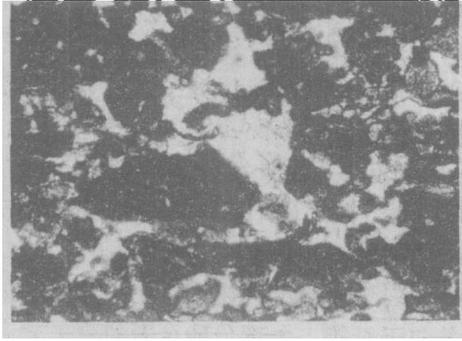


图6 亮晶团块白云岩, N(-), $\times 10$, \in_{28}
Fig. 6 Sparry lump dolostone N(-), $\times 10$,
Middle Cambrian Guanshannao Formation

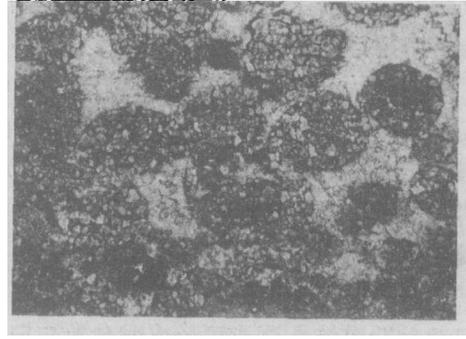


图7 残余鲕粒白云岩, N(-), $\times 25$, \in_{18}
Fig. 7 Residual ooidal dolostone N(-), $\times 25$,
Lower Cambrian Shilongdong Formation

二、关于白云岩成因的探讨

从岩类学研究发现,本区白云岩大致可划分为准同生白云岩和准同生后白云岩(成岩白云岩)两大类,就成因机理来看,主要包括毛细管浓缩(蒸发泵吸)白云石化、回流渗透云化、混合水云化等。在此基础上大多叠加了复杂的其它成岩变化。

从各种测试分析资料看,阴极发光颜色较均一,仅部分见宽而不规则的发光环带,发光强度中等—强,同位素和微量元素(表3)亦表现出以蒸发海水特征为主(如样品

表3 峡东地区寒武纪白云岩的稳定同位素(‰)及微量元素(ppm)

Table 3 Stable isotopes (in ‰) and trace elements (in ppm) of the Cambrian dolostones in the eastern Yangzi Gorges area

样品编号	岩石名称	层位	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Sr	Ti	V	Zn
EI-126	泥粉晶含泥白云岩	\in_{28}	0.65	-8.40	62.4	2.0	23.8	4.7	84.4	16.2	89.8	896.0	23.6	30.1
EI-148	颗粒细晶白云岩	\in_{28}	0.18	-6.03	50.0	0.2	21.1	2.0	114.0	8.2	334.0	360.0	8.1	18.9
EI-149	颗粒细晶白云岩	\in_{28}	-0.19	-5.19	61.2	1.0	15.9	1.1	127.0	9.6	276.0	208.0	8.4	17.4
EI-214	细粉晶白云岩	\in_{29}	1.30	-9.35	4130.0	4.6	46.3	/	231.0	27.6	227.0	62.9	10.6	22.3
EI-215	残余鲕粒白云岩	\in_{29}	0.56	-9.18	734.0	1.4	22.2	/	182.0	17.8	120.0	75.3	11.0	134.0
EI-257	鲕粒灰质白云岩	\in_{29}	-0.97	-10.84	401.0	0.2	14.3	1.4	249.0	5.9	268.0	185.0	5.5	20.0
EI-275	泥晶白云岩	\in_{30}	0.65	-8.48	320.0	0.8	14.8	3.2	398.0	7.8	327.0	147.0	7.8	78.7
EI-276	残余砂屑白云岩	\in_{30}	0.31	-8.52	10.1	1.0	22.1	/	163.0	17.3	98.6	46.1	10.1	225.0
EI-288	残余砾屑白云岩	\in_{30}	0.24	-8.81	692.0	2.2	26.7	0.2	190.0	20.3	98.7	137.0	11.7	108.0
EI-364	含球粒细粉晶白云岩	\in_{30}	0.65	-8.04	610.0	1.3	54.2	/	157.0	29.3	133.0	41.1	9.8	88.0
EI-370	细晶白云岩	\in_{30}	0.12	-8.58	17.3	1.0	24.5	/	111.0	18.1	121.0	69.3	13.4	29.5
EI-375	残余鲕粒白云岩	\in_{30}	-0.61	-7.52	15.7	0.6	22.7	1.7	69.6	17.1	138.0	52.1	22.3	40.1
EI-381	细晶白云岩	\in_{30}	-2.14	-9.25	1066.0	2.3	17.3	2.5	64.8	15.2	138.0	66.8	12.4	152.0
EI-389	细晶白云岩	\in_{30}	-1.98	-6.39	142.0	2.3	25.7	2.8	285.0	18.3	145.0	124.0	9.6	196.0

注:样品由北京大学地质系同位素分析室和化学分析室分析

EI—125, EI—148, EI—214 等), 仅少数样品表现为与淡水参与的混合水云化作用有关的特征(如 EI—381, EI—389 等样品); 从电子探针分析和 x-射线衍射分析结果(表 4)看, 回流渗透作用形成的白云石, 多表现为富钙白云石, 而与毛细管浓缩作用等机理有关的白云岩, 其 Ca : Mg (摩尔百分数之比) 近于 1 : 1; 用 x-射线衍射分析结果计算出的近似有序度 (I_{1015}/I_{110}) 亦呈规律性变化(表 4); 与准同生成岩环境有关的早期蒸发云化, 其有序度较低, 一般小于 0.8; 而准同生后形成的成岩白云岩, 其有序度较高, 通常大于 0.8。有些早期白云岩经过后期重结晶改造后, 其有序度和 Ca : Mg (摩尔百分数之比) 仍保留了原始特征, 没有发生较大的变化(阴极发光和电镜分析亦证明这些白云岩是准同生期的产物)。

虽然, 泥粉晶白云岩、藻白云岩、亮(泥)晶颗粒白云岩是准同生期云化的产物, 但它们经后期重结晶改造可形成残余颗粒白云岩、结晶白云岩等。大部分残余颗粒白云岩及部分细(中)晶白云岩是早期滩相沉积及其它环境的灰泥沉积, 进入成岩期后, 被富镁水体交代, 形成富钙白云岩, 有序度较高(大于 0.8)。混合水云化在晚寒武世的局部地区有发育, 其白云石特征表现为碳同位素介于淡水与正常海水之间, 通常向负值方向漂移, 微量元素 Ba、Zn 等偏高, 白云石结晶有序度较高(0.85±), 阴极发光强度中等—强。另外, 埋藏云化作用亦不可忽视。

三、沉积环境分析

研究区大地构造演化与黄陵-沔阳古陆核的演化密切相关。该陆核经晋宁运动南北不断增生, 进入震旦纪时, 形成一个刚-塑并重的复合型基底, 以此为基础, 发育了震旦系及以后的厚度达数千米的沉积岩系。

在考虑上述古构造背景的前提下, 根据寒武系各剖面的宏观地质(颜色、地层厚度、沉积组构等)特征, 结合岩石学研究、古生物组合分析、碳酸盐微相分析以及剖面结构分析的最终成果, 概括出了本区寒武纪的沉积模式(图 8), 同时确定了沉积环境随时间的演化(图 9)。

天柱山期(Z_2^{dt}), 在白马沱期潮坪沉积的基础上, 继续沉积了天柱山白云岩、砾砂屑白云岩组合; 近天柱山末期, 一个巨大的灾变事件发生了, 造成大量生物死亡、搬运、堆积, 并伴随着磷质矿物或磷块岩沉积, 显然是海中突然变深, 成为陆棚环境, 且由于上升洋流作用, 带来大量磷质, “毒死”正常海条件下生存的小壳生物, 白云石化作用亦可能随之发生。在黄鳍洞剖面中, 这套富含磷的白云岩显然厚度不大(约 40cm), 但小壳化石极为发育, 且具有: 1) 门类丰富, 有软舌螺、似软舌螺、棱管壳、单板类、腹足类、寒武骨片类、管壳类、腹足类等, 以及一些分类位置不明的化石; 2) 搬运堆积现象明显, 其它地方属不同层位的小壳化石在此地亦混生在一起等特点。在与上覆地层(ϵ_{15j})接触处, 发现了 Ir- $\delta^{13}C$ 地球化学异常(图 10), 被许靖华教授等(1986)称为“寒武纪生物爆发前的死劫难海洋”。显然, 就沉积和环境来说, 天柱山段经历了潮下带到浅海陆棚的海进演化。在该段近底部发现的遗迹化石 *Skolithos* 和 *Paraplanoites* 也证实了这种演化。

表 4 峡东地区寒武纪白云岩电子探针 (%) 及 X-射线衍射分析结果

Table 4 Electron microprobe and X-ray diffraction analyses of the Cambrian dolostones in the eastern Yangzi Gorges area

样品编号	岩码名称	电子探针						X-射线衍射	
		CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	FeO	Ca : Mg	d104	I ₁₀₁₅ /I ₁₁₀
EI-105	糖粒状白云岩	30.86	20.74	0.00	0.03	0.10	1 : 0.94	2.8792	0.9667
		31.98	20.96	0.00	0.00	0.05	1 : 0.91		
		32.05	19.50	0.09	0.01	0.00	1 : 0.84		
EI-109	细晶白云岩	31.47	19.54	0.02	0.00	0.02	1 : 0.84	2.8783	0.8667
		31.19	19.46	0.02	0.02	0.03	1 : 0.86		
		31.68	20.37	0.00	0.01	0.05	1 : 0.91		
		31.45	20.38	0.00	0.00	0.05	1 : 0.91		
		30.80	21.25	0.00	0.02	0.02	1 : 0.95		
		29.32	20.45	0.06	0.02	0.00	1 : 0.98		
EI-110	残余砂屑细晶白云岩	3.86	20.15	0.06	0.02	0.02	1 : 0.88	2.8801	0.8600
		3.81	20.51	0.00	0.00	0.00	1 : 0.93		
		32.37	20.19	0.00	0.02	0.02	1 : 0.86		
		31.78	20.33	0.00	0.00	0.00	1 : 0.89		
EI-111	残余砂屑细晶白云岩	30.68	20.87	0.02	0.02	0.00	1 : 0.96	2.8856	0.7879
		30.02	21.34	0.00	0.02	0.05	1 : 0.98		
EI-113	残余砂屑白云岩	29.02	20.47	0.02	0.01	0.00	1 : 0.98	2.8801	0.8644
EI-125	泥粉晶白云岩	30.09	21.57	0.00	0.02	0.09	1 : 1	2.8856	0.7368
		29.41	21.46	0.00	0.03	0.14	1 : 1.02		
EI-126	泥粉晶白云岩	28.40	22.37	0.00	0.03	0.32	1 : 1.10	2.8837	0.80000
		31.29	22.72	0.06	0.03	0.22	1 : 1.0		
		30.00	21.60	0.00	0.02	0.36	1 : 1.02		
		30.81	22.73	0.00	0.02	0.22	1 : 1.02		
EI-166	泥粉晶白云岩	30.51	23.82	0.00	0.01	0.56	1 : 1.09	2.8873	0.6531
		31.08	22.96	0.00	0.03	0.13	1 : 1.04		
EI-170	粉晶白云岩	30.31	22.30	0.04	0.00	0.41	1 : 1.02	2.8837	0.6974
		31.16	22.32	0.04	0.03	0.25	1 : 0.98		
EI-383	条带状细晶白云岩	29.61	22.11	0.02	0.03	0.00	1 : 1.04	2.8756	0.6863
		29.73	21.90	0.00	0.02	0.02	1 : 1.02		
		30.35	21.79	0.00	0.02	0.00	1 : 1		
		29.66	21.23	0.02	0.02	0.00	1 : 1		
EI-384	细晶白云岩	30.49	21.86	0.02	0.04	0.09	1 : 1	2.8783	0.7949
		29.32	21.82	0.02	0.04	0.00	1 : 1.04		
EI-385	细晶白云岩	29.27	21.18	0.06	0.01	0.02	1 : 1.02	2.8873	0.5556
		30.83	21.90	0.00	0.03	0.00	1 : 0.98		
EI-387	细晶白云岩	30.46	21.53	0.00	0.03	0.00	1 : 0.98	2.8828	0.7352
		30.00	21.05	0.00	0.02	0.00	1 : 0.98		
		29.62	22.01	0.00	0.02	0.02	1 : 1.04		
EI-399	细晶白云岩	29.12	21.86	0.02	0.01	0.00	1 : 1.04	2.8828	0.8298
		28.32	20.96	0.00	0.01	0.00	1 : 1.02		
		30.02	21.01	0.00	0.12	0.07	1 : 0.96		
		30.37	22.00	0.00	0.23	0.02	1 : 1.02		
EI-399	细晶白云岩	26.32	20.31	0.00	0.14	0.00	1 : 1.06	2.8828	0.8298
		20.22	21.40	0.02	0.07	0.04	1 : 0.98		

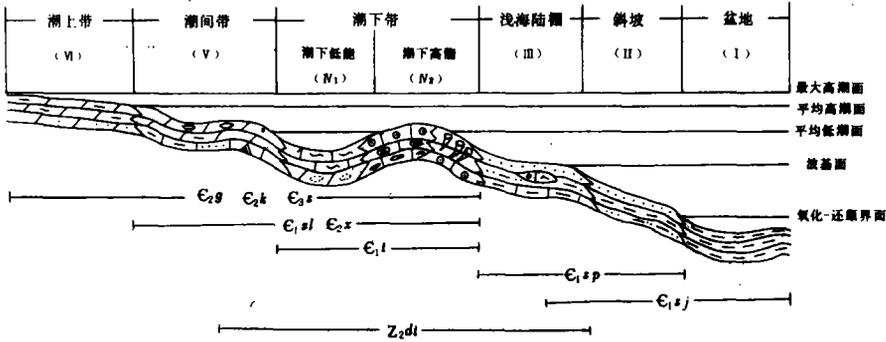


图 8 峡东地区寒武纪沉积环境模式

Fig. 8 Sedimentary model for the eastern Yangzi Gorges area during Cambrian time

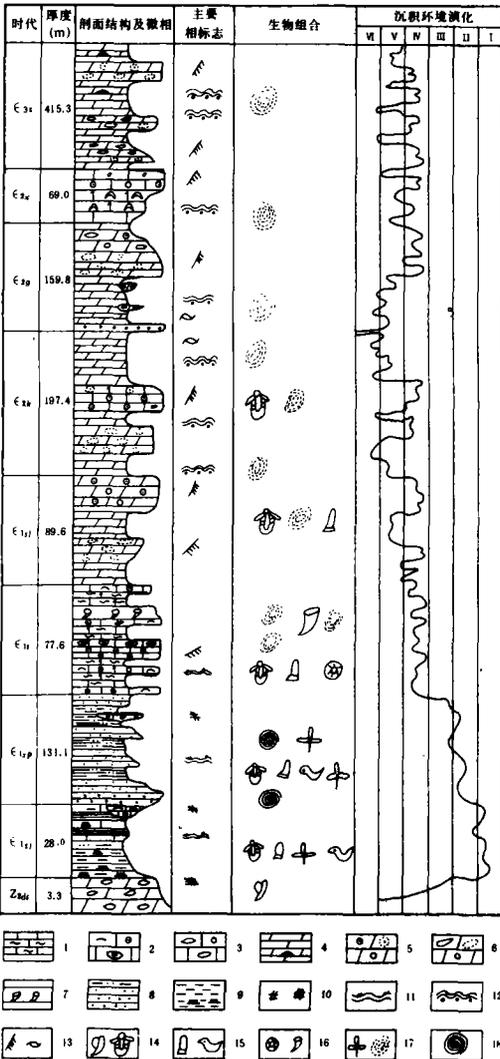


图 9 峡东地区寒武纪沉积环境演化

1-泥粉晶灰岩及条带状灰岩; 2-生屑(鲕粒)(核形石)灰岩; 3-砂屑砾屑灰岩; 4-白云岩(具燧石); 5-(残余)鲕粒(砂屑)白云岩; 6-(残余)砂砾屑白云岩; 7-生物礁灰岩; 8-细、粉砂岩; 9-(含)炭质水云母粘土岩; 10-海绿石(左,下同先左后右)和磷块岩; 11-波状层理; 12-叠层构造; 13-交错层理和鸟眼构造; 14-小壳化石组合和三叶虫; 15-腕足类及古介形虫; 16-棘皮类及古杯类; 17-微古植物及藻类化石; 18-迹化石。

Fig. 9 Evolution of sedimentary environments in the eastern Yangzi Gorges area during Cambrian time

1=calcilitite, calcisiltite and banded limestones; 2=bioclastic (ooidal) (oncolitic) limestones; 3=calcarenite and calcirudite; 4=dolostones (with cherts); 5=(residual) ooidal dolostones (dolorudite); 6=(residual) dolarenite and dolorudite; 7=reef limestones; 8=fine sandstone and siltstone; 9=carbonaceous hydromica claystones; 10=glauconite (left) and phosphorites (right); 11=wavy bedding; 12=stromatolitic structures; 13=cross-bedding (left) and birdseye fabric (right); 14=small shelly fossils (left) and trilobites (right); 15=brachiopods (left) and palaeo-ostracods (right); 16=echinoderms (left) and archaeocyathids (right); 17=micropalaeobotanical (left) and algal (right) fossils; 18=trace fossils

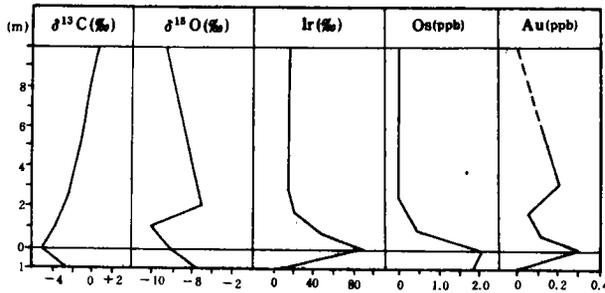


图10 黄罨洞剖面天柱山段与水井沱组界线间的地球化学异常 (据许靖华等, 1986)

Fig. 10 Geochemical anomalies at the boundary between the Tianzhushan member of the Huangshandong Formation and the Shuijingtuo Formation (after K. J. Hsu, 1986)

水井沱期 (\in_{sj}), 其沉积微相大致可划分为三套组合: 下部组合为黑色炭质页岩夹透镜状云质 (含硅) 灰岩 (即锅底灰岩), 生物化石极为罕见, 仅偶见软舌螺 (?). 在锅底灰岩中见有少量高肌虫化石和炭质球粒 (褚叙新, 1987, 个人交流), 普遍具莓球状黄铁矿; 中部组合为炭质页岩、含粉砂炭质页岩夹泥质灰岩, 见有盘虫类三叶虫、古介形类、大量海绵骨针 (*Protospongia* sp.) 以及古植物等化石, 部分层位化石极为破碎。古植物主要为漂浮型的球藻群、船形藻群、多面藻群以及一些分类不明的属种, 如舌形藻属、念珠藻属等; 上部组合为中层泥质灰岩夹薄层泥质灰岩, 三叶虫、腕足类大量发育, 亦见有古植物化石。近顶部见有一层海绿石生屑灰岩, 横向延伸不稳定, 呈透镜状。从颜色 (还原色)、生物组合 (由不发育到发育)、碳酸盐含量 (自下而上增多) 等特征说明, 它是在天柱山海进的基础上发育的更为广泛的海进。下部组合系闭塞还原的较深水盆地 (台盆) 环境的产物。中部组合为台盆—陆棚环境的产物。上部组合为浅海陆棚环境的产物。显然, 天柱山段与水井沱组之间是连续沉积的。大量炭质是因为更广泛的海进, 致使漂浮的古植物死亡、聚集、炭化的结果。

石牌期 (\in_{sp}), 主要为—套陆源碎屑岩 (砂岩、粉砂岩、粘土岩) 沉积, 上部见有含海绿石的砂砾屑灰岩透镜体。就沉积组构来说, 石英颗粒主要为粉砂级, 棱角—次棱角状, 分选中等—好, 粒序层理发育, 多见正粒序, 亦不乏逆粒序。水平层理和波状纹层构造发育。可能发育有低密度重力流沉积。生物组合以三叶虫、腕足类为主, 见有古植物。遗迹化石有 *Paleodictyon* sp., *Arenicolites* sp., *Fucusopsis* sp. 等说明这套沉积物自下而上经历了斜坡—陆棚的沉积环境演变。

天河板期 (\in_{td}) 为清水碳酸盐沉积。在纵向上见有三套沉积组合: 下部为薄层—中层云泥质条带灰岩, 生物以三叶虫、腕足类为主。云泥质条带宽窄不一, 往上逐渐变为极薄层颗粒灰岩与泥晶灰岩构成的条带状灰岩; 中部由鲕粒灰岩、生屑鲕粒灰岩、核形石灰岩、古杯生物灰岩及古杯藻灰岩组成; 上部由薄的颗粒灰岩与泥晶灰岩构成的条带状灰岩逐步演化为云斑灰岩、云泥质条带灰岩。从这三套微相组合来看, 中部组合的沉积环境较为特征, 自下而上发育有鲕粒灰岩、生屑砾屑灰岩、核形石灰岩, 交错层理发育, 最上部为礁灰岩。礁灰岩表现为下部以藻 (葛万藻) 粘结古杯 (10—15%) 和少量其它碎屑为主的含古杯藻灰岩, 往上变为古杯动物极发育的骨架灰岩。喜礁生物主要为三叶虫、腕足类和棘

皮动物。横向上多为丘状,部分地区为层状(生物层)。最顶部为云泥质条带灰岩(礁盖)。显然,这套组合的沉积环境演变经历了潮下低能到潮下高能的演变,有滩相和礁相的演化历史,但由于沉积环境演化迅速,礁发育时间很短,因此规模很小。

石龙洞期(E_{1d})的沉积环境与天河板期相似,但水体盐度变化较大,致使大量生物消失,仅见有少量三叶虫和腕足类碎片。微相组合以板状层理、交错层极发育的砾屑白云岩、残余砂砾屑白云岩、残余鲕粒白云岩和砂屑白云岩等为主,属潮下高能浅滩环境的产物。而粉晶微晶白云岩间夹透镜状砂、砾屑白云岩等微相组合,为潮下低能带—潮间带环境沉积。

磕膝包期(E_{1k}),海水进一步变浅并时常暴露,形成了泥粉晶白云岩间夹颗粒白云岩、颗粒灰岩的微相组合,生物以藻类大量发育为特征,形成大量层纹石、缓波状叠层石等沉积构造。三叶虫、腕足类不发育。见有鸟眼、虫迹、石膏假晶等沉积组构。陆源组分含量较高,一般10—20%。沉积环境以潮上带—潮间带为主,间互有潮下带。中部的鲕粒灰岩、砾屑灰岩交错层理发育,是潮下浅滩环境的产物。

官山璠组(E_{1g})底部见有厚1.5—2.0m的长石石英砂,分选、磨圆中等,往上变为薄层泥粉晶白云岩夹透镜状颗粒白云岩,层纹石、波状叠层石、鸟眼构造发育,是潮上一潮间带(富含潮沟和潮渠)环境的产物。上部变为颗粒(残余砾屑、砂屑、团块)白云岩,交错层理发育,竹叶状砾屑具双向定向排列,是潮间—潮下滩相沉积之产物。

新坪期(E_{1x}),主要为一套石灰岩微相组合,自下而上依次为泥晶灰岩、叠层石灰岩、鲕粒(砂屑)灰岩间夹白云岩、灰质白云岩。叠层石以波状—柱状叠层石为主。沉积环境为潮间带下部—潮下带。

三游同期(E_{1s})沉积厚度大,由多期海进—海退旋回组成。总的沉积背景仍为藻类较发育的潮坪沉积体系;下部由粉晶白云岩、薄层白云岩夹透镜状砂砾屑白云岩等微相组成,鱼骨状和透镜状层理发育,以潮上带与潮沟、潮渠发育的潮间带沉积为主;中部以泥粉晶白云岩、细晶白云岩、半球状藻叠层白云岩与颗粒(砂、砾屑、球粒、鲕粒)白云岩等微相为主,见交错层理,系潮间—潮下带间互的潮上带沉积;上部以细晶白云岩、粉晶白云岩、藻白云岩夹颗粒白云岩为特征,是潮间—潮上带夹潮下带沉积环境之产物。

综上所述,本区寒武纪沉积环境以内部分异较大的碳酸盐台地环境为特色,从早期到晚期受黄陵—沔阳陆核的影响而表现为一完整的海退沉积旋回。

四、储集性分析

上述分析不难发现,本区碳酸盐岩的储集性主要受沉积环境控制,在沉积环境的制约下形成的各种微相经后期成岩改造(白云石化、去云化、淋溶等)形成了各种储集空间,其中包括晶间(溶)孔、粒间(内)孔、生物格架孔、鸟眼孔、膏模孔、缝合缝隙、构造裂缝等。这些孔隙的组合,构成了寒武系具有储(容)矿意义的潜在的储集层(表5)。

在岩石学研究的基础上,我们采集了大量定向样品,测定其有效孔隙度和地球物理参数(V_p 、 V_s),最后将这些数据进行回归分析处理。结论是,石灰岩类岩石的有效孔隙度与地震波速率呈幂函数衰减,白云岩类岩石的有效孔隙度与地震波速率呈指数衰减(史谓,潘荣胜,1989)。这为地下同类岩体的地球物理勘探和储集层的预测提供了理论基础。

表5 峡东地区寒武系储集层段分布及其特征

Table 5 Distribution and characteristics of the Cambrian reservoirs in the eastern Yangzi Gorges area

分布	储集层厚度 (M)	储集岩石类型	孔隙类型	面孔率 (%)
三游洞组	82.5	细晶白云岩 残余颗粒白云岩	复合菱面体孔隙, 晶间(溶)孔。	9.0
官山瑞组	77.0	残余颗粒灰岩 粉晶白云岩 藻白云岩	复合菱面体孔隙, 晶间(溶)孔, 溶孔, 藻骨架孔, 铸模孔。	5.0
磕膝包组	45.0	藻白云岩 残余颗粒白云岩	铸模孔, 溶孔, 窗格溶孔, 鸟眼孔, 粒内孔, 晶间孔。	14.0
石龙洞组	50.0	细晶白云岩 残余砾砂屑白云岩 残余颗粒灰岩	复合菱面体孔隙 晶间(溶孔), 溶孔, 裂缝。	8.5
天河板组	15.0	亮晶颗粒灰岩 礁灰岩	粒间(溶)孔 骨架间孔 体腔孔	5.0

在室内外工作及本文编写过程中, 承蒙王英华教授、杨承运副教授、张秀莲讲师以及王章俊教师的指导与帮助, 蒙俭同志也给予了大力帮助, 谨致谢意。

主要参考文献

- 汪啸风等, 1987, 长江三峡地区生物地层学(2), 早古生代分册, p. 1-42, 地质出版社。
- 宜昌地矿所, 1987, 长江三峡地区地层参观指南, p. 7-14, 地质出版社。
- 许靖华等, 1986, 寒武纪生物爆发前的死劫难海洋, 地质科学, 第1期。
- 王英华、张绍平、潘荣胜, 1990, 阴极发光技术在地质学中的应用, 地质出版社。
- 史涛、潘荣胜, 1989, 地震波速测定在碳酸盐岩油气勘探中的应用, 石油地球物理勘探, 第24卷, 第6期, p. 675-681。
- Flügel, E., 1982, *Microfacies Analysis of Limestones*, Springer-Verlag.
- Tucker, M. E. et al., 1990, *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Scientific Publications.
- Walker, R. G., 1984, General Introduction; Facies, Facies Sequences and Facies Model, In: *Facies Models* (Ed. by R. G. Walker) pp. 1-9. Geoscience Canada.

PETROGRAPHY, SEDIMENTOLOGY AND RESERVOIR CHARACTERISTICS OF THE CAMBRIAN STRATA IN THE EASTERN YANGZI GORGES AREA

Pan Rongsheng

(Institute of Petroleum Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Chen Xiaolan

(Geological Institute, State Bureau of Building Material Industry)

Zhai Yonghong

(Jiangnan College of Petroleum)

Abstract

This paper deals with petrography, sedimentology and reservoir characteristics of the Cambrian strata in the Yangzi Gorges area. The genesis and diagenesis of the main carbonate rocks in this region are discussed with the aid of cathodoluminescence, oxygen and carbon isotopes, trace elements X-ray diffraction and electron microprobe analysis. The sedimentary environments are believed to be a shallow-marine carbonate platform controlled by the Huangling-Mianyang continental nucleus, including supratidal zone, intertidal zone, subtidal (low- and high-energy) zone, shallow-marine shelf, slope or ramp and basin or interplatform basin. The finely-crystalline dolostones, algal dolostones, grainstones and reef limestones are main reservoir rocks, and black shales in the Shuijingtuo Formation are the best source rocks in the study area.