

文章编号: 0529-6579 (1999) 05-0098-06

辽宁本溪田师傅早中石炭世沉积环境分析^{*}

金建华¹, 米家榕²

(1. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 2. 天津师范大学地理系)

摘 要: 根据岩性特征、沉积序列、生物组合、砂岩粒度特征、泥岩地球化学性质以及粘土矿物特征, 分析了辽宁本溪田师傅地区早、中石炭世的沉积环境。结果表明, 本区早、中石炭世沉积环境具明显的纵向演替: 早石炭世晚期, 主要为滨岸沼泽环境; 中石炭世早期, 主要为海湾—泻湖环境; 中石炭世晚期则为正常浅海环境。

关键词: 早石炭世; 中石炭世; 沉积环境; 辽宁本溪

中图分类号: P 534.45 文献标识码: A

辽宁太子河流域原本溪组非常发育, 近年来, 作者在桓仁县木孟子、本溪县田师傅、本溪市牛心台和高台子等地原本溪组底部陆续发现了早石炭世晚期植物化石, 并据此将这一地区的原本溪组重新划分为木孟子组 (早石炭世晚期)、田师傅组 (中石炭世早期) 和狭义的本溪组 (中石炭世晚期)^[1~3]。上述 4 个地点以本溪县田师傅剖面出露最全, 下面将根据岩性特征、沉积序列、生物组合、砂岩粒度特征、泥岩地球化学性质以及粘土矿物特征, 分析这一地区早、中石炭世沉积环境的纵向演替。由于本区地处华北板块的东北隅, 因而对本区早、中石炭世沉积环境的研究, 将对探讨华北板块边缘晚古生代的沉积构造历史具有重要的意义。

1 本溪田师傅剖面简介

剖面位于本溪县田师傅煤矿北 2 km 处孔家堡子村附近, 层序如下:

上覆地层: 太原组中粗粒黄色薄层砂岩

——整合——

本溪组	73.77 m
29. 灰黑色灰岩	0.44 m
28. 灰黄色薄层细沙眼砂岩, 含植物化石碎屑	2.18 m
27. 灰色薄层灰岩, 含腕足类化石: <i>Choristites mosquensis</i> (Fischer), <i>Ch. paichingiensis</i> Ozaki	2.40 m
26. 黄色细砂岩	2.66 m
25. 深灰色厚层灰岩, 含腕足类化石 <i>Choristites</i> sp.	0.87 m

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金 (49272074) 资助项目; 广东省自然科学基金 (970215) 资助项目
收稿日期: 1999-01-04 作者简介: 金建华, 男, 1966 年生, 副研究员。

24 灰黄色薄层细砂岩	13.09 m
23 灰黑色厚层致密块状灰岩, 含腕足类 <i>Choristites</i> sp.; 䗴 <i>Fusulina</i> sp. 及珊瑚化石等	0.97 m
22 土黄色块状粉砂岩, 含植物化石碎屑	24.31 m
21 紫色薄层粉砂质页岩, 下部为杂色粉砂岩	6.15 m
20 杂色中粗粒块状砂岩、细砂岩, 上部为杂色块状泥岩	2.30 m
19 灰黑色细砂岩	7.27 m
18 紫红色薄层泥岩, 向上过渡为紫色薄层粉砂质页岩	9.05 m
17 灰白色厚层致密块状灰岩, 含腕足类 <i>Choristites</i> sp. 及䗴: <i>Profusulinella wangyui</i> Sheng 等	2.08 m
——整合——	
田师傅组	92.08 m
16 紫红色薄层粉砂质页岩, 产植物化石: <i>Lepidodendron</i> sp. 等	12.92 m
15 杂色中细粒薄层砂岩	5.01 m
14 紫色薄层粉砂质页岩, 顶部为紫红色泥岩, 产腕足类、䗴、双壳类化石。腕足类有: <i>Schizophoria resupinata</i> (Mart.) 等; 䗴: <i>Eostaffella subsolana</i> Sheng, <i>Profusulinella ovata</i> Rauser 等; 双壳类: <i>Palaeonilo anthraconiloides</i> (Chao) 等	10.02 m
13 灰黄色中层细砂岩	2.01 m
12 紫色薄层粉砂质页岩夹一层紫红色泥岩, 产腕足类、双壳类及鸚鵡螺、海百合茎化石。	8.15 m
11 紫色粉砂岩、泥岩与灰黄色细砂岩互层, 底部为薄层灰白色粉砂岩。泥岩中产丰富的腕足类、双壳类及鸚鵡螺、海百合茎化石。	1.90 m
10 杂色薄层粉砂岩	16.01 m
9 紫色含铝土质薄层细砂岩	33.10 m
8 青灰色薄层状粉砂质页岩夹一薄层黑色炭质页岩	1.89 m
7 紫色含铝土质块状粉砂岩	1.79 m
——整合——	
木孟子组	19.47 m
6 青灰色薄层铝土质页岩, 泥质成分较多, 向上过渡为青灰色块状铝土质岩, 易风化成碎块	8.30 m
5 黑色薄层炭质泥页岩, 表面光滑细腻, 产植物化石 <i>Neuropteris gigantea</i> Sternberg	0.20 m
4 黑色块状致密铝土质岩, 产孢粉化石, 铝土质岩表面含植物茎干化石	2.22 m
3 青灰色块状致密铝土质岩, 产孢粉化石	0.54 m
2 青灰色砂质泥岩, 向上逐渐过渡为粉砂质页岩和炭质页岩, 底部为一层 0.5 m 的细砂岩。泥岩中产丰富的植物化石: <i>Sublepidodendron mirabile</i> (Nathorst) Hirmer 等及孢粉化石	2.22 m
1 青灰色铝土质岩, 底部为含铁质结核砂岩, 产植物化石 <i>Neuropteris gigantea</i> Sternberg	0.99 m
——平行不整合——	
下伏地层: 下奥陶统上马家沟组灰黑色致密块状灰岩	

2 沉积特征分析

根据上述地层剖面简介, 各岩石地层单位岩石组合和生物组合特征为:

木孟子组: 底部为紫色铁质泥岩和青灰色铝土质岩, 向上过渡为粉砂质泥岩, 其中含有丰富的植物化石和孢粉化石。

田师傅组: 主要为紫色粉砂岩、粉砂质页岩和紫红色泥岩, 夹灰黄色细砂岩。泥岩中产丰富的腕足类化石, 此外还有海百合茎、双壳类、鸚鵡螺化石及少量植物化石碎片。

本溪组: 主要为黄色、杂色中粗粒和中细粒石英砂岩、粉砂岩、泥岩夹灰黑色、灰白

色灰岩. 灰岩中产丰富的珊瑚、腕足类化石, 粉砂岩中含有一些植物化石碎片.

为了研究本剖面中出现的粘土岩、碎屑岩和碳酸盐岩的矿物成分, 岩石的结构构造特征, 进而恢复其沉积环境, 本文对不同岩石类型采用了多种不同的研究和分析方法.

利用等离子光谱, 对粘土岩的微量元素和常量元素进行了定量分析, 利用扫描电镜观察粘土矿物的成分、形态和微结构构造特征; 对碎屑岩主要采用了薄片鉴定和粒度分析; 对碳酸盐岩采用薄片鉴定及所含的生物化石分析.

2.1 粘土岩

2.1.1 粘土岩的地球化学特征. 粘土岩的微量元素及常量元素见表 1.

表 1 粘土岩中微量元素及氧化物含量和比值¹⁾

Tah 1 Content and ratio of microelements and oxides in the argillaceous rocks																			
层位	w (氧化物) / %				w (微量元素) / 10 ⁻⁶											比值			
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	B	Ga	Sr	Ba	V	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Y	m ₁	m ₂	m ₃	
16	17.85	8.88	0.51	0.92	60.0	23.5	131	312	161	67.3	28.6	17.2	297	72.5	66.7	2.6	0.42	5.15	
14	20.55	8.90	0.32	1.36	126	24.0	155	430	208	88.0	30.8	23.9	273	57.9	40.1	5.3	0.36	6.62	
12	19.70	8.56	0.62	1.23	46.0	22.5	276	358	203	88.0	29.4	58.0	161	66.7	94.1	2.0	0.77	6.24	
11	19.14	9.27	0.31	1.13	81.0	31.5	163	378	173	82.7	30.0	45.4	411	57.1	48.3	2.6	0.43	5.90	
2	15.96	13.61	0.15	0.18	30.0	19.4	147	289	109	105	3.5	25.5	110	9.4	39.2	1.5	0.51	1.13	
1~2	27.60	13.36	0.07	0.11	59.0	19.2	171	212	157	126	3.2	189	131	56.9	48.9	3.1	0.81	0.40	
1~1	6.47	32.17	0.07	0.13	51.0	14.2	50	59	42	21.1	14.2	16.6	561	32.4	44.9	3.6	0.84	2.01	

1) 长春地质学院分析测试研究中心测试; 表中 $m_1 = w(B) / w(Ga)$, $m_2 = w(Sr) / w(Ba)$, $m_3 = 100 \times w(MgO) / w(Al_2O_3)$.

从表 1 可以看出剖面元素地球化学性质有下列特征:

(1) Al₂O₃ 含量较高, Fe₂O₃ 含量除了最底层铁质泥岩中较高外, 其它层位均较低, CaO、MgO 含量均较低. 这与本剖面中粘土矿物以高岭石和伊利石为主要成分是一致的.

张士三^[4]根据沉积岩中 MgO 含量的亲海性, Al₂O₃ 含量的亲陆性, 认为镁铝含量的比值 m_3 是沉积物形成环境中水体盐度的综合指标, 可反映沉积环境水体的盐度特征, 其变化范围: $m_3 < 1$ 为低盐度环境, $1 < m_3 < 10$ 反映半咸水环境, $10 < m_3 < 500$ 则为正常盐度环境. 同时认为利用岩石中 m_3 值的变化可对沉积环境的咸化或淡化历史及其淡化程度进行研究, 从而判断生物的演化. 因此, 古盐度很可能是水体中生物演变的环境控制因素之一. 从表 1 还可以看出, 第 1 层的铁铝岩层及第 2 层含植物化石层 m_3 值均较低, 分别为 2.01、0.40、1.13, 基本反映了低盐度的淡水环境或微咸水环境; 第 11、12、14 含腕足类等海相动物化石层的 m_3 值则明显增加, 分别为 5.90、6.24、6.62, 反映了半咸水沉积环境; 到了第 16 层 m_3 值为 5.15, 有所降低, 但仍反映半咸水环境. 虽然该层含有植物化石, 但保存破碎, 鳞木类的皮层化石特征不清晰, 反映它们经过了较远距离的搬运, 在靠近大陆的一种半咸水海湾环境埋藏而成.

(2) 剖面中硼的含量 ($w(B)$) 常常是判断古水介质含盐度的比较有效的指标之一. 一般认为海水沉积物中 B 的含量高, 通常 $> 100 \times 10^{-6}$, 淡水沉积物中 $w(B)$ 较低, 一般 $< 100 \times 10^{-6}$. 但不同地区不同地质时代地层以 $w(B)$ 判断水介质的含盐度并不能以此为统一标准, 相应的往往有一些变化. Keith 等 (1959) 把美国石炭纪淡水页岩硼的含量定为 44×10^{-6} , 海相为 115×10^{-6} . Emst 将石炭纪淡水泥岩硼含量的上限定为 48×10^{-6} , 海相为

$(96 \sim 192) \times 10^{-6}$, 其间为过渡相. 同济大学对现代沉积物研究表明, 淡水 $w(B) < 44 \times 10^{-6}$, 半咸水介于 $(44 \sim 92) \times 10^{-6}$, 正常海 $> 92 \times 10^{-6}$ [5].

本溪田师傅剖面硼的含量普遍较低, 平均为 64.7×10^{-6} , 说明含盐度较低. 含海相化石腕足类、鸚鵡螺及海百合茎的第 11、12、14 层硼的含量平均为 84.3×10^{-6} , 第 14 层为 126×10^{-6} , 显示了这些层位属非正常海的海湾泻湖相半咸水至咸水沉积的特征. 从这些层位的鸚鵡螺化石可以看出, 其个体均很小, 也反映了它们生活于盐度不正常的半封闭海湾环境. 第 1 层铁质岩和铝土质岩的硼含量分别为 51.0×10^{-6} 和 59.0×10^{-6} , 显示淡水向微咸水过渡的沉积特征, 反映了风化壳沉积逐渐向泻湖沉积过渡的特征. 第 2 层硼含量为 30.0×10^{-6} , 并含有丰富的植物化石, 反映当时为植被繁茂的淡水沼泽环境. 第 16 层硼含量为 60.0×10^{-6} , 属淡水—半咸水环境.

(3) 泥岩中 m_1 常能指示古水介质的含盐度. 通常认为, $m_1 > 4.5$ 为咸水沉积, $m_1 < 3.3$ 为淡水沉积, 其间为过渡相. 本剖面中 m_1 比值均较小, 第 1 层的铁质岩和铝土质岩 m_1 各为 3.6、3.1, 显示淡水—半咸水的特征; 含植物化石的第 2 层为 1.5, 显示淡水环境; 含腕足类等海相动物化石的第 11、12、14 层分别为 2.6、2.0、5.3, 平均为 3.3, 显示半咸水环境.

(4) m_2 也能指示古水介质的含盐度. 一般认为 $m_2 < 0.6$ 为淡水, $m_2 > 1$ 为咸水, 0.6~1 之间为过渡相. 本剖面中第 1 层的铁质岩和铝土质岩 m_2 分别为 0.84、0.81, 显示半咸水特征; 第 2 层为 0.51, 为淡水环境; 第 11、12、14 层分别为 0.43、0.77、0.36, 平均为 0.57, 略偏低, 综合硼的含量及 m_1 比值, 为半咸水环境.

(5) 其它微量元素 V、Cr、Co、Cu、Mn、Ni、Y 等大致也反映了上述特征, 一般咸水环境中这些元素的含量大于淡水中的含量.

2.1.2 粘土矿物. 本剖面粘土岩的主要粘土矿物为高岭石和伊利石, 此外还有少量的蒙脱石和绿泥石.

(1) 高岭石: 在本区分布最广, 含量亦最多. 高岭石常形成于潮湿气候酸性介质中岩石被强烈淋滤的条件下. 高岭石晶形好, 反映其为自生成, 反之则可能为陆源继承性高岭石 [6]. 在样品 1 (即剖面第 2 层) 中, 粘土矿物几乎全为高岭石, 局部可见石英颗粒. 在扫描电镜下, 这些高岭石的形态大多不规则, 没有特殊的晶形, 堆积也混乱, 反映了这些高岭石为陆源继承性高岭石, 即原生高岭石由蚀源区被河流搬运而来快速堆积而成, 可能为浊流成因. 少量高岭石近六边形, 晶形较好, 可能属自生类型, 这是由于此层下伏地层为铝土质岩, 常量元素表明, Al_2O_3 含量较高, 由此经化学风化而形成带正电的 $Al(OH)_3$ 胶体与第 2 层中带负电的 SiO_2 胶体在适当的条件下沉淀而形成高岭石凝胶, 再经过一定的温度和压力作用重结晶而形成高岭石矿物集合体, 即此层的自生高岭石. 样品 3 (即剖面第 14 层) 也含有较多的高岭石, 这些高岭石没有特殊的晶形, 排列也不规则, 从微量元素分析可以看出, 此层属半咸水环境, 不利于自生高岭石的形成, 说明这些高岭石是继承性的陆源碎屑. 样品 4 (即剖面第 16 层) 亦含有一定的高岭石矿物, 在扫描电镜下还清楚地显示波状显微层理构造, 没有特殊的晶形, 而且其中含蒙脱石, 蒙脱石常形成于碱性介质中, 而这一环境不利于自生高岭石的形成. 因此, 此层中出现的高岭石亦为继承性高岭石.

(2) 伊利石: 是本剖面中仅次于高岭石的主要粘土矿物, 主要分布于半咸水环境 [6]. 样品 2 (即剖面第 11 层) 几乎全为伊利石, 在扫描电镜下, 排列没有定向性, 有的具蜂窝状构造和菜花状构造. 样品 3 和 4 中也含有少量的伊利石.

(3) 绿泥石:一般形成于还原性的水介质中,本剖面在第 14 层(样品 3)可见到少量这一矿物,呈不规则薄片状堆积,没有特殊的晶形,在扫描电镜下还可见到它与高岭石、伊利石呈不规则堆积.这一粘土矿物组合反映了此层属于半封闭弱还原的泻湖环境,微量元素分析也表明此层为半咸水环境.

(4) 蒙脱石:在本剖面中含量很少,仅在第 16 层中可见其与高岭石、伊利石呈不规则混层堆积.这一粘土矿物组合反映了滨岸沼泽相的沉积特征.蒙脱石常形成于富盐基、特别是贫 K^+ 而富含 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的碱性介质中,尤其是火山灰物质在碱性介质中很容易变成蒙脱石.当前样品含有蒙脱石,表明其形成时的水介质条件偏碱性^[6].

2.2 碎屑岩

2.2.1 岩石特征.本剖面中出现的碎屑岩主要为细粒石英砂岩,少量中粒和微粒石英砂岩,粒径主要为 $1\sim 4\Phi$ ($2\sim 0.0625\text{ mm}$).碎屑成分主要为石英,含量一般高达 90%以上,分选性较好,磨圆度中等偏差,并有极少量的斜长石和绿泥石、云母等.胶结物为硅质、铁质和粘土质,胶结类型为孔隙式胶结,杂基为泥质,含量均小于 10%.常见的层理为水平层理.

2.2.2 粒度特征.根据粒度统计以及累积曲线图和概率累积曲线,本剖面的碎屑物主要由跳跃组分和悬浮组分组成,极少粗粒的滚动组分,反映沉积区可能离物源区较远.从概率累积曲线图上可以看出,曲线斜率较大,反映分选较好.

当前剖面的碎屑沉积物粒度小,属中、细粒砂级,标准偏差为 $0.7614\sim 1.3295$ 之间,根据弗雷德曼(Freidman G M, 1962)提出的关于标准偏差与沉积环境的关系,这些碎屑沉积物属河砂的变动范围.除第 13 层外,频率曲线呈单峰正偏态为主或不对称型正偏态,尾部有个平缓低峰,粒度分选较好至中等,反映了浪基面以下的陆棚环境或潮道环境.第 13 层碎屑物粒度平均仅为 0.0809 mm ,非常细,频率曲线为不对称型负偏态,概率曲线斜率小,粒度分选中等偏差,反映了潮道口环境^[7,8].

2.3 碳酸盐岩

本剖面中共有 5 层灰岩,分布于狭义的本溪组,一般呈灰色,上部为灰黑色.镜下观察以泥晶方解石为主,其中含有丰富的蠕虫、珊瑚和腕足类等化石.此外,还有较多的海相动物化石碎屑,构成了生物碎屑泥晶灰岩.除了生物碎屑外,碳酸盐岩还含有燧石条带,常见低角度双向交错层理、波状斜层理等潮间、潮下沉积标志,表明其形成于温暖潮湿的正常海环境^[7,8].

3 沉积环境分析

木孟子组:主要为青灰色砂质泥岩、铝土质岩和炭质泥页岩.底部的铁铝岩很薄,铁质岩和铝土质岩的 $w(B)$ 分别为 51.0×10^{-6} 和 59.0×10^{-6} , m_1 分别为 3.6 和 3.1, m_2 分别为 0.84 和 0.81, m_3 为 2.01 和 0.40,反映了淡水—微咸水环境.砂质泥岩中产丰富的植物化石和孢粉化石, $w(B)$ 为 30.0×10^{-6} , m_1 为 1.5, m_2 为 0.51, m_3 为 1.13,为淡水环境.粘土矿物几乎为高岭石,反映了温暖潮湿的气候环境.上述特征反映了木孟子组主要为滨岸沼泽环境.

田师傅组:主要为紫色砂岩、粉砂岩、泥岩,夹灰白色粉砂岩,泥岩中含有丰富的腕足类、鸚鵡螺、双壳类、海百合茎等化石,腕足类、鸚鵡螺个体小,反映为盐度不正常的

海水环境。从微量元素分析可知, $w(B)$ 平均为 84.3×10^{-6} , m_1 平均值为 3.3, m_2 平均值为 0.57, m_3 值平均为 6.25, 反映了半咸水环境。粘土矿物组合为伊利石+绿泥石+高岭石, 反映属半封闭弱还原的泻湖环境。在本组的顶部紫色粉砂质页岩中还发现较多的植物化石碎屑, 此层 B 含量为 60.0×10^{-6} , m_1 为 2.6, m_2 为 0.42, m_3 为 5.15, 反映半咸水—微咸水环境。上述特征反映了田师傅组主要为泻湖环境。砂岩粒度分析表明, 本组曾出现潮道口和潮道沉积。

本溪组: 主要为灰黄色砂岩、页岩夹生物碎屑泥晶灰岩。海相动物化石丰富, 有珊瑚、腕足类和海百合茎等, 表明主要为盐度正常的浅海环境。

综上所述, 本溪田师傅地区早、中石炭世沉积环境具明显的纵向演替。早石炭世晚期, 主要为滨岸沼泽环境, 气候温暖潮湿, 植被繁盛; 中石炭世早期, 随着海水的侵入, 主要为海湾—泻湖环境, 繁衍了海生的双壳类、腕足类、鹦鹉螺、海百合等动物; 中石炭世晚期, 海侵进一步加大, 繁衍了正常浅海的珊瑚、珊瑚和腕足类等动物。

参考文献:

- [1] 米家榕, 金建华, 孙克勤. 辽东地区早石炭世地层的发现 [A]. 见七·五地质科技重要成果学术交流会议论文选集 [C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992. 9~13.
- [2] 金建华. 辽东太子河流域早石炭世植物群 [D]. 长春: 长春地质学院学报 1992. 198~206.
- [3] 金建华. 辽东太子河流域“本溪组”涵义的厘定 [J]. 地层学杂志, 1995, 19 (3): 220~228.
- [4] 张士三. 厦门港及九龙江口沉积物中镁铝含量比的研究 [J]. 台湾海峡, 1984, 3 (1): 244~250.
- [5] 同济大学海洋地质系. 海陆相地层辨认标志 [M]. 北京: 科学出版社, 1980. 155~186.
- [6] 田兴有, 张汝凡, 李康, 等. 粘土矿物的电镜分析及在沉积相研究中的初步应用 [A]. 见: 沉积岩石学研究 (论文集) [C]. 北京: 科学出版社, 1981. 191~198.
- [7] 刘宝珺. 沉积岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1980. 281~448.
- [8] 刘宝珺. 岩相古地理基础和工作方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1985. 90~209.

Analysis of Early and Middle Carboniferous Sedimentary Environments in Tianshifu Area of Benxi, Liaoning

JIN Jian-hua^{*}, MI Jia-rong

Abstract: Based on lithologic characteristics, sedimentary sequence, fossil assemblages, grain size analysis of sandstone, microelement analysis and clay mineral analysis of mudstone, the original “Benxi formation” reveals a major and longitudinal change in sedimentary facies. The environment was a coastal swamp in late Early Carboniferous. In early Middle Carboniferous, the environment gradually became a lagoon-gulf. In late Middle Carboniferous, the environment became a normal shallow sea.

Keywords: early Carboniferous; middle Carboniferous; sedimentary environment; Benxi of Liaoning

^{*} School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China