

文章编号:1009-3850(2015)04-0035-09

四川广元长江沟大隆组的沉积特征 及与烃源岩关系的研究

陈斌, 蔡雄飞, 冯庆来, 顾松竹

(中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:四川广元长江沟上二叠统大隆组是以灰岩为主夹泥岩的沉积类型,生物群组合面貌十分丰富,沉积特征以还原、低能、低速、缺氧为特点。根据生物群组合面貌和沉积特征,其形成环境应为较深“浅水”,而并非“半深海”。本区大隆组由于生物多样性和始终处于特殊的斜坡和缺氧环境,具有优质烃源岩特征,有机碳平均含量达5%,是四川今后寻找油气的有效标志层。

关键词:生物多样性;沉积特征;烃源岩;大隆组;四川广元

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

四川广元长江沟晚二叠世大隆组剖面位于上扬子地台拗陷区。大隆组发育甚佳,剖面连续、出露完整、生物门类多样、顶和底接触关系清楚、厚度不大。该剖面曾是国际二叠纪和三叠纪界限候选剖面之一,也是四川大隆组建立的次层型剖面,研究程度相对比较高,尤其是生物地层学研究成果十分突出。但与生物地层学研究相比,沉积学研究一直比较薄弱。本文通过最近几年来对该剖面的沉积学与油气关系的研究,获得了古生物学、沉积和烃源岩特征的大量资料,为探讨其生烃能力研究提供了基础。

1 研究概况

四川上二叠统大隆组分布比较局限,研究起步较晚。真正涉及大隆组的研究是20世纪60年代。1961年,南京地质古生物研究所在四川广元、江油、剑阁、南江一带地层报告中将晚上二叠统上部含 *Pseudotiroilites asiaticus*, *Pseudotiroilites* sp. 的长兴组的硅质岩更名为大隆组。1970年,四川省第二区测队在广元幅(1:20万)报告中,指明大隆组局限在大巴山-龙

门山前缘地带,是上二叠统长兴组的相变层,其岩性组合为灰-灰黑色薄层硅质岩及硅质页岩,夹棕褐色含炭粉砂质页岩。1978年,赵金科等对川北广元朝天明月峡剖面进行了深入研究,划分了3个菊石带,即 *Pseudostephanites-Tapashanites* 带、*Pseudotiroilites-Pleuronodoceras* 带和 *Rotodiscoceras* 带^[1]。

特别值得提出的是,自1978年以来,由杨遵仪领导的中国工作组参加了IGCP 106项目(二叠-三叠纪事件及其洲际对比)和1983年成立IGCP 203项(东特提斯区二叠-三叠纪事件及洲际对比),四川广元大隆组得到很好地深化研究。以李子舜等为代表,对生物地层和事件地层研究贡献颇多,对二叠-三叠纪界限附近的地层进行了多门类精细研究。同时,对稳定同位素、地球化学和古地磁进行了深入分析。可以说,在这段时间内,把四川广元大隆组研究水平推向了国内外研究前沿^[2-3]。

尽管四川广元二叠-三叠纪界限剖面曾作为国际二叠、三叠纪界限后选剖面之一,其精彩部分十分突出,但长期以来对沉积学部分研究始终相对较弱,在岩性上以硅质岩为主的地层一直解释为

收稿日期:2015-05-04; 改回日期:2015-05-18

作者简介:陈斌(1956-),男,高级工程师,主要从事地层和沉积学研究。E-mail:chenbin@cug.edu.cn

资助项目:国家自然科学基金(40839903)资助

“深水环境”,对与油气的关系也未涉及。

2 生物群面貌的组合特征

四川广元大隆组以产有多门类的生物群为特征。生物群具有一个鲜明的标志,即下部单一、含量少,上部多,而且具多门类特色(表1)。其中中、上部产有大隆组特色的菊石 *Pseudotiroliotes* sp. 和牙形石 *Neogondolella changxingensis* 等带化石,产有藻类、介形虫、钙球、有孔虫、遗迹化石、腹足类、海百合、腕足、菊石、放射虫、牙形刺等。古生态既有漂浮、浮游,又有较多底栖生物群分子。

微体化石以牙形刺和放射虫为代表,二者相互消长(图1)。牙形刺以 *Neogondolella changxingensis* 为代表,集中在大隆组上部层位。放射虫比较破碎,难于鉴定,产于大隆组下部层位。

藻类主要以藻屑和藻孢子形式产出。藻屑大小0.1~3mm,呈碎屑和叶状,具有定向性。钙球也是两头少,中间多,中部含量最高。钙球呈圆-椭圆状,分散状分布(图版Ic)。

介形虫集中在下中部,呈碎片状,多以 *Baivdiacea* 为代表,以厚壳为主。

有孔虫多集中在上部,产 *Nodosaria?* sp.、*Hemigordius hubeiensis* (Li)、*Neoendothyra* sp.、*Nodosaridae* gen. et sp. indet. (图版Ie、f)。

遗迹化石产在上部,以 *Palaeophycus* (古藻迹) 为代表,顺层理面排列(图版Ib)。

腹足类主要是螺,集中在中部,个体完整,大小0.8~1.2mm(图版Id)。

海百合茎仅在中部出现,圆形,直径2mm,比较完整。

腕足呈碎片状,大小1.2mm,集中在中部偏上。

菊石产在中、上部,以 *Pseudotiroliotes* sp. 为代表,在上部层位上十分富集。

该剖面的生物群和岩性与下伏的吴家坪组相比,有着极大差异。吴家坪组生物群主要以瓣和非瓣的有孔虫为主,此外还有腕足类、珊瑚和牙形刺。而大隆组除缺乏瓣类化石外,与吴家坪组生物群显著不同的是门类更加多样化。不但出现漂浮生物,而且也出现相当多的底栖生物群,如介形虫、腕足类、海百合茎、藻屑、钙球等。这些底栖生物具有鲜明浅水生活的特征。

作为底栖生物的介形虫以厚壳为主,腹足类以完整的个体螺为主,海百合茎一直在地史时期作为指相化石特征的浅水相,藻屑、钙球也一直被认为

生活在浅水中。底栖生物群与漂浮、浮游生物群的菊石混生,一直是本剖面的特色,也是扬子区大隆组普遍具有的特色^[4-5]。

3 沉积特征

四川广元大隆组剖面岩性旋回显著,沉积构造比较单一。以往多数人认为该剖面的沉积类型以硅质岩为主,其实不然,是以非硅质岩为主。经过大量薄片工作,其岩性组合自下而上为,灰色薄-中层含微晶灰岩与灰黑色中-薄层弱硅化含生物碎屑碳泥质岩互层,其中层理面上可见沥青化;灰黑色中-薄层碳泥质钙球微、粉晶灰岩与灰色薄-中层弱硅化的钙球碳泥质岩互层(图版Ia);以及往上大量的灰色、灰黑色中厚层弱硅化、硅化的碳泥质钙球、藻屑、发育水平层理的微、泥晶灰岩。这些岩性组合由于色深、一些弱硅化、硅化往往给人硅质岩假象,而弱硅化、硅化主要集中于中、上部的微晶灰岩(图2)。

该剖面沉积序列下部为灰色薄-中层含生物碎屑微晶灰岩与黑灰色薄-中层含褐铁碳泥质岩互层。灰色薄-中层含生物碎屑微晶灰岩,内部可见呈水平、断续分布的碳泥质纹层,产有介形虫、钙球等。上部黑灰色薄-中层含褐铁碳泥质岩,内部可见不太明显的近水平纹层状构造。

中部灰黑色中-薄层碳泥质钙球微、粉晶灰岩与灰色薄-中层弱硅化的钙球碳泥质岩互层。下部灰黑色中-薄层碳泥质钙球微、粉晶灰岩,内部可见呈水平、断续分布的碳泥质纹层,产有大量钙球。其上的灰色薄-中层弱硅化的钙球碳泥质岩,产有大量生物化石,主要有介形虫、钙球、海百合茎、藻屑等,内部发育纹带状层理和微波状层理。可见少量的黄铁矿(表1)。

上部主要为中厚层微、泥晶灰岩为主,但特征有些不相同。底部为灰黑色含粒屑微-泥晶灰岩,产有藻屑、腹足类、介形虫碎片、钙球、遗迹化石等,其中还产有富含褐铁泥质扁豆状的内碎屑,呈带状、水平状排列,大小为0.6~0.8mm。往上为灰色、灰白色中厚层微、泥晶灰岩,出现菊石和遗迹化石。除底部化石门类有所减少,层内的内碎屑仍然可见,以形态不规则的团块状钙质内碎屑为主,大小0.2~0.5mm(表1)。

根据沉积特征判断,本区大隆组下、上部虽同属低能环境,但低能程度迥然不同。下部为还原的低能、低速沉积。低能、低速内部沉积构造均为水平

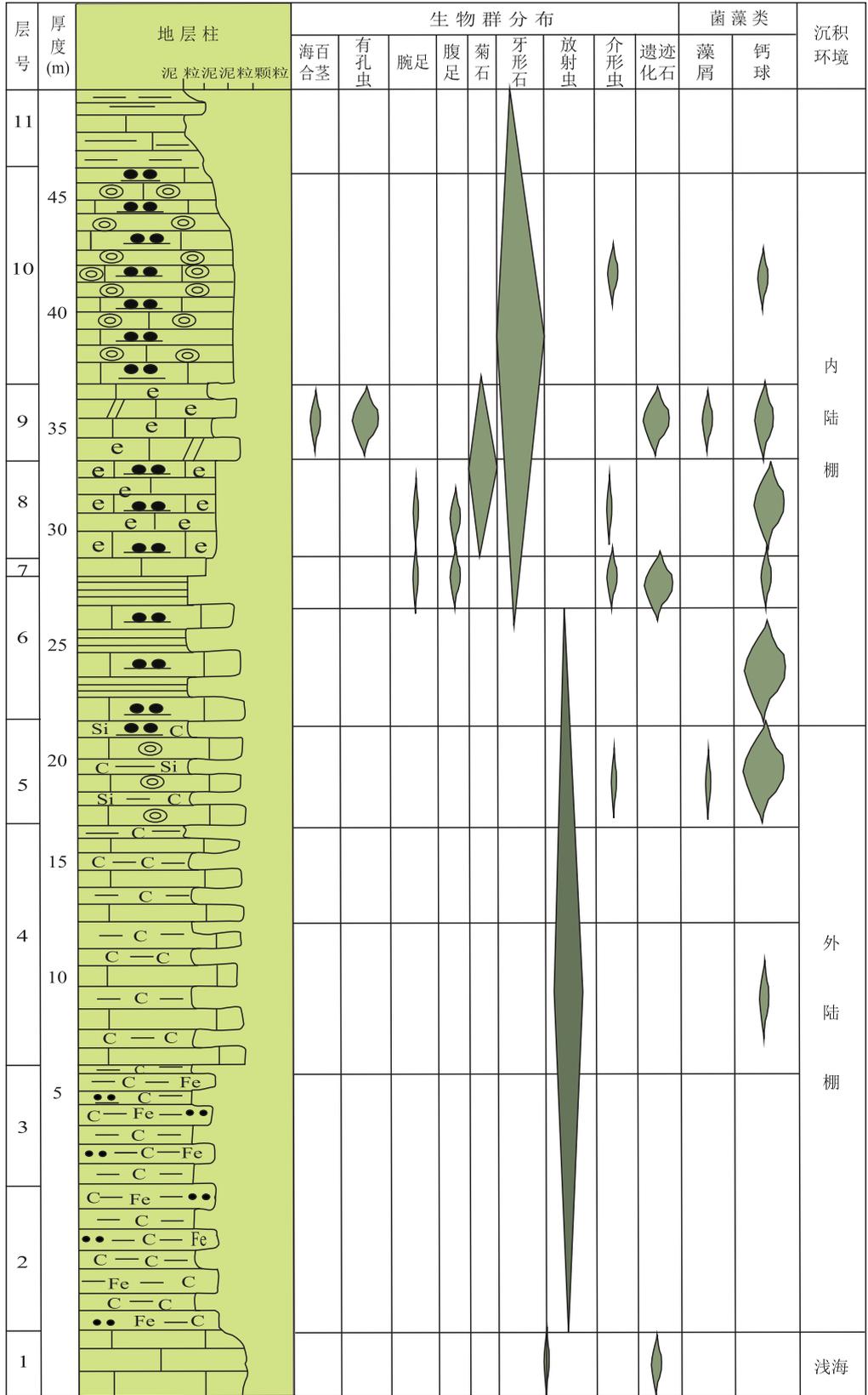


图1 广元长江沟剖面大隆组生物群与有机碳的关系

Fig.1 Relationship between biotic assemblages and organic carbon distribution in the Dalong Formation section in Changjiangou, Guangyuan, Sichuan

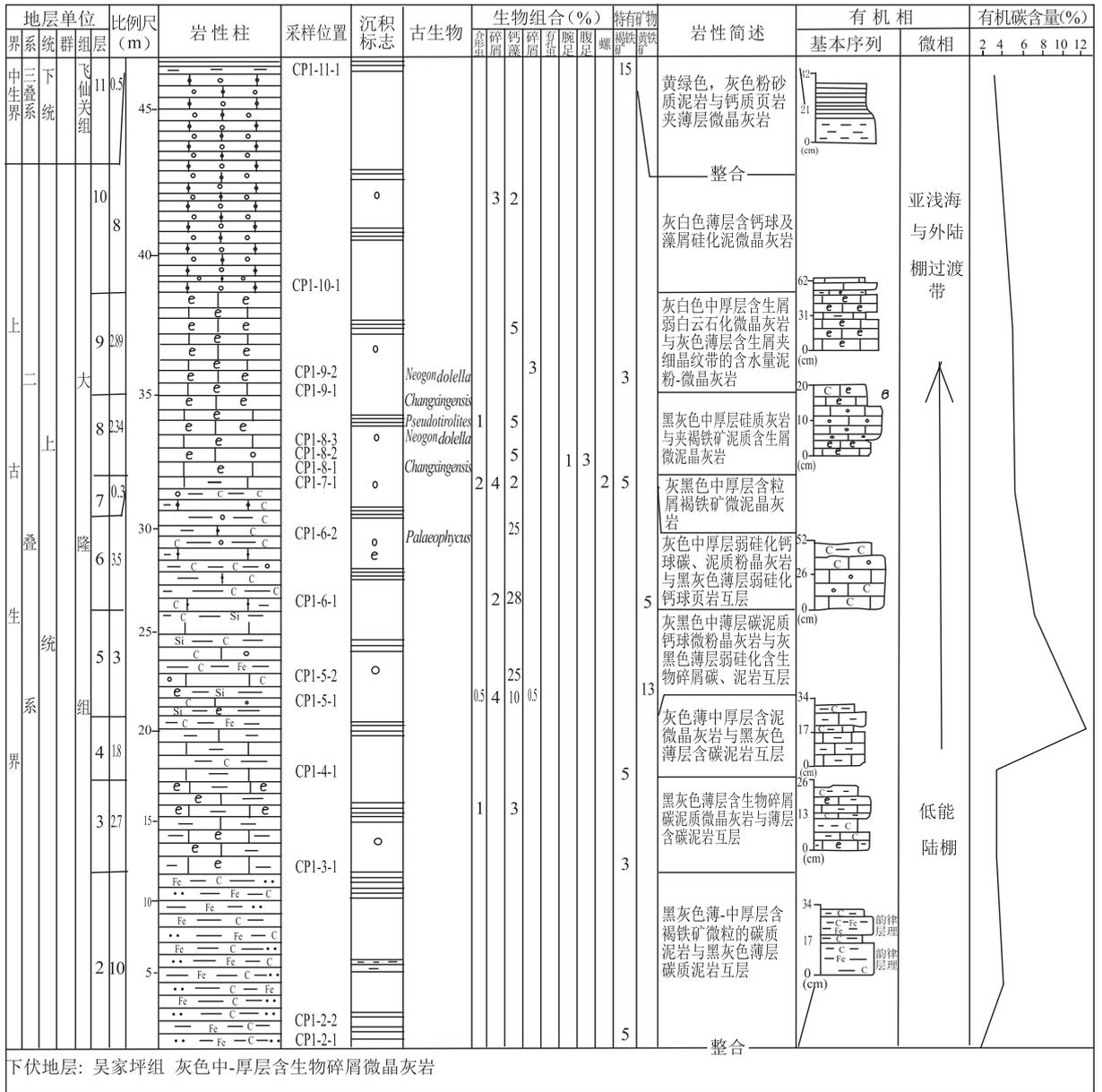


图2 广元长江沟晚二叠世大隆组柱状图

Fig. 2 Lithologic column through the Dalong Formation in Changjianggou, Guangyuan, Sichuan

层理,各门类生物群组合不多,以少量的介形虫、藻屑、钙球为主。还原的环境标志十分鲜明,含沥青质、星点状黄铁矿、碳泥质含量 13% ~ 90%。到顶部强还原的标志进一步增强,以含一定数量黄铁矿为特征。

上部尽管也是低能沉积,但低能程度有很大差异。在水平层理中,可见几个层位的富含褐铁泥质扁豆状和团块状钙质内碎屑为主的沉积,产有大隆组真正的多门类生物,其中不乏底栖类。碳泥质含量显著增加,褐铁矿在不同层位仍然存在(表1)。

从大隆组沉积特征看,与下伏的吴家坪组是两个不同类型的沉积环境。吴家坪组为鲕类发育、含

有大量珊瑚、腕足的碳酸盐台地沉积,水深充其量几米-十几米。而大隆组下部急剧进入到水深一百多米的低能陆棚沉积,以少量的介形虫、藻屑、钙球和强还原为标志,以退积沉积作用为主。上部含有大量多门类生物群,其中不乏较多保存较好的底栖生物群与漂浮、浮游生物群混生,产有扁豆状、团块状的内碎屑。以海退的进积沉积作用为主,处于内陆棚沉积,强还原沉积环境并未被打破。关于吴家坪组与大隆组界面上下完全不同的岩性、岩相、生物群组合面貌等在扬子地区北缘广泛存在,暗示该区有一次强烈的事件沉积作用存在。

关于内陆棚也就是浪基面之上靠近陆棚的过渡

表1 大隆组矿物组分表

Table 1 Mineral compositions in the Dalong Formation in Changjianggou, Guangyuan, Sichuan

时代、样品号		组分(%)						沉积构造	结构构造
		褐铁矿	黄铁矿	伊利石绢云母	碳泥质	方解石	燧石		
T_1f	CPI-11-1	15						水平纹层	微粒、泥状
P_3d	CPI-10-1			5		55	40		微泥晶
	CPI-9-2	3			80	17		纹层状	含生屑
	CPI-9-1					85	10		含粒屑微晶
	CPI-8-1	有				90		水平纹层	含生屑微泥晶
	CPI-7-1	5				85		水平纹层	微泥晶
	CPI-6-2				20	55		纹层状	泥粉晶
	CPI-6-1		5		65			纹层状	微泥状
	CPI-5-2				20	55			粒屑
	CPI-5-1		3		82			近水平纹层	微泥状
	CPI-4-1	5		10				纹层状	细微晶
	CPI-3-1	3			13	80		纹层状	泥微晶
	CPI-2-1	5		5	90			纹层状	微泥状
P_3w	CPI-1-1				6	90			微泥状、微泥晶

带沉积,往往是容易被人遗忘的研究领域。浅海浪基面之上是沉积作用活跃的地带,是底栖生物群的“乐园”,往往引起人们的广泛注意。外陆棚则是低能、低速、还原的地带,沉积构造以千篇一律的水平层理为主。二者的过渡地带内陆棚无论是生物群还是沉积作用都会出现浅海与陆棚相互混生的沉积特点和生物群面貌,如地史时期海陆交互相沉积,就具有大量的生物群和沉积作用混生的特点。

大隆组下部和上部的沉积环境具有显著的差异,从生物群组合面貌也可佐证。大隆组上部产有藻屑、螺、介形虫碎片、钙球、遗迹化石、菊石等。这些生物群绝大多数都不具有深水陆棚的特点。藻屑通常作为浅水的标志,螺个体十分完整,介形虫碎片以厚壳为主,遗迹化石 *Palaeophycus* (古藻迹),通常作为 Seilacher 的 *Cruziana* 相中的遗迹群落中重要成员。*Cruziana* 相与 *Skolithos* 相横向上经常过渡。*Skolithos* 相经常作为高能带的标志,而 *Cruziana* 相中的遗迹群落中 *Palaeophycus* (古藻迹)则是潮下低能带的代表。钙球尽管国内外研究不多,但从其形态、内部亮晶颗粒,可以肯定与水深、沉积环境具有密切关系。从剖面看这些钙球具藻孢子,应该说与亚浅海关系十分密切。至于漂浮、浮游生物的菊石存在,不能一概而论,有相当多的菊石既可以生活在深水也可以生活在浅水甚至海湾。本剖面的 *Pseudotrolites*,以壳体中等至大,粗壮的横肋和瘤为特征,属于游泳能力弱者,并与较多腕足类、双壳类和腹足类等共生。这些腕足类、双壳类和腹足类等

主要是底栖的,一般生活在贫氧环境里。

大隆组下部生物单调,尤其以放射虫为主,这是因为硅质生物由于缺少竞争对手而得以生长,尤其在粘土供应充分的水域,更有利于硅质生物的发育。上部不但出现生物多样性,而且微体化石以牙形石为主。反映了大隆组下部的微晶灰岩水深显然要比上部微晶灰岩要深。

如果大隆组始终处于大陆斜坡之下沉积环境,生物组合面貌应该是薄壳、比较单一的面貌,岩性上也应该出现多元化。也就是说,应当是一个沉积作用活跃的地带,岩性出现多变,而本区大隆组岩性始终变化不大。再从下伏的吴家坪组碳酸盐台地来看,其水深充其量十几米,从十几米突然下降几千米,是难以想象的,而且地史中很难出现这种巨量的海平面大起大落的现象^[4]。

因此,从无机界与有机界两方面看,大隆组下部具有外陆棚的沉积特点,上部则具有亚浅海与陆棚过渡带沉积特点。大多数动物群具有浅海下部生活的特点,但都具有一个显著的共同特征,始终处于还原和低能的沉积环境。

4 与烃源岩的关系

沉积环境与油气的关系是密不可分的。对碳酸盐岩烃源岩来说,有机质类型主要受母质来源、沉积环境及成岩作用影响。母质来源是决定有机质类型的重要因素,而沉积环境是影响有机质类型的又一因素。在还原条件下形成的碳酸盐岩,其有

机质可免遭氧化作用。沉积环境决定了有机质类型,也影响有机质生烃潜力。因此,有机质的丰度是反映烃源岩生烃潜力的一个十分重要的指标(表2)^[6]。

有机质丰度主要取决于有机碳,从国内外对油气勘探成果统计来看,凡有机质 $>0.5\%$,属于较好的烃源岩^[7]。而本区自下而上各层有机碳都远远大于 2% 。从优质烃源岩看,中部最高,向下、上逐渐变低,其中下部相对较低(图1、表2)。上述结果由中国地质大学(武汉)教育部生物地质与环境地质重点实验室分析测试。

表2 上二叠统大隆组有机碳丰度

Table 2 Organic carbon abundances in the Dalong Formation in Changjianggou, Guangyuan, Sichuan

样品号	层位	岩性	有机碳(%)
CP10-1	10	钙球藻屑泥微晶灰岩	3.178
CP7-1	7	微、泥晶灰岩	5.157
CP6-2	6	泥粉晶灰岩	2.509
CP6-1	6	泥质粉晶灰岩	4.811
CP5-2	5	钙球生物碎屑碳泥岩	6.573
CP5-1	5	钙球碳泥质微-粉晶灰岩	12.45
CP4-1	4	含泥微晶灰岩	3.624
CP3-1	3	碳泥质微晶灰岩	3.856
CP2-2	2	碳质泥岩	4.088
CP2-1	2	碳质泥岩	2.911

从各层有机碳含量变化来看,其与生物多样性密切相关。下部生物比较单调,有机碳含量相对较低,为 $3\% \sim 4\%$;中部生物呈现多样性,尤其是藻类、钙球比较丰富,有机碳含量为 $<6\% \sim 12\%$;上部生物尽管也呈现多样性,但藻类、钙球大幅下降,有机碳含量也为 $3\% \sim 5\%$ (图1、表2)。

需要指出是,低等生物的藻类、钙球特别是藻类与有机碳具有正相关关系。藻类含量高,有机碳含量呈现递增,可分别到 $3\%、4\%、5\%、12\%$,表明有机碳与低等植物有密切关系(图1、表2)。

高含量有机碳除与生物多样性,尤其是藻类紧密相关外,还与还原作用密切相关,因为在还原条件下形成的碳酸盐岩,其有机质可免遭氧化作用。中部还原性最强,除含碳较高外,还有一定含量的黄铁矿,因而有机碳含量达到最高。

有机碳含量变化与生烃的微相环境紧密相关。尤其是古环境的洼地往往是优质烃源岩发育的场所。本区还原的、台地斜坡之下的低能环境是最适宜有机质堆积的部位。由于处于台地和台盆之间,

发育各种生物类型。斜坡之下的低能环境沉积往往具有低的无机物输入和低的沉积速率。这是优质烃源岩不可缺少的形成条件。前者提供了生烃母质生物生命活动、繁衍、繁盛环境能够形成高有机质的丰度;后者可使单位时间、单位体积的有机质得到高度浓缩,从而十分利于高有机质丰度的烃源岩的形成。从本区大隆组的生物多样性和千篇一律的纹层状构造和沉积特征,充分反映了优质烃源岩是古环境中特殊沉积环境的综合因素的产物。

上扬子地区以广元长江沟剖面为代表,生物群尽管呈现多样性,但原始的藻类、放射虫始终占有相当多的含量。生物群面貌以微体生物群为特色,凸显海洋微生物在形成油气中的作用。这些微生物除生命力顽强、生长快、分布广以外,可能还具有粘结合有机质的功能。如藻类在生物礁形成作用中,功劳往往要占首位,其不但可以与其它造礁生物一起抗浪,而且可以粘结碳酸盐。因而在形成优质、优良质烃源岩中,其不但可以分泌大量有机质,而且往往与灰黑钙质沉积物相间,成为斑状、细纹带状沉积。这些藻类在生长过程中,总是先分泌有机质,然后粘结钙质沉积物,犹如捕蝇纸粘苍蝇一样,一层有机质,一层钙质,形成纹层相间的粘结生长迹象。可以说,这些藻类具有捕集作用的功能,因而在形成优质、优良质烃源岩中的作用也是显而易见的。

广元地区大隆组优质、优良质烃源岩形成还有几个不可忽略的特殊条件。

其一,海退型陆棚沉积类型的有机质含量往往高于海侵型的。传统的地质学沉积认为,海侵型沉积带来生物群多样性和繁盛,有机质含量较高。这一传统认识,只能适用正常层序、序列、环境。而对非正常序列的扬子古陆北缘大隆组则失灵。在扬子区吴家坪组与大隆组下部完全是两种不同类型的沉积:吴家坪组以浅海的底栖动物群为代表,而大隆组下部是单调的以放射虫为主的生物群,是一种区域上大的事件沉积作用的反映。突然的水体加深,恰恰造成大量的浅水生物的灭绝,带来大隆组下部生物的单调,上扬子地区仅仅是少量生物群,中扬子地区以放射虫为代表。大隆组上部由于缓慢海退,沉积环境从外陆棚到内陆棚转变,带来了较浅水的生物,尤其是大量菌藻类出现,这在广元地区特别显著,往往造成大隆组上部有机碳含量的指标要比下部高得多。

其二,不断的洋流作用,给海洋生物和微生物

带来了营养^[8-9]。许多研究也表明,海相高有机质丰度烃源岩的形成与沿岸型、赤道辐散带型、反气旋型等上升洋流的关系密切。上升洋流富磷、富硅、富铁族元素等营养盐和富绿硫细菌,大大促进了有机质生产力、埋藏率的激增。这在现代海洋中已得到证明,沿世界各海洋盆地东部亚热带海岸由于高营养水体的上升洋流和充足的阳光导致水体中海洋生物大量繁殖,具高生物生产率,从而形成富含有机碳的海相沉积。如秘鲁式海岸上升洋流、东太平洋赤道上升洋流都可以形成高生产率带,生物群特别丰富,从而有机质也特别富集。硅质生物发育也是上升洋流标志之一。据对现代台湾浅滩南部上升洋流区研究发现那儿发育大量硅藻,死亡后以硅藻土、硅质薄层等形式沉积下来,经脱水、成岩后,形成硅质薄层和硅质结核等^[10]。

如果我们将今论古、将古比今,广元地区大隆组时期洋流作用的标志也比较频繁。多层小砾屑和高碳质组分、深水和浅水动物混生、生物的多样性等,这种多次上升洋流作用,不但给沉积物打下烙印,而且源源不断地从下层将营养盐类携带到表层水,使得海退期的生物群更加繁盛,大大促进了有机质生产力的激增,极有利于本区大隆组广阔范围内优质、优良质烃源岩的发育。

其三,从有机质的保存条件看,陆棚蒸发岩盆地水体中具有密度分层的特点,高密度层以下的沉积物具有强的氧化还原电位,从而使有机质保存下来^[11]。在蒸发岩的形成初期,由于水体盐度增加或不同盐度水体的混合,底部水体近于停滞,造成各种生物的大量死亡。当卤水浓度达到超饱和时,蒸发岩发生快速堆积,能够快速覆盖腐殖泥相,给腐殖泥相造成一个封闭的弱氧化还原环境,形成一个天然的“蒸馏器”^[12]。这就使大量的死亡生物和有机物质免遭氧化的破坏,有利于更多的有机物质转化成烃类。蒸发盐型的环境具有巨大的有机物质生产能力。在卤水中虽然残留的生物种类较少,但是残留下的生物则易于繁殖成巨大的数量。例如中东地区从三叠系到白垩系分布众多中等盐度的沉积环境,这些层位蕴藏着丰富的油气资源,其保存环境最佳。上扬子地区从广元南部到北部,白云石化作用越来越强烈,始终处于半封闭的较浅深水。半封闭环境往往导致海水的循环流通受阻、气候干热,往往会导致水体分层,就会在底部造成还原环境,这是高有机质的烃源岩最有利的沉积环境。

表3 四川朝天明月峡大隆组有机碳含量表

Table 3 Organic carbon contents in the Dalong Formation in Mingyuxia, Chaotian, Guangyuan, Sichuan

样品号	层位	岩性	有机碳(%)
GMP32-1	32	含泥粉细晶灰岩	2.683
GMP27-1	27	含泥粉细晶灰岩	4.723
GMP19-1	19	含泥粉细晶灰岩	6.192
GMP12-1	12	粉细晶灰岩	4.811
GMP11-1	11	钙泥质生物碎屑灰岩	8.15
GMP9-1	9	细晶泥灰岩	1.915
GMP6-1	6	含藻屑泥炭质微晶灰岩	7.086
GMP4-1	4	炭质白云石化粉-微晶灰岩	0.973
GMP1-1	1	含泥生物碎屑粉微晶灰岩	0.422

由中国地质大学(武汉)教育部生物地质与环境地质重点实验室分析测试

从四川现有油气勘探的岩性看,几乎都为碳酸盐岩。获工业油气的是下三叠统飞仙关组,飞仙关组主要为一套碎屑岩夹高能环境的碳酸盐岩。从飞仙关组内部勘探结果来看,碳酸盐岩是该组主要的烃源岩。飞仙关组第二、三段属生物大灭绝期,生物种类和数量都很少。飞仙关组第三段属高能沉积环境,有机碳含量极低,含量变化在0.05%~0.60%之间,有些远远达不到有效烃源岩下限的标准^[13]。下三叠统飞仙关组油气来源与下伏的晚二叠世大隆组高含量的烃源岩以及大隆组之下的烃源岩密切相关,可以说,本区的大隆组对川北飞仙关组油气有相当重要的贡献。从本剖面横向上由南向北看,大隆组岩性尽管有所变化,但有机碳含量始终十分高(表3),平均达到4%~5%。

因此,把川北大隆组作为今后油气勘探的目的层和标志层,从理论上和实践上都具可行性。

参考文献:

- [1] 四川地质矿产局. 四川省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [2] 李子舜,詹立培,戴进业,等. 川北陕南二叠-三叠纪生物地层及事件地层学研究,地层古生物第9号[M]. 北京:地质出版社,1989. 10-15.
- [3] 杨遵仪,殷鸿福,吴顺宝,杨逢清,丁梅华,徐桂荣,等. 华南二叠-三叠系界线地层及动物群[M]. 北京:地质出版社,1987. 61-65.
- [4] 殷鸿福,丁梅华,张克信,等. 扬子区及其周缘东吴-印支期生态地层学[M]. 北京:科学出版社,1995. 28-68.
- [5] 金若谷. 陕南西乡晚二叠世大隆组及其沉积环境[J]. 地层学杂志,1987,11(4):278-285.
- [6] 蔡开平,王应蓉,杨跃明,等. 川西北广旺地区二、三叠系烃源岩评价及气源初探[J]. 天然气工业,2003,23(2):10-14.

- [7] 林小云. 中下扬子地区海相烃源岩评价及成藏条件[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2007. 49-73.
- [8] DAVID Z P, PAUL K L. An upwelling model for the Phosphoria Sea: A Permian, ocean-margin sea in the northwest United States [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(7): 1217-1235.
- [9] CLAVERT S E. Oceanographic controls on the accumulation of organic matter in marine sediments [A]. Brook J, Fleet A J. Marine Petroleum Source Rock [C]. London: Blackwell Scientific Publications, 1987. 137-151.
- [10] 冯季芳. 闽南-台湾浅滩渔场浮游植物种类组成和数量分布, 闽南-台湾浅滩渔场上升流生态系研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 388-406.
- [11] RULLKOTTER J Z. Organic matter; the driving force for early diagenesis [A]. Schulz H D, Zabel M. Marine Geochemistry [C]. Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, 129-172.
- [12] IBE A C. In situ formation of petroleum in oolites, Part 1: Scheme of hydrocarbon generation and accumulation [J]. Journal of Petroleum Geology, 1984, 7(3): 267-275.
- [13] 陈盛吉, 谢帮华, 万茂霞, 高熙, 黄纯虎. 川北地区礁、滩气藏的烃源条件与潜力分析[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(4): 1-5.

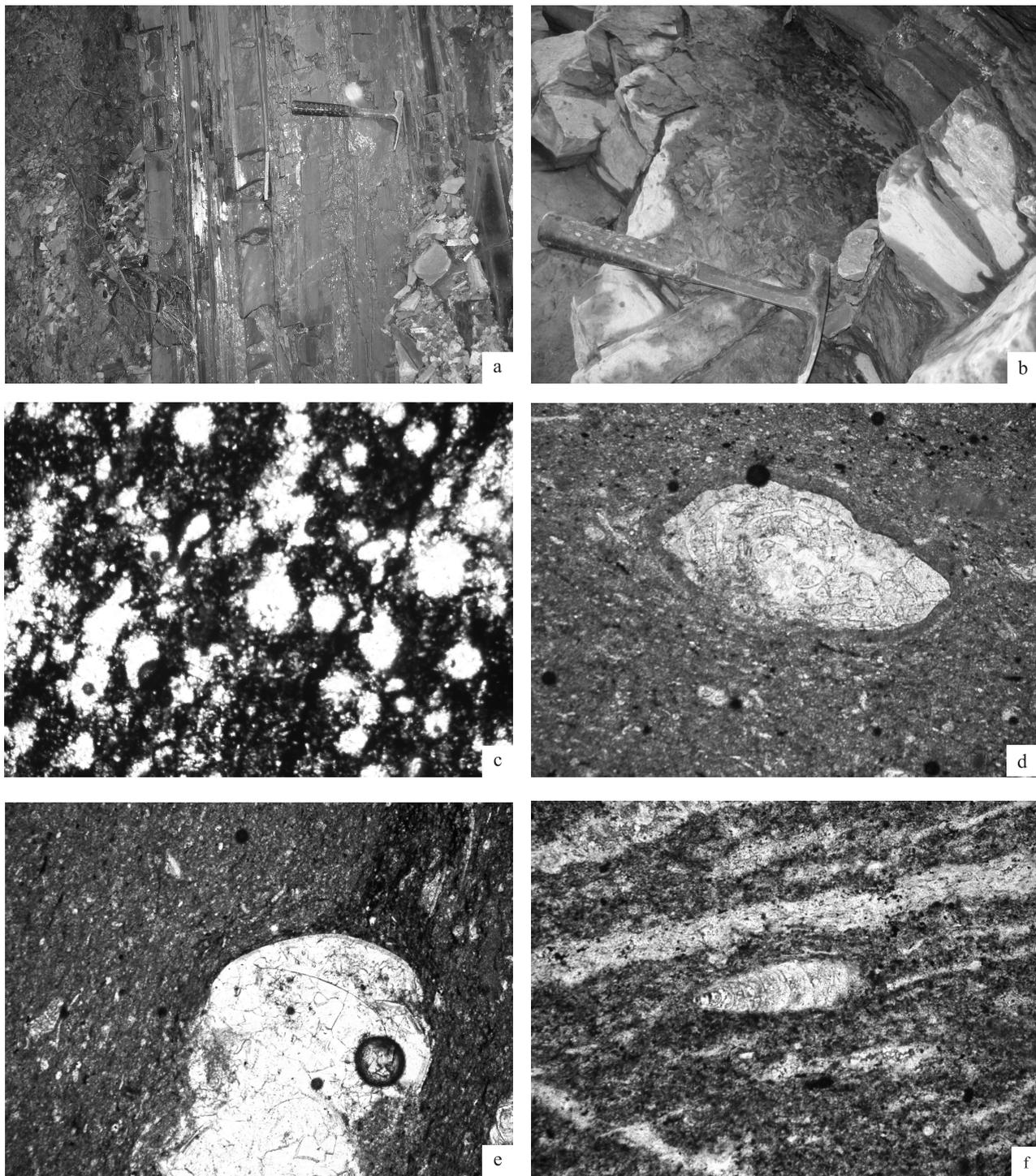
The Dalong Formation section in Changjianggou, Guangyuan, Sichuan: Sedimentary characteristics and their bearings on the source rocks

CHEN Bin, CAI Xiong-fei, FENG Qing-lai, GU Song-zhu

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The Dalong Formation section in Changjianggou, Guangyuan, Sichuan is characterized by limestones intercalated with mudstones, abundant biotic assemblages and deeper shallow-water environments indicated by reduction, low energy, low velocity and oxygen depletion. The bio-diversity and anoxic slope environments made the study area to be favourable for the formation of excellent source rocks, with the average organic carbon contents almost up to 5%, and thus may be potential marker horizons for future petroleum exploration in Sichuan.

Key words: bio-diversity; sedimentary characteristics; source rock; Dalong Formation; Guangyuan in Sichuan



图版 I

a. 第 5 层微晶灰岩; b. 第 8 层产 *Palaeophycus* 微晶灰岩; c. 产钙球的微晶灰岩; d. 第 7 层产腹足类微、泥晶灰岩; e-f. 第 9 层产有孔虫弱白云石化微晶灰岩