

四川盆地二叠纪沉积相与油气富集关系

刘大成 李书舜

(地矿部西南石油地质局地质综合研究大队)

四川盆地的二叠系地层发育良好,层位齐全,分布广泛,是油气富集的主要层系,为近期油气勘探的重要层位。

本文完全采用前人的地层划分方案,测制了巫溪田坝等主干剖面,在详细研究已有资料的基础上,编制了四川境内二叠纪沉积相图,经综合文字报告写成此文,供同行们参考。

一、沉积相单元划分及特征

四川盆地属上扬子地台的一部分。据 600 余口钻井及地震资料揭示和地表露头分布,二叠系展布面积约 20 多万 km^2 ,除晚二叠世盆地西南部有陆地相和潮坪相沉积外,其它都为浅海碳酸盐台地相沉积。其基本相序可归纳为三类二级沉积相,以及所属八种亚相,有的还可以进一步划分至三级微相。

I、陆地相

I₁ 河流沼泽含煤相

I₂ 大陆玄武岩喷发相

II、滨岸相

II₁ 滨岸砂泥岩相

II₂ 潮坪沼泽含煤相

III、台地浅海碳酸盐相

III₁ 台地局限浅海相

III_{1.1} 台地丘、滩相

III_{1.2} 台沟、台盆相

III₂ 台地开阔浅海相

III_{2.1} 台地礁、丘、滩相

III_{2.2} 台沟、台盆相

古陆(含陆地相):早二叠世初,古陆处于宁静状态,川黔运动后开始抬升,西侧的康滇古陆比较活跃而稳定上升,但局部低洼的地段仍是海水的通道。在台地内上升较快的高部位则遭受剥蚀,因而准平原化的过程便有碎屑及含煤的梁山组和“王坡段”的沉积。晚二叠世时由于川黔运动的连续影响,古陆范围在西南部有所扩大。

大陆玄武岩喷发相:沿西南部峨眉、乐山一线断块活动频繁,玄武岩出露的面积宽,厚度大,向东运动强度逐渐减弱,其厚度也相应减薄,以夹层、透镜体出现(梁向1井等)。

潮坪沼泽含煤相:在大陆玄武岩喷发相与台地局限浅海相之间,如晚二叠世龙潭组和长兴组的部分沉积。

台地局限浅海相:于上述潮坪相向东,但与广阔海域不甚畅通,水体能量低弱,常以灰泥沉积为主,含有孔虫、腕足、腹足等生物,吴家坪组和长兴组的一部分属该沉积相单元。

台地开阔浅海相:位在台地局限浅海相内侧,水体深度变化不大,水深略小于30m。沉积界面大部分时期在平均底潮面以下,短时在平均低潮面与平均高潮面之间。浅水低能环境沉积约占80%;浅水高能环境沉积约占10%。水体能量弱至中等,适宜清水环境的各类生物繁殖。筳、海绵、珊瑚、有孔虫、介形虫、水螅、苔藓虫、海百合、菊石、腕足、腹足、红藻、绿藻等。这些生物常在台地高部位的浅水环境中生长,发育和消亡,形成生物滩或生物礁。二叠纪除龙潭期等外,其它各期均有此沉积相单元。

台沟(或台盆)相:属台地内部的次级沉积相单元,为水体比台地深度略大的深水环境,发育硅、泥质,富含硅质放射虫,海绵骨针等。早二叠世的茅3段,晚二叠世的吴家坪组、大隆组均具此沉积相单元特征。

二、二叠纪各期沉积相概述

1. 栖霞期沉积相特征

早二叠世前,四川盆地受加里东运动及云南运动的波及,伴随着上扬子区块的整体抬升,铸成下二叠统梁山组与下伏不同层位的老地层呈区域假整合接触。

栖霞早期,来自西南方向的古特提斯海水大规模侵入四川境内,构成广阔的陆表海,四川盆地即成为上扬子巨型浅海碳酸盐台地的一部分,台内海水清澈,盐度正常,气候温和,生物繁盛,常形成泥晶珊瑚灰岩,微晶有孔虫灰岩,泥晶灰岩夹泥质条带,反映了栖霞早期水动力较弱,沉积无分异变化。

栖霞晚期,海水部分退却,海域变浅,台内地形较高的部位发育浅滩(图1),造滩生屑(物)有红藻(翁格达藻,裸海松藻)、有孔虫、珊瑚、筳等,其它有绿藻、苔藓虫、腕足等常组成亮晶红藻灰岩,亮晶有孔虫灰岩,亮晶藻屑、生屑灰岩。单因素统计(下略)粒屑含量为50~80%,亮晶方解石含量为20~40%,粒屑岩类单层厚度为10~40m。测井曲线显示为钟形高阻,低伽马值,属浅水高能的沉积环境。

2. 茅口期沉积相特征

继栖霞晚期海退之后茅口早期即开始海侵,沉积形成了多套“眼球状”灰岩与微晶绿藻灰岩及含筳微晶灰岩互层。“眼球状”灰岩在区域上比较稳定,“眼皮”富泥质,“眼球”富灰质,这套富泥质层段,经观察和研究笔者认为与海平面升降的差异补偿有关。测井曲线显示为高伽马值。灰岩多含低能绿藻及筳类,粒屑含量不高,单层为主,不成套,横向变化较大,其生物

组合及岩性变化显示水动力不会太强,与栖霞早期类似。

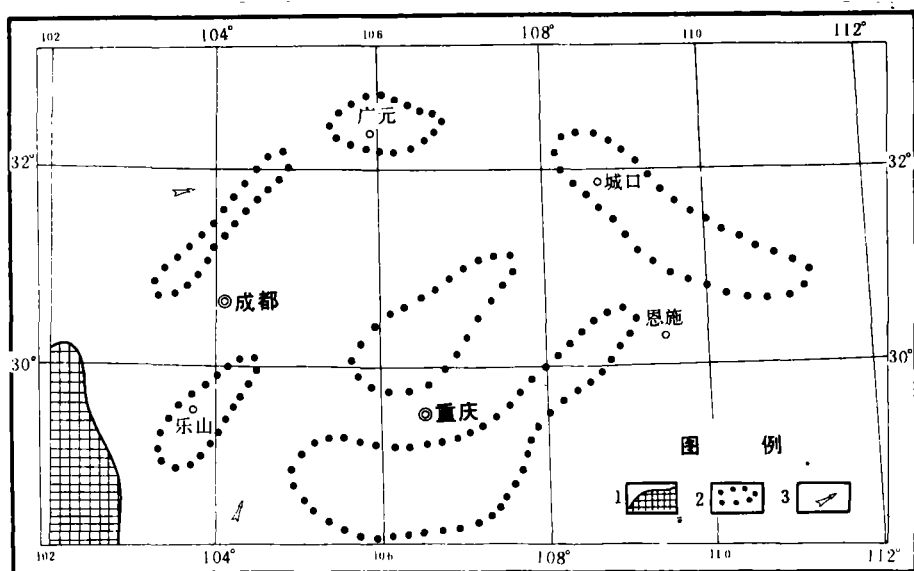


图1 四川盆地早二叠世栖霞期沉积相图

1—古陆;2—红藻生屑滩;3—海侵方向。

Fig. 1. Sedimentary facies during Qixia stage of Early Permian in Sichuan Basin.

1=old land;2=bioclastic bank of red algae;3=transgression direction.

茅口中晚期,四川盆地因“川黔运动”(陈显群,1987,)影响,引起区内广泛海退,碳酸盐台地部分裸露于海面以上,因而各地区保存层位不一,如川西南的古蔺,川东的石柱一线保存有茅4段,而川西、川中、川东北大部大部分地区残留茅3段,北部开江一带仅残留茅2段。整个台地受到正负地形的分隔,一些地方上升形成浅滩(群),另一些地方下凹形成台沟(盆)(图2)。各滩体多发育在茅2段顶和茅3段,少数赋存于茅4段。累计厚度约50m,造滩生屑(物)与栖霞组2段十分近似,仍是破碎的红藻、绿藻、有孔虫、筴等生屑。粒屑含量红藻占30%,有孔虫20%,绿藻20%,其它生屑及筴占20%,累计粒屑含量达90%,常被亮晶方解石胶结。测井曲线反映为块状电阻,低伽马值。属水动力较强的环境。茅口期的浅滩与栖霞期浅滩的位置有叠合现象,说明各滩体(群)有继承性。

在工作中陈显群(1987)提出茅2段顶至茅4段底部有一套含阿尔图菊石和硅质放射虫的薄层硅质岩,大致相当于皖南的“孤峰层”,黔北的“白泥塘层”,经笔者追索在广元、旺苍、万源、开县、奉节、石柱、利川等均有出现,在石柱冷水溪该套地层之上有茅4段的存在,故这段薄层硅质岩段,属茅3段,与其它的茅3段(灰岩)同时异相。其硅质岩分布范围狭窄,厚度较薄(10~15m),根据岩性和生物组合特征表明其沉积组合为非补偿沉积环境所控,即属台沟相。台沟两侧仍为台地相灰岩组合。台沟在盆地北部呈东西向展布,至鄂西转向东南,

一直伸入贵州境内。

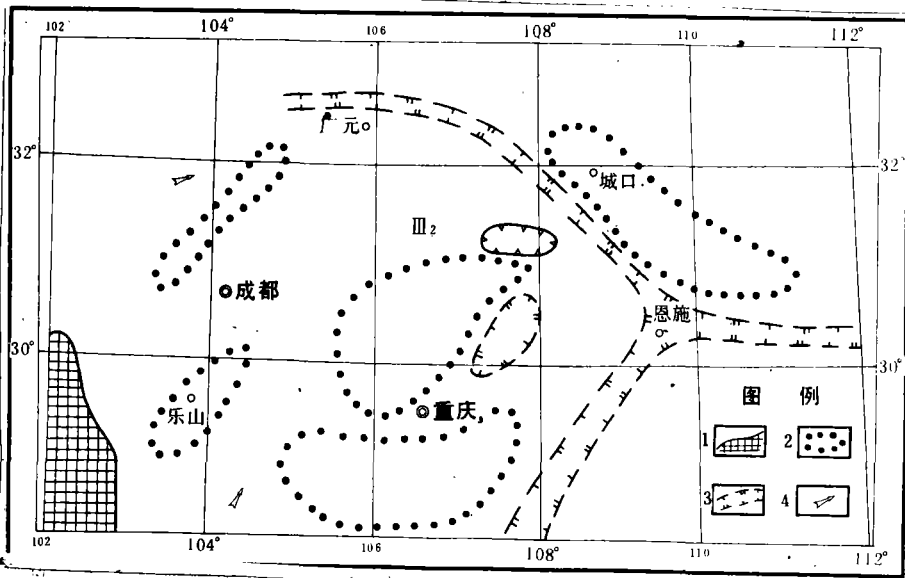


图2 四川盆地早二叠世茅口中晚期沉积相图

1—古陆; 2—红藻生屑滩; 3—台沟; 4—海侵方向

Fig. 2. Sedimentary facies during middle-late Maokou stage of Early Permian in Sichuan Basin.

1=old land; 2=bioclastic bank of red algae; 3=intraplatform trench; 4=transgression direction.

3. 龙潭期沉积相特征(图3)

川黔运动之后,陆地和潮坪的范围扩大,海域面积相对缩小。早二叠世曾一度稳定的台地相已变成多种类型的沉积相单元。峨嵋、乐山一线西侧分布着一套巨厚的大陆喷发玄武岩相。川中、川南沦为大片潮坪沼泽含煤相,川东北为台地局限浅海的吴家坪组的硅质灰岩。龙潭中期,盆地东侧海侵扩大,海水漫及川中、川南,原有的潮坪沼泽含煤沉积很快被台地灰岩相代替(相当于龙潭组中铁板段)。龙潭晚期海侵缩小,台地相又恢复为潮坪沼泽含煤相。因此,随着海平面的升降变化,使龙潭期沉积了煤层、上煤层、中铁板各层段,反映了台地上潮坪相与台地相的相间变化。

与龙潭组同时异相的吴家坪组,主要分布在华蓥山以东的川东北地区,为台地局限浅海相,以硅质灰岩为主,含珊瑚、腕足、有孔虫等,生屑含量较低,约含5%,常因受台地上的凹地的局限形成几个富硅质台盆相,其沉积特征类似早二叠世末的台沟(盆相),其展布方向有一定继承性。

4. 长兴期沉积相特征

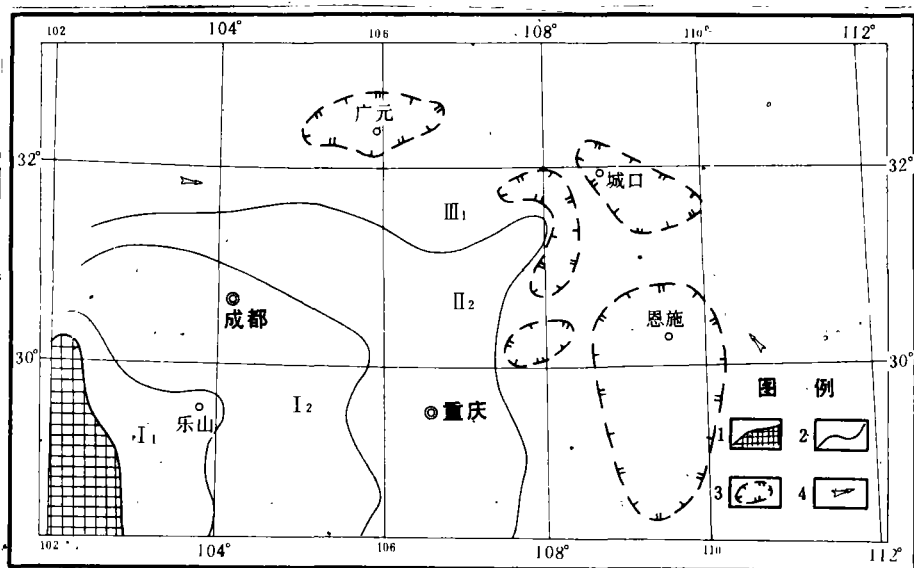


图3 四川盆地晚二叠世龙潭期沉积相图

1—古陆;2—相区界线;3—台盆;4—海侵方向。

Fig. 3. Sedimentary facies during Longtan stage of Late Permian in Sichuan Basin.

1=old land; 2=facies boundary; 3=intraplateform basin; 4=transgression direction.

长兴期的广泛海侵,海域面积扩大,龙潭期的潮坪沼泽含煤相已被超盖,仅残留在康滇古陆前缘,其面积只相当于台地面积的5%,这个时期的碳酸盐台地包含着两部分:华蓥山以西为台地局限浅海,约占台地面积的一半(图4),沉积物以低能带的灰泥为特色,且所含绿藻、生屑常以单层或薄层出现,横向上不稳定。华蓥山以东为台地开阔浅海,以高含量的粒屑(80%)和亮晶胶结为特征,常由海绵、水螅、有孔虫、海百合、珊瑚、笔、藻等形成亮晶海绵灰岩,亮晶棘屑虫屑灰岩的沉积组合,构成生物礁(礁)。测井曲线常为高阻层中含低阻段,伽马特低值,属浅水高能环境。我们所发现的开县红花生物礁,其主要的造礁生物为串管海绵和水螅,小量的群体珊瑚。附礁生物为腕足、海百合等,粘结生物有管壳石和蓝绿藻。生物礁的存在表明了碳酸盐台地上的特殊环境,由瓦尔特相律推出,含礁剖面纵向上微相的更替,即是横向上环境的变化,开县红花与利川见天坝生物礁都存在比较完整的相序(自下而上):(1)富硅质台盆相(吴家坪组),为礁体下部的相关环境。(2)台地浅滩相,成礁基础的礁底盘。(3)礁前相,面向盆地,有礁前角砾岩分布。(4)礁核相或礁格架相,造礁生物鼎盛阶段。(5)滩后滩相,主要为棘屑,常与礁前台内浅滩组成礁坪。(6)礁后泻湖相,礁后低能环境。(7)潮坪相,白云岩及糖粒状白云岩。这七个相序表现了生物礁经历了生长,发育,消亡阶段。

从生物礁的分布踪迹来看,大多分布在台地与台沟的边部,而台沟与台地的相界又恰好与断裂吻合,即断裂的延伸方向(线)就是相区界线。例如城口断裂,建始黔江断裂的外侧发育台沟相(相当于大隆组与长兴组的相变带),断裂内侧发育台地礁滩相,说明断裂两侧的沉积相完全不同。在鄂西建始,恩施一带更显示了晚二叠世时继承性的台沟(盆)沉积。

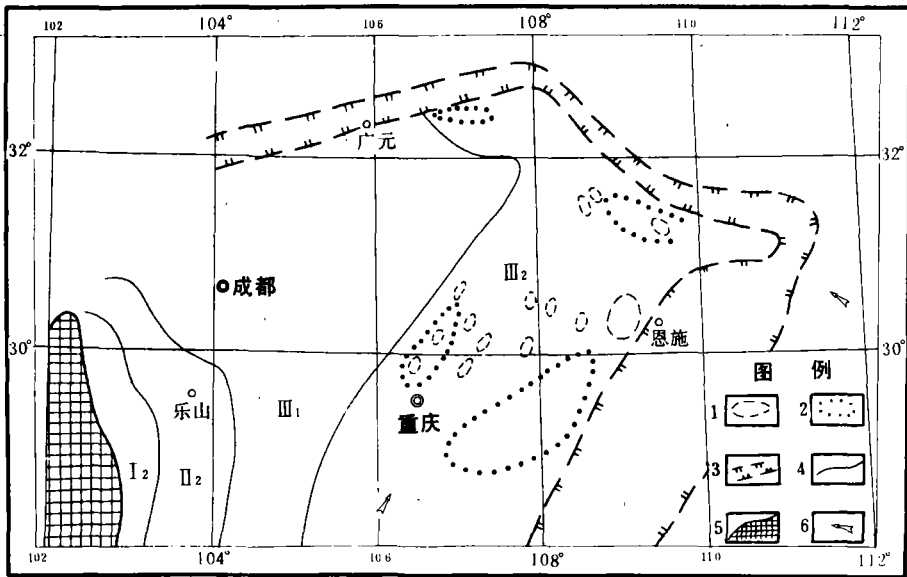


图4 川东鄂西晚二叠世长兴期沉积相图

1—生物礁,2—生屑滩,3—台沟,4—相区界线,5—古陆,6—海侵方向。

Fig. 4. Sedimentary facies during Changxing stage of Late Permian in eastern Sichuan and western Hubei.

1=organic reefs; 2=bioclastic bank; 3=intraplatformal trench;
4=facies boundary; 5=old land; 6=transgression direction.

三、断裂活动对二叠纪沉积相的控制作用

海西中晚期(早二叠世初),四川盆地五大断裂均有不同程度的活动(宋文海,1981),表现在沉积展布受控于断裂活动的强度与影响。如龙门山断裂,城口断裂,华蓥山断裂,建始黔江断裂等在上盘的断肩上,早二叠世时形成6个红藻生屑滩,晚二叠世时形成若干个生物礁和滩。断裂下盘往往形成台沟(盆)相。不难看出,断裂的活动与方向控制着二叠纪礁、滩、沟、盆的发育和分布,并具有一定的继承性。

早二叠世末期,伴随着川黔运动的峨嵋山瓦山等断裂活动,带来了大片玄武岩的喷发和分布,向川中、川东一带随着断裂活动的减弱,玄武岩的喷发和分布也减弱减少。因此,沉积相的展布与分异,玄武岩的喷发与分布与该区断裂的活动是相辅相成的(图5)。

四、二叠纪时四川海域的性质

对上扬子地区的海域于海西晚期,曾有人根据地层记录及有关资料推断为陆棚海或陆缘海,近年来我们从区域沉积相的展布特征,生物组合,结合深部钻井及钻遇二叠系的沉积微相分析,地震地层和古地磁资料我们认为四川地区的海域属陆表海。一般陆缘海水较深(可达180~300m),海域面积较窄(沿岸以外最宽约500km),而二叠纪时,整个扬子区都几

乎是广阔的碳酸盐沉积,所含四大生物(筳、珊瑚、腕足、有孔虫)均为浅水生物,其生活水深大多不超过 50m,在黔南,桂北紫云,隆林一带于栖霞期开始成礁(海绵等)成滩,茅口期也成礁、成滩其水深均不会超过 20m。四川地区早二叠世的栖霞晚期,茅口中晚期为两次成滩期,其主要赋存生物为红藻、有孔虫、筳、绿藻等。晚二叠世长兴期则为成礁(滩)期,有约 20 多个富钙质海绵的生物礁成群成带分布,表明了当时是富含浅水生物、水浅、坡降小(开阔)的陆表海域。据区域沉积相是地震相的基础,地震相是沉积相的反馈的机理,解释分析北至江油南至江津的地震大剖面中 T_2 的界面是相位少稳定,平行连续,内部结构无发散、无前积的波组的地震相特征,仍说明二叠纪四川境内是水浅的陆表海。前人对峨眉山玄武岩的古地磁分析,恢复其古纬度为北纬 2.5° ,也说明属炎热的气温,造就了温暖的海域。盐度适宜于浅水生物的生长,这也间接可以佐证属于水浅的陆表海。

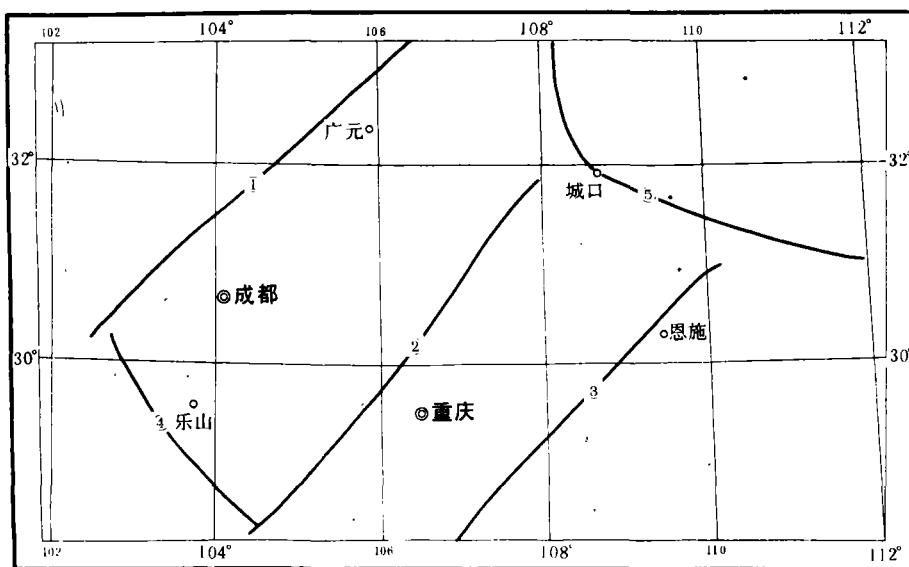


图5 四川盆地断裂示意图

①—龙门山大断裂;②—华莹山大断裂;③—建始黔江断裂;④—峨眉瓦山断裂;⑤—城口大断裂。

Fig. 5. Sketch map of the faults in Sichuan Basin.

①=Longmen Mountain fault; ②=Huaying Mountain fault; ③=Jianshi-Qianjiang fault;

④=Emei-Washan fault; ⑤=Chengkou fault.

五、油气富集关系

四川盆地二叠纪沉积相类型较多,既有对油气生成有利的局限台地浅海相,又有对油气储集有利的开阔台地浅海相内之礁滩相,这为油的生储提供了优越条件。

1. 生油条件

二叠纪是藻类及华南型各类生物繁衍的黄金季节。在各剖面中常见厚度较大含藻类的微晶灰岩,尤其是红藻、绿藻、有孔虫在漫长的生长过程中,分泌碳酸钙,粘结灰泥,形成富含

腐殖—腐泥型有机质的藻类灰岩,为油气生成的主要物源条件之一。海侵旋回下部的栖霞组1段和茅口组1段在低能环境下形成一些灰岩泥灰岩,其中所含小个体有孔虫,经成岩作用伴随有机质的演化后,常与沥青相伴出现在露头中,形成所谓“黑群”现象,标志着具有生油母质。在深水的台沟(盆)相区,还原条件好,有利于有机质停积,更具生油优势。潮坪沼泽环境具大量腐殖—腐泥型有机质,有煤成气形成的良好条件。

按现行碳酸盐生油岩的指标,只要剩余有机碳含量 $>0.1\%$,烃含量 $>50\text{ppm}$,生油即可达标。而四川盆地内下二叠统生油层有机碳含量为 $0.2\sim 0.6\%$,最高达 0.8% ,氯仿沥青A为 $0.02\sim 0.03\%$ 。尤其栖霞1段和茅口组1段生油的各类指标含量更高,上二叠统有机碳含量 $>0.2\%\sim 0.8\%$,沥青A $>0.01\%\sim 0.02\%$,总烃 $>50\sim 100\text{ppm}$,所以二叠系生油层完全达到标定的生油门限(曾道富,1987)。有人初步估算仅下二叠统天然气资源量就有2000亿方,可以预测四川盆地二叠系将是一个潜在力雄厚的“生油库”。

2. 储油条件

二叠系的储集条件与沉积相带息息相关,其沉积相单元有两类:一是早二叠世栖霞期和茅口期两次海侵旋回上部形成的高能条件下的红藻生屑滩(相),分别发育在茅2段顶部及茅3段中部(灰岩层),个别在茅4段。这些滩体多在海退阶段筑成。在沉积期间常因浅水波浪的淘洗,灰泥被簸选掉形成具粗结构的亮晶红藻灰岩,亮晶生屑虫屑灰岩。成岩早期滩体顶部常因海平面的升降,时暴露于大气中,遭受淋滤,红藻屑,生屑的粒间形成溶蚀孔并保存下来。在成岩晚期这类溶蚀孔(含粒间与粒内孔)继续溶蚀并将再扩大储集空间(有的孔隙已达 $10\sim 20\%$),一旦进入生油门限,它既可储集近距离的同期沉积的生油层的油气,也可以捕获其它方向运移来的油气。例如开江沙罐坪构造茅二段处于隆起部位,其先期隆升的滩相带被生油岩所包围,当油气生成之后,显然“近水楼台先得月”了;加之,附近茅3段的台沟相生油岩的补偿运移,后期又被三叠系嘉陵江组膏盐层所封盖,形成具有工业价值的油气藏,钻井证实(沙×井日产天然气百余万方)为下二叠统产层的工业气田。二是晚二叠世长兴期的生物礁相,开阔的浅海碳酸盐台地上,先期成滩为成礁奠定了基础,往往是礁滩共生。在完成礁体的成型中,其生长发育随海平面的升降而沉浮,当上升时峥嵘于大气,淡水淋滤,形成混合白云岩化,构成晶间孔(一般增大 8%)的有效储集空间,目前钻遇长兴组生物礁的高孔隙段主要是礁后多孔白云岩和礁核(骨架相)中间夹的糖粒状白云岩,平均孔隙度 12% ,最高可达 24% 。区内礁体由于多赋存于长兴组中上部,其含礁的高孔隙段还可以接受来自礁相下部各生油岩系所生成的油气垂向运移之天然气,形成保存完好的高产气藏,目前已揭示的宝1井、板东4井、双15井便是钻遇长兴组生物礁的高产井。

六、二叠系研究的新认识

近年来以油气研究为中心对二叠系的深入研究中,在风暴岩、生物礁、深水沉积的观察分析方面已有新的突破。

风暴岩的研究是由刘宝君、张继庆等引进国外研究成果在我国的应用。首先在川南兴文四龙一带发现了风暴岩,并根据风暴岩是由于潮汐海波的引起的风暴作用对海底沉积物搅动,掏蚀的形成机理,研究了早二叠世风暴沉积的地质记录后,认为是重力流的产物,代表了沉积期中的瞬时变化。由于他们的研究并建立了四川南部构成风暴沉积序列的模式。其表

现在剖面结构序列自下而上可见:底冲刷面、粒序层理、块状层理、沙纹层理、泥岩层理、丘状层理、平行层理及生物钻孔等^①。序列的每个单层厚 10~30cm,一套风暴岩序列组合厚 1m 左右,纵向上序列较全。唯区域上不稳定、变化大、可比性差,因而对其形成的环境尚有争议^②。

自 1974 年鄂西利川见天坝发现生物礁以来,发育在上二叠统长兴组内的海绵生物礁在地表和井下就有不断和发现,如天上坪、红花、老龙洞、椿木坪、太运等以及宝 1 井、板东 4 井、双 15 井等 20 多个点礁,它们组成三个礁相带(华蓥山、方斗山、七跃山三个礁相带),与鄂西构成马蹄形生物礁群,是我国陆地上勘探生物礁型油气藏很有远景的地区。

深水沉积相的发现是在川东、川东北地区,下二叠统茅口组 3 段上二叠统吴家坪组中部和大隆组的硅质灰岩,薄层硅质岩,硅质页岩中有放射虫、硅质海绵骨针等指相生物的存在,因而目前所勾绘的台沟(盆)相的富硅质沉积便是我们所认识的深水相。上述诸新认识有的尚存争议,望读者指正。

成文过程中承业治铮教授,张明书高级工程师的野外赐教。在科研工作中及成文后蒙曾学思高级工程师指导和审阅全文。陈志洪同志翻译英文摘要,贾海花同志清绘图件,现一并致谢。

参 考 文 献

- [1]宋文海,1981,四川盆地阳新统沉积相及其含油气条件。天然气工业,第一期。
- [2]陈显群,1987,东吴运动质疑及川黔运动之新见。石油与天然气地质,第 4 期。
- [3]曾道富,1987,关于有机质演化各阶段的门限值计算公式的初步探讨。石油实验地质,第 2 期。

① 杜德勋,1986,四川盆地早二叠世风暴岩沉积模式探讨。

② 李文汉,1986,关于风暴岩与风暴沉积物。

The Relationship between Permian Sedimentary Facies and Oil and Gas Enrichment in Sichuan Basin

Liu Dacheng Li Shushun

(Comprehensive Geological Party, Southwest Bureau of Petroleum Geology)

Abstract

In recent years, the authors have in more detail studied a vast amount of the data on Permian sedimentary facies in Sichuan Basin, with the emphasis upon northeastern Sichuan, and compiled Permian sedimentary facies maps during various stages such as Qixia and Maokou stages of Early Permian and Longtan and Changxing stages of Late Permian. This paper deals with the features of Permian sedimentary facies, the limits of old land, sediment types, biological associations, the nature of the seas, transgression direction, Sichuan-Guizhou Movement and basalt eruption in the study area. It can be seen that there was a complete transgressive-regressive cycle during Qixia and Maokou stages of Early Permian, respectively. At the beginning of the cycles, relatively stable low-energy limestones and eyed limestones were laid down, while at the end of them, sparry red algal limestones were developed, indicating a high-energy beach facies under the influence of regression. These beach bodies were developed directionally and successively. Influenced especially by Sichuan-Guizhou Movement during the late Maokou stage, block faulting occurred frequently. Reef and beach facies tended to be located in the highs of the faulted blocks, whereas intraplatformal trench and intraplatformal basin facies where siliceous rocks were widely developed tended to be dispersed in the lows of them.

During early Late Permian, strong block faulting led to the rise of the western side of the basin on the whole and then land followed. The well-defined facies belts in Longtan stage were arranged in the order from west to east: continental facies and littoral facies and intraplatformal shallow-marine facies. A great deal of basalt erupted in front of Kangdian Old land. Both basalts and diabases have also been recognized in some boreholes in eastern and northeastern Sichuan. Up to late Late Permian, the sedimentary basement descended and the sea area became larger at that time than in Longtan stage, thus creating favourable conditions for the formation of reef and beach facies to the east of the Huaying Mountains. The stage, therefore, has been regarded as a reef-building and beach-forming stage in Late Permian.

On the basis of sedimentary facies and palaeostructural patterns, the conclusion has been drawn as follows. During Permian, Sichuan Basin was an epicontinental sea composed of huge shallow-sea carbonate platforms where both shallow-water and deep-water facies existed. Controlled by faulting, the sedimentary units were evidently differentiated. Reef-beach and trench-basin facies constituted a facies belt favourable to the enrichment of oil and gas. The discovery of tempestites, organic reefs and deep-water sediments have opened up a new prospect for the study of the Permian.