

文章编号: 1001-6112(2001)04-0384-06

羌塘盆地侏罗系白云岩储层特征研究

张立强^{1,2}, 纪友亮¹, 李永铁³

(石油大学, 山东 东营 257062; 2. 中科院 地质与地球物理研究所, 北京 100029;

3. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 羌塘盆地侏罗系白云岩分布广泛, 其岩石类型可分为泥晶-微晶白云岩、残余颗粒白云岩和晶粒白云岩, 前两者常与石膏相邻或伴生, 后者与石膏无关。在沉积期后变化中经历了多种成岩作用改造, 其中影响白云岩储集性的作用主要有溶蚀作用、重结晶作用和构造应力作用。本区白云岩主要储集空间为晶间孔、晶间溶孔和构造缝, 细-粗晶白云岩储集物性好, 为好-较好的储层。

关键词: 储集层特征; 白云岩; 侏罗系; 羌塘盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

羌塘盆地位于青藏高原腹地, 面积约 $16 \times 10^4 \text{km}^2$, 是我国西南部中生界大型海相盆地之一。1994 年以来, 中国石油天然气集团分司投入巨资, 开展了以羌塘盆地为核心的青藏高原油气勘探, 发现了大量的油气显示。在羌塘盆地发现了大量的白云岩及白云岩古油藏, 这是青藏高原油气勘探的一大突破, 显示了该区良好的油气勘探前景。本文通过对羌塘盆地地面资料的研究分析, 意在认识羌塘盆地白云岩储集层的特征, 为下一步油气勘探提供

储层依据。

1 羌塘盆地白云岩储层的分布特征

羌塘盆地白云岩储层分布较广, 主要分布于上侏罗统索瓦组、中侏罗统布曲组、雀莫错组中段及夏里组。其中, 布曲组是研究区白云岩分布最广、厚度最大的层段, 如隆鄂尼地区白云岩厚度可达 432m, 占该组剖面总厚度的 85%; 其次为索瓦组; 夏里组

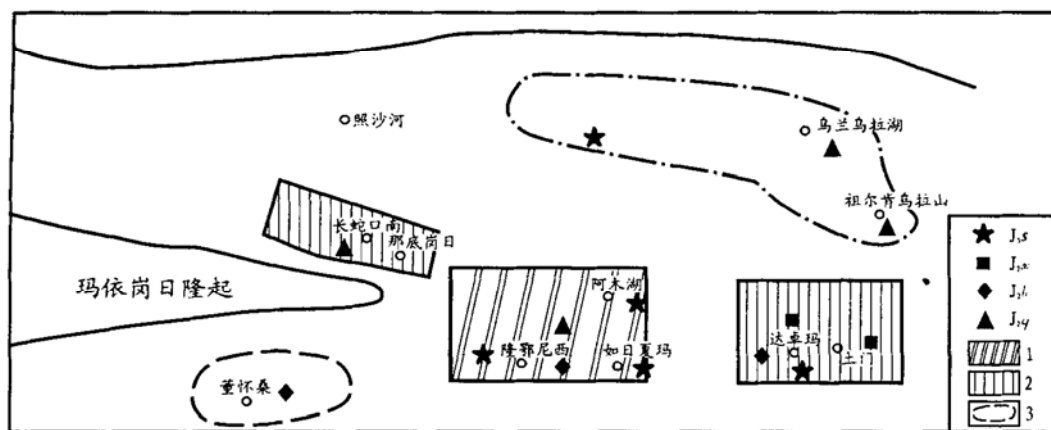


图 1 羌塘盆地白云岩储层分布图

1. 有利白云岩储层分布区; 2. 较有利白云岩储层分布区; 3. 零星白云岩储层分布区

Fig. 1 Distribution of dolomite reservoirs in the Qiangtang Basin

收稿日期: 2000-05-22; 修订日期: 2001-08-20.

基金项目: 中国石油天然气集团公司“九五”项目(970204-04-02); 国家“973”基金项目(G1999043304).

作者简介: 张立强(1970-), 男(汉族), 山东曲阜人, 讲师、博士生, 主要从事储层地质学的教学及科研工作.

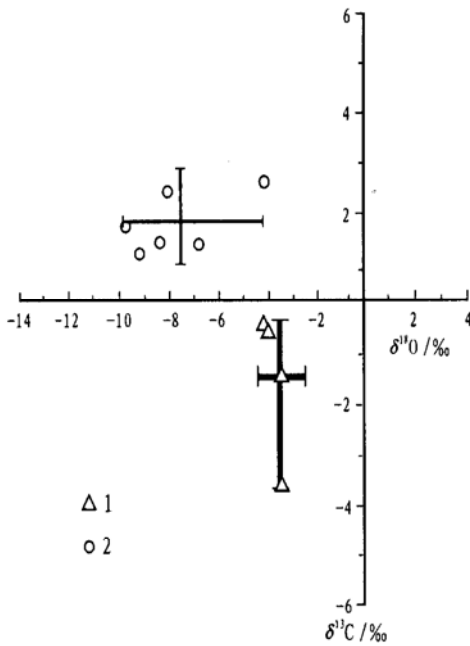


图2 不同类型白云岩碳氧同位素分布图

1. 泥微晶白云岩; 2. 粉晶白云岩

Fig. 2 Distribution of carbon and oxygen stable isotopes for dolomites of different types

和雀莫错组白云岩分布零星。

平面上,白云岩的分布与古隆起、斜坡有关,如中央隆起带北侧的那底岗日、多格错仁南,中央隆起带东侧的双湖昂达尔措、隆鄂尼、阿布山等,中央隆起带南侧的董北桑,盆地东部的土门、达卓玛以及雁石坪、乌拉乌兰湖等东部斜坡带地区(图1)。

2 白云岩的岩石学特征

纵观羌塘盆地侏罗系各地层,白云岩类型较多,归纳起来主要有以下几种。

2.1 泥晶、微晶白云岩

泥晶、微晶白云岩颜色大都较深,以薄层状为主,白云石晶粒极为细小(为泥晶、微晶),呈它形粒状,多与膏岩层相邻或本身就是膏岩层中的夹层,其 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-3.25\text{‰} \sim -4.04\text{‰}$ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-3.94\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$ (PDB)(图2),主要分布于羌塘盆地中央隆起西段北侧那底岗日等地区的雀错组和夏里组以及土门、达卓玛等地区的索瓦组。

2.2 残余颗粒白云岩

岩石以灰色、深灰色为主,由它形、半自形泥晶、粉晶白云石构成,鲕粒、球粒、砂屑等颗粒残余结

构清晰可辨,常与膏岩层相邻或互层。白云石的碳氧同位素等能较客观地反映白云石形成时沉积和成岩环境的某些特征^[11]。本区半自形粉晶白云石 $\delta^{18}\text{O}$ 较低,为 $-9.93\text{‰} \sim -4.41\text{‰}$ (PDB),平均 -7.93‰ (PDB), $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-0.96\text{‰} \sim -2.5\text{‰}$ (PDB)(图2),产于潮间带和台地边缘等相带中。该类白云岩根据颗粒类型及含量可细分为粒屑白云岩、砂屑白云岩、泥晶砂屑白云岩、泥晶球粒白云岩、生屑泥晶白云岩、球粒泥晶白云岩等多种类型,为羌塘盆地侏罗系白云岩的主要类型,几乎在全盆地均有分布。

2.3 晶粒白云岩

晶粒白云岩主要分布于中央隆起带东侧双湖一带的布曲组和索瓦组,呈灰色、黄灰色,中厚层状,与膏岩无关,晶粒较粗(为粉-中晶状)、自形成度较高,半自形到自形晶为主,无生物及其它残余结构。该类白云岩溶蚀作用较强,晶间溶孔(缝)和溶蚀孔(缝)发育。

3 白云岩的成岩作用类型

3.1 白云石化作用

在灰质白云岩等不纯白云岩中,常见到白云交代方解石的现象,如:灰质白云岩的白云石晶体内常含有泥晶(微晶)方解石包体;在灰质内碎屑或生屑的边缘许多自形白云石由外向内蚕食生长,仅在颗粒的核部保留有初始的成分及结构,灰质白云岩与泥晶灰岩具过渡的关系;碳、氧同位素分析,本区白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-2.55\text{‰} \sim -9.93\text{‰}$ (PDB),与其上下相邻的纯石灰岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值[一般为 $-4.19\text{‰} \sim -11.4\text{‰}$ (PDB)]相比差值较小。在阴极发光显微镜下,往往呈现出在大面积的紫红色基调之上,还或多或少留有一些云雾状的黄色斑团等现象,这是由白云石(白云岩)交代方解石(灰岩)后残留下来的杂质元素 Mn^{2+} 所显示的痕迹。

3.2 压实、压溶作用

由于早期压实作用,在镜下可见白云石它形晶体间呈缝合状接触。此外,白云岩中普遍发育的缝合线构造是由于压溶作用造成的。

3.3 胶结作用

在隆鄂尼的布曲组及昂达尔错的索瓦组白云岩中,主要为淡水方解石胶结,表现为溶孔、溶缝及构造裂缝大部分被亮晶方解石充填,方解石中含常温

水溶液包体,包体盐度也较低,反映方解石胶结物是在淡水环境下形成的。

3.4 溶蚀作用

溶蚀作用至少发生有 4 期: 第一期为早期大气淡水溶蚀作用,即对白云石晶间的泥晶方解石残余淋滤、溶解,产生大量的晶间孔和晶间溶孔; 第二期发生在有机质大规模成熟前或成熟过程中,有机质释放出大量含有机酸、CO₂ 等酸性成分的地层水,溶解、溶蚀白云石,形成溶蚀孔、洞、溶蚀缝以及压溶缝等; 第三期溶蚀作用发生在液态烃裂解过程中,地层埋深大,同时沉淀形成晶粒较大的自形白云石,含有大量的气态烃和沥青包裹体,均一温度大于 150 °C; 第四期为表生溶蚀,晶间孔、裂缝等方解石充填物中产生地表淋滤孔、洞。现今覆盖区白云岩储层的主要储集空间为第一、二期形成的晶间溶孔、溶缝等。

3.5 重结晶作用

重结晶作用在碳酸盐沉积物的成岩过程中广泛发育。在普通显微镜下,组成晶粒白云岩的白云石为它形-半自形;在扫描电镜下,白云石晶形成好,为自形一半自形。

3.6 构造应力作用

构造应力作用发生于成岩晚期及表生期,造成本区白云岩中微裂隙较发育。成岩晚期裂缝为油气提供了储集空间及运移通道。表生期形成的裂缝较成岩晚期裂缝宽,多充填有淡水方解石,且切割缝合线。

3.7 去白云石化作用

方解石交代白云石,去白云石化形成的方解石,有的呈现白云石的菱面体假象,并且含有不规则状的白云石残留体斑点;有的交代穿插于白云石晶体内部或晶间孔内,且晶粒较大。电子探针分析 CaO>95%、MgO<5%、FeO<0.5%,包体均一温度为 100~132 °C,在阴极发光下见方解石缓慢生长的书页状环带,表明发生在晚成岩阶段。

4 白云岩的孔隙结构特征

4.1 孔隙类型

在白云岩储层中,孔隙类型可分为孔隙和裂缝两大类,主要包括以下几类。

(1) 晶间孔: 白云石晶体生长形成的晶体之间的孔隙,为成岩早期成因。泥晶-微晶白云岩中,该类孔隙非常细小,在显微镜下很难看到,扫描电镜下可

以发现晶间孔非常发育;在中、细晶白云岩中较发育,形态规则,呈多面体或板状,大小约 0.06~0.2mm,分布较均匀。

(2) 晶间溶孔: 白云石晶体之间由于溶解作用而形成的孔隙,由多个白云石晶体部分或全部溶解而形成,形态不规则,大小为毫米级到厘米级,是本区晶粒白云岩储层中主要的储集空间。

(3) 晶内溶孔: 白云石受淋滤、溶解而形成晶内溶孔,大小为几微米。

(4) 构造裂缝: 一般缝宽、形状较规则,组系分明、缝壁平直、延伸较远,大多被方解石充填,少有泥质、有机质、沥青,氧化铁等充填或半充填。

(5) 压溶缝: 沿压溶缝合线溶蚀,形成许多断续、串珠状溶孔,溶蚀强烈者,形成溶缝。一般宽度仅为 0.03mm 左右,形成多为锯齿状、波状和不规则状。

(6) 溶蚀缝: 一般沿早期构造缝发育,多充填方解石等。

以昂达尔错的索瓦组和隆鄂尼的布曲组为代表的细-粗晶白云岩中,溶解作用较强,多发育晶间孔、晶间溶孔组合,孔隙度、渗透率之间具有较好的相关性;残余颗粒白云岩、灰质白云岩中主要发育晶间孔、溶蚀孔、微裂缝等,物性较好,孔隙度和渗透率之间的相关性较差;而泥晶、微晶白云岩以及粉晶白云岩中,主要发育微晶间孔、微裂缝等孔隙类型,孔

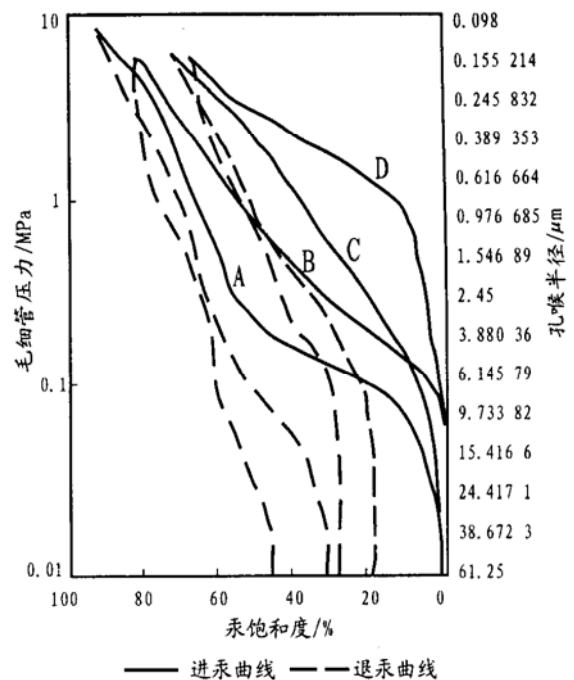


图 3 羌塘盆地白云岩储层压汞曲线类型
Fig. 3 Mercury-injection curves of dolomite reservoirs in the Qiangtang Basin

表1 白云岩储层孔喉特征参数表

Table 1 Porethroat characteristic parameters of dolomite reservoirs

层位	地区	岩性	Pd /MPa	Rd/ μm	R ₅₀ / μm	S _{min} /%	孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	喉道类型
J _{3s}	昂达	灰质细粒	0.06~0.13	5.86~12.6	0.11~1.96	24~32.5	12~17	47.6~136	细-粗喉
	尔错	白云岩	/0.9	/9.3	/1	/28	/14.5	/92	
	土门	粒屑灰云岩	4.1	0.2	0.02	39.2	1.5	0.03	微喉
J _{2b}	隆鄂尼	细-粗晶	0.1~0.19	2.3~9.6	0.12~2.6	4.5~29	4.8~15.5	0.17~271	细-粗喉
		白云岩	/0.15	/5.8	/1.3	/16.5	/11	/75	
		粉晶白云岩	0.4~0.96	0.7~2.8	0.1~0.35	22~38.8	0.5~6.2	0.03~13.1	细、微喉

注:最小值~最大值/平均值

表2 白云岩储层物性统计表

Table 2 Petrophysical properties of dolomite reservoirs

时代	剖面及样品	岩性	Φ %	K / $10^{-3}\mu\text{m}^2$
J _{3s}	土门	细晶残余粒屑云岩	4.14	0.004
		粒屑灰云岩	1.5~1.94	0.03~0.067
	如日夏玛	灰质细晶白云岩	2~17/8.36	0.01~462/47.5
J _{2b}	隆鄂尼西	中、细晶白云岩	3.5~15.7/8.93	1.6~271/59.2
		泥晶灰质白云岩	2.2~6.0/4.5	0.05~9.1/4.15
	隆鄂尼	细晶、中晶白云岩	1.3~15.5/11.2	0.33~283/75.34
		泥晶灰质白云岩	1.3~12.6/3.5	0.02~7.66/1.7
	加纳南	泥晶粒屑灰质白云岩	0.4~7.8/2.44	0.06~7.73/0.7
J _{2q}	达卓玛	粉晶白云岩	2.22	0.8657
	那底岗日	粉、细晶白云岩	2.7~26.2/11.33	0.51~116/39.27
	扎日阿布	泥晶鲕粒灰质白云岩	1.1	0.02

注:最小值~最大值/平均值

隙度、渗透率均较差,且相关性较差。

4.2 孔隙结构特征

晶粒白云岩孔隙结构较好。以昂达尔错及隆鄂尼白云岩为例,由测试结果(表1、图3)可以看出,白云岩排驱压力较小,饱和度中值半径、最大连通孔喉半径均较大,其中最大连通孔喉半径为5.86~12.66 μm ,平均孔喉半径为2.79~5.21 μm ,喉道分选较好;孔隙结构有粗喉型、中喉型、细喉型等多种,以粗喉型、中喉型为主(图3中A、B),少量细喉型(图3中C)。而泥晶白云岩和残余颗粒白云岩孔喉结构较差,主要为细喉、微喉型(图3中D)。

5 白云岩的物性特征

羌塘盆地白云岩岩石类型多样,储集性能差别

较大^[2]。白云岩孔隙度的分布范围为0.6%~26.2%,渗透率为 $0.004 \times 10^{-3} \sim 462 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表2)。

其中,布曲组和索瓦组的细-粗晶白云岩物性好。如隆鄂尼的布曲组细、中晶白云岩孔隙度为1.3%~15.5%,平均11.2%,渗透率为 $0.33 \times 10^{-3} \sim 283.0 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $75.3 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;昂达尔错的索瓦组灰质细晶白云岩有效孔隙度为2%~17.0%,平均8.36%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 462 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $47.5 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表2)。

6 影响储集性的一些因素

白云岩的储集性受许多因素的影响,包括白云岩的成因、白云石的含量、白云石晶体的大小、白云

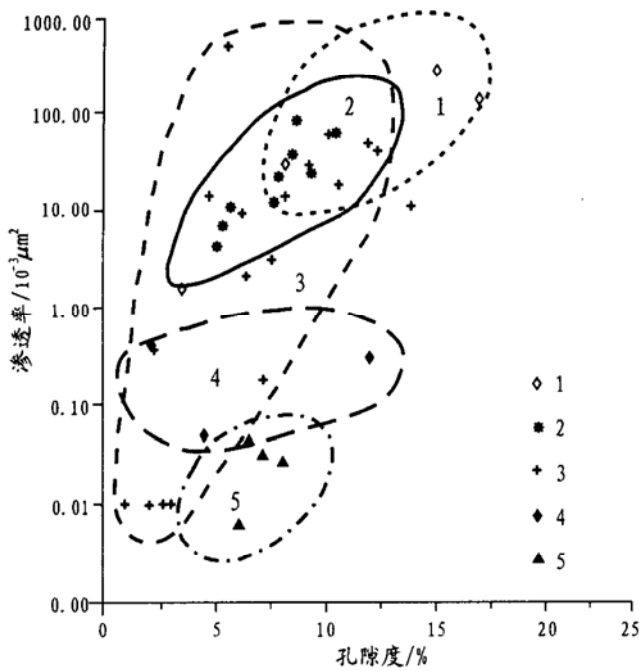


图 4 白云石晶粒大小与孔隙度、渗透率关系图

1. 中晶白云岩; 2. 细晶白云岩; 3. 灰质细晶白云岩;
4. 泥晶白云岩; 5. 残余颗粒粉晶白云岩

Fig. 4 Relationship of porosity and permeability to the grain size of dolomite

化后成岩作用和粘土量等^[2]。

6.1 白云岩成因类型

不同类型的白云岩孔隙度演化和储层特征差异很大, 这取决于原始沉积组构、白云岩的形成机理以及后白云岩作用改造的程度^[3]。

与蒸发潮坪有关的潮上、潮间带碳酸盐岩中的白云岩储层, 岩石类型为泥晶、微晶白云岩或残余颗粒白云岩, 发育在蒸发作用强烈的干旱气候、暴露或近暴露的蒸发台地亚相中的潮上带及潮间带上部。毛细管浓缩作用以及回流渗透白云化等作用形成的白云岩, 往往与膏岩互层或共(伴)生产出, 白云石晶粒一般细小(泥晶为主)且自形程度较差(它形粒状为主)。该类白云岩物性较差, 孔隙度一般小于

10%, 渗透率一般小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 2)。

非蒸发碳酸盐岩层序中的白云岩储层与古地理高点(古水下隆起)/不整合面或台地边缘有关, 具有不与蒸发岩相邻或共(伴)生、白云石晶粒较粗(细晶-中晶为主)、自形程度也较高(半自形为主)等特征, 混合水白云化作用(模式)为其生成的主导作用机理。此类白云岩分布以羌塘盆地隆鄂尼的布曲组为代表, 主要岩性为粉-中晶白云岩, 物性好, 孔隙度为 3.5%~15.7%, 平均 8.93%, 渗透率为 $1.6 \times 10^{-3} \sim 271 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $59.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

6.2 白云石晶粒大小

白云岩以晶间孔、晶间溶孔为主, 晶间孔的大小和形态与白云石的晶粒大小及自形程度有关^[2,4]。分析不同重结晶程度白云岩的物性资料(图 4、表 2)发现, 白云石晶粒增大, 岩石的孔隙度和渗透率具增高的趋势。虽然区内白云岩的孔隙度和渗透率的大小还与溶蚀、胶结、充填、构造作用等有关, 但重结晶作用改变了岩石的孔隙结构, 同时为后期溶蚀提供了良好的通道, 故细晶、中晶白云岩中晶间孔、晶间溶孔相当发育, 物性较好。

通过以上研究可以看出, 羌塘盆地中央隆起带东部双湖地区的布曲组、索瓦组自形、半自形白云石构成的细晶、中晶白云岩是研究区最有希望的碳酸盐岩油气储层, 那底岗日、土门、达卓玛等地区的残余颗粒白云岩、泥晶白云岩孔渗性相对也较好, 可能成为油气储层(图 1)。

参考文献:

[1] 史基安. 塔里木盆地西北缘震旦系和古生代白云岩成因及其储集性[J]. 沉积学报, 1993, 11(2): 43-49.
[2] 金振奎, 冯增昭. 华北地台东部下古生界白云岩的类型及储集性[J]. 沉积学报, 1993, 11(2): 11-18.
[3] Sun S Qing, 萧德铭, 杨玉峰, 译. 白云岩储层: 孔隙度演化和储层特征[J]. 国外油气田勘探, 1997, 9(2): 142-152.
[4] 陈彦华, 刘 莺, 孙 妥. 白云石化过程中岩石孔隙体积的变化[J]. 石油实验地质, 1985, 7(1): 29-36.

RESERVOIR CHARACTERISTICS OF THE JURASSIC DOLOMITE IN THE QIANGTANG BASIN

ZHANG Liqiang^{1,2}, JI Yourliang¹, LI Yongtie³

(1. *University of Petroleum, Dongying, Shandong 257062, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*

3. *Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)*

Abstract: The Jurassic dolomite is widely distributed in the Qiangtang Basin. It can be divided into dolomicrite, residual grain dolomite and crystal grain dolomite three rock types. The former two are often adjacent or associated to gypsum, and the latter one has nothing to do with gypsum. In the postsedimentary changes, many kinds of diagenetic reconstruction have taken place, Among them, those which have some influences on the accumulation features of dolomite mainly include dissolution, recrystallization and tectonic stress processes. The major accumulation spaces of dolomite in the study area are intercrystal pores, intercrystal solution openings and tectonic fissures. Fine-coarse crystallized dolomite has good accumulation petrophysical properties, and is a kind of good well reservoir.

Key words: reservoir characteristics, dolomite; the Jurassic; the Qiangtang Basin

(continued from page 372)

PETROLEUM SYSTEM AND OIL EXPOLRATION IN THE WEST LISHUI SAG, THE EAST CHINA SEA BASIN

JIANG Liang¹, WANG Yi², JIN Qiang²

(1. *China Offshore Donghai Corporation, Shanghai 200030, China;*

2. *University of Ptroleum, Dongying, Shandong 257061, China)*

Abstract: The West Lishui Sag is located in the north of the Taibei Depression, the East China Sea Basin. Its source rocks and reservoir rocks are dark shales and sandstones in the Mingvufeng Formation (E_1m) and the Lingfeng Formation (E_1l) of the Lower Tertiary. The sag was believed as an oil and gas domain by petroleum geologists. A deeper petroleum system (E_1y-E_1l) and a shallow complex petroleum system (E_1m-E_2w) were identified in the West Lishui Sag. The relationship between source rocks and hydrocarbon accumulation was discussed, and a model of hydrocarbon migration was postulated. The petroleum distribution in this sag was clearly defined and potential targets for prtroleum exploration were pointed out. So that this study was applicable to hydrocarbon exploration in the Easy China Sea Basin.

Key words: petroleum system; source rock; oil exploration; the West Lishui Sag; the East China Sea Basin