

文章编号: 1009-3850(2008) 04-0001-06

青藏高原羌塘盆地侏罗系白云岩的特征及其成因

彭智敏, 廖忠礼, 陈 明, 刘建清,
张予杰, 陈文彬, 丛 峰

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 羌塘盆地侏罗系白云岩是该盆地重要的油气储集层。侏罗系碳酸盐岩在沉积期后经历了白云岩化作用、溶蚀作用和破裂作用等多种成岩作用。羌塘盆地白云岩的成因与毛细管浓缩作用和混合水白云化作用有关。
关 键 词: 羌塘盆地; 侏罗系; 白云岩
中图分类号: P512.2 文献标识码: A

1 地质概况

羌塘盆地位于青藏高原的腹地, 是一个以海相沉积为主的大型复合盆地, 面积约 $18 \times 10^2 \text{ km}^2$, 盆地北界为可可西里金沙江缝合带, 南界为班公湖怒江缝合带, 东西以盆地边缘相中生代地层为界^[1]。盆地内可划分为北羌塘凹陷、南羌塘凹陷及中央隆起带(图 1)。盆地内广泛发育侏罗纪地层, 其岩性特征见表 1。

2 分布特征

根据野外调查和 60 余条白云岩剖面资料的统计分析(图 2), 羌塘盆地侏罗系白云岩主要分布于中侏罗统布曲组 and 上侏罗统索瓦组中, 中侏罗统夏里组和雀莫错组有少量分布。
索瓦组白云岩主要分布于北羌塘坳陷的中西部和南羌塘的蒂让碧凹陷一带。北羌塘坳陷白云岩(白云质灰岩)主要分布于坳陷南部的长梁山野牛沟、阿木查跃和坳陷中部低凸起的白龙冰河曲龙沟多格错仁一带。白云岩(白云质灰岩)厚度一般在 10m 以上, 最厚的白龙冰河剖面大于 300m。南羌

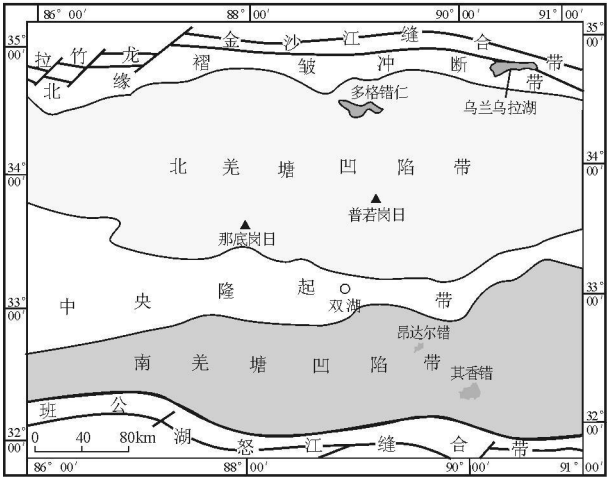


图 1 羌塘盆地构造分区图
Fig 1 Structural division of the Qiangtang Basin

塘白云岩(白云质灰岩)主要见于扎仁、达卓玛、土门及 114 道班一带, 厚度一般在 10~50m 之间, 如扎仁剖面白云岩厚 16.91m 达卓玛剖面厚 48.45m 土门 TMK-2 剖面白云岩厚 48.35m。夏里组白云岩的分布较零星, 厚度较小。主要分布于中央隆起的西段北侧和东段南侧的潮平潟湖相, 多与膏岩相伴;

表 1 羌塘盆地侏罗纪地层划分及岩石组合
Table 1 Stratigraphic division and rock association in the Jurassic strata of the Qiangtang Basin

分区		羌北地区		羌南地区	
系	统	组	岩性	组	岩性
侏罗系	上统	雪山组	杂色砂泥岩、砾岩		缺失
		索瓦组	以灰岩、白云岩为主,局部地方夹少量碎屑	索瓦组	以灰岩、白云岩为主,局部地方夹少量碎屑岩和礁灰岩
	中统	夏里组	暗红色/灰绿色砂岩、泥岩夹灰岩和白云岩及膏岩	夏里组	灰色钙质砂岩、泥岩夹灰岩,局部夹紫红色砂岩及白云岩
		布曲组	以灰岩、白云岩为主,夹泥岩、页岩和少量石膏	布曲组	深灰色灰岩、白云岩、泥灰岩、泥岩、钙质页岩等,局部见少量深盆相石膏薄层
		雀莫错组	紫红色/灰绿色砾岩、砂岩、泥岩夹灰岩、白云岩及石膏,局部夹煤	色哇组	下部为灰色/深灰色砂岩、泥岩、页岩夹灰岩和少量砂岩,上部灰岩增多
	下统	那底岗日组	灰绿色/暗紫色英安变质熔岩、熔结凝灰岩、砂、泥质沉凝灰岩为主,夹砾岩、砂岩等	曲色组	南部深灰色泥岩、页岩夹少量泥灰岩,向北夹砂岩和基性熔岩,北部见油页岩、泥岩、灰岩夹石膏

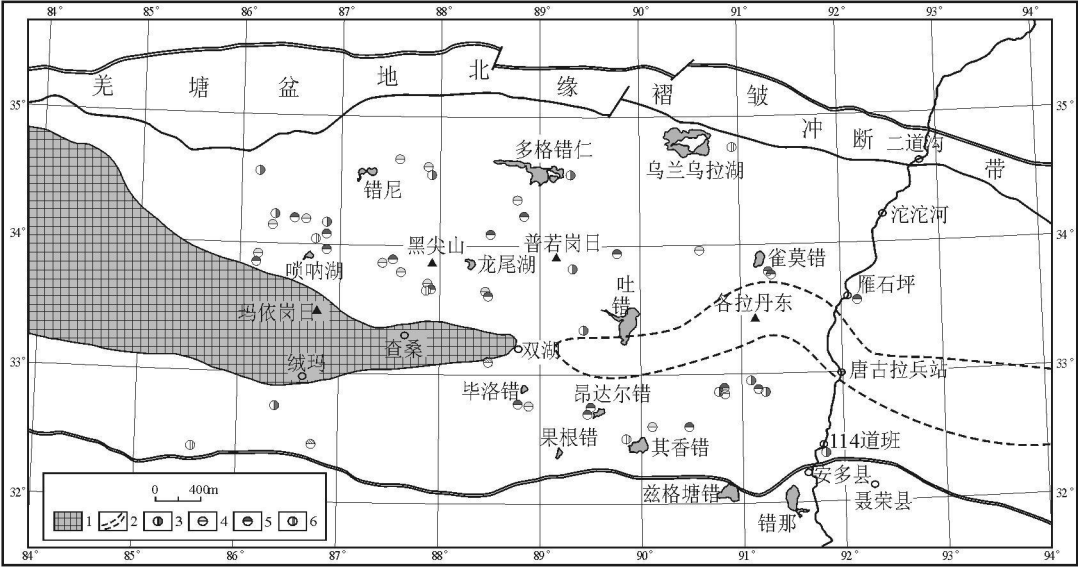


图 2 羌塘盆地侏罗系白云岩储层分布图

1 古陆区; 2 中央潜伏隆起; 3 索瓦组白云岩厚度; 4 夏里组白云岩厚度; 5 布曲里组白云岩厚度; 6 雀莫错组白云岩厚度

Fig 2 Distribution of the Jurassic dolostone reservoirs in the Qiangtang Basin

1= old land 2= central buried up lift 3= Solwa Formation dolstone 4= Gyan Formation dolstone 5= Biqu Formation dolstone 6= Qomaco Formation dolstone

在远离中央隆起的南、北凹陷带内滨海相碎屑岩中也有夹层分布。最厚的白云岩层出现在南羌塘的角龙错,总厚达 236.98m。

布曲组主要分布于中央隆起北侧及南侧的隆鄂尼、昂达尔错及安多卓玛一带,厚度较大,隆鄂尼剖面白云岩厚度达 400m 以上。沉积环境主要是台地相,白云岩厚度占剖面厚度的 80% 左右。

雀莫错组主要分布于以那底岗日为中心的中央

隆起北侧,白云岩出现于雀莫错组中部和顶部,中部为薄中层状微晶粉晶白云岩与石膏组成两个旋回,底部见泥晶白云岩。沉积环境主要是蒸发台地亚相。最厚出现在南羌塘的加青错荣拉,白云岩总厚约 55m。

可以看出,在羌塘盆地侏罗系各层位中白云岩均有分布,以布曲组最发育,其次是索瓦组,其它组的白云岩单层薄、厚度小,分布零星。

3 白云岩岩石学特征

根据白云石含量、白云石晶粒的特征、大小等,羌塘盆地侏罗系白云岩可以分为以下几种类型:

1 泥微晶白云岩

白云岩的颜色较深,由泥粉晶白云石和泥微晶方解石组成。白云石晶粒为泥粉晶,以它形为主,半自形较少,较浑浊。

2 残余颗粒白云岩

岩石具晶粒结构、残余结构,晶粒主要由白云石组成。晶粒粒度有粉晶、细晶及中晶。晶形以它形为主,半自形/自形较少。局部见残余结构。

3 晶粒白云岩

按结晶大小分为粉晶、细晶、中晶至粗晶结构。晶粒以白云石为主,少量方解石,原岩组构完全消失。晶形以半自形/自形为主,它形次之。晶粒较浑浊,晶粒常见次生加大,呈镶嵌接触,具有亮边雾心特征。

4 成岩作用

4.1 白云石化作用

白云石化对于改善储集岩孔隙具有极其重要的意义。在泥晶/微晶白云岩中,可见白云石交代方解石的现象。白云石晶体具有雾心亮边结构,以及残留少量的方解石表明,白云石化作用是白云石交代方解石的结果。

4.2 压实、压溶作用

在显微镜下可见白云石晶体呈它形,晶体间呈缝合线接触,主要为早期压实作用的结果。在白云岩中普遍发育缝合线构造,主要为由于压溶作用造成。压溶缝合线经过后期的溶蚀形成大量的溶孔及溶缝,少量被沥青或方解石充填,极大的改善了白云岩的储集性能。

4.3 胶结作用

大部分的溶孔、溶缝及构造裂缝被方解石充填,说明胶结作用发生在白云石化作用之后,胶结作用大大降低了其储集性能。

4.4 溶蚀作用

溶蚀作用是白云岩中最常见也是最重要的成岩作用之一,是形成良好储层最重要的成岩作用,从准同生阶段—后生阶段都可能存在。沿着晶间孔、缝溶解扩大,形成大量的晶间溶孔。有的沿裂缝不规则的溶解扩大,形成溶缝孔。

4.5 重结晶作用

重结晶作用主要发育在成岩阶段到后生阶段。

表现为晶粒增大,白云石晶粒紧密镶嵌接触及充填的方解石呈连晶结构。重结晶作用对储集性能有积极的作用也有消极的作用。

4.6 破裂作用

由于构造应力的作用导致岩石产生大量的微裂缝,主要发生在成岩晚期和表生期。本区白云岩微裂缝发育,裂缝被少量的沥青和方解石充填,总的来说对改善储集物性有积极的作用,为油气的运移提供通道及储集空间。

5 孔隙类型与孔隙结构

5.1 孔隙类型

(1)晶间孔:晶间孔为白云石晶体之间的孔隙,在细中晶及粗晶中较发育,形态不规则,多呈多面体或板状。

(2)晶间溶孔:晶间溶孔主要经后期溶蚀作用形成,由白云石晶体全部或部分溶解而成,呈不规则状它形、较规则状圆形、椭圆形,半充填/未充填,是白云岩主要的储集空间。

(3)晶内溶孔:早期形成的晶体在后期的溶蚀作用下形成的孔隙,发育在白云石晶体内(图3D),大小一般为微米级。

(4)压溶缝:受压溶作用形成的缝合线,沿压溶缝合线溶蚀,形成许多断续、串珠状溶孔,有的形成溶缝,溶缝边缘多呈锯齿状和不规则状,延伸较远,伴有溶缝孔。

(5)应力缝:主要是在构造应力作用破裂而形成的裂缝,缝壁平直,在白云岩中较发育,但多被方解石充填。

5.2 孔隙结构特征

侏罗系白云岩的孔隙结构较好,从表2可以看出,扎仁、雅乃南、昂达尔错等地白云岩孔隙结构均较好。排驱压力平均为 $0.15 \sim 1.12 \text{ MPa}$;饱和中值半径平均为 $0.91 \sim 13.1 \mu\text{m}$;最大连通孔喉半径平均为 $3.54 \sim 9.3 \mu\text{m}$ 。一般说来,排驱压力低,饱和中值半径越大,说明储渗性较好。研究区侏罗系白云岩具有孔吼分选、连通较好,排驱压力、中值压力较低的特点,孔隙结构以细中粗喉型,其中以中粗喉为主(图3),进汞曲线明显向左凹。

6 储集层物性特征

白云岩孔隙度分布范围在 $0.6\% \sim 17\%$,渗透率为 $(0.004 \sim 462) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表3)。

昂达尔错白云岩孔隙度在 $12\% \sim 17\%$ 之间,平

均为 14.5%，渗透率为 $(47.6 \sim 136) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均为 $92 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。巴格底加日中细晶白云岩孔隙度为 7.09% ~ 8.18%，平均为 7.58%，渗透率为 $(0.60 \sim 4.88) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均为 $2.74 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 3)。按照羌塘盆地碳酸盐岩储集层分类评价标准属于 I-II 类好-较好储集层。

从孔渗关系来看，统计的 28 件白云岩储集层样品分析，其孔渗值具有很好的正相关关系，孔渗关系呈线性，孔隙度增加，相应的渗透率也增加

(图 4)，说明白云岩储集层具有良好的均值性，吼道连通较好，属裂缝-孔隙(洞)型储集层。

7 成因探讨

白云岩的成因机制是目前地质学界长期争论的问题，目前对白云岩的成因的认识主要有：毛细管浓缩作用、回流渗透白云化作用、混合白云化作用、调整白云化作用、生物白云化作用和埋藏白云化作用。羌塘盆地白云岩主要是毛细管浓缩作用和混合水白

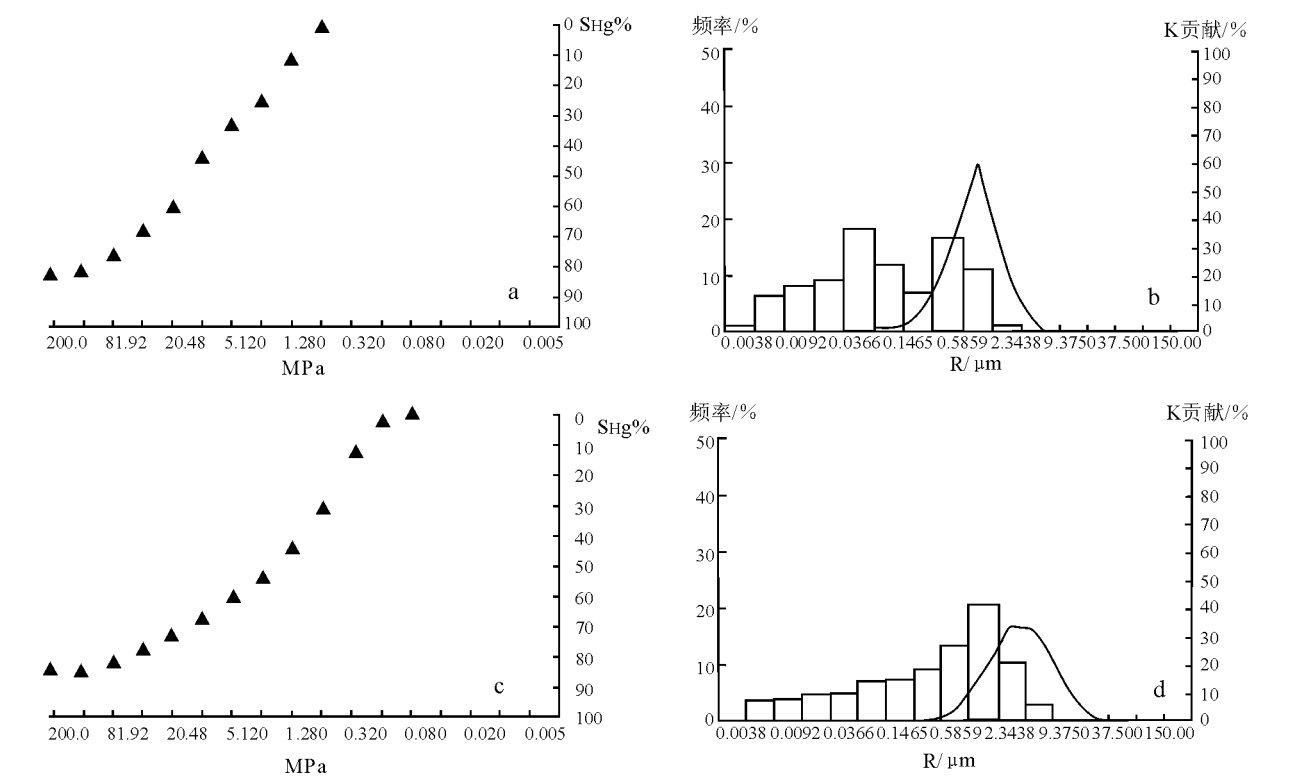


图 3 羌塘盆地白云岩储集层典型毛管压力曲线图 (上: 粗喉型; 下: 细喉型)

Fig 3 Capillary pressure curves for the Jurassic dolomite reservoirs in the Qiangtang Basin (Upper: coarse throat type; Lower: fine throat type)

表 2 羌塘盆地白云岩储集层孔喉特征参数

Table 2 Characteristic parameters for the pore throats of the dolomite reservoirs in the Qiangtang Basin

时代	剖面名称	岩石类型	Pd/MPa			Rd/μm			R50/μm			喉道类型
			Pmin	Pmax	Pavg	Pmin	Pmax	Pavg	Pmin	Pmax	Pavg	
J ₃	昂达尔错	灰质细粒白云岩	0.06	0.13	0.90	5.86	12.70	9.30	0.11	1.96	1.00	细粗喉
J ₂	隆鄂尼	中细晶白云岩灰质(泥晶灰质)白云岩	0.1	0.19	0.15	2.30	9.60	5.80	0.12	2.60	1.30	细粗喉
	雅乃南	中细晶白云岩	0.06	5.22	1.14	0.14	11.90	6.76	0.01	2.35	0.91	中粗喉
	巴格底加日	中细晶白云岩	0.19	0.22	0.21	3.28	3.78	3.54	1.28	1.29	1.29	粗
	扎仁	中细晶白云岩	0.06	3.93	1.12	0.19	11.90	4.65	0.01	4.33	1.31	中粗喉

表 3 羌塘盆地白云岩储层物性统计
Table 3 Physical properties of the dolostone reservoirs in the Q iangtang Basin

时代	剖面名称	岩石类型	孔隙度 /%			渗透率 /10 ⁻³ μ m ²		
			Pm in	Pmax	Pavg	Pm in	Pmax	Pavg
J ₃ s	如日夏玛	灰质细晶白云岩	2.00	17.00	8.36	0.01	462	47.50
	昂达尔错	灰质细粒白云岩	12.00	17.00	14.50	47.60	136	92
J ₂ b	隆鄂尼西	中细晶白云岩灰质(泥晶灰质)白云岩	0.60	15.10	7.80	0.01	175	33.60
	隆鄂尼	中细晶白云岩白云质灰岩	2.40	15.50	9.40	0.04	283	54.70
	加纳南	泥晶粒屑灰质白云岩	0.40	7.80	2.44	0.06	7.73	0.70
	雅乃南	中细晶白云岩	2.37	11.41	7.30	0.17	14.57	7.17
	巴格底加日	中细晶白云岩	7.09	8.18	7.58	0.6012	4.8847	2.74
	扎仁	中细晶白云岩	1.79	10.97	5.28	0.003	20.60	3.00

注: 雅乃南、巴格底加日、扎仁参数为“国家油气专项“青藏高原油气资源战略选区调查与评价”。其余据赵政璋等(2000)

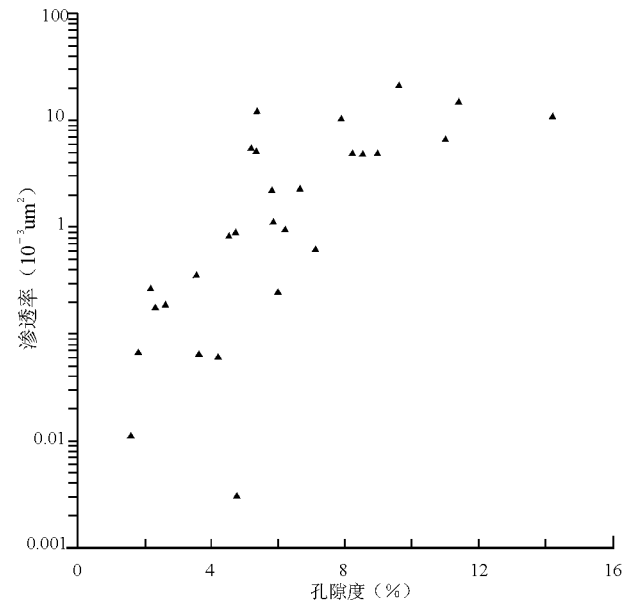


图 4 羌塘盆地白云岩储集层孔渗相关性分析
Fig 4 Correlation of the porosity and permeability of the Jurassic dolostone reservoirs in the Q iangtang Basin

云化作用两种类型: 毛细管浓缩作用形成于强烈蒸发的暴露或近暴露环境, 常常与膏岩互层或共(伴)生产出; 白云石晶粒一般细小(泥晶为主), 自形程度较差^[3]; 隆鄂尼、扎仁、昂达尔错一带的白云岩成因属混合水白云化作用, 主要有依据有: ①组构特征: 以细中粗粒白云石为主, 白云石表面灰泥较多, 普遍具有雾心亮边结构, 是一种典型的变盐环境标志。对于超咸度盐水准同生沉淀白云岩而言, 一般呈致密隐晶或微晶结构。同时, 该区野外地质调查均未发现有超盐度成因的石膏, 因此, 认为该区白云岩并非超盐水原生沉淀的白云石。Sibley认为在白云石晶体中出现的中心不清楚(雾心)和边缘清

楚(亮边)的现象, 是成岩孔隙流体与淡水作用的结果^[3]。说明白云岩在形成的过程中有大量的淡水介入。②阴极发光表明, 白云石发桔红色光或暗玫瑰红色光, 白云石环带也较发育。一般认为白云石的阴极发光和白云石的形成机理有很大的关系, 混合水白云化作用形成的白云石发光强度大, 白云石内部环带构造发育^[4]。方解石由发光昏暗主环带和橙黄色光环带构成, 一期发昏暗光; 一期发橙黄色光并见环带构造, 发光强度较大。方解石发橙黄色光带中富锰, 含铁; 发光昏暗带中的锰、铁均不明显。通过微量元素分析得知, Fe/Mn均值为 5.1, 在淡水成因方解石 Fe/Mn≈5.5~11之间, 说明白云岩成岩过程中受淡水作用的影响。③氧同位素是碳酸盐岩研究的重要手段, 在对碳酸盐岩沉积环境及白云岩成因机制的研究中也起着重要的作用。隆鄂尼、扎仁、昂达尔错一带中对 6 块白云岩 δ¹⁸O 均值为 -6.42‰, 具较低的 δ¹⁸O 可能是大气淡水的加入和受深埋藏环境中高温影响的结果。通过对其盐度的计算得出平均为 30.2‰, 低于正常海水盐度 35‰; 平均温度为 44.63℃, 高于地表温度 25℃。说明说明白云岩在形成的过程中可能有大气淡水加入, 白云岩应为混合水白云化。

8 结 论

- (1)羌塘盆地侏罗系中白云岩较发育, 从发育情况来看从大到小的顺序是: 布曲组→索瓦组→夏里组→雀莫错组。
- (2)白云岩岩石类型主要以细中粗晶为主。经历了多次成岩作用, 其中白云石化、溶蚀作用及破裂作用对白云岩的储集性能起到重要的控制作用。
- (3)白云岩储集空间类以也晶间孔、晶间溶孔、

溶缝为主, 孔渗较大。孔隙结构以中粗喉型为主, 属好或较好类型储层, 是羌塘盆地最重要的勘探储集层。

(4)羌塘盆地白云岩成因机理主要是毛细管浓缩作用和混合水白云化作用两种, 其中以混合水白云化为主。

参考文献:

[1] 王剑, 谭富文, 等. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京: 地质出版社, 2005

[2] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原海相烃源层的油气生成[M]. 北京: 科学出版社, 2000

[3] 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

[4] 马振芳, 黄月明. 陕甘宁盆地中部气田白云岩储层孔洞充填物与储集性[J]. 石油勘探开发, 1995, 22(3): 102—106

Origin of the Jurassic dolostone reservoirs in the Q iangtang Basin on the Q inghai-X izang Plateau

PENG Zhi-min, LIAO Zhong-li, CHEN Ming, LIU Jian-qing, ZHANG Yu-jie, CHEN Wen-bin, CONG Feng
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The Jurassic dolostones occur as important hydrocarbon reservoirs in the Q iangtang Basin on the Q inghai-X izang Plateau, and have undergone a complex diagenetic history including dolomitization, dissolution and fracturing. The genetic mechanism includes capillary condensation and mixed water dolomitization, of which the latter one predominates in the study area.
Key words: Q iangtang Basin, Jurassic, dolostone