

文章编号: 1001-6112(2007)03-0217-07

塔里木盆地古生代海相碳酸盐岩储集岩特征

康玉柱

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:通过对塔里木盆地古生代碳酸盐岩储集岩的勘探和研究,较系统地阐述了储集岩类型、储集空间类型、储集性能以及碳酸盐岩成岩作用等,并进行了评价。塔里木盆地古生代碳酸盐岩储集岩类型主要有古岩溶风化壳型、礁滩型、鲕粒滩型及白云岩型 4 类。5 期构造运动形成了 5 期古岩溶储集体,即下寒武统一上震旦统、中奥陶统一上奥陶统、志留系—奥陶系、石炭系与下伏地层、三叠系—前三叠系之间的古岩溶。碳酸盐岩储集空间类型主要分为孔隙—孔洞和裂缝 2 大类型。孔隙—孔洞包括微孔隙、晶间孔隙、溶蚀孔隙和溶蚀孔洞;裂缝主要有成岩裂缝、与区域构造有关的裂缝、与褶皱有关的裂缝、与断裂有关的裂缝、与深部地层负荷和孔隙压力有关的裂缝等。碳酸盐岩储层主要成岩作用有压实、压溶、胶结、白云化、重结晶、硅化和溶蚀等。储集岩主要有白云岩和灰岩 2 大类,白云岩以裂缝—孔洞型为主,而灰岩主要为裂缝型,仅有少量孔洞—裂缝型及裂缝—溶洞型,因此白云岩储层的储集性能明显好于灰岩。

关键词:碳酸盐岩;储集岩(体);油气藏;古生界;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

RESERVOIR ROCK CHARACTERISTICS OF PALEOZOIC MARINE FACIES CARBONATE ROCK IN THE TARIM BASIN

Kang Yuzhu

(Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on study of Paleozoic carbonate reservoir rock in the Tarim Basin, it is discussed in this paper reservoir rock type, reservoir room type, reservoir capacity and carbonate rock diagenesis. Paleozoic carbonate reservoir rock in the Tarim Basin can be classified into 4 types: ancient karst and weathered residuum, shoal and reef, oolitic beach and dolomite. 5 stages of tectonic evolution result in 5 stages of ancient karst reservoir, including: Lower Cambrian-Upper Sinian, Middle Ordovician-Upper Ordovician, Silurian-Ordovician, Carboniferous and underlying strata, and ancient karst between Triassic and Pretriassic. Reservoir room is divided into 2 types: pore-vug and fracture. Pore and vug include micropore, intercrystalline pore, dissolution pore and dissolution vug. Fractures include diagenetic fracture, fracture related to regional tectonics, fracture related to fold, fracture related to rupture, and fracture related to deep strata charge and pore pressure. Diageneses of carbonate reservoir rock include compaction, pressure solution, cementation, dolomitization, recrystallization, silicification and dissolution. Reservoir rocks include dolomite (fracture-vug type) and limestone (fracture type, with few vug-fracture type and fracture-carven type). Reservoir capacity of dolomite is much better than that of limestone.

Key words: carbonate rock; reservoir rock; accumulation; Paleozoic; the Tarim Basin

1969 年 2 月,著名地质学家李四光指出:“现在有一个问题,我想提出与同志们研究一下,我们现在找出来的油田都是中、新生代的,难道我们的古生代就没有油吗?美国有一半的大油田是古生

代的,他们的特点都是褶皱构造比较平缓。我们要在古生代盖层平缓、褶皱缓和的地区集中力量试验一下,比如:黔南、四川,特别是塔里木……从战略上讲,我们要选一个地方,早一点打开一个缺口。”

收稿日期:2007-02-25;修订日期:2007-04-11。

作者简介:康玉柱(1936—),男(满族),辽宁北宁人,中国工程院院士,教授级高级工程师,主要从事石油地质勘探与研究。

按照李四光老部长的要求,1970 年我们在评价塔里木盆地油前景的研究中,带着古生代成油问题开展了工作。当年 7 月,在观察昆仑山前和什拉甫地质剖面时,首次发现石炭—二叠系发育一套厚达 500~600 m 的暗色泥灰岩、泥岩、灰岩等生油岩。另在盆地北部柯坪隆起的石炭—二叠系也有这一套沉积。认为石炭—二叠系是该盆地重要生油岩系。

1979 年,在塔里木盆地进行优选勘探靶区的研究中,在柯坪隆起上的奥陶系发育一套较厚的暗色泥页岩及灰岩、泥灰岩等生油岩。而且还在灰岩中发现原生晶洞原油。我们又提出寒武—奥陶系是重要的生储油岩系。1979 年,西北石油局从塔西南向塔北沙雅隆起转移时,提出:“在沙雅隆起上注意寻找古生界、古潜山油气藏”。

1984 年 9 月,在沙雅隆起的雅克拉构造上设计的沙参 2 井于奥陶系白云岩中获高产油气流,实现了中国古生代海相油气田的首次重大突破,地矿、石油、科教等部门在塔里木盆地展开了规模空前的成油大会战。目前,已发现古生代碳酸盐岩油气田 20 多个,其中大油气田 2 个(塔河、和田河),亿吨级油气田 3 个(轮南、塔中 1 号、沙西英买力)。古生代碳酸盐岩已成为塔里木盆地油气勘探的主要领域之一。塔里木海相碳酸盐岩成藏的关键因素之一是其储集条件。因此,深入研究海相碳酸盐岩储集岩特征,对发现更多更大的古生代海相油气田具有重要意义。

1 碳酸盐岩储集岩(体)类型

盆地发育的碳酸盐岩储集岩主要分布于古生界,以上震旦统—奥陶系和石炭系—下二叠统为主,有灰岩和白云岩储集岩 2 种岩石类型。灰岩储层主要位于中上奥陶统和石炭系—下二叠统下部;白云岩储层主要位于上震旦统—中下奥陶统及下石炭统等层位。

盆地碳酸盐岩储集岩主要有古岩溶风化壳型、礁滩型、鲕粒滩型及白云岩型等 4 类^[1,2]。

1.1 古岩溶储集岩(体)

古岩溶风化壳型储集岩(体)是各古隆起上的最为重要的储集岩(体)。

1.1.1 古岩溶期次

5 期构造运动形成 5 期古岩溶: $\epsilon_1/Z, O_3/O_2, S/O_3, C_1/S-D$ 和 T/P 。各时期古岩溶作用的叠加和改造,造就了古生界古岩溶储层的发育。尤其以海西早期、海西晚期及加里东晚期的古岩溶作用最

为重要。当然不同时期的古岩溶作用也有所不同。

加里东早期:系指下寒武统和上震旦统之间的古岩溶,岩溶时代应为早寒武世早期。此期岩溶实例主要见于柯坪地区的肖尔布拉克磷矿沟及沙雅隆起的沙 14 井等,但受到了后期岩溶的破坏和改造。本期岩溶作用的主要特征表现为:在上震旦统上部奇格布拉克组顶部的亮晶藻团块云岩和隐藻泥晶云岩中岩溶角砾岩发育;并有溶洞、溶缝、漏斗生成。溶洞呈不规则袋状、分叉状,顺层延伸,小者 0.02~1 m,大者 4~10 m,一般 1~2 m,彼此间以溶缝相连通,其中充填棱角一次棱角状岩溶角砾岩和砂砾岩。角砾岩主要成分为奇格布拉克组泥—粉晶云岩和亮晶藻团块云岩;砂砾岩主要成分为白云石砂及石膏和燧石等,为砂砾混杂堆积,局部见纹层构造,填隙物以粘土和泥晶白云石为主,并见有细晶白云石皮壳状胶结物。

加里东中期:系指中奥陶统与上奥陶统之间的古岩溶,岩溶时代为晚奥陶世早期。沙西地区最为明显,该区英买 2 井、英买 1 井均有揭示。岩溶特征表现为:中奥陶统顶部颗粒灰岩中的颗粒周围发育氧化铁环边,并有星散分布的褐铁矿化黄铁矿;中奥陶统顶部为灰绿—暗紫红色的杂色灰岩,与上覆上奥陶统底部的紫红色钙质泥岩、灰岩在岩性和色调上为明显突变,表明前者遭受过地表风化;在自然伽马能谱测井曲线上,中奥陶统顶部(英买 2 井 5 838 m 井段)为铀元素显示高值段,达 8×10^{-6} ,较上下层位高出十几倍。该期岩溶作用分布范围较广,据地震资料显示,盆地内上奥陶统与中下奥陶统之间为超覆接触或间断。因此,仅造就中奥陶统顶部的短暂暴露和岩溶作用。

加里东晚期:系指志留系与奥陶系之间的古岩溶,岩溶时代主要为早志留世早期,个别地区可延续到中志留世早期。该期岩溶发育强度在各地不同,沙雅隆起表现明显,尤其是沙西凸起更为突出,如英买 10 井、英买 11 井、沙 21 井等钻井剖面均有显示。

海西早期:系指石炭系与下伏不同时代地层(泥盆—奥陶系)之间的古岩溶,该期岩溶是盆地多期岩溶发育中最为重要的,且岩溶作用强度大、分布范围广,基本上覆盖了全盆地。其中以塔北地区最为显著,奥陶系碳酸盐岩受到强烈的古岩溶作用。

海西晚期:系指三叠系与前三叠系之间的古岩溶,岩溶时代从早三叠世早期(有可能提前到晚二叠世)开始。此期岩溶作用对前期古岩溶进行叠加

和改造,延续时间也相应较长,分布较广,古岩溶作用较强。

1.1.2 古岩溶垂向结构

完整的岩溶垂向结构,从上至下(以不整合面为基准)分 4 个带:地表岩溶带、渗流岩溶带、潜流岩溶带及深埋岩溶带。

从现有钻井资料来看,完整的 4 层结构得以保存的剖面很难见到,绝大部分钻井所揭示的基本上均缺失地表岩溶带,或保留较少,只保留了渗流带、潜流带和深埋岩溶带。岩溶发育的深度(以不整合面为基准)在不同地区、不同构造部位均存在差别,如沙西地区沙 13 井、阿克库勒地区沙 14 井、轮南 12 井等钻井的岩溶垂向剖面结构图(图 1)所示。据统计,岩溶主要发育在不整合面以下 300 m 内的地层中,塔中地区为 120~220 m,个别超出 300 m,如沙西地区为 250~500 m。

1.1.3 古岩溶储集岩(体)特征

古岩溶储集体是古生界最为重要的碳酸盐岩

储集体,分布广泛,多具高产油气特征。其主要特征如下:1)横跨不同层位的碳酸盐岩,分布广泛。不论是上震旦统、寒武系或是奥陶系碳酸盐岩,只要是在不整合侵蚀面之下,均可形成古岩溶储集体。2)以不整合面为基准,岩溶深度越大,其形成的岩溶储集体的厚度亦越大,一般均在 200~300 m。3)储集物性以不整合面之下 150 m 之内最好,向下变差,但变化不均。在垂直渗流带与潜流带之间常发育大型溶洞,溶洞若未充填则为极佳的储集体。即使后期被充填,其储集物性仍较围岩好。4)储集空间中的溶孔、溶蚀缝洞占重要地位。溶孔系沿粒间孔、晶间孔、晶间缝、微裂缝及缝合线溶蚀而成,从微米级至毫米级,主要分布于岩块之内;溶蚀缝洞主要沿构造裂隙或构造破碎带溶蚀而成,从厘米级至米级,分布于岩块之间,渗透能力大^[3,4]。5)储层非均质性强,特别是岩块基质孔隙度差的灰岩,主要受构造裂隙及溶蚀缝洞发育程度控制。裂隙及溶蚀缝洞发育,储集性能就好,反之则变差。

1.2 白云岩储集体

这里所说的白云岩储集体^[5,6],是指不整合面以下非古岩溶表生溶蚀作用所致、以晶间孔—晶洞溶孔(系埋藏溶蚀或热水溶蚀之产物)及裂隙为主的白云岩储集体,储集性能好。

目前,钻井揭示的白云岩发育层位及地区主要有:雅克拉断凸的震旦系奇格布拉克组、寒武系和中下奥陶统,各隆起上寒武统和中下奥陶统以及阿克库勒凸起的下奥陶统等。

白云岩的储集性能较古岩溶白云岩储集体差,其以晶间孔—晶间溶孔及裂隙为主,储集空间类型较为单调,不如古岩溶型白云岩储集空间类型多样,因而限制了白云岩储集体的储集性能。

1.3 礁滩储集体

礁滩具有较好的储集性能,其所形成的油气藏也具有高产的特点。据柯坪、巴楚、阿尔金山、库鲁克塔格、叶城南等地表露头和沙雅隆起、卡塔克隆起、巴楚隆起、麦盖提斜坡等数口钻井揭示,盆地内震旦—奥陶系、石炭系均有生物礁和生物碎屑滩发育。如塔北地区在早寒武世—早奥陶世均发育有台地边缘礁滩相沉积,分布于盆地相区与台地相区之间的斜坡带。在碳酸盐岩台地内部也有礁滩分布,虽然其规模较台地边缘礁滩要小,但也是较好的储集类型。

1.4 鲕粒滩(含颗粒滩)储集体

地表露头和钻井揭示资料表明,盆内石炭系—下二叠统、奥陶系鲕粒滩(含颗粒滩)较发育,如在

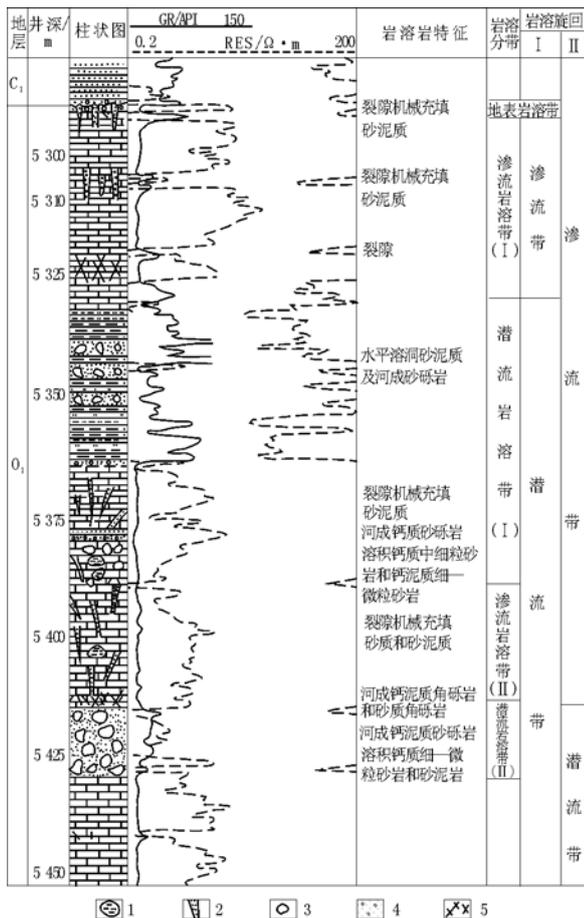


图 1 塔里木盆地沙 14 井古风化壳岩溶剖面柱状图

- 1. 溶洞机械充填物; 2. 裂隙机械充填物; 3. 未充填溶洞;
- 4. 溶积砂砾带; 5. 裂隙带

Fig. 1 Profile of fossil weathered residuum karst in Well S14, the Tarim Basin

沙雅隆起西部沙 11 井、英买 1 井奥陶系以及巴楚—麦盖提地区和柯坪地表等均有发现。是一类物性较好的储集体。

2 碳酸盐岩储集空间类型

盆地内碳酸盐岩储集空间类型具有多样性,综合归纳主要可分为孔隙—孔洞及裂缝 2 大类型^[7,8]。

2.1 孔隙—孔洞

是指岩石的微孔隙、晶间孔隙、溶蚀孔隙和溶蚀孔洞。

微孔隙:指微小孔隙,但这些孔隙可储存和流通油气。根据岩性不同,微孔隙的类型、大小及发育程度均有差别,其中结晶白云岩中微孔隙主要由晶间孔、晶间溶孔组成,微孔直径 0.05 ~ 20.00 μm;随机面上的孔隙度 7.66% ~ 25.16%。而颗粒灰岩中的微孔主要分布于颗粒之间的胶结物中,以晶间孔和晶间溶孔为主,孔径较小,多为 0.1 ~ 3.0 μm;随机面上的孔隙度 8.50% ~ 23.68%。泥微晶灰岩中的微孔以晶间溶孔为主,其孔径较小,常为 0.1 ~ 0.3 μm 或更小;随机面上的孔隙度也相对较小,为 6.80% ~ 14.21%。

晶间孔隙:主要分布于结晶白云岩的白云石晶间以及颗粒白云岩或灰岩的胶结物晶间,其中以白云岩中此类孔隙较为发育,其孔隙大小与白云石晶体大小呈正相关。

溶蚀孔隙:包括粒间溶孔、晶间溶孔、粒内溶孔、晶内溶孔及铸模孔等。其中以粒间溶孔、晶间溶孔最为发育,孔径多为 0.1 ~ 2.0 mm,连通性相对较好。次生溶孔常沿裂隙或缝合线呈串珠状分布,呈一种无组构选择性的溶孔。

溶蚀孔洞:指较大的溶洞,其成因多与古岩溶作用有关。洞径一般为厘米级,大者可达米级。一般在岩溶高地和岩溶斜坡区常见,但其溶洞内大多数已被岩溶角砾、砂泥质或化学沉淀物所充填,仅少量溶洞未被充填,在钻井过程中有放空、泥浆漏失等明显反应,如沙雅隆起及卡塔克隆起等地区均有显示(表 1)。

2.2 裂缝

古生界碳酸盐岩中发育的裂缝主要有:成岩裂缝,与区域构造有关的裂缝,与褶皱有关的裂缝,与断裂有关的裂缝,与深部地层负荷和孔隙压力有关的裂缝等。

成岩裂缝:主要指与风化作用和压溶作用有关,以及在地层负荷垂向应力和异常孔隙压力下形成的风化裂缝和缝合线及埋藏裂缝。风化裂缝主

要发育在古风化壳,垂直或斜交层面,延伸短、不穿层,为张性裂缝,其发育程度较高时,可构成相互连角的砾状孔隙。在大气水的淋滤作用下,常沿裂隙(缝)发育溶孔和溶洞。缝合线在一定条件下作为有效的储集空间和渗滤通道已被多口钻井岩心中缝合线含油所证实,如沙 14、沙 11、沙 30 井等。按其产出状态,主要有平行、斜交、垂直层理的锯齿状缝合线和网格状缝合线。缝合线主要发育在灰岩中,白云岩中少见,在缝合线发育段其密度统计一般为 80 ~ 300 条/m,这表明缝合线在塔里木盆地确实是一种不可忽视的储集空间。

埋藏裂缝:这是深埋岩层在上覆负荷地层垂向

表 1 塔里木盆地寒武—奥陶系钻井放空及泥浆漏失统计
Table 1 Drilling break and mud loss in Cambrian and Ordovician, the Tarim Basin

地区	井号	层位	井段/m	放空/ m	泥浆漏失 量/m ³	
	沙参 2	O ₁	5 380.00~5 388.40	0.75	547.00	
			5 387.25~5 388.00			
			5 756.00~5 760.00			300.00
雅克	沙 5	O ₁	5 817.00		113.00	
			5 851.00		100.00	
			5 898.46		2 500.00	
拉	沙 6	Є ₃	5 548.56~5 549.11	0.55	1.00	
			5 549.41~5 550.21			0.75
			5 548.56~5 551.51			2 264.73
	沙 9	O ₁	5 171.50~5 178.50		105.32	
			5 198.50~5 200.00		100.71	
			5 225.00~5 266.00		317.5	
阿克	轮南 8	O ₁	5 239.40~5 240.00	0.60	2.50	
			5 256.20~5 258.70			
			5 283.71~5 284.56			0.85
库勒	轮南 14	O ₁	5 360.00~5 368.00		94.20	
			5 544.30~5 548.30		2.00	
			5 532.04		493.50	
	轮南 19	O ₁	5 342.70		52.50	
			5 487.10		14.50	
			4 990.60~5 164.93		1 799.00	
沙	沙 13	O ₁	5 014.00~5 001.03	2.50	1.00	
			5 014.62~5 022.09			
西	英买 1	O ₁	5 370.70~5 371.98		67.70	
			5 088.00~5 230.90		2 000.00	
塔中	塔中 1	O ₁	3 567.00~3 570.00	2.10	890.00	

应力及异常孔隙压力条件下所产生的裂缝,经多口钻井显示,可见到垂直层面的张性裂缝,张开度一般3~10 mm,延伸可达几十厘米,甚至可贯穿整个岩心段,部分为原油充填,并有围岩和泥质充填物。目前在沙西地区沙11井等已发现这种裂缝含油,因此应重视此种裂缝系统的含油气性研究。

区域性裂缝:是在区域应力场作用下产生的裂缝。如塔北地区有2组主裂隙走向分别为 $310^{\circ}\sim 340^{\circ}$ 与 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$,延伸可达几十米,甚至上百米;裂缝张开度大,一般大于0.11~0.20 cm,大者达10~18 cm;裂缝间距最密集者为5~8 cm,最宽者为25~100 cm,是典型的区域性裂缝,其发育受北西向区域性主应力挤压作用控制。

与褶皱有关的裂缝:前人研究表明,这类裂缝的发育程度与岩层曲率半径成倒数关系。麦盖提斜坡的巴什托油田以裂隙型储层为主,明显受控于褶皱曲率,在构造顶部裂隙发育,油产量高,向背斜翼部产量下降。

与断裂有关的裂缝:断裂的产生将伴生大量裂隙,但断裂的影响范围究竟多宽,尚缺乏定量资料。

裂缝纵向发育规律:勘探和综合研究表明,裂隙的纵向发育程度在各构造区块其发育深度有所差别,以勘探和综合研究程度较高的塔北地区的资料为基础,将下古生界裂缝密度、频率及深度等资料经计算机二次方程拟合,可以清楚地看出,在纵向上埋深为5300~5500 m左右,有一重要的裂缝发育段(图2),这对下古生界碳酸盐岩油气勘探十分重要。

对上古生界碳酸盐岩而言,裂缝主要分布于盆

地西部。经巴楚—麦盖提地区钻井揭示,石炭系下统巴楚组双峰灰岩段和上统小海子组灰岩段均发育裂缝(隙),裂缝(隙)发育的深度因各钻井有所不同。在巴楚隆起亚松迪构造带(色力布亚断裂上盘),上石炭统小海子组碳酸盐岩裂缝(隙)以埋深2044~2486 m为重要的裂缝发育段;下石炭统巴楚组“双峰灰岩”以埋深2375.00~2392.49 m为重要的裂缝发育段。在麦盖提斜坡巴什托—先巴扎构造带(色力布亚断裂下盘),上石炭统小海子组碳酸盐岩裂缝(隙)以埋深4100~4300 m为重要的发育段,下石炭统巴楚组“双峰灰岩”以埋深4760~4770.6 m为重要的裂缝发育段。

3 储集岩及其储集性能

碳酸盐岩储集岩主要有白云岩和灰岩2大类,其储集空间和储集类型具有不同的特征,因而其储集性能也具有明显的不同。

3.1 储集岩特征

裂隙型是塔里木盆地灰岩的主要储集类型之一,其特征是岩块(基质)孔隙度极低,而裂缝极发育,是储集岩的主要渗透通道,并且也是主要储集空间之一。塔北阿克库勒凸起沙14井下奥陶统灰岩储层是较为典型的裂缝型储层。

据压汞分析资料,无论是毛管压力曲线或孔隙结构参数,白云岩和灰岩均有较大差异。选择最大喉道宽度、均值(Φ)和有效喉道(气)3个参数进行对比,表明白云岩孔隙结构较灰岩好。如有效喉道(气)百分数,灰岩均小于30%,而白云岩有50%的样品大于30%;有近60%的灰岩最大喉道宽度小于天然气能够通过的下限 $0.075\ \mu\text{m}$,白云岩最大喉道宽度为 $0.078\sim 9.375\ \mu\text{m}$,全部大于天然气能够通过的下限值,具备油气储集和产出的条件。

3.2 储集类型差异

白云岩以裂缝—孔洞型为主,仅有少许孔洞—裂缝型,表明孔洞既是主要储集空间,又是主要渗滤通道。而灰岩主要为裂缝型,仅有少量孔洞—裂缝型及裂缝—溶洞型,表明裂缝具重要作用,既是主要渗滤通道,又是主要储集空间之一。

3.3 储集性能差异

据近千件样品统计,白云岩孔隙度较灰岩高,白云岩孔隙度平均值是灰岩的3.26倍(表2)。灰岩样品中90.4%的孔隙度小于1.5%,其峰值为0.5%~1.0%,占样品总数的近70%;白云岩孔隙度的峰值为1.5%~5.0%,占样品总数的63.78%。反映出2种岩石储集物性的明显差异(表3)。

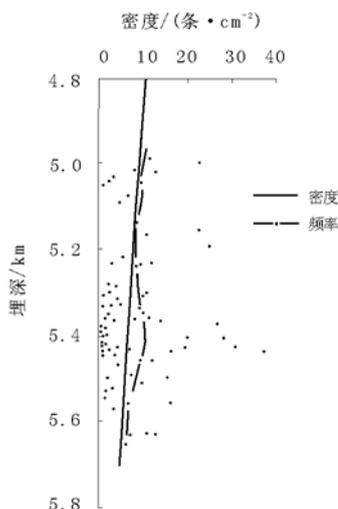


图2 塔北地区下古生界裂缝密度、频率与埋深之间的关系

Fig. 2 Relationship between fissure spacing, frequency and burial depth in the Lower Paleozoic, the north of Tarim Basin

表 2 塔北地区下古生界白云岩与灰岩孔隙度对比

Table 2 Porosity comparison between dolomite and limestone in the Lower Paleozoic, the north of Tarim Basin

岩性	井数/口	样品数/个	孔隙度, %		
			最小值	最大值	平均值
白云岩	6	318	0.25	31.78	3.46
灰岩	15	665	0.09	6.79	1.03

表 3 塔北地区下古生界白云岩与灰岩储集特征对比

Table 3 Reservoir characteristics of dolomite and limestone in the Lower Paleozoic, the north of Tarim Basin

内容	白云岩	灰岩
裂缝	次要储集体	主要储集体(沙 14 井 5 381~5 434 m 高产油井)
裂缝—溶洞	大型洞少见,以小型孔洞为主	风化壳岩溶时,多见大型孔洞,轮南 8 井放空 2.5,0.6 m(5 225~5 266 m 漏失大量泥浆)
裂缝—孔洞	为主要类型	为次要类型
孔隙类型	晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔	晶粒少,排列紧密,晶间孔很小,有晶间微孔、溶蚀扩大孔
孔隙结构差异(压汞资料表明)	有效喉道百分数大于 50%,最大喉道密度 0.078~9.375 mm	有效喉道百分数小于 30%,少见天然气能够通过的下限 0.075 mm
物性差异	物性较好,白云岩平均孔隙度是灰岩的 3.26 倍,孔隙度峰值 1.5%~5.0%,占总样品的 63.78%	物性较差,灰岩中有 90.4% 的样品孔隙度小于 1.5%,其峰值为 0.5%~1.0%,占总数的 70%
埋深影响	埋藏深度影响不大,如塔深 1 井 8 000 多米,白云岩溶孔仍很发育,物性好	地表古岩溶影响,裂隙—溶洞型均受深度限制,一般发育在表层之下,300 m 之内

4 碳酸盐岩储层成岩作用

碳酸盐岩储层主要成岩作用有压实、压溶、胶结、白云化、重结晶、硅化和溶蚀等^[2,5]。

4.1 白云岩化作用

4.1.1 准同生白云岩化

泥微晶云岩、藻云岩、微细结构保存完好的颗粒白云岩是准同生白云化的产物。这些白云岩中的藻纹层、鲕粒及纤状、纤柱状胶结物的原始矿物成分显然不是白云石,而是方解石或文石准同生期白云化的产物。

4.1.2 埋藏白云岩化

灰岩中大量结晶白云岩条带、斑块常表现为沿

缝合线分布,显然这是埋藏期白云化的产物。寒武—奥陶系中大量结晶白云岩的微量元素、同位素等与上述沿缝合线分布的白云岩斑块、条带的相似性,表明该结晶白云岩亦是埋藏白云化所形成的。不同结构的白云石集合体相互穿插,反映了埋藏白云化的多期性^[7,9]。

4.1.3 淡水白云岩化

据氧碳同位素、微量元素等资料,震旦系奇格布拉克组白云岩中的柱状胶结物之后的细粒胶结物受淡水影响很大,可能是近地表大气淡水或混合水成岩环境的产物。

4.2 重结晶作用

重结晶作用主要在时代较老的层位中发育。下奥陶统的结晶白云岩结构由均一至极大不均一,多呈粉细晶和不等晶,灰岩原始结构完全消失或部分保留。这种白云岩是在深埋环境下由先期形成的白云化灰岩或粉晶云岩经多次溶蚀、沉淀、重结晶反复改造的结果。这种成岩改造与深埋藏期的温度、压力及热水作用有关。如沙 15 井中该类云岩晶洞中石英的包体均一温度高达 278 ℃。

4.3 硅化及硅质充填作用

硅化及硅质充填作用在震旦—奥陶系碳酸盐岩中普遍可见,其中以丘里塔格群较为发育。硅质为玉髓—石英质,呈团块及条带状交代颗粒。塔北地区石炭系底部大量来源于丘里塔格群白云岩的砾石中常见硅化及硅质充填现象(沙 10、沙 5 井),表明主要硅化及硅质充填期在石炭纪之前已经完成。

硅质还常充填裂隙及溶蚀孔洞,充填的硅质以结晶石英为主。

4.4 胶结作用

发育于台地边缘及台内浅滩的颗粒灰岩或白云岩的胶结作用十分发育,其层位主要在震旦系—下奥陶统颗粒碳酸盐岩中,粒间孔隙及早期溶蚀孔隙多被后期胶结物充填。

4.5 多期溶蚀作用

溶蚀作用主要发育于古风化壳之下,古生界碳酸盐岩发育有多期溶蚀作用。其中主要包括早期近地表淡水溶蚀、隆起区抬升期的古岩溶、埋藏溶蚀及热水溶蚀等。形成有效次生孔隙者主要为中晚期的古岩溶、埋藏溶蚀及热水溶蚀。

综上所述,塔里木盆地碳酸盐岩的成岩序列为:沉积—泥晶化—纤状及纤柱状胶结—新生变形—早期溶蚀—准同生期白云化—重结晶—硅化—缝合线—埋藏白云化—埋藏溶蚀—埋藏重结晶—多期古岩溶(包括溶蚀、充填)所形成的孔洞

缝,是该区碳酸盐岩储层的重要储集空间。

5 碳酸盐岩储层评价

碳酸盐岩储层最大的特点是具有很强的非均质性,其发育受多种因素控制,因此对碳酸盐岩储层进行评价时,要充分考虑各种控制因素的影响。为此选择物性参数、古岩溶发育程度、钻井录井特征、储集类型、裂隙(缝)发育程度以及含油气情况等^[5,10]进行综合评价。

从储集岩岩性来看,白云岩储层储集性能明显好于灰岩,除中寒武统阿瓦塔格组外,所有白云岩储层均为Ⅰ类储层;而在灰岩储层中,储集性最好的也仅为Ⅰ—Ⅱ类,大部分为Ⅱ—Ⅲ类,较白云岩储层低1~2个评价级别。

从储集类型来看,裂缝—孔洞型储集体储集性能最优,全部为Ⅰ类储层;其次为孔洞—裂缝型储集体,以Ⅱ类储层为主;最差的为裂缝型储集体,全部为Ⅲ类储层。表明孔隙和溶蚀孔洞仍然是重要的储集空间类型。

从古岩溶及裂隙发育程度来看,不论是白云岩还是灰岩储层,只要古岩溶和裂隙发育程度较高,其储集性一般较好,反之亦然。表明在碳酸盐岩储层中,古岩溶和裂缝对储集性能的控制是十分重要的。

从区域分布来看,古隆起的高部位上分布的储层多为Ⅰ类储层,其斜坡上则以Ⅱ—Ⅲ类储层为主。由此推断,中央隆起区中应以Ⅰ—Ⅱ类储层为主;麦盖提斜坡大概以Ⅱ类为主;坳陷区可能主要是Ⅲ类储层和相当部分非储层的分布区。

6 海相碳酸盐岩油气成藏存在的主要问题

1)有效烃源岩下限及资料不清;灰岩、白云岩有效烃源岩,有机质丰度下限的确定(0.5%,

0.2%~0.3%);二次和多次生烃量的计算;现今的烃源、古油藏、沥青、水溶气等,以及如何计算多旋回叠加的资源量问题。

2)储集岩(体)识别和预测不清;缝洞型储集体非均质性极强、多期岩溶作用、改造充填等,特别深埋后现有技术条件很难识别和预测。

3)成藏机理不清;多期构造运动的改造,经历了成藏—改造—再成藏的复杂过程,油气藏多期充注、多源混杂,成藏和保存的机理不清。

4)油气分布规律不清:由于多期生烃、多期成藏和改造,造成了油气分布的复杂性。因此,古生代碳酸盐岩油气分布规律很难搞清楚。

5)塔里木盆地古生代油气资源十分丰富,油气资源量为 160×10^8 t左右,但目前仅探明 11×10^8 t左右,其中转化率为7%,表明勘探潜力巨大。笔者相信,随着油气勘探的不断深入,大突破、大发展、大接替的战略目标一定会实现。

参考文献:

- 1 康玉柱. 塔里木盆地古生代海相油气田[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992
- 2 康玉柱. 中国塔里木盆地塔河大油田[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2004
- 3 康志江,李红龙. 塔河缝洞型碳酸盐岩油藏渗流特征[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):630~634
- 4 张希明,朱建国. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏特征及缝洞单元划分[J]. 海相油气地质,2007,12(1):12~21
- 5 叶德胜. 塔里木盆地北部寒武—奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景[M]. 成都:四川大学出版社,2000
- 6 康玉柱,蔡希源. 中国古生代海相油气田形成条件与分布[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2002
- 7 康玉柱. 中国古生代油气前景展望[J]. 地质力学学报,2006,12(1):1~6
- 8 康玉柱. 塔里木盆地寒武—奥陶系油气勘探重大进展及建议[J]. 中国西部油气地质,2006,3(3):217~240
- 9 赵宗举,范国章,吴兴宁等. 中国海相碳酸盐岩的储层类型、勘探领域及勘探战略[J]. 海相油气地质,2007,12(1):1~11
- 10 王允城. 油气储层评价[M]. 北京:石油工业出版社,1999