

歧口凹陷沙一下亚段白云岩储集空间特征研究

张江江¹, 黄鹏², 冯学谦³, 羊东明¹, 张志宏¹

1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司工程技术研究院, 乌鲁木齐 830011

2. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东青岛 266555

3. 中国石油塔里木油田分公司油气工程研究院, 新疆库尔勒 841000

摘要 歧口凹陷沙一下亚段白云岩分布广泛, 白云岩可以发育物性良好的储层。根据钻井岩心、地球化学特征、扫描电镜、电子探针及物性资料, 确定了该套地层白云岩储层的主要岩石类型及储集空间类型: 岩石类型可分为微晶白云岩、泥晶白云岩、砂质白云岩、灰质白云岩和云质灰岩; 储集空间有晶间孔、粒间孔、溶蚀孔、构造缝、溶蚀缝等, 主要以次生孔隙和裂缝为主。微晶白云岩储集物性较好, 主要为晶间孔、粒间孔及裂缝, 为较好的储层。分析了目的层白云岩储层的主要成岩作用及期次, 主要有胶结作用、压实、压溶作用、白云岩化作用、溶蚀作用等。明确了改善及破坏白云岩储集性能的成岩作用类型, 其中对储集性产生积极影响的有溶蚀作用、白云岩化作用, 消极影响的有压实、压溶作用、胶结作用。建立了歧口凹陷沙一下亚段白云岩化作用影响储层物性模式, 稀土元素 Eu 异常特征揭示了本区白云岩化作用的两种成因环境: 准同生期的回流渗透白云岩化作用和成岩期的埋藏白云岩化作用, 通常准同生期的回流渗透白云岩经过深部热液流体的改造, 发生埋藏白云岩化作用, 多见于裂缝发育区, 后者较前者对白云岩储层的改善作用更为明显。

关键词 白云岩; 储集层空间; 白云岩化作用; 成岩作用; 歧口凹陷

中图分类号 P618.13

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.17.004

Analysis of Reservoir Space Characteristics of Dolomite Reservoirs in Sha 1 Lower Sub-interval in Qikou Depression

ZHANG Jiangjiang¹, HUANG Peng², FENG Xueqian³, YANG Dongming¹, ZHANG Zhihong¹

1. Engineering Research Institute, Northwest Oilfield Company, China Petroleum & Chemical Corporation, Urumqi 830011, China

2. Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong Province, China

3. Engineering Research Institute, Tarim Oilfield, PetroChina, Korla 841000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract The depression of sand about Qikou is widely distributed in the sub-section of dolomite, which can develop good reservoir properties. With core drilling, geochemistry, scanning electron microscopy, electron probe data and physical properties, the major rock and pore types of dolomite strata are determined. They can be divided into microcrystalline dolomite, clay dolomite, sandy dolomite, gray dolomite and dolomitic limestone; reservoir intergranular pore space, intergranular pores, solution holes, construction joints, corrosion and other joints, mainly in the secondary pores and cracks. Dolomitic has good reservoir properties, mainly with intergranular pore, intergranular pores and cracks in the reservoir. The dolomite diagenesis and the stages of reservoirs in the main target zone are analyzed, including the main cementation, compaction, pressure solution, dolomitization, dissolution and so on, to make clear which reservoir types improve or damage the performance of dolomite, in which the dissolution has a positive impact on dolomitization, and the compaction, pressure solution, cementation have negative effects. Sha Qikou depression is established as a sub-section of dolomitization of reservoir property model, and the rare earth elements Eu are found in anomaly zone dolomitization, which reveals two causes of the environment: the return of penecontemporaneous penetration of dolomitization and burial diagenetic dolomitization, usually on the back

收稿日期: 2011-03-03; 修回日期: 2011-05-16

作者简介: 张江江, 助理工程师, 研究方向为油气田工程技术, 电子邮箱: jiangjiang224@126.com

penecontemporaneous dolomite infiltration of hydrothermal fluid through the transformation of deep burial dolomitization occurs, as is more common in the fracture zone, with more obvious improvement of dolomite.

Keywords dolomite; reservoir space; dolomitization; diagenesis; Qikou depression

0 引言

歧口凹陷位于黄骅坳陷中部,东南至黄骅-羊二庄断裂带,西北至沈青庄断裂带,凹陷总体走向北东向,总面积约为3800km²。研究区位于歧口凹陷内部,新近钻探的埕42井、埕52井、埕54X1井、滨10X1井、滨22井等在沙一下亚段钻遇白云岩,油气显示活跃,其中埕42井在该井段获得工业油气流,揭示出该区白云岩具有良好的勘探前景^[1]。针对沙一下亚段的白云岩储层,众多学者综合运用大地构造分析、沉积学及层序地层学等方法理论,采用地震、测井及电镜观察等技术手段,对研究区构造背景及演化、沉积条件、成岩及孔隙演化开展大量深入细致的工作,已经认识到白云岩具有连片分布的特点,而有效白云岩储层的横向分布规律及连续性的好坏直接影响油藏的发育特征和规模大小。但是针对歧口凹陷沙一下亚段白云岩储层特征、储集空间物性及与成岩作用之间关系还缺乏系统的认识,尤其在白云岩储层成因方面还未进行深入的研究。因此,本文尝试通过研究该区白云岩储层的岩石种类,分析沉积^[2]-成岩作用及对储层的影响,明确了储集空间的发育特征及建立有利储层的成因模式,可为该区沙一段寻找有利储集体提供依据,并作为今后油气勘探可供

参考的地质理论基础。

1 沙一下亚段白云岩岩石学特征

(1) 泥晶白云岩。晶体粒度范围介于隐晶质和微晶之间,约含10%泥质,白云质含量约为65%,有序度低(0.4—0.5)。与泥岩呈纹层状互层,泥晶白云石纹层厚0.03—0.5mm不等,少数达1mm;泥岩纹层厚度不定(0.01—0.8mm)(图1(a))。在阴极射线下泥晶白云石发棕黄色光为主;泥岩纹层发光较暗以黑褐色为主。

(2) 微晶白云岩。这是本区主要发育的白云岩类型,约占白云岩总厚度的25%,单层厚0.1—0.7m。岩心观察为麻粒状结构,见油浸、被溶蚀沟槽及裂缝。偏光镜下晶粒大小约12—100μm,白云石在70%—90%之间,有序度较低(0.6—0.9)。晶粒结晶程度较好,以自形为主,呈分散状或紧密堆积状(图1(b)、1(c))。

(3) 颗粒云岩。呈灰色、灰白色,以薄—中层状为主,颗粒多为生物碎屑、鲕粒。在阴极射线下生屑云岩白云石呈隐晶结构、发褐色光为主,部分螺及介形虫体腔充填白云石发桔黄色光,介屑发棕黄色光(图1(d))。

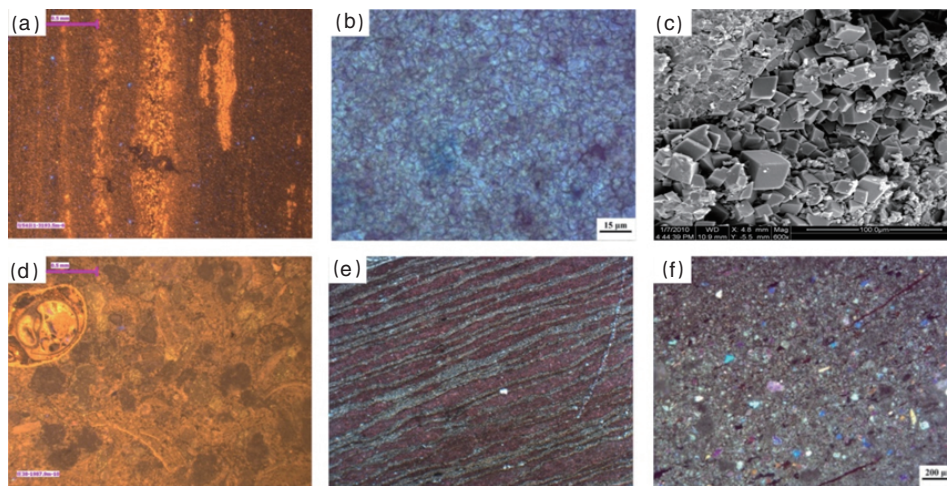


图1 歧口凹陷沙一下亚段典型白云岩类型

Fig. 1 The typical types of sub-segments in Qikou Sag dolomite sand

注: a, 滨22井, 2599.4m, 泥晶云岩在阴极射线下泥晶白云石发棕黄色光为主; b—c, 扣42井, 2293.1m, 微晶云岩偏光镜下晶粒结晶程度较好, 以自形为主, 呈分散状或紧密堆积状; d, 旺38井, 1987.3m, 颗粒云岩在阴极射线下生屑云岩白云石呈隐晶结构、发褐色光为主; e, 房29井, 2585.9m, 灰质云岩层偶组合中常见少量细粉砂“悬浮”在纹层中; f, 埕54X1井, 3168.9m, 砂质云岩分选、磨圆差, 以棱角状—次棱角状为主。

Notes: a, wells bin22, 2599.4m, micritic dolomite in the cathode ray brown hair under the shade of micritic dolomite mainly; b and c, well Kou42, 2293.1m, microcrystalline dolomite crystal polarizing microscope, a better degree of crystallinity to self-shape-based, distributed, or in close packing was like; d, well Wang38, 1987.3m, granular dolomite debris in the cathode ray swells were cryptocrystalline dolomite dolomite structure, mainly of light brown hair; e, well Fang29, 2585.9m, gray clouds in the common combination of rock even a small amount of fine silt "floating" in the pattern layer; f, well Cheng54X1, 3168.9m, sandy dolomite sorting, rounding differences to angular-subangular are dominated.

(4) 泥质、灰质云岩和云质灰岩。呈灰色、浅灰色,常与泥质岩呈薄互层。镜下可见泥质、灰质和云质的层偶组合,层厚 0.1—0.3mm,灰质与云质均为泥晶结构。层偶组合中常见少量细粉砂“悬浮”在纹层中(图 1(e)),不具成层性,推论为风成砂。

(5) 砂质云岩。本区较常见的岩石类型,主要颗粒成分为粉砂—细砂级石英和少量的长石颗粒,粒径 0.01—0.2mm,分选、磨圆差,以棱角状—次棱角状为主(图 1(f))。

2 沙一下亚段白云岩储集层基本特征

2.1 储集空间类型

本区白云岩储层中储集空间类型主要有孔隙和裂缝,孔隙主要为次生孔隙,裂缝多为一些构造缝和溶蚀缝。

(1) 晶间孔主要分布在泥—微晶白云岩中,孔隙大小与白云石晶体大小密切相关,晶体越大,晶间孔隙越大,反之亦然,其形态多呈三角形或者多边形。

(2) 晶间溶孔是在白云石晶间孔隙的基础上经地下水或地表大气水溶解而形成的,形态不规则、溶蚀残余明显、连通性较好(图 2(a))。

(3) 粒间溶孔经溶蚀颗粒间的云泥基质或胶结物而形成,其溶蚀范围可涉及部分周围颗粒。孔隙形态多不规则,孔

径变化较大,为几十微米到几毫米。

(4) 粒内溶孔为各种颗粒内部发生溶解形成的孔隙,多是选择性溶解作用的结果^[3],常见于颗粒(鲕粒、生屑)云岩,直径较小,一般 0.05mm,最大可达 1mm。

(5) 原生孔隙主要是原生超微化石(颗石藻)微粒间孔(图 2(b)),主要存在于泥质、灰质云岩当中,孔隙大小为 0.001—0.005mm 不等,连通性不好。

(6) 构造缝的边缘平直,延伸较远处为成组出现,具有方向性,分为宏观缝和微观缝(图 2(c)),岩心上的宏观缝明显,一般在 1mm 左右,显微镜下微观缝可见,通常小于 0.3mm。

(7) 成岩缝又可分为晶间缝、层间缝和缝合线。晶间缝为白云石晶体之间的裂隙,白云石化的过程中白云岩沉积的容积速率小于方解石溶解的容积速率,而白云石化后晶体间相互形成支撑格架,原来的结构被破坏,形成一些晶间裂隙^[4](图 2(d))。层间缝即层面间的裂隙,伴随后期的化学压实作用,形成成组出现的顺层裂隙。缝合线也叫压溶缝,主要为成岩过程中经压实压溶作用形成^[5](图 2(e))。

(8) 扩溶孔缝在构造缝的基础上溶蚀扩大形成,被溶蚀部分包括早期裂缝中充填的碳酸盐矿物和基质,裂缝中的充填物被溶蚀,呈现串珠状(图 2(f))。

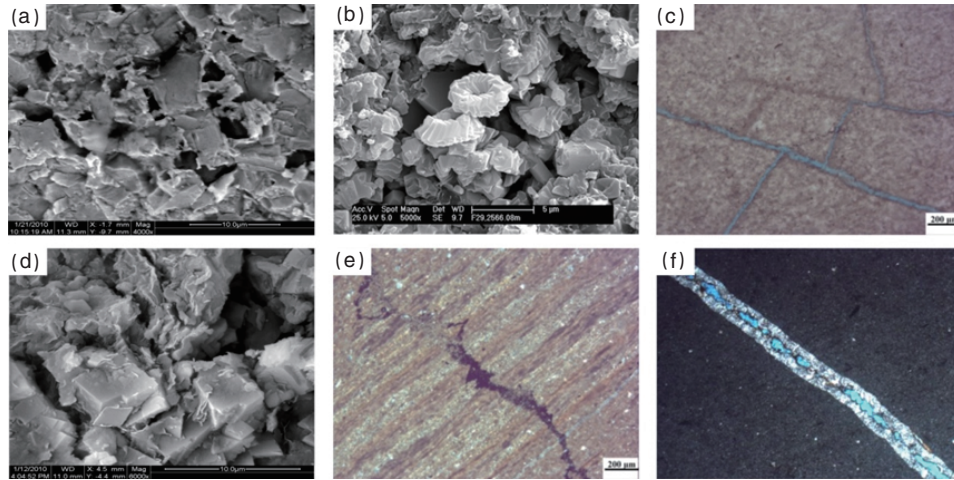


图 2 歧口凹陷沙一下亚段白云岩储层典型储集空间类型

Fig. 2 Typical sub-sections of types of reservoir space in Qikou Sag dolomite reservoir of sand

注:a,房 10 井,2774.5m,溶蚀晶间孔;b,房 29 井,2573.8m,超微化石微粒间孔;c,滨 22 井,2584.6m,构造裂缝;d,歧 106 井,2267.4m,晶间缝;e,埕 54X1 井,3172.6m,垂直层理缝合线;f,旺 38 井,1976.6m,扩溶孔缝。

Notes: a, well Fang10, 2774.5m, intergranular corrosion hole; b, well Fang29, 2573.8m, inter-particle pore nanofossil; c, well Bin22, 2584.6m, tectonic fractures; d, well Qi106, 2267.4m, intergranular joint; e, well Cheng54X1, 3172.6m, vertical suture line bedding; f, well Wang38, 1976.6m, dissolved pore expansion joints.

2.2 储层类型及特征

根据本区白云质储集岩发育特征,将该区白云岩储层分为两类。

(1) 泥—微晶白云岩储层,分布广泛,多集中于局限洼地、灰云坪相带中。其储集空间主要为晶间孔、晶间溶孔、溶蚀缝、构造缝。物性分析表明平均孔隙度为 9.25%,最大 15.6%,

平均渗透率为 $31.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 1)。此类白云岩储层因裂缝较发育,渗透率较高,是研究区发育最好的白云岩类储层。

(2) 泥质、灰质云岩见于云质湖湾等相带中。储集空间多为颗石藻粒间微孔、缝。孔隙度均值为 9.63%,渗透率均值为 $0.92 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 1)。扫描电镜观察显示胶结成分较多,并且裂缝发育少,使得其渗透率大为降低。

鲕粒和砂屑等颗粒的选择性溶解作用,形成粒内溶孔、铸模孔等。剩余溶蚀孔隙多被后期方解石等充填(图 3(a))。

埋藏期溶蚀作用表现为:有机质演化过程中产生的有机酸、 H_2S 、 CO_2 等酸性溶液在早期浅滩相带发育位置及岩层中的微裂缝运移时,溶蚀晶间孔、粒间孔和构造微缝。溶蚀的晶间孔和溶蚀缝对储集性能的提高起较大作用,在局部岩层溶蚀扩大缝远大于原始晶间孔隙的贡献。随着埋深加大,压力

和温度的升高,白云岩的溶解能力将大幅上升^[7]。

3.4 白云岩化作用

通过岩石学特征、X 射线衍射、碳氧同位素和阴极发光分析,按照不同沉积^[9]相带的白云岩成因^[9-10]机制,白云岩化作用对储集层产生相应的影响模式^[11],研究区白云岩化作用分为回流渗透白云岩化作用和埋藏白云岩化作用(图 3(d)、3(e)),对研究区目的层段影响最大,控制着储层孔隙演化过程。

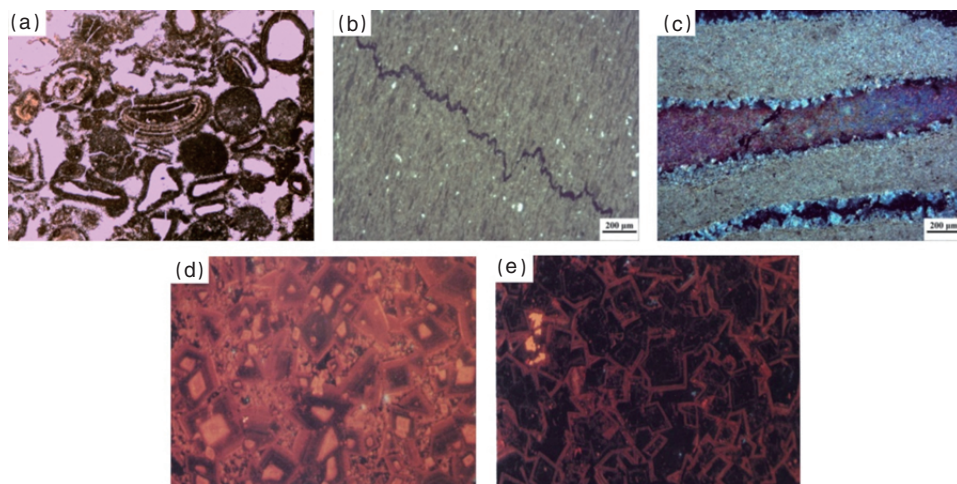


图 3 歧口凹陷沙一下亚段白云岩储层典型成岩作用

Fig. 3 Typical diagenetic dolomite reservoir in Qikou depression sub-segments of sand

注:a,歧 103 井,2554.9m,鲕粒被溶蚀、压裂,粒间为方解石充填,孔隙连通性差;b,埕 54X1 井,3201.2m,压溶作用形成缝合线内充填沥青质;c,滨 22 井,2586.4m,明亮、清洁的粒状铁方解石、铁白云石胶结物充填孔隙;d,准同生白云岩阴极射线下发暗砖红色,有序度、结晶程度差,孔隙多为方解石充填;e,埋藏白云岩阴极射线下发暗褐色光,有序度高,呈自型-半自型的粗晶、中晶,孔隙空间保存较好。

Notes: a, well Qi103, 2554.9m, oolitic is corrosion, fracture, intergranular calcite filling, pore connectivity is poor; b, well Cheng54X1, 3201.2m, the formation of pressure solution seams are filled asphalt; c, well Bin22, 2586.4m, bright, clean, granular iron calcite, ankerite cement filling the pore; d, cathode ray penecontemporaneous dolomite brick-red under the dark, ordering and the crystallinity is poor, mostly calcite pore filling; e, burial dark brown dolomite issued cathode ray light, high order, is self-type-half from the type of coarse grain, the grain, better preservation of pore space.

(1) 回流渗透白云岩化作用主要发生在同生-准同生期的湖湾、洼地等局限低洼处,形成一些泥质、泥晶白云岩。湖湾处内水循环差,在蒸发作用下,封闭-半封闭的环境导致盐度上升,当 Ca^{2+} 浓度达饱和时,以文石、高镁方解石等形式沉积。钙的消耗使 Mg/Ca 比提高,形成富镁重盐水,盐水中 Mg^{2+} (用于补给淡水、富镁重盐水)的分异集中可以控制白云石化矿物的饱和状态。重盐水下沉,密度变大形成驱动流,盐水沿湖底向洼地地方向汇流(图 4),形成向洼地倾斜的密度层(上部为补给淡水,下部为回流的重盐水)。回流重盐水下穿过湖底表面,透入灰质沉积层导致白云石化发生^[12]。

本区准同生白云岩多系交代灰泥沉积物所成,岩石具泥晶结构,含陆源砂泥,多具石膏、石盐及钙芒硝等伴生矿物。碳氧同位素, $\delta^{13}C$ 变化于 -2.8‰ — 6.9‰ 之间, $\delta^{13}C$ 均值为 2.3‰ , $\delta^{18}O$ 则多在 -0.32‰ — -6.64‰ 之间, $\delta^{18}O$ 均值为 -1.7‰ , Sr 、 Na 、 Fe 微量元素偏高。准同生白云岩在阴极射线下发光性弱,多呈暗砖红色,此类白云岩有序度 0.22 — 0.59 ,均值 0.45 ,有序度低,白云石结晶程度差。X 衍射分析显示白云石含量在

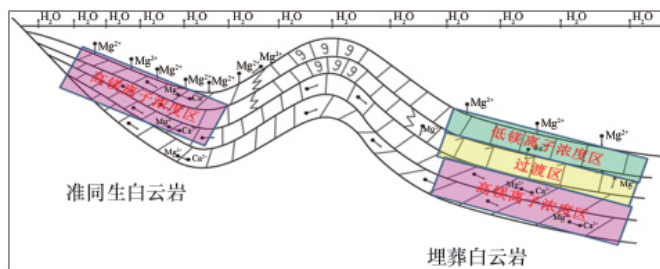


图 4 歧口凹陷沙一下亚段白云岩化作用

影响储层物性模式

Fig. 4 Dolomitization model map of reservoir property in Qikou depression sub-section of sand

50%—60%之间,研究认为,当白云质含量在 55%左右时,由于碳酸盐岩地层中较多的方解石含量,导致这时的地层易于压实、压溶,占据孔隙空间,对孔隙为一种破坏作用^[13]。

(2) 埋藏白云岩化作用的驱动力来自于深部沉积泥岩压实作用和富 Mg^{2+} (来自黏土矿物、地层孔隙水以及高镁方解石颗粒)流体对台缘灰岩侵入作用。热液流体循环流动(特别

是通过裂缝、断层和节理),形成白云石脉。

该作用形成白云岩多分布在微晶云岩裂缝和缝合线附近,成层白云岩少见,多呈现斑状、条带状或不规则状,沿晚期大裂缝、溶蚀孔缝分布,或以胶结物的方式产出。白云石多呈自型-半自型的粗晶、中晶,充填于这些孔缝当中,阴极射线下发暗褐色光, $\delta^{13}\text{C}$ 变化幅度大,而 $\delta^{18}\text{O}$ 多为高负值,有序度较高 0.65—0.92,均值为 0.78。X 衍射分析显示白云石含量在 75%—95%,均值为 83.6%。白云石相对方解石抗压强度与化学稳定性更好,加之白云石对地层压实的敏感度不强,成岩早期孔隙能较好保存下来。随着白云石化程度的进一步增强,白云石菱面体格架的建立,这种骨架的支撑致使孔隙度进一步增大^[13],改善储集物性。

此外, δEu 异常和 δCe 异常可用来反映成因环境^[4]。在低温碱性环境中, Eu^{3+} 被还原为易溶的 Eu^{2+} 被迁移而贫化, $\delta\text{Eu}<1$ 。在高温环境中易被氧化为难溶的 Eu^{4+} 发生富集而出现 $\delta\text{Eu}>1$ 。歧口凹陷沙一下亚段白云岩稀土元素 Eu 异常特征^[14]可以识别白云岩化作用的两种成因环境:当 $\delta\text{Eu}<1$ 时,显示白云岩埋深较浅,为准同生期的低温碱性环境,发生回流渗透白云岩化作用, Eu^{3+} 被还原为易溶的 Eu^{2+} 发生迁移;当 $\delta\text{Eu}>1$ 时,显示白云岩埋深较大,为成岩期高温氧化环境,发生埋藏白云岩化作用 Eu^{3+} 被氧化为难溶的 Eu^{4+} 发生富集(图 5)。

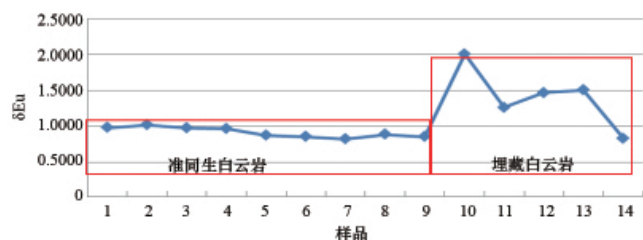


图 5 歧口凹陷沙一下亚段不同成因白云岩
稀土元素 Eu 异常特征

Fig. 5 Sub-segments of rare earth element Eu anomaly
dolomite in Qikou depression of sand

4 结论

通过运用扫描电镜、电子探针及阴极射线等技术手段,结合储层物性参数及地球化学同位素异常特征分析,在上述针对歧口凹陷沙一下亚段白云岩储层岩石类型、储集空间及性能、成岩作用及成岩期演化等综合研究的基础上,主要得出以下结论。

(1) 歧口凹陷沙一下亚段岩石类型为泥-微晶云岩、颗粒云岩、泥质灰质云岩等,其中泥-微晶云岩为分布最广的白云岩储层。

(2) 储集空间主要为晶间孔、粒间孔、溶蚀孔、构造缝等。储层类型划分为两类:以微晶白云岩为主,主要为晶间孔、粒间孔、裂缝等;以灰质云岩和泥质云岩为主,主要为原生微粒间孔,孔隙较发育,渗透率低,裂缝欠发育。

(3) 白云岩储层经历多种成岩作用改造,溶蚀作用、白云岩化作用改善储集性能,为油气聚集创造有利条件;压实、压

溶作用、胶结作用破坏储集物性。溶蚀作用发生于早成岩期和埋藏期,后者产生大量溶蚀孔隙,提供有效储集空间。胶结作用分数期,破坏了原生孔隙和部分次生溶蚀孔缝。白云岩化作用为准同生期的回流渗透白云岩化作用和成岩期的埋藏白云岩化作用,后者多在前者基础上经深部热液流体改造下发生,常见于一些裂缝区。后者对储层改善作用更为明显。

参考文献 (References)

- [1] 大港油田石油地质志编辑委员会. 大港油田石油地质志 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
Petrolium Geology of Dagang Oilfield, the Editorial Board. Petroleum geology of Dagang oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991.
- [2] 赵澄林. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
Zhao Chenglin. Sedimentary petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [3] 曾德铭, 赵敏, 石新, 等. 黄骅坳陷古近系沙一段下部碳酸盐岩成岩作用[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 110-116.
Zeng Deming, Zhao Min, Shi Xin, et al. Geology in China, 2010, 37 (1): 110-116.
- [4] 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 1998.
Qiang Zitong. Carbonate reservoir geology [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 1998.
- [5] 马永生. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
Ma Yongsheng. Carbonate reservoir sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991.
- [6] 王英华, 周书欣, 张秀莲. 中国湖湘碳酸盐岩[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
Wang Yinghua, Zhou Shuxin, Zhang Xiulian. China Hunan carbonate[M]. Xuzhou: China University of Mining Press, 1998.
- [7] Morrow D W. 白云石化作用和白云石沉淀的化学问题 [J]. 国外地质, 1984, 13(2): 12-19.
Morrow D W. Foreign Geology, 1984, 13(2): 12-19.
- [8] 贾振远, 李之琪. 碳酸盐岩沉积相和沉积环境 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.
Jia Zhenyuan, Li Zhiqi. Carbonate sedimentary facies and depositional environment[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1989.
- [9] 张传禄, 张永生, 康祺发, 等. 鄂尔多斯南部奥陶系马家沟群马六组白云岩成因[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 22-27.
Zhang Chuanlu, Zhang Yongsheng, Kang Qifa, et al. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(3): 22-27.
- [10] 张学丰, 胡文瑄, 张军涛, 等. 白云岩成因相关问题及其主要形成模式[J]. 地质科技情报, 2006, 25(5): 33-38.
Zhang Xuefeng, Hu Wenxuan, Zhang Juntao, et al. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(5): 33-38.
- [11] Auajjar J, Boulègue J. Dolomitization patterns of the Liassic platform of the Tazekka Pb-Zn district, Taza, eastern Morocco: Petrographic and geochemical study [J]. Journal of South American Earth Sciences, 2003, 16(3): 167-178.
- [12] 梅洪明, 王品先. 湖泊原生碳酸盐化学沉积模型及其应用[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 1997, 25(5): 565-570.
Mei Hongming, Wang Pinxian. Journal of Tongji University: Natural Science, 1997, 25(5): 565-570.
- [13] 张学丰, 刘波, 蔡忠贤, 等. 白云岩化作用与碳酸盐岩储层物性[J]. 地质科技情报, 2010, 29(3): 79-87.
Zhang Xuefeng, Liu Bo, Cai Zhongxian, et al. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(3): 79-87.
- [14] 陈骏, 仇钢, 杨杰东. 黄土碳酸盐 Sr 同位素组成与原生和次生碳酸盐识别[J]. 自然科学进展, 1997, 7(6): 731-734.
Chen Jun, Qiu Gang, Yang Jiedong. Progress in Natural Science, 1997, 7(6): 731-734.

(责任编辑 代丽)