

引用格式:陈波,张顺存,孙国强,等.准噶尔盆地车拐斜坡区储层碳酸盐胶结物碳氧同位素特征及其成因[J].油气藏评价与开发,2020,10(4):101-106.

CHEN B, ZHANG S C, SUN G Q, et al. Characteristics and formation mechanism of Carbonate cementation in Che-Guai slope area, Junggar Basin[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(4): 101-106.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.04.016

准噶尔盆地车拐斜坡区储层碳酸盐胶结物碳氧同位素特征及其成因

陈波^{1,2},张顺存²,孙国强²,史基安²,吴涛³

(1.广西高校北部湾石油天然气资源有效利用重点实验室(北部湾大学),广西钦州 535000;

2.甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室,甘肃兰州 730000;

3.中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆克拉玛依 834000)

摘要: 阐明碳酸盐胶结物的形成机制及对储层物性的影响具有重要意义,综合通过岩矿学、地球化学方法,分析了准噶尔盆地车拐斜坡区储层碳酸盐胶结物的赋存特征及形成机制,结果表明: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-29.6\text{‰} \sim 6.7\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值为 $-19.2\text{‰} \sim -12.5\text{‰}$,跨度较大,说明碳酸盐胶结物形成的物质来源及水岩相互作用的复杂性。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值分别较典型的海相或湖相的碳酸盐呈正偏移和负偏移, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 正偏移主要受到混合热液流体碳同位素分馏和少量沉积碳酸盐溶解的共同作用, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值负偏移则可能是大气降水、深部热液等多种流体混合作用和成岩温度升高的影响造成的。车拐斜坡区碳酸盐胶结物的物质来源与有机酸脱羧产生的 CO_2 、黏土矿物压实排水作用、长石碎屑溶蚀及黏土矿物相互转换释放大量的 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 等离子有关,镜下观察发现研究区碳酸盐胶结物交代碎屑颗粒且伴随出现沥青质现象,以粉晶—粗晶形式赋存于排列紧密的碎屑颗粒之间,为成岩晚期产物,对储层物性起破坏作用。

关键词: 车拐斜坡区;碳酸盐胶结物;碳氧同位素;物质来源;储层物性

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Characteristics and formation mechanism of Carbonate cementation in Che-Guai slope area, Junggar Basin

CHEN Bo^{1,2}, ZHANG Shuncun², SUN Guoqiang², SHI Ji'an², WU Tao³

(1. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Beibu Gulf Oil and Natural Gas Resource Effective Utilization, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, Gansu, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: It is of great significance to clarify the formation mechanism of carbonate cementation and its influence on reservoir physical properties. By means of petrology and geochemistry, the occurrence characteristics and formation mechanism of carbonate cements in Cegai slope of Junggar Basin are analyzed. The results show that the distribution range of $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ value is $-29.6\text{‰} \sim 6.7\text{‰}$, that of $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ value is $-12.5\text{‰} \sim 19.2\text{‰}$, and it has a large span. All those indicate the material source of carbonate cementation and the complexity of water-rock interaction. $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ value has a positive offset with the typical marine or lacustrine phase of carbonate, while $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ value has the negative offset. The positive offset of $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ value is mainly affected by the carbon isotope fractionation of mixed hydrothermal fluid and the dissolution of a small amount of sedimentary carbonate. The negative deviation of $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ value may be caused by the mixing of various fluids—such as precipitation and deep hydrothermal—and the rise of diagenetic temperature. The material source of carbonate cements in Che-Guai slope is related to the CO_2 produced by the decarboxylation of organic acids, compaction and drainage of clay minerals, the dissolution of feldspar debris and the release of a large amount of plasma like Ca^{2+} , Fe^{3+} and Mg^{2+} by conversion among clay minerals. Under the microscope, it is found that the carbonate cements are metasomatic to detrital particles and accompanied by asphaltene appearance, and appear in the form of crystal powder to macrocrystalline grain among the closely arranged clastic particles, as a product of late diagenetic stage, which destroy the physical properties of reservoirs.

key words: Che-Guai slope area, carbonate cement, carbon and oxygen isotope, material source, reservoir physical properties

收稿日期:2019-02-26。

第一作者简介:陈波(1985—),男,博士,讲师,从事地球化学研究。通讯地址:广西钦州市滨海大道12号北部湾大学城,邮政编码:535000。E-mail:cbo-11@163.com

基金项目:广西自然科学基金联合资助培育项目“多因素耦合作用下砂泥岩互层间蒙脱石伊利石化形成机理及主控因素研究”(2019GXNSFAA245016)。

胶结作用是成岩过程中常见的现象,可发生在成岩作用的各个阶段,也是致使储层物性变化的重要因素^[1-2]。碳酸盐胶结物是储层中最常见且直接影响着储层物性的胶结物类型之一^[3-4],为水-岩相互作用的综合产物,对地质流体性质的变化反应异常敏感,是酸碱性地质环境良好的判定指示剂^[5],具有分布范围广、物质来源复杂、形成期次多等特点。碳酸盐胶结物形成机制一直是碎屑岩储层研究的热点和难点^[6-7],并且碳酸盐胶结物的类型及含量对储层物性具有重要影响,从而普遍受到石油地质学者所关注^[8-9]。

准噶尔盆地西北缘是新疆油田重要的油气产区,处于玛湖凹陷与沙湾凹陷之间的车拐斜坡区,在三叠系-侏罗系已见油气显示,但一直未能有大的突破,以规模较小的岩性油气藏发现为主^[10]。近年来,随着油气勘探技术的进步,车拐斜坡区发现了一系列构造圈闭及冲积扇体,陆续发现了车排子油田、小拐油田,探明石油地质储量也大幅增加,使该区成为盆地重要的油气增储区域,而车拐斜坡区储层地质方面的研究成果尚显匮乏^[11-14],在一定程度上制约了油气勘探进程。基于此,综合利用岩石矿物学和地球化学手段,对车拐斜坡区三叠系-侏罗系储层的碳酸盐胶结物的特征、成因机制及其对储层物性的影响进行了细致探讨,以期对研究区后续的油气勘探补充一定的地质认识。

1 区域地质概况

车拐斜坡区位于准噶尔盆地西北缘,横跨准盆地西部隆起及中央拗陷,包括红车断裂带、车排子凸起、中拐凸起和中央拗陷部分^[10]。准噶尔盆地西北缘在石炭期末大洋闭合,发生强烈弧陆碰撞,推覆体逐渐形成,前陆盆地开始发育。早二叠世火山活动强烈发育,二叠纪自北西向南东的强烈挤压,产生了北东走向的逆冲断层和北西走向的断展褶皱,发育了红车断裂带。三叠纪-二叠纪构造运动和隆起速度逐渐减弱,车拐一带主要发育以冲积扇-扇三角洲为主要的沉积环境,为一个典型的水进沉积过程^[11]。到早侏罗世早期,研究区受红-车断裂的多条断层强烈活动影响,构造运动强烈、湖盆萎缩,以发育辫状河沉积为主,早侏罗世中期至晚期,构造运动变弱,随着湖侵的发育,辫状河沉积迅速被扇三角洲沉积所取代^[15]。

车拐斜坡区三叠系-侏罗系以碎屑岩沉积发育

为主,主要有砂砾岩、砂岩、粉砂岩和少量泥岩,三叠系从下到上依次发育百口泉组(T_{1b})、克拉玛依组(T_{2k})、白碱滩组(T_{3b}),侏罗系从下而上依次发育八道湾组(J_{1b})、三工河组(J_{1s})、西山窑组(J_{2x})、头屯河组(J_{2t})、齐古组(J_{3q}),本次研究主要以下侏罗统的八道湾组(J_{1b})、三工河组(J_{1s})为主,同时结合少量三叠系百口泉组(T_{1b})、克拉玛依组(T_{2k})的数据辅以分析。

2 样品与分析方法

通过9口探井33块样品的岩矿学分析,首先对样品的矿物组成成分、组构特征进行初步判断,其次对选取的样品磨制铸体薄片,使用铁氰化钾和茜素红混合溶液对铸体薄片染色,在镜下通常方解石呈橘红色,含铁方解石呈紫红色,而铁白云石呈蓝色^[16]。在利用岩矿学初步分析碳酸盐胶结物含量、成分的基础上,本次优选出了19个具有代表性的样品进行系统的碳酸盐胶结物碳氧同位素分析。将19块样品研磨后过200目筛,样品处理采用磷酸法,即从钻井岩心中选取包含碳酸盐胶结物的样品,用正磷酸与样品反应6h左右,将产生的CO₂气体收集到玻璃管中,后采用双路进样方式送入德国菲尼根公司生产的稳定同位素质谱计MAT252进行碳氧同位素测定。碳氧同位素组成以 δ 值表示, δ 值表示样品中元素的稳定同位素比值相对标准(标样)相应比值的千分偏差,结果均以PDB标准给出,分析精度为 $\pm 0.2\%$,上述测试均在中科院兰州油气资源研究重点实验室完成,数据结果见表1。

3 结果与讨论

3.1 岩石学特征

根据研究区碎屑岩中的成分特征,显微观察和研究表明,研究区主要发育岩屑砂岩以及少量的长石质岩屑砂岩,杂基和胶结物含量较高,成分成熟度低,说明碎屑颗粒具有近源快速沉积特征。

研究区胶结物类型多样,碳酸盐类胶结物、硅质胶结物、黏土矿物及沸石类胶结物均有发育,碳酸盐胶结物主要以方解石为主,铁方解石、白云石及铁白云石相对少见。研究区碳酸盐胶结物在镜下以橘红色为主(图1),碎屑颗粒多呈紧密排列,石英颗粒可见部分加大边(图1a),方解石交代少量碎屑颗粒(图1b),说明研究区碳酸盐胶结物形成晚于压实作用。

表1 研究区碳氧同位素及计算古温度数据
Table 1 Carbon and oxygen isotopes and calculated paleotemperature data of the study area

井号	层位	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	古温度/ $^{\circ}\text{C}$
G202	J _{1s}	-4.3	-13.5	16.94	94.3
G202	J _{1s}	-2.7	-15.9	14.47	111.8
G202	J _{1s}	-0.8	-14.8	15.60	103.6
G101	J _{1b}	-21.7	-12.5	17.97	87.3
C501	J _{1b}	3.2	-15.3	15.09	107.3
G202	J _{1b}	-11.3	-14.0	16.43	97.8
G202	J _{1b}	-10.9	-13.9	16.53	97.1
G202	J _{1b}	-8.2	-14.9	15.50	104.4
G202	J _{1b}	-9.2	-14.2	16.22	99.3
G201	J _{1b}	6.7	-15.7	14.68	110.3
G202	J _{1b}	-4.9	-18.1	12.20	128.9
G202	J _{1b}	-8.4	-16.9	13.44	119.5
G9	T _{2k}	-29.6	-16.3	14.06	114.9
G10	T _{2k}	-22.2	-18.7	11.58	133.8
G4	T _{2k}	-15.1	-19.2	11.07	137.9
G202	T _{1b}	0.3	-15.5	14.88	108.8

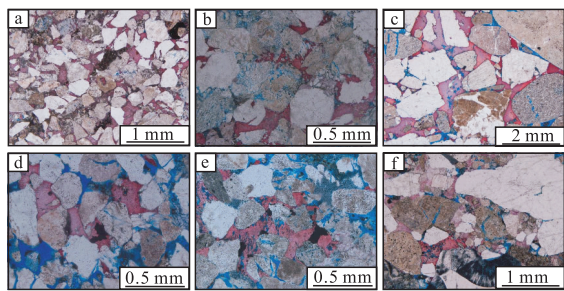
注： $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 按FRIEDMAN^[17]提出的公式计算得出： $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}=1.03086\times\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}+30.86$ 。

同时可见充填于粒间孔隙的方解石被溶蚀从而形成溶蚀粒间孔(图1c、d、e、f),且研究区碳酸盐的晶粒较大,以粉晶—粗晶为主,镜下观察碳酸盐胶结物的结构特征、赋存状态表明其主要形成于成岩中晚期,与鲁新川等^[10]对车拐地区成岩阶段的研究结果相吻合。

3.2 碳、氧同位素特征及成因

3.2.1 碳同位素特征及胶结物形成的物质来源

样品中的碳酸盐胶结物中的碳同位素可以指示成岩流体中碳物质的来源^[5],研究区样品碳酸盐



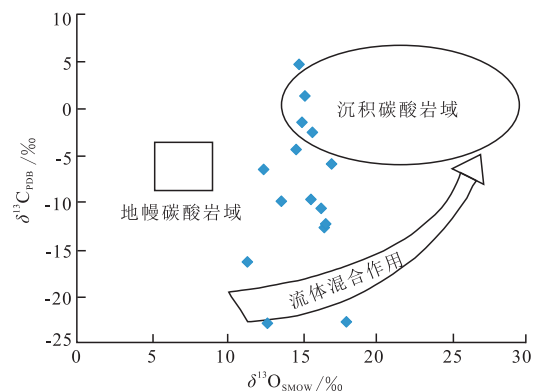
a.G202井,3383.34 m,J_{1b},含泥质粗中砂岩中方解石胶结物较发育,充填粒间孔隙;b.G202井,3382.69 m,J_{1b},中粗砂岩中发育的方解石胶结物;c.G202井,3075.87 m,J_{1s},粗粒砂质砾岩中,方解石胶结物发生溶蚀形成胶结物溶蚀孔;d.G19井,2731.83 m,J_{1s},发育的方解石胶结物发生溶蚀作用形成溶蚀孔,其中充填沥青质;e.G203井,2804.30 m,J_{1s},中砂岩,方解石胶结物发生溶蚀作用形成溶蚀孔;f.G203井,2809.86 m,J_{1s},含砾粗巨砂岩中,方解石发生溶蚀作用形成溶蚀孔,与粒内溶孔一起构成了砂岩的储集空间

图1 研究区碳酸盐胶结物类型赋存特征

Fig. 1 Occurrence characteristic of carbonate cementation in the study area

胶结物的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-29.6\text{‰} \sim 6.7\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值为 $-19.2\text{‰} \sim -12.5\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为 $11.07\text{‰} \sim 19.97\text{‰}$,跨度很大,反映了研究区碳酸盐胶结物形成的物质来源及水岩相互作用的复杂性。大量学者对碳酸盐岩的碳氧同位素研究表明^[18-21],海相碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 主要分布在 $-4\text{‰} \sim 4\text{‰}$,典型湖相碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-2\text{‰} \sim 6\text{‰}$,受大气水影响的碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-5\text{‰} \sim -1\text{‰}$,而与有机质影响相关的碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值可低至 $-30\text{‰} \sim -20\text{‰}$,非海相的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值多为 $-15\text{‰} \sim 5\text{‰}$,而湖相碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值为 $-8\text{‰} \sim -4\text{‰}$ 。结合研究区的碳氧同位素的分布关系特征,可见研究区的碳酸盐胶结物的碳氧同位素数据指示大部分胶结物的形成源于流体混合作用,少量数据指示部分胶结物与沉积碳酸盐的沉淀有关(图2)。由于研究区储层主要发育碎屑岩沉积为主,推测少量的碳酸盐溶解沉淀作用与二叠系碳酸盐烃源岩的发育有关,之前的研究成果表明,车拐地区烃源岩主要来自二叠系的以凝灰质碳酸盐和白云质泥岩为主的风城组、以凝灰岩和砂泥岩为主的佳木河组及以含煤层系的下侏罗统八道湾组^[14],而研究区的断裂十分发育,二叠系的逆断层可能成为二叠系碳酸盐烃源岩的主要运移通道^[12,14],从而使得研究区的碳同位素特征表现出受到部分沉积碳酸盐影响的响应特征。

研究区 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值跨度很大,最低值为 -29.6‰ ,较低的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值可能与有机质成熟脱羧基作用相关,而最大值高达 6.7‰ ,明显较典型的海相或湖相的碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 高,而从图2分析可知,仅小部分碳氧同位素分布于纯沉积碳酸盐影响的区间范围,说明 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值的正偏移受到了其他因素的影响。之前研究认为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值正偏移主要受甲烷菌等细菌的发酵作用、湖



注:地幔数据主要参考HOEFS^[19]和TAYLOR等^[21]的资料;沉积碳酸盐域数据主要参考VEIZER^[23]和KELTS^[24]等的资料;流体混合作用数据主要参考曹剑^[25]和郭佳^[26]等的资料。

图2 碳酸盐胶结物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 与 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 关系

Fig. 2 Relation between carbonate cements $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$

相碳酸盐岩溶解作用、深部热液作用的影响^[21,25-28]。因此,研究区碳酸盐胶结物的成岩物质来源于部分沉积碳酸盐,保留了原始沉积信息使其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值偏重。如果将研究区碳氧同位素实际数据投入到王大锐等^[3]提出的碳酸盐胶结物成因图版上,显示部分高 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值是由于细菌等生物发酵造成的,但根据SHACKLETON等提出的利用氧同位素计算出的胶结物沉淀温度主要分布在80~110℃,此温度值为有机酸保存的最佳温度,但远远超出了微生物活动温度界限70℃^[26],因此,可以排除细菌发酵作用引起的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值正偏移。实际上,研究区 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 高值胶结物样品数据并均靠近红车断裂带附近,在三叠纪末、侏罗纪末发生两期油气充注与古构造形成期匹配,喜山期形成的一系列张性正断裂均断至侏罗系^[11],从早侏罗世(178 Ma)到古近纪一直存在油气充注^[13-14],而断裂带的发育为深部流体及油气运移提供了良好的通道,流体输送会与围岩作用而留下痕迹,研究区样品的碳氧同位素计算的古温度值高达137.9℃,说明可能存在深部热液作用使 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值偏正^[21],因此推断研究区 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值偏高是由于沉积碳酸盐溶解作用和混合热液流体作用共同影响造成的。

3.2.2 氧同位素特征及胶结物沉淀时的古温度

研究区 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值为-19.2‰~-12.5‰,较典型的海相或湖相的碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值偏负。大气水的渗入^[29]、成岩地质流体环境温度的升高^[30]、有机质降解^[31]的影响都会造成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值负偏移,早侏罗世早期研究区受红一车断裂的多条断层强烈活动影响,构造抬升强烈^[11],且位于断裂带附近的井样品的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值明显较其他样品的值低,说明可能存在大气降水通过断裂带潜入地层中造成部分 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值偏负。研究区储层目前已进入成岩晚期阶段^[10],随着成岩作用进入晚期,有机质成熟脱羧排酸生烃使 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值偏轻,地层中温度也逐渐升高,升高的温度会消耗大量的 ^{18}O 也会造成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值偏负^[25]。

碳同位素主要反映碳物质来源,对温度变化反映不敏感,但氧同位素温度异常的敏感,是良好的地质温度计^[15,71],一般 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值随着温度的升高而变低^[8]。利用SHACKLETON等^[32]提出的碳氧同位素数据计算温度的经验公式可大致判断碳酸盐胶结物沉淀时的温度:

$$t=16.9-4.38(\delta\text{c}-\delta\text{w})+0.1(\delta\text{c}-\delta\text{w})^2$$

式中: t 为碳酸盐胶结物的沉淀温度,℃; δc 为盐酸盐胶

结物的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值,‰; δw 为维也纳标准平均海水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值,‰,新生代以前的海水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 没有统一确定值^[33],但一般取现今海水值0,故本文 δw 取0。通过计算 t 值为87.3~137.9℃,平均109.9℃,且主要分布在100~120℃(图3),说明研究区发育的碳酸盐胶结物沉淀温度较高,且在镜下可见碳酸盐胶结物伴随沥青质的现象(图1d),推断此类胶结物可能形成于油气充注之后,两口井氧同位素计算的温度高于130℃,说明可能存在深部热液通过断裂带影响研究区碳酸盐胶结物的沉淀温度,因此,氧同位素偏负可能为多种流体混合作用和成岩环境温度升高共同作用所致。

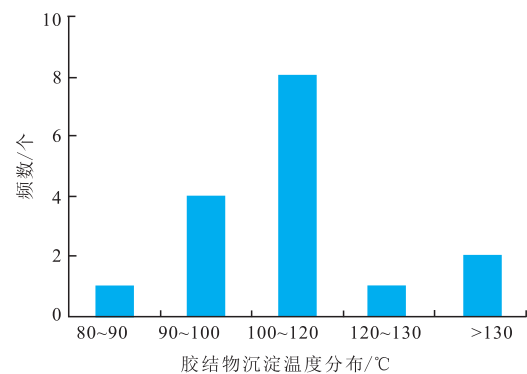


图3 研究区碳酸盐胶结物沉积温度分布

Fig. 3 Deposition temperature distribution of carbonate cementites in the study area

3.3 碳酸盐胶结物的地质意义

碳酸盐胶结物对储层物性的影响不同学者有不同观点^[1-8],部分学者认为碳酸盐胶结物对碎屑颗粒具有支撑作用,抵御了压实应力对孔隙空间的破坏,对储层物性保护有积极意义,但大部分学者认为碳酸盐胶结物的形成占据堵塞孔隙,是降低储层物性的主要因素之一。

碳酸盐胶结物对储层物性的双面性与其形成期次有关,成岩早期系统较为开放,温压条件较低,沉积有机质在生物化学甲烷的非平衡氧化作用下,孔隙流体中 Ca^{2+} 离子达到过饱和形成 CaCO_3 沉淀物,此类胶结物常形成于强压实作用前,缓和了后期压实作用对孔隙的破坏性,且可作为后期酸性流体的溶蚀对象物质,因此对储层物性具有积极意义。随着埋深增加,成岩作用的进行,压力和温度不断升高,有机酸脱羧释产生 CO_2 ,前期黏土矿物因压实脱水排出 H_2O ,随着 CO_2 分压的增高,孔隙流体偏酸性,储层中产生大量的 CO_3^{2-} 与 HCO_3^- ,酸性流体与储层中长石(钙长石、钾长石、钠长石)发生溶蚀作用释放大量

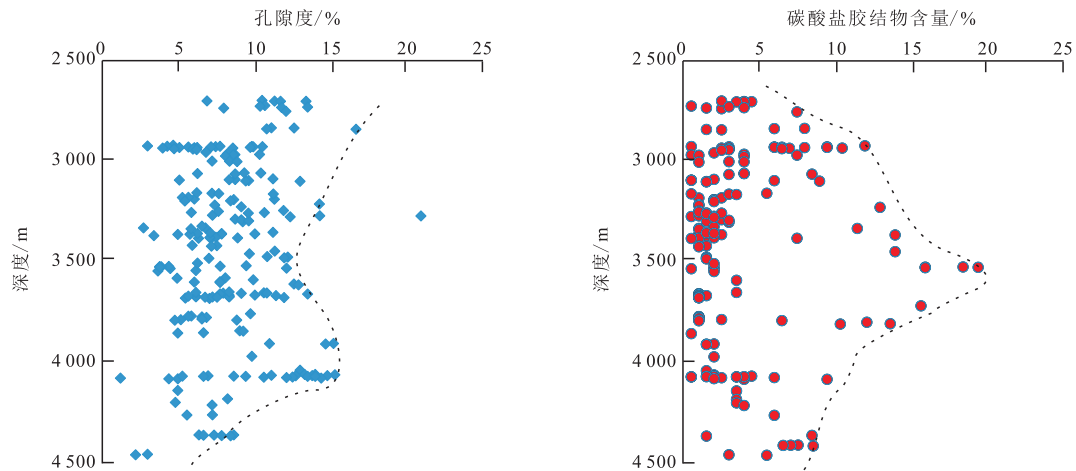


图4 同一深度下碳酸盐胶结物含量与孔隙度关系

Fig. 4 Relation between carbonate cement content and porosity at the same depth

的 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ ,同时黏土矿物之间的互相转换,如蒙皂石向伊利石转化会释放大量的 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 。随着酸性流体的消耗,成岩环境由酸性逐渐向碱性转变,还原性增强, Fe^{3+} 在封闭还原条件下可被还原成 Fe^{2+} ,流体中富含的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 CO_3^{2-} 反应生成方解石(CaCO_3)和白云石 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 时, Fe^{2+} 很容易进入这两种矿物的晶格中,从而形成含铁方解石或铁白云石含铁碳酸盐矿物^[5],成岩晚期形成的碳酸盐胶结物会占据堵塞孔隙中,对储层物性具有破坏作用。研究区碳酸盐胶结物主要形成于成岩作用晚期,通过20余口井碳酸盐胶结物含量与孔隙度之间的关系统计,可见在研究区碳酸盐胶结物与孔隙呈负相关性(图4),说明研究区碳酸盐胶结物不利于储层物性的保护。

4 结论

1)车拐斜坡区碳酸盐胶结物以晶体较大的粉晶—粗晶形式赋存于排列紧密的碎屑颗粒孔隙间,镜下可见方解石交代碎屑颗粒且伴随出现沥青质现象,表明研究区碳酸盐胶结物主要形成于成岩中晚期阶段。

2)碳酸盐胶结物的碳氧同位素分布范围大, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值较典型的海相或湖相的碳酸盐呈正偏移, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值呈负偏移, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 正偏移主要受到混合热液流体碳同位素分馏和沉积碳酸盐溶解的共同作用, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值负偏移则可能是大气降水、深部热水等多种流体混合作用和成岩温度升高的影响造成的。

3)碳酸盐胶结物形成与有机酸脱羧产生产生的 CO_2 、黏土矿物压实排水作用、长石碎屑溶蚀及黏土

矿物相互转换释放大量的 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 等离子有关,研究区碳酸盐胶结物含量与孔隙度呈负相关性,对储层物性起破坏作用。

参考文献

- 刘四兵,黄思静,沈忠民,等.砂岩中碳酸盐胶结物成岩流体演化和水岩作用模式——以川西孝泉—丰谷地区上三叠统须四段致密砂岩为例[J].中国科学D辑:地球科学,2014,44(7):1403-1417.
LIU S B, HUANG S J, SHEN Z M, et al. Diagenetic fluid evolution and water-rock interaction model of carbonate cements in sandstone: An example from the reservoir sandstone of the Fourth Member of the Xujiahe Formation of the Xiaquan-Fenggu area, Sichuan Province, China[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2014, 44(7): 1403-1417.
- 田亚铭,施泽进,李庭艳,等.姬塬地区长8油层组碳酸盐胶结物特征与成因[J].西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(3):26-31.
TIAN Y M, SHI Z J, LI T Y, et al. Characteristics and origin of the carbonate cements of Chang 8 member in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science), 2011, 26(3): 26-31.
- 王大锐,张映红.渤海湾油气区火成岩外变质带储集层中碳酸盐胶结物成因研究及意义[J].石油勘探与开发,2001,28(2):40-42.
WANG D R, ZHANG Y H. A study on the origin of the carbonate cements within reservoirs in the external metamorphic belt of the Bohai Bay oil-gas bearing region[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(2): 40-42.
- 孙致学,孙治雷,鲁洪江,等.砂岩储集层中碳酸盐胶结物特征——以鄂尔多斯盆地中南部延长组为例[J].石油勘探与开发,2010,37(5):543-551.
SUN Z X, SUN Z L, LU H J, et al. Characteristics of carbonate cements in sandstone reservoirs: A case from Yanchang Formation, middle and southern Ordos Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(5): 543-551.
- 姚洁利,王琪,张瑞,等.鄂尔多斯盆地中部延长组砂岩中碳酸盐胶结物成因与分布规律研究[J].天然气地球科学,2011,22(6):943-950.
YAO J L, WANG Q, ZHANG R, et al. Origin and spatial distribution of carbonate cements in Yanchang Fm. (Triassic) Sandstones within the Lacustrine Center of Ordos Basin, NW

- China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(6): 943-950.
- [6] 王代富, 罗静兰, 陈淑慧, 等. 珠江口盆地白云凹陷深层砂岩储层中碳酸盐胶结作用及成因探讨[J]. *地质学报*, 2017, 91(9): 2079-2090.
WANG D F, LUO J L, CHEN S H, et al. Carbonate cementation and origin analysis of deep sandstone reservoirs in the Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 91(9): 2079-2090.
- [7] 魏巍, 朱筱敏, 国殿斌, 等. 查干凹陷下白垩统砂岩储层碳酸盐胶结物成岩期次及形成机理[J]. *地球化学*, 2015, 44(6): 590-599.
WEI W, ZHU X M, GUO D B, et al. Carbonate cements in Lower Cretaceous Bayingebi sandstone reservoirs in Chagan Sag, Yin-e Basin: Formation phases and formation mechanisms[J]. *Geochimica*, 2015, 44(6): 590-599.
- [8] 陈波, 陈汾君, 马进业, 等. 冷湖地区上干柴沟组储层碳酸盐胶结物特征及地质意义[J]. *大庆石油地质与开发*, 2016, 35(5): 28-33.
CHEN B, CHEN F J, MA J Y, et al. Characteristics and their geological significance of the carbonate cements in Shangganचाigou- Formation reservoirs of Lenghu area[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2016, 35(5): 28-33.
- [9] WOODS A D, BOTTJER D J, MUTTI M, et al. Lower triassic large sea- floor carbonate cements: Their origin and a mechanism for the prolonged biotic recovery from the end-Permian mass extinction[J]. *Geology*, 1999, 27(7): 645-648.
- [10] 鲁新川, 张顺存, 蔡冬梅, 等. 准噶尔盆地车拐地区三叠系成岩作用与孔隙演化[J]. *沉积学报*, 2012, 30(6): 1123-1129.
LU X C, ZHANG S C, CAI D M, et al. Diagenesis and pore evolution of the triassic reservoirs in Chegouai Area, northwestern margin of Junggar Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(6): 1123-1129.
- [11] 张顺存, 仲伟军, 梁则亮, 等. 准噶尔盆地车拐地区侏罗系八道湾组储层成岩作用特征分析[J]. *岩性油气藏*, 2011, 23(5): 49-55.
ZHANG S C, ZHONG W J, LIANG Z L, et al. Reservoir diagenesis characteristics of Jurassic Badaowan Formation in Che-Guai area, Junggar Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2011, 23(5): 49-55.
- [12] 梁则亮, 张顺存, 贾春明, 等. 准噶尔盆地西北缘车拐地区三叠系储层特征研究[J]. *岩性油气藏*, 2012, 24(3): 15-20.
LIANG Z L, ZHANG S C, JIA C M, et al. Characteristics of the Triassic reservoirs in Chegouai area, northwestern margin of Junggar Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2012, 24(3): 15-20.
- [13] 谭开俊, 潘建国, 姚清洲, 等. 车拐地区侏罗系岩性油气藏形成条件及主控因素[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(2): 41-44.
TAN K J, PAN J G, YAO Q Z, et al. The formation conditions and main controlling factors of Jurassic lithologic reservoirs in Chegouai area, Junggar Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(2): 41-44.
- [14] 王卓超, 叶加仁. 准噶尔盆地西北缘车拐地区侏罗系成藏动力学模拟[J]. *地质科技情报*, 2010, 29(2): 63-67.
WANG Z C, YE J R. Modeling of pool-forming dynamics for Jurassic in Che-Guai Area, northwest edge of Junggar Basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2010, 29(2): 63-67.
- [15] 陈奋雄, 李军, 师志龙, 等. 准噶尔盆地西北缘车拐地区三叠系沉积相特征[J]. *大庆石油学院学报*, 2012, 36(2): 22-28.
CHEN F X, LI J, SHI Z L, et al. The characteristic of triassic sedimentary facies in Che-Guai area of Northwest Margin, Junggar Basin[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2012, 36(2): 22-28.
- [16] 付锁堂, 王震亮, 张永庶, 等. 柴北缘西段鄂博梁构造带储层碳酸盐胶结物成因及其油气地质意义——来自碳、氧同位素的约束[J]. *沉积学报*, 2015, 33(5): 991-999.
FU S T, WANG Z L, ZHANG Y S, et al. Origin of carbonate cements in reservoir rocks and its petroleum geologic significance: Eboliang structure belt, northern margin of Qaidam Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(5): 991-999.
- [17] FRIEDMAN I, O'NEIL J R. Compilation of stable isotope fraction factors of geochemical interest[A]. In: Fleischer M(edition), *Data of Geochemistry* (sixth edition), United States, Geological Survey, 1977: 440-1212.
- [18] 潘立银, 黄革萍, 寿建峰, 等. 柴达木盆地南翼山地区新近系湖相碳酸盐岩成岩环境初探——碳、氧同位素和流体包裹体证据[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2009, 28(1): 71-74.
PAN L Y, HUANG G P, SHOU J F, et al. A preliminary study of formation environment of the neogene lacustrine carbonates in Nanyishan Area of Qaidam Basin: Constrains from carbon-oxygen isotope and fluid inclusion analysis[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2009, 28(1): 71-74.
- [19] HOEFS J. *Stable isotope geochemistry*[M]. Switzerland: Springer Cham, 2015.
- [20] DRUMMOND C N, WILKINSON B H, LOHMANN K C, et al. Effect of regional topography and hydrology on the lacustrine isotopic record of Miocene paleoclimate in the Rocky Mountains[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1993, 101(1-2): 67-79.
- [21] 袁剑英, 黄成刚, 曹正林, 等. 咸化湖盆白云岩碳氧同位素特征及古环境意义——以柴西地区始新统下干柴沟组为例[J]. *地球化学*, 2015, 44(3): 254-266.
YUAN J Y, HUANG C G, CAO Z L, et al. Carbon and oxygen isotopic composition of saline lacustrine dolomite and its palaeoenvironmental significance: A case study of Lower Eocene Ganchaigou Formation in western Qaidam Basin[J]. *Geochimica*, 2015, 44(3): 254-266.
- [22] TAYLOR H P, FRECHEN J, DEGENS E T. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See District, West Germany and the Alnö District, Sweden[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 1967, 31(3): 407-430.
- [23] VEIZER J, HOEFS J. The nature of O_{18}/O_{16} , and C_{13}/C_{12} , secular trends in sedimentary carbonate rocks[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 1976, 40(11): 1387-1395.
- [24] KELTS K, TALBOT M. Lacustrine carbonates as geochemical archives of environmental change and biotic/abiotic interactions [M]// Max M. Tilzer, Colette Serruya. *Large Lakes: Ecological structure and function*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1990.
- [25] 曹剑, 胡文瑄, 姚素平, 等. 准噶尔盆地石炭—二叠系方解石脉的碳、氧、锶同位素组成与含油气流体运移[J]. *沉积学报*, 2007, 25(5): 722-729.
CAO J, HU W X, YAO S P, et al. Carbon, oxygen and strontium isotope composition of calcite veins in the carboniferous to permian source sequences of the Junggar Basin: Implications on petroleum fluid migration[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(5): 722-729.
- [26] 郭佳, 曾溅辉, 宋国奇, 等. 东营凹陷中央隆起带沙河街组碳酸盐胶结物发育特征及其形成机制[J]. *地球科学*, 2014, 39(5): 565-576.
GUO J, ZENG J H, SONG G Q, et al. Characteristics and origin of carbonate cements of Shahejie Formation of central uplift belt in Dongying Depression[J]. *Editorial Committee of Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2014, 39(5): 565-576.
- [27] 戴金星, 戚厚发, 宋岩, 等. 我国煤层气组份、碳同位素类型

(下转第118页)