

大庆长垣扶余油层砂岩中方解石胶结物的 碳、氧同位素特征及其成因

宋土顺¹, 马 锋², 刘 立¹, 蒙启安³, 于严龙¹, 刘 娜¹, 于 淼¹

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 中国石油 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要:方解石是大庆长垣深层砂岩中广泛分布的一种胶结物,同时方解石胶结作用是大庆长垣扶余油层致密储层的控制因素之一。以方解石胶结物为研究对象,运用薄片鉴定,扫描电镜观察、X-射线衍射分析、包裹体测试和碳、氧同位素分析,查明方解石碳、氧同位素组成及其成因。研究表明,储层砂岩类型为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩,粘土以I/S(伊/蒙混层)+I(伊利石)+K(高岭石)组合为代表。方解石的碳同位素($\delta^{13}\text{C}$, PDB)分布范围是 -20.3‰ ~ -3.2‰ ,氧同位素($\delta^{18}\text{O}$, PDB)的分布范围是 -25.3‰ ~ -20.3‰ ,平均值为 -22.67‰ 。碳、氧同位素分析数据的计算表明,碳酸盐的相对古盐度值(Z)介于73.92~109.89,表明其形成时的古流体均为矿化度较高的淡水;方解石的形成温度为 $80\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。方解石胶结物的同位素显示,其形成与有机酸脱羧作用有关,暗示其“碳”来源为有机碳。

关键词:碳、氧同位素;方解石胶结物;岩石学;扶余油层;大庆长垣

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Features and genesis of carbon-oxygen isotopes in calcite cement from sandstone in oil-bearing Fuyu layer of Daqing Placanticline

Song Tushun¹, Ma Feng², Liu Li¹, Meng Qi'an³, Yu Yanlong¹, Liu Na¹, Yu Miao¹

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China; 2. Petroleum Exploration and Production

Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China; 3. Petroleum Exploration and Development Research

Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: Calcite is one the most widely spreading cements in deep sandstone reservoirs in Daqing Placanticline. It has also been regarded as the main factor for facilitating the formation of tight reservoirs in oil-bearing Fuyu layer. Thin section, scanning electron microscope, X-ray diffraction, fluid inclusion and carbon/oxygen isotope analyses were carried out on calcite from cored wells penetrating the layer to identify its isotope composition and genesis. The results show that the reservoirs are mainly feldspar lithic and lithic feldspar sandstone with clay minerals represented by I/S + I + K assemblage. The cement has its $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) value ranging between -20.3‰ and -3.2‰ and the $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) value varying from -25.3‰ to -20.3‰ with an average value of -22.67‰ . Calculation shows that the paleosalinity Z is between 73.92 and 109.89, indicating a fresh water environment with high salinity for the formation of carbonate. The temperature for the calcite to be formed is between $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ based on converted temperature of isotopes and homogenization temperature of fluid inclusions. Isotope diagrams reveal that the formation of the calcite cement is probability connected with organic acid decarboxylation, inferring an “organic carbon” origin for the carbon in the cement.

Key words: carbon and oxygen isotope, calcite cement, petrology, oil-bearing Fuyu layer, Daqing Placanticline

当前石油工业已进入常规油气稳产上升、非常规油气快速发展阶段^[1-2],常规向非常规油气藏的转变,推动了全球非常规油气勘探开发迅猛发展,逐渐改变着世界能源供应格局^[1,3-5]。国内常规油气勘

探难度大,非常规油气是有力的补充。大庆油田已有50多年的勘探历史,其中常规油气储层的勘探程度较高^[4,6-7],目前逐渐向致密油气勘探方向转变。大庆长垣扶余油层砂岩物性特征已经查明,以致密

收稿日期:2014-12-10;修订日期:2015-01-20。

第一作者简介:宋土顺(1985—),男,博士研究生,沉积岩石学。E-mail:songtushun@sina.cn。

通讯作者简介:刘立(1955—),男,教授、博士生导师,储层、层序地层及沉积学。E-mail:liuli0892@vip.sina.com。

基金项目:中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院技术开发项目(2012-JS-740);吉林省科技发展计划重点项目(20110426)。

储层为主,其次为常规储层。而该区储层砂岩先致密后成藏和先成藏后致密是目前油气勘探的关键问题。待研究目的层位属于浅水三角洲平原和前缘相带,并以储层薄和物性差为特征。

大庆长垣扶余油层砂岩中方解石胶结物与孔渗呈负相关关系,同时方解石胶结是储层致密化控制因素之一,因此本文以方解石为研究对象(图1),利用岩石学和碳、氧同位素研究方法探讨方解石胶结物中碳、氧同位素组成及其成因,为成岩流体演化研究及致密油气勘探提供依据。

1 研究方法

在岩石薄片、扫描电镜、X-射线衍射等资料分析、整理的基础上,采集扶余油层储层砂岩样品,切制了44个薄片。对薄片进行了砂岩骨架碎屑成分统计,统计方法采用点计法,每个薄片统计300~400个点。为识别碳酸盐矿物,对40个不加盖玻璃的薄片进行了阴极发光观察。对31件砂岩样品中小于2 μm 部分进行了X-射线衍射分析。

在岩石学特征系统研究的基础上,对砂岩进行了

流体包裹体和碳、氧同位素分析,测试在核工业北京地质研究院分析测试中心完成,运用 Leica 透反射偏光-荧光显微镜与 LINKAN THMS600 型冷热台测温完成包裹体测试,同位素由德国 Finnigan 公司生产的 MAT253 型同位素比值质谱仪测定。采用 McCrea 法完成 32 砂岩个样品同位素测试,具体为:①用玛瑙乳钵将碎屑砂岩研磨成 200 目左右粉末;②将粉末样品在 60 ℃ 下烘干 12 小时,而后在 110 ℃ 下焙烤 3 小时;③将烘干的样品粉末(200 mg)置于主反应管内,用塑料弯头玻璃注射器将 5~8 mL 纯磷酸注入反应管支管;④真空脱水约 1~2 h,直至真空度达 2×10^{-5} Torr(约 267×10^{-5} Pa);⑤将真空反应管置入恒温水浴槽中,温度约 $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$;⑥待恒温 20 min 后,将反应管倾斜,使支管中的磷酸流入至主反应管内,与样品开始反应;⑦恒温 24 h 后,对获得的 CO₂ 气体进行碳、氧同位素的测定。

2 结果

2.1 岩石学特征

薄片鉴定和骨架碎屑成分镜下统计 44 件样品表

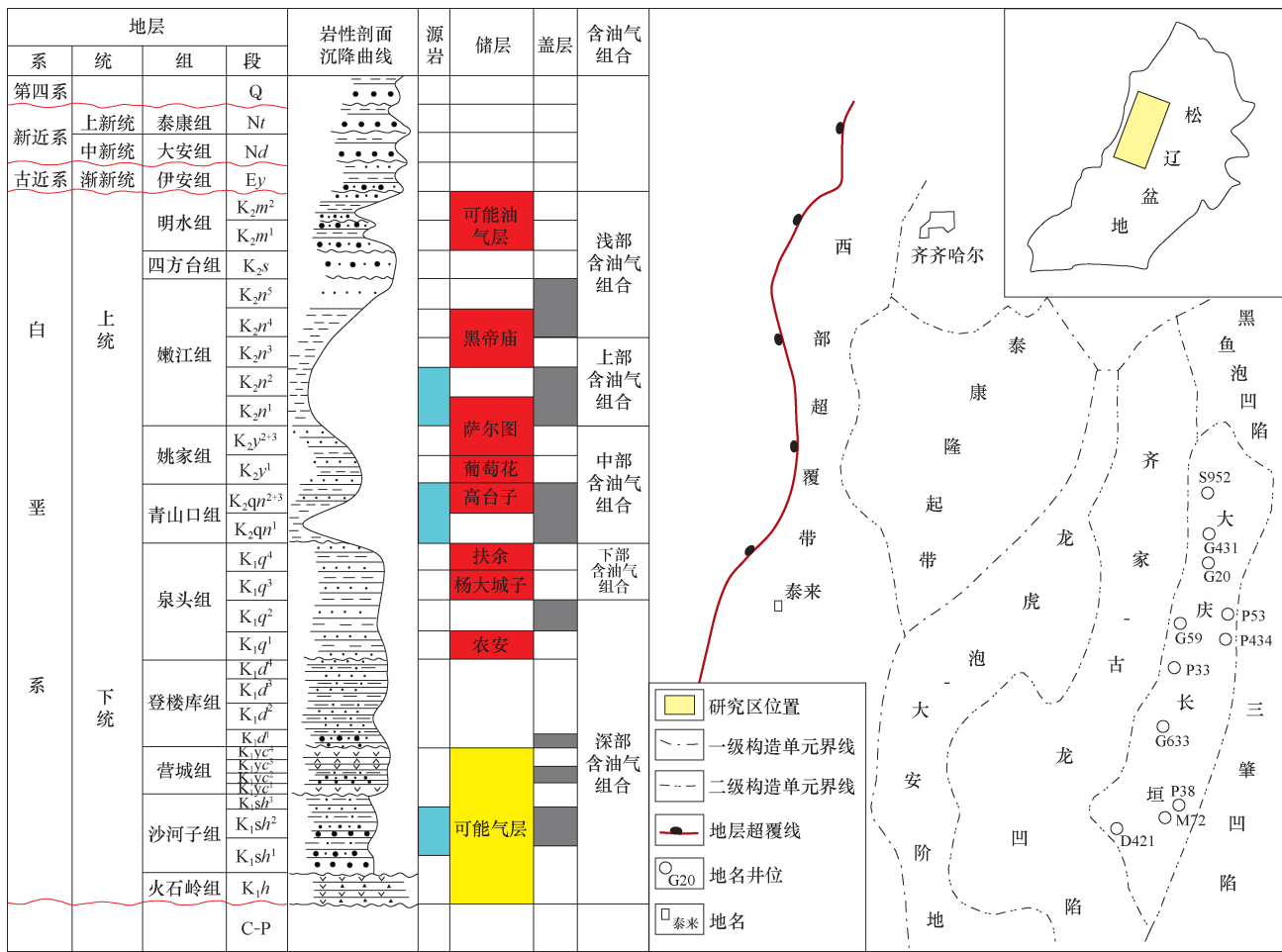


图1 大庆长垣地层综合柱状图及取样钻井位置(据冯志强,2011 修改)

Fig.1 Integrated sequence stratigraphy column and sampling locations of Daqing Placanticline(modified from Feng Zhiqiang,2011)

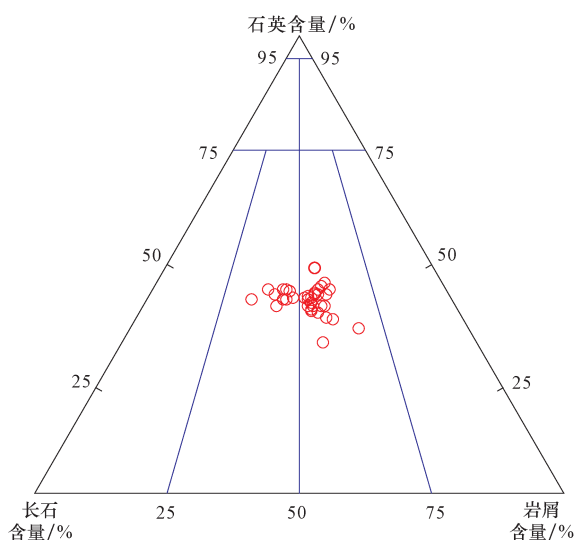


图2 大庆长垣砂岩碎屑组成

Fig. 2 Clastic constituents of sandstone in Daqing Placanticline

明,砂岩为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩(图2,图3a, b)。其中,石英含量为40%~56%,长石含量为8%~23%,岩屑含量为8%~27%。长石骨架碎屑以斜长石为主,其次为钾长石。岩屑主要为花岗岩岩屑,其次为沉积岩和千枚岩岩屑。砂岩的粒度为中-细粒,分选差-中等,填隙物主要为方解石(图3a)、粘土矿物以及次生加大石英等。为提高测试的准确性,将样品粉碎至2 μm以下,X-射线衍射分析结果表明粘土矿物主要为高岭石(K)和伊利石(I),其次为伊/蒙混层(I/S)(表1),它们在扫描电镜下的形貌特征见图3c,d。

在砂岩中,碎屑粘土矿物(伊利石和伊/蒙混层)以碎屑颗粒包膜形式产出,而自生粘土矿物(高岭石)以充填孔隙的形式产出。其中,碎屑粘土矿物随温度升高与成岩流体的改变,伊/蒙混层粘土矿物包壳逐渐转化为发丝状伊利石。方解石(0~44%)以孔隙充填

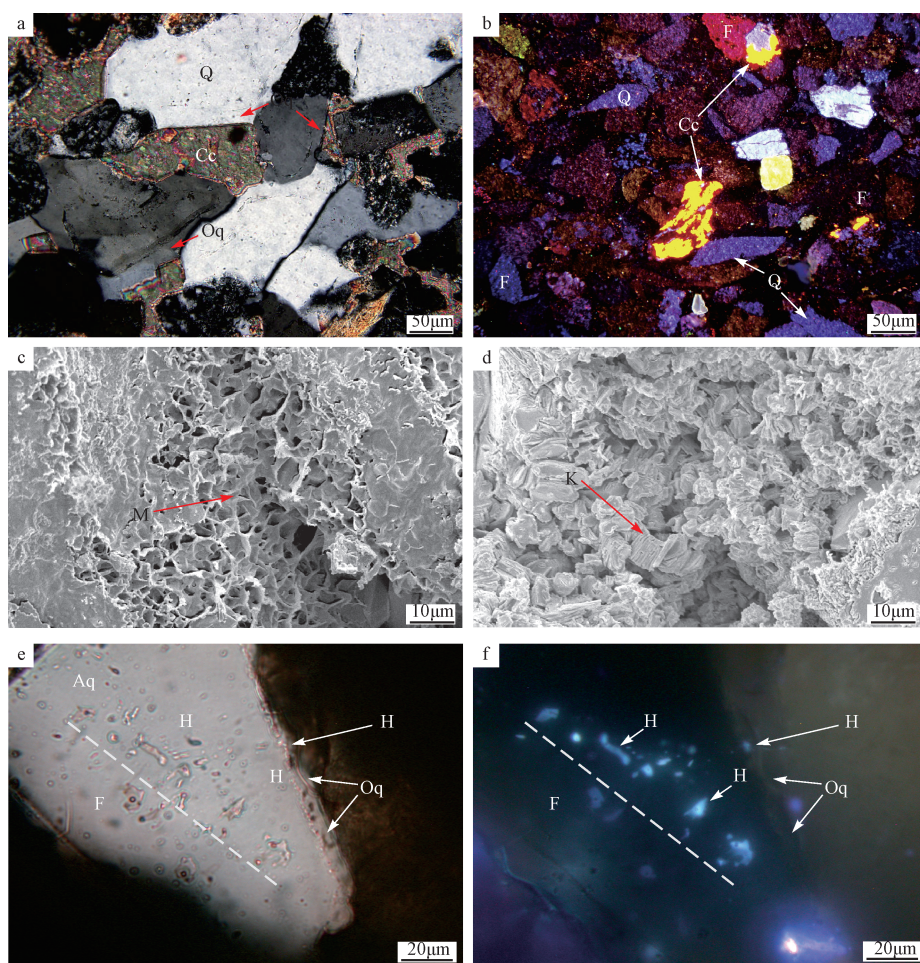


图3 大庆长垣扶余油层储层砂岩成岩自生矿物及长石中油气包裹体显微特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of hydrocarbon inclusions in diagenetic authigenic minerals and feldspar in sandstone reservoirs of Daqing Placanticline

- a. 粗晶方解石分布于石英次生加大后剩余孔隙,P53井,埋深2 320.1 m,正交偏光;b. 石英次生加大边及方解石强烈交代长石颗粒,P633井,埋深2 087.6 m,阴极发光;c. 颗粒表面贴附蒙皂石,S952井,埋深2 371.97 m,电镜照片;d. 孔隙中充填片状高岭石,S952井,埋深2 416.56 m,电镜照片;e. 沿石英颗粒愈合裂缝及次生加大边中分布的液态烃包裹体和含烃盐水包裹体,D421井,埋深2 415.34 m,单偏光;f. 沿石英颗粒愈合裂缝及次生加大边中分布的液态烃包裹体(浅黄色、蓝绿色荧光)、气-液烃包裹体和含烃盐水包裹体,D421井,埋深2 415.34 m,20UV激发荧光
- Q. 石英;F. 长石;Cc. 方解石;M. 蒙脱石;K. 高岭石;Oq. 次生加大边;H. 烃包裹体;Aq. 盐水包裹体

表 1 大庆长垣扶余油层储层砂岩 X-射线衍射分析数据

Table 1 Statistics of X-ray diffraction analysis of sandstone samples from Daqing Placanticline

井号	深度/m	编号	Q/%	fs/%	Pl/%	Cc/%	Do/%	Sid/%	Py/%	I/S/%	I/%	K/%
D421	2 415.34	35	58	—	26	5	—	—	—	2	6	3
D421	2 416.24	36	60	—	22	9	—	—	—	1	5	3
G20	1 988.15	8	43	1	24	20	—	—	—	2	5	5
G20	1 989.25	9	36	4	39	8	—	—	—	1	4	8
G20	1 998.75	10	39	—	22	9	2	—	—	8	3	17
G20	1 999.10	11	51	—	24	3	—	—	—	3	10	9
G431	1 919.54	45	60	—	23	5	—	—	—	3	6	3
G431	1 922.79	46	62	—	27	2	—	—	—	2	4	3
G431	1 920.34	47	67	—	24	2	—	—	—	—	3	4
G431	1 915.54	48	65	—	24	—	—	—	—	1	4	6
G431	1 916.24	49	63	—	23	4	—	—	—	1	4	5
G59	2 280.17	43	60	—	26	2	—	—	—	2	6	4
G59	2 281.21	44	52	—	26	8	—	—	—	1	6	7
G633	2 087.60	27	62	2	22	1	—	—	—	5	5	3
G633	2 087.90	28	70	2	16	1	—	—	—	4	3	4
M72	1 897.88	12	61	—	21	7	—	—	—	1	4	6
M72	1 898.68	13	37	—	10	44	—	—	—	1	4	4
M72	1 897.28	14	47	—	15	11	—	—	—	9	3	15
P33	1 762.65	15	58	—	31	1	—	—	—	1	4	5
P33	1 763.00	16	51	—	36	—	—	—	—	1	6	6
P33	1 764.65	17	49	—	25	—	—	—	—	8	3	15
P33	1 765.40	18	53	—	29	1	—	—	—	2	7	8
P33	1 754.85	19	75	—	19	—	—	—	—	—	3	3
P434	1 682.52	30	47	—	15	15	9	4	—	3	5	2
P434	1 683.42	31	60	—	31	—	—	4	—	1	4	—
P434	1 707.07	33	61	—	32	—	—	3	—	3	—	1
P434	1 697.57	34	62	—	21	8	—	—	—	2	6	1
P53	1 768.26	4	54	—	33	1	—	—	—	2	9	1
P53	1 768.01	5	65	—	25	1	—	—	—	2	6	1
P952	2 359.15	22	66	—	29	1	—	—	—	—	4	—
P952	2 361.00	23	51	—	24	3	—	—	3	4	12	3

注:Q. 石英;fs. 碱性长石;Pl. 斜长石;Cc. 方解石;Do. 白云石;Sid. 菱铁矿;Py. 黄铁矿;I/S. 伊/蒙混层;I. 伊利石;K. 高岭石。
测试单位为吉林大学测试科学中心。

为主,局部呈连生嵌晶结构,除作为胶结物外(图 3a, 3b),方解石还部分交代长石和岩屑。岩相关系表明,方解石形成于次生加大石英沉淀之后。此外,孔隙中充填有沥青。荧光显微镜观察表明,石英颗粒愈合裂缝及次生加大边中存在气液烃包裹体、含烃盐包裹体(图 3e)和液态烃包裹体(浅黄色、蓝绿色荧光)(图 3f)。

2.2 方解石碳、氧同位素特征

方解石胶结物碳氧同位素分析结果见表 2。方解石碳同位素($\delta^{13}\text{C}$, PDB)分布在 $-20.3\text{‰} \sim -3.2\text{‰}$ (图 4a);氧同位素($\delta^{18}\text{O}$, PDB)分布在 $-25.3\text{‰} \sim -20.3\text{‰}$ (表 2),平均为 -22.67‰ , $\delta^{18}\text{O}$ (PDB)值变化幅度为 5‰ (图 4b); $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)分布在 $4.8\text{‰} \sim 10\text{‰}$ (表 2),平均为 7.53‰ 。形成方解石胶结物流体古盐度值(Z)分布在 $73.92 \sim 109.89$ 。

3 讨论

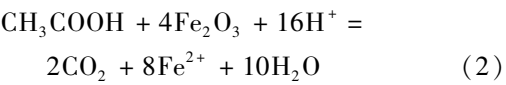
3.1 碳来源

利用王大锐编制的 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) - $\delta^{18}\text{O}$ (PDB)图解

来确定方解石胶结物的碳来源^[8-11]。在该图解中,Ⅰ区为埋藏较浅时与硫酸盐还原作用有关的碳酸盐,Ⅱ区为与甲烷细菌活动生成生物气有关的碳酸盐^[12];Ⅲ区为与有机酸脱羧作用有关的碳酸盐。在本次研究所测的数据中,方解石胶结物的碳氧同位素分析数据落于Ⅲ区(图 5)。笔者认为方解石的成因如下,当发酵细菌的活动随着埋藏加深而逐渐失去活性时,在热催化作用下有机酸开始脱羧并释放出烃类和 CO_2 :



如果砂岩中存在 Fe_2O_3 ,以下反应也将提供部分 CO_2 :



释放出的 CO_2 溶解于地层水,一方面保持了孔隙流体的低 pH 值,使硅酸盐矿物的溶蚀、溶解作用得以继续进行;另一方面为碳酸盐矿物的形成提供了“碳”来源。

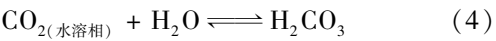


表 2 大庆长垣扶余油层方解石胶结物 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 分析数据及 Z 值计算结果
Table 2 Measured $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and calculated Z values of calcite cement in Daqing Placanticline

井号	深度/m	编号	矿物	古地温/℃	$\delta^{13}\text{C}(\text{PDB})/\%$	$\delta^{18}\text{O}(\text{PDB})/\%$	$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})/\%$	同位素换算 温度/℃	相对古盐度(Z)
D421	2 415.34	35	Cc	120.77	-6.10	-23.70	6.50	89	103.00
D421	2 416.24	36	Cc	120.81	-5.10	-24.10	6.00	93	104.85
G20	1 988.15	8	Cc	99.41	-9.80	-23.30	6.80	86	92.62
G20	1 989.25	9	Cc	99.46	-8.10	-24.00	6.10	92	95.63
G20	1 998.75	10	Cc	99.94	-11.10	-24.00	6.10	92	96.45
G20	1 999.10	11	Cc	99.96	-9.30	-23.70	6.50	89	98.76
G431	1 915.54	48	Cc	95.78	-4.00	-22.40	7.80	78	104.83
G431	1 916.24	49	Cc	95.81	-3.60	-21.10	9.20	68	106.22
G431	1 919.54	45	Cc	95.98	-5.50	-22.50	7.70	79	107.95
G431	1 922.79	46	Cc	96.14	-4.70	-23.00	7.20	83	109.42
G431	1 916.74	50	Cc	95.84	-3.50	-25.30	4.80	104	107.53
G431	1 920.34	47	Cc	96.02	-3.50	-22.60	7.60	80	108.88
G59	2 280.17	43	Cc	114.01	-9.70	-22.10	8.10	76	93.04
G59	2 281.21	44	Cc	114.06	-10.60	-25.20	4.90	103	96.43
G633	2 087.90	28	Cc	104.40	-4.70	-23.80	6.40	89	105.62
G633	2 087.60	27	Cc	104.38	-4.80	-23.80	6.30	90	105.82
M72	1 897.88	12	Cc	94.89	-5.90	-23.40	6.80	86	85.24
M72	1 897.28	14	Cc	94.86	-5.40	-23.40	6.80	86	103.56
M72	1 898.68	13	Cc	94.93	-15.60	-20.30	10.00	62	104.59
P33	1 765.40	18	Cc	88.27	-14.80	-20.30	10.00	62	85.88
P33	1 754.85	19	Cc	87.74	-14.60	-20.30	10.00	62	86.88
P33	1 762.65	15	Cc	88.13	-14.80	-22.30	8.00	77	86.39
P33	1 763.00	16	Cc	88.15	-14.70	-21.70	8.50	73	87.29
P33	1 764.65	17	Cc	88.23	-14.40	-22.10	8.10	76	86.80
P434	1 682.52	30	Cc	84.13	-3.50	-20.90	9.40	66	108.16
P434	1 697.57	34	Cc	84.88	-3.20	-21.80	8.40	74	109.72
P434	1 683.42	31	Cc	84.17	-3.90	-22.40	7.80	78	109.23
P434	1 707.07	33	Cc	85.35	-3.50	-21.90	8.30	74	109.89
P53	1768.26	4	Cc	88.41	-11.30	-22.20	8.00	77	92.23
P53	1 768.01	5	Cc	88.40	-11.70	-22.30	7.90	77	93.10
S952	2 359.15	22	Cc	117.96	-19.10	-22.00	8.20	75	73.92
S952	2 361.00	23	Cc	118.05	-20.30	-23.70	6.50	89	77.23
P38	1 899.32	B-22	Cc	94.966	-10.7	-22	8.23	75	94.43
P38	1 898.72	B-23	Cc	94.936	-11.7	-22.8	7.41	81	91.98
P38	1 898.22	B-24	Cc	94.911	-11.5	-22.9	7.30	82	92.34

注:Cc. 方解石。测试单位为核工业北京地质研究院分析测试中心。

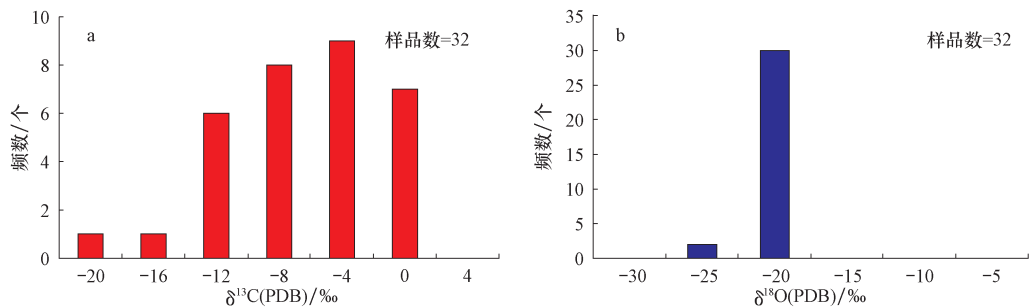
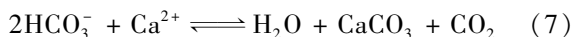


图 4 大庆长垣扶余油层方解石胶结物的 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 分布直方图
Fig. 4 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ distribution histogram of calcite cement from Daqing Placanticline



当孔隙流体中氢离子消耗殆尽,长石的溶蚀、溶解作用使阳离子浓度积聚到较高的程度,孔隙流体性质便发生了根本的变化,由酸性流体转为碱性流体,开始了包括方解石胶结物在内的碳酸盐矿物的沉淀过程^[13]。由于这些碳酸盐矿物中的“碳”来自有机质,因此,与有机酸脱羧作用有关的方解石普遍以 $\delta^{13}\text{C}$ 高负值为特征。并且,由于这种碱性流体是目的层中的“终结”孔隙流体,因此,方解石具有足够的时间沉淀结晶,故而与有机酸脱羧作用有关的方解石均以结晶颗粒粗大并交代其它矿物或碎屑为标志。

此外,根据成岩共生序列分析,原油先于粗晶方解石进入孔隙空间,因此,有理由认为,在扶余油层中存在有机酸脱羧作用成因的 CO_2 驱替原油的过程。鉴于扶余油层中的含油包裹体丰度 (GOI) 极低,因而,其作用过程相当于“高含水后 CO_2 驱油”^[14] 过程。实验表明,在 CO_2 驱油过程中, CO_2 沿着水与孔道壁之间的间隙流动,并逐渐驱替壁面处的剩余油^[14]。在非混相驱、近混相驱和混相驱实验中, CO_2 分别表现为作用于模拟油滴边缘使之透明、以气泡形式进入模拟油滴和在油滴之间形成混相(模糊带)^[15]。无论那一种情况,都暗示 CO_2 溶解于模拟油并引起了其体积膨胀。虽然模拟油与 CO_2 之间存在水层分隔,但是根据 Campbell 等^[16] 的实验, CO_2 可以通过水层扩散进入模拟油并导致其体积膨胀,而模拟油的体积膨胀则逐渐排替了水层,最终形成 CO_2 与模拟油直接接触的现象。在 CO_2 与原油的接触过程中,油中轻质组分(通常为 $\text{C}_2\text{—C}_6$,甚至可以到 C_{10})逐渐溶解到 CO_2 与原油混相液中^[14]。Nobakht 等^[17] 认为,如果有足够的 CO_2 溶解于原油就会发生沥青质沉淀。这可能是所研究的砂岩中存在较多储层沥青的原因。

3.2 孔隙流体相对盐度及方解石形成温度

利用 Z 值来讨论方解石形成过程中的相对流体盐度。 Z 值是 Keith 等^[18] 用以确定侏罗纪以来的海相灰岩和淡水灰岩的经验公式导出的,其表达式为:

$$Z = 2.048(\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O} + 50) \quad (8)$$

式中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值均为 PDB 标准,当 $Z > 120$ 时为海相灰岩, $Z < 120$ 时为淡水灰岩。近年来人们^[10-11] 开始利用 Z 值来探讨砂岩中碳酸盐胶结物形成时的古流体条件。计算表明,扶余油层方解石的 Z 值分布在 73.92 ~ 109.89,这说明目的层中方解石形成古流体均为矿化度较高的淡水。

方解石胶结物同位素换算温度可基本代表方解石的形成温度。在大庆长垣,方解石形成于富 Ca^{2+} 和

HCO_3^- 的溶液,与现今地层水中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 高异常基本一致,因此,研究区砂岩现今地层水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(平均为 -11.82‰)^[19] 可以近似作为方解石形成时溶液的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。采用方解石 - H_2O 的分馏方程^[20],计算出研究区方解石同位素温度分布在 $62 \sim 104\text{ }^\circ\text{C}$ (图 6),主要形成于 $80 \sim 100\text{ }^\circ\text{C}$,与样品方解石中盐水包裹体测温范围 $65 \sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ 一致,进一步说明方解石中碳来源与有机质脱羧反应的成因联系,方解石随烃类的裂解作用和埋深的增加持续沉淀。岩相学观察和成岩共生序列研究表明,粗晶方解石胶结物形成于油气注入之后,同时方解石胶结物的形成温度略高于与油气包裹体共生的石英次生加大边中盐水包裹体均一温度($80 \sim 100\text{ }^\circ\text{C}$),结合方解石碳、氧同位素成因图解(图 3),进一步证实粗晶方解石形成于油气注入之后或同时。

4 结论

1) 扶余油层的岩石类型为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩。

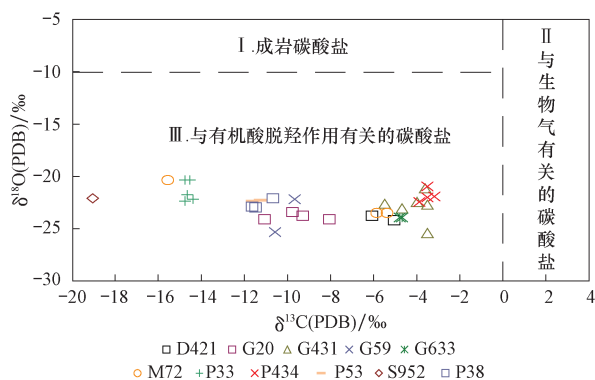


图 5 大庆长垣扶余油田方解石胶结物 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 图解

Fig. 5 Diagram of $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ in calcite cement from Daqing Placanticline

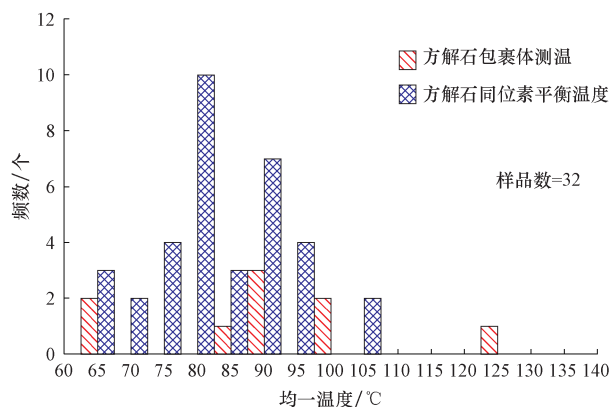


图 6 大庆长垣扶余油田方解石胶结物同位素平衡温度及包裹体均一温度分布直方图

Fig. 6 Histogram showing the distribution of isotope equilibrium temperature and homogenization temperature of inclusions in calcite cement from Daqing Placanticline

2) 方解石是扶余油层的主要自生矿物之一。其 $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) 为 $-20.3\text{‰} \sim -3.2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) 为 $-25.3\text{‰} \sim -20.3\text{‰}$, 平均值为 -22.67‰ 。其形成与有机酸脱羧作用有关, 暗示其碳来源于有机碳。

3) 根据碳、氧同位素测试数据计算的方解石胶结物的 Z 值范围为 $73.92 \sim 109.89$, 表明形成时古流体为矿化度较高的淡水。根据碳、氧同位素测试数据计算的方解石的形成温度区间为 $80 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 暗示方解石胶结物在成岩过程中形成较晚。

参 考 文 献

- [1] 邹才能, 杨智, 张国生, 等. 常规-非常规油气“有序聚集”理论认识及实践意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 14-25.
Zou Caineng, Yang Zhi, Zhang Guosheng, et al. Conventional and unconventional petroleum “orderly accumulation”: Concept and practical significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(1): 14-25.
- [2] 时保宏, 张艳, 张雷, 等. 运用流体包裹体资料探讨鄂尔多斯盆地姬源地区长9油藏史[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 17-22.
Shi Baohong, Zhang Yan, Zhang Lei, et al. Dating of hydrocarbon accumulation by fluid inclusion characteristics in the Chang9 of Yanchang Formation in Jiyuan area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 17-22.
- [3] Cheng K, Wu W, Hilditch S A, et al. Assessment of the distribution of technically recoverable resources in north American basins[C]//Canadian Unconventional Resources and international Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, 2010: 245-247.
- [4] 杨庆杰. 松辽盆地北部大庆长垣扶余油层油气藏特征[D]. 北京: 中国地质大学, 2013: 1-3.
Yang Qingjie. Study on hydrocarbon reservoir forming characteristics of Fuyu oil-layer in Daqing Placanticline[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013: 1-3.
- [5] 张雷, 朱伦戴, 卢双舫, 等. 徐家围子断陷火山岩天然气盖层差异特征[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 7-16.
Zhang Lei, Zhu Lunwei, Lu Shuangfang, et al. Differential characteristics of cap rocks of volcanic gas reservoirs in the Xujiaweizi fault-depression, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 7-16.
- [6] 陈贤良, 纪友亮, 樊太亮, 等. 松辽盆地梨树断陷层序类型及发育模式[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(4): 1151-1161.
Chen Xianliang, Ji Youliang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphic types and models in Lishu rift, Songliao basin[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(4): 1151-1161.
- [7] 宫雪, 沈武显, 逢海明. 松南梨树断陷高精度地震层序及地震沉积相识别[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(5): 1566-1573.
Gong Xue, Shen Wuxian, Pang Haiming. High resolution seismic sequence and seismic sedimentary facies in Lishu fault depression of southern Songliao Basin[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(5): 1566-1573.
- [8] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 82-85.
Wang Darui. Stable isotope geochemistry of oil and gas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 82-85.
- [9] 郭宏莉, 王大锐. 塔里木油气区砂岩储集层碳酸盐胶结物的同位素组成与成因分析[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(3): 31-32.
Guo Hongli, Wang Darui. Tarim expected the isotopic composition of sandstone reservoir in carbonate cements and cause analysis[J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(3): 31-32.
- [10] 何生, 杨智, 何治亮, 等. 准噶尔盆地腹部超压顶面附近深层砂岩碳酸盐胶结作用和次生溶蚀孔隙形成机理[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2009, 34(5): 759-768.
He Sheng, Yang Zhi, He Zhiliang, et al. Mechanism of carbonate cementation and secondary dissolution porosity dormation in deep-burial and stones near the top overpressured surface in central part of Junggar Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(5): 759-768.
- [11] 田亚铭, 施泽进, 宋江海. 鄂尔多斯盆地宜川-旬邑地区长8储集层碳酸盐胶结物特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(4): 378-384.
Tian Yaming, Shi Zejin, Song Jianghai, et al. Characteristics of carbonate cements of Member 8 of Yanchang Formation in the Yichuan-Xunyi area, Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011, 38(4): 378-384.
- [12] 帅燕华, 宋娜娜, 张水昌, 等. 松辽盆地北部生物降解成因气及其成藏[J]. 石油与天然气地质, 2011, 23(54): 659-670.
Shuai Yanhua, Song Nana, Zhang Shuichang, et al. Gas of biodegradation origin and their pooling characteristics in northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 23(54): 659-670.
- [13] 宋士顺, 刘立, 王玉杰, 等. 鄂尔多斯盆地漂白砒砂岩的特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 679-685.
Song Tushun, Liu Li, Wang Yujie, et al. Characteristics and genesis of the bleached sandstone in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 679-685.
- [14] 秦积舜, 张可, 陈兴隆. 高含水后 CO_2 驱油机理的探讨[J]. 石油学报, 2010, 31(5): 797-800.
Qin Jisun, Zhang Ke, Chen Xinglong. Mechanism of the CO_2 flooding as reservoirs containing high water[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(5): 797-800.
- [15] 杜建芬, 陈静, 李秋, 等. CO_2 微观驱油实验研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(6): 131-135.
Du Jianfen, Chen Jing, Li Qiu, et al. Experimental study on micro-displacement oil for different CO_2 displacement mechanism[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2012, 34(6): 131-135.
- [16] Campbell B T, Orr Jr F M. Flow visualization for CO_2 /crude-oil displacements[J]. Society of Petroleum Engineers Journal, 1985, 25(05): 11958.
- [17] Nobakhta M, Moghadam S, Gu Y. Mutual interactions between crude oil and CO_2 under different pressures[J]. Fluid Phase Equilibria, 2008, 265: 94-103.
- [18] Keith M H, Weber J N. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1964, 28: 1787-1816.
- [19] 史婷婷, 成建梅, 解习农, 等. 松辽盆地北部地层水同位素特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2012, 30(2): 399-404.
Shi Tingting, Cheng Jianmei, Xie Xinong, et al. Isotopic characteristics of formation waters in the North of Songliao basin and its geological significances[J]. Acta Sedimentologica, 2012, 30(2): 399-404.
- [20] O'Neil J R, Clayton R N, Mayeda T K. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates[J]. Journal of Chemical Physics, 1969, 51: 5547-5548.

(编辑 董立)