

文章编号: 1009-3850(2016)04-0030-07

柴北缘平台地区下干柴沟组下段碳酸盐胶结物 特征及意义

仵宗涛¹, 孙国强², 王 锋³, 郭佳佳^{2,4}, 刘伟明^{2,4}, 王晔桐^{2,4}

1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 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. 中国石油青海油田公司勘探事业部, 甘肃 敦煌 736202; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 综合运用岩石学、矿物学和地球化学等方法, 对柴达木盆地北缘中段平台地区古近系下干柴沟组下段储集岩中碳酸盐胶结物的成岩温度、形成环境和物质来源等进行了系统研究。结果表明, 平台地区储集砂岩中主要发育方解石和白云石两种碳酸盐胶结物。自生黏土矿物主要以伊利石、绿泥石和伊-蒙混层为主, 测定其碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)值分布范围在 -7.5‰ ~ -1.4‰ 之间, 平均为 -4.0‰ ; 氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)值分布范围在 -14.4‰ ~ -10.1‰ 之间, 平均为 -11.6‰ 。推算古盐度(Z)值分布范围为106.38~119.23, 平均值为113.24。平台地区古近系下干柴沟组下段储集岩在成岩阶段早期有少量有机碳加入, 成岩流体以淡水环境为主。碳酸盐胶结物的形成温度在 $71.49\sim 101.01\text{℃}$ 之间, 平均值为 81.32℃ 。根据成岩特征及形成温度, 揭示平台地区古近系下干柴沟组下段储集岩主要处于早成岩阶段晚期。

关键词: 碳酸盐胶结物; 黏土矿物; 碳同位素; 氧同位素; 平台地区

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

引言

碳酸盐胶结物是碎屑岩储层中最为常见的成岩矿物之一, 普遍分布于各类沉积盆地的碎屑岩中^[1-4]。在不同的成岩环境中形成的碳酸盐胶结物通常具有不同的矿物成分、结构特征和化学组成^[5-7]。其中碳、氧同位素的组成具有一定的规律性, 可以指示胶结物形成时成岩流体的温度、成分以及流体中碳的来源^[8-10]。因此, 利用碳酸盐胶结物中碳、氧同位素组成判识其形成环境和物质来源受到越来越多石油地质学家的重视^[11-15]。平台地区位于柴达木盆地北缘山前带中段(图1), 是近年

油气勘探的热点地区。前人关于平台地区储集砂岩中碳酸盐胶结物的研究较少。本文以古近系下干柴沟组上段(E_3^1)砂岩作为研究对象, 对其碳酸盐胶结物的结构特征、矿物成分和元素地球化学等进行了研究。

1 样品分析

2011年在平台地区部署的P1井和P3井在古近系(路乐河组和下干柴沟组)都获得了高产的气井, 打开了北缘山前带油气勘探的局面, 成为新的研究热点地区。通过对平台地区重点钻井岩心的取样分析, 挑选部分样品进行实验。镜下鉴定发现,

收稿日期: 2016-07-27; 改回日期: 2016-09-08

作者简介: 仵宗涛(1975-)男, 地质资源与地质工程博士后流动站, 在站博士后

通讯作者: 孙国强(1977-)男, 副研究员, 主要从事含油气盆地石油地质学及沉积构造研究。E-mail: sguoqiang@lzb.ac.cn

资助项目: 甘肃省科技计划(自然科学基金)(1308RJZA310)和甘肃省重点实验室专项(1309RTSA041)联合资助

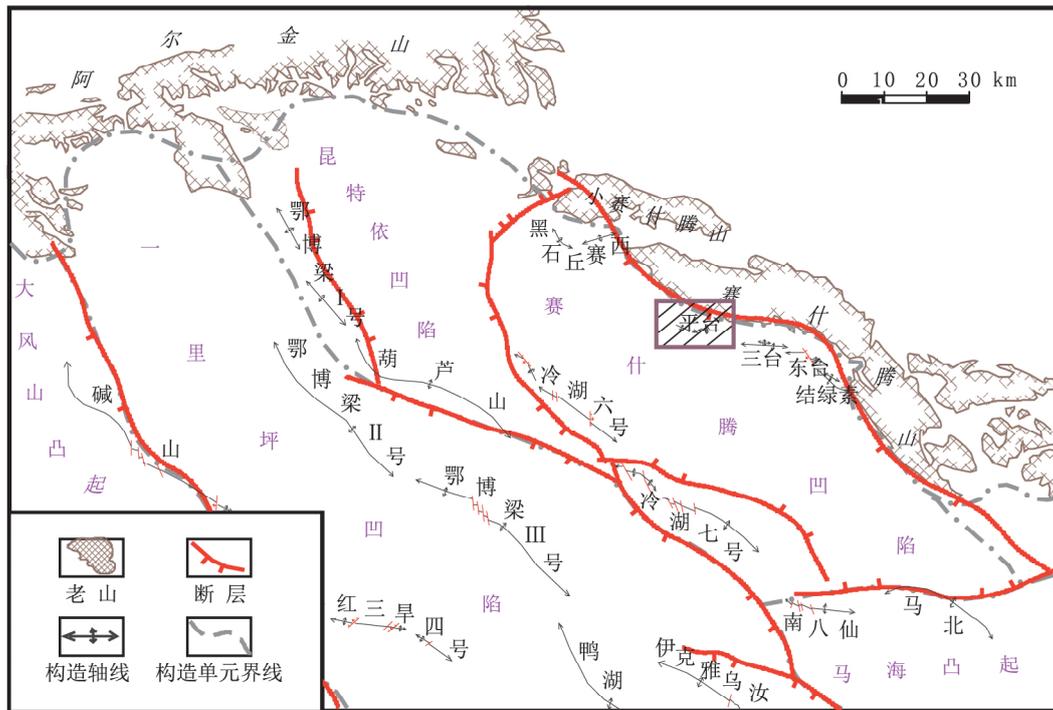


图1 柴达木盆地北缘断块带构造特征

Fig.1 Structural features in northern Qaidam Basin

表1 平台地区下干柴沟组下段砂岩的 X 射线衍射分析结果

Table 1 X-ray diffraction analyses of the minerals in the sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region

井号	深度 (m)	层位	岩性	矿物种类和含量 (%)										黏土矿物 (%)	
				石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	赤铁矿	方沸石	重晶石	硬石膏	锐钛矿		
P3	1185.72	E ₃ ¹	砂岩	45.6	2.1	8.2	19.6					1.9			22.6
P3	1186.42	E ₃ ¹	砂岩	42.3	1.6	9.4	15.2					1.5			30
P3	1187.32	E ₃ ¹	砂岩	51.5	2.2	7.8	15.9	5.3							17.3
P3	1187.52	E ₃ ¹	砂岩	22.1	2	5.2	7.4	41.5	2.8				0.8		18.3
P3	1189.25	E ₃ ¹	砂岩	49.4	2	7.1	13.4	14							14.1
P3	1189.32	E ₃ ¹	砂岩	47.4	1.5	11.8	10.8	2.1							26.4
P3	1190.04	E ₃ ¹	砂岩	32.4		5.3	8.7	35.1	4.3					0.9	13.3
P3	1191.32	E ₃ ¹	砂岩	47.2		8.5	14.1	2.4						1.9	25.8
P3	1192.42	E ₃ ¹	砂岩	46.6	2.1	8.6	21.5				1.1	1.2			19
P3	1193.04	E ₃ ¹	砂岩	45.1	2	10.6	20.6							1	20.5
P4	1848.10	E ₃ ¹	砂岩	39.1	2.3	14.4	9.2	2.6							32.5
P4	1848.51	E ₃ ¹	砂岩	36	2.3	11.5	15.7	7							27.5
P4	1848.87	E ₃ ¹	砂岩	23.7		7.6	19.7	28.5	2.2	0.9	1				16.5
P4	1849.71	E ₃ ¹	砂岩	31.3	2	12.3	33.9	2.1							18.4
P4	1851.18	E ₃ ¹	砂岩	39.6		14.8	7.1	9.1							29.4
P4	1851.26	E ₃ ¹	砂岩	55.8	2	10.7	6.4						1.1		23.9
P4	1852.28	E ₃ ¹	砂岩	38.6		17	7.2						4.4		32.8

碳酸盐胶结物主要以方解石和含铁方解石为主。在样品采集之前,我们对钻井岩心的粒度、颜色、岩石类型及沉积构造特征等进行了仔细地观测和分析研究,并且用1%的稀盐酸溶液对样品进行滴试,

根据产生气泡的剧烈程度来初步确定碳酸盐胶结物的含量和成分。碳酸盐胶结物中方解石含量越高,其对酸的反应越剧烈,气泡也越丰富^[15]。在初步确定碳酸盐胶结物含量和成分的基础上,进一步

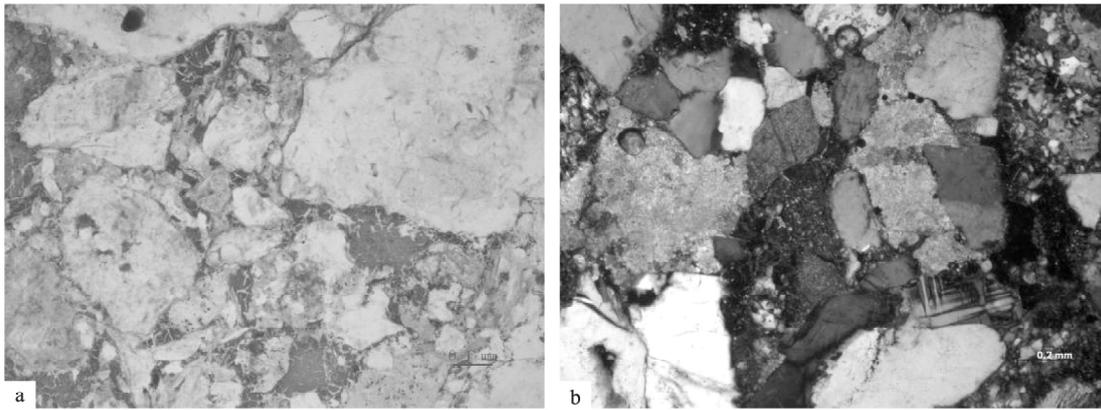


图2 平台地区下干柴沟组下段砂岩镜下特征

a. 平1井 663.60m E_3^1 等粒长石岩屑砂岩 粒间孔方解石胶结物(→), ×100; b. 平3井 1409.84m E_3^1 等粒长石岩屑砂岩 粒间孔方解石胶结物(+), ×100

Fig. 2 Photomicrographs of the sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region

通过镜下鉴定、扫描电镜及 X 射线显微分析方法,选择含单一碳酸盐胶结物的样品来分析其碳、氧同位素组成^[16]。分析方法主要采用 Al-Aasm 等(1990)的选择性酸抽提法^[17]。分析测试工作在甘肃省油气资源研究重点实验室完成。

2 结果与讨论

2.1 碳酸盐胶结物类型

柴达木盆地北缘山前带平台地区古近系地层分布广泛、发育齐全,自下而上依次为:路乐河组(E_{1+2})、下干柴沟组下段(E_3^1)和下干柴沟组上段(E_3^2);新近系地层以上干柴沟组(N_1)为主,上干柴沟组以上地层在本区多被抬升剥蚀。岩性以杂色砾岩、细砾岩及粗砂岩夹棕褐色泥质粉砂岩和泥岩为主^[18]。偏光显微镜下对研究区近 200 个岩石薄片进行岩石学和矿物学观察,并对含有明显碳酸盐胶结物的近 100 个薄片以茜素红与铁氰化钾染色。X 射线衍射分析结果显示,平台地区下干柴沟组下段砂岩主要以方解石和白云石为主(表 1),但显微镜下看到碳酸盐胶结物主要以方解石为主(图 2),很少见到白云石。方解石胶结物在平台地区各井区和各层位均有发育,大多形成于成岩作用早期,由富含钙离子的层间水和孔隙水沉淀形成。由于碳酸盐胶结物形成于成岩作用早期,多充填于碎屑颗粒周围、粒间孔和粒间孔的边缘,可以有效抵御压实作用造成的碎屑岩致密化。在成岩阶段中晚期,这些碳酸盐胶结物又易于发生溶蚀作用,形成次生的溶蚀孔隙,利于有效孔隙的形成^[19]。

2.2 黏土矿物特征

平台地区下干柴沟组下段(E_3^1)砂岩埋藏较

浅,成岩作用相对较弱。通过对薄片的镜下观察发现,碎屑颗粒之间主要以点接触为主,少部分碎屑颗粒之间以点-线接触为主(图 3)。镜下能见到云母碎片发生塑性变形,具有微定向排列特征(图 3),说明碎屑颗粒经历了一定程度的压实作用改造。孔隙类型主要以残余粒间孔为主,粒间溶孔较为发育,具有溶蚀扩大现象,孔隙连通性好(图 3)。黏土矿物发育,且多分布在碎屑颗粒的粒间孔隙内,常见伊利石呈针状或丝发状分布(图 3)。X 射线衍射分析表明,平台地区下干柴沟组下段(E_3^1)砂岩中黏土矿物非常发育,含量在 13.3% ~ 30.0% 之间,平均含量达到 21.0%。主要黏土矿物类型为伊利石、伊-蒙混层和绿泥石为主(表 2)。伊-蒙混层中蒙脱石含量较低,平均在 6% 左右。根据砂岩的成岩特征、黏土矿物发育特点和碳酸盐胶结物的特征,可以初步判定其所处的成岩阶段主要为早成岩阶段晚期。

2.3 碳酸盐胶结物氧、碳同位素组成

平台地区下干柴沟组下段(E_3^1)砂岩样品的详细信息见表 3。样品中碳酸盐胶结物的氧同位素值($\delta^{18}O$)较低,分布范围为-14.4‰ ~ -10.1‰,平均为-11.6‰;碳同位素值($\delta^{13}C$)也较低,介于-7.5‰ ~ -1.4‰之间,平均为-4.0‰;古盐度的 Z 值分布范围为 106.38wt% ~ 119.23wt%,平均值为 113.24wt%,碳酸盐沉淀温度分布范围为 71.49℃ ~ 101.01℃,平均值为 81.32℃。前人研究认为^[20],自然界中的碳主要以两种形式存在:一种是有机碳中的碳(亏损 $\delta^{13}C$),一种是碳酸盐中的碳(富含 $\delta^{13}C$)。根据自然界碳同位素的分馏机理^[21],无机碳源的 $\delta^{13}C$ 值分布范围在-4.0‰ ~ 4.0‰之内^[12]。平台地区的

碳同位素值($\delta^{13}\text{C}$)偏低,最小值达到了 -7.5‰ 。在成岩作用过程中,淡水淋滤和生物降解也可使 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值变低^[22],来源于有机质的碳,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般都小于 -4.0‰ ^[23]。据此可说明平台地区碳酸盐胶结物中的碳可能有少量有机碳混入。根据碳、

氧同位素组成与水介质的盐度变化关系,Keith和Weber^[24]提出了一个区分侏罗纪以来的海相灰岩和淡水灰岩的经验公式,通过古盐度的Z值大小可以有效区分其形成环境。即,当 $Z < 120$ 时为淡水灰岩;当 $Z > 120$ 时为海相灰岩。Z值还可用来指示形

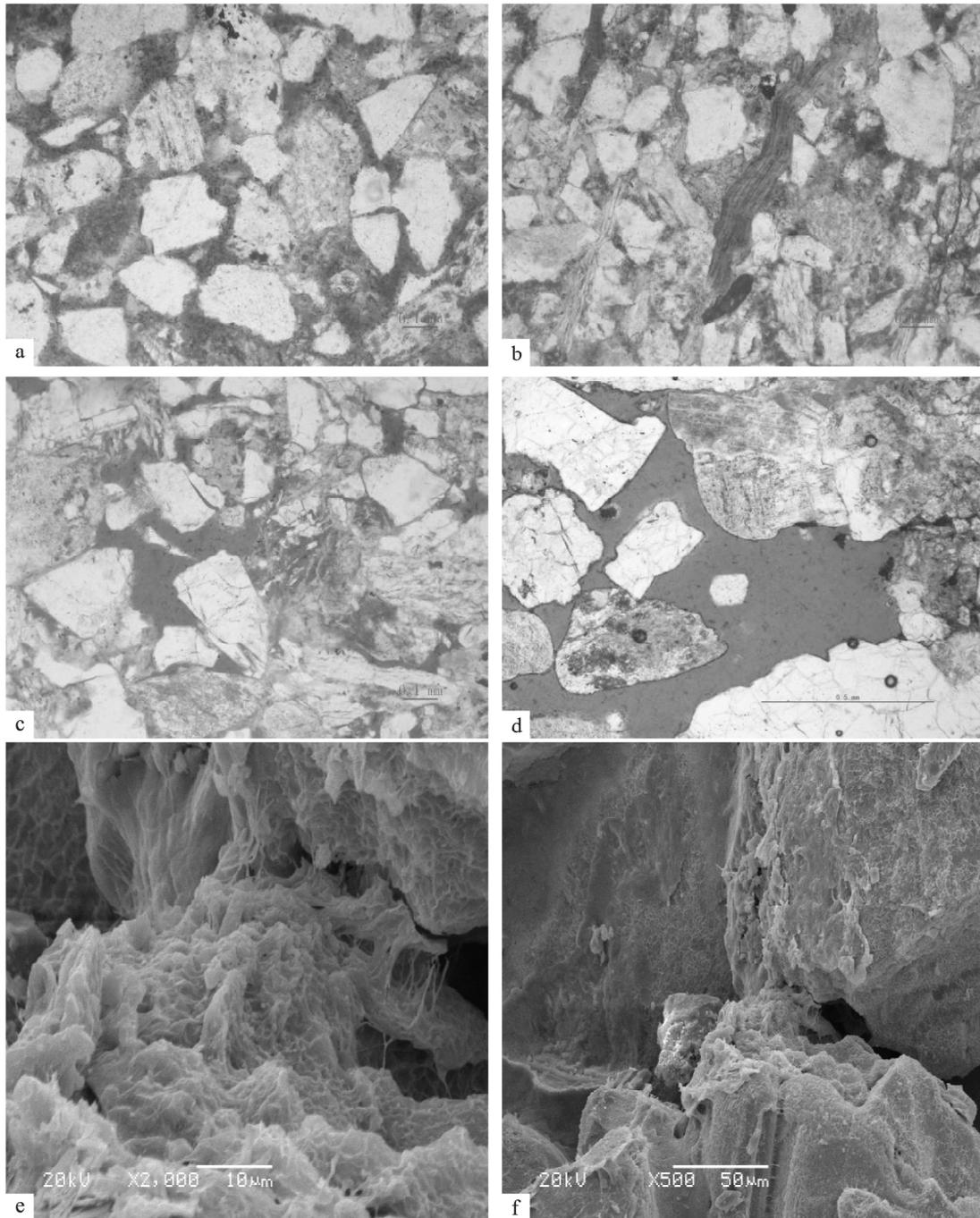


图3 平台地区下干柴沟组下段(E_3^1)砂岩孔隙结构特征

a. 平1井, E_3^1 629.50m,中-细粒岩屑长石砂岩,颗粒之间以点接触为主,孔隙发育,连通性好(→), $\times 100$; b. 平1井, E_3^1 629.80m,中-细粒岩屑长石砂岩,碎屑发生塑性变形,孔隙发育,连通性一般(→), $\times 100$; c. 平1井, E_3^1 621.30m,中粒长石岩屑砂岩,以粒间孔和粒内溶孔为主,孔隙发育,连通性好(→), $\times 100$; d. 平3井, E_3^1 1050.87m,巨-粗粒岩屑砂岩,可见自生方解石,孔隙发育,连通性好(→), $\times 100$; e、f. 平1井, E_3^1 , 532.50m,灰绿色砂砾岩,粒间孔发育丝状伊利石, $\times 2000$

Fig. 3 Pore structures in the sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region

表2 平台地区下干柴沟组下段(E_3^1)砂岩X射线衍射分析

Table 2 X-ray diffraction analyses of the sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region

样号	深度 (m)	岩性	黏土矿物相对含量(%)					混层比(S%)		黏土矿物 (%)	
			S	I/S	I	K	C	C/S	I/S		C/S
P3	1185.72	砂岩		52	38		10		6		22.6
P3	1186.42	砂岩	13	48	34		5		5		30
P3	1187.32	砂岩		15	76		9		5		17.3
P3	1187.52	砂岩	11	27	53		9		5		18.3
P3	1189.25	砂岩	16	45	32		7		5		14.1
P3	1189.32	砂岩	9	48	34		9		5		26.4
P3	1190.04	砂岩		67	29		4		5		13.3
P3	1191.32	砂岩		63	32		5		5		25.8
P3	1192.42	砂岩		31	58		11		7		19.0
P3	1193.04	砂岩	11	54	30		5		5		20.5
P4	1851.26	砂岩		27	57		16		15		23.9

标准: SY/T 5163-1995。S+I/S+I+K+C+C/S=101 或 99 为小数修约为整数所致,非数据偏差。按有关标准规定,将混层比大于70%的I/S划入蒙皂石。S. 蒙脱石; I/S. 伊/蒙混层; I. 伊利石; K. 高岭石; C. 绿泥石; C/S. 绿/蒙混层。混层比,例如20%,表明伊/蒙或绿/蒙混层中蒙脱石含量为20

成环境的古盐度值^[24-27],即:

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

式中 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值均为PDB标准。根据平台地区上干柴沟组下段砂岩中碳酸盐胶结物的碳、氧同位素组成,利用上式计算出其Z值最大为

119.23wt%,最小为106.38wt%(表3),平均值为113.24wt%,均小于120wt%,表明碳酸盐胶结物的成岩流体主要为淡水流体。根据其形成环境,认为淡水流体主要为来自砂岩碎屑的析出水和大气中的淋滤淡水。

表3 平台地区碳酸盐胶结物的氧、碳同位素组成(‰)

Table 3 Carbon and oxygen isotopic compositions in the carbonate cements in the sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region (‰)

井号	深度(m)	层位	岩性	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	t(°C)	Z(wt%)
平1井	532.95	E_3^1	灰绿色含砾粗砂岩	-5.077	-11.451	80.168	111.200
平1井	601.41	E_3^1	棕红色细砂岩	-7.502	-11.161	78.242	106.378
平1井	602.85	E_3^1	棕红色砂砾岩	-4.945	-14.442	101.013	109.981
平1井	603.31	E_3^1	灰绿色砂砾岩	-2.893	-12.675	88.482	115.063
平1井	604.75	E_3^1	棕红色粉砂质泥岩	-5.661	-10.444	73.552	110.505
平1井	620.4	E_3^1	棕红含泥质细砂岩	-5.026	-11.378	79.682	111.341
平1井	624.78	E_3^1	棕红色泥质粉砂岩	-5.125	-12.247	85.541	110.705
平1井	628.63	E_3^1	棕红色泥质粉砂岩	-2.671	-13.195	92.105	115.259
平1井	629.6	E_3^1	灰绿色中粗砂岩	-1.446	-10.259	72.359	119.230
平1井	659.61	E_3^1	棕红色粗砂岩	-1.88	-11.823	82.663	117.562
平1井	661.59	E_3^1	含砾粗砂岩	-1.463	-11.547	80.809	118.553
平1井	662.56	E_3^1	棕红色粉砂质泥岩	-3.995	-10.123	71.486	114.077
平1井	663.63	E_3^1	灰绿色粉砂岩	-4.84	-11.032	77.391	111.894
平1井	666.06	E_3^1	灰绿色砾质粗砂岩	-3.261	-12.078	84.389	114.607
平1井	667.46	E_3^1	灰绿色砂砾岩	-4.576	-10.693	75.169	112.603
平1井	675.36	E_3^1	棕红色粉砂质泥岩	-4.654	-10.432	73.475	112.573
平1井	676.85	E_3^1	棕红色粉砂质泥岩	-3.71	-12.303	85.924	113.575

一般情况下,随埋深增加方解石胶结物的 $\delta^{18}\text{O}$ 值出现负偏^[28]。 $\delta^{18}\text{O}$ 与水体的温度关系比较密切。在盐度不变的情况下, $\delta^{18}\text{O}$ 随温度的升高而降低。Shackleton等^[29]在前人研究的基础上提出了古温度计算公式:

$$t = (16.9 \sim 4.38) + 0.1(\delta_c - \delta_w)^2$$

式中 t 为碳酸盐形成时的海水古温度($^{\circ}\text{C}$) δ_c 为测得碳酸盐岩中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(PDB标准‰) δ_w 为当时的海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值(SMOW标准‰)本文 δ_w 取0值。用平台地区下干柴沟组下段砂岩中碳酸盐胶结物的碳、氧同位素值组成计算的古温度(t)最大值为 101.01°C ,最小值为 71.49°C ,平均值为 81.32°C 。根据其成岩温度,表明储集砂岩所处的成岩阶段为早成岩阶段晚期。

3 结论

(1) 平台地区古近系下干柴沟组下段岩性以杂色砾岩、细砾岩及粗砂岩夹棕褐色泥质粉砂岩和泥岩为主。镜下鉴定和X射线衍射分析都表明,该区主要发育方解石和白云石两种胶结物类型。碳酸盐胶结物形成于成岩作用早期,多充填于碎屑颗粒周围、粒间孔和粒间孔的边缘,可以有效抵御压实作用造成的碎屑岩致密化。在成岩阶段中晚期,这些碳酸盐胶结物又易于发生溶蚀作用,可以为溶蚀作用提供有效的物质基础,形成次生的溶蚀孔隙。

(2) 平台地区下干柴沟组下段(E_3^1)砂岩埋藏较浅,成岩作用相对较弱。黏土矿物较为发育,含量在 $13.3\% \sim 30.0\%$ 之间,平均含量达到 21.0% 。主要的黏土矿物类型为伊利石、伊-蒙混层和绿泥石。颗粒间云母碎片等碎屑发生塑性变形,具有微定向排列特征,说明经历了一定程度的压实作用改造。孔隙类型主要以残余粒间孔为主,粒间溶孔也较为发育,具有溶蚀扩大现象,孔隙连通性好。根据其成岩特征、黏土矿物发育特点和碳酸盐胶结物的特征,可以初步判定其所处的成岩阶段主要为早成岩阶段晚期。

(3) 碳酸盐胶结物的碳、氧同位素分析结果显示,碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)值介于 $-7.5\% \sim -1.4\%$ 之间,平均为 -4.0% ;氧同位素值($\delta^{18}\text{O}$)介于 $-14.4\% \sim -10.1\%$,平均为 -11.6% 。通过计算其古盐度 Z 值分布范围为 $106.38 \sim 119.23\text{wt}\%$,平均值为 $113.24\text{wt}\%$;推测其形成温度分布范围为 $71.49 \sim 101.01^{\circ}\text{C}$,平均值为 81.32°C 。

参考文献:

- [1] BOLES J R. Carbonate cementation in Tertiary sandstones, San Joaquin Basin, California [J]. Special Publications of International Association of Sedimentologists, 1998, 26: 261-284.
- [2] ANTAR A W, EARLE F M. Origin of giant calcite cemented concretions, Temple Member, Qasr El Sagha Formation (Eocene), Faiyum depression, Egypt [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71(1): 70-81.
- [3] 孙玉善, 申银民, 徐迅, 等. 应用成岩岩相分析法评价和预测非均质性储层及其含油性——以塔里木盆地哈得逊地区为例[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 55-59.
- [4] CARLOS R, RAFAELA M, KARL R, et al. Facies-related diagenesis and multiphase siderite cementation and dissolution in the reservoir sandstones of the Khatatba Formation, Egypt's western desert [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71(3): 459-472.
- [5] WANG QI, ZHUO XIZHUAN, LI XIAOYAN, et al. Carbon and oxygen isotopic composition of different phase carbonate cements in terrigenous siliciclastic reservoir and significance for their origin: A case study from sandstones of Yanchang Formation (Triassic), southwestern Ordos basin, China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2008, 27: 249-256.
- [6] 孙国强, 吕婧文, 赵明君, 等. 柴达木盆地鄂博梁III号成岩作用及沉积环境[J]. 沉积学报, 2015, 33(2): 337-347.
- [7] 姚泾利, 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.
- [8] MACAULA Y C I, HASZELDINE R S, FALLICK A E. Distribution, chemistry, isotopic composition and origin of diagenetic carbonates: Magnus Sandstone, North Sea [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(1): 33-43.
- [9] MOSTAFA F, HARRISON T M, GROVE M. In situ stable isotopic evidence for protracted and complex carbonate cementation in a petroleum reservoir, North Coles Levee, San Joaquin Basin, California, USA [J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71(3): 444-458.
- [10] 孙国强, 王海峰, 邹开真, 等. 柴北缘九龙山地区侏罗系砂岩中碳酸盐胶结物特征及意义[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(9): 1358-1365.
- [11] ORTOLEVA P J. Basin Compartments and Seals [M]. Tulsa: AAPG Publishing Bureau, 1994. AAPG memoir 61 #77.
- [12] 黄思静, 石和, 张萌, 等. 锶同位素地层学在碎屑岩成岩研究中的应用[J]. 沉积学报, 2002, 20(3): 359-366.
- [13] 孙国强, 陈波, 郑永仙, 等. 柴北缘冷湖五号构造中新统成岩作用及沉积环境[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(4): 677-688.
- [14] 王琪, 嵇喜准, 陈国俊, 等. 延长组砂岩中碳酸盐胶结物氧同位素组成特征[J]. 天然气工业, 2007, 27(10): 28-32.
- [15] 董福湘, 刘立, 马艳萍. 大港滩海地区沙一段下部砂岩储层中方解石胶结物碳同位素研究[J]. 石油实验地质, 2004, 26(6): 590-593.
- [16] 王琪, 郝乐伟, 陈国俊, 等. 白云凹陷珠海组砂岩中碳酸盐胶

- 结物的形成机理[J]. 石油学报 2010, 31(4): 554-560
- [17] 孙国强, 马进业, 王海峰, 等. 柴达木盆地北缘马北地区碳酸盐胶结物特征及意义[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 134-139.
- [18] 孙国强, 刘伟明, 郑永仙, 等. 史基安柴北缘平台地区路乐河组砂岩储层特征[J]. 沉积学报 2016, 34(2): 356-363.
- [19] 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.
- [20] 蔡观强, 郭锋, 刘显太, 等. 东营凹陷沙河街组沉积岩碳氧同位素组成的古环境记录[J]. 地球与环境, 2009, 37(4): 347-354.
- [21] HUDSON J D. Stable isotopes limestone lithification [J]. Journal of Geological Society, 1977, 133(4): 637-660.
- [22] 刘德良, 孙先如, 李振生, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系白云岩碳同位素分析[J]. 石油实验地质 2006, 28(2): 155-161.
- [23] ZHANG J, HE Z, XU H B, et al. Petrological characteristics and origin of Permian Fengcheng Formation dolomitic rocks in Wuerhe-Fengcheng Area, Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2012, 30(5): 859-867.
- [24] KEITH M H, WEBER J N. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1964, 28: 1787-1816.
- [25] 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系[J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 17-28.
- [26] 傅启龙. 库车盆地西北缘下第三系碳氧同位素特征及成岩环境[J]. 地层学杂志, 1996, 20(4): 280-283.
- [27] 邵龙义, 龚建伟, 张鹏飞. 西南地区晚二叠世氧、碳稳定同位素的古地理意义[J]. 地球化学, 1996, 25(6): 575-580.
- [28] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社 2000. 137-196.
- [29] SHACKLETON N J, KENNETT J P. Paleotemperature history of the Cenozoic and the initiation of Antarctic glaciation: Oxygen and carbon isotope analysis in DSDP sites 277, 279, and 281 [J]. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 1975, 29: 743-755.

Characteristics and significance of the carbonate cements in the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region, northern Qaidam Basin

Wu Zong-tao¹, Sun Guo-qiang², Wang Feng³, Guo Jia-jia^{2,4}, Liu Wei-ming^{2,4}, Wang Ye-tong^{2,4}
 (1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province/ Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. Petroleum Exploration Division, Qinghai Oil Field Company, CNPC, Dunhuang 736202, Gansu, China; 4. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In the light of petrological, mineralogical and geochemical data, the present paper deals, in detail, with diagenetic temperature, genetic environment and origin of the carbonate cements in the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region, northern Qaidam Basin. The reservoir sandstones comprise the carbonate cements calcite and dolomite, and authigenic clay minerals illite, chlorite and illite-montmorillonite. The carbonate cements have low carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) values ranging from -7.5‰ to -1.4‰ with an average of -4.0‰, oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) values from -14.4‰ to -10.1‰ with an average of -11.6‰, and palaeosalinity (Z) values from 106.38 wt% to 119.23 wt% with an average of 113.24 wt%. All these values indicate the involvement of minor amount of organic carbon during the early diagenetic stage of the reservoir sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region. The carbonate cements have the formation temperatures from 71.49°C to 101.01°C, with an average of 81.32°C. The above-mentioned results show that the diagenetic stage of the reservoir sandstones from the lower member of the Palaeogene Xiaganchaigou Formation in the Pingtai region belongs to the late stage of the early diagenesis.

Key words: carbonate cement; clay mineral; carbon isotope; oxygen isotope; Pingtai region