

文章编号: 1000-0550(2012)05-0859-09

# 乌尔禾—风城地区二叠系白云质岩类岩石学特征及成因分析<sup>①</sup>

张杰<sup>1,2</sup> 何周<sup>3</sup> 徐怀宝<sup>3</sup> 季换成<sup>3</sup> 袁青<sup>3</sup> 史基安<sup>1</sup> 鲁新川<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心 兰州 730000; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;

3. 新疆油田公司风城油田作业区 新疆克拉玛依 834000)

**摘要** 为了探讨准噶尔盆地西北缘乌尔禾—风城地区二叠系风城组白云质岩类的成因,利用岩矿鉴定技术、地球化学分析技术等手段,系统分析该套云质岩类的地球化学特征。研究表明,该区云质岩类有别于海相碳酸盐岩,受外物源的影响较大,成份复杂,多为过渡性岩类。以泥质白云岩和白云质泥岩和白云质粉砂岩为主,含有少量的凝灰质白云岩和白云质凝灰岩。岩石矿物学特征和地球化学分析数据均表明,研究区的云质岩类主要形成于水体安静、深度较大、盐度偏高的半封闭陆源近海湖湾环境。二叠系时期气候炎热,蒸发作用强烈与火山活动频繁,加之淡水补给相对匮乏,为该区云质岩类形成提供了良好的镁离子来源和水动力条件。这时湖湾中沉积的富含文石或高镁方解石的泥岩或凝灰岩,在早成岩阶段经过渗透回流白云石化作用形成了大量泥质白云岩、白云质泥岩和白云质粉砂岩。在中晚成岩阶段,经过埋藏作用生成自形或半自形的细晶—中晶白云石。

**关键词** 二叠系 乌尔禾—风城地区 风城组 地球化学特征 白云石化作用 成因模式

**第一作者简介** 张杰 男 1986年出生 博士研究生 沉积储层及地球化学 E-mail: ltzj808@126.com

**通讯作者** 鲁新川 E-mail: xclu@lzb.ac.cn

**中图分类号** P588.24+5 **文献标识码** A

## 0 引言

世界上油气总储量的50%(油气产量的60%)来自碳酸盐岩储层,其中一半以上由白云岩储层构成;在北美、中东及远东地区,甚至有高达80%的碳酸盐岩储层为白云岩或受到白云岩化作用改造的储层。我国目前发现的3个海相大油气田中(塔河、靖边、普光),与白云岩储层有关的就有2个。可见白云岩储层在含油气储层中占很大的比重,但是围绕白云岩的形成环境、物质来源、作用阶段和成因模式等一直是地质工作者讨论的前沿课题<sup>[1]</sup>,至今依然是碳酸盐岩研究中最复杂和最难解决的热点问题之一<sup>[2]</sup>。虽然前人已就这一系列问题做出的不懈的努力和探索,但研究工作大多是针对海相白云岩成因,而对于陆相盆地中白云岩的成因研究较少。此类白云岩在我国东营凹陷古近系、泌阳凹陷古近系、准噶尔盆地南缘二叠系、三塘湖盆地二叠系均有产出。所以,加强陆相盆地白云岩的成因、成岩作用及其储集性等的研究分析,有利于指导下一步的油气勘探工

作。2008年在准噶尔盆地西北缘乌尔禾—风城地区的二叠系风城组油气勘探取得重大突破,油藏储层为二叠系风城组的白云质岩类。但是到目前为止,该套白云质岩类储层的成因机制还不明确,其分布区带和储层物性控制因素还有待进一步研究。本文试图通过对研究区云质岩类的岩矿特征和地球化学特征的分析,探讨其成因机理,这将为确定该类白云岩化储层成因及分布区带提供帮助。

## 1 区域地质概况

乌尔禾—风城地区位于准噶尔盆地西北边缘北部的佳木河下游,西南距克拉玛依市100 km,属西北缘前陆冲断带中北部的一段。该区深层断裂发育,围绕主体断裂衍生了许多与主断裂平行或斜交的次生断层,构成一系列断阶,宽度约16 km,这些断裂为油气运移和遮挡提供了有利条件<sup>[3~6]</sup>。研究区自晚古生代以来经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合和沉积体系,控制了油气的生成、运

<sup>①</sup>准噶尔盆地岩性地层油气藏富集规律与目标评价(编号:2011ZX05000-01-06) 国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号:2011CB201104)资助。  
收稿日期:2012-01-20; 收修稿日期:2012-04-21

移、聚集和散失。勘探实践表明,该地区二叠系储集层除了以冲积扇或扇三角洲沉积的砂砾岩为主的碎屑岩储层外,还发育有白云岩化储集层和火山岩类储集层。储层物性的影响因素比较复杂,沉积条件、成岩作用、构造作用、甚至热液作用都有可能对储层分布和物性产生影响或控制作用。

## 2 白云质岩类的岩石学特征

研究区风城组云质岩类的白云石含量变化较大,主要分布于5%~45%之间,白云石含量超过50%的岩石罕见,大部分“白云岩”实际上应称为云质岩类(白云石含量25%~50%)和云化岩类(白云石含量10%~25%)<sup>[7]</sup>,且以泥质白云岩、白云质泥岩和白云质粉砂岩为主。其中白云石的晶体大小变化较大,主要有:粉晶、细晶、微晶和泥晶等类型。晶体的自形程度以半自形为主,少量自形。粉晶、微晶和泥晶白云石自形程度稍差,以半自形为主,细晶和中晶的自形程度较高,一般为自形(图1-c,d)。在云化岩石中,基质组分主要为富含凝灰质的泥岩、钙质泥岩或硅质泥岩(图1-f)。

白云石晶体在岩石中分布极不均匀,一般以条带状、纹层状或团块状分布,或沿岩石的层理、裂隙充填(图1-a,b,c,f)。部分晶体的白云岩化作用并不完全,仍可见到残余的方解石(图1-g)。在云质岩中,许多地带的白云岩化作用是沿裂隙发育,在岩石裂隙中常有大量自形或半自形白云石充填,但是这些白云石的晶间孔中常充填有他形方解石与白云石共生。白云岩化作用在灰色、深灰色泥质岩或凝灰质泥岩中最为发育,常见到大量半自形粉晶或细晶白云石沿泥质岩水平和波纹状纹层或层理顺层分布(图1-h)。通过对乌尔禾—风城地区云质岩类的扫描电镜结合能谱分析表明,该地区二叠系风城组云质岩类的基质组分中含有大量硅铝组分,这与镜下所见到的半自形的细晶、粉晶或微晶状白云石分布于凝灰质或泥质基质组分中相符(图1-h)。

白云石的晶体特征与其形成环境之间存在着密切关系,结合乌尔禾—风城地区二叠系云质岩类中白云石晶体特征(主要包括晶体大小、晶型、晶面、晶间关系等)及其结构构造特点,加上显微特征的研究表明,该白云岩主要为浅埋藏—中埋藏阶段交代作用形成的。

研究区风城组的沉积粒度总体较小,整个风城组可细分为三段,其中风三段上部沉积是褐色砂泥岩

类,风三段下部、风二段和风一段主要是白云质泥岩和泥质白云岩互层,并夹杂有薄层的泥岩类、凝灰岩类,颜色以深灰、灰绿、灰色为主(图2)。该组中沉积构造也非常发育,常见的有波状纹层、水平层理、泄水构造、揉皱构造、香肠构造等。白云岩常在岩石中呈条带状、团块状或香肠状、透镜状分布,部分呈星点状或纹层状分布(图1-a,b)。云质岩发育的岩性以颜色深(深灰色为主)、粒度细(泥岩或粉砂质泥岩)为特征。

综合分析乌尔禾—风城地区云质岩类的结构特征和沉积构造,反映了研究区二叠系风城组形成于水动力条件弱,水体比较深,相对安静的湖泊沉积环境。

## 3 微量元素特征

现代海水沉积白云质岩类的Sr含量为1 000~1 200  $\mu\text{g/g}$ <sup>[8]</sup>;与蒸发盐有关的超盐白云岩Sr含量较高,可达550  $\mu\text{g/g}$ ;埋藏白云岩Sr含量为60~170  $\mu\text{g/g}$ ;混合带白云岩Sr含量一般70~250  $\mu\text{g/g}$ 。Land认为,古代白云岩中,Sr的含量很少超过200  $\mu\text{g/g}$ <sup>[9]</sup>。研究区云质岩类中Sr含量介于95.9~783.6  $\mu\text{g/g}$ 之间,平均为447  $\mu\text{g/g}$ (表1),Sr含量变化范围较大,可能受到陆源淡水的补给或者强烈蒸发作用的影响,说明形成环境可能以咸水为主,少量的淡水补给。与咸湖环境(蒸发盐)沉积有关。

碳酸盐岩中V/Ni比值具有一定的指相意义,研究表明,湖湘环境沉积的其比值最大,常可达3以上。暴露环境的一般在2左右,而海相环境沉积的其比值最小,一般不超过1。研究区云质岩类的V/Ni值变化较大,主要分布在1.2~2.9之间,说明云质岩类形成环境复杂,水体盐度变化较大,主要形成于微咸湖—咸湖环境中。根据其Mn含量可以判断沉积物形成时的水体深度,边缘海和碳酸盐台地潮坪环境灰岩的Mn含量为59~92  $\mu\text{g/g}$ 。一般浅水的环境中主要沉淀文石,而较深的水环境则沉淀方解石。富含文石的浅水碳酸盐岩,Mn的含量不到20  $\mu\text{g/g}$ ,而富含方解石的深水碳酸盐岩的Mn含量可以达到几千至几万  $\mu\text{g/g}$ <sup>[10]</sup>。二叠系白云质岩类样品的Mn含量较低,在133~985  $\mu\text{g/g}$ 之间,平均为579  $\mu\text{g/g}$ ,反映了原生沉淀矿物主要是较深的水环境下生成的文石。

## 4 白云质岩类碳、氧同位素特征

碳酸盐岩中的氧碳稳定同位素( $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ )特征主要反映其形成环境和形成温度, $\delta^{18}\text{O}$ 值主要与

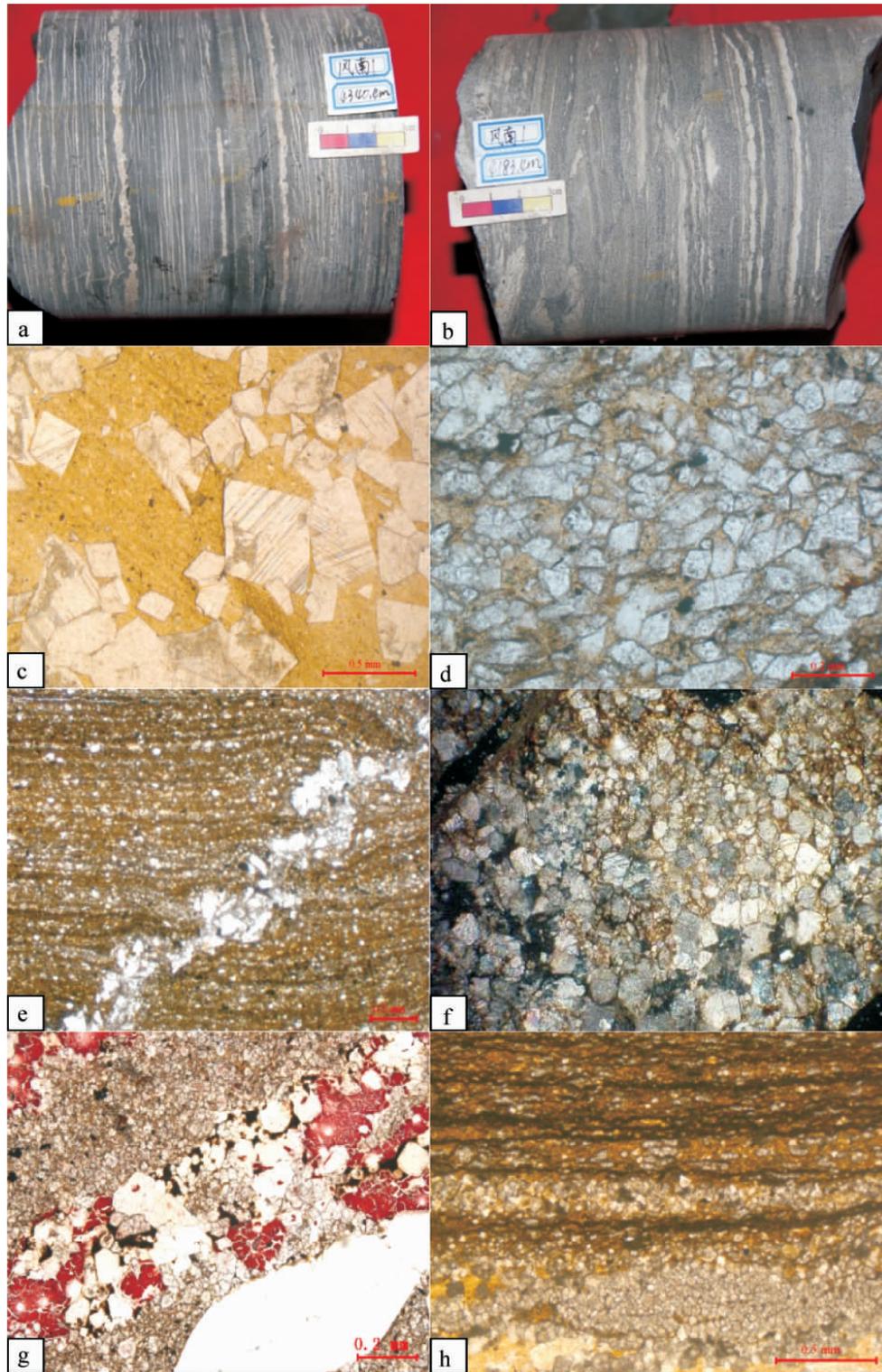


图 1 乌尔禾—风城地区二叠系风城组白云岩显微照片

a. FN1 井 #340.4 m  $P_1f^2$  水平和波状纹层; b. FN1 井 #183.4 m  $P_1f^2$  水平层理、揉皱构造、香肠构造; c. F503 井 #093.15 m  $P_1f^3$  白云质泥岩中的自形白云石晶体显微特征 单偏光; d. F3 井 #245.0 m  $P_1f^3$  泥质细晶白云岩 单偏光; e. F7 井 #193.50 m  $P_1f^3$  凝灰质泥岩中细晶白云岩常沿微裂隙分布 单偏光; f. F3 井 #195.0 m  $P_1f^3$  泥质粉晶白云岩 单偏光; g. FN3 井 #131.18 m  $P_1f^2$  在白云质泥岩的裂隙和白云石晶间孔中有方解石充填; h. W35 井 #424.45 m  $P_1f^3$  在云质泥岩中可见黑色有机质顺层富集 单偏光。

Fig. 1 The thin-section micrographs of Permian Fengcheng Formation dolostone in Wuerhe-Fengcheng Area

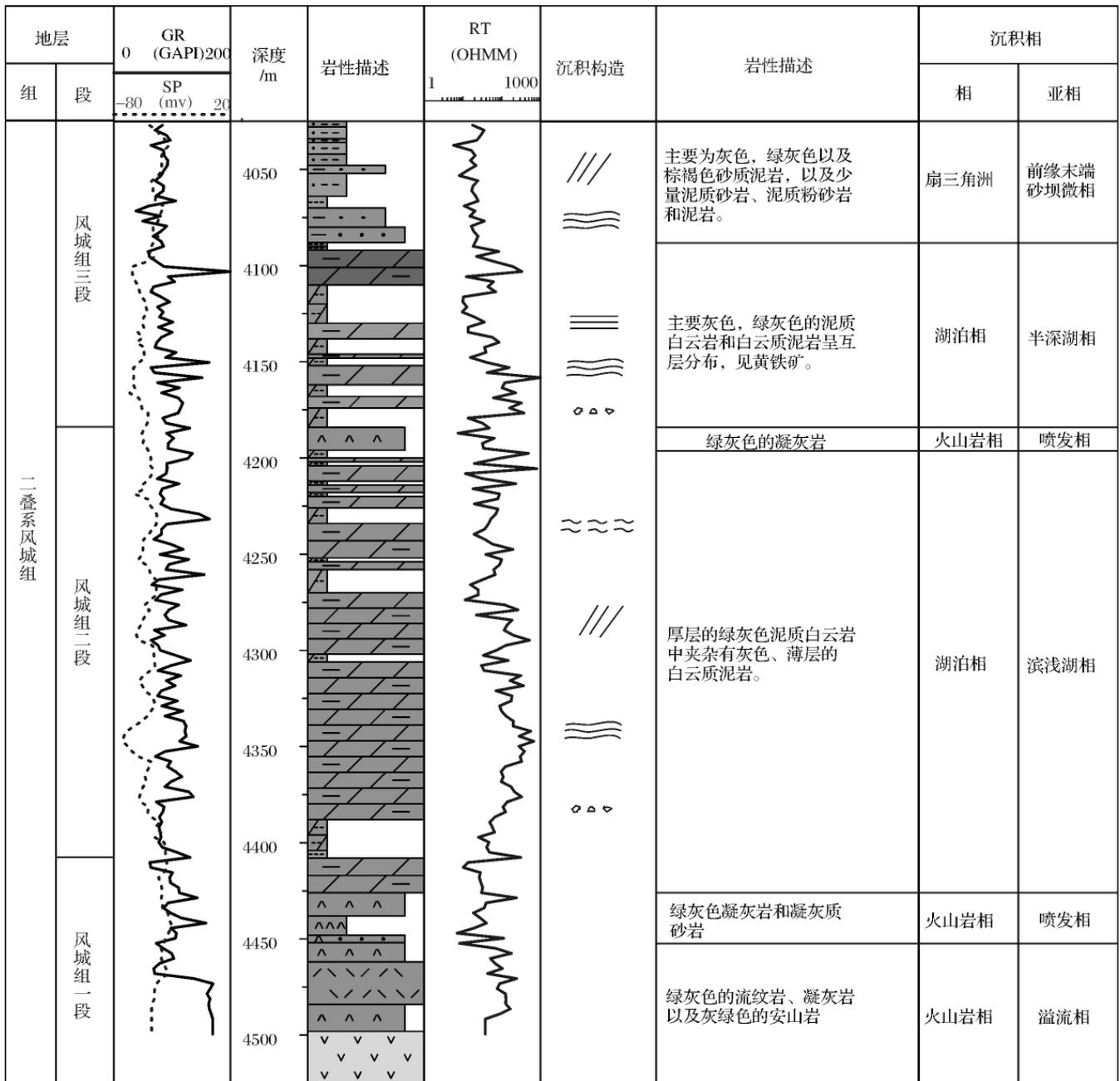


图 2 乌尔禾—风城地区 FN1 井二叠系风城组沉积相分析图

Fig. 2 Sedimentary facies analysis of the Permian Fengcheng Formation of Well FN1 in Wuerhe-Fengcheng Area

形成温度及水体性质有关, 形成温度越高其值越轻;  $\delta^{13}\text{C}$  值主要取决于水体盐度和 C 的来源, 盐度越高该值越重, 来源于有机质的 C 其  $\delta^{13}\text{C}$  一般较轻。

研究区云质岩类的  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  值分布范围较大, 主要分布于两个区域(图 3), 大部分样品分布于 A 区, 其  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  值较重, 表明其形成于水体盐度较高、温度较低的环境中, 这部分白云石应该是盐湖中沉积的富含文石和高镁方解石的灰泥在早成岩

阶段经过白云岩化作用形成的。分布于 B 区的  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  值较轻, 这些少量样品的白云岩化作用可能是发生在成岩中晚期温度较高环境中, 其中可能有有机质来源的 C 混入 ( $\delta^{13}\text{C}$  值较轻) [11-18]。

由于蒸发分馏作用, 使得蒸发残留海(湖)水中富含  $\delta^{18}\text{O}$ , 而且蒸发作用越强, 残留海(湖)水中盐度越高  $\delta^{18}\text{O}$  值也越高。陆上淡水的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值则相对较低。

表 1 乌尔禾—风城地区二叠系风城组白云质岩类微量元素分析结果(μg/g)

Table 1 The trace element contents of Permian Fengcheng Formation dolomitic rocks in Wu-Feng Area

井号	收样编号	深度/m	岩性	P	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Sr	V/Ni
F18	F18-1	3197.8	白云质泥岩	143.2	63.4	31.5	747.5	2.63	28.1	533.4	2.256227758
F19	F19-1	3735.2	白云质泥岩	2400.6	77.3	17.1	361.6	7.25		95.9	\
F20	F20-7	3162.2	白云岩	1356.9	77.5	50.5	802.4	4.87	26.9	752.4	2.881040892
FC1	FC1-1	4274.2	云化泥质粉砂岩	86.1	68.1	47.6	589.2	2.76	30.3	420.7	2.247524752
FN1	FN1-7	4183.4	深灰色白云质泥岩	107.9	46.6	30.9	441.6	2.57	32.3	420.7	1.442724458
FN2	FN2-5	4037.9	凝灰质白云岩	73.5	46.1	32.4	361.9	2.2	19.8	499.4	2.328282828
FN2	FN2-6	4039.6	凝灰质白云岩	66.1	29.4	28	535.3	2.31	25.9	760.3	1.135135135
FN3	FN3-13	4129.7	泥质白云岩	2321.3	40.3	41.6	668.8	2.53	34.1	783.6	1.181818182
FN3	FN3-4	3909.8	灰黑色泥质白云岩	102.9	108.6	62.6	656.3	6.3	67.8	290	1.601769912
X72	X72-7	4809.7	白云岩	92.3	12.5	15.9	184	2.36		105.5	\
FC011	FC011-1	3861.3	白云质粉砂岩	1040.6	44	35.2	338.7	3.05	24	600.8	1.833333333
FC011	FC011-2	3860.8	白云质粉砂岩	135.8	50.7	42.3	455.8	2.56	24.1	376.5	2.10373444

注: 分析单位. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心地球化学测试部; 设备名称. X 射线荧光光谱仪; 检测依据. 硅酸岩化学分析法 X 射线荧光光谱法; 工作标准. GB/T 14506.28—1993; 分析误差. 常量元素小于 5% ,微量小于 10%

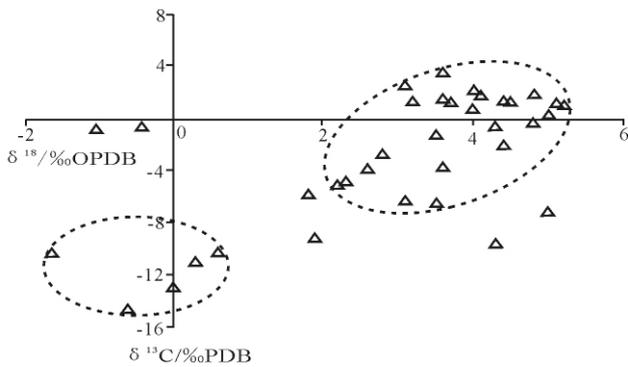


图 3 乌尔禾—风城地区二叠系风城组白云岩碳、氧同位素分布图(数据源于表 2)

Fig. 3 The cross-plot of stable isotopic composition of Permian Fengcheng Formation dolostone in Wu-Feng Area

白云岩的碳、氧同位素组成受控于成岩介质的盐度和温度。 $\delta^{13}C$  代表白云岩形成的初始沉积环境, 通常与生物埋藏速率和古盐度有关<sup>[21]</sup>, 研究区  $\delta^{13}C$  较轻(表 2), 为  $-1.6‰ \sim 5.2‰$ , 平均  $2.9‰$ 。尽管  $\delta^{18}O$  也受盐度的控制, 但是由于氧同位素在沉积后的置换作用较强, 并且易受后期大气降水淋滤等因素的影响<sup>[7]</sup>, 因此, 随着埋深的增大、温度的升高、埋藏时间的加长,  $\delta^{18}O$  会逐渐负值增大。二叠系白云岩整体有贫  $\delta^{18}O$  的趋势(表 2), 为  $-14.8‰ \sim 3.2‰$ , 平均  $-3.01‰$ 。此外, 根据  $\delta^{18}O$  值计算白云岩形成的盐度和温度<sup>[7]</sup>: 盐度:  $S = \delta^{18}O \text{ PDB} + 21.2 / 0.61$ ; 温度:  $T = 13.85 - 4.54\delta^{18}O \text{ PDB} + 0.04(\delta^{18}O$

PDB)<sup>2</sup>。计算结果(表 2)表明区内该套白云质岩类形成温度差异较大, 说明该区的白云质岩类为不同的期次形成的。

### 5 白云质岩类成因机制

早二叠世晚期, 乌尔禾—风城地区处于亚热带—暖温带( $40^\circ N$  以南), 气候总体上为半干旱气候, 蒸发作用较强。但随着冈瓦纳大陆冰川作用的结束, 全球气候转暖。欧亚泛大陆的逐渐形成, 板块焊接造山而导致强烈的火山活动产生的  $CO_2$  造成的温室效应, 使得气候由半干旱向干旱转变, 炎热强度进一步加大, 蒸发作用加强<sup>[22, 23]</sup>。在研究区形成了一个水体盐度偏高的半闭塞湖湾, 加之该地区淡水补给相对匮乏, 使得该湖湾盐度继续增高。此外, 由于该时期在风城以东地区和 X76 井区、X72 井区至玛北一带火山活动频繁, 造成在乌尔禾—风城地区水体较为安静的湖湾中沉积了富含凝灰质或灰泥质组分的粉砂质泥岩或泥质沉积物。在这种水体盐度和 pH 值偏高的水体中沉积的灰泥组分中, 富含高镁方解石和文石。这些就为白云岩化作用准备好了物质基础。在成岩作用早期, 蒸发作用下形成的密度较大的富  $Mg^{2+}$  高盐度卤水, 向下渗透至湖盆沉积物中这类富含高镁方解石和文石的凝灰质或粉砂质的灰泥组分中发生白云岩化, 形成的白云岩主要为泥晶或粉晶白云岩, 并经常伴随有膏岩层发育。在成岩作用中晚期, 由地表下渗的卤水或者沉积岩内部的同生水、封

表2 乌尔禾—风城地区二叠系风城组白云质岩类碳、氧同位素分析结果

Table 2 The stable isotopic compositions of Permian Fengcheng Formation dolomitic rocks in Wuerhe-Fengcheng Area

井号	样品编号	深度/m	岩性	$\delta^{13}\text{CPDB}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{OPDB}/\text{‰}$	Z	S/ $\text{‰}$	T/ $^{\circ}\text{C}$
F18	F18-7	3179.8	白云质泥岩	+2.6	-4	130.633	30.754	36.23
F18	F18-11	3197.8	白云质泥岩	+4.4	+1.1	136.859	35.854	10.526
F18	F18-12	3198.6	白云质泥岩	+4.8	+1.6	137.927	36.354	8.146
F18	F18-14	3201.6	白云质泥岩	+5.2	+0.9	138.398	35.654	11.485
F18	F18-9	3181.1	白云质泥岩	+3.2	+1.1	134.401	35.854	10.526
F19	F19-4	3735.2	白云质泥岩	+0.3	-11	122.436	23.754	75.745
F20	F20-5	3151.2	白云岩	+4.5	+1.1	137.064	35.854	10.526
F20	F20-7	3162.2	白云岩	+4.4	-2.2	135.216	32.554	26.861
FC1	FC1-4	4274.2	云化泥质粉砂岩	-0.4	-0.7	126.132	34.054	19.301
FN1	FN1-10	4194.5	灰色白云质泥岩	+3.6	-3.9	132.731	30.854	35.701
FN1	FN1-6	4182.8	深灰色白云质泥岩	+5.0	-7.3	133.905	27.454	54.248
FN2	FN2-11	4100.4	灰黑色泥质白云岩	+3.1	-6.4	130.462	28.354	49.226
FN2	FN2-6	4039.6	凝灰质白云岩	+3.6	+3.2	136.266	37.954	0.698
FN2	FN2-7	4041.1	灰黑色泥质白云岩	+4.1	+1.5	136.444	36.254	8.62
FN2	FN2-8	4041.9	凝灰质白云岩	+3.5	-1.5	133.721	33.254	23.305
FN3	FN3-14	4129.9	泥质白云岩	+3.1	+2.3	134.794	37.054	4.856
FN3	FN3-5	3910.3	灰黑色泥质白云岩	+1.9	-9.3	126.560	25.454	65.698
FN3	FN3-7	4125.15	泥质白云岩	+1.8	-5.9	128.048	28.854	46.471
FC011	FC011-4	3861.3	白云质粉砂岩	+2.3	-5	129.520	29.754	41.575
X72	X72-7	4809.7	白云岩	-1.6	-10.4	118.844	29.654	42.115

注:分析单位.中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心地球化学测试部;设备名称.MAT252 质谱仪;检测依据.GB/T6041—2002;工作标准.氧同位素是VSMOW 碳同位素是PDB;分析误差 $\pm 1\text{‰}$

存水等因地层压实作用、地层断裂活动、地热梯度的影响和(或)岩浆的烘烤,压力增大、温度升高、化学活动性增强,顺着应力较弱的裂隙和层理对富含碳酸钙的沉积物进一步改造。由于岩浆没有直接侵入风城组地层,仅对该组地层进行烘烤,致使白云岩化作用在中低温中压的条件下发生,在压实作用和热驱动作用下,形成了顺裂隙和层理局部富集发育的半自形—自形的细晶或中晶白云石,而这部分半自形—自形的白云石没有充分的证据说明与热液活动有关。

风城组云质岩类在白云化过程中镁离子的来源可能为:①矿物转化作用形成的镁离子;②地层水(孔隙水)矿化度较高,富含镁离子;③火山玻璃脱玻化作用形成的镁离子;④沉积物孔隙水中富含镁离子。

## 6 结论

(1) 岩石中白云石矿物以交代灰泥质和硅质(凝灰质)组分的粉晶或细晶的半自形白云石为主,

并可见残余方解石发育,自形白云石主要分布于裂隙中,主要为浅埋藏—中埋藏阶段交代作用形成的。

(2) 风城组白云质岩类的元素地球化学和同位素地球化学分析结果表明,陆源碎屑和凝灰质组分丰富。V/Ni 比值及 Sr 含量表明沉积物具有咸水湖泊沉积特征。碳酸盐矿物的  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  稳定同位素较重,证明白云石主要形成于水体盐度较高、温度偏低的环境中。微量元素和碳、氧同位素分析结果变化较大,与样品中混有较多的非白云石组分关系不大,应该是与不同期次形成有关。研究区与古代海相白云岩的碳、氧同位素组成比较,风城组白云岩的碳、氧同位素多数明显正偏,是因为其形成环境与海相白云岩不同造成的。

(3) 二叠系时期在乌尔禾—风城地区水体较为安静的湖湾中沉积了富含凝灰质或灰泥质组分的粉砂质泥或泥质沉积物,在成岩作用早期回流渗透作用下,与富含镁离子的孔隙水作用,形成泥质白云岩、白云质泥岩、白云质凝灰岩等云质岩类,主要为泥晶或

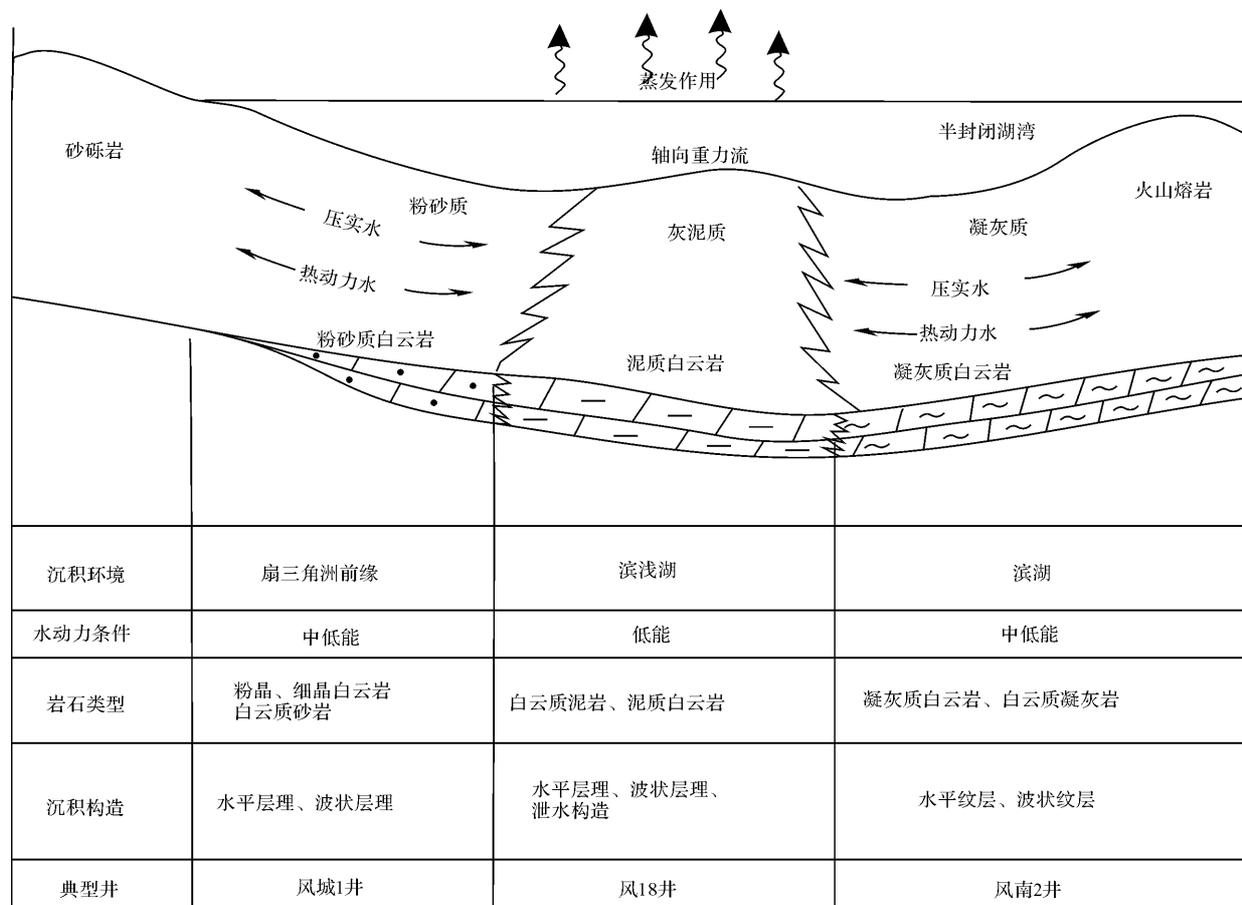


图 4 乌尔禾—风城地区二叠系风城组白云岩化作用模式示意图( 据文献 10, 修改)

Fig.4 The dolomitisation chart of Permian Fengcheng Formation dolostone in Wu-Feng Area

粉晶白云岩,并经常伴随有膏岩层发育。在成岩作用中晚期,因地层压实作用、地层断裂活动、地热梯度的影响和(或)岩浆的烘烤,致使碳酸钙地层在中低温中低压的条件下顺着应力较弱的裂隙和层理进一步的改造,形成了顺裂隙和层理等局部富集发育的半自形或自形的细—中晶白云石。

参考文献(References)

1 郑荣才,史建南,罗爱君,等. 川东北地区白云岩储层地球化学特征对比研究[J]. 天然气工业,2008,28(11): 16-21 [Zheng Rongcai, Shi Jiannan, Luo Aijun, et al. Comparative study on geochemical behaviors of dolomite reservoirs in Northeast Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(11): 16-21]

2 李凌,谭秀成,陈景山,等. 塔中北部中下奥陶统鹰山组白云岩特征及成因[J]. 西南石油大学学报,2007,29(1): 34-36 [Li Ling, Tan Xiucheng, Chen Jingshan, et al. Characteristics and origin of dolostones in Yingshan Formation, Lower and Middle Ordovician, north of central Tarim Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(1): 34-36]

3 杨勇,查明. 准噶尔盆地乌尔禾—夏子街地区不整合发育特征及

其在油气成藏中的作用[J]. 石油勘探与开发,2007,34(3): 304-309 [Yang Yong, Zha Ming. Development of unconformity and its effect on the migration and accumulation of hydrocarbon in Wuerhe-Xiazijie area Junggar Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 304-309]

4 耿春雁,陈布科. 准噶尔盆地西北缘二叠系乌尔禾组隐蔽圈闭[J]. 成都理工学院学报,2002,29(2): 168-172 [Geng Chunyan, Chen Buke. Subtle traps in the northwest margin of Junggar Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(2): 168-172]

5 惠荣耀. 准噶尔盆地西北缘的油气运移[J]. 石油实验地质,1987,9(1): 65-73 [Hui Rongyao. Oil/Gas migration in the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 1987 9(1): 65-73]

6 郭建钢,赵小莉,刘巍,等. 乌尔禾地区风城组白云岩储集层成因及分布[J]. 新疆石油地质,2009,30(6): 699-701 [Guo Jiangan, Zhao Xiaoli, Liu Wei, et al. Origin and distribution of dolomite reservoir of Permian Fengcheng Formation in Wu'erhe Area, Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(6): 699-701]

7 赵澄林,朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社,2001 [Zhao Chenlin, Zhu Xiaomin. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001]

- 8 杨威,王清华,刘效曾. 塔里木盆地和田河气田下奥陶统白云岩成因[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 544-547 [Yang Wei, Wang Qinghua, Liu Xiaozeng. Dolomite origin of Lower Ordovician in Hetian River gas field, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 544-547]
- 9 兰德 L S. 白云化作用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985: 1-12 [Land L S. Dolomitization [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1985: 1-12]
- 10 刘春,张惠良,张荣虎,等. 库车坳陷古近系白云岩地球化学特征及成因[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 518-524 [Liu Chun, Zhang Huiliang, Zhang Ronghu, et al. Geochemistry characteristic and origin of Paleogene dolomite in Kuqa depression, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(3): 518-524]
- 11 Kuleshov V N, Sedaeva K M. Geochemistry of Isotopes( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) and depositional setting of Kazanian carbonate sediments in the Volga Vyatka Region. Abstracts of Papers. The 6th Uralian Regional Lithological Conference on Carbonate Sedimentary Successions of the Urals and Adjacent Territory: Sedimentogenesis, Lithogenesis, and Mineralogy, Yekaterinburg: Inst. Geol. Geokhim. Ural. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2004: 85-87
- 12 Kuleshov V N, Sedaeva K M. Isotopic composition( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) and depositional setting of upper Kazanian carbonate sediments in the area between Volga and Vjatka Rivers[C]. In Proc. XV ICCP, Utrecht, 2006: 171-178
- 13 Kuleshov V N, Sedaeva G M, Esaulova N K, et al. Geochemistry of carbon and oxygen isotopes and depositional setting of upper Kazanian carbonate sediments( $\text{P}_2\text{Kz}^2$ ) in the Volga-Urals Region. Abstracts of Papers, Int. Conf. on Carbon: Mineralogy, Geochemistry, and Cosmochemistry) Syktyvkar, Geoprint, 2003: 211-212
- 14 Nurgalieva N G. Oxygen and carbon isotopic ratio in Permian sections of the east Russian platform, Uchenye Zap[J]. Kazan. Univ., Ser. Estestv. Nauki, 2005, 147(3): 37-48
- 15 Nurgalieva N G, Weissert K, Nurgaliev D K, et al. Carbon and oxygen isotopes in late Permian carbonates of the Volga-Kama Region [J]. Trans. Joint Int. Sci. Conf., Kazan, 2003, (1): 322-324
- 16 Sedaeva K M, Kuleshov V N, Makarova L V. Lithological paleoecological isotopic-geochemical analysis of the reef-type microbial forms. Abstracts of Papers, Int. Conf. on Geology of Reefs, Syktyvkar: Geoprint, 2005: 149-151
- 17 Valyashko M G, Vetshtein V E, Zhrebtsova I K, et al. Alteration of the isotopic composition of hydrogen and oxygen in sea brines during Halogenesis based on experimental data, in problemy solenakopleniya (problems of salt accumulation) [C]. Novosibirsk: Nauka, 1977: 120-124
- 18 Walters L Y, Claypool G E, Choquette P W. Reaction rates and  $\delta^{18}\text{O}$  variation for the carbonate-phosphoric acid preparation method [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1972, 36: 129-140
- 19 Keith M H, Weber J N. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta. 28, 1964 28: 1787-1816
- 20 MacKenzie F T. Sedimentary cycling and the evolution of sea water [M]// Riley J P, et al. eds. Chemical Oceanography, 2nd. 1975: 309-364
- 21 李红,柳益群,朱玉双. 新疆三塘湖盆地二叠系湖相白云岩形成机理初探[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 75-81 [Li Hong, Liu Yiqun, Zhu Yushuang. Primary study on the origin of lacustrine dolostones of Permian, Santanghu Basin, Xinjiang [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 75-81]
- 22 吴绍祖. 新疆早二叠世古气候[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 270-277 [Wu Shaozu. Paleoclimate of lower Permian in Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(3): 270-277]
- 23 李强, 吴绍祖, 屈迅, 等. 试论准噶尔石炭纪—三叠纪重要气候事件[J]. 新疆地质, 2002, 20(3) [Li Qiang, Wu Shaozu, Qu Xun, et al. Key climatic events during Carboniferous-Triassic in Junggar [J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(3) ]

## Petrological Characteristics and Origin of Permian Fengcheng Formation Dolomitic Rocks in Wuerhe-Fengcheng Area, Junggar Basin

ZHANG Jie<sup>1 2</sup> HE Zhou<sup>3</sup> XU Huai-bao<sup>3</sup> JI Huan-cheng<sup>3</sup>

YUAN Qing<sup>3</sup> SHI Ji-an<sup>1</sup> LU Xin-chuan

(1. Lanzhou Center for Oil and Gas Resources Institute of Geology and Geophysics, CAS, Lanzhou 730000;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. Fengcheng Field Operation District, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000)

**Abstract:** In order to analyze the dolomite origin of Permian (Fengcheng Formation) in the northwest edge of Junggar basin. This article take the rock-mineral analysis, thin-section analysis and geochemical analysis, and systematically analyzed this set of dolomite geochemistry characteristics and their origin. The research indicated that the dolomite mainly could divide into muddy dolostone, dolomitic tuff and dolomitic mudstones. The crystal size of dolomite greatly

varies , mainly consisting of powder crystal , fine or micrite dolomites , which crystals are euhedral or subhedral. Dolomite fills in bedding or cracks or distribute in rocks with patterns of strip belts , laminated structure or gobbets. Dolomitization is not incompletely , residual calcite still be found in rocks. Dolostone commonly show ribbon , crumb , sausage or lens shapes in rocks , partly laminate and satellite. Sr content varies greatly between 95.9 ~ 783.6  $\mu\text{g/g}$  with an average of 447  $\mu\text{g/g}$  because of replenishment of freshwater and intense evaporation. Conclusion can be reached that sedimentary environment is mainly salt water with little amount of freshwater supplement and related to evaporative lake. V/Ni ratio varies greatly , and largely distribute in an range of 1.2 ~ 2.9. It refers to dolomitic rocks form in brackish lacustrine environment with complex setting and various salinity. Mn content is relatively low , varies between 133 ~ 985  $\mu\text{g/g}$  with an average of 579  $\mu\text{g/g}$ . From Mn data , we can conclude that aragonite forms in relatively deep water. In studying area ,  $\delta^{13}\text{C}$  is low and distributes in an range of -1.6‰ ~ 5.2‰ (PDB) with an average of 2.9‰ (PDB) .  $\delta^{18}\text{O}$  data still be low , and varies between 14.8‰ ~ 3.2 with average of 3.01 . The characteristics of petromineralogy and the data of geochemical analyzation in Fengcheng Formation show that the dolomite in this area mainly formed in a peaceful , deep and high salinity semi-closed bay environment. Permian periods climate is hot , speedy evaporation and frequent volcanic , besides , short of fresh water supply , those factors provide favourable source of magnesium ions and hydrodynamic condition to form dolomite. In this period , the bays deposit tuff or mudstones which are rich in aragonite or high magnesian calcite , during the early diagenesis , the rocks convert to plenty of dolomitic tuff and dolomitic mudstones infiltration and circumfluence effect. In the middle and late diagenesis , compaction and mesothermal and micro thermal processes , in the study areas mainly consist of fine or medium dolomites , in which crystals are euhedral or subhedral.

**Key words:** Junggar; Permian; Wu-Feng Area; Fengcheng Formation; geochemistry; dolomitization; origin