

文章编号: 1000-0550(2007) 01-0075-07

新疆三塘湖盆地二叠系湖相白云岩形成机理初探

李红^{1, 2} 柳益群^{1, 2} 朱玉双^{1, 2}

(1. 大陆动力学国家重点实验室(西北大学) 西安 710069; 2 西北大学地质系 西安 710069)

摘要 利用薄片染色、微量元素和稳定同位素测试等方法对三塘湖盆地中二叠统芦草沟组与湖相暗色泥岩共存的白云岩的形成机理进行了探讨。白云岩分为纹层状藻云岩和斑块白云岩两种类型。白云岩的微量元素和同位素特征表明其形成于较高盐度、高 Mg/Ca 比、强还原的沉积环境。通过对白云岩镁离子来源的分析, 认为纹层状藻云岩形成于准同生期, 而斑块白云岩则是在埋藏成岩期火山物质淋滤、交代作用下形成的。

关键词 三塘湖盆地 二叠系 白云岩 白云化模式

第一作者简介 李红 女 1975 年出生 博士研究生 矿产普查与勘探 E-mail: all+5109@163.com

中图分类号 P588.24+5 **文献标识码** A

白云岩的成因是沉积学研究的热点问题之一, 迄今为止, 前人的研究大多针对海相白云岩的成因, 并且提出了多种成因模式^[1], 而对于陆源湖相暗色泥岩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沙河街组^[2]、泌阳凹陷古近系核桃园组以及准噶尔盆地南缘二叠系均有产出^[3], 近年在三塘湖盆地中二叠统芦草沟组湖相泥岩中也发现多层薄层白云岩。本文采用薄片染色、微量元素、稳定同位素测定等方法, 对三塘湖盆地白云岩的沉积环

境及成因机理做初步探讨。

1 研究区概况

三塘湖盆地位于新疆东北部。北与蒙古共和国邻接, 南隔巴里坤盆地与吐哈盆地相望, 盆地整体呈北西—南东向狭长带状展布, 面积约 23 000 km²。构造位置处于西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块碰撞接合部位, 属叠置在古生代造山带之上, 以发育二叠纪—中生代陆相沉积为特点的上叠盆地 (图 1)。

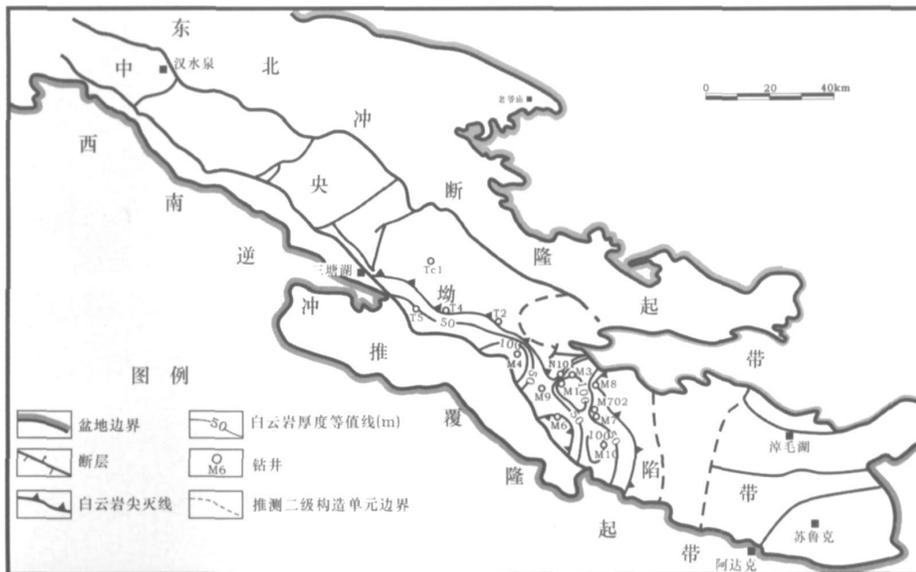


图 1 三塘湖盆地芦草沟组白云岩分布图

Fig 1 Distribution of dolomite of Lucaogou Formation Santanghu Basin

国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2001CB409801)和吐哈油田共同资助。

柳益群, 冯乔, 周鼎武, 等. 三塘湖盆地油气勘探前景分析与有利区带评价. 2002

收稿日期: 2006-02-27 收修稿日期: 2006-06-15

晚石炭世末期,三塘湖盆地处于洋盆及其海相盆地向板内陆相沉积盆地转化的阶段,此时,海水逐渐由西北向东南部撤出,三塘湖盆地属残留海发育时期。早—中二叠世,三塘湖地区为陆内伸展断陷—裂谷盆地,其中下二叠统卡拉岗组以发育冲积扇、河流相粗碎屑沉积、及由基性到酸性的火山岩(玄武岩、安山岩、流纹岩等)为特征。中二叠统自下而上分为乌拉泊组、井井子沟组、芦草沟组和条湖组,代表了一个湖盆扩张—鼎盛—逐渐消亡的完整的沉积旋回。中二叠世早期(乌拉泊—井井子沟期)盆地发育以黄绿色、灰绿色细砂岩、粉砂岩、凝灰岩为主的河流相、三角洲相以及湖泊相沉积组合。中二叠世中期(芦草沟期),研究区属滨浅湖—半深湖的沉积环境,形成一套以暗色泥岩、页岩、泥质白云岩、泥灰岩等为特征的沉积组合。中二叠世晚期(条湖期),湖盆萎缩,火山活动又进入活跃期,在盆地内部形成厚层中—基性火山岩与代表湖盆边缘相的粗碎屑沉积岩互层的组合。

2 白云岩的岩石学特征

本区白云岩主要分布于芦草沟组,由深灰色泥

岩、灰色泥质白云岩、泥灰岩以及凝灰岩等构成频繁互层。白云岩埋深 2000~3500 m,厚度 10~158 m,平均 65.78 m(图 1)。据钻井岩心观察,白云岩为灰色、灰白色、单层厚度 5~40 cm,顺层分布于暗色泥岩和粉砂岩中,发育水平纹层。

经染色薄片鉴定,芦草沟组白云岩分为纹层状白云岩和斑块白云岩两种(图 2),纹层状白云岩由纹层状白云石和藻类交互而成,具有水平纹层,主要为铁白云石(茜素红与铁氢化钾混合染色为绿蓝色),有些地方可见残余的白云石不规则颗粒,表明两者的交代关系(图 2)。纹层状白云石由泥晶白云石和细粉晶白云石组成,晶粒细小(小于 0.03 mm),晶形差,半自形—它形晶为主,晶间有少量粘土矿物,表明白云岩形成于一种低能量、安静、温暖的环境中。斑块白云岩为含铁白云石交代方解石而成,同时可见其交代方沸石现象,铁白云石晶体粗大,自形程度较好,形成时间晚于纹层状铁白云石。如在 M7 井、M3 井见到较厚的纹层状白云岩,早期为泥晶白云岩,晚期被亮晶铁白云石交代。矿物成分中还可见到少量的石英(约占 1%~3%)及黄铁矿(1%~4%)。

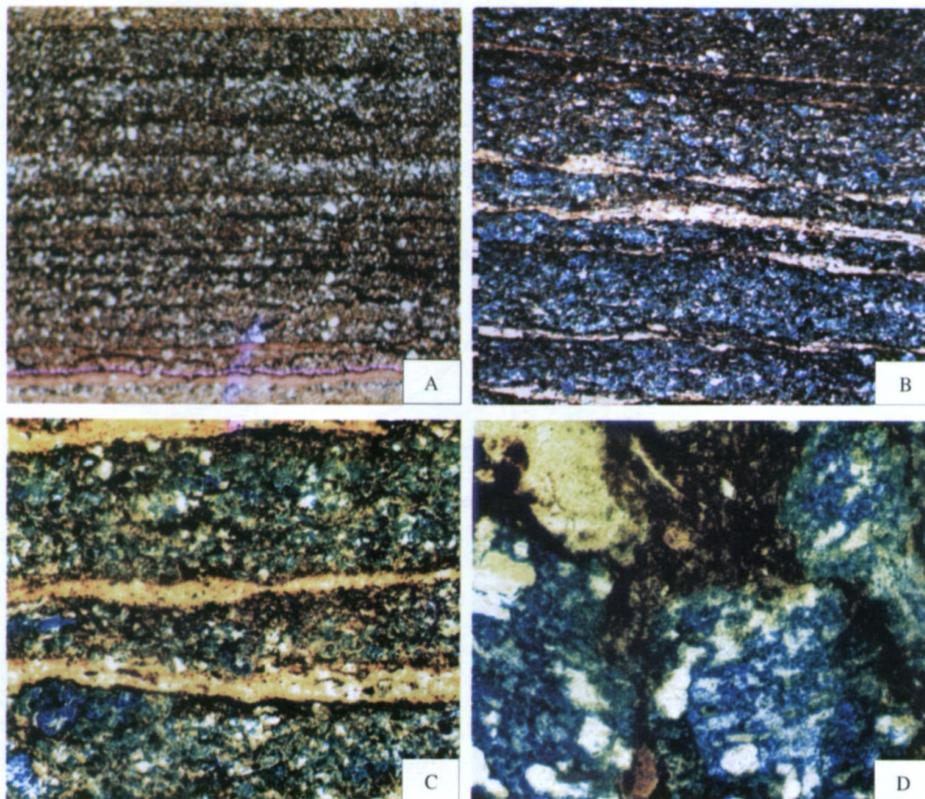


图 2 芦草沟组白云岩镜下特征

A. 具水平纹层的泥晶白云岩,单×5 B. 泥晶白云岩的染色薄片,单×5
C. 藻云岩的染色薄片,染色的为铁白云石,单×5 D. 斑块白云岩中铁白云石交代方解石,单×20

Fig. 2 Micro-characteristic of Lucaogou dolostones

A. Laminar micritic dolostone, P×5 B. stained micritic dolostone, P×5

C. Stained algal dolostone, ankerite's color was green-blue, P×5. D. Ankerite-replaced calcite in patchy dolostone, P×20

3 白云岩的沉积环境

3.1 白云岩微量元素特征

研究区白云岩富含丰富的 Ca Mg Fe Mn Sr Ba V 等元素(表 1)。Sr 的含量往往反映介质的盐度,现代海水的 Sr 含量大约为 $1000 \times 10^{-6} \sim 1200 \times 10^{-6}$ [5],本区 Sr 含量主体介于 $164 \times 10^{-6} \sim 537 \times 10^{-6}$ 之间,平均 379.1×10^{-6} ,较高的 Sr 含量反映了白云岩是在盐度较高的环境中形成的,也表明白云化时间较早, Sr 没有大量流失[6]。白云岩的 Sr/Ba 比值多数 > 1 ,平均值 4.05,也说明了白云岩形成时水介质盐度较高。斑块云岩的 Sr/Ba 比值 < 1 ,可能是受到了大气淡水稀释作用的影响。陆相沉积物中的 Ba 含量高于海相沉积物,海相碳酸盐岩中 Ba 含量通常为 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$,很少超过 200×10^{-6} [7]。

本区白云岩中 Ba 含量介于 $17 \times 10^{-6} \sim 1353 \times 10^{-6}$,平均 346.9×10^{-6} ,说明白云岩应属陆相沉积。V、Ni 等微量元素在海相沉积物中的含量高于陆相沉积物,其中 Ni 的界限为 40×10^{-6} [7],研究区白云岩的 Ni 含量多数 $< 40 \times 10^{-6}$,平均 21.4×10^{-6} ,也说明白云岩处于陆相湖泊环境。

奇林格[1]曾指出,白云岩 Ca/Mg 为 1.5 ~ 1.7,钙质白云岩 Ca/Mg 为 1.7 ~ 3.5,纯白云岩 Ca/Mg 比率为 1.648/1,有些白云岩 Mg^{2+} 的含量还可以更多些。弗罗洛娃(1959)[11]将 Ca/Mg 介于 0.8 ~ 1.25 的称为微菱镁质白云岩, Ca/Mg 介于 0.4 ~ 0.8 的为菱镁质白云岩(或称镁质白云岩)。研究区白云岩 Ca/Mg 比值介于 0.77 ~ 4.90,平均 2.85,既有菱镁质白云岩也有钙质白云岩[1],从侧面也说明了部分白云岩可能是灰岩发生了白云岩化形成的。

表 1 三塘湖盆地芦草沟组岩心样品微量元素统计

Table 1 Trace element statistics of core samples of Lucaogou Formation Santanghu Basin

井	岩石类型	Mg/ 10^{-6}	Ca/ 10^{-6}	Fe/ 10^{-6}	Mn/ 10^{-6}	Sr/ 10^{-6}	Ba/ 10^{-6}	V/ 10^{-6}	Ni/ 10^{-6}	Sr/Ba	Ca/Mg
M 10	暗色泥岩	6 989	42 216	12 324	601	463	260	74	10	1.78	6.04
M 702	暗色泥岩	20 293	34 708	31 939	728	521	389	185	62	1.34	1.71
M 4	斑块云岩	31 425	26 022	95 222	1 570	537	1 353	242	43	0.40	0.83
M 10	斑块云岩	7 832	29 976	14 887	534	371	584	136	9	0.64	3.83
M 7	泥质白云岩	9 864	7 574	8 014	827	262	17	54	2	15.41	0.77
M 7	泥质白云岩	15 094	12 559	15 190	896	164	18	81	8	9.11	0.83
M 10	凝灰质灰质白云岩	5 160	25 268	16 449	792	392	66	105	5	5.94	4.90
M 10	凝灰质泥晶粒屑云岩	12 879	55 598	17 658	1 167	512	243	74	9	2.11	4.32
M 702	泥质白云岩	20 118	38 134	19 733	1 028	275	522	118	54	0.53	1.90
M 702	泥质白云岩	16 738	36 246	16 171	675	362	275	128	38	1.32	2.17
M 702	泥质白云岩	13 770	28 177	9 268	618	428	244	117	24	1.75	2.05
M 702	泥质白云岩	13 283	38 974	15 221	968	488	147	141	22	3.32	2.93

3.2 白云岩的沉积环境

表 1 也列出了与白云岩共存的暗色泥岩微量元素含量,可以看到泥岩微量元素与白云岩的非常接近,说明白云岩与暗色泥岩的成岩环境大致相同。因此,白云岩的形成可能与暗色泥岩是同时期的(准同生)。

中二叠世中期(芦草沟期),三塘湖地区构造活动平静,气候温暖潮湿,生物繁盛,处于湖泊鼎盛时期的滨浅湖一半深湖的沉积环境,晚期向浅湖过渡。芦草沟组不论是岩心上还是镜下均发现大量黄铁矿,如 M 1 井重矿物组合中黄铁矿相对含量占 72.9%, M 6 井重矿物组合中黄铁矿含量达 95.7%,与白云岩互层的岩类多为厚层块状灰色、灰黑色泥岩、泥灰岩等,这些均是强还原环境的标记。

芦草沟组的暗色泥岩有机质丰度高,是盆地的主力烃源岩,柳益群、冯乔[4]通过烃源岩的有机地化分析,指出芦草沟组原油富含 β -胡萝卜烷、伽马蜡烷(伽马蜡烷指数 GI 变化范围 0.04 ~ 0.74),也反映了湖水盐度较高,为微咸一半咸水的强还原环境。

以上特征说明白云岩形成时的沉积环境具有盐度高、水体安静、强还原湖泊的特征。

3.3 碳、氧同位素特征

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,通常与生物埋藏速度和古盐度有关[8],本区 $\delta^{13}C$ 较

重(表 2), 为 4.8‰~11.4‰(PDB), 平均 6.93‰(PDB), 反映出湖水的盐度较高。尽管 $\delta^{18}\text{O}$ 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^[9], 因此, 随着埋深的增大、温度的升高、埋藏时间的加长, $\delta^{18}\text{O}$ 会逐渐负值增大。本区白云岩整体有严重贫 $\delta^{18}\text{O}$ 的趋势(表 2), 为 -6.8‰~-18.7‰, 平均 -13.55‰, 说明白云石在形成的过程中可能受到了大气水淋滤的影响。

表 2 芦草沟组岩心样品的碳、氧同位素

Table 2 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of core samples of Lucaogou Formation

井	岩性	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (PDB)
M3	泥质白云岩	4.8	-18
M7	泥质白云岩	6.3	-10.7
M9	泥质白云岩	5.2	-18.7
M10	泥质白云岩	11.4	-6.8
M6	泥灰岩	0.22	-16.84
T5	泥灰岩	-1.2	-23.3
N101	泥灰岩	6.26	-16.74
N101	泥灰岩	12.96	-4.65
N101	泥灰岩	10.98	-5.97

从泥质白云岩与泥灰岩碳、氧同位素的散点图(图 3)上看到, 两类岩石的碳、氧同位素几乎落在同一区域, 反映出泥质白云岩与泥灰岩在成因上关系密切, 应为交代关系。

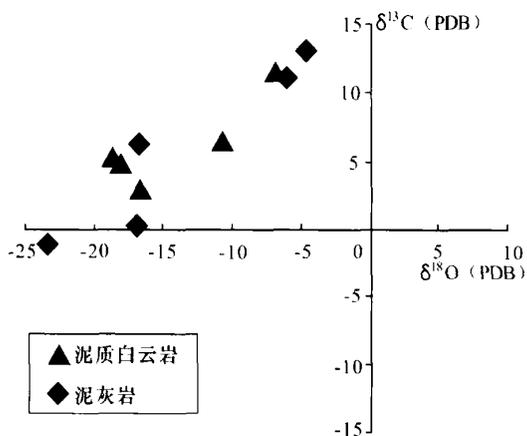


图 3 芦草沟组泥质白云岩与泥灰岩碳、氧同位素散点图

Fig. 3 Scatter diagram of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of Lucaogou

4 白云岩成因探讨

白云岩的人工合成试验和大量近代白云石沉积物的研究表明, 大多数白云石的形成需要以下几个条件: 即高盐度、较高的 Mg/Ca 比、较高 pH 值(弱碱性

-碱性)、还原环境、较低 SO_4^{2-} 浓度以及较高的温度等^[12]。但是, 近年来一些学者的研究表明, 在低盐度区, 低 Mg/Ca 比值, 例如 $\text{Mg}/\text{Ca}=1:1$ 时, 白云石也可以形成^[5, 6, 13-17]。其中, 镁离子的来源是首要的也是必须的条件。如果没有镁离子的供给, 即使所有的条件都符合, 也无法形成白云石^[1]。根据分析, 本区白云岩的成因可能有两个: 纹层状藻云岩形成于准同生期; 斑块白云岩则为埋藏成岩期火山物质淋滤、交代作用成因。

4.1 纹层状藻云岩形成机理

4.1.1 镁离子来源

海水中蕴含丰富的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及其它各种盐类离子。新疆北部诸盆地自晚古生代开始陆续进入陆相演化阶段, 海水由西北向东南逐渐退出, 首先是准噶尔盆地, 其次是三塘湖盆地, 最后是吐哈盆地^[18-20]。三塘湖盆地位于吐哈盆地北东部, 早二叠世进入陆相湖盆演化期^[20], 而吐哈盆地北缘早二叠世一中二叠世早期仍处于浅海陆棚环境, 为残余的陆表海^[19]。三塘湖盆地中二叠统芦草沟组湖相沉积从残余海演化而来, 表现在古生物方面为海相化(簇管虫 *Acerotnupa* sp 和软舌螺 *Hyolithus* sp)、海陆过渡相化石(介形类, 如 *Tamella*, *Dawinula*, *Iniella* 和 *Kemerouiana*; *Gollenia* 圆藻等)及陆相生物化石(吐鲁番鳕鱼、芦木化石碎屑等)非常普遍^[20, 21]。此外, 芦草沟组沉积岩中较高的 Sr (平均 397.92×10^{-6})、 Mn (平均 867×10^{-6})等离子含量(表 1), 也使湖水介质表现出海水的某些特征。这种由残余海演化而来的湖水能够为白云石的形成提供镁离子来源。

4.1.2 藻云岩成因机理

中二叠世芦草沟期, 三塘湖盆地仍处于裂谷盆地发育区, 为一小型内陆深湖盆。由于是残余海演化而来, 湖水的盐度较高, 并含有丰富的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Mn^{2+} 、 V^{5+} 等离子, 使湖水 Mg/Ca 值增加。由于湖水的盐度分层作用使下部的盐度高于上部的盐度。表层水盐度较低, 日照条件好, 营养丰富, 因此是生物活动繁殖的重要场所, 生长了大量的细菌、藻类、水生植物及鱼类。底层湖水盐度较高, 含氧稀少, 水体安静, 是生物死亡后堆积的场所, 生物残体的降解作用产生 CO_2 和 H_2S 它们溶解于水中提高了湖水的 pH 值, 并使水体处于还原环境。中二叠世晚期气候向干旱、炎热转变, 由于蒸发量远大于降雨量, 湖水的盐度逐渐升高, 大批生物死亡并迅速堆积、埋藏和降解, 使湖底处于强还原的碱性环境。Badizoman 曾指出,

淡水中只要混有 3% 的海水,白云石就已经饱和,方解石仍不饱和,将发生方解石被白云石交代的作用^[17]。因此,随着这种混合水体盐度增大, pH 值增高,具有高 Mg/Ca 比的水体与湖底碳酸盐软泥接触并且交代方解石或文石形成白云石沉淀下来。如果

此时期,湖底有大量死亡藻类形成的藻席,就可以与白云石相间形成纹层状藻云岩。这种形成于准同生期的白云石由于水体安静,扰动小,通常具有水平纹层,由于是低温条件下的快速成核作用,因此晶形细小(不超过 0.03 mm)、自形程度差(图 4 A)。

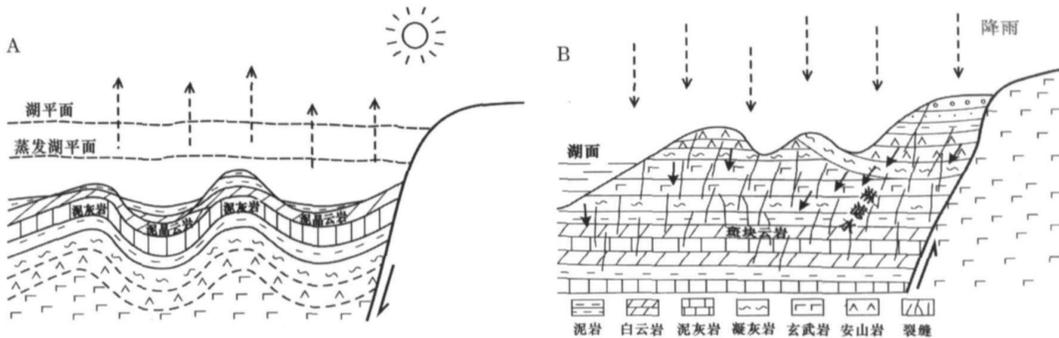


图 4 芦草沟组白云岩成因模式图

A. 纹层状藻云岩成因模式 B. 斑块白云岩淋滤白云化模式

Fig. 4. Dolomitization models of Lucaogou dolostones

A. Dolomitization of laminar algal dolostone; B. Leaching dolomitization of patchy dolostone

4 2 斑块云岩形成机理

4 2 1 镁离子来源

芦草沟组下伏卡拉岗组 and 上覆条湖组均发育厚层火山岩和火山碎屑岩。火山岩以玄武岩、安山岩和流纹岩为主。据统计,盆地内卡拉岗组火山岩最厚达 1269 m,条湖组火山岩最厚为 958 m。在地表或近地表环境中,玄武岩和安山岩是不稳定的,当受到大气降水的淋滤或与地下水接触时,此类火山岩中的铁镁质矿物容易发生分解、转化并释放出大量的溶解铁和镁。在镜下能观察到玄武岩的蚀变现象,如辉石、斜长石发生绿泥石化、斑晶被方解石交代等,并且常见到玄武岩的溶蚀孔、溶蚀缝被方解石、石英及沸石等矿物充填。此外,火山碎屑岩(火山角砾岩和凝灰岩等)在成岩过程中也能放出大量铁、镁离子,使其沉积物间孔隙水变为富 Mg、Fe 的流体。表 1 白云岩和暗色泥岩中的 Fe 含量 $8.014 \times 10^{-6} \sim 95.222 \times 10^{-6}$, Mg 含量 $5.160 \times 10^{-6} \sim 31.425 \times 10^{-6}$,说明火山物质铁、镁离子的供给能力是相当强的。

受晚二叠世—早三叠世晚海西期区域挤压构造作用以及晚白垩世—早第三纪的晚燕山—早喜山期区域挤压兼走滑构造作用的影响,三塘湖盆地盖层的构造裂缝非常发育,构造缝和成岩缝相互交织,构成多期、不均匀变形的网状裂缝系统。裂缝使淋滤水及溶解离子不断向地层深部渗流,从而使芦草沟组的泥灰岩发生白云岩化。

4 2 2 斑块云岩成因机理

在表生淡水淋滤作用下,近地表或浅埋藏的火山岩及火山碎屑岩中不稳定的铁镁质矿物发生分解、蚀变,产生大量的溶解铁、镁离子。在差异压实作用和区域应力控制下,淋滤淡水带着溶解离子沿着网状裂缝及节理向下渗入使中二叠统芦草沟组灰岩发生白云石化,受裂缝通道空间局限性的影响,泥灰岩中的白云化作用是不均匀的,通常看到斑块状白云石交代方解石,方解石中保留交代残余结构,形成斑块云岩。在较高温度下,富铁、镁离子的淋滤水还可以对早期形成的泥晶云岩进行改造,使泥晶白云石发生重结晶作用。随着成岩作用的持续进行, Fe^{2+} 进入白云石晶格与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生类质同象代换^[22],形成铁白云石(图 4 B)。

5 结论

(1) 三塘湖盆地中二叠统芦草沟组纹层状藻云岩和斑块白云岩是发育在陆源湖泊相对深水环境中的白云岩。白云岩总体上形成于高盐度、较高 Mg/Ca 比、强还原的碱性湖泊环境中。白云岩的形成有两期,分别为准同生期和埋藏成岩期。

(2) 三塘湖盆地二叠纪湖盆由残余海演化而来,因此湖水盐度较高并且为准同生期藻云岩的形成提供了镁离子来源。二叠系中、基性火山岩及火山碎屑岩接受大气淡水的淋滤发生蚀变放出的溶解态铁、镁

离子则为埋藏成岩期斑块云岩的形成提供了充足的物质基础。

参考文献 (References)

- 奇林格 G V, 等. 沉积学的进展: 碳酸盐岩. 北京: 石油工业出版社, 1982 117 ~ 221 [Chilingar G V, *et al*. Carbonate Rock Development of Sedimentology. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982 117 ~ 221]
- 田景春, 曾允孚, 郑和荣, 等. 陆相含油盆地泥岩中白云岩夹层的储集性研究——以东营凹陷沙三段上部白云岩为例. 成都理工大学学报, 2000, 27(1): 88 ~ 91 [Tian Jingchun, Zeng Yunfu, Zheng Herong, *et al*. The research of the reservoir characteristics of the dolostone intercalated in mudstone in terrigenous oil-bearing basin — taking the dolostone on the upper of Sha3 in Dongying sag as an example. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(1): 88 ~ 91]
- 张晓宝. 准噶尔盆地南缘东部中二叠统芦草沟组黑色页岩中白云岩夹层的成因探讨. 沉积学报, 1993, 11(2): 132 ~ 138 [Zhang Xiaobao. Study on the origin of the dolostone intercalated in the black shales in Middle Permian Lucaogou Formation eastern part of southern margin of Junggar Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(2): 132 ~ 138]
- 冯乔, 柳益群, 郝建荣. 三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其古环境. 沉积学报, 2004, 22(3): 513 ~ 516 [Feng Qiao, Liu Yiqun, Hao Jianrong. The source rock and its palaeo-environment of Lucaogou Formation, Permian in Santanghu Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 513 ~ 516]
- 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. 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. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 544 ~ 547]
- 邵龙义, 何宏, 彭苏萍, 等. 塔里木盆地巴楚隆起寒武系及奥陶系白云岩类型及形成机理. 古地理学报, 2002, 4(2): 19 ~ 27 [Shao Longyi, He Hong, Peng Suping, *et al*. Types and origin of dolostones of the Cambrian and Ordovician of Bachu uplift area in Tarim Basin. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(2): 19 ~ 27]
- 王英华. 中国湖相碳酸盐岩. 北京: 中国矿业大学出版社, 1993 11 ~ 20 [Wang Yinghua. Lacustrine Carbonate Rock of China. Beijing: China University of Mining and Technology Press, 1993 11 ~ 20]
- 张晓宝, 王志勇, 徐永昌. 特殊碳同位素组成白云岩的发现及其意义. 沉积学报, 2000, 18(3): 449 ~ 451 [Zhang Xiaobao, Wang Zhiyong, Xu Yongchang. Finding of the dolostone with special carbon isotopic composition and its significance. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 449 ~ 451]
- 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成. 北京: 石油工业出版社, 1997. 125 ~ 148 [Sun Zhencheng, Yang Pan, Zhang Zhihuan, *et al*. Sedimentary Environment and Organic Matter Maturation of China Cenozoic brackish lake. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 125 ~ 148]
- 余志伟. 氧、碳同位素在白云岩成因研究中的应用. 岩石矿物地球化学通报, 1999, 18(2): 103 ~ 105 [Yu Zhivei. Application of oxygen and carbon isotope in petrogenesis of dolomite. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1999, 18(2): 103 ~ 105]
- 国家经济贸易委员会, 发布. 中华人民共和国石油天然气行业标准—碎屑岩成岩阶段划分. SY/T 5477—2003. 2003. 2 ~ 4 [State Economy and Trade Committee, Promulgation. Oil & gas industry standard of the People's Republic of China—diagenetic phases dividing of clastic rocks. SY/T 5477—2003. 2003. 2 ~ 4]
- 兰德 L S. 白云化作用. 北京: 石油工业出版社, 1985. 1 ~ 12 [Land L S. Dolomitization. Beijing: Petroleum Industry Press, 1985. 1 ~ 12]
- 田景春, 尹观, 覃建雄, 等. 中国东部早第三纪海侵与湖相白云岩成因之关系. 中国海上油气(地质), 1998, 12(4): 250 ~ 254 [Tian Jingchun, Yin Guan, Qin Jianxiong, *et al*. The relationship between the transgression of Eocene and the origin of lacustrine dolostone in eastern China—taking the Shahejie Formation of Dongying sag as example. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1998, 12(4): 250 ~ 254]
- 张永生. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群中部块状白云岩的深埋藏白云石化机制. 沉积学报, 2000, 18(3): 424 ~ 429 [Zhang Yongsheng. Mechanism of deep burial dolomitization of massive dolostones in the middle Maajiaogou Group of the Ordovician, Ordos Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 424 ~ 429]
- 黄杏珍, 邵宏舜, 闫存凤, 等. 泌阳凹陷下第三系湖相白云岩形成条件. 沉积学报, 2001, 19(2): 207 ~ 212 [Huang Xingzhen, Shao Hongshun, Yan Cunfeng, *et al*. Sedimentary condition of lacustrine dolomite in the Kewier Tertiary Biyang depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 207 ~ 212]
- 金振奎, 冯增昭. 滇东—川西下二叠统白云岩的形成机理——玄武岩淋滤白云化. 沉积学报, 1999, 17(3): 383 ~ 387 [Jin Zhenkui, Feng Zengzhao. Origin of dolostones of the lower Permian in the east Yunnan-west Sichuan—dolomitization through leaching of basalts. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 383 ~ 387]
- Badiazan i K. The Dorag dolomitization model—application to the Middle Ordovician of Wisconsin. Journal of Sedimentary Petrology, 1973, 43(4): 965 ~ 984
- 陈新, 卢华复, 舒良树, 等. 准噶尔盆地构造演化分析新进展. 高校地质学报, 2002, 8(3): 257 ~ 264 [Chen Xin, Lu Huaifu, Shu Liangshu, *et al*. Study on tectonic evolution of Junggar Basin. Geological Journal of China Universities, 2002, 8(3): 257 ~ 264]
- 李文厚, 周立发, 柳益群, 等. 吐哈盆地沉积格局与沉积环境的演变. 新疆石油地质, 1997, 18(2): 135 ~ 141 [Li Wenhou, Zhou Lifa, Liu Yiqun, *et al*. Evolution of sedimentary framework and environment of Tūpān-hān i Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(2): 135 ~ 141]
- 栗维民, 梁浩. 三塘湖盆地上二叠统芦草沟组沉积环境. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 497 ~ 498 [Li Weimin, Liang Hao. The sedimentary environment of Lucaogou Formation in Upper Permian in Santanghu Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(6): 497 ~

498]

21 孔凡军. 三塘湖盆地上二叠统海相化石的发现及环境意义. 新疆石油地质, 1998, 19(6): 480 ~ 482 [Kong Fanjun. Discovery of marine fossil and its indicative significance in upper Permian Santanghu Basin, Xinjiang Petroleum Geology, 1998, 19(6): 480 ~

482]

22 布拉特 H. 沉积岩成因. 北京: 科学出版社, 1978. 341~ 351 [Blatt H. Origin of Sedimentary Rocks Beijing Science Press 1978 341~ 351]

Primary Study on the Origin of Lacustrine Dolostones of Permian Santanghu Basin, Xinjiang

LI Hong^{1, 2} LU Yi-qun^{1, 2} Zhu Yu-shuang^{1, 2}

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Xi'an 710069; 2. Geology of Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract The origin of dolostones discussed by means of thin sections staining, trace elements analyzing and isotopes testing, which existed together with lacustrine dark mudstone of Lucaogou Formation, middle Permian, Santanghu Basin. The Lucaogou dolostones were composed of lamellar algal dolostone and patchy dolostone. The characteristics of trace elements and stable isotopes indicated that the dolostones formed in the sedimentary environment with higher salinity, higher Mg/Ca ratio and strong reducibility. By analyzing the source of magnesium ion of Lucaogou dolostones, two types of origin were proposed. Lamellar algal dolostone was formed in quasi-contemporaneous phase, and patchy dolostone formed with leaching dolomitization of volcanic material in burial diagenetic phase.

Key words Santanghu Basin, Permian, lacustrine dolostones, dolomitization models