

文章编号: 1009-6248(2009)02-0095-07

三塘湖盆地中二叠统芦草沟组白云岩成因

朱玉双, 柳益群, 周鼎武

(西北大学地质学系, 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安 710069)

摘要: 三塘湖盆地中二叠统的芦草沟组碳酸盐岩是盆地内重要的储集岩之一, 碳酸盐岩中 50% 以上为白云岩。有纹层状白云岩和斑块状白云岩两种, 前者白云石自形程度较好; 后者白云石为含铁白云石交代方解石而成, 铁白云石晶体粗大, 自形程度差, 其形成时间晚于纹层状铁白云石。白云岩的 Mg/Ca 值均小于 1; Sr 的含量为 $31 \times 10^{-6} \sim 527 \times 10^{-6}$, 平均为 217.8 mg/kg; 方解石和白云石的 $\delta^{18}O$ 差值大多数小于 6‰; 芦草沟组膏岩并未普遍存在, 盐度指数 Z 平均为 124.43。通过对上述特征综合研究认为, 三塘湖盆地中二叠统的芦草沟组白云岩为混合水成因, 并建立了相应的白云石化模式。

关键词: 三塘湖盆地; 中二叠统; 白云岩成因; 白云石化模式

中图分类号: P588.2+5 文献标识码: A

1 概况

三塘湖盆地地处新疆维吾尔自治区的东北部, 北与蒙古共和国邻接, 它是位于阿尔泰山系和天山山系之间的叠合型盆地, 盆地呈北西-南东向狭长状分布。三塘湖盆地划分为北东方向隆、拗相间的三大一级构造单元, 包括北东冲断隆起带, 中央拗陷带和西南逆冲推覆隆起带; 以近东西方向凹、凸相间的一系列二级构造单元为主。盆地沉积盖层包括: 二叠系、三叠系、侏罗系及白垩系、第三系、第四系的沉积地层。碳酸盐岩是三塘湖盆地重要的储集层之一, 其主要分布在中二叠统的芦草沟组, 碳酸盐岩平均厚度为 46 m, 最厚为 123 m, 最薄为 2 m, 并且碳酸盐岩中 50% 以上为白云岩 (约 53%)。

关于白云岩的形成机理有多种观点, 如准同生原生沉淀作用、毛细管浓缩作用 (蒸发泵作用)、回流渗透白云化作用、混合白云化作用等 (黄杏珍, 2001; 王兴涛, 2007; 侯满堂, 2007), 每种成因代表一种特定的沉积环境。因此, 分析白云岩的成因

具有非常重要的环境意义。研究区关于白云岩成因问题讨论甚少。因此, 对该区白云岩成因探讨为恢复古沉积环境具有重要意义。

2 芦草沟组白云岩特征

2.1 岩石学特征

三塘湖盆地芦草沟组白云岩主要为泥晶白云岩、含陆屑泥晶粒屑白云岩、泥晶团粒白云岩、泥晶粉屑白云岩、含凝灰质泥晶白云岩、含凝灰含内碎屑泥晶白云岩、凝灰质泥晶粒屑白云岩及凝灰质粒屑泥晶白云岩。经染色薄片显微观察, 发现芦草沟组有斑块白云岩和纹层状白云岩两种, 纹层状白云岩由纹层状泥灰岩和纹层状白云质泥岩交互而成, 具水平层理, 这些白云石几乎都含铁, 自形程度较好, 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。斑块状白云石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, 自形程度差, 其形成时间可能晚于纹

收稿日期: 2008-09-23; 修回日期: 2009-03-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2003CB214603) 资助

作者简介: 朱玉双 (1968-), 女, 黑龙江省大庆市人, 博士, 教授, 主要从事储层地质与油气田开发研究、低渗储层渗流机理研究。E-mail: yshzhu@nwu.edu.cn.

层状铁白云石。白云石和铁白云石并存，并可见广泛的铁白云石交代白云石，再交代方沸石的现象，白云石自形程度略差，形成早，铁白云石自形程度好，形成晚期。并且在某井见及的纹层状白云岩，早期为泥晶白云岩，晚期为亮晶铁白云石交代。

前人研究认为，该地区碳酸盐岩储集体可分两个亚类（杨威，2000；陈志远，1998；胡明毅，1998；孙尚如，2004）：①低能储集体，指在低能量沉积环境下形成的碳酸盐岩。主要包括泥晶灰岩、砂砾屑

泥晶灰岩、泥晶白云岩等；②高能储集体，指在高或者较高能量沉积环境下形成的碳酸盐岩，如亮晶颗粒云岩。并且认为三塘湖盆地的灰岩类应属高能储集体。但本研究经过对染色薄片及铸体薄片统计，灰岩类、白云岩类均为泥晶灰岩或泥晶白云岩（表1），只在裂缝中见亮晶方解石。因此，研究认为三塘湖地区碳酸盐岩应形成于低能量的沉积环境。结合中二叠世的沉积组合及岩性认为，该区白云岩应形成于一种安静、温暖的环境中。

表 1 芦草沟组碳酸盐岩统计
Tab. 1 Statistics about carbonate rock in Lucaogou Formation

井 号	岩 性	百 分 比%		统计块数
		白云岩	灰岩	
马 5 井	泥晶白云岩、含陆屑泥晶粒屑白云岩、泥晶粉屑白云岩、含凝灰质泥晶白云岩、泥晶团粒白云岩、陆屑砂屑灰岩、含凝灰质泥晶含云灰岩	71.4	28.6	7
马 1 井	泥晶灰岩、含凝灰含内碎屑泥晶白云岩	20	80	5
马 6 井	主要为泥晶灰岩 85.7%（并且其中多为含内碎屑泥晶灰岩及少量砂屑灰岩）、少量砂屑灰岩 5.7%、少量泥晶粒屑云质灰岩及含云质灰岩 8.6%		100	35
马 8 井	主要为凝灰质泥晶灰岩 42.9%、少量粉/泥灰岩 28.6%		100	7
马 7 井	主要为泥晶灰岩 94.4%、少量陆屑粒屑灰岩 5.6%		100	34
马 10 井	凝灰质泥晶粒屑云岩 75%、凝灰质粒屑泥晶云岩 25%	100		4

经阴极发光鉴定，三塘湖中二叠统芦草沟组白云岩为含泥质粉晶白云岩、含粒屑粉晶白云岩、条带状（即纹层状）粉晶白云岩及少部分细晶白云岩。粉晶白云岩白云石以桔红色为主，方解石发光特征为橙红色；在条带状粉晶白云岩中含大量高岭石；细晶白云岩中，以暗发光的铁白云石和泥等组成围岩，而裂缝和溶蚀孔洞中充填大量的亮晶或异形白云石，发光极其明亮，且分布有极为丰富的白云石环带，次生白云石中有挤压-破碎-变形的现象。这些现象表明，该地区白云石是多期成因，并且说明白云石化过程中淡水是不断混入的。

白云石晶体的有序度与其形成条件有密切关系，它反映白云石晶体形成的溶液条件和结晶速度。三塘湖中二叠统芦草沟组白云石有序度较低，在 0.51~0.73 范围内，平均为 0.623，并且粉晶白云岩有序度较低。其中，纹层状（条带状）白云岩中白云石有序度最低（0.51），说明在淡水的多期混入中，每次的淡水混入程度不同，白云石的结晶速度也不同，有序度也就不同。

2.2 地球化学特征

白云石的形成与水介质的 Mg/Ca 值、水体的盐度、水动力环境及气候关系密切（黄杏珍等，2001；侯满堂等，2007；王兴涛等，2000；杨威等，2000），在低盐度区，在结晶速度缓慢的情况下，Mg/Ca 值低甚至为 1/1 时，白云石也可以形成。但在盐度和结晶速度都大时，只有 Mg/Ca 值高达 5/1 或者 10/1 甚至更高时（如潮上盐坪），白云石才能形成（黄杏珍等，2001；陈志远等，1998）。高盐度环境下 Mg/Ca 值为 5~10，正常海水（低盐度）的 Mg/Ca 值为 1 左右，白云石均可形成。即当 Mg/Ca 值为 1 左右，或 ≤1 时，则说明白云石是在较潮湿、无蒸发作用的低盐度中形成的（胡明毅等，1998）。据 Mg/Ca 值统计（表 2）表明，Mg/Ca 值均小于 1。另据微量元素分析，芦草沟组白云岩 Mg/Ca 值平均为 0.402，小于 1。并据 X 衍射测试 Mg/Ca 值为 1.08~1.86，平均为 1.39，在 1 左右。说明该地区白云石应形成于低盐度的、较安静的环境，且是多期的、交代成因的。

表 2 芦草沟组碳酸盐岩 Mg/Ca 值统计表

Tab.2 Statistics about Mg/Ca of carbonate rock in Lucaogou Formation

井号	统计块数	胶结程度	方解石 (%)	白云石 (%)	方解石 (mol 数)	白云石 (mol 数)	Mg/Ca
马 10 井	4	中等	2. 5	66. 25	0. 03	0. 36	0. 94
马 1 井	7	中等	51. 75	42. 00	0. 52	0. 23	0. 31
马 5 井	8	中等	22. 43	60. 86	0. 22	0. 33	0. 60

白云石的碳氧稳定同位素和锶、铁等微量元素的地球化学指标，也能较客观地反映白云石形成时沉积和成岩环境的某些特征（陈志远等，1998）。已知海水的 Sr 的含量大约为 $1\,000 \times 10^{-6} \sim 1\,200 \times 10^{-6}$ ，与蒸发岩有关的超盐水平白云石 $Sr > 550 \times 10^{-6}$ ，埋藏白云石为 $66 \times 10^{-6} \sim 170 \times 10^{-6}$ ，混合带白云石为 $70 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$ （刘宝，1994），芦草沟组 Sr 的含量多处于 $31 \times 10^{-6} \sim 373 \times 10^{-6}$ 范围内，平均为 217.8×10^{-6} ，也说明芦草沟组白云石为混合成因的。另外，从靠近盆地中央的马 702 井的平均 Sr 的含量 (217.8×10^{-6}) 小于盆地西侧的马 10 井 Sr 的含量 (317.8×10^{-6})，表明淡水的来源方向可能是盆地的西侧。

在自然界中原生沉积的白云石，其 $\delta^{18}O$ 比共生的方解石 $\delta^{18}O$ 值高 6% ~ 10%，而交代成因的白云石则与伴生的方解石的 $\delta^{18}O$ 值相等或者相近（孙尚如，2004）。本次测试 8 个稳定同位素样品，没有一块样或相近两块样同时测出方解石和白云石的碳氧同位素，为了解方解石和白云石的 $\delta^{18}O$ 差值，白云石的氧同位素可暂用本次测定的马 3 井的数值，然后与其他井的 $\delta^{18}O$ 进行比较，结果见表 3。可以

看出差值大多数小于 6%，反映了白云石是后生交代成因。另从表 3 中盐度指数 Z 平均为 124. 43，反映当时水体盐度适中。芦草沟组膏岩并未普遍存在（实际只有一井点见及），更加说明白云石不是在蒸发能力强、高盐度的环境中形成，而是在有淡水注入的低盐度的环境下形成。当然在淡水注入前，水体还有一定盐度，但未高到一定程度，故膏岩不发育，也就是说这种白云石不是在干热的气候、高 Mg/Ca 值的环境下的“蒸发”矿物，而是淡水注入到盐度较高的半咸水中，二者混合达到一定比例时形成的。

另外，芦草沟组 $\delta^{13}C\text{‰}$ （PDB）变化范围较大，从 - 11. 7‰（PDB）至 11. 4‰（PDB），主要分布在 - 1. 2‰（PDB）~ 6. 3‰（PDB），平均为 2. 64‰（PDB）。一般认为碳酸盐岩的碳氧同位素组成受其形成过程中温度以及沉积和成岩溶液性质的影响，当补给缺乏或强烈蒸发而导致海水盐度变大时，其沉积物中的碳氧同位素质增高，相反高温和雨水稀释有利于轻的碳氧同位素进入固体（D. W. Morrow，1982。引自史基安，1993）。所以说芦草沟组白云岩应形成于温暖的、有淡水注入的环境。

根据 $\delta^{18}O$ 值可求取成岩温度，许多学者提出了不同的 $\delta^{18}O$ 与温度之间的关系式，笔者用 $T = 14.8 - 5.14 \times \delta^{18}O$ 公式对测试样品进行了成岩温度的计算，结果表明（表 3），该区芦草沟组的成岩温度具有西高东低、南高北低的特点，与盆地热史研究的结果一致。同时还可看出，盆地南部芦草沟组已处于生油高峰期，这一结论与包裹体测温结果也是相符的。

表 3 芦草沟组碳酸盐岩稳定同位素数据

Tab.3 Stable isotopic data of carbonate rocks in Lucaogou Formation

井 号	井段 (M)	岩 性	$\delta^{13}C\text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}O\text{‰}$ (PDB)	$\Delta \delta^{18}O\text{‰}$ (PDB)	盐度指标 Z 值	成岩温度 ()
马 10 井	2296. 91	泥灰岩	11. 4	- 6. 8	11. 2	147. 26	51. 6
马 3 井	1819. 59	白云岩	4. 8	- 18	0	128. 17	112. 2
马 7 井	2073. 85	泥灰岩	6. 3	- 10. 7	7. 3	134. 87	72. 7
塔 2- C01		泥灰岩	2. 8	- 9. 9	8. 1	128. 1	68. 4
条 5 井	3648. 63	泥灰岩	- 1. 2	- 23. 3	- 5. 3	113. 24	140. 9
马 9 井	4116	泥灰岩	5. 2	- 18. 7	- 0. 7	128. 64	116. 0
马 6 井	3135. 2	泥灰岩	0. 1	- 18. 1	- 0. 1	118. 49	112. 7
马 6 井	3077	泥灰岩	- 11. 7	- 13. 4	4. 6	96. 665	87. 3

3 白云石化模式

通过对研究区芦草沟组白云岩矿物学、地球化学和成岩温度等特征的研究,笔者认为芦草沟组白云岩应属混合白云岩化作用形成的白云岩,其具体形成模式见图 1。

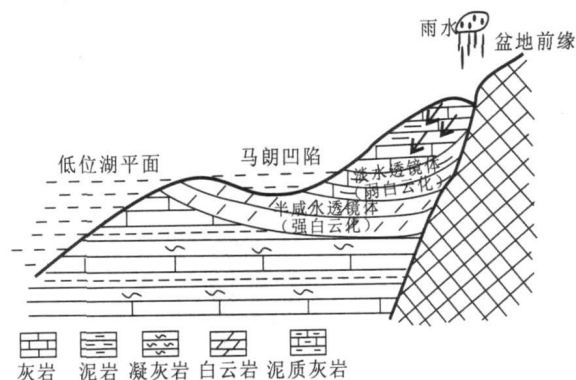


图 1 白云石化模式

Fig. 1 Model of dolomitization

三塘湖盆地在芦草沟早期为封闭的湖盆,由于水体封闭,湖水蒸发形成了有一定盐度的湖水(但还未达到形成膏岩的程度)。同时,大量的火山碎屑在成岩过程中放出大量镁离子,使其沉积物粒间孔隙水为较高盐度的高 Mg/Ca 值的流体,其碳氧同位素、微量元素也较正常海水高。在晚华力西运动中,盆地南部抬升,沿盆地的西南侧的隆起区向区内提供大量的淡水,并沿着斜坡向近地表沉积物渗流,这种低盐度、低 Mg/Ca 值的大气淡水在盆地西南侧与较高盐度的、高 Mg/Ca 值的孔隙流体混合,使得这种孔隙水被稀释,盐度迅速下降,碳氧同位素变轻、微量元素含量变低,导致混合白云岩化作用发生。由于沉积时原始物质成分的差异及安静的环境,此时期形成纹层状白云岩。随着成岩作用的进行,芦草沟组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,在地表或近地表环境中,火山物质进一步析出镁离子和铁离子,即可形成大量的交代成因的铁白云石。在湖水上升期,沉积区被淹没,由于水动力较弱,从而沉积了低能的富泥的湖湾相沉积;而在湖水下降期,沉积区部分或全部露出水面,在大气淡水和湖水的混合作用带,就会发生白云化作用,形成铁白云石的斑块状交代。

综上所述,由混合白云化作用形成的白云岩,一般湖面有明显的升降变化,并有大气淡水加入。据芦草沟组白云岩的岩石学特征和地球化学特征,认为本区白云岩的主要形成机理为混合白云石化。

参考文献 (References):

- 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 [J]. 沉积学报, 2001, 19 (2): 207-212.
- 王兴涛, 张庆石, 张吉, 等. 青藏高原中生界白云岩特征研究及成因分析 [J]. 沉积学报, 2000, 18 (4): 555-559.
- 侯满堂, 王党国, 邓胜波, 等. 陕西马元地区铅锌矿地质特征及矿床类型 [J]. 西北地质, 2007, 40 (1): 40-60.
- 杨威, 王清华, 刘效曾, 等. 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 (2): 544-548.
- 陈志远, 马振芳, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部奥陶马五 5 亚段白云岩成因 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25 (6): 20-24.
- 胡明毅, 肖传姚, 龚文平. 湖北随州上震旦灯影组白云岩成因 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19 (3): 83-84.
- 孙尚如. 泌阳凹陷湖相白云岩层序地层学分析 [J]. 西北地质, 2004, 37 (1): 30-35.
- HUANG, Xingzhen, SHAO Hongshun, YAN Cunfeng, et al. Sedimentary condition of lacustrine dolomite in the lower Tertiary Biyang Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (2): 207-212.
- WANG Xingtao, ZHANG Qingshi, ZHANG Ji, et al. Character study and analysis of dolomite of Mesozoic in Qingzang Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 40 (1): 40-60.
- HOU Mantang, WANG Dangguo, DENG Shengbo, et al. Geology and genesis of the Mayuan Lead-zinc mineralization belt in Shaanxi Province [J]. Northwestern Geology, 2007, 40 (1): 40-60.
- YANG Wei, WANG Qinhua, LIU Xiaozen, et al. Dolomite origin of Lower Ordovician in Hetian River Gas Field, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (2): 544-548.
- CHEN Zhiyuan, MA Zhenfang, ZHANG Jinquan. Genesis of the dolomite in Ma5 subinterval, Ordovician in central Ordos basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25 (6): 20-24.
- HU Mingyi, XIAO Chuantao, GONG Wenping. Origin of dolomites in Dengying Formation, Upper Sinian, Suizhou, Hubei [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 37

(1): 30–35.

depression [J] . Northwestern Geology, 2004, 37

SUN Shangru. Analysis of high-resolution sequence (1): 30–35.

stratigraphy of lake-dolomite formation in Biyang

Origin of Dolostone in Lucaogou Formation of Middle Permian in Santanghu Basin

ZHU Yu-shuang, LIU Yi-qun, ZHOU Ding-wu
(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology,
Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China)

Abstract: Carbonate rock of Lucaogou Formation in Middle Permian is a major reservoir rock in Santanghu Basin and dolostone accounts for more than 50% in composition of the carbonate rock. There are two types of dolostone, one is the bedded dolostone and the other is the patch dolomite. In the bedded dolostone, the mineral dolomite has a good idiomorphism; on the contrary, in the patch dolostone, the idiomorphism of dolomite is not good. The patch dolostone is composed of ankerite with crassitudo crystal replacing calcite. The dolostone has a Mg/Ca ratio of < 1; a Sr content of 31×10^{-6} – 527×10^{-6} , averaged by 217.8mg/kg; and a difference in $\delta^{8}\text{O}$ between calcite and dolomite being less than 6. In addition, gypsum rock is not widely found in Lucaogou Formation, with the salinity being 124.43. Based on the aforementioned indexes, we hold that the dolostone in Lucaogou Formation of Middle Permian in Santanghu basin is of the mixed water origin and have built the correspondent dolomitization model.

Key words: Santanghu basin; middle permian; dolostone origin; dolomitization model

《西北地质》2008 年影响因子大幅度提高

在各级领导、各位专家、广大读者、编者、编辑委员会的共同努力下，《西北地质》取得了显著的成绩，据最新统计数据显示，2008 年《西北地质》影响因子大幅度提高。

据中国科技信息研究所最新公布的期刊影响因子和总被引频次评价指标，《西北地质》在我国科技期刊中各项指标优异，据中国科学技术信息研究所的统计，在我国地质、地球科学类较有影响的 40 种期刊中，《西北地质》2008 年影响因子为 1.175，排序 20；总被引频次 551，排名 22。《西北地质》影响因子在西北地区同类期刊中名列前茅，在学术期刊届的知名度进一步提高，是西北地区颇具影响力的科技期刊，已逐步成为国内外知名期刊。

《西北地质》坚持党的基本路线，提倡“双百”方针，其学术影响力不断扩大、在发现和培养科技人才、传播科技信息、促进学术交流、推动科技事业发展方面做出了不懈的努力。