

文章编号:1672-9854(2009)-03-0065-03

白云岩埋藏成岩作用过程中的金属元素与同位素再分配规律与受控因素

陈永权,周新源

(中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院)



陈永权

摘 要 前人在白云岩岩石地球化学研究过程中注意到,在开放体系下埋藏成岩作用过程中白云石金属元素含量与同位素组成将发生再分配,然而到目前为止还没有系统的理论来解释这一现象。根据化学平衡原理,提出离子半径理论控制白云岩在埋藏过程中的金属元素与同位素组成再分配规律,基本概念为大半径离子含量减少,小半径离子含量升高。根据这一理论,结合Ca、Mg、Fe、Mn、Sr等+2价离子的离子半径数值得出推论,在埋藏压实成岩作用过程中白云石将向着有序度升高的方向转化,白云石中的Fe、Mn含量升高,Sr含量降低,同位素比值 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 升高。该结论与前人资料有着高度的一致性。

关键词 白云石;成岩作用;金属元素;锶同位素;离子半径

中图分类号 TE125.1;P585 **文献标识码** A

陈永权 1978年生,2006年于南京大学获博士学位。目前在塔里木油田博士后工作站主要从事沉积地球化学与白云岩沉积储层研究,在国内外刊物上发表论文10余篇。通讯地址:841000新疆库尔勒市123号新疆博士后工作站;电话:(0996)2174791

1 金属元素含量与同位素组成再分配证据

顾家裕^[1]在总结前人资料中发现,在白云岩的埋藏过程中,随埋深的增大,Sr含量减少,Fe、Mn含量增加。Tucker等^[2]研究发现白云岩埋藏过程中Fe、Mn含量升高;Warren^[3]发现埋藏过程中,白云岩向着高有序度方向转化;Qing等^[4]研究英国哥伦比亚东北部埋藏白云岩发现,同一地层白云岩随埋深的增加,包裹体均一温度变化从92~178℃,锶同位素比值 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化从0.7081~0.7106;Malone等^[5]研究发现,随埋藏加深,包裹体均一温度变化从低于45℃到高于80℃,Sr含量从 750×10^{-6} 减少到 250×10^{-6} , MgCO_3 含量从41%增加到51.4%;Melezhik等^[6]研究发现白云岩埋藏演化过程中Mg/Ca比值升高,Sr含量降低,Sr同位素升高。

前人解释微量元素的含量主要决定于三方面因素:(1)流体的元素浓度;(2)体系的开放程度;(3)元

素在流体与白云石中的分配系数^[3]。在体系开放条件下,流体的性质与浓度是不断变化的,并且元素在流体与白云石中的分配系数也可以近似为定值,因此第(1)和第(3)方面两个因素实际上并不具有说服力。实际上,白云石元素含量与同位素组成的再分配,是开放体系下埋藏成岩作用过程中必然发生的事件,因此需要一套更系统、更科学的理论来解释这一现象。

2 金属元素含量与同位素组成再分配的理论分析

2.1 金属元素与同位素变迁的理论解释

开放体系下,埋藏压实过程中白云岩将不断地与孔隙流体发生物质交换。根据化学平衡原理,增大反应压力时可逆反应会向着体积减小的方向进行。也就是说在埋藏压实过程中,地层压力逐渐增大,白云石晶格中的大半径阳离子会优先被小半径阳离子

收稿日期:2008-11-18

取代。因此在埋藏成岩作用过程中,大离子金属元素含量将降低,小离子金属元素含量将升高,这是控制白云岩埋藏过程中元素与同位素特征演化的基本规律。

图1指示了白云石的层状结构:Ca²⁺层与Mg²⁺层间隔地出现在CO₃²⁻离子层中,Mg²⁺层中往往会混有大离子半径的Ca²⁺,从而导致了白云石的晶胞参数C₀值增加。当地层压力增加时,Ca²⁺将优先被Mg²⁺取代,导致白云石中MgO%含量逐渐增加、晶胞参数C₀值降低。

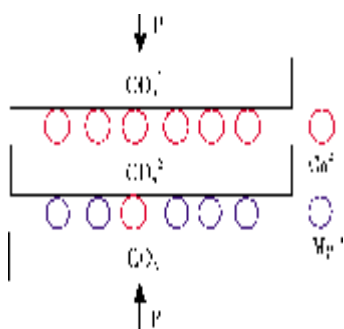


图1 白云石的结构示意图

2.2 地球化学特征变化

2.2.1 Ca²⁺、Mg²⁺含量变化

理论上,无杂质的潮坪蒸发沉积白云岩接近于化学计量组成^[3,7],在埋藏成岩作用过程中只是发生了离子重排,因此Ca²⁺、Mg²⁺含量无大变化。在CaO(%)—MgO(%)图与MgO%—Mg/Ca图中,沉积白云岩落在沉积点附近(图2)(CaO=30.4%,MgO=21.7%,Mg/Ca=1)。

交代白云岩与沉积白云岩不同,交代白云岩中的Mg离子是以Ca离子的替代者形式进入晶格,因

此随着交代比例的增加,岩石中MgO含量升高,CaO含量降低。假设原岩为纯石灰岩,表达式为CaCO₃,交代比例为x(0≤x≤1/2),则交代岩中CaO(%)、MgO(%)与Mg/Ca表达式分别为:

$$\text{CaO}(\%) = 56 \times (1-x) / [100 \times (1-x) + 84x]$$

$$\text{MgO}(\%) = 40x / [100 \times (1-x) + 84x]$$

$$\text{Mg/Ca} = x / (1-x)$$

因此可以根据x的变化做出图2。从图2可知,交代白云岩MgO(%)与CaO(%)呈线性负相关关系,MgO(%)与Mg/Ca比值呈非线性正相关关系。随着交代比例的增加,交代白云岩化学成分上将无限趋近于沉积点。交代白云岩埋藏压实过程中实际上是交代比例的增加过程,白云石将越来越富Mg贫Ca,同时Mg/Ca比值趋近于1。

2.2.2 微量元素含量变化与同位素组成变化

一般情况下,+2价金属阳离子易于进入白云石的晶格中。表1列出了一些常用+2价离子的半径参数。依据元素与同位素再分配原理,与常见2价离子的离子半径,我们可以得到如下推论:(1)埋藏压实过程中白云石将向着有序度升高的方向转化;(2)埋藏压实过程中白云石中的Fe和Mn含量升高,Sr含量降低;(3)由于⁸⁷Sr半径小于⁸⁶Sr,埋藏压实过程中,⁸⁶Sr优先被取代,导致Sr同位素比值⁸⁷Sr/⁸⁶Sr升高。

表1 常见+2价离子半径

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Sr ²⁺
半径 (×10 ⁻¹⁰ m)	0.99	0.66	0.74	0.8	1.12

2.2.3 有序度变化

白云石的有序度是针对白云石晶胞的一个概

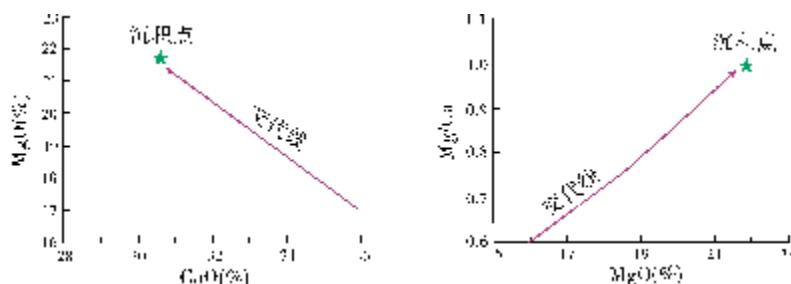


图2 CaO%—MgO%与MgO%—Mg/Ca关系图

念,是指白云石晶格中各粒子的排列有序程度。有序度的大小是通过白云石晶胞中{015}与{110}晶面的反射峰强度定义的,一般情况下,所说的有序度值指的是峰高比。虽然有序度值是个量化概念,然而有序度数值尚不能利用其影响因素以数学公式的形式表达出来,因此有序度值的讨论只能是讨论其变化与影响因素。

完全有序白云石晶胞中, Ca^{2+} 或 Mg^{2+} 层间插在 CO_3^{2-} 层中,不相互混染,此时有序度值为1.0。随着 Ca^{2+} 出现在 Mg^{2+} 层中数量增多,白云石的有序度降低。依前述,白云石在埋藏成岩作用过程中,晶格中 Mg 离子层中混入的 Ca 离子将逐渐被 Mg 离子取代,从而使得有序度增加。同时随着埋藏深度的增加,地层温度也越来越高,导致分子运动速度增加,从而导致白云石有序度加速提高^[18]。

3 结 论

开放体系下,埋藏成岩作用过程中,白云石晶体将发生金属元素与同位素的再分配过程,金属元素的迁移与同位素的分馏主要与金属阳离子的半径有关,大半径金属阳离子含量将越来越低,小半径金属阳离子含量将越来越高。利用这一理论所推断的白云石金属元素与同位素演化特征如下: MgO 含量升

高; Fe 和 Mn 含量升高; Sr 含量降低; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 升高。这些推论与前人报导的结果一致。

参 考 文 献

- [1] 顾家裕. 塔里木盆地奥陶统白云岩特征及成因[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 120-122.
- [2] Tucker M, Wright V P. Carbonate Sedimentology[M]. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1990.
- [3] Warren J. Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations[J]. Earth-Science Reviews, 2000, 52: 1-81.
- [4] Qing H, Mountjoy E W. Formation of coarsely crystalline, hydrothermal dolomite reservoirs in the Presquille Barrier, Western Canada Sedimentary Basin[J]. AAPG Bull, 1994, 78 (1): 55-77.
- [5] Malone M J, Baker P A, Burns S J. Recrystallization of Dolomite-evidence from the Monterey Formation, Miocene[J]. Sedimentology, 1994, 41(6), 1223-1239.
- [6] Melezhik V A, Gorokhov I M, Fallick A E, et al. Strontium and carbon isotope geochemistry applied to dating of carbonate sedimentation: An example from high-grade rocks of the Norwegian Caledonides[J]. Precambrian Research, 2001, 108: 267-292.
- [7] 陈永权, 周新源, 赵葵东, 等. 塔里木盆地塔中1井藻纹层白云岩与竹叶状白云岩成因——基于岩石学、元素与同位素地球化学的厘定[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 826-834.
- [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): 544-548.

编辑: 金顺爱

Theory of Ion Radius: The Reassigning Theory of Metal Elements and Isotopes during Burial Diagenesis Process for Dolostone

Chen Yongquan, Zhou Xinyuan

Abstract: Previous research had proved that concentration of elements and compositions of isotopes in dolostone will reassign during the burial diagenesis in open system but no any principle for interpreting the rules is available yet. Chemical equilibration rules were employed and figured out that it is the ion radius that controls the reassigning of elements and isotopes during diagenesis. According to the principle, associated with the radius values of +2-valenced Ca, Mg, Fe, Mn and Sr ions, we can make deductions as following: 1) The dolostone order will increase during diagenesis; 2) the Fe and Mn concentrations in dolostones will be increase but Sr content will decrease and the ratio of isotope $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ will increase during diagenesis. All of the deductions were supported by previously published data.

Key words: Dolomite, Diagenesis, Metal element; Strontium Isotope; Theory of ion radius

Chen Yongquan: male, post-Doctor. Add: Exploration and Development Research Institute, Tarim Oil Field Company, No.123 Korla, Xinjiang, 841000 China