

四川盆地海相碳酸盐岩中硅质含有物成因及存在问题分析

张倩慧*, 苏进红, 万 漓, 蒋雪桂, 朱 俊, 胡忠贵#

长江大学地球科学学院, 湖北 武汉
Email: 2741332130@qq.com, #hgz1978@yangtzeu.edu.cn

收稿日期: 2021年5月10日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘 要

四川盆地碳酸盐岩储层为我国主要海相储层之一。通过分析四川盆地碳酸盐岩中硅质岩的沉积背景和赋存层位以及产出形式,发现硅质岩以互层、混积、充填、交代的形式广泛存在于碳酸盐岩中,产出形式、沉积背景各异,对于硅质岩成因的研究有助于判别沉积古环境和成岩环境。硅质岩的成因类型有生物或生物化学成因、化学沉积、交代(硅化)成因等,对于硅质岩成因的研究通常采用岩石学和地球化学等研究方法,其中硅氧同位素的研究对于深化硅质岩成因认识有重要意义。

关键词

四川盆地, 海相碳酸盐岩, 硅质岩, 沉积背景, 成因分析, 研究方法

Analysis of Origin and Existing Problems of Siliceous Minerals in Marine Carbonate Rocks in Sichuan Basin

Qianhui Zhang*, Jinhong Su, Li Wan, Xuegui Jiang, Jun Zhu, Zhonggui Hu#

School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei
Email: 2741332130@qq.com, #hgz1978@yangtzeu.edu.cn

Received: May 10th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

Carbonate reservoir in Sichuan Basin is one of the main Marine reservoirs in China. Through the

*第一作者。
#通讯作者。

analysis of sedimentary background and the occurrence of strata and output form of carbonate siliceous rocks in Sichuan basin, this paper found that the siliceous rocks widespread in carbonate rocks in forms of each layer, blended product, filling, metasomatism, etc. The occurrence forms and sedimentary background of siliceous rocks are different. The study of the origin of siliceous rocks is helpful to distinguish the sedimentary palaeoenvironment from the diagenetic environment. The genetic types of siliceous rocks include biological or biochemical genesis, chemical deposition, metasomatism (silicification) genesis, etc. Petrology and geochemistry methods are usually used to study the genesis of siliceous rocks, among which the study of silicon and oxygen isotopes is of great significance to deepen the understanding of the genesis of siliceous rocks.

Keywords

Sichuan Basin, Marine Carbonate Rocks, Siliceous Rocks, Sedimentary Background, Study of Origin, Study Methods

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

硅质岩是指化学作用、生物和生物化学作用以及某些火山作用形成的富含二氧化硅的岩石，其硅质含量一般大于 70% (FJ Pettijohn, 1977; 唐世荣等, 1994)。早期建立的硅质岩成因模式主要有：生物堆积模式、交代成因模式等。自 20 世纪 70 年代中期被发现以来，海底热泉为认识热水沉积硅质岩以及 SiO_2 的来源提供了新的思路。

1989 年, Reinhard Hesse 研究了硅质流体的成岩作用和硅化作用。国内热水沉积硅质岩的研究最早主要体现在华南地区, 例如陈洪德和伊海生等(1989)对广西丹池盆地上泥盆统榴江组硅质岩沉积特征及成因进行了讨论, 认为晚泥盆世榴江期, 同沉积期丹池深大断裂的裂陷作用导致丹池半地堑式盆地内海底火山活动发生, 提供了丰富的 SiO_2 、造成盆内热水条件, 经热水沉积和部分生物化学沉积形成了该区榴江组硅质岩[1]。

21 世纪初, Rogers 等(2001)介绍了北美硅质岩储层的成因、类型及勘探开发特点, 强调硅质岩的油气意义具有全球性。国内的冯彩霞、崔春龙等(2001)论述了硅质岩研究的理论意义和实用价值以及硅质岩研究中存在的若干问题及发展方向。

国内对硅质岩各方面的研究主要集中在扬子地区(雷卞军, 2002; 冯彩霞, 2009; 周新平, 2009, 2012; 林良彪, 2010)。研究内容包括讨论扬子地区以及局部同一层位尤其是二叠纪时期硅质岩的产状和地球化学等特征, 通过结合硅质岩的产状、结构、构造特征和地化特征, 分析硅质岩形成的环境和成因, 并建立成因模式(周永章等, 2004; 冯胜斌等, 2007; 姚旭等, 2013) [1]。

近年来, 越来越多的学者将对硅质岩的研究与沉积环境、构造地质背景联系起来(冯彩霞, 林良彪, 陈洪德, 李凤杰, 邱振, 周新平, 等, 2009~2012), 取得了不小的进展, 特别是对扬子地台二叠纪硅质岩的研究成为了热点[2]。

2. 四川盆地硅质岩沉积背景及赋存层位

2.1. 四川盆地巫溪地区五峰组 - 龙马溪组硅质岩沉积背景及产出特征

1) 沉积背景

奥陶纪 - 志留纪转折期, 扬子地区整体上由早期的广海逐渐变为局限滞留海盆, 并伴有两次海侵作

用, 广泛沉积了五峰组-龙马溪组富有机质页岩, 是目前我国最重要的页岩气勘探开发层系, 蕴含页岩气资源潜力巨大。四川盆地五峰组-龙马溪组中笔石化石丰富, 含有低等菌藻及放射虫和海绵骨针化石, 但缺乏底栖生物, 指示低能、欠补偿、缺氧的深水陆棚相沉积环境[3]。

2) 硅质岩产出形式

四川盆地上奥陶统五峰组和下志留统龙马溪组页岩是中国页岩气的重要产层, 沉积于富含硅质的深水陆棚环境, 广泛发育硅质岩。研究区五峰组岩性主要为硅质岩、硅质页岩、硅质泥岩等, 龙马溪组岩性为碳质页岩、硅质泥岩、硅质岩、粉砂质泥岩等。基于薄片的观察, 五峰组硅质岩主要由微晶石英组成, 且普遍发育放射虫; 而龙马溪组也主要由微晶石英组成, 偶见少量放射虫[3]。

2.2. 川西北长江沟地区大隆组硅质岩沉积背景及产出特征

1) 沉积背景

长江沟地区所在扬子地台上二叠统深水盆地沉积体系广泛发育, 在右江盆地、黔东、川东北、川西北地区硅质岩、硅质灰岩普遍发育。由于沉积背景为连陆台地、斜坡和海槽相沉积, 有机质的营养供应多数来源于陆地。川西北地区二叠系大隆组的沉积特征经前人的研究均推断可能受到火山事件或由火山引发的海底热液活动影响[4]。

2) 硅质岩产出形式

该区大隆组厚约 40 m, 底部为溶蚀状灰岩与吴家坪组含燧石灰岩整合接触, 顶部有一套 40~50 cm 厚的风化壳与下三叠统飞仙关组薄层状灰质泥岩整合接触。大隆组底部以中厚层状灰岩为主, 夹一套硅质灰岩。其上为条带状硅质岩、薄层状硅质岩和灰岩互层, 灰岩从薄层状向上逐渐转变为厚层状。中部发育一套薄层状硅质岩和页岩互层, 向上依次为中-薄层状灰岩夹硅质岩和中层状灰色灰岩夹硅质页岩互层, 可见菊石化石。顶部风化壳之下为薄层状硅质岩和页岩互层, 发育一套 2~5 cm 的凝灰质粘土岩[4]。

2.3. 四川盆地高石梯地区震旦系灯影组四段硅质岩沉积背景及产出特征

1) 沉积背景

高石梯地区位于四川盆地川中古隆起平缓构造区, 东接广安构造, 西邻威远构造, 北邻磨溪构造, 西南邻荷包场、界石场潜伏构造。该区灯影组主要为碳酸盐岩台地沉积, 以藻白云岩、晶粒白云岩、砂(粒)屑白云岩为主, 夹少量薄层砂岩、泥岩、硅质岩及膏岩, 自下至上可分为 4 段(灯一段~灯四段)。灯四段岩性主要由浅灰-深灰色层状粉晶白云岩、含砂屑白云岩、溶孔粉晶白云岩、藻云岩、硅质岩组成。由于桐湾运动影响, 该区灯四段遭受长时期的表生岩溶作用, 岩溶储层发育[5]。

2) 硅质岩产出形式

川中高石梯地区灯四上亚段上部硅质岩岩心上表现为薄层-中厚层状, 单层厚度 2~10 cm, 致密坚硬、普遍具条纹、条带状构造, 镜下一般表现为隐晶质硅质、显晶粒状硅质、放射状玉髓以及花瓣状硅质结核, 且横向可对比, 具有明显的热水沉积成因特征[5]。

2.4. 四川盆地东部震旦系灯影组硅质岩沉积背景及产出特征

1) 沉积背景

川东地区震旦系为被动大陆边缘沉积充填, 主要受控于西部的康滇古陆、泸定古陆、松潘古陆, 东南部的华夏古陆的隆升状况以及周围海槽海水的进退状况。灯影期, 古陆被海水淹没消失, 扬子地区大面积沉积碳酸盐岩, 并且受桐湾运动的影响, 灯影组地层遭受了长期剥蚀[6]。在灯影组沉积时期川东地区总体处于澄江运动之后克拉通盆地发育的早期阶段, 地势较平, 长期的暴露剥蚀呈现比较平缓的地貌, 海平面上升形成了灯影组沉积[7]。

2) 硅质岩产出形式

灯影组为一套以白云岩为主的碳酸盐岩沉积, 含膏, 夹泥页岩、硅质岩。其中, 灯一段主要为泥粉晶白云岩、泥质白云岩; 灯二段岩性主要为富微生物白云岩层, 泥粉晶微生物白云岩夹颗粒白云岩、泥质白云岩, 局部发育硅质白云岩, 常见葡萄状、雪花状构造, 分布广泛, 厚度 < 800 m, 多为 200~500 m, 质纯色浅; 灯三段为碎屑岩层, 岩性主要为深色泥页岩, 夹泥质白云岩和粉砂岩, 厚度较薄, 多数为 4~60 m, 在研究区东部出现灰岩及硅质岩; 灯四段岩性主要为砂屑白云岩及微生物白云岩, 见硅质条带(图 1(A)), 厚度在 50~350 m。研究区内岩性主要以泥晶白云岩、微生物白云岩为主, 夹颗粒白云岩, 泥质白云岩, 局部可见灰岩、硅质灰岩、硅质白云岩(图 1(B))和硅质岩等[7]。

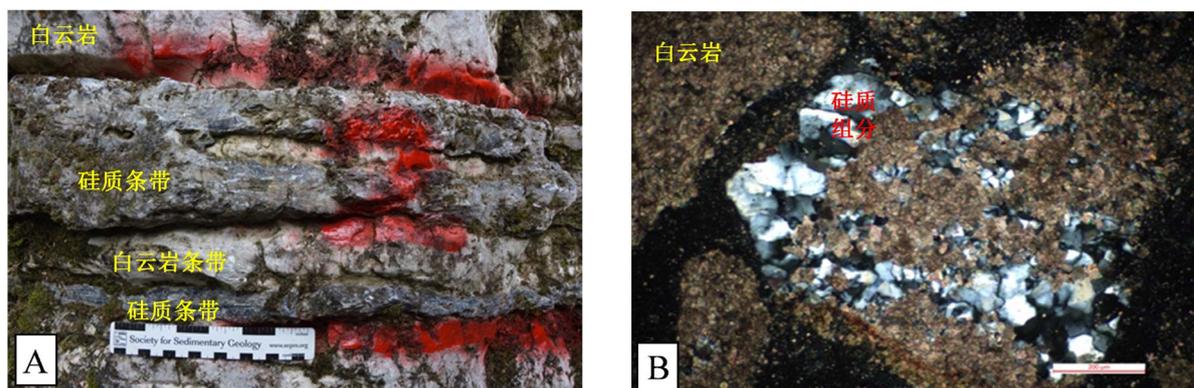


Figure 1. Characteristics of siliceous rocks in Section 4 of Dengying Formation, Baolian village, Mawu town, Shizhu, eastern Sichuan basin

图 1. 川东地区石柱马武镇宝莲村灯影组四段剖面硅质岩产出特征

2.5. 四川盆地上二叠统吴家坪组硅质岩沉积背景及产出特征

1) 沉积背景

四川盆地上二叠统吴家坪组与下伏茅口组多呈假整合接触。吴家坪组多以海相石灰岩为主并含煤, 其下部主要为灰色中层硅质条带泥晶石灰岩, 中部和上部石灰岩段主要为灰色 - 灰黑色、中 - 厚层状的灰泥灰岩和含生物屑石灰岩, 并含隧石条带及少量燧石团块、灰黑色薄层状硅质岩等。沉积环境总体为较深水的斜坡及开阔台地。

2) 硅质岩产出形式

上二叠统吴家坪组的硅质岩类型多样, 按产状一般可分为结核状(团块状)、条带状及层状三类, 其中以前二者居多[8]。

3. 四川盆地海相碳酸盐岩中硅质含有物成因分析

3.1. 硅质岩的三种主要成因

硅质岩是许多重要矿产的含矿岩系, 其形成往往与特定的沉积环境和成岩机制有关, 因此其成因研究一直受到学术界的重视。迄今主要的成因类型有生物或生物化学成因、化学沉积、交代(硅化)成因等。此外, 还有一些地区的硅质岩为过渡型成因类型。

1) 生物或生物化学成因

SiO_2 的沉积条件是 SiO_2 浓度 $> 120 \times 10^{-6}$ 、 $\text{PH} < 7$ 的酸性环境。而海水为弱碱性, 不利于 SiO_2 沉淀成岩, 但当大量菌藻类繁殖、死亡和有机质分解时, 放出有机酸、 CO_2 等, 造成局部酸性水环境, 便有

利 SiO_2 沉积。由此,生物或生物化学沉积成因硅质岩中,主要是水体中部分 SiO_2 来源于生物,许靖华(1979)等认为该种成因又可分为藻类的捕获作用、硅藻的堆积作用两种成因。另外,海洋中的硅质生物通过自身的生存活动,将海水中分散状态的硅质吸附组成自身的机体。当其死亡之后,遗体就像雪花似的沉向海底在碳酸盐补偿界面以上,因海水为碱性,压力小、温度高,硅质生物遗体在下沉过程中便被海水溶解或部分被溶解,只有下沉到碳酸盐补偿深度以下的深水环境,由于压力大、温度低,才免遭溶蚀,形成生物结构较完整的硅质岩。生物或生物化学沉积成因硅质岩其形成温度比较低,成岩环境较稳定。生物成因的硅质岩主要有硅藻土、海绵岩、放射虫硅质岩等几种类型[9]。

2) 化学沉积

主要包括火山喷发成因、碱性条件沉积成因及热水沉积成因。火山或热水作用形成硅质岩,其成岩物质主要来自深部。海底火山喷发活动伴随的海底热泉和喷气中含有大量的硅、铁、碳酸盐和硫化物等矿物质,其喷发形成的凝灰岩和其他火山碎屑岩在受到海解作用后也会产生硅、铁、锰等胶体物质的凝结和沉淀,从而为这一时期的海水提供大量的硅质来源, SiO_2 的溶解度随着水温的升高而增加,当温度降低时, SiO_2 的溶解达到过饱和而沉淀。这也是因为从火山喷发出来的热液中溶解有 SiO_2 ,可直接注入水体,尤其是火山物质遭受海解作用时发生蒙脱石化,把多余的氧硅释放到周围的海水中,使海底局部富含 SiO_2 。如碧玉岩、燧石岩等的形成其成岩温度较高,成岩环境的构造活动显著[9]。

3) 交代(硅化)成因

在同生或后生成岩作用阶段,白云石被 SiO_2 矿物交代。成岩早期,有机质分解产生有机酸、 CO_2 等使局部呈酸性环境,随着大量硅质生物遗骸的补给, SiO_2 浓度迅速上升,使沉积物中分散的呈溶解状态的 SiO_2 集中,在成岩初期先选择性地交代生物壳质后,又围绕生物向基质扩展,形成硅质团块和结核。或者,在同沉积期由于富硅质热流体在成岩阶段活化便交代围岩、交代充填晶洞[8];在岩石特征中,同沉积期富硅质热流体沉积后呈隐晶结构,经活化重结晶作用后,石英呈微-粉晶结构,甚至粗晶结构;在被交代岩石中能见到大量被交代残余白云石特征;同时,沉积硅质岩、经活化后交代石英及交代充填晶洞石英均具有极为相似的地球化学属性。成岩晚期至后生作用早期,经重结晶或白云岩化后进一步硅化,当 SiO_2 有足够浓度时,随着岩石的固结和硅化程度的不同,可以形成硅质条带或局部以至全部被交代,变成硅质白云岩或硅质岩。当交代不完全时,镜下可见硅质岩薄片中含有白云岩的部分残存斑块[9]。

3.2. 硅质岩成因的研究方法

3.2.1. 地球化学研究方法

硅质岩粒度细,结构致密,矿物组成和结构构造相对简单,对硅质岩岩性组构的研究难度较大。此外其硬度高,抗风化能力强,受后期内外力地质作用改造的程度较低,因此地球化学方法是其成因研究的重要手段,且已取得一些有意义的成果[10]。

目前,国内外对硅质岩成因的研究方法和思路比较新颖,主要从硅质岩的野外成因标志、结构构造、矿物组成、常量及微量元素、稀土元素、放射性同位素、稳定同位素(S、O、Sm-Nd、La-Ce 同位素)、稀有气体同位素(Ar)、古地磁及有机地球化学等方面进行研究[11]。本文着重介绍硅质岩主要元素、微量元素、稀土元素及硅氧同位素在其成因研究方面的应用[12]。

1) 常量元素

Fe、Mn、Al 等主要元素的含量对于区分热水沉积物与非热水沉积物(正常海水中的沉积)具有重要意义,在硅质岩中 Fe、Mn 的富集主要与热水的参与有关,而 Al 的集中一般与陆源物质的介入相关。Bostrom (1973)指出,海相沉积物中 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 值是衡量沉积物中热水沉积物含量多少的标志, $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 比值随着沉积物中热水沉积含量的增加而减少。Adachi (1986)和 Yamamoto (1987)在研究了属于热水

沉积及非热水沉积硅质岩样品后认为, $Al/(Al + Fe + Mn)$ 比值由纯热水沉积的 0.01 到纯远海生物沉积的 0.60, 还由此拟定了判别热水沉积硅质岩和非热水沉积硅质岩的 Al-Fe-Mn 三角图解(图 2) [2]。所有热水沉积的数据均落入 Al-Fe-Mn 三角成因判别图解的富铁端, 非热水沉积的数据落入图中的富铝端。

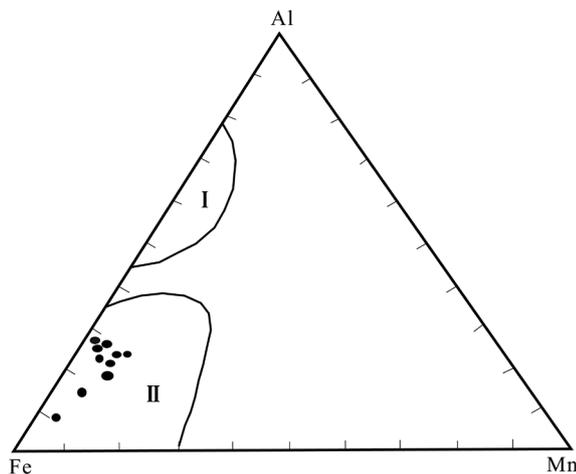


Figure 2. Triangle diagram of Al-Fe-Mn layered siliceous rocks (Yuetong Xu, 1997). I-Non-hydrothermal siliceous rock region; II-hydrothermal siliceous rock region

图 2. 层状硅质岩 Al-Fe-Mn 三角图(徐跃通, 1997)。I-非热液成因硅质岩区; II-热液成因硅质岩区

硅质岩主要氧化物的含量和比值可以较好地地区分出热水沉积与生物化学沉积硅质岩。根据大量的实际资料总结出的经验性的判据可以得出: 一般生物成因的硅质岩 SiO_2 、 P_2O_5 、 Fe_2O_3 含量高, Al_2O_3 、 TiO_2 、 FeO 、 MgO 、 K_2O 含量低; 海相火山沉积硅质岩 P_2O_5 、 K_2O 含量低, TiO_2 含量高; 典型热水沉积硅质岩富 SiO_2 贫 Al_2O_3 、 TiO_2 。热水沉积硅质岩的 Fe_2O_3/FeO 、 SiO_2/Al_2O_3 、 SiO_2/TiO_2 、 $SiO_2/(Fe_2O_3 + FeO)$ 、 SiO_2/MnO 、 SiO_2/MgO 、 $SiO_2/(K_2O + Na_2O)$ 、 SiO_2/CaO 等比值较小, 而生物化学沉积硅质主要氧化物比值较高[13]。

此外, 大量统计资料表明, 与海底火山作用密切相关的硅质岩, 其 $w(K_2O)/w(Na_2O)$ 值小于 1, 而以正常生物化学作用为主的硅质岩该比值远远大于 1。

2) 微量元素

As、Ba、B、Sb、Bi、Ga 等微量元素是热水沉积硅质岩的重要特征。热泉水较正常水来说, As、Ba、B、Sb、Bi、Ga 等微量元素含量也普遍偏高。特别是 Ba 元素在硅质岩中的含量, 经常被用来判别硅质岩成因, 热水成因的硅质岩 Ba 与 SiO_2 成正相关关系。U/Th 值也可以用来指示硅质岩的沉积物源与热水成因的关系, 热水沉积硅质岩 U/Th 值大于 1, 而非热水沉积硅质岩 U/Th 值小于 1 [14]。

微量元素与某些常量元素含量特征进行综合比较能够判别硅质岩是否为热水成因(Crerar DA, 1982), 如 Fe、Mn、Cu、Ni、Co 元素含量特征的比较。Crerar DA (1982) 提出海底热水沉积物与水成沉积物的元素组成在 Fe-Mn-(Cu + Ni + Co) $\times 10$ 三角图(图 3)有明显的集中区, 热水沉积物多集中在 Fe-Mn 底线附近, 由此可知热水沉积物富 Fe、Mn, 而贫 Cu、Ni、Co [14]。

3) 稀土元素

稀土元素作为一种地球化学示踪剂, 是判别热水沉积的一个重要依据[15]。Fleet (1983) 在系统地研究了热液成因和非热液成因的金属沉积后, 得出结论, 热水沉积物 REE 总量低, Ce 为负异常, HREE 有富集趋势; 非热水沉积物 REE 总量高, Ce 为正异常, HREE 不富集[2]。热水沉积物出现这种规律性特征的原因是热水源混入了主要为向下渗透而后上升的海水, 因此在热水沉积物中能够保留海水固有的 REE 总量低, Ce 亏损等特点[2]。

通过硅质岩的稀土元素北美页岩标准化分布模式图(图 4)可以估算出岩石中热水沉积与非热水沉积的比例, 模式曲线向左倾斜程度越高, 沉积岩中热水沉积物的比例就越大[15]。

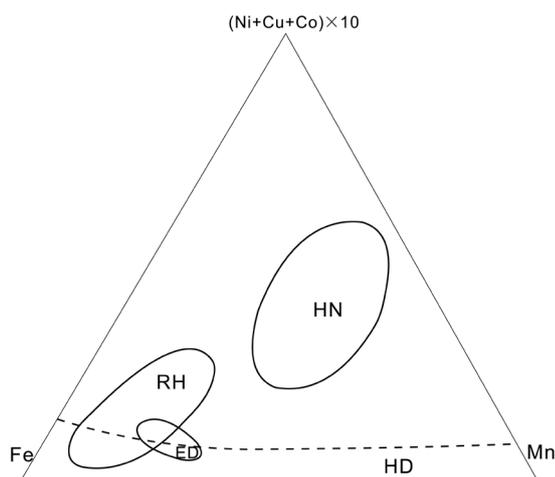


Figure 3. Triangle diagram of Fe-Mn-(Cu + Ni + Co) $\times 10$ silicic rock (Bingguang Zhu, 2011). (ED-Hydrothermal Sediments of East Pacific Mid-Ridge; RH-Hot brine deposits of Red Sea; HN-Aqueous sediment area; HD-Hydrothermal deposit area)

图 3. 硅质岩 Fe-Mn-(Cu + Ni + Co) $\times 10$ 三角图(朱炳光, 2011)。(ED-东太平洋中脊热水沉积物区; RH-红海热卤水沉积物区; HN-水成沉积物区; HD-热水沉积物区)

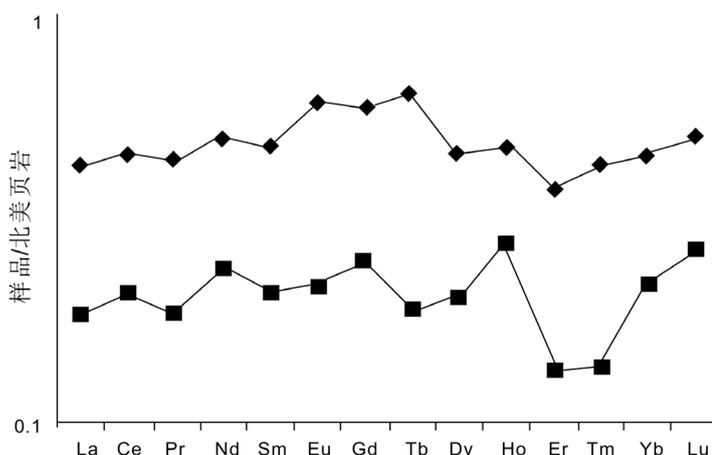


Figure 4. Normalized distribution curve of rare earth elements in siliceous rocks from North American shale (Zhiyuan Liu *et al.*, 2005)

图 4. 硅质岩的稀土元素北美页岩标准化分布曲线(刘志远等, 2005)

4) 硅氧同位素

由于硅同位素组成变化相对硫、碳、氧等稳定同位素明显偏小以及当时分析精度的限制, 在 20 世纪 80 年代前有关硅同位素的研究非常少。20 世纪 80 年代末, 中国学者通过对硅同位素原有测试技术的改进, 使得硅同位素在中国的研究迅速开展起来[16]。近年来, 随着丁悌平等(1988, 1990)建立了用 SiF_4 分析硅同位素的实验装置与方法, 并获得了与前人相比更高的精度, 从而使硅同位素研究进入了实用阶段[17]。硅质岩硅同位素研究是判断硅质岩成因的一个重要指标。

硅质岩主要由石英组成, 因此可通过将石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 的值来分析硅同位素的地球化学成因(Richard W Murray 等, 1991)。硅质岩中的石英来源不同, 其硅同位素 $\delta^{30}\text{Si}$ 的值不同, 热液来源的石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 值介于 -1.5‰ ~ 0.8‰ 之间; 低温水中内生石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 1.1‰ ~ 1.4‰ ; 海洋中溶解 Si 的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 10.4‰ ~ 0.2‰ ;

而交代成因的硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为 2.4‰~3.4‰ (Douthitt CB, 1982; 徐跃通, 1996; 宋天锐等, 1989)。根据宋天锐、丁梯平(1989)对 20 件典型硅质岩样品的 $\delta^{30}\text{Si}$ 的分析, 得出结论为深海环境硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 平均值为 0.16‰, 半深海硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 平均值为 0.4‰, 滨浅海硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 平均值为 1.3‰ [2]。

硅质岩在各种地质作用条件下其氧同位素交换是非常微弱的, 故可用硅质岩中的氧同位素组成判别硅质岩成因。根据 Knauth (1976)提出的硅质岩的氧同位素分馏方程:

$$1000 \ln \alpha (\text{燧石} - \text{水}) = 3.09 \times 10^6 T^{-2} - 3.29 \quad (\text{其中 } T \text{ 为绝对温度; } 1000 \ln \alpha (\text{燧石} - \text{水}) = \delta^{18}\text{O} \text{ 燧石})。$$

估计硅质岩形成时的温度, 故此可根据水温判断硅质岩是否形成于热液环境[2]。

3.2.2. 岩石学研究方法

在一定物理化学条件下形成的矿物, 往往带有特定的成因标志, 对其进行研究, 可以帮助我们分析矿物形成时的环境条件。

硅质岩的矿物成分主要有非晶质的蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 为凝胶体), 隐晶质的玉髓(又叫石髓), 成分为 $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 以及结晶的自生石英(SiO_2)。除此之外, 还可以有碳酸盐矿物、粘土矿物以及一些金属矿物(Fe)等[18]。

正常的光学显微镜下, 可观察到硅质岩的主要组成矿物为隐晶-微晶石英、玉髓、方解石、粘土矿物等。其中石英主要呈粒状集合体, 常为无色或乳白色等, 薄片观察为无色透明, 低正突起, 糙面不显著, 一级灰干涉色, 受应力作用影响, 常产生波状消光[18]。

玉髓在显微镜下观察常成纤维状、球粒状, 薄片通常无色透明, 有时被氧化铁染成浅黄或浅褐色, 低负突起, 见不到糙面, 折射率随含水量的减少而增加, 一级灰白干涉色, 由玉髓组成的球粒在正交偏光下可成十字消光, 一轴晶正光性, 并具有较小的光轴角[18]。

3.2.3. 其他研究方法

硅质岩的研究除了地球化学以及岩石学研究方法外, 还有其他的手段和方法, 像硅质岩微区的研究则主要运用激光拉曼、X 射线衍射(XRD)、阴极发光、扫描电镜能谱分析以及 EBSD 等手段。

硅质岩的主要矿物为氧化硅矿物: 石英、玉髓和蛋白石, 大多数硅质岩为隐晶质结构, 这种结构使多数硅质岩无法得到阴极发光图像。但经发现, 若硅质岩为微晶石英, 用阴极发光技术就能采集到发光较理想的图像。丁家山组硅质岩主要由微晶石英, 少量细晶白云石与方解石组成。用混合溶液染色试剂给薄片染色后, 白云石矿物不着色, 而方解石矿物呈红色。微晶石英最高为一级灰白干涉色, 白云石和方解石均为高级白干涉色[19]。在阴极发光照片中方解石发橙黄色光, 硅质石英发棕褐色光, 白云石在镜下多呈菱形, 应呈发朱红色光(发光强度较之方解石弱)阴极发光特征, 但由于丁家山组硅质岩中的白云石中大量存在铁类质同象现象, 故白云石的阴极发光较暗, 普遍偏黑色[19]。利用阴极发光技术, 可以获得普通显微镜无法获取的影像信息, 而这些信息进一步确定了硅质岩的交代现象。

4. 研究意义及存在问题

硅质岩的硅氧同位素在古温度的重现中有重大意义, 但是对于哪些硅质岩的硅氧同位素能够用于古温度的重现却没有标准, 虽然硅质岩的氧同位素在地质时期其交换式非常微弱的, 但也不排除沉积期后各种成岩作用的影响氧同位素的组成。Johanna M.C.等(2013)提出在将硅氧同位素用于古温度的重现中, 由于硅质岩的来源多种多样, 同位素组成可能由于流体作用而改变, 能够用于重现古温度的硅质岩样品须满足 5 个条件: ① 硅质岩主要由微石英组成; ② $\delta^{18}\text{O}$ 值足够大接近同时代其他硅质岩测试过的最大的 $\delta^{18}\text{O}$; ③ $\delta^{18}\text{O}$ 在微米级别大范围的存在; ④ 利用微量元素的富集, 结合 $\delta^{30}\text{Si}$ 在 3 个可能的端元(成岩、热液和硅化)中探究硅质岩的来源; ⑤ 在纯成岩微石英中 $\delta^{30}\text{Si}$ 大范围的存在。这 5 个标准有助于识别原始形成的硅质岩, 排除后期成岩作用的各种影响以更好的重现海水的古温度[2]。

虽然硅质岩的研究进展很快,但是相对于化学沉积和生物化学沉积的碳酸盐岩而言,硅质岩的研究程度还相当薄弱,仍有许多问题亟待解决。在硅质岩的研究中,分析研究硅质岩的岩石学特征、地球化学特征、沉积环境和岩相古地理等仍是揭示硅质岩来源和成因的有效方法[2]。

互层硅质、充填硅质和交代硅质中二氧化硅来源以火山喷发为主,但后期沉积机制不同;混积硅质中二氧化硅来源于陆源碎屑,对物源方向具有一定的指向意义,沉积机制为陆源混积。互层硅质、充填硅质、交代硅质对储层形成具有双重意义,混积硅质对储层形成起严重破坏性作用。对硅质岩的研究有助于重塑沉积环境,并且能够为寻找新的油气藏提供地质信息。

5. 主要认识

1) 四川盆地在震旦系灯影组、奥陶系五峰组-震旦系龙马溪组、二叠系吴家坪组和大隆组普遍存在硅质岩,产出形式、沉积背景各异,对于硅质岩成因的研究有助于判别沉积古环境和成岩环境,部分硅质组分往往也与储集岩相伴生。

2) 由于沉积环境的不同,不同地区的硅质岩产出形式及其成因也不尽相同,目前来说,硅质岩的成因主要为三种类型,分别是生物化学成因、化学沉积以及交代(硅化)成因。而对硅质岩成因的研究通常采用岩石学、地球化学等研究方法,其中硅氧同位素的研究对于深化硅质岩成因认识有重要意义。

参考文献

- [1] 张桥. 硅质岩研究进展[J]. 辽宁化工, 2017, 46(10): 997-999.
- [2] 徐跃通. 鄂东南晚二叠世大隆组层状硅质岩成因地球化学及沉积环境[J]. 桂林工学院学报, 1997, 17(3): 13-21.
- [3] 邱振, 谈昕, 卢斌, 陈留勤. 四川盆地巫溪地区五峰组-龙马溪组硅质岩地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2018, 37(5): 880-887.
- [4] 杨豫川. 川西北上江沟地区大隆组硅质岩地化特征及其成因研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [5] 罗文军, 徐伟, 朱正平, 刘曦翔, 王强, 申艳, 等. 四川盆地高石梯地区震旦系灯影组四段硅质岩成因及地质意义[J]. 天然气勘探与开发, 2019, 42(3): 1-9.
- [6] 姜振昌. 川东地区震旦系灯影组天然气成藏地质条件[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2016.
- [7] 王爱, 钟大康, 党录瑞, 彭平, 毛亚昆, 任影, 等. 川东地区震旦系灯影组储层特征及其控制因素[J]. 现代地质, 2015, 29(6): 1398-1408.
- [8] 李蔚洋, 刘杰, 何幼斌. 四川地区上二叠统吴家坪组条带状硅质岩成因分析[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2): 61-65.
- [9] 马文辛. 渝东地区震旦系灯影组硅质岩特征及成因研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [10] 郭福生, 林子瑜, 杜杨松, 刘林清, 严兆彬. 一种特殊类型硅质岩的特征与成因研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 573-581.
- [11] 陈翠华, 何彬彬, 顾雪祥, 刘建明. 桂西北高龙金矿床含矿硅质岩成因及沉积环境分析[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 54-58.
- [12] 梁锦. 硅质岩的传统研究方法及其意义[J]. 中山大学研究生学刊: 自然科学与医学版, 2008, 29(3): 24-32.
- [13] 杨建民, 王登红, 毛景文, 张作衡, 张招崇, 王志良. 硅质岩岩石化学研究方法及其在“镜铁山式”铁矿床中的应用[J]. 岩石矿物学杂志, 1999, 18(2): 3-5.
- [14] 朱炳光. 硅质岩成因研究进展[J]. 中国西部科技, 2011, 10(27): 10-11+36.
- [15] 刘志远, 金成洙, 王荣湖. 江西金山金矿区硅质岩成因及意义[J]. 地质与勘探, 2005, 41(2): 41-45.
- [16] 张聪, 黄虎, 侯明才. 地球化学方法在硅质岩成因与构造背景研究中的进展及问题[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2017, 44(3): 293-304.
- [17] 孙凯. 粤西长坑硅质岩地球化学特征及其成因研究[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学版), 1998(2): 3-5.

- [18] 余瑜, 林良彪, 黄棋琴, 郝强. 硅质岩的地球化学特征及最新研究进展[J]. 四川地质学报, 2015, 35(2): 167-171.
- [19] 曹秋香, 郭福生, 刘向铜, 杜杨松, 严兆彬, 张松, 等. 浙江江山丁家山组层状硅质岩阴极发光特征及成因探讨[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 797-803.