

# 硅质岩的研究现状及其成矿意义

冯彩霞, 刘家军

(中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**硅质岩以其独特的组成和地球化学特征, 自20世纪初期以来一直受到了国内外研究者的注意。通过对其研究现状和成矿意义的分析, 对于恢复成岩前的古地理、古气候和古环境以及指导找矿都有着重要的理论意义和参考价值。系统介绍了硅质岩的研究现状, 对其地球化学特征进行了阐述, 并在前人工作的基础之上进一步探讨了其成矿意义。

**关键词:**硅质岩; 研究现状; 成矿意义

**中图分类号:** P588.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5589(2001)02-0119-05

硅质岩在化学沉积和生物沉积的岩类中, 其数量仅次于碳酸盐岩。它不仅是许多重要矿种的赋存层位和含矿岩系的重要岩类, 而且由于它形成于特定的地球化学条件, 能够反映出某些沉积相带特殊的地质背景, 所以硅质岩的研究具有十分重要的理论意义和实用价值。

## 1 硅质岩的研究状况

早在20世纪初期就有地质学家专门从事硅岩的研究。早期的研究工作所使用的方法、手段比较简单, 研究内容也很局限。随着时间的推移和科学技术的发展, 使研究硅岩的方法和手段愈来愈多样化, 研究的邻域也不断拓宽<sup>[1]</sup>。

有关硅质岩成因众说纷纭, 莫衷一是: 诸如海洋模式、湖泊模式、火山物分解沉积模式、生物直接堆积模式、生物化学沉积模式以及交代成因模式等, 这些都不能完满解释其质地纯、沉积厚度大等地质现象<sup>[2]</sup>。

70年代中期以来的海底考察发现了海底热泉, 为人们认识硅的来源提供了新思路。事实上, 在常温下海水中的硅含量极低( $< 10 \times 10^{-6}$ )<sup>[3]</sup>, 不可能达到饱和而直接沉淀, 仅靠放射虫和海绵等硅质生物形成厚度很大的硅质沉积亦是很难的<sup>[4]</sup>。但是, 硅的溶解度随着水温的增高而迅速增加, 海水中硅的含量在150℃时达到 $600 \times 10^{-6}$ <sup>[5]</sup>, 在200℃时海水中的含硅量是50℃的10倍<sup>[6]</sup>。富硅的热水遇到冷海水后, 硅的含量可能超过常温水中溶解度的10~20倍<sup>[7]</sup>, 呈过饱和状态。因此在海底热泉附近可能有硅质的直接沉淀<sup>[8]</sup>。在海底热泉附近因营养丰富, 出现了硅质生物及其它生物十分繁荣的局面<sup>[9, 10]</sup>。

80年代以来, 国内外许多专家、学者对不同地区的硅质岩从不同角度作了大量研究<sup>[11-15]</sup>, 成果表明, 海底或大陆的许多硅质岩为热泉成因或流成因, 并称之为(喷流)热水硅质岩。它们在岩石学、构造学和地球化学方面具有一系列可以识别的特征。上述研究无论从广度或深度, 都使硅质岩的研究程度大大向前推进了一步。然而, 相对于化学沉积和生物化学沉积的碳酸盐而言, 其研究程度还相当薄弱<sup>[16]</sup>。

收稿日期: 2001-03-23

作者简介: 冯彩霞(1976-), 女, 青海省西宁市人, 硕士生, 主要从事矿床地球化学方面的研究。

总的来看,硅质岩研究已在野外成因标志、矿物组成、结构构造、常量元素组成、微量元素组成、稀土、放射性同位素(Rb-Sr、K-Ar、Pb等)、稳定同位素(H、C、O、Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup>、Sm-Nd、Si等)、稀有气体元素(Ar)、古地磁和有机地球化学等方面取得了丰富的研究成果,但仍有许多问题亟待解决<sup>[1]</sup>。

## 2 硅质岩岩石学特征

硅质岩是一种 SiO<sub>2</sub> 含量极高(一般含 SiO<sub>2</sub> 达 90%,有时高达 99%),且厚度大(几十米至几百米厚)的特殊岩石<sup>[17]</sup>,这种岩石常与碳酸岩相伴,或与深色泥岩页岩或板岩互层产出。硅质岩一般为灰白色-浅灰色,含泥质硅质岩呈深灰色,其岩性坚硬且脆,节理发育。

硅质岩矿物组成简单,多以石英为主,含少量粘土、碳酸盐矿物和有机质杂质。由于硅质岩分布广泛,物理性质特殊(硬度大)、抗风化能力强,使得硅质岩形成后期有利于保留当时形成的古地理、古气候和古环境信息。而硅质岩与生物的演化和众多元素的矿化也具有十分密切的关系<sup>[1]</sup>。

硅质岩形态一般呈透镜状、似层状、不规则状。其规模在各地大小不一,如西秦岭寒武系硅质岩建造中,硅质岩单层厚度一般为 30~200 m<sup>[17]</sup>。而在向山硬石膏矿床中厚度仅为 4~22 m,但向南延伸向山南硫铁矿床中,厚度可达 100 m 以上<sup>[18]</sup>。硅质岩大多数不纯,常含一定数量的凝灰物质、黄铁矿或硬石膏,其产出具有明显的层控特点<sup>[19]</sup>。

## 3 硅质岩的地化特征

### 3.1 层状硅质岩中稀土元素特征

传统上认为层状硅质岩的形成主要集中在沉积过程或成岩过程当中。随着在与硅岩互层产出的页岩当中出现的稀有且被强烈腐蚀的放射虫的观察,Murry<sup>[20]</sup>发现来自美国加里弗尼亚层状硅质岩序列的弗朗西斯杂岩和蒙特雷群中的主元素和稀土元素数据大部分同成岩作用为主的硅质岩-页岩共生体的数据一致,而与许多以沉积作用为主的硅质岩-页岩共生体数据相异。紧相邻的硅质岩、页岩层中具有同一 Ce 异常值(Ce/Ce\*)表明:浊流层或别的运移机体对互层间的岩石影响不是很大<sup>[20]</sup>。大洋中脊、大洋盆地和大陆边缘等不同大地构造环境中的热水沉积硅质岩从滨海到大洋盆地具有稀土元素 REE 总量降低,重稀土元素 HREE 相对富集和铈亏损明显的特征。洋中脊环境 δCe 平均值为 0.3,大洋盆地环境 δCe 平均值为 0.55,大陆边缘环境 δCe 值变化范围为 0.79~1.54。因此硅质岩和页岩中的稀土元素可以作为不同海相沉积环境的示踪剂<sup>[21]</sup>。

### 3.2 燧石的沉积化学在稀土、主要及示踪元素方面的海洋间的变化性

Murray<sup>[22]</sup>等从深海钻探计划(DSDP)、大洋钻探计划(ODP)岩心库中的 40 个形成于不同时代深海硅质岩样品研究发现,其颜色、沉积环境和围岩亦不相同。采自太平洋、大西洋、印度洋和南半球高纬区,研究结果显示 SiO<sub>2</sub> 含量太平洋最高,依次为大西洋(印度洋)和南半球高纬区,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量与 SiO<sub>2</sub> 成反比,所有盆地中 MnO、CaO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量相似。微量元素中 Cr、Rb、Zr、Nb 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 分布趋势一致,以太平洋最低,大西洋中等,南半球高纬区最高,Ba、Sr 在各个盆地中分布规律不明显。

所有硅质岩的稀土总量都很低,约有一半样品的稀土元素总量(ΣREE)为 < 50 × 10<sup>-6</sup>,分别与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 有相关性(相关系数 0.8),显示铝硅酸盐是稀土元素 REE

的主要载体。稀土元素总量( $\Sigma\text{REE}$ )与其它元素相关系数 $\leq 0.6$ ,与MnO不相关,说明Mn是硅质成岩过程中分离出来的,稀土元素(REE)元素与MnO之间没有亲和性。

铈异常( $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ )分布范围为0.12~1.69,明显分为三组: $\leq 0.50$ ,0.50~0.80,0.80~1.30。 $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ 在硅质结核和硅质岩透镜体成岩过程中并不发生变化。 $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 相关系数为0.42~0.54,与MnO和CaO不相关,与硅质岩形成时代和颜色无关。硅质岩所有REE指数中变化最明显的是洋盆中的 $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ 不同,太平洋 $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ 值最低(0.12~0.16,平均0.34),大西洋中等(0.47~1.12,平均0.81),南半球高纬区约1.0(0.98~1.17,平均1.04)。据此可将深海钻探计划(DSDP)和大洋钻探计划(ODP)硅质岩稀土元素分为三种不同类型,即南半球高纬区型(SHL型)、大西洋型(Atlantic型)和太平洋型(Pacific型)。SHL型硅质岩主要受输入南极被动大陆边缘的大量陆源物质的影响, $\text{Ce}/\text{Ce}^* \approx 1$ , $(\text{La}/\text{Yb})_N \approx 1.2\sim 1.4$ ,轻稀土的富集可能反映元素从海水中被吸附到沉积物中。大西洋是一个中等大小的洋盆,比太平洋有更多的陆源物质输入,硅质岩中REE行为记录了陆源和吸附作用的混合特征,具中等负铈异常, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值介于太平洋和陆源输入物之间,约为1.0~1.3。太平洋为一巨大的洋盆,故陆源物质输入量少,稀土元素主要来源于海水, $\text{Ce}/\text{Ce}^* \ll 1$ , $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值0.8~1.0<sup>[22,23]</sup>。

### 3.3 硅质岩的硅、氧同位素地化特征

#### 3.3.1 硅同位素的地化特征

由于硅同位素的自然变化比较小,分析精度相对较低,测定难度较大,故国内的硅同位素研究与应用发展缓慢。近年来,随着丁梯平等建立了用 $\text{SiF}_4$ 测定硅同位素的方法<sup>[24]</sup>,并提供了分析精度,从而使我国的硅同位素研究提高到一个新的高度。硅质岩 $\delta^{30}\text{Si}$ 值表明,在不同的沉积环境中具有规律性的变化,即从深海—半深海—深浅海环境, $\delta^{30}\text{Si}$ 值从0.16→0.4→1.3逐步增大。硅质岩的Si同位素值是判断其成因及其沉积环境的重要指标<sup>[24~26]</sup>。据Clayton,Douthitt等<sup>[25,26]</sup>的研究,不同来源的石英具有不同的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值。热水来源石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 值较小,其变化范围为-1.5‰~0.8‰;正常地下水自生石英 $\delta^{30}\text{Si}$ 值最大,其变化范围为1.1‰~1.4‰;而热泉水中溶解Si的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为0.0‰~0.4‰,海洋中溶解Si的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值为-0.4‰~0.2‰<sup>[27]</sup>。

#### 3.3.2 氧同位素的地化特征

由于硅质岩的形成需要一个漫长而又复杂的过程,而氧同位素组成能很好地反映这个过程的变化。硅质岩抗同位素交换的能力很强,在各种地质作用条件下的氧同位素交换仅限于厘米级范围内<sup>[26]</sup>。如Knauth<sup>[28]</sup>对南非Transvaal硅质岩(3400 Ma)的研究表明,硅质岩在形成后与大气及地下水的同位素交换降低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值不超过7‰,变质作用降低的 $\delta^{18}\text{O}$ 最大仅为4‰,二者加起来所降低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值不超过4.7‰。因此,硅质岩的氧同位素组成是研究硅岩成因的重要依据之一。硅岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值随地质时代变新有变大的趋势,Perry认为这种趋势反映了地质历史中海洋海水本身同位素组成的变化,Knauth<sup>[28]</sup>认为这反映了地球历史海洋古温度的变化。现在比较合理的解释为:时代从老到新,硅岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 增高反映了地史古海洋的温度变化,即温度越高, $\delta^{18}\text{O}$ 值则越低<sup>[29]</sup>。

## 4 硅质岩的研究意义

硅质岩不仅是许多重要矿种(如金、铀、钒、磷、锰、铂族元素、重晶石、黄铁矿等)的赋存

层位和含矿岩系的重要岩类,而且它形成于特定的地球化学条件,能够反映出某些沉积相带的特殊地质背景。硅质岩的形成不仅要有丰富的物质来源,而且还要在局部范围内形成有利于硅的聚集、保存、饱和、沉淀等特殊的地球化学域。大部分硅质岩富含有机质、黄铁矿,有机碳的含量可高达10%以上,且富含Ba、V、P、Mo、U、Th、Au、Se等20多种元素<sup>[30]</sup>。

硅质岩的研究具有十分重要的理论意义和实用价值。其相对简单的矿物物质组成和单一的结构构造背后隐藏的十分丰富的古地理、古气候和古环境信息,能极大地推进沉积学理论向前发展;多数硅质岩本身就是一种生物岩,这对探讨生物成岩、成矿的地质背景和揭示生物在地质历史演化中的作用有着十分重要的意义;形成硅质岩的生命物质,尤其是硅藻,可以为石油天然气大量聚集提供丰富的物质来源;硅质岩还与某些矿产如铁、锰、磷、重晶石等具有十分密切的时空成因关系;硅质岩本身是一种很有价值的原材料;硅质岩由于其自身的硬度大,很早就被石器时代的人们作为制造石器的重要原材料之一,这对硅质岩的研究具有较为重要的考古价值<sup>[2]</sup>。

由此可见,深入研究硅质岩的分布及产出特征及其矿物学、岩石学、沉积学的地球化学特征以及硅质岩的形成环境,有利于揭示硅质岩沉积成岩的地球化学过程。

#### 参考文献:

- [1] 唐世荣,王东安. 硅岩研究的进展[J]. 地球科学进展,1994,9(6):71-74.
- [2] 刘家军,郑明华. 硅质岩的新成因——热水沉积作用[J]. 四川地质学报,1991,11(4):251-254.
- [3] CALVERT S E. Sedimentary geochemistry of silicon[A]. In: Aston S R, ed. Silicon Geochemistry and Biogeochemistry[C], 1983. 143-170.
- [4] 涂光焯. 本世纪80年代地球科学若干问题进展[J]. 地质评论,1990,36(6):510-517.
- [5] KRAUSKOPF K B. Factors controlling the concentration of thirteen rare metals in sea-water[J]. Geochemistry and Cosmochemistry Acta, 1956,9(1):32.
- [6] HOLLAND H D. Gangue minerals in hydrothermal system[A]. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits[C]. 1967. 382-436.
- [7] RONA P A. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in ocean crust[J]. Econ Geol, 1978, 73:135-160.
- [8] RONA P A, BOSTROM K, EPSTEIN S. Hydrothermal quartz vug from the Mid-Atlantic Ridge[J]. Geology, 1980,8:569-572.
- [9] 康季捷诺夫 B H. 硅质岩发育区的地质测量[M]. 鲍永章译. 北京:地质出版社,1978.
- [10] EDMOND J M, DAMM K V. 大洋底的温泉[J]. 自然,1983,(8):37-50.
- [11] ADACHI M, YAMAMOTO K, SUIGISKI R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: Their geological significance as indication of ocean ridge activity[J]. Sediment Geol, 1986,47:125-148.
- [12] YAMAMOTO K. Geochemical characteristics and depositional environment of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shiment terranes[J]. Sediment Geol, 1987,52:65-108.
- [13] 陈洪德,曾允孚. 广西丹池盆地上泥盆统留江组硅质岩沉积特征及成因讨论[J]. 矿物岩石,1989,9(4):22-28.
- [14] 周永章. 丹池盆地热水成因硅质岩地球化学特征[J]. 沉积学报,1990,8(3):75-83.
- [15] 伊海生,曾允孚,夏文杰. 湘黔贵地区上震旦统沉积相及硅质岩成因研究[J]. 矿物岩石,1989,9(4):54-58.

- [16] 夏邦栋,钟立荣.下扬子区早二叠世孤峰组层状硅质岩成因[J].地质学报,1995,69(2):125-137.
- [17] 刘家军,郑明华.西秦岭寒武系金矿床中硅岩的地质地球化学特征及其沉积环境意义[J].岩石学报,1999,15(1):145-154.
- [18] 熊先孝,姚超美.安徽向山铁硫矿区硅质岩特征及成因意义[J].地质论评,1999,45(5):543-546.
- [19] 高常林,何将启.北大巴山硅质岩的地球化学特征及其成因[J].地球科学——中国地质大学学报,1999,24(3):246-249.
- [20] MURRAY R W. Diagenetic jounation of bedded chert: Evidence from chemistry of the chert - shale couplet[J]. *Geology*, 1992, 20: 271 - 274.
- [21] MURRAY R W. Rare earth element as indicators of different marine depositional environments in chert and shale[J]. *Geology*, 1990, 18: 268 - 271.
- [22] 盛吉虎.硅质岩沉积地球化学研究现状[J].河南地质情报,1996,4:11-15.
- [23] MURRAY R W. Interoceanic variation in the rare earth, major, and trace element depositional chemistry of chert: Perspectives gained from the DSDP and ODP record[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1992, 56: 1897 - 1913.
- [24] 宋天锐,丁梯平.硅质岩中的硅同位素( $\delta^{30}\text{Si}$ )应用于沉积相分析的新尝试[J].科学通报,1989,34:1408-1411.
- [25] CLAYTON R N. High temperature isotope effects in the early solar system[A]. In: Valley, et al, eds. *Reviews in Mineralogy*[C]. Houston: Pergamon Press, 1986. 129 - 139.
- [26] DOUTHITT C B. The geochemistry of the stable isotopes of silicon[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1982, 46(8):1449-1458.
- [27] 徐跃通.浙江西裘晚元古代层状硅质岩热水沉积地球化学标志及其沉积环境意义[J].地球化学,1996,25(6):600-608.
- [28] KNAUTH L R. 结核状和层状燧石中的氢、氧同位素比值[A].见:氧同位素地球化学译文集[C].北京:科学文献出版社,1979.
- [29] 刘家军,郑明华.热水沉积硅岩的地球化学[J].四川地质学报,1994,13(2):110-118.
- [30] 王东安.扬子地台晚元古代以来硅岩地球化学特征及成因[J].地质科学,1994,29(1):41-52.

## The Investive Actuslity and Mineralization Significance of Cherts

FENG Cai-xia, LIU Jia-jun

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guoyang 550002, China)

**Abstract:** For its unique compose and geochemical characteristics, chert has been studying by the investigators all over the world since the initial stages of 20th century. By analyzing the investigative actuality and mineralization significance, which have important academic significance and referenced value for resuming the paleo-geography, paleo-climate and plaeo-environment before turn into rocks, as well as looking for deposits. This paper has introduced by the numbers the researchful actuality of cherts, thus expounding its geochemical characteristics, moreover, discussing the significance to mining.

**Key words:** chert; investigative actually; mineralized significance