

The Geochemical Characteristics of Siliceous Rocks in Mesoproterozoic Erathem in Chicheng Area of Yanshan Belt

Xiucan Zheng

College of Technology and Engineering, Yangtze University, Jingzhou Hubei
Email: 1250709111@qq.com

Received: Jun. 24th, 2016; accepted: Sep. 22nd, 2016; published: Dec. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The content of Al_2O_3 and TiO_2 (the mass fraction was 0.06% and 0.01%, respectively) of silicalite was low and the content of TFe_2O_3 was high (the average mass fraction was 0.68%) in Mesoproterozoic Erathem (Gaoyuzhuang and Wumishan Formations) in Chicheng Area of Yanshan Belt, and it had characteristics of high ratio of Fe/Ti , $\text{Fe} + \text{Mn}/\text{Ti}$ (the average value was 131 and 140, respectively). The mass fraction ratio of MnO/TiO_2 of silicalite in the area was higher than that of silicalite in the ocean environment, and it was characterized by high ratio of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, low ratio of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$. All these characters indicate that silicalite is formed in the far shore environment of which keeps away from the disturbance of terrigenous detrital and is influenced by hydrothermal process. The siliceous matter mainly comes from the seafloor hydrothermal fluid.

Keywords

Silicalite, Hydrothermal Activity, Sedimentary Environment, Geochemistry, Meso-Proterozoic Erathem, Chicheng Area

燕山赤城地区中元古界硅质岩地球化学特征

郑秀才

长江大学工程技术学院, 湖北 荆州

作者简介: 郑秀才(1963-), 男, 研究员, 现主要从事沉积与储层方面的研究工作。

Email: 1250709111@qq.com

收稿日期: 2016年6月24日; 录用日期: 2016年9月22日; 发布日期: 2016年12月15日

摘要

燕山赤城地区中元古界(高于庄组和雾迷山组)硅质岩具低 Al_2O_3 和 TiO_2 (质量分数平均为0.06%和0.01%), 高 TFe_2O_3 (质量分数平均为0.68%), 高Fe与Ti质量分数比和(Fe + Mn)与Ti质量分数比(分别平均为131和140)的特征。区内硅质岩中MnO与 TiO_2 质量分数比大于远洋环境硅质岩, 且 Fe_2O_3 与 TiO_2 质量分数比较高, 而 Al_2O_3 与 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 质量分数比较低, 表明其形成于远离陆源碎屑干扰而受热液作用影响的远岸环境, 硅质主要来源于海底热液。

关键词

硅质岩, 热液活动, 沉积环境, 地球化学, 中元古界, 赤城

1. 引言

硅质岩广泛存在于沉积岩层系中, 野外产状主要呈结核状、透镜状、条带状和层状, 其成因多与生物、热水沉积和火山活动有关[1] [2] [3]。不同成因的硅质岩物质来源和成岩环境不同, 以致化学成分不同, 故可以通过研究其地球化学特征来揭示成因和形成环境[1] [4] [5] [6]。

燕山地区中元古代碳酸盐岩层中发育大量硅质岩, 前人对其成因和沉积环境的认识有所不同。在成因的认识上主要有海底热水成因[7] [8] [9]、陆源碎屑的风化成因、火山物质和硅质生物成因[10]等, 而对沉积环境的认识主要有“与风暴作用有关的碳酸盐台前缘斜坡沉积” [7]和“米级旋回层序中潮上带的暴露标志” [11]。

2. 地质背景

研究区位于燕辽裂陷槽西段(图 1), 该裂陷槽裂解始于 1800~1400 Ma, 由中、西段逐步向东发展, 至 1200 Ma 最终形成[12], 经历了长城纪断陷海槽、蓟县纪强烈凹陷和青白口纪稳定陆表海发展阶段[13] [14] [15]。裂陷槽内发育不同规模的同生断裂, 期间火山活动频繁, 以拉张力为主并伴随深部物质活动。高于庄组-雾迷山组沉积时期, 燕辽裂陷槽表现为强烈下陷和广泛海侵, 受控于“轴部断裂”且与“外海古洋相连通的古陆棚海盆” [12], 沉积了一套巨厚且稳定的海相碳酸盐岩夹碎屑岩地层。

该研究实测的古子房剖面位于河北赤城县, 是中元古界研究的理想剖面, 地层分布广泛, 出露良好, 具有代表性, 实测高于庄组厚 801.19 m。下部以中-厚层块状深灰色含锰硅质的白云岩夹薄层泥质白云岩, 厚层块状深灰色硅质白云岩为主, 发育条带状硅质岩; 中部为浅-灰色瘤状白云质灰岩、瘤状灰岩与泥晶白云岩的互层, 夹夹黑色条带状、层状硅质岩; 上部为灰质白云岩夹条带状白云质灰岩、含白云

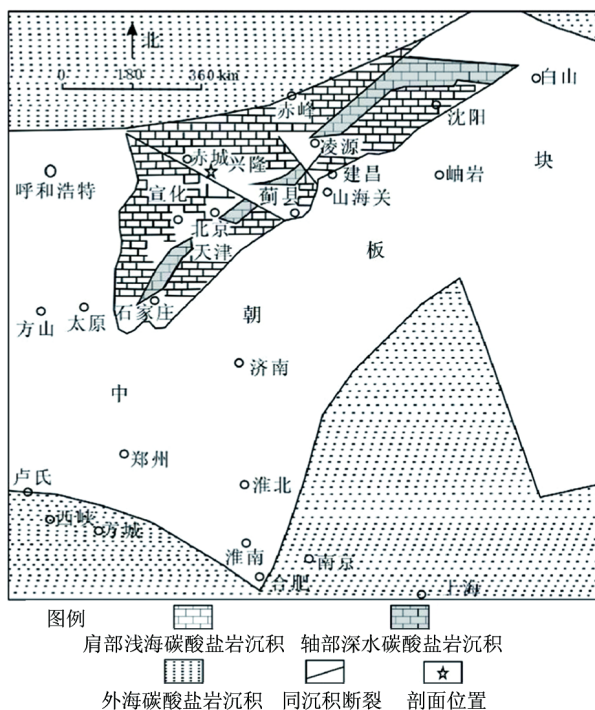


Figure 1. The structure and ancient geography pattern of Yanliao Rift Trough

图 1. 燕辽裂陷槽的构造与古地理格局

质灰岩、泥晶白云岩夹条带或团块状硅质岩。雾迷山组厚 1874.92 m，以中 - 厚层状白云岩为主，少量石灰岩，夹结核状、条带状、薄层状硅质岩，局部可以与之互层。

古子房剖面中元古界的硅质岩，具有如下特征：① 具明显的成层性，产状主要呈薄层状、条带状、结核状、团块状等，通常夹于碳酸盐岩(绝大多数为白云岩)层内，数量大时也可与之互层，与上下岩层呈截然接触关系(图 2(a))；② 具明显的韵律性，自下而上表现为结核状或团块状→条带状→层状，且出现的数量和频度也递增，自下而上表现为零星分布→夹层状→互层状；③ 硅质岩类型多样，主要为叠层石硅质(图 2(b))、颗粒硅质岩(图 2(c)、图 2(d))和结晶硅质岩(图 2(e))。显微镜下一般具隐 - 微晶结构，其矿物成分主要为玉髓和石英，少量自形白云石，其中石英多以微晶石英为主，硅质砾屑(图 2(c))和似流动构造(图 2(f))显示了硅质岩具有原生沉积的特点。

3. 样品分析

研究采集的 26 件样品由中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室分析测试。研究区硅质岩主化学成分中， SiO_2 质量分数($w(\text{SiO}_2)$)为 53.68%~98.23% (平均 79.81%)； Al_2O_3 和 TiO_2 含量相对较低， Al_2O_3 质量分数($w(\text{Al}_2\text{O}_3)$)为 0.01%~0.52% (平均 0.06%)， TiO_2 质量分数($w(\text{TiO}_2)$)为 0.0041%~0.0305% (平均 0.01%)； Fe_2O_3 质量分数($w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$)较高，为 0.48%~1.14% (平均 0.68%)； MnO 质量分数($w(\text{MnO})$)为 0.0402%~0.2324% (平均 0.0842%)。

4. 讨论

4.1. 硅质岩的沉积环境

$w(\text{MnO})/w(\text{TiO}_2)$ 可以有效地判断硅质岩形成的古沉积地理环境[16] [17] [18] [19]。岩石中的 Mn 可以

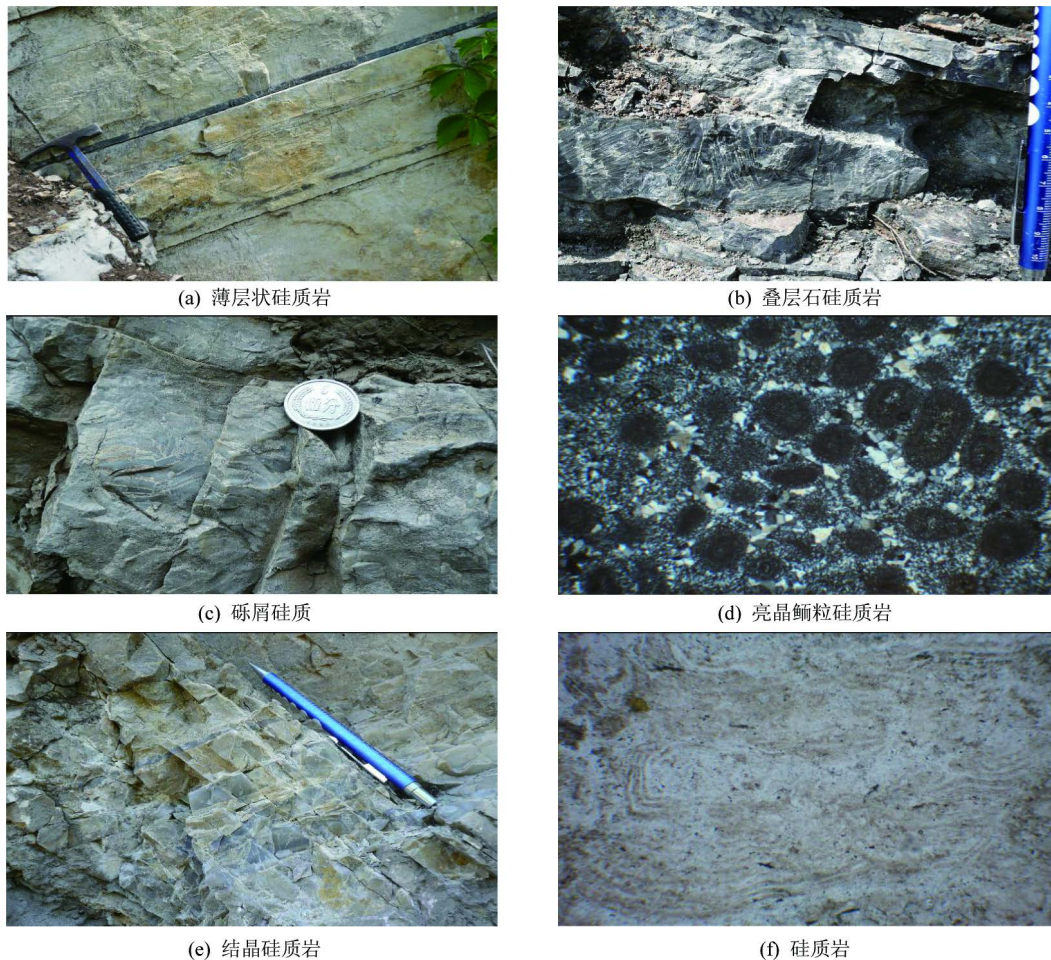


Figure 2. The photo of silicalite
图 2. 硅质岩照片

形成易溶且稳定的化合物并进入溶液，随海流迁移到海水中富集起来，如果没有受到热液流体的影响，在大洋盆地内 Mn^{2+} 几乎是均一沉积[19]；Ti 是惰性较强的元素，一般不形成可溶化合物，所以溶液中 Ti 的含量相对较低， TiO_2 更多地来自陆源沉积物[19]。 $w(MnO)/w(TiO_2)$ 反映了沉积物的离岸距离，较低的 $w(MnO)/w(TiO_2)$ (小于 0.15) 代表大陆斜坡上近陆的边缘海沉积环境；较高的 $w(MnO)/w(TiO_2)$ (0.15~3.15) 则反映远离大陆的远洋沉积环境[20] [21]。

Al_2O_3 、 TiO_2 和 Fe_2O_3 在硅质岩成岩过程中保持稳定[1] [6]， $w(Fe_2O_3)/w(TiO_2)$ 和 $w(Al_2O_3)/w(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ 可用于指示硅质岩的沉积背景[1]。 $w(Fe_2O_3)/w(TiO_2)$ - $w(Al_2O_3)/w(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ 图解法是常用且有效的判别硅质岩形成沉积环境的方法之一。从图 3 中可以看出，研究区硅质岩样品均落在洋脊及其附近。

综上所述，区内中元古界硅质岩的地球化学特征表明其为远岸环境沉积形成的产物，而非暴露条件下的“硅质结壳”。

4.2. 硅质的来源

关于硅质来源，一般认为主要来源于硅质生物[20]、热液活动[21]和陆源碎屑风化[17] [18]。燕山地区硅质岩中的硅质普遍认为来源于海底热液活动[7] [8] [9]，但也有学者研究认为硅质生物也是重要来源[10]。

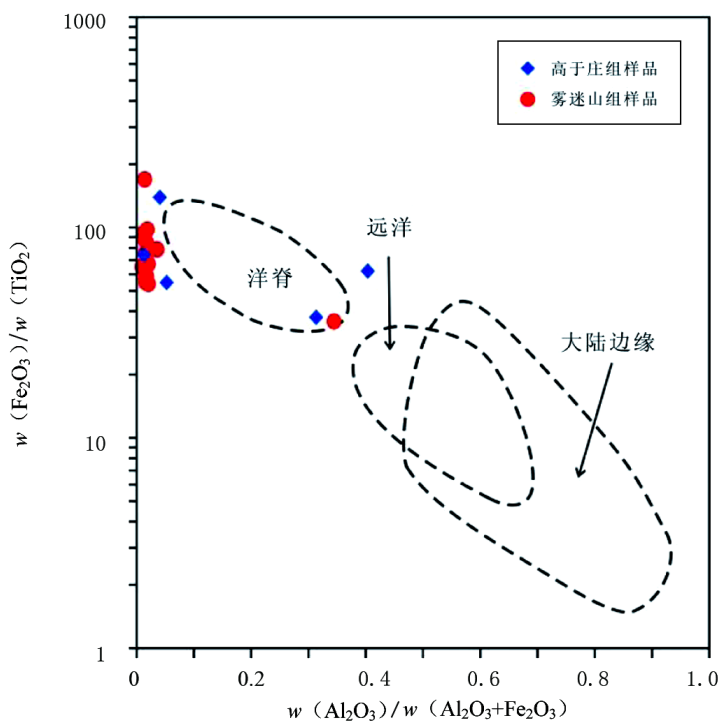


Figure 3. The chart board of $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)-w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$
 图 3. $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)-w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 图版

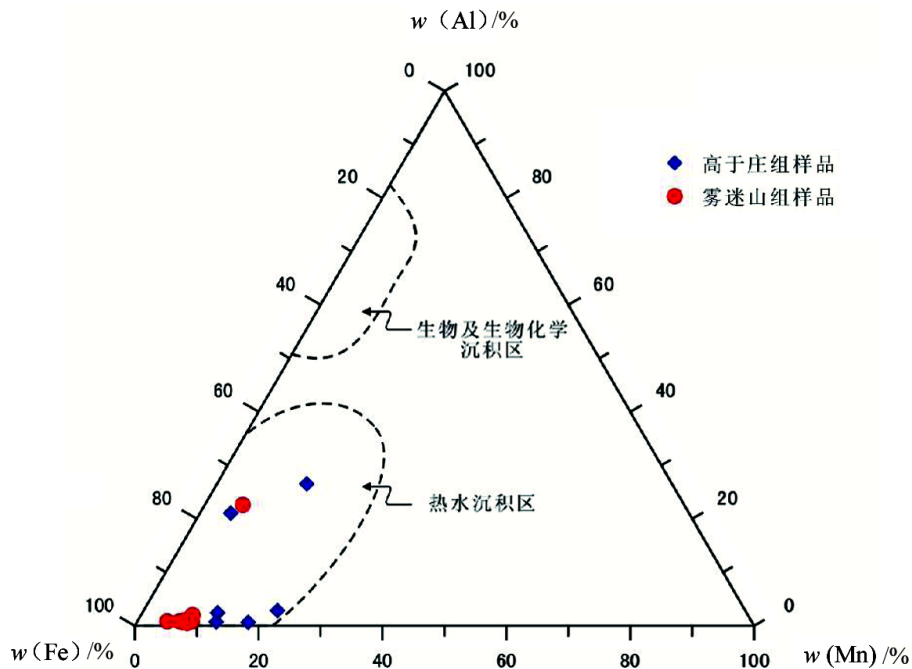


Figure 4. The triangle diagram of genetic discrimination of $w(\text{Al})-w(\text{Fe})-w(\text{Mn})$ for the silicalite
 图 4. 硅质岩成因判别 $w(\text{Al})-w(\text{Fe})-w(\text{Mn})$ 三角图

硅质岩的主量元素如 Al、Ti、Fe 等能在成岩过程中保持稳定，可以用来示踪硅质岩中硅的来源及沉积环境[1]。Al、Ti 的富集与陆源物质的介入有关，可以指示陆源碎屑输入；Fe 富集主要与热液的参与有

关, 可以用来作为热液参与的指标[1] [21] [22] [23]。

地球化学分析结果表明, 区内硅质岩中指示陆源碎屑成分的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{TiO}_2)$ 明显偏低, 分别为 0.1%~0.52% 和 0.0041%~0.0305%, 二者之间具有一定的正相关性。而 $w(\text{SiO}_2)$ 与 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{TiO}_2)$ 不存在明显的相关性, 表明 SiO_2 的来源与陆源碎屑无关, 不是暴露条件下的“硅质结壳”。

指示热液来源的 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 相对较高, 平均为 0.68%, $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$ 平均为 66, 具有热液成因的特征。Bostrem 等[23]提出利用 $w(\text{Fe})/w(\text{Ti})$ 、 $w(\text{Fe} + \text{Mn})/w(\text{Ti})$ 来判别热水和正常海水沉积物, 当其值分别大于 20、25 时属于热液来源的沉积物。研究区 $w(\text{Fe})/w(\text{Ti})$ 为 61~294 (平均 131), $w(\text{Fe}+\text{Mn})/w(\text{Ti})$ 为 66~317 (平均 140), 表明与热液活动关系密切。Adachi 等[21]和 Yamamoto [22]提出了 $w(\text{Al})$ - $w(\text{Fe})$ - $w(\text{Mn})$ 三角图成因判别图解, 该次研究的全部样品均落在热水沉积区内(图 4), 反映出硅质岩主要为热液沉积的产物。

5. 结论

1) 研究区硅质岩呈条带状、团块状、结核状和薄层状夹于碳酸盐岩中, 具有明显的成层性和韵律性。层状硅质岩具有硅质砾屑结构, 条带状和结核状硅质岩具有液化和流动现象, 表明其为原生沉积形成。

2) 区内硅质岩 $w(\text{MnO})/w(\text{TiO}_2)$ 平均为 8.08, 具高 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{TiO}_2)$, 低 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)/w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 的特点, 表明硅质岩形成于远离陆源碎屑干扰的远岸环境, 而非暴露条件下的产物。

3) 区内硅质岩具低 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{TiO}_2)$, 高 $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$, $w(\text{Fe})/w(\text{Ti})$ 平均为 131, $w(\text{Fe} + \text{Mn})/w(\text{Ti})$ 平均为 140, 样品在 $w(\text{Al})$ - $w(\text{Fe})$ - $w(\text{Mn})$ 三角图上均落在热水沉积区内, 反映出硅质岩为热液成因。

参考文献 (References)

- [1] Murray, R.W. (1994) Chemical Criteria to Identify the Depositional Environment of Chert: General Principles and Applications. *Sedimentary Geology*, **90**, 213-232. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90039-6)
- [2] Moore Jr., T.C. (1996) Chert in the Pacific: Biogenic Silica and Hydrothermal Circulation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **261**, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.01.009>
- [3] 夏邦栋, 立荣, 方中, 等. 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): 125-138.
- [4] Maliva, R.G., Knoll, A.H. and Siever, R. (1989) Secular Changes in Chert Distribution: A Reflection of Evolving Biological Participation in the Silica Cycle. *Palaios*, **4**, 519-532. <https://doi.org/10.2307/3514743>
- [5] Steinberg, M., Bonnot-Courtois, C. and Tlig, S. (1983) Geochemical Contribution to the Understanding of Bedded Chert. *Developments in Sedimentology*, **36**, 193-210. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70091-8](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70091-8)
- [6] Murray, R.W., Jones, D.L. and Brink, M.R. (1992) Diagenetic Formation of Bedded Chert: Evidence from Chemistry of the Chert-Shale Couplet. *Geology*, **20**, 271-274. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0271:DFOBCE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0271:DFOBCE>2.3.CO;2)
- [7] 任国选, 孟祥化, 葛铭, 等. 蓟县地区雾迷山组硅质岩成因研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(1): 70-75.
- [8] 郑秀才, 王正允, 陈梦蛟. 辽西凌源地区雾迷山组硅质岩地球化学特征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(5): 73-78.
- [9] 郑秀才. 冀北赤城雾迷山组硅质岩地球化学特征及沉积环境[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2011, 33(6): 53-58.
- [10] 汪凯明, 罗顺社. 燕山地区中元古界高于庄组和杨庄组地球化学特征及环境意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(4): 356-364.
- [11] 罗顺社, 张建坤, 陈小军, 等. 辽西凌源地区雾迷山组沉积特征与层序地层[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 394-403.
- [12] 乔秀夫, 高林志. 燕辽裂陷槽中元古代古地震与古地理[J]. 古地理学报, 2007, 9(4): 337-352.
- [13] 温献德. 华北北部中, 上元古界的大陆裂谷模式和地层划分[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(3): 21-28.
- [14] 温献德. 华北北部中晚元古代岩相古地理及其演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1989, 13(2): 13-21.
- [15] 陆克政, 戴俊生. 冀辽裂陷谷中上元古界构造特征及演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1989, 13(2): 1-11.
- [16] Sugitani, K., Horiuchi, Y., Adachi, M. and Sugisaki, R. (1996) Anomalously Low $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ Values for Archean Cherts from the Pilbara Block, Western Australia-Possible Evidence for Extensive Chemical Weathering on the Early

- Earth. *Precambrian Research*, **80**, 49-76. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(96\)00005-8](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(96)00005-8)
- [17] Thurston, D.R. (1972) Studies on Bedded Cherts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **36**, 329-334. <https://doi.org/10.1007/BF00444339>
- [18] Yamamoto, K. (1987) Geochemical Characteristics and Depositional Environments of Cherts and Associated Rocks in the Franciscan and Shimanto Terranes. *Sedimentary Geology*, **52**, 65-108. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(87\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0037-0738(87)90017-0)
- [19] Sugisaki, R., Yamamoto, K. and Adachi, M. (1982) Triassic Bedded Cherts in Central Japan Are Not Pelagic. *Nature*, **298**, 644-647. <https://doi.org/10.1038/298644a0>
- [20] Beauchamp, B. and Boud, A. (2002) Growth and Demise of Permian Biogenic Chert along Northwest Pangea: Evidence for End-Permian Collapse of Thermohaline Circulation. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, **184**, 37-63. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00245-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00245-6)
- [21] Adachi, M., Yamamoto, K. and Sugisaki, R. (1986) Hydrothermal Chert and Associated Siliceous Rocks from the Northern Pacific: Their Geological Significance as Indication of Ocean Ridge Activity. *Sedimentary Geology*, **47**, 125-148. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(86\)90075-8](https://doi.org/10.1016/0037-0738(86)90075-8)
- [22] Yamamoto, K. (1987) Geochemical Characteristics and Depositional Environments of Cherts and Associated Rocks in the Franciscan and Shimanto Terranes. *Sedimentary Geology*, **52**, 65-108. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(87\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0037-0738(87)90017-0)
- [23] Bostrom, K., Kraemer, T. and Gantner, S. (1973) Provenance and Accumulation Rates of Opaline Silica, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific Pelagic Sediments. *Chemical Geology*, **11**, 123-148. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(73\)90049-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(73)90049-1)

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org