

香山群狼嘴子组硅质岩地球化学特征及形成环境

邓 昆¹ 周立发¹ 曹 欣² 王海江³ 胡 朋⁴

(1.西北大学地质系,陕西 西安 710069;2.长庆石油勘探局井下技术作业处,陕西 西安 710021;
3.中海油研究中心,北京 100027;4.中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

摘要:香山群自建群以来,时代归属一直存在争议,通过区域地质调查,把香山群地质时代限定为中晚寒武世。为深入探讨鄂尔多斯西南边缘香山群形成的沉积环境和构造背景,对香山群狼嘴子组硅质岩岩石学、地球化学特征进行了综合分析。分析结果表明硅质岩 SiO₂ 含量为 82.44%~98.13%,Al/(Fe+Mn+Al) 比值为 0.46~0.69,Al₂O₃/(Al₂O₃+Fe₂O₃) 比值为 0.53~0.77;LREE/HREE 为 3.57~8.45,轻重稀土分异作用强,La_N/Ce_N 值 0.66~1.15,Ce/Ce* 值 0.66~0.93,为大陆边缘型硅质岩,成岩过程包含热水沉积和正常沉积作用。同时,硅质岩建造中碎屑岩和产出的辉绿岩床的地球化学特征表明:碎屑岩沉积背景也属被动大陆边缘区,辉绿岩属于伸展作用构造背景下的大洋拉斑玄武岩系列。综合地质资料认为,在中晚寒武世,阿拉善地块南缘与鄂尔多斯地块西南缘具有离散型大陆边缘性质。

关键词:硅质岩;碎屑岩;辉绿岩;地球化学特征;沉积环境;构造背景;香山群

中图分类号:P588.244 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0497-09

硅质岩是分布很广的内源沉积岩,其保留的古地理、古气候和古环境信息十分丰富。从本世纪初开展研究至今,研究方法和手段愈来愈多样化,研究领域不断深入。研究方向主要包括:沉积环境、物质来源、成因机制和构造背景的判别。国外地质学家起步较早,并且已取得了一些有意义的成果^[1-6]。他们利用地球化学数据,特别是稀土元素和主元素特征,定性、定量分析硅质岩的物质来源和成因机制,建立的成因模式有生物或生物化学沉积、化学沉积(火山物分解沉积、热水沉积)、交代作用等,SiO₂ 来源有热水、生物、陆源等,但很多是共同作用的结果。在此基础上,进一步区分硅质岩的不同构造沉积背景(太平洋型、大西洋型、大陆边缘型、近中脊型)。国内也有学者^[7-10]开展过这方面的工作。总的来看,硅质岩研究已在岩石学、古生物学、地层学、地球化学及构造地质学等方面取得了一定的研究成果,但仍有许多问题亟待解决。

香山群(昔称南山系)分布于龙首山—青铜峡—固原断裂以西和西南华山断裂以东的宁夏南部及河西走廊地区,主要出露于贺兰山南段及香山、米钵山等地(图 1)。是一套区域浅变质、厚度巨大、具不同程度变形和以深水陆源浊积岩沉积组合为主的复理石建造^[11,12]。该套沉积建造与鄂尔多斯地

块和阿拉善地块之间伸展运动有密切的成因联系,其构造背景周立发等^[3]、徐黎明等^[4]对其都做过一定研究,但都是通过砂岩和辉绿岩的主量元素进行分析。第三亚群(狼嘴子组)产出的硅质岩研究程度较低,几乎未见报道。笔者在借鉴前人研究成果的基础上,利用香山群硅质岩的地球化学特征来讨论其成因和形成环境,同时结合狼嘴子组产出的辉绿岩床和硅质岩建造中碎屑岩的资料,为鄂尔多斯盆地西南缘早古生代大地构造背景的恢复和确定提供佐证。

1 地质背景

在大地构造上,香山群位于鄂尔多斯地块、阿拉善地块、秦岭—祁连造山系的构造连接处,属于早古生代秦—祁—贺三叉裂谷系构造结点的重要组成部分^[13-15]。香山群下伏地层不明,上覆为奥陶系天景山组,地层序列从下到上划分为 4 个亚群:第一亚群、第二亚群(徐家圈组)、第三亚群(狼嘴子组)和第四亚群(磨盘井组)。在第三亚群(狼嘴子组)发育一套具深海相沉积特征的薄板状泥质岩、泥晶灰岩,同时可见层状分布的硅质岩和伴随产出的辉绿岩。

香山群自建群以来,其时代归属一直存在较多争议,目前主要有以下 4 种观点:(1)中晚寒武世,其依据是在第一、

收稿日期:2007-05-13;改回日期:2007-05-30

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214601)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IR T0559)资助。

作者简介:邓昆,男,1968年生,博士生,从事储层沉积学及盆地分析研究;E-mail:dk_dengk@126.com。

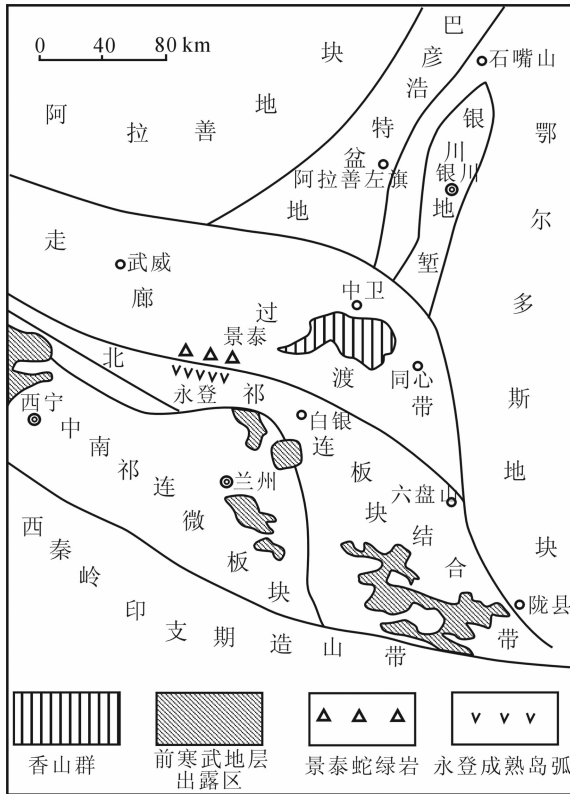


图1 香山群大地构造位置

Fig.1 Tectonic setting of the Xiangshan Group

三亚群原埋藏的薄层灰岩夹层中采获牙形石 *Furnishina asymmetrica*, *F. furnishi*, *Hertzina* sp., 它们均是中国固山、凤山早中期牙形石动物群的代表性属种^[12]; (2) 中寒武世, 是根据在第一、三亚群的灰岩中发现了中寒武统徐庄期的三叶虫 *Inouyia*, *Metagraulos*, *Peronopsis*^[13]; (3) 中奥陶世, 认为香山群整合于米钵山组之上, 二者之间并不存在断层; 产三叶虫的灰岩为滑塌外来体沉积, 不具时代意义, 香山群在岩性组合和宏观印象上都和桌子山地区的拉什仲组相似^[11, 16]; (4) 中晚奥陶世, 依据一是在原第二亚群薄层灰岩中采获牙形刺 *Oistodiform element*, 其时代为奥陶纪; 二是在米钵山南麓发现香山群底部有一套灰色厚层粗—巨砾岩, 砾石成分为奥陶系马家沟组、米钵山组或寒武系的微晶灰岩、鲕粒灰岩、砾屑灰岩及少量燧石岩和脉石英^[17]。

笔者认为把香山群放在中晚寒武世是比较可信的。主要依据有: (1) 通过野外地质露头的观测, 产牙形石和三叶虫的灰岩大都是盆内形成, 与上下岩层间为整合关系, 不是外来块体。一些混合滑塌变形也是在斜坡带内同沉积的变形, 显示香山群整体并非构造混杂岩。(2) 香山群西延在甘肃等地均见有寒武纪的海绵骨针化石 *Protospongia*, 而且数量较多。(3) 华北地块西南缘平凉组含有丰富的中、晚奥陶世的笔石、牙形石化石群, 而香山群中至今未见同时代笔石、牙形石化石群。(4) 从区域构造格局上说, 香山群整体处于六盘山冲断

构造系统中, 自南西向东北, 依次划分为西南华山冲断席、香山冲断席、烟筒山冲断席和罗山、牛首山冲断席, 它们均表现为自南西向东北方向的冲断作用, 从而造成冲断席的地层时代呈现自南西向东北依次变新的展布趋势, 即西南华山冲断席主要由元古界组成, 香山冲断席主要由寒武系组成, 罗山、牛首山冲断席主要由奥陶系组成的整体展布特征^[13, 18-19]。

2 硅质岩的岩石学和地球化学特征

笔者对研究区3件硅质岩样品 ZXX-003、ZXX-004 和 ZX-011 进行了详细分析和对比。其岩石结构致密, 可见层状构造、块状构造, 硅质岩单层厚度几厘米到几十厘米, 白色半透明硅质岩呈条带状构造。镜下见紫红色硅质岩的纹层状结构, 主要由微晶石英组成, 含放射虫等化石, 放射虫因重结晶无法鉴定; 白色半透明硅质岩主要由放射状玉髓和隐晶质玉髓组成; 深灰色硅质岩主要由放射状玉髓、多晶石英和隐晶质玉髓组成。

2.1 主量元素

硅质岩化学成分(表1) SiO_2 含量为 82.44%~98.13%, Al_2O_3 含量为 0.3%~5.97%, 与 SiO_2 含量成明显负相关性; CaO 含量略高, 特别是样品 ZX-011 达 1.27%, 说明含一定灰质组分。

元素 Fe、Mn 与大洋深部热水有关, 而 Al_2O_3 和 TiO_2 与铝硅酸盐有很好的亲缘性, 其含量与陆源物质加入有关^[1, 20]。ZXX-003 样品 Fe、Al、Ti 含量高, 表明其受到热水和陆源介人的影响, 而其他两个样品属纯硅质岩范畴。Fe、Mn、Al 的含量对分析硅质岩的成因具有重要意义^[1, 9], 通过 Fe-Mn-Al 三元图解(图2)可以看出: 香山群硅质岩样品 ZXX-004、ZX-011 落入正常生物化学沉积, ZXX-003 落入热水沉积区。热水硅质岩高 Al 高 Ti, 而生物硅质岩低 Al 低 Ti, Al_2O_3 - TiO_2 图解^[21], 热水成因硅质岩分布于图的右上部, 生物成因者位于图的左下部, 中间为过渡区。从图2可以看出: 样品 ZXX-003 有火成或热水背景, ZXX-004、ZX-011 落在生物成因区域。

$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 比值可作为判断硅质岩沉积环境的良好指标^[2], 样品 ZXX-003、ZXX-004 和 ZX-011 的 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 比值分别为 0.53、0.56 和 0.77, 远远高于洋中脊硅质岩(< 0.4), 而与大陆边缘硅质岩(0.5~0.9)相当接近。Al/(Fe+Mn+Al) 比值较大, 分别为 0.46、0.69 和 0.48, 指示大陆边缘成因。同样从图3^[22]可以看出: 本区硅质岩的形成环境属于典型的大陆边缘成因。

2.2 稀土元素

已有的研究表明, 运用硅质岩稀土元素 Ce/Ce*、Eu/Eu* 及与北美页岩平均值(NASC)标准化的 La_N/Yb_N 、 La_N/Ce_N 、 La_N/Lu_N 是判别其成因和沉积环境的可靠证据^[2-4]。香山群硅质岩 ZXX-003 稀土总量为 82.1, 而样品 ZXX-004、ZX-011 稀土总量分别为 3.08、5.32, 呈极低值, 是北美页岩稀土总量的 1.8%~3.1%, 推测与生物成因有关, 样品成因上的差异在稀土总量上体现出来。硅质岩稀土总量与陆缘物质 Al_2O_3 和 TiO_2 呈现正相关关系, 指示样品 ZXX-003 受到陆源物质

表 1 香山群硅质岩主量、稀土、微量元素含量及参数
Table 1 Major element, REE and trace element data of cherts in the Xiangshan Group

| 样品号 | ZXX-003 | ZXX-004 | ZX-011 | |
|----------------------------------|---|---------|--------|-------|
| 岩性 | 硅质岩 | 硅质岩 | 硅质岩 | |
| 主 量 元 素 | SiO ₂ ×10 ⁻² | 82.44 | 98.13 | 93.54 |
| | TiO ₂ | 0.29 | 0.01 | 0.03 |
| | Al ₂ O ₃ | 5.97 | 0.30 | 1.00 |
| | TFe ₂ O ₃ | 5.30 | 0.09 | 0.77 |
| | MnO | 0.01 | 0.01 | 0.03 |
| | MgO | 1.08 | 0.16 | 0.83 |
| | CaO | 0.23 | 0.21 | 1.27 |
| | Na ₂ O | 0.11 | 0.13 | 0.04 |
| | K ₂ O | 1.99 | 0.03 | 0.05 |
| | P ₂ O ₅ | 0.09 | 0.01 | 0.02 |
| | LOI | 2.18 | 0.48 | 2.00 |
| | TOTAL | 99.69 | 99.56 | 99.58 |
| | Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃) | 0.53 | 0.77 | 0.56 |
| | Al/(Fe+Mn+Al) | 0.46 | 0.69 | 0.48 |
| 稀 土 元 素 | La×10 ⁻⁶ | 17.6 | 0.29 | 0.63 |
| | Ce | 34.8 | 1.00 | 2.07 |
| | Pr | 3.78 | 0.38 | 0.61 |
| | Nd | 14.0 | 0.56 | 0.96 |
| | Sm | 2.76 | 0.15 | 0.34 |
| | Eu | 0.51 | 0.024 | 0.068 |
| | Gd | 2.52 | 0.15 | 0.13 |
| | Tb | 0.41 | 0.040 | 0.062 |
| | Dy | 2.20 | 0.224 | 0.14 |
| | Ho | 0.47 | 0.041 | 0.063 |
| | Er | 1.37 | 0.118 | 0.068 |
| | Tm | 0.21 | 0.018 | 0.026 |
| | Yb | 1.31 | 0.057 | 0.12 |
| | Lu | 0.20 | 0.026 | 0.033 |
| | ΣREE | 82.14 | 3.078 | 5.32 |
| | LREE/HREE | 8.45 | 3.57 | 7.29 |
| | δ Eu | 0.85 | 0.7 | 1.42 |
| | δ Ce | 0.93 | 0.66 | 0.73 |
| La _N /Yb _N | 1.3 | 0.49 | 0.51 | |
| La _N /Ce _N | 1.15 | 0.66 | 0.69 | |
| 微 量 元 素 | Be×10 ⁻⁶ | 1.57 | 0.21 | 0.33 |
| | Sc | 6.21 | 0.28 | 0.56 |
| | V | 193 | 3.60 | 7.70 |
| | Cr | 37.2 | 2.97 | 4.85 |
| | Co | 18.1 | 416 | 338 |
| | Ni | 16.0 | 1.93 | 5.34 |
| | Cu | 16.2 | 4.13 | 6.24 |
| | Zn | 34.3 | 3.35 | 39.5 |
| | Ga | 8.55 | 0.081 | 1.40 |
| | Rb | 72.2 | 0.65 | 0.54 |
| | Sr | 19.1 | 10.6 | 13.4 |
| | Y | 13.8 | 1.23 | 1.89 |
| | Zr | 59.7 | 6.83 | 15.9 |
| | Nb | 6.04 | 0.15 | 0.37 |
| | Cs | 3.80 | 0.20 | 0.11 |
| | Ba | 107 | 6.25 | 12.6 |
| | Hf | 1.51 | 0.015 | 0.18 |
| | Ta | 0.46 | 0.018 | 0.13 |
| | Pb | 2.75 | 0.77 | 1.41 |
| | Th | 5.04 | 0.28 | 0.78 |
| U | 1.18 | 0.30 | 0.23 | |

注: 样品分析由西北大学大陆动力学国家重点实验室完成, 常量元素在 RIX2100XRF 仪上测定, 微量元素和稀土元素在 Elan6100DRC 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)上测定。

加入的影响。LREE/HREE 为 3.57~8.45, 轻重稀土分异作用强, 轻稀土富集。而 La_N/Yb_N 值(NASC 标准化)为 0.49~1.30, 样品 ZXX-003 轻稀土富集, ZXX-004、ZX-011 重稀土富集。Marray^[2-3,5]通过硅质岩的研究认为 Ce/Ce* 和 La_N/Ce_N 比值能区分 3 类构造环境: 洋脊附近 Ce/Ce* 值为 0.30±0.13,

La_N/Ce_N 值为 3.5; 洋盆底部 Ce/Ce* 值为 0.60±0.13, La_N/Ce_N 值为 1.0~2.5; 大陆边缘 Ce/Ce* 值为 1.09±0.25, La_N/Ce_N 值为 0.5~1.5。笔者所分析的香山群样品 La_N/Ce_N 值为 0.66~1.15, Ce/Ce* 值为 0.65~0.93, 与大陆边缘硅质岩 Ce/Ce* 比值接近。La_N/Lu_N 及 Eu/Eu* 比值是反映热水成因的标志之一, 其值大小与热水影响程度呈正相关关系^[2], 样品 ZXX-003、ZXX-004、ZX-011 的 La_N/Lu_N 值分别为 1.32、0.17、0.29, 样品 ZXX-003 显示受热水影响较大, 而 Eu/Eu* 值分别为 0.85、0.71、1.42, 反映了样品 ZX-011 受热水影响较大, 值得进一步探讨。球粒陨石标准化配分曲线都为右倾型(图 4), 样品 ZXX-003 显示 Eu 负异常, 与滇西、新疆库鲁克塔格、湘中南地区热水成因硅质岩相似^[22-24]。样品 ZXX-004、ZX-011 曲线波状起伏较大; 在北美页岩平均值(NASC)标准化配分曲线图 4 上可见样品 ZXX-003 分布型式平坦, 与大陆边缘分布型式基本一致^[3,25], 而样品 ZXX-004、ZX-011 曲线呈波状起伏型式。另外, 在深海硅质岩会显示负 Ce 异常, 在所分析样品中, 配分曲线上均无明显的负 Ce 异常, 总体而言, 香山群硅质岩 REE 分布型式与大陆边缘类似。

2.3 微量元素

微量元素的分布一般与含金属物质和陆源碎屑的输入相联系^[26], 因此, 硅质岩微量元素含量差异可指示成因环境。香山群硅质岩微量元素的含量大多低于地壳丰度值, 样品 ZXX-003 微量元素的含量相对于样品 ZXX-004、ZX-011 而言, 许多接近于地壳丰度值。样品 ZXX-004、ZX-011 中 Co 含量分别为 416×10⁻⁶、338×10⁻⁶ 是地壳丰度的 16.6、13.5 倍。样品 ZXX-003 中 Cs、Yb 含量是地壳丰度的 1.3、4.4 倍。

有些主量元素和微量元素含量特征是判别硅质岩热水沉积成因的主要标志^[27,28]。硅质岩样品热水成因的指示性元素 Ba、Ga、U、Bi 等都低于地壳丰度值, 但是样品 ZXX-003 中含量相对高一些。在 Fe-Mn-(Ni + Co + Cu)三角图解中样品 ZXX-003 和 ZX-011 显示为热水沉积。

从 Ti 与 V 含量关系图上, 大陆边缘硅质岩 (V 含量为 20×10⁻⁶, Ti/V 比值为 40), 洋脊附近 (V 含量为 40×10⁻⁶, Ti/V 比值为 7), 洋盆底部 (V 含量为 38×10⁻⁶, Ti/V 比值为 25)^[2,5]。样品 ZXX-003 (V 含量为 193×10⁻⁶, Ti/V 比值为 9.1)、ZXX-004 (V 含量为 3.6×10⁻⁶, Ti/V 比值为 16.7)、ZX-011 (V 含量为 7.7×10⁻⁶, Ti/V 比值为 23.4), 从这些参数上判断沉积背景还有一定困难。

总之, 香山群硅质岩微量元素反映出的信息较为复杂, 使得运用其判别成因和环境时出现模糊, 如热水效应影响特征不明显。其原因主要是因为区域构造背景的影响, 由于本区是伸展环境, 但是伸展程度不强。另外, 陆源碎屑的输入也是影响因素之一。

3 碎屑岩和辉绿岩床的地球化学特征

香山群分布于祁连—北秦岭地层分区西段北缘, 构造上

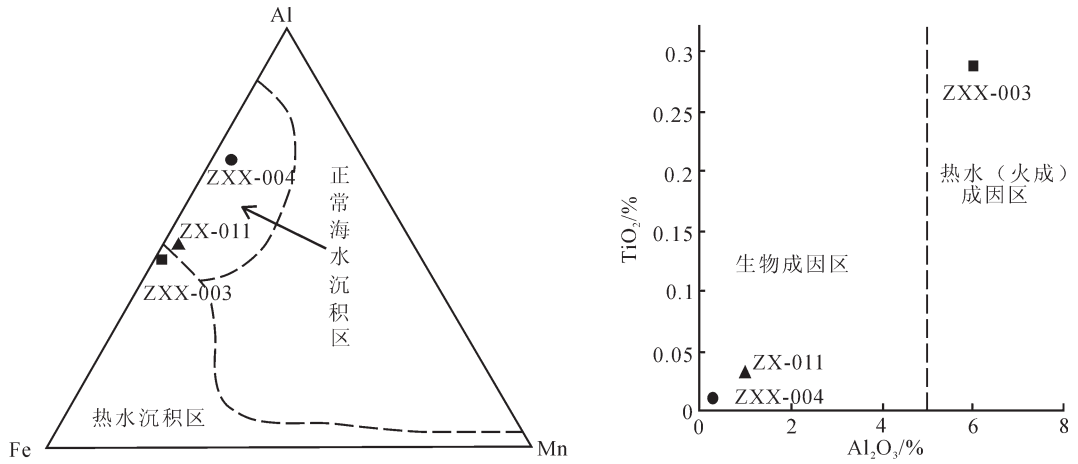


图2 香山群硅质岩 Fe-Mn-Al 三元图解和 Al_2O_3 - TiO_2 图解
 Fig.2 Fe-Mn-Al and Al_2O_3 - TiO_2 diagrams of cherts in the Xiangshan Group

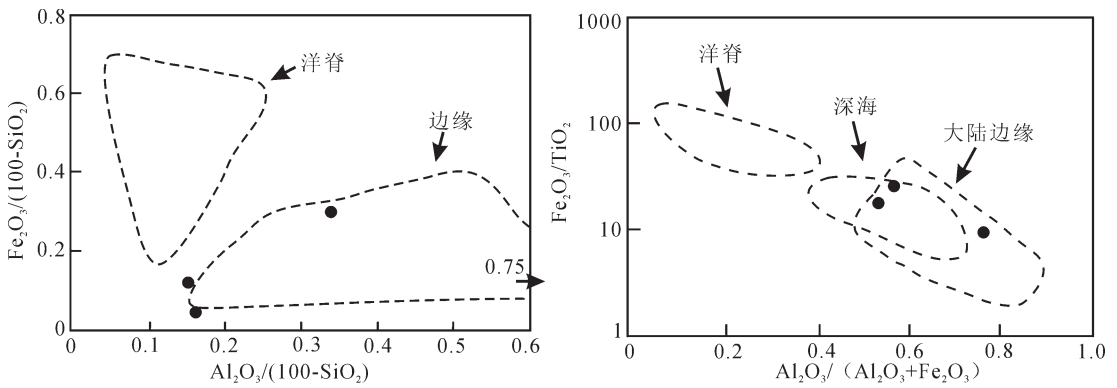


图3 香山群硅质岩形成环境判别图 (底图据 Murray et al, 1994)
 Fig.3 Discrimination diagrams of the environment of cherts in the Xiangshan Group

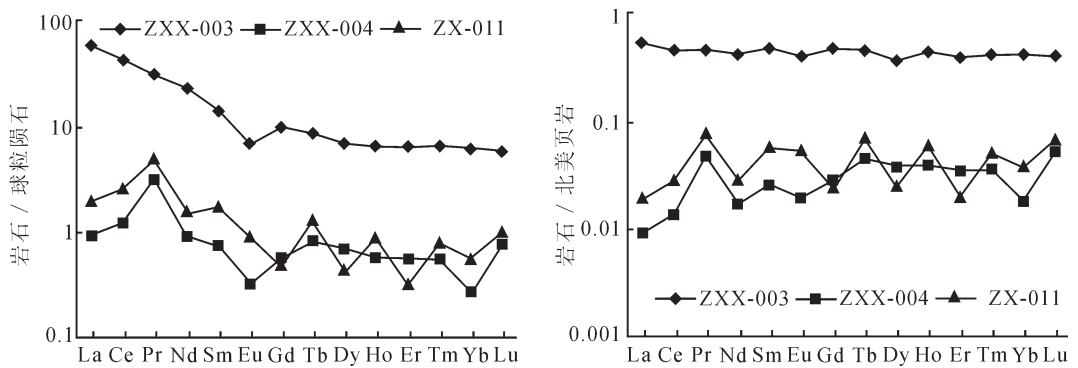


图4 香山群硅质岩稀土元素配分曲线图
 Fig.4 NASC-normalized and chondrite-normalized REE patterns of cherts in the Xiangshan Group

表 2 香山群碎屑岩和辉绿岩主量、稀土、微量元素含量及特征参数

Table 2 Major element, REE and trace element data of clastic rocks and diabase in the Xiangshan Group

| 样品号 | ZX-007 | ZXX-005 | ZX012 | ZX-001 | ZX-004 | ZX-005 | ZX-006 | ZX-009 | ZX-010 | ZX-014 | ZXX-002 |
|------------------------------------|--------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 岩性 | 泥岩 | 泥岩 | 细砂岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 |
| SiO ₂ /10 ⁻² | 63.19 | 51.68 | 70.36 | 46.88 | 49.50 | 46.77 | 49.57 | 48.56 | 48.29 | 49.32 | 48.33 |
| TiO ₂ | 0.83 | 0.41 | 0.65 | 1.34 | 1.78 | 1.53 | 1.56 | 1.52 | 1.76 | 1.77 | 1.76 |
| Al ₂ O ₃ | 14.03 | 7.37 | 12.45 | 12.81 | 14.70 | 11.31 | 14.04 | 12.90 | 12.46 | 12.78 | 12.66 |
| TF ₂ O ₃ | 3.88 | 3.69 | 4.75 | 11.79 | 11.24 | 14.16 | 11.92 | 10.41 | 14.21 | 14.71 | 13.94 |
| MnO | 0.04 | 0.17 | 0.04 | 0.17 | 0.17 | 0.19 | 0.16 | 0.15 | 0.21 | 0.22 | 0.2 |
| MgO | 3.74 | 7.77 | 2.53 | 5.85 | 6.03 | 9.08 | 6.91 | 6.11 | 7.19 | 6.13 | 7.25 |
| CaO | 2.26 | 9.74 | 0.52 | 15.16 | 8.48 | 9.86 | 11.11 | 10.84 | 8.97 | 8.9 | 9.5 |
| Na ₂ O | 0.03 | <0.01 | 2.10 | 1.14 | 2.54 | 1.94 | 1.97 | 2.33 | 3.03 | 3.22 | 2.71 |
| K ₂ O | 4.43 | 2.50 | 3.27 | 0.05 | 0.36 | 0.13 | 0.28 | 0.13 | 0.14 | 0.39 | 0.18 |
| P ₂ O ₅ | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.09 | 0.14 | 0.13 | 0.13 | 0.15 | 0.13 | 0.15 | 0.13 |
| LOI | 7.16 | 16.87 | 2.72 | 4.24 | 4.59 | 4.43 | 2.14 | 6.67 | 3.19 | 2.02 | 2.97 |
| TOTAL | 99.70 | 100.33 | 99.55 | 99.52 | 99.53 | 99.53 | 99.79 | 99.77 | 99.58 | 99.61 | 99.63 |
| La/10 ⁻⁶ | 35.2 | 23.9 | 42.8 | 4.29 | 4.93 | 4.71 | 4.11 | 3.98 | 4.77 | 5.84 | 5.16 |
| Ce | 70.2 | 53.3 | 83.8 | 11 | 13.06 | 12.38 | 11.50 | 11.03 | 12.8 | 15 | 13.5 |
| Pr | 8.02 | 5.31 | 8.92 | 1.89 | 2.24 | 2.14 | 2.10 | 2.03 | 2.21 | 2.46 | 2.33 |
| Nd | 32.5 | 21.0 | 35.2 | 8.4 | 10.32 | 9.96 | 9.89 | 9.53 | 10.3 | 11.5 | 11 |
| Sm | 6.16 | 4.34 | 6.64 | 2.64 | 3.20 | 3.15 | 3.21 | 3.10 | 3.26 | 3.53 | 3.43 |
| Eu | 1.05 | 0.78 | 1.15 | 0.97 | 1.24 | 1.05 | 1.14 | 1.12 | 1.11 | 1.2 | 1.15 |
| Gd | 5.64 | 4.08 | 5.95 | 3.08 | 3.75 | 3.67 | 3.81 | 3.71 | 3.81 | 4.31 | 4 |
| Tb | 0.92 | 0.64 | 0.89 | 0.6 | 0.71 | 0.70 | 0.74 | 0.72 | 0.71 | 0.8 | 0.75 |
| Dy | 5.74 | 3.51 | 5.23 | 3.73 | 4.39 | 4.32 | 4.70 | 4.75 | 4.48 | 5.29 | 4.68 |
| Ho | 1.15 | 0.68 | 1.01 | 0.81 | 0.91 | 0.90 | 1.00 | 0.99 | 0.92 | 1.12 | 0.99 |
| Er | 3.46 | 1.93 | 2.91 | 2.23 | 2.55 | 2.61 | 2.90 | 2.90 | 2.66 | 3.26 | 2.83 |
| Tm | 0.54 | 0.30 | 0.45 | 0.34 | 0.37 | 0.39 | 0.44 | 0.45 | 0.4 | 0.51 | 0.42 |
| Yb | 3.40 | 1.85 | 2.72 | 2.15 | 2.31 | 2.47 | 2.79 | 2.75 | 2.45 | 3.06 | 2.55 |
| Lu | 0.48 | 0.27 | 0.40 | 0.3 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.39 | 0.37 | 0.45 | 0.37 |
| ΣREE | 174.4 | 121.9 | 198.1 | 42.38 | 50.30 | 48.79 | 48.71 | 47.45 | 50.29 | 58.29 | 53.10 |
| LREE/HREE | 7.18 | 8.19 | 9.12 | 2.20 | 2.28 | 2.17 | 1.91 | 1.85 | 2.18 | 2.10 | 2.20 |
| δ Eu | 0.78 | 0.81 | 0.8 | 1.04 | 1.09 | 0.94 | 1.00 | 1.01 | 0.96 | 0.94 | 0.95 |
| Y | 32.8 | 19.0 | 29.2 | 22.6 | 26.1 | 25.8 | 27.9 | 29.0 | 26.6 | 31.1 | 27.4 |
| Zr | 239 | 118 | 253 | 63.8 | 89.5 | 78.9 | 82.6 | 78.1 | 83.6 | 92.6 | 86.1 |
| Nb | 17.2 | 9.62 | 13.6 | 4.17 | 5.43 | 5.19 | 5.03 | 4.70 | 5.55 | 6.45 | 5.60 |

注:样品由西北大学大陆动力学国家重点实验室分析,常量元素在日本产理学 RIX2100XRF 仪上测定,微量元素和稀土元素在美国产 Perkin Elmer 公司 Elan6100DRC 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)上测定。

处于秦—祁活动带与华北稳定区的接壤地带,沉积特征表明其形成于陆缘活动海盆斜坡带,以泥碎屑浊流沉积为主。其形成机制显然与中寒武世—早奥陶世区域的扩张环境有关。自中寒武世始,北祁连出现初始裂谷,进而发展为次级扩张洋盆,在扩张应力作用下华北稳定区逐渐抬升,在稳定区与活动带交接部位位于走廊地带形成陆缘裂陷斜坡带沉积;在华北西缘形成陆缘内侧拗(断)陷盆地沉积(陶思沟组—阿不切亥组)。因此,香山群的形成环境主要与扩张机制有关,可作为在扩张机制应力作用下稳定区与活动带划分标志。笔者通过对狼嘴子组硅质岩建造中的碎屑岩及伴随产生的辉绿岩床也进行了研究和化学分析,进而为硅质岩的形成环境提供

一定证据。

3.1 碎屑岩地球化学特征

陆缘细碎屑岩(主要是杂砂岩,其次是泥岩)的成分受物源岩石和构造环境控制,碎屑沉积物作为物源区样品的天然混合物能够反映物源区成分特征及其大地构造背景,因此被广泛地应用于研究物源区类型及其大地构造背景^[9]。主量元素分析见表 2,样品 ZX-012 为细粒长石砂岩,其他 2 件为泥质岩。在 SiO₂—K₂O/Na₂O 判别图(图 5)^[9]上,样品分布在被动大陆边缘区。碎屑岩稀土总量为 121.9~198.1, LREE/HREE 为 7.18~9.12, Eu/Eu* 值为 0.78~0.81。球粒陨石标准化配分曲线为右倾型(图 6),轻稀土元素富集、重稀土元素分布型式平

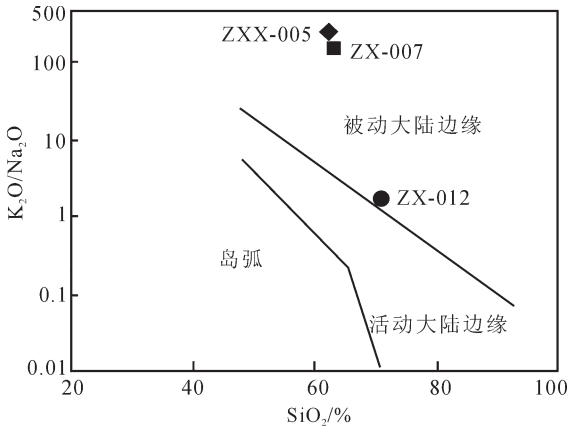


图5 碎屑岩主量元素对构造背景的指示
(底图据 Roser 和 Korsch, 1986)

Fig.5 Indication of the tectonic setting by major elements of clastic rocks

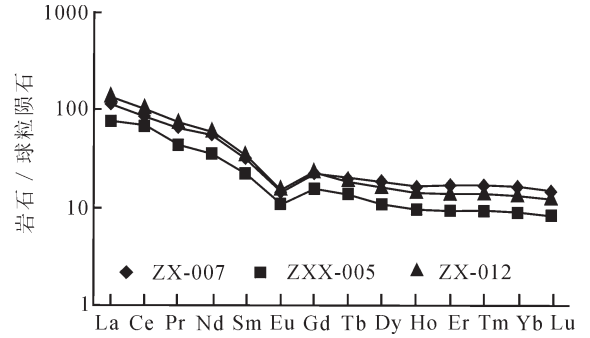


图6 碎屑岩球粒陨石标准化 REE 型式
(球粒陨石标准化数据据 Boynton,1984)

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of clastic rocks in the Xiangshan Group

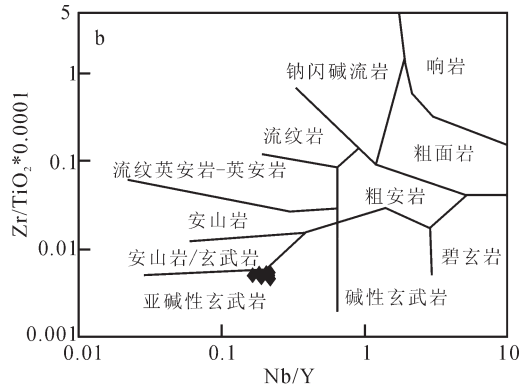
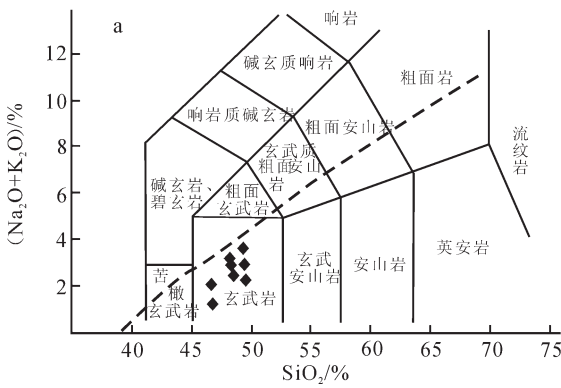


图7 香山群辉绿岩 TAS 分类图和 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解

Fig.7 TAS classification and Nb/Y-Zr/TiO₂ diagrams of diabase in the Xiangshan Group

坦,含量均一;Eu 具明显的负异常,与上地壳中稀土元素的分布型式几乎完全一致。因此,狼嘴子组碎屑岩的原始物源应来自于上地壳。

3.2 辉绿岩地球化学特征

同时,对狼嘴子组产出的辉绿岩也进行了研究和化学分析,辉绿岩多呈岩床状分布,顺围岩底层或层内侵入,属于浅成侵入体^[4],其时代下限定为早古生代。化学成分(表 2)SiO₂ 含量为 46.88%~49.57%,Al₂O₃ 含量为 11.31%~14.7%,K₂O 含量为 0.05%~0.39%,TiO₂ 含量为 1.34%~1.78%, 主要以高钠、镁、钛,低钾为特征。在 SiO₂-K₂O/Na₂O 图解(图 7-a)中样品全部分布在玄武岩区,均属亚碱性系列;利用抗蚀变元素的 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解(图 7-b)进行投点,结果样品都落在亚碱性玄武岩区,部分接近于安山岩、玄武岩与亚碱性玄武岩的分界线。主量元素特征类似于大洋中脊拉斑玄武岩,同时也反映岩浆分异作用相对较弱,显示了伸展作用的特点^[31,32]。辉绿岩稀土总量 ΣREE 为 42.38~58.29, 稀土总量较低,

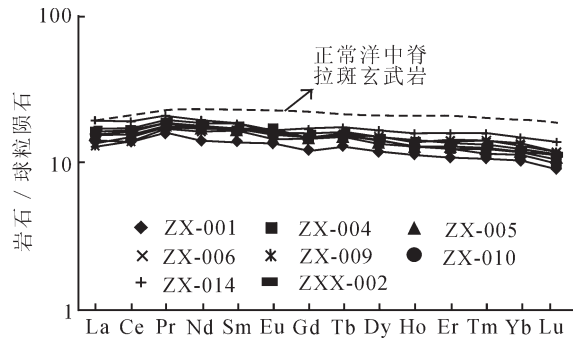


图8 香山群辉绿岩球粒陨石标准化 REE 型式(球粒陨石标准化数据据 Boynton,1984)

Fig.8 Chondrite-normalized REE patterns of diabase in the Xiangshan Group

LREE/HREE 为 1.85~2.28,轻、重稀土分馏作用不明显; $(La/Yb)_N$ 为 0.98~1.44,部分样品为轻稀土轻度富集, Eu/Eu^* 值为 0.94~1.04,基本不显示 Eu 异常。经对比,球粒陨石标准化配分型式与洋中脊拉斑玄武岩相似(图 8)。总的来看,香山群辉绿岩地球化学特征显示了伸展作用的构造背景,但是属弱伸展环境。

4 结论

在地质时代上,从古生物、地层接触关系、区域地质背景等方面分析,把香山群的时代归属于中晚寒武世。

香山群硅质岩岩石学、主量元素、稀土元素和微量元素分析结果表明:香山群硅质岩形成背景为大陆边缘环境,其成岩因素是复杂的,层状紫红色硅质岩有热水效应的影响,而块状深灰色硅质岩和白色半透明硅质岩正常沉积作用占主导。

硅质岩建造中的碎屑岩沉积背景也属被动大陆边缘区,稀土元素特征指示原始物源应来自于上地壳。同时,通过对狼嘴子组伴生出的辉绿岩床进行分析,其属于大洋拉斑玄武岩系列,显示了伸展作用的构造背景,这些为硅质岩形成背景的探讨提供了一定的证据。

综上可认为:香山群的形成环境主要与扩张机制有关,属于大陆斜坡及深海平原环境内的沉积物。即在中晚寒武世,阿拉善地块南缘与鄂尔多斯地块西南缘具离散型大陆边缘性质。

参考文献(Reference):

[1] Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environment of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto Terranes[J]. *Sedimentary Geology*, 1987, 52 (1/2):65-108.

[2] Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90:213-232.

[3] Murray R W, Buchholtz Ten Brink M R, Gerlach D C, et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from Franciscan Complex and Monterey Group: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1991, 55:1875-1895.

[4] Murray R W, Jones D L, Buchholtz Ten Brink M R. Diagenetic formation of bedded chert: evidence from chemistry of chert-shale couplet[J]. *Geology*, 1992, 20:271-274.

[5] Murray R W. Rare earth element as indication of different marine depositional environments in chert and shale[J]. *Geology*, 1990, 18: 268-271.

[6] Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal cherts and associated siliceous rocks from the northern Pacific: Their geological significance as indication of ocean ridge activity [J]. *Sedimentary Geology*, 1986, 47:125-148.

[7] 伊海生, 曾允孚, 夏文杰. 湘黔桂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.

- Yi Haisheng, Zeng Yunfu, Xia Wenjie. Sedimentary facies and origin of bedded siliceous rocks of the upper Sinian in HuNan, Guizhou and Guangxi region [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1989, 9(4):54-58(in Chinese with English abstract).
- [8] 彭军, 夏文杰, 伊海生. 湘西晚前寒武纪层状硅质岩的热液沉积地球化学标志及其环境意义[J]. *岩相古地理*, 1999, 19(2):29-37. Peng Jun, Xia Wenjie, Yi Haisheng. Geochemical characteristics and depositional environments of the Late Precambrian bedded siliceous rocks in western Hunan[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1999, 19(2):29-37(in Chinese with English abstract).
- [9] 郭福生, 林子瑜, 杜杨松, 等. 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. Guo Fusheng, Lin Ziyu, Du Yangsong, et al. On the characteristics and origin of a peculiar type of siliceous rock [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4):573-581(in Chinese with English abstract).
- [10] 王国芝, 王成善, 吴山. 西藏羌塘阿木岗群硅质岩段时代归属[J]. *中国地质*, 2002, 29(2):139-142. Wang Guozhi, Wang Chengshan, Wu Shan. The age of the chert Member of the Amugang Group in Qiangtang, Tibet[J]. *Geology in China*, 2002, 29(2):139-142(in Chinese with English abstract).
- [11] 王振藩, 郑昭昌. 宁夏香山群的时代讨论 [J]. *中国区域地质*, 1998, 17(1):69-73. Wang Zhenfan, Zheng Zhaochang. The age of the Xiangshan Group in Ningxia[J]. *Regional Geology of China*, 1998, 17(1):69-73(in Chinese with English abstract).
- [12] 顾其昌. 宁夏回族自治区岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996, 24-29. Gu Qichang. Stratigraphy of Ningxia Hui Autonomous Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996, 24-29 (in Chinese with English abstract).
- [13] 周立发, 赵重远, 郭忠铭. 阿拉善及邻区沉积盆地的形成与演化 [M]. 西安:西北大学出版社, 1996, 27-38. Zhou Lifa, Zhao Zhongyuan, Guo Zhongming. Formation and Evolution of the Sedimentary Basins in Alaxa and Adjacent Regions [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1996, 27-38(in Chinese with English abstract).
- [14] 徐黎明, 周立发, 张义楷, 等. 香山群的沉积岩记录及其反映的大地构造环境[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(3): 442-448. Xu Liming, Zhou Lifa, Zhang Yikai, et al. Record of deposition-magmatism of Xiangshan Group and the reflection of tectonic environment [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2006, 36(3):442-448(in Chinese with English abstract).
- [15] 霍福臣. 宁夏地质概要[J]. *甘肃地质学报*, 1993, (增刊):101-133. Huo Fuchen. The geological outline in NingXia Hui autonomous Region [J]. *Acta Geologica Gansu*, 1993, (supp.):101-133 (in Chinese with English abstract).
- [16] 张抗. 香山群时代讨论[J]. *石油实验地质*, 1993, 15(3):209-316. Zhang Kang. Discussion on the geological age of the Xiangshan

- Group in the Ordos basin [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1993, 15(3):209-316(in Chinese with English abstract).
- [17] 李天斌. 宁夏香山群地层时代的再探讨 [J]. *西北地质*, 1997, 18(2):1-9.
Li Tianbin. The Stratigraphy age of the Xiangshan Group in Ningxia [J]. *Northwestern Geology*, 1997, 18(2):1-9(in Chinese with English abstract).
- [18] 林畅松. 贺兰拗拉槽盆地充填演化分析[M]. 北京:地质出版社, 1995:2-4.
Lin Changsong. Basin Filling and Evolution Analysis of Helan Aulacogen, Northwest China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1995:2-4(in Chinese with English abstract).
- [19] 李天斌. 宁夏南部弧形推覆构造带特征及演化 [J]. *地质力学学报*, 1999, 5(3):22-27.
Li Tianbin. The feature and formation mechanism of arciform thrust-nappe structure zone of the southern Ningxia [J]. *Journal of Geomechanics*, 1999, 5(3):22-27(in Chinese with English abstract).
- [20] 刘志远, 金成洙. 江西金山矿区硅质岩的发现及其地质意义[J]. *现代地质*, 2005, 19(1):147-151.
Liu Zhiyuan, Jin Chengzhu. Genesis and geological significance of cherts in Jinshan mine, Jiangxi Province [J]. *Geoscience*, 2005, 19(1): 147-151(in Chinese with English abstract).
- [21] 杨建民, 王登红, 毛景文, 等. 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): 108-120
Yang Jianmin, Wang Denghong, Mao Jingwen, et al. The petrochemical research method for silicalite and its application to the “Jingtieshan type” iron deposits [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1999, 18(2):108-120(in Chinese with English abstract).
- [22] 潘家永, 张乾, 马东升, 等. 滇西羊拉铜矿区硅质岩特征及与成矿的关系[J]. *中国科学(D辑)*, 2001, 31(1):10-16.
Pan Jiayong, Zhang Qian, Ma Dongsheng, et al. Characteristics of siliceous rocks in Yangla copper deposit and their relation to mineralization, southwestern Yunnan [J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 30(3):284-290.
- [23] 雷卞军, 阙洪培, 胡宁, 等. 鄂西古生代硅质岩的地球化学特征及沉积环境[J]. *沉积与特提斯地质*, 2002, 22(2):70-79.
Lei Bianjun, Que Hongpei, Hu Ning, et al. Geochemistry and sedimentary environments of the Palaeozoic siliceous rocks in western Hubei [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2002, 22(2): 70-79(in Chinese with English abstract).
- [24] 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区早寒武世硅质岩地球化学特征及其意义[J]. *地质学报*, 2006, 80(4):598-605.
Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Luo Xingrong, et al. Geochemical characteristics of early Cambrian cherts in Quruqtagh, Xinjiang, West China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(4):598-605(in Chinese with English abstract).
- [25] 李献华. 赣东北蛇绿混杂岩带中硅质岩的地球化学特征及构造意义[J]. *中国科学(D辑)*, 2000, 30(3):284-290.
Li Xianhua. Geochemical characteristics and tectonic implication of cherts in ophiolitic melange, Northeast Jiangxi[J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 30(3):284-290(in Chinese with English abstract).
- [26] Richard W M, Marilyn R B B, David C G. et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55:1875-1895.
- [27] Rona P A. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in ocean crust [J]. *Economic Geology*, 1978, 73(2):135-160.
- [28] Crerar D A. Manganiferous cherts of the Franciscan Assemblage: I. General geology, ancient and modern analogues and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers [J]. *Economic Geology*, 1982, 77:519-540.
- [29] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. *Contrib Mineral Petro*, 1986, (92):181-193.
- [30] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio [J]. *J Geol*, 1986, (94):635-650.
- [31] 罗金海, 车自成, 周新源, 等. 塔里木盆地西部中生代早期伸展作用的辉绿岩证据[J]. *中国地质*, 2006, 33(3):566-571.
Luo Jinhai, Che Zicheng, Zhou Xinyuan, et al. Diabase evidence for the early Mesozoic extension in the western Tarim basin, NW China [J]. *Geology in China*, 2006, 33(3):566-571(in Chinese with English abstract).
- [32] 黄增保, 金霞. 甘肃北山红石山蛇绿混杂岩带中性基性火山岩构造环境分析[J]. *中国地质*, 2006, 33(5):1030-1037.
Huang Zengbao, Jin Xia. Tectonic environment of basic volcanic rocks in the Hongshishan ophiolite melange zone, Beishan Mountains, Gansu [J]. *Geology in China*, 2006, 33(5):1030-1037(in Chinese with English abstract).

Geochemical characteristics and tectonic setting of cherts in the Langzuizi Formation of the Xiangshan Group

DENG Kun¹, ZHOU Li-fa¹, CAO Xin², WANG Hai-jiang³, HU Peng⁴

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Downhole Technical Operation Company, Changqing Petroleum Bureau, Xi'an 710021, Shaanxi, China;

3. China National Offshore Oil Company Research Center, Beijing 100027, China;

4. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The age assignment of the Xiangshan Group has long been controversial since its establishment. Regional geological data indicate that the Xiangshan Group is Middle-Late Cambrian in age. In order to discuss the sedimentary environments and tectonic setting of the Xiangshan Group on the southwestern margin of the Ordos basin, the petrological and geochemical characteristics of cherts in the Langzuizi Formation of the Xiangshan Group are analyzed. The analysis of cherts suggests that: the SiO₂ content is 82.44%–98.13%, the Al/(Fe+Mn+Al) ratio ranges from 0.46 to 0.69 and Al₂O₃/(Al₂O₃+Fe₂O₃) is 0.53–0.77; the fractionation between LREE and HREE is strong with LREE/HREE=3.57–8.45, La_N/Ce_N is 0.66–1.15 and Ce/Ce* is 0.66–0.93. These characteristics show that the cherts formed in a continental-margin environment and that the diagenetic processes included hydrothermal deposition and normal deposition. The geochemical characteristics of clastic rocks and diabase sills in cherts indicate that: clastic rocks were also deposited on the passive continental margins and diabase belongs to the oceanic tholeiite series formed in an extensional setting. An integration of geological data suggests that an environment of divergent continental-margin nature occurred on the southwestern margin of the Ordos block and the southern margin of the Alxa block during the Mid-Late Cambrian.

Key words: chert; clastic rocks; diabase; geochemical characteristics; sedimentary environments; tectonic setting; Xiangshan Group

About the first author: DENG Kun, male, born in 1968, PhD candidate, mainly engages in the study of reservoir sedimentology and basin analysis; E-mail: dk_dengk@126.com.