

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0602-08

华北陆块南部古元古代熊耳群硅质岩地球化学特征及其沉积环境^①

徐勇航^{1,2} 赵太平¹ 胡俊良^{1,2} 陈伟^{1,2}

(1 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室 广州 510640 2 中国科学院研究生院 北京 100039)

摘要 华北陆块南部古元古代熊耳群中的硅质岩主要发育于马家河组沉积岩中,有少量与火山岩共生。通过分析硅质岩的主、微量元素特征,把熊耳群硅质岩分为热水成因和非热水成因两类。热水成因硅质岩表现为低 TiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 和 ΣREE 含量,以及低的 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值的特征;其北美页岩标准化的稀土分配模式平坦,但具有 Ce 负异常与 Eu 正异常, $U/Th > 1$, 反映沉积速率快,受陆源物质的影响小。非热水成因的硅质岩的 ΣREE 含量高,轻稀土富集 ($La_N/Yb_N = 1.41 \sim 9.04$), $U/Th < 1$, 受陆源物质影响较大。熊耳群硅质岩的 Cr/Th 比值变化小,表明物源区成分比较单一;其与熊耳群火山岩具有相似的 REE 配分模式图和蛛网图,也说明物源为熊耳群的英安一流纹质火山岩和玄武—安山质火山岩的混合。硅质岩的 $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ 比值为 $0.44 \sim 0.64$ 以及 Ce/Ce^* ($0.77 \sim 0.94$)、 La_N/Ce_N ($1.18 \sim 1.47$) 的特征表明,熊耳群硅质岩主要形成于被动大陆边缘环境。熊耳群硅质岩主要形成于海相、海陆交互相等环境。早在古元古代熊耳群时期,熊耳—中条拗拉谷发生强烈的扩张裂解作用,华北陆块南部遭受海水入侵,豫南有些地区已经处于海相环境,晋南垣曲有些地区处于海陆交互相等环境,局部地区还处于陆相环境。

关键词 华北陆块 熊耳群 硅质岩 地球化学特征 沉积环境

第一作者简介 徐勇航 男 1980 年出生 博士研究生 岩石地球化学

通讯作者 赵太平 E-mail: tpzha@gig.ac.cn

中图分类号 P595 **文献标识码** A

0 引言

古元古代末 (1.85~1.70 Ga), 华北陆块以伸展—裂解构造为主,在陆块南部出现熊耳—中条拗拉谷^[1,2]。熊耳群形成于 1.80~1.75 Ga^[3], 广泛发育于熊耳—中条拗拉谷中 (图 1), 自下而上分为四组: 大古石组、许山组、鸡蛋坪组和马家河组。熊耳群以火山熔岩为主, 沉积岩占地层总厚度的 4.3%, 主要分布于底部大古石组和马家河组中, 许山组及鸡蛋坪组仅在局部地段有少量沉积岩夹层存在。

熊耳群的火山熔岩以玄武安山质、安山质岩石为主, 次为英安—流纹质岩石^[4]。其中中基性火山熔岩中常见有枕状熔岩、淬碎熔岩或玻质碎屑岩 (hyaloclastite), 中空骸晶结构十分普遍, 反映水下喷发, 快速冷凝^[4] 的特征, 但熊耳群熔岩水下喷发于海相环境还是湖泊相环境, 至今缺乏这方面的沉积岩证据。为此, 鉴于硅质岩特殊的成因机制和形成环境, 我们从不同地区采集到 5 件熊耳群硅质岩样品 (图 1),

可为熊耳群熔岩喷发环境的恢复提供重要的证据。因此, 本文对新近获得的一些硅质岩的地球化学特征进行系统研究, 探讨其沉积环境, 从沉积学角度为熊耳群火山岩的喷发环境提供重要资料和约束条件。

1 硅质岩样品与分析测试

本文从中条山地区的邵原北部、同善南部、朱家庄和板涧河以及外方山付店地区各采集到 1 件硅质岩样品 (图 1)。熊耳群硅质岩主要发育于马家河组碎屑岩中, 但也有少量与火山岩共生 (图 1, 2)。XY-175 样品为薄层状产出, 厚度约 3 cm, 与熊耳群马家河组中基性熔岩共生, 附近熔岩具有枕状构造; 其余 4 件硅质岩产于马家河组碎屑沉积岩中, 薄层状产出 (图 1), 厚度均小于 5 cm。XY-90 硅质岩的上部的火山岩具有柱状节理。其中 XY-90 和 RS-6 为深灰色硅质岩, 其余 3 件样品为紫红色硅质岩。XY-175 为隐晶质结构, 矿物成分比较简单, 由玉髓和微晶自生石英及少量的粘土质矿物组成, 玉髓粒径小于 0.1

^① 国家基础研究发展计划 (973 项目) (编号: 2006CB403502) 及国家自然科学基金 (批准号: 40672058) 的联合资助。

收稿日期: 2007-08-09 收修修改稿日期: 2007-11-01

mm(图 3)。XY-200-1 和 RS-6 由于泥质成分含量较高而呈纹带状构造, 微晶结构, 主要由微晶石英和绢云母等矿物组成, 石英粒度均匀, 粒径小于 0.1 mm; 绢云母为微鳞片状。

对采集的硅质岩先严格剔除附着于样品表层的

泥质或火山质, 然后才进行碎样。本次样品的主、微量元素测试在香港大学地球科学系进行。主量元素用 X-射线荧光光谱法 (XRF) 测试, 微量元素使用 ICP-MS 测试, 分析方法见^[5]。XRF 分析精度为 2%, ICP-MS 的精度高于 5%。分析结果列于表 1。

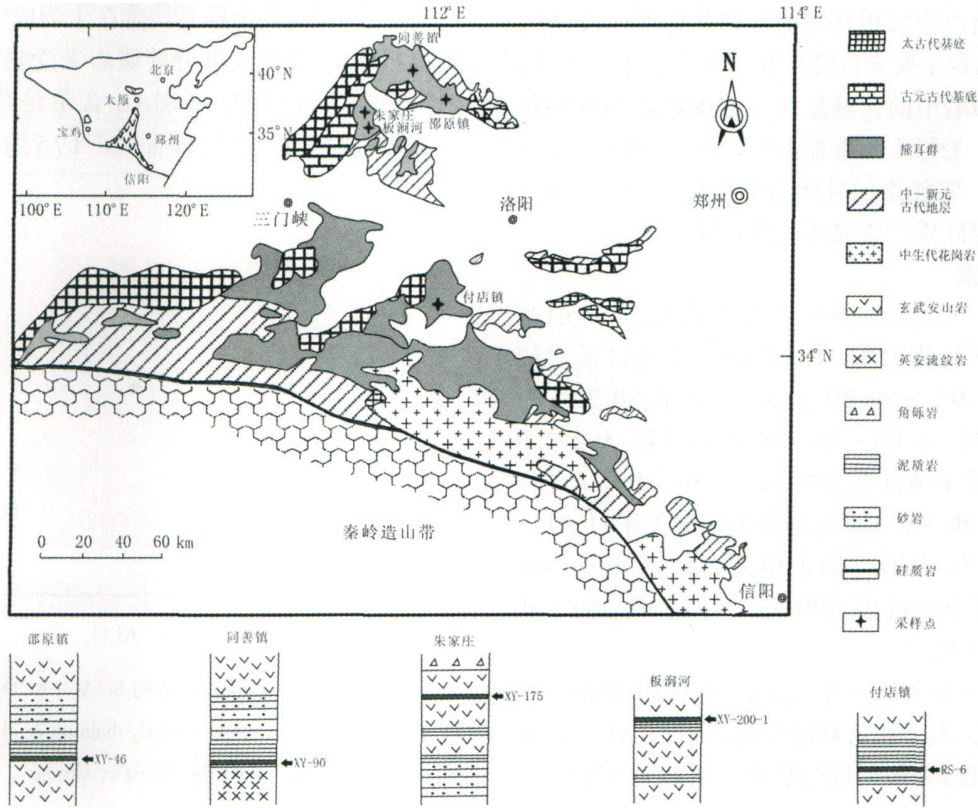


图 1 熊耳群地质图及硅质岩的采样位置(据 Zhao et al, 2002 修改)

Fig. 1 The geological map and location of chert's samples from the Xiong'er Group (modified from Zhao et al, 2002)

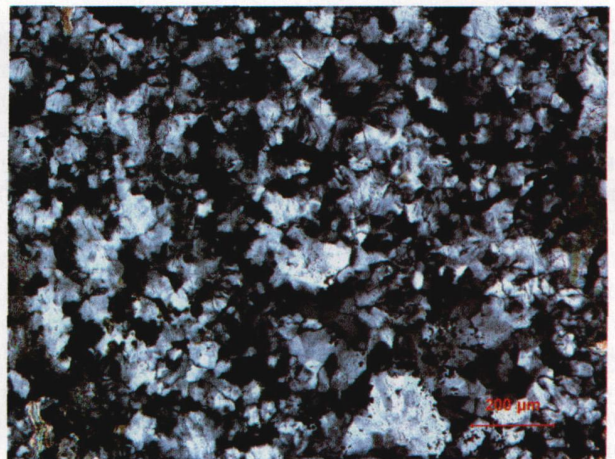


图 2 熊耳群硅质岩(XY-175)野外照片

图 3 熊耳群硅质岩(XY-175)显微照片(正交偏光 10 × 10)

Fig. 2 The photo of chert's samples (XY-175)

Fig. 3 The micrograph of chert's samples (XY-175)

from the Xiong'er Group

from the Xiong'er Group(cross polarized light, 10 × 10)

2 讨论

硅质岩的 Al_2O_3 和 TiO_2 相对稳定, 很少受成岩作用和后期变质作用的影响, 其含量主要由陆源物质输入量决定^[6-7]。因此, 硅质岩中 Al_2O_3 和 TiO_2 的含量可作为大陆边缘沉积环境的判别指标^[8]。Zr, Nb, Ta 和 Th 等元素主要来自陆源物质且难溶于海水, 因而它们在硅质岩中的含量反映了陆源物质的影响程度^[9]。硅质岩的稀土元素配分模式、Ce 和 Eu 异常以及 La/Yb 比值等能指示硅质岩形成的环境^[10], 用它们可有效判定硅质岩形成环境的差异。

2.1 主量元素

从表 1 上可以看出, SiO_2 含量变化大, 为 64.61% ~ 93.30%, 平均值为 81.0%, 明显低于纯硅质岩的 SiO_2 含量 (91.0% ~ 99.8%); Al_2O_3 含量为 0.36% ~ 13.72%, $Si/Al = 4.00 \sim 34.72$ (除 XY-175 为 2.13 外), 也远远低于纯硅质岩的 Si/Al (80 ~ 1400)^[10]。样品的 Si/Al 和 Al_2O_3 呈很好的负相关关系 (图 4), 且 Al_2O_3 和 TiO_2 具有好的正相关关系, 说明这些硅质岩含较高比例的陆源沉积物^[6], 样品 XY-200-1 和 RS-6 为泥质硅质岩。

$Al/(Al+Fe+Mn)$ 值是衡量沉积物中热液沉积物含量的标志, 对于正常环境中的沉积物, $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值约为 0.6 而与热水作用有关的沉积物

的 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值小很多^[11]。熊耳群中大部分硅质岩样品的 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 值为 0.61 ~ 0.74 受热水作用比较小, 而样品 XY-175 为 0.17 可能是热水成因。在沉积物的 $Al-Fe-Mn$ 成因判别图解中 (图 5), 样品 XY-175 落入热水沉积区, 说明有热液活动参与; 其余样品均落在生物成因及其他非热水沉积物区, 说明大部分硅质岩未受热液活动影响。研究表明, 低的 TiO_2 与 Al_2O_3 含量是热水沉积硅质岩的典型特征^[12-13], 样品 XY-175 的 TiO_2 、 MgO 与

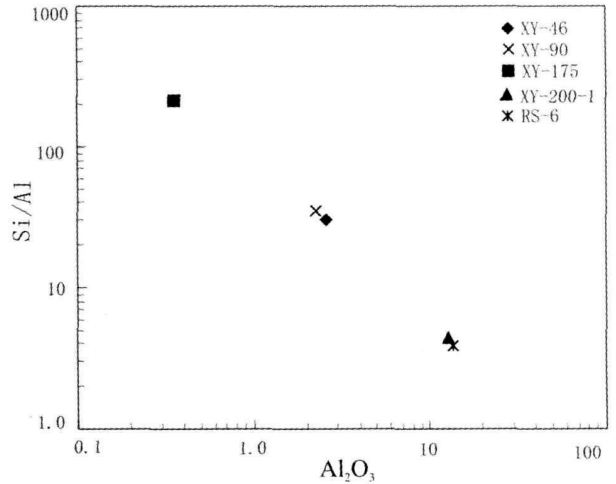


图 4 熊耳群硅质岩的 $Si/Al - Al_2O_3$ 图解

Fig. 4 $Si/Al - Al_2O_3$ diagram of cherts from the Xiong'er Group

表 1 熊耳群硅质岩分析结果 (主量 %, 微量 $\mu g/g$)

Table 1 Whole rock analyses of cherts from the Xiong'er Group (main elements %, trace elements $\mu g/g$)

样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_3^{a)}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	总量	$Si/Al^{b)}$	$Al/(Al+Fe+Mn)^{b)}$	$Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$	$CaO/(CaO+MgO)$
XY-46	91.06	0.12	2.59	2.52	0.03	0.88	0.71	0.20	0.65	0.02	1.75	100.5	29.9	0.61	0.51	0.45
XY-90	93.30	0.09	2.28	1.70	0.03	0.30	0.48	0.05	0.46	0.03	1.98	100.7	34.7	0.67	0.57	0.62
XY-175	89.88	0.03	0.36	2.69	0.04	0.04	3.42	0.02	0.03	0.02	3.75	100.3	2.13	0.17	0.12	0.99
XY-200-1	66.31	0.85	12.9	7.17	0.04	1.14	2.62	5.44	1.72	0.19	1.32	99.7	4.37	0.74	0.64	0.70
RS-6	64.61	0.63	13.72	8.47	0.06	3.09	2.32	1.27	3.44	0.19	2.25	100.1	4.00	0.72	0.62	0.43
样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	Eu/Eu^*
XY-46	4.90	9.36	0.95	3.62	0.67	0.12	0.82	0.11	0.66	0.13	0.36	0.05	0.34	0.06	22.2	0.71
XY-90	33.8	61.3	7.77	28.8	3.86	0.54	2.15	0.24	0.87	0.14	0.42	0.05	0.36	0.06	140	0.82
XY-175	4.73	7.33	0.92	3.59	0.91	0.22	1.00	0.12	0.66	0.12	0.31	0.05	0.30	0.05	20.3	1.03
XY-200-1	96.5	167	17.6	66.1	9.75	2.25	5.91	0.92	6.74	1.33	3.62	0.53	3.16	0.51	382	1.30
RS-6	47.7	92.3	10.6	40.7	7.38	1.21	8.72	1.19	7.11	1.44	3.64	0.49	3.22	0.52	226	0.66
Ce/Ce^*	La_N/Ce_N	La_N/Yb_N	Cr	Co	Cu	Rb	Sr	Zr	Nb	Ba	Th	U	U/Th	Rb/Sr	Cr/Th	Sr/Ba
0.94	1.19	1.41	11.4	2.21	3.05	13.0	37.7	15.0	1.24	95.1	1.39	0.20	0.14	0.35	8.17	0.40
0.82	1.26	9.04	8.31	4.82	12.8	15.7	63.0	28.1	1.66	501	1.65	0.50	0.31	0.25	5.05	0.13
0.77	1.47	1.52	1.81	0.46	1.52	0.84	52.6	1.59	0.17	3539	0.08	0.25	2.92	0.02	21.5	0.01
0.88	1.32	2.96	42.4	5.98	66.4	22.8	107	307	13.1	185	12.7	2.21	0.17	0.21	3.33	0.58
0.89	1.18	1.44	46.0	9.32	9.44	78.9	102	156	8.80	960	7.79	1.28	0.16	0.78	5.90	0.11

a) Fe_2O_3 的值代表全铁; b) 原子数比; N 代表北美页岩 (NASC) 的标准化值

Al₂O₃ 含量都非常低, 分别为 0.03、0.04 和 0.36, 也说明 XY-175 的形成与热水作用有关。

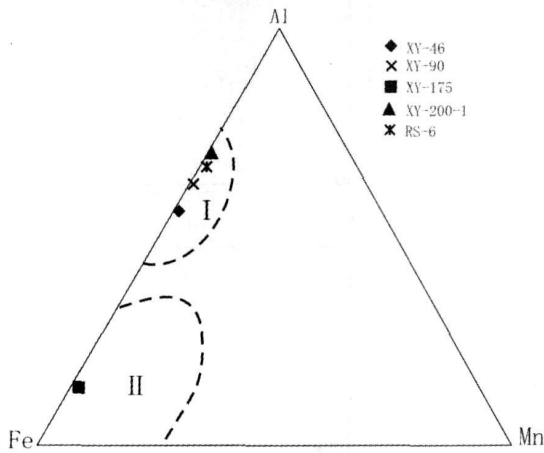


图 5 硅质岩成因的 Al-Fe-Mn 判别图解^[12]

I. 生物成因及其他非热水沉积物区; II. 热水沉积区

Fig 5 Al-Fe-Mn diagram^[12] of cherts from the Xiong'er Group

2.2 稀土元素

熊耳群中硅质岩稀土元素分析结果列于表 1。从北美页岩标准化 REE 配分模式图上可以看出, 硅质岩的总稀土含量变化大, 可分为两类 (图 6)。一类高的 Σ REE 含量 (XY-90、XY-200-1 和 RS-6), 平均值为 228.1×10^{-6} , 高于北美页岩值 (173.2×10^{-6}), 说明当时构造活动相对稳定, 同时火山作用间隙时间较长, 吸收稀土元素较多。另一类低的 Σ REE 含量 (XY-46 和 XY-175), Σ REE 分别为 22.2 和 20.3, 远低于北美页岩值。样品 XY-175 稀土分配模式平坦, 有 Ce 负异常与 Eu 正异常, 说明该样品为热水沉积硅质岩^[13-15]。XY-175 是由于热水沉积导致 Σ REE 含量很低, 而 XY-46 可能是由于当时构造活动剧烈, 火山作用强烈, 沉积速率高, 使硅质岩暴露于海水中的时间较短, 吸收稀土元素较少导致的。熊耳群硅质岩的 Eu/Eu^* 比值变化较大 (0.66~1.30); 轻稀土富集, La_N/Yb_N 比值为 1.41~9.04, 平均值为 3.27, 与大陆边缘的硅质岩轻稀土相对富集的特征类似, 样品 XY-90 的 La_N/Yb_N 比值最大, 为 9.04, 说明其形成受陆源物质的影响强烈^[10]。

2.3 其它微量元素

熊耳群中硅质岩其它微量元素分析结果列于表 1。一般情况下, 大多数沉积岩中 Th 的含量都高于 U 的含量, 而热水沉积岩中二者的关系正好相反, 由于热水沉积有较高的沉积速率, 常常相对富含 U, 因此

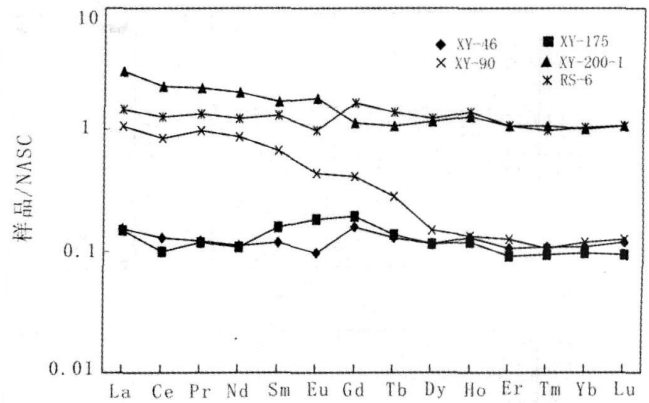


图 6 熊耳群硅质岩北美页岩标准化 REE 配分模式图

Fig 6 NASC-normalized REE patterns of the cherts from Xiong'er Group

热水沉积岩中 $U/Th > 1$, 而非热水沉积岩中 $U/Th < 1$ ^[16]。大部分熊耳群硅质岩的 U/Th 很低, 为 0.14~0.31 (表 1), 说明无热水作用影响, 而样品 XY-175 的 U/Th 为 2.92 反映为热水沉积作用形成的。且 XY-175 的 Th/U 显著偏低为 0.34, Rb/Sr 为 0.02, 低的 Th/U 和 Rb/Sr 比值反映了硅质岩沉积时有富铁镁质物源的加入^[17], 说明当时存在强烈的扩张裂解作用, 在水下伴随熊耳群火山岩喷溢, 快速沉积 XY-175 硅质岩, 并有深部物质的加入。

样品 XY-175 相对贫 Cu , 富 Ba (值高达 3539), 也支持其为热水沉积作用^[18], 因为热水沉积沉积速率高, 来不及吸附 Cu 等元素。Nb, Rb, Th 等元素主要来自陆源, 且不溶于海水^[9], 它们在硅质岩中的含量也指示了陆源物质的影响程度。熊耳群硅质岩的 Nb, Rb, Th 等元素与 Al_2O_3 、 TiO_2 等陆源元素有良好的正相关关系 (图 7), 表明主要受陆源物质影响^[7, 19]。

2.4 硅质岩源区性质

图 8A 显示的是熊耳群中硅质岩与火山岩球粒陨石标准化 REE 配分模式。虽然有些样品的 Σ REE 含量低于火山岩, 但都具有相似的配分曲线; 蛛网图上除 XY-175 的差别比较大, 其余样品也有相似的配分曲线 (图 8B)。Cr/Th 比值是判别硅质岩源区的有效指标, 随着物源区的不同, 其比值可以从 0.2 到 >10.4 的变化; 物源区单一, 其比值变化不大^[20]。熊耳群硅质岩的 Cr/Th 比值从 3.23~8.17, 除样品 XY-175 稍微大点 (21.5), 说明物源区比较单一。再根据 Zr/TiO_2 -Cr/Th 比值图, 判断熊耳群硅质岩主要来源于熊耳群的英安一流纹质火山岩和玄武-安山质火

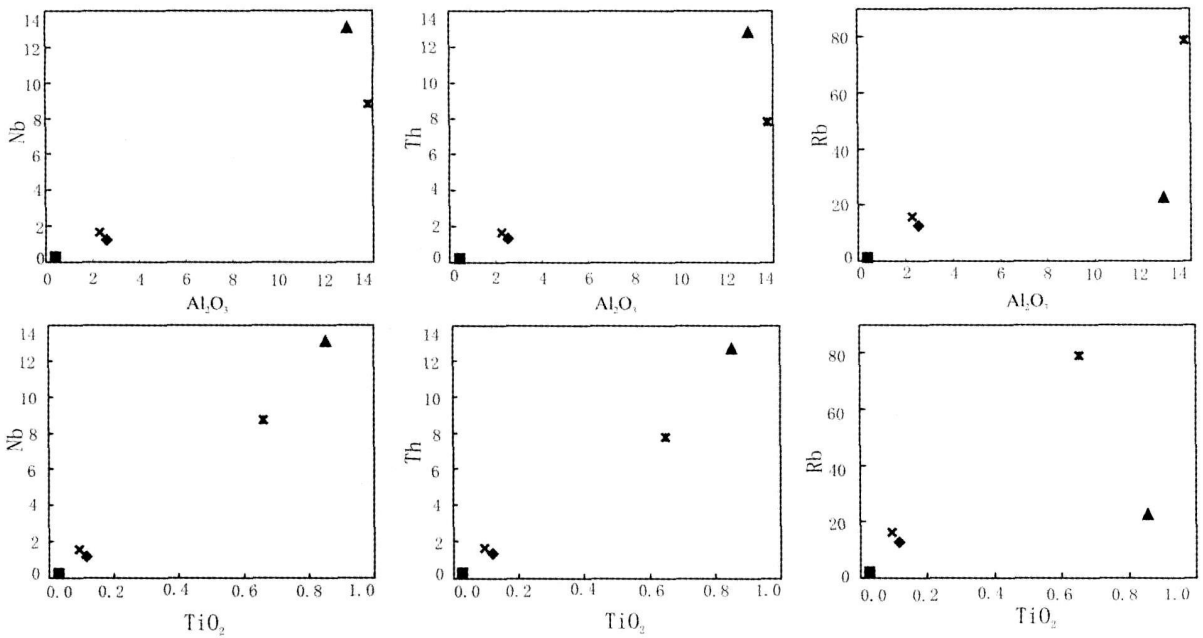
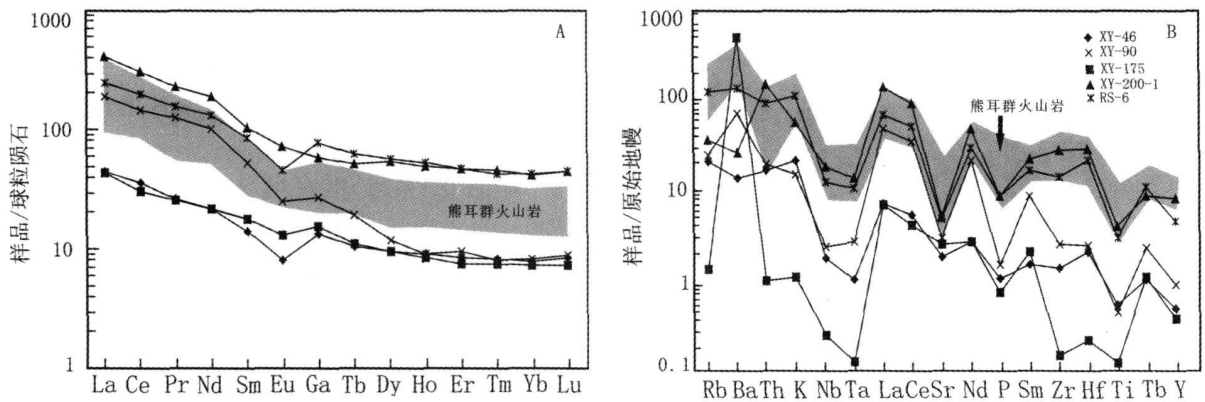
图 7 熊耳群硅质岩微量元素与 Al_2O_3 、 TiO_2 图解Fig. 7 Diagram of trace elements with Al_2O_3 and TiO_2 for the cherts from Xiong'er Group

图 8 熊耳群硅质岩与熊耳群火山岩球粒陨石标准化 REE 配分模式图(A)和原始地幔标准化蛛网图(B)

(熊耳群火山岩数据引自^[21];球粒陨石标准值和原始地幔标准值据^[22])Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace-element patterns for the volcanic rocks of the Xiong'er Group and cherts (data source: the Xiong'er Group after^[21]; chondrite values and primitive mantle values after^[22])

山岩混合(图 9), 而样品 XY-175 由于受深部物质的加入, 未能真实反映源区的性质。

2.5 沉积环境

$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 是判别硅质岩形成环境的一个重要标志^[6,8]。所分析样品的 $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 都介于 0.44~0.64 之间(除 XY-175 为 0.12 外), 比洋中脊硅质岩 (< 0.4) 高, 可能形成于大洋盆地 (0.4~0.7) 或大陆边缘 (0.5~0.9)^[8], 而样品 XY-175 由于是热水成因, 而表现出类似于洋中脊硅质岩的特征。在图 10 中, XY-175 落入洋脊区域,

其它样品落入大陆边缘环境一侧。 $\text{MnO} / \text{TiO}_2$ 也可以作为判断硅质岩来源及沉积盆地古地理位置重要标志, 距离大陆较近的大陆边缘沉积的硅质岩 $\text{MnO} / \text{TiO}_2$ 值偏低, 一般均小于 0.5, 而开阔大洋中的硅质沉积物的比值则比较高, 可达 0.5~3.5^[8]。熊耳群硅质岩的 $\text{MnO} / \text{TiO}_2$ 比值为 0.05~0.29, 小于 0.5 表明主要形成于大陆边缘; 而 XY-175 有由于热水作用, 引起低的 TiO_2 含量^[12], 使 $\text{MnO} / \text{TiO}_2$ 比值大于 1, 为 1.56。已有的研究^[6,8] 表明硅质岩的 Ce / Ce^*

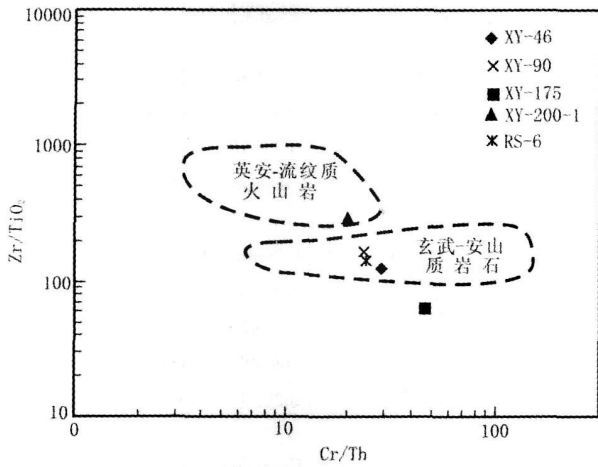


图 9 Cr/Th-Zr/TiO₂ 图解, 熊耳群英安—流纹质火山岩和玄武—安山质 (数据引自^[21])
Fig 9 Cr/Th-Zr/TiO₂ diagram, the data of Xiong'er Group (after Zhao T P, et al., 2002)

以及 L_{AN}/C_{EN} 比值, 也可以用来有效地判别硅质岩的形成环境。熊耳群 5 个硅质岩样品的 Ce/Ce^* 在 0.77 ~ 0.94 之间变化, 平均值为 0.86 显示弱的 Ce 负异常, $L_{AN}/C_{EN} = 1.18 \sim 1.47$ 明显不同于洋中脊附近硅质岩 ($Ce/Ce^* = 0.30 \pm 0.13$, $L_{AN}/C_{EN} \approx 3.50$) 和远洋盆地硅质岩 ($Ce/Ce^* = 0.60 \pm 0.13$, $L_{AN}/C_{EN} = 1.0 \sim 2.5$), 而与大陆边缘硅质岩的稀土特征 ($Ce/Ce^* = 1.09 \pm 0.25$, $L_{AN}/C_{EN} = 0.5 \sim 1.5$) 相一致^[6, 8]。以上分析说明熊耳群硅质岩主要形成于大陆边缘环境。

Sr/Ba 是常用的沉积环境判别标志之一, 通常 Sr/Ba 大于或小于 1 来判别海、陆相沉积环境。王爱华 (1996) 提出, 利用沉积岩的 Sr/Ba 比值进行陆源碎屑沉积岩的沉积环境判别是要特别注意, 因为占总量大部分的、赋存于陆源碎屑矿物中的锶、钡对沉积作

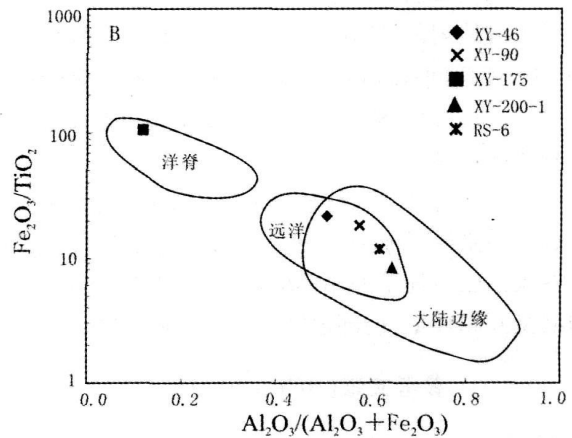
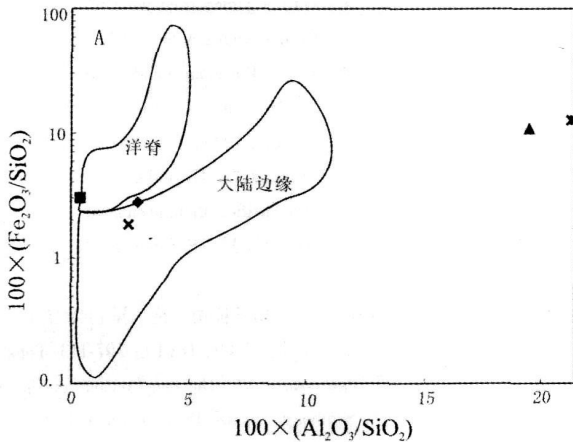


图 10 熊耳群硅质岩常量元素判别图解^[8]

Fig 10 Major element discrimination diagrams^[8] of cherts from Xiong'er Group
(A) $100 \times (Fe_2O_3 / SD_2) - 100 \times (Al_2O_3 / SD_2)$; (B) $Fe_2O_3 / TiO_2 - Al_2O_3 / (Al_2O_3 + SD_2)$

用过程中形成的锶、钡的严重掩蔽, 因而常常出现矛盾或相反的结论^[23]。熊耳群硅质岩的 Sr/Ba 比都小于 1, 为 0.01 ~ 0.58, 一般认为沉积岩的 $Th/U > 7$ 形成于湖泊、河流环境, < 2 则为海洋环境^[24]。熊耳群硅质岩的 Th/U 比值为 3.26 ~ 7.03 (除热水成因的硅质岩 XY-175 相对富含 U^[16], 导致 Th/U 比值很小为 0.34)。说明熊耳群硅质岩主要形成于海陆交互环境。Dasgupta 等提出 $CaO / (CaO + MgO)$ 比值可以有效地判别硅质岩的形成环境: $CaO / (CaO + MgO) > 0.70$ 是为湖泊相沉积; $CaO / (CaO + MgO) < 0.60$ 为海相沉积^[25]。熊耳群硅质岩的 $CaO / (CaO + MgO)$ 比值如表 1, 其中 XY-46 和 RS-6 小于 0.60 说明这 2 件硅质岩与海相关系密切; 而其它 3 件样品可

能与海陆交互环境有关。同善镇硅质岩 XY-90 上部有火山岩柱状节理, 已是陆相环境, 说明 XY-90 硅质岩形成于相对水体较浅的环境。在大洋中, 随海水的加深, Eu 负异常明显增加^[10], 样品 RS-6 的 Eu^*/Eu 比值最小, 说明付店地区当时海水相对较深。

结合熊耳群火山岩的研究^[21], 认为熊耳群硅质岩形成于被动大陆边缘环境。随着拗拉谷的不断拉伸裂解, 华北陆块南部有些地区已经处于海相环境 (汝阳付店地区), 晋南垣曲有些地区处于海陆交互环境, 局部地区还处于陆相环境, 反映海水北侵的特征。熊耳群形成后, 海侵范围更广、海水逐渐加深, 表明地壳逐步向更大的凹陷发展^[4]。到中、新元古代时, 华北陆块南部大部分被海水淹没, 并在熊耳群

之上形成一套典型被动大陆边缘的陆源碎屑岩、碳酸盐岩及冰碛岩建造(汝阳群和官道口群)^[26]。

3 结论

(1) 熊耳群硅质岩分为热水成因和非热水成因两类。热水成因的硅质岩与火山岩共生, 沉积速率快, 受陆源物质的影响小, 因此 TD_{Σ} 、 MgO 、 Al_2O_3 和 ΣREE 含量以及 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值均很低; 其稀土分配模式平坦, 有 Ce 负异常与 Eu 正异常, U/Th 比值大于 1。而非热水成因的硅质岩受陆源物质影响强烈, $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值高; ΣREE 含量高, 轻稀土富集, U/Th 比值小于 1。

(2) 熊耳群硅质岩的 Cr/Th 比值变化小, 表明其物源区比较单一, 其与熊耳群火山岩相似的 REE 配分模式和蛛网图, 表明物源为熊耳群英安一流纹质和玄武—安山质火山岩的混合物。

(3) 硅质岩的 $Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 比值介于 0.44~0.64 之间; $Ce/Ce^* = 0.77\sim 0.94$ 显示弱的负异常; $La_N/Ce_N = 1.18\sim 1.47$, 表明熊耳群硅质岩形成于大陆边缘环境。

(4) 结合野外地质特征及地球化学特征, 认为熊耳群硅质岩主要形成于海相、海陆交互相等环境。豫南有些地区已经处于海相环境, 晋南垣曲有些地区处于海陆交互相等环境, 局部地区还处于陆相环境。

参考文献 (References)

- 1 Lu S N, Yang C L, Li H K, *et al*. A group of rifting events in the terminal Paleoproterozoic in the North China Craton [J]. *Gondwana Research*, 2002, 5: 123-131
- 2 Hou G T, Li J H, Liu Y L, *et al*. The late Paleoproterozoic extension event: aulacogens and dyke swarms in the North China Craton [J]. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(2): 201-208
- 3 赵太平, 翟明国, 夏斌, 等. 西阳河群火山岩锆石 SHRMP 年代学研究: 对华北克拉通盖层发育初始时间的制约 [J]. *科学通报*, 2004, 49(22): 2342-2349 [Zhao Taping, Zhai Mingguo, Xia Bin, *et al*. Zircon U-Pb SHRMP dating for the volcanic rocks of the Xiyanghe Group: Constraints on the initial formation age of the cover of the North China Craton [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(23): 2495-2502]
- 4 赵太平, 徐勇航, 翟明国. 华北陆块南部元古宙熊耳群火山岩的成因与构造环境: 事实与争议 [J]. *高校地质学报*, 2007, 13(2): 199-206 [Zhao Taping, Xu Yonghang, Zhai Mingguo. Petrogenesis and tectonic setting of the Paleoproterozoic Xiyanghe Group in the southern part of the North China Craton: a review [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13(2): 191-206]
- 5 Qi L, Hu J, Gregoire D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Talanta*, 2000, 51: 507-513
- 6 Murray R W, Buchholtz Ten Brink M R, Gerlach D C, *et al*. Rare earth major and trace element in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55(1): 1875-1895
- 7 Garcia D, Fontelles M, Moutte J. Sedimentary fractionations between Al, Ti and Zr and the genesis of strongly peraluminous granites [J]. *Journal of Geology*, 1994, 102: 411-422
- 8 Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90: 213-232
- 9 Yasuhiro K, Yoko N, Yukio I. Geochemistry of Late Permian to Early Triassic pelagic cherts from south-east Japan: implications for an oceanic redox change [J]. *Chemical Geology*, 2002, 182: 15-34
- 10 Murray R W, Buchholtz Ten Brink M R, Gerlach D C, *et al*. Inter-oceanic variation in the rare earth major and trace element depositional chemistry of chert: Perspectives gained from the DSDP and ODP records [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56: 1897-1913
- 11 Bostrom K, Harold R, Oiva J. Provenance and accumulation rates of opaline silica: Al, Fe, Ti, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediment [J]. *Chemical Geology*, 1973, 11: 123-148
- 12 Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated rocks from the Northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity [J]. *Sedimentary Geology*, 1986, 47: 125-148
- 13 彭军, 田景春, 伊海生, 等. 扬子板块东南大陆边缘晚前寒武纪热水沉积作用 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(1): 107-113 [Peng Jun, Tian Jingchun, Yi Haisheng, *et al*. The late Precambrian hot water sedimentation of the Southeast Yangtze Plate continental margin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 107-113]
- 14 Klinkhammer G P, Elderfield H, Mitra A. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, 58: 5105-5133
- 15 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 塔里木盆地肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩微量元素和稀土元素地球化学及其沉积背景 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(1): 59-66 [Yu Bingsong, Chen Jianqiang, Li Xingwu, *et al*. Rare earth and trace element patterns in bedded cherts from the bottom of the lower Cambrian in the Northern Tarim Basin, Northwest China: implication for depositional environments [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 59-66]
- 16 Rona P A. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in ocean crust [J]. *Economic Geology*, 1987, 73: 135-160
- 17 McLennan S M, Taylor S R. Th and U in sedimentary rocks: crustal evolution and sedimentary recycling [J]. *Nature*, 1980, 285: 625-624
- 18 Crerar D A, Namson J, Chyi M S, *et al*. Manganiferous chert 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(3): 519-540

- 19 Young GM, Nesbitt H W. Processes controlling the distribution of Ti and Al in weathering profiles: siliclastic sediments and sedimentary rocks [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1998, 68: 448-455
- 20 Condie K C, Wronkiewicz D J. The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 1990, 97: 256-267
- 21 Zhao T P, Zhou M F, Zhai M G, *et al*. Palaeoproterozoic rift-related volcanism of the Xiong'er Group in the North China Craton: Implications for the break-up of Columbia [J]. *International Geology Review*, 2002, 44: 336-351
- 22 Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process [C] // Saunders A D and Noyon M J (ed). *Magnetism in the Ocean Basin*. Geological Society Special Publication, 1989, 42: 313-354
- 23 王爱华. 不同形态锶钍比的沉积环境判别效果比较 [J]. *沉积学报*, 1996, 14(4): 168-173 [Wang Aihua. Discrimination effect of sedimentary environment by the Sr/Ba ratio of different existing forms [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(4): 168-173]
- 24 Riley J P, Chester R, eds. *Chemical Oceanography* [M]. 2nd ed. London: Academic Press, 1976-1978: 5-7
- 25 Dasgupta H C, Sanbasava Rao V V, Krishna C. Chemical environments of deposition of ancient iron- and manganese-rich sediments and cherts [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 125: 83-98
- 26 周洪瑞, 王自强. 华北大陆南缘中、新元古代大陆边缘性质及构造古地理演化 [J]. *现代地质*, 1999, 13(3): 261-267 [Zhou Hongrui, Wang Ziqiang. Feature and tectono-paleogeography evolution of the southern margin of the North China continent in Mesoproterozoic and Neoproterozoic era [J]. *Geoscience Journal of Graduate School, China University of Geoscience*, 1999, 13(3): 261-267]

Geochemical Characteristics and Sedimentary Environments of Cherts from the Paleoproterozoic Xiong'er Group in the Southern Part of the North China Block

XU Yong-hang^{1,2} ZHAO Tai-ping¹ HU Jun-liang^{1,2} CHEN Wei^{1,2}

(1. Key Laboratory for Metallogenic Dynamics, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract Palaeoproterozoic cherts from Xiong'er Group in the southern part of the North China block formed in sedimentary rock, but a few in volcanic rocks. The distributions of major and trace elements for cherts demonstrate that cherts were affected by both the hydrothermal process and hydrogenous process. The hydrothermal process might be related with Xiong'er Group volcanism, its geochemical characteristics show the lower concentrations of TiO_2 , MgO , Al_2O_3 , $\sum\text{REE}$, the lower ratio of $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ and $\text{U}/\text{Th} > 1$, the NASC-normalized flat REE patterns with weak negative Ce anomalies and positive Eu anomalies. The hydrothermal process was less influenced by the input of terrigenous component due to quick subsidence. However, the hydrogenous genesis cherts were which showed LREE enrichment ($L_{\text{N}}/Y_{\text{N}} = 1.41 \sim 9.04$) and the high $\sum\text{REE}$, influenced by the input of terrigenous component. The lower ratio of Cr/Th, the chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace-element patterns for cherts are consistent with the volcanic rocks of the Xiong'er suggest that the single provenance. The cherts were mainly derived from the mixture of basaltic-andesite and dacite-rhyolite from Xiong'er Group. The characteristics of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, Ce/Ce^* (0.77~0.94) and $L_{\text{N}}/C_{\text{N}}$ (1.18~1.47) implied a setting of passive continental margin. The hydrothermal activity is interpreted as having been related to the intensity extensional background in the Xiong'er-Zhongtiao Aulacogen, as early as the Palaeoproterozoic. According to the geological characteristics and the ratio of elements, such as Sr/Ba, Th/U, $\text{CaO}/(\text{CaO} + \text{MgO})$, the cherts deposited in both marine and marine-terrestrial facies. As a result of transgression toward north, southern part of Henan was in the marine environment, but northern part of Henan was marine-terrestrial, some areas still in continent environment.

Key words North China block, Xiong'er Group, chert, geochemical characteristics, sedimentary environment