

粤西古水剖面震旦系顶部层状硅岩的 热水成因属性:岩石学和地球化学证据^①

周永章^{1,2} 涂光炽¹ Edward H. Chown² Jayanta Guha² 卢焕章²

(¹中国科学院地球化学研究所广州分部,²Université du Québec à Chicoutimi, Canada)

提 要 古水剖面震旦系顶部硅岩主要发育层状构造、纹理状构造、块状构造和假角砾状构造,化学成份以 TiO₂、Al₂O₃ 和大部分微量元素亏损(相对地壳克拉克值)为特征。但 Ba、As 和 Sb 等少数已知的水热沉积特征元素显示富集。在 Al-Fe-Mn 三元图上,古水硅岩投映在“热水沉积”域内。因子分析和对应分析显示了大部分金属元素在代表热水淋滤作用的因子上均有反映。稀土元素以低含量为特征,在对北美页岩组合样(NASC)正规化后的稀土配分模式落在典型热水沉积的上、下限之间,而在正常沉积的之外。各种岩性和地球化学证据表明,古水硅岩具有热水成因。

关键词 广东古水 硅岩 岩性证据 地球化学证据 多元统计分析 热水成因

第一作者简介 周永章 男 30 岁 博士 研究员 数学地质与沉积 矿床地球化学

河台金矿田是粤西地区 80 年代发现的重要金矿田。微量元素、稀土元素和同位素等多方面证据表明(陈础挺等,1988;Zhou,1992),该矿田的成矿物质主要来源于震旦系地层。但矿源层中是否包含了特殊类型沉积作用的产物?如果是,那么这种特殊类型沉积作用是否参与了成矿物质在矿源层形成阶段的初步富集?震旦系顶部层状硅岩的发现为研究河台金矿田矿源层中是否存在热水沉积提供了一个良好的机会。本文主要讨论出现在矿田外围的古水剖面层状硅岩。

1 产状

震旦系顶部层状硅岩在粤西地区构成一个独立的地层单元(Z⁴)(广东省地质局,1977)。它的下伏地层是以陆源碎屑为主夹硅质岩条带的震旦系 C 组,上覆是寒武系底部的黑色碳质、硅质泥岩。在古水地区,Z⁴ 组层状硅岩基本上未曾受到过变质作用的影响,与上下地层间均为整合接触,厚度约几十米。

2 岩性特征

^① 本项目得到国家自然科学基金(49303041)、中国科学院院长基金和中国科学院矿床地球化学开放实验室基金的资助

2.1 矿物

古水层状硅岩致密坚硬,呈棕黄、乳白、碧绿、灰白及灰黑等色调,主要由微晶石英(直径在 0.02~0.05 μm 之间)组成,含粘土矿物、赤铁矿、重晶石,偶见黄铁矿。细分散状有机质可局部富集。

2.2 沉积构造

典型的沉积构造包括:

层状构造:基本组成单元是各种沉积细层。细层厚度多在 1cm 至 30cm 之间,细层间由暗色粘土膜或平行沉积间断面所分隔。

纹理状构造:基本单元是各种纹层,比层状构造的沉积细层薄。纹层主要通过颜色、矿物或化学成份的不同而显现出来,利用地质锤不能沿纹理面剥开。在显微镜下,可以观察到特征性的微晶石英纹层和赤铁矿纹层相互交替现象(照片 1)。

块状构造:指内部组构均一的厚层状硅岩所具有的沉积构造。具有块状构造的硅岩常带有微红、碧绿、浅棕黄等鲜艳色调,但也有灰或灰黑色调的。

假角砾状构造(照片 1):块状或层状硅岩被准同生的网络状小石英脉所分割,结果形成厘米级大小的各种角砾状碎块(假角砾)。这些假角砾通常呈棕红—黄—白色调,与呈灰绿—灰白色调的基质形成强烈的反差,假角砾的边缘发育有特征的褪色带。

上述沉积构造指示了,古水 Z^a 硅岩是古地热系热水活动的产物。纹理状构造在桂西北丹池盆地热水成因的榴江组(D₃)硅岩亦有发育,其中,富 SiO_2 的纹理是热水沉积活动高峰期的产物,而富铁氧化物的纹理代表了热水活动安静期的沉积(周永章,1990)。

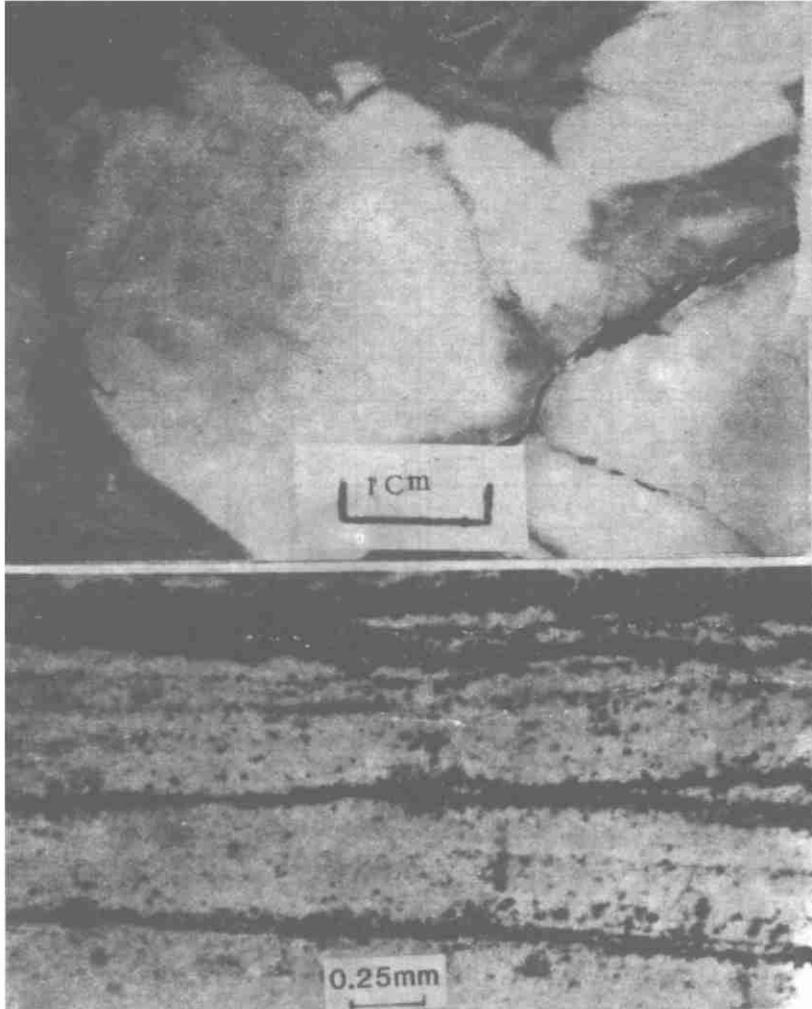
呈红、绿、棕等鲜艳色调的块状硅岩又被称为碧玉岩。Lovering(1972)曾系统地描述了美国碧玉岩的特征和分布规律,Fourier(1985)把它们归因于 SiO_2 对灰岩交代作用的结果。然而,迄今没有发现震旦纪时期在河台-古水地区存在过灰岩的可靠证据,所以, SiO_2 对灰岩交代的模式对古水硅岩形成的解释是不适用的。代之,古水碧玉岩可能是由于热水溶液与海底稠冷的海水混合或热水溶液去压沸腾使 SiO_2 迅速沉积的产物。近热泉喷口是碧玉岩形成的理想场所(周永章,1990;Chen,1990)。

假角砾状构造实际上是一种特征的热热水活动标志,它在哥斯达黎加和美国加州 Franciscan 热水成因硅岩中很发育(Kuijpers and Denyer,1979;Crerar et al., 1982)。据研究(Keith and Muffler,1978),准同生假角砾是后期热水喷发作用对稍先形成的固结或半固结硅质沉积物破碎的结果,与假角砾状构造相伴随的网状石英脉代表了弥散到初生硅质沉积物中的热水活动通道。

2.3 压实作用与重结晶作用

古水硅岩的假角砾没有显著的压扁现象(照片 1),内部结构保存相对完好,指示了一个低程度的压实作用。

硅岩经历了明显的重结晶作用。现在观察到的微晶石英是这种作用的产物。初始沉积物可能是非晶质二氧化硅(蛋白石-A)、方英石(蛋白石-CT 或蛋白石-C)、磷石英或玉髓(Pollock,1987)。低的压实程度反映了,初始沉积的二氧化硅是一种快速沉淀的产物,并在沉淀以后,较迅速地相变为微晶石英。这种快速沉积和快速相变过程在相对高温的热水沉积环境比较容易得到实现。



上,假角砾状构造,抛光面

下:微晶石英纹层(浅色部分)与赤铁矿纹层(黑色部分)交替组成的纹理状构造,单偏光

照片 1 广东古水硅岩代表性沉积构造

Plate 1 Sedimentary Structures of Gusui Cherts, Southern China

3 常量元素和微量元素特征

3.1 元素丰度

表 1 列出了古水硅岩常量元素组份和 26 种微量元素含量平均值及其与地壳克拉克值的比值。从表 1 可以看出:①除夹在硅岩中的一个泥岩样品外,其他样品均明显贫 TiO_2 、 Al_2O_3 和 MnO ;②大部分微量元素相对地壳克拉克值亏损,仅 Ba、As、Sb、W、Sn、Hg、Ag、Se 和 Bi 这几种元素例外,它们在古水硅岩中富集。Au 的平均含量为 8.7ppb,约为地壳克拉克值

的两倍。

表1 广东古水硅岩常量元素氧化物和微量元素平均含量

Table 1 Major oxides and trace elements of the Gusui bedded cherts, southern China

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅											
古水硅岩	96.04	0.06	0.85	0.73	0.71	0.07	0.2	0.07	0.01	0.14	0.06											
克拉克值																						
古水硅岩/克拉克值																						
	Ag	As	Au	Ba	Bi	Co	Cr	Cs	Cu	Hf	Hg	Nb	Ni									
古水硅岩	0.4	16.4	7.8	3138	59.2	7.6	11.1	0.4	18.2	0.2	5.1	1.9	13.2									
克拉克值	0.07	1.8	4	425	0.17	25	100	3	55	3	0.08	20	75									
古水硅岩/克拉克值	5.9	9.5	1.9	7.6	365.8	0.5	0.1	0.6	0.3	0.2	64.8	0.1	0.2									
	Pb	Rb	Sb	Sc	Se	Sn	Ta	Th	U	V	W	Zn	Zr									
古水硅岩	5.7	5.5	0.6	6.1	2.6	13.7	0.5	1.0	0.3	5.2	2.6	15.0	31.2									
克拉克值	12.5	90	0.2	22	0.05	2	2	9.6	2.7	135	1.5	70	165									
古水硅岩/克拉克值	0.6	0.3	5.2	0.3	72.0	9.0	0.9	0.3	0.3	0.04	2.4	0.3	0.3									

* 常量元素含量单位为重量百分比,微量元素为ppm(Au例外,为ppb);数据来源引自 Zhou(1992)。

上述元素富集和亏损特征与世界上许多已知的典型热水成因硅岩具有强烈的相似性。表2列出了来自美国加州 Franciscan 建造、日本 Shimanto 地区、深海钻探计划 Leg 32 和桂西北丹池盆地的典型热水成因硅岩的常量元素组份含量。该表展示了 TiO₂ 和 Al₂O₃ 低含量是这些热水成因硅岩的共性。正因为如此,有人曾提议使用 TiO₂ 正规化值来表征硅岩的化学特征和沉积环境,并成功地应用于区分热水沉积和正常沉积(Yamamoto, 1987; Sugisak, 1984)。Yamamoto(1987)指出, TiO₂ 和 Al₂O₃ 贫乏是热水成因硅岩的重要标志。

表2 典型热水沉积硅岩的常量元素平均含量

Table 2 The average concentrations of major elements of representative hydrothermal cherts

cherts	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Franciscan ¹⁾	92.30	0.09	1.31	0.27	2.36	0.53	0.28	0.11	0.16	0.35	0.03
Shimanto Terrain ²⁾	87.87	0.05	1.09	0.52	2.52	1.08	0.86	1.05	0.35	0.24	0.12
DSDP Leg 32 ³⁾	91.92	0.07	0.82	(TFe)	2.16	0.45	0.43	0.29	0.52	0.37	0.16
丹池盆地 ⁴⁾	93.10	0.10	1.80	0.40	0.90	0.10	0.10	0.20	0.10	0.50	
古水 ⁵⁾	96.04	0.06	0.85	0.73	0.71	0.07	0.20	0.07	0.01	0.14	0.06

资料来源:1),2)引自 Yamamoto(1987); 3)引自 Adachi et al. (1986); 4)引自周永章(1990); 5)引自 Zhou(1992)

Pollock(1987)在研究美国缅因州西北地区 Munsungun 湖建造的奥陶系地层时发现,该地区的热水成因硅岩包含了两种明显不同的相。其中第一种相主要由内部结构均一的厚层状和纹理状硅岩组成,化学成份以贫 Al₂O₃、K₂O 和 TiO₂ 为特征,与哥斯达黎加和日本地槽的热水沉积硅岩相似。第二种相主要由薄层状硅岩组成,中间夹细火山碎屑岩。该相包括了

两类元素分布,其中一类与第一种相的相似;另一类则以富 Al_2O_3 、 K_2O 和 TiO_2 为特色。Pollock(1987)把后一类元素分布归因于受浊积岩 Bouma 层序中的 Td 和 Te 层悬浮颗粒沉积的影响。

前人研究还表明,典型热水硅岩中多数微量元素通常与 SiO_2 含量成反消长关系,与地壳克拉克值相比属亏损元素。这可在美国加州 Franciscan 建造和桂西北的热水成因硅岩中找到例证(Crerar et al., 1982;周永章, 1990)。然而, Ba, As 和 Sb 等少数微量元素在已知的水沉积建造中属特征的富集元素。它们在古水硅岩中富集是古水硅岩与已知热水沉积建造地球化学亲合性的重要体现。Ba 富集可在哥斯达黎加和桂西北热水成因硅岩中观察到(Hein et al., 1983; Chen and Chen, 1990; 周永章, 1990)。在研究了现代海底热水沉积后, Maxchiy(1982)认为富 Sb 和 As 是热水沉积物的典型特征之一。相似的富 Sb 和 As 现象在桂西北丹池盆地泥盆系热水成因硅岩建造和美国内华达州 Steamboat 现代热泉中均有发现(周永章, 1990, Chen and Chen, 1990; White, 1981)。Steamboat 热水成因硅质软泥富集的元素包括 Ag(150ppm)、Sb(1.5%)、As(700 ppm) 和 Au(150 ppb)(White, 1981)。

3.2 元素组合—多元分析结果

为了提取能反映地质地球化学信息端元的元素组合,本研究应用对应分析和因子分析对古水硅岩原始分析数据进行了处理。

对应分析结果:

古水硅岩对应分析的主要结果反映在图 1(常量元素)和图 2(微量元素)中。它们展示了常量元素组份可区分为三个域:第一个域记为 [I-1], 以 Al_2O_3 、 K_2O 和 TiO_2 簇在一起为特征;第二个域记为 [I-2], 以 MgO 、 Fe_2O_3 和 FeO 为特征;第三个域 [I-3] 以 Fe_2O_3 和 FeO 为特征。其中, [I-1] 域的代表性样品是 GS-11, 而 [I-2] 和 [I-3] 域的代表性样品分别是 GS-02+GS-04 和 GS-01+GS-04。对于微量元素,可区分为四个域。它们是: [II-1]——{Bi, Ni, Zr, Cu, Ba, ……} + {GS-01, GS-04, GS-05}; [II-2]——{Rb, Cs, Ta, Th, U, Zr, Cu, ……} + {GS-11, GS-01}; [II-4]——{As, Au, Sn} + {GS-04, GS-08}; [II-3] = [II-1] + [II-2]。

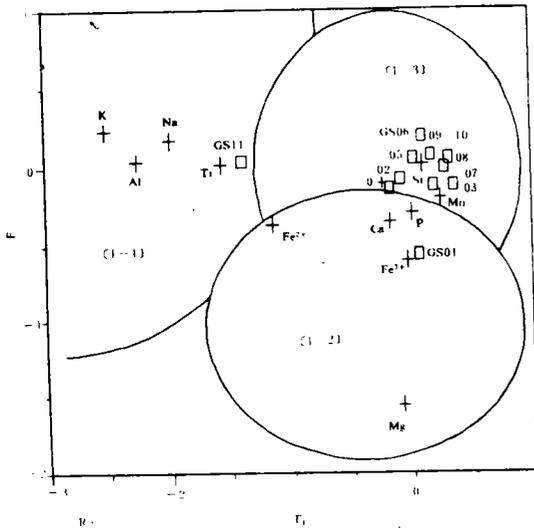


图 1 古水硅岩对应分析结果图示(常量元素)

Fig. 1 Correspondence Analysis of the Gusui Bedded Chert, Major Elements

上面区分的域中存在着部分重迭。有时候这种重迭具有特定的地球化学含义。比如, $\{\text{SiO}_2\}$ 出现在所有常量元素域的交。 SiO_2 对因子提取的贡献远远大于其它各个常量元素组份,所以所有常量元素域都显示有它的影响是自然的。对于微量元素, {Ba} 的位置与 SiO_2 在

常量元素组份中的位置相似,而{Cu}则出现在〔I-1〕和〔I-2〕的交。

因子分析结果:

应用软件 STATVIEW 在计算机上进行了因子分析计算。根据因子载荷矩阵可以提取如下因子:

对常量元素组份:

<MF-1>: { $-\text{SiO}_2$; TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O ; Fe_2O_3 }

<MF-2>: { FeO , MnO , MgO }

<MF-3>: { CaO , P_2O_5 }

对微量元素:

<TF-1>: { Rb , Cs , Ta , Th , Nb , U , Zr , Hf , W , Sn , Sc , Co , Ni , Bi , Sb , Se }

<TF-2>: { As , Au }

<TF-3>: { Hg , Ba , $-\text{Sn}$ }

<TF-4>: { Zn , Cu , Ni , Cr , Bi }

<TF-5>: { Ag , Cr , Ni , $-\text{Sn}$ }

<TF-6>: { Pb , Ba }

上述主因子所提取的信息量分别占常量元素组份和微量元素所包含的总信息量的 94% 和 96%。

对上述对应分析和因子分析结果的地质地球化学意义讨论如下:

(1) 常量元素组份因子分析的第一个主因子 <MF-1> 以元素组合 { $-\text{SiO}_2$; TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O ; Fe_2O_3 } 为特征。根据对应分析结果, 该元素组合进一步由三部分组成: { SiO_2 }, { TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O } 和 { Fe_2O_3 }。

{ SiO_2 } 实际上是对应分析所有常量元素组份域。 SiO_2 单独构成一端元是很自然的, 因为高 SiO_2 含量是所有硅岩的特征, 反映在图 1 上, 大部分样品均分布在 SiO_2 点的周围。

{ TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O } 实际上是图 1 的〔I-1〕域, 各氧化物间存在强烈的正线性相关关系。这一组合在广西南丹-河池盆地上泥盆统热水成因

硅岩建造中亦有体现(周永章, 1990)。它与富钾的粘土矿物, 如伊利石和绿泥石有关, 是热水沉积中混杂有正常沉积的证据之一。

{ Fe_2O_3 } 相当于对应分析的〔I-2〕域, 是铁氧化物微细结核存在的反映。铁氧化物微细结核和微晶石英交替出现构成了所研究硅岩的纹理状构造。{ Fe_2O_3 } 及较高的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值(表 1) 指示了当时的沉积环境是非还原性的。

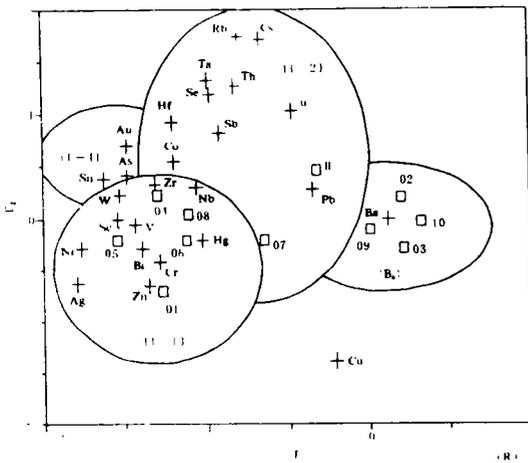


图 2 古水硅岩对应分析结果图示(微量元素)

Fig. 2 Correspondence Analysis of the
Gusui Bedded Chert, Trace Elements

(2) 常量元素组份的第二个主因子 $\langle MF-2 \rangle = \{FeO, MnO, MgO\}$ 。根据前人的工作 (Maynard, 1983), FeO 和 MnO 具有相似的沉积地球化学特性, 但沉积环境的改变, 可使它们分离。在还原环境中, MnO 和 FeO 通常表现为正线性相关, 但在氧化环境中, 由于 Eh-pH 稳定限的不同, 它们可以不显示任何相关关系。这可以在桂西北南丹-河池盆地研究中得到例证 (周永章, 杨蔚华, 1988)。

有趣的是, 古水硅岩对应分析结果并不支持 FeO 和 MnO 组合在一起 (图 1), 相关分析亦显示出 MnO 和 FeO 在古水硅岩中不存在显著的相关性 ($r(MnO, FeO) = -0.49; N=11$)。考虑到古水硅岩中 MnO 含量偏低, 因子 $\langle ME-2 \rangle$ 可以有两种解释方式: ① 古水硅岩的沉积环境只是有时候在局部地区是还原的, 或 ② 初始的 FeO-MnO 相关端元已被后期铁氧化物微细结核相沉积所掩盖。

(3) 常量元素组份的第三个主因子 $\langle MF-3 \rangle = \{CaO, P_2O_5\}$, 意义尚未完全清楚。

(4) 微量元素对硅岩的成因特别敏感。第一个主因子 $\langle TF-1 \rangle = \{Rb, Cs, Ta, Th, U, Zr, Hf, W, Sn, Sc; V, Co, Ni, Bi, Sb, Se\}$, 占有因子方差贡献的 59.6%。它的最显著特征是大部分微量元素在其上均有较大的因子载荷, 代表了古地热系热水循环中的淋滤因子。后者是地热系演化过程中的重要组成部分。

尽管元素众多, 根据对应分析, 该因子实际上由两个不同的元素组合组成。其一是 $\{Rb, Cs, Ta, Th, W, Nb, Sn, Hf, Sc, \dots\}$, 是华南地球化学异常基底的特征元素组合 (中国科学院地球化学研究所, 1979), 隐含了古水热水沉积硅岩的形成与华南古老基底有特殊的地球化学联系。这一元素组合指

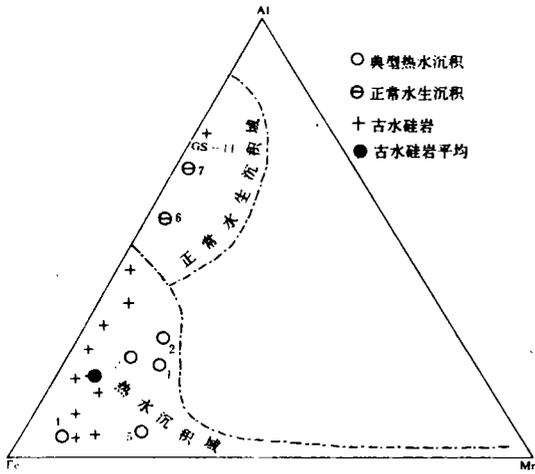


图 3 古水硅岩在 Al-Fe-Mn 三元图上投影
Fig. 3 Al-Fe-Mn ternary diagram showing the distinction between hydrothermal and hydrogeneous sediments

示了地球化学演化具有遗传性。

微量元素第一主因子所包含的另一个元素组合由过渡元素和亲硫元素组成, 包括 Bi, Ni, Zn 和 Cr 等, 对应于图 2 中的 [I-1] 域。它们在华南基底中属于亏损元素 (中国科学院地球化学研究所, 1979)。进一步分析发现, 这一组合又可进一步分为两部分, 分别对应于因子分析的两个因子: $\langle TF-4 \rangle$ 和 $\langle TF-5 \rangle$ 。这两个因子在热水溶液对围岩的淋滤方面是一致的, 但亦存在着沉积地球化学性状上的差异。考虑它们与表征硅岩中微细铁氧化物结核的 Fe_2O_3 的相关关系。 $\langle TF-4 \rangle$ 的组成元素与 Fe_2O_3 具有显著的相关关系, 而与 SiO_2 成显著的负相关, 说明它们主要富集在铁氧化物微细结核相中。相反, $\langle TF-5 \rangle$ 中的元素没有这种关系, 不倾向在铁氧化物结核相中富集。

(5)微量元素的第二个主因子 $\langle TF-2 \rangle = \{As, Au\}$, 对应于对应分析的〔I-4〕域, 以 Au 和 As 富集及 Au 与 As 显著正相关为特征。前已述及, As 和 Sb 的富集在现代海底热水沉积物中表现得非常明显, 所以, $\langle TF-2 \rangle$ 可以看作是热水沉积的重要地球化学指示。它在古水硅岩中存在支持了古水硅岩是热水沉积的产物。进一步, Au 与 As 与 FeO 间存在着显著的正线性关系, 指示了微量元素对应分析的〔I-4〕域与常量元素对应分析的〔I-3〕域密切相关, 即 Au 与 As 的沉积受沉积环境的控制。

微量元素主因子 $\langle TF-3 \rangle$ 和 $\langle TF-6 \rangle$ 都包含了 Ba, 是热水沉积的诊断性标志之一。

3.3 Al-Fe-Mn 三元投影图

Al-Fe-Mn 三元图首先由 Bostrom 和 Peterson(1969)用于区分热水和正常沉积物。后来人们成功地移植到大西洋中脊 TAG 域、Galapagos 海底沉积土丘、日本 Shimanto 硅岩、美国西海岸 Franciscan 硅岩及深海钻探计划 32 井等热水沉积物的研究(Moorby and Cronan, 1979; Yamamoto, 1987; Adachi et al., 1986)。图 3 显示了几乎所有古水硅岩样品都落在 Al-Fe-Mn 三元图中的“热水域”内, 而远离正常沉积域, 说明古水硅岩与已知的典型热水沉积物具有显著的地球化学亲合性。

4 稀土元素特征

图 4 是古水硅岩 REE 平均含量配分图(相对北美页岩组合样正规化)。古水硅岩具有如下 REE 分布特征: ①古水硅岩的 REE 总量以低为特征, 一般只有几十个 ppm, 这与桂西北丹池盆地上泥盆热水成因硅岩的 REE 特征是一致的(周永章, 1990); ②古水硅岩的平均稀土配分模式落在已知的典型热水沉积物的上、下限之间, 而在正常沉积的之外。这些 REE 特征强烈地支持了古水硅岩是热水成因的(Zhou, 1993)。

值得指出的是, 尽管古水硅岩以热水成因占主导地位, 但可能混染有正常沉积作用的产物, 这可从个别样品 REE 含量偏高及铈既可以表现为负异常但亦可表现为正异常(对北美页岩组合样标准化)得到反映。根据 Fleet(1983)研究, 正常沉积倾向于富 REE 和显于 Ce 正异常, 而热水沉积则相反。后者通常保持了海水中 Ce 亏损特征。

5 形成的古大地构造背景

海底热水活动可以出现在不同的大地构造位置, 如洋中脊或扩张中心、弧后边缘盆地、板块内热点、洋岛及岛弧等。总体上讲, 古水硅岩建造与美国加州 Franciscan 硅岩类似。后者被认为是在洋中脊或边缘盆地内弧后扩张位置发展起来的(Crerar et al., 1982)。

古水地区是 NE-SW 走向的云开地体(包括粤西和桂东南地区)的一部分。在前寒武纪时期, 云开地区属于边缘型古地槽。除古水外, 相似的震旦系顶部硅岩在粤西地区零星分布(广东省地质局, 1977), 它们的产出位置与古水大致成宽带状线性排列。硅岩中碳酸盐及粗粒陆源碎屑的缺失指示了硅岩建造形成于深海碳酸盐补偿深度以下。可以推测, 形成古水硅岩的有利大地构造位置是前寒武纪时期云开边缘地槽中的裂谷或张性应力带, 热水对流体系主要靠沟通海水与深部未知热源的大断裂系来维持。

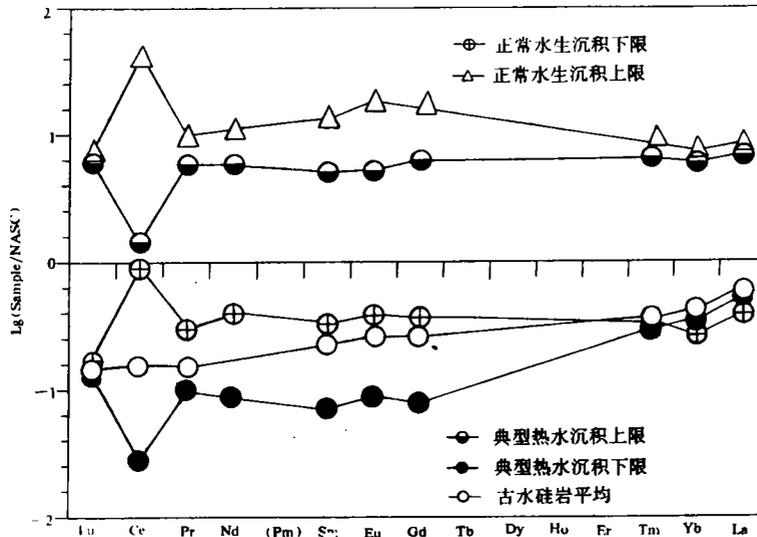


图 4 古水硅岩稀土元素平均配分模式及与典型热水沉积和正常沉积比较

Fig. 4 REE Abundance Distribution Patterns of Typical Hydrothermal and Hydrogenous Sediments (Normalized to NASC)

6 小 结

出现在粤西地区震旦系顶部的古水硅岩建造具有典型的热热水成因岩性特征。典型的沉积构造包括层状构造、纹理状构造、块状构造和假角砾状构造。

地球化学特征同样支持古水硅岩建造系热水沉积的产物。化学成份以 TiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 含量低及大部分微量元素亏损为特征，但热水成因诊断性元素 Ba、As、Sb、Hg 和 Se 表现为富集。在 Al-Fe-Mn 三元图上，古水硅岩落在“热水沉积域”中。因子分析和对应分析表明，华南基底的特征元素组合和亏损元素都同时在热水淋滤因子上有所体现。稀土元素含量普遍偏低，在对北美页岩组合样正规化后的配分模式落在世界上已知热水沉积的上、下限之间，而在正常沉积之外。

上述研究指示了，粤西河台金矿田矿源岩中包含了热水沉积，这为进一步研究古地热系热水活动是否参与金在矿源岩(层)形成阶段的初步富集提供了必要的基础。关于后半部分的工作，作者将在另文中讨论。

本文是第一作者博士论文工作的一部分。陈先沛研究员和杨蔚华研究员作为本文的评审员，提出了建议性意见。特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 陈础挺等, 1988, 广东地质, (1), 1~16.
- [2] 广东省地质局, 1977, 1:200000 地质图及说明书.
- [3] 中国科学院地球化学研究所, 1979, 华南花岗岩的地球化学, 科学出版社, 北京, 421.
- [4] 周永章, 杨蔚华, 1988, 矿物岩石地球化学通讯, (4), 223~226.
- [5] 周永章, 1990, 沉积学报, (3): 75~83.
- [6] Adachi, M. et al. , 1986, *Sedimentary Geology*, 47, 125~148.
- [7] Bostrom, K. and Peterson, M. N. A. , 1969, *Marine Geology*, 7, 427~447.
- [8] Chen, X. P. and Chen, D. F. , 1990, *Chinese Journal of Geochemistry*, 9, 46~53.
- [9] Crerar, D. A. et al. , 1982, *Economic Geology*, 77, 519! 540.
- [10] Fleet, A. J. , 1983, *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers* (edited by P. A. Rona et al.), Plenum Press, New York, 535~556.
- [11] Fournier, R. O. , 1985, *Reviews in Economic Geology*, Volume 2, Society of Economic Geologists, 45~62.
- [12] Hein, J. R. et al. , 1983, *Siliceous Deposits in the Pacific Region* (edited by A. Iijima et al.), Elsevier, Amsterdam, 143~174.
- [13] Keith, T. E. C. and Muffler, L. J. P. , 1978, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 3, 373~402.
- [14] Kuijper, E. P. and Denyer, P. , 1979, *Economic Geology*, 74, 672~678.
- [15] Lovering, T. G. , 1972, *U. S. Geological Survey Professional Paper* 710, 164.
- [16] Maxchiv, V. , 1982, *Marine Geology*, 50, 241~256.
- [17] Maynard, J. B. , 1983, *Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits*, Springer-Verlag, New York, 305.
- [18] Moorby, S. A. and Cronan, D. S. , 1979, *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, Washington, D. C. , U. S. Govt. Print. Office, 70, 269~275.
- [19] Pollock, S. G. , 1987, *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, 75~87.
- [20] Sugisaki, R. , 1984, *Journal of Geology*, 92, 235~259.
- [21] White, D. E. , 1981, *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 392~423.
- [22] Yamamoto, K. , 1987, *Sedimentary Geology*, 52, 65~108.
- [23] Zhou, Y. Z. et al. , 1991, *Program with Abstracts Volume 16*, Geological Association of Canada, A138.
- [24] Zhou, Y. Z. , 1992, *Geochemistry and Metallogenetic Mechanism of the Hetai Gold Field, Southern China*. Ph. D Thesis, Université du Quebec à Chicoutimi, 279.
- [25] Zhou, Y. Z. , 1993, *Geology and Geochemistry of the Hetai Gold Field, Southern China*, Guangzhou: South China University of Technology Press, 310.

Hydrothermal Origin of Top Sinian Chert
Formation at Gusui, Western Guangdong, China:
Petrologic and Geochemical Evidence

Yongzhang ZHOU^{1,2} *Guangzhi TU*¹ *Edward H. CHOWN*²
*Jayanta GUHA*² and *Huangzhang LU*²

¹Institute of Geochemistry, Guangzhou Branch, Chinese Academy of Sciences 510640,

²Sciences de la Terre, Université du Québec à Chicoutimi, Canada, G7H2B1)

Abstract

The Sinian (Precambrian) chert formation occurs at Gusui, western Guangdong Province, southern China, and is an integral part of the source strata of the Hetai gold field. The presence of the chert formation offers an excellent opportunity to evaluate the possible hydrothermal system and its role in the formation of the source strata.

The Precambrian chert from Gusui is characterized by bedded, laminated, massive and pseudobrecciated structures, and the depletion of TiO_2 , Al_2O_3 and most trace elements. However, it is enriched in Ba, As, Sb, Hg and Se, which are considered as diagnostic elements of hydrothermal sediments. In the Al—Fe—Mn ternary diagram, it falls into the "hydrothermal field". Correspondence analysis and factor analysis reveal that many elements show up in the factor that represents the leaching of country rocks by hydrothermal solution, and is the very characteristic element association of the geochemically anomalous South China basement. REE are characterized by a low total content and a gradually increasing NASC—normalized value with increasing atomic number of REE, ranging between the upper and the lower limits of typical hydrothermal deposits. The petrologic and geochemical evidences suggest a hydrothermal origin for the chert. It may have formed in a Precambrian rift or extension zone developed within the Yunkai marginal geosyncline, with a fault system linking to an unknown heat source at depth.

Key Words: Precambrian, southern China, chert, petrologic evidence, geochemical evidence, multivariate analysis, hydrothermal origin.