

腾冲现代热泉系统硅华的 矿物学特征及其地质意义*

张天乐 王宗良 胡云中

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

关键词 现代热泉系统 硅华 热泉金矿 云南腾冲

摘要 云南腾冲是中外著名的地热区,区内火山岩浆地热活动强烈,水热显示形式多样,有温泉、热泉、沸泉、水热蚀变岩石、泉华(硅华、盐华、钙华和硫华)等。其中硅华为较高温水热活动产物。新硅华以非晶质硅胶和蛋白石为主,含有少量的玉髓和石英;老硅华以玉髓和石英为主,含有硅胶和蛋白石。由硅华和钙华包裹体测温数据推断,现代热泉系统地热温度范围为157—270℃,压力为 30×10^5 Pa,现今热田的温压低于老硅华时期。已在热海热田发现金矿化,石英脉(花岗岩体中)和硅华具有显著高丰度的金。硅华中金含量最高达到0.39 g/t,平均值0.16 g/t。因此,本区具有良好的找金前景,硅华作为寻找热泉金矿的一种标志,具有重要的地质意义。

腾冲是中外著名的地热区,区内地热活动强烈,水热显示形式多样,发育有一套典型的热泉活动产物,其中硅华代表较高温热泉的 SiO_2 沉淀物。近年来发现硅华与金和铀的矿化关系密切,因而引起人们的广泛兴趣。目前已在本区的石英脉及硅华中发现金矿化,且与热泉水热活动有密切关系。本文以多种方法对硅华的矿物组成、化学成分等矿物学特征进行了研究,并对硅华的形成进行了探讨。在此基础上,指出硅华作为一种找矿标志,对于寻找热泉金矿具有重要的地质意义。

1 地质背景

腾冲地热区在构造上处于印度板块与欧亚板块碰撞带的东侧,自中生代以来,由于两大板块的碰撞和挤压,使地壳活动加剧。频繁的岩浆活动和发育的断裂构造,为地热活动创造了有利条件。新生代以来,除有酸性侵入岩分布以外,还有基性—中基性岩浆喷发活动。腾冲火山岩K—Ar同位素年龄测定所获得的年龄值域在 17.84×10^6 a到 0.09×10^6 a之间,与此对应的地质时代是从中新世到晚更新世,地热的热源可能与这些岩体有关^[1]。地下深部的残浆和火

* 参加野外工作的还有中国地质科学院矿床地质研究所的孙鲁仁、王海平、郭维明;地质研究所的颜秉纲;云南省地矿局第二水文地质工程地质大队的贾希义等。
本文于1996年12月收到,1997年2月改回。

山活动为现代热泉系统提供了强大的热源。本区由东而西分布的龙川江断裂带、大盈江断裂带和槟榔江断裂带,为地热流体的上升提供了良好的通道,是水热活动集中分布的地带,其间发现有数十处水热活动区^[1,2],每个区都包含有许多热泉露头。自北而南有瑞滇热田、热海热田、朗蒲热水塘、攀枝花硝塘及龙陵县邦腊掌沸泉区等高温水热区;黑泥塘、石墙等中-低温水热区。高温水热区中尤以热海热田最盛。热海热田的基底岩石为碱性长石花岗岩,此岩石与其中石英脉的硅同位素组成为 $\delta^{30}\text{Si} = -0.2\text{‰} \sim -0.8\text{‰}$,由这些数据可间接论证本区原定名为花岗质砂砾岩的岩石应该是花岗岩类岩石,而不是沉积形成的砂砾岩^①。碱性长石花岗岩中锆石的U-Pb同位素地质年龄测定为 $50 \times 10^6 \text{a}$,属燕山期。新生代有Q₁和Q₃两期以基性岩为主的喷发,并有强烈的构造活动。

2 现代热泉系统地热显示的特点

本区地热显示具有数量多、形式多样、水温高和活动强度大的特点。地热显示除众所周知的温泉(25—60℃)、热泉(60—95℃)以外,还有众多的沸泉(即过热水泉, > 95℃);高温和高压的热水、气从岩石裂隙中喷射而出形成的喷气孔和喷泉;气体沿松散岩层孔隙上升而形成的冒气地面;毒气孔;碳酸泉;水热爆炸角砾岩;水热蚀变岩石以及泉华等。泉华为地热流体向地表运移过程中在地表沉淀的各种矿物质。由于地热流体的温度、成分和酸碱度等的不同,泉华的矿物组成也不完全相同。一般按化学成分分为硅华、钙华、盐华和硫华等。热海热田热泉的分布明显受断裂构造的控制,沿南北向硫磺塘-黄瓜菁断裂带分布有大滚锅、老滚锅等热泉,沿东西向澡塘河断裂带分布有眼镜泉、鼓鸣泉、珍珠泉、仙人澡塘、忠孝寺等热泉。这些热泉喷溢水温最高已达当地沸点。在热泉周围形成了硅华、盐华、钙华等成分的泉华。

3 硅华的产状

硅华是热泉喷溢流出的矿化水在泉口周围沉淀的二氧化硅沉淀物,它一般代表较高温水热活动的产物,主要分布于热海热田。另外,在瑞滇热田、邦腊掌沸泉区等水热区也有少量产出。硅华常呈白色、灰白色。隐晶质或他形微晶结构,凝胶状、条带状、纹层状或皮壳状构造。常含硅化的植物根茎及其印模。硅华堆积体内部常发现有垂直于地表且粗细不等的管道,它是深部地热流体向地表排泄的通道。在宏观上,硅华构成的似层状、帽状泉华堆积体非常醒目。

4 硅华的矿物组成及矿物学特征

热海热田的硅华有现代热泉形成的新硅华,也有时代略老的老硅华。硅华的矿物组成较简单,主要为石英族矿物,并含少量其它矿物杂质。在矿物组成上,新硅华主要由硅胶和蛋白石组成,含有少量玉髓和微晶石英;老硅华以玉髓和微晶石英为主,并含有硅胶和蛋白石。

① 胡云中、邓坚等,腾冲热海热田水热蚀变及地球化学特征,1990。

4.1 硅胶

硅胶为非晶质二氧化硅。在透射电镜和扫描电镜下呈浑圆球体或串珠状连生体,球粒直径变化范围为0.18—2 μm ,一般为1 μm 左右(照片1 2 3)。老硅华中的硅胶多半已向形

态不规则的玉髓和石英转变(照片4)。硅胶的X射线衍射谱为一连续的弥散谱线(图1A),硫磺塘老滚锅老硅华中叠加有少量石英的反射(图1B)。红外吸收谱图上出现1099、795和473 cm^{-1} 四次配位硅的典型特征谱带以及947 cm^{-1} 的弱谱带。3450 cm^{-1} 的宽吸收谱带由水的OH伸缩振动引起(图2A、B)。另外,硫磺塘老滚锅的硅华在800 cm^{-1} 处呈弱分裂的谱带,是玉髓的吸收特征,这是硅胶或蛋白石向玉髓转变的一个证据(图2B)。据报道^[3],日本的三个统称为南萨组的热泉金矿的矿石中,都有呈结核状的 SiO_2 球体产出。硅华球体是热泉活动期间喷发出来的,可以作为热泉金矿浅成低温成因的一个证据。

4.2 蛋白石

蛋白石呈致密块状,具贝壳状断口。正交偏光镜下为非晶质—隐晶质结构,凝胶状或纹层状构造。透射电镜下为形态不规则的粒状,粒径大小不等,约1 μm 左右(照片5)。蛋白石的X射线衍射谱图与硅胶类似,显示其非晶质性质(opal-A)。谱图上低角度出现的几个微弱反射由微量粘土矿物(高岭石、水白云母)引起。红外吸收谱图上,石英族矿物在1250—400 cm^{-1} 范围内的谱带基本相似。蛋白石在1093、800和473 cm^{-1} 处的三个谱带均比该族中其它矿物的相应谱带宽。另

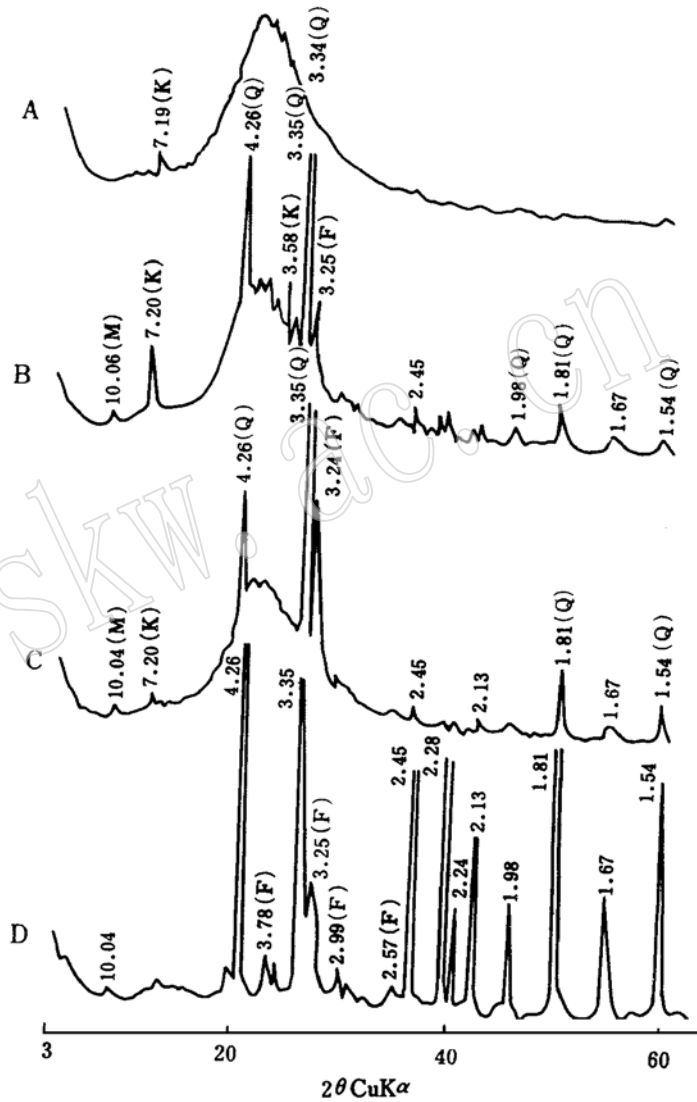


图1 硅华的X射线衍射图

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of geysersite

A—硅胶,硫磺塘,样品号D-173; B—硅胶+石英等,硫磺塘老滚锅,样品号D-162; C—蛋白石+石英等,鼓鸣泉,样品号D-194; D—石英,眼镜泉,样品号D-193

测试条件: CuK α 辐射,电压30kV,电流30mA

测试单位及测试者: 中国地质科学院天津地质矿产研究所 赵仁芳

外,石英族矿物在 800cm^{-1} 附近呈现由 Si-O-Si 对称伸缩振动引起的中强吸收峰,蛋白石为单吸收峰,而区别于石英的双峰(图 2C)。

4.3 玉髓

本区硅华中的玉髓大多与硅胶、蛋白石和石英共生产出,呈放射纤维状集合体。正交偏光镜下负突起低,具连续的黑十字消光。玉髓在红外吸收谱图上比较特征。在硫磺塘老滚锅灰白色硅华中,由硅胶转变而成的玉髓即可通过红外吸收谱判别出来。石英族矿物在 800cm^{-1} 左右有中等强度的特征吸收带,玉髓在 798 和 778cm^{-1} 处两峰的分裂程度不如石英明显,其中低频峰呈肩状^[4](图 2B)。

4.4 石英

石英为他形粒状,低的正突起。大多以微细粒状与上述石英族矿物共生或充填于玉髓集合体的裂隙或空洞中。透射电镜下石英为不规则粒状(照片 6)。在 X 射线衍射谱图上,可见石英的特征反射(4. 26, 3. 35, 1. 81A 等)叠加在非晶质二氧化硅连续谱图上(图 1B、C)。眼镜泉硅华几乎全由石英组成,仅含少量长石(图 1D)。石英具特征的红外谱图, 1066cm^{-1} 为强吸收,属 Si-O 非对称

伸缩振动。在 800cm^{-1} 附近(石英族矿物的特征峰),石英分裂为一对中强的锐双峰,分别位于 798cm^{-1} 和 778cm^{-1} ,高频峰比低频峰略强(图 2D),属于 Si-O-Si 对称伸缩振动。在 $600-400\text{cm}^{-1}$ 范围内有 693cm^{-1} 、 466cm^{-1} 等属于 Si-O 弯曲振动的谱带(图 2D)。

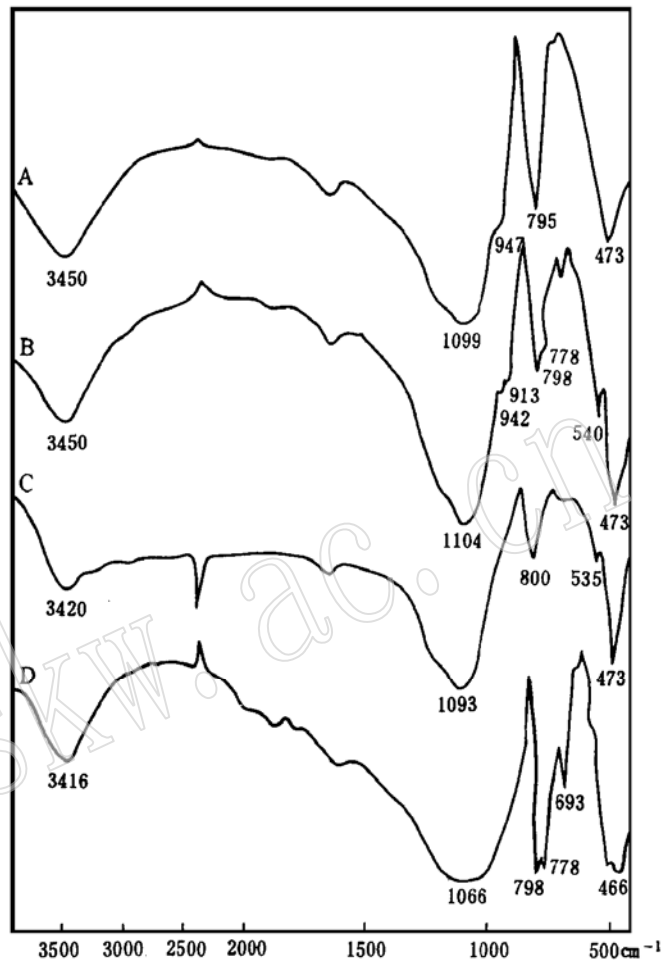


图 2 硅华的红外吸收光谱图

Fig. 2 Infrared absorption spectra of geysirite

(样品号同图 1)

测试者: 王宗明

5 硅华的化学成分特征

5.1 常量元素

对硅华中各种二氧化硅矿物进行了分析电子显微术研究。在透射电镜下,选择微米级石英单晶、圆球状硅胶及蛋白石颗粒,采用无标样定点分析法,进行 X 射线能谱微区化学成分分析,求得这些矿物主要元素 Si 和部分杂质元素 Al、Ti、Fe、Na、K 等的定性和定量信息。代表

性样品的测试结果列入表1,相对应的X射线能谱图见图3。

表1 硅华的X射线能谱分析(wt%)

Table 1 EDS analyses of geyserrite (wt%)

序号	矿物名称	样号	产地	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ *	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO
1	硅胶	D-196	大滚锅	96.41	1.86	-	0.11	0.79	0.27	0.08	0.38
2	硅胶	D-162	老滚锅	97.01	1.29	0.01	0.12	1.13	0.23	0.04	0.15
3	蛋白石	D-177	硫磺塘	96.60	1.36	0.10	0.13	0.82	0.17	0.12	0.60
4	蛋白石	D-168	老滚锅	96.54	1.40	0.04	0.07	1.15	0.22	0.03	0.50
5	石英	D-193	眼镜泉	95.97	2.45	0.03	0.08	0.22	0.90	0.10	0.22
6	石英	D-191	硫磺塘	97.29	1.55				0.23		0.59

* Fe₂O₃表示全铁

由表1可见,硅华中的石英除主要元素Si以外,尚含少量杂质元素。SiO₂含量低于98%,杂质元素Al、Ti、Fe、Na、K等的含量一般为0.0n%—n.0%。Al在许多微区测试中均有显示,为石英的常量组份。Ti和Fe仅在部分样品的微区测试中有显示。有关研究表明^[5],杂质进入石英的方式有两种,一种是进入晶格空隙,另一种是置换Si⁴⁺。置换Si⁴⁺的主要是Al³⁺,这是由于Al³⁺的离子半径与O²⁻离子半径之比(0.57Å/1.32Å)为0.43,近于四面体和八面体配位之临界值,即配位数可以是4或6,故在石英中,Al³⁺可以类质同象形式替代四面体配位中的Si⁴⁺。由于是异价替代,因此必须有Na⁺、K⁺、Li⁺等金属阳离子进入石英晶格空隙,以维持电价的平衡。

由表1也不难看出,石英的SiO₂含量与Σ(Al₂O₃+Na₂O+K₂O)含量之间呈较明显的负相关关系, SiO₂含量低,则Σ(Al₂O₃+Na₂O+K₂O)含量高,反之亦然。表1所列两个石英样品的SiO₂含量都较低,其平均值为96.63%,而杂质组份Σ(Al₂O₃+Na₂O+K₂O)含量较高,平均值为2.68%。硅华的化学成分变化往往与其含金性有一定关系。热海热田老硅华的Au含量达0.091×10⁻⁶,忠孝寺老硅华的Au含量为0.095×10⁻⁶。这种情况与我国某些金矿中石英化学成分的上述变化规律一致,如湘西金矿中石英的SiO₂含量愈低,则Al₂O₃、Na₂O、K₂O的含量愈高,Au的含量也就愈高;反之,石英愈纯净,Al₂O₃、Na₂O、K₂O的含量就愈低,Au的含量也就愈低^[6]。因此,硅华矿物的化学成分特征,尤其是结构铝的存在与否和含量多少,是指示金矿化的重要的成分标型。

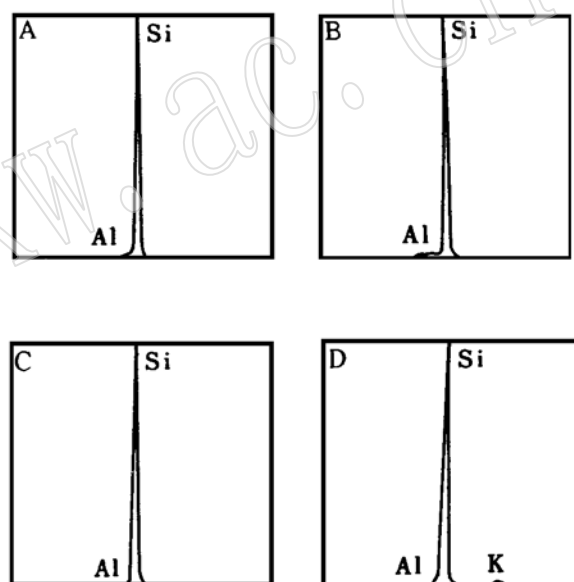


图3 硅华的X射线能谱图

Fig. 3 Energy dispersive X-ray spectra of geyserrite
A—硅胶,硫磺塘大滚锅,样品号D-196; B—硅胶+石英等,硫磺塘老滚锅,样品号D-162; C—蛋白石,硫磺塘,样品号D-177; D—石英,眼镜泉,样品号D-193

5.2 微量元素

对热海热田的硅华进行了微量元素分析。表2列出了硅华、含金石英脉和碱性长石花岗岩主要微量元素的分析结果,以便对比研究。

本区硅华的显著特征是富集大离子亲石元素 Rb、Cs、Th 和离子半径较小的亲石元素 Li、Be 以及贫化铁族元素 Ti、V、Cr、Mn、Fe 等。富集的亲石元素的含量除 Rb 接近于地壳丰度(克拉克值)但低于碱性长石花岗岩以外,其余元素的含量皆高于地壳丰度和碱性长石花岗岩,如 Be 和 Cs 的含量分别是地壳丰度的 62 和 68 倍。除 Li 以外,也都高于石英脉中 Rb、Cs、Be、Th 的含量。Nb、Ta 含量高于或接近于地壳丰度值,它们一般在物源岩浆中富集。铁族元素在硅华中的含量与地壳丰度相比较,则明显贫化。

表2 硅华及有关岩石的主要微量元素含量(10^{-6})

Table 2 Main trace elements contents of geysirite and related rocks (10^{-6})

元素 岩石	Li	Be	Rb	Cs	Nb	Ta	Zr	Th	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Au
硅华	59.85	80.39	69.0	96.14	18.98	6.53	3.77	6.98	173.13	1.04	5.70	56.24	1900	0.155
石英脉	92.74	48.42	36.80	5.40	22.09	5.14	2.57	3.70	49.87	0.78	6.09	159.12	8300	0.198
碱长石花岗岩	21.47	3.48	509.08	17.09	59.26	16.20	15.29	29.38	588.84	3.72	3.41	120.03	3700	0.003
地壳丰度 (克拉克值)	21	1.3	78	1.4	19	1.6	130	5.8	6400	140	110	1300	58000	0.004

测试单位: 中国地质科学院岩矿测试技术研究所

需强调指出的是,热海热田存在金矿化^①。就本区花岗岩、玄武岩中 Au 元素丰度值而言,与世界同类岩石相近,约为 0.003×10^{-6} ,但花岗岩中 Au 的平均含量较高,达 0.015×10^{-6} 。而石英脉(花岗岩中)和硅华,具有显著高丰度的金:石英脉为 0.198×10^{-6} ,硅华为 0.155×10^{-6} ,分别是地壳丰度的 49.5 倍和 38.8 倍,也远高于本区出露岩石中金的背景值。

本区硅华和石英脉内大离子亲石元素的富集和铁族元素的贫化,反映其活动源与酸性岩浆有关。众所周知,大离子亲石元素的离子半径大、亲石性强、与铁族元素相容性差,不能进入早期结晶的 Fe-Mg 矿物内,而富集在富 Si 的残余岩浆中,形成岩浆的初步分异。深部板块构造又促进了岩浆分异。洋壳的俯冲带深深插入上地幔,将它分隔成两类软流圈——陆壳下软流圈和洋壳下软流圈。早期结晶的铁、镁矿物,因比重大而下沉,被洋壳下软流圈带走,故洋壳下软流圈组份中铁、镁相对富集,而大离子亲石元素则相对贫化。在长期地质历史演化过程中又加深了此种分异,使洋壳均为玄武岩,其下的软流圈为贫大离子亲石元素的基性岩浆。因此可以认为,本区硅华中富含大离子亲石元素和贫化铁族元素表明其物源来自陆壳下软流圈中的岩浆,且受到与酸性岩浆期后有关的气成-热液作用的影响。

① 胡云中、邓坚等,腾冲热海热田水热蚀变及地球化学特征,1990。

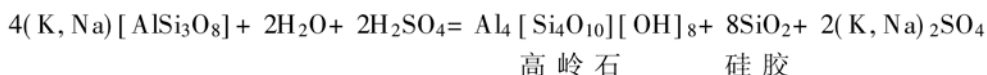
6 硅华的包裹体测温

对热海热田花岗岩体中的石英脉和大滚锅、眼镜泉、仙人澡塘、忠孝寺等热泉附近的硅华、钙华进行了包裹体测温^①。

由测试数据可知,硅华中矿物包裹体的均一温度为 194—306℃,爆裂温度为 280—360℃。其中,新硅华内矿物包裹体的均一温度平均为 200℃,盐度为 5.35—8.68wt% NaCl,形成时的压力为 30×10^5 Pa 左右。老硅华内矿物包裹体的均一温度平均为 270℃,形成时的压力高于现今硅华。测得的钙华内包裹体的均一温度为 157℃。由此推断,热海地区的地热温度为 157—270℃,压力为 30×10^5 Pa 左右。老硅华的普遍出现表明,早于现今的地热区的范围更广,温度更高。

7 硅华矿物的形成

腾冲现代热泉系统规模可观的硅华的形成与地热流体中高丰度的 SiO₂ 有关,如硫磺塘大滚锅 SiO₂ 含量为 98×10^{-6} ,朗蒲热水塘为 182×10^{-6} ^②,西藏羊八井地热水的 SiO₂ 含量也达 170×10^{-6} ^[7],均高于自然水(河、湖水)中 SiO₂ 含量的许多倍。热泉水中 SiO₂ 的来源有:(1) 地下残浆,硅华中富含 Rb、Cs、Li、Be 等元素,它们往往在岩浆作用晚期富集,也是一个证据。根据对本区硅华和热泉水所做的硅同位素分析^[8],硅华的 δ³⁰Si 值为 -0.6‰—0.2‰,热泉水中溶解硅的 δ³⁰Si 值为 0‰—0.4‰,它们与现有花岗岩类岩石的 δ³⁰Si 值分布范围(-0.4‰—0.4‰)^[8]相似。而本区仙人澡塘具有较高丰度 Cs 和 Rb 的老硅华,其 δ³⁰Si 值为 0.7‰,表明在硅的分馏机制中,受到热水体系温度、压力等的影响。(2) SiO₂ 也可来自蚀变的围岩,由于地热流体的强烈作用,碱性长石花岗岩中的钾长石普遍蚀变为高岭石并释放出大量 SiO₂:



这些 SiO₂ 在本区一些地段中,以非晶质形式出现,称之为硅胶。上述热泉水中高丰度的 SiO₂ 表明,温度可以提高 SiO₂ 的溶解度。因此,硅华在本区热海热田硫磺塘等较高温水热区内最常见。

众所周知, SiO₂ 在水中的溶解度与温度、压力和 pH 值等有关。当携带大量 SiO₂ 的地热流体在热泉口溢出地表时,由于温度、压力下降, SiO₂ 溶解度降低,使 SiO₂ 以非晶质形式即硅胶球粒的形式沉淀。这种微米级非晶质 SiO₂ 球粒,在现代海底某些多金属硫化物矿床中也常见到。Hannington 等人(1986)^[9]对东太平洋现代海底火山成因多金属硫化物矿床的研究发现,海底喷口喷出的含 Au 流体与周围冷海水在热液—海水界面处的突然混合,可能导致 pH、氧活度的增高, Au 溶解度降低。如果 SiO₂ 和硫酸盐达到过饱和,即可形成伴生金的微米级非晶质 SiO₂ 泉华状堆积体。

本区现代热泉沉淀的微米级大小的非晶质球状硅胶,是本区热泉系统新硅华的主要组成

① 由中国地质科学院矿床地质研究所李荫清测定。

② 云南地热地质队,云南省地质区划图说明书(1:75万),1983。

矿物之一。硫磺塘大滚锅热泉正日夜不停地沉淀出硅胶球粒(照片2)。硅胶失水老化而向蛋白石转变。蛋白石是准稳定物质,其出现意味着流体温度要比玉髓或石英的低,随着时间的推移,将转变为隐晶质的玉髓。因此,本区时代略老的老硅华,其矿物组份除硅胶以外,较多出现玉髓和石英(参见图1B)。

8 地质意义

近十多年来,在环太平洋中-新生代火山岛弧成矿带内地热-热泉环境中发现的大型和超大型浅成低温热液金矿(包括热泉金矿)颇为引人注目^[3,10]。这些矿床的形成与地热活动紧密相关,地表常发现泉华(硅华、盐华等)水热蚀变岩石等热液活动产物。硅质泉华与矿石在空间上非常接近,如硅华中含有微量Au、Ag,则可预示其下或附近有Au、Ag矿脉存在,有时硅华本身就伴生具经济意义的这类矿产。可见Au与SiO₂有较密切的地球化学依存关系。有关研究表明,胶态硅(如硅胶)为带负电荷的亲液胶体,可作为载体携带胶态金迁移、搬运。在电解质加入产生凝胶作用而沉淀时,可形成含Au的石英脉。已在腾冲热海热田现代热泉系统的石英脉和硅华中发现了金矿化,且其与水热活动有密切关系,在空间分布上,南北向断裂带更多富集金元素。热海热田内的石英脉(花岗岩体中)和硅华含有显著高丰度的金。硅华中Au元素含量最高的样品为0.39 g/t,平均值为0.16 g/t。硫磺塘大滚锅附近的硅化稻草,Au元素含量竟达0.45 g/t。因此,本区具有良好的找矿前景。腾冲现代热泉系统发育的硅华等热泉活动产物,不仅是一种重要的地热显示,可作为寻找地热的标志,同时也是一种极好的找矿标志,对于某些贵金属矿床,特别是热泉金矿,具有重要的地质意义。

参 考 文 献

- 1 佟伟,章铭陶等. 腾冲地热. 北京: 科学出版社, 1989.
- 2 郭光裕,侯宗林等. 热泉型金矿床成矿模式及成矿远景评价. 天津: 天津科技出版社, 1993.
- 3 Nelson C E and Giles D L. Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits. *Economic Geology*, 1985, 80: 1633-1639.
- 4 闻轲,梁婉雪等. 矿物红外光谱学. 重庆: 重庆大学出版社, 1988.
- 5 陈光远. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 1987.
- 6 王学明. 湘西金矿石英的矿物学特征研究. *矿产与地质*, 1993, 7(4): 278-281.
- 7 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏地热. 北京: 科学出版社, 1981.
- 8 丁梯平,蒋少涌,万德芳,李延河等. 硅同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1994.
- 9 Hamington M D, Peter J M and Scott S D. Gold in Seafloor polymetallic sulfide deposits. *Economic Geology*, 1986, 81(8): 1867-1883.
- 10 Berger R B. Conceptual models of epithermal precious metal deposits. Cameroon volume on unconventional mineral deposits, 1983.

Mineralogy of Geyselite from the Tengchong Active Hot Spring System and Its Geological Implications

Zhang Tianle Wang Zongliang Hu Yunzhong

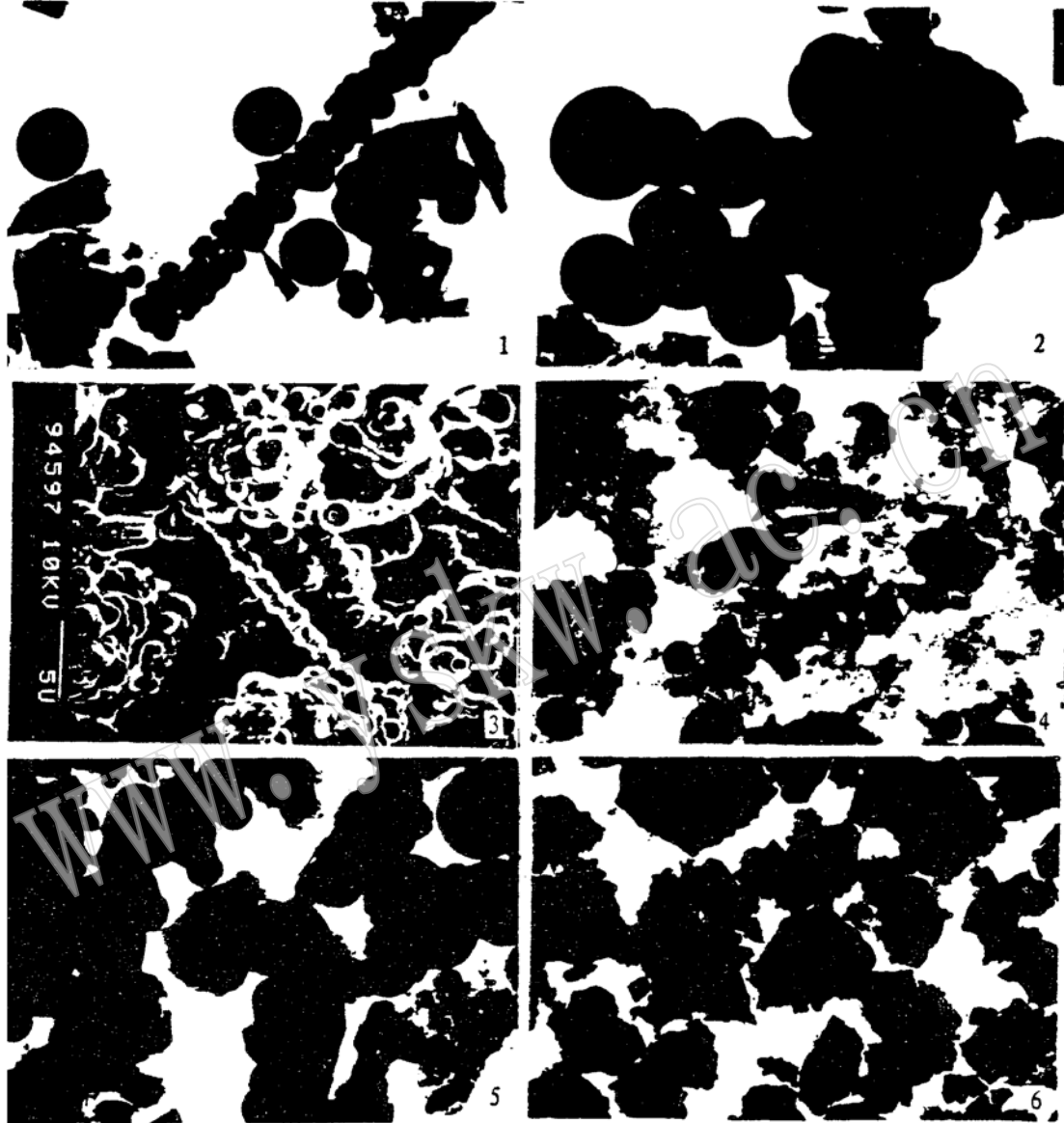
(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: active hot spring system; geyselite; hot spring gold deposit; Tengchong of Yunnan Province

Abstract

Being the most important geothermal area with active hydrothermal manifestations in China, Tengchong is world-famous for its geothermal resources. Tectonically, Tengchong is located close to the junction zone of the Eurasian plate and the Indian plate. The residual magma gradually cooled down and became an ideal heat source for its overlying hot spring system. It is inferred from the thermometry of geyselite and adarce inclusions that underground temperatures for the hot spring system in Tengchong are 157–270 °C. Surface hydrothermal alterations are well developed in the Tengchong active hot spring system. Tengchong has a great variety of special surface geothermal manifestations, such as warm springs, hot springs, boiling springs, sinters (geyselite, travertine, efflorescence *etc.*), hydrothermal explosive breccias, and hydrothermal altered rocks, which are surface manifestations of geothermal activity in the interior of the earth's crust.

In this paper, mineral composition and chemical composition of geyselite in the Tengchong active hot spring system of Yunnan Province were studied by means of analytical electron microscopy (AEM) including transmission electron microscopy (TEM) and energy dispersive X-ray spectra (EDS), scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), infrared absorption spectra (IR), chemical analysis and optical examination. The results indicate that geyselite consists mainly of amorphous silica (silica gel), opal, chalcedony and quartz, and that silica gel is composed of micron-sized (0.2–2 μm) SiO₂ spherulites. Silica gel has played an important role in the enrichment of gold. Geyselite is only present in a few high-temperature hot water areas, such as the Hot Sea and Ruidia. It is found that the hot spring system contains abundant gold mineralization. Quartz veins and geyselite have remarkably high gold abundance: 0.198 ppm for quartz veins and 0.155 ppm for geyselite (the highest value being 0.39 g/t). The enrichment of gold in geyselite provides an important inspiration for the prospecting of hot spring gold deposits. Hence, Tengchong is a very promising area for ore prospecting. Geyselite may serve as an excellent ore prospecting indicator and has important geological implications.



图版说明

- 照片 1 硅华中圆球状胶及其串珠状连生体 硫磺塘 样品号 D- 173 透射电镜 $\times 10000$
照片 2 圆球状硅胶 硫磺塘大滚锅 样品号 D- 196 透射电镜 $\times 25000$
照片 3 圆球状硅胶及其串珠状连生体的自然生长状态 样品号 D- 173 扫描电镜
照片 4 老硅华中硅胶已向形态不规则的玉髓和石英转变 硫磺塘老滚锅 样品号 D- 162
透射电镜 $\times 8000$
照片 5 形态不规则的粒状蛋白石, 含少量石英, 鼓鸣泉 样品号 D- 194 透射电镜 $\times 13000$
照片 6 石英颗粒 眼镜泉 样品号 D- 193 透射电镜 $\times 6000$