腾冲现代活动水热流体的地质成矿作用*

Geological Metallogenesis of Active Hydrothermal Fluid in Tengchong, Yunnan Province, China

胡云中 邓 坚 郭唯明

(中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037)

Hu Yunzhong, Deng Jian and Guo Weiming

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

摘 要 腾冲区内水热流体的活动，具持续性、幕式周期—脉动喷溢的特征，多期次水热爆炸与硅质的自封闭作用，有利成矿元素的富集；高温热泉中的 Cl^-、HCO_3^-、H_2S 组分的高含量及化学活动特征，对围岩有强烈的蚀变交代作用，促进了矿化作用的进行。在热海热田内的硅华中，发现除主要矿物为硅胶外，并有冰长石、钠长石、叶蜡石、云母、石榴石、磷灰石、重晶石等矿物组合，以及仅在陨石中发现的铜锌互化物的存在。腾冲现代活动的水热流体，依然存在地质成矿作用，具有找寻热泉型金矿及优质高岭石矿床的远景。

关键词 水热流体 幕式—脉动喷溢 水热爆炸 地质成矿作用

腾冲地区地处欧亚板块与印度板块缝合线东侧的仰冲板块抬升拉张部位。由于遭受强烈的挤压、断裂构造活动，导致一百多万年以来的持续岩浆侵入和多期火山喷发活动，为腾冲地区的地热资源提供了巨大的热源和良好的导热通道。

根据水热活动的分布规律，本区划分为大盈江、龙川江和龙陵—瑞丽等 3 个水热活动带。3 个水热活动带的分布，均分别受控于 3 个断裂构造系统。与世界火山岩区的热泉分布特点不同的是，本区近代火山机构及火山岩流的内部，只出现低温位碳酸泉 (如叠水河碳酸泉) 或大流量冷泉 (如坝派巨泉)，高温位水热活动只出现在火山岩体的周边或非火山岩区。现代高温水热流体，则主要分布在区内的南部和西部。区内水热流体的活动时期具有持续性，呈幕式周期—脉动喷溢的特征。水热活动显示区多，活动强度大，水热蚀变强烈是本区水热活动的基本特点。

腾冲地区水热流体活动强烈，具有明显的幕式—脉动喷溢特征，并广布水热爆炸现象。区内高温热泉、沸泉的出露处，多见有硅华、硅质层的存在，热海热田的松木箐地段于钻孔内见到的硅质层达 7 层之多。区内的中温热泉的出露处，则以钙质泉华为特征，其现代喷溢时间间隔可以秒计 (如石墙鱼池热泉所见)，呈现脉动喷溢现象。饱含矿物质的水热流体，在滞流的状况下，可形成小如蘑菇状的钙华。其持续的漫溢，则可形成高 1.5～2.5 m，底座直径为 1.5～2.5 m 的塔式喷溢锥 (群)，在石墙、黑泥塘等地均可常见，蔚为壮观。其形可与太平洋、大西洋海底的硫化物喷溢塔锥媲美。以热泉硅华的起始出现，至钙华的出现为小的周期结束，从而构成周期性的幕式活动。水热区内出现的硅华、硅质层的纹层状结构，钙质泉华中的组分化学振荡现象，方解石 MnO 含量的振荡波幅的质量分数达 10.40% (王江海，1995) 和粗、细晶粒相间成层，都是水热流体周期性活动的显示，以及深部热储流体性质、围岩物质组分的反映。水热流体的幕式周期活动与脉动喷溢现象，可以启示在热泉和水热活动区内的地质研究与找矿工作，不应拘泥于见到一层硅质岩即告终止，而应从地区水热活动的规律性出发，综合分析本区的特征，研究和找寻潜在矿化和矿体。

* 本文受国土资源部重点攻关项目 (编号：9501103) 和国家攀登预选项目专题 (编号；95-预-39-5-3) 的资助

参加本项研究的还有张天乐、王海平、陈淑卿、贾希义同志

第一作者简介 胡云中，男,1939 年生，研究员，长期从事矿床地质和地球化学研究工作。

腾冲地区 3 个水热活动带内均存在水热爆炸的地质现象，尤其是在热海热田、新华攀枝花硝塘、朗蒲热水塘、邦那掌热田、瑞滇热田等地更甚。热海热田的澡塘河地段，水热爆炸坑呈直径约 10 m 的圆坑，串珠状分布，其坑内与周边分布着花岗岩角砾与泉胶角砾岩。澡塘河枯水季节可见坑内有高 30 cm、底径 12 cm 的喷流孔锥。该地段的蛤蟆嘴，于 1993 年 10 月发生强烈的水热爆炸，致使附近岩块发生裂隙、石块滑落，喷气地面的喷气孔改位。热海田内老滚锅—大滚锅—仙人澡塘地段，分布着 3 个大型水热爆炸坑体，其直径约 150～200 m，自北而南以 40～60 m 的高差梯级下降，坑内现今发育着喷气地面，高温水流体及泉胶角砾岩和水热蚀变的诸多地质景观。据徐霞客游记、县志记载及民访调查，老滚锅处于 1939 年、1911 年曾发生水热爆炸，大滚锅处于 1911 年、1992 年曾发生水热爆炸。腾冲县新华乡攀枝花硝塘高温热泉，出露于河谷侧旁，围岩为高黎贡山群片岩，新老泉眼遍布，干涸老泉眼的出露点高于现正喷流泉眼 7 m，热泉沿片理 NE30°和走向 NE55°的断层交叉点出露，其近期的水热爆炸发生在 1990 年和 1992 年，水热爆炸坑直径在几十厘米至数米之间。县境北部的石墙地段，稍老的水热爆炸坑现今为低凹温热泥塘，其面积约 50 m×70 m 大小，其间至今仍有诸多喷溢小孔，脉动式喷流着气液。

水热爆炸现象，是水热流体强烈活动地区的特征。处于地下深部的水热流体具有很高的内能，当围岩的抗张强度与静岩载荷低于水热流体的内能时，水热流体则由于减压发生强烈的沸腾，进而导致水热爆炸。水热流体的幕式周期性活动，则形成多期水热爆炸，在本区澡塘河地段的强硅化带，即可见到几期爆炸-充填胶结-水热蚀变相互叠加的现象。水热爆炸致使水热流体的气液组分逸失，物理化学性质 (如 t、p、pH、E_h 等) 有所改变，引发成矿元素的沉淀与富集。水热爆炸所产生的断裂裂隙，又成为水热流体的赋存空间，其水热蚀变矿物 (硅华、硅质岩、粘土质矿物) 则构成水热流体的屏蔽盖层，这种爆炸-自封闭作用，有利成矿元素的富集成矿。腾冲地区水热爆炸形成的泉胶岩、构造角砾岩中 Au 的丰度分别达到 540×10^{-9}、753×10^{-9}，远高于地区岩石中 Au 的丰度以及 Au 丰度颇高的硅华即是证明。目前在国内外的一些大型矿床，如西藏的玉龙铜矿、澳大利亚的奥林匹克坝铜铀金矿等也均发现水热爆炸致使矿体加富的现象。

腾冲地区的 3 个水热活动带中，均存在现代地质成矿作用。区内水热活动期，自 38 万年前以来，以持续周期性的幕式活动为特征，至今仍未停歇。腾冲水热活动区，总计泉流量为 7587.6 l/s，天然热流量为 820.6 J/ s。换算为全年泉流量为 2.39 亿吨、年放热量相当于 86 万吨的标准燃煤热量。由水热流体逸出的气体，难以计算，仅热海热田内对释放 CO_2 气体的估算即达 9782 t/a。如此巨大的能量与水热流体，日夜不息，年流不止地对地下与地表的围岩进行着水/岩石物理化学作用，正表生着各种矾类与自然硫等矿物，也正在进行着多类蚀变矿物的结构类型转换，以至形成一系列矿物的重新组合。

本区地表热泉，由高温→中温→低温，矿化度总体上呈递减的趋势；Li、Rb、Cs 等稀碱金属组分，在高温沸泉中的含量，明显高于中低温热泉：F、Cl、SiO_2 的含量，在高温热泉中也比较偏高。高温热泉中的 Cl、HCO_3^-、H_2S 组分的高含量，及其化学活动性，对围岩有强烈的蚀变交代作用，由其构成的络合物，更是重金属的携带剂，从而促进了矿化作用的进行。热田内的广泛酸性淋滤作用、水热蚀变岩石的形成，铀、金及其它贱金属的元素富集，以及生态环境的形成，莫不与此关联。

本区热沸泉与热温泉中均含有甚高丰度的 Se、Au 元素。硫磺塘地段的热沸泉 (大滚锅、眼镜泉、怀胎泉、鼓鸣泉) Au 丰度平均值 0.55 μg/l、Se 平均值 14.7 μg/l，除 Au、Se 高丰度外，并有 Li (7.55 mg/l)、As (0.613 mg/l) 元素的高含量。区内中温热泉 Au 元素的均值为 0.26 μg/l，而 Li、As 元素的含量明显偏低，分别为 1.17 mg/l、0.001 mg/l。

热海热田内的大滚锅沸泉，出露于蚀变碱长花岗岩中，海拔标高 1460 m，喷溢口颈管处水温 96.6℃，pH 值 7.6，流量 0.76 l/s。水化学类型为 Cl-HCO-Na^+型，为本区少有的几个具深源水特征的热泉。泉水所逸出气体中的 $^3He/^4He$ 高比值反映了有深部幔源物质的加入； δD 与 $\delta^{18}O$ 同位素分析数据，表明热水多为大气降水的补给。大滚锅热沸泉水中的 Li、Se、Rb、Cs、Na、K 元素的质量分数，以及 Cl^-、SO_4^{2-}阴离子丰度、固溶物与总矿化度都是腾冲地区各类热泉中最高的，其 Au、As、Sb 和硅元素的质量分数也居全区热泉的前列。

大滚锅沸泉周围的硅华主要物质组成为 SiO_2，其质量分数大于 95%，Al、Fe、Ca、Mg、K、Na 的氧化物合计在 2.50%～3.50%。大滚锅沸泉形成的现代硅华，含有较高丰度的 Rb_2O (0.014%)、Cs_2O (0.019

%)、Li (16.4 μg/g)、Be (167 μg/g)、Nb（17.82 μg/g）以及 Au (45 ng/g)；较老时期形成的硅华，其 Li、Be、Au 的丰度值更高于现代硅华。

热海热田区内的大滚锅沸泉形成的现代硅华与较老时期形成的硅华，经电子探针分析，发现硅华除主要矿物为硅胶外，还有冰长石、钠长石、叶蜡石、云母、石榴子石、磷灰石、重晶石、方解石、赤铁矿、黄铁矿以及铜—锌互化物等诸多矿物的存在。这种由硅酸盐、磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐、氧化物和硫化物类矿物构成的矿物组合，具有浅成低温热液作用的特征，反映了本区水热流体具有多类二元体系 (H_2O-NaCl，H_2O-CO_2，CO_2-CH_4) 与三元体系 (H_2O-CO_2-NaCl) 组成特征，以及对碱长花岗岩围岩的水/岩作用。

热海热田区内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，贫化铁族元素 Ti、V、Cr、Mn、Fe 等。富集的亲石元素除 Rb 接近于地壳丰度但低于碱长花岗岩以外，其余元素的含量皆高于地壳丰度和碱长花岗岩，如 Be 和 Cs 的含量分别是地壳丰度的 62 和 68 倍。除 Li 外，还都高于石英脉中的 Rb、Cs、Be、Th 的含量。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，反映其活动性与酸性岩浆有关。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。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。

热海热田区内，现代水热流体的金矿化主要呈现在黄铁矿沟、忠孝寺、硫磺塘、松木箐 4 个地段。硫磺塘地段内的热沸泉水 Au 含量变化在 0.39～0.73 μg/l 范围，其含量之高与国外相比，也仅次于日本别府的大分热泉，属于含 Au 较高的热泉之例。热泉于泉口周围形成的现代硅华，含 Au 均值为 45 ng/g，老硅华含 Au 均值高达 100 ng/g，在泉口近区所采集的具植物茎叶结构的硅华样品，Au 含量最高达 450 ng/g。水热蚀变与水热爆炸所形成的泉华胶结角砾岩中，Au 平均含量为 540 ng/g。热海热田区内地表金矿化，主要产在烟灰色细粒状黄铁矿脉与暗灰色石英细脉群体，其 Au 品位通常为 1×10^{-6}～2×10^{-6}，局部地段高达 3×10^{-6}～4×10^{-6}，个别样品含 Au 量更高。

核工业 209 地质队，在松木箐地段发现的热泉型金矿，产于 SN 向断裂破碎蚀变带内，其含 Au 脉体为复式石英脉群，同一脉体中常见多期次不同成分的脉体互相穿插交切，并可见大量水热爆炸和充填交代现象，与腾冲区内水热流体的周期性幕式喷溢活动相为吻合。目前所发现的金矿床为低品位小型规模，金矿石中未发现自然金，Au 以金银矿的形式产出。形态为近似球形的不规则粒状，一般粒径为 3～8 μm。

热海热田区内现以热泉口溢出的水热流体泉流量为 42 l/s，保守估算于澡塘河水下溢出的热泉和地表裂隙散流的流量为 18 l/s，按热田热泉水中 Au 含量 0.5 μg/l 计算，热田区内水热流体 1 年可溢出 Au 0.86 kg，10000 年为 8.6 t。据对松木箐硅华铀系测年，本区最老水热活动的时间在 35 万年以前，以此推算应有 301 吨金随水热流体溢出。据对硅华中 Au 含量检测，老硅华较现代硅华 Au 含量要高出一倍，反映了较早时期的水热流体具有较高的 Au 元素丰度。基于本区的地质背景及地貌条件，推算在热海热田区内可形成 12 t 左右的金矿体。

腾冲地区水热流体以泉口涌溢的泉流量为 7587 l/s，以 Au 含量 0.2 μg/l 计算，1 年中溢出 Au 48 kg，10000 年为 480 t，在适宜地段应该能找到几个中、小型金矿床。区内水热流体的酸淋作用，已形成优质高岭石矿床 (沙坡)，并具有扩大的远景。

参 考 文 献

上官志杰, 白春华,等. 2000. 腾冲热海地区现代幔源岩浆气体释放特征[J]. 中国科学 (D 辑), 30(4).

佟　伟, 章铭陶. 1989. 腾冲地热[M]. 北京: 科学出版社.

王江海. 1996. 腾冲热水沉积金矿床硅质岩特征和金银赋存状态研究[J].矿物岩石地球化学通报, 15(1).

张天乐, 等. 1997. 我国有序度最高的腾冲现代热泉高岭石[J]. 岩石矿物杂志, 6(增刊).

赵　平, 廖志杰, 等. 1995. 腾冲热海地热田气相组分的定量分析及其意义[J]. 科学通报, 40(4).

Hannington M. D.1986. Gold in Sea-Floor Polymetallic Sulfide Deposits[J]. Economic Geology, 81(8).

Herrington R. J., Wilkinson J. J.1993.Colloidel Gold and Silica in Mesothermal Vein Systems[J]. Geology, 21(6).