腾冲地热泄热构造系统与水热蚀变作用*

Geothermal Release Structures and Hydrothermal Alterations in Geothermal District of Tengchong, Yunnan Province, China

王海平 张天乐 王宗良

（中国地质科学院矿产资源所，北京 100037）

Wang Haiping, Zhang Tianle and Wang Zhongliang

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

摘 要 腾冲是我国现代水热活动典型地区。本文通过遥感 TM 图像分析研究表明，区内地热泄热构造系统由线性泄热构造和环形泄热构造组成，前者包括南北向、北北东向和东西向三套线性构造，后者为火山作用型环形构造。腾冲地热区现代水热流体具有典型浅成低温热液作用的特征，形成了一系列水热蚀变矿物及矿物的蚀变演化序列。在区内水热活动的强烈地带，还发现了硅胶、I/S 间层粘土矿物及目前我国结晶度指数最高的 1Tc 型高岭石等矿物。

关键词 地热 泄热构造系统 水热蚀变作用 腾冲

云南省高黎贡山以西的广大地区，水热流体活动强烈，其空间展布明显受断裂构造控制。全区共有百余个水热系统，其水热流体活动分别以温泉（25～79℃）、高温泉（80～95℃）、热沸泉（＞95℃）的泉群以及相应的喷气孔、冒气地面、水热爆炸、喷溢锥、现代水热蚀变等显示。

1 泄热构造系统

经 MSS、TM 图像解译，全区共厘定 30 条线性构造带。其中中型线性构造带 4 条，其余为中小型线性构造。据区内线性构造带的影像特征、力学性质、延伸方向，结合腾冲地区的地质发展史，可将全区线性构造带划分为 8 套线性构造系统。其中，南北向线性构造带形成最早，加里东期曾以主压性结构面特征出现，海西末期一度受到张应力作用，中生代和新生代早期曾受到挤压，新生代晚期则发生两次较强的裂张活动：一次在晚更新世；另一次在全新世。近东西向线性构造带形成稍晚，推测于海西末期成型，当时为压性特征并伴有近东西向隆起形成，中生代至新生代早期引张，新生代晚期则表现出压扭性特征;北西西向和北东东向线性构造带在加里东期可能以一对共轭扭裂面形式出现，在海西末期和中生代曾发生两次较强的压扭性活动，新生代因东西向张应力作用而呈现出张性扭动并形成北东东向排列的拉分盆地;北东向和北西向线性构造带可能在海西末期形成，中生代和新生代又发生先压后扭的构造活动;北北东向和北北西向线性构造带的形成最晚，在各种卫星图像上呈现出明显的新构造活动特征。

腾冲地热区有三套方向不同的地热排泄构造，即南北向、北北东向和近东西向线性泄热构造。其中，南北向线性泄热构造有 3 条，即中寨－梁河（T-1）、朗蒲寨－大中山（T-2）和腾冲－晒谷洞（T-3）线性构造。T-1 线性构造带在中寨、热水塘地区形成地热增高场位于该带的西盘。朗蒲寨－大中山（T-2）线性构造带东、西两侧的次级线性构造分别控制了朗蒲寨地热异常、热海地热异常、段家寨地热增高场和太平村－朗烟地热异常区。腾冲－晒谷洞（T-3）线性构造可能控制了翟家营、大坪地热增高场的形成。沿南北向线性泄热构造还有大量热泉等水热系统出现，其中热海地热异常中的硫磺塘－黄瓜箐热泉群的水温有的高达 98℃并有大量蒸气形成，属高温高压水热系统;北北东向线性泄热构造在区内表现为两条，即马鞍山－孟连（T-9）和罗汉冲－晒谷洞（T-7）线性构造。沿北北东向线性泄热构造除有与其走向一致的地热区分布外，还产生一些地热泄排点;近东西向线性泄热构造不如南北向和北北东向清晰，区内有 3 条，即 T-16、T-17 和 T-18 线性构造。上述三

* 本文由国家攀登预选项目专题（95-预-39-5-3）和部重点攻关项目课题（9501103-2）资助。参加研究工作的还有郭唯明、胡云中等

第一作者简介 王海平，男，1949 年出生，研究员，从事遥感地质和矿床地质研究工作。

套地热排泄构造中，南北向和北北东向线性泄热构造是腾冲地热区的主导泄热构造，近东西向线性构造是从属泄热构造，后者往往形成地热增高场并在与南北向、北北东向泄热构造交汇处形成地热异常、地热排泄点。

研究表明环形构造是区内地热的另一重要泄热构造。其中火山作用型环形构造与地热泄放关系最为清晰。马鞍山环形构造是典型的火山作用型环形体，沿其环缘有明朗、下村、下庄、芭蕉关、段家寨等地温增高场和太平村地热异常。这些地热系统绝大多数出现在早更新世的酸性火山岩内，个别形成在全新世中基性火山岩内的地热增高场附近有早更新世酸性火山岩出露，说明马鞍山环形构造的深部主要是酸性火山岩。该环形构造周缘出现的水热系统就是其下酸性火山岩构成的热源沿环形构造边界泄放，所形成的热惯量高显示。据此，笔者认为区内火山作用型环形构造的边界构成其下火山作用型热源的重要排泄构造。

2 水热蚀变作用

腾冲地热区内水热蚀变作用，受控于载体围岩及断裂系统的性质与活动强度，还受水热流体温度、压力、化学成分、pH值，和氧、氢等逸度以及水热流体幕式周期活动的影响。

腾冲地热区所形成的诸多蚀变矿物组合，具有典型浅成低温热液作用的特征。由于本区多期次的水热活动、强烈的酸淋作用，高岭石化范围广、 强度大，并形成结晶度指数最高可达 1.67 的典型热液作用型高岭石，甚至形成纯净高岭石矿床，而远离强烈水热活动作用地段，高岭石的有序度降低，并多与伊利石、蒙皂石共生。在水热流体呈现弱酸－弱碱性的介质环境中，常形成绢云母化、伊利石-蒙皂石间层矿物化、泥化蚀变矿物组合。当水热流体的周期性活动处于衰减，又有大量钙质组分供给的条件时，则出现碳酸盐化蚀变。水热活动区的蚀变类型主要有:

（1）硅化：以出露于高温或热沸泉口周围的硅华、硅质层为特征。在热海热田内的分布以南北向断裂带中最为发育。热沸泉水中的 Si 元素来源于深部水热流体对围岩的交代作用，SiO_2 在水热流体中以微米级球状硅胶的形式运移。区内硅化作用形成的矿物为硅胶、蛋白石、玉髓、α 石英、方英石等。在水热活动作用过程中，硅华在水热流体喷溢孔道处的封闭作用，往往导致沸腾－爆裂过程不断发生并致使 SiO_2 凝胶所携带的 Au 元素沉淀。

（2）明矾石化：明矾石为典型的热液蚀变矿物。其分布主要见于热沸泉口周围和 H_2S 气体的喷气地面。区内明矾石化，表明水热流体具有高硫逸度和强酸性（pH＞3.5）环境，流体中的 H_2S 与 H_2O 所形成的 H_2SO_4，对碱长花岗岩中的碱性长石、钾云母的化学作用，产生明矾石和石英。

（3）高岭石化：水热活动区内高岭石化甚为普遍，为强烈酸性淋滤作用所形成。在水热活动强烈地带，形成结晶度指数很高的 1Tc 型板状高岭石，在远离水热活动强烈的地段，其有序度降低。一般有序和较无序高岭石，限于分布在断裂带外围和较低温区。水热流体中 K^+/H^+比值越低，越有利于钾长石的高岭石化。

（4）绢云母化：水热活动区的绢云母属于二八面体细粒白云母型，大多具有较低温的 1M 多型或较高的 2M 多型特征。区内绢云母化反映中低温热液蚀变作用和不断降温、降压的反应过程，存在钾长石→绢云母→伊利石的蚀变矿物演化系列。黄瓜箐地段，蚀变花岗岩绢云母化强烈，钾长石几乎全部分解为绢云母和石英，并保留有板状钾长石的外形。

（5）I/S 间层矿物化：反映了弱酸至弱碱的介质环境，其形成经历了 2:1 型层状硅酸盐结构的相互转化过程。区内持续多期的水热活动，促进了 I/S 间层矿物的普遍发育。在 I/S 间层矿物中仍保留有二八面体的结构，K^+离子数随膨胀层在 28%～32%时相应地由 0.46 减小到 0.21，总层电荷数也随膨胀层的增加而降低。本区 I/S 间层矿物中，未发现间层比更高的矿物。

（6）泥化：发育在水热活动中心的外围地带，主要蚀变矿物为蒙脱石、绿泥石，形成于温度较低的环境，并有 I/S 间层矿物、碳酸盐矿物与之共生。

本区上述 6 种水热蚀变作用类型，基本上反映了浅层低温热液相环境下的蚀变特征，区内地段虽或缺一些蚀变类型，仍可与世界上通常所见的火山热液区、热泉型蚀变类型相比较。由于本区水热流体的持续性、周期性活动，尤其是后期水热流体活动的作用，本区蚀变类型常具彼此叠加的特征。

腾冲水热活动分布区都有水热蚀变矿物的出现，尤其是在热沸泉出露较多的地段更为特征。运用 X 射线衍射（XRD）、红外吸收光谱（IR）、透射电镜分析（SEM）、热分析（DTA、TG）以及化学分析等方法，对朗蒲寨热水塘、瑞滇热田、石墙热田及邦纳掌热田等地区进行了矿物学研究。通过上述方法，区内已确定的矿物种类和矿物有氧化硅矿物：非晶质二氧化硅（以下称硅胶）、玉髓、蛋白石、方英石、石英；硫酸盐矿物：明矾石、铁明矾、黄钾铁矾、毛矾石、无水芒硝、斜钠明矾；碳酸盐矿物：方解石、文石、天然碱；卤化物矿物：石盐；粘土矿物：高岭石、迪开石、埃洛石、绢云母、蒙脱石、绿泥石、云母-蒙皂石不规则间层矿物；硫化物：黄铁矿、白铁矿；自然硫。此外，前人在眼镜泉中发现有沥青铀矿、铀石、黄铜矿、辉银矿、赤铁矿；在攀枝花硝塘热泉发现方沸石、菱沸石等矿物。区内水热蚀变矿物择要论述如下：

（1）硅胶：腾冲地热区的硅胶矿物，以硅质泉华中出现最多，在热海热田内的蚀变碱长花岗岩、水热爆炸角砾岩的胶结物中也有所发现。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。其 X 射线衍射谱为一连续的弥散谱线，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。硫磺塘老滚锅的硅华在 800 cm^{-1} 处呈弱分裂的谱带，是玉髓的吸收谱特征，为硅胶或蛋白石向玉髓转变的证据。现代热泉沉淀的非晶质状硅胶，是本区热泉系统中新硅华的主要组成矿物。硅胶失水、老化后向蛋白石转变。蛋白石是准稳定物质，其出现意味着流体温度要比形成玉髓或石英的低，随着时间的推移，将转变为隐晶质的玉髓。因此，区内老硅华矿物组分除硅胶以外，较多出现玉髓和石英。水热流体中的 SiO_2 由非晶质的凝胶脱水、缩小体积，逐渐晶化为显晶质石英的过程为:SiO_2 水溶胶→SiO_2 凝胶（硅胶）→蛋白石→玉髓→显晶质石英的矿物转化系列。

（2）高岭石：热海热田区的高岭石，为我国迄今发现的有序度最高的高岭石，其结晶度指数 *H*c＝1.67，主要化学成分与 SiO_2/Al_2O_3 克分子比值，均与高岭石矿物理论值相近。高岭石为 1:1 型二八面体层状硅酸盐矿物。其结构有序程度变化很大，从高度有序向无序高岭石的转变，主要是 沿 b 轴方向出现±*n*b/3（*n*≠3）的晶层。矿物由三斜晶系的 1Tc 型变为单斜晶系的 1Md 型。本区高岭石化花岗岩（小于 2 μm 粒级的样品）在 XRD 图上出现三斜晶系高岭石的所有反射谱带，其衍射峰强、锐而对称。计算得出 *H*c＝1.67，大大优于我国迄今发现的各产地的有序高岭石，可与 Bringdley （1980）报道的美国艾奥瓦州 Keokuk 晶洞有序高岭石（根据文献 XRD 图计算，*H*c 为 1.65）相媲美。

（3）埃洛石：区内已发现的埃洛石以 7Å 型最为广泛，次为 10Å 型和 7～10Å 的过渡型。全部由 7Å 的埃洛石组成的粘土，在本区玄武岩、安山岩（小于 2 μm 粒级）的风化产物中发育。白色粘土细脉（小于 2 μm 粒级）中有 10Å 和 7Å 两种水化型埃洛石出现，由于 10Å 埃洛石多呈短细管状晶形，长一般小于 1 μm，管径约为 0.06～0.02 μm，管体多已展开或破裂形若长条状，紧密丛生聚集时呈现绒球状集合体。由衍射谱图及电镜可观察到 10Å 管状埃洛石→7Å 破裂的管状埃洛石→六边形鳞片状高岭石（无序） →厚板状高岭石（有序）的转化系列。

（4）绢云母：有 1M 多型、2M1 多型和 2M1＋1M 混合型。X 衍射研究表明，区内存在两种矿物相:一类为双层较有序的单斜相绢云母（白云母），在区内较为发育，为特征水热蚀变矿物之一；另一类为单层较无序的单斜相伊利石（水云母），其多以混入物形式出现，在水热条件下，局部已蒙脱石化，并可向伊利石-蒙皂石间层矿物过渡。

（5）I/S 间层粘土矿物：伊利石-蒙皂石间层矿物，在区内分布广泛，常与高岭石、石英、明矾石一起构成典型的矿物共生组合。硫磺塘、澡堂河的 I/S 间层矿物多为不规则类型，其间层比 *S*＝28%～32%，属于有序间层，这类 I/S 间层矿物是伊利石向蒙皂石转变初期的有序化间层，仅含少量的膨胀晶层，矿物外貌基本上保持了伊利石的形态特点，透射电镜下呈现不规则片状和轻微的卷曲。随着间层比的增加，I/S 不规则间层的无序性增加，矿物颗粒边缘模糊、卷曲、厚度减薄并向蒙皂石转化。

3　结论

腾冲微陆块基底具薄陆壳性质，经历了多次构造变动，其中新生代以来的拉张最为剧烈，表现为火山的强烈喷发。区内 8 套线性构造系统中南北向线性构造带形成最早、切割最深，北北东和北北西向线性构造带形成最晚、新构造活动最显著，并直接控制着岩体的分布与水热流体的运移。南北向、北北东向线性构造带是区内主导泄热构造。东西向线性构造带通常形成地热增高场，在与南北、北北东向线性构造交汇处形成地热异常。火山作用型环形构造是区内地热的另一重要排泄构造。

腾冲水热活动具有浅成低温热液蚀变作用的特征，存在着一系列蚀变矿物的演化序列。在水热流体的高温中心活动带，出现 SiO_2 水溶胶→硅胶→蛋白石→玉髓→显晶质石英的转变系列;在稍远地段的酸性介质环境中，存在着 1Tc 型高岭石，其有序度随着介质环境向弱碱性的转化而渐减低，以至到无序;绢云母也由 2M 多型向 1M 多型转化，并可见到由钾长石→绢云母→伊利石的蚀变演化序列;I/S 间层矿物，保留二八面体的结构，但 K^+ 离子数随膨胀层在 28%～32%时相应地由 0.46 减小到 0.21，总层电荷数也随膨胀层的增加而降低。热海热田水热蚀变作用强烈，高岭石化遍及全区，高岭石晶形完好，结晶度指数 *Hc* 普遍高于 1，最高达 1.67，是我国迄今所发现的结晶度指数最高的高岭石矿物。其在区内形成的矿体，具有典型热液作用特征。对高岭石结晶有序度的研究，为探讨热泉系统粘土矿物的形成和演化，提供了科学依据。

参　考　文　献

白登海，廖志杰，等. 1994. 从 MT 探测结果推论腾冲热海热田岩浆热源[J]. 科学通报，14（2）.

张天乐，等. 1997. 云南腾冲现代热泉系统硅华的矿物学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志，16（2）.