

云南腾冲地热区主要蚀变矿物含量 与蚀变母岩的关系

周国平 吕达人

(中国地质科学院矿床地质研究所)

主题词: 地热蚀变; 矿物含量; 蚀变母岩; 云南

提 要: 腾冲地热区出露有众多热泉泉群, 地热活动频繁, 岩石发生强烈蚀变, 形成的主要蚀变矿物包括高岭石、绢云母、蒙脱石、I/M间层矿物、石英和蛋白石。主要蚀变矿物的种类和含量受蚀变母岩性质的控制, 花岗质砂砾岩和花岗岩形成高岭石, 玄武岩形成伊利石和蒙托石, 安山岩中发育硅化作用。泥化作用增强的趋势是安山岩→花岗岩→玄武岩→花岗质砂砾岩。由于花岗质砂砾岩在热区内广泛分布, 通过蚀变作用形成了有经济价值的高岭土矿床。

我国云南省的边陲腾冲地区, 出露着年青的火山群, 那里水热活动强烈, 有着极为引人注目的地热蒸气显示。在面积约 6000 km² 的热区内共有汽泉、热泉和温泉泉群80处之多, 地热显示气势磅礴, 景观壮丽, 是我国最大的地热区之一。其中著名的热海热田位于腾冲县城西南约 13km 处的群山中, 其范围东起朱星街, 西抵缅苴河, 北至正义观, 南达襄宋热水塘, 面积约100km², 主要包括硫磺塘、澡塘河、黄瓜菁、襄宋热水塘等数十个泉群。热区内各种岩石由于强烈的水热活动发生了明显的蚀变。本文着重介绍对水热蚀变矿物的研究及蚀变矿物含量与蚀变母岩的关系。

一、地质概况

(一) 地层及岩浆构造活动

地热区及其周围岩石的地层层序自下而上为:

1. 下古生界变质岩——高黎贡山群 (Pz_{1gl}) 岩性主要为深绿色、灰绿色的绢云母千枚岩、片岩、混合花岗岩及片麻岩, 零星分布。厚度>1000m。

2. 石炭系勐洪群 (C_{mh}) 该层仅见于大盈江断裂西部, 为一套泥岩、板岩、含砾杂砂岩、角岩和白云岩的组合。厚度3528米。

3. 上第三系 (N₁)

A. 上第三系南林组 (N_{1n}) 在热区内东部广泛分布, 不整合于燕山期花岗岩和下古生界变质岩之上, 由下向上可划分为四个岩性段。第一段 (N_{1n}¹): 黄褐色花岗质砾岩, 局部夹薄层泥质砂岩和煤线, 砾石成分为花岗岩和脉石英, 大小悬殊。砂质、硅质胶结。厚度258.59m。第二段 (N_{1n}²): 以泥质粗砂岩、粉砂岩为主, 中下部和上部夹薄煤层。厚度122.3m。第三段 (N_{1n}³): 主要为砾岩、含砾粗砂岩, 间夹钙质粉砂岩, 砾石成分除花岗岩

外,还含少量板岩。厚度123.3m。第四段(N_1n^4):黄棕色泥质粉砂岩、细砂岩夹含砾粗砂岩和煤层。厚度940.3m。

南林组在热海热田的大滚锅和蛤蟆嘴附近仅见一、二段。在硫磺塘和黄瓜菁一带,南林组主要由花岗质巨砾组成,其间充填有石英粗砂,并伴有数条硅质脉。巨砾直径大者可达数米,一般为30cm左右,砾石棱角基本已磨圆。由于水热活动,南林组花岗质砂砾岩出现了强烈的蚀变。

B. 上新统芒棒组(N_2m^2) 芒棒组仅在热区中部出现火山堆积,岩性为灰黑色致密状玄武岩,直接覆盖于南林组之上。厚度>50m。

4. 第四系(Q) 以火山堆积和河湖相堆积为主,为一套花岗岩、玄武岩、安山岩、含砾石的粗一中砂层、砂质粘土层和炭层构成的岩性组合,分布与区域构造线一致。

热区内岩浆活动频繁,分布广泛,持续时间长。从燕山期至近代的整个地史时期,形成了一套由深成-中深成-浅成侵入直至喷出的岩浆旋迴,尤其是新生代以来强烈的基性-中基性火山喷发,形成了宏伟壮观的火山地貌和千姿百态的地热景象。

热海热田的基底岩石由燕山期花岗岩组成。在热区范围内,花岗岩组成了山间盆地的基盘,由于受南北断裂带的切割而起伏不平。第三系的南林组花岗质砂砾岩在硫磺塘、黄瓜菁一带,组成了海拔1000多米的丛山地貌。

热区内的中更新世安山岩在硫磺塘北部一带常覆盖在南林组的花岗质砂砾岩之上。靠近朱星街附近,南林组被晚更新世早期的玄武岩覆盖。在澡塘河瀑布的下游,南林组花岗质砂砾岩中还侵入有一小片粗粒花岗岩脉,由中央向两边渐变为细粒花岗岩(图1)。

热海热田分布有呈近南北向的硫磺塘-魁阁坡断裂和杏塘-热水塘断裂。热泉主要沿两条主断裂出露。此外,近东西向和北西西向的张性断裂对热泉的分布也起着控制作用。东西方向热泉主要沿着澡塘河断裂分布。

(二) 地表水热蚀变现象

热海热田内分布着许多低温、中温、中高温和高温热泉、沸泉、喷气孔和毒气孔。热泉的分布趋势大都呈东西向和南北向,与区域构造线方向一致。水化学测试结果表明,地下水化学类型以重碳酸水为主。整个热区水热蚀变作用强烈,岩石发生了强烈的高岭土化、泥化和硅化作用。喷泉周围则形成了厚层的泉华沉淀物,以硅华为主,部分地区有钙华和硝类矿物的沉淀。水热活动还形成了铀矿、硫磺及黄铁矿等矿床。沸泉和热泉的温度一般都达100℃左右,主要由高温热水和蒸气混合喷出形成,多数集中在硫磺塘、澡塘河瀑布下游两岸一带,以大滚锅、蛤蟆嘴、黄瓜菁等处最为强烈。

二、蚀变矿物含量与蚀变母岩的关系

(一) 蚀变矿物的鉴定

笔者以硫磺塘、黄瓜菁南北向热泉分布区为中心,分别向西、向东和向南沿三个地表剖面采集了50多个样品。三个剖面分别为(1)硫磺塘-仙人掌塘,(2)硫磺塘-忠孝寺,

(3)硫磺塘-黄瓜菁(图1)。采集的样品在实验室采用X射线衍射分析、扫描电镜、透射电镜和X射线能谱分析及化学成分分析等方法进行研究,并用微型计算机计算了蚀变矿物的含量。热海热田的水热蚀变矿物如表1所示。蚀变矿物的鉴定以X射线粉末衍射为主,辅之



- β_4^1 1
- α_3 2
- β_2 3
- N 4
- γ_5^{2+3} 5
- / 6
- 7

图 1 腾冲地热区黄瓜菁-硫磺塘热田地质图
Fig. 1 Geological map of the Huangguaqing-Liuhuangtang thermal field in the Tengchong geothermal area
1—晚更新世早期玄武岩；2—中更新世安山岩；
3—早更新世粗玄武岩；4—上第三系花岗质砂砾岩；
5—燕山期花岗岩；6—断裂带；7—热泉出露点

以透射电镜和化学分析。石英的鉴定主要根据X射线粉末衍射图中石英的特征峰确定， d 值为 $4.26\text{ \AA}$ 和 $3.34\text{ \AA}$ ，其强度分别为80和100，最强反射峰 $3.34\text{ \AA}$ 在石英含量很少时也能反映出来。蛋白石在X射线衍射图中呈非晶质反射，仅在 $2\theta\ 20\text{--}28^\circ$ 之间出现明显的宽化隆起带。透射电镜下也可见到圆形的蛋白石球状颗粒。高岭石和地开石的鉴定主要依据X射线衍射图中的特征峰 $7.14\text{ \AA}$ (001)和 $3.59\text{ \AA}$ (002)两个强反射。将样品加热至 550°C 恒温2小时，该反射完全消失，说明高岭石的存在。并根据出现的 $4.27\text{ \AA}$ ， $3.95\text{ \AA}$ ， $3.42\text{ \AA}$ ， $3.26\text{ \AA}$ ， $2.79\text{ \AA}$ 的特有反射，可将地开石和高岭石区别⁽¹⁾。在透射电镜下地开石晶体明显厚于高岭石，对电子束不透明，常呈似三角形晶体产出。埃洛石的鉴定主要根据透射电镜下的细管状

表 1 地热区蚀变矿物的种类

Table 1 Species of altered minerals in the geothermal area

种 类	蚀 变 矿 物	产 出 位 置
氧化硅矿物	低温石英，蛋白石， 低温方英石(少量)	蚀变岩石的硅质条带中，热泉喷出口附近的泉华中，所有蚀变岩石中均有低温石英。
高岭土矿物	高岭石，地开石， 埃洛石(少量)	花岗质砂砾岩，部分玄武岩，花岗岩，分布范围广。
2:1型粘土矿物	绢云母，蒙脱石， 绿泥石(少量)	玄武岩，花岗质砂砾岩，安山岩，离热泉喷出区较远。
间层矿物	I/M不规则混层矿物， I/M规则间层矿物	花岗质砂砾岩，玄武岩，沿黄瓜菁和澡塘河断裂带分布。
硫酸盐矿物	明矾石，石膏	花岗质砂砾岩，安山岩，位于热泉喷出区附近，集中在硫质喷气孔附近。
磷酸盐矿物	磷铝钙石，磷铀铝矾， 磷铈铝石，磷钇矿 (少量)	花岗质砂砾岩，靠近黄瓜菁断裂带。

形态确定。

绢云母的鉴定依据是X射线衍射图中出现的 $9.98\text{ \AA}$ (001)和 $4.98\text{ \AA}$ (002)的强反射,样品经乙二醇饱和处理后 $9.98\text{ \AA}$ 反射不膨胀时,便为绢云母。反射发生不同程度的膨胀,便为伊利石/蒙脱石不规则混层矿物。明矾石和磷酸盐矿物的鉴定除X射线衍射分析和电镜观察外,还根据X射线能谱分析结果。蒙脱石和混层矿物的鉴定则还借助乙二醇饱和处理和 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热处理方法。

以上所鉴定的蚀变矿物中,大量出现的是高岭石,石英,蛋白石和绢云母及不规则混层矿物(表1)。

(二) 蚀变矿物的含量及其与蚀变母岩的关系

根据蚀变岩石中的矿物组成和化学成分分析结果用微型计算机进行蚀变矿物含量的定量计算。根据计算结果可以发现,不同的蚀变母岩所形成的矿物在种类上和含量上都有较明显的差异。表2列出了不同岩石以及热泉喷出时形成的硅华中所含的主要蚀变矿物的含量,表3是它们的平均值。从表中可以看出下列特点:(1)所有的蚀变岩石中都含有较多的石英和蛋白石,其中蛋白石主要集中在硅华中。根据偏光显微镜下鉴定,这些石英中还包括了一部分母岩中残留的原生石英。由于蚀变作用新形成的石英在这些岩石中显而易见,且占有一定的数量,说明蚀变过程中硅化现象是相当普遍的,硅化作用几乎遍及所有的原始岩石,而硅化作用最强烈处则表现为硅质条带和硅质脉及硅华的出现,其中石英或蛋白石的含量均在90%以上;(2)高岭石的含量在不同的母岩中显示出较明显的差异。在母岩为花岗质的砂砾岩的蚀变岩石中,高岭石含量最高,最高可达约60%,平均含量也在21%以上。其次在玄武岩为母岩的蚀变岩石中,高岭石平均含量可达18%。在安山岩和花岗岩为母岩的蚀变岩石中高岭石含量很少。花岗岩离热泉喷出区较远,主要以接触交代为主,高岭土化作用是较弱的;(3)绢云母和伊利石/蒙脱石不规则混层矿物的分布刚好和高岭石相反,在玄武岩、花岗岩为母岩的蚀变岩石中含量最高,而在花岗质砂砾岩为母岩的蚀变岩石中含量变少。含量最高的蚀变岩石是玄武岩,最高可达60%,平均含量为36%;(4)蒙脱石主要集中在玄武岩为母岩的蚀变岩石中,其它岩石中的含量甚微。从以上四个特点可以看出,母岩的岩性对蚀变矿物的组合及含量有着明显的控制作用。从表3中还可以清楚地看出,花岗质砂砾岩和玄武岩的泥化作用(形成粘土矿物的蚀变作用)是最强烈的,其中花岗质砂砾岩又以出现明显的高岭土化作用而区别于玄武岩。两者在蚀变矿物含量及种类方面的差别从一个侧面反映出岩石原始成分差异。以酸性长石、白云母类矿物为主的花岗质砂砾岩由于富含 Al_2O_3 ,而为高岭土化作用创造了较有利的物质基础。相反,含铁、镁较高的玄武岩更加有利于形成绢云母、蒙脱石一类的蚀变粘土矿物。

安山岩和花岗岩的蚀变作用主要处在绢云母化和硅化阶段,伊利石/蒙脱石不规则混层矿物的含量远比玄武岩中少。

根据对蚀变岩石中不同粒级样品的矿物含量分析可以发现,石英、蛋白石、高岭石、绢云母、蒙脱石及伊利石/蒙脱石不规则混层矿物在不同粒级的样品中分布是不一样的。一般来说,石英粒级最粗,一般在 $45\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒级中含量急剧减少,其次为蛋白石,只有少量细粒的蛋白石颗粒残留在 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 的粒级中。蚀变形成的粘土矿物粒度最细,主要集中在 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 粒级中。表4所列出的是部分蚀变岩石的 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 和 $<1\text{ }\mu\text{m}$ 粒级样品中主要蚀变

表 2 各种蚀变岩石中主要蚀变矿物的含量(wt%)

Table 2 Contents of principal altered minerals in different altered rocks(wt%)

样 号	蚀变岩石	主 要 蚀 变 矿 物 含 量			
		K	Se+I/M	Mo	Q+Op
TS-1	安山岩	—	13	—	73
TS-2	安山岩	1.54	1.44	—	95
TD-15	安山岩	—	24.99	—	22.94
TS-3	花岗质砂砾岩	21	31.29	—	27.94
TD-2		3.57	40.42	0.35	44.57
TD-5		19.94	56.40	—	20.05
TD-7		49.66	0.85	0.23	46.71
TD-17		—	32.01	—	63.06
H-1		10.62	25.03	2.24	59.22
H-3		54.89	0.93	—	39.51
H-4		14.64	8.88	—	72.77
H-5-3		58.07	7.95	—	31.16
H-6		7.03	22.92	2.00	64.86
H-7		6.31	33.57	—	56.28
H-8		12.07	25.12	—	56.65
TS-5	玄武岩	21.72	30.36	7.31	22.42
TS-6	玄武岩	49.29	20.72	5.07	13.53
TS-7	玄武岩	—	34.67	—	22.12
TD-19	玄武岩	0.08	60.29	5.75	24.92
TD-21	玄武岩	21.03	38.05	10.12	21.86
TS-9	花岗岩	0.07	25.22	—	66.25
TS-10	花岗岩	3.25	21.68	—	55.41
TS-11	花岗岩	2.60	13.71	—	53.64
TS-12	花岗岩	—	34.72	—	57.64
TS-4	硅质条带	3.44	1.86	—	92.4
TD-9	硅质条带	0.77	0.42	—	97.33
H-5-1	硅质条带	2.86	—	—	91.92
TS-8	硅 华	—	1.97	—	90.51
TD-3	硅 华	—	3.06	—	88.76
TD-12	硅 华	1.63	2.28	—	89.91

注: K—高岭石; Se—绢云母; I/M—伊利石/蒙脱石混层矿物; Mo—蒙脱石; Q—石英; Op—蛋白石;
(以下表均同)

矿物的含量。显而易见, 粘土矿物已占绝大部分, 石英和蛋白石的含量已不到10%。根据X射线衍射分析, 这不到10%的氧化硅矿物也主要以蛋白石为主。然而, 粘土矿物本身, 每种矿物的粒级分布也具明显差异。在 $< 2 \mu\text{m}$ 的粒级中, 高岭石占主导优势, 和全岩样相比, 含量明显增加。但是在 $< 1 \mu\text{m}$ 的粒级中高岭石的含量增加并不多, 而伊利石/蒙脱石混层矿物的含量则明显增加。根据X射线衍射分析和电镜检查, 细粒部分中绢云母的含量已经很少, 主要是具膨胀特征的混层矿物占主导含量。据此可以认为, 蚀变的粘土矿物中高岭石主要集中在 $2-1 \mu\text{m}$ 的粒级中, 而伊利石/蒙脱石混层矿物和蒙脱石主要集中在 $< 1 \mu\text{m}$ 的粒

表3 各种蚀变岩石中主要蚀变矿物的平均含量(wt%)

Table 3 Average contents of principal altered minerals in different altered rocks (wt%)

顺 序 号	蚀变岩石	主 要 蚀 变 矿 物 平 均 含 量			
		K	Sc+I/M	Mo	Q+Op
1	安山岩	0.51	13.14	—	63.47
2	花岗岩	1.98	23.83	—	58.23
3	玄武岩	18.43	36.82	5.65	20.97
4	花岗质砂砾岩	21.49	23.79	0.40	48.47
5	硅质条带	2.36	1.14	—	93.88
6	硅 华	0.54	2.44	—	89.73

表4 部分蚀变岩石中不同粒级样品的主要矿物含量(wt%)

Table 4 Contents of principal minerals in samples of different grain diameters from part of altered rocks(wt%)

样 号	蚀变岩石	主 要 蚀 变 矿 物 含 量 (<2 μ m)			
		K	I/M	Mo	Q+Op
TS-6	玄武岩	91.32	1.67	3.22	1.86
TD-7	花岗质砂砾岩	93.80	0.08	1.65	—
TD-21	玄武岩	33.58	32.13	5.06	17.54
样 号	蚀变岩石	主 要 蚀 变 矿 物 含 量 (<1 μ m)			
		K	I/M	Mo	Q+Op
H-8	花岗质砂砾岩	18.28	52.77	16.86	5.37
H-8-1	花岗质砂砾岩	27.01	52.77	4.60	10.34
H-4	花岗质砂砾岩	37.61	42.62	5.54	6.98
H-6	花岗质砂砾岩	28.16	49.89	6.01	8.00

级中。

三、蚀变岩石的化学成分

不同的蚀变母岩在蚀变过程中形成了不同的蚀变矿物组合。这些蚀变矿物的种类除受蚀变温度、水热溶液性质等因素的影响外，蚀变母岩的原始化学成分在控制蚀变矿物含量方面则起着重要作用。尽管蚀变母岩都不同程度地遭受了水热蚀变，但根据已经发生蚀变的岩石的化学成分，仍能看出母岩成分的残留痕迹，同时也能看出蚀变矿物的种类。表5是所研究样品中不同蚀变岩石典型样品的化学成分。从表中可见，各种蚀变岩石中SiO₂的含量普遍很高，除硅华和硅质条带以外，SiO₂含量从安山岩向花岗岩、花岗质砂砾岩至玄武岩依次降低。这种特征说明热区内各种蚀变母岩本身的原生石英对SiO₂的含量有影响，同时强烈的硅化作用在热区内普遍存在。安山岩蚀变后SiO₂含量很高，较母岩本身应有的含量高得多，这主要是因为安山岩出露在热泉喷出区附近，遭受了较强烈的硅化作用所致。由于热区内硅化作用最强烈处靠近热泉喷出口附近，一般均形成明显硅化带和硅华^[2]。因此，靠近热泉喷出口附近，岩石原始成分对蚀变矿物的影响就变得次要了。在以花岗质砂砾岩和玄武岩为母岩的蚀变岩石中，Al₂O₃、H₂O含量普遍较高，反映了这两种岩石遭受泥化作用最为强烈，

而又由于本身岩性的特点,花岗质砂砾岩以高岭土化为主,其中碱和碱土金属离子组份已基本上流失,而玄武岩则以绢云母化,蒙脱石化为主,其中 Fe_2O_3 及碱和碱土金属离子组份并未完全流失,还残留相当部分作为绢云母、蒙脱石、伊利石/蒙脱石混层矿物的组份而存在。玄武岩中 H_2O^- 的含量较高也反映了蒙脱石、伊利石/蒙脱石混层矿物的组份特征。可以说,玄武岩蚀变后保留的高 Fe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、和 H_2O^- 组份的特点,既显示了母岩的原始化学成分,又反映出蚀变后形成的蚀变矿物的成分。此外,硅华的化学成分中 H_2O^- 含量很高也和矿物成分研究中确定的硅质条带以形成石英为主,硅华以形成蛋白石为主的结果是一致的。

表 5 各种蚀变岩石的化学成分 (wt%)

Table 5 Chemical composition of different altered rocks (wt%)

蚀变岩石 项目	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	CO_2	H_2O^+	H_2O^-	Σ
安山岩 (TS-1)	85.36	0.73	6.69	0.51	0.05	0.002	0.07	0.09	5.54	0.037	0.00	0.19	1.10	0.36	99.73
花岗质砂砾岩 (TD-5)	55.12	0.16	29.62	0.17	0.07	0.01	0.11	0.08	6.67	0.00	0.026	0.37	7.36	0.44	100.21
花岗质砂砾岩 (H-3)	66.48	0.27	23.52	0.04	0.18	0.001	0.08	0.09	0.11	0.00	0.18	0.46	7.70	0.16	99.27
玄武岩 (TS-5)	56.12	1.77	23.86	2.63	0.07	0.01	0.62	0.36	3.59	1.28	0.077	0.28	6.34	2.74	99.75
玄武岩 (TD-21)	54.36	0.73	25.11	2.91	0.00	0.046	1.09	0.00	4.5	0.44	0.049	0.37	7.78	2.16	99.55
花岗岩 (TS-10)	76.49	0.02	13.52	0.43	0.11	0.050	0.07	0.23	5.01	2.80	0.002	0.00	0.98	0.00	99.77
硅质条带 (TD-9)	93.43	0.07	0.58	0.00	0.05	0.001	0.01	0.08	0.05	0.00	0.014	0.15	0.16	0.06	99.66
硅 华 (TS-8)	91.80	0.00	0.92	0.02	0.07	0.017	0.07	0.13	0.33	0.34	0.005	0.00	2.74	3.00	99.46

图 2 是根据所研究样品的化学成分以 Al_2O_3 、 SiO_2 、 K_2O 三组份为端点作的三角图, 不

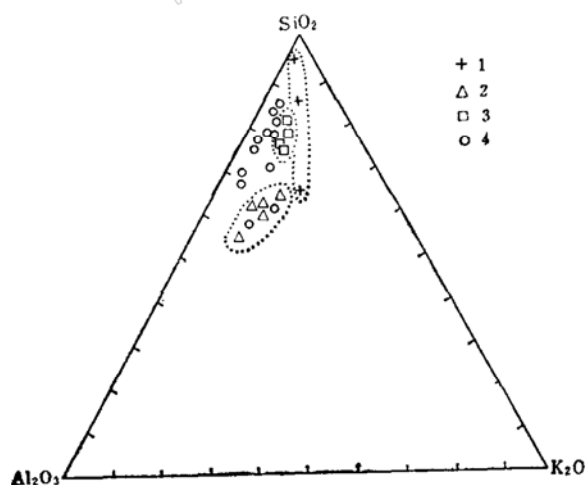


图 2 各种蚀变岩石 Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O 三组份投影图解

Fig. 2 Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O diagram of different altered rocks

1—安山岩; 2—玄武岩; 3—花岗岩; 4—花岗质砂砾岩

同蚀变岩石的化学成分经过在三角图上投点, 可以看出以下一些现象: (1) 除花岗质砂砾岩外, 安山岩、玄武岩、花岗岩的投点在三角图中都自成一个个体系, 互相并不叠加。这说明尽管这三种岩石都不同程度地遭受了水热蚀变作用, 但仍然保持了自身原始成分的特点。玄武岩作为母岩的蚀变岩石投点偏向 Al_2O_3 端点说明蚀变过程中泥化作用较强烈; (2) 花岗质砂砾岩的投点大多数叠加在花岗岩和玄武岩中, 而以花岗岩为主, 说明花岗质砂砾岩的原始物质主要来自花岗岩的破碎作用, 而和安山岩几乎没有什么关系。此外, 花岗质砂砾岩区在蚀变过程中主要以硅化和高岭土化为主; (3) 所有的蚀变岩石若和其未蚀变的原始成分相比, 投点均靠向 SiO_2 一端而偏向于 SiO_2 - Al_2O_3 组份线。

从它们各自的投点范围又揭示出硅化作用从强到弱的次序是安山岩→花岗岩→花岗质砂砾岩→玄武岩,而泥化作用从强到弱的次序是玄武岩→花岗质砂砾岩→花岗岩→安山岩,其中花岗质砂砾岩又以高岭土化作用为主而区别于玄武岩。

四、讨 论

从以上分析可知,地热区主要蚀变矿物的种类、含量和蚀变母岩的性质有着明显的成因关系。地热蚀变作用主要是地热水与围岩的交代作用,通过地热水组份与围岩组份的相互交换,形成新的矿物。因此,形成的新矿物的种类在一定程度上受母岩原始成分的制约。在所研究的热区范围内,地表出露面积最广的是上第三系的花岗质砂砾岩,岩石本身主要由长石和石英组成,其中的长石通过水热蚀变作用形成了高岭石。因而,在热区范围内,最大量出现和广泛分布的是高岭石,已经形成了潜在的具有一定储量的高岭土矿床。这是腾冲地热区的蚀变产物和世界上某些情况类似的地热蚀变区不同的地方^{[3][4][5]}。和日本山形县米沢市姥汤地热区的蚀变矿物种类相比,腾冲地热区分布最广的蚀变粘土矿物是高岭石,前者分布最广的蚀变粘土矿物是蒙脱石和绢云母^[5]。因为前者分布最广的蚀变母岩是更新世的安山岩和上第三系的凝灰岩,这两种岩石含碱和碱土金属离子较多,更有利于2:1型粘土矿物的形成。

综上所述,本文所要阐述的有关水热蚀变矿物的含量与蚀变母岩的关系可以归纳为以下几点:

(1) 云南腾冲地热区形成的主要蚀变矿物是高岭石、石英、蛋白石、绢云母和伊利石/蒙脱石混层矿物。

(2) 蚀变矿物的种类、含量和蚀变母岩有成因联系。花岗质砂砾岩和花岗岩主要蚀变形成高岭石。玄武岩蚀变形成绢云母、蒙脱石和伊利石/蒙脱石混层矿物。安山岩蚀变以形成石英和绢云母为主。

(3) 通过对蚀变矿物的矿物组合和化学成分的研究表明,地热区内泥化作用从强到弱的次序是玄武岩→花岗质砂砾岩→花岗岩→安山岩,其中高岭土化作用在花岗质砂砾岩中最发育。

(4) 由于热区内花岗质砂砾岩广泛分布,因此,高岭土化作用很强烈,形成了具有一定储量的高岭土矿床。

笔者在野外工作期间得到了云南省地矿局地矿处、水文处、科技处的大力支持和协助。云南省地热队在人力、物力上给予了极大的支持,并提供了大量野外地质资料,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Brindley, G. W., 1946. The structure of kaolinite. *Min. Mag.*, vol. 27, pp. 242-252.
- [2] 郑直、吕达人、周国平, 1987, 云南腾冲地热区高岭土的形成和蚀变矿物组合特征。矿床地质研究所所刊, 1987, 第2号, pp. 1-7.
- [3] Emmons, W. H., 1913. The hot springs and the mineral deposits of Wagon Wheel Gap, Colorado. *American Mineralogist*, vol. 8, no. 3, pp. 235-240.
- [4] Hayashi, 1973. Hydrothermal alteration in the Otake geothermal area. *Geothermal*, vol. 10, no. 3, pp. 9

-46.

〔5〕富樫幸雄，窪田康弘，山田營三，西村进，1978，山形県米沢市姥湯地熱域とその周辺に計する熱水変質帯，地質調査所報告，no.259，pp.415—435.

The Relationship between the Contents of Principal Altered Minerals and the Original Rocks in Tengchong Geothermal Area, Yunnan Province

Zhou Guoping Lü Daren

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

Key words: Geothermal alteration; mineral content; altered original rocks; Yunnan

Abstract

Tengchong, one of the largest geothermal areas in China, covers an area of 6000 km² and is noted for a great number of hot springs. As a result of frequent geothermal activities, all the rocks, mainly late Tertiary arkose and arkosic conglomerate composed of granitic gravels, granites, basalts and andesites, have been altered intensely. The hydrothermal altered mineral assemblages include (1) siliceous minerals, dominantly quartz and opal; (2) sulfates, mainly alunite; (3) kaolin minerals, chiefly kaolinite with small amounts of halloysite and dickite; (4) montmorillonite and chlorite; (5) interstratified minerals of illite/montmorillonite (I/M); (6) phosphates such as goyazite and woodhouseite.

The species and contents of the principal altered minerals are controlled by properties of the original rocks. Generally speaking, arkose and arkosic conglomerate and granites have been altered into kaolinite, and basalts into illite and smectite together with a little interstratified minerals of I/M. Silicified minerals are often developed in andesites. There occurs the sequence of argillization from andesite-granites-basalts-arkose and arkosic conglomerates in which kaolinization is developed widely.

Different altered minerals are distributed selectively in different grain diameters. Studies show that kaolinites are enriched in the grain size of <2 μm, interstratified minerals of I/M in the grain size of <1 μm, and sericites, quartz and opal gathered together in the coarse grains.

Studies show that arkose and arkosic conglomerates are responsible for the formation of kaolin minerals in the process of alteration. The kaolin deposit is formed through geothermal alteration of these rocks because they are extensively distributed in the geothermal area.