

硅桥问题——兼及当代热液 成矿理论的概念更新

杜 乐 天

(核工业北京地质研究院)

内容提要: 硅的地球化学是热液成矿理论网络中最重要的横向沟通桥梁之一。我们平日千百万次看到的一个最普通的矿物——石英却蕴藏了相当丰富的内涵,通过它可以把表面上几乎毫不相关的各个矿床和矿化类型联络成为一个巨系统。本文拟尝试提出一个热液成矿过程的新流程: $\text{HACONS} \xrightarrow{\text{A} \rightarrow \text{R}} \text{E} (\text{HCONS}) \rightarrow \text{E} + \text{SiO}_2$, H为氢,卤素(主要是氟、氯,也包括溴、碘),也代表热;A为碱金属(主要是钾、钠,还包括锂、铷、铯);C为碳;O为氧;N为氮;S为硫族(包括Se、Te)。HACONS可简称幔汁,它是对文献中地幔热流体的地球化学结构的确切陈述。R为岩石(主要指地壳岩石),E为成矿元素, SiO_2 为氧化硅(其矿物形式为石英、蛋白石、玉髓、燧石、碧玉,也包括蚀变中的硅化和沉积岩中的硅质层)。发自地幔的热流体沿深大断裂系统上涌进入地壳,混入地壳物质,其中的钠、钾等通过碱交代作用破坏岩石,释放成矿元素,后者被酸性挥发分(或称矿化剂)络合迁移,到减压、降温、中和区(陆上或海底)成矿元素和硅质发生沉淀、富集或成矿。

主题词: 硅地球化学 幔汁 碱交代作用

数十年来中外热液矿床研究的一个公认方式是矿床多习用元素来定名,研究什么元素矿床就认为该元素很重要,理应作为注意焦点,用各种办法集中详细研究它。这的确带来理论和找矿上的重大进步和成就。不过,另外也值得推敲,这种重要性和注意焦点毕竟是人们硬加给它们的。实际上在自然界物质流中这些成矿元素纯属微量成分,在成矿作用中完全是被动、从属性成员,并不重要,是热液中其它主成分决定了这些成矿元素的活化、释放、迁移、沉淀和富集的全部命运,其个性只有在这个大前提下才能显示。

若干年来,中外研究矿床总是采用俯视法,即从地表开始,向下到浅部,逐渐向深部。在信息量、观测量上一般是由浅到深明显减少。时间一久就养成了一个习惯,造成一个错觉,对矿床表部、浅部的研究和认识很深刻,而对矿床深部的研究却很少而淡薄。这种观测上的畸态很不利于对成矿规律的理解。例如,在矿床深部发育很多碱交代现象,由于无矿,即使坑道、钻孔都揭露到了,也不注意去深入研究,而这里恰恰是提供矿源之处。看来,除了使用俯视研究法以外还需要采用一种新的做法——仰视法来考察矿床。假定我们下降到矿床深部二三千米深处由下向上来观察矿床,那么所得到的自然图象就会大不相同,就不会对碱交代岩加以忽视。另外这种自下而上的考察程序也符合成矿过程的真正轨迹——假若是热液上升成矿的话。

如果进行上述两个习惯转变,那么也许就有可能比较容易接受下面的一些看法:硅迁移

和碱交代乃是了解全部热液成矿作用的两个关键问题,不深入研究加碱去硅(同时释放成矿元素)只靠孤立地研究成矿元素和矿物本身,要想真正认识热液成矿规律,可能是困难的。自然界不存在专门形成某个元素矿床的成矿作用,很多原来的单元素矿床后来发现了综合利用许多的伴生元素。或者换言之,同一成矿作用几乎具备形成各类元素矿床的可能性。奥林匹克坝除铜外还是特大型铀矿、金矿,其稀土、铂族等储量也相当可观;白云鄂博不仅是铁、稀土、铌矿床,另外还是大型钽矿床;云南一含铀煤盆同时又是世界级超大型锆矿;加拿大雪茄湖铀矿同时又是大型镍矿……等等不胜枚举。单元素矿床的概念对我们考虑成矿机制和综合利用成了一个束缚。另外,我们经常习惯于强调矿床之间的差异性,其实这不过是大地构造环境、成矿构造、赋矿围岩、地质部位、成矿时代、成分组合、结构上的外观表面差异,而在成矿作用的解释和认识上本质上是共同的,差异远不如表面现象那么大。从原来的复杂过渡到现在的简单,从本体论过渡到限定论可能是当前矿床学研究概念更新的重要内容。

一、 SiO_2 产于各种热液矿床和热水沉积矿床之中

关于硅质地球化学问题及其在热液成矿中的作用最近笔者又在拙文^[1]中做了进一步阐述。为了尽可能避免主观臆断,首先巡视一下 SiO_2 在热液矿床中的遍在性这一客观事实。

1. 热液铀矿 笔者与众多同事研究发现,我国花岗岩型铀矿是含铀硅质热液系统形成的^[2]。铀矿体就是含铀硅化带、石英脉。法国、西班牙、葡萄牙等地情况也类同。从全球范围看,热液铀矿床可分三大类:①酸性热液铀矿床(含铀硅化带、石英脉及萤石、水云母化蚀变破碎带);②中性热液铀矿床(铀矿体出现、定位于绿泥石化、绢云母化带中);③碱交代或碱性热液铀矿床。经详细工作后发现,前两种热液不是独立热液,而是从碱性热液经过碱交代耗碱(转入碱质蚀变岩石)和中和反应后碱度降低,经过中性到酸性演化的派生热液。

在碱交代铀矿床中很少发育含铀硅化带、石英脉,其原因是控制这类铀矿床发育的多是深切地幔的区域性大断裂(例如青海的冷龙岭大断裂、甘肃中部马路沟大断裂等),进行的是完全开放式碱交代,其突出地球化学特点是钾钠彻底分离(要么是纯钠交代,要么是纯钾交代)和硅碱彻底分离,分异出来的硅质和石英脉超出矿床范围,或者被剥蚀。碱交代岩的突出特征是 SiO_2 含量大量减低,岩石中大量石英溶失。在青海、甘肃、湖南、广东各地,花岗岩经碱交代后 SiO_2 由原来的72—75%降低到65—67%,石英消失。在芨岭,石英溶解后的空洞为新生钠长石、磷灰石、鲕绿泥石、次生石英及碳酸盐充填、而在法国马尔亚克、贝尔那当正长岩型铀矿花岗岩石英溶解为空洞,被后期铀石、蒙脱石充填而成为富铀矿^[3]。石英在碱性热液中是最容易溶解迁移的不稳定矿物,不仅有众多的野外、室内观察证据,而且也被一系列实验证实^[14,18,19]。根据硅-碱对应这一规律,可以认为只要有大规模硅质迁移、充填或海底硅质沉积,多半表明深部有大规模碱交代作用发生。其它酸性挥发分(特别是F、B)也和硅有同样指示功能。酸-碱对应是普遍存在的重大问题(硅是酸质重要成员)。河北沽源一大型火山岩铀矿在六七年前刚发现时,只知道浅部有含铀硅壳和硅化,后来深部揭露出大量碱交代岩。最近,苏联一超大型热液铀矿(上半部产在火山岩中,下半部产在基

底花岗岩中),在浅部发育大量萤石(F)和电气石化(B),通过2000 m深钻揭露发现矿床深部尽管没矿了,但碱交代岩却强烈发育,钠交代—钾交代—再钠交代三次叠加,各种岩石都经受钾、钠长石化。最近笔者曾看到从奥林匹克坝带回来的标本,该巨型矿床基底花岗岩显然遭受过强烈碱交代作用。另外白云鄂博矿床也是两次碱交代成因,早期是元古代海槽裂谷碱交代造成的热水沉积Fe、REE等地层富集,到海西岩浆活动期又经过陆上碱交代作用(NaF型热液叠加)带来F、Nb等矿化,并使Fe、REE进一步富集。总之,现在已经有确切的大量证据表明,存在酸蚀变和碱蚀变(即交代)在强度规模上的浅深对应性,这对于理解成矿机理和找矿均有很大意义。浅处的大规模酸质沉淀(矿多在其中)正是深部大规模碱交代和浸出的产物,这也是寻找超大型热液矿床和热水沉积矿床在地球化学上的重要判据。超大型热液矿床产自超大型碱交代作用。

2. 石英脉型热液矿床 不言而喻,此类矿床中主成分是石英(有各期次、各种粒度和颜色),而且几乎全部此类矿床深部现在都发现有碱交代岩对应(有人叫共轭,不如对应更富有内涵)。最突出的实例是金石英脉,经过胶东、夹皮沟、秦岭、江西等地金矿研究可以发现它们和含铀石英脉有惊人的相似。无金不硅,无硅不碱交代,没有碱交代和石英充填就没有热液金矿床^[4]。不错,在石英脉金矿中石英脉多穿过碱交代围岩,二者并非一期,不能说此石英脉就是从围岩交代岩而来。但是,由于碱交代岩经常不含矿,又在深部揭露的少,多年来很少专门深入研究,没有进行分期。

石英脉型铀矿和石英脉型金矿还有一个奇妙的对应性值得指出,在找矿上此两类矿床分别都经历过由前期专门注意寻找石英脉型到后期发展到寻找新的类型——蚀变破碎带型。在铀矿上我们称后者为黄峰岭型,是在1964年突破的,随后发现了一大批类似此新类型铀矿床。由于当时未公开,故鲜为人知。此石英脉型和蚀变破碎带型是同类同期热液形成,只是不同赋矿围岩和构造破碎方式引起的差异。

石英脉型钨锡矿床在华南广大地区总和石英脉型铀矿相邻,前者以分布于花岗岩体内外带为主,后者多数出现于岩体内部。二者成矿时代总是钨锡早于铀,大量铀铅钾氩年龄测定前者均在100 Ma以前,而铀多在100 Ma之后。在地形上钨锡石英脉总位于高山区而铀矿石英脉多位于相对低洼的丘陵区。大量对比工作表明钨锡成矿壳层总是位于铀矿壳层之上^[2]。也就是说,铀矿田所在的花岗岩体恰恰是钨锡石英脉几乎全被剥掉的花岗岩体(产铀矿花岗岩体的剥露面积总大于产钨锡花岗岩体,前者多为大于80 km²大岩基,后者多为数到数十平方公里)。我们在研究铀矿花岗岩体中所观察到的现象,会提供钨锡矿脉下数百米到1000多米深部的可贵信息,例如碱交代岩的广泛分布(多为钾钠混合交代,因为埋藏较深,这是一种封闭性较高的碱交代,钾、钠不能彻底分离,前后叠加而成)。

在西华山我们曾从高层坑道向下追索同一条含钨石英大脉,到深部坑道石英脉渐窄、分叉撒开,变薄到几毫米,从坑道壁顶部此薄脉向下越来越细,直至到坑壁下方,细脉消失于碱交代花岗岩中。然后又从此花岗岩取样切片,镜下见许多更细(0.2 mm)的石英脉穿插于碱性长石裂隙中。这确切地证实了上部宽达数米的含钨石英大脉是扎根于深部碱交代岩之中的。进一步研究表明此石英脉的多期决定于碱交代岩的多期,后者又决定于花岗岩侵入的多期。不久前,蒋少涌告知,他们通过硅同位素研究发现含钨脉石英来自花岗岩石英,又多了一个证据。

3. 矽卡岩矿床 对矽卡岩及其矿床,中外有很多高水平研究(赵一鸣等^[5],苏联 Жарикова 等)。矽卡岩形成最重要的地球化学机制是硅化。没有加硅,在硅酸盐岩围岩中就不可能形成矽卡岩矿物。特别值得指出,碳酸盐岩中的硅化恰好和岩体内的碱性长石化相对应。杨超群(1981)和笔者(1983)均提出过矿床规模和碱交代发育的规模和强度成正比^[6]。柿竹园矿床之所以成为超大型钨、锡、铋等综合矿床和强烈的碱交代作用极为有关^[7]。矽卡岩不是一期,岩体内碱交代也不是一期,二者多期交叉,会使二者关系复杂化。今后应对岩体内碱交代进行专门研究。

4. 玢岩型矿床 在宁芜一带此类型矿床上部发育强烈的硬石膏化和硅化^[8],与下部的强钠长石化、柱石化相对应。

与此不无关系的是太古-元古代含铁石英建造、大洋底现代铁、锰结核。日本的黑矿,其形成机制和矽卡岩铜铁矿、玢岩铁矿很相似,区别在于前三者发生在海底,产物外泄并经沉积作用而完成。近代太平洋中脊海底喷气热泉沉积中的白烟囱主要就是由 SiO_2 和石膏组成的。

5. 斑岩型矿床 在金堆城钼矿和德兴铜矿采场中由众多的含辉钼矿或黄铜矿的网脉状石英脉组成矿体,其旁侧就是典型的钾微斜长石化蚀变。我们在广东大宝山、江西银山、冷水坑等矿床也看到类似对应现象。

6. 花岗岩体鼓包顶盖相矿床 此类矿床一般也称之为钠长石花岗岩矿床(如宜春 414、湖南香花岭、广西栗木等)。在 414 和大吉山 69 号隐伏小岩盖的顶部均见有特征的石英壳(或伟晶岩壳),壳下花岗岩中既富含钠长石同时又富含石英和黄玉等,成为超酸过碱花岗岩。在这里又一次看到富碱、富硅和富挥发分的对应,紧密共生在一起(同一个手标本甚至同一薄片)。我们把这种类型看成为封闭式碱交代,由于顶板为砂板岩,又无断裂沟通,酸-碱和矿-碱不得分离而三位一体。伟晶岩矿床中的长石块体和石英块体(不分带者)和长石分带和石英内核(有分带性者)均表现为硅-碱的封闭共生。从完全开放式的碱交代型铀矿经过半开放半封闭式的矽卡岩型、石英脉型、玢岩型、斑岩型矿床到封闭式岩体顶盖相、伟晶岩相矿床,硅-碱分离间距规律性地减小,从上公里经数十、数百米一直到数公分。

7. 碳硅泥岩系及黑色页岩系 这是产铀矿、金矿甚至石油的一个重要的沉积岩系^[9,10]。它是裂谷中的热水沉积岩系,形成条件很特殊:大量 SiO_2 化学沉积,伴有很多杂类成矿元素,除金、铀外还有高浓度钼、钒、稀土、镍、磷、钡等等。再一突出特点是碳含量很高。自从红海海底多金属淤泥的发现,人们有理由认为上述各类沉积物实质上是海底深断裂上升热液经交代作用浸出矿质然后进入海水经沉积作用而形成。黑色页岩和碳硅泥岩中如此多之 SiO_2 ,究竟由何而来是值得研究的新问题。它和盆地基底的碱交代作用的可能联系恐怕不纯粹是猜想。

8. 海底火山喷气热泉矿床 近些年秦岭巨型铅锌成矿带的研究新成果很有启发意义(祁思敬等,1989;李英,1989;薛纪春等,1991)。硅质岩在泥盆系含矿层中最为普遍,与此密切相关的是钠长石岩类。还发育一种黑云方柱岩,并被认为是凝灰沉积岩,后又经卤水蚀变而成^①(实际上是碱交代岩)。在此又一次看到硅-碱的对应。在海底深断裂或裂谷环境下

① 薛纪春等,1991,秦岭泥盆纪热水沉积环境与海底热液沉积岩。中国矿物岩石地球化学学会通讯,第1期,第44—47页

易于发生开放式碱交代,特征是钾交代和钠交代往往分离分区进行。据李英(1991)报导,厂坝—李家沟以钾长石化—含碳钾长石石英条带(在大理岩中发育)为特征,而在大西沟矿床则以钠长石化为主。

另外,与此类成矿有关的是海底块状硫化物矿床,也经常发育燧石岩、硅质岩沉积地层,不拟赘述。

综上所述可以看出石英这一简单的矿物广泛出现于彼此很不相同的陆上、海底各类成矿类型矿床之中,而且大部分都能找到相应的同时代碱交代岩与之共存。这可能不是偶然的现象。也许会提出这样一个怀疑:是不是 SiO_2 一定来自碱交代作用?是否还有其它的来源?这是个值得今后注意的问题。我们初步认为: SiO_2 溶解度在中性、酸性水中均远低于碱性溶液;自然界还可有其它蚀变如绿泥石化、绢云母化等等,也会产生游离 SiO_2 ,但其规模均远逊于碱交代作用。我们跑了华南许多花岗岩体,其中碱交代现象如此广泛,是中外文献中根本未曾提到过的。另外,前已述及,即使是绿泥石化、绢云母化等也多是碱交代热液演化到近中性的派生蚀变。

在本节最后我们拟提出“夹载律”的问题。今以铀为例:铀元素通过碱交代从岩石中浸出进入溶液后,立即被热液中酸性阴离子 CO_3^{2-} (配位体)络合为络阴离子,如 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{2-}$ 。其它元素(金、铜、铅、稀土等)也同样易成络合阴离子迁移。一般文献中只列出阴离子,这是不合适的。在化学书中都同时给出阳离子,主要是 K^+ 、 Na^+ ,即 $\text{K}_2[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ 、 $\text{Na}[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ 。这表明搬运成矿微量元素的络阴离子只有在富 K^+ 或 Na^+ 的热液中才能大规模迁移和成矿。这就是为什么成矿溶液必须为碱交代热液的原因所在。如果 K^+ 、 Na^+ 一旦被 H^+ 取代(即酸化),到一定程度络阴离子即不稳定而水解沉淀。矿床学大量研究成果提醒我们,周期表中部的大多数过渡族成矿元素一边被碱金属族,另一边被右上角酸性离子络合,所夹持运载、迁移。此可称之为微量成矿元素的夹载律。 SiO_2 在富 K 、 Na 热液中溶解度又最大,故同时伴随着硅迁移。

二、碱金属从何而来

热液中的碱金属可以有以下来源:①地幔来源;②岩浆分异晚期富碱热液,火山大规模酸性喷气后热液;③混合岩化(混合岩化实质也是碱交代,程裕淇先生曾指出这一机制^[11]),混合岩化的碱可能也是幔源为主;④地层中的含盐层、膏盐层;⑤地壳中热卤水;⑥海水。

相比之下,碱金属最大规模的来源是地幔。这是本文中着重讨论的问题。证明这一点的有:

1. 很多富碱岩浆直接来自地幔,例如碱性玄武岩、金伯利岩、碳酸岩、苏打熔浆、钾镁煌斑岩、白榴响岩、苦橄岩、黄长岩、霞石正长岩、煌斑岩、A型花岗岩等等。
2. 沿深大断裂发生的碱交代见于地球各大陆,尤其在前寒武纪地块中更为发育。
3. 裂谷可视为碱谷^①,大规模富碱金属化合物的热水热泉和岩浆上涌。
4. 深源包体研究新成果发现在地幔中有广泛而强烈的交代作用,它们表现为:①橄

● 杜乐天,1987,裂谷地球化学。国外放射性地质,第3期,第1—5页

榄石、石榴子石、斜方辉石的金云母化^[15,20]、韭闪石化、钛闪石化(笔者认为皆属碱交代反应);②橄榄石、石榴子石、斜方辉石的单斜辉石化(透辉石化)(笔者认为皆属碱交代反应);③产生了一系列特殊的交代矿物组合,如:钛铁矿-金红石-金云母-硫化物;Cr、Fe、Ba、Ce、K的钛酸盐;云母-角闪石-金红石-钛铁矿-透辉石;透长石-橄榄石-透辉石;金云母-富钾钠透闪石-橄榄石。④发现一批富碱的特殊副矿物:沂蒙矿 $K(\text{Cr}, \text{Ti}, \text{Fe}, \text{Mg})_{12}\text{O}_{19}$; Scherbakovite $\text{Na}, K(\text{Ba})\text{Ti}_2\text{Si}_4\text{O}_{14}$; 柱红石 $(K, \text{Ba})(\text{Ti}_7, \text{Fe}^{3+})\text{O}_{16}$; Freudenbergite $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$; Triphylite $\text{Li}(\text{Mn}, \text{Fe})\text{PO}_4$; Natrophilite NaMnPO_4 ; Polydymite 含K的硫化物。

另外在金刚石中最近发现有富Na、K及挥发分的包裹体(O. Navon, 1988, M. A. Menzies, 1988)。

总之,现在已有充分的直接证据表明地幔是地球上最重要的最大规模的碱金属来源。

值得强调指出的是,在前文中所提及的各类型矿床发育区、集中区和成矿带,当时在大地构造上多属于边缘带、俯冲带、碰撞带或裂谷、裂隙带,其深部地幔软流层上隆^[14,15],造成了异常高热流值或者导致熔浆的产生或者出现大规模的陆上、海底热液活动。

我们的初步研究证明地幔和地壳中的软流层各种已知的地球物理特征如:高热流、低密度、低粘度、低强度、塑性形变、局部熔融、高电导、流变等等,均可用HACONS热流体相对富集加以圆满解释。特别是在地壳中大规模成矿所需的巨量碱金属和挥发分只有幔汁才能提供,当然这并不排斥当幔汁渗透向上进入地壳,吸收和激发地壳中的热流体活动。幔汁中不包括铝硅酸盐岩浆,后者是幔汁与地幔岩和地壳岩反应后的派生产物。在此顺便提及, Bailey D.K. (1970)首次提出地幔交代作用可以导致地幔熔融之后,大批西方研究者做了大量研究工作(Shneider, Egger, Weudlaudt, Freund, Dawson, Meuzies^[16], Harte, Boettcher, Haggerty, Wilshire Llord, Nixon^[17]等),均附和Bailey的论点。笔者认为这一论点是有问题的,实际上还不是地幔交代作为地幔熔融的前提,实质上是由此地幔交代作用所反映导致熔融的三大因素(热、碱金属、挥发分)参与才造成的熔融发生,而幔汁恰恰是由此三大要素组成的。软流层上隆或底辟使地壳拉张减薄和产生大规模断裂系统,有利于富集在软流层内的幔汁上涌,此幔汁在进入地壳后由于减压、降温逐渐由超临界态凝结为热液(也可有地壳物质混入),此热液即为碱交代热液。由于这是从很深处上涌的热液体,有强力的化学能和物理能,有强烈的交代、浸出、溶解和搬运矿质的能力,通过碱-酸联合对成矿元素的夹载,继续向上到浅部沉淀、富集和成矿。在成矿过程中发生了碱-酸分离,一般碱交代岩总先形成而且埋藏在较深处而由此分异出的酸性成分携带矿质继续向上,然后沉淀成矿。它们可以根据当地具体的地质环境和条件(岩石、构造、地层、岩体、大地构造部位等)而形成不同的矿化类型。至于究竟哪些元素富集成矿,又决定于热液上升途中所经过的岩石种类和岩性,不同岩性中有元素的不同平均含量,例如从花岗岩类岩石容易浸出亲岩元素(Li、Rb、U、Th、W、Sn、Nb、Ta等),从中性岩中易于浸取Cu、Mo、Pb、Zn等;从超基性岩、基性岩容易浸取Au、Cr、Ni、Co、V、Ti等。另外浸取何类成矿元素还和是钾交代还是钠交代也有关系,钾交代较多形成Cu、Mo、REE、W、Au矿等,而钠交代更多地形成Li、Rb、Fe、U、Nb、Ta、Zr、Hf等矿。最后,浸取何类元素成矿也还和液热中阴离子成分有某种关系,富氯型、富氟型、富硼型、富硫型、富氮型、富碳酸型均有

不同效果。

在一个矿床内部还会产生不同元素成矿的水平分带性和垂直分带性,这主要取决于元素间的不同地球化学性质。

最后需要交待的是本文前述成矿作用主要是从地壳岩石中取得成矿元素,然而现在已有众多资料表明有些成矿元素如 Hg、As、Sb、Au、CH₄、NH₃、CO、H₂ 等大部分可能直接来自地幔。一般认为麻粒岩中不成矿,但从幔汁作用成矿角度来看,此说很值得怀疑。

参 考 文 献

- [1] 杜乐天 1990 硅谜与碱岩 铀矿地质 第6期 第338—347页
- [2] 杜乐天 1982 我国花岗岩型铀矿的主要地质规律及成矿模式 花岗岩型铀矿文集 原子能出版社 第23—25页、第52—56页
- [3] J. 勒鲁瓦(孙维新译) 1982 法国克鲁齐尔铀矿地质及成因 原子能出版社 第76—102页
- [4] 杜乐天 1989 当代金矿床地质研究之谜 沈阳国际金矿地质与勘探学术会议论文集 东北工学院出版社 第491—494页
- [5] 赵一鸣、林文蔚等 1990 中国矽卡岩矿床 地质出版社
- [6] 杨超群 1981 钠氯型矽卡岩铁矿的地质地球化学特征及其形成机制 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊 第3号 第8页
- [7] 王书凤、张绮玲 1988 柿竹园矿床地质引论 北京科学技术出版社 第46—84页
- [8] 宁芜研究项目编写小组 1978 宁芜矽卡岩铁矿 地质出版社 第118—142页
- [9] 北京铀矿地质研究所 1982 碳硅泥岩型铀矿床文集 原子能出版社 第1—26页
- [10] 张爱云 1987 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义 科学出版社 第13—34页
- [11] 程裕淇 1987 混合岩和混合岩化作用 当代地质科学动向 地质出版社 第113页
- [12] 黄瑞华 1991 中国东部大陆莫霍面形态与锡矿分布关系初探 地质与勘探 第4期 第14—18页
- [13] 顾连兴、徐克勤 1986 论大陆地壳断裂拗陷带中的华南型块状硫化物矿床 矿床地质 第5卷 第2期 第9页
- [14] Kennedy, C. C., 1950, A portion of the system silica-water. Econ. Geol. Vol. 45, No. 7, p. 629.
- [15] Morevaperkalina, T. V., 1985, Ultramafic xenoliths from alkaline basalts of Finkenbug Sebegebirge, West Germany, Scripta Geol. No. 78.
- [16] Menzies, M. A., et al. 1987, Mantle Metasomatism. Academic Press. p. 15—355.
- [17] Nixon, P. H., 1987, Mantle Xenoliths. A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, p. 100—450.
- [18] Наумов Г. Е. 1978, Основы физико-химической модели уранового рудообразования Атомиздат.
- [19] Шефталъ Н. Н., 1956, Генезис пьзокварцевых месторождений в связи с данными искусственного выращивания кварца. Вопросы Геохимии и Минералогии, Стр. 142—168.
- [20] Семенова В. Г. и др. 1984, Глубинные включения в щелочных базальтоидах Токинского Становка. Изд. Наука Сибирское Отделение.

THE SILICA BRIDGE PROBLEM WITH SPECIAL REFERENCE TO CONCEPT CHANGES IN HYDROTHERMAL METALLOGENY

Du Letian

(Beijing Academy of Geology for Nuclear Industry, Beijing)

Abstract

The silicon geochemistry is a key to hydrothermalism and also a strong link between various hydrothermal deposits, connecting them into a giant integrated ore-forming system. In this paper a new model for hydrothermal processes is put forward, which can be formularized as $\xrightarrow{A \rightarrow R} E(HCONS) \rightarrow E + SiO_2$, where H stands for hydrogen, halogens(chlorine, fluorine, bromine and iodine) and heat, A for alkalis(sodium, potassium, lithium, rubidium and cesium, C for carbon, O for oxygen, N for nitrogen, S for sulfur, selenium and tellurium, R for pathway rocks in the upper mantle and the earth crust through which hydrothermal solutions pass, E for ore-forming elements and Si for silica in various forms such as quartz, opal, chalcidony, chert, sinter, silicification and siliceous sediments. The mantle ichor trends to ascend from the depth towards the surface, leaching ore-forming elements from pathway rocks through alkaline metasomatism (the introduction of alkalis into altered rocks), transporting the released components in the form of complex anions, precipitating them at shallower places, and thus resulting in the concentration or/and mineralization. The characteristic paragenetic associations are invariably ore minerals plus free silica.