

302铀矿床热液脉体的垂直分带及其成因探讨

金景福

倪师军 胡瑞忠

(成都地质学院, 成都)

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

摘要: 302 铀矿床是一个垂幅大、垂直分带较完整的花岗岩型铀矿床。研究结果表明, 热液脉体在垂向上表现出“上酸下碱、上氧化下还原”的分带性。这一垂直分带的主要原因是热液的混合和沸腾作用。

关键词: 铀矿床 热液脉体 垂直分带 热液的混合和沸腾

同其它一些重要矿床一样, 铀矿床找矿目前也面临着如何预测和寻找深部隐伏矿床的问题。对典型的铀矿床作深入细致的垂直分带研究工作, 有助于提高隐伏矿床找矿效果。由于 302 铀矿床热液脉体的垂直分带在华南花岗岩型铀矿床中非常典型, 所以我们选择该矿床作为解剖对象, 对其热液脉体的垂直分带现象、规律及其分带成因等几个问题加以探讨。

1 矿床地质特征

Z 岩体位于华南地槽褶皱系赣南后加里东隆起的西南缘。它是一个复式花岗岩体。302 铀矿床位于该岩体东南部的一个北东向断陷带中。矿床的围岩主要是印支期中细粒小斑状二云母花岗岩 (γ_2^{1-3})、燕山早期中粒斑状黑云母花岗岩 (γ_2^{2-1}) 和燕山晚期细粒二云母花岗岩 (γ_2^{3-1})。

该矿床主要的含矿构造为 F_9 断裂带。 F_9 断裂带走向为 $335^\circ \sim 355^\circ$, 其规模较大 (几公里长, 蚀变带几至几十米宽, 倾向延深一千多米)、倾角陡 ($80^\circ \sim 88^\circ$) 且具有多次活动的特点。从早到晚, F_9 断裂带的性质表现为扭→扭张、张扭→张性。铀矿体主要呈似脉状、扁豆状或透镜状产出于 F_9 断裂蚀变带中。铀矿床垂幅很大。自地表 (海拔 500 m 左右) 至矿床深部 (海拔 -647 m) 范围内, 均见有工业铀矿体分布。

在海拔 -647 m 至海拔 -200 m 之间, 主要分布着以灰色微晶石英+沥青铀矿+绿泥石+黄铁矿组合的“灰绿色矿石带”。在海拔 200 m 至近地表 (500 m 标高), 主要分布着以红色微晶石英+沥青铀矿+赤铁矿组合的“红色矿石带”。在“红色矿石带”和“灰绿色矿石带”之间出现有一个过渡性质的“杂色矿石带”。据此, 我们将矿床在垂向上划分为下部 (海拔 -647 m 至海拔 -200 m)、中部 (海拔 -200 m 至海拔 200 m) 和上部 (海拔 200 m 至海拔 500 m 左右) 三个部分。

2 热液脉体的垂直分带现象和规律

根据热液脉体的相互穿插关系、矿物共生组合以及热液作用的物理化学条件研究, 可以将矿床热液活动划分出铀成矿前 (A)、铀成矿 (B) 和铀成矿后 (C) 三个阶段。下面对这三个阶段形成的热液脉体及其垂直分带特征分别加以叙述。

2.1 铀成矿前阶段的热液脉体及其垂直分带特征

铀成矿前主要见有含钨石英脉 (A_1)、白色石英脉 (A_{2-1}) 和一些绿泥石、碳酸盐矿物之细脉 (A_{2-2})。

含钨石英脉 (A_1) 呈北东东向 ($60^\circ \sim 70^\circ$) 或东西向零星分布于矿区东部。脉体长数十米至数百米, 宽数厘米至数十厘米。两侧围岩中发育有微弱的云英岩化。脉体的形成温度为 269°C 左右 (均一法)。脉体中主要矿物为石英。黑钨矿较少见, 且在脉体中的分布也不均匀。此外, 还有少量的黄铁矿、黄铜矿、辉铋矿、闪锌矿等金属硫化物。石英中 SiO_2 含量可达 99.35% , 其次有少量的 Al_2O_3 、 BeO 、 K_2O 等。石英的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 2.75 。石英的 U 和 Th 的含量分别都低于 0.1×10^{-6} 。但脉体中 U 可达 2.5×10^{-6} , Th 可达 4×10^{-6} 。

白色石英脉 (A_{2-1}) 多呈北北东向、北西向和近东西向分布。脉体长数米至数十米不等, 个别可长达百余米。脉宽在数厘米至数米之间。脉体的形成温度为 313°C 左右 (均一法)。脉体中主要矿物为石英, 偶见粉红色萤石、黄绿色绢云母和黄铁矿。石英中 SiO_2 含量可达 $95.23\% \sim 99.05\%$, 其次有少量的 Al_2O_3 、 $5\text{K}_2\text{O}$ 、 Na_2O 、 BeO 、 S 等。石英的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 5.29 。石英中铀含量低于 1×10^{-6} 。但脉体中 U 含量为 10×10^{-6} 左右, Th 含量为 10×10^{-6} 左右。

在矿床垂向上, 含钨石英脉主要分布于海拔 300m 至 500m 区间。白色石英脉产出的标高稍低于前者, 多在海拔 50m 至 400m 之间出现。

绿泥石、碳酸盐矿物细脉 (A_{2-2}) 主要分布于矿床中、下部位 (海拔 100m 至 -647m 之间), 常常在成矿前碱交代体的裂隙中呈细脉状和网脉状产出。碱交代体主要出现有钠 (钾) 长石、绿 (黝) 帘石、绿泥石和碳酸盐矿物组合。在热液脉体中, 除绿泥石和碳酸盐矿物外, 尚有少量的绢云母和碱性长石。从 $\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 体系矿物平衡相图^[1]可知, 与高岭石共生的绿泥石一般形成于弱酸性环境; 与绢云母或钾长石共生的绿泥石则形成于弱碱性或碱性环境。由此看来, 此处的绿泥石、碳酸盐矿物细脉应该是在偏碱性环境下形成的。

总体来看, 成矿前热液在一定程度上表现出“上酸 (A_1 、 A_{2-1} 脉) 下碱 (A_{2-2} 脉)、上氧化 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 较高) 下还原”的垂直分带特点。

2.2 铀成矿阶段的热液脉体及其垂直分带特征

铀成矿阶段主要出现有含铀隐晶、微晶石英脉 (B_1) 和含铀紫黑色萤石脉 (B_2)。

含铀隐晶、微晶石英脉 (B_1) 是该矿床最重要的含铀热液脉体。从地表至深处 (海拔 -647m) 均可见该阶段脉体的分布。不过, 在矿床中部和上部, 该脉体的规模和分布密度都相对大于矿床下部。脉体的形成温度为 263°C 左右 (均一法)。主要矿物有隐晶、微晶石英和沥青铀矿, 其次有少量水 (绢) 云母、绿泥石、赤 (黄) 铁矿、方铅矿、黄铜矿。偶尔可见少量的钠长石、萤石、高岭石和碳酸盐矿物。石英的 SiO_2 含量可达 96.34% , 其次有 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 等。其 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 5.72 。 U 含量为 $27.09 \times 10^{-6} \sim 2990 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $13.29 \times 10^{-6} \sim 140 \times 10^{-6}$ 。

在矿床垂向上的不同部位, 脉体中的矿物组合不尽相同。例如矿床上部的脉体中出现有红色隐晶、微晶石英、沥青铀矿、赤铁矿、水云母、少许高岭石和萤石组合; 矿床下部的脉体中出现灰黑色隐晶、微晶石英、沥青铀矿、黄铁矿、绢云母、绿泥石、少许钠长石和碳酸盐矿物组合。矿床中部脉体中矿物组合介于上述二者之间。

矿床上部的赤铁矿、水云母、高岭石和萤石组合反映出热液脉体形成于相对氧化和偏酸性的环境; 矿床下部的黄铁矿、绢云母、绿泥石、钠长石组合则反映出脉体形成于相对还原和偏碱性的热液环境。

在矿床垂向上的不同部位, 热液脉体中的微晶石英也有明显的差别。产在矿床上部的微晶石英呈红色, 在矿床下部它则呈灰黑色。除了颜色上的差别外, 微晶石英的热释光性质、晶胞参数以及矿物中杂质组分含量均有明显的垂直分带性。矿床上部的微晶石英晶胞体积相对大, 陷阱类型相对少, 陷阱深度相对浅, ATL (人工热释光) 发光强度相对低, ATL 发光曲线上只有一个单峰; 矿床中部和下部的微晶石英晶胞体积相对小, 陷阱类型相对多, 陷阱深度相对深, ATL 发光强度相对高, ATL 发光曲线上出现 $2 \sim 3$ 个峰^①。

① 倪师军等, 应用微晶石英标型特征来研究其隐伏铀矿床的垂直分带, 矿物学报, (已接受)

在矿床的不同部位,微晶石英的杂质组分也有明显的差别。例如矿床上部的微晶石英杂质组分以 Al、Li、K 含量相对高而 Na、Fe、Mg、Cu、Zn、Ca、Th 相对低为特点;矿床下部的情况则刚刚相反(表 1)。

表 1 成矿阶段微晶石英杂质组分 ($\times 10^{-6}$)Table 1. Impurities in microcrystalline quartz at the ore-forming stage (10^{-6})

矿床部位	样品数	Al	Cu	Li	K	Na	Ca	Zn	Fe	Mg	U	Th
上	7	15857	52.3	113.5	7485.7	3491.4	474.3	368.9	1157	444	27.09	13.29
中	6	9983	75.6	91.8	5750	7016.7	2320	491.2	1573	1257	374.3	17.7
下	5	6000	52.4	77.2	4720	7220	21340	607.2	598.2	604.8	2990	140

分析单位: 成都地质学院应用化学系和核工系

对上述杂质组分作了多组(矿床上部、中部和下部分三组)逐步判别分析。取临界值如下: $F_1 = 2.92$, $F_2 = 2.86$ 。结果引入六个变量。其判别函数为:

矿床上部:

$$f_1 = -5.7959 + 0.0478 \cdot \text{Cu} + 0.0001 \cdot \text{K} + 0.0015 \cdot \text{Na} - 0.0002 \cdot \text{Ca} - 0.0033 \cdot \text{U} - 0.0507 \cdot \text{Th}$$

矿床中部:

$$f_2 = -26.3291 + 0.1956 \cdot \text{Cu} - 0.0023 \cdot \text{K} + 0.0063 \cdot \text{Na} + 0.0012 \cdot \text{Ca} + 0.0099 \cdot \text{U} - 0.1020 \cdot \text{Th}$$

矿床下部:

$$f_3 = -110.3156 + 0.2751 \cdot \text{Cu} - 0.0045 \cdot \text{K} + 0.0092 \cdot \text{Na} + 0.0044 \cdot \text{Ca} + 0.0559 \cdot \text{U} - 0.5946 \cdot \text{Th}$$

用上述三个判别式对已知分组的 18 个样品进行回判。计算结果表明,已知 18 个样品的判别归类与原归类是一致的(表 2)。换句话说,回判准确率达到 100%。由此看来,上述三个判别式可作为区分微晶石英杂质组分的垂直分带的又一个依据。

含铀紫黑色萤石脉 (B_2) 常常分布在含铀隐晶、微晶石英脉体的膨胀部位。这一阶段脉体的规模不大。脉宽仅数厘米,脉长数厘米至数米不等,多呈细脉状、网脉状和不规则块状产出。有时可见紫黑色萤石胶结红色微晶石英角砾的现象。脉体形成温度为 200°C 左右(均一法)。脉体中矿物主要为紫黑色萤石、沥青铀矿。尚有少量微晶石英等。萤石的化学成分主要为 F (44.36%) 和 Ca (43.43%),还有一定的 SiO_2 (3.34%)、MgO (1.5%) 以及少量的 Al、Na、K 等。U 为 $100 \times 10^{-6} \sim 6820 \times 10^{-6}$, Th 为 $4 \times 10^{-6} \sim 230 \times 10^{-6}$ 。

尽管含铀紫黑色萤石脉 (B_2) 在矿床不同垂深部位均有分布,但是它主要集中分布于海拔 400 m 至 0 m 范围内,也就是说,在矿床中、上部位,该脉体 (B_2) 的规模和分布密度相对大于矿床下部。这说明在弱酸性较氧化的矿床中、上部位更有利于紫黑色萤石脉的形成。

矿床不同垂深部位的萤石有一定的差别。矿床中、上部位的萤石多呈紫色, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 较高(可达 6.20)。矿床下部的萤石多呈黑色,其 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 相对低一些 (2.0~2.5 左右)。矿床上部的萤石的 ATL 发光量相对低,陷阱深度相对浅;而矿床下部的萤石的 ATL 发光量相对高,陷阱深度相对深^①。

2.3 铀成矿后阶段的热液脉体及其垂直分带特征

铀成矿后阶段的热液脉体主要有粘土-萤石-石英脉 (C_{1-1}) 和方解石脉 (C_{1-2})。

① 倪师军等, 392 铀矿床石英、萤石和方解石的热释光的矿床垂直分带, 矿物岩石, (已接受)

表 2 微晶石英成分垂直分带判别分析

Table 2. Discriminant analysis of the composition of microcrystalline quartz along vertical zones

样 品 号	海拔 (m)	原 分 组	P_A	P_B	P_C	$\text{Max}\{P_i\}$	判别后归组
CV-1	500	A 组矿床上部	0.9999	0.0000	0.0001	0.9999	A
CV-2	435		0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	A
CV-3	400		1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	A
CV-4	341		0.9997	0.0002	0.0001	0.9997	A
CV-5	330		0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	A
CV-6	300		0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	A
CV-7	250		0.9999	0.0001	0.0000	0.9999	A
CV-8	0	B 组矿床中部	0.0001	0.9999	0.0000	0.9999	B
CV-9	-15		0.0503	0.9496	0.0001	0.9496	B
CV-10	-30		0.0001	0.9999	0.0000	0.9999	B
CV-11	-109		0.0001	0.9999	0.0000	0.9999	B
CV-12	-110		0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	B
CV-13	-200		0.0001	0.9999	0.0000	0.9999	B
CV-14	-210	C 组矿床下部	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	C
CV-15	-216		0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	C
CV-16	-240		0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	C
CV-17	-397		0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	C
CV-18	-420		0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	C

粘土-萤石-石英脉规模大小不等。脉宽数厘米至数米,长数米至数十米,甚至上百米。脉体的形成温度为 175°C 左右(均一法)。脉体中的矿物主要有浅蓝(绿)色萤石、乳白色石英和一些粘土矿物(主要是高岭石)。石英、萤石和粘土矿物组成韵律条带(图1)。脉体的化学成分以 SiO_2 (46.15%)、 CaO (36.64%) 和 F (23.03%) 为主,其次还有少量的 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 等。U 含量为 $1.7 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-6}$ 。Th 含量为 $1 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$ 。 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 2.51。

粘土-萤石-石英脉 (C_{1-1}) 主要分布在海拔 -100m 至 400m 范围内。高岭石-萤石-石英组合和脉体中较高的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值反映出较氧化偏酸性的热液环境。

方解石脉 (C_{1-2}) 常常呈细脉状和不规则脉状穿插到成矿阶段的热液脉体中。个别大脉可长达几米。脉体的形成温度为 168°C 左右(均一法)。主要矿物为方解石。化学成分主要为 CaO (54.80%)、 CO_2 (44.51%),其次有少量的 Si、Al、K、Na、Mg、Fe 等。U 含量为 $3.8 \times 10^{-6} \sim 6.5 \times 10^{-6}$, Th 为 $2 \times 10^{-6} \sim 7.0 \times 10^{-6}$ 。 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 2.51。

方解石脉集中分布在海拔 100m 至 -647m 范围。然而,在海拔 100m 至 400m 区间亦可见到零星的分

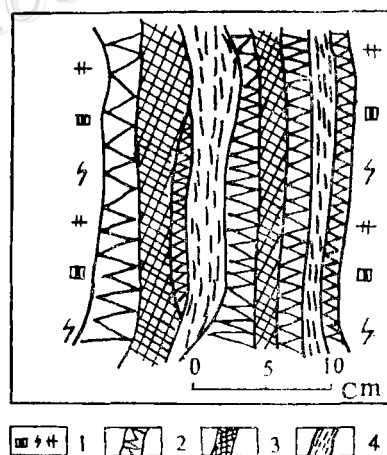


图 1 粘土-萤石-石英脉

1—赤铁矿化硅化碎裂岩; 2—石英; 3—萤石; 4—粘土矿物

Fig. 1. Sketch of a clay-fluorite-quartz vein.
1—Hematitized-silicified cataclastic rocks; 2—Quartz; 3—Fluorite; 4—Clay minerals.

解石脉。在矿床不同垂深部位的方解石亦有一定的差别。矿床上部的方解石多呈肉红色和玫瑰色,矿床下部的方解石多呈浅灰色和灰白色。从矿物热释光性质来看,矿床上部的方解石的陷阱深度相对浅一些,ATL发光强度相对高一些。矿床下部的方解石的情况则刚刚相反^①。

总体来看,成矿后阶段的热液脉体在一定程度上也存在着“上酸下碱、上氧化下还原”的垂直分带性。矿床上部粘土-萤石-石英脉占主要地位;而矿床下部以方解石脉为主。前者形成于弱酸性相对氧化的环境,后者形成于弱碱性相对还原的环境。这种“萤石在上、方解石在下”的垂直分带现象,在华南其它一些花岗岩型铀矿床中也非常明显(例如339铀矿床)。

2.4 各阶段热液脉体垂直分带的共同点

综上所述,302铀矿床热液脉体具有明显的垂直分带性。矿床上部和中部相对多地出现一些弱酸性较氧化环境下形成的热液脉体(如含钨石英脉、粘土-萤石-石英脉等);而矿床下部则相对多地出现一些弱碱性较还原条件下形成的热液脉体(如绿泥石、碳酸盐矿物细脉和方解石脉等)。热液脉体的“上酸下碱,上氧化下还原”的垂直分带现象,在铀成矿前、铀成矿和铀成矿后三个阶段分别都有不同程度的表现。这就是各阶段热液脉体垂直分带的共同点。

3 热液脉体垂直分带成因探讨

研究表明^②,热液脉体垂直分带的一个可能的原因在于热液成分的垂向变化,而热液成分的变化又受到热液的混合和沸腾作用的影响。

3.1 热液成分的垂向变化

根据矿物包裹体成分分析结果(表3)可以了解矿床不同部位热液成分的变化趋势。矿床上部和矿床

表3 热液成分的垂向变化 (mol/kg H₂O)

Table 3. Vertical variation in hydrothermal composition

热液阶段	铀成矿		铀成矿后	
矿床部位	上部	下部	上部	下部
样品数	6	4	7	5
K ⁺	0.5155	0.5026	0.1854	0.0443
Na ⁺	0.4705	0.5524	0.3207	0.3543
Ca ²⁺	0.4963	0.3584	2.6342	1.8761
Mg ²⁺	0.2084	0.3217	0.1635	0.0668
HCO ₃ ⁻	0.9691	0.8464	0.1901	1.9541
F ⁻	0.1654	0.0648	3.3011	0.7692
Cl ⁻	0.3384	0.4565	0.2160	0.0955
SO ₄ ²⁻	1.5873	1.4214	0.0733	0.0250
CO	1.2965	2.5431	1.1216	1.0157
CH ₄	0.6341	1.0417	0.0246	0.5675
CO ₂	2.4472	2.0984	1.9127	1.5940
ΣU	0.0170	0.1227		
SiO ₂	0.0637	0.0704		

注:由南京大学和成都地质学院测定

① 倪师军等,302铀矿床石英、萤石和方解石的热释光的矿床垂直分带,矿物岩石,(已接受)

② 倪师军,1990,三〇二铀矿床垂直分带模式,成都地质学院博士学位论文

下部的热液成分有较明显的差别。例如,成矿阶段矿床上部挥发组分、氧化性组分和酸性组分相对高于矿床下部。矿床上部 F^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 的含量分别为 0.1654、1.5873、2.4472 mol/kg H_2O , 比矿床下部这些组分的含量 0.0648、1.4214、2.0984 mol/kg H_2O 要高。矿床下部的 Na^+ 、 CH_4 、 Mg^{2+} 的含量分别为 0.5524、1.0417、0.3217 mol/kg H_2O , 而矿床上部这些组分的含量分别为 0.4705、0.6341、0.2084 mol/kg H_2O 。铀成矿后阶段也是如此,矿床上部的 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 等组分的含量相对地高于矿床下部,而 Na^+ 、 HCO_3^- 、 CO 等组分的含量则相对地低于矿床下部(表3)。

上述热液成分的变化说明矿床上部相对地富含偏酸性和较氧化性组分,而矿床下部则相对地富含偏碱性和较还原性组分。热液成分相对地出现了“上酸下碱、上氧化下还原”的垂向变化。在已知热液成分和温度的条件下,根据 CO_2 和 HCO_3^- 的溶解平衡和 CO_2/CH_4 、 CO_2/CO 、 CO/CH_4 这几对组分的氧化还原反应可以计算热液的 pH 值和 Eh 值^[2,4]。计算结果表明^①,矿床上部热液的 pH 值相对低于矿床下部, Eh 值则相对高于矿床下部。例如,在铀成矿阶段的热液中,矿床上部的 pH 值比矿床下部相对低 1.7,而 Eh 值则比矿床下部相对高 0.1014 V。由此可见,矿床上部热液的酸性和氧化性相对地高于矿床下部。

3.2 热液的混合和沸腾对热液性质的影响

302 铀矿床曾发生过两次规模较大的热液混合作用和一次热液沸腾作用。关于热液混合和沸腾的证据、作用过程等内容,我们另有文章专门论述^②。因此,下面仅简述一下热液的混合和沸腾对热液性质的影响。

铀成矿前阶段发生了第一次热液混合作用。当时,由于华南铀成矿区发生区域性壳拉张,红色盆地和断陷带开始形成并下降,大量的幔源中基性岩脉($110 \times 10^6 a \sim 100 \times 10^6 a$)贯入到花岗岩中。因此,既有冷的、弱酸性和较氧化的大气降水下降,也有热的、弱碱性和较还原的幔源流体上升。它们与残留于花岗岩中的弱酸性热液形成“三元混合”。这样一种热液混合作用,必然导致热液成分在矿床垂向上的不均一分布。热液的“上酸下碱、上氧化下还原”的垂直分带,在铀成矿前阶段就已呈雏形。

铀成矿阶段发生了热液的沸腾作用。由于铀成矿前阶段幔源流体的混入,热液中增加了热量和挥发组分。铀成矿时,成矿构造的力学性质转化为以张和张扭为主。构造的开启、热液赋存空间的膨胀,导致了“减压去气”作用的发生。在这种情况下,热液发生了沸腾。在热液沸腾过程中,由于酸性气体易于转入蒸气相^[3],大量的 F_2 、 SO_2 、 O_2 等从矿床下部的热液中被驱赶到矿床上部,这无疑会进一步促进热液成分“上酸下碱、上氧化下还原”的垂直分带。

铀成矿后阶段发生了第二次热液的混合作用。这次热液混合作用规模不大,主要是由成矿后残留热液与大气降水的混合而成。因此,这次热液混合作用,可导致矿床上部热液成分的酸性和氧化性相对增强。

热液的混合和沸腾作用引起了热液性质(成分、pH、Eh等)在矿床垂向上的变化,这是导致热液脉体垂直分带的可能的重要原因。

热液脉体“上酸下碱、上氧化下还原”的垂直分带现象虽然是从一个铀矿床总结出来的,但是这一分带现象在华南许多铀矿床中均有不同程度的显示。例如,339、330、333等铀矿床就不同程度地显示出热液脉体“上酸下碱、上氧化下还原”的垂直分带特点。在华南花岗岩型铀矿床分布区,热液脉体的这一垂直分带规律对于推断铀矿床剥蚀程度以及指导盲矿预测工作,均具有较大的理论意义和实际价值。

野外工作中,曾得到地质矿产部七〇五地质队以及国营七四五矿的大力支持和帮助,谨此致谢!

参 考 文 献

- 1 章邦桐等,内生铀矿床及其研究方法,北京:原子能出版社,1990,243
- 2 Arnorsson S, Sigurdsson S. The chemistry of geothermal waters in Iceland. I. Calculation of aqueous speciation from 0° to 370°C. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 1982 46: 1513~1532
- 3 Drummond S E, Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems.

① 倪师军,1990,三〇二铀矿床垂直分带模式,成都地质学院博士学位论文

② 倪师军,302铀矿床热液的混合和沸腾作用及其地质意义,成都地质学院学报,1992,第4期(印刷中)

Econ. Geol., 1985, 80: 126~147

4 Nordstrom D K. Geochemical thermodynamics. The Benjamin/Cumming Publishing Co., 1985, 197~207

VERTICAL ZONING OF HYDROTHERMAL DIKES IN THE No. 302 URANIUM DEPOSIT AND THE CAUSE OF ITS FORMATION

Jin Jingfu

(Chengdu College of Geology, Chengdu, Sichuan Province)

Ni Shijun and Hu Ruizhong

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang, Guizhou Province)

Abstract

The No. 302 uranium deposit is a granite type deposit with considerable vertical extension and relatively complete vertical zoning. Studies of hydrothermal dikes reveal the existence of vertical zoning characterized by "acid and oxidized minerals present in the upper part, and alkaline and reduced minerals seen in the lower part", which is believed to have resulted from the mixing and boiling of hydrothermal solutions.