

河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床金的富集规律

王 宝 德

(河北地质学院·宣化)

祁雨沟隐蔽爆发一坍塌角砾岩型金矿床,是我国近年发现的新类型矿床。文中总结了该矿床的时空分布、围岩蚀变、角砾岩及胶结物性质、载金矿物、自然金的形成特征和富集规律。指出金的沉淀富集,是在矿液降温、稀释作用以及由弱酸性向弱碱性转变的条件下发生的。

关键词: 河南省;祁雨沟金矿;隐蔽爆发一坍塌角砾岩型矿床;金的富集规律

祁雨沟金矿是以隐蔽爆发一坍塌角砾岩型为主,包括同源、同期、不同成矿空间产出的破碎带蚀变岩型和石英脉型的多型一体金矿床。它是我国近年发现并肯定的新矿床类型。目前在河南嵩县西北部已发现同类角砾岩体30多个,其中大一中型矿床1个,小型矿床多个。搞清该类型矿床金的富集规律,借以评价众多岩体的含金性,提供找矿标志,无疑是重要的。

矿区地质概况

矿区位于华北准地台南缘豫淮台褶皱带熊耳断拗与秦岭地槽北缘的交界处,属于燕山—上宫—祁雨沟金多金属成矿带的东端。

区内广泛发育太古界太华群中、下段,相当于区域石板沟组,次为中元古界熊耳群张合庙组(图1),二者均为含金角砾岩体的主要围岩。太华群主要为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩;次为呈1~2m厚夹层或透镜体产出的混合岩类和斜长角闪岩。熊耳群主要由变安山岩、大斑晶变安山玢岩和变杏仁状安山岩组成。

在区域上,矿区位于陶村—王庄背形褶皱东南端;构造以断裂为主,有北西、北

东、北北东向3组。北西向断裂规模较大,最先形成,先后经历过挤压—拉长—挤压作用。它控制了区域和矿区范围的角砾岩体,使其成群成带分布,是一组导矿、控矿断裂。北东向断裂形成略晚,规模较小,但在矿区内很发育;它对角砾岩体和构造蚀变岩型金矿控制明显,尤其是与北西向断裂交汇处;它是一组具有多期活动特征的控矿、容矿构造。北北东向断裂为成矿后的构造。

区内岩浆活动频繁,自前加里东至燕山期都有活动。燕山中晚期钙碱性、中酸性岩浆侵入规模大而强烈,形成区域上与金矿有物源联系的花山花岗岩基和广泛分布的中酸性—酸性岩脉、岩株。同时,伴随有岩浆—热流体隐蔽爆发一坍塌作用形成的角砾岩体和角砾岩型金矿床。

角砾岩体及其矿化特征

矿区内共有7个角砾岩体(编号J₁~J₆、J₇),呈北西—南东向带状分布于北西向和北东向断裂交汇处及其近旁,略具等距性。据现有工程控制,J₂、J₄、J₅和J₆角砾岩体内均有工业矿体产出,J₄岩体已构成大一中型金矿床。角砾岩体在平面上多呈纺锤状和

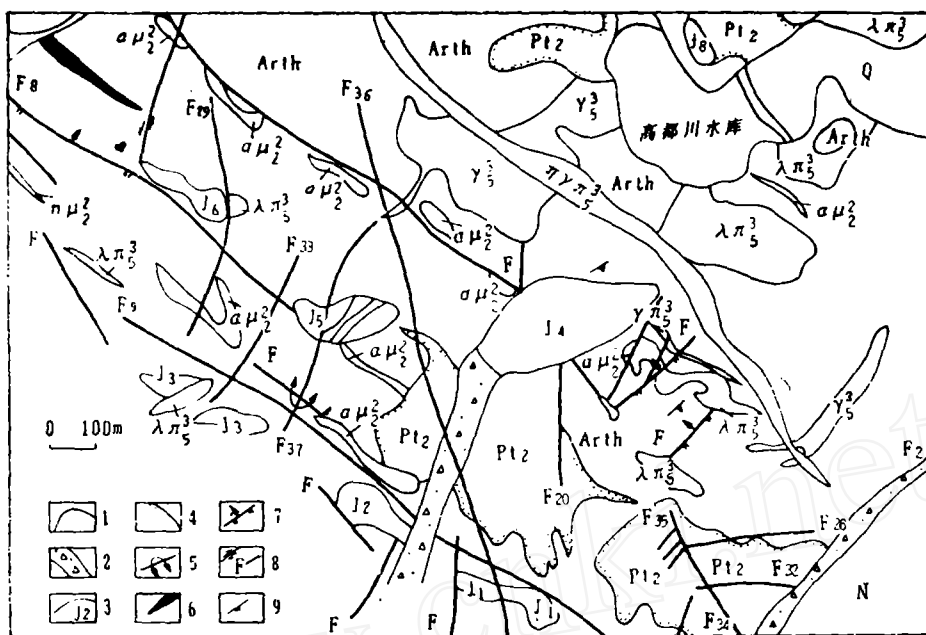


图 1 祁雨沟矿区地质略图

Q—第四系；N—第三系；Pt₂—熊耳群；Arth—太华群； $\pi\gamma\pi_3$ —角闪二长花岗岩斑岩； γ_5^3 —黑云母花岗岩； $\lambda\pi_5^3$ —石英斑岩； $\gamma\pi_5^3$ —花岗斑岩； $\alpha\mu_2^3$ —变安山玢岩；1—角砾岩体及其编号；2—构造破碎带；3—实测地质界线；4—角度不整合界线；5—歪斜褶皱；6—背形轴迹；7—逆断层；8—平移及性质不明断层；9—片麻理产状

不规则长条状，空间上以陡倾筒状为主，向深部有变小的趋势。角砾岩体与围岩界线清楚，多呈陡立锯齿状，局部形成数至数十米的震碎带。单个岩体出露面积为0.001~0.048km²。

角砾成分主要是角砾岩体顶盖的变安山岩类、片麻岩类围岩和少量石英斑岩、正长斑岩等。角砾大小不均，大者3~5m，小者0.5cm（<0.5cm为岩屑晶屑胶结物）。斑岩类角砾较小（一般0.5~30cm）。角砾以棱角状、次棱角状为主，尖棱角状和浑圆状次之。

胶结物含量一般为5~10%，局部为10~20%。按胶结物的成分和形成方式，可分为岩屑晶屑型、蚀变矿物型和矿质型。岩屑成分与角砾对应；晶屑主要残留于早期蚀变矿物之中。按主要蚀变矿物种类可将蚀变矿物型胶结物分为：石英黑云母型、石英正长石

型、方解石和绿帘石绿钙（钠）闪石型。矿质型胶结物主要为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等金属硫化物团块或细脉充填于角砾之间，分布极不均匀。

热液蚀变和矿化主要局限于角砾岩体内，在围岩中表现微弱，主要类型有：石英化、正长石化、绿帘石化、绢云母化、钠长石化、黑云母化、绿钙（钠）闪石化、方解石化和绿泥石化等。具较明显的中心式面型蚀变分带，水平分带见图2；垂直分带自上而下为：青磐岩化带→石英黑云母化带→石英正长石化带→石英正长石绿钙（钠）闪石化带。

金矿体受角砾岩体控制，平面上呈椭圆状、长条状和不规则状；剖面上呈透镜状、哑铃状或条带状（图3）。走向长数十至数百米，厚度一般<10m。品位很不均匀。每个角砾岩体可产数十数个矿体。

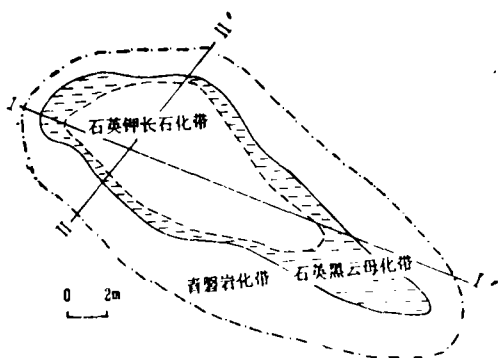


图 2 J₂号角砾岩体蚀变水平分带
(标高583m)

主要金属矿物有自然金、银金矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿等，矿化晚期出现数量少而品种多的铋硫盐矿物和铋的碲化物矿物。矿物共生组合可分为：
①石英—黄铁矿；②黄铁矿—辉钼矿；③石英—黑云母—黄铁矿；④石英—多金属硫化物；⑤石英—正长石—多金属硫化物；⑥石英—绿钙（钠）闪石—多金属硫化物；⑦石英—方解石—黄铁矿；⑧外生铜铁氧化物和硫化物等。每一组合中可有数至数十种共生矿物。工业矿体主要由④、⑤、⑥和③类型组成。

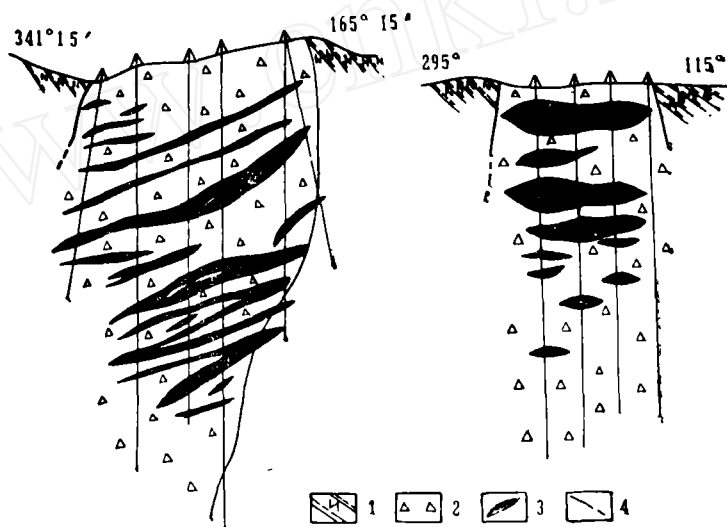


图 3 J₄（左）和J₂（右）角砾岩体中矿体形态剖面图

1—片麻岩；2—角砾岩；3—金矿体；4—推测或实测角砾岩体界线

金的成矿富集规律

1. 空间分布规律

据工程控制、采场观察和金品位变化趋势图（图4）分析，矿体主要赋存于岩体中心（J₄、J₆）或中心偏西北（J₂）；在垂向上主要集中在岩体中或中上部（标高300~600m），即热液上侵前缘和角砾岩体隐爆中心。一般说来，角砾岩筒由陡变缓和开阔膨

大部位金矿化好。如J₅号角砾岩体，地表向南倾，深部向北倾，岩体向南突出，其下形成工业矿体。J₄号角砾岩体500~400m标高间，岩体由陡变缓，在转折部位集中了矿床中多数矿体。

从矿石构造来看，角砾岩体中心为团块状和稠密浸染状，向外过渡为稀疏浸染状。矿体含脉率逐渐降低，脉幅由大变，矿化强度减弱，反映了矿化由中心向四周扩散、渗透。



图 4 J₂号角砾岩体583m中段一次趋势剥离值(左)与金含量(右)等值线图

2. 时间富集特征

区域地质和同位素分析表明,本区角砾岩体和金矿床的形成与燕山中晚期花岗质岩浆活动有关,形成时间为125~112Ma。热液蚀变矿物正长石钾氩法年龄为 120.75 ± 1.75 Ma。

可将本矿床成矿过程划分为3个岩浆期后热液蚀变成矿期、7个成矿阶段,即:①前锋蚀变成矿期,A.石英—黄铁矿阶段,B.黄铁矿—辉钼矿阶段,C.石英—黑云母—黄铁矿阶段;②主体蚀变成矿期,D.石英—多金属硫化物阶段,E.石英—正长石—多金属硫化物阶段,F.石英—绿钙(钠)闪石—多金属硫化物阶段;③晚期蚀变成矿期,G.石英—方解石—黄铁矿阶段。“前锋”期是热液成矿作用的开始,形成少量包裹体金,伴随有石英化、钠长石化和黑云母化,产出以黄铁矿为主,少量辉钼矿、黄铜矿、磁黄铁矿等高温矿物组合。矿化主要限于角砾岩体内部,呈细脉、浸染状。进入“主体”期,伴随强烈的隐爆坍塌作用,使前锋期形成的脉状矿化被破坏,形成大量角砾,金矿化达到高潮。特别是D、E两个成矿阶段,自然金以粒间金和包裹体金、裂隙金形式产出,并出现大量明金。与此同时,形成中温硫化物组合。蚀变以裂隙充填交代石英化为主,矿化以团块状、稠密浸染状和浸染状为特征。该成矿期矿液活动集中在岩体中部上下,为主要工业矿体。晚期矿化微弱,偶见少量自然金的{110}晶形产出,可能为早期金溶解再结晶而成。

3. 角砾岩体内部构造与金的富集特征

构造活动与金的富集关系十分明显。从宏观上看,角砾岩体本身就是构造—岩浆活动的产物,受北西、北东向断裂复合控制。角砾岩体内部,金矿化的富集主要与角砾间隙、节理裂隙的发育程度有关。

在角砾岩体中心部位,由于隐爆坍塌作用最强烈,角砾间隙特别发育,产生良好的成矿空间,有利于含矿热液的运移和沉淀。加之角砾岩体的多次余爆和热液的多次充交代,使蚀变和矿化更加发育,形成富含大量明金的团块状和稠密浸染状矿石。同时,角砾岩体坍塌压实或冷凝收缩作用,产生横向裂隙,使矿体呈近水平或缓倾斜的规模不一的扁豆状、囊状和条带状产出。

在岩体边部,金矿化主要集中在节理、裂隙和小断裂带内。对J₂岩体近矿围岩的裂隙产状统计(剔除成矿后裂隙),并作极点赤平投影(图5),可见典型的环状和放射状节理、裂隙;特别是其交叉和膨大部位,常充填含明金较多的石英—正长石—多金属硫化物和石英—黄铁矿细脉。镜下发现,单粒金多数为粒间金和裂隙金,表明矿物颗粒间及其本身的微裂隙也是自然金沉淀聚积的良好部位。

4. 角砾与胶结物特征对金的富集作用

自角砾岩体中心向外,角砾由小变大;形态由浑圆、次浑圆过渡为次棱角、棱角状;胶结物由多变少。不同标高的角砾岩亦有分带。J₂号角砾岩583m标高自中心向外为:以变安山岩类为主的角砾岩带→复成分

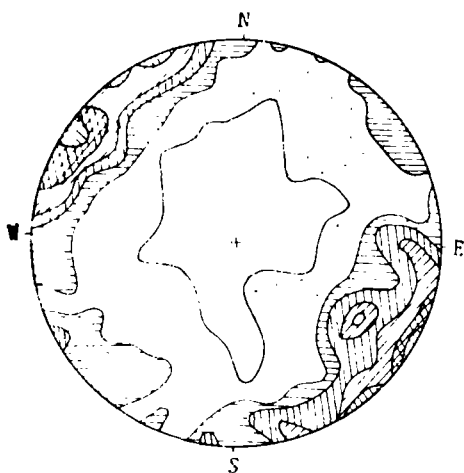


图 5 J₂号角砾岩体外围放射状节理
赤平投影图

(据422条节理; 等值线: 1—2—3—4—5—6%)

角砾岩带→以片麻岩类为主的角砾岩带。在垂直方向上, 自上而下为以变安山岩类为主的角砾岩带→片麻岩类为主的角砾岩带→复成分角砾岩带。在角砾岩体中部, 由于隐爆—坍塌作用产生一种流化作用, 携带角砾向上运移, 角砾相互碰撞摩擦和高热流体的熔蚀, 使其趋于圆化。岩筒中心运移速度快, 加之坍塌和多次余爆, 构成复成分角砾岩; 角砾多呈次棱角状、浑圆状。此处角砾较小, 间隙十分发育, 有利于矿液运移和充填交代, 使金富集。自然金均赋存于胶结物中或角砾边缘 (含量几至几十g/t), 而角砾内部, 因岩性致密矿化极弱 (Au 一般 $< 0.01g/t$)。

此外, 不同成分的角砾, 由于岩石化学成分和机械性质不同, 蚀变和矿化也有差异。一般变安山岩类、斜长角闪岩类角砾易于黑云母化、绿泥石化和黄铁矿化; 正长(斑)岩角砾易产生微裂隙形成细脉浸染状黄铁矿化, 金矿化也相对富集。

5. 热液蚀变与金的富集特征

金矿化贯穿于热液蚀变成矿过程, 因此, 矿化的强弱和发育范围无不与蚀变的强弱、空间位置有密切联系。从时间上分为3

个蚀变成矿期, 即: ①前锋成矿期, 其蚀变以钠长石化、硅化为主, 少量黑云母化和正长石化的面型蚀变, 形成以浸染状为主的黄铁矿及少量辉钼矿等, 偶见显微包裹体金, 主要赋存在黄铁矿中。②主体成矿期, 其蚀变主要反映了富含硅、钾及挥发份的矿液, 从偏酸性向中偏碱性演变的过程。其间, 随强烈的石英、正长石之析出, 金的浓度增加而活度降低, 金及金属硫化物大量析出, 在前锋期蚀变矿化的基础上, 形成矿化富集带和工业矿体。金不仅依附于金属硫化物载体 (以黄铁矿为主), 且大量以他形粒状明金包容于正长石、石英或其晶粒间隙和裂隙中。金矿化与硅化, 尤其是与正长石化关系密切。③晚期成矿期, 其蚀变主要发育方解石化、绿泥石化、绿帘石化及萤石化, 以团块状、晶洞状、脉状产出, 明金罕见。从总体看, 矿化与蚀变作用反映在空间上的紧密联系, 金矿化富集带、工业矿体主要赋存于石英正长石化带及其与石英黑云母化带的交接部位。其中石英化、钾长石化及多金属硫化物呈团块或密脉处, 矿化更佳。石英黑云母化带内矿化一般减弱, 但在黄铁矿化发育处, 金矿化仍较富集。青磐岩化带矿化大大减弱。

6. 自然金特征及其富集状态

本矿床金矿物多为肉眼可见金, 其中95%为自然金, 5%为银金矿。据肉眼及镜下对近3000颗自然金的粒度统计, 粒径0.001~0.2mm者占33%, 0.2~0.5mm者占48%, >0.5mm者约占19%, 最大达7mm。说明金形成于高浓度、高温、缓冷却和充分的空间条件。

晶形以他形粒状及不规则枝叉状为主 (约占70%), 其次为{100}、{100}+{111}、{111} (约占20%)和片状 (约占10%), 并偶见{100}歪晶。主体成矿期含矿溶液浓度高, 金大量以粒度较粗的{111}及{111}+{100}晶形产出。矿化晚期, 由于浓度降低或对早

结晶的金溶解(蚀)再结晶,局部形成{110}及{100}自形晶。自然金的晶形还随空间部位和矿化强度变化而改变。一般说,自角砾岩体的顶部向下,晶形分带为{100}、{110}→{111}、{100}+{111}、{100}→{111}及{111}+{100}。{111}及{111}+{100}晶形大量出现的部位,可指示富矿地段的存在。

在整个矿化过程中,早期晶出的自然金,以包裹体为主,随热液中金的浓度增高,到主体成矿期,金矿化增强,粒间金占优势,并出现裂隙金。粒间金形态受其赋存的粒间空隙的形态和大小制约。当空隙大时,晶体发育完整,可见{111}+{100}、{100}、{111}三种晶形;当粒间空隙小而不规则时,金则以不规则粒状或枝叉状产出。裂隙金多沿黄铁矿、石英、正长石等矿物的微裂隙充填交代,形态不规则,与共生矿物相间断续出现。据测定,包裹体金、粒间金的成色要高于裂隙金。至矿化晚期,热液性质发生很大变化,溶液交代作用不仅使早期结晶金的形态不规则化,并使金活化转移,局部相对集中,形成粗粒{110}自形晶。

7. 金在其载体矿物黄铁矿中的富集特征

由本区几种主要载体矿物金含量(见附表)可见,金的载体矿物首推黄铁矿,它是整个矿化过程的贯通矿物,其微量金含量为各种矿物之首(19个样品平均值为49.2ppm)。基于金的亲硫性和亲铁性,黄

铁矿化发育之处,多为金的富集部位。从时间上看,3个成矿期和7个成矿阶段均有黄铁矿产出,但金的含量却明显不同,藉以反映各时期含矿溶液的浓度和矿化强度。前锋期黄铁矿(I)中,金含量为10.13ppm,说明此时溶液中含金甚少,故只能形成少量包裹体金;主体成矿期黄铁矿(II),金含量最高可达400ppm,平均63.34ppm,致使大量明金产出,富集成矿;成矿晚期黄铁矿(III)含金15.2ppm,反映出矿液中金几近耗竭,明金已很少见,矿化明显减弱。此外,在同一成矿阶段不同晶型的黄铁矿中,金含量也不同,如石英正长石—多金属硫化物阶段{111}+{100}黄铁矿含金量可达238.5ppm,而{100}者仅7.6ppm。同时由于黄铁矿含量变化,还会引起比重、反射率、硬度等物理性质的改变。一般比重随含金量的增加而加大,反射率和硬度则相反。

8. 金富集的物理化学条件

硫、氧、铅同位素研究表明,本区金矿成矿物质主要来自燕山期壳幔层钙碱性花岗质岩浆,在岩浆侵位、分异演化,尤其是在岩浆作用晚期分散在岩浆熔体中的Au、Ag、Mo、Cu、Pb等金属元素向流体中聚集。通过与自然金形成关系最密切的黄铁矿、石英及少量方解石、萤石包裹体测温及其成矿物理化学条件研究表明:

前锋成矿期含矿热流体处于高温状态, $T \approx 433 \sim 331^{\circ}\text{C}$, $P \approx 1 \sim 1.7\text{kb}$,呈弱酸性

J₂角砾岩体不同蚀变矿物中元素含量表(ppm)

矿 物	样 数	Au	Ag	Mo	As	Cu	Pb	Zn	Co	Ni
钠长石	1	15.30	0.00	3.50	216.5	41.00	31.00	31.00	0.00	51.00
黄铁矿(I)	3	10.13	22.10	21.55	36.38	111.33	151.67	52.33	359.67	101.83
钾长石	1	8.30	1.15	—	—	20.00	—	7.00	3.00	—
黄铁矿(II)	15	63.34	20.24	0.84	37.57	1853.21	842.79	73.20	378.56	294.30
黄铁矿(III)	1	15.20	30.00	—	—	132.00	—	—	140.00	85.00
绿钙(钠)闪石	2	4.96	0.50	0.40	13.00	355.50	25.00	148.00	12.00	37.00
绿帘石	2	2.60	0.00	0.80	22.90	7.00	36.00	47.00	7.00	7.00

($\text{pH}=6.75$), $E_h=-0.83$, 具较高的 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 和 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及盐度和矿化度。此时形成一套较高温热液蚀变矿物及少量自然金组合。从该期石英包裹体富含 Cl^- (127.89g/L) 及 SO_4^{2-} (118.73g/L) 推断, 前锋期金的迁移主要以 AuCl^- 和 AuS^- 形式, 其间少量包裹体金的析出, 可能是由于前锋期开始向主成矿期过渡时的压力略降、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 浓度降低引起的。

主成矿期 $T \approx 380 \sim 320^\circ\text{C}$, $P \approx 1 \text{ kb}$, $\text{pH}=6.37$, $E_h=-0.63$, 盐度与矿化度较前锋期大为降低, $\text{Na}^+ \ll \text{K}^+$, 且 Cl^- 、 SO_4^{2-} 活度大大降低 (分别为 0.65 和 0.08g/L), Cu^+ 、 Pb^{2+} 等金属离子骤增。该期产出一套以石英、正长石、黄铁矿、方铅矿及少量闪锌矿组合, 同时析出大量自然金。根据该期石英包裹体中以黄铁矿、石盐为主的多相子晶并存及大量硫化物产出等事实, 并结合成矿温度、 pH 值及 Cl^- 、 SO_4^{2-} 离子含量变化特征, 推测当时金的迁移可能仍以 AuCl^- 和 AuS^- 两种形式并存, 随压力和温度的不断下降, 部分天水的稀释和 pH 值由弱酸向弱碱转变, 破坏了氯、硫络合物。氯可能形成 HCl 逸散, 而硫则与 Cu^+ 、 Pb^{2+} 、 Fe^{2+} 等组成金属硫化物析出, 使自然金以粒间金为主, 充填在晶体之间的晶隙或裂隙之中。

成矿晚期, $T \approx 272 \sim 174^\circ\text{C}$, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 F^- 及矿化度和盐度进一步降低, H_2O 、 CO_2 大增 (分别为 2114.12 和 218.9ppm)。碳、氧同位素研究表明, 有大量天水加入, 溶液已转为弱碱性 ($\text{pH}=7.08$)。 CO_2 随天水的大量加入而导致方解

石的大量形成, 并形成一套与之相应的方解石、石英、黄铁矿及少量紫 (绿) 色萤石、绿泥石等典型低温矿物组合。到此, 金矿化几近乎全部结束。

结 论

综上所述, 本区金矿床的富集特征, 基本遵循于一般热液矿床的成矿规律, 但又具有自己的特色:

1. 金矿化空间上主要集中在角砾岩体的中上部 (标高 300~600m), 成矿时间主要集中在主体成矿期 ($120.75 \pm 1.75 \text{ Ma}$), 尤其是石英—多金属硫化物阶段和石英正长石—多金属硫化物阶段。

2. 角砾岩体受北西及北东向断裂构造复合控制, 角砾岩体内部金矿化主要受角砾间隙、节理裂隙发育程度控制。

3. 角砾较小、成分复杂, 且胶结物发育处往往是金的富集地段。

4. 金矿化与石英化、正长石化关系最为密切, 工业矿体主要集中在石英正长石化带及其与石英黑云母化带交接部位。

5. 金以 $\{111\}$ 及 $\{111\} + \{100\}$ 晶形产出部位, 可指示富矿部位。

6. 黄铁矿发育处往往是金的富集部位。

7. 金的沉淀富集, 主要因矿液的降温、减压、稀释及 pH 值的由弱酸向弱碱性转变等物理化学条件的变化而产生。

本文在《祁雨沟地区爆发角砾岩型金矿地质条件及找矿方向》研究的基礎上写成, 在撰写中承邵克忠先生审阅并修改, 谨致谢意。

Enrichment Regularity of Gold in the Qiyugou Explosive Breccia Type Gold Deposits, Henan Province

Wang Baode

The Qiyugou crypto-explosive-collapse breccia type gold deposits belong to a new type discovered in recent years in our country. In this paper a summary is given on time-spacial distribution, wall rock alteration, breccia and cementation substance, structure, carrier minerals of gold, ore-forming and enrichment regularity of native gold. It is believed that the deposition and concentration of gold are happened mainly under the conditions of temperature fall, diluting effect, and the transition from weak acidity to weak alkalinity.