

申家窑金矿地质地球化学特征及成矿模式

陈衍景

富士谷

(中科院地球化学研究所·贵阳) (南京大学地球科学系)

申家窑金矿产于崤山地体结晶基底之中,属典型的蚀变破碎带型金矿,围岩蚀变、包裹体、同位素、微量元素等方面综合研究表明,矿床形成经历Ⅰ期高温变质热液蚀变矿化,Ⅱ期中温变质—雨水混合热液蚀变矿化,Ⅲ期低温(200°C)循环雨水热液矿化。成矿物质具深源特征。

关键词: 金矿; 蚀变破碎带型; 成矿模式; 碰撞造山成岩成矿模式

申家窑金矿是河南省发现的第一个蚀变破碎带型金矿。该矿是借鉴焦家金矿的找矿经验发现的,是模式找矿的成功案例,从而推动了熊耳山区上宫式金矿的找矿工作。

成矿地质背景

1. 区域地质背景

矿床产于崤山地体。崤山地体北界是三门峡—宝丰断裂^[1],表现为崤山地体的熊耳群等推覆在嵩箕地块的古生代地层之上;地体南界是以“三岔口组砾岩”为标志的大断裂带(叫河断裂)。西北界和东南界分别是北东向的三门峡—灵宝和洛宁—卢氏中生代断陷盆地(图1)。

崤山地体穹窿构造格局明显,中心是包括天爷庙杂岩^[2]和崤山群^[3]浅变质双模式火山岩在内的混合岩、花岗岩、变质岩穹窿。穹窿四周较好地环布了未变质的熊耳群火山岩系。我们研究发现穹窿北部有厚700m的侯桐沟组^[1]浅变质山间磨拉石建造,其时代在2050~1850Ma,该套地层一直被误作为大古石组而置于熊耳群底部(图1)。地体北部有中元古界的汝阳群零星分布。地体南部发育大量的中上元古界的官道口群、栾川群和熊耳群。应该说明,潘河—卢氏断裂(即马超营断裂)带内有震旦—寒武系零星

出现,它们是岩块还是地层有待研究。

崤山地区中生代中酸性小岩体较为发育。北部穹窿区有后河、龙卧沟和罗岭等岩体,南部(弧前盆地)东西线性带有银家沟、秦池、后瑶峪、柳关、郭家沟等斑岩带及有关金矿床等。

2. 矿区地质

申家窑金矿产于崤山穹窿区核心基底的西北角,矿床赋存在崤山群或崤山群与天爷庙杂岩的接触带。赋矿构造是北北西向断层或其与层间断层的复合处(图2)。矿区附近有0.2km²的后河斑状花岗岩。矿床主要包括01、09、03、04号含金矿破碎带。以01最重要,其赋矿断层明显经历了早期挤压走滑逆冲和后期滑塌的发展过程。

(1) 矿体产状 已知矿体严格受01号蚀变破碎带控制,矿带无连续的石英脉发育,矿石是蚀变的破碎岩石,矿体与围岩界线基本清楚,多呈似层状、板状。01带总长5430m,基本沿天爷庙杂岩与崤山群的接触带发育。破碎带受北北西向断层和层间断层复合控制,其形成经历了早期压扭逆冲和晚期滑塌两种构造机制。

(2) 矿石组构 常见各种交代结构、碎裂结构和糜棱结构。碎裂结构在早期黄铁矿、毒砂中颇为发育。构造以角砾状、网脉

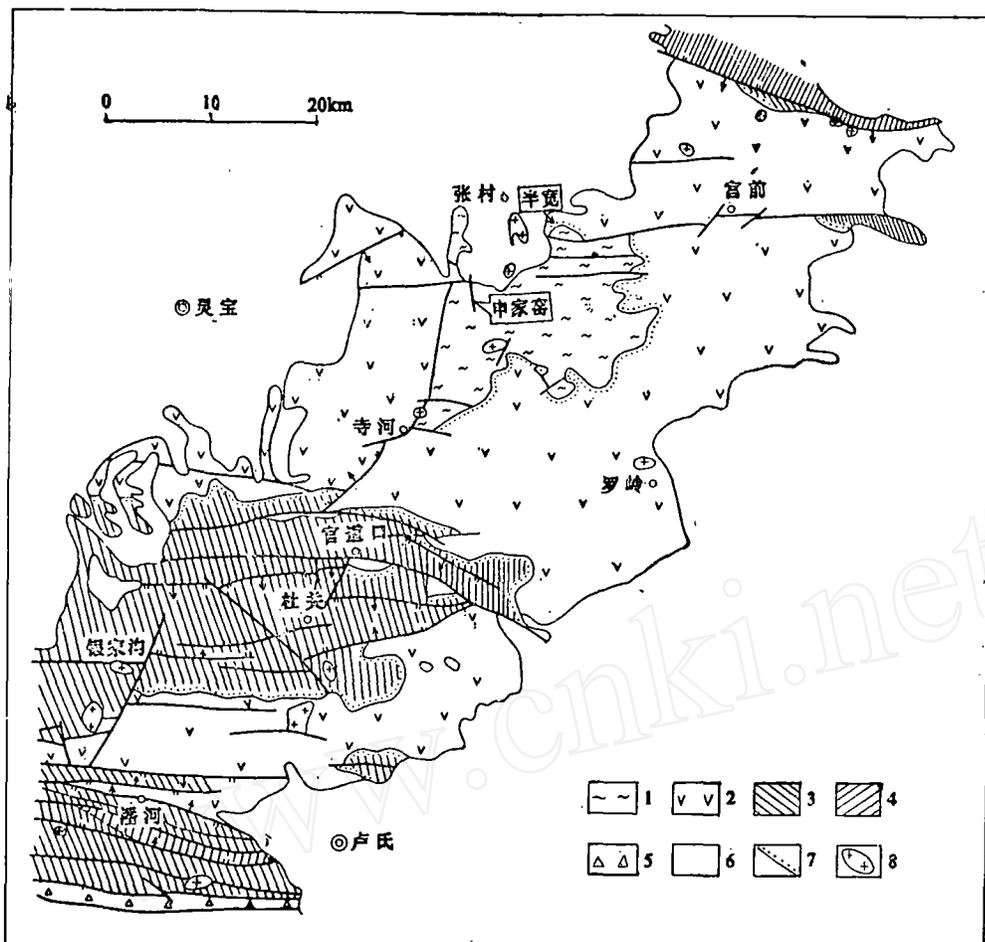


图 1 崤山地区地质图

(据河南地质矿产局资料简化, 1989)

1—结晶基底, 2—熊耳群(半宽附近含铁铜沟组); 3—官道口群、栾川群及汝阳群等;
4—古生界; 5—三岔口砾岩; 6—新生界; 7—不整合面; 8—花岗岩类

状、浸染状、条带状为主。

(3) 矿石建造 主要金属矿物是黄铁矿、毒砂、铁闪锌矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、自然金、银金矿等; 非金属矿物是石英、绢云母、铁白云石、方解石、绿泥石, 偶有重晶石。毒砂、黄铁矿、石英等明显有两期, 早期毒砂为延长状, 常被压碎呈角砾状, 晚期毒砂则呈没有压碎的菱形晶体。早期黄铁矿结晶粗, 多被压碎为角砾状, 晚期黄铁矿多呈立方体。矿石的组合类型常是: 多金属黄铁矿型、多金属毒砂型、多金属黄铁矿—毒砂型、黄铜矿毒砂型以及氧化矿石。

(4) 矿化蚀变及分期 矿化分为3期: I期以早期毒砂和早期黄铁矿为特征, 伴有铁闪锌矿等中高温矿物; II期包括晚期毒砂和晚期黄铁矿等多金属硫化物、砷化物, 伴有重晶石。III期为石英—方解石细脉穿插矿带及围岩。蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、高岭土化和各种硫化物、赤铁矿化; 空间上具有分带性, 从矿体向围岩依次是硫化物—砷化物→绢英岩化→绿泥石绢英岩化→绢云母碳酸盐化→弱硅化; 蚀变带有对称性, 但在混合岩一侧明显窄于崤山群一侧。

(5) 矿化富集规律 ①地表矿化好于

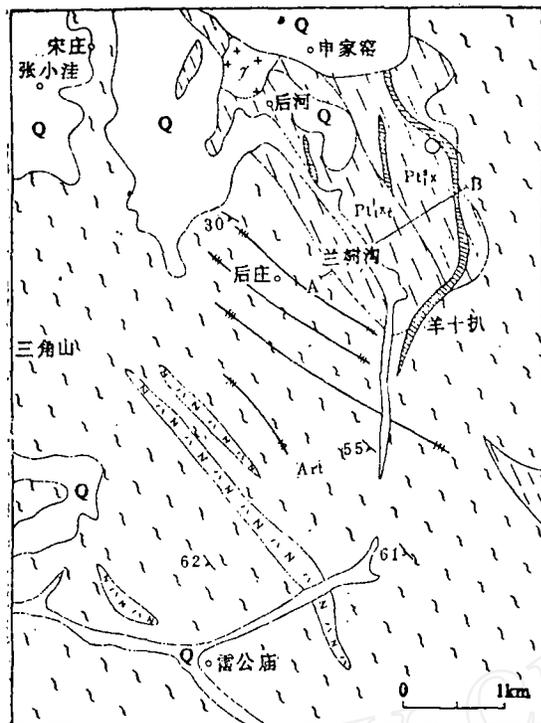


图 2 申家窑金矿区地质图

(据河南地调一队改绘)

Q—第四系; Pt₁x—申家窑组(崆山群); Pt₁x—崆山群兰树沟组; Art—天爷庙杂岩; γ—花岗斑岩; 1—斜长角闪岩等表壳岩包体; 2—金矿化带; 3—混合岩类; 4—片岩类; 5—压扭带; 6—地质界线

深部, 钻探表明1020 m标高以上矿化好。②矿化与破碎带厚度正相关, 与破碎带倾角负相关。③在近南北向局部引张扩容带矿化好。④毒砂、黄铁矿多时矿化好。⑤绢英岩化、硅化强时矿化好。

(6) 金的赋存状态与成色 自然金以显微金为主, 粒径在0.001~0.074mm。成色达922, 银金矿成色为719。金以自然金为主, 银金矿次之。主要有包裹体金、裂隙金、粒间金3种形式, 前者最重要。主要载体是石英、黄铁矿和褐铁矿等。

矿床地球化学特征

1. 包裹体地球化学及成矿物化条件

(1) 矿化温度 对Ⅲ期矿化的包裹体特征和形成温度作了研究, 均一温度在150~190℃, 平均166℃。河南地质科研所、地调一队和秦国祥、尉向东等对矿化温度也做了不同方法的测试。获得的黄铜矿爆裂温度330℃, 代表Ⅱ期矿化的上限温度。此结果与用微量元素计算的闪锌矿形成温度(330℃)和黄铁矿—黄铜矿矿物对温度323.5℃一致。获得的240℃黄铜矿爆裂温度和264.2℃的闪锌矿—方铅矿矿物对温度则指示Ⅱ期矿化即将结束时的温度, 故Ⅱ期矿化应在240~330℃。用均一法获得的大量320℃左右的石英包裹体温度应代表Ⅰ期下限, 大量370℃以上石英包裹体爆裂温度的获得指示370℃可近似作为成矿的上限, 即Ⅰ期矿化主要发生在320~370℃。

(2) 成矿热液组份 表1为矿床和矿区混合岩之石英包裹体的成分和性质。可见成矿溶液的 ΣM^+ 低于混合岩, 但 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等成矿元素的离子浓度高于混合岩, K/Na 、 $(K+Na)/(Mg+Ca)$ 、 F/Cl 也高于混合岩。它们指示了成矿溶液来源较混合岩浅, 包裹体被捕获时的深度、温度也较低。这正与一般的地质规律吻合。应该说明, 3号是Ⅲ期石英的包裹体成分, 其 Eh 、 F/Cl 、 K/Na 、 CO_2/H_2O 、 $(K+Na)/(Mg+Ca)$ 值明显高于Ⅰ或Ⅱ期成矿溶液, 明显有浅源或表生特征, 应是雨水循环的成矿溶液; 该样 $pH=4.3$, 也符合雨水溶液的特征。而Ⅲ期成矿溶液的低 ΣM^+ 和酸性氧化的性质并不利于金矿化富集。事实表明其对金矿形成也无重要贡献。

2. 同位素地球化学

(1) 氧同位素组成 对申家窑矿床矿石中石英及有关岩石的同位素测试和计算结果(表2)为: 早期矿化平衡水 $\delta^{18}O\%$ (1—5号)为3.75~6.51, 平均4.74, 与变质水或再平衡岩浆水基本一致。同时, 矿石中石英的 $\delta^{18}O\%$ 为9.84~12.60, 平均10.82, 高于

申家窑金矿包裹体成分特征

表 1

	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	CO
1	6.94	16.04	6.69	6.95	0.88	0.13	0.38	0.35	36.12	0.25	22.48	117.46	6.95	3.76
2	2.00	15.50	4.60	1.10	0.40	0.22	/	0.34	47.70	1.00	60.90	50.40	7.50	
3	23.90	10.50	8.40	4.50	0.10	2.50	/	9.30	/	2.50	13.30	15.00		
4	15.99	36.42	27.87	1.75					/	2.92	114.73	6.46		
	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	ΣM ⁺	ΣM ⁻	ΣM ⁰	ΣM [±]	pH	Eh	电导	CO ₂ /H ₂ O	K/Na	(K+Na)/(Mg+Ca)	F/Cl
1				38.36	176.31		214.67	5.24	145.0	0.24		0.433	1.685	0.011
2				24.16	160.00		184.16	5.65	110.7	0.17		0.129	2.719	0.016
3	0.039	1.14	5.42	59.20	30.80	10.36	90.00	4.3	210.67	0.93	0.210	2.276	2.667	0.188
4	0.004	0.55	13.00	82.03	124.11	13.55	206.14				0.042	0.439	1.769	0.025

注：1—3为本课题测试，4据河南地质研究所计算结果；1号为混合岩，其余为成矿期石英；3号之气相成分系两个数据平均值；气相成分ppm×10⁻²，液相为ppm，Eh为mV，电导为μV/cm²×10²。

申家窑矿区氧同位素测试及计算结果

表 2

序号	样号	样品及地质	测试	δ ¹⁸ O‰	δ ¹⁸ O _水 ‰	T(°C)	备注
1	X ₃ -1-1	矿石	石英	9.84	3.75	340	①
2	X ₃ -0-3	矿石	石英	10.34	4.25	340	①
3	X ₃ -0-5	矿石	石英	12.60	6.51	340	①
4	X ₃ -0-6	矿石	石英	10.60	4.51	340	①
5	X ₃ -0-7	矿石	石英	10.70	4.67	340	①
6		矿石	石英	10.05	1.95	280	②
7	Y-30	石英网脉(Ⅲ)	石英	6.60	-6.80	180	③
8	X ₀₁₃₄	绢云片岩	全岩	9.85			③
9	X ₀₂₂	混合岩	全岩	10.37	9.94	550	③
10	X ₀₁₀₆	斜长角闪岩	全岩	9.06			③
11	X ₃₃₃₃	变硅质岩	全岩	10.47			③
12		附沟花岗岩	石英	11.39	9.76	600	①

① 胡受奚等(1988);②河南地质研究所;③本文;石英-水分馏方程 $3.306 \times 10^{-2} T^{-2} - 2.71$,全岩-水按斜长石-水 $2.68 \times 10^{-2} T^{-2} - 3.53$;据张理刚。

4个围岩(8-11)的δ¹⁸O‰平均值(9.94),已显出岩浆水或变质水成矿的信息。Ⅱ期矿化的石英δ¹⁸O‰为10.05,计算其成矿时δ¹⁸O_水‰为1.95,低于变质水和岩浆水,高于大气降水,故其应为雨水与变质热液或岩浆热液混合的结果。主矿化期之后,Ⅲ期矿化的石英δ¹⁸O‰只有6.60,明显低于未蚀变岩石,表明它结晶于大气降水循环热液,计算表明其形成的平衡水δ¹⁸O‰为-6.80,显然是大气水。

(2) 硫同位素组成及意义 申家窑矿床δ³⁴S‰变化于0.36~5.93(表3),平均3.56。频布图上有一定的塔式效应,指示硫来自深源。矿区天爷庙杂岩、峭山群、熊耳群等均深源岩石为主,可作为合适的硫源。

(3) 铅同位素 矿石铅同位素组成变化较小,表明有固定的单一铅源。在图3中5个样品均落在地幔线和造山带线之间,μ值也不高(表4),指示理想的铅源是经历了

申家窑金矿矿石硫同位素组成

表 3

序号	样号	测试	$\delta^{34}\text{S}\%$	序号	样号	测试	$\delta^{34}\text{S}\%$
1	X ₃ -D-1	方铅矿	0.76	8	申-黄-2	黄铁矿	5.06
2	X ₃ -D-2	黄铜矿	4.30	9	申-黄-3	黄铁矿	5.93
3	X ₃ -D-3	方铅矿	0.36	10	申-黄-4	黄铁矿	3.32
4	X ₃ -D-4	黄铜矿	4.09	11	申-25	黄铁矿	2.58
5	申-方-1	方铅矿	3.60	12	申-27	黄铁矿	2.85
6	申-方-2	方铅矿	4.76	13	申-26	黄铁矿	3.05
7	申-黄-1	黄铁矿	5.68		总平均		3.56

注: 1-4号据胡受奚等(1988), 5-10号本文, 11-13号据秦国群等(1989)。

申家窑金矿矿石铅同位素组成

表 4

序号	采样地点	样品及地质	测试	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	μ	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$
1	申家窑	蚀变角砾岩	方铅矿	17.899	15.508	38.072	8.9637	4.129
2	申家窑	蚀变角砾岩	方铅矿	17.892	15.581	38.407	9.1198	4.103
3	申YD ₂ -CD ₆₋₁	多金属矿石	方铅矿	17.792	15.453	37.997	9.2447	
4	申XD ₂ -CD ₆₋₁	多金属矿石	方铅矿	17.935	15.491	37.983	9.3023	
5	张家沟	含金石英脉	方铅矿	17.578	15.439	37.453	8.9394	3.812

注: 1、2、5号样据秦国群、尉向东, 3、4号样据河南地调一队。

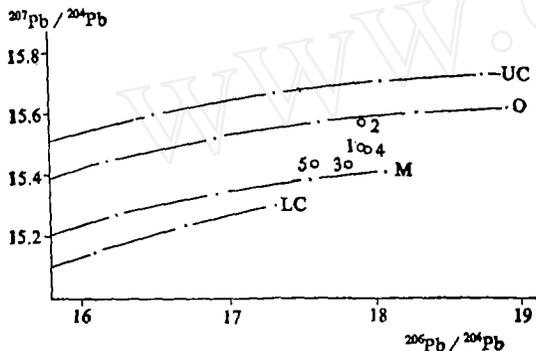


图 3 申家窑金矿铅构造模式

UC—上地壳; O—造山带; M—地幔; LC—下地壳

造山作用改造过的幔源岩石组合。天爷庙杂岩和崮山群具此特征。

3. 元素地球化学

(1) 矿石组份 河南区调一队的分析结果表明, 矿石具低Na₂O、高K₂O的特征, K₂O/Na₂O=9.53。显示出金矿化与钾化有密切关系。矿石中部分常量元素和微量元素的含量为SiO₂60.07、Al₂O₃12.35、TiO₂0.63、Fe₂O₃12.93、CaO0.31、MgO1.04、K₂O3.05、Na₂O0.32、MnO1.25、P₂O₅0.60、S0.76、Cu0.065、Pb0.85、Zn0.25、As

0.17%; Au4.5、Ag57.3g/t。

(2) 有关元素的相关特征 矿化蚀变岩的R型聚类分析表明, Au与As、B、Co、Ag、Cu、Pb有明显的正相关关系, 是同一组矿化元素, 显示矿床属中温元素矿化。石英脉的元素聚类分析亦显示出相同的规律, 即Au与Ag、Cu、Pb、Co、Mo等中温矿化元素呈明显正相关。矿石中一些单矿物成分的R型聚类分析结果显示Au与Co为正相关, 与Ni不相关。Co相对于Ni是低温元素, 表明金矿化的温度不高。

矿床成因探讨

矿床的地质特征表明, 申家窑金矿属蚀变破碎带型。在3期矿化蚀变中, 金矿化主要发生在I、II期, I期是变质水或岩浆水导致的硅—毒砂—黄铁矿化; II期是混合水(变质水或岩浆水+雨水)引起的硅—砷化物—多金属硫化物矿化; III期为雨水矿化。II期矿化元素和矿石矿物明显较I、III期复杂。由于岩浆水的离子浓度较高, 一般不会

低于更浅源的混合岩化热液的离子浓度,而本矿成矿溶液的离子浓度却低于混合岩中石英包裹体。故认为Ⅰ期热液为变质热液的可能性较大。因此,找出变质作用的发生原因是认识矿床成因的关键。区内崞山群和天爷庙杂岩明显经历了变质作用,它们又是矿床的赋矿围岩,故有很多学者将矿床的形成归于围岩的变质作用(发生在早前寒武纪)。但是,矿体的定位情况、赋矿构造对围岩的穿切以及区域地质指示矿化是在围岩变质后的中生代发生的。这就要求提供中生代变质的机制和空间。研究表明,豫西中生代是华南与华北古大陆板块的碰撞时期,此间发生了沿马超营断裂向北的陆内俯冲作用。按已建立的陆内俯冲(即碰撞造山)成岩成矿模式^[6],俯冲板片的下插必然发生梯度增温增压,温压的增高打破了原来的物质平衡,从而导致变质作用发生,变质分泌的热液向上迁移并汇集成矿。此即Ⅰ期热液的来源。此间的赋矿构造呈压扭性质。俯冲作用减缓或结束时,变质分泌热液逐渐减少,循环雨水溶液相对增多,形成变质热液与循环雨水热液的Ⅱ期混合热液。俯冲作用停止后,区域性的挤压和热异常也随着结束,变质作用停止,Ⅲ期成矿热液只有循环雨水热液。由于上述变质成矿机制使同位素均一化,加之俯冲板片本身具有深源特征(天爷庙杂岩、崞山群、熊耳群为主),故成矿物质具深源特征。因此认为马超营断裂以北是寻找申家窑式金矿(产于变质火山岩—沉积岩中的蚀变破碎带型)等的重点地区。

结 论

1. 矿床地质特征表明申家窑金矿是典型的蚀变破碎带型金矿。

2. 矿物包裹体和氧同位素研究证明,矿床形成经历了Ⅰ期320~370℃的单源变质热液蚀变矿化,Ⅱ期240~330℃的变质热液—雨水热液的双源混合热液蚀变矿化及Ⅲ期150~190℃单源循环雨水热液蚀变矿化。其中Ⅱ期对成矿贡献最大,Ⅲ期甚微。

3. 硫、铅同位素等的组成表明,该金矿成矿物质具深源特征或成矿时高度均一化。

4. 成矿地质背景、矿床地质及地球化学特征显示,矿床形成是中生代华北与华南古大陆板块碰撞造山时沿马超营断裂向北的陆内俯冲的结果。因此,申家窑式金矿的找矿及研究工作应以碰撞造山成岩成矿模式(陆内俯冲成岩成矿模式)为指导。

工作中承蒙胡受奚教授和陈泽铭、武耀诚副教授指导,河南地调一队及郭继春、孙晓明、叶丹、金持跃等同志给予了许多帮助谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 陈衍景等, 南京大学学报(地学版), 1990, No.3, 75~84页。
- [2] 陈衍景等, 江苏地质, 1989, No.3, 16~18页。
- [3] 陈衍景、富士谷, 科学通报, 1990, No.18, 1406~1408页。
- [4] 胡受奚(主编), 《华北与华南古板块拼合带地质和成矿》, 南京大学出版社, 1988年。
- [5] 张理刚, 《成岩成矿理论与找矿》, 北京工业大学出版社, 1989年。
- [6] 陈衍景、张程宁, 长春地质学院学报, 1991, No.1。

Mineralization Model and Geological-Geochemical Features of the Shenjiayao Gold Deposit

Chen Yanjing Fu Shigu

The Shenjiayao gold deposit, being of a typical altered crushed belt type, is formed in the crystal-line basement of the Xiaoshan terrain. A comprehensive study of host rock alteration, fluid inclusion, isotope composition and trace elements indicates that the metallizing process of this type gold deposits has successively experienced following three important epoches: 1, high temperature metamorphic-hypothermal alteration mineralization, 2, medium temperature metamorphic-mixed meteoric water and hyothermal alteration mineralization, and 3, low temperature circulation meteoric water-hydrothermal alteration mineralization. Ore-forming materials are characterized by a deep-seated source feature.