

鄂东北白云金矿床地质特征及成因初探

刘腾飞

(中南冶金地质研究所 湖北宜昌 443003)

摘 要 论述了白云金矿床的成矿地质特征,从区域成矿地质背景、矿床地质、矿石物质组分及金的赋存状态、围岩蚀变、矿物流体包裹体、稳定同位素等阐明金矿床的地质和地球化学特征。认为该金矿是与碱性成矿流体有关的岩浆热液型金矿。

关键词 金矿 地质特征 矿床成因 湖北

白云金矿位于鄂东北大别山地区的大别山穹隆的核部及东翼。由石英脉型金矿发展到石英脉型和蚀变岩型并重的、以金为主的金银复合型中型矿床。

1 成矿地质背景

矿区位于华北板块南缘东秦岭桐柏—大别造山带东部,由于它处在华北和华南两大板块的过渡地带以及受太平洋板块活动影响,该区印支—燕山期构造-岩浆活动特别强烈,形成桐柏—大别中间隆起带及一系列脆-韧性剪切带,主要有新城—黄陂、麻城—团风、大悟和潏水等规模较大的剪切带。矿区断裂构造极为发育,不同期次、方向、性质和不同规模的断裂纵横交错,以北西向和北东向两组为主,特别是北西向断裂,横亘大别山穹隆,是主要控矿构造(图1)。

矿区地层为经区域动力热流变质形成的下元古界大别群及中元古界红安群,为一套受强烈变质的岩石,如斜长角闪岩、黑云角

闪斜长片麻岩、二长片麻岩、变粒岩等,原岩属钙碱性玄武岩-英安岩-流纹质火山岩系及硅质岩等,经大量区域性金的丰度值测试含量较低,平均 3.4×10^{-9} ,与地壳克拉克值相当。不同时代的岩浆岩很发育,与成矿有关的燕山期花岗岩广泛出露,脉岩充填于各个方向的断裂中,特别是煌斑岩与金矿化关系极为密切。

2 矿床地质特征

矿床产于大别山穹隆的核部及东翼。穹隆中间出露地层为大别群,周边为红安群,这些地层受不同程度的混合岩化作用,强度由穹隆向四周逐渐减弱。矿区内北西向含矿破碎带斜切穹隆核部及东翼地层,其中矿化较好,具有一定规模的矿脉赋存在这个主要含矿破碎带内,构成北西向含金矿脉带,而品位较高的Ⅰ、Ⅱ号矿体产于核部老地层中,矿化较差的Ⅳ号脉位于穹隆周边的地层内,矿区内北东向含矿破碎带沿穹隆周边的

作者简介:刘腾飞,男,60岁,高级工程师,金矿地质。

1996-06-24 收稿。李杰美编辑。

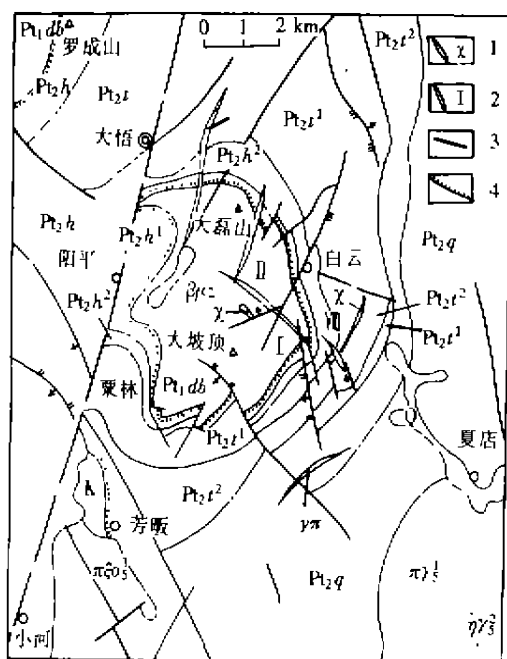


图1 区域地质略图

Q—第四系；K—白垩系； P_2q —中元古界红安群七角山组； P_2t^2 —中元古界红安群天台山组上段； P_2t^1 —中元古界红安群天台山组下段； P_2h^2 —中元古界红安群黄麦岭组上段； P_2h^1 —中元古界红安群黄麦岭组下段； P_1db —下元古界大别群； $\pi\gamma_3$ —燕山早期花岗岩； $\pi\gamma_2$ —燕山中期二长花岗岩； $\pi\phi_3$ —燕山晚期石英正长斑岩； β_2 —晋宁期辉绿岩； γ_1 —花岗岩；1—煌斑岩脉；2—含金石英脉及编号；3—断层；4—不整合界线

红安群底部产出，规模较小，矿化也较差。

2.1 控矿构造

1) 近东西向或北西向的脆-韧性剪切带，是主要导矿构造和赋矿构造，具多期次活动特征，矿体主要赋存在后期叠加的脆性断裂内，断裂带内的岩石破碎和蚀变强、矿化好；2) 矿体主要产于北西向的控矿断裂内，被一系列北东向断裂切断、错位（图2），在其交截部位矿化往往较富，北东向断裂中也有小部分矿脉产出；3) 矿体产状变化处及断裂的弧形转折部位等控制富矿体，这些部位是构造应力集中区，岩石破碎强、裂隙发育，蚀变也很强烈，有利于金矿富集。

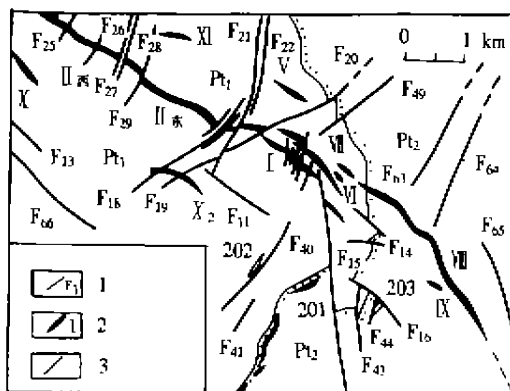


图2 白云金矿区含金脉体分布图

P_1 —下元古界； P_2 —中元古界；1—断层及编号；2—含金脉及编号；3—不整合界线

2.2 矿体形态、产状和规模

含矿带全长 9 km，宽约 2 km，共有 10 余条矿脉组成，其中以Ⅱ、Ⅰ及Ⅶ号矿脉规模最大，总体走向 290°~325°，倾向南西，倾角 35°~75°，由西向东，倾角由陡变缓再变陡，单个矿体的平均厚度为 0.45~0.86 m，矿体具有厚度薄而稳定的特征。Ⅰ号脉长 1 500 m，Ⅱ号脉 3 900 m，Ⅶ号脉 3 500 m；控制斜深都在 400 m 以上，最深为 440 m，矿化并无衰减趋势。

矿体呈脉状、板状或似板状产出，由互不相连的若干小矿体组成，空间上呈大致平行侧伏的形式产出。侧伏方向 260°~280°，侧伏角 30°~40°。形成侧伏的原因可能有：1) 第一成矿阶段后发生再次构造活动，使早期的石英脉发生碎裂，形成分布不均匀的裂隙，因而矿化也呈不均匀分布；2) 成矿后由于以压应力为主的晚期构造运动，使矿体发生继承性的构造活动，区内的矿体可能进一步富集，变成大小不等的透镜体；3) 成矿后由于穹隆中心部位上升，使原来近于直立的矿体发生侧倾，逐渐发展成现今这种侧伏形态。

金品位为 4.02×10^{-6} ~ 9.79×10^{-6} ，矿化无论沿走向还是沿倾向均具分布不均匀到

极不均匀特征, 即由西到东, 金含量一般由低→高→低, 而银含量由低逐渐变高, Au/Ag 值由Ⅱ号脉的 1:3.2 变化到Ⅶ号脉的 1:59; 沿走向的变化大于倾向的变化 (表 1)。

表 1 各矿脉品位变化特征

 $w(B)/10^{-6}$

矿脉号	走 向		倾 向		各 矿 脉				
	Au	变化系数 $V_c/10^{-2}$	Au	变化系数 $V_c/10^{-2}$	平均值		变化系数 $V_c/10^{-2}$		Au/Ag
					Au	Ag	Au	Ag	
Ⅱ	2.26~7.16	100~132	7.43~3.80~2.32	98~117~80	8.52	10.91	138	130	1:3.2
I	3.31~11.33	78~124	14.9~6.54~3.99	94~138~154	9.79	13.56	169	172	1:1.39
Ⅶ	1.19~4.28	125~208	1.57~3.84~0.68	118~216~116	4.02	235.85	158	156	1:59

2.3 矿石特征

矿石分深部原生矿石和浅部次生氧化矿石, 以前者为主, 后者一般不发育。

矿石工业类型主要为含金石英脉型, 次为多金属硫化物型。在分布上从西向东, 即从Ⅱ号脉到Ⅶ号脉, 矿石类型由简单到复杂, 即由含金石英脉型演变到多金属硫化物型; 从地表到深部由含金石英脉型逐渐变化到含金石英脉和多金属硫化物复合叠加型, 直至单纯的多金属硫化物型矿石。由于各矿

体或矿段剥蚀深度不一致, 所以地表能见到不同的矿石类型。

各矿脉的矿石矿物组合特征不完全相同 (表 2), 沿走向自西向东有如下变化规律: 1) 矿物成分由简单到复杂, 尤其是主要硫化物由Ⅱ号脉中的 2 种增加到Ⅶ号脉的 5 种; 2) 不同矿体反映出不同的矿物组合特征; 3) 金属硫化物的含量由低到高; 4) 主要载金矿物黄铁矿在硫化物中的含量由高变低。

表 2 不同矿脉矿物组成

矿脉号		Ⅱ	I	Ⅶ
非金属矿物	主要	石英	石英	石英
	次要	长石、云母、绿泥石	钾长石、绢云母、重晶石 (微)	重晶石、白云母、绿泥石、长石
金属矿物	主要	黄铁矿、方铅矿、自然金	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、银金矿、金银矿、自然金	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、黄铜矿、自然银、金银矿、辉银矿
	次要	闪锌矿、黄铜矿、白钨矿、钼铅矿、褐铁矿、黄钾铁矾	辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、铅矾、白铅矿	铜蓝、自然铜、螺状硫银矿
矿石矿物组合类型		黄铁矿、白钨矿、钼铅矿 (表生)	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、辉铜矿	黝铜矿、黄铁矿、方铅矿、自然银

2.4 矿石化学成分

各矿脉的矿石化学成分 (表 3) 有一定差别, 其中以Ⅶ号较为复杂, 它的 BaO 、 SO_3 、 FeO 、 K_2O 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量较高, 而 SiO_2 含量相对较低。各矿脉 $K_2O > Na_2O$ 、 $Fe^{3+}/Fe^{2+} < 1$; 微量元素含量也有一定差

别, 以形成独立的金属矿物为特征, Au 为工业利用的主要金属, Ag 、 Pb 、 Zn 、 Cu 等可综合利用, Ⅶ号脉 Ag 含量已达到工业利用指标, 组成金银矿体或单独的银矿体。

2.5 金矿物特征

金以裂隙金和晶隙金为主, 其次为包裹

表3 矿石化学成分 $w(B)/10^{-2}$

脉号	II	I	III
SiO ₂	90.32	93.80	81.75
CaO	0.77	0.28	0.19
MgO	0.41	0.17	0.31
Fe ₂ O ₃	1.22	1.43	2.70
Al ₂ O ₃	0.74	1.49	2.27
TiO ₂	0.06		0.10
P ₂ O ₅	0.02		0.03
K ₂ O	0.57	0.68	1.20
Na ₂ O	0.06	0.12	0.00
MnO	0.03		0.01
H ₂ O	0.74		0.49
CO ₂	0.22		0.00
S	1.630	0.094	
FeO	1.73	1.53	3.44
Cu	0.180	0.021	0.210
Pb	1.370	0.078	1.450
Zn	1.230	0.022	1.000
BaO			1.80
Sb			0.066
SO ₃			2.51
Se		0.000 6	
Te		0.000 1	
Au		0.001	
$w(Au)/10^{-6}$	6.80	5.68	3.70
$w(Ag)/10^{-6}$	24.50	18.93	590

金。一般与石英、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿连生，或嵌布于石英晶隙中，或被其所包裹。赋存形式在各脉体中也不一样，由II至III号脉，裂隙金与晶隙金的比例逐渐减少，而包裹体金比例有渐增的趋势。

金银系列矿物主要有自然金、银金矿、金银矿和自然银等。由于各脉体所处的地质环境不一样，金银矿物种类及其比例也不完全一致，并呈有规律地变化：由II号脉到III号脉，自然金所占比例由高变低，金银矿物由低变高，III号脉出现自然银。自然金的颜色随成色降低由金黄—黄白色，粒度一般以大于0.074 mm的粗粒金为主，次为中粒、细粒，偶见大于0.3 mm的巨粒金。其粒度沿走向由西向东有变小的趋势。金的成色随成矿期次而变化。内生成矿期可分两个成矿

阶段，第一阶段的矿物组合为金银矿-石英-黄铁矿组合，金的成色为850，第二阶段的矿物组合为金银矿-石英-多金属硫化物组合，成色为600~800。平面上，金的成色有由西向东变低的趋势。据矿石化学成分分析结果（表3），由西向东，即从II号脉到III号脉，Pb的含量递增，而Zn、Fe、S等元素含量呈递减趋势，结合Au的含量由西向东亦呈递减趋势，说明黄铜矿、闪锌矿等矿物与金大致同时析出，而方铅矿及部分含银、铋等矿物析出时间则较晚。

2.6 围岩蚀变

围岩蚀变主要有硅化和钾长石化，次为黄铁绢英岩化、绿泥石化等。当围岩为混合岩时，一般为硅化、钾化两种类型并存，而矿体与煌斑岩接触时往往只形成硅化，蚀变强度由西向东有增强趋势，蚀变带一般平行脉体产出，厚度0.3~0.5 m，局部可达2.0~3.0 m，钾化与矿化关系特别密切，钾化发育处蚀变厚度大、品位增高、蚀变岩石变成矿石，与矿体一起具有工业意义。

3 矿床成因

3.1 同位素组成

3.1.1 硫同位素 对不同矿石类型的主要硫化矿物分别进行了 $\delta^{34}S$ 的测定（表4），从表4可看出：不同矿体和不同矿物的 $\delta^{34}S$ 值非常接近，变化区间在+1.3‰~-5.13‰；同一矿体 $\delta^{34}S$ 更为接近，变化范围窄，其平均值（-2.43‰）、众值为负值且偏离不大，推测硫的来源为幔源花岗岩，成矿作用是在封闭条件下，基本无外来硫的环境中进行的；不同矿体硫同位素变化范围从西向东有变宽的趋势，表明幔源硫在上升过程中，在高温条件下经受各种氧化-还原、交换反应等和动力效应，使其 $\delta^{34}S$ 值产生偏离。

表4 不同矿脉硫同位素测定结果

 $\delta^{34}\text{S}/10^{-3}$

矿脉号	黄铁矿		方铅矿	闪锌矿	黄铜矿	平均值
	变化范围	平均				
II	+0.28 ~ -4.6	-2.0 (3)	-4.7 (1)			-2.0
I	+1.3 ~ -5.13	-1.58 (9)		-1.30 (1)	-1.66	-1.62
III	+0.8 ~ -5.1	-3.5 (8)	-3.5 (1)			-3.2
平均值	-2.36	-2.36 (20)	-4.1 (2)	-1.3 (1)	-1.66 (1)	

括号内为样品数

3.1.2 氢氧同位素 石英中的氧同位素测定结果表明 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围在 9.46‰ ~ 12.29‰, 与一般花岗岩中石英的氧同位素 (+7‰ ~ +13‰) 一致。由石英包裹体中的水测定 δD 值的变化范围在 -60.9‰ ~ -75.4‰, 与一般岩浆水的变化范围 (-50‰ ~ -85‰) 也完全一致。说明石英和水的氢氧同位素具有来源单一的岩浆成因特点。另外, 利用公式: $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$, 将石英中的氧同位素按不同矿体的成矿温度换算成水的氧同位素, 变化范围 +2.83‰ ~ +7.24‰, 并与氢同位素一起投到 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - δD 投影图中 (图3), 发现 I、II 号脉样品均落在岩浆水范围, 而 III 号脉只有 1 个样在岩浆水范围, 其它 3 个落在岩浆水范围外, 表明矿液中的水主要是岩浆水, 当含矿溶液上升至近古地表时, 有部分表生水进入含矿溶液。

3.2 黄铁矿的微量元素标型意义

黄铁矿中微量元素 (表5) 沿走向由西

向东有规律地变化。如 As 由低变高, 而 Bi、Te 等有降低的趋势。这表示成矿顺序是由西向东进行。同时黄铁矿中 Co 的含量自西向东有递增的趋势, 与 Au 的变化正好相反, 而 Ni 均低于测试灵敏度, 很明显 $\text{Co}/\text{Ni} > 1$ 。另外, Te 含量高, 个别样品达 800×10^{-6} , 这都显示出岩浆热液成因的特点。

3.3 成矿的物理化学条件

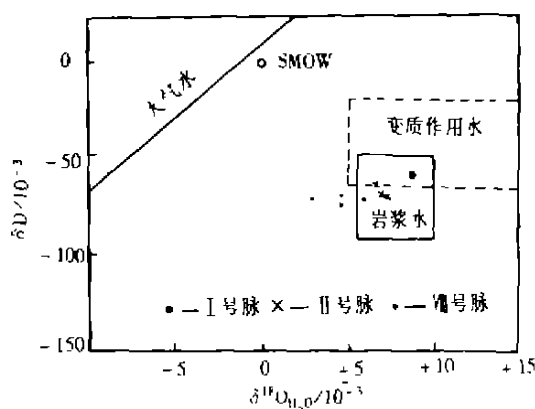
图3 δD - $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 投影图

表5 黄铁矿的常量及微量元素

 $w(\text{B})/10^{-2}$

矿脉号	Fe	S	Pb	Zn	Cu	Sb	Co	Ni	Au	Bi	Te	样数
II	45.81	53.39	0.05	0.017	0.01	<0.004	0.023	0.00	0.022	0.124	0.0113	4
I	46.28	53.56	0.12	0.008	0.05	0.0063	0.031	0.00	0.0263	0.018	0.067	9
III	46.42	56.36	0.01				0.0606	0.00	0.0969	0	0	5

3.3.1 成矿温度、深度及压力 矿物的包裹体测温资料表明, 成矿温度范围从 165 ~

385℃, 而且沿走向从西向东逐渐降低, III 号脉出现螺状硫银矿, 表明成矿温度已低于

173℃。结合矿石矿物组合特征分析,矿床的成矿温度应属中~低温。

根据成矿溶液初始温度、初始压力和深度公式计算结果,推算出矿液形成的初始温度和初始压力,再根据温度与压力的正比关

系可大致计算出本区成矿压力与成矿深度(表6)。根据包裹体中盐度分析结果,早期溶液中的盐度为20%,晚期为7.8%,再据成矿温度(表6)按公式计算出成矿压力为12.3~41.2 MPa,成矿深度0.50~1.65 km。

表6 各矿脉成矿压力、深度计算

矿脉号	成矿温度 t/℃	成矿压力 P/MPa	成矿前流体参数				成矿深度 H/km
			盐度 S/10 ⁻²	温度 t/℃	压力 P/MPa	深度 H/km	
II	306	40.7	20	558	74.3	2.97	1.63
I	262	34.0	18.66	545	70.8	2.83	1.36
Ⅵ	224	22.9	9.8	464	47.6	1.90	0.90

3.3.2 成矿溶液的性质及氧化还原条件
从包裹体成分(表7)和矿石矿物的组合特征可知,矿石中的物质成分有:K⁺、Na⁺、Ba、Si、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Cl、CH₄、CO₂、CO、H₂O等,其中K/Na为1.60,是大气水的2.46~80倍,表明矿液富含碱金属。从包裹体中有较多的HCO₃⁻和一定量

的SO₄²⁻以及矿体围岩中有大量的钾长石化,而从西向东,Na⁺、K⁺含量逐渐减少,HCO₃⁻、CO、H₂逐渐增加等现象,表明矿床的成矿作用是在由碱性向弱酸性的演化过程中进行的,即Au、Ag等有益组分的配合物在碱性介质中迁移,在弱酸性介质中析出成矿。

表7 气液包裹体分析结果

w(B)/10⁻⁶

样号	液 体								气 体						w(B)/10 ⁻⁶		
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	H ₂ O	K/Na	SO ₄ /Cl	Cl/F	
Ⅵ-1	12	11	0	0	0	5	183	12	42.4	7.43	3.41	1.48	22.89	0.92	2.5	0	
I-1	20	41	0	0	1	22	98	43	171.85	3.72	0.32	0.23	15.62	2.05	1.95	22	
平均	16	26	0	0	0.5	13.5	140.5	28	107.13	5.58	1.87	0.86	19.26	1.63	2.07	27	

从矿石的化学成分及包裹体成分测试结果可知,矿石中Fe³⁺/Fe²⁺<1,且由西向东比值逐渐增大。同时溶液中含有一定量的CH₄等,都表明成矿溶液处于还原环境。从多金属硫化物的沉淀到硫酸盐矿物的析出顺序,说明溶液中的硫由S²⁻→(S₂)⁻→S⁰→S⁴⁺,即由低价到高价。在成矿后期又出现大量的重晶石,这些都说明成矿溶液形成是在较强的还原环境,而在成矿后期逐渐演化为弱氧化环境。此外,包裹体中有大量的气-液相包裹体,主要为液相和纯液相包裹体,气-液比早期为8%~30%,晚期小于10%。

包裹体中的盐度在成矿过程中也是逐渐降低的,都显示出成矿溶液中的氧化还原条件在不断发生变化,而成矿作用又主要是在还原环境下进行的。

3.4 成矿溶液来源及矿床成因

3.4.1 成矿溶液及矿质来源 矿区硫、氢氧同位素组成特征表明,成矿流体是以深部岩浆水为主,混有少量混合岩化作用形成的变质水和后期大气降水。这种富含有益组分和挥发分的岩浆期后含矿热液,因高温热动能驱动,由高位能向低位能迁移,在围岩断裂裂隙内上升运移过程中,围岩的少量“粒

间水”也加入到成矿热液中,形成了富含 K^+ 、 Na^+ 组分的碱性成矿溶液。

矿石的硫、氢氧同位素组成特征表明成矿物质主要来自深源同(重)熔岩浆,即具幔源特征,部分来自地壳,同时岩体中金银等成矿元素和微量元素含量比相应地层高,进一步表明成矿作用与岩浆活动相关,深源同(重)熔岩浆是矿质的主要来源。

3.4.2 矿床成因及成矿时代 K-Ar法测定 I号矿脉蚀变岩石的蚀变年龄结果为184 Ma,与围岩中混合岩化年龄(193 Ma)相近,属燕山早期。矿区内所有含金矿脉均产在混合岩化脆-韧性剪切断裂中,北西向矿脉与近南北向的混合岩化片麻理呈大角度相交,而且在断裂内有先于石英脉侵位的煌斑岩脉充填,两者存在时间差。同时,矿体往往与围岩中因混合岩化而分异形成的温度高而质地洁白的不含石英脉有明显的切割关

系。说明成矿晚于混合岩化作用的时间。根据区域上类似矿床的成矿作用时间以及矿石中硫化矿物的 $\delta^{34}S$ 值,显示出深源硫的特征,推测来源于I型花岗岩,即与夏店岩体(127 Ma)同源的花岗岩体。因此,成矿时代可能为燕山晚期。

根据上述矿床地质特征,稳定同位素组成和成矿溶液性质、来源等反映该矿床是以岩浆热液为主的多成因类型矿床。

参考文献

- 1 钱熊虎.应用区域地球物理资料探讨大别山地区地质构造.湖北地质,1990,4(1)
- 2 刘早学,李金平.鄂东北麻城—团风剪切带的基本特征及形成时代初探.湖北地质,1993,7(2)
- 3 王义文.中国金矿床稳定同位素地球化学特征.桂林冶金地质学院学报,1990,10(3)
- 4 刘平.变质热液中金矿的物质来源.地质与勘探,1985,(2)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF BAIYUN GOLD DEPOSIT, NORTHEASTERN HUBEI

Liu Tengfei

(Central-South Research Institute of Geology, MMI, Yichang, Hubei, 443004)

Abstract The geological characteristics of the Baiyun gold deposit are discussed in detail. According to regional metallogenic setting, geology of ore deposit, material component of ore and occurrence of gold, wall-rock alteration, fluid inclusion and stable isotope, the geological and geochemical features of the gold deposit are expounded. The Baiyun gold deposit is considered to be a magmatic hydrothermal deposit. The periphery of the ore district has a good ore-hunting prospect.

Key words gold deposit, Geological characteristic, ore genesis, Hubei