

变质细碎屑岩型金矿床的三阶段 成矿模式^{*}

王秀璋 程景平 梁华英 夏 萍 单 强

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州)

提 要: 变质细碎屑岩型金矿床在国内外分布广泛, 其中部分矿床具有超大型规模。矿床由三个阶段形成: 沉积阶段在相对半封闭还原海盆中发育, 常夹火山物质及热水沉积且富碳、硫、金的浊流沉积物, 构成了金的矿源层; 区域变质阶段随温度、压力增高, 有机质破坏, 粘土矿物消失, 金被释出、归并、定向迁移、集中得到初步富集; 成矿阶段的构造热液事件使金从变质细碎屑岩中淋出、迁移, 或与其他来源的金汇集、沉淀构成矿床。矿床可分活化带型及造山带型, 成矿主要为改造作用产物, 少数矿床可能有岩浆叠加作用发生。

主题词: 沉积矿源层 区域变质富集 活化带及造山带成矿 改造及叠加 三阶段模式

变质细碎屑岩型金矿床在国内外分布广泛, 是世界金矿的主要类型之一。根据含矿沉积岩系的特征性质, 西方及原苏联学者把此型金矿分别叫做浊积岩型及黑色页岩型。这类矿床在国外主要分布在中亚—西伯利亚南缘、北美东部及阿拉斯加、澳大利亚东部及新西兰、法国南部—西班牙北部等地区, 在我国见于辽、吉、新、甘、陕、豫、湘、赣、粤、桂、琼、滇等十余个省区。含矿岩系时代主要属于元古宙及古生代, 在大地构造上为古裂谷或地槽环境。该类矿床在国外不少达到了超大型或超级超大型规模, 尤其在原苏联地区更是如此, 如乌兹别克斯坦的穆龙套矿床仅一个矿体储量就达 4000 t, 吉尔吉斯坦的库姆托尔矿床约 1000 t, 哈萨克斯坦巴格勒契克矿床 800~1000 t, 俄罗斯干谷约 1300 t、宗豪巴矿床 600 t、苏维埃及奥林匹克矿均大于 100 t, 澳大利亚的本迪戈矿床 640 t、金皮矿床 106.5 t。国内矿床虽目前所知是以小—大型为主, 但一些矿床已具潜在的超大型规模, 前景甚为乐观。

变质细碎屑岩型金矿床的主要特征是: 矿体主要发育在变质细碎屑岩中; 岩石含碳, 属浊流沉积; 一般变质很浅, 大多仅达到准绿片岩相变质程度; 矿床具层控性质, 多沿后期顺层破碎带分布; 围岩蚀变微弱, 多为中低温蚀变组合, 如硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化等; 矿石元素组合与围岩相似; 有的矿区可见到同期或成矿前后的岩浆活动, 而在另一些矿区也可完全缺乏。

对这类矿床目前国内外仍流行变质热液成矿或岩浆热液成矿观点。

* 本文属国家及中国科学院黄金重大项目的研究成果

王秀璋, 男, 62 岁, 研究员, 从事矿床学研究。邮政编码: 510640

1994-6-4 收稿, 1994-12-10 修改回。由陶景连、刘浩龙编辑

1 矿床发育的三阶段性

研究得出,变质细碎屑岩中的金矿化叠置在遭受了区域变质的地层上,岩石并遭到了与矿化同期的蚀变作用的影响,这表明金矿化发生在区域变质作用之后。由于矿化受韧性剪切或脆性断裂构造控制,而成矿构造又发生在区域变质岩石之上,因此与成矿有关的地质演化顺序

表 1 变质细碎屑岩型金矿床的三阶段形成时代

Table 1. Three-stage metallogenic epochs for gold deposits of metamorphosed microclastic rock type

矿床	沉积时代	区域变质时代 ^① (10 ⁶ a)	成矿时代 ^④ (10 ⁶ a)	来源
白云山	Pt ₁	Pt ₁₋₂ (1660)	海西期(蚀变钾长石 K-Ar, 250)	[1]
猫岭	Pt ₁	Pt ₁₋₂ (1660)	印支期(蚀变岩 K-Ar, 245.9)	[2]①
四道沟	Pt ₁	Pt ₁₋₂ (1660)	燕山期(蚀变岩 K-Ar, 134)	[3]
金山	Pt ₂	晋宁期、加里东期	燕山期(绢云母 K-Ar 等时线, 167.9)	[4]
二甲、抱板	Pt ₂	晋宁期、加里东期	印支期—燕山期(糜棱岩金云母 Ar-Ar, 228; 矿化花岗斑岩 K-Ar, 137.5)	[5, 6]
活河台	Pt ₃	加里东期	燕山期(绢云母 Ar-Ar, 140.48; 石英包裹体 Rb-Sr 等时线, 122~130)	[7, 8]
化新洲	Pt ₃	加里东期	燕山期(绢云母 Ar-Ar, 170.63~183.74; 石英包裹体 Rb-Sr 等时线, 133.1)	[7, 8]
带漠滨	Pt ₃	加里东期	海西期(石英包裹体 Rb-Sr 等时线, 350)	[9]
型金厂	S	印支期	燕山期(矿石 Rb-Sr, 117~178)	[9]
老王寨	D-C-P	印支期	喜马拉雅期(铬水云母 Rb-Sr, 29.3~39.2)	[9]
乌兹别克斯坦的穆龙套	O ₁₋₂	加里东期(518)	海西期(315~219.4)	[16]②
俄罗斯的宗豪巴	Z	贝加尔期	加里东期(380)	③
美国的哈勒赫多姆	Є	加里东期(420~400)	海西期(热液云母 K-Ar, 368~345)	[13]
加拿大的比弗明	Є-O ₁	加里东期(400)	海西期(角闪石、黑云母、白云母 Ar-Ar, 370)	[14]
造山带型	本迪戈 斯托尔 (澳大利亚)	O	加里东期(成矿晚于区域变质 10~20)	[10]
		Є		
法国的沙特莱	前海西期	海西期(360)	海西期(钾云母 K-Ar, 315~300)	[15]

①成矿同位素年龄为参考值;②中国科学院穆龙套金矿考察团,1991,前苏联西乌兹别克穆龙套金矿考察报告;③涂光炽等,1990,中国科学院赴前苏联黄金地质考察团报告;④同位素年龄

为:沉积→区域变质→构造活动+成矿。同位素年龄测定结果(表1)也表明此型矿床可分两类:①构造活化作用所形成,沉积、区域变质和成矿发生在不同的构造运动中,其间有大的时差存在。例如辽宁白云山、四道沟矿床的矿源层沉积时代为早元古代^[1~3],区域变质时代为早—中元古代,而成矿为海西期或燕山期;江西金山、海南二甲、抱板等矿床沉积为中元古代^[4,5,6],区域变质时代为晋宁期、加里东期,而成矿为燕山期;广东河台、新洲矿床沉积为晚元古代,区域变质为加里东期,成矿为燕山期;云南金厂^[9]、老王寨矿床沉积为古生代,区域变质为印支期,成矿为燕山期或喜马拉雅期;乌兹别克斯坦穆龙套矿床沉积为奥陶纪,区域变质为加里东期,成矿为海西期;俄罗斯宗豪巴矿床沉积为震旦纪^[16],区域变质为加里东期,成矿为海西期;美国哈勒赫矿床沉积时代为寒武纪^[13],区域变质为加里东期,成矿为海西期等等。②矿床的形成与造山运动密切相关,区域变质与成矿作用都发生在同一造山旋回中,但成矿晚于区域变质,例如法国沙特莱矿床沉积为古生代,区域变质及成矿均为海西期,成矿比区域变质晚 $45 \times 10^6 \sim 60 \times 10^6$ a。因此,变质细碎屑岩型金矿床无论在国内或在国外,无论是一般规模或是超大型规模,都经历了三阶段形成作用,即沉积—区域变质—成矿三个阶段。

2 矿床的三阶段成矿作用

2.1 沉积阶段

变质细碎屑岩型金矿床的含矿岩系形成于活动大陆边缘或被动大陆边缘的海相环境中(优地槽或冒地槽海盆),同生黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值以小正值为主,因此海盆显半封闭性质,可能为水下高地圈闭造成。海盆中的沉积物以泥砂质为主,构成浊流型或叫复理石建造。岩石普遍含有机碳,最高者如银洞坡,可达 $3\% \sim 8\%$ ①,四道沟可达 2.626% ①,沙尔布拉克 $0.7\% \sim 3.72\%$ ①,穆龙套 $0.6\% \sim 4\%$ (有机+无机)②, $\delta^{13}\text{C}$ 为 $22\% \sim 28.9\%$ ①②,含量低者如金山 0.711% (外加无机碳 0.562%)③、漠滨 1% ①。由于岩石遭到了区域变质作用使有机碳损失(有人估计目前保留的碳仅为原始碳的 0.01% ④),因此原岩应是相当富碳的。岩石普遍含有分散的黄铁矿,数量最多时可达百分之几。大部分矿区的含矿岩系夹有火山岩层或含有火山物质,其成分以中基性为主,例如金山、海南抱板等、银洞坡、龙山、萨尔布拉克、210、金厂、老王寨、澳大利亚斯托尔、新西兰马什塘、俄罗斯宗豪巴等。有的矿区含矿岩系中虽无火山物质出现,但区域外的同一层位或深部地层中都有发现,如漠滨、河台、穆龙套等。此外,有的矿区还夹有以硅质为主的热液沉积物,如银洞坡、新洲、河台、210、金山、四道沟、老王寨、金厂、穆龙套、马什塘等,部分矿区钠长石型热液沉积也很发育,如新洲地区。由于大洋水含金比淡水为低,而温泉水含金甚高,且随温度升高而增大,中基性火山岩比沉积岩更富金,含碳及黄铁矿的沉积岩含金最高(表2),因此含火山物质及热液沉积物的富碳、硫还原环境提供了金的不利聚集场所。但研究表明,此阶段一般只形成矿源层,当然也不排斥在局部环境中可出现贫金的矿层。

① 涂光炽等,1992,中国金矿主要类型、成矿模式及找矿方向

② 中国科学院穆龙套金矿考察团,1991,前苏联西乌兹别克穆龙套金矿考察报告及蔡宏洲等,1993,穆龙套金矿地质考察报告

③ 杨子江,1993,金山金矿床的某些新认识

④ 林文通,1989,黑色页岩系金矿床成矿机理研究

表2 部分火山岩、沉积岩及地表水的含金量^{〔1〕}

Table 2. Gold content of some volcanic rocks, sedimentary rocks and surface water

火山岩	Au(10^{-9})	沉积岩	Au(10^{-9})	地表水	Au(10^{-9})
超基性岩(包括侵入岩)	11.4(1985)	页岩、泥岩、粉砂岩、泥板岩	8(1356)	大洋水	0.0117
基性岩	17.4(1952)	含硫化物片岩、含黄铁矿		淡水	0.03
中性岩	12.9(1359)	杂砂岩、含黄铁矿	132(19)	温泉水(日本)	0.53(27)
酸性岩	3.7(372)	黑色页岩、含黄铁矿凝灰岩			

注:表内括号中的数字为分析样品数

2.2 区域变质阶段

变质细碎屑岩型金矿床的含矿岩系都经历了区域变质阶段,但绝大多数矿床此阶段变质轻微,仅达到准绿片岩相程度,只有河台、银洞坡、海南诸矿床等达到了绿片岩相甚至角闪岩相。区域变质对矿床的形成作用主要表现在下列方面:①使金从在沉积岩中的难活化难释放状态变为变质后的易活化易释放状态。金在细碎屑岩的沉积阶段主要呈被碳质(腐殖酸)吸附捕获、呈胶粒金被粘土矿物吸附、与硫化物共沉淀等多种形式存在,前两状态的金在后期中低温条件下难于释放出来,而经过区域变质作用后其活化性大大增强,这点已为实验所证实(表3)。其构成原因主要是由于区域变质作用使有机质在高温高压下变为石墨、次石墨及碳沥青,

表3 变质岩、岩浆岩及沉积岩中金的浸取实验

Table 3. Experiments on leaching of gold from metamorphic, magmatic and sedimentary rocks

实验性质		高温高压			常温常压			
实验岩石		燕山期 花岗岩	太古宙斜 长角闪岩、 元古宙片 麻岩	古生代— 中生代页 岩、细砂岩	实验岩石	太古宙斜 长角闪岩	元古宙 片麻岩	三叠纪 粉砂岩
原岩含金量 (10^{-9})		3.18	3.86	8.85	原岩含金量 (10^{-9})	21	25	960
实验条件		浸取率(%)			实验条件	浸取率(%)		
0.25 mol/L NaHS+ 0.75 mol/L NaCl, pH _{25℃} =8.35	100℃,5 MPa	0.78	1.0	0.24	1 mol/L NaCl+ 0.1 mol/L NaHCO ₃ , pH=7.5	15.9	25.3	1.5
	200℃,5 MPa	2.02	5.05	0.38				
	250℃,5 MPa	5.24	6.22	0.46				
	300℃,50 MPa	9.34	10.57	0.42	1 mol/L NaCl+ 0.1 mol/L HCl, pH=3.5	30.2	28	0.6
	350℃,50 MPa	12.57	11.97	0.63				
	400℃,50 MPa	13.94	13.55	0.67				
	450℃,50 MPa	14.75	14.03	0.70				
文献		〔12〕			文献	〔9〕		

除一部分金仍和它们伴生外(碳沥青常富含金),另一部分金脱离了碳质,与有机质析出的 H₂S

及黄铁矿分出的 S^{2-} 离子结合形成硫金配合物迁移沉淀。另一方面实验也证明区域变质的高温环境可使金粒归并增大^①、温度压力增高,造成粘土矿物重结晶,打破了金与粘土矿物间的电荷吸引使金释放出来,这些都导致了经过区域变质作用后的岩石更有利于后期溶液从中活化迁移出金。②区域变质过程中金要发生重新组合配位,随着区域变质程度的增高岩石含金量减少,迁移之金主要集中在绿片岩及准绿片岩带中^[17],这也是浅变质细碎屑岩更有利于后期成矿的原因。大量资料说明,在浅变质细碎屑岩型金矿床中,区域变质阶段一般难于构成有工业意义的堆积,主要是起到预富的作用。

2.3 成矿阶段

地质资料及同位素年龄测定结果表明变质细碎屑岩型金矿床的形成晚于区域变质作用。按照矿床形成的构造环境又可分为两类:一类为活化带型,成矿发生在构造活化阶段,它与区域变质为不同构造运动产物,其间有大的时差,如白云山、四道沟、金山、河台、海南抱板诸矿床,新洲、金厂、老王寨、穆龙套、哈勒赫多姆等(表1),时差最大者可达 $1400 \times 10^6 \sim 1500 \times 10^6 a$ (如四道沟),最小者也有几十百万年(金厂、比弗明);另一类为造山带型,矿床产生与区域变质均属同一造山旋回,但形成时间上成矿比区域变质为晚,与变质后的构造断裂发育有关。如法国沙特莱矿床产在前海西期基底岩石中,区域变质与成矿均为海西期,区域变质时代为 $360 \times 10^6 a$,变质后较早发生布锐东运动[开始为韧性变形($360 \times 10^6 \sim 335 \times 10^6 a$),然后有早石炭世晚期的火山沉积盆地形成($335 \times 10^6 \sim 325 \times 10^6 a$)及相继的侵入岩浆活动($325 \times 10^6 \sim 315 \times 10^6 a$)],较晚为苏德台运动(早期脆性断裂时代为 $315 \times 10^6 \sim 305 \times 10^6 a$,晚期脆性断裂伴岩浆活动时代为 $305 \times 10^6 \sim 285 \times 10^6 a$),成矿为 $315 \times 10^6 \sim 300 \times 10^6 a$,与苏德台运动早期脆性断裂时代一致,成矿比区域变质晚 $45 \times 10^6 \sim 60 \times 10^6 a$,因此 Boiron 等认为该矿为韧性剪切带遭到晚期构造活化作用使大气降水热液强烈循环而造成^[15];澳大利亚本迪戈矿床为海西期成矿,成矿晚于区域变质 $10 \times 10^6 \sim 20 \times 10^6 a$ 。变质细碎屑岩型金矿床主要为改造作用产物,少数矿床可能有岩浆叠加作用发生。多数矿床成矿物质来自含矿岩系,部分矿床还从早期固结侵入体甚至深部带来了成矿物质,如河台、金厂、老王寨等。多来源对形成超大型矿床更为有利。

3 三阶段成矿模式

从上述可见,变质细碎屑岩型金矿床的形成包括三个阶段:①沉积阶段。在相对半封闭的还原性海盆中发育了常夹火山物质及热水沉积且富碳、硫、金的浊流沉积物,构成了金的矿源层;②区域变质阶段,造山运动使含金细碎屑岩遭受区域变质作用,随温度、压力升高有机质破坏、粘土矿物消失,金被释出、归并、定向迁移、集中,得到初步富集;③成矿阶段,后期构造热液事件使金从变质细碎屑岩中淋出、迁移,或与其他来源的金(固结侵入体、深部)汇集、沉淀,形成矿床。它可用下面的描述性模式予以表达(表4)。

① 莫伊辛科, B. Г., 1973, 金在热变质过程中的性状

表4 三阶段成矿模式

Table 4. Three-stage metallogenic model

阶段	沉积阶段	区域变质阶段	成矿阶段
构造环境	半封闭还原海盆	造山作用带	活化带及造山带
含金岩石性质	常夹火山物质及热水沉积的富碳、硫、金的浊流沉积	准绿片岩相变质程度的细碎屑岩,少数达到绿片岩相—角闪岩相	蚀变变质细碎屑岩
金的存在状态	被碳吸附、被粘土吸附、与硫化物共沉淀为主	变质岩中的硫化物、造岩矿物的粒间或被包裹,少与碳质伴生	在构造破碎带中与脉石英、硫化物、硅化、绢云母化、黄铁矿化等相伴
金的来源	深部、基底及陆源	来自细碎屑岩	来自变质细碎屑岩,部分矿床中还有来自固结侵入体及深部
成矿性质	矿源层	初步富集	构成矿床

参 考 文 献

- 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学, 第一卷. 北京: 科学出版社, 1984, 138
- 任钟元. 辽宁省猫岭金矿床成因探讨. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 21号. 北京: 地质出版社, 1990, 14~21
- 吴兴华, 关广岳, 金成珠. 四道沟金矿床地质地球化学研究. 地质与勘探, 1990, (10): 1~6
- 黄宏立, 杨文思. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因. 地质找矿论丛, 1990, (2): 29~39
- 叶伯丹, 朱家平. 海南东方二甲板群和金矿的时代. 地质找矿论丛, 1990, (1): 12~17
- 王鹤年, 张守韵, 俞受盛等. 华夏地块韧性剪切带型金矿地质. 北京: 科学出版社, 1992, 121
- 富运莲, 叶伯丹. 广东清远—高要金矿床的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年. 岩石矿物学杂志, 1991, (1): 21~28
- 陈好寿, 李华芹. 云开隆起金矿带流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄. 矿床地质, 1991, (4): 333~341
- 王秀璋, 程景平, 张宝贵等. 中国改造型金矿床地球化学. 北京: 科学出版社, 1992, 11
- 桑迪富特 M, 凯伊斯 R R. 维多利亚巴拉腊特板岩带金矿床成因的结构与构造控矿条件. 陆春裕译. 国外矿床地质, 1990, (2): 62~71
- 博伊尔 R W. 金的地球化学及金矿床. 马万钧, 王立文, 罗永国, 秦国兴译. 北京: 地质出版社, 1984, 60, 70, 91~96
- 贾叶飞, 李霞. 中国北方金矿床铅同位素研究. 矿床地质, 1993, (2): 169~173
- Bottrell S H, Greenword P B, Yardley B W D, Shepherd T J, Spiro B. Metamorphic and postmetamorphic fluid in low-grade rocks of the Harlech Dome, North Wales. J. Metam. Geol., 1990, (1): 131~143
- Kontak D J, Smith P K, Raynolds P H. Geology and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Beaver Dam gold deposit, Meguma Terrane, Nova Scotia, Canada; Evidence for mineralization at 370 Ma. Econ. Geol., 1993, (1): 139~170
- Boiron M C, Cathelinau M, Troscaud J J. Conditions of gold-bearing arsenopyrite crystallization in the Villeranges basin, Marche-Combrailles shear zone, France; A mineralogical and fluid inclusion study. Econ. Geol., 1989, (5): 1340~1362
- Шаякубов Т Ш, Цой Р В, Голобанов Н М, Донской В И, Ясольев В Г. Мурунтауская сверхглубокая скважина. Сов. Геол., 1991, (10): 10~22
- Буряк В А. Метаморфогенно-Гидротермальный тип золотого оруденения Геол. Руд. Местор., 1975, (2): 37~46

THREE-STAGE METALLOGENIC MODEL FOR GOLD DEPOSITS OF METAMORPHOSED FINE-CLASTIC ROCK TYPE

Wang Xiuzhang, Cheng Jingping, Liang Huaying, Xia Ping and Shan Qiang

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guangzhou 510640)

Key words: sedimentary source bed, regional metamorphism and enrichment, mineralization of activated zone and orogenic belt, transformation and superimposition, three-stage model

Abstract

Gold deposits of metamorphosed fine-clastic rock type are widely distributed both in China and abroad, with some of them being supergiant in size. The formation of these deposits might be divided into three stages: sedimentary stage, regional metamorphic stage and ore-forming stage. At the first stage, source beds of microclastic sediments, rich in carbon, sulfur and gold, were developed in a relatively euxinic semirestricted reducing basin. At the second stage, with the increase in temperature and pressure, organic matters were destroyed, clay minerals disappeared, and gold absorbed in these materials was released, and then attained preliminary enrichment through oriented migration and concentration. At the third stage, due to the action of the structural-hydrothermal event, gold was leached from metamorphosed microclastic rocks, moved to the favorable place, sometimes mixed with gold from other sources during its migration, and eventually formed ore deposits through precipitation. Gold deposits of this type can be further classified into activated zone type and orogenic belt type. They are mainly products of reworking with a few affected by magmatic superimposition.

~~~~~  
(上接第 321 页 Continued from p. 321)

orebody occurring on the normal limb of the syncline has not been completely disclosed in that the chalcopyrite-pyrite and pyrite beds characterized by rich Mo, Co, Sn and Bi were not found, suggesting that further prospecting work can be done toward the depth; (3) the massive sulfide deposit was formed through the discharging of hydrothermal fluid from the near-surface channel at the southern part (south of 4th line) to a depression in the north; as a result, it exhibits from south to north the primary zoning of altered pipe-massive polymetallic sulfide ore (4th-1st line) → massive sphalerite-chalcopyrite-pyrite ore → massive chalcopyrite-pyrite ore (5th-9th line).