

吉林省四平山门银金矿成因机理及成矿模式

王振中

(吉林省地质科学研究所, 长春市 130012)

侯威

(中国科学院长沙大地构造研究所, 410013)

摘要 奥陶系上统矿源层残存在花岗岩内。矿源层历经三次花岗岩的高温(600℃)、高压($>1\,000\times 10^5\text{Pa}$)气热流体的渗透,其银、金元素迁移再富集,丰度约是同类岩石Ag的7倍,Au的3倍。发育在上述地质体内的韧性剪切带活动时产生的高温($>400^\circ\text{C}$)、高压($>1\,000\times 10^5\text{Pa}$)及排出的气水热液萃取其银、金元素向邻侧低温(200℃)、低压(300~800 $\times 10^5\text{Pa}$)扩容空间迁移富集成矿。

关键词 矿源层 元素迁移 韧性剪切带 扩容空间

四平山门银金矿是一个大型银(金)矿床,位于松辽裂谷东缘大黑山地垒东侧依兰—伊通裂谷西缘冲断带内。矿区出露的早古生代地槽构造层(矿源层)被华力西期、印支期和燕山期的花岗岩类侵吞,呈大小不等的捕虏体残存(图1)。矿区的成矿地质条件甚佳,成矿潜能大。这里不仅有丰富的成矿物质来源,而且存在着多种利于成矿物质迁移和富集的地质事件。

笔者自1984年以来先后两次对该矿进行系统研究,早期对该矿点的研究肯定其找矿远景,后期针对矿床成因工作^①,先后取得了大量宝贵资料和认识。工作中得到矿区同行大力协助,特此致谢。

1 概况

奥陶系上统顶部为变质砂岩、粉砂岩和板岩;中部以大理岩为主夹变质砂岩,有浸染状黄铁矿及金属硫化物;下部是片理化中酸性火山岩。

矿区的岩浆侵入活动较为频繁,侵入活动时间为西早东晚;侵入体轴向西部为近东西向,东部则为北北东向;岩石成分西部为中性,而东部则为酸性;脉岩活动则具有东强西弱的特点;蚀变矿化东、西两侧岩体弱,而中部的岩体强。

矿区的构造变形主要表现在燕山期以前地质体的挤压剪切韧性变形和张裂变形两方面。前一变形遍及全区,NE向为主,具有东强西弱等距出现的特点,后一变形和前者密切相关,但其规模和强度不及前者。尤须指出,在矿区中部发育一条挤压破碎带,倾向北西西,倾角 $35^\circ\sim 50^\circ$,与上述构造变动协调一致。这条断裂自中部开始向南分为多条断层,并逐渐向南西散开,构成一带状构造,带状断裂范围和上述捕虏体基本一致。

^① 王振中,吉林省四平地区新寨—山门一带全成矿条件和找矿方向研究,1984~1987;吉林省银成矿远景区划及其资源总量预测,1989~1991

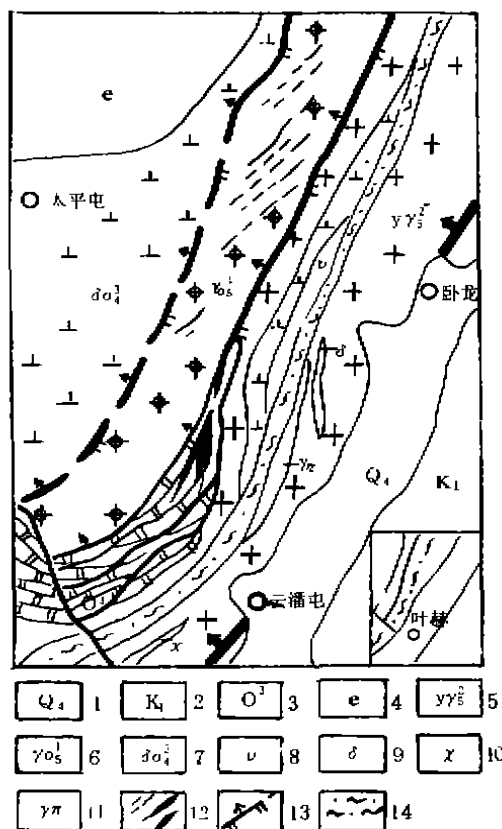


图1 山门银金矿区地质图

Fig. 1 Geological map of the Shanmen gold-silver mining area

1. 第四系冲积层; 2. 白垩系; 3. 奥陶系上统; 4. 下古生界; 5. 燕山早期二长花岗岩; 6. 印支斜长花岗岩; 7. 华方西期石英闪长岩; 8. 辉长岩; 9. 闪长岩; 10. 煌斑岩; 11. 花岗岩; 12. 矿体; 13. 断层及推剥断层; 14. 糜棱岩带

矿区内已知矿体30多条,有七条主要矿体,形态以脉状为主,也有似层状或透镜状者,规模大的矿体产在帚状构造内,其余产在帚状构造上盘斜长花岗岩体内的次级断层中。整个矿带呈北北东向延伸,长十余公里,宽1~2km。

和成矿有关的围岩蚀变比较简单,以硅化、绢云母化及钾长石化为主,尚有黄铁绢云岩化、绿泥石化和碳酸盐化等。绢云母化为面状蚀变,遍及全区,当其与黄铁矿、石英同时出现时,一般只产于含矿断裂带内并与碳酸盐化相伴。绿泥石化、绿帘石化及碳酸盐化主要发育在挤压碎裂岩石中^①。

2 矿源层内元素的再富集

2.1 矿源层

初步研究东辽县椅山一带“矿源层”属华北地台北缘加里东褶皱带“矿源层”(王振中,1987)。最近长春地质学院地球化学专业组在对伊通放牛沟多金属矿床研究中指出:银在火山岩(相当上奥陶统石缝组下部火山岩)内丰度值明显增高^②。笔者先后在山门矿区南部盘岭一带出露的这套地层采样分析证实,区域内分布的相当石缝组银含量约是地壳均值的10倍,金含量虽低于地壳丰度,但和同类岩石相比仍然偏高(表1)。这说明本区早古生代褶皱带内确有含银高的层位存在,山门矿区出露的这套浅变质岩正是这套地层。

2.2 频繁的构造岩浆热作用导致 Ag(Au)元素再富集

一般情况下,同一地质环境沉积物中的元素含量不应有太大差异,但从表1可以看出,同是石缝组矿源层的碳酸盐,因产出地区不同银含量差别很大,显然是一种异常现象。究其原因,主要是后期遭受不同期次热作用造成的。

华方西中期以来,矿区先后经历了三次较大的构造岩浆活动(图1、表2)。首先表现在华方西中期太平岩体—石英闪长岩(320.8Ma)侵入,其次是印支晚期大顶山岩体—斜长花岗岩(193.3Ma)^③,接着燕山早期依兰—伊通深断裂在矿区东部强烈活动,导致地壳深部重熔的二长花岗岩浆沿北北东向断裂侵入,形成了卧龙岩体(158.1Ma)及广泛发育的中酸性脉岩。后来,依兰—伊通断裂的挤压活动又曾不断地加强。这些频繁而复杂的构造岩浆活动,对矿区成

① 矿体资料来自吉林省地质矿产局第三地质调查所

② 黄家德,吉林省放牛沟晚中生代多金属矿床地球化学特征及地球化学找矿模型 1989

③ 同位素年龄资料来自吉林省地质局第三地质调查所

矿元素的迁移和富集起了决定性作用。

表1 区域下古生界矿源层元素丰度对比表

Tab. 1 Regional elemental abundance correlation of the Lower Proterozoic source beds

地区或作用	岩性	元素含量 ($\times 10^{-9}$)				样品数
		Au		Ag		
		区间	平均	区间	平均	
山门银金矿区	大理岩	2.00~12.75	4.02	115~1 050	330.5	10
	变质长石石英砂岩	1.75~5.53	3.46	210~5 000	1 439.0	7
古洞屯	大理岩	1.97~5.18	3.60	80~260	143.0	9
盘岭地区	大理岩	1.60~2.30	1.89	40~3 120	1239	3
	变质砂岩、中酸性火山岩	1.50~5.40	3.11	90~6 000	783	9
椅山地区	大理岩		3.90		120	6
	角岩化砂岩		2.20		290	6
	角岩		17.00		1250	12
	千枚状凝灰质板岩		2.30		50	1
	片理化酸性熔岩		13.10		95	6
	片理化中性熔岩		4.40		91	
梨形	地壳丰度		4.00		80	
维氏	闪长岩类				70	
维氏	花岗岩类		4.50		50	
R. W 博伊尔	大理岩	刘英俊等(1986)	1.50		50	40
R. W 博伊尔	板岩变质砂岩		1.00		200	225

Au、Ag 均由吉林省地质矿产局实验公司提供; Au 为化学光谱法; Ag 为发射光谱法

表2 山门银金矿区侵入岩体特征一览表

Tab. 2 Characteristics of the intrusives in the Shanmen Au-Ag mining area

岩体名称	代号	产状及规模	主要岩性	岩石结构	形成环境 温度 压力 $\cdot 10^4 \text{Pa}$	年龄及 方法	元素含量 Au Ag ($\times 10^{-9}$) ($\times 10^{-9}$)		样品数 (个)
太平岩体	801	小岩基, 长轴 NEE 向, 长 18km, 宽 8~ 12km。	闪长岩、石英闪 长岩、混染岩质 石英闪长岩	花岗结构、 半自形粒状 结构	650~ 2 000 700 C 3 000	320.8Ma K—Ar 稀释法	1.65	50	2
大顶岩体	701	岩株, 长条状 NNE 向, 长 4km, 宽 0.5 km。	花岗闪长岩、斜 长花岗岩、石英 闪长岩	花岗结构、 压碎结构		193.3Ma U—Th— Pb 法	2.20	320	4
卧龙岩体	702	岩体, 长条状 NNE 向, 长 20km。	黑云二长花岗 岩、压碎花岗岩	花岗结构、 花岗变晶结 构		158.2Ma K—Ar 体积法	3.30	102	3
中基性脉岩	8	脉状	闪长岩 辉长岩 煌斑岩	斑状结构		86.123 Ma K— Ar 法	2.80	1 150	5
酸性脉岩	7	脉状	花岗斑岩 流纹斑岩	斑状结构		134~367Ma K—Ar 法	1.90	180	3

众所周知, 金、银元素在高温、高压、强氧化环境下总是处在活跃状态, 并向低温、低

压环境迁移,在还原条件下沉淀。早期侵入的太平岩体形成温度 $650\sim 700^{\circ}\text{C}$,压力 $2\,000\sim 3\,000\times 10^5\text{Pa}$ ^[1]。矿源层金、银元素在侵入岩高温、高压作用下活化,并向远离侵入体接触带方向迁移。上述每一次花岗岩侵入,矿源层内的有关元素进行一次迁移富集,如此,各地出露的矿源层最终的金、银丰度与花岗岩侵入期次呈正相关。例如,出露在矿区西南部古洞屯一带的矿源层只经历太平岩体和卧龙岩体的热事件,代表两次热作用后矿源层元素的丰度($\text{Au}3.00\times 10^{-9}$ 、 $\text{Ag}143\times 10^{-9}$),比历经多次热作用的矿区矿源层(同是大理岩)金、银丰度($\text{Au}4.02\times 10^{-9}$ 、 $\text{Ag}338.5\times 10^{-9}$)显然要低。因为矿区已历经了成矿作用,矿源层中的金、银含量只能代表贫化后的丰度。成矿前矿源层的金、银丰度必然更高。

2.3 元素的迁移和再富集

据樊文芬(1985)、Seward(1973)等实验资料表明,高温、高压环境下,金、银的络合物在酸性、碱性乃至中性溶液里都可以溶解和迁移,只是不同性质络离子在不同附加物质的参与下才能进行。二氧化硅是附加参与物中起稳定剂作用的物质,在它的参与下金、银络离子能长距离迁移(博伊尔,1984)。金属硫化物又是某些络离子溶解和迁移必不可少的物质,在碱性溶液里有钾、二氧化硅存在是金、银氯络合物在高温下迁移的必要条件。酸性富钠的热液对金、银氯络合物迁移均较有利,但稳定性银大于金(范文苓,1985)。

迁移中的金、银沉淀条件很多,其中与矿源层有关的因素有:遇碳酸盐产生沉淀;碱金属交代围岩引起酸化,造成碱性络合物沉淀;酸性富钠溶液中金、银氯络合物和分散在矿源层中的金属硫化物相遇发生沉淀等。

基于上述金、银元素溶解、迁移和再富集过程中物、化环境的分析,结合矿区地质情况来看,花岗岩类侵入作用能够满足要求。首先,它有过剩的 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O ,并有一定的金属硫化物存在,至于 H_2O 、 CO_2 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等更是花岗岩浆结晶期后残余汽液阶段十分丰富的物质,因此,介质成分满足了要求。其次,花岗岩侵入的高温、高压环境更是必备的条件。

被花岗岩侵入的矿源层,首先受到岩体的高温、高压作用的影响,随着岩浆凝固结而由岩体分离出来的汽水溶液渗透析离着矿源层,并萃取其金、银元素与溶液中的 Cl^- 、 S^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 HS^- 等形成 $[\text{AgCl}_2]^-$ 、 $[\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}]^-$ 等络离子,随二氧化硅向远离侵入接触带的低温、低压、低化学势的地质体迁移,并在途中遇碳酸盐、金属硫化物时沉淀再富集。

必须看到,当花岗岩吞蚀大量矿源层后情况则发生了变化,被吞蚀的矿源层的物质大多被改造成花岗岩体的成分,而银元素的一少部分以类质同象形式替换了离子半径相近的元素进入造岩矿物中去(例如: Ag^+ 替换 Na^+ 进入斜长石,使 Ag 含量达 500×10^{-9})。绝大多数被排除在岩体之外,沉淀在矿源层内。这一事实被来自花岗岩、矿源层、矿体和矿化体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值得到证实。矿体内 $\delta^{18}\text{O}$ ($12.13\sim 15.74\text{SMOW}$)介于矿源层 $\delta^{18}\text{O}$ ($4.88\sim 32.61\text{SMOW}$)和花岗岩内 $\delta^{18}\text{O}$ ($4.68\sim 12.02\text{SMOW}$)之间,表明了上述地质作用在矿体、矿源层和花岗岩体间的内在联系。即在花岗岩体高温、高压及有关物质参与下,矿源层的金、银元素完成了再富集作用。

3 断裂活动导致金、银元素迁移富集成矿

山门银金矿宏观上产在依兰—伊通深断裂(统称为西缘断裂)上盘,矿体即赋存在深大断

5. 马志伟等,吉林省西部地区花岗岩类基本特征及成矿作用,1988

裂平行的断层内,也产在由它们派生的次级断层中。矿带两侧,尤其在矿带下盘发育数百米宽的糜棱岩带,产状与矿带基本一致。鉴于断裂带与矿体密切相关的现实,人们深信山门银金矿受这条深大断裂控制。但是,紧靠矿带的糜棱岩带内的金、银含量却很低,按照传统断裂控矿的概念,控矿断裂必定是沟通深部矿液的通道,那么矿液的通道就必然要有矿液充填的遗迹。事实上这里非但没有带入银,反而原来岩石中银的含量减少了,这用断裂控矿的理论是难于解释的。下面就所获有关资料探讨这个问题。

3.1 高温高压环境中的挤压控矿带

依兰—伊通深大断裂带无论在地质、地貌及地球物理图上都有明显的断裂迹象。它是一组走向北东方向挤压兼剪切为主的断裂组合及其所派生的断裂系统所构成的复杂断裂构造带。由于断裂带两侧山系上升,中间下陷,致使整个断裂带形成地堑地貌。

根据地壳深部物质侧向迁移的道理(王振中,1987),地堑形成是由于地幔上涌,热重物质进入中下地壳,壳层物质重熔打破了这里的平衡,导致重熔岩浆向两侧山地迁移,致使中部下陷形成地堑,两侧山地上隆。当上隆区物质增加到一定程度时,在内动力和重力作用下隆起区物质掩覆到地堑沉积物之上,这一机理和伊通地堑演化相一致。由于矿区处在下陷与隆起临界带,正是深部热重物质迁移的要冲,所以该区具有强大的热源和重要的成矿物、化条件。

依兰—伊通深大断裂宽5~25km,由2~6条(或更多)平行延伸的断层组成。叶赫一带地堑的西北部(山门银矿区)边缘断裂带宽2km以上,由2~3条平行的断层组成。每条断层宽数至数十米,个别地段近百米(断层组合)。主要断层两侧波及范围可达数百米;主断层中岩石几乎全部压碎(断层泥发育并有脉岩活动),两侧的波及带,岩石虽然仍保持“原岩”面貌,但碎裂和糜棱岩化却比较发育,往往遭受不同程度蚀变。

强烈的挤压应力给矿区造成了很大影响(图2)。岩石中广泛发育的粒化、矿物的弯曲碎裂、石英波状消光和塑性流变、矿物的重结晶,尤其是糜棱岩化等无不表明燕山晚期以来矿区经历强烈挤压兼剪切作用,其特点是:

①规模大、范围广,整体宽度2000m以上,延伸长度很大。沿走向挤压片理化带呈舒缓波状,片理产状变化较大,但总体上和依兰—伊通深大断裂一致。

②挤压作用强烈,岩石不同程度的遭受挤压应力影响。强烈挤压的岩石在空间上呈带状分布,平行延伸、横向上东强西弱。一般自带的中心向外,岩石受力程度由强变弱,发育一套挤压应力变质岩石组合;中部糜棱岩发育,片理化显著,具有似层状揉褶特点,有时形成复杂的似叠鞍状褶皱,还可见到长英质条带与暗色岩石相间的条带状构造。石英等矿物重结晶,有时被拉长呈现塑性流动状态。长石双晶弯曲多见,往往形成残斑或透镜体,粒径0.5mm,基质可达70%,粒径0.02~0.05mm。有时岩石整体出现塑性流动和重结晶作用,原岩结构面目全非;两侧裂隙发育,矿物碎裂变形明显,但位移不大,原岩构造尚可辨认;外部,原岩结构依旧,但有碎裂现象,矿物亦有碎裂,但无位移。

③蚀变现象普遍,绢云母化遍布全区,中基性岩中角闪石的黑云母化、绿帘石化,黑云母的绿帘石化普遍发育。硅化在断裂构造带处表现强烈。

④糜棱岩带内基性、中性、酸性脉岩发育,脉岩形成时代49.9~122Ma,脉岩一般都遭受构造活动影响和蚀变。

⑤几条冲断层与糜棱岩带产状一致,倾向北西,倾角35°~50°是糜棱岩带形成过程强烈挤压逆冲作用的产物,因此,是该带挤压应力释放区。正是在这里,在产状发生变化的地方产生

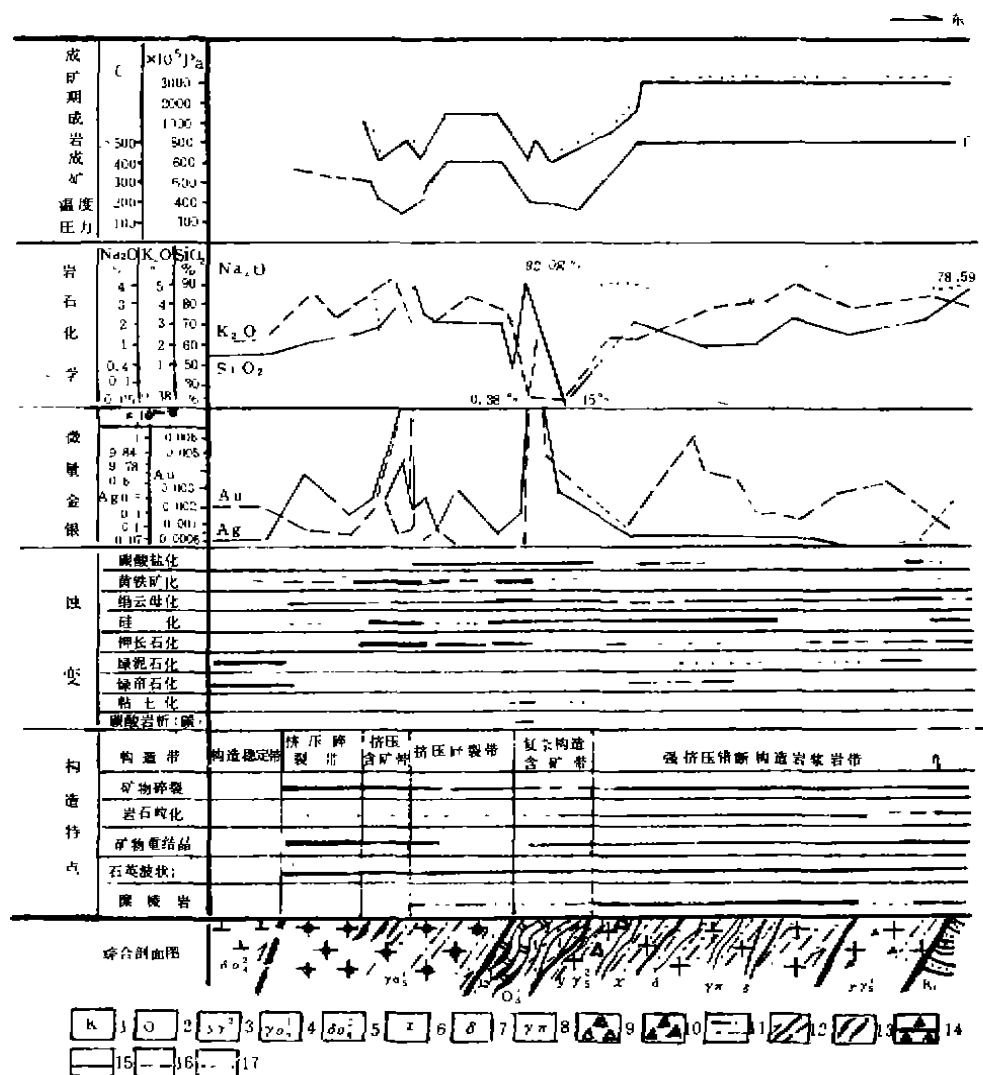


图2 山门银金矿区地质、物、化综合剖面图

Fig. 2 Comprehensive section for geological, geophysical prospecting and geochemical exploration in the Shanmen Au-Ag mining area

1. 白垩系下统; 2. 奥陶系上统石缝组; 3. 燕山早期二长花岗岩; 4. 印支晚期斜长花岗岩;
5. 华力西中期石英闪长岩; 6. 中性脉岩; 7. 煌斑岩; 8. 花岗斑岩; 9. 压碎带; 10. 碎裂带;
11. 糜棱岩; 12. 断层及推测断层; 13. 矿体; 14. 构造、蚀变强; 15. 构造、蚀变较强;
16. 构造、蚀变一般; 17. 构造、蚀变弱

低温、低压、低化学势的扩容空间。

基于上述构造作用的特点, 矿区目前的剥蚀面在成矿当时处在韧性变形带与脆性变形带的过渡地带, 形成时的温度 $300 \sim 550^{\circ}\text{C}$, 压力为 $2.5 \sim 5000 \times 10^5 \text{Pa}$ 。据 A Ve'allemand 等 1971 年对石英变形实验得到的资料, 在 $500 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 、压力 $2 \sim 2000 \times 10^5 \text{Pa}$, 石英出现不同类型变形机理 (尼可拉斯, 1985)。本区岩石中石英不仅有变形纹、压碎、流变, 而重结晶作用更为突出。鉴此, 本区挤压构造带温度一般在 400°C 以上, 压力不小于 $2000 \times 10^5 \text{Pa}$ (何永年,

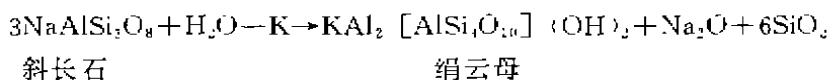
1988)。因此,本区构造带形成时处在高温、高压控制之下。

3.2 挤压带金、银元素高温、高压作用活化迁出

鉴于矿区地质演化特点,造成多种地质体银、金元素丰度增高。分散在造岩矿物内的银一般不会活化迁出。由于该区普遍经历过高温、高压和蚀变作用,不仅岩石结构被破坏,更重要的是矿物的晶格遭破坏,尤其是糜棱岩化岩石,矿物粉碎后不仅便于产生蚀变作用,而且银、金元素解除了晶格能的束缚,加速它们从岩石内活化迁出。Belevtser 等人(1972)做过从岩石中溶解金的实验:在温度300℃、压力300·10⁵Pa条件下,无论中性、酸性或者碱性水溶液均可从岩石内萃取出金(博伊尔,1984)。

本区韧性剪切带形成时,H₂O(0.15~1.22)%、CO₂(0.06~0.24)%、S²⁻(0.003~0.01)%、K₂O(平均3.7%)等已达到相当程度浓集,从而打破了那里原有的物、化平衡,在压力、温度梯度带控制下,从韧性剪切带内析出的银、金等物质一同向上部和两侧扩容空间及脆性构造带迁移。高温汽液流体所到之处岩石普遍发生钾化(绢云母化等)等面状蚀变,束缚在矿物和岩石中的金、银等元素被溶解随热液迁移。

绢云母化是矿区最广泛且强烈的一种蚀变,主要发生在中性斜长石中:



Na⁺和Ag⁺在配位数Ⅴ—Ⅷ,Na⁺(1.08~1.40)与Ag⁺(1.20~1.38)的离子半径相近,表明它们在斜长石内有可能成为类质同象替代的特点。绢云母化破坏了斜长石晶体,其中Na⁺(Ag⁺)被析出。从而说明,斜长石的绢云母化过程是从斜长花岗岩萃取银的一个重要蚀变作用。矿区斜长花岗岩内Na⁺大量亏损^①(Ag⁺将大量析出),不能不是银矿物质来源的重要途径。

未蚀变的石英闪长岩(斜长花岗岩体岩石类型之一)及未蚀变的泥钙质粉砂岩中Na⁺含量相对较高,蚀变后的上述岩石及矿体内Na⁺均低,相比之下K⁺具有反常的特点。亦说明绢云母化是从斜长花岗岩内驱除Na⁺、(Ag⁺)的重要蚀变作用。挤压破碎带和矿床附近的Na₂O含量急剧降低而K₂O含量相对增高,同样说明Na⁺的析出和K⁺的带入,反映出成矿在地球化学上的内在关系(图2)。

银、金元素在垂向上的迁移(从深部韧性带向浅部脆性带)目前尚无法取证,但通过韧性剪切带横向上的研究基本可以了解元素在某类岩石迁出量。概算后矿区主要岩石类型金、银元素迁出量见表3。

表3 单位体积(km³)岩石内Au、Ag元素迁出量估算表

Tab. 3 Calculation of Au-Ag elements migration for unit volume (km³) of the rocks

岩石类型	原岩含量 · 10 ⁻⁴		贫化后岩石含量 · 10 ⁻⁴		元素迁出量 · 10 ⁻⁴		1Km ³ 岩石迁出量 (t)	
	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
石缝组矿原序	5.79	792	2.12	121	1.67	651	5.67	1452
斜长花岗岩	2.20	329	0.70	100	1.50	229	2.75	752
二长花岗岩	3.30	192	2.54	77	0.76	25	2.5	62

① 戴友顺,山门银矿床物源组分银赋存状态及银矿化规律的研究总结,1986。

注: 1. 石缝组矿源层: 原岩含量无法测得, 实为成矿后围岩含量。贫化岩石指挤压碎裂岩化岩石

2. 花岗岩类体重: $2.5\text{g}/\text{cm}^3$

3. 矿源层岩石体重: $2.2\text{g}/\text{cm}^3$

3.3 矿液在低温、低压、低化学势扩容空间富集成矿

从上述可知晚白垩世以来, 矿区处在高温 ($300\sim 400^\circ\text{C}$ 以上)、高压 (>1000), 高化学势 (酸性或碱性热液) 控制之下, 也正是这样的环境才促使矿液的形成, 并使矿液迁移, 在迁移过程中矿质组分更为富集。

矿区中部复杂断层带是在高温、高压环境控制发展起来的具有扩容空间的断层带。根据已知矿体包体提供的资料, 该空间形成时温度一般 $150\sim 200^\circ\text{C}$, 压力 $300\sim 800\times 10^5\text{Pa}$ 。相对于矿区整体看来, 这一瞬间的扩容空间近似“真空”状态。活动在周围的高温矿液在强大的挤压应力驱赶之下, 类似发动机吸气冲程被吸入扩容空间和早期碱性热液相遇中和沉淀成矿。整个成矿过程是阶段性的时断时续地进行。矿体由小到大, 含量由贫到富, 集腋成裘, 成为今天的山门银金矿床。

3.4 成矿模式

3.4.1 成矿时间分析 山门银金矿产在大顶山斜长花岗岩、卧龙二长花岗岩体和石缝组接触带内, 矿床无疑在 158.1Ma 之后生成。银金矿体往往与煌斑岩脉相伴产出, 并切穿煌斑岩脉。所以成矿当在 122Ma (煌斑岩) 之后。近矿蚀变围岩绢云母是成矿作用早期阶段的产物, K—Ar 法测定形成的时间为 113.4Ma 。所以, 山门银金矿主成矿时间约在一亿年期间, 即在晚白垩世早期。此时正是依兰—伊通断裂之西缘冲断层逆冲到早白垩世沉积物之上的时期。

3.4.2 成矿物质迁移、富集 从岩石化学和微量元素的变化可看出如下特点 (图2):

- ① SiO_2 和 Ag 在挤压蚀变破碎带贫化, 向扩容 (储矿) 带富集。
- ② K_2O 在蚀变破碎带富集, 在主要扩容储矿带较贫。
- ③ Na_2O 总体呈现贫化状态, 矿床附近尤为明显。
- ④ CaO 、 FeO 、 MgO 在挤压破碎带贫化明显, 扩容储矿带明显偏高。
- ⑤ Fe_2O_3 随着挤压破碎强度增高, 扩容赋矿带较低。

上述表明, 高温、高压下韧性剪切带发生塑性流变时是析出金、银和二氧化硅、水、二氧化碳、硫的过程 (金在主挤压带局部增高现象主要是和这里的中基性脉岩活动有关, 也可能是后期这里已处在脆性状态时下部韧性带再次活动排出微量金、银所致。由于银比金活化能小, 同样条件下迁移距离远, 金活化能大于银, 只有金停留在这里), 也是它们向扩容带迁移富集的过程; 在韧脆性过渡地带, 则是由韧性带排出的汽液流体, 尤其是 K^+ 活跃的空间, 是从碎裂的固体围岩内萃取金、银元素的场所, 也是成矿物质来源的另一途径。

3.4.3 矿石的信息 矿石的包体研究和稳定同位素测试取得如下数据:

含矿溶液为偏酸性低温水溶液, 富含 H_2O 、 CO_2 及 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等组分 (表4)。矿液承受压力较低, 上覆岩层不会大于 3km 。

表4 含矿石英脉包体物理化学特征表

Tab. 4 Physical-chemical properties of the ore-bearing quartz vein inclusions

包体名称	包体成分							
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	F^-
矿化石英	21.58	2.92	3.62	0.68	13.78	3.37	2.62	2.83
含矿石英	11.7	4.96	5.22	0.75	17.23	5.13	6.67	2.85
贫矿石英	2.82	3.42	5.61	0.38	11.92	3.11	5.57	0.43
含矿石英	26.54	2.63	1.50	0.18	9.69	5.15	0.60	

续表

NO	$\mu\text{g/g}$				pH (200°C)	Eb (200°C)	压力 $\times 10^5 \text{Pa}$	爆裂温度 °C	样品号
	CH_4	CO_2	H_2O						
0.10	0.03	5.93	445.3	7.35	-0.601	590	300~340	S008	
0.24	0.06	27.33	569.7	6.79	-0.545	705	150~200	3013	
	0.03	22.40	283.3	6.66	-0.531	615	260	S215-1	
		29.00	205.0	6.30		810	220	S21	

测试者: 北京铀矿地质所

根据矿石的氧同位素值判断, 山门银金矿物质是渗透在地下被加热的雨水萃取了花岗岩与地层等有关物质聚集形成的 (但不排除有少量岩浆水的加入)。

3.4.4 成矿模式 (图3) 矿区一度广泛分布的石缝组矿源层, 历经花岗岩侵吞改造, 呈大小不等的饱含金、银元素的捕虏体残存在后期花岗岩体内。斜长花岗岩乃至二长花岗岩体因吸

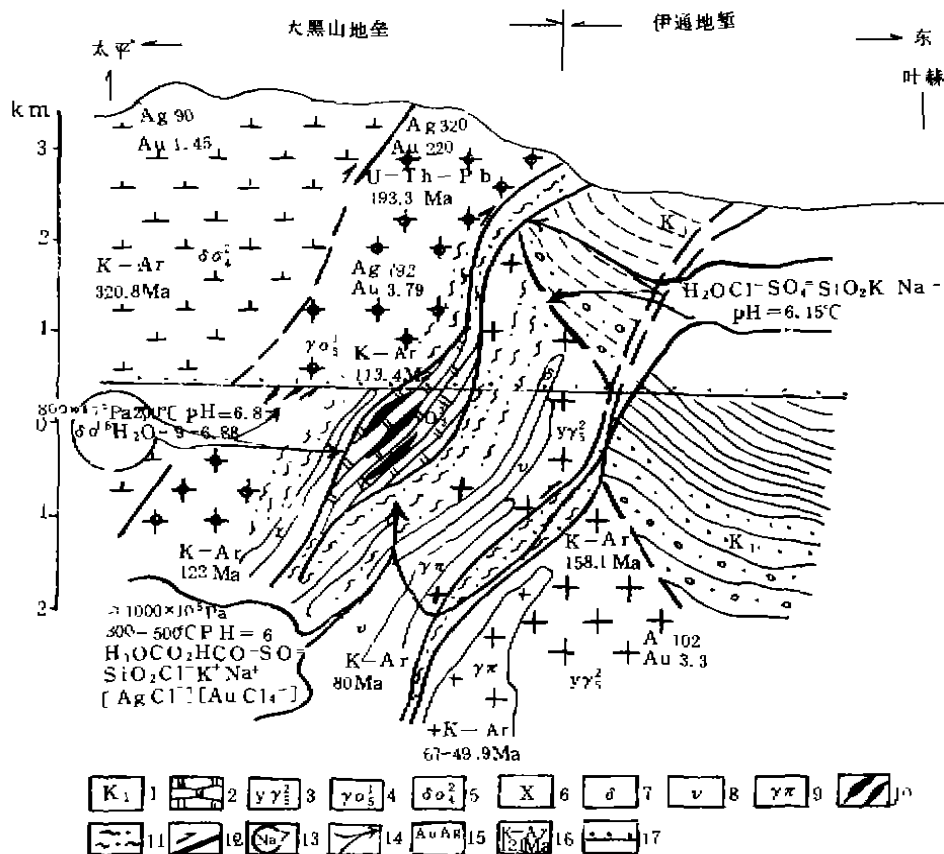


图3 山门银金矿成矿模式图

Fig. 3 Metallagenic model of the Shanmen Au-Ag deposit

1. 白垩系下统红色砂泥岩; 2. 奥陶系上统石缝组矿源层; 3. 燕山早期二长花岗岩; 4. 印支晚期斜长花岗岩; 5. 印支早期中期石英闪长岩; 6. 辉长岩; 7. 闪长岩; 8. 辉长岩; 9. 花岗岩; 10. 矿体; 11. 糜棱岩; 12. 糜棱岩; 13. 矿液主要成分及其物化特点; 14. 矿液生成迁移途径; 15. 金、银元素丰度; 16. 同位素年龄及方法; 17. 交代蚀变。

注: 图中 Ag, Au 含量为 $\times 10^{-4}$ 。

收了大量矿源层的物质也成了富含成矿物质组分的载体。

侏罗纪晚期以来,随着伊通地堑地壳深部重熔岩浆大量迁入大黑山地垒以来,至早白垩世末隆起的地垒膨胀上涌物质向上推挤和上部岩层受重力作用下以不同速率冲向地堑洼地(图3)。汇入地堑的雨水,富含 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 和 SiO_2 呈现弱酸性^[1],沿断层向地垒东侧深部渗入,沿途萃取围岩内富含的金、银元素,以金、银氯络离子形式向深部迁移。随着迁移深度的加大,含矿质溶液温度增高,所受压力也增大,另一方面从围岩内萃取能力不断增强,尤其在经过矿源层时,从中萃取丰富的成矿物质。更重要的是接收了从深部韧性带排挤出来丰富的金、银等成矿物质,并汇合了从深部重熔岩浆分离出来的成矿物质,形成了富含银、金物质的弱酸性矿液。

因为 K^+ 有低的离子比重和原子比重,稍有能量即会活化迁出。(南京大学,1987)。西缘断裂带热能大,地壳深部无疑 K^+ 被大量排出;连同 H_2O 、 CO_2 、 S 等形成的汽热流沿断裂系统广泛地活跃在矿区围岩中,形成面状钾化,尤其在含矿断裂带形成的黄铁绢云岩化显示弱碱性还原环境的热液性质。

渗透活动在碎裂岩石中的高温矿液,由于受地壳深部静压和高温梯度作用,总是处于缓慢向上迁移状态。途中虽然温度逐渐降低浓缩矿质。由于总是处在相对高温、高压和高化学势环境,因此,一般不会沉淀富集。

强大的挤压应力控制和支配着地质作用和成矿作用的进行。逆冲断层的发展产生了一些扩容空间,这些空间和周围相比具有显著的温、压和化学势之差异,迫使迁移中的矿液迅速进入空间,与那里早期阶段存在的弱碱性围岩或热液中和使矿液中的金、银等物质沉淀而富集成矿。正如上面所述,这个过程是长期的,时断时续的反复进行的过程。

参 考 文 献

- 1 王振中等,对吉林省东江县椅山一带矿源层的研究,吉林地质,1987;(1)
- 2 R·W. 博伊尔,金的地球化学及金矿床,地质出版社,1979
- 3 范文苓,层控矿床中自然金—银系列矿物形成条件的实验研究,金银矿选集,第三集,1985
- 4 王振中,试论地壳深部物质的侧向迁移—以松辽盆地、下辽河洼陷及其两侧的隆起区为例,西安地质学院学报,1987;(2)
- 5 李树勋等,韧性剪切变质带特征及与金矿化的关系,矿物岩石学杂志,1983
- 6 A. 厄可拉斯, J. P. 泊利埃,变质岩品质塑性和固态流变,科学出版社,1975
- 7 何永年等,构造岩石学基础,地质出版社,1968
- 8 南京大学地质系,地球化学,科学出版社,1987

[1] 李德威,吉林省梨树县石岭一带水化氯离子异常普查总结,1972

GENETIC MECHANISM AND METALLOGENIC MODEL OF Ag-Au DEPOSIT THE IN SHANMEN, SIPING AREA, JILIN PROVINCE

Wang Zhenzhong Hou Wei

(*Jilin Institute of Geological Sciences, Changchun 130012*)

Abstract

The source bed in the upper series of the Ordovician system in the geosyncline structural layer lies in the granites, which underwent three granitic activities with HT (600℃), HP (>1000Pa) and permeation of the gas-hydrothermal fluid. Silver-gold elements were migrated and reconcentrated. Compared with the similar rocks, their element abundance are about 7 times of Ag and 3 times of Au. Due to the activities of the ductile shear belt as mentioned above, with HT (>400℃), HP (>1000Pa), and the gas-hydrothermal solution in Diwa period, the Ag-Au elements were extracted and migrated to the expansion space with low temperature (~200℃) and low pressure (300-800Pa), resulted in formation of the ore deposits.

Key words Source bed Element migration Ductile shear belt Expansion space