地质·矿床

冀北万全寺银金矿床地质地球化学特征

王宝德[1],牛树银[1],孙爱群[1],刘亚明[1],郭鹏志[2],孙双海[2]
(1. 石家庄经济学院地质调查研究院,石家庄 050031; 2. 天津华北地质勘查总院,天津 300181)

[摘 要]万全寺银金矿床位于张宣幔枝构造东侧的侏罗纪断陷盆地中,成矿时限晚于 133.33Ma～101.82 Ma。通过硫、铅、氢、氧、碳及稀有气体同位素研究认为,成矿物质应源自地球深部,在中生代冀西北幔枝构造演化过程中集中成矿。成矿热液以岩浆水为主并加入了部分天水。

[关键词]万全寺银金矿床 地质地球化学特征 冀北
[中图分类号]P618.51; P618.52 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2008)01-0015-06

1 成矿地质背景

万全寺银金矿床位于张宣幔枝构造东侧的侏罗纪断陷盆地中,按照幔枝构造体系的划分原则[1],矿床的成岩成矿作用应受张宣幔枝构造演化,及其岩浆和含矿热液活动的规律性制约。

矿区出露的地层主要有侏罗系中统后城组和上统白旗组,呈顶垂体产出。万全寺银金矿床主要赋存在白旗组二段的安山岩和粗安岩中。从岩相学观察,含矿地层集中在凝灰岩和凝灰角砾岩内,受含矿热液的影响凝灰岩和凝灰质角砾岩发生一系列成分与结构构造的改造。

矿区位于赤城—平泉深切断裂的北侧,乌龙沟—上黄旗深断裂的西侧。矿区以脆性断裂构造形式为主,为赤诚—平泉断裂的次级派生构造。根据断裂构造的走向可分为四组:即 NW、NNE、近 SN和 NE。这些断裂穿切了白旗组地层,也切穿了闪长岩体,因此其形成应为燕山期。

矿区岩浆活动比较强烈,岩浆岩分布广泛。岩浆活动以中性-亚碱性喷溢和浅成、超浅成侵入活动为主,前者形成了大面积分布的火山岩,后者则以闪长岩岩株形式产出,还有闪长玢岩、正长斑岩成脉状产出。闪长玢岩和正长斑岩岩脉多呈北北西向产出,往往成为后期矿化的有利部位(图 1)。图中可见,除有利的区域构造环境外,根据闪长岩的空间分布特征连线,明显反映出矿区应是一构造-岩浆活动的热点地段,是成矿非常有利的区段。

2 矿床地质特征

矿体主要赋存于侏罗系上统二段的安山岩、粗安岩及燕山期闪长岩中。全区已发现矿体 38条,有工业意义的主要是 Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅷ、Ⅹ、ⅫⅢ、ⅩⅤ等 8条脉带中,在深部还应有新的发现。矿体的形态和产状严格受北西向或北东向构造控制,大多数矿体呈脉状、小扁豆状和透镜状。矿体在水平上和垂向均有明显的分枝、复合、尖灭、再现现象。矿体倾向北东、东、南东东,倾角多为 75°～85°之间。矿体规模较小,走向延伸一般为 100～300m,但延深大于延长(如Ⅴ-1矿体)。Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ号矿脉为本区的主矿体,平均厚度分别为 1.64m、1.59m和 1.89m,最厚可达 5.1m。

矿石中主要金属矿物为自然银、辉银矿[β～Ag_2S]、螺旋硫银矿[α～Ag_2S]、银金矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、辉铜矿、菱铁矿、硬锰矿、软锰矿等。脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、方解石、角闪石、绿泥石等。矿石中金属矿物颗粒较细,其中,黄铁矿晶形多数较完好,但在自然银产出的矿脉中往往为他形。矿石结构主要有粒状结构、包含结构、乳滴状结构、填充结构和交代结构;矿石构造主要有浸染状构造、角砾状构造、蜂窝状构造和细脉状构造。

蚀变-成矿作用可分为三期,即成矿前期,主要形成角岩化、硅化和少量黄铁矿化;主成矿期形成绢云母-石英-黝帘石化及闪锌矿、方铅矿、辉银矿、

[收稿日期]2006-12-18; [修订日期]2007-03-09。
[基金项目]河北省基金项目(编号:D2007000751)资助。
[第一作者简介]王宝德(1953年—),男,1977年毕业于河北地质学院,教授,现主要从事地质地球化学的教学和科研工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

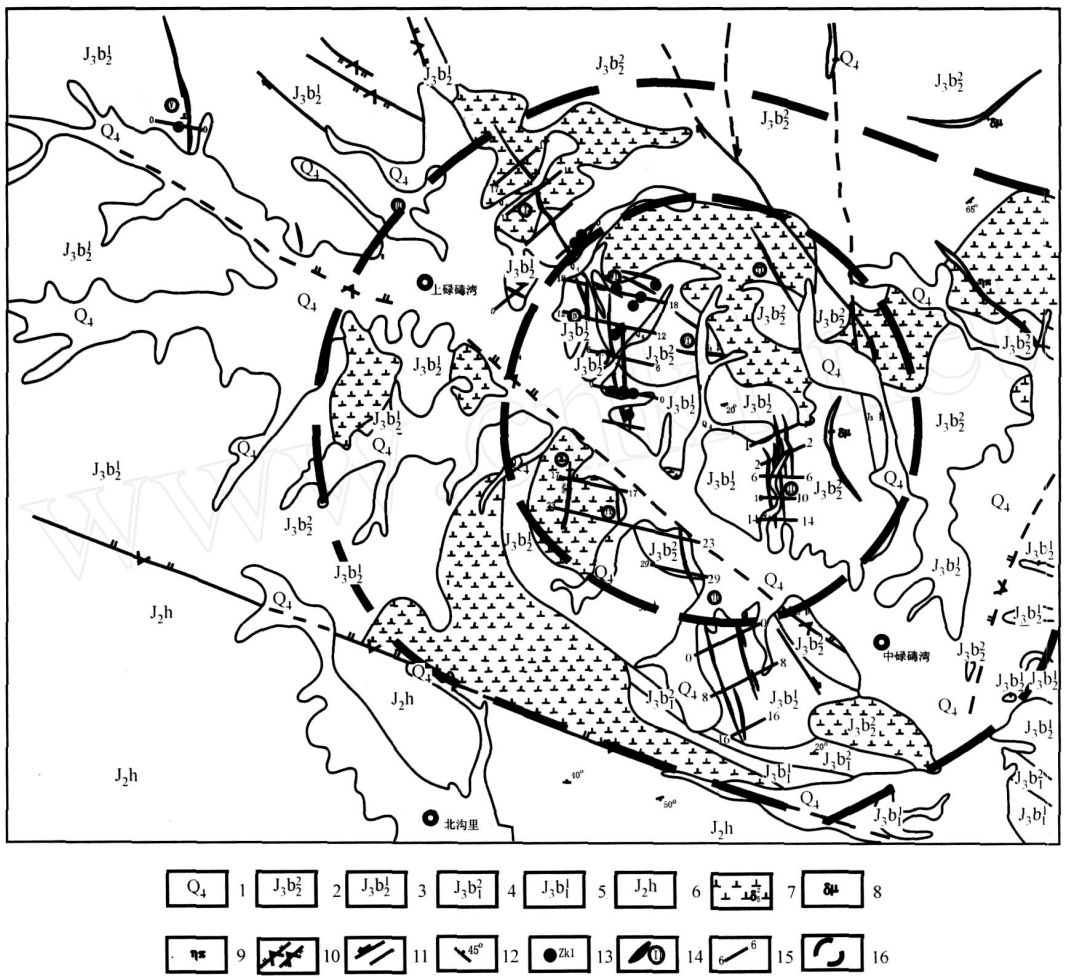


图 1 冀北万全寺银金矿地质简图

(据天津华北地质勘查总院修改)

1—第四系;2—侏罗系上统白旗组二段上部粗安岩;3—下部安山岩;4—一段上部流纹岩、晶屑凝灰岩;5—下部凝灰质砂砾岩;6—中统后城组河湖相砂砾岩;7—闪长岩;8—闪长玢岩;9—正长斑岩;10—正断层、逆断层;11—剪切断层、性质不明断层;12—产状;13—钻孔及其编号;14—矿脉带及其编号;15—勘探线及其编号

自然金等多金属矿脉的贯入;晚期形成和碳酸盐化和萤石化。

矿石中银主要以辉银矿、螺状硫银矿和银金矿产出。少量自然银呈独立矿物存在于金属硫化物或石英 - 硫化物孔洞中。

银矿物主要呈不规则粒状,少量发丝状特征明显,0.01～2mm。银的主要载体矿物为方铅矿、闪锌矿和黝铜矿。据华北有色地质勘查局五一九队对该矿区 39粒辉银矿粒度和形态统计,辉银矿以不规则粒状为主,粒度多在 0.037mm以下。辉银矿主要嵌生于脉石矿物和硫化物矿物粒间或裂隙中。银的原生矿物以辉银矿 (2AgS)最为重要,此外还有深红银矿 (Ag_3SbS_3)和淡红银矿 (Ag_3AsS_3)、自然银等。通常银在矿石中含量很少,往往不够成独立矿体。辉银矿多以固熔体分解物或类质同象混入物的形成赋存于 Cu、Pb、Zn的硫化物中,特别是方铅矿 (PbS)中最为常见。

黄铁矿是矿石中最多见的金属矿物,多呈自形 - 半自形粒状、立方体颗粒,粒度在 0.4～0.01mm,多数为单粒颗粒,少数呈集合体均匀分布于矿石中。方铅矿、闪锌矿、辉银矿微粒包裹于黄铁矿之中。经单矿物微量元素测定,黄铁矿是金的主要载体矿物 ($Au = 0.47 \times 10^{-6} \sim 54.19 \times 10^{-6}$),并出现自上而下,金含量明显增高趋势。

闪锌矿多呈它形粒状,粒度一般为 0.01～0.5mm。按其存在形式可分两类,一类是不含黄铜矿的闪锌矿,颗粒均匀、干净;另一类是含固体分离物黄铜矿的闪锌矿,颗粒极细,稀疏分布于闪锌矿

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中,闪锌矿除单体散生的,也有和方铅矿连生的颗粒,呈填隙状分布于脉石矿物之间,偶见辉银矿和闪锌矿连生。经单矿物微量元素测定,闪锌矿中含微量银和金。

方铅矿在矿石中不均匀分布,呈自形晶和它形粒状,粒径在 0.02～0.13mm。它形粒状方铅矿往往呈填隙状分布于脉石矿物之间,与闪锌矿连生。偶见被辉银矿交代的方铅矿,方铅矿是银的主要载体矿物 ($Ag = 860 \times 10^{-6} \sim 4500 \times 10^{-6}$)。

黄铜矿含量较少 (0.2%),呈它形粒状,粒径在 0.01～0.04mm。少量呈乳滴状分布于闪锌矿中,黄铜矿与方铅矿紧密连生,个别与辉银矿连生。激光光谱分析闪锌矿中含微量银。

3　地质地球化学特征

3.1　成矿时限

矿区出露的地层主要是侏罗系中统后城组火山碎屑岩和上统白旗组中性熔岩及火山碎屑岩,燕山晚期闪长岩侵入之后,呈顶垂体产出。银金矿脉同时穿切闪长岩和侏罗系地层,说明成矿时间应晚于闪长岩和侏罗系地层。因此,从矿床产出的空间位置可大致确定其成矿时限应为燕山晚期。分别测定粗粒和细粒闪长岩 K - Ar法年龄 101.82 Ma和 133.33 Ma,并对比冀西北地区主要金、银多金属矿床的成矿同位素年龄值[2],可见万全寺银金矿产出时限与冀西北众多金、银矿床相近,均为燕山期产物。

3.2　硫同位素

通过 18件 (本次测定 3件)黄铁矿、闪锌矿、方铅矿 3种硫化物的硫同位素测试结果可知,本矿床 $\delta^{34}S$ 变化范围为 - 0.44‰～7.2‰ (表 1),平均 2.64‰。分别统计 3种矿物硫同位素平均值,本矿床硫同位素具有 $\delta^{34}S$黄铁矿 > $\delta^{34}S$闪锌矿 > $\delta^{34}S$方铅矿变化规律,即平均值从大到小排列为黄铁矿 (5.14‰) >闪锌矿 (2.83‰) >方铅矿 (- 2.08‰)。表明区内硫同位素基本已达到平衡,成矿流体的硫应源自地球深部。

3.3　铅同位素特征

采集万全寺银金矿床黄铁矿和方铅矿进行铅同位素测定,数据列于 (表 2),从表中可以看出,万全寺银金矿床矿石铅同位素组成变化很小,样品的值较为集中,具有含正常铅特征。其 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 在 16.127～16.528 之间,$^{207}Pb/^{204}Pb$ 在 15.075～15.310之间,$^{208}Pb/^{204}Pb$在 36.631～36.807之间。将铅同位素数据投点于 B R Doe铅构造 $^{207}Pb/^{204}Pb$—$^{206}Pb/^{204}Pb$图解中 (图 2)可见,投影点均位于地幔与下地壳铅演化线之间,表明万全寺银金矿床铅同位素具有相同的特征,即铅应主要由地球深部供给。

表 1　冀北万全寺银金矿硫同位素特征表

序号	样号	采样位置	测试矿物	$\delta^{34}S$‰	资料来源
1	FW - 4	5号脉	闪锌矿	- 1.3	本文
2	FW - 7	5号脉	黄铁矿	3.2	
3	FW - 15	5号脉	方铅矿	- 1.3	
4	S1	PD3 - 1	黄铁矿	7.2	
5	S2	Zk3 - 4	黄铁矿	4.0	
6	S3	Zk7	黄铁矿	6.2	
7	S9	Zk3 - 1	黄铁矿	5.3	
8	S12	PD1 - 1	黄铁矿	4.2	
9	S14	Zk10	黄铁矿	5.9	
10	S5	PD3 - 1	闪锌矿	3.2	华北有色
11	S6	PD3 - 1	闪锌矿	2.6	519大队
12	S11(浅)	PD1 - 1	闪锌矿	4.9	
13	S11(深)	PD1 - 1	闪锌矿	2.5	
14	806	Zk7	闪锌矿	4.4	
15	S3	PD3 - 1	闪锌矿	3.5	
16	S3	PD3 - 1	方铅矿	- 0.4	
17	S19	2号脉	方铅矿	- 4.4	
18	S15	PD5 - 3	方铅矿	- 2.2	

注:测试单位:国土资源部同位素实验室,2005;华北有色 519大队. 万全寺外围 2000年预查找矿报告, 2000年。

表 2　冀北万全寺银金矿铅同位素特征表

序号	样号	采样位置	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	资料来源
1	Fw～4	矿体	16.369	15.284	36.631	
2	Fw～7	矿体	16.520	15.293	36.681	本文
3	Fw～15	矿体	16.393	15.287	36.651	
4	Pb3	矿体	16.528	15.310	36.807	华北有色五一九队
5		矿体	16.127	15.075	36.729	王金锁

注:测试单位:国土资源部同位素实验室,2005;华北有色 519大队. 万全寺外围 2000年预查找矿报告,2000;王金锁. 冀北西部银矿成矿地质条件及找矿方向,1992。

3.4　氢、氧、碳同位素特征

一般认为标准岩浆水 + 5～ + 10‰, - 40～ - 80‰, - 5～ - 8‰。没有参与地表水循环,直接来自地幔的物质具有低的 $\delta^{18}O$ 值,最大值小于 7.0‰～7.5‰,而地壳物质的 $\delta^{18}O$ 为 12‰～35‰(Toylor, 1974)[4]。不同岩石的 $\delta^{18}O$ 具有明显差别,花岗岩中的 $\delta^{18}O$ 为 7‰～14‰。本区矿脉 $\delta^{18}O$ 为 12.80‰～13.80‰,平均值为 13.30‰(表 3)。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 万全寺银金矿床碳、氧、氢同位素测试结果

序号	样品来源	样品名称	$\delta^{18}O_{SMOW}$ /‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$ /‰	δD_{SMOW} /‰	$\delta^{13}C_{PDB}$ /‰	$\Delta^{30}Si$‰	t/℃
Fw～8	银金矿石	石英	13.8	4.36	-106	-3.9	-0.1	240.04
Fw～15	银金矿石	石英	12.8	0.77	-113	CO2含量低	-0.2	195.60

测试单位:国土资源部同位素实验室, 2005。

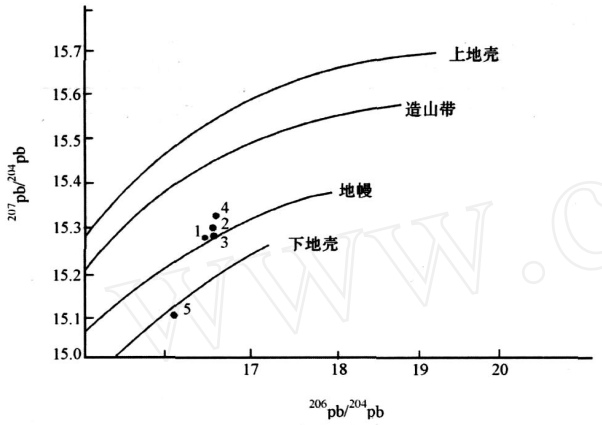


图 2 冀北万全寺银金矿床铅同位素组成
(据 Zartman及 Doe)[3]

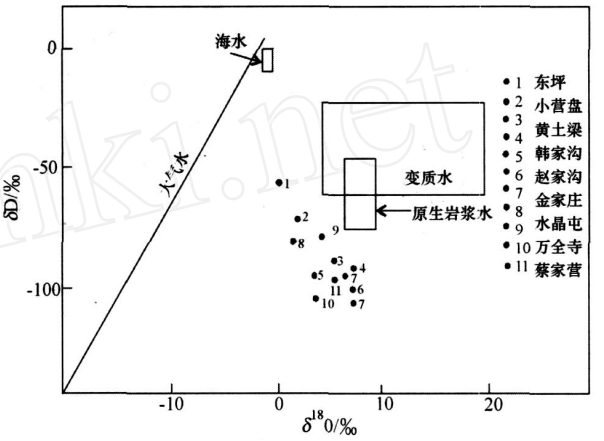


图 3 冀西北部分金、银多金属矿床一组成图

万全寺银金矿床内保存于石英中的包裹体均一温度在 120℃～410℃之间,峰值主要集中于 150℃～250℃区域,平均 236.71℃。可确定该类矿床成矿温度为中温热液。冰点变化范围较窄,在 -1.0～-0.7之间,主要集中于 -1～-5之间,平均 -3.97℃。对应的盐度在 1.23wt%～58.41wt%之间,主要集中于 1.0wt%～10.0wt%之间,平均 8.76wt%。成矿溶液盐度变化应属中等水平。据脉石英包裹体的测温结果,利用石英-水分馏方程式,计算与石英平衡时成矿介质的 $\delta^{18}O_{H_2O}$值,由此讨论成矿介质的性质。计算结果表明:成矿流体的 $\delta^{18}O_{H_2O}$为 0.77‰～4.36‰,平均为 2.57‰,变化范围较窄,并与标准岩浆水接近。矿石石英的 δD_{H_2O}为 -106‰～-113‰,平均为 ～109.5‰,将冀西北地区已公布和实测的 12个矿床 30余个样品统计平均值投在 δD_{H_2O}～$\delta^{18}O_{H_2O}$变异图中(图 3),均落在岩浆水范围的左下部,而远离雨水线,反映了含矿流体的岩浆成因,但确有天水的混合。

1件石英中流体包裹体 CO_2 的 $\delta^{13}C_{PDB}$值为 -3.9‰,与 Hoefs (1987)[5]界定的地幔来源碳同位素值 (-5‰ ±2‰)相当接近。

SiO_2 的 δ^{30}Si用 SiF_4 方法分析,精密度优于 ±0.10‰,运用硅同位素探讨成矿物质来源目前还处于起步阶段。Molini-Velsko et al.[1] (1986)认为陨石全岩的 δ^{30}Si值 (‰)的变化范围为 -1.8～0.3,平均为 -0.5。丁悌平等[10] (1994)对中国及北美花岗岩进行了硅同位素分析认为,其 δ^{30}Si值 (‰)的变化范围为 -0.4～0.4,峰值为 -0.1,平均值为 -0.12。本区燕山期花岗岩的 δ^{30}Si (δ^{30}Si = -0.3‰)与东坪金矿的 δ^{30}Si组成具有相似性,因此有可能提供了一定数量的硅。

3.5 氦氩同位素

本次测试了 3件样品,其 $^3He/^4He$ ($\times10^{-6}$)含量范围为 1.47 $\times10^{-6}$～3.68 $\times10^{-6}$,平均 2.70 $\times10^{-6}$。比普通火成岩 (0.003～0.26)高数百倍,但较典型的幔源物质 (1.1 $\times10^{-5}$～1.4 $\times10^{-5}$,大洋玄武岩)要低将近一个数量级 (Mamyrin, 1984; Graham et al, 1992; Ozima, 1994)。

将黄铁矿中的 $^3He/^4He$与空气的 $^3He/^4He$ (Ra:空气 $^3He/^4He=1.39\times10^{-6}$)相比,其值域为 1.06Ra～2.65Ra,平均 1.95Ra,将万全寺矿床和冀西北 8个矿床黄铁矿等硫化物矿物氦同位素投点于 ^3He-^4He浓度图上 (图 4),其落点均位于地幔氦附近。反映氦气应以地幔来源为主,并在上升过程中有脱气现象或放射性 ^4He(壳源物质)加入。表明成矿物质应来自于地球深部,地幔流体参与了成矿作用。

所研究矿床的氩同位素分析结果表明, $^{40}Ar/^{36}Ar=300$～386, $^{40}Ar/^{38}Ar=1601$～2074, $^{36}Ar/^{38}Ar=5.32$～5.37, $^{40}Ar=6.25$～33.83 $\times10^{-7}$ cm^3 STP/g,与 Hart (1979)所得地幔 ^{40}Ar的上限 3.2 $\times10^{-6}$ cm^3 STP/g十分接近; $^4He/^{40}Ar=0.19$～2.61,平均值

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为 0.4。与 Schwartzman (1973)估计现今地幔的 $^{4}He/^{40}Ar$在 1.36～2.23之间相近。因此,万全寺银金矿黄铁矿中 $^{4}He/^{40}Ar$比值低,应表明有来自地球深部气体组分的加入。

表 4　冀北万全寺金银矿床氦同位素特征表

样号	样品类型	$^{3}He/^{4}He/10^{-6}$	$^{4}He\times10^{-8}/cm^{3}STP/g$	$^{3}He\times10^{-14}/cm^{3}STP/g$	R/Ra※	方法	资料来源
Fw-4	闪锌矿	2.96	112.8	333.89	2.13		
Fw-7	黄铁矿	1.47	63.1	92.76	1.06		
Fw-15	方铅矿	3.68	34.2	125.86	2.65		
样号	$^{40}Ar/^{36}Ar$	$^{40}Ar/^{38}Ar$	$^{36}Ar/^{38}Ar$	$^{40}Ar\times10^{-7}cm^{3}STP/g$	$^{4}He/^{40}Ar$	压碎法	本文
Fw-4	386	2074	5.37	24.47	0.46		
Fw-7	300	1601	5.32	33.83	0.19		
Fw-15	379	2026	5.32	6.25	0.55		

测试单位:国土资源部同位素实验室,2006。

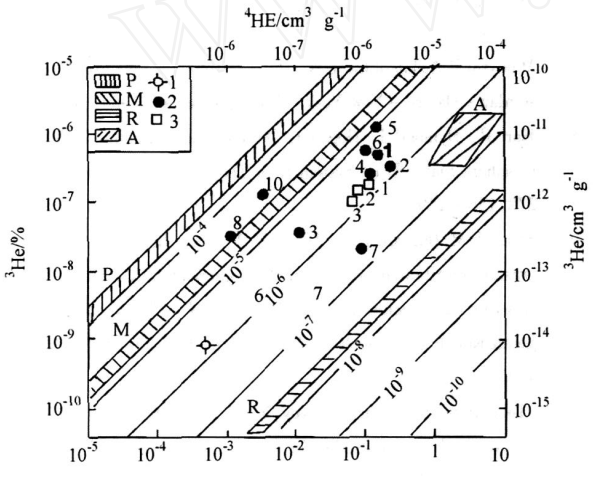


图 4　万全寺银、金矿氦同位素浓度图

(据 Tolsikhin, 1978)[11]

P—原始氦,M—地幔氦,R—放射性成因氦,A—科拉半岛古老超基性岩. 1—大气氦,2—冀西北金、银多金属矿氦,3—万全寺银金矿氦

4　成矿机理探讨

根据前述硫、铅、氢、氧、氮、氩同位素特征及成矿年龄测定,表明冀西北地区众多金、银多金属矿床成矿物质来源应源自地球深部。进入燕山运动时期,华北地区进入了强烈的地幔热柱多级演化阶段。河淮地幔亚热柱上升至岩石圈底部受阻而呈伞状向外拆离滑脱,由于河淮地幔热柱的热减薄作用,华北断陷逐渐形成,与此同时,崇礼—赤诚断裂带的深切,使原本具有熔融性质的地幔软片减压释荷形成深熔岩浆,并熔融部分围岩构成线状岩浆房,尤其在有横向断裂交汇的部位构成通道,成为岩浆活动的良好场所,表现为强烈的构造岩浆带。岩浆活动导致地块整体上隆,变质岩系呈揭顶式隆起,外围盖层则大幅度正向拆离滑脱,形成典型的幔枝构造。冀北地区水泉沟杂岩体的不断活动并带来多次的碱质,沟通了深部矿源,并在燕山期花岗质岩浆活动带及其围岩的拆离带和盖层中形成众多的金、银矿床。本区幔枝构造的核心的印支-燕山期花岗质岩浆作用及大规模的碱质蚀变,形成水泉沟碱质杂岩体。因为只有这种大规模的地质作用才能带来如此大量的金银铅锌。这从多数资料证明本区燕山期花岗质岩浆具幔源或壳幔源特征及本身含金量明显高、成岩与成矿时间的一致性等可以得到证实。

冀西北地区岩浆活动强烈而频繁,尤其是燕山期火山-侵入活动非常强烈。该区中生代火山喷发-次火山岩侵入-中深成岩侵入,受共同的构造格局支配,紧密伴生,均属碱性偏高的钙碱岩系。岩浆属同熔型,由于在侵位上升过程中混熔了大量壳岩组分而具重熔型岩浆特征。侵入体主要是花岗质岩石,为中深成相岩株,分为浅成-超浅成相岩株和脉岩。侵入岩多产于火山盆地边缘或内部的火山机构及断裂带内。银多金属主要是伴随燕山晚期大规模的岩浆活动从地幔和地壳中活化而进入成矿流体中。

金、银等元素主要来源于地球深部,随地幔热柱多级演化进入软流圈,并可与岩浆一起进行分异作用,沿幔枝轴部深切韧性剪切带或随岩浆上侵向浅部运移,同时萃取含矿围岩中的成矿物质。与此同时,幔枝上部脆性裂隙导致大气降水向深部渗透。当上部氧化系统的下渗大气降水与深部还原系统向上运移的含矿流体在构造扩容带相遇时,物化条件随之改变,加之温度、压力等条件的改变,使金、银等在有利的构造部位沉淀、聚集成矿。而在幔枝外围则可形成成矿温度较低的(相广式)银多金属矿床。从而构成以幔枝为中心,内带为金、外带为银多金属的成矿系列。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

随着幔枝构造的不断演化,特别是在燕山期花岗质岩浆演化的中、晚期,金逐渐从气态向液态(或气-液态)转化、集中,并在适宜的空间及物化条件下聚集成矿,而与地层(或围岩)无明显专属性关系。由于东西向的尚义—赤城断裂的深切,导致深熔岩浆上侵。由于韧性剪切带的多期次活动,受其控制的幔壳混熔型岩浆也具有长时期、多期次、多类型侵入特征,并发生多期次幔源碱交代,成为构造变形-岩浆活动-蚀变变质-成矿作用的统一体系。

张宣幔枝不仅是金银等成矿物质的深部来源通道,而且是热源释放体系,成矿物质迁移的热驱动力。因此,从成矿作用的角度分析,不管是来自深源,还是从围岩中萃取的成矿物质均通过含矿流体而活化迁移、聚集,当含矿热流体温压条件较高,矿质处于活化迁移状态;当温压条件降低而不利于某种元素迁移时,该元素便会沉淀、聚集起来。因此,由于不同矿种成矿温压条件的差异,便会出现在能量场控制下的成矿分带。在张宣幔枝构造中,最明显的成矿分带就是以慢枝为中心的金矿成矿区,向外围过渡到成矿温度稍低的银多金属成矿带。它们是张宣幔枝演化控制下的构造变形-岩浆活动-蚀变变质-成矿作用统-体系的成矿系统,有着共同的成因联系和内在统一性。

综上所述,本区金应主要来自地球深部,地幔热柱多级演化是金向上迁移的主要动力,而中生代大规模花岗质岩浆活动及大规模的碱化作用是金向上迁移的主要载体。在地球深部超高温、高压环境下,金及其硫化物只能以汽相状态存在并随地幔热柱多级演化不断向上,在岩浆冷凝演化过程中向成矿热流体中集中,并在适当的空间和物化条件下卸载成矿。而有利的的导矿、控矿空间就是幔枝构造轴部剪切带、基底与中上元古之间的主拆离带及盖层中的次级拆离带。

[参考文献]

[1] 牛树银,李红阳,孙爱群,王宝德,等. 幔枝构造理论与找矿实践[M]. 北京:地质出版社, 2002, 11-35.

[2] 王宝德,牛树银,孙爱群,等. 冀北地区中生代金银多金属矿床成矿物质来源与深部过程约束[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 379-385.

[3] Zartman, R E., Doe B. 1981 Plumbtectonics～The model[J]. Tectonophysics. v, 75(1～2): 135-162.

[4] Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problem of hydrothermal alteration and ore deposition[J]. Econ Geol, 1974, 69(6): 843-883.

[5] Hoefs J. 1987. Stable isotope geochemistry[J], 3rd edition. Berlin: Springer Verlag

[6] Simmons S F, Sawkins F J, Schlutter D J. Mantle～derived helium in two Peruvian hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1987, 329: 429-432.

[7] Mamyrin B A, Iolstikhin L N. Helium Isotopes in Nature[M]. Amsterdan-Oxford-New York-Tokyo: Elsevier, 1984. 38-165.

[8] Hart R, Dymond J, Hogan L. Preferential Formation of The Atmosphere Sialic Crust System from The Earth[J]. Nature, 1979, 278, 156-159.

[9] Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He～Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W～Mo mineralisation, South Korea[J]. Geochim. Cosm ochim. Acta, 1995, 59: 4663-4673.

[10] Tolstikhin, I N., Drubetskoy, E. R. The $^{3}He/^{4}He$ and (^{4}He/40Ae) Rad Isotope Ratios for the earth's Crust Geochem. Intern[J], 1978(12), 133-145.

[11] 丁梯平,蒋少涌,万德芳,等. 硅同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1994. 78-102

[12] Molini-Vesko C., Mayeda T. K. and Clayton R. N. (1986) Isotopic composition of silicon in meteorites[J]. Geochim. Cosmochim. Acta. 50, 2719-2726.

[13] 王宝德,牛树银,李红阳,孙爱群,吴新国. 幔枝构造与冀北金银多金属矿产的成矿控矿作用[J]. 地质与勘探. 2005 41: 17-12.

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF WANQUANSI SILVER-GOLD DEPOSIT, NORTH HEBEI PROVINCE

WANG Bao-de[1], NIU Shu-yin[1], SUN Ai-qun[1], LIU Ya-Ming[1], GUO Peng-zhi[2], SUN Shuang-hai[2]

(1. *Geological Survey Institute, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang* 050031;
2. *North China Institute of Geology and Exploration, Tianjin* 300181)

Abstract: Wanquansi Ag-Au deposit is located in the Jurassic fault depression at the east part of Zhangjiakou-Xuanhua mantle branch structure. Ag-Au mineralization is posterior to 101.82 to 133.33 Ma. Based on sulfur, lead, oxygen, carbon and noble gases isotopes, it is considered that the mineralizing materials came from the deep mantle. Economic ores were concentrated in the process of mantle branch evolution during Mesozoic. Hydrothermal fluids were dominated by magmatic water with some meteoric water.

Key words: Wanquansi Ag-Au deposit, geology and geochemistry, north Hebei

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net