

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

冀西北水泉沟杂岩体及其有关金矿床的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学研究

江思宏 聂凤军

中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

内容提要 冀西北金矿集中区是我国华北地台北缘金矿成矿带的重要组成部分, 区内金矿主要产于水泉沟碱性杂岩体及邻近的太古宙变质岩内。Ar-Ar 同位素年龄测定结果显示, 金矿床成矿年龄(172~188 Ma)与水泉沟碱性杂岩体的形成年龄(304~306 Ma)相差达 120 Ma。综合研究推断金矿床不是碱性岩浆直接演化产物, 而是在燕山期构造—岩浆活动影响下, 地下循环热流体对矿源岩——碱性杂岩体淋滤、萃取, 形成富含金的成矿热液, 最终在有利的成矿构造部位沉淀富集的结果。因此本区的金矿床均属于与碱性杂岩体有关的改造型热液金矿。

关键词 氩同位素 碱性杂岩体 金矿 矿床成因 冀西北

冀西北金矿集中区位于河北省张家口地区, 是我国华北地台北缘金矿成矿带的重要组成部分。本区自 1965 年小营盘金矿发现以来, 累计发现大型金矿 2 处(小营盘和东坪), 中型金矿 5 处(张全庄、水晶屯、韩家沟、后沟、黄土梁), 小型金矿 11 处, 矿点 80 余处(宋瑞先等, 1996)。这些金矿床(点)大多分布在宣化、崇礼和赤城三县交界部位, 初步统计数字表明: 本区年产量在 7 万两以上, 因此被誉为河北省的“金三角”。

前人对本区的区域地质、岩体成因、矿床地质特征等做了大量工作, 并取得了较为丰富的数据资料。尽管如此, 对于本区的水泉沟碱性杂岩体及有关金矿的成因认识仍存在较大分歧(胡小蝶等, 1990; 王正坤等, 1992, 1993; 向树元等, 1992; 王郁等, 1994; 魏菊英等, 1994; 银剑钊等, 1995; 包志伟等, 1996; 莫测辉等, 1996, 1997; 宋瑞先等, 1996; 中国人民武装警察部队黄金指挥部, 1996; 邱小平等, 1997; 张招崇, 1997; 江思宏等, 1998)。本次工作试图通过氩同位素地质年代学研究来探讨岩体和金矿之间的生成联系, 以期提高和完善本区金矿床的理论研究水平, 为新一轮金矿找矿勘查工作提供理论依据。

1 地质背景

研究区位于华北地台北缘中段燕山台褶带与内蒙地轴交界处, 以尚义—赤城—承德—北票深断裂为界, 南部为燕山台褶带, 北部为内蒙地轴(任纪舜等, 1980)。区内构造活动强烈, 共经历了 3 期褶皱(宋瑞先等, 1996)。断裂构造发育, 主要有 EW、NW 和 NE 向三组, 以 EW 向最为发育, 一般形成于中生代以前, 基本上控制了本区的总体构造格架, 其中近 EW 向的尚义

注: 本文为原地质矿产部“九五”重点科技找矿项目“冀北与碱性—偏碱性杂岩体有关的大型—超大型金矿床成矿作用和定位预测”课题的资助。

本文 1999 年 11 月收到, 2000 年 3 月改回, 刘淑春编辑。

—崇礼—赤城深断裂为本区最重要的控岩控矿构造(宋瑞先等,1996;中国人民武装警察部队黄金指挥部,1996)(图1)。



图1 冀西北地区金矿地质略图

(据张招崇,1997,修改)

Fig.1 Schematic geological map of the gold deposits in northwestern Hebei

(modified after Zhang Zhaochong, 1997)

1—第四系;2—侏罗系;3—中元古界红旗营子群;4—太古界桑干群;5—燕山期花岗岩;6—9—海西晚期水泉沟岩体:6—辉石闪长岩;7—角闪二长岩;8—正长岩;9—碱长正长岩;10—元古宙辉石岩;11—元古宙花岗片麻岩;12—断裂带;13—中—小型金矿床(点);14—大型金矿床

1—Quaternary; 2—Jurassic; 3—Middle Proterozoic Hongqiyingsi Group; 4—Archean Sanggan Group; 5—Yanshanian granite; 6—9—Late Hercynian Shuiquan alkaline intrusive complex: 6—pyroxene diorite; 7—hornblende monzonite; 8—syenite; 9—alkali feldspar syenite; 10—Proterozoic pyroxenolite; 11—Proterozoic granite, gneiss; 12—fault; 13—small—middle scale gold deposit (or prospects); 14—large scale gold deposit

区域上出露地层主要有太古宙桑干群中高级变质岩系、中元古代长城系的海相沉积岩和晚侏罗世酸性—中酸性火山熔岩及火山碎屑岩,其中以太古宙变质岩与金矿关系较为密切。

区内岩浆活动频繁而强烈,分布范围广,主要由海西晚期的水泉沟碱性杂岩体、燕山期花岗岩岩株和一些脉岩组成。与金矿形成具有密切成因联系的水泉沟碱性杂岩体呈岩基状侵位于太古宙桑干群变质岩中,岩体东西长约55 km,南北宽约5~8 km,出露面积约340 km²(中国人民武装警察部队黄金指挥部,1996)。岩体向南倾伏(吴顺发等,1995)。岩体内相带不明显,主要岩石类型有辉石闪长岩、角闪二长岩、正长岩、碱长正长岩等(中国人民武装警察部队黄金指挥部,1996)。整个岩体较为破碎,钾化蚀变强烈。

除了金家庄金矿产于元古宙超基性岩(彭岚等,1990)以外,其他金矿均产于太古宙变质岩或水泉沟碱性杂岩体内。其中产于水泉沟杂岩体内的金矿主要是东坪、后沟和黄土梁金矿,其主要矿床地质特征列于表1。

2 样品采集、分析结果及讨论

本次工作在水泉沟杂岩体的不同地段和矿体的不同部位分别采集了岩体、钾化蚀变岩和含金石英脉旁的绢云母等样品进行了系统的⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄测定,样品测试工作是在澳大利亚La Trobe大学同位素实验室完成。钾长石与绢云母的样品分离工作按照标准操作规程(Mc-

表 1 研究区内主要金矿床地质特征

Table 1 The major geological features of gold deposits in studied area

矿床	赋矿围岩	与侵入岩关系	控矿构造	矿石类型	围岩蚀变	矿物成分		矿床规模	含金量品位 ($\times 10^{-6}$)
						金属矿物	脉石矿物		
东坪金矿	海西期正长岩、石英二长岩、角闪二长岩	水泉沟碱性杂岩体	由 NW 向与 NNE 向共轭追踪张扭性断裂(NNE)控矿容矿	钾化蚀变岩和石英脉复合型金矿	钾长石化、绢云母化、绿泥石化、硅化、碳酸岩化	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、自然金、碲金矿	石英、钾长石、绢云母	大型,主脉长 1300 m,延深 800 m	1~30,最高 571,平均 8
后沟金矿	海西期正长岩、钾化正长岩、二长岩	同上	近 EW 向构造带控矿,次级 EW 向断裂容矿	钾化、硅化构造蚀变岩型金矿	钾长石化、绢云母化、硅化、碳酸岩化	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、自然金、碲金矿	石英、钾长石	中型,主脉长 1200 m,延深 490 m	1~8,最高 40,平均 5
黄土梁金矿	海西期正长岩	同上	近 EW 向断裂带控矿,次级近 EW 向断裂容矿	同上	钾长石化、绢云母化、绿泥石化、硅化、碳酸岩化	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、自然金	石英、钾长石、方解石	中型,主脉长 680 m,延深 300~400 m	1~8,最高 24,平均 4

注:根据胡小蝶等(1990),彭岚等(1990)资料整理。

Dougall et al., 1988)在澳大利亚 La Trobe 大学进行的。分离提纯后的样品在澳大利亚核科学与技术组织的 HIFAR 反应堆 X33 位置照射 195 h。样品采用激光束能量分阶段加热,每次加热 1~3 min。氩同位素测量采用 VG3600 型质谱计,所有数据都经过了机器本底校正、空白校正、质量歧视校正和干扰同位素校正。反应堆照射过程中产生的干扰同位素校正系数为: $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}}=0.0160$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}}=0.000238$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}}=0.000940$ 。衰变常数为 $5.543 \times 10^{-10} \text{a}^{-1}$ 。所获同位素年龄值及年龄谱图分别见表 2 和图 2。

表 2 研究区内碱性杂岩体及金矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法年龄测定结果Table 2 ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic analyses of samples from the Shuiquangou alkaline intrusive complex and gold deposits

序号	样号	采样地点	样品名称	测定对象	年龄(Ma)	资料来源
1	S971	水泉沟	正长岩	钾长石	305.9 $\pm$ 0.5	本文
2	H971	后沟	正长岩	钾长石	304.5 $\pm$ 0.5	
3	T971	黄土梁	正长岩	钾长石	304.9 $\pm$ 0.5	
4	D971	东坪金矿 70 号脉	钾化蚀变岩	钾长石	289.1 $\pm$ 0.3	
5	H972	后沟	钾化蚀变岩	钾长石	288.1 $\pm$ 0.4	
6	T972	黄土梁	钾化蚀变岩	钾长石	299.5 $\pm$ 0.3	
7	D972	东坪金矿 1 号脉	矿脉	绢云母	186.8 $\pm$ 0.3	
8	H973	后沟	矿脉	绢云母	187.9 $\pm$ 0.4	
9	T973	黄土梁	矿脉	绢云母	187.4 $\pm$ 0.3	
10		东坪 1464, CM22	矿石	钾长石	156.7 $\pm$ 0.88	卢德林等, 1993
11		下两间房	角闪碱长正长岩	角闪石	327.4 $\pm$ 9	中国人民武装警察部队黄金指挥部, 1996
12		东坪 1503, CM24	矿石	钾长石	177.4 $\pm$ 5	
13		后沟	矿石	钾长石	172.9 $\pm$ 5	王蓉嵘, 1992

由表 2 可知,本次在水泉沟杂岩体不同地段采样分析获得的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄值几乎相同,集中在 300 Ma 附近,这与中国人民武装警察部队黄金指挥部(1996)用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测得的岩体年龄值(327.4 Ma)比较接近,基本上代表了岩体的形成年龄,属海西晚期。前人曾在水泉沟

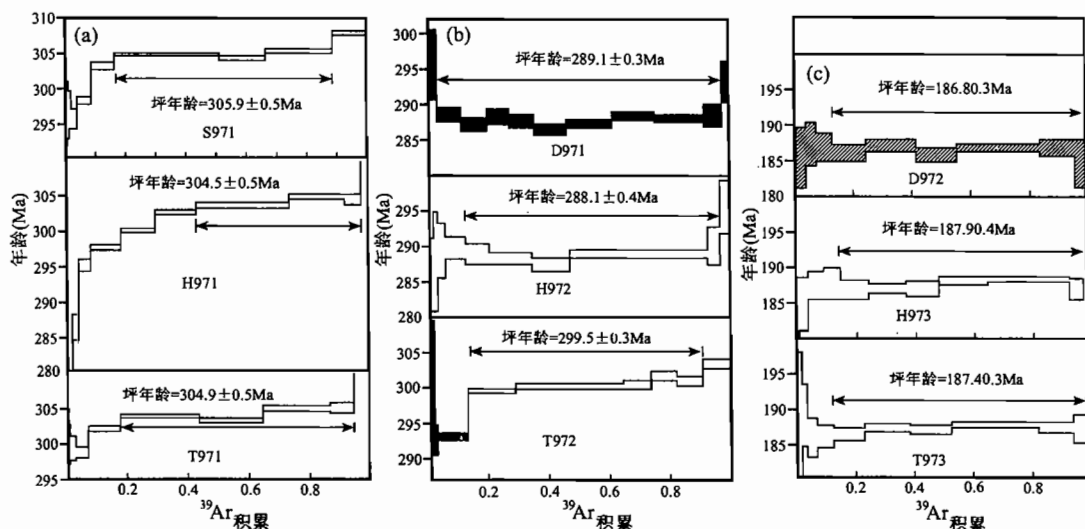


图 2 研究区内碱性杂岩体及金矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱

Fig. 2 ^{40}Ar - ^{39}Ar age spectrum of samples from the Shuiquangou alkaline intrusive complex and gold deposits

(a)—水泉沟碱性杂岩体; (b)—钾化蚀变岩; (c)—绢云母; 图中样品编号同表 2

(a)—Shuiquangou alkaline intrusive complex; (b)—potassic altered rocks; (c)—sericite; samples number as same the Table 2

碱性杂岩体获得了大量的 K-Ar 同位素测年数据(向树元等, 1992; 王正坤等, 1992)^①, 鉴于 K-Ar 同位素体系“封闭性”较差, 一般难以准确给出岩体的结晶年龄, 特别是对于经历多次岩浆活动、变质作用等热扰动的岩体, K-Ar 法一般给出的是最后一幕热扰动事件的时间。本区地质构造环境复杂, 交代作用明显, 特别是钾长石化, 无疑对岩体有强烈影响, 因此 K-Ar 法给出的年龄值不能作为本岩体的成岩时代, 但却可以反映岩体受后期构造—岩浆活动的时间。 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法具有 K-Ar 法不可比拟的优点, 精度高、样品用量少、分析误差小, 对一些即使后期受扰动, 放射成因 Ar 有部分丢失的样品, 仍可提供可靠的年龄数据。水泉沟杂岩体 K-Ar 同位素测年数据的变化范围从 126~257 Ma, 明显晚于 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法所测年龄数据, 这说明在岩体形成后直到燕山晚期, 后期的构造—岩浆活动对岩体改造很强烈, 其中 K-Ar 法峰值年龄 180~200 Ma(图 3)正好与本区的燕山早期岩浆侵入活动时间一致, 反映了杂岩体受燕山早期岩浆活动的改造最强烈。另外, 在 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱图(图 2)中, 可以看出, 岩体 Ar-Ar 同位素体系在 285~300 Ma 时普遍受到一次较大的扰动, 这次扰动的时间与岩体侵入后发生的岩浆期后热液蚀变(即钾化蚀变, 见下述)时间相一致。

钾化蚀变岩的形成年龄与岩体的就位年龄相差不大, 只有 5.4~16.8 Ma, 这说明在岩体形成后不久, 岩浆期后热液对岩体进行了某种程度交代, 发生了面型的钾化蚀变现象。这期钾化蚀变对后期金矿形成可能具有重要意义, 因为虽然岩体从地幔带来了大量的成矿物质——金, 但这些金还是相当分散(江思宏等, 1998)。由于碱性溶液容易使大量的金淋滤出来(毛德宝, 1992), 因此这期钾化蚀变可能使金在杂岩体内部局部富集形成含金的矿胚, 而在后期的热

① 河北省地质矿产局第三地质大队. 1991. 张家口地区水泉沟—大南山二长杂岩体特征、金矿成矿作用及找矿方向。

液改造下矿胚再次富集或重新活化,并在其他构造有利地段沉淀富集,所以对成矿非常有利。

东坪、后沟、黄土梁金矿的绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄均为187 Ma左右,这与中国人民武装警察部队黄金指挥部(1996)和王蓉嵘(1992)用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测得的成矿年龄结果基本一致,均表示金矿床成矿时间为燕山早期。本区在燕山早期分别侵入了谷嘴子花岗岩(188 Ma)和红花梁花岗岩(176.6 Ma)(中国人民武装警察部队黄金指挥部,1996),它们与本区金矿形成时间基本一致,这说明金矿的形成与燕山早期岩浆活动强烈改造碱性杂岩体有关。

3 金矿成因讨论

前人对本区与碱性杂岩体有关金矿的成因争议较大,概括起来,有3种观点:①区内矿床为海西期—燕山期岩浆热液型矿床(王正坤等,1993;王郁等,1994);②区内所有金矿均是海西期混合岩化—重熔交代热液成因(宋瑞先等,1996);③区内主要金矿床为改造型金矿床(莫测辉等,1996;中国人民武装警察部队黄金指挥部,1996)。

从上述 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法年龄测定结果可以看出,本区金矿的形成年龄与岩体的就位年龄之间相差达120 Ma,因此至少可以认为金矿不是在杂岩体侵位后直接形成,但S、Pb、C等稳定同位素及其他证据表明(江思宏等,1998),本区金矿的成矿物质主要来自杂岩体,而与燕山期花岗岩关系不大。区域上谷嘴子花岗岩形成于188 Ma,红花梁花岗岩形成于176.6 Ma(中国人民武装警察部队黄金指挥部,1996),它们与本区金矿形成时间基本一致,这显然不只是一种时间上的巧合。尽管燕山期花岗岩并没有对本区的金矿提供成矿物质(江思宏等,1998),但它可能提供了大量的热能,使得杂岩体中的金再次活化、迁移、富集。

研究区内金矿主要集中产于尚义—崇礼—赤城深大断裂南侧的燕山台褶带内。水泉沟杂岩体是本区最重要的含矿岩体,它是海西晚期本区地台活化阶段的产物,可能由来自上地幔的正长岩浆和下地壳重熔产生的二长岩浆不均匀混合形成的。产生于上地幔的正长岩浆,由于其富碱性,对金有很强的搬运能力,因此从上地幔带来了大量的成矿物质——金。岩浆在上升过程中同化了大量太古宙变质岩,太古宙变质岩是本区潜在的矿源层,因此使岩浆中含金更富,形成富含金的矿源岩(平均Au含量达 5.14×10^{-9}),局部地段还可能由于受岩浆期后热液交代作用影响,使岩体中分散的金初步富集形成矿胚。从目前的资料看,小营盘金矿的成矿时代较早,为235~260.80 Ma^①,可能是本区海西晚期—燕山期地台活化早期产物,而区内其他绝大多数金矿则形成于燕山早期。这说明本区的主成矿期是在燕山期。到了燕山期,由于受太平洋板块向欧-亚板块俯冲产生的燕山运动的影响,本区地壳进入一个新的历史活跃期,使海西晚期开始的地台活化进入高潮。燕山运动早期早侏罗世地壳活动以继承EW向断裂为主,由

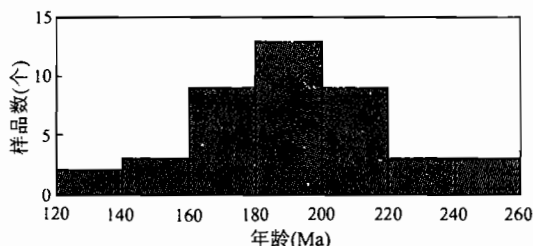


图3 水泉沟碱性杂岩体K-Ar法年龄直方图

Fig. 3 Histogram of K-Ar isotopic ages from Shuiquangu alkaline complex

① 河北省地质矿产局第三地质大队, 1991. 张家口地区水泉沟—大南山二长杂岩体特征、金矿成矿作用及找矿方向。

于 SN 向挤压,在尚义—崇礼—赤城深大断裂的石咀子—镇宁堡一带形成轴向近 EW 的黄土梁断陷盆地,沉积了下花园组河流—湖沼相砂砾岩夹煤线的煤系地层。伴随这期强烈的断裂活动,发生了酸性岩浆侵入,沿断裂形成温泉、谷咀子斑状花岗岩和红花梁、老王沟、观山等花岗岩体侵入。在燕山期岩浆侵入活动影响下,沿杂岩体岩石裂隙下渗的大气降水在杂岩体内部形成对流循环,使得早期杂岩体中形成的矿胚和岩体中分散的金再一次活化、淋滤、萃取,形成富含金的成矿流体(局部地段还可能使太古宙变质岩里的金活化出来),并在有利的赋矿构造富集、沉淀,从而形成金矿。因此,本区的金矿都属与碱性杂岩体有关的改造型热液金矿,是本区地台在海西—燕山期活化的产物。

4 结论

(1)依据 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法年龄测量结果,水泉沟杂岩体形成于海西晚期,杂岩体内的金矿形成于燕山早期,本区金矿皆属与碱性杂岩体有关的改造型热液金矿床。

(2)燕山期岩浆活动为杂岩体里的金重新活化提供了热源,因此是本区金矿形成的一个重要触发机制。

野外工作得到了东坪、小营盘、后沟、黄土梁等金矿地测科技术人员的大力协助,澳大利亚 La Trobe 大学 David Foster 博士为本项目 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素测年提供了方便,在此深表谢意。

参 考 文 献

- 包志伟,赵振华,周玲棣等.1996.冀西北水泉沟正长岩杂岩体的成因.岩石学报,12(4):562~572.
- 胡小蝶,赵嘉农,李双保.1990.张宣地区太古代变质岩中脉金的成矿作用.中国地质科学院天津地质矿产研究所刊,(22).
- 江思宏,聂凤军.1998.河北小营盘与东坪金矿地质地球化学特征对比及矿床成因探讨.黄金地质,4(4):12~24.
- 卢德林,罗修泉,汪建军等.1993.东坪金矿成矿时代研究.矿床地质,12(2):182~188.
- 毛德宝.1992.与碱性岩有关的金矿床.地质与勘探,28(9):13~17.
- 莫测辉,王秀璋,程景平等.1996.张家口地区主要金矿床金的矿化富集机制研究.矿物岩石地球化学通报,15(4):232~244.
- 莫测辉,王秀璋,程景平等.1997.冀西北水泉沟碱性杂岩体的成因探讨.矿物岩石地球化学通报,16(1):19~21.
- 彭岚,金光惠,李桂林等.1990.冀北张家口超基性岩区金矿床地质特征及找矿问题.沈阳地质矿产研究所编.金矿地质论文选集(第一辑).北京:地质出版社,100~113.
- 邱小平,高劭,钱会文等.1997.冀西北金矿集中区成矿特征.北京:冶金工业出版社.
- 任纪舜,姜春发,张正坤等.1980.中国大地构造及其演化.北京:科学出版社,29~33.
- 宋瑞先等.1996.河北省金矿地质.北京:地质出版社,120~157.
- 王蓉嵘.1992.河北金家庄地区长英质碱性岩的特征及成因.桂林地质学院学报,(1):12~19.
- 王郁,蒋心明,商木元等.1994.冀西北与偏碱性岩有关的金矿床地质特征及成因.地质论评,40(4):369~376.
- 王正坤,蒋心明,王郁等.1992.河北张—宣地区水泉沟偏碱性杂岩体的起源和形成机制及地质意义.贵金属地质,(1):18~25.
- 王正坤,蒋心明,王郁等.1993.张宣地区与偏碱性杂岩体有关金矿床地质特征及成矿规律.地质找矿论丛,8(4):31~39.
- 魏菊英,苏琪.1994.河北东坪矿区水泉沟岩体的地球化学特征.地质科学,29(3):256~266.
- 吴顺发,周治新.1995.冀北赤城—尚义地区航磁数据处理及其地质意义解析.黄金地质,1(3):72~75.
- 向树元,叶俊林,刘杰.1992.后沟—水泉沟碱性正长岩体的成因及其与金矿成矿的关系.现代地质,6(1):55~62.
- 银剑钊,史红云.1995.张家口—宣化地区金矿地质.北京:地质出版社.
- 张招崇.1997.冀北水泉沟杂岩体的同位素地球化学特征及其成因意义.长春地质学院学报,27(1):36~42.
- 中国人民武装警察部队黄金指挥部.1996.河北省东坪碱性杂岩金矿地质.北京:地震出版社.
- McDougall I, Harrison T M. 1988. Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Method. New York: Oxford University Press.

^{40}Ar - ^{39}Ar Geochronology of the Shuiquangou Alkaline Complex and Related Gold Deposits, Northwestern Hebei, China

Jiang Sihong Nie Fengjun

Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

The northwestern Hebei gold concentration area is an important component part of the gold metallogenic belt along the northern margin of the North China craton. Most gold deposits in this area occur within the Shuiquangou alkaline intrusive complex or near metamorphic rocks of the Archean Sanggan Group. Based on ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic analyses, there is a 120 Ma gap between the ore-forming age (172~188 Ma) of the deposits and the rock-forming age (304~306 Ma) of the Shuiquangou alkaline intrusive complex. Therefore, it may be concluded that the gold deposits are not the product of magmatic hydrothermal fluid. The ore-forming fluid may be composed of the circulating subsurface heated meteoric water and/or metamorphic fluid, and the ore-forming materials were mainly leached and extracted from the alkaline intrusive complex. The Mesozoic Yanshanian tectono-magmatic activities may have provided heat and dynamic energy for the ore-forming processes. So the gold deposits occurring in northwestern Hebei are considered as belonging to reworked hydrothermal gold deposits related to the alkaline intrusive complex.

Key words: Ar isotope; alkaline intrusive complex; gold deposit; ore genesis; northwestern Hebei

作者简介

江思宏,男,1968年生。1999年获中国地质科学院研究生部理学硕士学位。现为中国地质科学院矿产资源研究所助理研究员,主要从事贵金属地质及同位素地质学研究。通讯地址:100037,北京市西城区百万庄路26号,中国地质科学院矿产资源研究所。
