

Constraints of Pyrite Geochemical Characteristics on the Genesis of Jinchangliang Gold Deposit

Henan Yu¹, Yao Zheng², Chao Li³, Guanghu Liu¹, Chengyang Wang¹, Zhenjun Sun¹

¹Institute of Disaster Prevention, Beijing

²Tibet Geological Survey Institute of Nuclear Industry, Chengdu Sichuan

³Geological Survey Institute of Jilin Province, Changchun Jilin

Email: 306292193@qq.com

Received: Nov. 28th, 2017; accepted: Dec. 12th, 2017; published: Dec. 18th, 2017

Abstract

Jinchangliang gold deposit in Aohanqi, Inner Mongolia is located in the Yanliao metallogenic belt on the northern margin of the North China Platform, is part of the Jinchanggouliang gold field. Symbiosis of pyrite and chalcopyrite, sphalerite and galena in mineralization period was gelatinous, fine-grained structure, fragmented structure. The result of electron microprobe analysis of pyrite in ore-forming period shows that S/Fe (1.95 - 1.99) is less than 2, belonging to endogenous sulfur deficient type; the pyrite has a close relationship with hydrothermal. The typomorphic characteristics of trace elements indicate that the gold deposit is magmatic hydrothermal deposit, pyrite is the main gold bearing mineral, and the occurrence of Au exists in the form of nanoparticles gold.

Keywords

Pyrite, Electron Microprobe Analysis, Typomorphic Characteristics of Elements, Jinchangliang Gold Deposit

金厂梁金矿黄铁矿地球化学特征对其成因的制约

于赫楠¹, 郑瑶², 李超³, 刘广虎¹, 王承洋¹, 孙珍军¹

¹防灾科技学院, 北京

²核工业西藏地质调查院, 四川 成都

³吉林省地质调查院, 吉林 长春

Email: 306292193@qq.com

收稿日期: 2017年11月28日; 录用日期: 2017年12月12日; 发布日期: 2017年12月18日

摘要

内蒙古敖汉旗金厂梁金矿位于华北地台北缘燕辽成矿带内, 是金厂沟梁金矿田的一部分。成矿期黄铁矿呈胶状、细粒状结构、碎裂结构, 与黄铜矿、闪锌矿和方铅矿共生。对成矿期中的黄铁矿进行电子探针测试分析, 结果证明S/Fe (1.95~1.99)均小于2.0, 属于内生亏硫型; 黄铁矿属热液成因, 微量元素标型特征显示该金矿床为岩浆热液型矿床, 黄铁矿是主要的载金矿物, Au的赋存状态是以纳米金的形式存在。

关键词

黄铁矿, 电子探针, 元素标型特征, 金厂梁金矿床

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

内蒙古敖汉旗金厂梁金矿为近年发现并被开采, 位于赤峰-朝阳金矿带东端, 努鲁儿虎隆起的东北段, 属华北地台北缘和兴蒙造山带的结合部位(图 1(A)), 位于华北地台北缘燕辽成矿带内。赤峰-朝阳金矿化区是我国华北地台北缘燕辽成矿带内的一个重要金矿集中区, 区内有金厂沟梁、二道沟、撰山子、红花沟、莲花山、安家营子等大中型金矿床 10 余处, 金矿点百余处。金厂梁金矿是金厂沟梁金矿田的一部分, 位于金厂沟梁大型金矿的东北部。到目前为止, 对金厂梁金矿床相关的报导极少[1], 而对于金厂沟梁大型金矿床及该成矿带上的金矿床的研究成果较多。尽管如此, 在成因类型、成矿构造背景及成矿时代等方面的认识, 仍存在较大的分歧。尤其是成因类型方面, 主要存在同熔岩浆热液型[2] [3] [4] [5]; 花岗绿岩带型[6]; 中-低温热液型[7] [8] [9] [10]; 远程型[11]和(浅成)造山型[12]等观点; 在成矿构造背景方面, 部分学者认为是(古)太平洋板块的俯冲作用或其导致的岩石圈减薄、拆沉的拉张环境[7] [12] [13] [14]; 部分学者则认为与太平洋板块的俯冲没有直接关系, 而是与燕山期(中生代)造山作用导致的构造-岩浆活动有关[6] [15] [16]; 而在成矿(矿化)时代方面, 大部分学者都认为金厂沟梁金矿床及该成矿带上金矿床成矿作用发生在燕山期(130~116 Ma, 集中在 120 Ma) [6] [7] [15], 还有部分学者认为该成矿带内金矿床金(铂)矿化(成矿)发生在三叠纪[17] [18], 但在成矿热液动力来源方面观点较为一致, 认为中酸性岩体的侵入是其成矿的主要驱动力。

对于金厂梁金矿成因类型的研究, 本文在矿床地质特征研究的基础上, 开展了详细的黄铁矿电子探针研究工作, 认为金厂梁金矿为岩浆热液成因。为区域成矿规律的深入认识提供佐证。

2. 区域地质背景和矿床地质特征

研究区位于位于华北克拉通北缘的龙潭地块, 周边被断裂所夹持, 其北界为近 EW 向赤峰-开源

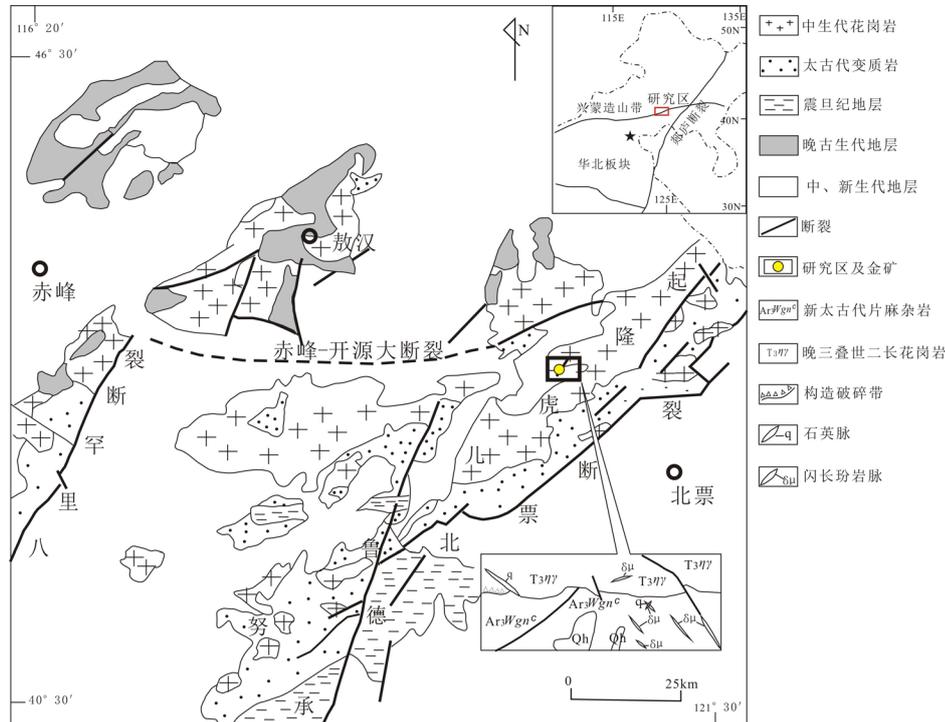


Figure 1. Location and geological setting of Gold ore in Jinchangliang
图 1. 金厂梁金矿区域地质简图[11]

大断裂, 南界为 NE 向承德 - 北票深断裂, 西界为近 NE-NNE 向四官营子 - 铁匠营子断裂(图 1)。区域内发育的地层主要有太古代乌拉山群片麻杂岩(Ar_3Wgn^c)和变质表壳岩组(Ar_3Wmsr); 古生代晚石炭世酒局子组(C_2jj)砂岩、板岩; 中生代早侏罗世北票组(J_2b)页岩和砂岩以及早白垩世义县组(K_1y)火山岩, 其中以中生代早白垩世义县组(K_1y)火山岩最为发育, 第四系亦较为发育。区域岩浆活动主要有晚古生代花岗岩体和中生代花岗杂岩体, 晚古生代花岗岩主要为似斑状黑云母花岗岩体呈巨大岩基分布于研究区南侧, 其形成于华力西末期[13]; 中生代花岗杂岩从三叠世到早白垩世均有发育, 主要以闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩以及花岗斑岩以小岩体、岩株或脉岩产出。中生代花岗杂岩以燕山期产出居多(125~131 Ma) [15] [19], 印支期(207~245 Ma)次之。

区域上的金矿床与广泛发育的燕山期中-酸性侵入岩几乎都存在着一定的联系[8], 而与印支期侵入岩有关的主要为脉岩[20] [21], 而本文中与金矿有关的侵入岩为早印支期(245 Ma), 与赋矿围岩呈侵入接触关系。金厂梁金矿矿区内的赋矿围岩为新太古界建平群 - 小塔子沟组变质岩系。主要由角闪斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、黑云母斜长片麻岩以及各种混合岩化片麻岩组成。其北侧是以一条东西向断裂为界限的中细粒二长花岗岩, 在其接触部位可见构造破碎带, 偶见硅化和绿泥石化等蚀变现象。矿区内断裂构造及其发育, 主要有金 EW 向和 NW 向, 矿脉的产出严格受断裂构造控制。围岩蚀变类型主要有硅化、绿

泥石化、绢英岩化、黄铁矿化、铅锌矿化、碳酸盐化等, 是一套与成矿有关的中、低温蚀变产物。矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、铅锌矿、闪锌矿及少量磁铁矿等(图 2(e)), 脉石矿物有石英、长石、黑云母、绿泥石等。矿化主要发生在石英脉中以及硅化的围岩中, 且以石英脉矿化最强, 从石英脉向外矿化逐渐减弱(图 2(a))。矿石构造类型主要有细脉浸染状(图 2(b)), (细)脉状(图 2(a)、图 2(c))以及块状构造(图 2(d))。结构主要有半自形粒状(图 2(e))、交代结构(图 2(f))。

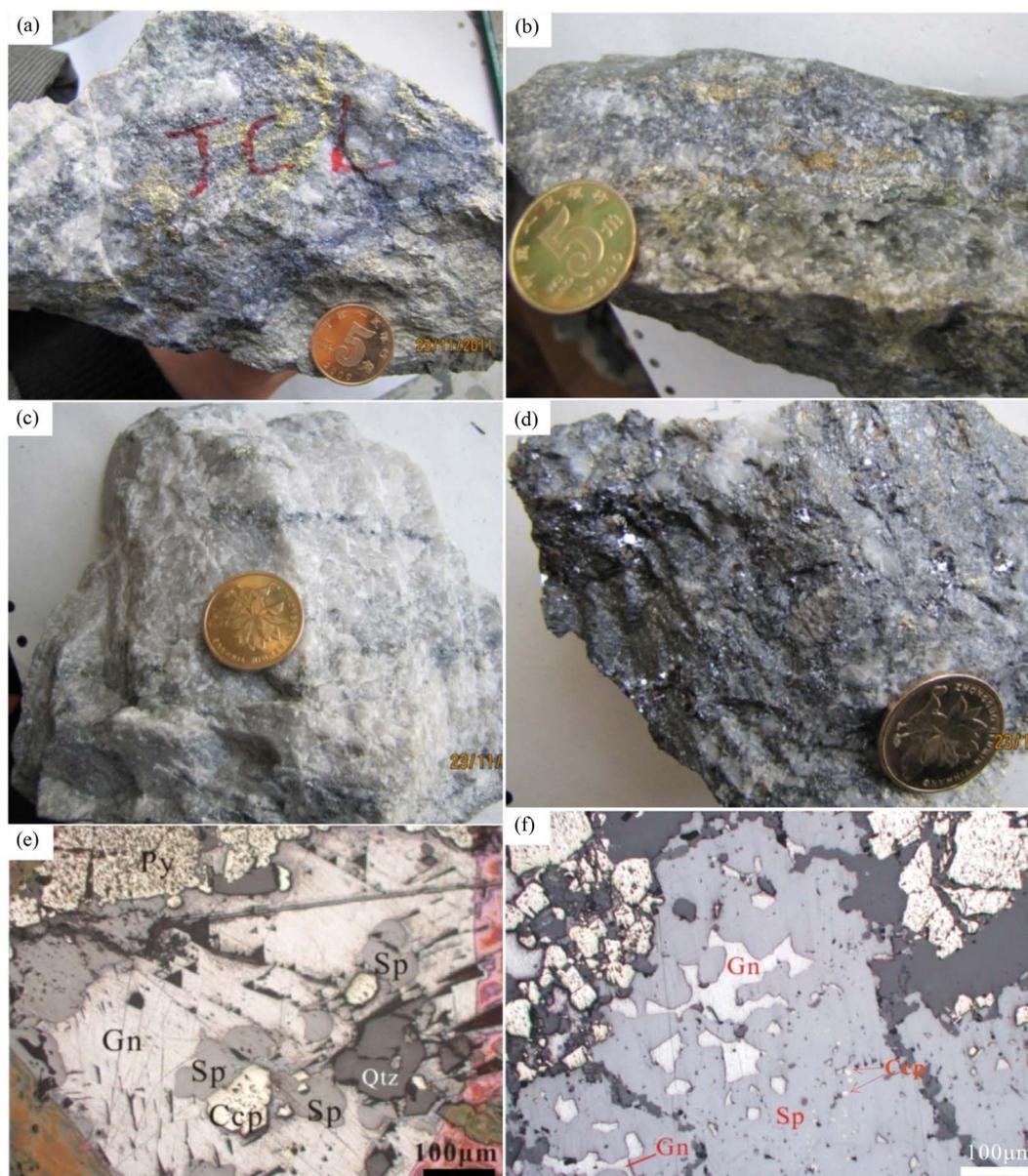


Figure 2. Photographs and micrographs of typical ores in Jinchangliang gold deposit
图 2. 金厂梁金矿床典型矿石照片及显微照片

3. 实验样品与实验结果

3.1. 样品的描述和实验方法

本次所研究样品采自金厂梁金矿床中成矿期主要载金矿物 - 黄铁矿，黄铁矿呈胶状、细粒状结构、碎裂结构，与黄铜矿、闪锌矿和方铅矿共生。在国家海洋局第二海洋研究所海底科学重点实验室进行了电子探针测试，使用的仪器为日本生产的 JXA-8100 型电子探针。探针分析的工作条件是：加速电压为 20 kv，探针电流为 1.0×10^{-8} A，电子束直径为 1 μm ，定量结果精度可以达到 0.1% 以上，用 ZAF 方法进行了修正。探针能定量测定主成分，能确定微细矿物，但是不能测定低含量元素，低于检测限的微量元素不能测定。不同元素的分析标准按照全国微束分析标准委员会矿物微束分析国家标准样品。

3.2. 实验结果

本次研究主成矿期黄铁矿中的主量元素 Fe、S 以及 16 种微量元素 Se、Mn、Zn、As、Ti、Cu、Sn、Ni、Ag、Co、In、Pb、Au、Re、Ga、Ge 的含量(表 1)进行了分析。As、Mn、Se、Sn、Ga、In、Re 和 Ti 在部分样品中低于检测限, 未列出。

4. 黄铁矿的主量元素标型

黄铁矿的主要组成元素为 Fe 和 S, 其理论组分为 Fe 占 46.55%, S 占 53.45%, $S/Fe \approx 2$ 。但在不同的金属矿床中黄铁矿的 Fe、S 含量与理论组分会略有差异, 一般认为造成黄铁矿组分与理论值差异主要是由相关元素的类质同象替代所引起的。 δFe 或 δS 能够表征黄铁矿中 Fe 和 S 偏离理论值的程度[22], 既可以表示质量分数的偏离程度, 也可以表示元素摩尔分数的偏离程度, 可用如下公式表示:

$$\delta Fe = \frac{100x - 46.55}{46.55} \times 100$$

$$\delta S = \frac{100y - 53.45}{53.45} \times 100$$

式中: x 为 $w(Fe)/\%$; y 为 $w(S)/\%$ 。

在本次研究中, 金厂梁金矿床中成矿期矿石黄铁矿的 S/Fe (1.95~1.99)均小于 2.0 (表 1)。一般将 $S/Fe < 2.0$ 称为亏硫型, >2.0 的为多硫型(或者亏铁型) [23] [24]。因此, 金厂梁金矿床主成矿期矿石中黄铁矿属于内生亏硫型, 黄铁矿的亏硫有利于金属元素的富集[25]。 δFe (-2.35~1.40), δS (-4.78~-0.36), 总体表现出亏铁亏硫的特征[22]。

5. 黄铁矿的微量元素标型

一般认为造成黄铁矿组分与理论值差异主要是由相关元素的类质同象替代所引起的, Co 和 Ni 是黄铁矿中最常见的元素, 由于他们的化学性质与 Fe 相似, 通常以类质同像的形式进入黄铁矿的晶格中, 从而替代黄铁矿中的 Fe。不同成因类型矿床中黄铁矿的 Co、Ni 含量及 Co/Ni 值不同, 在探讨矿床成因类型及成矿作用时具有指示作用, 且应用及其广泛。

黄铁矿中微量元素的含量及其变化系数在金矿床中具有重要的应用价值。如 As、Co、Ni 等元素的含量及其变化系数是判断黄铁矿成因及区分金矿类型的重要指标。地下热卤水溶液型金矿中的黄铁矿含 As 最高(平均 5639.5×10^{-6}), 变异系数小; 火山-次火山热液型金矿床中的黄铁矿 As 含量为 3320.4×10^{-6} , 但变异系数最大; 岩浆-热液型金矿中的黄铁矿 As 含量为 1063.5×10^{-6} , 变异系数较大, 金厂梁金矿黄铁矿 As 含量较低, 除一个为 1.468% 较高以外, 其他均较低, 还有一部分低于检测限; 黄铁矿中 Co、

Table 1. Data of electron microprobe analysis of pyrite in Jinchangliang gold deposit ($w_B/\%$)

表 1. 金厂梁金矿床黄铁矿成分电子探针分析数据($w_B/\%$)

样品号	As	S	Fe	Co	Au	Ni	Ag	Cu	Zn	Pb	Total	S/Fe	δFe	δS
JCL-10-1	-	53.259	46.857	0.035	0.017	0.012	0.013	0.045	0.415	0.184	100.837	1.98	0.66	-0.36
JCL-10-2	0.001	52.273	45.989	0.039	0.018	0.021	-	0.037	0.249	0.187	98.814	1.98	-1.21	-2.20
JCL-10-3	-	52.880	47.07	0.049	0.016	0.017	0.006	0.01	0.173	0.172	100.401	1.96	1.12	-1.07
JCL-10-4	0.807	51.433	45.413	0.051	0.009	0.018	-	0.01	0.005	0.160	97.906	1.97	-2.44	-3.77
JCL-10-5	1.468	50.893	45.455	0.061	0.014	0.123	-	0.019	0.009	0.174	98.216	1.95	-2.35	-4.78
JCL-10-6	-	52.991	47.204	0.032	0.007	-	0.006	0.004	0.113	0.174	100.531	1.96	1.40	-0.86
JCL-10-7	0.014	53.068	46.409	0.065	0.011	0.919	-	0.005	0.007	0.142	100.64	1.99	-0.30	-0.71

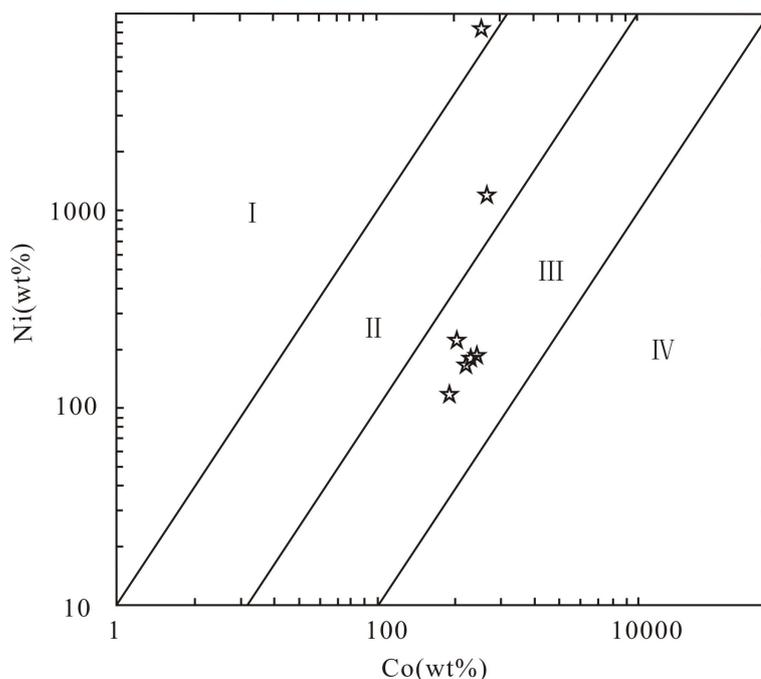
Ni 等元素含量具有一定的标型意义[26] [27], 沉积成因的黄铁矿 Co、Ni 含量低, 含量范围为 $n \times 10^{-6} \sim 10n \times 10^{-6}$, 热液或火山热液成因的黄铁矿 Co、Ni 含量高, 在 $10n \times 10^{-6} \sim 10^3 n \times 10^{-6}$, 沉积 - 改造(变质)、火山沉积 - 改造(变质)成因的黄铁矿 Co、Ni 含量为 $10n \times 10^{-6} \sim 100n \times 10^{-6}$ 。本次研究的黄铁矿中 Co 含量一般集中在 $320 \times 10^{-6} \sim 650 \times 10^{-6}$ 之间, Ni 含量一般集中在 $120 \times 10^{-6} \sim 9190 \times 10^{-6}$ 之间, 属于热液或火山热液成因。

Co/Ni 值可以判断矿床的成因[28] [29], 不同成因的黄铁矿具有不同的 Co/Ni 值。研究表明, 沉积成因的金矿床中黄铁矿 Co/Ni 值明显 < 1 , 而与火山作用有关的 Co/Ni 值则一般 > 5 , 岩浆热液成因的 Co/Ni 值往往介于前二者之间。金厂梁金矿床 Co/Ni 值为 0.07~2.92 之间, 平均值 1.58。在黄铁矿 Co、Ni 关系图(图 3)中, 其余全部落在 III 区, 属于岩浆和热液成因。

As 常以类质同象的形式替代黄铁矿中的 S 而存在其晶格中, 是导致黄铁矿空穴的主要晶格杂质。对于不同成因类型的矿床, 黄铁矿中 As 的平均含量是不同的[25]。如浅成低温热液矿床 As 的平均含量为 28.3×10^{-6} , 岩浆热液型 As 的平均含量为 4016×10^{-6} , 变质热液型 As 的平均含量为 846.9×10^{-6} , 卡林型矿床 As 的平均含量为 19431×10^{-6} [22]。明显可以看出, 卡林型金矿中黄铁矿含 As 最多, 其次是岩浆热液型, 变质热液型和浅成低温热液型。金厂梁金矿床黄铁矿 As 含量介于 $0.01 \times 10^{-6} \sim 1.468 \times 10^{-6}$, 平均值 0.573×10^{-6} , 基本与岩浆热液型矿床相一致。

Cu、Pb、Zn 为亲铜元素, 几乎不与 Fe 进行类质同象替代, 多以细微包裹体的形式存在, 故黄铁矿中往往包含有以黄铜矿、黝铜矿、方铅矿和闪锌矿等成分为主的微细包裹体而引起黄铁矿中 Cu、Pb、Zn 等元素含量偏高, 成为与岩浆热液和火山 - 次火山热液有关的金矿中的独特性, 并且黄铁矿中 Cu、Pb、Zn 等元素含量与其中的 Au、Ag 元素含量呈正相关性[30] [31]。

在不同成因类型的金矿床中, Au 的除了以自然金(可见金)产出外, 在其他硫化物中还有不可见金



I、II 区为沉积和沉积改造区; III、IV 区为岩浆和热液区

Figure 3. Diagram of Co versus Ni of pyrite at metallogenic period in Jin-changliang gold deposit

图 3. 金厂梁金矿床成矿期矿石中黄铁矿 Co-Ni 关系图

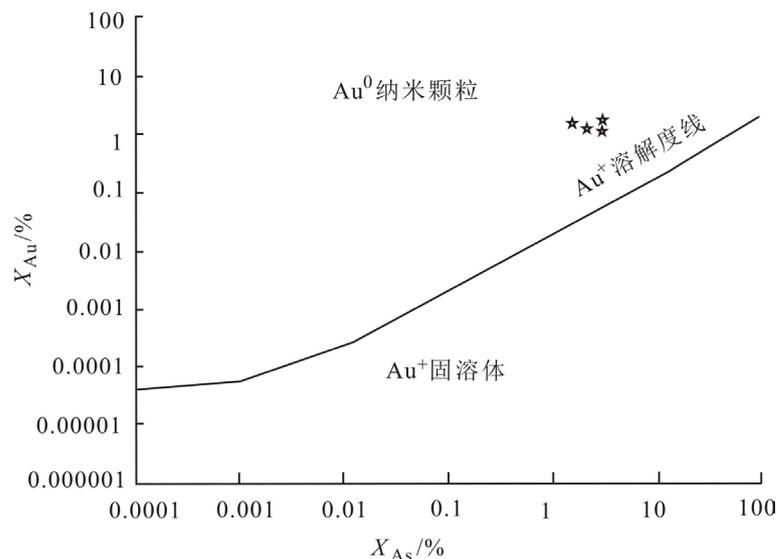


Figure 4. As-Au diagram of pyrites in Jinchangliang gold deposit
图 4. 金厂梁金矿床黄铁矿 As-Au 图解[33]

[32]。黄铁矿是原生金的主要载金矿物，Au 的溶解迁移及赋存状态成为研究重点[33]。Reich 通过对没过几个卡林型金矿含 As 黄铁矿中的 Au 赋存状态进行研究，确定了 Au 在含 As 黄铁矿的溶解度极限，即： $C_{Au} = 0.02C_{As} + 4 \times 10^{-5}$ 。

在 As-Au 图中(图 4)，样品点均落在金溶解度限制线上方区域，说明金厂梁金矿床成矿期黄铁矿的 Au 的赋存状态是以纳米金的形式存在。

黄铁矿微量元素中 Cr、V、Ni、Pt、Ti 等元素都是反映成矿物质来源以及矿床成因的有效指示元素，As、Sb、Se、Bi、Te 等挥发性元素是 Au 迁移矿化的搬运剂，而 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等元素则是矿化强弱的直接标志[32]。

6. 结论

金厂梁金矿床成矿期黄铁矿呈胶状、细粒状结构、碎裂结构，与黄铜矿、闪锌矿和方铅矿共生。电子探针结果显示，S/Fe (1.95~1.99)均小于 2.0，属于内生亏硫型；黄铁矿属热液成因，微量元素标型特征显示该金矿床为岩浆热液型矿床，黄铁矿是主要的载金矿物，Au 的赋存状态是以纳米金的形式存在。

基金项目

由“中央高校基本科研业务费专项资金创新团队资助计划项目(ZY20160109)和防灾科技学院精品建设课程基金项目(JPJS2016001)”联合资助。

参考文献 (References)

- [1] Sun, Z.J., Sun, G.S., Yu, H.N., *et al.* (2015) The Geochronology, Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Intrusion in Jinchangliang Gold Deposit, Inner Mongolia. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, **86**, 1947-1962. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12609>
- [2] 刘纲. 赤峰 - 朝阳地区金矿成矿物理化学条件研究[J]. 黄金地质, 1996, 2(4): 43-49.
- [3] 刘宗秀, 魏存弟, 赵春光, 等. 金厂沟梁 - 二道沟金矿田地质地球化学特征及成因探讨[J]. 世界地质, 2002, 21(1): 13-17.
- [4] 李强之. 金厂沟梁 - 二道沟金矿田地质地球化学特征及成因认识[J]. 黄金地质科技, 1990(4): 44-49.

- [5] 孙丽娜, 王建国. 东坪金矿床的围岩蚀变和流体特征[J]. 贵金属地质, 1995, 4(4): 255-262.
- [6] 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学, 1998, 28(1): 35-40.
- [7] 陈军强. 内蒙赤峰金厂沟梁金矿床地质、地球化学特征及成因研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学地球科学学院, 2006.
- [8] 贾洪杰, 张宝庆. 金厂沟梁金矿床地质特征及成因探讨[J]. 中国矿山工程, 2001, 30(1): 1-5.
- [9] Lin, B.Q., Shang, L. and Shen, E.S. (1993) Vein Gold Deposits of the Liaoxi Uplift. *North China Platform: IAGOD Quadrennial Symposium, 8th Proceedings, Ottawa, Canada, August 12-18 1990*, 597-612.
- [10] 孙景贵, 赵俊康, 刘建明, 等. 内蒙金厂沟梁金矿床流体包裹体的 He-Ar 同位素地球化学研究[J]. 矿床地质, 2006(s1): 193-196.
- [11] 魏存弟. 赤峰 - 朝阳金矿化区远程式及近程式金矿类型的划分及其研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2001.
- [12] 孙珍军, 李学源, 于赫楠, 等. 内蒙古金厂沟梁金矿床成矿流体特征及稳定同位素研究[J]. 世界地质, 2014, 33(3): 591-602.
- [13] 张立东. 金厂沟梁地区金矿床地质特征及成因[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1990(21): 1-13.
- [14] Charvet, J., Lapierre, H. and Yu, Y. (1994) Geodynamic Significance of the Mesozoic volcanism of Southeastern China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, **9**, 387-396. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(94\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0743-9547(94)90050-7)
- [15] 苗来成, 范薇茗, 翟明国, McNaughton, N.J., Groves, D.I. 金厂沟梁 - 二道沟金矿田花岗岩类侵入体锆石的离子探针 U-Pb 年代学及意义[J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 71-80.
- [16] 褚金锁, 贾洪杰. 金厂沟梁金矿床地质特征及成因[J]. 矿产与地质, 2000, 14(3): 155-157.
- [17] 侯万荣. 内蒙古哈达门沟金矿床与金厂沟梁金矿床对比研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
- [18] 孙珍军. 华北克拉通北缘赤峰 - 朝阳地区金矿成矿作用研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [19] 王志, 徐中心, 杨福和. 辽宁省二道沟金矿及成因[J]. 长春地质学院学报, 1989(1): 31-43.
- [20] 王建平. 内蒙古金厂沟梁金矿构造控矿分析[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-120.
- [21] 付乐兵, 魏俊浩, 魏启荣, 等. 内蒙古金厂沟梁地区晚三叠世脉岩地球化学特征及成岩动力学背景[J]. 地球科学, 2010, 35(6): 933-946.
- [22] 严育通, 李胜荣, 贾宝剑, 等. 中国不同成因类型金矿床的黄铁矿成分标型特征及统计分析[J]. 地学前缘, 2012, 19(4): 214-226.
- [23] Doyle, F.M. and Mirza, A.H. (1996) Electrochemical Oxidation of Pyrite Samples with Known Composition and Electrical Properties. *Electrochemical Proceedings*, **96**, 203-214.
- [24] Oberthur, T., Cabri, L.J., Weiser, T.W., et al. (1997) Pt, Pd and Other Trace Elements in Sulfides of the Main Sulfide Zone, Great Dyke, Zimbabwe: A Reconnaissance Study. *Canadian Mineralogist*, **35**, 597-609.
- [25] 宫丽, 马光. 黄铁矿的成分标型特征及其在金属矿床中的指示意义[J]. 地质找矿从论, 2011, 6(2): 162-166.
- [26] 徐国风, 邵洁涟. 黄铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质与勘探, 1979, 26(3): 541-546.
- [27] Bajwah, Z.U., Seccombe, P.K. and Offler, R. (1987) Trace-Element Distribution, Co-Ni Ratios and Genesis of the Big Cadia Iron-Copper Deposit, New-South-Wales, Australia. *Mineralium Deposita*, **22**, 292-300. <https://doi.org/10.1007/BF00204522>
- [28] Brill, B.A. (1989) Trace-Element Contents and Partitioning of Elements in Ore Minerals from the Csa Cu-Pb-Zn Deposit, Australia. *Canadian Mineralogist*, **27**, 263-274.
- [29] 陈光远, 藏维生. 山东招远夏甸金矿的成因矿物学研究[J]. 矿产与地质, 1987(1): 33-47.
- [30] 卿敏, 韩先菊, 牛翠祎, 等. 山西省阳高县堡子湾金矿床矿物标型特征[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 16-20.
- [31] 彭丽娜, 魏俊浩, 孙晓雁, 等. 浙东南怀溪铜金矿床黄铁矿标型特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 2009, 45(5): 577-587.
- [32] 卢焕章, 朱笑青, 单强, 等. 金矿床中金与黄铁矿和毒砂的关系[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 823-842.
- [33] Reich, M., Kesler, S.E., Utsunomiya, S., et al. (2005) Solubility of Gold Inarsenian Pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **69**, 2781-2796. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.01.011>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org