

石家庄经济学院学术著作出版基金资助

鲁西平邑地区

浅成热液金矿床 成矿作用

胡华斌 毛景文 牛树银 孙爱群 著

地震出版社

石家庄经济学院学术著作出版基金资助

鲁西平邑地区浅成热液 金矿床成矿作用

胡华斌 毛景文 牛树银 孙爱群 著

地 震 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

鲁西平邑地区浅成热液金矿床成矿作用/胡华斌等著.

北京:地震出版社,2007.9

ISBN 978-7-5028-3183-7

I. 鲁… II. 胡… III. 热液矿床:金矿床-成矿作用-研究-平邑县 IV. P618.510.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 111538 号

地震版 XT 200600266

鲁西平邑地区浅成热液金矿床成矿作用

胡华斌 毛景文 牛树银 孙爱群 著

责任编辑:张友联

责任校对:庞娅萍

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号

发行部:68423031 68467993

门市部:68467991

总编室:68462709 68423029

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

邮编:100081

传真:88421706

传真:68467991

传真:68467972

经销:全国各地新华书店

印刷:北京市顺义富各庄福利印刷厂

版(印)次:2007年9月第一版 2007年9月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:201.5千字

印张:7.875

印数:0001~1000

书号:ISBN 978-7-5028-3183-7/P·1337 (3872)

定价:25.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

中文摘要

鲁西平邑地区碲金型矿床位于华北地台东南缘,包括隐爆角砾岩型归来庄金矿床和碳酸盐岩层状微细浸染型磨坊沟金矿床。归来庄金矿床产于铜石岩体的隐爆角砾岩及奥陶纪白云岩中,矿石中金属矿物以黄铁矿为主,金矿物主要有自然金、银金矿和碲金矿。磨坊沟金矿矿体呈似层状产于早寒武世朱砂洞组白云岩化灰岩、微细晶灰岩及白云岩中,矿层一般厚3~10 m。矿石中的金矿物主要有自然金、碲金银矿和银金矿三种,两矿床围岩蚀变类型包括硅化、黄铁矿化、萤石化和碳酸盐化。

矿区出露的与成矿有关的岩浆岩为铜石岩体,其岩性主要由中-细粒闪长(玢)岩、含辉石(角闪)二长斑岩两套岩石组成。锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定结果表明:铜石岩体闪长质岩石中获得的一组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值为 (175.7 ± 3.8) Ma 的年龄,代表了岩体的结晶年龄。根据铜石岩体的成岩年龄推断成矿年龄,鲁西平邑地区的金矿大约形成于170~160 Ma 之间,发生于中国东部200~160 Ma 大规模成矿事件的末期。

包裹体的研究表明:包裹体形态多样,有椭圆形、菱形、正方形、矩形、梯形、三角形和各种不规则形状;大小变化较大,在3~40 μm 之间;从相态看,有单一液相包裹体、气液两相包裹体和富气相包裹体3种类型;气液比变化较大,从5%~90%均有发育,但以5%~10%的气液比常见;均一温度在103~260 $^{\circ}\text{C}$ 之间,冰点变化于-2.5~-13.5 $^{\circ}\text{C}$ 之间,对应的盐度 m 质量分数在4.65%~17.26%之间。

矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于-0.71‰~2.99‰之间,指示硫来源于地幔或岩浆; $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值在-7.3‰~0.0‰之间, δD 在-48‰~-70‰之间,对应的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值在-4.3‰~8.3‰之间。同位素研究表明,成矿流体起源于地幔,在浅部有较多的大气降水混入。流体的减压沸腾在矿床的形成过程中起重要作用。

磨坊沟金矿产在前寒武纪花岗绿岩体与寒武系间拆离滑脱带附近,矿层顶板发育的NW向层间次级拆离滑脱带中断坪和断坡构成了矿体的容矿空间。归来庄金矿则受控于近东西向的反向铲状断层。磨坊沟金矿和归来庄金矿床的空间分布、矿物共生组合和硫、氢、氧稳定同位素特征均显示了相同的特

点。鲁西平邑地区的金矿是在相同的伸展构造体制下不同的构造部位形成的浅成低温热液矿床。

关键词：浅成低温热液金矿床，SHRIMP U-Pb 年龄，成矿流体，成矿作用，鲁西

Abstract

Located tectonically on the southeastern margin of the North China craton, telluride Au deposits in the Pingyi area, western Shandong, mainly comprise the cryptoexplosive breccia type Guilaizhuang gold deposit and stratified, finely disseminated type Mofanggou gold deposit in carbonate rocks. The Guilaizhuang gold orebodies, hosted in Cambrian-Ordovician dolomite, are controlled by EW-trending fault. Inside the fault zone, orebody No. I is the largest, contributing 98% of the total ore reserves of the Guilaizhuang gold deposit. It has a controlled length of 550 m long, a thickness of 3.3 ~ 10.1 m (mean of 6.8 m) and a dip width of >650 m. Drilling has revealed that the ore vein pinches, swells, branches and converges. The gold grade ranges from 3.42 to 26.37 g/t, with a mean of 6.8 g/t and a maximum of 457.4 g/t. The Guilaizhuang gold orebodies are lithologically composed of cryptoexplosive breccia, which comprised diorite (porphyry) and monzosyenite porphyry from Tongshi complex and minor clasts of Cambrian-Ordovician dolomite. Gold minerals mainly include native gold, calaverite and electrum.

The Lifanggou and Mofanggou gold deposits occur as bed-like bodies in dolomitic limestone, micrite and dolostone in the Early Cambrian Zhushadong Formation. The orebodies are about 20 ~ 30 m from the unconformity between Cambrian carbonate rocks and Neoproterozoic biotite leptyne or Paleoproterozoic monzogranite. The Lifanggou ore bed is generally 3 ~ 10 m in thickness and controlled by NW-trending secondary detachment faults, whereas Mofanggou gold bed dipping 325° ~ 350° at 8° ~ 20° in the Early Cambrian Zhushadong Formation is ca. 280 m long and 1.0 ~ 8.0 m thick. The Lifanggou gold grade ranges from 2.19 to 7.24 g/t, with a mean of 4.9 g/t. Mofanggou gold grade ranges from 1.09 to 25.21 g/t, with a mean of 11.54 g/t. Wall-rock alteration comprises pyritization, fluoritization, silicification, carbonatization and chloritization.

The Tongshi complex related to mineralization in the ore districts consists predominantly of medium- to fine-grained diorite (porphyry) and pyroxene (hornblende) -bearing monzonite porphyry. Zircon SHRIMP U-Pb dating indicates that the dioritic rocks of the Tongshi magmatic complex give a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted mean age of 175.7 ± 3.8 Ma, interpreted as representing the crystallization age of the Tongshi magmatic complex. The Guilaizhuang, and Mofanggou gold deposits are telluride gold deposits related to alkaline rocks. Therefore, it is reasonable to infer that the age of the gold deposits was Middle Jurassic.

Nearly 300 fluid inclusions were examined in 18 samples from the Lifanggou, Mofanggou and Guilaizhuang gold mines. Abundant fluid inclusions were observed in quartz, calcite and fluorite. They are dominated by primary ones with minor pseudosecondary ones. These inclusions are dispersed inside transparent minerals and in a few cases along microcracks of the mineral grains. They have a variety of shapes, including elliptic, rhombic, rectangular, trapezoidal and

triangular shapes, as well as varied irregular shapes. Their sizes vary greatly from 3 to 40 μm and in a few individual cases may reach a maximum of 50 μm , but most sizes range from 4 to 20 μm . The types of the inclusions are simple, and only the $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ type is found, including the liquid-rich phase and vapor-rich phase. The vapor/liquid ratio is highly varied, ranging from 5% to 90% but commonly from 5% to 10%. Homogenization temperatures of the fluid inclusions vary from 103°C to 250°C, and the ice melting temperatures range from -2.5°C to -13.5°C, corresponding to a salinity range of 4.65 to 17.26 wt. % NaCl equiv.

$\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite from silicified and carbonatized monzodiorite porphyry, igneous breccia and mineralized dolostone of the Guilaizhuang and Mofanggou gold deposits range from -0.71‰ to 2.99‰, close to those of the mantle sulfur, suggesting a mantle or magma source of sulfur in the ores. In the Guilaizhuang gold deposit, the five δD and $\delta^{18}\text{O}$ values of five calcite samples range from -48‰ to -61‰ with a mean of -54‰ and from 11.5‰ to 17.7‰ with a mean of 15.9‰ respectively; and the $\delta^{18}\text{O}$ value of one quartz sample is 19.3‰. In the Lifanggou gold deposit, the δD and $\delta^{18}\text{O}$ values of five calcite samples vary from -63‰ to -70‰ with a mean of -66‰ and from 18.4‰ to 21.2‰ with a mean of 19.9‰ respectively; the $\delta^{18}\text{O}$ values of one calcite sample from the Mofanggou gold deposit is 21.5‰.

The mean homogenization temperatures of 150.2°C and 181°C were obtained by averaging homogenization temperatures of 63 inclusions in calcite from the Guilaizhuang gold deposit and 30 inclusions in calcite from the Lifanggou gold deposit. Using the calcite-water isotope fractionation equation $1000 \ln \alpha = 2.78 \times 10^6 T^{-2} - 2.89$, the $\delta^{18}\text{O}$ values of the mineralizing fluids are calculated. According to the mean homogenization temperatures in quartz, using the quartz-water isotope fractionation equation $1000 \ln \alpha = 3.42 \times 10^6 T^{-2} - 2.86$, the $\delta^{18}\text{O}$ values of the mineralizing fluids were calculated to be 6.27‰ for the Guilaizhuang gold deposit.

Therefore the sulphur, hydrogen and oxygen isotopic compositions in this area have the signature of mixing of formation water and deep-seated magmatic fluids, suggesting the complexity of the sources of ore-forming fluids. Although Guilaizhuang gold deposit and Mofanggou gold deposit hosted in different strata, research on fluid inclusions suggests that metallogenic mechanisms are consistent. Pressure releasing and boiling of the fluids played an important role in the ore-forming processes of the two gold deposits.

Key words: Epithermal gold deposit; SHRIMP U-Pb dating; ore-forming fluid; western Shandong

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 研究现状	(1)
1.1.1 鲁西平邑地区金矿床研究现状	(1)
1.1.2 浅成低温热液金矿床研究进展	(1)
1.2 研究意义	(5)
1.3 研究内容	(5)
1.4 取得的主要成果	(6)
第二章 区域成矿地质背景	(8)
2.1 区域地层及展布特点	(8)
2.1.1 地层划分	(8)
2.1.2 地层对比及展布特点	(10)
2.2 地质构造特征	(14)
2.2.1 褶皱	(14)
2.2.2 韧性剪切带	(14)
2.2.3 断裂构造	(14)
2.3 岩浆岩	(16)
2.3.1 前寒武纪岩浆岩	(16)
2.3.2 燕山期岩浆岩	(16)
2.4 区域地球物理特征	(20)
2.4.1 区域壳幔形态	(20)
2.4.2 区域磁场特征	(21)
2.4.3 区域重力场特征	(22)
2.5 区域地球化学特征	(25)
2.6 中生代地质演化的地球动力学机制	(28)
第三章 铜石岩体的地质地球化学特征	(31)
3.1 铜石岩体的岩石学特征	(31)
3.1.1 铜石二长斑岩类	(31)
3.1.2 铜石二长闪长玢岩类岩石	(32)
3.2 铜石岩体的岩石化学特征	(34)

3.3 铜石岩体的成岩年龄	(40)
3.3.1 研究现状	(40)
3.3.2 铜石岩体锆石 SHRIMP 测年	(40)
第四章 鲁西平邑地区金矿床地质特征	(47)
4.1 鲁西平邑地区金矿化类型	(47)
4.1.1 隐爆角砾岩型金矿化	(48)
4.1.2 似层状碳酸盐岩型金矿化	(48)
4.1.3 蚀变斑岩脉中的金矿化	(49)
4.1.4 矽卡岩型金矿化	(49)
4.2 归来庄金矿床地质特征	(49)
4.2.1 矿床地球物理及地球化学特征	(49)
4.2.2 矿体特征	(51)
4.2.3 矿石类型	(53)
4.2.4 结构、构造特征	(53)
4.2.5 矿石的矿物组成	(53)
4.2.6 矿石的化学成分	(55)
4.2.7 金矿物特征	(58)
4.2.8 围岩蚀变	(58)
4.3 磨坊沟金矿床地质特征	(60)
4.3.1 东大湾-梨方沟矿区	(60)
4.3.2 磨坊沟矿区	(63)
4.3.3 刘家庄北岭矿区	(64)
第五章 鲁西平邑地区金矿床流体包裹体地球化学	(67)
5.1 铜石岩体中的流体包裹体研究	(67)
5.1.1 分析方法	(67)
5.1.2 包裹体类型	(67)
5.1.3 包裹体的特征	(68)
5.1.4 显微测温结果	(69)
5.1.5 流体包裹体的成分	(72)
5.2 鲁西平邑地区金矿床中的流体包裹体研究	(73)
5.2.1 归来庄金矿床流体包裹体	(73)
5.2.2 磨坊沟金矿床流体包裹体研究	(74)
5.3 讨论	(79)
5.3.1 鲁西平邑地区金矿成矿流体的特点	(79)

5.3.2 平邑地区金矿成矿流体与铜石岩体中流体的比较	(80)
5.3.3 平邑地区金矿成矿流体与胶东金矿床成矿流体的的比较	(81)
第六章 稳定同位素地球化学	(83)
6.1 硫同位素地球化学	(83)
6.2 碳氢氧同位素地球化学	(84)
6.2.1 样品特征及分析方法	(84)
6.2.2 测试结果	(84)
6.2.3 讨论	(84)
第七章 鲁西平邑碲金型浅成低温热液金矿成矿作用	(90)
7.1 中国东部碲金型金矿床成矿作用	(90)
7.1.1 中国东部碲金型矿床的分布及特征	(90)
7.1.2 中国东部碲金型金矿床的地球化学特征	(91)
7.1.3 中国东部碲金型矿床形成的地球动力学背景	(97)
7.2 鲁西平邑地区碲金型金矿成矿作用	(98)
7.2.1 成矿时代	(98)
7.2.2 碲、金的来源	(99)
7.2.3 碲金型矿床成矿的深部过程	(99)
结束语	(101)
参考文献	(103)

第一章 绪 论

1.1 研究现状

1.1.1 鲁西平邑地区金矿床研究现状

鲁西地区以其独特的地质特征和丰富的矿产资源而备受地质学家的关注,自 20 世纪 50 年代末期以来,先后有北京地质学院、山东区调队、地质部 902 航测队、临沂市直属煤炭工业局、冶金物探公司航测队、山东省地质二队、山东省地质七队、山东省物探队、山东省地质综合研究队、长春地质学院、南京大学、中国科学院地球物理研究所、广州地球化学研究所等有关部门在本区做过不同程度的地质测量、物化探、矿产普查勘察、重砂测量和专题研究等工作。积累了丰富的地质矿产资料,对该区前寒武纪构造演化研究程度颇高(曹国权,1996;张拴宏等,1999;刘铁兵等,2001;宋明春等,2001)。但对燕山运动以来的构造演化尚存不同认识:掀斜断块(张自桓,1995)、“入”字形断陷格局(燕守勋,1994)、大型张扭性帚状断裂构造系统(杜子图等,1999)、穹隆拱升形成的同心环状-放射状断裂构造体系(金振奎等,1999),它们均与燕山运动以来形成的伸展构造有关(杨天南等,1997;王炳山等,2000)。对于鲁西成矿作用的研究,涉及的金矿床(点)有:车往峪金矿点(王照波等,2000)、临朐铁寨金矿点(郭瑞朋,1999;周斌等,1999)、沂南金厂金矿点(邱检生等,1996)、沂源县金星头金矿点(张荣隋等,2001)。曾庆栋等(1999)从伽玛能谱测量切入,建立了鲁西地区地球物理找矿模型;陈永清等(2001)在地质研究的基础上,以统计分析为主要手段探讨了鲁西金矿成矿组分的聚集与演化。针对鲁西平邑地区的金矿,取得了较多的基础资料(陈永清等,1999;曾庆栋等,2000;韩庆凤等,1994;肖斌等,2001;金隆裕等,1995)。林景仟等(1997)系统研究了铜石岩体的岩石学和地球化学,获得了大量的测试数据。沈昆等(2001)对保存于铜石岩体和归来庄金矿包裹体进行了研究,发现了 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 型流体包裹体。但这些成果的重点是针对铜石杂岩体取得的,涉及少量归来庄金矿中的石英和萤石,获得的包裹体多为假次生或次生类型,原生包裹体较少,对于广泛发育于成矿晚阶段方解石中的成矿流体,则很少涉及。磨坊沟金矿床仅获得了少量萤石包裹体的数据(王海芹等,2002)。蚀变矿物中氢氧稳定同位素数据较少,且误差较大,缺乏碳同位素数据。因此,归来庄金矿和磨坊沟金矿成矿流体需要进一步研究;归来庄金矿和磨坊沟金矿都是与铜石碱性岩体有关的碲金型金矿,但对岩体的形成年龄还存在争论。因此,对该区金矿的成矿时代、流体来源和特点及成矿机制的研究有待于进一步深化。

1.1.2 浅成低温热液金矿床研究进展

浅成热液(Epithermal)一词首先由 Lindgren 于 1906 年在第十届国际地质学大会上宣

读论文时提出,并根据变质岩的变质情况和成矿的物理条件,将热液矿床分为高温深成、中温中深成和低温浅成三种。Lindgren (1922, 1933) 进一步将浅成低温热液矿床定义为:在地壳浅部、较低温度和较低压力条件下形成,包括贵金属(碲化物或硒化物)、贱金属、汞和辉锑矿等矿床。

1.1.2.1 浅成低温热液金矿床分类

20 世纪 80 年代以来,由于浅成低温热液金矿床有着巨大的经济意义,该类矿床一直是金矿领域中的热门话题之一。目前对浅成低温热液矿床应用最为广泛的是以形成条件、矿物组成、蚀变特征和地球化学环境为基础的分类方案。Bonham (1986) 将浅成低温热液型金矿床划分为低硫化型、高硫化型和碱性岩型。Heald 等 (1987) 将其划分为明矾石-高岭石型(酸性硫酸盐型)和冰长石-绢云母型。根据矿石结构、构造和热液蚀变矿物以及矿质的沉淀就位方式,White 等 (1990) 将浅成低温热液金矿床分成四类:低硫化作用脉状矿床, Hishikari 型(日本);低硫化作用网脉状矿床, McLaughlin 型(美国);高硫化作用浸染型脉矿床, Chinkuashih 型(中国台湾)和高硫化作用型脉状矿床, Elindio 型(智利)。Hedenquist 等 (2000) 提出了矿床特征介于高硫化型(HS)与低硫化型(LS)之间的中硫化型(intermediate sulphidation)矿床。并将中硫化型矿床的特征硫化物组合定义为一套具有中等硫化状态的矿物组成:“黄铁矿、黝铜矿、砷黝铜矿、黄铜矿和低铁闪锌矿”。Corbett (2002) 在系统地研究了产出于西南太平洋的浅成低温热液金矿的基础上,根据流体的不同来源和演化路径将低硫化型浅成低温热液金矿床进一步划分为岩浆弧型和裂谷型,并根据矿床形成深度和矿物组合将岩浆弧型进一步划分为石英硫化物 $\text{Au} \pm \text{Cu}$ 型、碳酸盐贱金属 Au 型、多金属 Au、Ag 矿脉型和浅成低温热液石英 Au、Ag 型等 4 类矿床。对于缺乏深入研究的浅成低温热液型矿床, Cooke 等 (2003) 建议根据矿石的主要成矿元素、矿体的产状、脉石和蚀变矿物等特征,对浅成低温热液型金矿床进行描述性分类。例如:具方解石-冰长石蚀变,产于角砾岩筒中的浅成低温热液型 $\text{Au}(\text{Te})$ 矿床。

20 世纪 90 年代以来,针对我国浅成热液金矿的具体情况,许多学者做了有益的探索。李兆鼎等 (1993) 根据矿石中矿物组合不同,将浅成热液型金矿进一步分成 3 个亚类:低硫冰长石-绢云母型或石英-绢云母型;高硫石英-明矾石型或石英-明矾石-高岭石型;富碲化物型或碱性火山岩型。考虑到我国中生代陆相火山、次火山及岩浆侵入作用十分强烈,有关金矿床种类繁多,不同地区所发育的火山岩系列和其演化也不尽相同。胡受奚等 (1997) 提出了多个划分方案。如根据火山岩系的特征及演化进行分类,可划分为:与钙碱性火山岩系及次火山岩有关的金矿床,与橄榄安粗岩系有关的金矿床,在橄榄安粗岩系基础上发展的与钙碱性火山岩有关的金矿床,以及在橄榄安粗岩系基础上发展的与碱性火山岩有关的金矿床;根据火山机构不同控矿部位进行分类,可划分为:产于基岩内的金矿床,产于基岩和火山岩盖层接触带中的金矿床,产于火山岩系盖层的火山机构中的金矿床,产于火山口附近的热泉沉积金矿床;根据火山机构及其内部控矿构造进行分类,可划分为产在基岩中的爆发角砾岩筒中的金矿床,产于基岩和斑岩的爆发角砾岩筒中,受破火山机构内部环状裂隙和角砾岩体控制的金矿床,受破火山机构环状和放射状裂隙和角砾岩控制的金矿床,在破火山机构中受裂隙构造控制的金矿床。刘连登等 (1999) 将我国浅成热液金矿划分为 3 类:浅成脉型,浅成斑岩型和浅成矽卡岩型。浅成脉型包括石英脉型,如吉林刺猬沟、五星等矿床;单脉型系,如辽西二道沟、内蒙金厂沟梁;系脉

型,如内蒙金厂沟梁 26 号系脉;网脉型,如烟台金矿 1 号矿脉。浅成斑岩型包括:角砾/网脉型,如团结沟(含冰长石)、紫金山铜金矿床(含明矾石);单脉/网脉型,如河北峪耳崖、牛心山金矿床;浅成矽卡岩型,如湖北鸡笼山金矿床;铜金型,如湖北鸡笼山矿床;铁铜金型,如山东沂南铜井、临朐铁寨矿床。毛景文等(2003a)在讨论中国东部中生代浅成热液金矿的类型、特征及地球动力学背景时,使用的是低硫型和高硫型的成因类型划分方案。

1.1.2.2 浅成低温热液矿床的全球成矿区带

全球浅成低温热液金矿床明显集中成带分布,主要集中产在 3 个巨型成矿域:①环太平洋成矿域;②地中海-喜马拉雅成矿域;③古亚洲成矿域。

环太平洋成矿带:分布有世界上 80% 以上的火山,是目前最为重要的浅成低温热液金矿成矿带,按照地理位置可以大致分为东带和西带。东带分布于南、北美洲西部的科迪勒拉山脉,包括美国著名的 Red Mountain 和 Cripple Creek,墨西哥的 Guanajuato 等大型、超大型矿床。西太平洋地区的浅成低温热液金矿床根据成矿环境又可进一步划分为内、外两个带。内带北起俄罗斯的堪察加半岛,经日本的冲绳、中国的台湾奇美、菲律宾碧瑶、马来西亚沙巴、伊里安岛、巴布亚新几内亚的利希尔岛至新西兰和斐济岛。该带发现超大型矿床 13 个。外带北起俄罗斯的楚克奇,经中国辽吉黑东部、朝鲜进入中国东部沿海地区,如我国东北的团结沟、刺猬沟、五凤金矿床及福建紫金山金矿床。

地中海-喜马拉雅成矿带:分布于北非摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯,南欧西班牙、意大利、罗马尼亚、捷克、斯洛伐克、乌克兰和高加索地区,中亚的土耳其、阿富汗,东南亚的缅甸等地区。著名的矿床有罗马尼亚阿普塞尼山脉金矿、西班牙罗达尔基拉尔金矿田、保加利亚麦迪德斑岩铜金矿床等。

古亚洲成矿带:西起中亚的乌兹别克斯坦,经吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦、至俄罗斯东北部,包括了中国的新疆、内蒙古和黑龙江部分地区。超大型矿床有赋存于晚古生代火山碎屑岩中的新疆阿希金矿、伊尔曼得金矿。

1.1.2.3 浅成低温热液矿床的形成时代

浅成低温热液型金矿床的形成时间主要受其所处大地构造环境演化的控制,其成矿时代与火山岩带的形成密切相关。从浅成低温热液型金矿床在全球主要分布的 3 个成矿域来看,产在环太平洋和地中海-喜马拉雅成矿域中的矿床形成时代一般是从中生代一直延续到现在,在有些地区浅成低温热液型金矿床的成矿作用目前仍然在进行当中,而产在古亚洲成矿域的这类矿床一般形成较早,为晚古生代。

1.1.2.4 浅成低温热液矿床的特征

浅成低温热液金矿床形成于地表浅部,矿化最大深度不超过地表以下 1500 m,矿体可以具有相当大的长度。其赋矿围岩主要为钙碱性-碱性喷出岩和浅成侵入岩。岛弧带内矿床(西太平洋内带为代表)产在粗面玄武岩和安山-角斑岩为主的火山岩建造中,少数矿床产在 K-Na 系列安山-流纹英安岩系列建造中,矿化通常发生在火山-岩浆作用的末期。陆内火山岩带矿床形成于巨厚陆壳为特征的地台活化带中,容矿岩石为粗面玄武-流纹岩和粗面安山-流纹岩(或粗面流纹岩)。陆缘火山带矿床均与安山流纹岩和安山质岩石有关。与成矿关系最为密切的是筒状和岩墙状隐爆角砾岩。

浅成低温热液金矿床的容矿构造可以是各种类型的正向和负向火山机构,并受区域性

质的断裂带和火山机构断裂系统的控制。岛弧带矿床主要分布在破火山口内,较少产在线型背斜构造和火山穹隆中;陆内火山岩带矿床形成于构造倾伏的破火山口地段;陆缘火山带矿床可出现在各种正向和负向火山机构内。含矿火山机构几乎总是分布在两级以上区域断裂弯曲和交汇部位。矿体产在这些断裂带以及羽状断裂、放射性、环状断裂内。在浅成低温成矿体系的火山机构中,这些断裂构造起了双重作用。断裂下部为导矿通道,同时作为火山机构和其周边矿化的控矿构造。断裂系统上部为容矿构造,是金银矿体的主要赋存空间。

浅成低温热液矿床围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化,碳酸盐化,其次为高岭土化、冰长石化、明矾石化。

浅成低温热液矿床的成矿温度普遍低于 300℃,多数成矿温度介于 100~250℃之间。毛景文等(2003)总结了我国东部中生代 15 个浅成热液金矿的成矿温度主要集中在 120~300℃之间。Roedder (1984)统计的内华达州、科罗拉多州、墨西哥、秘鲁和斐济等地的浅成热液矿床的成矿温度在 65~350℃之间,大多数集中于 150~270℃。但是近十几年来的研究表明:浅成热液矿床中亦有高温流体活动的迹象,尤其在浅成低温热液矿床与斑岩型矿床的过渡部位,高温岩浆流体可能参加了早期成矿过程。如美国科罗拉多与碱性火山杂岩有关的 Creple Creek 金矿中萤石和石英中包裹体的均一温度最高达 510℃ (Thompson et al, 1985),河南祁雨沟热液角砾岩型金矿床最高达 412℃ (范宏瑞等, 2000),紫金山矿田中紫金山金矿达 400℃,而其中的斑岩铜矿高温部分达 420~660℃ (张德全等, 1991; 2003)。

浅成低温热液矿床成矿流体的盐度一般在中低盐度范围。Roedder (1984)总结的内华达州、科罗拉多州、墨西哥、秘鲁和斐济等地的浅成热液矿床的盐度在 1wt%~13.8wt%之间。如鲁西平邑地区浅成低温热液矿床成矿流体的盐度变化于 4.65wt%~17.26wt%之间;美国蒙大拿 Gies 金银碲化物矿床的盐度在 5.7wt%~8.0wt%;除去含石盐子晶包裹体外,河南祁雨沟金矿床流体的盐度在 3.87wt%~12.85wt%之间。少数矿床成矿流体中由于有石盐子晶的存在,其盐度可能大幅度提高,如美国的 Creple Creek 金矿中,盐度最高达 44 wt%。成矿流体中 Na⁺是最主要的阳离子,Na/K 原子数比值一般为 2~10, Ca/Mg 原子数比值也主要为 2~10;阴离子主要是 Cl⁻;主要气体是 H₂O 和 CO₂,含少量 H₂S 和 SO₂。

大部分浅成低温热液金矿床的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 -2‰~+5‰之间,与流体中总硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 几乎相同,显示了早期成矿流体的岩浆来源或深部来源。浅成低温热液金矿床成矿热液的 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 值远离岩浆水而靠近雨水线,有些矿床直接落在雨水线上,大部分矿床显示一定程度的同位素偏移,不同矿床 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 值与地理环境有关,总体分布大致与雨水线平行,表明成矿流体晚阶段均有不同程度的大气水混入。

1.1.2.5 浅成低温热液矿床的形成机制

浅成低温热液矿床形成的构造环境主要为岩浆弧和弧后的张裂带以及大陆边缘地区。这种构造环境在全球主要有环太平洋成矿带、地中海-喜马拉雅成矿带和古亚洲成矿带 3 条。远离俯冲带或岛弧带的浅成低温热液矿床则与区域性断裂及次火山岩体关系密切,受控于与火山活动相联系的各种断裂构造,如正断层、环状断裂、放射状断裂及走滑断层等。

浅成低温热液金矿床的形成在时空上均与深部侵入体或火山-次火山岩有密切联系。岩浆作用一方面提供部分成矿物质,另一方面为深循环的地下水提供热源,伴生的相关脆性断裂带则为成矿物质提供通道。成矿的基本过程可概括为:深部成矿流体向上运移,与被加热大气水混合,沿断裂带向上运动,在深度很小(一般小于 1.5 km)的环境中沉淀成矿物质而形成金矿床。大量的矿物学、流体包裹体和稳定同位素证据表明,浅成低温热液型金矿可能的成矿作用包括:①成矿流体的减压沸腾;②流体的混合作用;③去硫化作用;④围岩硫化作用。

1.2 研究意义

20 世纪 80 年代以来,由于世界范围内与碱性岩有关的碲金型金矿的广泛发现,使得该类矿床研究受到了普遍的重视,一大批研究成果相继问世(Thompson et al., 1985; Ahmad et al., 1987; Bortnikov et al., 1988; Mao et al., 2003a),然而通过近年来的思考,地质学家发现与碱性岩有关的碲金型金矿还存在许多新问题尚未得到解决,如对岩浆热液矿床中 Te、Se 的来源和意义仍然了解较少,矿床中 Au、Te、Se 的时空分布以及矿化类型之间的关系认识不够深入,在碲化物的稳定性、搬运机制和成矿的物理-化学信息方面,理论计算和模拟实验研究与野外地质事实仍有一定的差距。鉴于此,2003 年 5 月启动了 ICGP-486 国际对比项目“金-银-碲-硒矿床”的研究,该项目的实施,标志着碲金型金矿仍是当今矿床学界关注的热点和前沿课题。2004 年 8 月在意大利召开的 32 届国际地质大会上,“金-银-碲-硒矿床”的研究被列为一个专题来讨论。我国的碲金型金矿主要有四川大水沟碲(金)矿床(陈毓川等,1996;毛景文等,1995, 2000)、河南祁雨沟热液角砾岩型金矿床(范宏瑞等,2000)、北祁连山与斑岩有关的碲金型金矿床(杨建国等,2002)、河北东坪金矿(毛景文等,2001; Mao et al., 2003a)、鲁西归来庄金矿(邱检生等,1994),前三个碲金型金矿的矿区尚未见碱性岩的产出,而与东坪金矿有关的水泉沟碱性岩体的成岩年龄与成矿年龄又时差较大,故此,东坪金矿与碱性岩体的关系引起了质疑。显然,鲁西归来庄金矿应属于与碱性岩体密切相关的碲金型矿床类型。同时,该区还有其他多种类型的金矿化区,亦可能是与碱性岩有关的成矿作用在浅部的响应。因此,选择鲁西平邑地区金矿进行研究,具有重要的科学探索意义,一旦理论上取得突破,可望取得找矿实践上的重大进展。

1.3 研究内容

(1) 通过对鲁西地区区域地层及展布特点、中生代幔源岩浆岩、放射状和环状断裂构造体系、金矿床的分布、深部地球物理特点的研究,探讨鲁西地区地质构造的特征及其形成机制。

(2) 鲁西平邑地区浅成低温热液金矿床的空间分布特点、矿物共生组合和稳定同位素特征显示了该区金矿与铜石岩体的密切成因联系,研究铜石岩体的岩石学特征、地球化学特征及成岩年龄,探讨区内构造-岩浆演化的特点。

(3) 通过对金矿石中的石英脉和方解石脉进行成矿流体包裹体的研究,确定成矿物

理化学条件和成矿流体的物质组成。

(4) 研究归来庄金矿和磨坊沟金矿蚀变岩石及矿物的 H-O、C-O、S 等稳定同位素特征, 并与围岩进行对比, 探讨成矿物质来源。

(5) 通过对以上资料的综合研究, 探讨鲁西平邑地区浅成低温热液金矿床的成矿机制。

1.4 取得的主要成果

(1) 通过对区域岩石地层展布的特点、幔源岩浆活动、放射状和环状构造体系以及地球物理和地球化学资料的系统研究, 提出了鲁西中生代地质演化的地球动力学模型。

研究表明: 鲁西地区的地层(岩体)展布均以泰山-鲁山-邹县-临沂地区为中心, 向外呈环状展布。基底构造层主要出露于中部地区, 呈不甚规则的圆形展布, 从基底构造层向外逐渐呈同心环状展布的有古生界、中生界、新生界。鲁西地区的断裂构造展布也具有明显的规律性。总体上以中部的新泰-泗水-平邑-蒙阴地区为中心, 向外呈同心环状和放射状展布, 放射状断裂面以陡倾为主, 同心环状断裂向外缓倾为主, 两者相互切错。鲁西地区这种独特的地质构造特征是中生代以来基底强烈隆升、盖层向外围拆离滑脱的结果。其中的主拆离滑脱面则发育在早前寒武纪花岗岩岩体与寒武系间的不整合面之间。中生代强烈的岩浆活动和地球物理特点亦为之提供了证据。

(2) 首次报道了鲁西地区铜石岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄结果。通过对斑状细粒闪长岩中单颗粒锆石 18 个样品点的分析, 获得了两组谐和年龄数据, 其中有 10 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 167.9 ~ 183 Ma, 加权平均值为 (175.7 ± 3.8) Ma; 另外 8 个分析点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2 502 ~ 2 554 Ma, 加权平均值为 $(2 518 \pm 11)$ Ma。二长斑岩样品仅获得 2 个 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄数据, 在 2 485 ~ 2 512 Ma 之间。 (175.7 ± 3.8) Ma 指示了铜石岩体的结晶年龄为中侏罗世, $(2 518 \pm 11)$ Ma 代表了岩体侵位过程中捕获的新太古代五台期锆石的年龄。根据 SHRIMP U-Pb 年龄结果, 认为鲁西地区存在燕山早期构造-岩浆热事件, 根据铜石岩体的成岩年龄推断成矿年龄, 鲁西平邑地区的金矿大约形成于 170 ~ 160 Ma 之间, 发生于中国东部 200 ~ 160 Ma 大规模成矿事件的末期。

(3) 鲁西平邑地区的金矿床主要有隐爆角砾岩型(以归来庄金矿为代表)和碳酸盐岩层状微细浸染型(以磨坊沟为代表)两种类型。总结和研究了归来庄金矿地球物理及地球化学特征、矿石的矿物组成、化学成分、结构、构造、金矿物特征及围岩蚀变的类型和特点。详细解剖了东大湾-梨方沟矿层剖面, 并对贺山庄-红旗新村、小广泉-磨坊沟、刘家庄北岭等矿区矿体特征和围岩蚀变进行了详细的研究。研究表明: 鲁西平邑地区多种类型的金矿化, 组成了一个浅成低温热液成矿系统。

(4) 选择鲁西平邑归来庄矿区、磨坊沟矿区和梨方矿区矿化蚀变样品, 对保存于石英、方解石和萤石中的原生包裹体进行了详细的研究。包裹体形态多样, 有椭圆形、菱形、正方形、矩形、梯形、三角形和各种不规则形状。大小多数在 4 ~ 20 μm 之间。有单一液相包裹体、气液两相包裹体和富气相包裹体 3 种类型, 其中气液两相包裹体最为丰富, 气液比以 5% ~ 10% 常见。显微测温结果表明: 归来庄金矿包裹体均一温度在 110 ~ 150℃、170 ~ 250℃ 和 270 ~ 380℃ 三个区域呈集中趋势, 少数点位于 440 ~ 500℃ 之间。数

据点主要集中于 110 ~ 150℃ 和 170 ~ 250℃ 两区域。冰点变化范围较大, 在 -2.5 ~ -13.5℃ 之间皆有分布, 以 -3 ~ -6℃ 间占优势, 对应的盐度在 4.65 wtNaCl% ~ 17.26 wtNaCl% 之间。根据公式计算得出高温石英流体的密度在 0.643 g/cm³ ~ 0.886 g/cm³ 之间, 低温流体的密度在 0.878 g/cm³ ~ 1.029 g/cm³ 之间。

(5) 磨坊沟金矿包裹体均一温度在 120 ~ 500℃ 之间均有分布, 但主要集中于 120 ~ 260℃ 的范围内, 可进一步分为 110 ~ 150℃ 和 170 ~ 250℃ 两个区间。冰点变化范围较大, 在 -2.8℃ ~ -11.5℃ 之间, 对应的盐度在 4.65wt% ~ 15.47wt% 之间。根据公式计算得出高温石英流体的密度在 0.5 g/cm³ ~ 0.845 g/cm³ 之间, 低温流体的密度在 0.842 g/cm³ ~ 1.03 g/cm³ 之间。

(6) 同位素研究结果显示: 鲁西平邑地区金矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 -0.71‰ ~ 2.99‰ 之间, 指示硫来源于地幔或岩浆, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值在 -73‰ ~ 0‰ 之间, 其中归来庄金矿的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -3.3‰ ~ 0.0‰, 梨方沟金矿和磨坊沟金矿 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -0.2‰ ~ -7.3‰, 上述数据虽与地幔碳的峰值有一定的偏离, 但总体在地幔碳的范围内, 暗示了成矿流体中至少有部分地幔碳或岩浆碳的成分。 $\delta\phi\text{D}$ 在 -48‰ ~ -70‰ 之间, $\delta^{18}\text{O}$ 水值在 -4.3‰ ~ 8.3‰ 之间, 也反映了深部流体的一定贡献。由此说明成矿流体最初来源于地幔, 在浅部有较多的大气降水混入。流体的减压沸腾在矿床的形成过程中起重要作用。

(7) 磨坊沟金矿产在前寒武纪花岗绿岩体与寒武系间拆离滑脱带附近, 矿层顶板发育的 NW 向层间次级拆离滑脱带中断坪和断坡构成了矿体的容矿空间。归来庄金矿则受控于近东西向的反向铲状断层。磨坊沟金矿和归来庄金矿床的空间分布特点、矿物共生组合和硫、氢、氧稳定同位素特征均显示了相同的特点。鲁西平邑地区的金矿是在相同的伸展构造体制下不同的构造部位形成的浅成低温热液矿床。