第 36 卷 第 1 期
2003 年 (总 144 期)

西北地质
NORTHWESTERN GEOLOGY

Vol 36 No. 1
2003 (Sum 144)

文章编号: 1009-6248 (2003) 01-0041-11

甘肃北祁连山寒山金矿床控矿条件与成矿模式

杨建国[1], 黄振泉[2], 任有祥[1], 李智佩[1], 宋忠宝[1]

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054;
2. 山东省泰安市岱岳区国土资源局, 山东 泰安 271000)

摘 要: 通过对该矿床成矿地质背景、矿床地质特征、成矿标志及控矿因素等诸方面分析, 指出成矿物质主要来源于下奥陶统岛弧钙碱性安山- 英安质火山碎屑岩, 矿体受多级断裂裂隙系统的控制, 且主要定位于韧- 脆性剪切带内的强片理化带中, 成矿作用发生于碰撞造山作用挤压- 伸展转变期, 花岗闪长岩、闪长岩等造山期中酸性岩体侵位期间及其以后, 深部岩浆房或中酸性侵入体主要为矿床形成提供了热驱动力, 矿床成因类型属与火山岩有关的构造蚀变岩型金矿床。在此基础上, 总结归纳了该矿床的成矿模式与综合找矿标志。

关键词: 寒山金矿床; 控矿条件; 成矿模式; 北祁连山; 甘肃

中图分类号: P618.51 **文献标识码**: A

近十余年来, 随着古生代- 元古代以火山岩容矿的大—特大型金矿床 (如 Temora, 古生代; Brewer, Hope Brook, 新元古代; Enasen, 古元古代, 等等) 的相继发现, 古老造山带该类型金矿床的潜力日益引起了全球矿床学家的高度重视。北祁连山是我国早古生代海相火山岩极其发育的地区之一。海相火山-沉积建造是包括北祁连山西段在内的北祁连山造山带的特征建造, 与该建造有关的金矿找矿勘查研究一直受到国内矿床地质学家的关注。20 世纪 80~ 90 年代中期以前的十余年间, 尽管地矿系统的诸多单位在北祁连山中西段开展了金矿找矿专项调查, 但因种种原因而无建树。上世纪 90 年代中期, 以北祁连山西段之西端寒山大型金矿的发现为契机, 实现了我国早古生代海相火山岩区金矿勘查的突破, 开阔了北祁连造山带找金新领域。

寒山金矿床自 1994 年发现以来, 经过 3 年的普查与勘探, 至 1997 年底, 矿区共圈出矿化蚀变带 65 条, 矿体 31 个, 获得 D+E 级金储量 23.96 t①。为一大型金矿勘查地。

该矿床研究程度较低, 目前, 对其成因有两种认识: 即剪切带型[1]和低温热液构造蚀变岩型[2,3]。笔者通过对该矿床地质、地球化学和控矿因素诸方面进行研究和分析, 认为它是一个成矿明显晚于剪切作用, 但矿化却与韧—脆性剪切带具空间耦合关系的构造蚀变岩型金矿床。本文是对寒山金矿床地质特征、控矿条件的综合论述和总结, 旨在开拓思路, 以期在今后我国西北地区广布的古生代海相火山岩区金矿勘查中起到抛砖引玉的作用。

1 区域地质概况

寒山金矿床位于甘肃省安西县境内, 大地构造位置属北祁连早古生代造山带西段之西端, 产于奥陶纪岛弧火山岩带西端昌马堡西古火山盆地中。定

收稿日期: 2002-06-11; **修回日期**: 2003-02-17

基金项目: 原地质矿产部资源与环境科技攻关项目 (课题编号: 95-2-004) 资助

作者简介: 杨建国 (1968-), 男, 陕西乾县人, 副研究员, 1985 年毕业于西安地质学院, 主要从事贵金属地质及矿床地球化学方面的研究工作。

①酒泉地质矿产调查队. 寒山金矿床 1996 年度普查地质工作总结.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

位于NEE 向古阿尔金区域超壳断裂南侧的次级断裂中（图 1)。

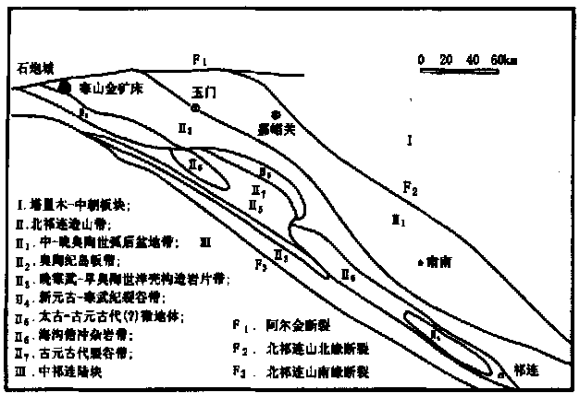


图 1 北祁连山西段地质构造略图

(据夏林圻等，1999)

Fig. 1 Geological and structural map of North Qilian mountains

区域出露地层有：零星分布于阿尔金断裂北侧的前震旦纪深变质岩系，广布于该断裂以南弱变质的早古生代中基性海相火山-沉积岩系，以及沿其分布的未变质的石炭纪- 二叠纪陆相碳酸盐-碎屑岩系。

区域侵入岩极发育，沿北东东向阿尔金断裂、北西向区域断裂及古火山构造侵入，岩石类型计有超基性岩、辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩、黑云母花岗岩、英安斑岩、石英钠长斑岩等，呈岩株、岩枝、岩脉及不规则状产出。前人对该区侵入岩做了不少锆石U-Pb 测年，其成岩年龄介于 485.9～320.40Ma[2,3]①，属加里东- 华力西期产物。

2 矿区地质

2.1 地层

矿区出露地层为奥陶系下统及上统。下统阴沟群 (O_1Y) 下部以中基性火山熔岩为主，分布于矿区南界闪长岩体以南；中上部由中酸性熔岩、凝灰岩及沉积碎屑岩组成，为矿区直接赋矿地层。上统妖魔山组岩性为厚层状灰岩，呈构造推覆体由北向南超覆于赋矿地层之上，构成目前矿区之北界。与成矿有关的华力西期闪长岩呈岩墙状沿 F_2 断裂侵入于阴沟群之中。矿体受NEE- 近EW 向强片理化带控制明显（图 2)。

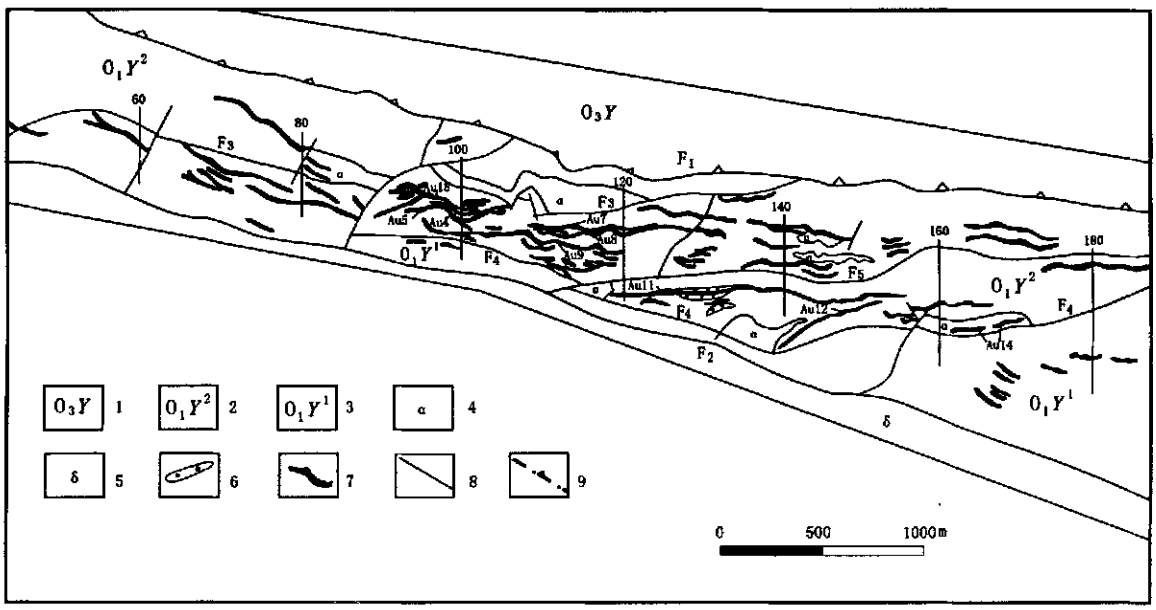


图 2 寒山金矿床地质略图

(据酒泉地质矿产调查队 1997 年资料修编)

Fig. 2 Geologic map of Hanshan gold deposit

1. 妖魔山组灰岩; 2. 阴沟群上组：中酸性凝灰岩、角砾凝灰岩、安山岩夹枕状熔岩、砂岩; 3. 阴沟群下组：中基性火山岩夹板岩、凝灰岩; 4. 安山岩; 5. 闪长岩; 6. 褐铁矿化蚀变带; 7. 金矿体及编号; 8. 断裂; 9. 推覆断裂

①黄传俭，等 .J47E001003（西湖幅)、J47E001004（昌马幅）1∶5 万区域地质调查报告，1995.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.2　矿体

寒山金矿床之矿体就是中酸性火山岩片理化矿化蚀变带中局部地段金富集达到工业要求的强硅化蚀变岩及充填于其中的石英硫化物微细脉、细脉和大脉。在 F_1 与 F_2 断裂所限定的东西长约 6 km、南北宽 500～1 000 m、东宽西窄的狭长带状矿区范围内，有近百条黄钾铁矾化或碳酸盐化褐铁矿化强片理化蚀变带，其规模长 100～1 500 m，宽 10～30 m 不等。目前，已圈定的 30 个矿体（地表品位≥0.5×10^{-6}）在平面上呈向西收敛、向东撒开的“帚状”矿体群形式分布（图 2）。各矿体间彼此近平行或呈雁行状斜列，剖面上呈叠瓦状分布。单个矿体主要呈带状或扁豆状，沿走向、倾向均具膨大狭缩和 S 形弯曲的波状起伏及分枝复合现象。

已查明主工业矿体有 3 个，长 920～1 000 m，其余长 40～560 m。厚度一般 2～5 m，但在矿体拐弯、复合部位，矿体厚度可达 10～25 m，形成囊状富矿体，矿体品位亦由一般品位 $n\times10^{-6}$ 剧增至 $n\times10\times10^{-6}$，甚至高达 $n\times100\times10^{-6}$。

金矿石中金属矿物含量一般少于 15%，局部可达 40% 以上，金属矿物主要有黄铁矿和毒砂，其次为黝铜矿、方铅矿、闪锌矿及黄铜矿；脉石矿物主要为细粒石英、玉髓状石英（微晶石英）、绢云母、铁白云石和重晶石。其次为伊利石、高岭石和叶腊石；贵金属矿物有自然金、银金矿与辉银矿，与黄铁矿、毒砂、黝铜矿、方铅矿密切共生或连生，在氧化带可次生富集成沿微裂隙充填的自然金细线。

矿石具半自形—他形粒状或针状、交代溶蚀、交代充填、骸晶、压力影结构等，浸染状、脉状、网脉状、角砾状、条带状及块状构造等。

矿区容矿火山碎屑岩围岩蚀变强烈而明显，并具有明显的分带性。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化（伊利石化）、碳酸盐化，局部有叶腊石化、重晶石化和高岭石化。地表氧化带形成白（白色绢英岩带）、黄（黄色黄钾铁矾化带）、红（铁染碳酸盐化带）、绿（绢云母绿泥石化带）颜色差异十分醒目和分带十分清楚的氧化蚀变分带。其中，白色绢英岩带已成为该区寻找同类矿床地表最直接和最有效的找矿标志。

矿石分两类：第一类是含硫化物微细石英（网）脉及被其浸染的黄铁绢英岩，占 80% 以上，第二类是含硫化物石英脉，呈细脉和大脉产出。

根据矿石结构、构造、矿物共生组合及相互交代穿插关系可分出 6 个成矿阶段：①黄铁矿-绢云母-玉髓矿化阶段；②金-黄铁矿-玉髓矿化阶段；③金-毒砂-石英矿化阶段；④金-黝铜矿-多金属硫化物阶段；⑤石英-碳酸盐阶段；⑥表生氧化富集阶段。

3　矿床地球化学

3.1　容矿火山岩金背景丰度

采自寒山金矿区火山熔岩、火山碎屑岩及沉积碎屑岩的金元素丰度分别为 2.29×10^{-9}（2 件）、10.93×10^{-9}（15 件）和 24.89×10^{-9}（3 件），区域同类岩石分别为 32.33×10^{-9}（36 件）、17.74×10^{-9}（12 件）及 20.47×10^{-9}（30 件）。二者相比，矿区火山熔岩及火山碎屑岩中的金含量均明显贫化，分别为区域金背景含量的 1/15 及 1/2，而砂岩、砂板岩等沉积岩的金含量与区域金背景含量相近且略显富集，表明在成矿过程中火山熔岩及火山碎屑岩中的金被强烈淋滤出来，为金矿床的形成提供了成矿物质。

3.2　稳定同位素

3.2.1　硫同位素

矿石硫同位素组成具两个特点：其一，矿石中硫化物的同位素组成变化范围窄，为 -1.9‰～+3.31‰，平均 +1.167‰，为偏离陨石硫不大的正值，方差小（1.47），极差低（5.21），塔式效应分布明显（图 3），符合典型岩浆源金矿床硫同位素组成[4]，

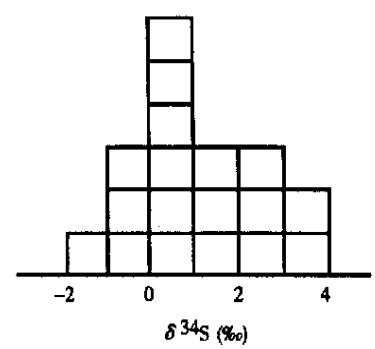


图 3　寒山金矿床矿石硫同位素塔式分布图

Fig. 3　Histogram showing sulfur isotopic composition of Hanshan gold deposit

显示了寒山金矿床成矿流体中硫的火山来源成因；其二，不同成矿阶段矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值相对稳

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

定，变化范围小（+ 2.37‰～ 3.31‰），且与容矿火山岩中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值（3.39‰）极相近。表明容矿火山岩是构成金矿床的成矿物源，且成矿物理化学条件相对较稳定。

3.2.2 锶同位素

Rb-Sr 同位素测定结果显示，矿床主要成矿阶段（金-毒砂-石英阶段）成矿年龄为 395±46 Ma，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 值为 0.71587。具壳幔混染型锶同位素组成。这可能与成矿流体沿剪切带对流循环使基底岩石中壳源放射成因锶与容矿火山岩幔源初始锶相混染有关。

3.2.3 稀土元素

在金矿床研究中，不同蚀变和矿化强度的各种近矿交代岩具有大致相同的稀土元素组成型式是其源于同一母岩的有效标志[5～7]。寒山金矿床各种近矿交代岩和矿石的 REE、$(La/Yb)_N$ 值及 δEu 值虽不尽相同，但稀土元素配分型式基本保持不变，且与容矿凝灰岩的稀土配分型式极为相似（图 4），表明近矿交代岩和矿石的源岩为同一母岩，即容矿的中酸性火山岩。

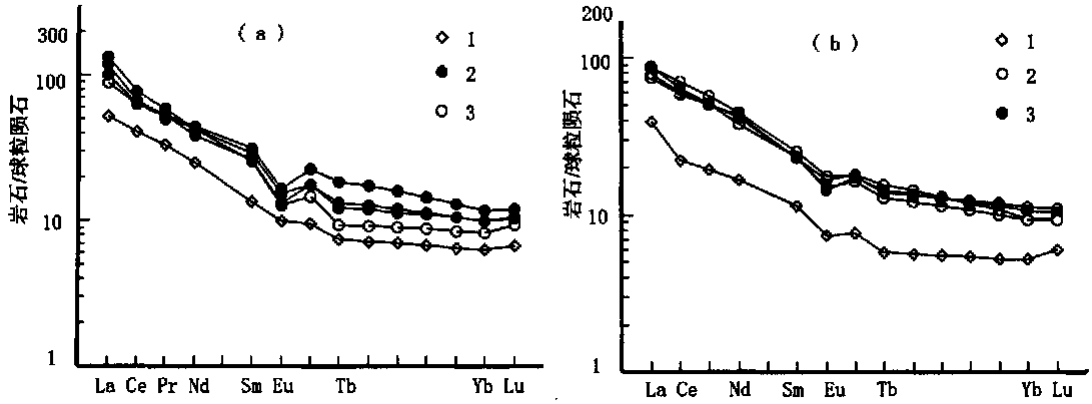


图 4 寒山金矿床蚀变岩及凝灰岩稀土元素配分型式

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of altered rocks and tuff in Hanshan gold deposit

(a) 11 号矿体: 1. 片理化英安质凝灰岩; 2. 黄铁绢英片岩; 3. 金-毒砂-石英脉; (b) 8 号矿体: 1. 碳酸盐化凝灰岩; 2. 碳酸盐化黄铁绢英岩; 3. 金-黝铜矿-多金属硫化物石英脉

3.3 流体包裹体地球化学

3.3.1 包裹体特征

各成矿阶段石英中均含有大量的流体包裹体，其类型有液相和气液相两种，且以前者占绝对优势。包裹体个体小，一般为 1～ 4 μm，极少数 5～ 10 μm。包裹体形态多为长管状、卵圆状、米粒状、纺锤状等不规则椭圆状，呈面型弥散状或成群聚集，以及线状或带状定向排列两种形式分布于半晶质石英中。气液两相包体多见于Ⅲ、Ⅳ成矿阶段，液相充填度 80%～ 90%。

3.3.2 温度

流体包裹体均一温度为 72～ 374 ℃，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ脉型主成矿阶段温度范围分别为 134～ 157 ℃、138～ 147 ℃和 130～ 134 ℃，介于 100～ 160 ℃，属低温热液成矿作用范畴。

3.3.3 盐度及密度

流体包裹体盐度为 5.4%～ 13.76 %（NaCl），平均 8.20%（NaCl），盐水密度 0.8～ 1.047 8 g/cm^3，平均 0.9560 g/cm^3。反映成矿流体具低盐度和中等密度特点。

3.3.4 包裹体成分

石英包裹体气相及液相组成均以 CO_2、H_2O 和 CH_4 为主要组分，并含有一定量的 H_2S、N_2、H_2、CO 和 SO_2；包裹体盐水溶液中，阴离子主要为 Cl^- 和 SO_4^{2-}，总体属 Cl^--SO_4^{2-}-Na^+-K^+ 型。包裹体气、液相成分中氧化性气体 CO_2、SO_2 占绝对优势，预示着一种浅成或开放空间以大气降水为主要成矿流体组分和较氧化的成矿环境。这与矿石中有较高含量重晶石产出相吻合。

与国内不同类型金矿床相比，寒山金矿床流体包裹体气相成分明显不同于吉林五风及福建紫金山浅成低温热液金矿床，而与江西银山、新疆康古尔

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

等斑岩型及剪切带蚀变岩型金、银矿床成矿流体成分相似 (图 5), 以较高的 CO_2 含量和相对富集 CH_4 为特点。表明寒山金矿床是在相对较深的环境中形成的。

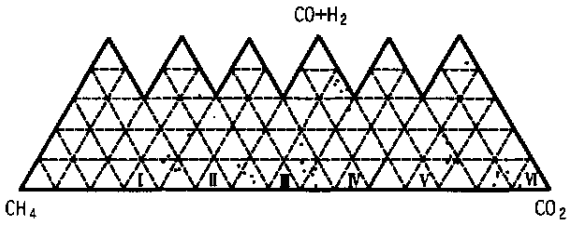


图 5　包裹体气相成分的 $CO+H_2$-CH_4-CO_2 图解

Fig. 5　$CO+H_2$-CH_4-CO_2 illustration of gas composition in fluid inclusions

Ⅰ. 大吉山石英脉型钨矿床; Ⅱ. 银山-冷水坑潜火山斑岩型铅锌(铜) 银矿床; Ⅲ. 康古尔金矿床; Ⅳ. 五风金矿床; Ⅴ. 紫金山金矿床; Ⅵ. 寒山金矿床

3.3.5　流体包裹体同位素组成

$\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 - 2.51‰～ + 2.78‰。明显不同于原生岩浆水的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值 (+ 6‰～ + 9‰, Tay1ar, 1974), 与之相比, 成矿流体中强烈地亏损 $\delta^{18}O$。显现了大气降水的氧同位素组成特点。

3.4　成岩成矿时代

矿区容矿火山岩目前虽无确切的同位素年龄数据, 但据侵位于其中与其同源的英安质次火山杂岩体成岩年龄 (427.7±4.5Ma) 判断其成岩时代应为奥陶纪; 两个主成矿阶段 (金-毒砂-石英和金-黝铜矿-多金属硫化物阶段) 石英脉的 Rb-Sr 等时线年龄分别为 395±46Ma 和 303±10Ma[2,3], 为早泥盆世—晚石炭世, 属华力西期。沿 F_2 断裂分布的闪长岩锆石 U-Pb 和谐年龄为 347±6.4Ma, 介于两个主成矿期成矿年龄之间。考虑到该岩体为一多岩相具多次侵位特征的复式岩体, 矿化带中一些闪长岩小脉发生了强烈的叶腊石化、绢云母化、硅化及高岭石化等酸性泥质蚀变, 以及随着距闪长岩距离的增大, 存在着自南而北、自东而西, 由高温 (毒砂+黄铁矿) - 低温 (黝铜矿+ 方铅矿+ 闪锌矿) 矿物组合, 由近热源酸性蚀变—远热源中性蚀变这种单向矿物组合分带, 表明成矿是在花岗闪长岩侵位期间及其以后形成的, 其至少为成矿提供了热源。

4　控矿条件分析

4.1　岛弧火山- 深成岩带是有利的区域成矿构造条件

近 20 年来, 火山岩型金矿成矿研究中最重要的结论是火山岩区金矿床产出与板块构造中的岛弧环境密切相关。正如罗镇宽所说“自显生代以来, 差不多大部分金矿床都集中在不同时代的俯冲带或碰撞缝合线上”[8], 而张贻侠等则更明确地指出“火山岩型金矿床是板块消减带近大陆一侧钙碱性系列火山岩分布区标志性的矿床类型”[9]。自日本到新西兰北岛的西太平洋岛弧区, 目前已发现 6 个超大型矿床、9 个特大型矿床和 35 个大型矿床, 以及我国天山阿希特大型、康古尔塔格大型、马庄山、南金山等中型金矿床的相继发现是这一结论的典型实例。由此可见, 无论是在现代板块边缘, 还是在古生代及其以前的造山带中, 岛弧火山岩带均为最具找矿潜力的板块构造部位。

寒山大型金矿床的成矿地质部位, 恰处于北祁连山造山带奥陶纪火山岩岛弧中。研究表明, 该岛弧火山岩带是北祁连山寒武纪末- 早奥陶世洋壳向北东方向华北板块俯冲、消减之产物[10]。业已查明, 矿床产于早奥陶世岛弧火山岩带西端的中酸性安山- 英安质熔岩及火山碎屑岩中; 区域岩石测量揭示, 该套火山岩的金背景丰度为 25.52×10^{-9} (78 件)。岛弧火岩浆在其形成和通往地表的过程中, 不仅带来了大量地幔和洋壳的成矿物质, 而且融熔和萃取了岛弧基底陆源沉积物中的成矿组分, 为金矿形成奠定了丰富的物质基础。因此, 北祁连山出露范围东西长约 1 100 km、南北宽 10～ 50 km、岩石组合出露齐全的岛弧火山岩带, 尤其是包括寒山和土杂山两个大、中型金矿床在内, 受后期构造-岩浆作用改造强烈并以钙碱性火山岩集中发育的北祁连山西段岛弧区是金矿形成极有利的构造单元或部位。

4.2　断裂裂隙系统对成矿的多级控制

构造作用作为地质过程的主要组成部分, 不仅对金矿床的形成过程有重要的控制作用, 而且往往是直接控制矿化空间分布的主导因素。寒山金矿床金矿化的空间分布明显受断裂构造的控制, 并表现出多级有序的特点。NEE 向古阿尔金断裂带、NWW 向区域断裂及 NEE 向片理化带组成的三级“断裂系统”, 是寒山地区乃至北祁连山西端的主要构造格局 (图 6)。这一格局当奠基于奥陶世晚期至泥盆纪之间[2], 由于北祁连山大洋向北的俯冲消减、碰撞造山直至陆内造

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

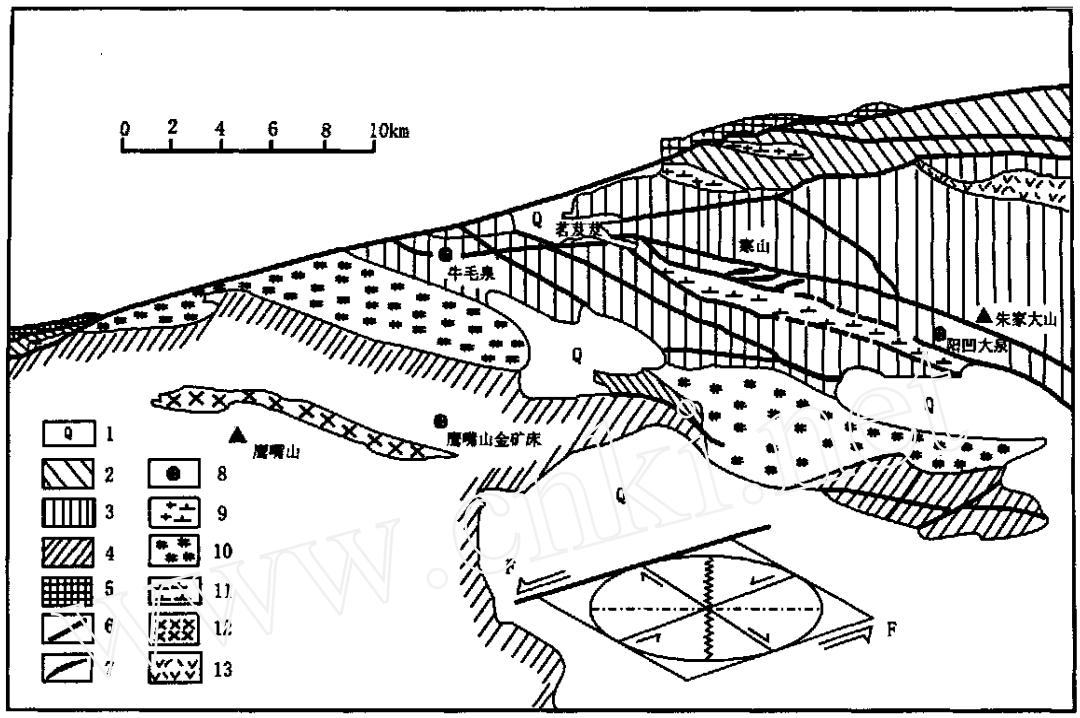


图 6 北祁连山西段金矿成矿断裂系统略图

Fig. 6 Schema showing ore-forming faulted system of North Qilian mountains

1. 第四系; 2. 志留系- 第三系; 3. 奥陶系; 4. 寒武系; 5. 前寒武系; 6. 断裂; 7. 金矿体; 8. 金矿床及矿点; 9. 加里东期花岗闪长岩; 10. 斜长花岗岩; 11. 闪长岩; 12. 辉长岩; 13. 英安斑岩

山, 引起了古阿尔金断裂的左旋走滑, 由此派生了不同方向不同性质的次级构造断裂及局部应力场, 构成具同一构造应力场的成矿断裂系统。对金矿的形成起着逐级、逐次的控制作用。

首先, NEE 向古阿尔金断裂带是本区金矿形成的Ⅰ级控矿断裂。该断裂带规模大, 切割深, 经历过多期构造活动, 是地壳深部乃至上地幔物质向上运移的良好通道。因此, 该断裂带不仅控制着车路沟山北坡- 肃北一带早古生代花岗岩的侵位 (如巴个峡花岗闪长岩, 锆石U-Pb 和谐年龄 481M a), 而且在不同区段或受其控制的次级断裂中, 或二者的交汇部位形成了一系列金矿床。如肃北县东北部的金矿点直接产于该断裂带中, 鹰嘴山、寒山、车路沟金矿床及榆树沟山等金矿点则产于其次级断裂中。从而导致金矿床 (点) 沿该断裂带两侧呈密集带状分布, 构成一重要的金成矿段, 即鹰嘴山- 照壁山- 榆树沟山金成矿段 (带)。

其次, NWW 向断裂为Ⅱ级控矿断裂, 它的发育对矿区岩石变形、含金蚀变带及与金矿化有成生联系的岩浆活动起着明显的制约作用。以构成寒山金矿床矿区南界的 F_2 断裂为例 (图 2, 6), 一方面, 与矿床成生基本同步的花岗闪长岩- 闪长岩岩脉就产于该断裂南侧, 其形态、产状基本受断裂控制; 另一方面, 自茗茨茨沟口至朱家大山南坡一带 (图 6), 在该断裂出露长达 20 km 的范围内, 大至韧脆性剪切变形带, 小至含金或不含金强片理化蚀变带, 以及包括同一矿带内的寒山金矿床及阳凹大泉金矿点, 它们均发育于该断裂的北侧, 且岩石片理化及蚀变强烈, 而其南侧岩石较新鲜, 蚀变弱, 片理化带不发育, 既使局部地段偶发育有构造蚀变带, 其规模及变形强度远远无法与断裂北侧相比。更何况在该断裂带南侧至今尚未发现具有找矿指示意义的金矿化体。同样, 在寒山矿区, 无论是工业矿体, 还是具工业意义的矿化蚀变带, 或者是无矿化的黄钾铁矾化、碳酸盐化蚀变带, 它们沿走向均终止于 F_2 断裂部位。以上特征显示了 F_2 断裂对矿体及矿化体空间分布的强烈控制作用。

第三, NEE- 近 EW 向以金矿体体现的雁行状

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

斜列强片理化带是 F_2 断裂局部应力场所产生的次级构造裂隙带, 亦是本矿床的主要容矿构造。一般地, 充填于这些裂隙带的硫化物- 石英脉及其两侧强硅化蚀变岩本身就构成矿体。在寒山矿区, 无论是厚大脉状矿体, 还是由密集细脉构成的矿体, 均呈膝折状、弯曲波状 (图 2) NEE 向延伸, 仔细观察, 每一矿体均由NEE 向发育而 SEE 向不甚发育的两组脉首尾相连而成, 这两组斜列小脉的排列方式表明, 它们乃是在左旋剪切应力作用下形成的对应于NEE 向脆性断裂带的两组羽状剪切裂隙, 是成矿流体最终聚集地和矿石沉淀的场所。

综上所述, NEE 向古阿尔金断裂、NWW 向区域断裂及NEE 向强片理化带分别为寒山金矿床导矿、配矿及容矿构造。来自下部的含矿热液经 F_2 断裂输送进入韧- 脆性剪切带, 通过对流循环、与围岩发生物质交换, 使岩石中的金质活化、淋滤出来随热流体迁移, 于强应变的脆性构造中发生富集沉淀而形成金矿体。

4.3　花岗岩类侵入体在金成矿作用中的地位

古生代及其以前的复合造山带中许多金矿床通常与碰撞造山及其后陆内造山阶段花岗岩类侵入体有密切的时空分布关系与成因联系。如东澳大利亚塔斯曼奥陶纪造山带, 其代表同碰撞的变质年龄为 440 Ma (晚奥陶世末), 而该造山带中一些重要金勘查区的斑岩型Cu-Au 矿床, 浅成低温热液金矿床, 矽卡岩型金矿床、Cu-Au 矿床等在分布上均与 O_1-S_1、S-D、C-P 中酸性侵入体具时空耦合关系[11]。又如我国晚古生代东天山造山带, 代表同碰撞的变质变形时间为 295～280Ma; 而与金成矿有关的花岗岩类或含矿花岗岩侵入体同位素年龄集中在 293～244Ma, 康古尔、西滩、西凤山等金矿床, 金成矿作用发生时间为 290～244Ma[12, 13], 尤其是 280～260Ma 范围。以上事实均充分显示了碰撞造山期及其尔后花岗岩浆侵入活动对金矿床的形成具内在的制约作用。

在北祁连山西段地区, 沿NEE 向古阿尔金断裂带及NWW 向断裂广泛发育着一系列基性- 中酸性岩株或岩脉, 尽管这些岩体目前尚缺乏系统的研究和同位素年代学数据, 但据已有的区调资料及我们取得的部分成果显示, 与金矿床 (化) 有密切空间伴生关系的中酸性侵入体成岩时代为 427.7～320.4Ma (表 1), 均属同碰撞期及碰撞期后岩浆作用的产物。

表 1　北祁连山西段主要金矿床成矿时代及有关侵入岩成岩时代

Tab.1　Metallogenetic epoch for main gold deposits and diagenetic epoch of intrusives related to mineralization in North Qilian mountains

矿床名称	成矿时代			侵入岩成岩时代		
	样品性质	年龄 (Ma)	测试方法	样品位置及岩性	年龄 (Ma)	测试方法
车路沟金矿床	含金石英脉	253±61	Rb-Sr 等时线法	容矿英安斑岩	427.7±4.5	锆石U-Pb 法
寒山金矿床	11 号含金石英脉 11 号含金石英脉 黄铁绢英岩 黄铁绢英岩	395±46 303±10① 339±10 224.44～ 213.95①	Rb-Sr 等时线法 Rb-Sr 等时线法 Rb-Sr 等时线法 云母 K-Ar 法	矿区南约 5 km 青山花岗闪长岩 青山花岗闪长岩 矿区南界闪长岩 矿区北约 55 km 巴个峡花岗闪长岩	370±25 320.40② 347.1±6.4 481±10	锆石U-Pb 法
鹰嘴山金矿床	含金硅化 次生石英岩	413±5Ma	全岩Rb-Sr 法	矿区南约 1km 辉长岩 矿体北侧闪长玢岩	加里东晚期无年龄, 但沿控矿断裂侵位	

资料来源: ①据毛景文等, 1999; ②黄传俭等, 1995 (内部资料); 其余为本研究成果。

寒山金矿床的成矿作用与矿区碰撞造山期闪长岩岩墙之间的密切时空分布关系表现得尤为突出。时间上, 尽管闪长岩成岩年龄(锆石U-Pb 和谐年龄 347±6.4Ma) 介于两个主成矿期成矿年龄(分别为 395±46Ma 和 303±10Ma) 之间, 但有理由认为工业矿化主要是在闪长岩侵位期间及其以后形成的。表现在: (1) 处于矿区南界位置的闪长岩岩墙是 1/20 万及 1/5 万区调中漏掉的一个侵入体。该岩体西起矿区西端, 向东经茗茏茏沟脑、阳凹大泉, 隐伏于朱家大山南坡一带, 东西长约 20 km。虽然至今未有人对其进行

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

详细研究, 但据我们路线观察, 其为一由闪长岩、花岗闪长岩、辉长闪长(玢)岩多岩性组成的、具多次侵位特征的复式岩体, 我们所测定的闪长岩的U-Pb 锆石年龄也许并不代表该岩体的最早侵位时代; (2) 早期主成矿阶段(金-毒砂-石英阶段)矿脉Rb-Sr 等时线年龄(395±46Ma)不定域范围达 46Ma, 如果以该测定结果的下限, 即 349Ma 作为该阶段矿化时代, 则与闪长岩岩墙成岩时代(347.1±6.4Ma)十分吻合; (3) 矿区 164 线以东茗茛茛沟脑一带的矿化蚀变带中通常伴生有 1～2m 宽的闪长岩脉或脉群, 这些岩脉均发生了硅化、黄铁矿化和碳酸盐化, 岩脉两侧的围岩亦发生了强烈的叶腊石化、绢云母化、硅化及高岭石化等酸性泥质蚀变, 而且愈近岩脉围岩蚀变愈强烈, 显示了矿化蚀变与闪长岩之间的密切成生联系。空间上, 矿化带位于闪长岩岩墙之北侧, 二者沿走向形影相伴延伸达 8 km 以上, 相距不足 200m。同时, 随着距闪长岩岩墙距离的增大, 自南而北、自东而西, 矿石矿物组合由金-毒砂-石英高温组合变为金-黝铜矿-石英低温矿物组合, 相应地, 蚀变矿物组合由叶腊石+ 高岭石+ 石英低温近热源酸性蚀变变为绢云母+ 石英+ 伊利石远热源中性蚀变。这种闪长岩与矿化带间的密切伴生关系, 以及以闪长岩为起点的单向矿物组合分带揭示了闪长岩为成矿提供了热动力条件。

4.4 火山碎屑岩是矿体的直接赋矿围岩

近年来, 随着众多金矿床的发现和研究的深化, 许多学者认为金矿床具“弥散定位”特点。也就是说, 不论围岩岩性如何, 只要具备一定的成矿地质构造条件, 其中都会形成工业矿体。然而, 在北祁连山西段青石峡- 昌马一带, 无论是寒山大型金矿床, 还是具中型找矿前景的土杂山矿床; 无论是矿区西端的牛毛泉子矿点, 还是寒山矿带东延的阳凹大泉金矿点, 尤其是阳凹大泉矿点以东的朱家大山南坡一带, 围岩岩性对金矿床的控矿特征十分明显。在寒山矿区, 赋矿岩系岩性有安山- 英安质凝灰岩、安山岩、枕状熔岩、砂(板)岩等, 但工业矿体几乎无一例外地产于片理化凝灰岩中。如Au$_{11}$矿体之西端, 矿体因围岩岩性由凝灰岩相变为枕状熔岩而尖灭。类似的现象在矿区 14 号矿化蚀变带、寒山矿区外围的上述各矿点或部位表现更为突出, 尽管地表同样发育规模不等的蚀变带, 然而, 由于蚀变岩原岩岩性为安山岩和砂岩, 在前者中仅形成一些小矿(化)体, 在后者中至今未发现金矿化。以上成矿特征表明, 在相同的成矿构造条件下, 围岩的岩性及其金背景丰度在金矿床形成过程中起着重要的作用。寒山金矿床为一构造蚀变岩型金矿床, 交代成矿作用为其主要成矿方式。因此, 围岩的含金性、化学活泼性、破碎程度、孔隙度及连通性等是促进矿床形成的主要因素。研究表明, 金矿化强度(矿床的数量及储量)与围岩中金的初始克拉克值之间为正相关关系[14], 而成矿难易程度则与围岩的可溶性、裂隙发育程度及孔隙连通性呈消长关系[15]。寒山金矿床容矿岩石主要为中酸性凝灰岩, 岩石孔隙度高(50%)而有效孔隙度大, 有利于热液运移, 岩石区域金背景值高(17.74×10^{-9})且化学活泼性强, 更有利于热液交代和形成大矿床。

5 矿床成因

与剪切带具密切空间耦合关系的金矿既有经典的剪切带型金矿床(如广东河台), 又有斑岩型Cu-Au 矿床(加拿大Hope brook)及酸性硫酸盐型低温热液Cu-Au 矿床(澳大利亚Temora), 同时, 还有一些成因类型尚难以确立, 但成矿明显与剪切作用无关的热液型金矿床(统称为构造蚀变岩型金矿床)。因此, 不能单以矿床所在部位发生了韧性或韧-脆性剪切作用一概确立为剪切带型金矿床, 而应以金矿床成矿机制, 即从金元素的活化分异、含金热液的形成、运移和金的富集成矿过程是否与剪切变形作用有关为依据[16, 17]。

寒山金矿床产于强劈理化容矿火山岩中, 发育有规模宏伟的蚀变带, 并具退化变质和蚀变; 含矿石英脉结构均一, 既没有“S”形弯褶形态, 又没有粒内应变构造、核幔构造及显微S-C 面理等韧性剪切显微组构, 具明显的后期热液充填特征; 主成矿年龄介于 395±46Ma 和 303±10Ma 之间, 与矿区南侧花岗闪长岩成岩年龄(347.1±6.4Ma)接近, 但后者几乎无任何变形痕迹。以上特征均表明蚀变与矿化是韧性剪切期后“构造崩塌作用”的产物[17]。

地质地球化学资料显示, 矿石矿物为银金矿、辉银矿、毒砂、砷(银)黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、重晶石等低温矿物; 脉石矿物石英颗粒细小, 呈玉髓及微晶状产出; 蚀变以硅化、绢云母化、碳酸盐化、伊利石化等蚀变为主; 矿石具脉状、条带状构造及各种

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

交代结构; 氧同位素研究显示, 成矿流体为大气降水成因的地热水; 流体包裹体研究表明, 成矿温度为 100～160 ℃, 盐度为 5.4～13.76 w_B (NaCl)%, 盐水密度为 0.8～1.047 g/cm^3, 属低温、低盐度和低盐水密度的介质水; 硫、锶同位素及稀土元素示踪成矿物质来源于容矿火山岩。以上特征表明, 寒山金矿床的成因类型既不同于 M. 格布雷-玛丽安等人 (1995) 所划分的造山带浅成热液金矿床, 又不同于 P. 希尔德等 (1987) 所划分的浅成低温热液金矿床。它极可能代表一种特殊的、以剪切裂隙带容矿的中浅成低温热液构造蚀变岩型金矿床。

6　成矿模式

归纳上述诸方面成矿控制因素而建立的寒山金矿床成矿模式要点是: 寒山金矿床含矿火山-沉积岩系是早奥陶世北祁连寒武纪末-早奥陶世洋壳向北东方向华北大陆板块俯冲期间岛弧火山作用之产物; 矿床主要产于岛弧钙碱性玄武-安山岩建造的中-中酸性火山碎屑岩中; 矿床受多级断裂裂隙系统的控制; 矿床是沿剪切带下渗的大气降水与深部岩浆蒸汽冷凝水混合、对流循环作用之产物; 成矿作用发生于晚泥盆世—晚石炭世, 相当于北祁连地区由碰撞造山作用向后造山伸展阶段转变期[2, 18, 19], 即大规模的伸展作用导致造山带地壳减薄和花岗岩侵位, 矿化主要形成于花岗闪长岩、闪长岩等造山期中酸性岩体侵位期间及其以后; 矿体主要定位于韧-脆性剪切带内的强片理化带中。深部岩浆房或中酸性侵入体主要为矿床形成提供了热驱动力, 成矿物质主要来源于早奥陶世火山岩及火山碎屑岩, 即赋矿围岩。其特征列于表 2。

表 2　寒山金矿床成矿模式综合表

Tab.2　Synthetic table of metallogenic model for Hanshan gold deposit

成矿地质环境	构造环境	大陆边缘岛弧火山岩带
	大地构造位置	北祁连山加里东造山带西端
	控矿构造	古阿尔金深大断裂及其次级断裂裂隙系统
	火山岩	岛弧钙碱性安山岩、英安岩及同成分火山碎屑岩
	成岩成矿时代	容矿火山-沉积岩系: 早奥陶世 成矿年龄: 395±46Ma～303±10Ma 与成矿有关侵入体成岩时代: 370±25～347.1±6.4Ma
矿床特征	矿体赋存部位	火山岩中的强片理化带
	矿体形态	平面上, 矿体为众多近于平行雁行状斜列的脉状或带状矿体 剖面上, 矿体呈板状、扁豆状叠瓦式产出。矿体与围岩呈过渡关系
	矿石类型及共生组合	矿石分为两类: 蚀变岩型及石英脉型。前者主要分布于后者的两侧。矿物组合主要为: 金-黄铁矿-绢云母-玉髓(石英)、银金矿-黄铁矿-石英组合、银金矿-毒砂-石英组合及银金矿-银 (砷) 黝铜矿-重晶石-石英组合。前两个组合遍布矿区, 后两组合具分带性
	矿石结构构造	蚀变岩型矿石具交代残余结构、骸晶结构、压力影结构, 浸染状构造; 石英脉型矿石具交代充填、交代骸晶结构, 脉状、网脉状、角砾状、条带状及块状构造
	矿床空间分带(矿化分带)	矿化垂向分带不明显, 侧向分带明显。金-毒砂-石英组合分布于矿区东南部 (近热源), 金-银 (砷) 黝铜矿-多金属硫化物-重晶石-石英组合分布于矿区西北部 (远热源)
	围岩蚀变	具分带性: 从矿体向外依次为: ①硅化、黄铁矿化带 (矿体); ②黄铁绢英岩化带和绢云母化带 (矿体和矿化体); ③碳酸盐化带 (矿化体); ④绢云母化绿泥石化带。相应地, 地表氧化带形成颜色差异十分醒目、分带十分清楚的白色绢英岩带→土黄、褐黄色黄钾铁矾化带→铁染“红化带”→灰绿色绿泥石化带
	成矿物理化学条件	温度: 100～160 ℃; 盐度: 5.4～13.76 w_B (NaCl)%; 盐水密度: 0.8～1.0478 g/cm^3
	成矿物源水源及热源	物源: 主要为容矿的岛弧钙碱性中性火山岩 水源: 大气降水为主、少量岩浆水混入 热源: 矿区东部 5 km 处的闪长岩、花岗闪长岩及辉长闪长玢岩等

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续表 2

矿床特征	成矿机理	在碰撞挤压- 伸张转变期，随着造山期中深成闪长岩、花岗闪长岩的侵位，沿剪切带下渗的大气降水在深部与岩浆蒸气冷凝形成的富 H_2S 的岩浆水混合，形成以大气降水为主的矿化热液，在侵入体或深部岩浆房热动力及压力差的驱动下，发生对流循环，深部热的矿化热液在上升或侧向运移的过程中，不断从热液对流系统（主要限于剪切带及两侧）周围片理化火山岩中淋滤和萃取 K、Ca、Mg、SiO_2 及成矿物质，逐渐使热液中成矿离子浓度增加而演化为成矿热液，于浅部或远离侵入热源的脆性构造裂隙中，由于外界条件的改变、热液与围岩的相互作用，以及与冷的大气降水的混合，在近中性条件下，含金络合物分解沉淀出大量成矿元素；又由于不同金矿物及蚀变矿物组合形成温度各异，从而造成自热源由近至远，含金矿物组合由金-毒砂-石英组合变至金-银（砷）黝铜矿-石英组合的侧向或垂直分带
	控矿因素	成矿作用受碰撞造山期断裂系统控制，尤其是叠加于韧- 脆性剪切带之上的脆性剪切裂隙（强片理化带）控制。韧- 脆性剪切带为成热流体对流循环提供了良好的通道，脆性剪切裂隙为成矿热流体充填交代，以及降温、减压和矿石沉淀提供了条件
	找矿标志	1. 岛弧钙碱性火山岩带中的安山- 英安质火山碎屑岩 2. 多级、多序次断裂交汇部位的二、三序次韧- 脆性剪切带中的强片理化带 3. 碰撞造山期及期后中基- 中酸性侵入体、次火山岩体发育地段 4. 广泛发育近中性泥质蚀变岩，并叠加有强硅质蚀变体及石英脉，蚀变规模大，侧向及水平分带明显。地表黄钾铁矾化蚀变带中具有白色绢英岩化蚀变核心 5. 火山岩区内具 Cu、Pb、Zn、As、Sb、Au、Ag 等原生及次生晕异常 6. 具 K、Ba 元素正异常及 Na、Li 等碱性元素负异常 7. 具系列金矿物共生组合金-铋-碲化物组合→金-黄铁矿-毒砂组合→金-黝铜矿-其他多金属硫化物组合

早奥陶世，北祁连洋壳向华北板块之下俯冲，形成大规模分布的岛弧火山岩，构成金成矿的物质基础。志留- 泥盆纪，中祁连微板块与华北板块的对接碰撞造成华北板块南缘的增生弧褶皱，并发生剪切变形作用。在以安山- 英安质火山碎屑岩为主的岛弧火山岩地段形成了韧- 脆性剪切带，为含矿流体活动提供了良好的空间通道。在碰撞造山挤压- 伸张转变期，随着矿区东部茗芨芨沟脑- 阳凹大泉一带造山期中深- 浅成闪长岩、花岗闪长岩及闪长玢岩的多次脉动侵位，引起沿剪切带下渗的大气降水与岩浆蒸汽冷凝形成的富 H_2S、CO_2、SO_2 等挥发组分的岩浆-大气降水混合，形成以大气降水为主的矿化热液，在侵入体或深部岩浆房热动力驱动下发生对流循环，深部热的矿化热液在上升或侧向运移的过程中，不断从热液对流系统（主要限于剪切带及两侧）周围片理化火山岩中淋滤和萃取 K、Ca、Mg、SiO_2 及成矿物质，逐渐使热液中成矿离子浓度增加演化为成矿热液，于浅部或远离侵入热源的脆性构造中，由于外界条件的改变，热液与围岩的交代作用以及与冷的大气降水的混合，导致含金络合物分解和成矿元素沉淀。碰撞造山期后，上述杂岩体的再次侵位导致含矿热流体又一次活动，使矿床进一步叠加富集。每一次热流体活动过程中，产金矿物组合随温度梯度形成侧向和垂向分带。

参考文献：

[1] 毛景文，杨建民，张招崇，等．北祁连山西段铁铜金钨多金属矿床成矿规律和成矿预测 [M]．北京：地质出版社，1999.

[2] 夏林圻，夏祖春，任有祥，等．北祁连山构造—火山岩浆—成矿动力学 [M]．北京：中国大地出版社，2001.

[3] 杨建国，任有祥，李智佩，宋忠宝．甘肃寒山金矿床成矿机制及成因研究 [J]．矿床地质（增刊），2002.

[4] 王义文．我国主要类型金矿床同位素地质学研究 [J]．地质论评，1982. 88，(2)．

[5] 赵一鸣，林文蔚，张德全，等．交代成矿作用及其找矿意义- 几个重要含矿交代建造的研究 [M]．北京：北京科学技术出版社，1992.

[6] 张德全，李大新，赵一鸣，等．紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带 [M]．北京：地质出版社，1992.

[7] 刘显凡，金景福，倪师军．滇黔桂微细浸染型金矿深部物源的稀土元素证据 [J]．成都地质学院学报，1996，23，(4)：25-30.

[8] 罗镇宽，吴康，等．中国金矿床概论 [M]．天津：天津科学技术出版社，1994.

[9] 张贻侠，寸珪，刘连登，等．中国金矿床进展与思考 [M]．北京：地质出版社，1996.

[10] 夏林圻，夏祖春，任有祥，等．祁连山及邻区火山作用与成矿 [M]．北京：地质出版社，1998.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[11] Walshe, J. L., Heithersay, P. S. and Morrison, G. W. A special issue on the metallogeny of the Tasman Fold Belt system of Eastern Australia. Econ. Geol [J]. 1995. 90, (6): 1382-1401.
[12] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
[13] 姬金生, 张连昌, 曾章仁, 等. 东天山康古尔塔格金矿带年代学研究 [J]. 地质科学, 1996, 31, (1): 80-89.
[14] B. A. 布里亚克著, 李淑英译. 容矿岩石的化学成分是决定火山带热液矿化成分和强度的基本因素之一 [J]. 国外地质科技, 1992, 3, 32-37.
[15] 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 矿床学 [M]. 北京: 地质出版社, 1979.
[16] 陈柏林, 董法先, 李中坚. 韧性剪切带型金矿成矿模式 [J]. 地质论评, 1999, 45, (2): 186-192.
[17] 何邵勋, 段嘉瑞, 刘继顺, 等. 韧性剪切带与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
[18] 许志琴, 张建新, 徐惠芬, 等. 中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
[19] 冯益民, 何世平. 北祁连山在地构造与造山作用[M]. 北京: 地质出版社, 1996.

The ore-controlling conditions and metallogenic model of Hanshan gold deposit in North Qilian Mts.

YANG Jian-guo[1], HUANG Zhen-quan[2], REN You-xiang[1], LI Zhi-pei[1], SONG Zhong-bao[1]
(1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an* 710054, *China*;
2. *Daiyue Local Land Resources Bureau, Tai'an* 271000, *China*)

Abstract: Hanshan gold deposit is a great gold deposit to be found in North Qilian mountains during the last decade of the twentieth century. By analysing ore-forming setting, geological features, ore-forming marks and ore-control factors of the deposit, authors consider its ore-forming matter mainly comes from calc-alkaline intermediate-acidic pyroclastic rocks of island arc, ore-bodies are controlled by multi-degree faulted system and mainly occurrence in strongly schistosity of ductile-brittle shear zone, mineralization happened in or after the period of intermediate-acidic magma positioning and solidifying during the compression-extend climacteric of collision orogenesis, the heat-driving force mainly comes from deep magma chamber or intermediate-acidic intrusive bodies. The genetic type of the deposit is a tectonic-altered gold deposit related to volcanic rocks. From what has been discussed above, authors summarize and induce metallogenic model and comprehensive prospecting criteria of the deposit.

Key words: gold deposit; ore-control condition; metallohenic model; Hanshan; North Qilian mountains

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net