

文章编号 10258-7106 (2006) 06-0693-12

新疆额尔齐斯金矿带的成矿类型、地球动力学背景及资源潜力^{*}

闫升好¹ ,王义天¹ ,张招崇² ,陈柏林³ ,陈 文⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037 ; 2 中国地质科学院地质研究所,北京 100037 ;
3 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081 ; 4 国土资源部重点实验室,北京 100037)

摘 要 通过广泛的地质调查、同位素测年和综合对比研究,探讨了阿尔泰山地区金矿的成矿类型、地球动力学背景及资源潜力。综合研究表明,岩金矿床主要产于海西构造层的强变形、浅变质构造带,属浅成造山型金矿,成矿时代集中在 310~270 Ma,成矿作用与后碰撞阶段岩石圈拆沉引发的构造-岩浆活动有关。对比研究表明,目前发现的金矿床(点)仅相当于区域变质流体成矿系统的浅部,主体部分由于中生代以来的大规模逆冲推覆构造而未能抬升剥露出来。受两次构造抬升影响,加里东构造建造带的造山型金矿基本剥蚀殆尽,而海西构造建造带是寻找岩金矿床的主要远景区。

关键词 造山型金矿;古生代造山带;后碰撞;资源潜力;额尔齐斯;新疆阿尔泰;综述

中图分类号 P618.51

文献标识码 A

Metallogenic type, tectonic setting, and resource potential of Ertix gold ore belt in northern Xinjiang

YAN ShengHao¹, WANG YiTian¹, ZHANG ZhaoChong², CHEN BaiLin³ and CHEN Wen⁴

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;
3 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 4 Laboratory of Isotope Geochronology, Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

Primary gold deposits have become the main source of gold production in the Altay region since the 1980s, although this region teemed with placer gold in history. Nevertheless, no large-size primary gold deposits have been found in the past 20 years. Based on extensive field geological survey and isotopic chronological study, combined with data available, the authors intend to discuss the metallogenic types and tectonic setting of gold deposits in the Altay region in the light of the evolution of the orogenic belt and, what is more, attempt to answer the questions of the gold potential and ore-search prospects in the terrane at the province scale by a comparative study with some typical orogenic gold provinces of Paleozoic orogenic belts in the world.

A comprehensive review of the principal characteristics of gold deposits in the Altay region has led the authors to reach some new conclusions: the major primary gold deposits are confined in the highly-stressed and epimetamorphic structural belt; the mineralization style, mineral assemblage, and ore-forming fluid are similar to those of epizonal orogenic gold deposits defined by Groves et al. (1998); isotopic ages of gold deposits are

^{*} 本文为国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409807)和国家科技攻关项目(2001BA609A-07-02)的部分成果

第一作者简介 闫升好,男,1966年生,研究员,矿床学专业。E-mail: yansh808@sohu.com

收稿日期 2006-05-25;改回日期 2006-10-25。李 岩编辑。

clustered in the range of 310 ~ 270 Ma, corresponding to Late Carboniferous to Early Permian; gold mineralization is associated with the post-collisional structural-magmatic activities at the late stage of the Hercynian orogeny; the tectonic setting of the gold metallogeny seems to be the diapiric upwelling of asthenosphere mantle due to the delamination of the lithosphere mantle during the post-orogeny stage, which resulted in the prominent temporal-spatial coupling relationship of the gold deposits to the mantle-derived mafic-ultramafic intrusive bodies and alkali-rich granitoids; the associated gold deposits can be classified into three subtypes, namely, gold in VMS and SEDEX Fe-Cu-PbZn deposits, gold in porphyry-skarn Cu-Mo deposits, and gold in magmatic Cu-Ni sulfide deposits.

A comparative study shows that there actually exist the necessary tectonic setting, geological conditions and regional metamorphic fluid system in the Altay region. The discovered medium-small size gold deposits and numerous ore spots may merely represent the upper part of the regional mineralization system, whereas the main part has not yet been denuded and uplifted because of the crustal thrusting-napping since Mesozoic.

Due to the Caledonian and Hercynian orogenic events, the formerly-formed orogenic gold deposits in the central part of the Altay region (Kalong-Keketuohai-Qinghe) had almost been denuded and changed into the widely distributed placer gold deposits. On the contrary, the southern Altay region (probably including the Nuoerte region), which possesses abundant Devonian to Carboniferous volcanic rocks, and, especially, the known Fe-Cu-Pb-Zn mineralization belt, are most favorable targets in search for orogenic and associated gold deposits.

Key words: geology, orogenic gold, post-collision, Paleozoic orogenic belt, resource potential, Ertix, Altay, Xinjiang, comprehensive

新疆阿尔泰地区历史上盛产砂金,有“七十二道沟,沟沟有黄金”的美称。但是,直到 20 世纪 80 年代初发现了多拉纳萨依独立岩金矿床之后,阿尔泰地区岩金矿的勘查开发才取得突破性进展。经过十几年的地质调查、找矿勘查和地质科研工作,区内陆续发现了多拉纳萨依、萨尔布拉克、赛都、科克萨依、萨热阔布等 10 余处岩金矿床和一大批矿化点、化探异常。这些岩金矿床大多数沿 NW 向额尔齐斯河构造带分布,构成一条东西长约 400 km 的金矿成矿带。但是,值得注意的是,目前阿尔泰地区已发现的岩金矿床中,除多拉纳萨依、赛都、萨尔布拉克及萨热阔布属中型规模外,其余均为小型矿床或矿(化)点,而且大多数金矿资源已开采完毕或接近闭坑。那么,阿尔泰地区能否找到大型以上规模的金矿床?或者说阿尔泰地区金矿资源潜力究竟如何?这是当前阿尔泰地区进一步开展金矿找矿勘查工作所亟需回答的重大科学问题。笔者认为,要回答上述问题,首先要在弄清区内已有金矿成矿地质特征的基础上科学厘定矿床成因类型,因为不同类型的矿床往往具有不同的品位-吨位模型,也即具有不同的资源潜力。例如南非砾岩型金矿自 1886 年以来已生产了 48 000 t 的黄金,几乎占同时期世界黄金产量的一半(Phillips et al., 2000);而造山型金矿拥有的超大型

金矿床个数最多(Groves et al., 2003)。其次,要在认真分析研究区域成矿地质背景和构造演化历史的基础上,查明金矿形成的地质条件和构造背景。因为构造演化历程方面的细微差别往往导致不同的成矿地质条件,进而决定了不同地区之间金矿资源潜力的巨大差异,例如,同样是位于冈瓦纳大陆边缘的早古生代造山带,澳大利亚东南 Lachlan 造山带的 Victoria 金矿省已产黄金约 2 505 t,而新西兰 Buller 地体的 Otago Schist 地区黄金产量只有 69 t(Bierlein et al., 2004)。

前人对阿尔泰地区的岩金矿床进行了大量研究(芮行健等, 1993a; 1993b; 顾巧根等, 1994; 董永观等, 1994a; 1994b; 魏春生, 1996; 程忠富等, 1996; 1997; 李华芹等, 1998; 王军升等, 1998; 1999; 尹意求等, 1998; 李志纯, 1999; 刘悟辉等, 1999; 董永观, 2000; 陈华勇等, 2001; 丁汝福等, 2001; 王军升, 2002; 肖惠良等, 2002; 姜俊, 2003)。这些研究工作多侧重于矿床尺度上的典型矿床地质特征、成矿物理化学条件、成矿物质来源、控矿构造、成矿类型、成矿时代等方面,但是由于单个矿床之间在成矿地质地球化学特征上存在较大差异,不利于探讨控制矿床规模、品位和资源潜力等方面的关键因素。笔者在“十五”从事国家 973 和 305 项目期间对阿尔泰地

区的金矿进行了大量的野外实地调查,下面拟结合前人的研究成果,着重从成矿省或成矿带的尺度探讨阿尔泰地区金矿的成矿动力学背景及其资源潜力。

1 区域地质背景

新疆阿尔泰地区是位于西伯利亚板块西南缘的阿尔泰古生代造山带的重要组成部分,其NW与前苏联山区阿尔泰和矿区阿尔泰、南东与蒙古阿尔泰可以很好地相连和对比。现有资料显示,阿尔泰地区的地壳主体是在震旦纪至古生代形成的,可能有前震旦纪地壳残片存在(何国琦等,1990;胡霏琴等,2002)。现今的构造格局总体上表现为一系列构造岩片自NE向SW的冲断堆叠(李志纯,1995)。根据火山-沉积建造、变质作用、岩浆活动、构造变形等方面的差异,可将造山带划分出5个构造单元或地体(何国琦等,1990;曲国胜,1991;Windley et al., 2002),自北而南依次为:北阿尔泰构造带、南阿尔泰构造带、琼库尔—阿巴宫构造带、额尔齐斯构造带和布尔津—二台构造带。北阿尔泰构造带出露地层主要有震旦纪至中奥陶世的巨厚陆源复理石建造(哈巴河群或喀纳斯群)、晚奥陶世的火山-磨拉石及陆源碎屑建造(东锡勒克组、白哈巴组)、泥盆纪-石炭纪的火山碎屑建造及陆源碎屑岩建造(库马苏组、红山嘴组)。岩石整体变形、变质较弱,发育紧闭褶皱、板劈理及逆冲断裂,变质程度为板岩-千枚岩相,局部达低绿片岩相。发育加里东至海西期的花岗岩类侵入岩。南阿尔泰构造带介于红山嘴断裂和阿巴宫断裂之间,主要由大量高级变质岩、混合岩及呈大规模岩基和岩株产出的片麻状花岗岩组成,局部残留晚志留世变砂岩(库鲁木图组)。曲国胜(1991)认为南阿尔泰为遭受海西期强烈改造的加里东构造带,李天德等(2003)认为其大部由元古宙变质杂岩组成。带内岩石变质、变形程度较高,发育低压红柱石型和中压蓝晶石型巴洛克式变质带,并形成广泛的流劈理、紧闭褶皱、韧性剪切带、逆冲推覆席体等。琼库尔—阿巴宫构造带主要由琼库尔、阿勒泰、麦兹等NW向泥盆纪火山盆地构成,盆地内堆积了厚1~2 km的中酸性火山岩、火山碎屑岩(康布铁堡组),其上为一套类复理石建造夹少量枕状熔岩和硅

质岩(阿勒泰组),带内岩石变形强烈,发育透入性片理、线理、紧闭褶皱。额尔齐斯构造带位于额尔齐斯断裂与富蕴—锡泊渡断裂之间,主要由深变质的片麻岩、混合岩及片岩等组成,岩石挤压变形强烈。布尔津—二台构造带位于额尔齐斯断裂和扎河坝—阿尔曼泰断裂之间,主要由泥盆纪-石炭纪的岛弧型火山岩、火山碎屑岩及含化石砂砾岩和石灰岩组成,岩石变形不强、变质轻微(葡萄石-绿纤石相)。该带侵入岩主要为海西中晚期花岗岩小岩株和镁铁质杂岩体。

区域地质资料表明,阿尔泰地区的构造演化主要经历了前震旦纪古陆形成阶段、震旦纪-古生代洋盆开合演化阶段、中生代亚洲大陆边缘演化阶段以及新生代陆内造山演化阶段(李锦轶等,2004)。其中,震旦纪-古生代是阿尔泰地区地壳形成演化的主要阶段,区内金属矿产主要在此阶段形成(陈毓川等,1995^①;陈哲夫等,1997;王登红等,2002)。

2 金成矿类型及特征

根据芮行健等(1995)的统计资料,截止1993年,阿尔泰地区已获得的金工业储量中,砂金占11.4%、独立岩金占50.6%、伴生金占38%。由于近几年金矿找矿工作取得了一些进展,如萨热阔布金矿的发现,使岩金矿储量的比例有所提高。独立岩金矿和伴生金矿已成为阿尔泰地区黄金产量的主要来源。

2.1 伴生金矿类型及其成矿特点

目前对阿尔泰地区伴生金矿的成矿作用还缺乏深入研究。根据芮行健等^②的资料,按照主矿种形成时的地质环境和成矿作用,可将区内伴生金矿分出3种类型:与弧后盆地或陆缘裂陷槽海底火山作用有关的铁铜铅锌矿床中的伴生金;与岛弧环境中酸性岩浆岩有关的斑岩-矽卡岩型铜钼矿床中的伴生金;与地体边界深大断裂镁铁质-超镁铁质杂岩体有关的硫化物型铜镍矿床中的伴生金。

第一类伴生金矿主要有阿舍勒铜矿、铁木尔特铅锌矿和乔夏哈拉铁铜矿。在阿舍勒,伴生金矿体与铜矿体紧密伴生,金与铜呈同步消长关系,金品位为 $0.03 \times 10^{-6} \sim 2.99 \times 10^{-6}$,金矿物主要为自然金、金银矿和银金矿,另外毒砂、黄铁矿和黄铜矿中

① 陈毓川,等. 1995. 阿尔泰黄金有色金属开发区成矿地质条件与矿产资源评价研究. 85-902-01 课题报告.

② 芮行健,等. 1995. 阿尔泰黄金有色金属开发区成矿地质条件与矿产资源评价研究. 85-902-01 课题报告.

也含少量金。在铁木尔特,金矿化与康布铁堡组中酸性火山岩层中的凝灰岩,尤其与其中的石英细脉关系密切。在铁木尔特 175 线一带,含黄铁矿硅化绿泥石化片岩中 w_{Au} 为 $0.1 \sim 0.35$ g/t;在恰夏, w_{Au} 为 $0.28 \sim 1.02$ g/t,平均 0.45 g/t。在乔夏哈拉,金与铜矿化关系密切,金主要富集于晚期金铜矿化阶段。第二类伴生金矿主要有老山口斑岩铜矿和索尔库都克砂卡岩型铜钼矿,索尔库都克矿石平均伴生金 0.14 g/t、银 4.48 g/t。第三类伴生金矿主要为喀拉通克铜镍矿,金主要分布在矿床中、下部,金品位与铜、镍成正相关。在致密块状矿石中金品位可达 10.09 g/t。金可呈自然金、银金矿等独立矿物,但主要还是赋存在黄铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿及黄铁矿等矿物中,黄铜矿的出现是富金的标志。

虽然目前关于伴生金矿成矿作用的资料积累得比较少,但从上述各矿床的成矿特点以及国内外资料来看,金的富集作用不外乎有 3 种可能:一是主矿种成矿时即伴随有金的工业富集,形成真正意义上的伴生金矿;二是主矿种成矿时金只是形成预富集或矿源层,金的工业富集主要与后期成矿作用的叠加改造有关;第三种情况是主矿种成矿时基本没有金的明显富集,后期的金矿成矿作用叠加在早先形成的主矿种上。喀拉通克铜镍矿、索尔库都克铜钼矿以及阿舍勒铜矿中的金富集可能属于第一种情况,铁木尔特、恰夏及阿舍勒中的部分金的富集可能属第二种情况;而乔夏哈拉铁铜矿中的金主要与另外一期金矿成矿作用有关。

2.2 独立岩金矿床类型及其成矿特征

2.2.1 成矿地质地球化学特征

表 1 列出了阿尔泰地区部分岩金矿床的成矿地质地球化学特征,这些特征是根据前人的大量研究工作(芮行健等,1993;顾巧根等,1994;董永观等,1994;魏春生,1996;程忠富等,1996;1997;王军升等,1998;1999;尹意求等,1998;李志纯,1999;刘悟辉等,1999;董永观,2000;丁汝福等,2001;王军升,2002;肖惠良等,2002;姜俊,2003)以及笔者近几年在该地区实地调查的成果整理出来的。从图 1 和表 1 可以看出:

(1) 岩金矿床主要产于北阿尔泰、琼库尔—阿巴宫以及布尔津—二台等海西构造建造带中,而南阿尔泰加里东构造建造带中尚未发现成规模的金矿床。

(2) 空间上,阿尔泰地区的金矿多沿地体边界

断裂带分布,如红山嘴断裂、阿巴宫—库尔提、额尔齐斯—玛因鄂博等,形成数条与地体边界断裂近于平行展布的线状金矿成矿带。这些区域性断裂带均是海西期拉张裂隙-挤压造山作用形成的地体拼贴带,因而也是碰撞造山后期构造调整过程中构造-岩浆-流体活动的主要部位。金矿床主要定位于这些大断裂旁侧的次级断裂构造破碎带中或多组断裂交汇部位、挤压劈理化带、层间破碎带内。

(3) 时间上,阿尔泰地区主要金矿床的成矿同位素年龄数据集中于 $320 \sim 270$ Ma 之间,相当于晚石炭世—早二叠世。区域地质资料显示,阿尔泰地区此时处于造山带构造演化的后碰撞阶段。

(4) 容矿层位主要为由泥盆系及下石炭统组成的海西构造层,赋矿岩石主要为浅变质的类复理石建造(碳质板岩、千枚岩、变砂岩等)、弱变质的中基性火山岩(玄武岩、安山岩及凝灰岩)等。这些含矿岩系多具有较高的金丰度值,构成重要的矿源层。

(5) 海西中晚期断裂带型壳幔混源型中酸性小侵入体或岩脉与金矿化在空间上密切伴生(涂光炽,1990;王京彬等,1997;廖启林等,1999a),如额尔齐斯构造带的多拉纳萨依矿区,矿体直接产于中酸性岩脉(闪长岩、闪长玢岩、钠长斑岩及煌斑岩等)与地层的接触带附近。

(6) 围岩蚀变的种类基本相似,主要蚀变类型包括硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化等。通常产于碎屑岩建造中的金矿相对发育硅化、绢云母化和黄铁矿化,如萨尔布拉克、多拉纳萨依等,而产于中基性火山岩及火山碎屑岩建造中的金矿多发育绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化和黄铁矿化,如马热勒铁、阿克希克、乔夏哈拉等。萨热阔布金矿还发育钾长石化、砂卡岩化(透闪石、红柱石、石榴子石)。

(7) 矿体多呈脉状、网脉状、透镜状等赋存于构造蚀变岩带中,含金脉体受剪切断裂及各类剪切裂隙、层间破碎带、挤压劈理带膝折构造或局部扩容带等构造控制。矿化样式主要有浸染状蚀变岩、石英脉及其复合类型。矿石矿物组合为:金属硫化物(黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿及少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等)自然金(少量碲金矿)、石英、方解石。

(8) 金矿床具有多阶段成矿的特点,通常可分为石英阶段、金-硫化物(砷化物)阶段、石英-碳酸盐阶段和表生氧化阶段。金矿化主要发生在金-硫化物(砷化物)阶段。表生氧化阶段常伴有金的次生富集。

表 1 额尔齐斯金成矿带主要岩金矿床的成矿地质地球化学特征

Table 1 Geological and geochemical features of some major gold deposits in the Ertix gold mineralization belt

矿床	规模, 储量(kg) 品位(10 ⁻⁶)	容矿地层	控矿构造	岩浆活动	矿化样式	围岩蚀变	金属矿物	成矿物理化学条件	成矿时代
多拉纳萨伊	中型, 4060/5.39	中泥盆统砂岩、粉砂岩、泥岩(千枚岩)、灰岩	玛尔卡库里断裂与哈巴河断裂之间反S型层间剥离破碎带	矿区发育3个斜长花岗岩体以及大量中酸性岩脉	浸染状蚀变岩、石英细脉或网脉	硅化、黄铁矿化、绢云母化、钠长石化、碳酸盐化	黄铁矿(黄铜矿、方铅矿)、硫化物含量3%~5%	温度 152~288℃; 压力 21~64 MPa; 深度 0.5~1.6 km; w (NaCl _{eq}) 4.5%~10.3%; δ ¹⁸ O 0.54‰~7.82‰; δD -118‰~-44‰	包裹体 Rb-Sr 等时线 (269±13) Ma; 白云母 K-Ar 282.2 Ma; 方铅矿 Rb-Sr 等时线 (250±20) Ma; Ar-Ar 等时线 293 Ma
赛都	中型, 2595/4.92	中泥盆统砂岩、粉砂岩、泥质岩、千枚岩、泥质灰岩	玛尔卡库里及其次级剪切带	矿床位于哈巴河复式花岗岩体的外接触带	含金石英脉、浸染状糜棱岩	硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化	黄铁矿(黄铜矿、磁铁矿)、硫化物含量5%~8%	温度 190~275℃; 压力 18~28 MPa; 深度 0.6~1.1 km; w (NaCl _{eq}) 6.0%~9.2%; δ ¹⁸ O 2.50‰; δD -114‰	包裹体 Rb-Sr 等时线 272~305.6 Ma; 白云母 K-Ar 294.7~316.5 Ma; Ar-Ar 等时线 292 Ma
萨尔布拉克	中型, 4467/3.48	下石炭统砂岩、含碳粉砂岩、灰岩、凝灰岩、凝灰质砂砾岩	萨尔布拉克背斜北东翼近轴部 NW 向韧性剪切带及层间破碎带	少量花岗岩斑岩、流纹斑岩脉	细脉浸染状蚀变岩	硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化	毒砂、黄铁矿(黄铜矿、方铅矿)、硫化物含量5%~10%	温度 200~300℃; 压力 20 MPa; 深度 0.5 km; w (NaCl _{eq}) 4.9%~7.8%; δ ¹⁸ O 4.1‰; δD -113‰	包裹体 Rb-Sr 等时线 (285±43) Ma; Pb-Pb 表面年龄 (304±7) Ma
萨热阔布	中型	下泥盆统绿泥黑云石英片岩、凝灰岩、粉砂岩、大理岩、热水硅质岩等	NW 向阿巴宫断裂之次级剪切构造和层间断裂	海西晚期花岗岩小岩株、沿断裂带发育辉绿岩脉和花岗斑岩脉	含金石英脉、细脉和网脉、细脉浸染状绿泥黑云石英片岩	硅化、黄铁矿化、砂卡岩化(透闪石、阳起石、红柱石、黑云母、石榴子石)、绿泥石化。	黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	温度 240~310℃; 压力 150 MPa; 深度 6 km; w (NaCl _{eq}) 11.2%~17.4%; δ ¹⁸ O 4.05‰~5.55‰; δD -133‰~-87‰	含金石英 Ar-Ar 等时线年龄 (320.4±6) Ma
科克萨依、阿拉塔斯	小型, 80	上泥盆统凝灰岩、凝灰质砂岩、含碳粉砂岩、安山岩、绢云母片岩、千枚岩	布尔根强变形之克孜勒它乌断裂旁侧, 受褶皱轴部 NNW 向剪切带控制	沿卡接断裂带产出花岗岩内长岩岩株, 矿体旁侧发育闪长(玢)岩脉、岩脉多碎裂岩化或片理化, 与金矿化关系密切	石英脉、条带状石英细脉、浸染状绢云母石英片岩	硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、菱铁矿化、方解石化	黄铁矿、毒砂(闪锌矿、黄铜矿)	温度 234~261℃; 压力 65~80 MPa; 深度 2.6~3.2 km; w (NaCl _{eq}) 3.6%~4.9%; δ ¹⁸ O -1.78‰~3.53‰; δD -101‰~-109‰	矿石中绢云母 Ar-Ar 等时线年龄 275~283 Ma
阿克塔斯	小型, 244/5.52	中泥盆统安山岩、千枚岩夹大理岩	额尔齐斯大断裂旁侧次级断裂	发育花岗岩内长质杂岩体, 矿化产于小岩体接触带附近的构造蚀变岩中	硫化物石英脉、浸染状蚀变岩	硅化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	温度 250~280℃; 压力 25 MPa; 深度 0.6 km; w (NaCl _{eq}) 4.9%; δ ¹⁸ O 4.4‰; δD -120‰	
阿克希克	小型	泥盆系玄武岩、凝灰岩、粉砂岩、矿化产于玄武岩与凝灰岩界面处的磁铁矿岩中	EW 向断裂及短轴背斜层间滑动面和转折端虚脱部位	少量中基性岩脉	黄铁矿、石英网脉、浸染状	硅化、黄铁矿化、绢云母化、青磐岩化、碳酸盐化等	黄铁矿、磁铁矿(黄铜矿)	温度 160~220℃; 压力 70 MPa; 深度 1.6 km; w (NaCl _{eq}) 3.4%~10.4%; δ ¹⁸ O 0.03‰; δD -110‰	
马热勒铁	小型, 348/7.18	中泥盆统安山岩、安山质凝灰岩、凝灰质粉砂岩等	近EW向层间断裂	少量海西中晚期的花岗闪长岩、辉绿岩脉	石英脉和浸染状蚀变岩	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿	温度 200℃; 压力 12 MPa; 深度 0.3 km; w (NaCl _{eq}) 8.6%~12.9%; δ ¹⁸ O -1.7‰; δD -142‰	

根据芮行健等, 1993; 朱韶华等, 1995; 李华芹等, 1998; 王军升等, 1999; 丁汝福等, 2001; 闫升好等, 2004 等资料汇编。

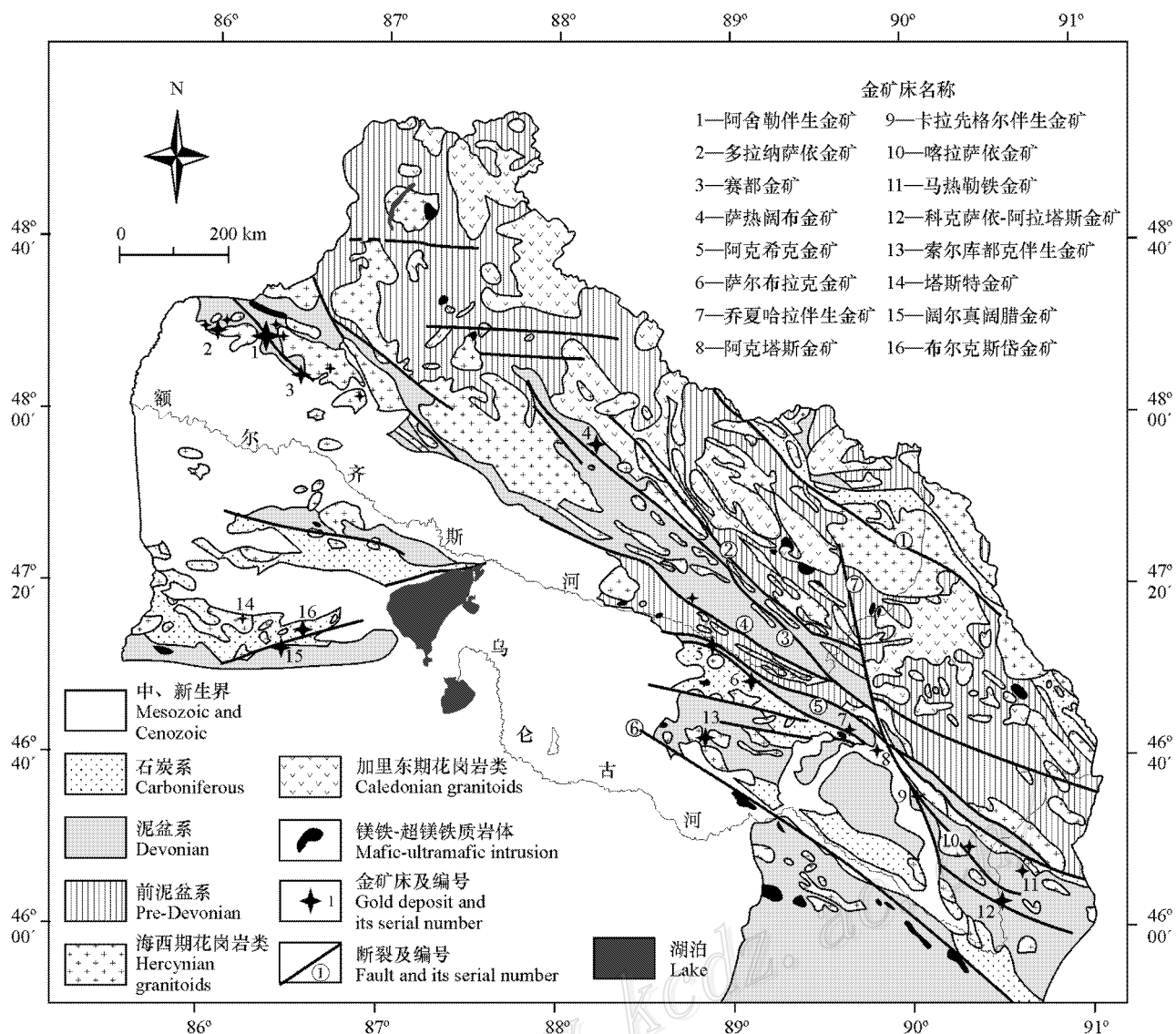


图 1 额尔齐斯金成矿带的地质概况及金矿分布(据新疆地质矿产局第四地质队资料修编)

Fig. 1 Simplified geological map showing the distribution of gold deposits in the Ertix area

(9) 成矿物质和流体来源有多种,成矿介质包括岩浆水、变质水、大气降水等,成矿晚期以大气降水为主。成矿物质可能主要来自围岩地层。成矿温度介于 $150\sim 300^{\circ}\text{C}$,成矿深度 $0.5\sim 6\text{ km}$,总体属于中浅成低温热液矿床。除萨热阔布外,流体盐度 $\alpha(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 多介于 $3\%\sim 12\%$ 。

2.2.2 成矿类型

对阿尔泰地区金矿的成因类型,前人提出过不同的认识。涂光炽(1990)将新疆北部的金矿划分为变质碎屑岩型、海相火山岩型、陆相火山岩型、闪长岩类岩体内外接触带型等 4 种类型。芮行健(1993a)将阿尔泰地区金矿划分为前寒武纪变质岩

系中的金矿、浊积岩-含碳细碎屑岩-碳酸盐岩中的金矿、晚古生代火山岩系中的金矿、华力西期浅成岩脉及小岩体中的金矿、华力西期深成岩浆岩体中的破碎带蚀变岩型金矿等 5 大类 19 种类型。芮行健等(1993b)认为成矿作用具有多阶段、多来源、多成因的特点。顾巧根等(1994)认为成矿作用与区域上广泛发育的花岗质岩浆侵入作用有关,成因类型属岩浆期后热液矿床。魏春生(1996)认为金矿系碰撞造山过程中退变质作用形成的浅变质热液矿床。尹意求等(1996)根据地质特征、控矿地质条件及找矿标志等,将该区的金矿床划分为浅成低温热液型(包括火山岩型、微细粒浸染型)和剪切带型(破碎蚀变岩

型、韧性剪切带型)等2大类4个类型。廖启林(1999b)根据成矿作用和成矿环境,将其划分为浅成低温热液型金矿床、韧性剪切带蚀变岩型金矿床、微细粒浸染型金矿床、浅成岩蚀变岩型金矿床、变质热液改造型金矿床等5个类型。李志纯(1999)认为构造对金矿的形成起了主导作用,并从构造成矿学角度将阿尔泰山缘金矿床划分为构造破碎带和构造接触带2种成矿类型。刘悟辉等(1999)认为区内金矿床主体属于韧性剪切带型金矿床。

成矿地质地球化学特征研究表明,阿尔泰山缘金矿床最突出的特点是矿化产于强烈变形构造带中,受压性或压扭性断裂控制,成矿时代集中在300~250 Ma,这表明成矿作用主要与早石炭世之后的碰撞造山作用有关。其次,大多数矿床表现出矿石硫化物含量较低,蚀变矿物组合为硫化物+绢云母+碳酸盐+绿泥石,成矿流体为低盐度、富CO₂的变质水、天水及部分岩浆水的混合流体等特征。即使是那些产于中酸性小侵入岩接触带附近的矿床,其含矿岩体或岩脉也大多发生过强烈的构造变形,成矿时代也晚于岩体成岩时代(高怀忠等,2000;闫升好等,2004)。因此,按照Groves(1998)的概念,阿尔泰山地区大部分岩金矿床可归类为造山型金矿床。

3 成矿地球动力学背景

作为一类具有重大经济价值的金矿类型,造山型金矿产于会聚板块边缘的增生或碰撞造山带中,其形成与会聚板块边缘的构造演化密切相关。能否形成造山型金矿的关键在于,造山带演化的晚期是否具有能形成区域性成矿流体活动的深部热事件。长期以来,矿床学家们试图通过详细研究会聚板块边缘构造演化过程的细节变化以及导致区域性大规模流体-热事件的地球动力学背景,来更好地约束其成矿地质条件,达到有效指导找矿勘查的目的。目前已提出的模型主要有:① 板块俯冲引起的地壳加厚(Kerrick et al., 1994);② 俯冲板片后撤引发软流圈地幔物质上涌(Goldfarb et al., 1997);③ 洋中脊板块俯冲过程中,软流圈物质沿板块构造窗上涌(Haessler et al., 1995);④ 地幔岩石圈拆沉(Qiu et al., 1999; Gray, 1997);⑤ 地幔岩石圈的构造侵蚀导

致软流圈上涌和壳底熔融(Griffin et al., 1998);⑥ 地幔柱热冲击叠加在俯冲带上(Barley et al., 1998)。

关于阿尔泰山地区金矿的成矿地球动力学背景,芮行健等(1993)认为成矿作用发生于晚古生代洋陆俯冲体制中,Chen等(2001)则提出了陆内板片俯冲成矿的动力学模式。如前所述,成矿年代学研究结果显示,阿尔泰山地区金矿成矿年代数据主要集中在320~250 Ma之间,对应于晚石炭世到二叠纪。区域地质资料表明,新疆北部(包括天山在内)最迟在早石炭世末(同位素年龄322.8 Ma)所有的古生代洋盆都已经关闭,并发生板块碰撞造山作用(肖序常等,1992;李锦轶等,1999),之后便进入造山带构造演化的后碰撞阶段,以发育幔源基性-超基性杂岩体和富碱花岗岩侵入体为特征(韩宝福等,1998;1999),前者同位素年龄为305~280 Ma(王润民等,1991;李华芹等,1998),后者同位素年龄为320~250 Ma(卢秋霞等,1989^①;王式洸等,1994;赵振华等,1996)。最近的数据表明,后碰撞岩浆作用主要发生在294 Ma左右(Chen et al., 2004, 2005)。这些岩浆岩很可能是继地块碰撞拼合之后,伴随岩石圈拆沉引发的软流圈地幔的底劈上升,具有大洋岩石圈亲缘性的物质与古陆块镶嵌构成的加厚地壳发生的深熔作用形成的(李锦轶等,1999)。阿尔泰山地区的额尔齐斯金矿带不仅在空间上与锡泊渡—喀拉通克镁铁质杂岩带以及布尔根富碱花岗岩带处于同一个断裂构造带中,而且金矿成矿时代又与镁铁质杂岩及其铜镍硫化物矿床、富碱花岗岩的成岩、成矿时代显著吻合,这有力地说明了金矿的成矿动力学背景既非海西早期的洋陆俯冲体制,也不可能是陆内板片俯冲模式,而应与造山带后碰撞构造演化阶段的伸展构造环境有关。

4 成矿潜力

矿床的形成依赖于特定的构造环境及有利的地质条件,而大型-超大型矿床的形成更需要各种有利成矿条件的最佳耦合(翟裕生等,1997)。就造山型金矿而言,全球目前已发现的造山型金矿床集中形成于晚太古宙(2.8~2.55 Ga)和显生宙,而晚元古宙(1.8~0.6 Ga)则极不发育(Goldfarb et al.,

① 卢秋霞,刘显凡. 1989. 新疆东准噶尔含锡花岗岩带的同位素地质年代学研究. 见:第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文汇编. 杭州.

2001)。同样是位于冈瓦纳活动大陆边缘的早古生代造山带,澳大利亚东南 Lachlan 造山带的 Victoria 金矿省已产黄金约 2 505 t,而新西兰 Buller 地体的 Otago Schist 地区黄金产量只有 69 (Bierlein et al., 2004)。可见,造山型金矿并非是会聚板块边缘增生或碰撞造山作用的必然结果,要形成造山型金矿床,尤其是要形成大型-超大型金矿床,除了必须具备特定的构造背景外(前文提到的 6 种地球动力学模型),还需要各种有利的成矿地质条件。

Hutchinson (1987) 认为造山型金矿床集中产于晚元古宙、古元古宙和显生宙的原因可能与原始洋底热液喷流作用有关,因为洋底喷流作用可以形成大量富含金的矿物(黄铁矿、磁铁矿等),它们在后来的碰撞造山过程中继承性活化形成了造山型金矿床。Keay (1987) 和 Bierlein 等 (1998) 坚持认为东澳 Lachlan 造山带变沉积岩之下的镁铁质火山岩(如 Boninite)及其中广泛分布的高金含量的喷流间隙沉积物,是形成 Victorian 世界级金矿省的关键因素。Goldfarb 等 (2001) 认为一些显生宙造山带贫造山型金矿,其原因或是活动陆缘缺失广泛的弧前增生体,如南美安第斯,或是增生体之间断裂带的产状近水平,如日本岛弧,或是增生体仰冲到陆缘之上,如北阿拉斯加的 Brooks Range 和北美东部 Appalachian 早古生代造山带以及欧洲的阿尔卑斯造山带。Groves 等 (2003) 认为异常的俯冲板块构造背景、线状火山沉积岩地带中发育地壳规模的变形构造带、区域范围内构造地层的复杂组合以及多期多阶段成矿叠加等是形成大型-超大型金矿的重要因素。Bierlein 等 (2004) 在对比研究了东澳 Central Victorian、新西兰 Western South Island 及加拿大 Nova Scotia 这 3 个具有相似地质演化历史,但黄金产量相差很大的金矿省之后认为,能否形成世界级规模的造山型金矿省的关键因素有 5 个:具有含水、具洋壳特征的垫层(substrate)以提供丰富的水源和矿源;软流圈热输入来保证地壳脱挥发分和熔融;近直立的深大断裂,明显的走滑运动;广泛的弧前增生体以保障长时间的流体循环。

目前,阿尔泰地区已发现 10 余个中小型矿床及一大批矿化点和化探异常,但尚没有大型或超大型金矿床。究其原因,是阿尔泰地区不具备形成大型-超大型金矿床的地质条件,还是有但尚未找到?首先,从区域地壳演化看,阿尔泰地区在晚元古宙到古生代期间,位于西伯利亚活动大陆边缘的西南地带,

经历了奥陶纪—志留纪和泥盆纪—石炭纪的 2 次俯冲造山作用,形成宽大的古生代增生造山带。造山带内部由 5 个具不同变形、变质特征的地体构成,各地体之间以深大断裂为界,断裂带产状陡倾。造山带内发育大量加里东到海西期的花岗岩类侵入岩和少量基性-超基性侵入体(邹天人等,1988)。地质和年代学资料显示,金矿形成于造山带构造演化的晚期——后碰撞阶段,此时沿深大断裂发育幔源岩浆侵入活动,并指示可能存在软流圈地幔的底劈上升(李锦轶等,1999)。另外,阿尔泰地区目前发现的金矿绝大多数产于泥盆纪—石炭纪的海西构造层,地层中发育基性、中基性、中酸性火山岩及火山碎屑岩,在一些凝灰岩、粉砂岩地层中常见同生期的黄铁矿,其金含量较高(芮行健等,1993),在泥盆纪海相火山作用过程中还有海底喷气作用形成的 VMS 铜矿和 SEDEX 铅锌矿床。因此,从物源、热源及断裂构造等看,阿尔泰地区具有形成大型-超大型金矿床构造背景和地质条件。

其次,造山型金矿的成矿流体主体属变质热液,主要与绿片岩相区域变质作用有关,成矿流体系统通常遍布整个造山带,具有区域性规模(Groves et al., 1998, 2003)。现有资料表明,阿尔泰地区金矿多产于浅变质岩(低绿片岩相的板岩-千枚岩-变砂岩、葡萄石-绿帘石相的玄武安山岩及凝灰岩),成矿流体以变质水、大气降水为主(多拉纳萨依金矿可能有较多的岩浆水参与),成矿作用晚阶段以大气降水为主(芮行健等,1993)。因此,从成矿流体角度看,阿尔泰地区似乎缺失足以形成大型-超大型金矿床所需的大规模变质流体系统。但是,从容矿岩石的变形特征看,阿尔泰地区的金矿床主要赋存于属于脆性变形构造域的挤压劈理化带、层间滑动破碎带、剪切破裂等浅层构造中。流体包裹体所获的成矿压力资料也显示成矿深度较浅(表 1)。因此,阿尔泰地区目前发现的金矿可能仅相当于 Groves 等 (1998) 定义的浅成型造山型金矿。根据 Groves (1993) 的造山型金矿地壳连续成矿模型,现有金矿带的深部应当具有较大的找矿潜力。事实上,晚石炭世—早二叠世的海西造山作用晚期(金成矿期),阿尔泰地区广泛发育具幔源同位素特征的同碰撞-后碰撞花岗岩类及基性-超基性杂岩等岩浆底垫或(和)侵入活动(韩宝福等,1999),指示当时的地壳具异常地热梯度,足以产生范围波及整个造山带的区域性变质流体系统,其形成的金矿床只是由于中生代以来自 NE 向

SW 的大规模逆冲推覆构造而未能抬升剥露出来。

阿尔泰地区已发现的金矿主要分布于阿尔泰南缘及北准噶尔、北阿尔泰的红山嘴—诺尔特等浅变质的海西构造层中,而喀龙—可可托海—青河一带遭受深变质改造的加里东构造带至今未发现成型的独立岩金矿床,但砂金矿又遍布阿尔泰,这说明阿尔泰地区加里东造山期时曾形成了大量造山型金矿,但在中生代以来的构造抬升剥蚀过程中,这些金矿被水系搬运形成砂矿,导致造山带中目前只保留了其深部的高级变质岩和大量伟晶岩矿床。因此,从阿尔泰地区的加里东增生造山期的金矿成矿作用看,海西增生造山期理应能够造成相当数量的金富集成矿。

另外,伴生金在阿尔泰黄金资源中占有比较重要的位置,其中,与陆缘裂陷槽海底火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床中的伴生金的找矿意义较大。国外自 20 世纪 80 年代开始重视对火山岩容矿的块状硫化物矿床中伴生金的研究(Hannington et al., 1986; Huston et al., 1989),近年来,陆续找到了一些特富金的块状硫化物矿床,如加拿大不列颠哥伦比亚的 Eskay Creek(矿石量 2.34 Mt,金品位 36.9 g/t),东澳塔斯马尼亚的 Henty(矿石量 1.26 Mt,金品位 15.4 g/t)。研究还发现金不仅多见于块状硫化物透镜体中,也可以产于块状硫化物透镜体之外。成矿元素组合可分成 2 类: Au-Zn-Pb-Ag 组合,此类矿床金主要产在块状硫化物透镜体的顶部、边部或重晶石盖中; Au-Cu 组合,金主要富集在块状硫化物透镜体的底部或其下的网脉带中(Huston, 2000)。阿尔泰南缘泥盆纪陆缘裂陷槽系中海相火山岩十分发育,并在其中找到了阿舍勒、可可塔勒、铁木尔特、阿巴宫、蒙库等一系列铁、铜、铅、锌矿床。阿舍勒铜矿的伴生金储量已达大型规模,在铁木尔特铜、铅、锌矿带中找到了萨热阔布大型独立岩金矿床(丁汝福等 2001)。因此,在阿尔泰南缘泥盆纪火山岩地区寻找铁、铜、铅、锌矿床中的伴生金以及独立岩金矿床具有良好的前景。

5 结 论

(1) 阿尔泰历史上盛产砂金,但自 20 世纪 80 年代以来,独立岩金矿床逐渐成为黄金生产的主要来源。独立岩金矿床成矿类型属造山型金矿,其产于强变形构造带,形成于海西造山作用晚期(晚石炭世

一早二叠世)的后碰撞阶段,矿化样式主要为浸染状蚀变岩、石英脉及其复合类型,矿石矿物组合为:金属硫化物(黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿及少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等)+自然金(少量碲金矿)+石英+方解石,硫化物含量普遍较低,成矿流体为低盐度、富 CO_2 的变质水,天水及部分岩浆水的混合流体。另外,伴生金在阿尔泰地区的黄金资源中占有重要地位。

(2) 阿尔泰独立岩金矿的成矿地球动力学背景是海西造山晚期(后碰撞阶段)岩石圈拆沉引发的软流圈地幔底劈上升。由此造成了区内岩金矿床与幔源基性-超基性杂岩体和富碱花岗岩类侵入体之间显著的时、空耦合关系。

(3) 阿尔泰地区海西构造建造带(主要为泥盆系-石炭系)中已发现的众多中、小型岩金矿床、矿点等,仅相当于区域性变质流体成矿系统的浅部,而主体部分可能由于中生代以来自 NE 向 SW 的大规模逆冲推覆构造而未能抬升剥露出来,喀龙—可可托海—青河加里东构造带(主要为深变质岩)有大量伟晶岩矿床和砂金分布,但至今未发现成型的独立岩金矿床,可能与中生代以来的造山带的构造抬升剥蚀有关。

(4) 阿尔泰南缘泥盆纪火山岩地区,特别是铁、铜、铅、锌矿床发育地区,是寻找伴生金和造山型岩金矿床的有利找矿远景地段。

References

- Barley M E, Krapez B, Groves D I and Kerrich R. 1998. The late Archaean bonanza: Metallogenic and environmental consequences of the interaction between mantle plumes, lithospheric tectonics and global cyclicity[J]. *Precambrian Researches*, 91: 65~90.
- Bierlein F P, Arne D C, Broome J and Ramsay W R H. 1998. Metatholeiites and interflow-sediments from the Cambrian Heathcote Belt, Australia: Sources for gold mineralization in Victoria? [J]. *Econ. Geol.*, 93: 84~101.
- Bierlein F P, Christie A B and Smith P K. 2004. A comparison of orogenic gold mineralization in central Victoria (AUS), western South Island (NZ) and Nova Scotia (CAN): Implications for variations in the endowment of Palaeozoic metamorphic terrains[J]. *Ore Geol. Rev.*, 25: 125~168.
- Chen B and Jahn B. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence[J]. *J. Asian Earth Sci.*, 23: 691~703.
- Chen B and Arakawa Y. 2005. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NW China),

- with implications for Phanerozoic continental growth[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69 : 1307~1320.
- Chen H Y, Chen Y J and Liu Y L. 2001. Metallogenesis of the Ertix gold belt, Xinjiang and its relationship to Central Asia-type orogenesis[J]. *Science in China(Series D)*, 44(3): 245~255.
- Chen Z F, Cheng S D, Liang Y H and Xu X. 1997. Opening-closing tectonics and mineralization in Xinjiang[M]. *Urumqi: Xinjiang Sci. Technol. & Hygiene Pub. House*. 1~39(in Chinese with English abstract).
- Cheng Z F and Rui X J. 1996. Mineralgenetic characteristics of Saidu gold deposit in Habahe county[J]. *Xinjiang Geol.*, 14(3): 247~254(in Chinese with English abstract).
- Cheng Z F and Rui X J. 1997. Ore-forming geochemical environment of Saidu gold deposit in Habahe, Xinjiang[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 18(1): 27~36(in Chinese with English abstract).
- Ding R F, Wang J B, Ma Z M, Zhang J H and Fang T H. 2001. Geochemical character of the Sarekuobu volcanic exhalation-sedimentary-superimposition gold deposit in Xinjiang[J]. *Geology & Prospecting*, 38(3): 11~15(in Chinese with English abstract).
- Dong Y G, Zhu S H, Rui X J and Kong Q S. 1994a. Geological characteristics of the mineralization in Salbulak gold deposit, Xinjiang[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 15(1): 55~63(in Chinese with English abstract).
- Dong Y G, Zhu S H, Rui X J and Liao Y Z. 1994b. The ore-forming geochemistry and genesis of Salbulak gold deposit, Xinjiang[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 15(4): 21~34(in Chinese with English abstract).
- Dong Y G. 1999. The assemblages and compositions of minerals and the controlling factors for gold deposits in Altay[J]. *Geol. Rev.*, 45(6): 596~602(in Chinese with English abstract).
- Dong Y G. 2000. Distribution of gold deposits related to fault structures in Altay, Xinjiang[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 21(1): 41~46(in Chinese with English abstract).
- Gao H Z, Zhang W S and Sun H S. 2000. A product of plate collision: Metallogenic control of highly strained structural belt to eastern Junggar gold deposit[J]. *Geology & Prospecting*, 36(3): 15~21(in Chinese with English abstract).
- Goldfarb R J, Groves D I and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis[J]. *Ore Geol. Rev.*, 18 : 1~75.
- Goldfarb R J, Miller L D, Leach D L and Snee L W. 1997. Gold deposits in metamorphic rocks in Alaska[J]. *Econ. Geol.(Mono.)*, 9 : 151~190.
- Griffin W L, Zhang A, O'Reilly S Y and Ryan C G. 1998. Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean craton[A]. In: Flower M F J, Chung S L, Lo C H and Lee T Y, ed. *Mantle dynamics and plate interactions in east Asia. Geodynamics series*[C]. Washington D. C.: American Geophysical Union. 107~126.
- Groves D I. 1993. The crustal continuum model for Late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn block, western Australia[J]. *Mineralium Deposita*, 28 : 366~374.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. *Ore Geol. Rev.*, 13 : 7~27.
- Groves D I, Goldfarb R J, Robert F and Hart C J R. 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance[J]. *Econ. Geol.*, 98 : 1~29.
- Gu Q G and Ou P N. 1994. Geological and geochemical characteristics and genesis of Duolanasayi gold deposit[A]. In: Rui X, ed. *Treatises on gold deposits in Altay, Xinjiang*[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 6~22(in Chinese with English abstract).
- Haeussler P J, Bradley D, Goldfarb R J, Snee L W and Taylor C D. 1995. Link between ridge subduction and gold mineralization in southern Alaska[J]. *Geol.*, 23 : 995~998.
- Han B F, He G Q and Wang S G. 1998. Post-collisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang[J]. *Geol. Rev.*, 44(4): 396~406(in Chinese with English abstract).
- Han B F, He G Q and Wang S G. 1999. Post-collisional magmatism, underplating and the basement of Junggar basin[J]. *Science in China(Series D)*, 29(1): 16~21(in Chinese).
- Hannington M D, Peter J M and Scott S D. 1986. Gold in sea-floor polymetallic sulfides[J]. *Econ. Geol.*, 81 : 1867~1883.
- Hannington M D, Poulsen K H, Tompson J F H and Sillitoe R H. 1999. Volcanogenic gold in the massive sulphide environment[J]. *Rev. Econ. Geol.*, 8 : 325~356.
- He G Q, Han B F, Yue Y J and Wang J H. 1990. Tectonic division and crustal evolution of Altay orogenic belt in China[C]. *Geoscience of Xinjiang*, (2): 9~19(in Chinese with English abstract).
- Hu A Q, Zhang G X, Zhang Q F, Li T D and Zhang J B. 2002. A review on ages of Precambrian metamorphic rocks from Altai orogen in Xinjiang, NW China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 37(2): 129~142(in Chinese with English abstract).
- Huston D L and Large R R. 1989. A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulphide deposits[J]. *Ore Geol. Rev.*, 4 : 171~200.
- Huston D L. 2000. Gold volcanic-hosted massive sulfide deposits: Distribution, genesis, and exploration[J]. *Rev. Econ. Geol.*, 13 : 401~426.
- Hutchinson R W. 1987. Metallogeny of Precambrian gold deposits: Space and time relationships[J]. *Econ. Geol.*, 82 : 1993~2007.
- Jiang J. 2003. Mineralizing characteristics and controlling factors of the Sarekuobu gold deposit in Aletai[J]. *Mineral Resources & Geology*, 17(4): 511~515(in Chinese with English abstract).
- Keays R R. 1987. Principles of mobilization (dissolution) of metals in mafic and ultramafic rocks: The role of immiscible magmatic sulphides in the generation of hydrothermal gold and volcanogenic massive sulphide deposits[J]. *Ore Geol. Rev.*, 2 : 47~63.
- Kerrick R and Cassidy K F. 1994. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation-Archaean to present: A review[J]. *Ore Geol. Rev.*, 9 : 263

- ~310.
- Li H Q, Xie C F, Chang H L and others. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in North Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 26~133 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y and Xiao X C. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, NW China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 34(4): 405~419 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y and Xu X. 2004. Major problems on geological structures and metallogenesis of Northern Xinjiang, Northwest China [J]. *Xinjiang Geology*, 22(2): 119~124 (in Chinese with English abstract).
- Li Z C. 1999. Two tectono-metallogenic types of Au deposits and their metallogenetic models in the southern Altay mountain [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 23(1): 16~28 (in Chinese with English abstract).
- Liao Q L, Dai T G, Liu W L and Hu Y F. 1999a. Preliminary study on metallogenetic characteristics of supergene and structural-altered rocks gold deposits in the northern margin, Junggar [J]. *J. Guilin Institute of Technology*, 19(3): 272~276 (in Chinese with English abstract).
- Liao Q L, Liu W H, Dai T G and Hu Y F. 1999b. Preliminary study on main kinds of gold deposits and their minerogenetic environment in northern Junggar [J]. *J. Precious Metallic Geol.*, 8(3): 163~170 (in Chinese with English abstract).
- Liu W H, Liao Q L, Dai P G and Zhao X X. 1999. Preliminary analyses on minerogenetic characteristics of gold deposits related to ductile shear zone in southern margin area of Altay [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 14(3): 42~49 (in Chinese with English abstract).
- Phillips G N and Jonathan D M L. 2000. Witwatersrand gold fields: Geology, genesis, and exploration [J]. *Rev. Econ. Geol.*, 13: 439~500.
- Qiu Y and Groves D I. 1999. Late Archaean collision and delamination in the southwest Yilgarn craton: The driving force for Archaean orogenic lode gold mineralization [J]. *Econ. Geol.*, 94: 115~122.
- Qu G S. 1991. Deformational structure of tectonic division of the Altaids [C]. *Geoscience of Xinjiang*, (3): 132~144 (in Chinese with English abstract).
- Rui X J and others. 1993a. Primary gold deposits in Altay, Xinjiang [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~274 (in Chinese with English abstract).
- Rui X J, Zhu S H and Liu K J. 1993b. The main characteristics and regional metallogenetic model of Altay primary gold deposits in Xinjiang [J]. *Geol. Rev.*, 39(2): 138~148 (in Chinese with English abstract).
- Tu G Z. 1990. Some opinions on the classification of primary gold deposits types in Northern Xinjiang [C]. *Geoscience of Xinjiang*, (2): 128~133 (in Chinese).
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G and Fu X J. 2002. The metallogenic series and metallogeny in the Altay metallogenic province [M]. Beijing: Atom. Energy Pub. House. 1~493 (in Chinese).
- Wang J B, Wang J S, Li B Q, Zhang J B and Hu Q W. 1997. Metallogenic series of gold deposits associated with volcanic and subvolcanic rocks in the Junggar area of Xinjiang [J]. *Geological Exploration for non-ferrous Metals*, 16(Suppl.): 25~37 (in Chinese with English abstract).
- Wang J S, Deng J N and Liao Q L. 1998. Geology of ore-controlling structures and prospecting guide of the Kekesayi gold deposit, Xinjiang [J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 7(5): 283~288 (in Chinese with English abstract).
- Wang J S and Deng J N. 1999. Geology and metallogenesis of the Kekesayi gold deposit in Xinjiang [J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 8(6): 530~535 (in Chinese with English abstract).
- Wang J S. 2002. The geological characters of Alatasi gold deposit in Northern Xinjiang and its prospecting direction [J]. *Mineral Resources and Geology*, 16(1): 6~8 (in Chinese with English abstract).
- Wang R M, Zhao C L and others. 1991. Karatungk Cu-Ni sulfide No. 1 ore deposit in Xinjiang [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 113~126 (in Chinese with English abstract).
- Wang S G, Han B F, Hpng D W, Xu B L and Sun Y Y. 1994. Geochemistry and tectonic significance of alkali granites along Ulungur river, Xinjiang [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 29(4): 373~383 (in Chinese with English abstract).
- Wei C S. 1996. Study on fluid evolution and ore-forming mechanics of hydrothermal gold deposits related to epimetamorphism in Altay, Xinjiang [J]. *Geol.-Geochem.*, 6: 85~87 (in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Kroner A, Guo J, Qu G, Li Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution [J]. *J. Geol.*, 110: 719~737.
- Xiao H L, Dong Y G, Wang H N, Zhou J Y and Rui X J. 2002. Fluid mineralization and characteristics of the Mareletie gold deposit in Xinjiang [J]. *Resources Survey & Environment*, 23(2): 130~139 (in Chinese with English abstract).
- Xiao X C, Tang Y Q, Feng Y M, Zhu B Q, Li J Y and Zhao M. 1992. The tectonics in the Northern Xinjiang and its adjacent area [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~169 (in Chinese with English abstract).
- Yan S H, Chen W, Wang Y T, Zhang Z C and Chen B L. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and its significance of the Ertix gold metallogenic belt in the Altay orogen, Xinjiang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(4): 500~505 (in Chinese with English abstract).
- Yin Y Q, Li J X, Zhang J B, Chen D J, Zhou Z J, Hu Q W and Wang J C. 1998. The structural evolutionary model of the Kekesayi ductile shear zone type gold deposit in Qinghe county, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 17(4): 314~320 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Zhang H, Song H L, Deng J and Cheng X J. 1997. Macroscopic structures and superlarge ore deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 144~167 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Wang Z G, Zou T R and Masuda A. 1996. Study on petrogenesis of alkali-rich intrusive rocks of Ulungur, Xinjiang [J].

Geochimica, 25(3):204~220 (in Chinese with English abstract).
 Zou T R, Cao H Z and Wu B Q. 1988. Orogenic and anorogenic granites in the Altay and its discriminate criterion [J]. Acta Geologica Sinica, 62(3):228~243 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈哲夫, 成守德, 梁云海, 徐新. 1997. 新疆开合构造与成矿 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社. 1~394.
 程忠富, 芮行健. 1996. 哈巴河县赛都金矿成矿特征 [J]. 新疆地质, 14(3):247~254.
 程忠富, 芮行健. 1997. 赛都金矿成矿地球化学环境 [J]. 火山地质与矿产, 18(1):27~36.
 丁汝福, 王京彬, 马忠美, 张进红, 方同辉. 2001. 新疆萨热阔布火山喷流沉积改造型金矿地球化学特征 [J]. 地质与勘探, 38(3):11~15.
 董永观, 朱韶华, 芮行健, 孔庆寿. 1994a. 新疆富蕴县萨尔布拉克金矿地质特征 [J]. 火山地质与矿产, 15(1):55~63.
 董永观, 朱韶华, 芮行健, 廖永璋. 1994b. 新疆萨尔布拉克金矿床地球化学及矿床成因 [J]. 火山地质与矿产, 15(4):21~34.
 董永观. 1999. 新疆阿尔泰地区金矿床矿物组合、成分特征及其控制因素分析 [J]. 地质论评, 45(6):596~602.
 董永观. 2000. 新疆阿尔泰金矿断裂构造控矿规律研究 [J]. 火山地质与矿产, 21(1):41~46.
 高怀忠, 张旺生, 孙华山. 2000. 板块碰撞产物——强应变构造带对东准噶尔金矿的控制 [J]. 地质与勘探, 36(3):15~21.
 顾巧根, 欧沛宁. 1994. 多拉那萨依金矿床的地质、地球化学特征及成因探讨 [A]. 见: 芮行健, 等, 主编. 新疆阿尔泰金矿床论文集 [C]. 北京: 地质出版社. 6~22.
 韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长 [J]. 地质论评, 44(4):396~406.
 韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞幔岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地的基底 [J]. 中国科学 (D 辑), 29(1):16~21.
 何国琦, 韩宝福, 岳永君, 王嘉衍. 1990. 中国阿尔泰造山带的构造分区和地壳演化 [J]. 新疆地质科学, 第二辑:9~19.
 胡霏琴, 张国新, 张前锋, 李天德, 张积斌. 2002. 阿尔泰造山带变质岩系时代问题的讨论 [J]. 地质科学, 37(2):129~142.
 姜俊. 2003. 阿尔泰萨热阔布金矿成矿特征及控矿因素 [J]. 矿产与地质, 17(4):511~515.
 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 1998. 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. 26~133.
 李锦轶, 肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述 [J]. 地质科学, 34(4):405~419.
 李锦轶, 徐新. 2004. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题 [J]. 新疆地质, 22(2):119~124.
 李志纯. 1999. 阿尔泰南缘两类构造成矿类型金矿床及其成矿模式 [J]. 大地构造与成矿学, 23(1):16~28.
 廖启林, 戴塔根, 刘悟辉, 胡云峰. 1999a. 准噶尔北缘浅成岩-构造

蚀变岩型金矿的成矿特征 [J]. 桂林工学院学报, 19(3):272~276.
 廖启林, 刘悟辉, 戴塔根, 胡云峰. 1999b. 准噶尔北部主要金矿类型及其成矿环境初探 [J]. 贵金属地质, 8(3):163~170.
 刘悟辉, 廖启林, 戴塔根, 赵晓霞. 1999. 阿尔泰南缘与韧性剪切带有关金矿床成矿特征浅析 [J]. 地质找矿论丛, 14(3):42~49.
 曲国胜. 1991. 阿尔泰造山带构造分区的变形构造特征 [J]. 新疆地质科学, 第三辑:132~144.
 芮行健, 等. 1993a. 新疆阿尔泰岩金矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 1~274.
 芮行健, 朱韶华, 刘抗娟. 1993b. 新疆阿尔泰原生金矿基本特征及区域成矿模式 [J]. 地质论评, 39(2):138~148.
 涂光炽. 1990. 北疆原生金矿类型划分初步意见 [J]. 新疆地质科学, 第二辑:128~133.
 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律 [M]. 北京: 原子能出版社. 1~493.
 王京彬, 王军升, 李博泉, 张积斌, 胡庆雯. 1997. 新疆准噶尔地区与火山-浅成岩有关金矿成矿系列 [J]. 有色金属矿产与勘查, 16(增刊):25~37.
 王军升, 邓吉牛, 廖启林. 1998. 新疆科克萨依金矿控矿构造特征及找矿评价标志 [J]. 有色金属矿产与勘查, 7(5):283~288.
 王军升, 邓吉牛. 1999. 科克萨依金矿地质特征及矿床成因分析 [J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6):530~535.
 王军升. 2002. 新疆北部阿拉塔斯金矿床地质特征及找矿方向 [J]. 矿产与地质, 16(1):6~8.
 王润民, 赵昌龙, 等. 1991. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 113~126.
 王式洸, 韩宝福, 洪大卫, 许保良, 孙亚芸. 1994. 新疆乌伦古河碱性花岗岩的地球化学及其构造意义 [J]. 地质科学, 29(4):373~383.
 魏春生. 1996. 新疆阿尔泰有限相系浅变质热液金矿床流体演化与成矿机理研究 [J]. 地质地球化学, 6:85~87.
 肖惠良, 董永观, 王鹤年, 周济元, 芮行健. 2002. 新疆马热勒铁金矿床特征及其流体成矿作用 [J]. 资源调查与环境, 23(2):130~139.
 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造 [J]. 北京: 地质出版社. 1~169.
 闫升好, 陈文, 王义天, 张招崇, 陈柏林. 2004. 新疆额尔齐斯金成矿带的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 78(4):500~505.
 尹意求, 李嘉兴, 张积斌, 陈大经, 周志坚, 胡庆雯, 汪劲草. 1998. 新疆青河科克萨依韧性剪切带型金矿床的构造演化模式 [J]. 矿床地质, 17(4):314~320.
 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 邓军, 程小久. 1997. 大型构造与超大型矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 144~167.
 赵振华, 王中刚, 邹天人, 增田彰正. 1996. 新疆乌伦古富碱侵入岩成因探讨 [J]. 地球化学, 25(3):204~220.
 邹天人, 曹惠志, 吴柏青. 1988. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志 [J]. 地质学报, 62(3):228~243.