

阿尔金成矿带加里东期主要成矿系统

赵更新^{1,2}, 毛德宝², 张燕², 王杰², 王克卓³, 牛广华²

(1.中国地质大学(北京), 北京 100083; 2.天津地质矿产研究所, 天津 300170;

3.新疆地质调查院, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 在分析加里东期成矿环境的基础上, 系统阐明了阿尔金成矿带加里东期主要成矿系统的基本结构, 研究了主要成矿系统的特点、形成动力学条件及其演化特征。认为阿尔金成矿带加里东期主要发育了喷流热水沉积, 岩浆热液和基性超基性岩三大成矿系统, 成矿作用与加里东期阿尔金南北缘板块伸展-汇聚-碰撞的构造运动旋回密切相关。文章最后提出了进一步成矿远景。

关键词: 阿尔金; 加里东期; 成矿系统

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2007)02-0090-08

成矿系统研究是当今矿床学的前沿研究领域, 它从更深层次上研究成矿系列的形成过程和条件。李人澍^[1]、翟裕生等^[2-7]曾先后撰文指出成矿系统概括了物质、运动、成因、信息、时间、空间等矿床学主要研究内容, 体现了矿床形成的时空统一整体性, 并运用成矿系统的思想和方法来研究古陆边缘的成矿规律, 将成矿系统作为古陆边缘岩石圈系统的一个组成部分, 从板块构造演化的角度探讨不同成矿系统的形成过程和动力学特征, 从而为区域成矿规律研究探索出一条新的途径, 并为区域成矿预测提供了新思路和新观点。

本文中以系统的观点对阿尔金地区各类矿床的形成条件以及表现形式和特征等在区域尺度上进行观察和研究, 以期对了解阿尔金地区矿床系统形成的本质过程, 认识区域成矿规律和合理部署地质矿产勘查有所启发。

1 加里东期成矿地质环境

阿尔金地区是多个构造单元的结合带^[8,9], 其内部构造单元依据不同历史演化时期有不同的组成, 其中早古生代构造层是阿尔金南北缘的主要组成部分。

1.1 洋盆热水沉积环境

阿尔金南北缘出现的早古生代巨厚浅海-深海碎屑岩、碳酸盐岩沉积, 主要包括奥陶系的粉砂质千枚岩、钙质粉砂岩、黑色硅质岩夹薄层生物灰

岩组成的沉积地层, 其中含有热水沉积岩的组成。近年来人们对喷流热水沉积岩成矿的认识有所发展, 拉张盆地的细碎屑岩、泥岩、碳酸盐岩和硅质岩都可以是热水沉积岩。分析认为, 在古生代阿尔金地区处于扩张洋盆时, 地壳的减薄将可形成地幔热柱及海底火山活动, 形成热水沉积环境, 如有同生断裂发育则对成矿非常有利。目前阿尔金地区在奥陶系内已发现类似热水喷流沉积矿床、矿点。

1.2 岛弧(岩浆弧)环境(活动大陆边缘)

早古生代阿尔金古陆块的动力机制发生转化, 洋盆闭合, 洋陆转换, 由拉张转变为汇聚, 在阿尔金地块边缘发生俯冲, 出现岛弧火山活动和碰撞岩浆岩。阿尔金山地块包括奥陶纪的陆缘沉积内可见火山岩和次火山岩及岩浆侵入活动。钙碱性岩浆和火山、次火山岩的活动将造成火山热液作用。

阿尔金北缘红柳沟-拉配泉蛇绿混杂岩带和混杂岩带中东西向的高压变质岩带, 说明阿尔金北缘地区在古生代曾发生过板块俯冲作用。板块俯冲造成阿尔金地块边缘钙碱性岩浆活动。由于后期构造运动使本区南北向强烈挤压、缩短和变质变形, 各构造环境在空间上已被压缩和混合。拉配泉西部的流纹岩的 U-Pb 年龄大约为 480 Ma^[10], 表明其确系早古生代火山岩。比较可以确定的是, 阿尔金北缘地区为早古生代活动陆源的岛弧环境演化而来。

近年来, 大量研究资料显示, 区内许多原来被认为中新元古代的钙碱性火山岩实际上应属早中

收稿日期: 2007-04-01

责任编辑: 刘新秒

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目资助(编号: 200010200164)

作者简介: 赵更新(1961-), 男, 在读博士, 教授级高级工程师, 长期从事地球物理与矿产资源勘查评价工作。

奥陶世,广泛侵入元古界的花岗岩和岩浆岩也属加里东期。这些研究进展及岩石地球化学特征都表明,阿尔金山北缘发育加里东岛弧。

分析认为在阿尔金地区的早古生代岛弧具有构成与侵入岩有关的接触交代成矿、岩浆热液成矿、次火山热液(斑岩)成矿的成矿地质环境。

1.3 碰撞造山环境

在阿尔金断裂西北一侧的阿尔金山群中发育一条从江孜勒萨依一带到茫崖石棉矿 200 多千米长的榴辉岩带,是阿尔金地块南缘的一条北东向的高压变质带。阿尔金南缘也存在一条阿帕-茫崖蛇绿岩混杂岩,沿阿尔金断裂由近百个基性-超基性岩岩体、火山岩和硅质岩组成,延伸数百千米。这表明在阿尔金山的南侧也可能存在一条加里东期的缝合带。

阿尔金加里东碰撞造山带地质构造环境的特点,一是使陆壳内出现大量的 S 型花岗岩,二是大陆边缘强烈变形;三是造成碰撞带岩石发生动力变质;四是形成韧性剪切带。加里东期中酸性侵入岩在区内非常发育,几乎遍及阿尔金山各地,但以南北缘地区分布较多。时代介于 560 ~ 425 Ma 之间,多在 490 Ma 左右。在岩石类型上有从中性→酸性,从钠质→钾质演化的趋势。早期岩体片理化强烈,不同程度地发育片麻理构造,晚期岩体呈块状构造,片理或片麻理不甚发育。

岩石地球化学 SiO_2 含量变化于 51.76% ~ 73.54%, 变化范围大,从基性岩到酸性岩。 K_2O 为 1.06 ~ 8.18%, Na_2O 为 2.12 ~ 4.47%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 0.32 ~ 3.86, 里特曼指数 σ 为 1.19 ~ 5.23, A/CNK 值变化于 0.70 ~ 1.06, 多为铝不饱和,少数为铝饱和岩石,碱度率 AR 为 1.35 ~ 5.33, 分异指数 DI 为 34 ~ 92。将标准矿物相对含量投在 Ab-An-Or 图上,大部分点投在英云闪长岩和花岗岩区,部分投在花岗闪长岩区。可以认为一部分花岗岩应是造山期后。在区内黄土泉岩体及其昂里克等地的岩体中二长花岗岩和钾长花岗岩可能是同造山期地壳部分熔融的产物,具有 S 型花岗岩的特点。

花岗岩浆的侵入,构成了重要的热源和热水,与地层中的构造或孔隙水共同形成岩浆热液循环环境,成为岩浆热液成矿系统的流体和热动力来源。

1.4 基性超基性岩侵入环境

阿尔金地区的基性超基性侵入岩可划分为二

个带,一是阿尔金北缘地区安南坝-拉配泉-红柳沟带,二是沿阿尔金南缘断裂产出的冷湖-茫崖-嘎斯煤田-长沙沟带。基性超基性岩的成因、类型及演化特点与矿床形成有密切关系。一定的基性超基性岩与一定的矿产有关,因此基性超基性岩的类型有很强的成矿专属性。区内基性超基性岩主要包括蛇纹石化橄榄岩、方辉橄榄岩、纯橄岩、蛇纹岩、二辉橄榄岩、辉石岩、辉长岩等,这些基性超基性侵入岩与枕状玄武岩等基性火山-沉积岩共同产出。该类型矿床以红柳沟、安南坝、小江格沙依等铬矿点为代表。

1.5 陆缘-岛弧裂谷环境(伸展构造)

晚奥陶世碎屑岩、碳酸盐岩组合中出现的双峰式火山岩是阿尔金地块碰撞后伸展阶段拉张裂谷的火山作用的产物^[1]。阿尔金地区早古生代的火山岩的岩石化学分析,表现出复杂的构造环境,有钙碱性的,也有偏碱性的。其中一部分是岛弧火山岩部分。伸展构造发育了最广的火山岩建造,之后褶皱回返变质变形成为混合杂岩带的一部分。其中的火山岩是海相的镁铁质和长英质火山岩及其凝灰岩组合,以及海相的碎屑岩、碳酸盐岩。

海底火山活动过程会放出气体和喷出热液,涌到海底或达到临近海底参与沉积成岩,形成对成矿有重要影响的火山喷发环境。

阿尔金北缘奥陶系火山岩环境与中国祁连山地区的白银厂具有较多的共性,如,同属相邻构造单元内的加里东造山带,同属加里东火山喷发沉积和海相碎屑沉积岩;同有基性火山岩和酸性火山岩组合。

2 加里东期成矿系统的基本结构

从对阿尔金地区加里东期成岩构造环境和成矿作用特征的分析来看,区内金属矿床主要发育在阿尔金山北侧和南侧的加里东构造层。矿化类型多样,有斑岩型,喷流热水沉积块状硫化物型、热液充填石英脉型及过渡类型、变质改造型。空间上大致南北分带,对称分布。依据加里东成矿期的成矿顺序和热流-动力条件,分析认为大致包含三个主要的既相对独立又相互关联的成矿系统(表 1)。

喷流热水沉积成矿系统,岩浆热液成矿系统和基性超基性岩成矿系统都形成于奥陶纪构造演化的不同阶段与不同的构造环境,由不同的岩石建

表 1 加里东期成矿作用、成矿建造和成矿系统

Table 1 Metallogenesis, minerotect and metallogenic systems for Altyn Mountains in Caledonian

主要成矿系统	成矿作用	控矿成矿建造	构造环境	矿种	典型矿床
1. 喷流热水沉积成矿系统	海底喷流热水沉积（海相火山沉积活动）	火山碎屑岩-火山岩建造	拉张盆地-裂谷	Cu-Pb-Zn-Fe-Au	喀腊大湾、白尖山、更新沟
2. 岩浆热液成矿系统	基-中酸性岩浆活动	钙碱性火山-次火山岩和侵入岩岩体及其围岩	碰撞岛弧	Cu-Au	红柳沟、索拉克、采石沟
	钾质花岗岩侵入活动	岩体内外接触带或外围	岛弧	Au-Cu-Pb-Zn-玉石	大平沟、柴水沟、更新沟
3. 基性超基性岩成矿系统	基性超基性岩浆侵入活动	基性超基性岩及其围岩	洋壳生成	铬铁矿-石棉-玉石等及Cu--Ni-Co-Au	加尔乌增沟、金泉山、茫崖、盘龙沟、塔特勒苏、六五沟

造、成矿作用和相应的矿床所组成。其中,喷流热水沉积成矿系统分布相对比较局限,主要分布于奥陶纪的火山沉积建造内;基性超基性岩熔浆成矿系统则仅出现在沿北东向大断裂带分布的镁铁质超镁铁质岩体内或其边部;而岩浆热液成矿系统则分布较广,可能部分叠加于前者,既存在于奥陶系内,又可在前寒武系内。

根据阿尔金山区域地质构造背景和加里东期成矿系统的构造特点与岩石建造的分布特点,以阿尔金北缘加里东构造杂岩带为主,区域上主要构成有阿尔金北缘红柳沟-拉配泉喷流热水沉积铜铅锌银成矿系统,形成了喀腊大湾、白尖山、更新沟铜铅锌矿床点;以阿尔金加里东岛弧的北部边缘地区及阿尔金北缘加里构造杂岩带为主,主要有岩浆热液铜铁金成矿系统,产有红柳沟、索拉克、采石沟等岩浆热液性、矽卡岩型矿床点;以阿尔金北缘加里东构造杂岩带为主,构成红柳沟-安南坝基性超基性岩铬铜镍熔浆成矿系统,形成有若干铬铁矿点和铜镍硫化物矿点,主要产有加尔乌增沟、金泉山等融离型矿床。以阿尔金南缘加里东构造杂岩带为主,构成了茫崖基性超基性岩铬铜镍铬熔浆成矿系统,茫崖、盘龙沟、塔特勒苏、六五沟等熔离型矿床

阿尔金的上述三种成矿系统,在成矿作用和成矿方式上是相互独立的,在时空演化上又是相互联系着的(图 1)。由于时间上是连续的,空间上有一定叠置、交叉,因而有些矿床会出现叠加、复合或过渡性特点,如更新沟铅锌铜矿的东部铜矿化属斑岩成矿作用,在岛弧期的浅成超浅成岩浆作用形成,而铅锌矿化则由拉张浅海盆地阶段的双峰式火山喷

发成矿作用形成。

3 成矿系统的特点与形成条件

3.1 喷流热水沉积成矿系统

3.1.1 成矿系统特点

该成矿系统是区域最重要的金属成矿系统之一。典型矿床如喀腊大湾铅锌矿、更新沟多金属矿、拉配泉铜矿。

矿床的赋矿围岩主要是奥陶纪拉张裂谷盆地的粉砂质千枚岩、钙质粉砂岩、黑色硅质岩夹薄层生物灰岩等厚层热水沉积岩系、以双峰式火山岩组合为特征的海相火山沉积岩。

矿床多产于基性火山岩向中酸性火山岩或火山岩与火山沉积岩的过渡部位、石英钠长(长石石英)斑岩脉的两侧接触带、酸性火山-潜火山岩内。成矿元素组合主要为 Zn-Pb 和 Cu-Zn,金属矿物主要为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、白铁矿;脉石矿物主要有石英,其次是绿泥石、绢云母、白云母,少量重晶石、萤石。矿石结构构造为块状、条带状、脉状、稠密浸染状。围岩蚀变有硅化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、粘土化。

在布拉格重力异常上,该成矿系统位于不规则椭圆状正异常中心边部的梯度带。在航磁 ΔT 异常上位于正磁场边部的陡变带。一般视极化率最小 0.12%,最大 8%,均值 2.4%,矿化体的视极化率一般大于 3%,但在更新沟地区矿体极化率仅大于 2%;电阻率一般很低,约 100~200Ω·m。地面磁测表明矿体多分布在宽缓的弱磁场环境,是磁场的过渡

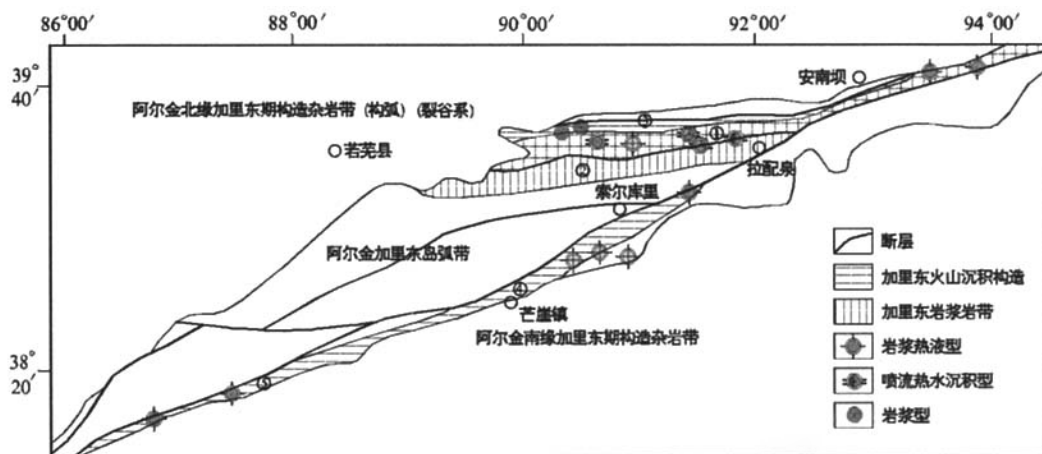


图1 阿尔金山加里东期构造与主要成矿系统简图

Fig. 1 Sketch geological map showing main metallogenic systems and tectonics in Caledonian

①. 阿尔金北缘红柳沟-拉配泉喷流热水沉积铜铅锌成矿系统 ②. 岩浆热液铜铁金成矿系统

③. 红柳沟-安南坝基性超基性岩铬铜镍熔浆成矿系统 ④. 芒崖铬铜镍铬熔浆成矿系统

带。

水系沉积物地球化学异常呈现 Cu、Pb、Zn、Cd、Ba 等元素组合;水系沉积物测量显示异常元素组分复杂,以 Cu、Pb、Zn、Ag 为主,伴生 Au、Sn、Mo、Cd 异常。单元异常面积大、强度高、套合好,具浓度分带特征。

遥感影像特征表现为奥陶系火山沉积岩系发育区,几组构造的交叉部位,环状构造发育区边部或其内侧,浅橙黄色和红褐色条带状纹影区,纹影特征与色调有明显异常,与周围不协调。

稳定同位素地球化学特点显示矿床硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 出现大于 +15‰ 的正值^[12~14],显示成矿过程中有海水硫酸盐的参与,铅同位素比值多位于上地壳演化线上,说明该矿床部分铅可能来源于同生沉积作用。

3.1.2 火山喷流成矿的热动力条件

(1)火山喷发成矿的热动力条件。阿尔金山加里东运动早期的扩张洋盆环境,持续较长时间。奥陶纪形成的海相沉积物,其中含有热水沉积地层。奥陶纪晚期的火山喷发活动形成喷气喷流和熔岩为海底热水环境的沉积成矿提供了有利的热动力条件。这是火山岩型、块状硫化物型等矿床形成的必要条件。

(2)火山喷发成矿的矿源、运移、储存和封闭条件。地壳浅表层中分散在岩石中的成矿物质,经过各种流体的萃取在构造中的热运动中使矿质在一定的温度压力和化学介质条件下发生沉淀富集,流体运移的空间范围一般远大于成矿范围,不同元素临界转化的温度压力不同,形成了流体运动的侧向

和纵向的分带性。火山岩容矿的铜铅锌块状硫化物矿床和沉积岩容矿的微细浸染型金矿在本区都已发现。由于后期的构造挤压和变质变形,可能对矿床造成较大的改变,如拉配泉,从其成矿条件和成矿特征,结合物探资料分析,地表所见的热液脉状富矿认为应属主要原生矿的后期破坏、再迁移和局部成矿的结果。对加里东期的成矿活动来说,新构造运动容易使矿藏重新活化。矿床的储存封闭条件一般都不佳。

(3)火山喷发成矿的聚矿构造条件。构造环境为典型的拉张环境,聚矿构造为断层和裂隙,火山间歇的层间构造或同生断裂。裂谷拉张环境下形成的小凹陷更易于形成封闭、还原、不补偿、稳定的环境,有益于成矿物质的充分沉淀、分异富集,形成水平分带。

3.2 岩浆热液成矿系统

3.2.1 成矿系统特点

该类型成矿系统主要发育在加里东中晚期,可划分为两个亚系统:与火山-次火山-浅成岩浆侵入活动有关的热液充填交代型 Cu-Au 成矿亚系统,与钾质花岗岩有关的 Au-Cu-Pb-Zn 成矿亚系统。与火山-次火山-浅成岩浆侵入活动有关的热液充填交代型 Cu-Au 成矿亚系统主要形成在奥陶纪,形成了斑岩型、矽卡岩型和热液充填脉型矿床。成矿与火山-次火山期后热液活动有关,矿化多呈石英英脉型或细脉浸染型沿火山-沉积岩中的断裂和构造裂隙产出,围岩蚀变通常有硅化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化等。成矿表现为 Cu、

Cu-Au、Cu-Fe-Au 等不同金属矿化组合。石英-黄铜矿-黄铁矿脉型矿化在奥陶系中基性火山岩中分布普遍,品位较富,但形成规模者甚少。矿脉常伴有金矿化,一些矿体含金很高,构成铜金矿体。

与钾质花岗岩有关的 Au-Cu-Pb-Zn 成矿亚系统是阿尔金地区最重要的金矿床形成系统,如阿尔金北缘大平沟金矿、阿尔金南缘柴水沟金矿、碎岩山东铜银矿点及攸苏普雷阿克地区的一些金矿化点。金成矿作用与碱性偏碱性的花岗质岩浆活动有关,在矿区范围内发育了大量的钾质花岗岩或石英钾长石脉。金矿床产于花岗岩体内外接触带的断裂构造中,而大平沟金矿的部分矿体即为石英钾长石脉。矿化蚀变带中广泛发育钾化、绢云母化、碳酸盐化、硅化和高岭土化等。根据成矿作用特点可将矿床划分为石英脉型、构造蚀变岩型和高硫型浅成热液矿床。

在区域重力场上,这类矿床多产在重力梯度带,剩余重力异常高值区与低值区结合处偏重力高一侧。研究区内中酸性侵入岩以重力低为特征,含矿岩体上方存在明显的重力低异常。磁异常方面,由于火山-次火山岩及浅成中酸性侵入岩体常富含磁铁矿、磁黄铁矿等磁性矿物,因此,岩体和矿体往往引起不同程度的正磁异常。

区域地球化学场表现为 Cu、Pb、Zn、(Au)、(Ag) 异常组合,水系沉积物地球化学异常出现 Cu、Mo、Au、Cr、Ni、Co 等多元素组合。

遥感影像特征表现为褐红色的奥陶系火山沉积岩系,密集线形构造发育区,环状构造和放射形构造交会部位。中酸性斑岩岩体呈长椭圆状、环状,比周围色调有明显区别的浅肉红色和浅灰色。

稳定同位素地球化学显示矿床硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 多介于 $+0\text{‰} \sim +5\text{‰}$ ^[15-17], 显示出陨硫硫的特点,表明成矿过程中硫的来自深部,铅同位素比值多位于上地壳演化线上,说明该矿床部分铅可能来源于同生沉积作用。多数铅同位素测点具有线性排列的分布特征,表明铅同位素组成具有多元混合的成因,这与成矿作用发生的构造环境相吻合。

区内部分矿床石英流体包裹体的氢氧同位素组成为: $\delta^{18}\text{O}$ 石英 = $+7.9\text{‰} \sim +15.2\text{‰}$, 与花岗岩相当($7\text{‰} \sim 13\text{‰}$, 福尔, 1986)。相应包裹体水的氢同位素 $\delta\text{D} = -51\text{‰} \sim -109\text{‰}$ 。显示成矿流体来自于岩浆水和天水的混合。

成矿主要为中低温类型。如大平沟金矿的成矿温度为 $97 \sim 268^\circ\text{C}$, 平均为 177°C ; 玉勒山金矿流体包裹体均一温度为 $145 \sim 280^\circ\text{C}$, 平均 216°C ; 采石沟金矿 $150 \sim 318^\circ\text{C}$, 平均 228°C ; 索拉克铜矿流体包裹体均一温度为 $135 \sim 231^\circ\text{C}$, 平均 196°C 。

3.2.2 成矿系统的热动力源及其形成条件

阿尔金地区加力东期成矿作用的热动力或能量来自于加里东期阿尔金地区的构造岩浆活动及其所形成的热传导和热梯度。由于地球深部热运动的驱动,阿尔金地区板块运动和构造演化,出现了各种不同性质的构造岩浆活动和“热事件”。

岩浆热液成矿系统中,成矿热动力来源于加里东期的岩浆侵入和岩浆热液活动。伴随花岗岩浆的上升和侵入地层,带入地壳上部巨大的热量及热液,并能缓慢降温,持续地提供热源,使岩降水和地层水发生热循环运动,导致矿质转移。在高温热源的驱动下,岩体与化学沉积地层接触带发生高温水岩反应,使物质大量交换,形成金属氧化物(磁铁矿、矽卡岩)的堆积;在中低温时流体在断层和裂隙中以硫化物(金属硫化物和石英)充填或交代析出所萃取的矿质。

成矿活动正是在上述热动力的作用下才得以保持运动状态和自组织能力,使矿质从分散无序状态向有序状态演化,从而导致成矿。

在阿尔金地区岩浆成矿系统,主要以加里东中酸性岩浆热液成矿系统为主,其他成矿系统也有一些表现,但一般意义不大。

(1) 岩浆热液成矿的热动力条件。阿尔金地区加里东晚期构造运动,表现为板块聚合、碰撞俯冲的岛弧阶段,形成了大量的钙碱性的酸性侵入岩,与奥陶纪的含灰泥质的硅质沉积岩、蛇绿岩、火山岩等构成了岛弧(沟弧系)构造环境,岩浆活动强烈,为成矿活动提供了热动力和流体条件。

(2) 岩浆热液成矿的矿源、运移、储存和封闭条件分析。阿尔金南北两个碰撞带和大型挤压带中岛弧火山岩浆活动可能吸携带前加里东地壳中的丰富矿源并吸收深部演进的矿质,包括俯冲洋壳丰富矿质,花岗岩浆活动提供了热动力,沟通深部与浅层物质交换,构成了岩浆和热液上升的通路,岩浆上升到在地壳浅层,通过热液与地层相互作用或交代使矿质沉淀成矿。

(3) 岩浆热液成矿的聚矿构造条件。具体的控矿构造类型主要火山机构、次火山岩体、岩体接触

带、某些断层裂隙,现所发现较多的是阿尔金断裂系内的东西向断裂和北东向断裂交汇处。

3.3 基性超基性熔浆成矿系统

3.3.1 成矿系统特点

阿尔金山广泛分布有基性超基性岩体,主要分布在红柳沟—安南坝、茫崖—秦布拉克、苏吾什杰—木纳达坂三条带上,其时代主要为加里东期,多数岩体是蛇绿岩带的组成部分。这些基性超基性岩浆活动形成了岩浆熔离型 Cu(Ni、Co)矿床和铬铁矿矿床。目前发现的岩浆熔离型矿床多为矿点或矿化点。如攸苏普雷阿克4号铜矿点、盖勒克萨依铜矿点、加尔乌增沟铜镍矿点、金泉山镍矿化点、红柳沟一带的铬矿点、阿克塞一带的铬矿点等。此外,在超基性岩与蓟县系的接触带常形成玉石矿,如马特克布拉克玉石矿、塔特勒苏大型玉石矿。石棉矿是阿尔金地区主要的矿产资源,有茫崖、安南坝、红柳沟、巴什瓦克等大中型石棉矿和众多小型石棉矿。该成矿系统主要有下列特点:

(1)成矿特点。成矿与蛇绿岩套密切相关,沿深大断裂成带成串分布。一般产在地幔橄榄岩剖面的上部,出现在堆晶杂岩(包括过渡类型的纯橄榄岩相带)之下数百米至1~2 km处,或在上部纯橄榄岩岩相底界面之下0.04~0.5 km范围内的地幔橄榄岩中,即多赋存在斜辉辉橄岩相或该岩与纯橄岩相接触带附近的纯橄榄岩分离体中。也有产在方辉辉橄岩与纯橄榄岩相带接触部位,或在纯橄榄岩相中。矿体所在的地幔橄榄岩上部发育韧性—脆性剪切带,矿体群与岩体具有同褶皱关系。矿石矿物除铬铁矿外,都伴有铂族元素。

(2)地球物理特点。超镁铁质岩具有较强的磁性,在航磁图上反映为板块缝合带(蛇绿岩带)的磁异常带,位于两大磁场区的分界部位,一般以规模宏大的线性升高航磁异常带出现。以超镁铁质岩体为主体产生的单个异常沿走向可达百余千米,一般以正异常为主,负异常伴生在一侧,形态规则。在化极和上延磁场图上也有较清晰的线性异常显示。岩体内各类岩石密度较围岩略高,区域上显示重力高带或梯度带。铬铁矿密度大于超基性岩。二者密度差可达 $(0.70 \sim 1.60) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。在地面物探结果中,铬铁矿体上方显示局部重力高异常。铬铁矿和超基性岩均具有中强磁性,但前者(铬铁矿)磁性相对较弱,在地面磁测时,铬铁矿显示相对低的磁异

常或呈锯齿状跳跃,但当质量集中、埋藏较浅时,铬铁矿往往对应有不同规模和强度的重磁异常,即岩体内低磁、高重力异常。

(3)地球化学特点。具有Cr、Ni、Co、Cu地球化学异常,岩体Cr、Co、Ni、Ti、V、Hg含量明显高于不含矿岩体。岩体的 $m/f > 10$ 。

3.3.2 熔浆成矿动力条件

阿尔金地区加里东期成矿作用的熔浆成矿系统,热动力或能量来自于加里东期阿尔金地区的构造岩浆活动。在基性超基性熔浆成矿系统中,熔浆侵位和演化是在高温熔融状态下,重力作用使不同物质成分发生分异、熔离和相分离,导致矿质集中。晚期的残余岩浆在构造作用下,沿岩体内外的断层裂隙贯入和充填成矿。成矿活动正是在上述热动力的作用下才得以保持运动状态和自组织能力,使矿质从分散无序状态向有序状态演化,从而导致成矿。

4 成矿系统演化

4.1 成矿系统的稳定持续性

阿尔金地区加里东构造变动强烈,从早古生代陆块的扩张洋壳形成,到板块的汇聚和碰撞造山,在晚奥陶世出现拉伸裂谷等,经历了构造“开合”的发展演化。构造体制的转化和强烈变动可能造成流体成矿动力临界状态的出现,导致成矿的发生。但是另一方面,构造的强烈变动,对一种既有的成矿作用持续进行和发展形成大矿也有不利影响。

4.2 成矿系统临界转化

阿尔金加里东成矿系统中成矿过程发生的根本机制就是含矿流体的临界转化。流体中的金属离子在自然系统中的临界沉淀析出,可以有多种环境条件和因素促成。从阿尔金的成矿动力体制分析,主要因素有:

(1)温度、压力的改变。流体在热力驱动下溶解萃取矿质,然后在岩石地层的断裂或岩石孔隙运动,由高温和高压环境发生对流循环或定向运动,在从高温高压循环迁移到另一处的迁移过程中,因环境改变,温度、压力的改变,均可改变流体的矿质溶解度和饱和度临界点。由不饱和态达到临界饱和状态时,导致流体矿质析出,从而在一定的空间范围内沉淀聚集成矿。

(2)氧化还原条件 Eh 改变。含矿流体在岩石

地层的断裂或岩石孔隙中从氧化环境向还原环境迁移,使来自氧化环境的流体的金属离子从流体溶液中被还原析出,从而堆积成矿。

(3)酸碱度 Ph 和岩石化学条件改变。含矿流体从一种环境到另一环境,酸碱度 Ph 和岩石化学条件改变可造成一定区域的金属离子达到析出的临界点,某些岩石的化学成分可构成元素沉淀的地球化学障,如富含铁锰氧化物的岩石地层;碳酸盐岩石与酸性流体中的金属置换被交代析出。

(4)流体特点。在有热流体存在的情况下,流体的成分和岩石有差异时,热流体的矿质可因浓度差异发生扩散和物质交换。

从以上对成矿临界转换、叠加特征分析来看,阿尔金地区区域成矿系统是上述各种界面综合作用的产物,是多种环境、多种因素耦合配准达到一定程度时的临界转换系统。而在成矿的诸多因素中,构造动力体制转换起着主导性作用。

4.3 矿床保存条件的分析

阿尔金左行平移巨型走滑断裂系,规模大,贯通性强,具有长期的活动历史。阿尔金断裂的走滑运动受到青藏高原隆升和挤压作用的影响,其晚近时期的左行走滑造成了其现今的总体构造面貌,对阿尔金地区历史地质建造的现时分布和改造也起着决定作用,表现在:

(1)对加里东构造层的分布有重要制约作用。从深部地球物理构造特征看,阿尔金大型走滑断层和山前断裂作用的发展是消减阿尔金地块的,北缘的加里东构造层首先受到挤压、抬升、剥蚀消减。

(2)对加里东期矿床有重要的改造作用。新构造运动的挤压可能从结构上破坏老成的岩石建造,从组份上改变岩石建造,也包括矿床。一些后期的分散的热液矿化可能与此有关。但是大量事实表明,加里东期的各类矿床大量被保存,有些不同的成因类型矿床深部很有远景。

5 结论

(1)加里东期是金属矿成矿的最主要时期,既有层控型、也有岩控型,构造对成矿的控制也甚为多样。总体上主要有喷流热水沉积成矿子系统,岩浆热液成矿子系统和熔浆成矿子系统,形成了类似块状硫化物型、斑岩型、矽卡岩型、中低温热液交代型、充填石英脉型、岩浆熔离型、变质改造型等多种不同类型的铜、铅、锌、金、银、镍、铁、铬铁矿等矿床矿点 100 余处。虽然尚未发现有重大影响的大型矿

床,但找矿工作值得重视。

(2)阿尔金地区具有较好的喷流热水成矿条件和岩浆热液成矿条件,在奥陶系的火山沉积岩系内有大量的热水沉积岩存在,特别是经研究发现有不少矿床点是火山喷流热水沉积形成的矿床,成矿特征在很多方面可以和北祁连成矿带重要矿床模式对比,因此找矿前景不应忽视,找矿研究应重点加强黄铁矿型、块状硫化物型矿床以及斑岩型矿床的研究。

(3)阿尔金北部的奥陶纪火山沉积岩建造和阿尔金东段的构造收敛区对铜铅锌银等多金属来说最值得重视和研究。

建议进一步重点研究的区域是红柳沟-拉配泉-安南坝加里东构造混杂带,在拉配泉、更新沟、喀拉大湾一线很可能发现白银厂式多金属块状硫化物矿床,在哈布里-苦水河一带寻找寒山、鹰嘴山式金矿床、在红柳沟一带寻找石居里式铜矿床。

参考文献

- [1] 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 1996, 19-20.
- [2] 翟裕生, 彭润民, 王建平, 等. 区域成矿学研究方法指南 [M]. 中国地质大学, 2003, 1-193.
- [3] 翟裕生, 关于构造-流体-成矿作用研究的几个问题[J]. 地学前缘, 1996, 3(4), 230-236.
- [4] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社. 1999, 1-287.
- [5] 翟裕生. 成矿系统的结构框架和模型-中国资源环境科学学术讨论会论文集 [M]. 北京: 科学出版社, 1998, 77-82.
- [6] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1), 13-26.
- [7] 翟裕生, 彭润民, 邓军等. 成矿系统分析与新类型矿床预测[J]. 地学前缘, 2000, 7(1), 123-132.
- [8] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区地质志. 北京: 地质出版社, 1991
- [9] 毛德宝, 王克卓, 赵更新, 等. 阿尔金成矿带地质演化及成矿作用, 地质通报, 2003, 22: 31-38.
- [10] Sobel E R and Arnaud N. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China [J]. Tectonics, 1999, 18(1): 64-74.
- [11] 孙勇, 刘池阳, 车自成. 阿尔金拉配泉地区元古界裂谷火山岩系及其构造意义. 地质论评, 1997, Vol. 43(1): 17-24
- [12] 王小凤, 陈宣华. 阿尔金地区成矿地质条件与远景预测, 地质出版社, 2004, 1-97.
- [13] 陈正乐, 陈宣华, 王小凤, 等. 新疆阿尔金山拉配泉铜矿矿

- 区地质特征及成因初析. 地质力学学报, 2002, Vol. 8(1): 71-78.
- [14] 李学智, 陈柏林, 陈宣华, 等. 大平沟金矿床矿石特征与金的赋存状态. 地质与勘探, Vol. 38(5): 49-53.
- [15] 杨风, 陈柏林, 陈宣华, 等. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因初探[J]. 地质与资源, 2001, 10(3): 136-137.
- [16] 毛德宝, 王克卓, 钟长汀, 等. 阿尔金成矿带主要成矿系列及其地质特征[J]. 地质与勘探, 2003, (5): 1-5.
- [17] 毛德宝, 武永平, 葛桂平, 等. 阿尔金成矿带主要金属矿床地质地球化学特征及成因初探 [J]. 地质调查与研究, 2006, 26(1): 1-10.

Main Metallogenic Systems of the Alayn Metallogenic Belt in Caledonian

ZHAO Geng-xin^{1,2}, MAO De-bao², ZHANG Yan², WANG Jie²,
WANG Ke-zhuo³, NIU Guang-hua²

(1. China University of Geosciences, Beijing, 100083, 2. Tianjin Institute Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China; China; 3. Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumqi 830011, China)

Abstract: Based on the analyses of metallogenic setting in Caledonian, this paper studies on the structure of main metallogenic systems of Alayn metallogenic belt, and deals with in detail the characteristics, dynamical conditions and evolvement of the main metallogenic systems. Three metallogenic systems are defined in the area, including sedimentation exhalation hot water metallogenic system, magmatic hydrothermal metallogenic system and basic-ultrabasic magma liquation metallogenic system. Mineralizations were closely related to plate tectonic cycle of extension-convergence-collision. At the end of this paper, regional potentiality assessment of mineral resources, mineral resource reconnaissance and mineral resource prospecting are suggested.

Key Words: Alayn metallogenic belt; Metallogenic system; Caledonian