

阿尔金成矿带成矿单元划分 及成矿系列探讨

乔耿彪¹, 杨合群¹, 杜玮², 赵晓健¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 阿尔金成矿带地处新疆、青海和甘肃三省的衔接部位, 是我国西部重要的铁、铅、锌、金、铜等矿产资源重点勘查区之一, 也是全国矿产资源潜力评价项目划分的Ⅲ级成矿单元之一。笔者以地层、构造、岩浆岩带和相关的成矿作用为标志, 将阿尔金成矿带进一步划分为 3 个Ⅳ级成矿单元(成矿亚带), 并概述了各Ⅳ级成矿单元的地质矿产特征; 在此基础上, 按照杨合群等(2012)提出的与各类地质建造有关的成矿系列细化为同生成矿系列、准同生成矿系列、后生成矿系列和表生风化成矿系列, 构建了阿尔金成矿带的 11 个成矿系列家族和 16 个成矿(或矿化)系列, 这将对该区域今后的找矿和勘查工作具有一定的指导作用。

关键词: 成矿区带; 成矿系列族; 成矿系列; 阿尔金

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2014)04-0209-12

Discussion on Metallogenic Series and Metallogenic Unit Division in Altun Metallogenic Belt

QIAO Geng-biao¹, YANG He-qun¹, DU Wei², ZHAO Xiao-jian¹

(1. Xi' an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi' an 710054, China; 2. College of Earth Science and Land Resources, Chang' an University, Xi' an 710054, China)

Abstract: Lying in neighboring area of Xinjiang-Qinghai-Gansu provinces, Altun metallogenic belt is one of the key exploration areas for mineral resources in Western China, and is also one of the Level III metallogenic units divided by the national mineral resource potential assessment project. In terms of stratigraphy, tectonics, magmatic belt and the associated mineralization, Altun metallogenic belt is divided into three level IV metallogenic units (metallogenic sub-zones). Furthermore, geology and mineral characteristics of every class IV metallogenic units (metallogenic sub-zones) are summarized. According to the time-space relationship of the mineralization and the geological formation, metallogenic series is refined as syngenetic metallogenic, penecontemporaneous metallogenic, epigenetic metallogenic and superficial weathering metallogenic series. Meanwhile, several metallogenic series of the same geological formation naturally constitute a metallo-

收稿日期: 2014-05-14; 修回日期: 2014-09-16

基金项目: 国家科技支撑计划“西昆仑—帕米尔金属矿产快速勘查评价方法技术研究和找矿靶区优选评价”(2011BAB06B05-02)、国家自然科学基金“西昆仑地槽地槽铁床铬尖晶石矿物学及其成矿机理研究”(41302051)、中国地质调查局“新疆成矿带成矿过程研究与找矿靶区优选评价”(1212011220894)和“昆仑—阿尔金成矿带及整装勘查区矿产勘查部署与潜力调查(12120114008501)”联合资助

作者简介: 乔耿彪(1979-), 男, 高级工程师, 地质学专业, 主要从事成矿规律和矿产预测研究。E-mail: qgbiao@foxmail.com

genic series family. This article discourses the regional metallogenic regularity of the 11 metallogenic series family and 16 metallogenic series in Altun metallogenetic belt, which will guide the prospecting and exploration work in this area in the future.

Key words: metallogenic belts; metallogenic series family; metallogenic series; Altun

成矿单元(又称为成矿区带)是具有较丰富矿产资源及其潜力的成矿地质单元,成矿单元的科学划分是区域成矿规律研究成果的集中体现,也是矿产勘查和预测评价的基础。通常成矿单元按规模划分为5级(徐志刚等,2008):Ⅰ级为全球性的成矿域;Ⅱ级为区域性的成矿省;Ⅲ级为成矿省内较大级别、相对独立的成矿带;Ⅳ级为成矿亚带(或矿带);Ⅴ级为成矿小带(或矿田)。阿尔金成矿带地处新疆、青海及甘肃衔接部位,属古亚洲成矿域,是塔里木成矿省的重要组成部分之一^①,其地质构造复杂,成矿条件优越。该区以往工作程度较低,近年来,随着“新疆358项目”的开展,矿产勘查程度明显提高,相继发现了一系列新的矿床(或矿点),引起广大地质科研和勘查单位的重视。笔者在徐志刚等(2008)发布的中国成矿单元Ⅰ级(成矿域)、Ⅱ级(成矿省)、Ⅲ级(成矿区带)划分方案的基础上,结合董连慧等(2010)对新疆成矿单元划分方案的最新研究成果,对阿尔金成矿带的划分界线进行修正,进一步划分出Ⅳ级成矿亚带,并概要论述各Ⅳ级成矿亚带的地质矿产特征。在上述研究的基础上,笔者以杨合群等(2012)提出的与各类地质建造有关成矿系列细化为同生成矿系列、准同生成矿系列、后生成矿系列和表生风化成矿系列等类别,构建了阿尔金成矿带中各亚带的11个成矿系列家族。由于研究区的地质工作程度还在进一步深化,目前成矿带的划分和成矿系列的研究只是初步的,请读者批评指正,以便后续修改完善。

1 成矿亚带划分及各亚带特征

长期以来,对阿尔金的大地构造属性存在不同认识:一些学者认为它属于南塔里木地块的组成部分,以后活化演变为构造活动带,是塔里木地块东南部的一个断隆,称阿尔金断隆(新疆维吾尔自治区地

质矿产局,1993;何国琦等,1994,2004);另一些学者主张其归属昆仑-祁连-秦岭造山系,特别是任纪舜等(2004)和潘桂堂等(2006)认为现今阿尔金山出露的前震旦纪变质岩并不是塔里木地台的基底岩系,而是强烈卷入加里东造山作用的阿尔金造山带的根部,其与祁连弧盆系关系更为密切。不过根据阿尔金山造山带与南塔里木地块区域航磁异常的协调一致性以及阿尔金与铁克里克新太古宙—古元古代岩石类型和变质程度相似的特点分析,阿尔金很可能属于南塔里木地块的组成部分,以后活化演变为陆缘构造活动带(伍跃中等,2007,2008)。在新一轮的西北地区成矿规律研究方案中,将阿尔金成矿带划归塔里木成矿省。

根据全国潜力评价项目^①,阿尔金成矿带编号为Ⅲ-19,全称为“阿尔金(陆缘地块)Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Ni-V-Ti-Cr-RM-REE-石棉-玉石-白云母-白云岩-石英岩-盐类成矿带(A_n-E;P_{z1};C)”,该带呈北东走向,长580 km,宽40~100 km,与阿尔金山造山带在空间上相互一致,地处塔里木地块东南缘,其南以阿尔金山南缘断裂带与昆仑造山带和柴达木地块毗连。该带矿产以铁、铅、锌、金、铜、多金属、铬、石棉、玉石为主,是我国最大的石棉矿带和新疆和田玉主要产地。此外,还有与花岗伟晶岩有关的白云母、稀有金属矿等。根据含矿建造、矿床类型、矿石组合和区域分布等特征(谭文娟等,2012;姜寒冰等,2012),该成矿带可分出3个Ⅳ级矿带,由北向南按顺序编号为Ⅳ-19①、Ⅳ-19②和Ⅳ-19③(图1,表1)。

1.1 Ⅳ-19① 红柳沟-喀腊大湾成矿亚带

该带全称“红柳沟-喀腊大湾(裂陷槽)Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Cr-REE-Ag-白云母-昆仑玉-盐类矿带”,位于阿尔金山北部,呈东西走向,长200 km,宽10~30 km。红柳沟—安南坝一带分布着蓟县系及青白口系变质碳酸盐岩-碎屑岩建造,奥陶系拉配泉群为裂谷型双峰式火山岩建造。该火山岩建造从碱性

① 中国地质调查局西安地质调查中心、西北地区重要矿产区域成矿规律研究报告,2013。

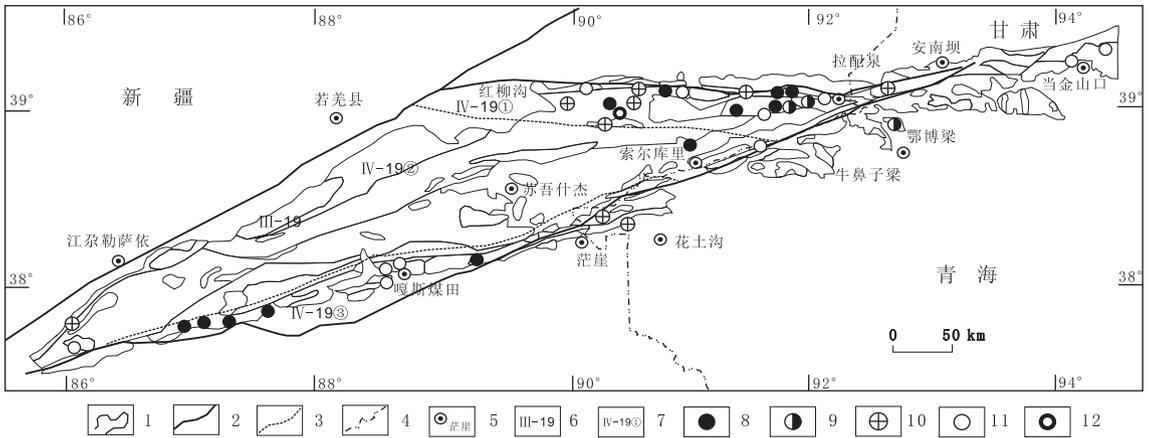


图 1 阿尔金地区成矿带划分示意图

Fig.1 Map of metallogenic belts division in Alkin Mountains

1. 地质界线; 2. III级成矿带界线; 3. IV级成矿带界线; 4. 省界; 5. 地名; 6. III级成矿带编号; 7. IV级成矿带编号; 8. 铁矿床或矿点; 9. 铅锌矿床或矿点; 10. 金矿床或矿点; 11. 铜矿床或矿点; 12. 镍矿床

系列的高铝玄武岩到流纹岩, 呈现出由钙碱系列向碱性系列演化的特征, 为裂谷阶段产物^①。该区侵入岩多为加里东期、华力西中期形成的岩基状花岗岩类。区域断裂构造十分发育, 蛇绿岩呈岩片、岩块产出, 形成较大的蛇绿混杂岩带。

表 1 阿尔金成矿带中亚带划分一览表

Tab.1 Division of metallogenic belts in Alkin

III级: 成矿带	IV级: 成矿亚带
III-19 阿尔金(陆缘地块) Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Ni-V-Ti-Cr-RM-REE-石棉-玉石-白云母-白云岩-石英岩-盐类成矿带 (An—E; P _{Z1} ; C)	IV-19① 红柳沟-喀腊大湾(裂陷槽) Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Cr-REE-Ag-白云母-昆仑玉-盐类矿带 (P _{Z1} ; C; Q)
	IV-19② 阿尔金(陆缘地块) Fe-Au-RM-石棉-玉石-白云母-白云岩-石英岩-石膏矿带 (An—E; P _{Z1})
	IV-19③ 迪木那里克-苏巴里克(裂陷槽) Fe-Cu-Ni-V-Ti-石棉-煤-硫铁矿矿带 (P _{Z1} ; C; J; Q)

矿产以铁、铅、锌、铜、金、铬为主, 其次为稀有金属、银矿等。带内已发现铁矿产地 11 处, 其中中型矿床 4 处(英格布拉克、白尖山、塔什及喀腊大湾等), 小型矿床 2 处(彩石沟、拉配泉铁矿), 主要铁矿化类型为与中下寒武统火山-沉积变质岩系有关的铁、多金属矿化; 金矿主要为破碎蚀变岩型, 有大平沟、祥云、盘龙沟等(毛德宝等, 2006); 铅锌矿有火山成因块状硫化物型(喀腊达坂铅锌矿)(刘兵等, 2012)和海相火山-热液型(拉配泉、齐勒萨依)(陈正乐, 2002); 铬矿产于蛇绿岩底部超镁铁岩中, 分布在

红柳沟等地; 铜矿有斑岩型。例如, 索拉克铜金矿。近年来, 还在红柳沟附近发现了贝壳滩镍矿, 具有中型矿床规模。

1.2 IV-19② 阿尔金成矿亚带

该带全称“阿尔金(陆缘地块) Fe-Au-RM-石棉-玉石-白云母-白云岩-石英岩-石膏矿带”, 位于阿尔金山主体部位, 构造上属阿尔金陆缘地块, 为前寒武系基底出露区, 地质构造十分复杂。岩石地层发育情况: 上太古宇榴辉岩带和灰色片麻岩系分布在江孜勒萨依-喀拉恰勒一带; 下元古界为片岩、片麻岩夹变质沉积岩; 长城-蓟县系为基性火山岩夹沉积岩; 青白口系为碎屑岩-碳酸盐岩建造。侵入岩较发育, 包括太古宙—古元古代的片麻状花岗岩、混合花岗岩、中新元古代至加里东期的花岗岩类。带内矿产以铁、金、石棉、玉石矿为主, 并有稀有金属及白云母等。

1.3 IV-19③ 迪木那里克-苏巴里克成矿亚带

该带全称“迪木那里克-苏巴里克(裂陷槽) Fe-Cu-Ni-V-Ti-石棉-煤-硫铁矿矿带”, 位于阿尔金地块东南缘, 呈北东东走向, 长 550 km(从新疆延入青海), 宽 10~30 km, 受阿尔金断裂控制。地层以奥陶系为主, 还有中上元古界及侏罗系。蛇绿混杂岩由强烈蛇纹石化纯橄榄岩、方辉橄榄岩、超镁铁质、镁铁质堆晶岩和辉绿岩墙群组成。侵入岩有中新元古代、加里东期和华力西中晚期的花岗岩类。

① 中国地质调查局西安地质调查中心. 西北地区重要矿产区域成矿规律研究报告, 2013.

矿产以铁、铜、金、石棉矿为主,是我国最大的石棉矿带和新疆重要的铁矿带。已发现铁产地7处,其中大型矿床2处,小型矿床5处,是新疆铁矿的重要富集区之一。主要铁矿化类型有与震旦—寒武纪沉积变质作用有关铁矿化(迪木那里克、苏巴里克、河肃、玉岭、阿其克河等5处铁矿床);与铁质基性-超基性岩有关的钒钛磁铁矿床(长清铁矿)及与早—中侏罗世含煤建造有关菱铁矿(艾西菱铁矿点);该带的石棉矿沿蛇绿岩分布,有依吞布拉克、阿帕等大中型矿床。此外,还分布有金、铜、镍、钒、钛等矿产资源。

2 成矿系列的划分

中国地质学家程裕淇等(1979,1983)和陈毓川等(2006)提出矿床成矿系列的概念,是指在一定的地质构造单元和一定的地质历史发展阶段内,与一定的地质成矿作用有关,在不同成矿阶段(期)和不同地质构造部位形成的不同矿种和不同类型,但具有成因联系的一组矿床的自然组合。王世称等(1994)在成矿系列的亚类划分中提出同生成矿系列和后生成矿系列;同时将成矿系列扩充为矿化系列,指在某一成矿作用下,形成于一定地质环境中的所有有益元素的聚集地段,故包含成矿系列。

杨合群等(2003,2012)研究深化了成矿系列与地质建造关系,将前人建立的矿床成矿系列中表述的“×××地区×××时代×××建造或地质作用有关×××成矿系列”命名中的“有关”二字,细化为“同生”、“准同生”、“后生”、“表生风化”,于是将与各类地质建造有关成矿系列细化为同生成矿系列、准同生成矿系列、后生成矿系列、表生风化成矿系列等类别,并提出同一套地质建造有关的几个世代的成矿系列自然地构成一个成矿系列家族(简称成矿系列族)。笔者重点参考杨合群研究员的观点,充分消化吸收前人成果资料,总结提出阿尔金成矿带成矿系列划分方案,并进行概括论述。

本次对阿尔金成矿带矿床成矿系列命名的方法是“Ⅲ级成矿区带名称+某时代的成矿建造或含矿建造+矿种(金属元素符号,非金属中文名称)”,成矿系列编号方法采用“Ⅲ级成矿区带编号+时代代号+序号”。其优点是一个Ⅲ级成矿区带某时代矿床成矿系列与其他Ⅲ级成矿区带某同时代矿床成矿

系列编号独立,很容易增加新厘定的矿床成矿系列。按照这一方法初步将阿尔金成矿带划分为11个成矿系列族,并进一步划分为16个成矿(或矿化)系列(表2)。

3 对各成矿系列家族的讨论

3.1 Ⅲ-19Ar-1 太古宙深变质结晶岩系有关的金成矿系列家族

目前,该成矿系列家族仅划分出太古宙深变质结晶岩系后生金成矿系列(大平沟式金矿)。

太古宙深变质结晶岩系达格拉格布拉克群(Ardg)主要岩性为褐灰-褐红色变粒岩、灰绿色变粒岩夹片岩、灰绿色片岩夹变粒岩,其中褐红色钾长变粒岩是含金韧性剪切带和金矿体的直接围岩,大平沟金矿就产于其中。目前,在已发现的5条含金破碎蚀变带中共圈定了14条金矿体,矿体多呈条带状、透镜状,倾向 $190^{\circ}\sim 200^{\circ}$,倾角较陡。金矿体有破碎蚀变岩型、石英脉或石英钾长石脉型2种类型,矿体平均品位为 4.16×10^{-6} ,品位变化不均匀。经研究认为,大平沟金矿床的成矿物质主要来自于新太古宙变质岩-钾长变粒岩,成矿流体以变质水(动力变质)来源为主,有少量重熔岩浆水和大气降水的混入,成矿温度为 $198\sim 290^{\circ}\text{C}$ (陈柏林等,2005)。金矿中含石英脉的石英流体包裹体Rb-Sr等时线年龄测定的矿化年龄为 $(487\pm 21)\text{Ma}$,表明成矿作用可能发生在加里东中期,属早奥陶世(杨屹,2003)。因此,大平沟金矿床属于与新太古宙深变质岩有关,受近东西向韧性剪切构造带控制的、以动力变质热液为主的中低温热液型矿床,属后生金成矿系列。

3.2 Ⅲ-19Pt₂-2 中元古代沉积变质岩系有关的金-铜-银-玉石成矿系列家族

该成矿系列家族划分出与中元古代沉积变质岩系后生铜-银-金成矿系列(祥云金矿床、索尔库里北山铜银矿)和后生玉石成矿系列(库如克萨依玉矿)。

祥云金矿产于中元古代长城系巴什库尔干群不纯大理岩-浅变质细碎屑岩中,呈破碎蚀变岩型。矿区岩浆活动不发育,仅在外围见少量的基性-超基性岩体和石英闪长岩体。控制金矿体长度1880m,平均厚度为6.19m,Au平均品位为 $1.2\times 10^{-6}\sim 7.2\times 10^{-6}$ 。矿石矿物组成较为简单,主要金属矿物

有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、辉锑矿,局部含少量方铅矿。通过研究认为祥云金矿属加里东中晚期形成的

金矿床(毛德宝等,2006b),矿石中 As、Sb 低温元素含量很高,有辉锑矿脉,显示低温热液成矿特征。

表 2 阿尔金成矿带(Ⅲ-19)地质建造的成矿系列家族表

Tab. 2 The metallogenic series family of geological formation in Alkin Metallogenic Belt(Ⅲ-19)

成矿系列家族	成矿系列	矿床式	矿床实例	参考资料
Ⅲ-19Ar-1 太古宙深变质结晶岩系有关的金成矿系列家族	Ⅲ-19Ar-1a 太古宙深变质结晶岩系后生成矿系列	大平沟式金矿床	大平沟金矿床、大平沟西金矿点	陈柏林等,2005; 杨屹,2003
	Ⅲ-19Pt ₂ -2 中元古代沉积变质岩系有关的金-铜-银-玉石成矿系列家族	祥云式金矿床	祥云金矿、盘龙沟金矿、索尔库里北山铜银矿点 库如克萨依玉矿、马特克布拉克玉石矿、塔特勒苏玉石矿	毛德宝等,2006; 陈柏林等,2003; 周显川等,2012
Ⅲ-19Pt ₃ Pz ₁ -3 震旦-寒武纪火山-沉积变质岩系有关的铁成矿系列家族	Ⅲ-19Pt ₃ Pz ₁ -3a 震旦-寒武纪火山-沉积变质岩系同生铁成矿系列	迪木那里克式铁矿	迪木那里克铁矿、玉岭铁矿、河肃铁矿、苏巴里克铁矿、阿其克河铁矿、里维齐明铁矿	丁海波等,2013; 杨文强等,2012; 刘艳宾等,2011; 王哲等,2011
Ⅲ-19Pz ₁ -4 寒武纪火山-沉积变质岩系有关的铁-铜-铅-锌成矿系列家族	Ⅲ-19Pz ₁ -4a 寒武纪火山-沉积变质岩系同生铁成矿系列	英格布拉克式铁矿	英格布拉克铁矿(也称白尖山铁矿)、塔什铁矿、88 铁矿、喀腊大湾铁矿	万国等,2011; 陈柏林等,2009; 王成等,2012
	Ⅲ-19Pz ₁ -4b 寒武纪火山-沉积变质岩系同生铅-锌-铜成矿系列	喀腊达坂式铅锌铜矿	喀腊达坂铅锌铜矿、泉东铅锌矿点、喀腊大湾西铅锌矿床、喀腊大湾铜铅锌矿	刘兵等,2012; 马玉周等,2012
Ⅲ-19Pz ₁ -5 奥陶纪火山-沉积岩系有关的铁-铜-铅-锌成矿系列家族	Ⅲ-19Pz ₁ -5a 奥陶纪火山-沉积岩系同生铁成矿系列	彩石沟式铁矿	彩石沟铁矿	王成等,2012
	Ⅲ-19Pz ₁ -5b 奥陶纪火山-沉积岩系后生铜-铅-锌成矿系列	齐勒萨依式铅锌矿	齐勒萨依铅锌铜矿、拉配泉铅锌矿	陈正乐,2002
		拉配泉式铜矿	拉配泉铜矿	
Ⅲ-19Pz ₁ -6 加里东期中基性(次)火山岩有关的金-铜成矿系列家族	Ⅲ-19Pz ₁ -6a 加里东期中基性火山岩准同生成矿系列	采石沟式金矿	采石沟金矿	毛德宝等,2006a
	Ⅲ-19Pz ₁ -6b 加里东期中基性(次)火山岩后生铜-金成矿系列	索拉克式铜金矿	索拉克铜金矿	毛德宝等,2006b
Ⅲ-19Pz ₁ -7 加里东期铁质基性-超基性岩有关的铁-钒-钛-镍-铜成矿系列家族	Ⅲ-19Pz ₁ -7a 加里东期铁质基性-超基性岩同生铁-钒-钛-镍-铜成矿系列	长清式铁矿	长清铁矿	邓广弘等,2010
		贝壳滩式镍矿	贝壳滩镍矿、攸加尕尔乌增沟铜镍矿点、金泉山镍矿化点、牛鼻子梁铜镍矿(青)	赵更新等,2007; 申大利等,2011
Ⅲ-19Pz ₁ -8 加里东期镁质基性-超基性岩有关的铬-石棉成矿系列家族	Ⅲ-19Pz ₁ -8a 加里东期镁质基性-超基性岩同生铬矿化系列		红柳沟一带的铬矿点、阿克塞一带的铬矿点、安南坝、小江格沙依等铬矿点	赵更新等,2007
	Ⅲ-19Pz ₁ -8b 加里东期镁质基性-超基性岩后生石棉成矿系列	依吞布拉克式石棉矿	依吞布拉克石棉矿、阿帕、茫崖、安南坝、红柳沟、巴什瓦克等石棉矿	范永源,1995
Ⅲ-19 Pz ₂ -9 华力西期中酸性岩有关铜-金-银-铅成矿系列家族	Ⅲ-19 Pz ₂ -9a 华力西期中酸性岩准同生银-铅成矿系列	阿北式银铅矿	阿北式银铅矿	马玉周等,2011
	Ⅲ-19 Pz ₂ -9b 华力西期中酸性岩后生铜-金-银矿化系列		碎岩山东铜银矿点 柴水沟金银矿点	毛德宝等,2003
Ⅲ-19Mz-10 印支期中酸性岩有关的铜-铅-锌多金属成矿系列家族	Ⅲ-19Mz-10a 印支期中酸性岩准同生铜-铅-锌矿化系列		雁丹图铅锌矿点 黄矿山铜铅锌矿点	毛德宝等,2003
			嘎斯煤田 艾西菱铁矿	
Ⅲ-19Mz-11 侏罗纪沉积岩系有关的煤-铁成矿系列家族	Ⅲ-19Mz-11a 侏罗纪沉积岩系同生煤-铁成矿系列			

索尔库里北山铜银矿的含矿地层为蓟县系金雁山组厚度不等的灰岩层,其中,中层灰岩是铜银矿床的直接赋矿层位。该区断裂构造极为发育,推覆构造面转折处上盘发育的次级断裂是主要的赋矿构造,矿化带和铜银矿体的形态、产状、分布和规模均严格受赋矿构造的控制。该矿点成因属于受推覆构造上盘次级断裂控制的热液型矿床(陈柏林等,2003)。

阿尔金山分布有众多的玉石矿点,玉石矿区围岩主要为中元古界长城系和蓟县系的镁质大理岩,在大理岩与晚期酸性-基性-超基性侵入岩的接触带发育大量的玉石矿床,主要成矿时期为的华力西期,形成后生玉石成矿系列,主要的矿点有库如克萨依玉矿(周显川等,2012)、马特克布拉克玉石矿和塔特勒苏玉石矿等。

3.3 Ⅲ-19Pt₃Pz₁-3 震旦—寒武纪火山-沉积变质岩系有关的铁成矿系列家族

该成矿系列家族目前仅划分出与震旦—寒武纪火山-沉积变质岩系同生铁成矿系列(迪木那里克式铁矿)。

迪木那里克铁矿的赋矿地层前人有不同认识:

①早期的区域地质调查划为早古生代岩片,属南阿尔金蛇绿构造混杂岩带地层的重要组成部分。②丁海波等(2013)在从事矿产调查评价项目中确定为奥陶纪祁漫塔格群。③杨文强等(2012)在对矿区赋矿地层中火山角砾岩的 U-Pb 测年结果显示,赋矿地层与铁矿床形成时代介于 500~623 Ma,属震旦—寒武纪。笔者认为该矿的赋矿地层应为震旦—寒武纪形成的一套浅变质的碎屑岩、泥质岩及少量火山岩,铁矿主要产于千枚岩、粉砂岩、泥质千枚岩中,矿体多呈似层状、条带状产出,与地层产状基本一致,层控作用比较明显,矿体塑性变形较强。铁矿石主要为条带状石英-磁铁矿和块状磁铁矿矿石;矿石品位较低,TFe 品位为 20%~40%,围岩蚀变特征明显。近年钻探工程揭露该套地层下部发育大套基性火山岩(熔结角砾岩),与铁矿形成有一定关系。该磁铁矿和围岩是在浅海相沉积环境中形成的,成矿物质有陆源及海底火山物质,成因类型为浅海相的(火山)沉积变质型铁矿。类似的铁矿还有玉岭铁矿、河肃铁矿、苏巴里克铁矿(刘艳宾等,2011)、阿其克河铁矿(王哲等,2011)、里维齐明铁矿等(丁海波等,2013)。

3.4 Ⅲ-19Pz₁-4 寒武纪火山-沉积变质岩系有关的铁-铜-铅-锌成矿系列家族

该成矿系列家族进一步划分出与寒武纪火山-沉积变质岩系同生铁成矿系列(英格布拉克式铁矿)和同生铅-锌-铜成矿系列(喀腊达坂式铅锌铜矿)。

中下寒武统喀腊大湾组($\in_{1-2}k$)是一套次火山岩-碳酸盐岩建造,可分为 2 个岩性段,第一岩性段岩性为绿泥石石英片岩、云母石英片岩、凝灰岩,同时发育较多同期霏细岩、英安岩等次火山岩;第二岩性段为大理岩和白云质大理岩(刘兵等,2012)。英格布拉克铁矿(也称白尖山铁矿)就产于第一岩性段中,目前,圈定 15 条铁矿体,矿体长约 50~800 m,平均厚为 4.2~16.46 m,延深 125~400 m;TFe 平均品位为 29.74%~36.95%,MFe 平均品位为 15.17%~27.29%。铁矿体呈较稳定层状、似层状或透镜状断续产出,受白尖山向斜控制,北部矿体多向南陡倾,南部矿体多向北陡倾。赋矿母岩为磁铁硅质岩、磁铁硅质板岩和含磁铁千枚岩,形成较典型的 BIF 建造(万阔等,2011)。该铁矿形成过程中,中下寒武统喀腊大湾组中海相火山喷发-沉积形成的火山岩夹碳酸岩提供了成矿初始物质来源,随后发生的低绿片岩相区域变质作用使含铁物质进一步聚集并最终成矿。因此,其成因类型属海相火山-沉积变质型铁矿床。类似矿床还有塔什铁矿(陈柏林等,2009)、88 铁矿(王成等,2012)和喀腊大湾铁矿等。

喀腊达坂铅锌铜矿的赋矿地层也为中下寒武统喀腊大湾组($\in_{1-2}k$)火山-沉积变质岩系。目前已发现 30 个铅锌铜矿带,91 条矿体。主矿体长约 1 100 m,控制最大斜深约 700 m。矿体产状与地层一致,走向近东西,倾向北北东,倾角 35°~67°,部分矿体沿走向、倾向具有尖灭再现、膨胀收缩、分支复合的分布特征。矿体主要产于变质霏细岩和绿泥石石英片岩的接触带附近,变质霏细岩内以块状铅锌矿石为主,绿泥石石英片岩内以稀疏网脉状锌矿石为主,伴生少量的铜、铅。综合研究认为,由中酸性向中基性火山岩喷发转变过程中的间歇式喷发阶段是区内最有利的成矿时期,主要成因类型为火山成因的块状硫化物型铅锌矿。

3.5 Ⅲ-19Pz₁-5 奥陶纪火山-沉积岩系有关的铁-铜-铅-锌成矿系列家族

该成矿系列家族进一步划分出与奥陶纪火山-沉积岩系同生铁成矿系列(彩石沟式铁矿)和后生

铜-铅-锌成矿系列(拉配泉式铜矿、齐勒萨依式铅锌铜矿)。

彩石沟铁矿位于阿尔金北缘沟口泉地区,为2008年发现的小型铁矿床。矿区出露地层主要为奥陶系拉配泉群碎屑岩组,总体岩性为泥质粉砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩、砾岩、含砾砂岩,夹少量硅质岩、灰岩、凝灰岩、玄武安山质火山熔岩等,下部以砾岩、含砾砂岩等粗碎屑岩为主,上部以细碎屑岩为主,夹硅质岩。铁矿层即产于硅质岩中,形成含铁硅质岩建造,铁矿层、含铁硅质岩、硅质岩呈中薄层状互层产出,局部地段铁矿层较为富集,但仍夹有少量薄层硅质岩夹层。矿石类型主要为磁铁矿石,地表见铁矿石未氧化,主要为原生矿石,产出特征表现为纹层状矿石。在野外矿石以明显深黑色与顶底板硅质围岩分开,界线清晰,两者呈突变关系。通过分析该矿床地质和物性特征,结合已有铁矿床进行对比研究,认为彩石沟铁矿为阿尔金白尖山铁矿带西延,均为沉积型铁矿床(王成等,2012)。

齐勒萨依铅锌铜矿床位于拉配泉一带,矿区地层存在奥陶系祁曼塔格群和奥陶系拉配泉群之争,笔者认同后者。齐勒萨依铅锌铜矿床产于奥陶纪拉配泉群白云岩之裂隙中,部分裂隙为含铜裂隙具有较强动力变质作用,矿石主要为裂隙充填含铜白云岩脉、方解石脉及各类蚀变岩如云英岩、次生石英岩、长英质糜棱岩等,产状 $180^{\circ}\sim 200^{\circ}\angle 70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。该矿床的成矿特征具有矿源活化再造成因的热液脉型,初步认为其成因类型为海相火山热液型。

拉配泉铜矿位于阿尔金山北缘的拉配泉一带,主要赋矿地层为奥陶系拉配泉群碎屑岩夹碳酸盐岩和一套碳酸盐岩-白云岩建造。铜矿化主要受控于主干裂隙,在主干裂隙间的白云岩中派生小裂隙,普遍具有铜矿化,矿石类型为裂隙充填型的含铜石英脉。含铜石英脉具碎裂结构、角砾结构、块状构造。矿石矿物主要为孔雀石、黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿和斑铜矿等,呈脉状、薄膜状、星点状、团块状分布在石英脉裂隙中,铜含量最高为2.3%。拉配泉铜矿化可能是在区域早期海底火山喷流-块状硫化物原始堆积的基础上,由于后期阿尔金北缘断裂和拉配泉断裂带的强烈活动导致了原生铜矿化体的搬运,并在有利的构造部位,如阿尔金北缘断裂与拉配泉断裂之间不同方向断裂的复合部位,东西向拉配泉断裂的分支断裂与主断裂的汇合部位等,而富集成

矿的,主要成因类型为海相火山喷流-热液脉型铜矿(陈正乐等,2002)。

3.6 III-19Pz₁-6 加里东期中基性(次)火山岩有关的金-铜成矿系列家族

该成矿系列家族进一步划分出与加里东期中基性火山岩准同生金成矿系列(采石沟式金矿)和次火山岩后生金-铜成矿系列(索拉克式铜金矿)。

采石沟金矿位于阿尔金南缘青海省茫崖—花土沟之间,矿床产于奥陶—志留纪滩间山群(OST)火山岩中,主要地层为一套中基性火山岩,其岩性下部为千枚岩、砂质板岩夹薄层状板岩;中部凝灰岩、凝灰熔岩;上部为凝灰岩夹白云质灰岩。岩浆侵入岩体为加里东期的闪长玢岩、花岗闪长岩和华力西期的钾长花岗岩。矿区内除发育区域性的北东东向断裂外,还发育环状断裂和放射性断裂。金矿床主要受潜火山岩体外围的环状断裂控制。目前,已圈出的矿体有9个,矿体长60~750 m,厚0.4~3.35 m,主要硫化物呈石英细脉和浸染状产出,主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和镜铁矿等,Au平均品位为 $1.97\times 10^{-6}\sim 7.17\times 10^{-6}$ (毛德宝等,2006a)。该矿的主要成因类型为岩浆期后热液型金矿。

索拉克铜金矿矿区出露地层主要为奥陶系火山熔岩、紫红色碧玉岩、熔结火山碎屑岩及火山碎屑岩等,局部出现次火山岩。侵入岩有加里东期闪长玢岩、石英闪长岩、石英闪长玢岩和正长斑岩。石英闪长玢岩体长大于1 km,宽180 m,与奥陶系火山沉积岩呈侵入接触。矿体产在石英闪长玢岩中,受岩体内部断裂裂隙构造控制,地表发育青磐岩化、硅化、铜矿化、黄铁矿化。目前,控制矿体长300~600 m,宽5~60 m,Cu品位为 $0.12\times 10^{-2}\sim 0.42\times 10^{-2}$ 。矿体呈石英-黄铜矿细脉、网脉或浸染状矿化产出,石英脉宽2~8 cm。主要金属矿物见黄铁矿、黄铜矿,见少量斑铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿,氧化矿物孔雀石、褐铁矿、黄铁钾矾常见。矿化与围岩蚀变密切相关,有绿泥石化、黑云母化、碳酸盐化、硅化、黄铁矿化等。矿床成因类型为中低温热液蚀变型(斑岩型)矿床(毛德宝等,2006b)。

3.7 III-19Pz₁-7 加里东期铁质基性-超基性岩有关的铁-钒-钛-镍-铜成矿系列家族

该成矿系列家族进一步划分出与加里东期铁质基性-超基性岩同生铁-钒-钛成矿系列(长清式铁矿)

和同生镍-铜成矿系列(贝壳滩镍矿)。

长清铁矿位于阿尔金南缘构造带的中西部,矿区出露地层主要有古元古代阿尔金岩群中深变质岩系;新元古代青白口纪碎屑岩-碳酸盐岩建造;侵入岩主要为早古生代(有多个 $460 \pm \text{Ma}$ 锆石同位素测年结果^①)基性-超基性岩。磁铁矿体主要赋存于长沙沟-清水泉基性-超基性杂岩体的中段,其分布范围受超镁铁质岩的控制。磁铁矿体多为露天矿体,呈透镜状。含矿岩石包括灰绿色、灰黑色蛇纹石化辉橄岩、纯橄岩、辉绿岩和辉长岩,其中以辉橄岩为主。主要矿石矿物为磁铁矿,部分为钒磁铁矿和钛铁矿。综合研究认为,长清铁矿所处阿尔金南缘裂陷槽的断裂系规模巨大,岩浆活动强烈而频繁,岩浆作用具多期次、多类型的特点,活动性深断裂构造与富含矿质的岩浆为成矿提供了热源及丰富的物质来源,在构造活动相对稳定时期侵入表层的岩浆得以充分分异,使有用组分相对富集,通过岩浆晚期结晶分异作用使富含铁、钒、钛等物质的残余岩浆冷凝而形成矿床,其主要成因类型为与铁质基性-超基性岩同生的钒钛磁铁矿床(邓广弘等,2010)。

贝壳滩镍矿是近年新发现的中型镍矿,主要分布在阿尔金北缘西段红柳沟一带的基性超-基性岩带上,其时代主要为加里东期。其中铁质基性-超基性岩浆活动形成了岩浆熔离型镍(铜、钴)矿。目前发现的贝壳滩镍矿是规模较大的一个,另外还有许多矿点或矿化点,如攸加尔乌增沟铜镍矿点、金泉山镍矿化点等(赵更新等,2007;申大利等,2011)。

3.8 III-19Pz₁-8 加里东期镁质基性-超基性岩有关的铬-石棉成矿系列家族

该成矿系列家族进一步划分出与加里东期镁质基性-超基性岩共生 Cr 矿化系列(红柳沟铬矿点)和后生石棉成矿系列(依吞布拉克式石棉矿)。

阿尔金北缘地区红柳沟—拉配泉—安南坝一带广泛分布有加里东期形成的基性-超基性侵入岩,其主要岩性包括蛇纹石化橄橄榄岩、方辉橄橄榄岩、纯橄岩、蛇纹岩、二辉橄橄榄岩、辉石岩和辉长岩等。铬铁矿与镁质基性-超基性岩有很强的成矿专属性,目前在该带已发现红柳沟、安南坝、小江格沙依等铬矿点(赵更新等,2007),其成因应属岩浆熔离型,但较大规模的铬铁矿床还没有发现。

依吞布拉克超基性岩体群位于阿帕-茫崖超基性岩带的东段,在大地构造位置上属阿尔金古陆缘活动带南侧。该超基性岩体群是阿尔金蛇绿岩套下部以斜辉橄橄榄岩、斜辉辉橄岩和纯橄岩为主组成的似层状超基性岩。这一岩石组合对于纤蛇纹石石棉、滑石、菱镁矿、玉石等矿种具有一定的成矿专属性。依吞布拉克石棉矿超基性岩体群的围岩以下奥陶统浅变质岩为主。石棉产于超基性岩体内,岩体外未见棉脉,故石棉是超基性岩蛇纹石化的产物,成矿物质来源于超基性岩,虽在蛇纹石化过程中水的加入导致成分的部分改变,但基本的物质归属幔源。石棉成矿期不是在加里东期大洋环境的超基性岩体侵入和初期蛇纹石化阶段,其只能在华力西早期末至燕山期,此时超基性岩体位于大陆环境并有一定埋深才符合其成矿环境(范永源,1995)。因此,该石棉矿属与加里东期镁质基性-超基性岩后生的石棉成矿系列,类似的矿床还有阿帕、茫崖、安南坝、红柳沟、巴什瓦克等大中型石棉矿和许多小型石棉矿。

3.9 III-19Pz₂-9 华力西期中酸性岩有关的铜-金-银-铅成矿系列家族

该成矿系列家族进一步划分出与华力西期中酸性岩准同生银-铅成矿系列(阿北式银铅矿)和后生铜-金-银矿化系列(碎岩山东铜银矿点、柴水沟金银矿点)。

阿北银铅矿矿区岩浆岩主要为二长花岗岩,有少量斜长花岗岩和辉长辉绿岩分布。二长花岗岩出露于矿区中部,为矿(化)体直接围岩,主要由褐色、褐红色细粒二长花岗岩组成。岩体形态为不规则“长条状”产出,东西向未圈闭,面积 0.7 km^2 ,倾向北,沿外接触带岩石具热接触变质,有褐铁矿化显示。阿北银铅矿体主要分布于二长花岗岩体中,空间分布受南东向、近东西向断裂裂隙控制,矿体呈脉状、透镜状和带状产出,按矿体分布范围、空间展布特点圈定 2 个矿化带。综合研究认为,阿北银铅矿床为受断裂裂隙控制、与石炭纪中酸性岩浆活动准同生的岩浆热液型矿床(马玉周等,2011)。

碎岩山东铜银矿位于阿尔金山南缘,矿区含矿地层是片理化的钙质粉砂岩、结晶灰岩夹绢云绿泥片岩,容矿围岩主要是中厚层的结晶灰岩。矿体沿地层层面产出,在地层层面与断层的交汇部位或褶

① 中国地质调查局西安地质调查中心、昆仑—阿尔金成矿带基础地质综合研究报告,2012.

皱的核部矿体变厚、变富。矿石矿物主要是银黝铜矿、硫砷铜矿、黄铁矿,可见少量的闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、赤铜矿、辉钼矿、辉铋矿等。围岩蚀变有黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化和钾长石化等。矿石Cu品位一般为2.6%,最高为23.41%;Ag品位一般为 50×10^{-6} ,最高为 $1\ 385 \times 10^{-6}$ 。该矿床的形成与华力西期钾质花岗岩有关,具有高硫型浅成低温热液矿床的特征(毛德宝等,2003)。

柴水沟金银矿床产于奥陶系辉绿岩与中基性火山沉积岩的接触带,受近东西向的断裂构造控制,蚀变带北西部大面积分布着华力西期的钾质花岗岩体。矿化蚀变带长1 200 m,宽2~5 m,主要产于基性火山-沉积岩中,部分位于钾质花岗岩中,发育硅化、钾长石化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、重晶石化和绢云母化等。矿化石英脉呈透镜状断续分布在蚀变带中,石英脉中的金属矿化最好,品位最高。金属矿物主要为方铅矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿,少量为辉银矿、自然金;脉石矿物为石英、绿泥石、钾长石、石膏、重晶石、高岭土等。该矿床的形成与华力西期钾质花岗岩有关,具有浅成低温热液脉型成矿特征(毛德宝等,2003)。

3.10 III-19Mz-10 印支期中酸性岩有关的铜-铅-锌多金属成矿系列家族

该成矿系列家族仅划分出与印支期中酸性岩准同生铜-铅-锌矿化系列(雁丹图铅锌矿点、黄矿山铜铅锌矿点)。

雁丹图铅锌矿点位于阿尔金山东段北坡,区内出露地层主要为长城系中厚层状含透辉大理岩与薄层状白云石英片岩互层。侵入岩见前寒武纪片麻状花岗质脉岩、变质基性岩脉和印支期二长花岗岩。铅锌矿脉的围岩为含透辉大理岩及白云石英片岩,特别在两岩层接触面中的张扭性结构面内,矿脉分布尤为密集,脉体斜列分布,总体呈向北西突起的南北弧状。主要矿石矿物有磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿和黄铜矿等,次生矿物有褐铁矿、白铅矿、黄钾铁矾、明矾、蓝铜矿等。矿石结构可分为2类:一是以闪锌矿、磁黄铁矿为主的块状矿石,另一类为夕卡岩化大理岩中的浸染状矿石。除铅锌外,有少量的铜、铋可达工业要求。矿床的形成和印支期二长花岗岩有密切的成因联系,岩浆活动期后含矿热液充填张扭性裂隙成矿,矿脉主要分布在该岩体顶部的透辉大理岩和片岩中。根据矿脉中

的矿物共生组合及围岩蚀变特征,该矿床的成因属中温热液交代脉状充填矿床(毛德宝等,2003)。类似的矿点还有黄矿山铜铅锌多金属矿点。

3.11 III-19Mz-11 侏罗纪沉积岩系有关的煤-铁成矿系列家族

该成矿系列家族划分出与侏罗纪沉积岩系同生煤-铁成矿系列(嘎斯煤田、艾西菱铁矿床)。嘎斯煤田分布在阿尔金南缘中部,煤主要形成于早中侏罗世砾岩、中粗粒砂岩夹少量杂色粉砂岩和含炭质粉砂岩层,与含煤建造同生的还有艾西菱铁矿床。

4 结语

对阿尔金成矿带,笔者以明显的地层、构造和岩浆带及相关的成矿作用为标志,将该成矿带进一步划分了3个IV级成矿单元(成矿亚区带),并概括叙述了各IV级成矿单元(成矿亚带)的地质矿产特征;同时将该成矿带各类地质建造有关成矿系列细化为同生成矿系列、准同生成矿系列、后生成矿系列和表生风化成矿系列等类别,构建了11个成矿系列家族和16个成矿(或矿化)系列。通过对阿尔金成矿带IV级成矿区带的进一步划分和区域成矿系列的构建,将有利于深化阿尔金地区成矿规律的认识,同时这些成果对于成矿谱系的研究和明确区域找矿方向具有重要的指导意义。

致谢:感谢西安地质调查中心伍跃中教授级高级工程师仔细审阅全文并提出宝贵意见!

参考文献(References):

- 徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008:24-35.
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang denghong, et al. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008:24-35 (in Chinese with English abstract).
- 董连慧,冯京,刘德权,等.新疆成矿单元划分方案研究[J].新疆地质,2010,28(1):1-15.
- Dong Lianhui, Feng Jing, Liu Dequan, et al. Research for classification of metallogenic unit of Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(1): 1-15 (in Chinese with English abstract).
- 杨合群,赵国斌,谭文娟,等.论成矿系列与地质建造的关系

- 系[J]. 地质与勘探, 2012, 48(6): 1093-1100.
- Yang Hequn, Zhao Guobin, Tan Wenjuan, et al. On relationship between metallogenic series and geological formation [J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48(6): 1093-1100(in Chinese with English abstract).
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration. *Annals of Regional Geology of the Xinjiang? Uighur? Autonomous Region* [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社; 香港: 香港文化教育出版社, 1994.
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang, China [M]. Xinjiang People Press; Hongkong: Hongkong Culture and Education Press, Urumqi, 1994.
- 何国琦, 成守德, 徐新, 等. 中国新疆及邻区大地构造图(1:250万)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- He Guoqi, Cheng Shoude, Xu Xin, et al. The instructions of geotectonic map of the Xinjiang and its adjacent regions(scale 1/250 ten thousand)[M]. Geological Publishing House, Beijing, 2004.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化(1:400万中国大地构造图简要说明)[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun, et al. Chinese geotectonic and evolvement (the instructions of Chinese geotectonic map)(scale 1/400 ten thousand) [M]. Science Press, Beijing, 1980.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立金, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 701-707.
- Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Lijin, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(11): 701-707(in Chinese with English abstract).
- 伍跃中, 李荣社, 王战, 等. 阿尔金山各边界断裂的归属性[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2007, 32(5): 662-670.
- Wu Yuezhong, Li Rongshe, Wang Zhan, et al. The attribution of Altyn marginal faults [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2007, 32(5): 662-670(in Chinese with English abstract).
- 伍跃中. 阿尔金山的构造归属及其构造运动特征[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(2): 111-117.
- Wu Yuezhong. Tectonic attribution and movement characteristic of Altyn Mountain [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2008, 30(2): 111-117(in Chinese with English abstract).
- 谭文娟, 杨合群, 张小平, 等. 祁连及邻区成矿区带的划分[J]. 地质找矿论丛, 2012, 27(1):09-15.
- Tan Wenjuan, Yang Hequn, Zhang Xiaoping, et al. Division of metallogenic belts in Qilian Mountain and adjacent areas [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2012, 27(1): 09-15 (in Chinese with English abstract).
- 姜寒冰, 杨合群, 董福辰, 等. 东天山—北山地区成矿单元划分[J]. 西北地质, 2012, 45(3): 2-12.
- Jiang Hanbing, Yang Hequn, Dong Fuchen, et al. Division of metallogenic unit in the East Tianshan-Beishan area [J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(3): 2-12 (in Chinese with English abstract).
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1979, 1(1) :32-58.
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming. Prbliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. *Acta Chinese Academy of Geological Sciences*, 1979, 1(1) :32-58(in Chinese with English abstract).
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1983, (6) :1-52.
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits [J]. *Acta Chinese Academy of Geological Sciences*, 1983, (6) :1-52(in Chinese with English abstract).
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80 (10) :1501-1508.
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. On minerogenetic (metallogenetic) series: third discussion [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (10) :1501-1508(in Chinese with English abstract).
- 王世称, 陈永清. 成矿系列预测的基本原则及特点[J]. 地质找矿论丛, 1994, 9 (4) :79-85.
- Wang Shicheng, Chen Yongqing. The basic rules and characteristics of ore-forming series prognosis [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 1994, 9 (4) :79-85(in Chinese with English abstract).
- 杨合群, 宋忠宝, 王兴安, 等. 北祁连山大坂大盆地区蛇绿岩含矿性[J]. 西北地质, 2003, 36 (3) :50-56.

- Yang Hequn, Song Zhongbao, Wang Xingan, et al. Ore-bearing property of ophiolite in Daban-Dacha area, North Qilian Mts [J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36(3): 50-56 (in Chinese with English abstract).
- 陈柏林, 杨屹, 王小凤, 等. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因 [J]. *矿床地质*, 2005, 24(2): 168-178.
- Chen Bailin, Yang Yi, Wang Xiaofeng, et al. Origin of Dapinggou gold deposit in northern Altun area, northwestern China [J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24(2): 168-178 (in Chinese with English abstract).
- 杨屹. 阿尔金大平沟金矿床成矿时代 Rb-Sr 定年 [J]. *新疆地质*, 2003, 21(3): 303-306.
- Yang Yi. Rb-Sr isotope age of the mineralization of Dapinggou gold deposits in Altun [J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21(3): 303-306 (in Chinese with English abstract).
- 刘兵, 曹福根, 刘岚国, 等. 阿尔金山喀腊大湾西铅锌矿床地质特征及成矿条件分析 [J]. *新疆地质*, 2012, 30(增刊): 55-58.
- Liu Bing, Cao Fugen, Liu Weiguo, et al. Geological feature and metallogenic conditions analysis of Kaladawanxi Pb-Zn ore deposit in the Altyn area [J]. *Xinjiang Geology*, 2012, 30(suppl): 55-58 (in Chinese with English abstract).
- 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*, 2006b, 29(1): 1-10.
- Mao Debao, Wu Yongping, Ge Guiping, et al. Geological and geochemical characteristics of the main metallic deposits in Altyn metallogenic belt and their genesis [J]. *Geological Survey and Research*, 2006, 29(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- 陈柏林, 王小凤, 杨风, 等. 阿尔金北缘索尔库里北山铜银矿床控矿构造分析 [J]. *地质力学学报*, 2003, 9(3): 232-240.
- Chen Bailin, Wang Xiaofeng, Yang Feng, et al. Analysis of ore-controlling structure of the Xorkol Beishan Cu-Ag deposit in the northern Altun marginal area, Northwestern China [J]. *Journal of Geomechanics*, 2003, 9(3): 232-240 (in Chinese with English abstract).
- 周显川, 陈建军, 谢新斌, 等. 和田玉分布范围地质特征及资源概况 [J]. *西部探矿工程*, 2012, (12): 138-141.
- Zhou Xianchuan, Chen Jianjun, Xie Xinbin, et al. Geologic characteristics and resource summary of Hetian jade mine [J]. *Western Prospecting Engineering*, 2012, (12): 138-141.
- 万阔, 袁永江, 袁鹏, 等. 若羌县英格布拉克铁矿床地质特征及成因初探 [J]. *新疆地质*, 2011, 29(2): 151-154.
- Wan Yu, Yuan Yongjiang, Yuan Peng, et al. Study on ore-forming characteristics and metallogenesis of Yingebulake iron deposit in Ruoqiang county, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2011, 29(2): 151-154 (in Chinese with English abstract).
- 陈柏林, 蒋荣宝, 李丽, 等. 阿尔金山东段喀腊大湾地区铁矿带的发现及其意义 [J]. *地球学报*, 2009, 30(2): 143-154.
- Chen Bailin, Jiang Rongbao, Li Li, et al. Discovery of iron ore zones in the Kaladawan area within the eastern part of the Altun Mountains and its significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(2): 143-154 (in Chinese with English abstract).
- 王成, 杨子江, 卢洁谨. 阿尔金山沟口泉彩石沟铁矿地质特征及找矿标志 [J]. *新疆地质*, 2012, 30(1): 36-39.
- Wang Cheng, Yang Zijiang, Lu Jiejun. Geological characteristics of the Caishigou iron deposit, Goukouquan area of Altyn Mountain and its criteria for prospecting and genesis [J]. *Xinjiang Geology*, 2012, 30(1): 36-39 (in Chinese with English abstract).
- 马玉周, 姜杰岩. 新疆若羌喀腊大湾铜矿床地质特征、找矿标志及找矿方向 [J]. *新疆地质*, 2012, 30(2): 182-186.
- Ma Yuzhou, Jiang Jieyan. Geological characteristic, prospecting indicator and prospecting orientation of the Kaladawan copper deposit in Ruoqiang county, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 2012, 30(2): 182-186 (in Chinese with English abstract).
- 丁海波, 杨晓飞, 张朋, 等. 新疆东昆仑迪木那里克铁矿床地质特征及找矿方向 [J]. *矿床地质*, 2013, 32(1): 195-206.
- Ding Haibo, Yang Xiaofei, Zhang Peng, et al. Geological characteristics and prospecting direction of Dimunalike iron deposit in east Kunlun, Xinjiang [J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(1): 195-206 (in Chinese with English abstract).
- 杨文强, 丁海波, 刘良, 等. 新疆阿尔金南部迪木那里克铁矿赋矿地层的形成时代及其地质意义 [J]. *地质通报*, 2012, 31(12): 2090-2101.
- Yang Wenqiang, Ding Haibo, Liu Liang, et al. Formation age of ore-bearing strata of the Dimunalike iron deposit in South Altun Mountains and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(12): 2090-2101 (in Chinese with English abstract).

- 刘艳宾, 弓小平, 陈斌, 等. 东昆仑西段铁矿成矿机制及找矿模型[J]. 地质通报, 2011, 30(12): 1950-1961.
- Liu Yanbin, Gong Xiaoping, Chen Bin, et al. Metallogenic mechanism and prospecting model of iron deposits in the western segment of East Kunlun Mountain [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(12): 1950-1961(in Chinese with English abstract).
- 王哲, 弓小平, 毛磊, 等. 东昆仑西段铁矿成矿系列及靶区优选[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2011, 41(2): 298-303.
- Wang Zhe, Gong Xiaoping, Mao Lei, et al. The metallogenic series and target optimization of iron ores in the west of East Kunlun [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(2): 298-303(in Chinese with English abstract).
- 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[J]. 地质力学学报, 2002, 8(1): 71-78.
- Chen Zhengle, Chen Xuanhua, Wang Xiaofeng, et al. Geological features of the Lapeiquan copper deposit in the Altyn tagh, Xinjiang and its ore-genesis [J]. Journal of Geomechanics, 2002, 8(1): 71-78 (in Chinese with English abstract).
- 毛德宝, 钟长汀, 牛广华, 等. 阿尔金成矿带成矿规律与找矿预测[J]. 西北地质, 2006b, 39(2): 114-127.
- Mao Debao, Zhong Changting, Niu Guanghua, et al. Study on metallogenic characteristics and target areas in the Altyn tagh metallogenic Zone [J]. Northwestern Geology, 2006, 39(2): 114-127(in Chinese with English abstract).
- 邓广弘, 雷学武, 孙芳强. 新疆阿尔金构造带长青铁矿地质特征[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 188-194.
- Deng Guanghong, Lei Xuewu, Sun Fangqiang. Geological characteristics of Changqing iron mine in Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 2010, 43(4): 188-194(in Chinese with English abstract).
- 赵更新, 毛德宝, 张燕, 等. 阿尔金成矿带加里东期主要成矿系统[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(2): 90-97.
- Zhao Gengxin, Mao Debao, Zhang Yan, et al. Main metallogenic systems of the Altyn metallogenic Belt in Caledonian [J]. Geological Survey and Research, 2007, 30(2): 90-97(in Chinese with English abstract).
- 申大利, 赵双喜, 庄勇, 等. 阿尔金地区牛鼻子梁铜镍矿特征及其发现意义[J]. 价值工程, 2011, (9): 41-43.
- Shen Dali, Zhao Shuangxi, Zhuang Yong, et al. Characteristics of Copper-Nickel Ore in Niubiziliang Altun Area and Its Implications [J]. Value Engineering, 2011, (9): 41-43(in Chinese with English abstract).
- 范永源. 新疆若羌县依吞布拉克石棉矿床地质特征及成因探讨[J]. 建材地质, 1995, (6): 7-11.
- Fan Yongyuan. Geological characteristics and genesis of the Yitunbulake asbestoide deposit in Ruoqiang county, Xinjiang [J]. Building Materials Geology, 1995, (6): 7-11(in Chinese with English abstract).
- 马玉周, 魏新昌, 祁万修. 若羌县阿北银铅矿地质特征与成因初探[J]. 新疆地质, 2011, 29(4): 423-427.
- Ma Yuzhou, Wei Xinchang, Qi Wanxiu. Geologic characteristics and origin of the Abei silver lead-Zinc deposit in Ruoqiang county, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2011, 29(4): 423-427 (in Chinese with English abstract).
- 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, 39(5): 1-5.
- Mao Debao, Wang Kezhuo, Zhong Changting, et al. Metallogenic series and geological characteristics in the Altun metallogenic belt [J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(5): 1-5(in Chinese with English abstract).