

文章编号: 1009-6248(2006)02-0114-14

阿尔金成矿带成矿规律与找矿预测

毛德宝¹, 钟长汀¹, 牛广华¹, 王杰¹, 王克卓², 王宏君², 李智明³(1. 天津地质矿产研究所 天津 300170; 2. 新疆地调院, 新疆 乌鲁木齐 830011;
3. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 阿尔金成矿带介于塔里木盆地与柴达木盆地之间, 呈北东向带状展布, 长约 600 km。该带以北东向带状分布的太古宇—古生代变质地层为特征, 同时在中—新生代断陷盆地中分布有弱至未变质的沉积岩。该区经历了多期造山运动和岩浆热事件, 遭受了多期的抬升、走滑和变形作用。研究表明具有漫长地质演化历史的阿尔金成矿带发育类型较为齐全的金属、非金属和能源矿床, 其中金、铜、铅、锌等矿种具有较好的成矿远景。区内金属矿床可划分为 9 个矿床类型, 典型矿床如采石沟、大平沟、祥云金矿, 拉配泉、索拉克、喀拉大湾铜矿床等。在对地、物、化、遥、区域成矿特征、控矿因素等资料进行综合研究基础上, 采用 GIS 技术进行了矿产预测, 将阿尔金成矿带划分为 5 个成矿亚带、10 个找矿远景区和 25 个找矿预测区。

关键词: 阿尔金成矿带; 成矿预测; 找矿方向; 远景区; 靶区**中图分类号:** 612 **文献标识码:** A

阿尔金成矿带位于新、青、甘交界地区, 主要部分在新疆维吾尔自治区东南部。东自甘肃省的阿克塞县、西至新疆的且末县, 北从塔里木盆地的西南缘、南到祁漫塔格山北部和柴达木盆地的西北缘, 西南与东西昆仑成矿带相接。成矿带呈狭窄条带状, 北东向展布, 全长约 600 km, 南北宽平均约 60 km。地理坐标: 东经 85°50"~94°30", 北纬 37°30"~39°20"。

1 成矿地质背景

1.1 区域地质背景

阿尔金成矿带地处青藏高原的北缘, 横跨塔里木地块、柴达木地块和昆仑褶皱系之间, 是我国迄今地质矿产研究程度最为薄弱的地区之一。该地区

经历了漫长而复杂的地质演化历史, 大于 3 600 Ma 年代信息的发现 (李惠民等, 2001), 将本区地质演化推至太古古代。以新太古古代为主形成的太古宙陆壳 (花岗片麻岩的颗粒锆石 U-Pb 年龄主要为 2 473 Ma) 集中产于阿尔金山北坡, 构成了本区的早期陆核, 其主要岩石是 TTG 质片麻岩和呈大小不等产出的一套辉石斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、辉石麻粒岩、变粒岩和大理岩 (米兰群) (车自成等, 1996; 刘训等, 1997), 原岩研究表明其岩石组合应与花岗岩-绿岩带相当, 但经历了高角闪岩相-麻粒岩相的变质。古元古代的地质演化主要是围绕太古宙古陆核的侧向增生, 在太古宙古陆核的南北两侧广泛发育了古元古界的被动陆缘型沉积 (阿尔金山群)。古元古代晚期, 本区发育了大规模的构造岩浆活动, 广泛发育了从花岗片麻岩、石英闪长岩、花岗闪长

收稿日期: 2005-04-18; 修回日期: 2006-04-12

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

作者简介: 毛德宝 (1964-), 男, 博士, 研究员, 从事区域成矿学研究与矿产资源勘查评价工作。通讯地址: 300170, 天津市河东区大直沽八号, 天津地质矿产研究所; 电话: 022-24023531; Email: tjmdebao@cgs.gov.cn。

岩、二长花岗岩到富铝花岗岩组合。中元古代早期与华北地台相似发育了非造山的双峰式的岩浆侵入活动, 包括辉长岩-斜长岩组合和巨斑状的钾质花岗岩。前震旦系的中新元古界广泛分布于阿尔金山中部地区, 长城系巴什库尔干群主要为浅变质的石英砂岩、大理岩、变粒岩和绢云石英片岩夹少量的中基性火山岩。蓟县系塔普达坂群总体上表现为一套类复理石建造和浅海台地相建造。青白口系索尔库里群为一套弱变质的浅-滨海相碎屑-碳酸盐沉积建造, 含丰富的叠层石。新元古代的 Rodinia 超大陆的汇聚和裂解在本区有显著的反应, 表现在呈近东西带状分布的榴辉岩和超高压变质岩(刘良等, 1999; 张建新等, 2001)、索尔库里蛇绿岩带和广泛发育的、年代大约在 500 Ma 的基性岩墙群(郭召杰等, 1998)。

震旦系以明显的角度不整合覆盖在前震旦纪变质岩系之上, 构成了本区第一套未变质的稳定盖层, 主要是一套碎屑沉积岩。早古生代本区由中一新元古代相对稳定的构造状态转化为活动状态, 统一的陆壳裂解、在北阿尔金和南阿尔金分别出现了两个扩张洋盆, 形成了奥陶纪巨厚的火山沉积岩系(拉配泉群)和志留系的复理石沉积, 中晚志留世洋盆的完全闭合留下了南北两条具有一定规模的蛇绿岩混杂岩带(何国琦等, 1994; 许志琴等, 1998; 杨经绥, 2002; 吴峻等, 2002)。晚古生代的构造演化特点表现为早古生代构造旋回的结束和特提斯构造旋回的开始(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993; 程裕淇, 1994)。中生代本区陆内造山活动强烈, 发育陆相含煤建造、岩浆侵入活动和推覆、走滑构造(崔军文等, 1999), 由于阿尔金断裂的走滑使的阿尔金复合造山带与祁连造山带错开(许志琴等, 1998)。

综上所述, 阿尔金地区经历了复杂的地质构造演化历史, 可概括为 6 个地质演化阶段: ①太古宙古陆核的形成。②古中元古代太古宙古陆核的边缘

增生。③中元古代陆壳的裂解和会聚。④新元古代末期—早古生代陆壳破裂和焊接。⑤晚古生代活动大陆边缘演化。⑥中生代走滑作用。阿尔金成矿带是我国地质发育历史最长、构造岩浆活动极为复杂的地区之一。根据该地区地质构造的发育情况可将该区划分为 6 个构造可概括为以下 6 个地质演化阶段: ①太古宙古陆核的形成。②古中元古代古陆核的边缘增生。③中元古代陆壳的裂解和会聚。④新元古代末期—早古生代陆壳破裂和焊接。⑤晚古生代活动大陆边缘演化。⑥中生代陆内变形作用。漫长而复杂的地质演化历史、多期多旋回的地质构造运动和岩浆热事件为成矿作用提供了优越的地质条件。不完全统计, 阿尔金地区迄今已发现 150 多个矿床和矿点, 研究表明加里东期和喜马拉雅期是本区成矿的最主要成矿时期, 中元古代、华力西期和印支期次之。与各个时期地质构造演化特征相耦合形成了各具特色的成矿系列。

1.2 区域地球化学特征

运用中国地质调查局发展研究中心编制的地球化学处理软件, 对全区 1:50 万、1:20 万、1:5 万水系沉积物测量数据进行处理, 得出主要成矿元素及成矿指示元素的地球化学参数见表 1。其中, 全区与克拉克值或全国平均值(陈毓川, 1999)相比较, 背景值较低, 但变差系数大, 说明富集成矿的可能性大; Ag 的背景值低, 变化小, 富集成矿的可能性小; Cu 与地壳的克拉克值和全国的平均值对比, Cu 的背景值不高, 但变化范围大(其标准差与平均值的比值接近 1), 说明其富集成矿的可能性大; Pb 与克拉克值或全国平均值相比较, 背景值较低, 但变差系数大, 说明富集成矿的可能性大; Zn 与地壳的克拉克值和全国的平均值对比, 背景值不高, 其值较为稳定, 高值区和低值区数量均较少, 范围亦较小; Mo 与地壳的克拉克值和全国的平均值对比, 背景值稍低, 其变异性也很弱, 表明区内 Mo 的成矿能力较差。

表 1 阿尔金成矿带水系沉积物主要元素地球化学参数

Tab.1 Geochemical parameters of main elements in stream sediments, Altyn metallogenic belt

w (元素)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Sn	As	Bi	Hg
平均值	1.22	51.8	14.4	20.6	57.5	0.81	1.32	2.26	6.02	0.28	13.4
标准差	0.55	15.0	10.4	7.80	19.7	0.30	0.63	0.70	3.46	0.13	4.67
异常下限	2.00	80	25	2.50	80	1.50	2.50	3.00	12	0.50	20

注: Au、Ag、Hg 含量为 10^{-9} , 其他各元素含量为 10^{-6} 。

W、Sn与地壳的克拉克值和全国的平均值对比,背景值接近或稍高,其变异性也较强,表明区内W、Sn的成矿能力较大。As、Bi、Hg在地球化学特性上均属低温元素的范畴,因此放在一起讨论。阿尔金地区水系沉积物中的As、Bi、Hg含量均较高,是地壳克拉克值和全国平均值的2~8倍。

地球化学异常研究表明,阿尔金成矿带各元素之间存在密切的套合关系,构成不同的地球化学异常组合,并呈明显的分区特点。主要地球化学异常组合有:Fe-Co-Ni-Cr-V-Cu-Mn-Zn元素组合,在区内分布有3个带:阿尔金北缘安南坝—拉配泉—红柳沟带,阿尔金南缘断裂当金山口—索尔库里—茫崖—苾苏普雷阿克塔格—肃拉木塔格—秦布拉克带,硝鲁克布拉克—拜什托格腊克—西瓦阔西带;W-Sn-Bi-Mo-(Y-La-Th-Nb)元素组合,主要异常带有江尔勒萨依—塔什达坂—云母矿异常带、古尔岔—牙鲁拉克异常带、索尔库里—俄博梁带;U-Th-La-Y-Be-Nb-Zr元素组合,除江尔勒萨依—塔什达坂云母矿、古尔岔—牙鲁拉克、索尔库里—俄博梁带三条异常带以外,还有一些重要的异常区,如苾苏普雷阿克塔格、茫崖西、拉配泉、额兰塔格、当金山口等;Au-Ag-Cu-As-Sb-Hg异常组合,异常多沿阿尔金北缘北缘安南坝—拉配泉—红柳沟,阿尔金南缘断裂当金山口—索尔库里—茫崖—苾苏普雷阿克塔格—肃拉木塔格—秦布拉克分布,但在红柳沟—贝壳滩、大平沟、拉配泉东、索尔库里、茫崖—野马滩、嘎斯煤田—苾苏普雷阿克塔格、秦布拉克等地区呈高浓集区;Cu-Pb-Zn-Cd-Ba-(Mo)-(Cr)-(Co)-(Ni)-(Ti)-(V)异常组合,该类组合在区域上也主要沿阿尔金北缘北缘安南坝—拉配泉—红柳沟,阿尔金南缘断裂当金山口—索尔库里—茫崖—苾苏普雷阿克塔格—肃拉木塔格—秦布拉克分布,有重要意义的分布区有喀腊大湾—更新沟、黄矿山—俄博梁、嘎斯煤田—苾苏普雷阿克塔格、红柳沟等。

根据各元素区域地球化学场及异常元素组合等空间分布特征,结合区域地层、岩浆岩特点及区域构造格架等背景资料^①,将阿尔金成矿带划分为5个地球化学区:阿尔金北缘地球化学区、拉配泉—红柳沟地球化学区、阿尔金南缘地球化学区、阿尔

金中部地球化学区、阿尔金西北部地球化学区。

阿尔金北缘地球化学区:发育造岩元素,铁族元素异常组合。存在多处Au地球化学异常,局部具有一定的成矿趋势,此外As、Sb、W、Th是重要的异常元素。

拉配泉—红柳沟地球化学区:地球化学异常具有分段集中的特点。在恰什坎萨依一带展布有Mn、V、Ti、Cr、Ni、Co、Au、Hg、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Ba、W、Mo、Bi等19种元素的异常。铁族元素异常无疑与红柳沟超基性岩带有关,W、Mo、Bi与花岗岩有关,Cu、Pb部分与超基性岩有关外,Cu、Pb、Zn、Cd、Ba与断裂或中温热液活动有一定的联系,Au、Ag、Hg、As、Sb与地层、断裂关系较为密切。在大平沟一带展布着Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Cd、Ba、U、Th、La、Nb、Zr、Y等15种元素的异常,U、Th、La、Nb、Zr、Y异常由西部花岗岩所致,而Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Cd、Ba异常与断裂、地层有较大的成生联系,与岩体引起的中高温热液活动也有一定的关系。喀腊大湾地区是地球化学异常的又一集中分布区,可划分为Au-Ag-Zn-Ba-Cd富集区,Au-Cu-Pb-Zn-Cd-Ni富集区,Cu-Ag富集区。各综合异常单元素异常面积大、强度高、套合较好、浓集中心明显,是寻找铜银多金属矿床的远景地区。拉配泉地区1:10万水系沉积物地球化学异常显示出区内Pb、Zn、Cu、As、Sb、Au、Ag等地球化学异常密集分布,异常套合良好、异常规模大、浓度分带清楚、衬度高。其中托格腊克恰普Cu异常、玉勒肯洪别勒Pb、Zn、Cu异常、拉配泉Cu异常规模都达几至十几平方千米,具有很好的找矿前景。

阿尔金南缘地球化学区:包括当金山口Cu-Co-Ni-Cr异常带、大通沟南山—俄博梁W-Bi-Au异常带、茫崖—大通沟北山Au-W-Cu-As-Co-Cr异常带、苾苏普雷阿克塔格—嘎斯煤田—吐孜墩—秦布拉克Au-Cu-Ag-Hg-As-Sb-Pb-Zn异常带。

阿尔金西北部地球化学区,以发育W、Sn、Mo、Bi、Pb、Th、U、La、Nb、Y等元素地球化学异常为特征,西段还有Au、Cu、Co、Ni、Cr等元素异常的叠加。其中,稀有稀土元素和放射性元素异常有云母

^① 胡建卫、王宏君等,阿尔金成矿远景区矿产资源调查评价重点选区研究,中国地质调查局编:《全国主要成矿远景区矿产资源调查评价重点选区研究》(四)。

矿、托盖里克、塔特勒克布拉克、塔什达坂、塔木其、塔什萨依、尤勒滚萨依、江尔勒萨依、哈底勒克、秦布拉克北等异常。W、Sn 等多元素异常有哈底勒克、塔什达坂、塔木其、硝鲁克布拉克南等。Au、Cu、Cr、Ni、Co 地球化学异常分布在秦布拉克北一带, 沿木纳达坂超镁铁质岩体周围分布。

阿尔金中部地球化学区, 以 Au 地球化学异常为主, 如在索尔库里北山一带分布有 6 个 Au 异常, 具有 Au-Hg-As-Sb-Ag-Cu 元素组合, 在亚加拉克山—苏吾什杰—硝鲁克布拉克一带也分布有多个 Au 异常, 如恰克马克塔什达坂、阔什、石棉矿、硝鲁克布拉克、淡水泉, 具有 Au-Cu-As-Sb 组合。在该区北部与阿尔金西北部地球化学区的结合部还发育 W、Sn、Mo、Y、Nb、U、Th 等元素地球化学异常组合, 成矿条件有利。

1.3 区域地球物理场特征

区域重力异常在整体上表现为负异常, 其幅度为 $(-240 \sim -520) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 自北向南负异常加大, 与全国布格重力异常最低的青藏高原重力低相连, 呈两条明显的重力梯度带, 走向北东东—北东, 全长约 1 300 km, 这两条北东向的重力梯度带分别对应于阿尔金南缘和北缘大断裂。从地壳厚度分布来看, 研究区的莫霍面的起伏基本反映出布格重力异常的展布特征。阿尔金隆起西北侧的塔里木地区地壳厚度变化较缓, 厚约 45~50 km, 阿尔金地区呈现出北东向延伸的地壳厚度梯度带, 由北向南地壳厚度由 50 km 迅速增厚到 60 km, 呈向南东方向倾斜的地壳厚度的陡变带, 充分反映了阿尔金断裂系统的存在以及盆地东南部和阿尔金地区深部结构的差异性。

研究区 1:10 万航磁资料显示 (熊盛清, 2001), 区域磁场具有明显的分区性。北部为强度较大宽缓的正磁异常区, 南部为平缓的负异常区, 中部为剧烈变化的正负磁异常带。研究区北部强度较大宽缓的正磁异常区属于塔里木磁场区的一部分, 为数条相互平行呈北东展布的正磁异常, 异常宽度 40~100 km, 磁异常强度为一般 +300~+500 nT, 梯度变化 10~20 nT/km, 磁异常由变质基底引起的。研究区南部的平缓负异常区属于柴达木磁场区的一部分, 异常强度为 -20~-50 nT, 梯度变化 5~10 nT。正负磁异常带是研究区磁异常的主体, 总体上呈一条梯度剧烈变化的北东向线形磁异常带,

区域上看异常带宽度 30~180 km, 东北宽, 西南窄, 西南段以条带状正磁异常为主, 一般强度为 100~200 nT; 东北段为正负梯度强烈变化的磁异常, 强度为 -100~400 nT, 梯度变化 30~50 nT/km。异常带东部边缘从阿克塞向西经索尔库里、茫崖镇直至秦布拉克, 与阿尔金南缘断裂平行, 为较连贯的北东东向串珠状线性磁异常。异常带的东北从塔里木盆地边缘若羌东经红柳沟、拉配泉至当金山口为东西向的条带状正磁异常, 南北则为较大范围的负磁异常, 基本也为东西向, 这条带与阿尔金北缘古生代蛇绿岩带的分布范围一致。

2 主要矿床类型

(1) 中元古代蓟县系沉积变质型 Mn 矿床: 中元古代蓟县系是一套中低级变质碳酸盐和细碎屑岩系, 目前在这套中低变质岩系中发现了沉积变质型的 Mn 矿床和条带状磁铁矿床 (毛德宝等, 2003)。如安南坝一带的锰矿床产于蓟县系白云岩-含硅质条带状白云岩中, 赋矿围岩是红色硅质白云岩。锰矿体呈层状、似层状和透镜状产出, 矿体上部为氧化矿, 下部为碳酸锰矿, 锰品位较高为 10%~40%。

(2) 与奥陶系火山活动有关的 Cu-Pb-Zn 块状硫化物矿床: 奥陶纪是本区火山活动最为强烈的时期, 在阿尔金山北缘当金山口-拉配泉-红柳沟地区和阿尔金山南缘茫崖-秦布拉克地区广泛发育中基性—中酸性火山岩, 形成了大量与火山活动有关的多金属矿床, 主要包括火山喷流沉积的块状硫化物矿床, 浅成低温热液金矿床、同生沉积-改造型铜矿床等类型, 代表性的矿床有喀拉大湾 Cu-Pb-Zn 矿床、采石沟金矿及拉配泉铜金矿点, 受火山机构控制的浅成低温热液矿床。

(3) 浅成低温热液型金矿床: 该类型矿床主要形成在奥陶纪, 成矿与火山-次火山期后热液活动有关, 矿化多呈石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。代表性的矿床是采石沟金矿床。

(4) 产在不纯碳酸盐岩和细碎屑岩中的金矿床: 该类矿床主要产在蓟县系和奥陶系弱变质的细碎屑岩和不纯碳酸盐中, 矿区岩浆活动较弱, 矿化表现为破碎蚀变岩型, 发育碳酸盐化和硅化等, 含

黄铜矿、黄铁矿、辉锑矿、毒砂等金属矿物组合。

(5) 与火山作用有关的 Fe-(Cu) 矿床: 目前发现的该类型矿床都为中小型, 主要有白尖山、喀拉大湾、索尔库里南、巴什考供北东、贝壳滩、迪木那里克、古尔盆隘北西、柴达木大门口、长草沟等矿床矿点。对该类型矿床容矿围岩的时代还有争议, 在阿尔金北缘地区前人多划归蓟县系, 而在阿尔金南缘地区划归奥陶系, 笔者认为均属奥陶系。矿石金属矿物有磁铁矿-赤铁矿、磁铁矿-黄铁矿、赤铁矿-斑铜矿-黄铜矿等不同组合。围岩蚀变主要为钠长石化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、方柱石化等。该类型矿床的成矿作用可能经历了多阶段的演化: 从火山喷流沉积成矿、火山气液充填交代到变质改造成矿。

(6) 与加里东期—华力西期岩浆侵入作用有关的斑岩型铜多金属矿床: 该类型以索拉克铜矿、更新沟东部铜矿、鱼目泉北、鱼目泉南为代表, 尽管这些斑岩型铜矿仅为矿点级别, 但与典型斑岩型铜矿床成矿特征极为相似, 矿床产于早古生代中晚期至晚古生代早期酸性侵入杂岩体中。发育硅化、粘土化、碳酸盐化等蚀变, 矿化表现为细脉浸染状。

(7) 与基性-超基性岩有关的岩浆熔离型矿床或热液蚀变型 Au 矿床: 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、岩浆期后热液型 Cu-Co-Ni-Au 或 Au 矿床。岩浆熔离型矿床目前在区内都不成规模, 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。岩浆期后热液型 Cu-Co-Ni-Au 矿床, 如茫崖石棉矿西矿点、卡特里西矿点, 金矿床, 如盘龙金矿等。

(8) 与华力西期钾质花岗岩有关的 Au 和 Ag-Cu 矿床: 该类矿床有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岩岩浆活动有关, 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。

(9) 与印支期二长花岗岩有关的矽卡岩型 Cu-Pb-Zn 多金属矿床: 该成矿系列发育于阿尔金山东段, 目前已发现雁丹图铅锌矿床和黄矿山铜铅锌多金属矿点。

3 典型矿床地质特征

阿尔金成矿带经历漫长而复杂的地质构造演化历史, 为成矿作用提供了有利条件(张良臣, 1990)。但由于该地区工作程度很低, 目前发现的矿床、特别是大型、特大型矿床还很少, 个别矿种如石棉在全国有重要影响, 玉石、盐类、石油等矿产也较发育。从现有的资料看, 阿尔金地区的矿种发育较多, 包括铁、金、铜、铅、锌、镍、铬、锰、稀土、石油、盐类、石棉、玉石、白云母、白云岩、煤、石墨、萤石、石榴子石、水晶等近 30 余种。不完全统计区内有大小矿床、矿点和矿化点近 200 处。金属矿床中: 铁矿点 32 处(中型铁矿床 2 处)、铬铁矿点 18 处、镍和铜镍矿点 5 处、铜铅锌多金属矿点 30 处、岩金矿点 9 处、砂金矿点 4 处、轻稀土元素矿化点 1 处、锰矿床 2 处、黄铁矿矿床(点) 2 处。主要矿床分布如图 1 所示。

3.1 金矿床

金矿床是阿尔金成矿带近年来发现最多的矿种之一, 原生金和沙金都有发现。主要矿床以采石沟、大平沟、祥云为代表。

采石沟金矿位于阿尔金南缘茫崖—花土沟之间(黄永平, 2002), 由青海有色地勘局发现并勘查。矿床产于奥陶系滩间山群火山岩中(图 2)。该地层主要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。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。岩浆侵入岩体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。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, Au 平均品位为 $1.97 \times 10^{-6} \sim 7.17 \times 10^{-6}$ 。为破碎蚀变岩型金矿床,

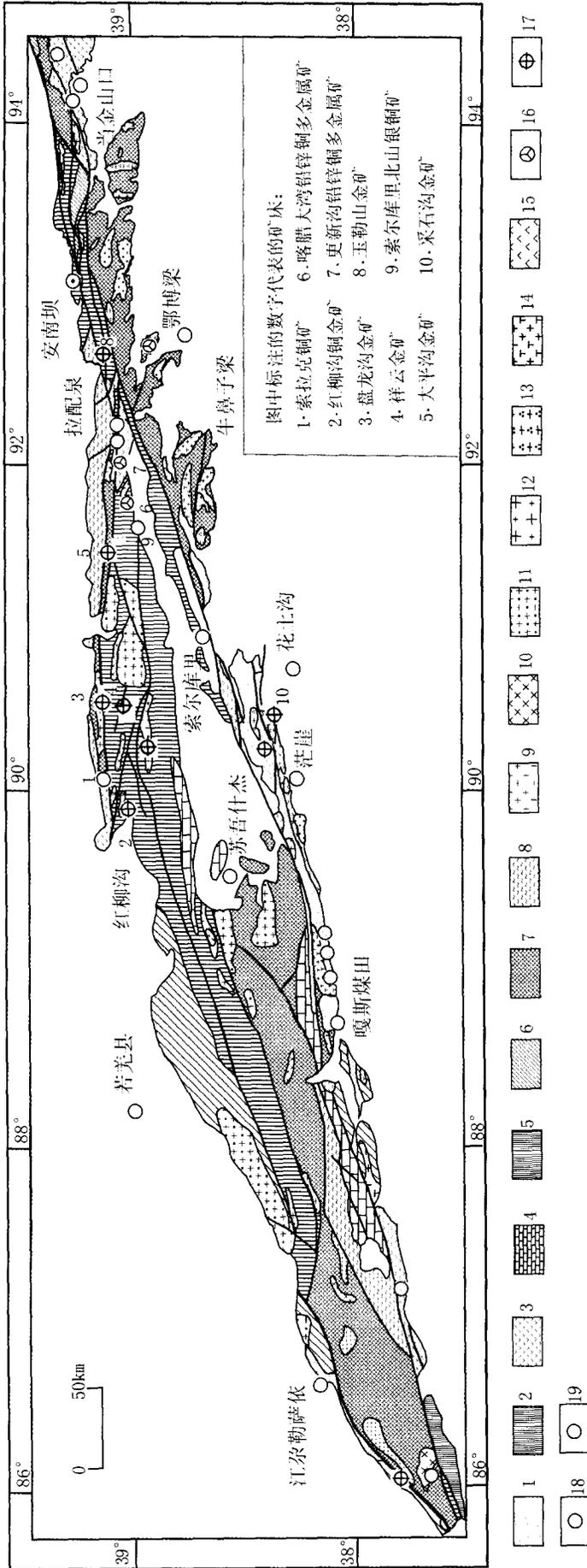


图 1 阿尔金成矿带地质略图及主要金属矿床分布图

Fig. 1 Sketch geological map of the Altyn metallogenic belt showing the distribution of main ore deposits

1. 侏罗系; 2. 石炭系; 3. 奥陶系; 4. 青白口系; 5. 蓟白口系; 6. 长城系; 7. 古元古界; 8. 太古宙片麻岩-麻粒岩; 9. 加里东期中酸性岩; 10. 中元古代基性超基性岩; 11. 中元古代中酸性侵入岩; 12. 燕山期的中酸性侵入岩; 13. 印支期中酸性侵入岩; 14. 华力西期中酸性侵入岩; 15. 加里东期超基性岩; 16. 铅锌多金属矿; 17. 金矿; 18. 铜矿; 19. 地名

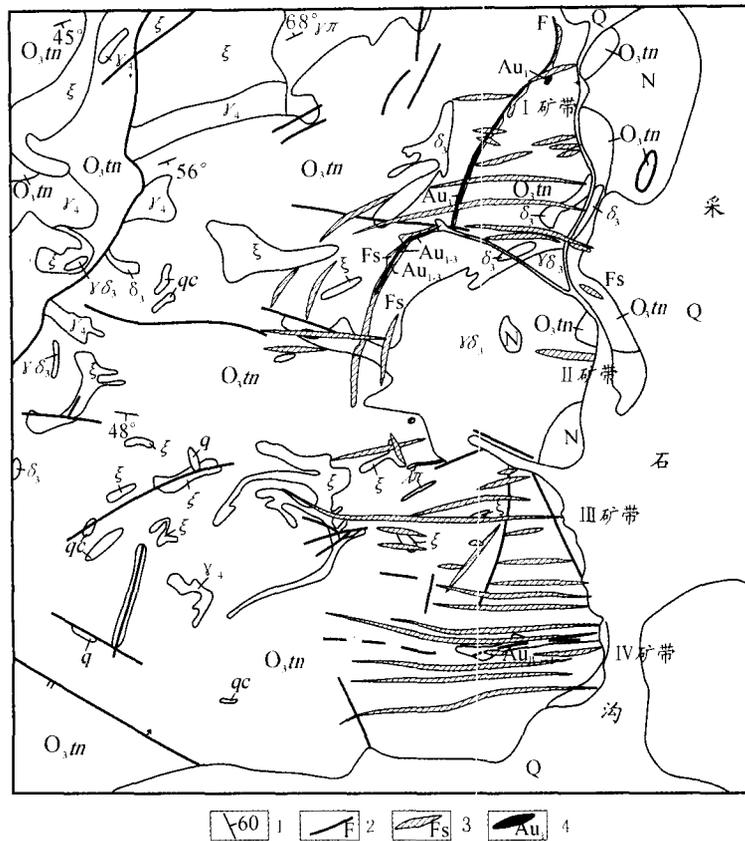


图2 阿尔金采石沟多金属矿床地质简图

Fig. 2 Sketch geological map of the Caishigou gold deposit

(据青海有色地勘局资料)

Q. 第四系; N. 第三系; O_{3tm}. 滩间山群凝灰岩、凝灰熔岩、灰岩; γ₄. 华力西期花岗岩; γδ₃. 加里东期花岗闪长岩; δ₃. 加里东期闪长岩; ξ. 正长斑岩; γπ. 花岗岩; λπ. 石英斑岩; q. 石英脉; qc. 石英方解石脉; 1. 地层产状; 2. 断裂; 3. 蚀变矿化破碎带; 4. 金矿体

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、镜铁矿，地表由于氧化强烈，褐铁矿、黄铁钾矾大量发育，偶见孔雀石。脉石矿物见石英、长石、绿泥石、绢云母、方解石、石膏化等。围岩蚀变主要有硅化、碳酸岩化、绢云母化，次有绿泥石化、绿帘石化。

大平沟金矿位于阿尔金北缘索尔库里以北地区，由新疆第一区域地质调查大队发现并勘查（杨风等，2001；陈宣华，2002；杨屹等，2002）。矿区出露地层为奥陶系变质火山沉积岩系，主要为绿泥石片岩、绢云绿泥片岩、硬砂岩等。矿区夹持在两条近东西向的阿尔金山北缘断裂与库木塔格-白尖山深断裂之间，次级断裂发育，多为南倾陡立的压剪性断裂，主呈北西向和东西向两组，沿断裂又发

育更次级裂隙带及破碎蚀变带，这些破碎蚀变带普遍含金，是该金矿主要的赋矿构造。在该金矿目前已发现5条含金破碎蚀变带，总体呈近东西向、北西向相间排列分布，共圈定了14个金矿体，矿体多呈条带状、透镜状，沿近东西向破碎蚀变带产出，产状190°~200°、陡倾。金矿体有破碎蚀变岩型、石英脉或石英钾长石脉型两种类型，前者规模大、品位低，后者规模小、品位高。组成矿石的矿物计20余种，除自然金外，主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿等，其他少量金属矿物有自然铜、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、钛铁矿、铜蓝、褐铁矿、磁铁矿、孔雀石、黄钾铁矾、白钛石等。脉石矿物主要石英、绿泥石、钾长石、绢云母和方解石等，其次为绿帘石、黑云母、磷灰石、萤石等。主要的蚀变有绢云母化、

绿泥石化、钾化、硅化、碳酸岩化。

祥云金矿床产于阿尔金山北部红柳沟—恰什坎萨依一带, 由新疆第一区域地质调查大队发现, 新疆地调院进行评价, 相近的矿床矿点还有盘龙沟、红柳沟、斯米尔等。矿床产在红柳沟蛇绿混杂岩带内, 出露地层呈构造岩片产出, 有长城系巴什库尔干群变质碎屑岩-碳酸盐岩-火山碎屑岩建造, 蓟县系浅变质碳酸盐岩-碎屑岩-火山岩建造, 奥陶系玄武岩-火山碎屑岩-硅质岩-碳酸盐岩建造。矿区内岩浆活动相对简单, 其东北部有超基性岩体产出, 此外有石英闪长岩沿断裂零星分布。矿区位于贝克滩复背斜核部南侧, 并发育有近东西向的祥云断裂和北东向次级断裂。金矿产在长城系不纯大理岩-浅变质细碎屑岩中, 为破碎蚀变岩型金矿。矿体控制长度 1 880 m, 平均厚度 6.19 m, Au 平均品位 $1.2 \times 10^{-6} \sim 7.2 \times 10^{-6}$ 。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, 此外局部还含有少量的方铅矿。脉石矿物主要见白云石、石英、绢云母、绿泥石和高岭土等。矿石具粒状结构、交代结构、变晶结构、充填结构, 块状构造、条带状构造等。围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石、白云石化和少量的绿帘石化、白云母化。

3.2 铜、铅、锌多金属矿床

铜、铅、锌多金属矿床主要产在早古生代蛇绿混杂岩带内, 在红柳沟-拉配泉地区发现较多。

拉配泉铜矿床位于阿尔金成矿带东段, 由中国地质科学院地质力学研究所和新疆第一区域地质调查大队发现并评价(陈正乐等, 2002)。区内出露奥陶系拉配泉群双峰式火山岩、碎屑岩及碳酸盐岩。岩浆侵入活动甚为发育, 见加里东期角闪石英二长岩-二长花岗岩、印支期似斑状二长花岗斑岩和燕山期碱长花岗岩。矿区夹持在两条近东西向断裂——阿尔金北缘断裂和拉配泉断裂之间, NW、WNW 向次级断裂极为发育, 它们对本区以铜为主多金属矿产分布起着分级控制作用。该铜矿化带沿拉配泉断裂带北侧呈 WN 向断续延伸 13 km 左右, 赋存于拉配泉群中上部火山沉积岩中。矿化带东段较宽, 可达 100 m, 矿化蚀变比较强烈, 有绿泥石化、绢云母化、方解石化和蛇纹石化等组成的蚀变带相伴产出。而中、西段矿化带变窄, 最宽 20 m, 围岩蚀变较弱, 有大理岩化、硅化等。矿体主要呈石英-硫化物充填脉和网脉状产出, 单脉长几米至几十米, 宽几厘米至

3 m, 铜品位较高, 最高达 14.45×10^{-2} , 一般 $1 \times 10^{-2} \sim 4.5 \times 10^{-2}$ 。矿石具碎裂结构、角砾结构、块状构造。矿石矿物主要为孔雀石、硅孔雀石、黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、铜蓝、磁铁矿和褐铁矿等; 脉石矿物见石英、方解石、白云石、绿泥石和石膏等。围岩蚀变较强, 见有褐铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化和硅化。

索拉克铜矿位于阿尔金北缘西段, 由新疆地调院发现并勘查评价(毛德宝, 2006)。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。火山熔岩包括: 气孔状、杏仁状玄武岩、玄武安山岩、石英霏细岩等, 并发育球粒构造等。在矿区北部出露太古宙米兰岩群, 由花岗片麻岩、斜长角闪岩、角闪斜长变粒岩、石墨大理岩、矽线石榴石片麻岩等组成。二叠系一石炭系沉积岩出露在矿区东北部, 由砾岩、砂岩和粉砂岩组成。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。区内构造发育, 在矿区北部发育北阿尔金断裂, 此断裂为北部太古宙高级变质地体与奥陶系火山沉积岩的分界。此外发育近东西向构造和北东向构造, 在遥感解译图上还发育环状构造。矿体产在石英闪长玢岩中, 受岩体内部断裂裂隙构造控制, 地表见铜矿化、黄铁矿化蚀变破碎带长约 1.6 km, 宽 100~200 m。地表槽探控制有明显孔雀石化的地段长约 1.2 km。其中, 孔雀石化相对较强的地段有两段: I 段长约 600 m, 矿体宽 10~60 m, 铜品位为 $0.25 \times 10^{-2} \sim 0.3 \times 10^{-2}$ 。II 段长约 300 m, 宽 5~35 m, 铜品位为 $0.12 \times 10^{-2} \sim 0.3 \times 10^{-2}$, 最高达 0.42×10^{-2} 。矿体呈石英-黄铜矿细脉、网脉或浸染型矿化产出, 石英脉宽 2~8 cm。主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿, 此外见少量斑铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿, 氧化物孔雀石、褐铁矿、黄铁钾矾常见。非金属矿物为石英、绿泥石、绿帘石、黑云母、绢云母、碳酸盐、石膏等。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。

喀拉大湾铅锌铜多金属矿床产于阿尔金成矿带北缘拉配泉-红柳沟加里东期褶皱带中部, 由新疆地调院发现并评价(图 3)。对矿区出露地层目前还有不同看法, 区内 1:20 万区域地质填图将矿区地层定为蓟县系塔昔达坂群, 区内矿产资源评价沿用了

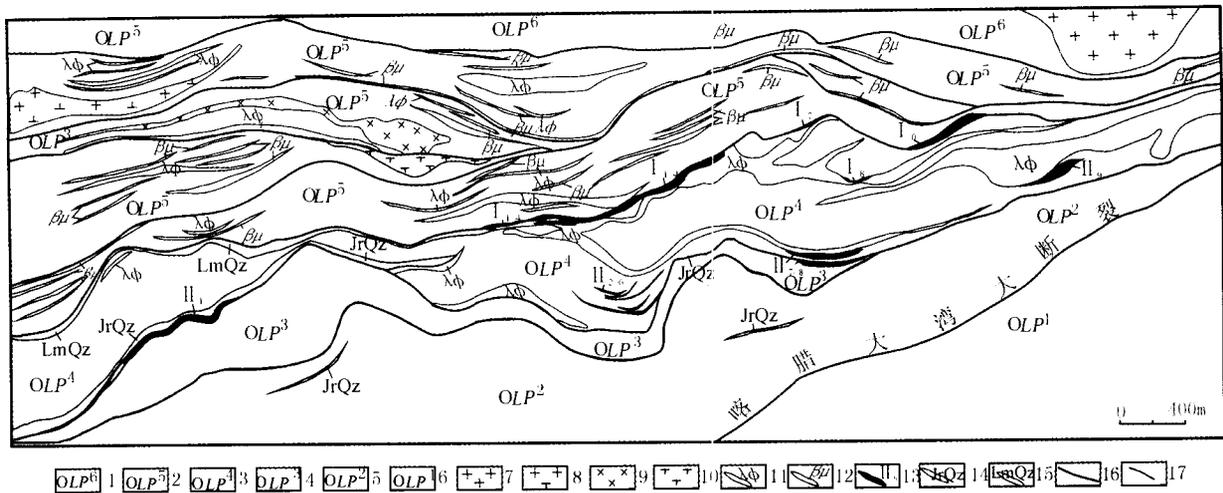


图3 喀拉大湾铅锌铜多金属矿床地质矿产图

Fig. 3 Sketch geological map of the Kaladawan Pb-Zn-Cu polymetallic deposit

(据新疆地质调查院第一分院六分队资料修改)

1. 奥陶系拉配泉群第六岩性段, 大理岩、黑云母大理岩含碳绢云母片岩, 含碳长英质绢云母片岩;
2. 第五岩性段, 二云母变粒岩、石英片岩、绿泥石英片岩、石英岩、含石榴石绢云绿泥千枚岩、钾化绿泥石英片岩;
3. 第四岩性段, 下部绢云母绿泥石石英片岩、含石榴石黑云母石英片岩、长石二云母石英片岩夹薄层状变质含砾灰岩、变质砾岩、绢云粉砂质板岩, 上部含钙质长石二云母片岩、二云母钙质片岩、变质粉砂岩, 金云母透闪石大理岩、石英岩夹二云母变质粉晶灰岩、流纹质板岩等;
4. 第三岩性段, 二云母石英片岩、含磁铁二云母石英片岩、磁铁石英岩夹磁铁矿岩透镜体;
5. 第二岩性段, 下部长石黑云母石英片岩、含角砾变质凝灰岩夹薄层黑云母角闪斜长片岩、绢云母绿泥变质粉砂岩, 中部含黄铁钾矾绢云母长石石英岩、长石二云母石英片岩、绢云母绿泥石英千枚岩, 上部绿泥绢云母变余砂砾岩、含绿泥粉砂质板岩及薄层变质流纹岩;
6. 第一岩性段分布在矿区的最西南部为变质凝灰岩、变质凝灰质砂岩、变质晶屑岩屑凝灰岩、霏细岩夹石英岩透镜体;
7. 华力西中期斜长花岗岩、花岗斑岩;
8. 华力西中期花岗岩闪长岩;
9. 辉长岩;
10. 华力西中期闪长岩;
11. 石英钠长斑岩;
12. 辉绿岩;
13. 矿体及其编号;
14. 黄铁钾矾化次生石英岩;
15. 褐铁矿化次生石英岩;
16. 断层;
17. 地层界线

这一划分, 但目前包括新疆地调院在内的区内地质工作者普遍认为是奥陶系, 与拉配泉一带的拉配泉群可以对比, 不排除有一部分片岩和碳酸盐岩是蓟县系的可能。主要岩石类型有变质凝灰岩、变质凝灰质砂岩、石英片岩、长石云母石英片岩、绿泥石石英片岩、石英岩、含磁铁二云母石英片岩夹磁铁矿岩透镜体、金云母透闪石大理岩、含碳长英质绢云母片岩等。区内发育北西西向、近东西向两组断裂, 岩石破碎强烈, 裂隙、片理发育。喀腊达坂深大断裂通过矿区南部, 北侧发育一系列北西西向次级断裂, 沿断裂分布的破碎蚀变带宽度十余米至数十米, 具黄铁矿化、黄钾铁矾化、次生石英化、硅化、绢云母化、碳酸盐化、钾化、重晶石化、萤石化等蚀变, 构成区内重要的赋矿构造。铜铅锌矿产于喀腊达坂黄铁矿化蚀变带中, 容矿围岩是含磁铁矿的黑云母片岩、黄铁绢英岩。矿化蚀变带和矿体在空间上与石英钠长斑岩紧密相随, 多产在石英钠

长斑岩的两侧。矿区分布有南、北两个矿带, 初步圈定 20 个矿体, 矿体长度为 100~1 450 m, 平均厚度为 1.30~14.30 m, 平均品位: Cu 0.37×10^{-2} ~ 0.85×10^{-2} 、Pb 0.60×10^{-2} ~ 1.98×10^{-2} 、Zn 1.02×10^{-2} ~ 2.61×10^{-2} 。金属矿物主要有黄铁矿、磁铁矿, 其次是闪锌矿、方铅矿、辉铜矿、黄铜矿、斑铜矿, 地表氧化矿发育褐铁矿、黄铁钾矾、孔雀石、铜蓝、铅矾、白铅矿、菱锌矿等; 脉石矿物有石英, 其次是绿泥石、绢云母、白云母, 少量重晶石、萤石。有用组分铅、锌, 其次是铜, 伴生金、银。围岩蚀变强烈, 主要有褐铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化、绿泥石化、绢云母化、高岭土化、硅化等。

4 找矿预测

4.1 预测方法

基于 GIS 矿产预测是近年来运用越来越广泛

的技术手段之一。本研究采用中国地质科学院成矿区划研究室开发的 GIS 的多元信息成矿预测系统 MRAS (Mineral Resources Assessment System) 软件 (肖克炎等, 2001), 对阿尔金地区的铜、金成矿作用进行远景区和靶区预测, 为该地区的工作部署提供依据。

预测采用的基础数据库包括重力数据库、航磁数据库、遥感数据库、化探数据库、地质图空间数据库、矿产地数据库、地理底图数据库, 数据库在原始数据的基础上进行解译和信息提取, 建立相应的子库。预测工作是在上述对区域成矿规律、控矿条件及找矿标志认真分析的基础上, 选择合适的预测变量, 运用非线性评价、证据权重和经验交互 3 种预测模型进行定量类比分析, 获得该种矿产的可能存在的有利空间分布, 圈出预测远景区或靶区。

通过对研究区内地质、地球物理、地球化学等的综合分析, 对可能的成矿地段圈定了预测单元, 采用等面积网格化单元作为本次研究的预测单元, 根据 1:50 万预测比例尺将研究区按每单元 100 km², 将全区划分为 1 950 个网格单元。

4.2 找矿远景区及预测区

矿产预测分 3 个层次开展。第一层次是根据成矿带地质构造演化特征和矿产分布情况, 结合地球化学异常、地球物理场和遥感地质特征, 将成矿带划分为成矿亚带, 建立成矿系列, 分析控矿因素, 构建成矿模型和找矿标志, 开展基于 GIS 技术的成矿预测工作; 第二个层次是在成矿亚带划分的基础上, 通过对成矿规律和成矿条件的总结, 划分成矿远景区; 第三个层次是在成矿远景区的基础上, 结合 GIS 成矿预测结果、成矿理论分析和野外实际踏勘所获得的经验, 进一步划分找矿预测区。

4.2.1 找矿远景区划分原则

本研究所指的找矿远景区是指介于成矿亚带和预测区之间或与成矿亚带相当的成矿有利地区, 成矿地质条件较好, 地球化学、地球物理和遥感异常突出, 已发现的矿化线索、矿化蚀变带、矿化点、矿点和矿床分布较多。其划分原则如下:

(1) 具有大致相同或相似地质构造演化背景, 相似的成矿地质条件, 处于同一成矿亚带。

(2) 具有相似的地球化学异常元素组合特征, 地球化学异常集中分布。

(3) 相似的地球物理场背景, 并提供存在矿床的有利信息。

(4) 已发现的矿床类型相似, 矿(化)点、矿床、矿化蚀变带分布较多。

(5) 相距较近的预查区或利用综合预测技术圈定的潜在预测区集中分布、可连成片。

(6) 面积一般为 1 000~5 000 km², 有利大比例尺地质矿产资源评价工作的统一部署和安排。

根据上述标准可将阿尔金成矿带划分为 5 个成矿亚带、10 个找矿远景区和 25 个找矿预测区(表 2) 根据基于 GIS 技术矿产预测结果、野外路线踏勘、区域矿产资源调查评价成果以及对成矿规律和控矿因素的综合分析, 可以从找矿预测区中优选以下重点地区进行矿产资源调查评价工作。

4.2.2 金矿床调查评价重点工作区

金矿床调查评价工作区要立足于目前已经发现的矿点、矿化点、矿床和地物化遥异常区开展工作, 综合研究表明, 哈布里-苦水河找矿预测区、大平沟-贝壳滩找矿预测区、金雁山-茫崖找矿预测区、白水河找矿预测区、塔什达坂-尧勒萨依找矿预测区。嘎斯煤田-玉苏普阿勒克找矿预测区是寻找金矿床的重点预测区。特别是吐库曼塔什萨依、白水河、苦水河、秦布拉克北等地区已发现了较好的找矿线索, 可以投入预查工作。而大平沟、恰什勘萨依、采石沟、阿克提大沟、玉勒山等已开展预查的地区, 可以进一步增加工作程度, 进行普查勘探。

4.2.3 多金属矿床调查评价重点工作区

阿尔金地区的铜多金属矿床是较有远景的矿种之一, 尽管目前的调查评价工作还没有取得实质性的进展, 但已发现了一批较好的找矿线索。综合各方面的资料表明, 拉配泉找矿预测区、更新沟-喀拉大湾找矿预测区、红柳沟-索拉克找矿预测区、嘎斯煤田-玉苏普阿勒克找矿预测区、肃拉木塔格南找矿预测区、秦布拉克北找矿预测区是寻找铜矿床的最佳工作区。在已经发现较大规模矿化带和矿体的拉配泉齐勒萨依、更新沟、喀拉大湾、秦布拉克北、索拉克等地区可开展进一步的普查工作。

表2 阿尔金成矿带成矿亚带、找矿远景区及找矿预测区划分

Tab.2 Classification of metallogenic subbelts, prospects and metallogenic series for the Altyn metallogenic belt

成矿亚带	找矿远景区	找矿预测区
阿尔金北缘成矿亚带	1. 多坝沟-柳城子远景区	(1) 大红山水晶-稀有-放射性元素找矿预测区
	2. 盖科果拉-红沟成矿远景区	
当金山口-拉配泉-红柳沟成矿亚带	3. 当金山口-玉勒山远景区	(2) 当金山口-大鄂博图 Cu-铁-稀土-稀有元素矿产找矿预测区 (3) 红柳沟石棉-Cr-Cu-Ni-Au-Mn 找矿预测区 (4) 哈布里-苦水河 Au-Cu 矿产找矿预测区
	4. 拉配泉-喀拉大湾远景区	(5) 拉配泉 Cu-Au-石棉找矿预测区 (6) 更新沟-喀拉大湾 Pb-Zn-Cu-Au-Ag 多金属矿产找矿预测区 (7) 白尖山 Au-Cu-Fe 矿产找矿预测区
	5. 大平沟-红柳沟远景区	(8) 大平沟-贝壳滩 Au-Ag-Cu-Fe-Cr-Ni-石棉-玉石找矿预测区 (9) 红柳沟-索拉克 Cu-Au-Cr-Ni-石棉-玉石找矿预测区
阿尔金南缘成矿亚带	6. 金泉山-茫崖远景区	(10) 金泉山-俄博梁-牛鼻子梁 Pb-Zn-Cu-Ni 多金属找矿预测区 (11) 金鸿山-茫崖 Au-Cu-W-多金属找矿预测区 (12) 花海子-冷湖-花土沟石油-盐类矿产找矿预测区
	7. 茫崖-吐拉远景区	(13) 茫崖地区石棉-Co-Ni-Cu-Sb-Au 矿产找矿预测区 (14) 嘎斯煤田-玉苏普阿勒克 Cu-Au-Co-Ni-Pt-Pd 矿产找矿预测区 (15) 肃拉木塔格南 Cu-Au-Fe-黄铁矿矿产找矿预测区
肃拉木塔格成矿亚带	8. 乌尊硝远景区	(16) 乌尊硝燃料矿产-盐类矿产预测区
	9. 喀拉乔喀-秦布拉克远景区	(17) 秦布拉克北 Cu-Au-Co-Ni-Pt-Pd 多金属找矿预测区 (18) 英格里克石棉-Cu-Co 找矿预测区 (19) 盖吉里克-清水泉 Au-Cu-多金属找矿预测区 (20) 白水河 Au-Cu 找矿预测区 (21) 黑山达坂-克其尧勒克萨依玉石-Au 找矿远景区
阿斯腾塔格成矿亚带	10. 库木达坂-江孜勒萨依远景区	(22) 云母矿南 W-Sn-稀土-稀有元素-白云母-白云岩找矿预测区 (23) 塔什达坂-尧勒萨依 Au-W-Sn-白云岩找矿预测区 (24) 江孜勒萨依 W-Sn-Pb-Zn-Cu-Ni 找矿预测区
	11. 索尔库里远景区	(25) 索尔库里 Au-多金属-燃料矿产找矿预测区

5 结论

阿尔金成矿带是我国地质演化历史最长的地区之一,地质构造演化独特,经历了多期多旋回构造岩浆活动,成矿地质条件优越,地球化学和地球物理异常发育。区内矿种较为齐全、矿床类型众多。石油、天然气、盐类矿产、石棉、玉石、金、铜是区内的主要矿种。其中,金矿床可划分为4种成因类型、铜多金属矿床可划分为5种类型。该成矿带可划分为阿尔金北缘、阿尔金南缘、红柳沟-拉配泉、阿斯腾塔格、肃拉木塔格五个成矿亚带,区域矿床可划分为8个系列和13个亚系列,固体矿产主要类型是以祥云金矿为代表的卡林型金矿床,以采石沟为代表的浅成低温热液金矿床,以喀拉大湾为代表的火山块状硫化物矿床,以茫崖为代表的石棉矿床、

以塔什萨依为代表的玉石矿床,这些类型矿床是区内主攻矿种和矿床类型。通过开展阿尔金断裂带两侧的地质发育特征的对比,认为红柳沟-拉配泉-安南坝加里东构造混杂带可与北祁连成矿带对比,要注意在拉配泉-喀拉大湾一带寻找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。通过对3种模型预测结果的叠加分析,圈定拉配泉等铜矿床找矿预测区7处,玉勒山等金矿床找矿预测区11处。野外实践表明,基于GIS的矿产预测工作是行之有效的,提供了很多重要的找矿信息以及其它方法未能认识的找矿靶区和远景区。由于该地区地质勘查工作程度很低,今后工作应分区域矿产资源评价基础性工作、矿产资源预查工作和矿产资源普查工作三个层次,主要任务是完成空白区1:100万区域重力测量,部署重点地区或空白

区 1:20 万区域重力测量、区域地球化学测量和 1:25 万区域地质调查, 部署哈布里—拉配泉等 8 个地区的预查工作和更新沟—喀拉大湾等 3 个地区的普查工作。

致谢: 本文项目工作过程中得到了新疆地调院、青海地调院、青海有色地勘局、中国地质调查局发展中心、国土资源部航空物探遥感中心的大力支持和协作, 新疆地调院、青海地调院、青海有色地勘局提供了各自的化探数据和矿产地资料, 并及时提供了矿产资源调查评价过程中所取得的成果。上述单位的领导王福同、董连慧、潘彤、严光生、方鸿彬、范正国、胡建卫、王庆明、张雪亭、刘永安、向运川等都曾亲自给予了指导或协调。项目工作过程中始终得到了中国地质调查局资源评价部领导、西安地质调查中心技术处和天津地质调查中心领导的热情指导、帮助和支持。

参考文献:

- 李惠民, 陆松年, 郑健康, 等. 阿尔金东端花岗片麻岩中 3.6Ga 锆石的地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 259-262.
- 车自成, 孙勇. 阿尔金麻粒岩相杂岩的时代及塔里木盆地的基底[J]. 中国区域地质, 1996, 15(1): 51-57.
- 刘良, 车自成, 王焰, 等. 1999. 阿尔金高压变质岩的特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 1996, 15: 57-64.
- 张建新, 许志琴, 杨经绥, 等. 阿尔金西段榴辉岩岩石学、地球化学和同位素年代学及其构造意义[J]. 地质学报, 2001, 75: 186-197.
- 校佩曦, 王永和, 张汉文, 等. 阿尔金山中段高压-超高压带含菱镁石榴子石二辉橄辉岩的发现及其地质意义[J]. 西北地质, 2001, 34(4): 67-74.
- 郭召杰, 张志诚, 王建军. 阿尔金北缘蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄及其大地构造意义[J]. 科学通报, 1998, 43(18): 1981-1984.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化与成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994. 1-437.
- 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 阿尔金两侧构造单元的对比及岩石圈剪切作用[J]. 地质学报, 1998, 68: 1-14.
- 杨经绥, 吴才来, 史仁灯, 等. 阿尔金米兰红柳沟的席状岩墙群: 海底扩张的重要证据[J]. 地质通报, 2002, 21: 69-74.
- 吴峻, 兰朝利, 李继亮, 俞良军. 阿尔金红柳沟蛇绿混杂岩中 MORB 与 OIB 组合的地球化学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21: 24-30.
- 校佩曦. 阿尔金山中段清水泉—茫崖蛇绿构造混杂岩带地质特征[J]. 西北地质, 2003, 36(2): 20-29.
- 校佩曦. 阿尔金山中段苏吾什杰岩体(群)地质特征[J]. 西北地质, 2003, 36(3): 14-23.
- 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. 1-841.
- 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 1-517.
- 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 1-249.
- 陈毓川. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 1-536.
- 熊盛清, 周伏洪, 姚正煦, 等. 青藏高原中西部航磁调查[M]. 北京: 地质出版社, 2001, 1-221.
- 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.
- 刘俊涛, 杨振军, 姚新年, 刘献华, 许国丽. 新疆阿尔金南缘断裂带东段成矿地质条件及找矿前景浅析[J]. 地质与勘探, 2004, 40(4): 32-36.
- 黄永平, 孙淑秋, 保广英, 等. 阿尔金采石沟金铜多金属矿床地质地球化学特征及找矿前景分析[J]. 矿产与地质, 2002, 17(1): 6-10.
- 刘洪川, 焦革军, 郑宗学. 青海阿尔金采石沟金-铜多金属矿床地质特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2005, 19(3): 286-290.
- 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): 133-137.
- 陈宣华, 杨风, 王小凤, 等. 阿尔金北缘地区剥离断层控矿和金矿成因—以大平沟金矿床为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(2): 122-127.
- 杨屹, 杨风, 刘新营, 等. 阿尔金大平沟金矿床地质特征及成因初探[J]. 新疆地质, 2002, 20(1): 44-48.
- 杨屹, 陈宣华, George Gehrels, 等. 阿尔金山早古生代岩浆活动与金成矿作用[J]. 矿床地质, 2004, 23(4): 464-472.
- 王小凤, 陈宣华, 陈正乐, 等. 阿尔金山地区铜金矿化富集规律[J]. 地质力学学报, 2001, 7(3): 201-207.
- 陈正乐, 陈宣华, 王小凤, 等. 新疆阿尔金山拉配泉铜矿床地质特征及成因初析[J]. 地质力学学报, 2002, 8(1): 71-78.
- 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.

References:

- Li Huimin, Lu Songnian, Zheng Jiankang, et al. Dating of 3.6 Ga zircons in granite-gneiss from the eastern Altyn Mountains and its geological significance[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry,

- 2001, 20 (4): 259-262 (in Chinese with English Abstract).
- Che Zicheng & Sun Yong. The age of the Altun granulite facies complex and the basement of Tarim basin [J]. *Regional geology of China*, 1996, 15 (1): 51-57 (in Chinese with English Abstract).
- Liu Liang, Che Zicheng, Wang Yan, et al. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altun Mountains [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15 (1): 57-64 (in Chinese with English Abstract).
- Zhang Jianxin, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, et al. Petrology, geochemistry and geochronology of eclogites from the western segment of the Altun tectonic belt, northwestern China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75 (2): 186-197 (in Chinese with English Abstract).
- Xiao Peixi, Wang Yonghe, Zhang Hanwen, et al. Discovery of magnesite-bearing garnet lherzolite in the Altun high ultrahigh pressure metamorphic belt and its geological significance [J]. *Northwestern Geology*, 2001, 34 (4): 67-74 (in Chinese with English Abstract).
- Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, Wang Jianjun. The Sm-Nd isochron age and tectonic significance of ophiolite belt along the northern margin of the Altun mountains [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43 (18): 1981-1984 (in Chinese with English Abstract).
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. Crustal Evolution and Mineralization in Paleozoic of Xinjiang, China [M]. Urumchi: People Publishing House of Xinjiang, 1994, 43-47 (in Chinese).
- Xu, Zhiqing, Yang Jingsui, Zhang Jianxin, et al. A comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing [J]. *Acta Geol. Sin.*, 1999, 73 (3): 193-205 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Wu Cailai, Shi Rendeng. Sheet dike swarm in Hongliugou, north west Altun region: evidence for seafloor spreading [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21 (2): 69-74. (in Chinese with English abstract)
- Wu Jun, Lan Chaoli, Li Jiliang, Yu Liangjun. Geochemical evidences of MORB and OIB combination in Hongliugou ophiolite mélanges, Altun fault belt [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 12 (1): 24-30 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Peixi. The geological features of phiolite tectonic mixtite belt from Qingshuiquan to Mangai in the middle section of Altun [J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36 (2): 20-29.
- Xiao Peixi. The geological features of Suwushijie rock body (group) in Altun middle-zone [J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36 (3): 14-23.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993, 163-165 (in Chinese).
- Cheng Yuqi. *Review of Regional Geology of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994, 215-217 (in Chinese).
- Cui Junwen, Tang Zhemin, Deng Jinfu, et al. *Altun Fault System* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999, 39-49 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan. Mineral resources assessment of major metallogenic province in China [M]. Beijing: geological Publishing House, 1999, 1-536. (in Chinese with English abstract).
- Xiong shengqing, Zhou Fuhong, Yao Zhengxu, et al. The aeromagnetic survey in the central and western Qinghai-Tibet plateau [M]. Beijing: geological Publishing House, 2001, 1-221. (in Chinese with English abstract)
- Mao Debao, Wang Kezhao, Zhong Changting, et al. Metallogenic series and geological characteristics in Altyn metallogenic belt [J]. *Geology and Prospecting*, 2003, 39 (5): 1-5.
- Liu Juntao, Yang Zhenjun, Yao Xinnian, Liu Xianhua, Xu Guoli. Ore-Forming Geological Conditions and ore prospects of the fault on the southern margin of the Altyn mountains, Xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 2004, 40 (4): 32-36 (in Chinese with English abstract).
- Huang Yongping, Sun Shuying, et al. Geological and geochemical characteristics of the Caishigou gold-copper polymetallic deposit in Altyn and its exploration prospects [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2002, 17 (1): 6-10 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hongchuan, Jiao Gejun, Zheng Zongxue. Geological characteristics and genesis of Caishigou gold-copper polymetallic deposit in Altyn Mountains, Qinghai [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2005, 19(3): 286-290 (in Chinese with English abstract).
- Yang Feng, Chen Bailin, Chen Xuanhua, et al. A discussion on the genesis of Dapinggou gold deposit of Xinjiang, northwest China [J]. *Geol. & Resources*, 2001, 10 (3): 133-138 (in Chinese with English

- abstract).
- Chen Xuanhua, Yang Feng, Wang Xiaofeng, et al. Detachment and gold deposit in north Altyn Tagh—an example study of Dapinggou gold deposit [J]. *J. Jilin Univ. (Earth Science Edition)*, 2002, 32 (2): 122-127 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yi, Yang Feng, Liu Xinying, et al. Geological features and origin of Dapinggou gold deposit in Altun area [J]. *Xinjiang Geol.*, 2002, 20 (1): 44-48 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yi, Chen Xuanhua, George Gehrels, et al. Early Paleozoic Magmatism and Gold Metallogenesis in Altun Mountains, Northwest China [J]. *Mineral Deposits*, 2004, 4: 464-472 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaofeng, Chen Xuanhua, Chen Zhengle, et al. Cu-Au enrichment and mineralization in Altyn Tagh [J]. *J. Geomechanics*, 2001, 7 (3): 201-207 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhengle, Chen Xuanhua, Wang Xiaofeng, et al. Study on the tectonics stress field in the Altyn Tagh area and its controlling to the distribution of metal deposits [J]. *Geol. & Prospecting*, 2002, 38 (5): 18-23 (in Chinese with English abstract).
- Mao Debao, Wu Yongping, Ge Guiping, et al. Geological and geochemical characteristics of the main metallic deposits in Altyn metallogenic belt and a discussion on their genesis [J]. *Geological Survey and Research*, 2006, 26 (1): 1-10.

Study on Metallogenic Characteristics and Target Areas in the Altyn Tagh Metallogenic Zone

MAO De-bao¹, ZHONG Chang-ting¹, NIU Guang-hua¹,

WANG Jie¹, WANG Ke-zhuo², WANG Hong-jun², LI Zhi-ming³

(1. *Tianjin Institute Geology and Mineral Resources, Tianjin, 300170, China*; 2. *Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumuqi, 830011, China*; 3. *Xi'an Institute Geology and Mineral Resources, Xi'an, 710054, China*)

Abstract: Situated between the Tarim and Qaidam basins, the Altyn Tagh metallogenic belt stretches 600 km in NE-SW direction. The belt is mainly composed of Archean-Paleozoic metamorphic rocks and sedimentary rocks filling in the Mesozoic-Cenozoic fault-bound basins in the belt. The area has undergone multi-phased tectonic events including deformation, magmatism, tectonic uplift and strike-slip movement. Metallic, non-metallic and energy resource deposits have been developed in the belt and Au, Cu, Pb and Zn ore deposits have shown a great potential. The metallic deposits can be divided into 9 types that are represented by Au deposits in the Caishigou, Dapinggou and Xiangyun areas, and Cu deposits in the Lapeiquan, Suolake and Kaladawan areas. Based on the regional survey, geochemical and geophysical exploration, remote sensing and studies of mineralization and factors controlling the ore-forming as well as the use of GIS method, 5 metallogenic zones, 10 promising areas and 25 target areas have been determined in the belt.

Key words: Altyn Tagh metallogenic belt; metallogenic prognosis; prospecting direction; prospecting area; prospecting target