doi:10. 20008/j. kckc. 202304008

柴北缘滩间山金矿区Au-As-Sb地球化学异常组合及其外围找矿预测应用

王进寿[1],安永尉[1],李鹏[2],朱传宝[3,4],王莎[5],王建国[6],周豪[6]

(1. 青海省地质调查院 青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室,青海 西宁 810012;2. 青海省第一地质矿产勘查院,青海 海东 810000;3. 青海省地质矿产勘查开发局,青海 西宁 810008;4. 青海省第三地质矿产勘查院,青海 西宁 810029;5. 青海省第四地质矿产勘查院,青海 西宁 810006;6. 青海大学地质工程系,青海 西宁 810003)

摘 要 Au-As-Sb地球化学异常组合在中低温热液型金矿床中常指示着矿体前缘晕相或中浅部矿体的出露,对剥蚀较弱的金矿床而言,该组合化探异常有利于指引造山型金矿床浅部金矿体的发现。不同于传统化探需测试数十个元素、处理上万个数据而圈定异常的惯例,在柴北缘成矿带滩间山金矿区及外围水系沉积物研究中,采用Au-As-Sb元素组合特征分析方法圈定多个Au-As-Sb地球化学异常组合,大幅提高了水系沉积物勘查的工作效率。同时,R型聚类分析表明Au、As、Sb元素之间相关性强,与已发现的青龙沟、金龙沟大型造山型金矿床地质特征、主成矿期自然金+黄铁矿+毒砂+(黄铜矿+方铅矿+闪锌矿)矿石矿物组合、造山型金矿床连续成矿模型Au、As、Sb纵向变化规律等特点基本一致,表明该地区矿床赋存深度处于中浅成,预示着该矿床外围和深部具有较好找矿前景。

关键词 Au-As-Sb组合;中低温热液型;成矿预测;滩间山金矿外围;柴北缘

中图分类号:P611 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-7801(2023)04-0608-08

Au-As-Sb geochemical anomaly association of the Tanjianshan gold deposit in the northern margin of Qaidam basin and its application of peripheral prospecting prediction

WANG Jinshou[1], AN Yongwei[1], LI Peng[2], ZHU Chuanbao[3,4], WANG Sha[5], WANG Jianguo[6], ZHOU Hao[6]

(*1. The Northern Qinghai-Tibet Plateau Geological Processes and Mineral Resources Laboratory, Qinghai Geological Survey Institute,*

[收稿日期]2021-02-25; [修回日期]2022-09-30

[基金项目]本文受青海学者专项"柴达木盆地及周缘战略性矿产成矿作用及找矿突破"(QHS201802)和中国矿产地质志项目(DD20221695、DD20190379、DD20160346)联合资助。

[第一作者简介]王进寿,男,1972年生,博士,正高级工程师,主要从事地质调查与矿产勘查工作;E-mail:1633467350@qq.com。

[引用格式]王进寿,安永尉,李鹏,朱传宝,王莎,王建国,周豪. 2023. 柴北缘滩间山金矿区Au-As-Sb地球化学异常组合及其外围找矿预测应用[J]. 矿产勘查,14(4):608-615.

Wang Jinshou, An Yongwei, Li Peng, Zhu Chuanbao, Wang Sha, Wang Jianguo, Zhou Hao. 2023. Au-As-Sb geochemical anomaly association of the Tanjianshan gold deposit in the northern margin of Qaidam basin and its application of peripheral prospecting prediction[J]. Mineral Exploration, 14(4): 608-615.

Xining 810012, Qinghai, China; 2. The First Geological Mineral Exploration Institute of Qinghai Province, Haidong 810000, Qinghai, China; 3. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Qinghai Province, Xining 810008, Qinghai, China; 4. The No. 3 Institute of Geology Exploration of Qinghai Province, Xining 810029, Qinghai, China; 5. The No. 4 Institute of Geology Exploration of Qinghai Province, Xining 810006, Qinghai, China; 6. Department of Geological Engineering, Qinghai University, Xining 810003, Qinghai, China)

Abstract: Au-As-Sb geochemical anomaly assemblages often indicate the front halo facies of ore bodies or the outcrop of shallow ore bodies in medium-low temperature hydrothermal gold deposits. For gold deposits with weak denudation, this combination of geochemical anomalies is conducive to guiding the discovery of shallow gold ore bodies in orogenic gold deposits. Different from the traditional geochemical exploration, which needs to test dozens of elements and process tens of thousands of data to delineate anomalies, in the study of the Tanjianshan gold mining area and peripheral stream sediments in the northern margin of Qaidam basin, the Au-As-Sb combination analysis method is used to delineate multiple geochemical anomalies, which significantly improves the efficiency of stream sediment exploration. At the same time, the R-type cluster analysis shows that there is a strong correlation between Au, As and Sb elements, which is consistent with the geological characteristics of the discovered Qinglonggou and Jinlonggou large-scale orogenic gold deposits, the ore mineral assemblage characteristics of natural gold + pyrite + arsenopyrite + (chalcopyrite + galena + sphalerite) in the main metallogenic period, and the vertical variation law of Au, As and Sb in the continuous metallogenic model of orogenic gold deposits, indicating that the occurrence depth of the stakes in this area is in the middle and shallow, indicating that the periphery and deep parts of the deposit have good prospecting prospects.

Keywords: Au-As-Sb assemblage; medium-low temperature hydrothermal type; metallogenic prediction; periphery of Tanjianshan gold deposit; northern margin of Qaidam basin

0　引言

Au-As-Sb 地球化学异常组合是指与中低温热液型金矿床有关的区域水系沉积物地球化学元素组合,在世界各地不同成矿区带、不同成矿时代的造山型金矿床、卡林型金矿床或富含金的矿床中普遍存在(Bitri et al., 1999; Couto and Borges, 2005; Buchholz and Oberthur, 2007; Simard et al., 2013)。Au-As-Sb 作为成矿元素组合出现,通常代表着金矿体前缘晕相的始现或接近矿体中上部位(李惠等, 2010)。Au-As-Sb 区域地球化学异常的地质过程及成因已逐渐被矿物学、元素地球化学及矿床成因等方面的研究所揭示(Groves et al., 1998; Göd and Zemann, 2000; 胡楚雁, 2001; An and Zhu, 2009; 薛建玲等, 2017; 高永伟等, 2019; 王庆飞等, 2019; 刘一浩等, 2020)。但在传统的金矿地球化学勘查方法中,一般需测试数十个相关或无关元素,进而"海选"出具潜在查证意义的成矿元素综合异常,所圈定的综合异常中一般包含数个元素,某种程度上不但受到化探异常多解性的困扰,而且因异常评价不确定性而影响勘查效果,方法的有效性及经济性大打折扣。尽管大多数中低温热液金矿床中也可能会出现 Ag、Pb、Cu、Zn、W、Bi、Cd 等异常,但经过"去伪存真、化繁就简",剔除这些元素异常干扰后,根据 Au-As-Sb 地球化学异常组合特征即可大致判断圈定的化探异常查证价值,吕军等(2009)对变异系数较大的 Au-As-Sb-Ag 地球化学异常进行查证即成功发现了金矿床。近年来,大中比例尺水系沉积物测量在金矿勘查中独特有效(王学求, 2013; 吴正昌等, 2018),尤以 Au-As-Sb 地球化学异常组合以其潜在的找矿方法优势而逐渐受到水系沉积物地球化学测量的重视。对造山带剥蚀程度较浅的金勘查靶区而言,Au-As-Sb 地球化学异常有利于指引对造山型金矿床浅—中深部金矿体的发现,因而,该元素组合具良好的金找矿指示意义甚或以此作为圈定预测找矿靶区的直接依据。只要优选出少量相互关联,目标一致、最能揭示某种类型成矿本质特征的关键信息组合,就可能导致该类型矿床被发现(郑有业等, 2009)。

滩间山金矿区位于柴达木盆地北缘赛什腾山

东南翼，包括大型青龙沟金矿床、大型金龙沟金矿床和中型细晶沟金矿床，地理坐标范围为东经94°31′～94°37′，北纬38°12′～38°18′，已查明金资源量81.875吨，其中仅金龙沟金矿床金资源量达46.743吨，金平均品位6.52×10^{-6}（潘彤等，2021）。矿床为加里东期和华力西期造山阶段（张德全等，2001）在中低温岩浆热液和韧性剪切构造主导下大规模成矿作用的产物（李世金，2011；戴荔果，2019），是柴北缘Pb-Zn-Mn-Cr-Au-白云母成矿带（徐志刚等，2008）中重要的造山型金矿床（张德全等，2001；王庆飞等，2019）。该区经历了古生代洋陆俯冲—大陆碰撞—折返—垮塌的复杂演变过程（宋述光等，2015），成矿地质条件优越，区域内分布多个热液型金矿床（赖华亮等，2020）。近年来，在高寒山区的滩间山金矿区（史长义等，2016）开展了1∶50000比例尺的传统地球化学勘查及靶区圈定（青海省第五地质矿产勘查院，2014①），但因测试元素繁多，使得化探综合异常圈定效率低下，且化探异常解释困难。本文对该水系沉积物地球化学测试元素的选取重新作了优化，采用Au、As、Sb元素测试数据及其地球化学组合异常分析，于矿区外围圈定数十处Au-As-Sb地球化学异常并发现多处矿（化）点，表明在金矿勘查中选择Au、As、Sb元素开展地球化学测量及其组合异常特征分析较为有效，同时，预测该地区外围尚有很大的金找矿前景。

1　矿床地质特征

滩间山金矿区赋矿地层主要为中元古界万洞沟群（Pt_2W）绿片岩相变质岩，其次为奥陶系滩间山群（OT）变安山岩和砂岩，呈北西—南东向展布（图1）。万洞沟群下岩组为白云质大理岩夹少量绢云石英片岩等，上岩组以炭质绢云千枚岩为主，矿体均赋存于该岩组中（杨佰慧，2019；文相正和崔义文，2020）。滩间山群中也产出有金矿（床）点，但目前在柴北缘成矿带该套地层中已发现金矿床规模较小。受构造影响，矿区地层产状较陡倾（张德全等，2001）。

区内侵入岩主要为华力西期石英闪长玢岩、斜长花岗斑岩，其次为基性岩。中酸性岩成岩年龄为（356±2.8）Ma（张延军等，2016），形成于碰撞后伸展构造环境，为成矿提供热动力和部分矿质（杨佰慧，2019）；空间上与金矿脉关系密切，对金成矿有叠加改造影响。

褶皱和断裂复杂交错（图1），褶皱核部及两翼由万洞沟群组成；断层主要发育两组，北西向断层为区域性断裂，数量多、规模大、延伸远，沿走向有分叉复合现象，断面倾角55°～70°，具韧性剪切和压扭性质，沿该方向构造破碎带局部见小规模金矿（化）体；北东向断裂规模较小，断面倾角50°～70°，具“右行”压扭特点，多为层间断裂带或层间剥离滑动带，该组断裂具有多期活动性，为重要的储矿构造。

金龙沟金矿床主要工业金矿体（占90%以上储量）就位于褶皱翼部及转折端附近，形态和产状明显受翼部片理化带及后期断层控制。多呈脉状、透镜状成群产出，沿走向有分枝复合、尖灭再现的现象，与围岩无明显界线。倾角一般60°～70°，长20～430 m，宽0.60～62.38 m，变化较大，控制最大斜深约400 m，金平均品位（3.9～13.4）×10^{-6}。

滩间山金矿区矿石类型有蚀变炭质千枚岩型和石英脉型，主要矿石矿物均为含砷黄铁矿，少量毒砂、自然金、银金矿等，石英脉型矿石另含微量黄铜矿（贾建业等，1996）。在青龙沟金矿床，镜下偶见有银锑黝铜矿（戴荔果，2019），脉石矿物多由绢云母、石英和少量碳酸盐、高岭石、石墨、电气石组成。载金矿物主体为黄铁矿，其次为毒砂和石英。主成矿阶段矿石矿物组合为：自然金+黄铁矿+毒砂+（黄铜矿+方铅矿+闪锌矿），金以次显微单体或不可见金包裹于微细粒黄铁矿中（戴荔果，2019）。矿石中除金外，伴有少量的银可综合回收，其他金属含量甚低，无利用价值；矿石中As含量较高，原生矿As含量0.23%～0.24%。

矿床围岩蚀变强烈，蚀变矿物组合为绢云母+石英+铁白云石+黄铁矿+锐钛矿，与金矿化关系密切的蚀变作用类型主要有绢云母化、硅化、黄铁矿化。自矿体向围岩方向，黄铁矿化程度急剧减弱。

2　样品采集与测试

研究区主要为高寒山区地貌，海拔3000～4500 m，相对高差一般在500～1500 m，中深切割区。土壤类型主要由寒性干旱土和寒冻正常新成土组成，植被不发育。全区1∶5万水系沉积物测量实际采样面积为1060 km^2，采集水系沉积物有效样品5508件，平均采样密度为5.27件/km^2，已知矿化地段采

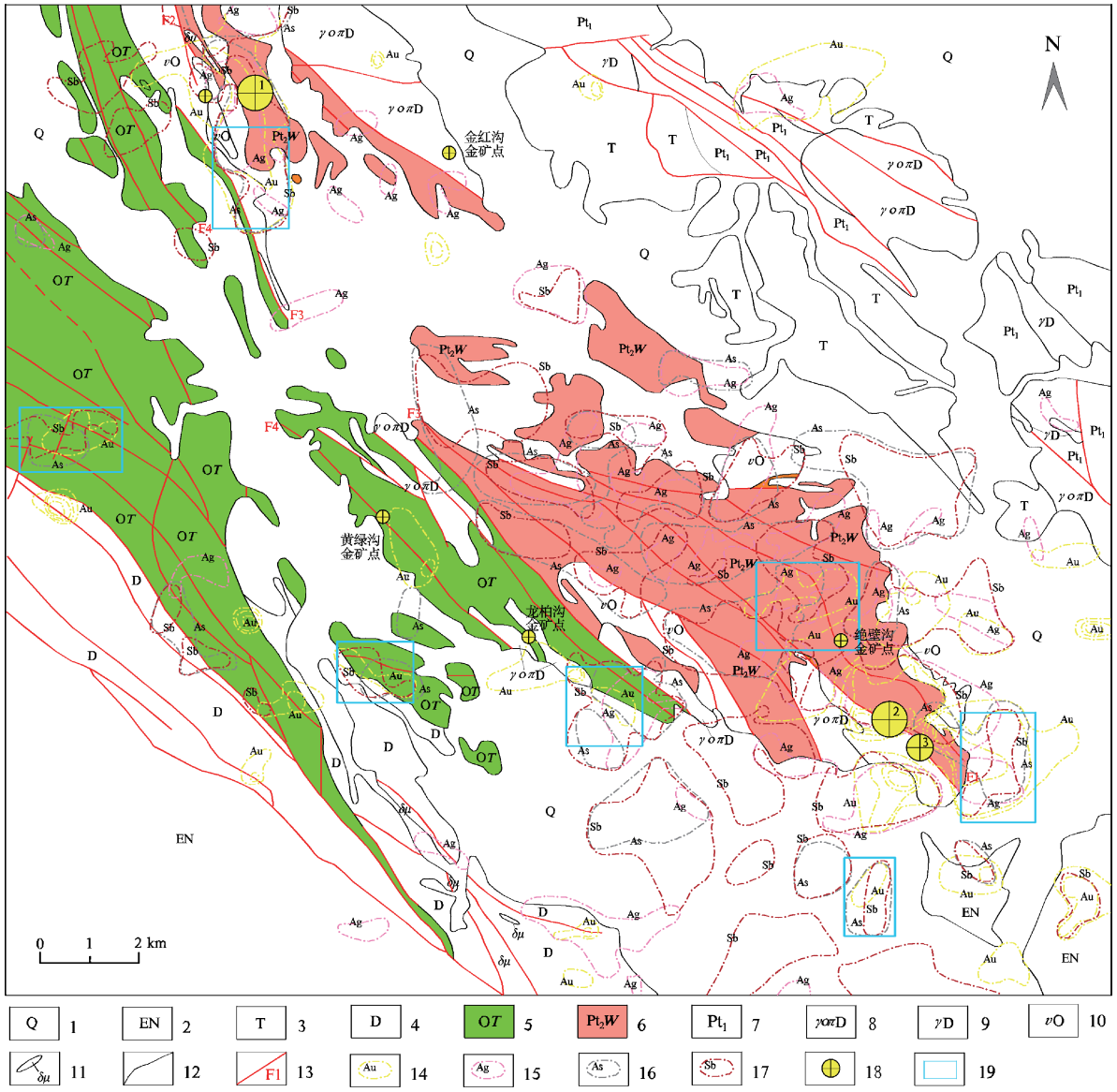


图 1　滩间山金矿区地质图(据青海省第一地质矿产勘查院,2013[2]修改)

1—第四系;2—古近系—新近系碎屑岩;3—三叠系石英砂岩;4—泥盆系砂砾岩;5—奥陶系滩间山群变安山岩、砂岩;6—中元古界万洞沟群炭质绢云千枚岩;7—古元古界片麻岩;8—泥盆纪斜长花岗斑岩;9—泥盆纪花岗岩;10—奥陶纪辉长岩;11—闪长玢岩脉;12—地质界线;13—断层及主要断层编号;14—Au 异常;15—Ag 异常;16—As 异常;17—Sb 异常;18—金矿床(点)及主要矿床编号(1—青龙沟大型金矿床;2—金龙沟大型金矿床;3—细晶沟中型金矿床);19—找矿预测区

样密度为 6.1 件/km^2。采样点主要布置在地形图上可以辨认的最小水系(>300 m)一级水系口上,对长度大于 500 m 的水系,进行溯源追加布点。地表径流发育地区采样部位根据采样点所处位置,选择在活动性流水线上,有利于冲积物各种粒级碎屑颗粒物易于汇集处采样,干沟或水系不明显时剥除表层覆盖物进行采样,间歇性流水、干沟或很少流水的干河道中,选择于河床底部采样,主要为水系沉积物中的中粗粒砂。采样点位附近 30 ~ 50 m 范围内多点采集后组合为 1 件样品,野外采集样品原始重量大于 300 g,用 10 目、60 目不锈钢筛套筛充分过筛,取-10 ~ +60 目粒段物质拌匀,四分方法缩分配制组合样品,重量约 180 g。

所有水系沉积物样品送至国土资源部西宁矿产资源监督检测中心测试,测试单位插入水系沉积物 I 级标准物质(监控样)252 件,微金 I 级标准物质 252 件(监控样),外部标准控制样 252 件。样品被自然风干或 60 ℃以下烘干后用无污染球磨机粉碎至

200目，然后将试样混匀，剩余样品采用棒磨机加工，做微金（Au）分析试样。采用X-射线荧光光谱法（XRF）、等离子体质谱法（ICP-MS）、原子荧光法（AFS）、发射光谱法（ES）等对Au、Ag、As、Sb、Cu、Ba、Zn、Pb、W、Mo等19种元素进行定量分析。

3　元素在赋矿地层中的分布与组合特征

3.1　元素在赋矿地层中的分布特征

本文重点利用元素平均值（X）、标准离差（S）、变异系数（Cv）参数讨论赋矿地层万洞沟群中水系沉积物地球化学特征和规律。对研究区及万洞沟群地层的Au、Ag、As、Sb元素的原始数据，统计得到算术平均值、几何平均值、算术标准离差、变化系数、极值等，对数据集进行离群点（最高值、最低值）迭代处理，全域背景值通过平均值加、减3倍标准离差循环剔除高、低值后，由平均值加2倍标准离差求得直到无离群数值可剔除为止，形成背景数据集参数，作为确定异常下限及区内成矿预测的基础。

赋矿地层万洞沟群出露区采集的水系沉积物Au、Ag、As、Sb元素地球化学参数统计结果见表1，由表可知，Au元素丰度平均值显著高于研究区和柴北缘成矿带，这与滩间山一带中元古代地层中大规模出现的金矿床、矿（化）点相关，普遍背景值较高，如滩间山大型金矿田和青龙沟金矿床，赋矿围岩地层中As、Sb作为Au的伴生元素丰度值也相对偏高；Ag的变异系数较小，但标准离差偏大，可能局部较富集，这与该矿床综合回收少量银相吻合，Au地球化学异常总体反映了地层中的成矿元素高含量。

表1　滩间山金矿区万洞沟群地层Au、Ag、As、Sb水系沉积物地球化学特征参数

元素	参数特征值				
	X（平均值）	S（标准离差）	Cv（变异系数）	全区异常下限	柴北缘成矿带丰度值
Au	5.78(*1.88)	57.43(*15.97)	9.94(*8.50)	3.00	1.45
Ag	82.19(*51.83)	126.52(*37.68)	1.54(*0.73)	75.00	69.00
As	36.58(*9.46)	4.62(*17.51)	1.14(*1.85)	30.00	6.04
Sb	1.10(*0.40)	0.94(*0.45)	0.85(*1.14)	1.20	0.34

注：数据来源于青海省第五地质矿产勘查院，2014[①]；赋矿地层万洞沟群出露区采集水系沉积物样品数为340件，全区采集样品数为5508件；*为全区平均值；变异系数（Cv）为元素标准离差（S）与平均值（X）的比值。Au、Ag单位为10^{-9}，As、Sb单位为10^{-6}。

3.2　元素组合特征

利用GeoExplor化探专业软件对研究区水系沉积物元素Au、Ag、As、Sb、Cd、Pb、Zn进行R型聚类分析和元素组合特征研究，将成矿元素划分为2个地质意义明显的簇群（图2）。第Ⅰ簇Au、Ag、As、Sb组合，相关性＞0.80。分布于滩间山、胜利沟、黄绿沟、青龙滩、红柳沟地区，呈高背景，且有成矿事实，如青龙沟金矿床等，反映了该区以Au为主的中低温成矿元素组合，Ag、As、Sb为伴生元素，显示成矿作用与浅成中低温热液活动关系密切，同时也表明成矿元素初始物源与万洞沟群地层绿岩有关（张德全等，2001），金矿体赋矿围岩（蚀变千枚岩）及同类型矿石中Au与As、Sb呈密切正相关关系（崔艳合等，2000）。

第Ⅱ簇Cd、Pb、Zn组合，反映Pb、Zn矿化因子，相关性较好，但仅在局部沿断裂构造或酸性侵入岩边部有富集趋势和高含量点，未发现有意义的矿化线索，可能反映了该地区较强的构造活动或后期地壳岩浆活动，对找矿无指示作用，本文不作赘述。

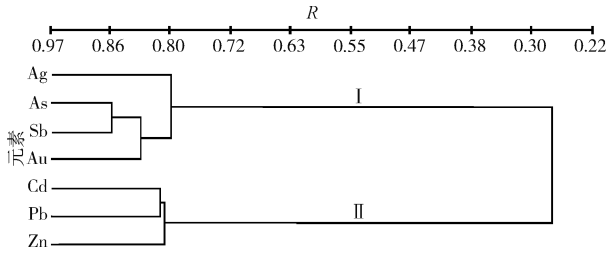


图2　滩间山金矿区Au、Ag、As、Sb、Cd、Pb、Zn聚类分析谱系图

（据青海省第五地质矿产勘查院，2014[①]修改）

4　讨论及找矿潜力预测

滩间山金矿区成矿温度主要介于232～278 ℃，成矿压力为12.16～23.21 MPa，属于造山型金矿范畴的浅成中温热液型矿床（杨佰慧，2019），Au与

As、Sb 具有极好正相关关系,其相关系数分别为 0.94、0.91(崔艳合等,2000)。另据李惠等(2010)对金成矿 4 阶段(卢焕章等,2018)的研究认为,Au 及 Ag、As、Sb、Pb、Zn 主要来自主成矿期的金-石英-黄铁矿阶段和金-多金属硫化物阶段,作为热液型金矿中主要的载金矿物,黄铁矿的载金能力与其 As 含量多呈正相关(刘一浩等,2020),而滩间山金矿区主成矿期也划分出金-石英-黄铁矿、金多金属硫化物、石英-黄铁矿、石英-方解石-黄铁矿 4 个阶段,矿物组合为自然金+黄铁矿+毒砂+(黄铜矿+方铅矿+闪锌矿),黄铁矿以高 As 为特征(于凤池等,1998),以上因素使得矿区及外围 Au 及 As、Sb、Ag 等元素高值区分布数量众多,另黄铁矿中 Te 元素含量也较高,万洞沟群中 Au 元素形成了滩间山金矿田的初始矿化富集(于凤池等,1998),局部储矿构造有利地段 Au 浓集沉淀最终形成金矿床。

研究区水系沉积物元素 *R* 型聚类组合特征为 Au-As-Sb,与典型的造山型金矿元素组合特征及矿床类型纵向分布模型(Groves,1993;Groves et al.,1998)相比,本区金矿床 Au-As-Sb 组合处于中浅成矿类型区域(图 3),这点与野外观察到的绿片岩相围岩相符合,稳定同位素、流体包裹体研究也表明成矿流体类型为浅成中温热液(崔艳合等,2000);同时,水系沉积物测量结果佐证,Au、Ag、As、Sb 元素异常广泛分布于滩间山地区,且于多处地段形成相互套合较好的 Au-As-Sb-(Ag)组合异常,尤以青龙沟金矿床、金龙沟金矿床和细晶沟金矿床元素异常面积大、异常峰值高,均已证实为与矿(化)体有关的矿致异常,而在该元素异常组合发育不完整地段则无矿床发现或在 Au 高值点偶见矿化点产出,由此表明,该组合在滩间山地区具有很好的找矿指向性。基于此,在实际勘查中利用 Au-As-Sb 组合开展已探明矿区中深部及外围找矿方向预测适宜可行。

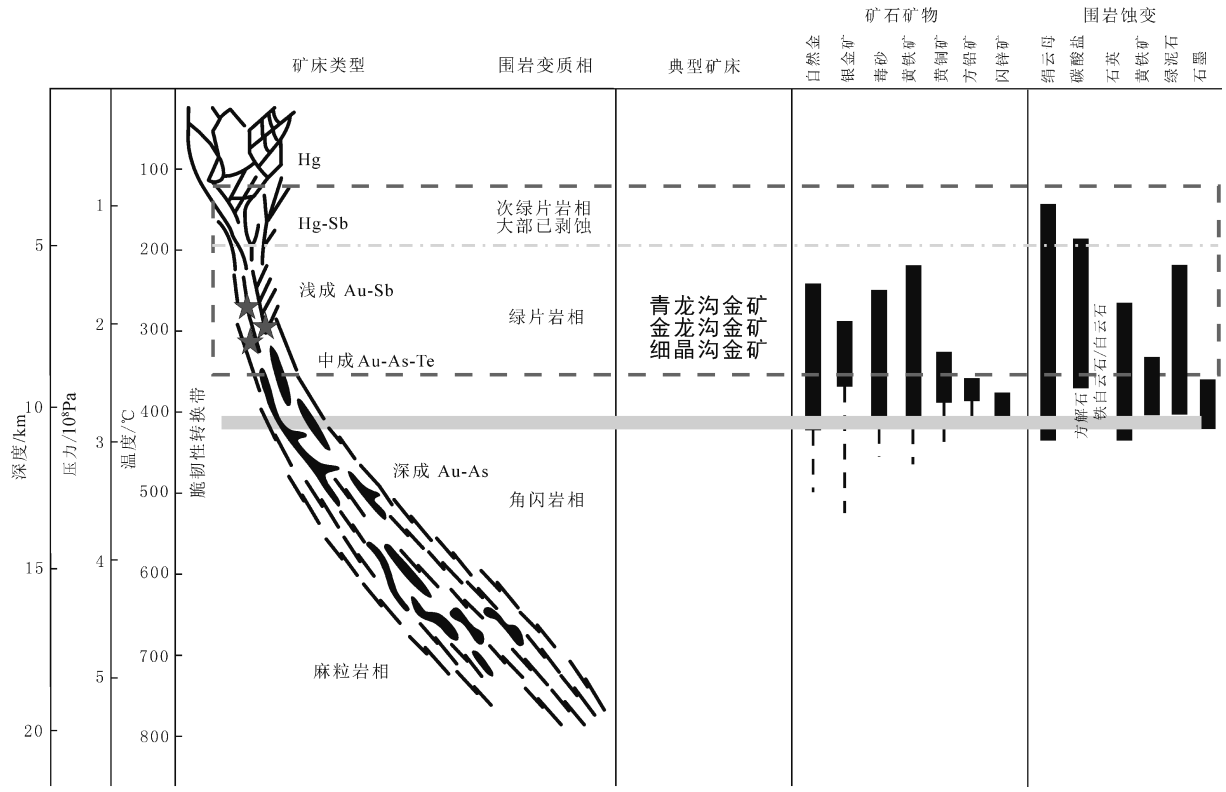


图 3　柴北缘造山带型金矿连续成矿、矿床类型及 Au-As-Sb 元素组合模式图

(底图据 Groves,1993;Groves et al.,1998 修改)

综上所述,笔者依据 Au-As-Sb 特征组合在滩间山地区圈定 7 处找矿远景区(图 1),其中 4 处位于已知矿床外围,含矿地层为万洞沟群(部分地段下伏于第四系),包括青龙沟金矿床南部外围 1 处(面积约 2.6 km^2),金龙沟金矿床东侧外围 1 处(面积约 3.1 km^2)、南侧外围 1 处(面积约 1.5 km^2)、绝壁沟金

矿点西北侧1处(面积约3.9 km²),Au、As、Sb组合异常特征显著,成矿条件良好,发现隐伏矿体的前景较大;另外3处远景区处于滩间山群含矿地层发育区,Au、As、Sb组合异常亦较明显,通过勘查有可能发现矿(化)体,但鉴于该套地层在柴北缘成矿带金成矿规模小的事实,寻找较大规模矿床的概率较小。

5　结论

(1)柴北缘滩间山金矿区及外围水系沉积物Au、As、Sb、Ag异常强烈、具高背景特征,区内金矿床(点)成矿事实显著,指示该区以Au、As、Sb等中低温成矿元素为主,成矿作用与浅成中低温热液活动关系密切,同时地层地球化学特征参数表明成矿元素物源与万洞沟群绿岩相关。

(2)聚类分析表明,研究区水系沉积物Au、As、Sb呈强相关性,属Au-As-Sb特征类型组合,与典型造山型金矿元素组合特征及中浅成矿床类型元素纵向分布规律相符合,表明本区金矿床处于中浅成矿类型区域,与已发现青龙沟、金龙沟大型造山型金矿地质特征、主成矿期自然金+黄铁矿+毒砂+(黄铜矿+方铅矿+闪锌矿)矿石矿物组合特征基本一致,预示着该矿床外围和深部具有较好的找矿前景。

(3)以滩间山地区水系沉积物Au-As-Sb组合类型识别为基础,结合区域含矿地层特征分析,在万洞沟群绿岩分布区圈定3处有可能发现矿体的预测靶区,另在滩间山群地层范围内圈定3处有一定找矿潜力的预测区。

致谢　本文为中国矿产地质志·青海卷Ⅲ-24柴北缘成矿带的部分成果,成文过程中得到青海省地质矿产勘查开发局潘彤总工程师的悉心指导帮助,在此致以诚挚谢意!

注　释

① 青海省第五地质矿产勘查院. 2014. 青海柴北缘1:5万(J46E010018、J46E011018和J46E011019)等三幅化探地球化学图说明书[R].

② 青海省第一地质矿产勘查院. 2013. 青海省滩间山地区金及多金属矿整装勘查实施方案[R].

参考文献

An F, Zhu Y F. 2009. Significance of native arsenic in the Baogutu gold deposit, Western Junggar, Xinjiang, NW China[J]. Chinese Science Bulletin, 54(10): 1744 - 1749.

Bitri A, Truffert C, Bellot J P, Bouchot V, Ledru P, Milesi J P, Roig J Y. 1999. Imagery of crustal-scale As-Au-Sb hydrothermal palaeoflelds in the Variscan belt: Vertical seismic reflection (GeoFrance 3D: French Massif Central)[J]. Comptes Rendus del Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science, 329(11): 771 - 777.

Buchholz P, Oberthur T. 2007. Multistage Au-As-Sb mineralization and crustal-scale cluid evolution in the Kwekwe district, midlands greenstone belt, Zimbabwe: A combined geochemical, mineralogical, stable isotope, and fluid inclusion study [J]. Economic Geology, 102(3): 347 - 378.

Couto H, Borges F S. 2005. Stratiform Sb and Au mineralizations in the Hercynian Dúrico-Beirã area (North Portugal) [C]//Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge: Proceedings of the Eighth Biennial SGA Meeting Beijing, China, Springer Berlin Heidelberg, 97 - 99.

Göd R, Zemann J. 2000. Native arsenic-realgar mineralization in marbles from Saualpe, Carinthia, Australia[J]. Mineralogy and Petrology, 70(1/2): 37 - 53.

Groves D I. 1993. The crustal continuum model for late-archaean lode-gold deposits of the Yilgam Block, west Australia[J]. Mineralium Deposita, 28(6): 366 - 374.

Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G, 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 Geology Reviews, 13(1): 7 - 27.

Simard M, Gaboury D, Daigneault R, Mercier L P. 2013. Multistage gold mineralization at the Lapa mine, Abitibi Subprovince: Insights into auriferous hydrothermal and metasomatic processes in the Cadillac - Larder lake fault zone[J]. Mineralium Deposita, 48(7): 883 - 905.

崔艳合, 张德全, 李大新, 顾光先, 丰成友. 2000. 青海滩间山金矿床地质地球化学及成因机制[J]. 矿床地质, 19(3): 211 - 221.

戴荔果. 2019. 青海省滩间山—锡铁山地区金铅锌成矿系统[D]. 武汉: 中国地质大学.

高永伟, 王志华, 黎卫亮, 张振亮. 2019. 热液型金矿床中的黄铁矿矿物学研究综述[J]. 西北地质, 52(3): 58 - 69.

胡楚雁. 2001. 黄铁矿的微量元素及热电性和晶体形态分析[J]. 现代地质, 15(2): 238 - 241.

贾建业, 刘建朝, 兰斌明. 1996. 滩间山黑色岩系金矿床金的赋存状态研究[J]. 地球科学与环境学报, 18(3): 15 - 20.

赖华亮, 李顺庭, 王建, 杨克水, 侯振广. 2020. 青海柴北缘青山金矿综合找矿方法研究[J]. 矿产勘查, 11(2): 311 - 320.

李惠, 张国义, 禹斌, 李德亮. 2010. 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果[J]. 地学前缘, 17(1): 287 - 293.

李世金. 2011. 祁连造山带地球动力学演化与内生金属矿产成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学.

刘一浩, 薛春纪, 赵云, 赵晓波, 褚海霞, 刘城先, 余亮, 王璐, 吴得海. 2020. 我国热液金矿中黄铁矿的载金性研究[J]. 现代地

质, 34(1): 1 - 11.
卢焕章, 迟国祥, 朱笑青, Guha J, Archambault G, 王中刚. 2018. 造山型金矿的地质特征和成矿流体[J]. 大地构造与成矿学, 42(2): 244 - 265.
吕军, 曹亚平, 韩振哲, 于俊川. 2009. 地球化学测量找矿成功案例——黑河市北大沟金矿床的发现[J]. 物探与化探, 33(5): 515 - 519.
潘彤, 薛万文, 王贵仁, 王福德. 2021. 青海矿产地质志普及本[M]. 北京: 地质出版社, 151 - 205.
史长义, 梁萌, 冯斌. 2016. 中国水系沉积物39种元素系列背景值[J]. 地球科学, 41(2): 234 - 251.
宋述光, 王梦珏, 王潮, 牛耀龄. 2015. 大陆造山带碰撞-俯冲-折返-垮塌过程的岩浆作用及大陆地壳净生长[J]. 中国科学:地球科学, 45(7): 916 - 940.
王庆飞, 邓军, 赵鹤森, 杨林, 马麒镒, 李华健. 2019. 造山型金矿研究进展:兼论中国造山型金成矿作用[J]. 地球科学, 44(6): 2155 - 2186.
王学求. 2013. 勘查地球化学80年来重大事件回顾[J]. 中国地质, 40(1): 322 - 330.
文相正, 崔义文. 2020. 青海金龙沟金矿床地质特征及成因[J]. 矿产勘查, 11(2): 237 - 242.
吴正昌, 王会敏, 江俊杰, 宴俊灵, 李百球. 2018. 水系沉积物地球化学普查中若干问题探讨[J]. 物探与化探, 42(5): 932 - 936.
徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 6 - 44.
薛建玲, 庞振山, 叶天竺, 甄世民, 陶文, 杨添天. 2017. 中国金矿床成矿规律与找矿预测研究[J]. 地学前缘, 24(6): 119 - 132.
杨佰慧. 2019. 青海金龙沟金矿矿床地质特征及矿床成因研究[D]. 长春: 吉林大学.
于凤池, 马国良, 魏刚锋, 王永祥, 梅安静. 1998. 青海滩间山金矿床地质特征和控矿因素分析[J]. 矿床地质, 17(1): 47 - 56.
张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阚升好, 余宏全, 董英君, 崔艳合. 2001. 柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质, 20(2): 137 - 146.
张延军, 孙丰月, 许成瀚, 禹禄. 2016. 柴北缘大柴旦滩间山花岗斑岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学及 Hf 同位素[J]. 地球科学, 41(11): 1830 - 1844.
郑有业, 陈仁义, 庞迎春, 施俊法, 高顺宝, 左仁广. 2009. "协优"成矿预测方法的理论探索与实践[J]. 地球科学, 34(3): 511 - 513.

本刊声明

(1)稿件文责自负。凡向本刊投稿作者需要保证其拥有该论文的完全著作权(版权),并视为自愿同意将对论文的汇编权(论文的部分或全部)、翻译权、印刷权和电子版的复制权、网络传播权和发行权转让给编辑部;凡不同意修改、不同意将稿件以网络形式发表者,请事先声明。

(2)本刊刊登的所有内容(转载部分除外),未经编辑部书面同意,任何单位和个人不得以任何形式转载、张贴、结集、翻译等经营性使用。

(3)来稿一经采用,即付稿酬(包括中国学术期刊、万方数据库、重庆维普、中邮网等入编稿酬),并寄送当期样刊。