

资源开发

# 柴达木盆地北缘野骆驼泉钴矿化地质地球化学特征及找矿方向

刘具仓<sup>1</sup>, 赵战锋<sup>2</sup>, 张立武<sup>3</sup>

(1. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海 格尔木 816000;

2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局 第四地质大队, 新疆 阿勒泰 836500)

**摘要:** 野骆驼泉所在的柴达木盆地北缘除了有众多中小型金矿外, 近年来, 钴的找矿工作也有较大进展。在对该区钴矿的预查工作中发现, 矿化体主要赋存于破碎带和蚀变的闪长岩中, 破碎带的含矿性要好于闪长岩, 成矿潜力也较大。破碎带的岩石地球化学剖面统计和分析显示, 元素轴向分带序列为: Cu-Zn-Pb-Mo-Ni-W-Co-Au (由上到下), 地表和钻孔钴的化验结果表明, 蚀变破碎带含钴具有由南向北逐渐升高、自地表向深部逐渐变富的趋势。因此, 认为北部较南部剥蚀深度大, 已经处于气化—高温阶段。本研究为下一部的找矿勘查提供了可供参考的依据。

**关键词:** 野骆驼泉; 破碎蚀变带; 钴矿化特征; 找矿方向

中图分类号: P313

文献标识码: A

文章编号: 1673-2464 (2010) S1-0103-06

## GEOCHEMISTRY AND ORE-FINDING GUIDANCE OF YELUOTUOQUAN COBALT MINERALIZATION IN NORTH MARGIN OF TSAIDAM BASIN

LIU Ju-cang<sup>1</sup>, Zhao Zhan-feng<sup>2</sup>, Zhang Li-wu<sup>3</sup>

(1. Integrated Geological Exploration Team, Qinghai Geermu 816000, China;

2. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. No. 4 Geological Team of Xinjinag Bureau of Geology and Mineral Resources, Altay, Xinjiang 836500, China)

**Abstract:** Besides a few small to middle gold deposits, in the north margin of Tsaidam basin, the Yeluotuoquan cobalt mineralization was also discovered recently. Through the exploration, the cobalt mineralization is hosted in the fracture zone and altered diorite, but fracture zone is better than diorite, indicating a higher cobalt potential. The geochemical cross section displays an elemental zonation, downward, Cu-Zn-Pb-Mo-Ni-W-Co-Au. According to the drilling, the cobalt ascends to north and to the depth in the fracture zone. The north area has a bigger eroded depth than the south, belonging to a gasification to high temperature stage. This work provides a guidance for the next exploration.

**Key words:** Yeluotuoquan; fracture altered zone; Cobalt mineralization; ore-finding guidance

### 1 概述

野骆驼泉地区位于赛什腾山—阿尔茨托山加里东、印支期铅、锌、金、银、钨、锡、铬、煤(铜、钴、稀土)成矿带西端<sup>①</sup>。前人在该区的研

收稿日期: 2010-03-15; 修订日期: 2010-05-08; 责任编辑: 刘英姿。

第一作者简介: 刘具仓 (1972—), 男, 工程师, 主要从事地质找矿研究。E-mail: 454834116@qq.com

①青海省地矿局, 青海省第三轮成矿远景区划研究及找矿靶区预测, 2003

究主要集中在包括滩间山、红柳沟和青龙沟等在内的造山型金矿<sup>[1-7]</sup>, 关于钴矿化少有涉猎。在青海省新一轮矿产普查项目实施过程中, 在水系扫面和对金矿进行进一步调查时发现该区有钴矿化的存在, 局部地表已经达到工业品位。本文通过较为深入的分析野骆驼泉矿化区主要金属元素富集特征, 明晰控矿的构造及南北部的剥蚀深度, 为下一部的找矿勘查提供了可供参考的依据。

## 2 地质环境

研究区位于柴达木准地台柴北缘断褶带赛什腾

山隆起带中段(图 1a), 区内出露的主要地层为上奥陶统滩间山群红旗沟组千枚岩段( $O_3h^2$ )及变砂岩夹板岩段( $O_3h^3$ )(图 1B), 大量的蚀变闪长岩脉沿南北向侵入其中。区内和矿化有关的主要是断裂构造。其中断层构造以 F2 为主干断层, 由该断层和其分支的 F3、F4 断层破碎带形成一帚状构造, 由南东向北西撒开。F3、F4 与区内褶皱形成了“背斜加一刀”构造模式, 该模式对矿液的运移、沉淀、富集具有重要意义<sup>①</sup>(图 1)。F3 破碎带呈近南北向展布, 向南逐渐变窄, 最后汇交于 F2 上, 出露长度约 3 km, 倾向东, 倾角  $47^\circ \sim 78^\circ$ , 破碎带宽

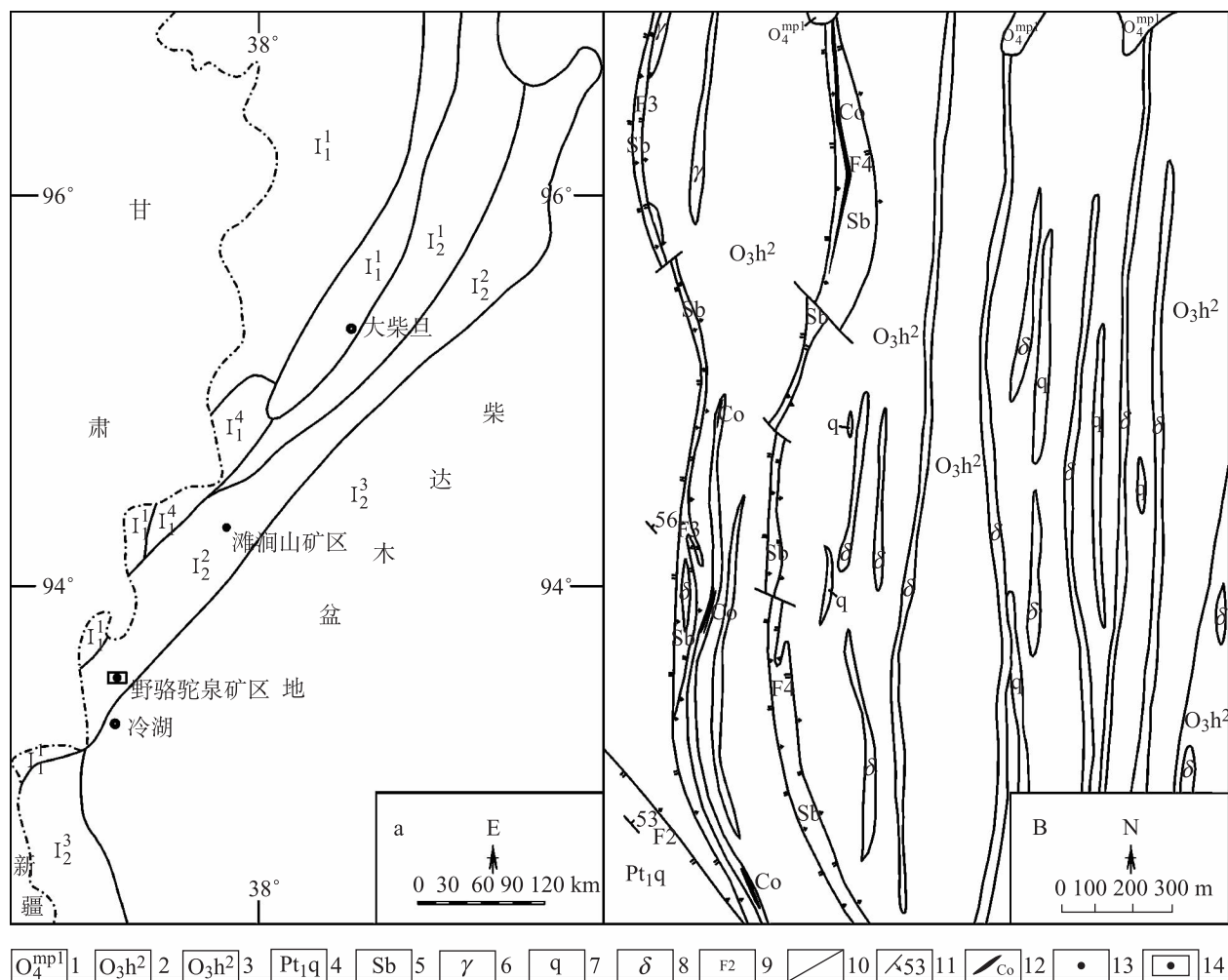


图 1 柴北缘构造区划图 (a) 和野骆驼泉矿区地质图 (B)

I—秦祁昆晚加里东造山系;  $I_1^1$ —北祁连造山亚带;  $I_1^4$ —达肯大坂元古宙古陆块体;  $I_2^1$ —欧龙布鲁克—乌兰元古宙古陆块体;  $I_2^2$ —赛什腾山—阿尔茨托山造山亚带;  $I_2^3$ —柴达木晚古生代断拗盆地; II—青藏北特提斯华力西—印支造山系;  $II_1^1$ —宗务隆山华力西造山亚带; 1—第四系全新统冲洪积砂土砾石层; 2—上奥陶统滩间山群变砂岩夹板岩; 3—上奥陶统滩间山群千枚岩; 4—下元古界达肯大坂群二云石英片岩夹黑云石英片岩; 5—褐黄色破碎蚀变带; 6—肉红色花岗岩脉; 7—灰—灰白色石英脉; 8—灰绿色闪长岩脉; 9—逆断层及编号; 10—平移断层; 11—岩层产状; 12—钴矿(化)体; 13—矿区位置及其名称; 14—研究区。

①青海省柴达木综合地质勘查大队, 青海省冷湖行委野骆驼泉西钴矿预查, 2003

4~53 m，地表含矿性不佳。F4 破碎带亦呈南北向展布，岩性组合有灰黑色褐铁矿化千枚岩、土黄色糜棱岩、灰绿色糜棱片岩、褐黄色构造角砾岩、灰白色糜棱片岩。破碎带在地表呈带状，长 3.52 km，宽 5~150 m，具膨大缩小、分枝复合之现象。另外，破碎带北端膨大部位，由西向东可进一步划分为 4 条构造岩带，即土黄色糜棱岩带、灰绿色糜棱片岩带、灰白色糜棱片岩带和褐黄色构造角砾岩带。在这 4 条构造岩带中根据其蚀变类型可划分出 4 种蚀变带，即硅化带、绿泥石化带、绢云母化带和褐铁矿化带。

### 3 钴矿（化）体特征

通过野外地质工作，在矿区两破碎带（F3、F4）间蚀变闪长岩及 F4 破碎带发现有钴矿存在。蚀变闪长岩呈脉状产出，走向近南北，倾向东，倾角约 50°，宽 10~25m，地表可见长度约 2 km。闪长岩呈细粒结构和块状构造，岩石普遍具磁铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化和片理化。岩石中发育节理裂隙，大多被后期石英脉充填，石英脉与围岩接触带上磁铁矿化明显增强。钴矿化与绿泥石化、磁铁矿化和褐铁矿化关系密切。矿（化）体宽 0.75~2 m，长约 200 m，钴最高含量 0.09%，最低含量 0.02%，平均含量 0.037%。矿体产状宏观上与闪长岩一致，但就单个矿脉而言，与侵入于闪长岩中的石英脉产状一致；F4 含钴蚀变破碎带目前样品控制长度 865 m，其北段赋存于绿泥石化带内，南段赋存于硅化带内。绿泥石化带长 730 m，最宽达 110 m，窄处 6 m。该带以韧性变形为主，后期脆性变形作用叠加，蚀变岩石具糜棱岩化、挤压片理化、角砾岩化，蚀变类型为绿泥石化、少量褐铁矿化。硅化带长 950 m，最宽达 100 m，窄处 10 m，分布于土黄色糜棱岩带中。该带主要以韧性变形为主，其中发育有 A 型褶皱、鞘褶皱、石香肠等变形构造形迹，蚀变岩石具糜棱岩化，蚀变类型主要为硅化，其次是褐铁矿化、黄铁矿化。钴矿体在该带中延伸约 135 m。

## 4 地球化学特征

### 4.1 主要地质体元素的富集和离散特征

经过对 1:5 000、1:10 000 岩石剖面岩石样

分析结果进行统计整理，研究区及外围各地质体含矿性（表 1），得如下结果：

- 1) 矿区外围辉长岩熔蚀残留体内，Ti、Ni 平均值相对较高，其分别大于 1/16 和 1/4 浓幅分位值（刘文辉，2009），但其变化系数较小，这是辉长岩岩石化学特征的正常反应。
  - 2) La、Nb 平均值小于 1/16 浓幅分位值，且变化系数均小于 100%，由此推测以上元素在区内成矿前景较差。
  - 3) Zr 在花岗岩内平均值大于 1/16 浓幅分位值<sup>[1]</sup>，但变化系数只有 20.1%，说明离散程度小，成矿可能性小。
  - 4) 蚀变闪长岩内 Co 平均值为  $97.88 \times 10^{-6}$ ，远远大于其 1/2 浓幅分位值（ $49 \times 10^{-6}$ ）<sup>[1]</sup>，但其变化系数不大，说明闪长岩普遍具 Co 矿化。
  - 5) 破碎蚀变带内 Au、Co、Cu、Mo、As、Pb 变化系数大于 100%，其中 Co 达 187.5%，表明以上元素在破碎带内离散程度较大，具成矿潜力，其中 Au、Co 已有矿体存在。
  - 6) 千枚岩内 Au、Cu、Mo、As、Pb 变化系数大于 100%，这可能与元素的不均匀扩散有一定关系。
- 综上所述，矿区外围 Ti、Ni、La、Nb、Zr 成矿前景较差，矿区内闪长岩和破碎带是找 Au、Co 的重要地质体。

### 4.2 元素轴向分带

前人通过对大量热液矿床原生晕进行研究，研究表明，热液矿床原生晕的分带是普遍现象，每一种矿都有自己的特征元素组合，也都有其轴向分带顺序<sup>[8]</sup>。同时，通过大量的轴向分带现象对比，还可发现，不仅是同一类型矿床的原生晕轴向分带顺序有很多的相似之处，而且在成分不同和形成条件不同的原生晕轴向分带顺序中，也有很多相似的地方，这就反映出热液矿床原生晕具一些共同特征<sup>[9]</sup>。邵跃等<sup>[10]</sup>就提出元素垂向分带序列为：Sn-W-Zn<sub>1</sub>-Ga-In-Mo-Re-Co（Au<sub>1</sub>，As<sub>1</sub>）-Bi、Cu、Ag-Zn<sub>2</sub>-Cd-Pb-Au<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>-Sb-Hg-Ba-Sr（由下至上）。

为了解矿化区内主要金属元素轴向分带特征，笔者在垂直破碎带（F4）测制的剖面，用穿过破碎带样品平均值与其宽度乘积获得线金属量，标准化后计算出标准化线性金属含量和分带指数。据分带指数计算出变异性指数（G）及变异性指数梯度差

表 1 各地质体元素特征一览表

	金属元素	Au	Co	Cu	Mo	As	Pb	Zn	Ti	W	Ni	Zr	Nb	La
千枚岩	$\bar{X}$	6.13	17.65	21.03	1.98	14.64	29.63	34.64		2.51	38.31			
	S	10.14	15.30	21.73	2.20	21.11	85.02	25.69		1.71	14.97			
	$\delta$	10.09	15.23	21.62	2.19	21.01	84.61	25.56		1.70	14.90			
	Cv%	165.4	86.7	103.3	111.1	144.2	286.9	74.2		68.1	39.1			
片岩混合岩	$\bar{X}$		6.23						3578.7		6.9	284.8	17.6	34.57
	S		3.62						1380.4		0.80	104.40	2.75	4.79
	$\delta$		2.95						1127.1		0.65	85.24	2.24	3.91
	Cv%		58.1						31.5		11.6	36.7	15.6	13.9
破碎带	$\bar{X}$	67.62	47.60	25.89	4.07	46.10	26.15	28.63		12.95	26.99			
	S	108.97	89.24	25.97	5.80	64.13	29.17	25.53		10.10	17.28			
	$\delta$	107.01	87.63	25.28	5.69	62.84	28.65	25.07		9.91	17.47			
	Cv%	161.2	187.5	100.3	142.5	139.1	111.5	89.2		78.0	65.9			
花岗岩	$\bar{X}$		6.04						3212.5		6.76	345.2	15.88	37.67
	S		1.67						690.9		2.61	69.46	2.11	8.60
	$\delta$		1.66						688.7		2.60	69.22	2.11	8.57
	Cv%		27.6						21.5		38.6	20.1	13.3	22.8
花岗闪长岩	$\bar{X}$		6.38						2664.5		10.15	204.18	14.55	25.93
	S		2.20						1485.1		3.92	102.97	11.92	11.08
	$\delta$		1.91						1286.1		3.40	89.18	10.32	9.60
	Cv%		34.5						55.7		38.6	50.4	81.9	42.7
蚀变闪长岩	$\bar{X}$	61.89	97.88	86.77	3.37	15.25	16.98	21.88		11.58				
	S	49.93	43.67	103.13	1.22	10.08	10.74	11.96		9.60				
	$\delta$	47.07	41.17	97.23	1.15	9.50	10.13	11.28		9.05				
	Cv%	80.7	44.6	119.6	36.2	66.1	63.3	54.7		82.9				
辉长岩	$\bar{X}$		33.05						6521.3		72.81	124.18	11.39	27.29
	S		10.35						2608.2		52.40	84.76	4.09	6.91
	$\delta$		10.28						2589.7		52.03	84.16	4.06	6.86
	Cv%		31.3						40.0		72.0	68.3	35.9	25.3

注： $\omega$ （Au）/ $10^{-9}$ 、 $\omega$ （其他）/ $10^{-6}$

( $\Delta G$ )<sup>[11]</sup>。破碎带（F4）测制的剖面中各金属元素异性指数（ $G$ ）及变异性指数梯度差（ $\Delta G$ ）如下， $G_{Pb上} = 0.2352/0.2310 = 1.0182$ ， $G_{Pb下} = 0.2352/0.1147 = 2.0506$ ， $\Delta G_{Pb} = G_{Pb上} - G_{Pb下} = -1.0324$ 。 $G_{Zn上} = 0.4165/0.3195 = 1.3036$ ， $G_{Zn下} = 0.4165/0.1627 = 2.5599$ ， $\Delta G_{Zn} = G_{Zn上} - G_{Zn下} = -1.2563$ ，故  $\Delta G_{Pb} > \Delta G_{Zn}$ 。

$G_{Au} = 0.0859/0.0054 + 0.0859/0.0117 = 23.2493$ ， $G_{Co} = 0.0615/0.0049 + 0.615/0.0113 = 17.9935$ 。

$G_{Mo} = 0.0499/0.0391 + 0.0499/0.0205 =$

$3.7071$ ， $G_{Ni} = 0.2717/0.1225 + 0.2717/0.1574 = 3.9441$ 。

$G_W = 0.1602/0.0220 + 0.1602/0.0922 = 9.0913$ ，故  $G_{Au} > G_{Co} > G_W > G_{Ni} > G_{Mo}$ 。

由表 2 可知，Cu 元素分带指数最大值处于最高标高处，故其为最前缘元素。Pb、Zn 分带指数最大值同处于中间，以其变异性指数梯度差（ $\Delta G$ ）来判断各自具体位置，小者靠近前缘。Au、Co、W、Ni、Mo 分带指数最大值同处于最低标高处，则以变异性指数（ $G$ ）的大小确定上下次序，大者靠近尾部。

表 2 野骆驼泉地区线金属量、标准化线金属量及分带指数表

分析类别	采样高程	Au	Co	Cu	Mo	Pb	Zn	Ni	W
线性金属元素含量	3910 m	0.04114	39.51	54.85	7.18	80.97	111.99	55.18	32.32
	3745 m	0.01162	10.56	33.26	8.45	50.69	89.76	26.4	4.75
	3600 m	17.4199	12462.7	1893.8	1011.5	2325.6	3298	5508	3248.7
标准线性金属元素含量	3910 m	41.14	39.51	548.5	71.8	809.7	1119.9	551.8	323.2
	3745 m	11.62	10.56	332.6	84.5	506.9	897.6	264	47.5
	3600 m	17419.9	12462.7	18938	10115	23256	32980	55080	32487
分带指数	3910 m	0.0117	0.0113	0.1565	0.0205	0.231	0.3195	0.1574	0.0922
	3745 m	0.0054	0.0049	0.1543	0.0392	0.2352	0.4165	0.1225	0.022
	3600 m	0.0859	0.0615	0.0934	0.0499	0.1147	0.1627	0.2717	0.1602

注：Au = 1000；Co = 1；Cu = 10；Mo = 10；Pb = 10；Zn = 10；Ni = 10；W = 10。标准化线金属量总合，3910m（3505.55）；3745m（2155.28）；3600m（202738.60）

综上所述，该破碎带内元素轴向分带序列为：Cu-Zn-Pb-Mo-Ni-W-Co-Au（由上到下），这虽与经验轴向分带序列不完全一致，但分带趋势具有一定相似性。

5 找矿方向

通过地质工作，在矿区两破碎带（F3、F4）间蚀变闪长岩及 F4 破碎带发现有钴矿存在，经初步评价认为破碎带找钴前景较好，而蚀变闪长岩钴矿成矿前景不佳。破碎蚀变带找矿前景良好，这一点可从以下几方面来分析认识。首先从该破碎带内元素的富集和离散特征看，钴的变化系数为 187.5%，Au 为 161.2%，具较好的富集离散特征；其次从元素轴向分带序列及钴矿化空间分布特征看，预示破碎带深部具较好的成矿前景；第三，就破碎带本身而言，前期的韧性变形加上后期脆性变形，使其为较良好的配矿、导矿和容矿构造，对矿质的运移、沉淀较为有利；第四，目前已在其北端发现了成矿事实，矿化体长 865 m，平均厚度 2.85 m，且钴的最高品位达 0.15%，为其边界品位的 7.5 倍，平均品位 0.063%，为其边界品位的 3.15 倍。闪长岩为钴元素高含量地质体，钴矿质来源可能有两种途径。其一，闪长岩侵入时提供热源，根据熵变原理，围岩中 Co 元素发生定向运移，最后在闪长岩中沉淀而使其成为钴元素高含量地质体；其二，物质来自深部，随闪长岩的侵入而运移，最终使闪长岩成为钴元素高含量地质体。闪长岩就位后，

因遭受后期应力作用，形成诸多节理裂隙，由于石英脉沿节理裂隙侵入，使闪长岩中 Co、Fe 等元素再次活化，最终在石英脉与围岩接触带附近富集成矿，这样就造成了闪长岩含矿极不稳定的客观现象。

在区内目前发现的两条破碎带中，西侧破碎带（F3）未发现矿化线索。东侧破碎带（F4）南北向展布，岩性组合有灰黑色褐铁矿化千枚岩、土黄色糜棱岩、灰绿色糜棱岩、褐黄色构造角砾岩、灰白色糜棱片岩等。在地表呈带状，长 3.52 km，宽 5 ~ 150 m，具膨大缩小、分枝复合之现象。在该带北段已发现有钴矿存在，长 865 m，平均宽 2.85 m，最高品位 0.15%，最低品位 0.025%，平均品位 0.063%。从取样分析结果看，钴品位地表上有由北向南逐渐降低之趋势，在垂向上有深部品位高于地表的现象（见表 2）。该破碎带北段目前已有金矿床产出，且在金矿区发现了钴矿化体，再将破碎带内元素轴向分带序列与经验元素轴向分带序列相对比，可以发现，破碎带北段剥蚀程度较大，已处于气化—高温阶段。根据调查，该段钴品位向深部有变富趋势，据此，加大北段深部找矿具一定潜力。另外，该区实际地形南高北低，且在南部地表发现有铜矿化存在，根据轴向分带序列认为，前人在破碎带南段地表未发现较好的钴金矿化线索，是剥蚀程度不够所致，所以破碎带南段深部具有较好的成矿潜力。

6 结论

1) 从地表看，蚀变闪长岩后期热液作用极不

均匀，导致其含矿不连续，且品位极不稳定，所以其含矿性总体不佳。若向深部其裂隙逐渐发育，矿化逐渐增强，则其具一定找矿前景，今后对其可进行一定程度的深部了解。

2) 破碎带在该区具重要找矿意义，其北段剥蚀程度较大，钴矿已经出现，且向深部有变富之趋势，南段剥蚀程度小，深部可能有盲矿存在。

3) 该区重要的含矿破碎带（F4）元素轴向分带序列为：Cu-Zn-Pb-Mo-Ni-W-Co-Au（由上到下），与经验轴向分带序列有一定相似性，可以作为下一步找矿的依据。

参考文献

[1] 张德全, 张慧, 丰成友, 等. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的流体包裹体研究[J]. 中国地质, 2007, 34(5): 843-854

[2] 贺领兄, 范照雄. 青海省大柴旦红柳沟金矿床的地质特征及其成因探讨[J]. 矿产与地质, 2006, 20(113): 36-43

[3] 周湘志, 杨凡. 青海省大柴旦青龙沟金矿矿石工艺特性及金的赋存状态[J]. 青海科技, 2008(4): 30-32

[4] 吴正寿, 邓元良, 苏生顺. 青海省大柴旦镇红柳沟金矿床地质特征及其成因[J]. 青海地质, 2001(1): 36-39

[5] 崔艳合, 张德全, 李大新, 等. 青海滩间山金矿床地质地球化学及成因机制[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 211-222

[6] 宋生春. 青海省大柴旦红柳沟金矿成矿特征及成因分析[J]. 西部探矿工程, 2006(4): 138-141

[7] 李大新, 张德全, 崔艳合, 等. 小赛什腾山斑岩铜(钼)矿床根部带的特征[J]. 地球学报, 2003, 24(3): 211-218

[8] 邹林, 彭省临, 杨自安, 等. 青海阿尔茨托山地区地球化学(异常)场的多重分形研究[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 436-442

[9] 刘文辉. 应用浓幅分位值对确定区域成矿元素的探讨[J]. 甘肃科技, 2009, 25(1): 41-44

[10] 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1-145

[11] 杨小峰, 刘长艮, 张泰然, 等. 地球化学找矿方法[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-172