

驼路沟喷气沉积改造型钴(金)矿床地质

地球化学特征

陈海福 张 林 湛守智

(青海省地质调查院 西宁,810012)

摘 要 通过矿床地质—地球化学特征、矿体产态、矿石结构构造以及金属矿物的标型表明,驼路沟钴(金)矿床主要与震旦—寒武纪海底喷气沉积成矿作用有关,在加里东和晚华力西—印支碰撞造山过程中,喷气沉积型矿体被构造改造,并导致钴金元素在局部地段进一步富集。

关键词 钴矿床 喷气沉积改造型矿床 驼路沟 东昆仑

东昆仑地区是我国重要的钴矿资源远景区,其东段有著名的德尔尼铜钴矿床,近几年在其西段和中段又相继发现了肯德可克和驼路沟钴矿。驼路沟钴(金)矿床是容矿于震旦—寒武纪富钠火山—沉积岩中的喷气沉积改造型钴(金)矿床,目前的勘查工作程度为普查—详查,已控制的钴资源量达中型矿床规模。该矿床位于昆南陆缘活动带中段。该带位于昆中断裂与昆南断裂之间,是在元古宙结晶基底上形成的,主要经历了加里东和晚华力西—印支期的复合造山作用,其早古生代裂解包括震旦—寒武纪和奥陶纪两个旋回,驼路沟钴(金)矿床的海底喷气沉积成矿作用形成于震旦—寒武纪裂陷海盆中。

1 含矿岩系

1.1 层序

驼路沟矿区内未见侵入体,含矿岩系为一套浅变质的(绿片岩相)火山—沉积岩系。为了查明含矿岩系的层序、岩石及地球化学特征,工作期间测了两条贯穿全区的地质—地球化学剖面,通过研究,确定含矿岩系由4个岩段组成(图1),其自下而上分别为:

变碳硅泥岩段:位于九七沟复背斜核部,呈东西

向展布,宽200—700m,由灰黑色斑点状炭质千枚岩、斑点状绢云石英片岩和硅质岩透镜体组成,为一套浅变质碳硅泥岩。

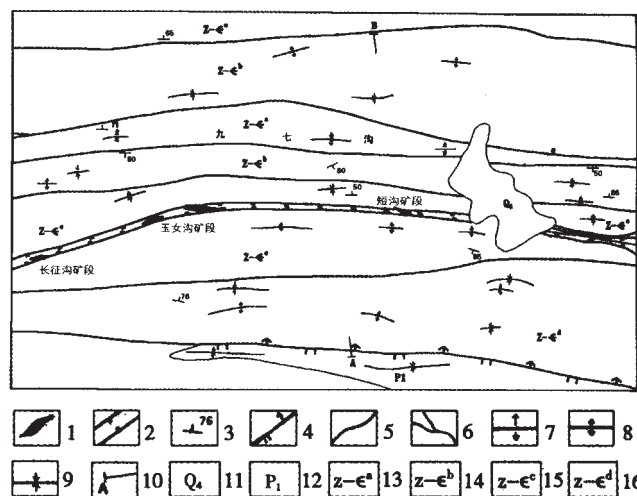


图1 驼路沟矿区地质略图

1.Co(Au)矿体编号; 2.钴(金)矿化层; 3.岩层产状; 4.逆断层; 5.地质界线; 6.水系; 7.复式背斜; 8.背斜轴线; 9.向斜轴线; 10.实测剖面起始位置; 11.第四系松散堆积物; 12.下二叠系大理岩; 13.震旦—寒武系变碳硅泥岩段; 14.震旦—寒武系变凝灰岩—砂岩段; 15.震旦—寒武系变火山—沉积岩段; 16.震旦—寒武系变砂岩段

变凝灰岩—砂岩段:位于九七沟复背斜两翼,呈

东西向展布,由绢云石英片岩、含砾千枚状粉砂质板岩、绿泥绢云石英片岩夹钙质板岩组成。

变火山-沉积岩段:出露于矿区中部,呈东西向展布于九七沟复背斜两翼,因褶皱而重复出露,导致宽>1km,是驼路沟钴金矿床的含矿层,由绿泥绢云片岩、绢云石英片岩、石英钠长岩组成。

变砂岩段:出露于矿区南部,宽大于1km。由绢云石英片岩、绿泥绢云石英片岩组成,其底部见一薄层变角斑岩或石英角斑岩。

根据($Z-e^d$)岩段石英钠长岩中的锆石U-Pb年龄(570Ma),认为驼路沟钴金矿床含矿层属于震旦-寒武系,其上的大理岩属下二叠统,它们之间为断裂接触。

1.2 主岩

含矿主岩有两种,一是绿泥绢云石英片岩;二是石英钠长岩,均产于第3岩段中,常呈互层,在矿化层中互层现象较明显,构成多个重复的韵律出现。通过研究发现石英钠长岩和与石英钠长岩接触部位的绿泥绢云石英片岩含矿,而远离石英钠长岩的绿泥绢云石英片岩不含矿。绿泥绢云石英片岩是中-酸性凝灰岩的浅变质产物,而石英钠长岩是变质的喷气沉积岩(富钠硅质岩)。

因此,该矿床含矿主岩为一套含热液沉积岩和少量凝灰质泥质粉砂岩。

1.3 喷气沉积岩

石英钠长岩是矿区最常见的一种变质喷气沉积岩。喷气沉积岩是喷气沉积型矿床的重要鉴别标志之一,了解这类岩石特征和成因对于认识矿床的成矿作用十分重要。

石英钠长岩呈层状、似层状、透镜状产于第3岩段中,规模大者厚数至十几米、长数十至数百米,较稳定地产于矿体及其周围;规模小者长数米、厚数厘米,最常见的仅厚数毫米,与绢云石英片岩和绿泥绢云石英片岩构成互层,形成多个重复的韵律出现在矿体两侧。石英钠长岩与围岩整合产出,大多与片岩一起被揉皱。石英钠长岩夹于较软的片岩中,受到后期构造作用影响,显示出二者的不协调,甚至在岩性界面上形成断层,在走向上则因构造作用而变成断续分布的石香肠或透镜体。因构造变形导致石英钠长岩与围岩之间的这种不协调,容易将石英钠长岩

误认为“脉岩”。

上述特征表明,石英钠长岩是富钠硅质岩的变质产物,是典型的喷气沉积岩。

2 变质及构造变形

含矿岩系中所有岩石均经受了绿片岩相变质作用,这是加里东和晚华力西-印支造山作用的结果。岩石多呈粒状变晶结构(石英及钠长石)及鳞片变晶结构(多由绢云母和绿泥石构成),为不同原岩在绿片岩相条件下的变质产物。

构造有褶皱和断裂两种。由四个岩段构成了近东西向的紧闭复式背斜。第1岩段是复式背斜的轴部,其它岩段对称出现在两翼。复背斜在龙泉沟东侧出露完好,而在两翼发育一系列次级褶皱。在冲沟中均见由变质条带构成的小褶皱,表明区域变质作用与褶皱变形基本是同步的。

断裂有主要两类:一是与地层走向或褶皱轴向近于平行的逆冲断裂,一般走向延伸大、陡倾斜,是在褶皱基础上沿褶皱轴部或两翼层间滑移形成的;二是短小的切层断裂,具右行滑移特点。此外,发育较强烈的塑性变形构造。在短沟含矿层中出露宽大于200m的近东西向韧-脆性剪切带,带内片理变形,发育S-C面理、糜棱岩、拉伸线理、石香肠以及鞘褶皱,且矿体亦被强烈变形。

上述变质和变形作用对矿床有明显的改造作用,不仅表现在矿石中强烈发育的变形组构,也表现在矿体被挤压变形成透镜体,受倾伏褶皱控制的矿体在空间上向特定的方向倾斜延长,被断裂破坏的矿体在走向上或倾向上不连续,矿化层被褶皱重复出现等。

3 矿体

3.1 矿化层

矿化层宽1-50m,近东西向顺层展布于第3岩段中,西起长征沟,向东延伸至驼路沟以东,长大于7km。已圈定的23条矿体都集中在短沟、玉女沟、长征沟3个矿段。

矿化主要有黄铁矿化、褐铁矿化,围岩蚀变有硅化、钠长石化、碳酸盐化和绢云母化等。黄铁矿化强度与钴含量呈正比,强黄铁矿化的岩石即矿石。因此,矿体与围岩呈渐变关系,二者界线靠化学分析才能圈定。由于成矿后的区域变质作用,要严格区别热液蚀变矿物和区域变质矿物比较困难。

3.2 矿体及矿石

矿体呈似层状和透镜状, 单矿体长 50~550m, 厚 1.31~5.93m, 品位 0.022%~0.108%, 倾向北北东, 倾角 70°~86°。空间上透镜状矿体在矿化层中呈斜列式展布。在短沟矿体产于面理褶皱轴部, 以 28°~35°向东侧伏, 侧伏方向及侧伏角与层间滑动面上的倾伏方向和倾伏角基本一致。

矿石中主要矿石矿物为黄铁矿、硫钴矿、硫铜钴矿, 脉石矿物有石英、钠长石、绢云母和绿泥石等。常见的矿石结构有碎裂结构、包含结构、穿切交代结

构、他形粒状结构, 构造有条带状-层纹状构造、浸染状构造和块状构造。矿石类型主要有浸染状矿石、条带状矿石和块状矿石三种。

4 含矿岩系的地层地球化学特征

4.1 常量元素特征

石英钠长岩的常量元素分析结果见表 1。从表中可看出 SiO_2 含量较高但变化较大, 主要原因是受铁白云石含量变化影响, 同样也影响到 CaO 、 MgO 、 TFeO 含量, 而组成钠长石的主要组分 Al_2O_3 和 Na_2O 在石英钠长岩中相对变化较小且含量较高。

表 1 石英钠长岩常量元素化学分析(%)

样品编号	岩石名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	CO_2	烧失量	总计
B-121	石英钠长岩	72.12	0.27	8.73	1.10	0.50	0.03	1.70	3.70	5.80	0.30	0.16		5.19	99.65
B-125	铁白云石石英钠长岩	48.42	0.06	7.79	1.80	1.10	0.12	5.50	11.20	5.20	0.32	0.20	8.60	9.00	99.31
B-140	粉砂质石英钠长岩	66.63	0.17	10.86	1.00	0.40	0.04	2.20	4.50	6.40	0.20	0.16		7.19	99.75

4.2 稀土元素特征

稀土元素丰度及配分模型如表 2, 该配分模型属富含轻稀土的石倾型, 有负 Eu 异常。通过对比研究

表明稀土元素丰度和配分模型与 Al_2O_3 含量有直接关系, 可以得出粘土参与了钠长石的形成。

表 2 钾长硅质岩的稀土元素中子活化分析($\times 10^{-6}$)

样品编号	岩石名称	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
B-121	石英钠长岩	21.8	42.4	18.7	4.12	0.822	0.670	2.00	0.292
B-125	铁白云石石英钠长岩	26.1	48.0	23.3	5.09	0.988	0.910	2.34	0.293
B-140	粉砂质石英钠长岩	43.0	76.9	32.2	6.04	1.17	0.914	2.90	0.388
B-426	含碎屑铁白云石硅质岩	14.0	28.2	13.6	3.30	0.629	0.728	2.54	0.365

4.3 微量元素特征

对采集的岩石样品分析结果, 采用数理统计方法, 得出区内各类岩石微量元素含量特征(表 3)。从表中可看出石英钠长岩中 Co、Au、Cu、As、Sb、Ni 等元素明显高于其它岩石, 更明显高于地壳中各元素平均含量, 这些元素都是亲热液元素, 在热水或热液中含有较高并明显集中。传统认识, Co 元素是否为热液元素仍有争议, 但从本矿床矿石和石英钠长岩的微量元素组合看, Co 肯定是亲热液元素。

表 3 显示, Au、Co 元素在绿泥绢云片岩、含钙条带绿泥绢云片岩、绢云石英片岩及绿泥石化绢云石英片岩中的平均含量均低于地壳中 Au、Co 元素丰度; 石英钠长岩中 Au 平均含量是地壳中丰度值的近两倍, 钴平均含量是地壳中丰度值的 1.2 倍; 斑点状炭质千枚岩、变砂岩及绢云石英片岩中 Au、Co 平均含量略高于地壳中 Au、Co 的丰度。因此足以证实石英钠长岩、斑点状炭质千枚岩、变砂岩及绿泥绢云石英片岩是 Co、Au 元素在异常区内富集、沉淀的物质基础。

表 3 各种岩石微量元素含量特征表

岩石名称	样品 数量	Au(10 ⁻⁹)		As(10 ⁻⁶)		Sb(10 ⁻⁶)		Cu(10 ⁻⁶)		Co(10 ⁻⁶)		Ni(10 ⁻⁶)	
		\bar{X}	峰值	\bar{X}	峰值	\bar{X}	峰值	\bar{X}	峰值	\bar{X}	峰值	\bar{X}	峰值
斑点状炭质千枚岩	74	7.75	74	24.6	77.4	0.9	1.8	55.33	95.7	19.85	33.9	51.61	83.4
变砂岩	20	6.0	11	64.5	118	1.16	2.0	58.46	79.6	20.43	39	44.09	97.8
绢云石英片岩	77	3.37	23	11.5	75.1	0.37	0.62	27.63	90.5	12.43	51.1	25.1	58.1
绿泥绢云片岩	121	4.63	103	20.6	127	0.45	1.4	21.3	70.3	14.2	114	26.3	68.6
含钙条带绿泥 绢云片岩	32	2.63	14	15.52	100	0.52	1.3	17.52	138	16.43	80.2	31.52	45.4
石英钠长岩	95	8.18	125	28.37	251	0.58	2.1	13.65	150	23.20	283.0	29.98	123
绿泥石化绢云 石英片岩	72	3.84	25	7.75	200	0.34	0.59	16.07	48.0	13.44	23.6	42.7	76.2
克拉克值		4.3		1.7		0.5		47		18		58	

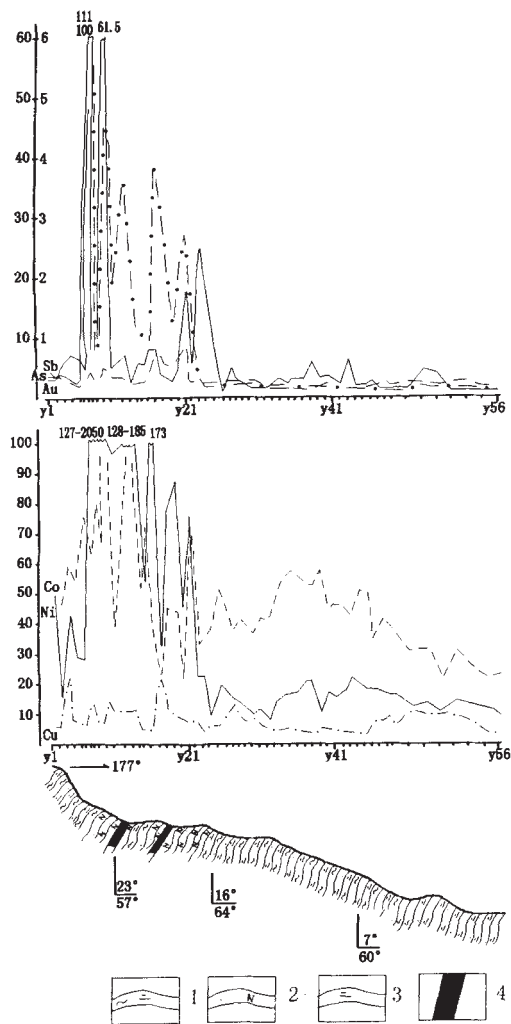


图 2 驼路沟矿区岩石地球化学剖面图

1.绿泥绢云石英片岩；2.绢云石英片；3.石英钠长岩；4.钴矿体

另外，从岩石地球化学剖面（图 2）来看，Co、Au 元素在石英钠长岩、绿泥绢云石英片岩上方形成

明显的尖峰状或锯齿状跳跃，其强度高、梯度大，显示了较强的矿化异常特征，尤其是在上述两种岩石接触带及其附近，反映尤为强烈。Co、Au 元素不具同步起伏的特征，说明 Co、Au 两种元素相关性较差。

5 1:5 万水系沉积物异常特征

依据 1:5 万水系沉积物测量确定的各元素参数值，在驼路沟地区圈出以 Co、Au 元素为主，Ag、Mo、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Cr、Ni、W 等诸多元素伴生的组合异常 10 处，现将主要的 AS03 异常特征简述如下：

AS03 异常分布于南沟—驼路沟，呈近东西向似（长）条带状展布。展布方向与区域构造线方向基本一致。异常以 Co、Au 元素为主，其次为 Ag、Cu、Pb、Ni、As、Sb，其中 Co、As、Cu 异常呈近东西向大面积出现，各元素异常套合较好，在组合异常前突部位有 Co 高含量点；Au 异常在 Co 元素西部或前突部位形成较多小异常，在东部形成一个极具规模的 Au 异常，呈不规则状展布，有多个高值点，面积较大，浓集中心明显，由多个高值点组成；Ag、Ni 异常主要分解成两个子异常。具体特征见表 4。

对该异常进行解剖（图 3），在异常部分浓集中心或前突的 Co 高含量点均发现矿体。而矿体与石英钠长岩关系极为密切。

6 结论和建议

（1）该矿床地质—地球化学特征、矿体的产态、矿石结构构造以及金属矿物的标型表明，驼路沟钴（金）矿床主要与海底喷气沉积成矿作用有关。含矿岩系为一套浅变质的火山—沉积岩系，该岩系（包括

表 4 驼路沟地区 1：5 万水系沉积物测量 AS03 异常特征一览表

元素	异常 点数	面积 (Km ²)	异常 下限	峰值	含量范围	平均值 (\bar{X})	标准离差 (SX)	变异系数 (SX/ \bar{X} · 100%)	衬度 (X/T)	规模 (X/T·S)	强度 (X-T)·S
Co	138	28.0	19	79.4	19.3~79.4	25.09	8.24	32.84	1.32	36.96	170.5
Ni-1	47	11.5	50.0	79.7	51.6~79.7	62.13	11.03	17.75	1.24	14.26	139.5
Ni-2	37	4.8	50.0	122.9	50.9~122.9	60.38	16.39	27.14	1.21	5.81	49.8
Cu	92	17	50.0	135.6	50.9~135.6	81.02	77.64	95.83	1.62	27.54	527.3
Ag-1	40	8.0	80.0	150	80~150	100.83	25.09	24.88	1.26	10.08	166.6
Ag-2	27	5.5	80.0	185	81~185	101.70	21.23	20.88	1.27	6.99	119.4
Au	56	10.5	5.0	215	5.0~215	17.13	30.27	176.71	3.43	36.02	127.4
Sb-1	19	4.0	2.5	5.90	2.38~5.90	3.95	0.14	3.54	1.58	6.32	5.8
Sb-2	19	2.9	2.5	3.98	2.35~3.98	3.11	0.51	16.4	1.24	3.60	1.8
As	113	23.5	30.0	149.0	30.2~149.0	58.39	26.33	45.09	1.95	45.83	667.2
Pb-1	30	5.8	40.0	98.5	40.1~98.5	52.18	12.13	22.30	1.30	7.54	70.6
Pb-2	10	1.7	40.0	52.9	40.2~52.9	44.83	3.99	8.90	1.12	1.90	8.2

(注:Au、Ag 元素含量为 10⁻⁹,其余元素为 10⁻⁶)

喷气沉积岩)以富钠为特征,其形成于震旦—寒武纪。

(2) 浅变质的含矿岩系原岩主要为沉积岩,其次为喷气沉积岩和少量火山岩(包括火山碎屑岩)。根据元素地球化学特征结合地质构造演化和矿区位置判

它是钴矿的重要找矿标志。根据类似的喷气沉积成矿作用的分带模式推断,该区的喷气沉积成矿作用可能是较远离喷气中心的产物,向喷气沉积成矿中心,应该出现 Cu—Co 的成矿元素组合。因此,在矿床勘查初

期要注意寻找可能存在的 Cu 矿化。

(5) 化探异常特征显示,各异常均分布于震旦—寒武纪碎屑岩中,呈东西向似(条)带状展布,其展布方向与区域构造线方向基本一致。

(6) 元素地球化学研究揭示,Au、As、Co、Pb、Cu、Zn、Ag 是圈定含矿层的化探异常元素组合,而 Au—Co—Ni—Pb—As—Zn—Cu 组合异常可以指示矿体。建议在今后的地球化学勘查中,增加 Ni、Pb、Mo 的测试分析,因为 Au—Co—Ni—Pb—As—Zn—Cu 组合异常比 Au—Co—As 组合异常更能区分矿致异常和非矿异常。

总之,根据该矿床地质—地球化学特征说明,驼路沟钴(金)矿床是一个典型的喷气沉积改造型矿床,其形成于震旦—寒武纪裂陷海盆中。

参 考 文 献

1.徐文艺,张德全,阎升好等.东昆仑地区矿产资源大调查进展与前景展望.中国地质,2001,28(1)25-29

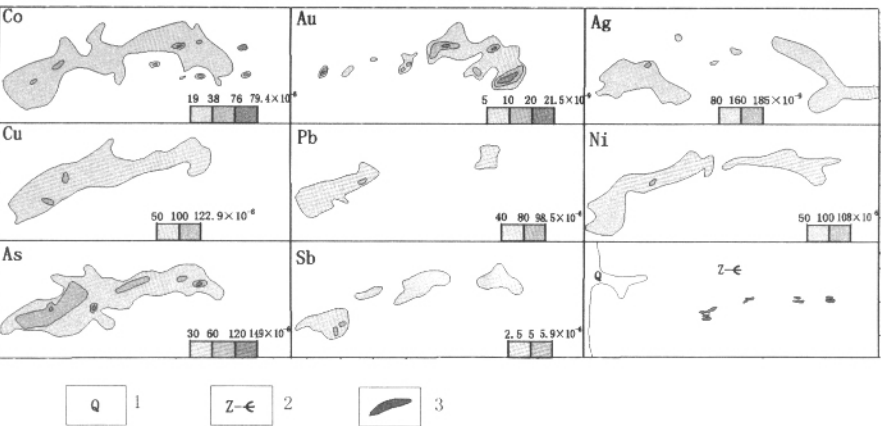


图 3 AS03 异常剖析图
1.第四系;2.震旦—寒武纪碎屑岩;3.钴矿体

断,沉积岩和火山岩最初形成环境为震旦—寒武纪东昆仑南缘的活动大陆边缘。

(3) 在加里东和晚华力西—印支碰撞造山过程中,驼路沟钴矿床的喷气沉积型矿体,受到过构造改造,并导致钴、金在局部地段进一步富集。在矿床勘查中除沿层找矿外,还要注意研究构造变形导致矿体在空间上的变位和重新排布。

(4) 矿床中的石英钠长岩是典型的喷气沉积岩,