

喀拉通克I号硫化铜镍矿床地球化学特征及 矿化富集规律探讨

帕拉提·阿布都卡德尔

(新疆工学院地质系)

提 要: 喀拉通克 I 号铜镍矿床是与基性杂岩体有关的岩浆硫化物矿床。矿床 Σ REE 和稀土配分模式与国内同类矿床相似。铜、镍、钴等主要元素和金、银、铂等贵重金属元素赋存规律明显,与矿化富集规律计算机模拟结果吻合。岩石模式年龄等数项测试分析,为矿床的形成(物理化学条件分析)提供了较合理的依据。

关键词: 新疆 喀拉通克 硫化铜镍矿床 地化特征 矿化富集规律

喀拉通克 I 号硫化铜镍矿床的构造位置处于准噶尔地台边缘额尔齐斯深大断裂西南阿尔曼太复背斜中。新疆地矿局实验室、地质四大队对其岩体、矿床地质特征及矿石金属矿物特征作了较详细的研究。本文是在前人研究基础上着重对该矿床的地球地学特征、矿化富集规律和成矿物理化学条件进行探讨。

一、稀土元素特征

选择矿床 6 个样品作稀土元素分析,其 Σ REE 如表 1,配分模式如图 1。稀土元素配分模式均为右倾的亏 HREE 模式, LREE 相对富集, 铈、镨呈正异常^①。矿床 Σ REE 和配分型式与国内赤柏松、金川较相似,但稀土元素分异较后者强。产于不同相的样品 REE 模式相同,说明均属同一岩浆分异结晶作用的产物。La/Sm-La 变异图(略)显示岩浆为一次分熔。La/Yb 比值为 6.84—10.91,可与金川等对比,成岩成矿物质来源于上地幔^[1]。

二、有用元素赋存规律

矿石中主要成矿元素为铜、镍、钴,伴生有用元素银、金、铂、钯、硒、铋、硫等。从笔者选送的电子探针分析(表 2)及前人电子探针、显微激光分析、单矿物化学分析等成果表明:镍在镍黄铁矿、紫硫镍矿、针镍矿、马基诺矿、辉砷镍矿和磁黄铁矿中赋存,但镍的主要赋存矿物是镍黄铁矿、紫硫镍矿和磁黄铁矿。铜以独立矿物为主,主要为黄铜矿和少量的方黄铜矿。钴以类质同象赋存于镍黄铁矿、辉铁镍矿、磁黄铁矿中,其独立矿物有微量辉钴

①王润民, 1985, 稀土元素在地质体中的丰度型式及其地质意义, 东疆地质, 1—2期。

原稿收到日期: 1990-12-03; 修改稿收到日期: 1991-08-01。

矿和辉砷钴矿, 其含量在致密块状矿石中为最高(0.082%)。金、银主要赋存于致密块状矿石中, 其次分布于细脉浸染状矿石, 呈含银自然金、银金矿、碲银矿等微小包体赋存在磁黄铜矿中(主要在较晚期磁黄铁矿中)。钼、铂以碲镍铂钼矿、等轴碲钼矿等的显微包体赋存于高铜致密块状矿石及细脉浸染状矿石中。

三、矿化富集规律的模拟研究

用矿床600, 700, 800, 900m四个水平, 按1984年以前钻孔资料, 取铜、镍、铂+钼的座标(含量在Z轴取值, 样点X-Y座标上取值, 采用《APPLE-I微机数据处理等值线及三维图型编绘程序》(冯英进, 1987), 分别绘制出矿床铜、镍、铂+钼元素含量拟合曲面的立体图(略), 同时绘制元素含量等值线图(略)。上述图件与实际钻孔资料作出的勘探线铜、镍、钴品位实际变化图对照, 拟合良好。矿床具有如下矿化富集规律:

1. 自地表至深处, 铜、镍、铂+钼、钴含量呈有规律递增, 与矿石中硫化物含量, 矿石类型变化规律相一致。

2. 铜、镍、铂+钼品位高的矿石, 主要分布在岩体东南偏北侧, 自SW向NWE, 品位不断增加, 延伸方向与岩体一致, 但长宽规模小且偏北侧。延伸方向与28勘探线交点附近为最富矿段。

3. 铜、镍、铂+钼具有正相关性(三个元素组的相关系数大于0.78, 一般

为0.95); 在逐步聚类谱系图中聚为同一共生组; 回归方程拟合优度较高(76%, 70%) [2]; 上述数理统计特征与立体图吻合, 且三个图很接近, 仅细微形态有差异。三组元素的分布, 一般严格受岩体侵入界面控制。

四、成岩成矿时代及成矿物理化学条件的探讨

1. 三个硫化物样和一个全岩样的铅同位素测定结果(表3)

采用霍尔莫斯—赫特曼斯(1946)模式 [3] 计算得模式年龄: I_{151-40} 为200Ma年; I_{157-30} 为200Ma年; I_{13-12} 为280Ma年; P_{41} 为300Ma年。另据新疆地矿局科研所对矿床中部黑云橄长苏岩用全岩K-Ar法测得年龄值分别为250Ma; 295Ma。可见两组测试结果

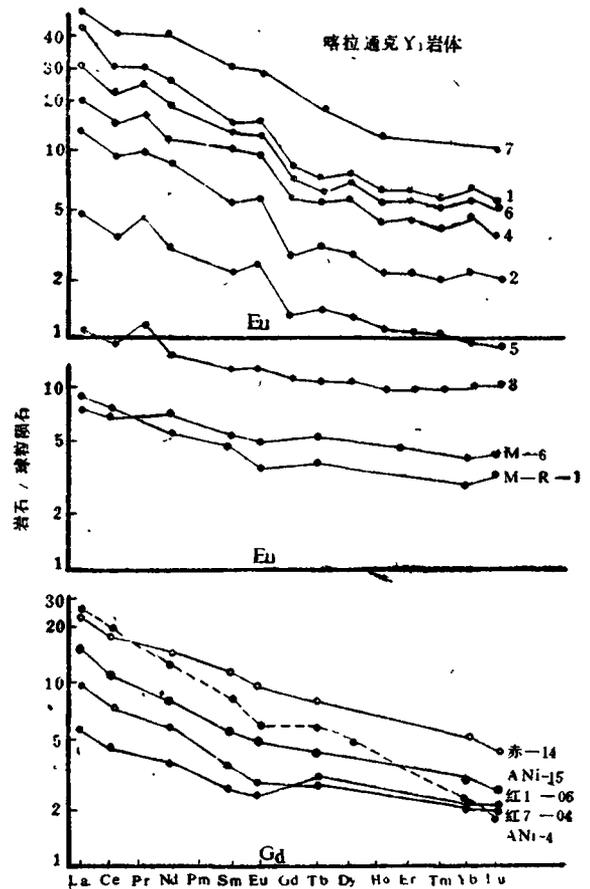


图1 国内典型矿床浸染状矿石REE配分型式

Fig.1 REE partition pattern of disseminated ores of typical deposits in China

1—ZK13—250m; 2—ZK152—308m; 3—ZK157—300m; 4—ZK162—320m; 5—ZK152—328m; 6—ZK162—297m; 7—玄武岩(国际标准岩样, 中子活化法), M-6, M-R-1—黄山东辉长苏长岩浸染状矿石; ANi-4—力马河辉石岩浸染状矿石; 红7-04—红旗岭7号岩体辉砷岩浸染状矿石; 红1-06—红旗岭1号岩体辉砷岩浸染状矿石; ANi-15—金川二辉橄岩浸染状矿石; 赤-14—赤柏松辉长玢岩浸染状矿石

表1 稀土元素丰度值 (ICP-AES法) 单位: $\times 10^{-6}$
Table 1 Abundance of rare earth elements (ICP-AES method)

编号	样品号、位置	岩矿石类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
1	P1.ZK13-250m	橄榄苏长岩浸染状矿石	13.73	28.79	3.66	15.54	3.03	1.171	2.569	0.371
2	P2.ZK152-308m	橄榄苏长岩浸染状矿石	4.14	8.79	1.12	5.13	1.03	0.403	0.888	0.170
3	P3.ZK157-300m	块状矿石	0.33	0.89	0.14	0.39	0.08	0.029	0.052	0.007
4	P4.ZK162-320m	辉长苏长岩浸染状矿石	6.31	14.59	2.13	8.18	2.01	0.689	1.830	0.276
5	P5.ZK152-328m	橄榄苏长岩浸染状矿石	1.56	3.53	0.55	1.93	0.45	0.176	0.414	0.076
6	P6.ZK162-297m	辉长苏长岩浸染状矿石	9.72	21.20	3.06	11.54	2.70	0.887	2.410	0.331
7	玄武岩 (国际标准岩样、中子活化法)		15.50	38.90	—	25.10	6.11	2.11	—	0.97

编号	样品号、位置	岩矿石类型	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
1	P1.ZK13-250m	橄榄苏长岩浸染状矿石	2.400	0.448	1.300	0.184	1.259	0.176	13.32
2	P2.ZK152-308m	橄榄苏长岩浸染状矿石	0.872	0.162	0.451	0.065	0.446	0.064	4.47
3	P3.ZK157-300m	块状矿石	0.038	0.008	0.022	0.003	0.017	0.003	0.15
4	P4.ZK162-320m	辉长苏长岩浸染状矿石	1.770	0.326	0.978	0.145	0.922	0.131	8.52
5	P5.ZK152-328m	橄榄苏长岩浸染状矿石	0.396	0.075	0.210	0.032	0.175	0.027	1.79
6	P6.ZK162-297m	辉长苏长岩浸染状矿石	2.270	0.435	1.247	0.175	1.165	0.168	10.83
7	玄武岩 (国际标准岩样、中子活化法)		—	1.11	—	—	2.09	0.30	—

产地	黄山东	红旗岭	赤柏松	金川	力马河	喀拉通克Y ₁ 岩体						国际标准样
矿石类型	浸染状 (辉长苏长岩)	浸染状 (橄榄岩)	浸染状 (斜长玢岩)	浸染状 (二辉橄榄岩)	浸染状 (辉石岩)	1	2	3	4	5	6	玄武岩
ΣREE	16.80	16.56	43.76	25.53	40.20	74.62	22.73	2.01	40.29	9.60	57.31	—
La/Yb	3.13	4.82	4.79	5.30	11.00	10.91	9.28	19.41	6.84	8.91	8.34	7.42

注: 编号1—6为湖北地矿局实验室分析。

吻合。

不同类型矿石铅同位素的一致性表明其物质来源具同源性。贯入型块状矿石模式年龄较小, 证明其成矿阶段在岩浆上侵固结——浸染状矿石形成之后。浸染状矿石与全岩年龄接近, 表明其成岩成矿具同时性。由此确定Y₁岩体侵入地质时代相当于石炭纪末至二叠纪早期, 即华力西中晚期的产物。贯入矿体的形成大致在三叠纪中期。

用含矿岩体各岩相化学成分(46个样)计算后投入French图解(1981), 获各相岩石形成的平均温度分别为闪长岩: 1090℃; 辉长苏长岩: 1160℃; 辉绿辉长岩: 1130℃; 橄榄苏长岩: 1210℃。据氧化物重量百分数Кутюлина法(1966)计算橄榄石、斜长石结晶温度分别是: T_{ol} 11425—1122℃, T_{pl} 1200—1115℃(两种结果误差都为±25℃)。镜下研究表明岩体内橄榄石结晶最早, 故可认为Y₁岩体约在1400℃时开始晶出, 约于1000℃时基本固结。

据四个岩相的French MgO/Al₂O₃-P图解(1981), 求得Y₁岩体的岩浆形成时的压力为(21—37) × 10⁸ Pa。据CIPW标准矿物分子的O1'-Ne'-Q'图解, 获岩体的岩浆形成时

表2 主要矿石矿物成分电子探针分析结果

Table 2 Results from electron-microprobe analysis of the mineral compositions of main ores

矿石类型	地点	样号	矿物名称	元素含量 (%)								Σ
				S	Co	Cu	Ni	Fe	Cr	Au	Pt	
块状矿石	ZK ₁₅₇ (265m)	I13-23-3	磁黄铁矿	40.23	0.03	0.03	0.17	59.79		0.07		100.32
	ZK ₁₅₇ (283m)	I157-27-2	磁黄铁矿	42.07	0.04	0.01	0.22	59.96			0.11	102.41
	ZK ₁₅₇ (283m)	I157-27-3	磁黄铁矿	41.77	0.08		0.22	59.68				101.75
	ZK ₁₅₇ (283m)	I157-27-4	磁黄铁矿	41.55	0.04		0.38	59.52	0.01		0.08	101.58
	ZK ₁₅₇ (283m)	I157-27-5	磁黄铁矿	41.60	0.07	0.01	0.32	59.41		0.06	0.09	101.66
	ZK ₁₅₇ (265m)	I13-23-2	黄铜矿	33.71	0.01	34.62		30.31		0.06		98.71
	ZK ₁₅₇ (270m)	I157-25-1	黄铜矿	35.21	0.03	23.46		41.53		0.03		100.26
	ZK ₁₅₇ (270m)	I157-25-2	镍黄铁矿	33.61	1.17	0.01	34.74	30.60	0.02	0.03	0.09	100.26
	ZK ₁₅₇ (265m)	I13-23-1	磁铁矿		0.05		0.03	65.54	0.01	0.06		65.69
	ZK ₁₅₇ (283m)	I157-27-1	紫硫镍矿	35.00	0.03	35.74	31.07				0.27	102.11
浸染状矿石	ZK ₁₅₁ (331m)	I151-38-3	磁黄铁矿	40.51	0.05	0.02	0.82	56.14		0.03		97.57
	ZK ₁₅₁ (224m)	I151-24-2	磁黄铁矿	40.77	0.10	0.03	1.23	58.41			0.18	100.72
	ZK ₁₅₁ (331m)	I151-38-1	黄铜矿	34.40		30.77		27.68	0.03	0.07	0.52	93.47
	ZK ₁₅₁ (331m)	I151-38-2	磁铁矿		0.04	0.05	0.06	64.21	0.22		0.25	65.28
	ZK ₁₅₁ (224m)	I151-24-1	黄铁矿	55.24	1.90	0.01	0.02	45.72			0.09	102.98
	ZK ₁₅₁ (224m)	I151-24-3	紫硫镍矿(?)	43.73	0.19		30.12	26.72		0.07	0.21	101.02
网脉状矿石	ZK ₁₅₇ (254m)	I13-22-1	黄铜矿	36.30	0.02	34.86		30.35				101.43
	ZK ₁₅₇ (156m)	I13-14-1	黄铁矿	53.65	0.04		0.02	46.74				100.45

冶金部天津地研院九室测定。

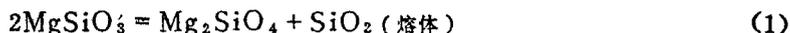
表3 铅同位素测定结果

Table 3 Results from Pb isotopic dating

标本号	采样位置	矿石类型	测定对象	同位素比值		
				Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴
I151-40	ZK151 345m	块状矿石	磁黄铁矿	17.691	15.232	37.232
I157-30	ZK157 303m	块状黄铜矿矿石	黄铜矿	17.911	15.323	37.672
I13-12	ZK13 142m	稀疏浸染状矿石	黄铁矿	17.858	15.363	37.522
P41	ZK162 297m	稠密浸染状矿石	橄榄苏长岩	17.979	15.490	37.881

冶金部地质矿产研究院同位素测定。

压力为 $(21-35) \times 10^8 \text{ Pa}$, 相相于深65—110km, 从而也佐证了岩浆来自上地幔。当岩浆由上地幔上侵到岩浆房并开始结晶, 其内压力应达到平衡, 据镜下橄榄石具斜方辉石反应边, 考虑平衡:



据 $(\frac{\partial \Delta G^0}{\partial P})_T = \Delta V$, 计算下式 (4)

$$\Delta G_{r.t}^0 - \Delta G_{r.298}^0 = \int_1^P \Delta V dP = \Delta V(P-1) \quad (2)$$

求高温下反应 (T用橄榄石结晶温度1425—1122℃, 并换算为K) 平衡 $\Delta G_{r.t}^0$ 及标准反应自由能 $\Delta G_{r.298}^0$, 获得岩浆成岩时总压力为 $(3.27-4.07) \times 10^8 \text{ Pa}$, 固结温度不低1000℃, 岩浆固结处深度在5—10km。

2. 选择四个样品测试穆斯堡尔参数 (表4)

表4 块状矿石部分矿物的穆斯堡尔参数

Table 4 Mossbauer parameter of some minerals of massive ores

样品号	矿物名称	中心位移 (mm/sec)	四极分裂 (mm/sec)	内磁场 $\times (1000/4\pi)$ A/m	所占比例 (%)	铁离子价态
I151-40	磁黄铁矿					
	A位	1.49	0.71	119280	40.74	Fe^{2+}
	B位	1.90	0.84	112560	29.29	Fe^{2+}
	C位	2.26	0.87	109200	29.97	Fe^{2+}
I157-30	黄铜矿	0.25	0	345058.56	100	Fe^{3+}
I157-24	磁铁矿					
	A位	0.25	0	480990.72	42.02	Fe^{3+}
	B位	0.65	0.04	449621.76	57.98	$(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$
	铬尖晶石	1.18	0.33	480990.72	100	Fe^{2+}
I157-40	镍黄铁矿	0.36	-0.04	345058.56	100	Fe^{3+}

注: 相对于 $\alpha\text{-Fe}$ 。

磁黄铁矿中均为 Fe^{2+} , 分别A (配位数6, 八面体); B (配位数8, 立方体); C (畸变配位多面体) 三种构型 (C是由于 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 类质同象混入所致)。黄铜矿中铁6次八面体配位, 其化学式是 $\text{Cu}^+\text{Fe}^{3+}\text{S}_2^{2-}$ 。磁铁矿有 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 二种离子, Fe^{3+} 占八面体A位, Fe^{3+} 的1/2占八面体和1/2占四面体位置 (合为B位), $B/A = 1.38$, Fe^{3+} 在全部Fe离子中所占比例为 $[42.02 + \frac{1}{2}(57.98)]\% = 70.98\%$ 。镜下统计块状矿石中Mt (磁铁矿) 平均含量4%—5%, 表明成矿时具一定氧化电势。矿石中虽硫化物约占95%, 但通过铁的价态分析, 笔者认为, 在保持较高 f_{S_2} 前提下, 又有适当的 f_{O_2} 值, 有利于镍黄铁矿、黄铜矿等含三价铁的铜镍硫化物形成, 有利铜、镍在块状矿石 (贯入矿体) 中大量富集, 而较少形成磁黄铁矿等二价铁矿物。

块状和浸染状矿石单矿物X射线粉晶衍射分析测得浸染状矿石中, 斜长石有序度较高 (0.87, 0.86), 为低温型斜长石, 表明通过较慢结晶而形成, 同时有利于硫化物熔离。磁黄铁矿为高温六方磁黄铁矿, 据其 (102) 反射面网间距 d_{102} , 推算形成温度: 浸染状矿石

中为500℃, 块状矿石中为475℃。黄铜矿属四方 α 相低温型, 其形成温度在557℃以下, 此矿物形成期次多, 结晶时间长, 从557—350℃为大致形成温度(表5为部分矿物包体爆裂温度), 说明黄铜矿成矿温度低于磁黄铁矿。块状矿石中的磁黄铁矿形成温度低于浸染状矿石中的磁黄铁矿。

表5 部分矿石矿物包体爆裂温度

Table 5 Decrepiation temperatures of the mineral inclusions of some ores

样号	采样位置	矿物名称	矿物类型	岩石类型	爆裂温度
I 13—26	ZK ₁₃ 287m	磁黄铁矿	块状矿石		280℃
I 13—26	ZK ₁₃ 287m	黄铜矿	块状矿石		350℃
P 65	ZK ₁₃₂ 334m	磁黄铁矿	块状矿石		350℃
P 65	ZK ₁₃₂ 334m	黄铜矿	块状矿石		340℃
P 57	ZK ₁₃₂ 149m	磁黄铁矿	浸染状矿石	角闪橄榄苏长岩	400℃
I 157—24	ZK ₁₅₇ 269m	黄铜矿	块状矿石		380℃

早期熔离阶段, 当温度在600℃以上, 岩浆挥发份少且硫离子浓度低, 先形成钛磁铁矿, 可由镜下见钛铁矿与磁铁矿固熔体分离格状结构, 少量硫化物呈乳滴状、珠球状结构作为佐证。随着温度的下降, 大量硫化物与残余熔浆分离, 从而进入主要成矿阶段〔5〕。成矿早期主要熔离磁黄铁矿+镍黄铁矿+黄铜矿, 构成组合A, 其固熔体分离结构十分普遍, 无黄铁矿生成。此时成矿温度为600—425℃, 硫为气体状态, f_{S_2} 高, 估计 $\log f_{S_2} = -2 \sim -6$ 。

成矿晚期, 矿浆贯入阶段, 又可分出B, C, D三组矿物组合: 组合B, 主要矿物为磁黄铁矿+镍黄铁矿+黄铜矿(伴有铂、金、银等形成块状、胶结状, 贯入型矿体); 组合C, 黄铁矿(或磁黄铁矿)+紫硫镍矿(针镍矿)+第二世代黄铜矿, 成矿温度400—300℃, f_{S_2} 比较低, $\log f_{S_2} = -6.5 \sim -10.5$ 。在此范围内有利于另一个主要含镍矿物——紫硫镍矿形成。组合D, 黄铁矿+辉铁镍矿+黄铜矿呈晚期细脉状硫化物叠加和高—中温热液交代阶段的毒砂+黄铜矿+砷黝铜矿+方铅矿等组合, 形成细脉、网脉、斑杂状矿石, 成矿温度约300℃。这两种组合的 f_{S_2} 更低, $\log f_{S_2} \leq -10.5$ 。后一组合以镍消失, 铅锌矿物出现为特点。

矿物共生组合也与氧逸度(f_{O_2})有关。各成矿阶段都有磁铁矿存在, 在数量上以组合A为最高, 组合B下降, 但有4%—5%。组合C、D为1%—2%, 显出逐渐减少。说明 f_{O_2} 也随之逐渐降低, 但应保持一个限度, 以使 Fe^{3+} 的硫化物形成, 有利于镍、钴等有用元素不以类质同象进入硅酸盐矿物, 而富集在硫化物矿浆内。成矿溶液中 S^{2-} 与 S^{1-} 离子活度可根据各成矿阶段都是磁黄铁矿, 黄铜矿含量远大于黄铁矿来推测 $\alpha_{S^{2-}} \gg \alpha_{S^{1-}}$ 。

结 论

喀拉克通I号铜镍硫化矿床的稀土总量 ΣREE 和配分模式, 与金川、赤柏松等国内同类矿床较为相似, 物质成分为来自上地幔部分熔融产物。根据测试数据和研究表明铜、镍、钴在硫化物中富集, 金、银、铂则形成独立矿物。矿化富集规律的计算机模拟研究为首次尝试, 曲面立体图与实际吻合较好, 该法对矿层、矿床的延深有一定的实用意义。

参 考 文 献

- (1) 王润民等, 1987, 新疆哈密土墩—黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究, 矿物岩石, 7卷 1期, 41—66页。
- (2) 王学仁, 1982, 地质数据的多变量统计分析, 75—101页, 科学出版社。
- (3) G·福尔著, 潘曙兰等译, 1977, 同位素地质学原理, 181—209页, 科学出版社。
- (4) 涂光炽等, 1984, 地球化学, 下海科技出版社, 401—404页。
- (5) Naldrett, A. J., 1981, Nickel sulphide deposits, Classification, Composition, and Genesis, Econ. Geol., Vol 75, PP. 628—685.

STUDY ON GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND MINERALIZATION ENRICHMENT REGULARITY OF KARATUNGKE NO. I CU, NI-SULPHIDE DEPOSIT, XINJIANG

Parat. Abdukader

(*Department of Geology, College of Industry and Engineering, Xinjiang*)

Abstract

The karatungke No. I Cu, Ni-sulphide deposit is a magmatic sulphide deposit related to basic complex rocks. Its REE and partition pattern are similar to those of deposits of same type in other regions of china. Main elements such as copper, nickel and cobalt and precious metal elements such as gold, silver and platinum have an obvious enrichment regularity, which coincides with the Computer modelling results. Analysis of modelling ages of rocks as well as analysis of geochronology, thermodynamics and lithogeochemistry provide the basis for the formation of the deposit.

Key words

Xinjiang, Karatungke, Cu, Ni-sulphide deposit, geochemical characteristic, mineralization enrichment regularity