

新疆喀拉通克矿区 I 号含贵金属硫化铜 镍矿床的成岩成矿模式

潘长云

王润民

(云南省地质科学研究所, 昆明)

(成都地质学院, 成都)

摘要: 讨论了喀拉通克矿区 I 号含贵金属硫化铜镍矿床含矿岩体及矿体地质特征、成岩成矿物质来源和成矿作用等, 建立了相应的成岩成矿模式。该模式认为, 喀拉通克 I 号含贵金属硫化铜镍矿床是一叠生矿床, 它是由深部熔离作用形成的富含硫化物的含矿岩浆, 侵位后经就地熔离成矿作用、纯硫化物矿浆就地结晶和挤压迁移作用以及热液成矿作用形成的, 矿床类型属岩浆熔离型。

关键词: 含贵金属硫化铜镍矿床 成岩成矿模式 喀拉通克

新疆喀拉通克 I 号含贵金属硫化铜镍矿床为一大型工业矿床, 成矿与苏长岩类有关, 含矿岩体小但含矿富。本文试图对其成岩成矿机理进行探讨, 提出相应的成岩成矿模式。

1 矿区地质概况

喀拉通克硫化铜镍矿区位于哈萨克斯坦板块与西伯利亚古陆板块的接合部位, 距额尔齐斯深大断裂约 15 km。区内出露的地层有中泥盆统蕴都哈拉组 (D_2y)、下石炭统南明水组 (C_1n) 以及第三系 (E) 和第四系 (Q)。矿区内已发现 10 个中基性含矿岩体, 它们呈北西向带状展布 (图 1)。北岩带的岩体规模小, 埋藏浅, 岩体基性程度较低, 主要由闪长岩、辉长苏长岩组成, 见斑点状、团斑状、稠密浸染状矿化, 但矿床规模小; 南岩带中 Y3 岩体的岩石基性程度较低, 主要为闪长岩和苏长岩, 矿化差, Y1、Y2 岩体的岩石类型相似, 主要由苏长岩、橄榄苏长岩组成, 岩体具垂向分带, 均属富镁贫钙的铁质基性岩类, 目前仅在 Y1 岩体内发现大型含贵金属硫化铜镍矿床。

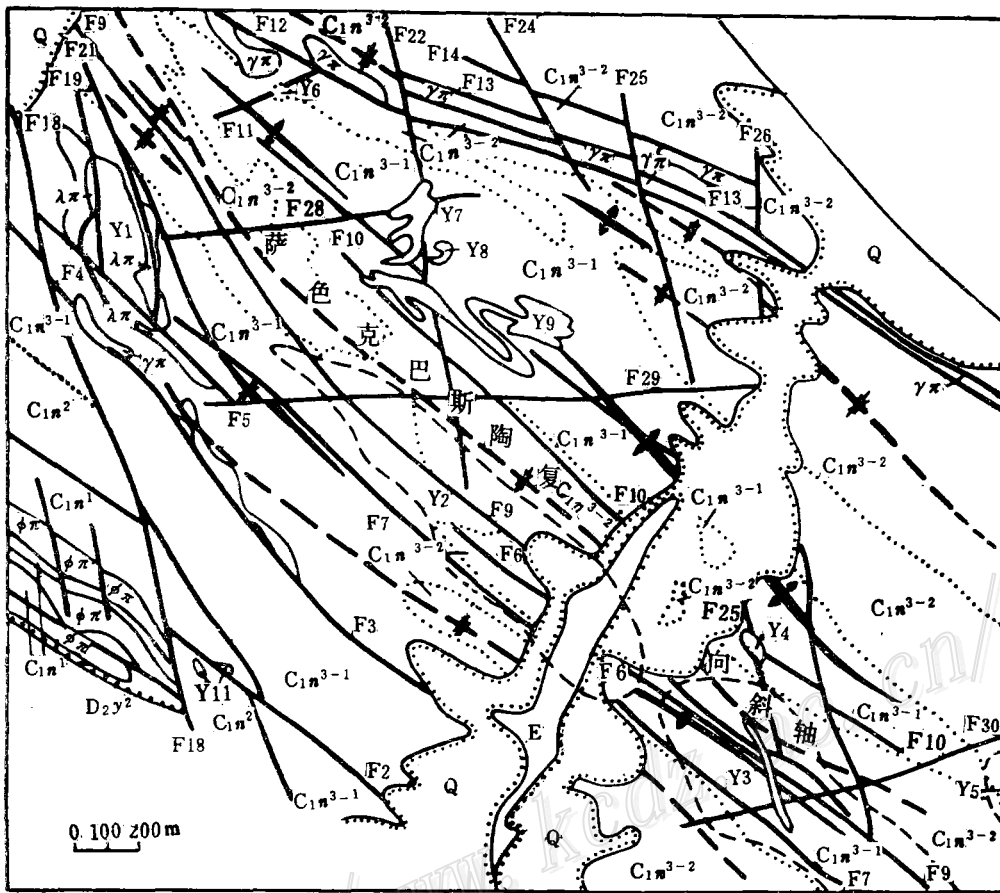
此外, 区内还广泛发育有石英斑岩、花岗斑岩等后期脉岩。

2 矿床地质特征

2.1 含矿岩体地质特征

Y1 含矿岩体就位于萨色克巴斯陶复向斜西南翼, 北西向断裂的次级裂隙之中 (图 1)。围岩为下石炭统南明水组的碳质沉凝灰岩、含碳质沉凝灰岩和晶屑玻屑沉凝灰岩。岩体平面上呈透镜状, 长轴方向为 $150^\circ \sim 330^\circ$, 长约 700 m, 最宽处约 290 m。岩体深部形态不规则 (图 2), 剖面上为陡倾斜的楔形体 (图 3), 最大延伸 570 m, 岩体体积约为 0.022 km^3 。

2.1.1 岩相及主要岩石类型 Y1 含矿岩体在垂向上可分出闪长岩相、黑云角闪苏长岩相、黑云角闪橄榄苏长岩相和辉绿辉长岩相 (图 3)。各岩相岩石的颜色、结构、矿物粒度及含量、



Q	1	E	2	C _{1n} ³⁻²	3	C _{1n} ³⁻¹	4	C _{1n} ²	5	C _{1n} ¹	6	D _{2y} ²	7
φπ	8	γπ	9	λπ	10	Y1	11	(Symbol)	12	(Symbol)	13	(Symbol)	14
(Symbol)	15	(Symbol)	16	(Symbol)	17								

图 1 喀拉通克硫化铜镍矿区地质略图

(据新疆第四地质队与成都地质学院科研合作组资料)

1—第四系残坡积物和冲积物；2—第三系红色粘土及砂质粘土层；3~6—下石炭统：3—泥板岩夹沉凝灰岩；4—碳质沉凝灰岩，中细屑沉凝灰岩；5—中细屑—中细砾沉凝灰岩；6—千枚岩化泥板岩夹薄层灰岩；7—中泥盆统钙硅质泥板岩夹火山角砾岩；8—钠长斑岩；9—花岗斑岩；10—石英斑岩；11—基性岩体及编号；12—隐伏岩体及编号；13—断层；14—背斜轴；15—向斜轴；16—不整合；17—地质界线

Fig. 1. Sketch geological map of the Kalatongke copper-nickel sulfide ore district.

1—Quaternary residual-slope and alluvial materials; 2—Tertiary red clay and sandy clay bed; 3—6: Lower Carboniferous; 3—Argillite intercalated with tuffite; 4—Carbonaceous tuffite and medium-fine fragmental tuffite; 5—Medium-fine fragmental medium-fine pebble tuffite; 6—Phyllitized argillite intercalated with thin-layered limestone; 7—Middle Devonian calcareous and siliceous argillite intercalated with volcanic breccia; 8—Albitophyre; 9—Granite porphyry; 10—Quartz porphyry; 11—Basic intrusive body; 12—Concealed intrusive body and its symbol; 13—Fault; 14—Anticlinal axis; 15—Synclinal axis; 16—Unconformity; 17—Geological boundary.

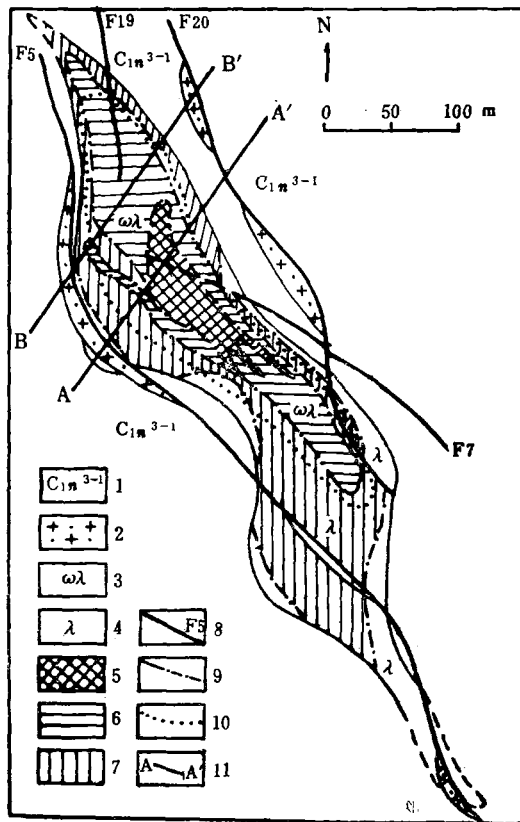


图 2 710m 标高矿床地质平面略图

(据新疆第四地质队与成都地院合作组资料)

- 1—碳质沉凝灰岩、中细屑沉凝灰岩；2—石英斑岩；
3—黑云角闪橄榄苏长岩；4—黑云角闪辉绿辉长岩；
5—致密块状矿体；6—稠密浸染状矿体；7—稀疏
浸染状矿体；8—断层及编号；9—地质界线；10—
岩相界线；11—剖面位置

Fig. 2. Schematic geological plan at 710 level of the ore deposit.

- 1—Carbonaceous tuffite and medium-fine
fregmental tuffite; 2—Quartz porphyry; 3—
Biotite-hornblende-olivine norite; 4—Biotite-
hornblende diabasic gabbro; 5—Dense massive
ore body; 6—Moderately-densely disseminated
ore body; 7—Sparsely disseminated ore body;
8—Fault and its serial number; 9—Geological
boundary; 10—Boundary of petrofacies; 11—
Location of geological section.

斜长石 An 成分 (图 4) 等均呈渐变过渡, 橄榄石的 Fo 和古铜辉石的 En 亦随深度的增加而增大 (表 1、表 2)。其中黑云角闪橄榄苏长岩相为主要的赋矿岩相。

2.1.2 岩石化学及微量元素特征 Y1 含矿岩体的岩石化学成分见表 3, 岩体具富镁铁和碱质、低钙铝的特点, $m/f=1.96$ ^①, 属铁质基性岩类。随着岩石基性程度的降低, SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O+Na_2O 、 CaO 逐渐增加, MgO 、 $\langle FeO \rangle$ 逐渐降低, 且变化连续。

各类岩石过渡元素球粒陨石 (Masson, 1971) 标准化配分型式如图 5 所示, 黑云角闪橄榄苏长岩的配分曲线具低 Ti, 高 Cr、Ni、Co 的特点, 黑云闪长岩的配分曲线具高 Ti, 低 Cr、Ni、Co 的特点, 而黑云角闪苏长岩的配分曲线介于前两者之间。且以它为基准, 前两类岩石的过渡元素配分曲线恰好呈互补关系, 这些特征说明各岩相系由同一母岩浆就位后经岩浆结晶分异作用形成的。过渡元素中的相容元素 Cr、Ni、Co, 在岩浆结晶分异过程中相对富集于早期结晶相, 不相容元素 Ti、V 相对富集于晚期熔浆中, 从而造成从黑云角闪橄榄苏长岩→黑云角闪苏长岩→黑云闪长岩, Cr、Ni、Co 逐渐降低, Ti 逐渐升高。

2.1.3 铈初始比值及岩体形成时代 选择受围岩混染程度最低的黑云角闪橄榄苏长岩, 测得铈初始比值为 0.7033 (图 6), 介于大洋拉斑玄武岩铈初始比值范围 (0.702~0.706)⁽¹⁾ 内, 预示原始岩浆来源于上地幔。岩体形成的铈铈等时线年龄约为 291×10^6 a, 相当于华力西晚期。

① $m/f = MgO / \langle FeO \rangle$ (%), 本文中 m/f 值 (1.96) 系由全部样品的 m/f 值平均而得

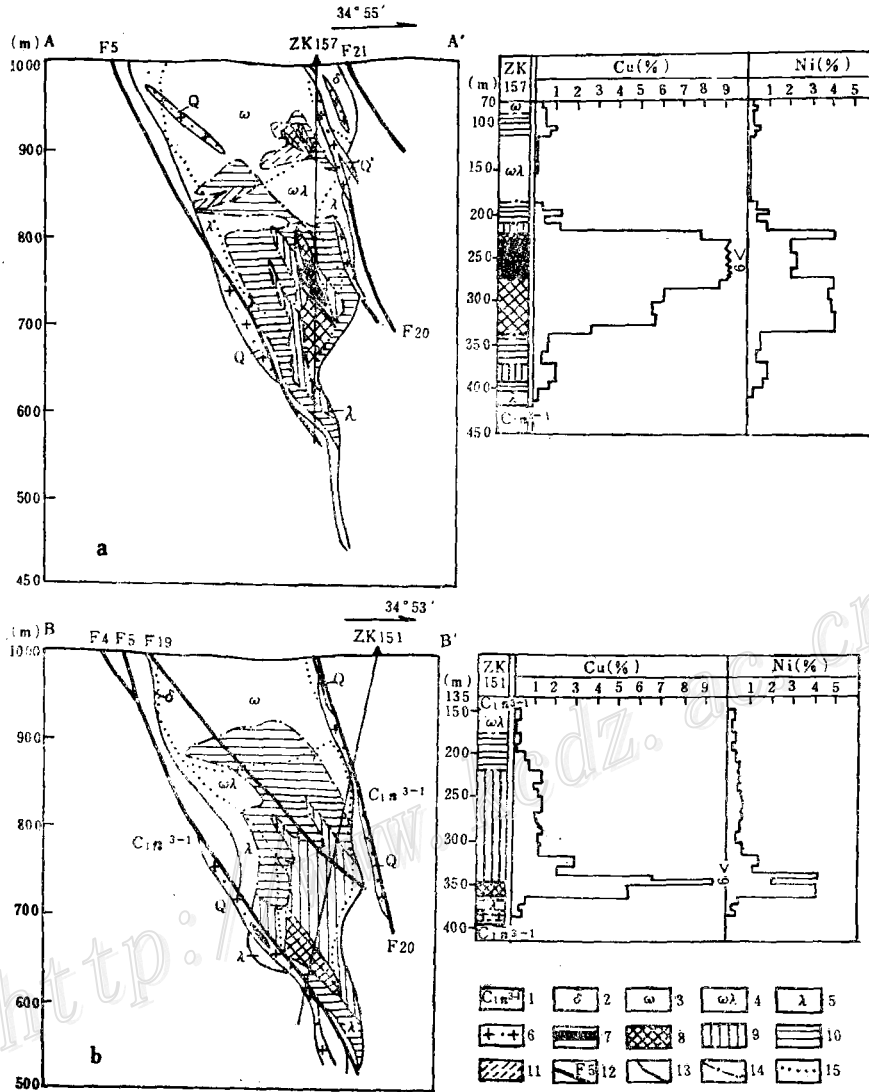


图 3 矿床地质剖面及主要元素含量变化示意图

(据新疆第四地质队资料)

1—碳质沉凝灰岩; 2—黑云闪长岩; 3—黑云角闪苏长岩; 4—黑云角闪橄辉苏长岩; 5—黑云角闪辉绿辉长岩; 6—石英斑岩; 7—致密块状富镍高铜矿体; 8—致密块状特富铜镍矿体; 9—稠密浸染状富铜贫镍矿体; 10—稀疏浸染状贫铜镍矿体; 11—稀疏浸染状—脉状贫铜矿体; 12—断层; 13—地质界线; 14—矿体界线; 15—岩相界线

Fig. 3. Geological sections of the ore deposit showing variation in contents of major elements.
 1—Carbonaceous tuffite; 2—Biotite diorite; 3—Biotite-hornblende norite; 4—Biotite-hornblende-olivine norite; 5—Biotite-hornblende diabasic gabbro; 6—Quartz porphyry; 7—Dense massive ore body rich in Ni and high in Cu; 8—Dense massive ore body with extremely rich Cu and Ni; 9—Moderately-densely disseminated ore body rich in Cu and poor in Ni; 10—Sparsely disseminated ore body poor in Cu and Ni; 11—Sparsely-disseminated-veinlike Cu-poor ore body; 12—Fault; 13—Geological boundary; 14—Eoundary of ore body; 15—Petrofacies boundary.

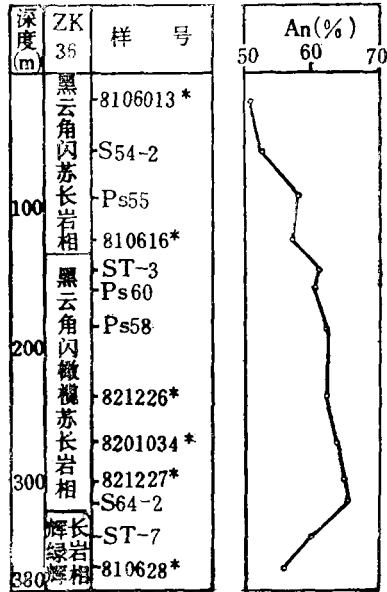


图 4 斜长石 An 成分柱状图
* 样品由新疆第四地质队提供

Fig. 4. Columnar section showing An percentage of plagioclase.

2.1.4 各氧化物组分对成矿的影响

利用岩石化学资料，选择对矿化可能起重要作用的变量 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 FeO 、 K_2O 、 Na_2O 、 S 、 Ni ，应用因子分析来讨论各氧化物组分对矿化的影响。R-型因子分析的结果见表 4。 f_1 和 f_2 各占总方差的 58.91% 和 24.23%，因此，它们起着重要的作用，下面着重讨论 f_1 和 f_2 。

在 f_1 - f_2 主因子载荷图上 (图 7)， f_1 代表岩浆结晶分异的阶段， f_1 越小，表示岩浆结晶分异处于早期阶段，相应的 MgO 、 FeO 含量较高； f_1 越大，表示岩浆结晶分异为晚期阶段，相应的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 含量就较高。图 7 中 Ni 、 S 的 f_1 值大于 MgO 、 FeO ，小于 SiO_2 、 Al_2O_3 等，且与 MgO 、 FeO 同分布于 f_1 负值区，说明 Ni 与 MgO 、 FeO 关系更为密切；大量 Ni 以硫化物形式与熔浆发生分离是在镁铁矿物开始结晶之后，即大量硫化

表 1 橄榄石、古铜辉石成分与深度的关系

Table 1. Relationship between the composition of olivine and bronzite and the depth

样品编号	取样位置 (m)	橄 榄 石 (%)		古铜辉石 (%)	
		Mg/(Mg + <Fe>)	Fo	Mg/(Mg + <Fe>)	En
ST-3	ZK36 147.5	77.4	77.35	82.86	80.76
ST-4	ZK36 160	79.85	78.79	80.75	80.48
ST-5	ZK36 190	79.64	79.63	81.61	81.03

镍的出现是由于温度、压力等条件的改变、镁铁矿物的结晶使残余熔浆中 MgO 、 FeO 组分降低、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 等组分增高、硫化物溶解度降低而发生与硅酸盐熔浆分离的。

主因子 f_2 代表岩浆结晶过程中组分受重力作用影响的大小。硫化镍的比重最大，且固结时间晚，受重力影响最大，其 f_2 亦最大，富硅铝的矿物比重相对较小，受重力影响小；其 f_2 亦较小，而富镁铁的矿物受重力影响介于前两者之间，其 f_2 亦如此。因此可以认为，硫化物从硅酸盐熔体中熔离出来之后，重力沉聚作用对硫化物富集成富矿和特富矿起着重要作用。

2.2 矿体地质特征

2.2.1 矿石类型和矿体类型

Y1 岩体基本上全岩矿化，主要矿石类型有致密块状矿石、稠密浸染状矿石、稀疏浸染状矿石、脉状矿石和角砾状矿石。根据矿石类型及其品位将矿体区

表 2 Y1岩体岩相及主要岩石类型
Table 2. Petrofacies and major rock types of No. Y1 rock body

岩 相	占岩体体 积的比例 (%)	主要岩石类型	颜色	结构构造	主 要 矿 物 组 成 (体 积 %)							矿化 程度
					Ol	Opx	Aug	Pl	Hb	Bi	Qz	
闪长岩相	20.5	含石英黑云闪长岩	浅灰—灰绿	细粒结构、 半自形粒状 结构			3~5	中—更长石 60~65	22	7~8	4~5	较差
		辉石闪长岩	灰—灰绿				10	中—拉长石 62	15~20	5~7	0~2	
黑云角闪 苏长岩	37.4	黑云角闪苏长岩	深 灰	中粒结构、 辉长结构		En = 76.5 25~30	3~5	An = 51~62 45~50	10~12	7~8		较好
黑云角闪橄 榄苏长岩相	27.5	黑云角闪橄榄苏长岩	深灰—灰黑	中粒—中粗粒 结构	Fe = 76~81 15~25	En = 76~81 20~30	3~4	An = 58~66 40~45	8~15	7~9		最好,为主 要赋矿层
辉绿辉 长岩相	14.6	黑云角闪辉绿辉长岩	灰 绿	细粒结构、 辉绿辉长结构		5~7	20~25	拉长石 50~60	10~12	7~8		较好,但 不均匀
		黑云角闪橄榄辉绿 辉长岩	深 灰	辉绿辉长结 构、辉绿结构	12~15	13~20	An = 54~68 45~55	10~15	8~10			

注: Ol—橄榄石; Opx—斜方辉石; Aug—普通辉石; Pl—斜长石; Hb—角闪石; Bi—黑云母; Qz—石英

表 3 Y1含矿岩体各岩石类型的化学成分 (%)
Table 3. Chemical composition of various rock types in No. Y1 rock body

岩 石 类 型	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	烧失量	总量
黑云角闪橄榄苏长岩	14	41.01	0.76	7.81	6.12	11.45	0.25	20.96	2.92	1.45	0.91	0.36	1.70	3.91	99.61
黑云角闪苏长岩	14	50.31	0.72	9.65	3.99	7.18	0.23	13.99	4.59	1.97	1.31	0.32	0.56	3.77	98.59
闪 长 岩	11	52.50	1.02	14.92	3.01	5.87	0.16	6.37	5.71	3.43	1.85	0.45	0.28	3.93	99.5
辉绿辉长岩	11	46.32	1.23	14.98	3.55	8.56	0.18	8.84	5.61	3.21	1.41	0.40	1.02	3.92	99.23
岩体体积加权平均		48.04	0.88	11.09	4.37	8.40	0.22	13.78	4.57	2.32	1.34				

注: 据新疆第四地质大队资料和潘长云的资料 (1987, 硕士论文)

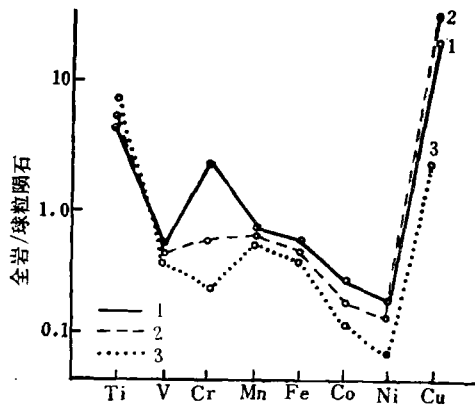


图 5 各类岩石过渡元素球粒陨石标准化配分型式

(据 Masson, 1971)

- 1—黑云角闪橄榄苏长岩; 2—黑云角闪苏长岩;
- 3—黑云闪长岩

Fig. 5. Chondrite-normalized patterns of transitional elements in various rocks.

- 1—Biotite-hornblende-olivine norite; 2—Biotite-hornblende norite; 3—Biotite diorite.

表 4 氧化物的R-型因子分析

Table 4. R-mode factor analyses of oxides

变量	f_1	f_2	f_3	h_1^2
SiO ₂	0.5234	-0.7626	0.0784	0.8617
Al ₂ O ₃	0.9675	-0.1304	-0.0143	0.9534
FeO	-0.5194	0.6784	-0.3573	0.8899
MgO	-0.9506	0.1960	0.1365	0.9608
CaO	0.1146	0.2423	-0.9259	0.9292
Na ₂ O	0.9271	-0.2569	0.0260	0.9262
K ₂ O	0.5350	-0.6764	-0.2716	0.8177
S	-0.0043	0.9191	-0.2716	0.9186
Ni	-0.1729	0.8134	-0.4648	0.9076
Sk	5.3021	2.1809	0.6826	8.1651
%	58.91	24.23	7.59	
累积(%)	58.91	83.14	90.73	

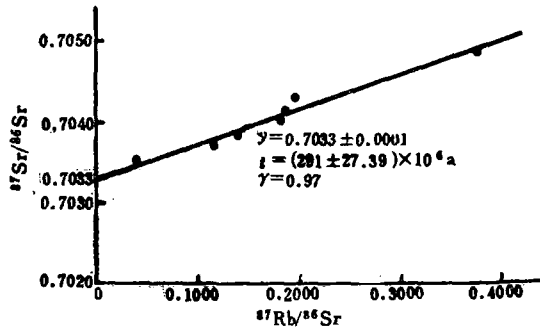


图 6 Y1 含矿岩体黑云角闪橄榄苏长岩铷锶等时线

(据新疆第四地质大队与成都地院科研合作组资料, 由卢武长副教授提供)

Fig. 6. Rb-Sr isochron of biotite-hornblende-olivine norite making up No. Y1 ore-bearing rock body.

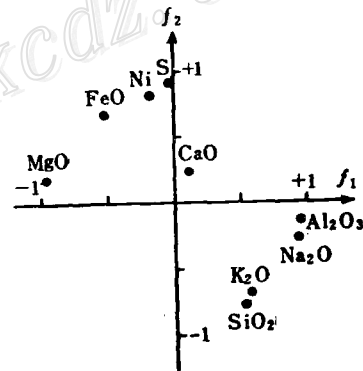


图 7 f_1 - f_2 因子载荷平面图

Fig. 7. Diagram of f_1 - f_2 factor loading.

分为致密块状富镍高铜矿体 ($Cu > 10\%$, $Ni > 1\%$)、致密块状特富铜镍矿体 ($3\% \leq Cu < 10\%$, $Ni > 3\%$)、稠密浸染状富铜贫镍矿体 ($1\% \leq Cu < 3\%$, $Ni < 1\%$)、稀疏浸染状贫铜贫镍矿体 ($Cu < 1\%$, $Ni < 1\%$) 和稀疏浸染状-脉状贫铜矿体 ($Cu < 1\%$) (图 3)。

2.2.2 矿石矿物组分及其组合 本矿床主要的金属硫化物有磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿, 其次有黄铁矿、紫硫镍矿、等轴方黄铜矿、针镍矿、富镍硫铁铜钾 (Ni-rich djerfisherite, $K_6(Fe, Ni, Cu)_{25}S_{26}Cl$)^[2]、方铅矿、毒砂等; 金属氧化物有磁铁矿、钛铁矿;

稀少-贵金属矿物有辉砷钴矿、辉钴矿、银金矿、银镍黄铁矿、镍辉钴矿、碲银矿、碲镍铂钨矿、等轴铋钨矿。其中富镍硫铁铜钾矿在我国属首次发现的矿物^[3]。

常见的矿物组合有橄榄石-自形晶磁铁矿-珠滴状磁黄铁矿、磁黄铁矿-黄铜矿-镍黄铁矿、磁黄铁矿-镍黄铁矿和方解石-黄铁矿等。

2.2.3 矿石组构 常见的矿石构造为浸染状、块状、珠滴状、角砾状、细脉-网脉状构造，其次有斑点状、浸染条带状构造。矿石结构有自形一半自形粒状结构、他形粒状结构、海绵陨铁结构、填间结构、固熔体分离结构和交代结构。

3 成岩成矿物质来源

Y1含矿岩体的锶初始比值为0.7033，介于大洋拉斑玄武岩锶初始比值范围(0.702~0.706)^[1]内，同时考虑到岩体的岩石类型、矿物成分及岩石地球化学特征等，可以认为，其成岩物质来自上地幔。

本矿床不同矿石类型的硫同位素组成彼此都很接近(表5)，浸染状矿石的 $\delta^{34}\text{S} = -0.40\%$ ~ 1.07% ，块状矿石的 $\delta^{34}\text{S} = -0.34\%$ ~ 1.2% ，脉状-网脉状矿石的 $\delta^{34}\text{S} = -0.95\%$ ~ 1.59% ，除脉状-网脉状矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化较大外，其他矿石类型的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围较小，硫同位素组成具塔式分布，平均 $\delta^{34}\text{S} = 0.3497\%$ ，说明硫主要来自上地幔，没有或只有微量围岩硫的加入^[4]。

成矿元素铜、镍、钴均以硫化物形式赋存于岩浆熔离型矿石之中，金、银和铂族金属或以单矿物形式分布于硫化物中，或以类质同象存在于硫化物中，而且含矿岩体的原始岩浆来自上地幔，区域地层中这些成矿元素的含量均不高。根据这些元素的地球化学学习性以及在地幔中的分布规律^[5, 6]，不难理解，金属成矿元素铜、镍、钴、金、银、铂族等来自上地幔。

4 成岩成矿温压条件

4.1 成岩温度和压力

根据夏林圻(1981)^[7]提出的基性侵入岩中橄榄石结晶温度的计算方法，求得其结晶温度为 $1421.9\sim 1423.9^\circ\text{C}$ ，利用哈克利-瑞利提出的镍地质温度计^[8]，算得橄榄石与斜方辉石平衡结晶的温度为 $935.4\sim 1202.4^\circ\text{C}$ 。按Kudo和Will(1970)建立的斜长石与岩浆液相平衡结晶时的地质温度-压力的回归公式^[9]，估算出斜长石平衡结晶时的 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 约为 $2 \times 10^8\sim 3 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。

4.2 成矿温度

本矿床矿石矿物包裹体测温结果见表6。磁黄铁矿的爆裂温度为 $290\sim 360^\circ\text{C}$ ，黄铜矿的爆裂温度为 $295\sim 418^\circ\text{C}$ ，磁铁矿的爆裂温度为 $330\sim 450^\circ\text{C}$ ，此外还见有低温方解石-黄铁矿细脉的出现。因此，可以认为本矿床矿石矿物的主要形成温度在 $450\sim 290^\circ\text{C}$ 之间，而成矿温度的下限可达 200°C 以下。

① 卢武长，1986，稳定同位素地球化学，成都地质学院出版

② 潘长云，1987，成都地质学院硕士论文

表 5 喀拉通克 I 号含贵金属硫化铜镍矿床硫同位素表
Table 5. Sulfur isotope composition of No. I precious metals-bearing
copper-nickel sulfide deposit in the Kalatongke ore district

样品编号	采样位置(m)	岩 矿 名 称	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	
844S ₃ ①-I ₁	ZK152	125.60	稀疏浸染状矿石	黄铁矿	1.07
844S ₃ -I ₂		172.19	中等浸染状矿石	黄铁矿	-0.49
844S ₃ -I ₄		241.00	稠密浸染状矿石	黄铁矿	-0.05
844S ₃ -I ₅		320.90	角砾状矿石	黄铁矿	0.23
844S ₃ -I ₆		329.70	致密块状矿石	黄铁矿	-0.11
844S ₃ -I ₇		339.00	致密块状矿石	黄铁矿	0.26
844S ₃ -I ₈		343.50	网脉状矿石	黄铁矿	1.55
844S ₃ -I ₉	ZK151	148.00	稀疏浸染状岩石	黄铁矿	0.99
844S ₃ -I ₁₀		183.40	稀疏浸染状矿石	黄铁矿	0.21
844S ₃ -I ₁₁		194.00	稀疏—中等浸染状矿石	黄铁矿	0.15
844S ₃ -I ₁₂		224.70	中等浸染状矿石	黄铁矿	0.27
844S ₃ -I ₁₃		287.40	稠密浸染状矿石	黄铁矿	0.06
844S ₃ -I ₁₄		319.47	稠密浸染状矿石	黄铁矿	0.51
844S ₃ -I ₁₅		324.10	网脉状矿石	黄铁矿	-0.29
844S ₃ -I ₁₆		338.40	致密块状矿石	黄铁矿	0.02
844S ₃ -I ₁₇		346.80	致密块状矿石	黄铁矿	-0.01
844S ₃ -I ₁₈		352.70	致密块状矿石	黄铁矿	0.03
844S ₃ -I ₁₉		380.50	脉状矿石	黄铁矿	0.26
844S ₃ -I ₂₀	ZK153	253.41	胶结状矿石	黄铁矿	-0.27
844S ₃ -I ₂₁		315.00	脉状矿石(蚀变碳质沉凝灰岩中)	黄铁矿	-0.95
81K ₅ ST②-11	ZK13	400.00	稀疏浸染状+脉状矿石	黄铜矿	0.5
		400.00	稀疏浸染状+脉状矿石	黄铁矿	-0.9
81K ₅ ST-12	ZK36	85.00	稀疏浸染状+脉状矿石	黄铜矿	0.7
		85.00	稀疏浸染状+脉状矿石	磁黄铁矿	-0.4
81K ₅ ST-13		205.00	中等浸染状矿石	黄铜矿	0.8
		205.00	中等浸染状矿石	磁黄铁矿	0.3
81K ₅ ST-15		359.00	致密块状矿石	黄铜矿	1.0
		359.00	致密块状矿石	磁黄铁矿	0.7
81K ₅ ST-16	ZK17	227.00	稀疏浸染状矿石	黄铜矿	0.9
		227.00	稀疏浸染状矿石	磁黄铁矿	0.7
HG②-2	ZK36	151-172	稀疏浸染状矿石	黄铜矿	0.3
Pst-1	ZK157	290.00	致密块状矿石	磁黄铁矿	1.2
		290.00	致密块状矿石	黄铜矿	-0.34
Pst-2	ZK168	173.00	稀疏斑点状矿石	磁黄铁矿	0.65
		173.00	稀疏斑点状矿石	黄铁矿	0.53
Pst-3	ZK162	313.00	致密块状矿石	磁黄铁矿	0.71
		313.00	块状矿石中的后期黄铁矿脉	黄铁矿	1.41
Pst-4		341.00	致密块状矿石	磁黄铁矿	-0.29
		341.00	块状矿石中的后期黄铁矿脉	黄铁矿	1.59

① 资料来自新疆第四地质大队三分队；② 样品由新疆地矿局科研所送，资料来自新疆第四地质大队三分队

5 成岩成矿机理及成岩成矿模式

5.1 成矿作用

形成该矿床的成矿作用有深部熔离成矿作用、就地熔离成矿作用、就地熔离纯硫化物矿浆的结晶和挤压迁移作用和热液成矿作用,但以前三种成矿作用为主。

5.1.1 深部熔离成矿作用 Y1 含矿岩体规模很小,但含大型工业矿床,单位岩体硫化镍含量为1456g/t^①,是肖德贝里单位岩体硫化镍含量(2.68g/t)^[9]的543.5倍,是力马河岩体单位岩体硫化镍含量(480g/t)^[10]的3倍多,说明Y1岩

体的母岩浆为深部熔离形成的富含硫化物的含矿岩浆。发生深部熔离作用的原因,一般认为是由于岩浆中离子团群聚态迁合作用、挥发组分(S、O)配分的改变、物理化学条件的变化等^[11-13],深部熔离作用产生富含硫化物的熔浆(含矿岩浆)是形成小岩体含大矿的前提^[12]。

5.1.2 就地熔离成矿作用 形成浸染状矿体和底部纯硫化物矿浆,其证据有:(1)浸染状矿体的产状受岩相的控制,矿化随岩石基性程度的增加而加富;(2)浸染状矿体与岩体无明显界限,两者呈渐变过渡关系;(3)熔离成矿作用形成的典型构造——珠滴状构造发育;(4)矿物组合具岩浆熔离型铜镍硫化物矿床的特征;(5)海绵陨铁状结构、填间结构发育。

5.1.3 就地熔离纯硫化物矿浆的结晶和挤压迁移作用 形成块状矿石(体)、角砾状矿石,或呈脉块状叠加于浸染状矿体之上,使矿化加富。主要依据有:(1)块状矿体、稠密浸染状矿体和稀疏浸染状矿体在剖面上呈环带状分布,环带上宽下窄,且块状矿体分布于黑云角闪橄榄苏长岩相的中下部(图3),表现出受岩相的控制;(2)块状矿体呈枝状插入浸染状矿体之中(图2),剖面上呈陡倾斜的透镜体,但位于岩体内(图3),说明块状矿体的产出亦受到构造裂隙的控制;(3)块状矿石的平均 $\delta^{34}\text{S}=0.3407\%$,浸染状矿石的 $\delta^{34}\text{S}=0.334\%$,相差不大,硫同位素组成没有发生明显的变化。如果纯硫化物矿浆是深部熔离后期贯入的,因其迁移较远,物化环境变化大,硫同位素组成势必会发生明显变化,与浸染状矿石的硫同位素组成将有明显的差异,如力马河岩体铜镍硫化物矿床中的浸染状-海绵陨铁状矿石的 $\delta^{34}\text{S}=3.6\%\sim 4.3\%$,而块状矿石的 $\delta^{34}\text{S}=3.4\%\sim 8.8\%$ ^[10]。由此可以认为形成块状矿石(体)的纯硫化物矿浆应是含矿岩浆就地熔离的产物;(4)利用矿石全分析进行的Q-型聚类分析结果表明,块状矿石与稠密浸染状矿石的相似系数达0.9844,角砾状矿石与稠密浸染状矿石和海绵陨铁状矿石的相似系数分别为0.961和0.934,角砾状矿石与块状矿石的相似系数为0.984,比部分浸染状矿石之间的相似系数还高,这种现象很难用深部熔离纯硫化物矿浆后期贯入形成块状矿体和角砾状矿石来解释;(5)垂向上,浸染状矿体到块状矿体,Cu、Ni、10 Co、Cu/Ni、10 Co/Ni均表现为同步增长,10 Co/Ni值逐渐降低,但浸染状矿体与块状矿体的Cu/Ni和10 Co/Ni值差异很小;(6)块状矿石与浸染状矿石中的磁黄铁矿均为六方

表6 矿石矿物包裹体爆裂法测温结果

Table 6. Decrepitation temperature measurements of inclusions in ore minerals

样号	矿石名称	测定矿物	爆裂温度(°C)	
dt-7	浸染状矿石	磁黄铁矿	320	
dt-9	浸染状矿石	黄铜矿	300	330
dt-13	浸染状矿石	黄铜矿	295	340
dt-14	浸染状矿石	磁黄铁矿	290	370
dt-10	块状矿石	黄铜矿	418	
dt-8	块状矿石	磁铁矿	330	380 450
dt-11	块状矿石	磁黄铁矿	360	
dt-12	块状矿石	磁黄铁矿	295	340

① 潘长云, 1987, 成都地质学院硕士论文

磁黄铁矿，且晶胞参数一致^①。

5.1.4 热液成矿作用 形成细脉和脉群，叠加在浸染状矿石或块状矿石之中，局部使矿化加富，或在围岩中形成矿脉。其表现为：(1) 块状矿石中有后期磁黄铁矿细脉和黄铁矿细脉切割；(2) 常见脉状、网脉状磁黄铁矿、黄铜矿叠加于浸染状矿石之上；(3) 显微脉状、网脉状构造发育；(4) 见方解石-黄铁矿细脉分布于浸染状矿石之中。

5.2 成岩成矿机理及模式

来自上地幔的原始岩浆于深部发生分异形成富含硫化物的含矿岩浆，这部分含矿岩浆在北西向断裂的诱导下，就位于次一级裂隙构造空间，形成平面上呈透镜状、剖面上呈楔形的含矿岩体。

含矿岩浆就位后，同化了就位空间的火山-沉积岩（沉凝灰岩），同时由于边部散热较快，形成辉绿辉长岩冷凝边。含矿岩浆在相对封闭的体系中分异、演化和成岩成矿。由于温度压力的降低，橄榄石约在1424℃开始结晶，并因重力分异向下沉聚。镁铁矿物的晶出降低了岩浆中 MgO、FeO 组分的含量，SiO₂、Al₂O₃、CaO 等组分的浓度相对增加，大大降低了金属硫化物的溶解度^[10~14]，更加促使金属硫化物的熔离和重力分异，形成自上而下金属硫化物含量依次增高的浓度梯度，固结而成自上而下矿化变富的浸染状矿体。

沉聚于岩体底部纯度较高的硫化物矿浆，因结晶温度较低，同时矿浆中含大量的磁铁矿组分，也降低了矿浆中硫化物的结晶温度^[6]，因此，当上部岩石基本固结时，它仍可保持熔

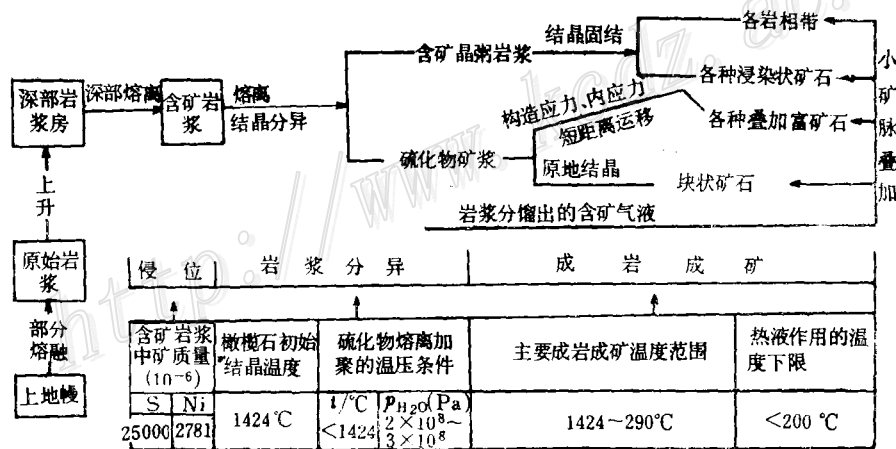


图 8 喀拉通克 I 号含贵金属硫化铜镍矿床成岩成矿模式

Fig. 8. Petrogenetic and metallogenetic model of No. I precious metals-bearing copper-nickel sulfide deposit in the Kalatongke ore district.

浆状态。在构造应力和内应力的作用下，矿浆沿岩体内部裂隙和构造破碎带作短距离迁移，但基本上仍是就地结晶形成富矿石和特富矿石，又因硫化物熔体向周围扩散，并与浸染状矿石叠加，因此，除形成块状特富矿石外，向外依次尚见块状富矿石、角砾状、稠密浸染状矿石，总体上构成壳环状的矿体结构（图 2、3），硫化物的结晶温度主要在 450~290℃ 之间。

岩浆分馏的气液携带着部分矿质，在岩体和矿体中形成金属硫化物细脉或脉群，局部地

① 潘长云，1987，成都地质学院硕士论文

段使矿化加富。热液成矿作用的温度下限可达 200℃ 以下。

综上所述,喀拉通克 I 号含贵金属硫化铜镍矿床是含矿岩浆就地分异成矿与就地分异硫化物矿浆结晶或迁移成矿复合定位形成的岩浆熔离型铜镍硫化物矿床。其成岩成矿模式如图 8 所示。

参 考 文 献

- 1 邱家骥. 岩浆岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1985.
- 2 李本海, 薛秀娣. 新疆北部喀铜镍矿中首次发现的几种金属矿物. 新疆地质, 1984, 2(2): 64~74
- 3 周云霞等. 我国在新疆首次发现富镍硫铁铜钾矿. 新疆地质, 1984, (1): 65~71
- 4 福尔 G. 同位素地质学原理. 潘曙兰等译. 北京: 科学出版社, 1986.
- 5 刘英俊等. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984.
- 6 武汉地质学院. 地球化学. 北京: 地质出版社, 1981.
- 7 夏林圻. 橄榄石地质温度计. 中国地质科学院院报西安地矿所分刊, 1981, 2(1): 73~82
- 8 武汉地质学院. 岩浆岩岩石学 (上册). 北京: 地质出版社, 1980.
- 9 张儒媛. 矿物温度计和压力计. 北京: 地质出版社, 1983.
- 10 方华等. 论岩浆深渊分异在硫化铜镍矿床成岩成矿作用的意义. 地质学报, 1985, 59(2): 141~154
- 11 王润民. 内生成矿作用——成矿区和成矿系列. 重庆: 重庆大学出版社, 1989.
- 12 成都地质学院矿床教研室. 矿床学 (上册). 北京: 地质出版社, 1979.
- 13 胡受奚等. 矿床学 (上册). 北京: 地质出版社, 1982.
- 14 Park C F, MacDiarmid R A. Ore deposits. San Francisco: Freeman & Company, 1975. 529

PETROGENIC AND METALLOGENIC MODEL OF THE No. 1 PRECIOUS METAL-BEARING COPPER-NICKEL SULFIDE DEPOSIT IN THE KALATONGKE ORE DISTRICT, XINJIANG

Pan Changyun

(Yunnan Institute of Geological Sciences, Kunming, Yunnan Province)

Wang Renmin

(Chengdu College of Geology, Chengdu, Sichuan Province)

Abstract

This paper deals with geological characteristics of the ore-bearing intrusive body and the ore body, petrogenic and metallogenic substances and mineralization types of the No. 1 precious metal-bearing copper-nickel sulfide deposit in the Kalatongke ore district. On such a basis, a corresponding petrogenic and metallogenic model is established. The model holds that the ore deposit is a telescoped one formed by in-situ liquation mineralization, crystallization and compressional migration of pure sulfide ore magma generated through in-situ liquation and hydrothermal ore-forming process after the emplacement of sulfide-rich magma formed by deep liquation. It is thus concluded that the ore deposit is of magmatic liquation type.