

喀拉通克铜镍矿成岩成矿模式

戴塔根^{1,2}, 尹学朗^{1,2}, 张德贤^{1,2,3}

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;
3. 中南大学 资源与安全工程学院 矿业工程博士后流动站, 长沙 410083)

摘要: 新疆喀拉通克铜镍多金属成矿带是中亚造山带中部一个重要的 Cu-Ni-Au 多金属成矿带。通过讨论喀拉通克铜镍多金属矿床的成矿物质来源和成矿机制来研究该矿床的成岩成矿模式。结果表明: 喀拉通克铜镍多金属矿床中的硫具有明显的陨石硫特征, 说明硫来自地幔, 但并不排除地壳硫的加入。岩体的铷锶同位素也已表明有地壳物质的混入。地层和矿石中的铅来源一致, 均来源于地幔的玄武岩浆。新疆喀拉通克铜镍多金属矿床的成矿模式是以岩浆深部熔离作用为主导的脉动式成矿。

关键字: 喀拉通克; 铜镍矿床; 成岩成矿模式

中图分类号: P61

文献标志码: A

Diagenetic and metallogenic model of Kalatongke Cu-Ni deposit

DAI Ta-gen^{1,2}, YIN Xue-lang^{1,2}, ZHANG De-xian^{1,2,3}

- (1. Key Laboratory of Nonferrous Metal Metallogenic Prediction, Ministry of Education, Central South University, Changsha, 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Post-doctoral Research Center of Mining Engineering, School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Kalatongke Cu-Ni poly-metal metallogenic belt is one of the most important Cu-Ni-Au belt in Central Asian Orogenic belt. The ore-forming material source and metallogenic mechanism were studied to discuss the diagenetic and metallogenic model of Kalatongke Cu-Ni deposit. The results suggest that the sulphur has the characteristics of meteorolite sulphur which implies that the sulfur is derived from mantle, but is possibly open to the sulphur from crust. Rb-Sr of rock mass also agrees with the precipitation of crust substance. The lead sources of both stratigraphy and ore are similar, and come from basaltic magma of mantle. The ore-forming models is pulsing mineralization dominated by liquation of deep magma.

Key words: Kalatongke; Cu-Ni deposit; diagenetic and metallogenic model

新疆喀拉通克铜镍多金属成矿带是中亚造山带中部一个重要的 Cu-Ni-Au 多金属成矿带^[1-11], 在该成矿带内已发现有萨尔布拉克金矿、乔夏哈拉铜(铁)金矿、喀拉通克铜镍矿、卡拉先格尔铜矿、玛热勒铁金矿、科克萨依金矿、索尔库都克铜(钼)矿等矿床和多处矿

床点^[5-6, 9, 11-18]。喀拉通克铜镍矿床位于中亚壳体北东部的阿尔泰地洼区与准噶尔地洼区的过渡部位。其北有额尔齐斯北西向深大断裂, 南有乌伦古北西向深大断裂, 东邻卡依尔塔—二台近南北向大断裂。该矿床受萨尔布拉克—喀拉通克复式向斜的次级背斜构造和

基金项目: 中南大学博士后基金资助项目(117227)

收稿日期: 2013-05-16; 修订日期: 2013-06-30

通信作者: 戴塔根, 教授; 电话: 13807311190; E-mail: dtg@mail.csu.edu.cn

北西向断裂构造控制^[1-3, 10, 19-23]。按陈国达先生地洼构造理论, 本研究区位于中亚壳体的北东部, 以额尔齐斯深大断裂为界, 其北部属于阿尔泰地洼区、南为准噶尔地洼区。板块学说、多旋回学说认为: 本区位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的结合部位, 其北为西伯利亚板块, 其南为哈萨克斯坦-准噶尔板块。其北有额尔齐斯北西向深大断裂, 南有乌伦古北西向深大断裂, 东邻卡依尔-二台近南北向大断裂。总而言之, 本区处于阿尔泰加里东褶皱带与准噶尔海西褶皱带的接合部位, 总体上属于海西构造带, 是成矿的有利部位^[1-6, 12, 19-20, 22, 24]。

1 地质背景

矿区出露地层主要为中泥盆统蕴都喀拉组(D_{2Y})、下石炭统南明水组(C_{1N})。其中, 南明水组是矿区含矿

岩体的直接围岩; 其下段为砾岩、凝灰质粉砂岩、泥板岩和硅质岩等近滨带-浅海陆棚-深海相沉积, 中、上段为沉火山角砾岩、碎屑沉凝灰岩、含碳质凝灰板岩等浊积扇沉积, 夹多层安山岩^[25]。其铷锶同位素全岩初始比值为 0.703 78~0.703 83, 其全岩等时线年龄为 $(311 \pm 16) \text{ Ma}$ ^[25]。

矿床产于北西向萨尔布拉克-喀拉通克复式向斜东段的次一级褶皱中^[23]。矿区内断裂构造十分发育, 其中, 北西向断裂为控岩断裂, 使基性岩体呈带状沿该断裂带分布; 北北西向断裂与北东向和近东西向断裂一起控制着岩体和矿床的侵位和形成^[5, 26-28]。

矿区内已发现岩体 10 个, 构成一个总体走向 310° 左右的岩带。按岩体产出特征和与构造的关系, 可分为南北两个岩带: 南岩带长 4 000 m, 宽 100~300 m; 北岩带长 2 200 m, 宽 50~250 m, 岩带中 Y_1 岩体长 695 m, 走向 $330^\circ \sim 335^\circ$; γ_2 长 1 440 m 以上、 γ_3 长 1 320 m 以上、 γ_9 长 650 m 走向均为 310° 左右, γ_6 、

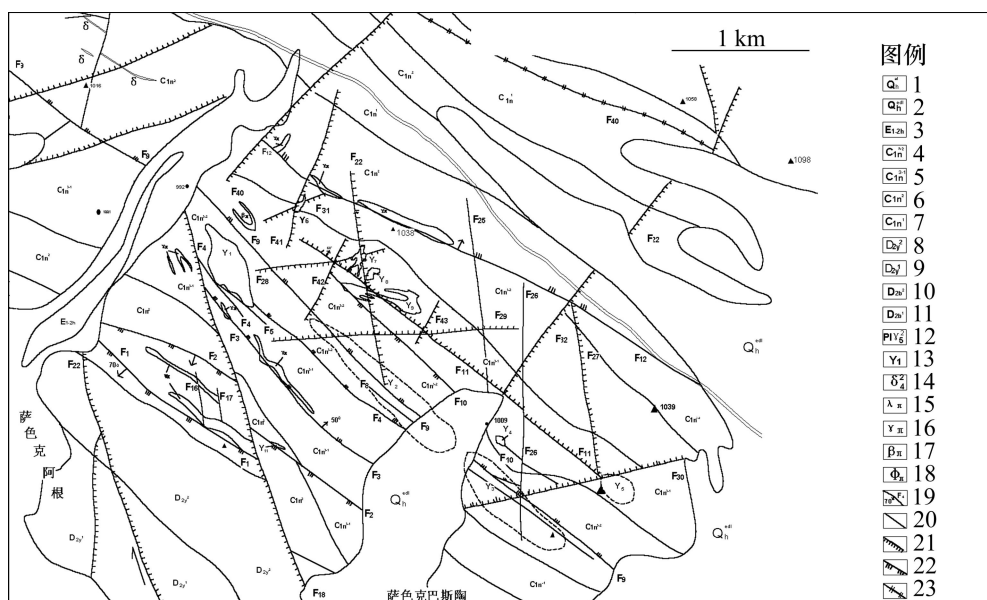


图 1 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿区地质图(据^[5-6]修改): 1—冲积物; 2—残、坡积堆积物; 3—红色砂质黏土; 4—粉质泥板岩、粉砂岩; 5—炭质粗屑凝灰岩、沉凝灰岩; 6—晶屑沉凝灰岩、泥板岩; 7—砂岩及似层状大理岩灰岩; 8—凝灰质砂岩、板岩、紫色粉砂质泥板页岩化大理岩; 9—岩屑晶屑凝灰岩, 安山质角砾熔岩、熔岩集块岩; 10—火山碎屑岩、角砾熔岩; 11—安山质角砾熔岩; 12—斜长花岗岩类; 13—铁镁质基性岩及编号; 14—闪长岩、闪长玢岩; 15—石英斑岩; 16—花岗岩斑岩; 17—辉绿岩、辉绿玢岩; 18—钠长斑岩; 19—断层、编号、产状; 20—倾向不明的断层; 21—张性断层; 22—压性断层; 23—扭性断层

Fig. 1 Geological map of Kalatongke Cu-Ni deposit in Xinjiang (Modified by Ref [5-6]): 1—Alluvium; 2—Residue and talus; 3—Red sandy clay; 4—Siltstone; 5—Carbonaceous coarse grain tuff and sedimentary tuff; 6—Crystal grain sedimentary tuff and argillite; 7—Sandy bedded marble and limestone; 8—Tuffaceous sandstone, slate and marble; 9—Rocky-crystal-vitric tuff, andesite breccia lava; 10—Volcanic arenite and breccia lava; 11—Andesite breccia lava; 12—Plagiogranite; 13—Ferromagnesian basic rocks and number; 14—Diorite and diorite porphyrite; 15—Quartz porphyry; 16—Granite porphyry; 17—Diabase and diabase-porphryite; 18—Albite-porphryite; 19—Fault, number and occurrence; 21—Tension fault; 22—Compression fault; 23—Torsion fault

γ_7 、 γ_8 岩体走向 NE30°~45°, 与主构造线又有不同的偏离。南岩带的 3 个主要岩体(γ_1 、 γ_2 、 γ_3)分异良好、相带清晰、矿化发育, 随着岩体基性程度增高而增强。北岩带的岩体(γ_4 ~ γ_9)岩体规模小、分异差、矿化相对较弱。主要含矿岩体由上至下岩体可划分为黑云母石英闪长岩相、黑云母石英角闪辉长岩相、黑云母角闪苏长岩相和黑云母角闪橄榄苏长岩相, 各岩相之间均呈渐变过渡关系^[29-30]。

2 成矿物质来源

喀拉通克铜镍矿床目前已探明一个大型、两个中型和 4 个小型铜镍矿床, 这些矿床均为与喀拉通克基性岩体有关岩浆铜镍硫化物矿床^[25]。以 Y1 岩体为例, 喀拉通克 Y1 镁铁质岩体已探明为大型铜镍矿床, 岩体矿化普遍, 富集成工业矿体的部分占岩体总体积的 40% 左右; 工业矿化局仅限于岩体范围内, 且主要分布在海拔 1 000~500m 标高的岩体中下部, 赋存在橄榄苏长岩相、苏长岩相及少量橄榄辉绿辉长岩中。

近百件硫同位素样品的分析结果表明^[25, 31]: 本矿区矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化在 -3.49×10^{-3} ~ $+3.00 \times 10^{-3}$ 之间, 变化范围很小, 平均值为 0.229×10^{-3} , 具有明显的塔式分布特征, 塔峰在 0 附近(如图 2 所示), 其中, 块状矿石的同位素测定值与标准值之间的千分偏差 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -1.30×10^{-3} ~ 1.84×10^{-3} , 浸染状矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -2.50×10^{-3} ~ 0.85×10^{-3} , 脉状矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -1.54×10^{-3} ~ 3.00×10^{-3} , 围岩中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -7.8×10^{-3} ~ 3.3×10^{-3} , 明显具有陨石硫特征, 说明硫来自地幔, 但并不排除地壳硫的加入。岩体的铷锶同位素也已表明有地壳物质的混入。

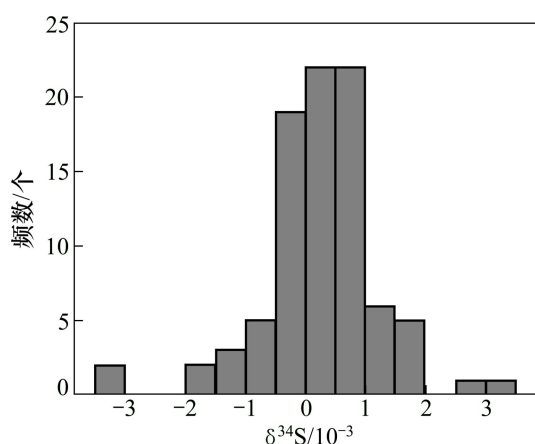


图 2 喀拉通克铜镍矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 直方图

Fig. 2 Histogram of $\delta^{34}\text{S}$ in Kalatongke Cu-Ni deposit

根据王润民^[25]和邹海洋等^[5-6]的研究表明, 矿石中 12 件黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿样品的铅同位素组成如下: 浸染状矿石的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.923 ~ 18.007; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.465 ~ 15.517, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.582 ~ 37.813。块状矿石的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.893 ~ 17.975; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.432 ~ 15.483, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.474 ~ 37.632。由分析结果可见, 浸染状矿石、块状矿石以及高铜块状矿石的铅同位素组成几乎无差别, 且均落在大洋火山岩铅的同位素组成范围内。说明它们的矿石的铅来源相同, 主要来自于地幔和造山带(如图 3 所示), 均来源于深源地幔的玄武岩浆。

喀拉通克铜镍矿床中岩体和矿石的稀土元素化学组成和配分型式分别见表 1 和图 4~7。由图 4~7 可见, 岩体和矿石都具有平坦型的配分型式, 大部分样品具有正 Tm、负 Yb 的弱异常和明显的 Lu 正异常。同一岩体中的样品曲线的形状相近, 近于平行, 稀土元素含量总量在同一岩体和不同岩体上均有一定的差异, 这说明各岩体各相带岩石是由同一种岩浆经结晶分异作用造成的, 不同岩体之间仍具有亲缘性。而图 7 致密

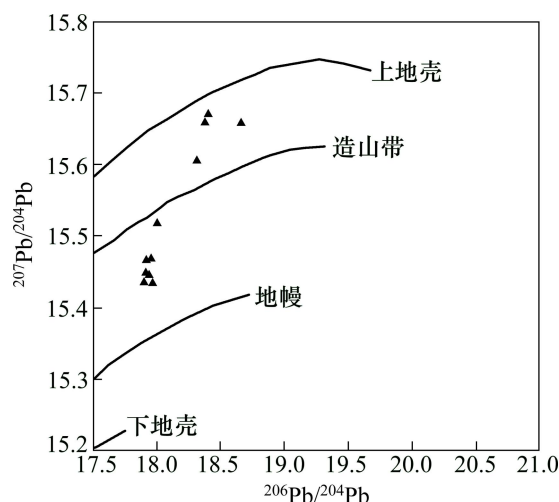


图 3 喀拉通克铜镍矿床中铅来源投影

Fig. 3 Projection of lead source in Kalatongke Cu-Ni deposit

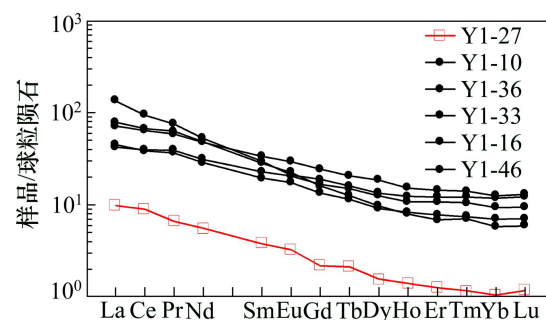
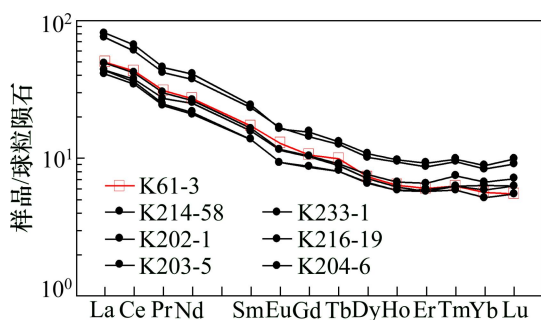
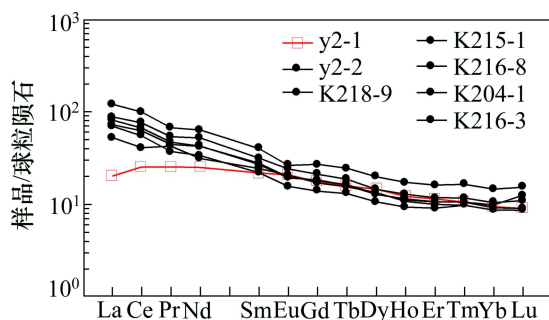
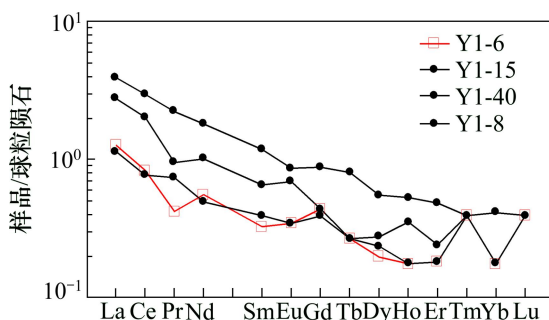


图 4 γ_1 岩体各岩相带样品的稀土配分模式图

Fig. 4 REE patterns of various facies in rock mass γ_1

图5 γ_2 岩体橄榄苏长岩样品的稀土配分模式图Fig. 5 REE patterns of hyperite in rock mass γ_2 图6 γ_2 岩体各岩相带样品的稀土配分模式图Fig. 6 REE patterns of various facies in rock mass γ_2 图7 γ_1 岩体中不同矿石类型样品的稀土配分模式图Fig. 7 REE patterns of various kinds of ores in rock mass γ_1

块状矿石与各岩相样品在配分型式上有很大差别,这说明致密块状矿石不是侵入体分异演化的结果,可能与地幔深熔流体存在一定的关系。

3 成矿机制

地球深部富集的大量铁、铜、镍等成矿元素,在高温高压和强还原环境中,这些成矿元素与氢形成高活性、高扩散性的金属氢化物,当地球的核幔边界部位发生双相交换作用,地幔和地壳随之产生深大断裂

构造,这些成矿元素与地幔深部形成的深部岩浆,由于其热力学状态和与上部岩层的密度差异,这种岩浆不断熔蚀地幔物质,并一起向上侵入,由于环境压力逐步降低、氧逸度逐步升高和地幔中新物质的不断加入,这些处于超临界状态的气液相的金属氢化物被氧化为纳米级的金属合金和金属单质,并迅速与岩浆中呈超临界状态的硫、砷、碲等作用,形成金属硫化物、砷化物和硫碲化物,与岩浆混熔,形成深部的橄榄拉斑玄武岩。

该含矿岩浆体在上侵过程中,会在地壳深部形成一个以上中间岩浆房;由于温度、压力较上地幔低,物理化学条件也随之发生变化,在约 1 100 °C 左右高温下产生深部熔离作用。熔离出来的硫化物熔体,在重力场效应下,呈“珠球”状不断地沉降至岩浆房底部聚集。从而在中间岩浆房内形成底部矿浆、下部富矿岩浆、中部含矿岩浆、上部贫矿硅酸盐岩浆或无矿硅酸盐岩浆。

中间岩浆房上部基性程度较低的贫矿硅酸盐岩浆或无矿硅酸盐岩浆,在先期构造应力驱使下先侵入,在有利的构造部位形成基本不含工业意义矿体的中基性岩体。之后,在后期构造应力驱使下,中上部基性程度中等的含矿岩浆先后侵入,分别相继在西北向构造裂隙系统与北东向次级裂隙的交叉部位就位,形成 γ_5 、 γ_6 、 γ_7 、 γ_8 等岩体,由于压力、温度和物理化学条件的变化,产生就地熔离作用,并冷结晶固结,在岩体的中下部或底部形成岩浆就地熔离型矿体;之后,岩浆房中下部基性程度相对较高的部分,在构造应力驱使下先后上侵,分别相继在西北向构造裂隙系统中就位,形成 γ_3 、 γ_2 等岩体和岩浆就地分异形成的底部矿体;再后,岩浆房下部基性程度较高的富矿岩浆,在构造应力驱动下侵入,在序次较上的部位新产生的北北西向构造裂隙中侵位,形成 γ_1 岩体和浸染状矿体;最后,是底部矿浆侵入,在 γ_1 岩体等再次活动的裂隙中侵位形成致密块状特富矿体。这样在南岩带,由于各岩体均沿北西和北北西断裂构造系统侵位分布,故形成了首尾对应的 γ_3 、 γ_2 、 γ_1 岩体,其侵位高程依次稍升,基性程度依次增加,含矿性也依次加强。而北岩带各岩体由于受北西向构造裂隙系统和北东向裂隙的联合控制,各岩体相对联系不那么密切。

在岩浆房内,处于熔融状态的含矿性不同岩浆,在构造动力的驱动下,若先后沿不同通道上侵,不同类型的岩浆单独就位于不同的岩浆室内,经就地熔离作用,并冷凝成岩成矿,形成含矿性差别极大的岩体群,即有的岩体不含矿,有的岩体仅赋存有岩浆就地

表 1 喀拉通克铜镍矿床各类岩、矿石的稀土元素含量和特征值表

Table 1 Trace element concentrations and characteristic values of various wall rocks and ores in Kalatongke Cu-Ni deposit

样号	样品名称	w/10 ⁻⁶																L/G	δEu	Eu/Sm	δCe
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE				
γ1-6	特富矿	0.30	0.51	0.04	0.26	0.05	0.02	0.09	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.20	1.61	5.11	0.90	0.40	0.96
γ1-15	特富矿	0.92	1.80	0.21	0.84	0.18	0.05	0.18	0.03	0.14	0.03	0.08	0.01	0.07	0.01	0.67	5.23	7.21	0.84	0.28	0.93
γ1-40	特富矿	0.27	0.47	0.07	0.23	0.06	0.02	0.08	0.01	0.06	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.19	1.54	4.87	0.88	0.33	0.79
γ1-8	高铜特富矿	0.65	1.23	0.09	0.47	0.10	0.04	0.09	0.01	0.07	0.02	0.04	0.01	0.03	0.01	0.33	3.18	9.52	1.26	0.40	1.06
γ1-27	富矿	2.33	5.50	0.63	2.61	0.58	0.19	0.45	0.08	0.40	0.08	0.21	0.03	0.18	0.03	1.81	15.11	8.09	1.10	0.33	1.05
γ1-10	贫矿	9.99	24.12	3.70	14.45	3.49	1.19	3.43	0.56	3.18	0.61	1.78	0.27	1.59	0.24	16.47	85.07	4.88	1.04	0.34	0.93
γ1-36	矿化辉长岩	10.65	23.59	3.46	13.38	2.99	1.01	2.76	0.43	2.32	0.47	1.29	0.19	1.19	0.18	12.11	76.03	6.23	1.06	0.34	0.91
γ1-33	辉长岩	31.58	57.28	7.13	24.43	4.53	1.22	3.89	0.60	3.40	0.70	2.01	0.31	2.01	0.31	18.01	157.41	9.54	0.87	0.27	0.87
γ1-16	闪长岩	16.90	39.00	5.55	22.13	5.13	1.70	5.01	0.77	4.71	0.86	2.38	0.36	2.13	0.33	22.31	129.26	5.47	1.01	0.33	0.94
γ1-46	闪长岩	18.58	41.04	5.97	22.42	4.32	1.30	3.31	0.47	2.47	0.45	1.14	0.18	0.99	0.15	10.53	113.32	10.23	1.01	0.30	0.91
γ2-1	辉长岩	4.79	15.53	2.42	11.71	3.35	1.21	3.61	0.59	3.72	0.69	1.90	0.27	1.61	0.23	17.13	68.76	3.09	1.06	0.36	1.06
γ2-2	闪长岩	12.49	25.07	4.04	14.62	3.74	1.20	3.50	0.58	3.41	0.61	1.66	0.25	1.48	0.22	15.19	88.06	5.22	1.00	0.32	0.82
K61-3	橄榄苏长岩	11.67	26.02	2.92	12.51	2.61	0.74	2.16	0.37	1.86	0.36	1.00	0.16	0.96	0.14	9.62	73.10	8.06	0.93	0.28	1.02
K214-58	橄榄苏长岩	10.22	22.69	2.56	11.60	2.40	0.66	2.10	0.33	1.80	0.35	0.95	0.15	0.88	0.14	9.08	65.91	7.48	0.88	0.28	1.02
K202-1	苏长岩	10.15	21.75	2.33	9.96	2.08	0.54	1.76	0.30	1.69	0.33	0.98	0.16	1.08	0.16	8.97	62.24	7.25	0.84	0.26	1.02
K203-5	苏长岩	9.60	20.92	2.27	9.69	2.08	0.54	1.79	0.30	1.67	0.33	0.95	0.16	1.00	0.16	8.72	60.18	7.09	0.84	0.26	1.02
K233-1	苏长岩	11.52	25.23	2.81	12.16	2.51	0.67	2.13	0.34	1.93	0.38	1.09	0.19	1.14	0.18	10.20	72.48	7.44	0.86	0.27	1.02
K216-19	苏长岩	18.98	40.12	4.28	18.87	3.70	0.94	3.16	0.49	2.73	0.55	1.52	0.25	1.50	0.25	14.67	112.01	8.31	0.82	0.25	1.01
K204-6	苏长岩	17.60	36.30	3.94	17.27	3.53	0.96	2.93	0.47	2.57	0.53	1.43	0.24	1.42	0.23	13.89	103.31	8.11	0.89	0.27	0.99
K218-9	辉长岩	19.25	40.82	4.46	19.91	4.13	1.12	3.79	0.60	3.25	0.65	1.77	0.27	1.68	0.32	16.68	118.70	7.27	0.85	0.27	1.00
K215-1	辉长岩	16.56	33.67	3.54	15.73	3.36	0.91	2.86	0.49	2.71	0.53	1.51	0.25	1.48	0.22	14.16	97.98	7.34	0.88	0.27	0.99
K216-8	闪长岩	20.91	46.51	5.10	24.33	4.84	1.40	4.36	0.70	3.69	0.73	1.96	0.30	1.78	0.28	18.92	135.81	7.47	0.91	0.29	1.03
K204-1	闪长岩	17.17	38.12	4.21	19.76	4.26	1.14	3.72	0.61	3.33	0.63	1.77	0.27	1.57	0.23	16.43	113.22	6.98	0.86	0.27	1.03
K216-3	闪长岩	28.58	60.71	6.38	29.68	6.13	1.53	5.58	0.92	5.05	0.98	2.68	0.42	2.49	0.39	26.29	177.81	7.19	0.79	0.25	1.02
γ4-1	花岗闪长岩	14.03	25.34	3.61	12.74	2.66	0.59	2.54	0.43	2.61	0.56	1.69	0.28	1.96	0.31	15.70	85.04	5.69	0.68	0.22	0.82
γ6-1	强风化 闪长岩	75.08	119.90	12.43	34.48	4.52	0.90	2.46	0.33	1.44	0.29	0.76	0.14	0.83	0.13	5.88	259.57	38.78	0.75	0.20	0.85
γ7-1	闪长岩	7.48	14.57	2.16	8.51	2.22	1.18	2.28	0.38	2.14	0.43	1.25	0.19	1.27	0.20	11.15	55.41	4.44	1.59	0.53	0.84
γ7-2	辉长岩	11.50	24.63	3.74	15.39	3.64	1.21	3.88	0.62	3.76	0.70	2.03	0.29	1.81	0.27	18.87	92.34	4.50	0.98	0.33	0.88
γ9-1	闪长岩	13.22	28.70	3.91	14.03	3.54	0.85	3.54	0.60	3.62	0.74	2.22	0.35	2.31	0.36	20.04	98.03	4.68	0.73	0.24	0.93
γ9-2	闪长玢岩	30.53	67.01	9.11	34.41	6.98	2.06	6.23	0.92	4.95	0.95	2.61	0.37	2.29	0.34	24.73	193.49	8.05	0.94	0.30	0.94
X59-1	沉凝灰岩	14.28	22.31	3.89	14.78	3.44	1.69	3.25	0.53	3.06	0.66	1.90	0.29	1.95	0.31	16.93	89.27	5.05	1.52	0.49	0.69
X67-1	沉凝灰岩	12.35	22.53	3.13	11.80	2.47	0.55	2.32	0.39	2.54	0.50	1.61	0.26	1.79	0.29	14.65	77.18	5.45	0.69	0.22	0.83
γ11-1	辉长岩	9.07	19.97	2.93	11.72	2.82	1.00	2.86	0.46	2.75	0.50	1.37	0.21	1.23	0.18	12.36	69.43	4.97	1.07	0.35	0.91
1016	正长岩	17.12	27.43	3.51	10.32	1.86	0.42	1.52	0.26	1.41	0.30	0.89	0.15	1.01	0.16	8.29	74.65	10.65	0.74	0.23	0.79
γ1-1	炭质 沉凝灰岩	11.90	26.44	4.16	15.66	4.07	1.38	3.86	0.61	3.63	0.66	1.92	0.30	1.92	0.30	16.53	93.34	4.82	1.05	0.34	0.88
γ1-30	角岩化	12.96	25.09	3.92	14.00	3.18	0.99	2.87	0.47	2.76	0.57	1.55	0.25	1.62	0.26	14.60	85.09	5.81	0.98	0.31	0.82
γ1-11	沉凝灰岩	22.87	44.84	6.26	22.71	5.25	1.32	4.58	0.74	4.48	0.92	2.82	0.45	2.98	0.47	25.46	146.15	5.92	0.81	0.25	0.87
	基性岩	0.37	0.96	0.14	0.71	0.23	0.09	0.31	0.06	0.38	0.09	0.25	0.04	0.25	0.02	2.10					

表中 K××样品的原始数据引自冉红彦(1994), 其他为本次工作中湖北省宜昌所分析。

熔离型稀疏浸染状矿体；有的岩体既赋存有岩浆就地熔离型稀疏浸染状矿体，又有深部熔离富矿岩浆形成的稠密浸染状矿体；有的岩体全岩矿化，有岩浆深部熔离型浸染状矿体和晚期贯入型致密块状特富矿体。

岩浆冷凝成岩成矿之后，由于晚阶段的构造活动，导致岩体内的某些部分或全部的压力、温度发生变化，有外来含硫挥发性气液参与渗入，与岩浆气液混合，交代岩体内的硅酸盐矿物，使硅酸盐矿物结晶格架中的镍、钴等被释放出来，形成富含硫化物的气液。这种富含硫化物的气液，可在原地富集，叠加在岩浆熔离型浸染状矿体之中，形成岩浆熔离硫化叠加型矿体或矿床；也可在构造动力的驱动下，离开原地而转移至岩体内的构造薄弱部位(如不同岩相接触带，断裂破碎带)富集，形成岩浆熔离硫化叠加型矿体。

矿床生成后，受到东西向和北北东向构造挤压力的破坏，往往伴有脉岩穿切。经后期风化侵蚀，侵位较高的岩体顶部被剥蚀出露地表，发育形成深度不一的氧化带和次生富集带。如 γ_1 岩体就发育有深约40 m的氧化带和次生富集带。

综合上述研究成果，岩浆型铜镍硫化物矿床的成岩成矿模式可以称为“以岩浆深部熔离作用为主导的脉动式”成矿模式，其示意图如图5所示。

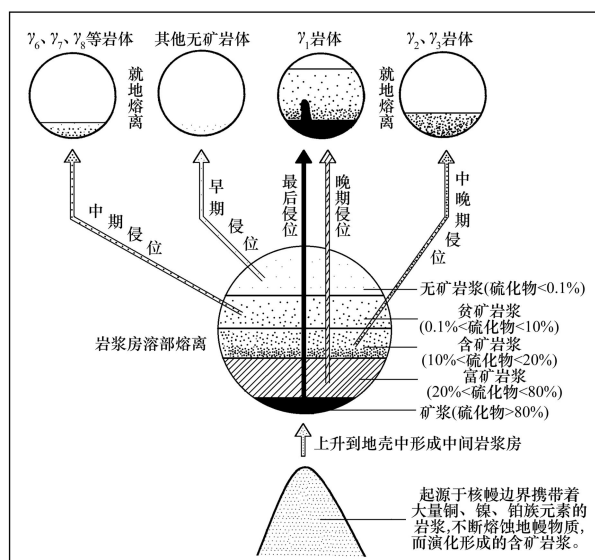


图8 喀拉通克铜镍矿床脉动式成岩成矿模式示意图

Fig. 8 Schematic diagram of diagenetic and metallogenic model of Kelatongke Cu-Ni deposit

REFERENCES

[1] 汤中立. 中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制[J]. 地质学报, 1996(3): 237-243.
TANG Zhong-li. The main mineralization mechanism of magma

sulfide deposits in China[J]. Acta Geologica Sinica, 1996(3): 237-243.

- [2] 唐红松, 王正云. 新疆准北地区晚古生代板块构造及与铜矿的关系[J]. 矿产与地质, 1998(2): 20-24.
TANG Hong-song, WANG Zheng-yun. Late Palaeozoic plate-tectonics and its relationship with copper deposits in northern Junggar, Xinjiang[J]. Mineral Resources and Geology, 1998(2): 20-24.
- [3] 王斌, 涂才能, 肖军. 浅谈喀拉通克铜镍矿的矿山找矿工作[J]. 新疆有色金属, 2005(S2): 13-14.
WANG Bing, TU Cai-neng, XIAO Jun. Preliminary discussion on the prospecting work in Kalatongke Cu-Ni deposit[J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2005(S2): 13-14.
- [4] 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 林文蔚. 新疆北部 Cu-Ni-(PGE)硫化物矿床成矿系列探讨[J]. 矿床地质, 2000(2): 147-155.
WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XUN Zhi-gang, LIN Wen-wei. Cu-Ni-(PGE) sulfide metallogenic series in north Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2000(2): 147-155.
- [5] 邹海洋, 戴塔根, 胡祥昭. 喀拉通克铜镍硫化矿床的形成机制[J]. 矿床地质, 2002(S1): 565-568.
ZOU Hai-yang, DAI Ta-gen, HU Xiang-zhao. Mechanism of Karatungke Cu-Ni Deposit, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2002(S1): 565-568.
- [6] 邹海洋, 戴塔根, 胡祥昭. 喀拉通克铜镍硫化矿地质特征及找矿预测[J]. 地质地球化学, 2001(3): 70-75.
ZOU Hai-yang, DAI Ta-gen, HU Xiang-zhao. Geological characteristics and prognosis of the Karatungke Cu-Ni deposit, Xinjiang[J]. Geology Geochemistry, 2001(3): 70-75.
- [7] LÜ L S, MAO J W, LI H B, PIRAJNO F, ZHANG Z H, ZHOU Z H. Pyrrhotite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of the Hongqiling Ni-Cu sulfide deposits in Northeast China[J]. Ore Geology Reviews, 2011, 43(1): 106-119.
- [8] TANG D M, QIN K Z, SUN H, SU B X, XIAO Q H. The role of crustal contamination in the formation of Ni-Cu sulfide deposits in Eastern Tianshan, Xinjiang, Northwest China: Evidence from trace element geochemistry, Re-Os, Sr-Nd, zircon Hf-O, and sulfur isotopes[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 49(0): 145-160.
- [9] TANG Z L, YAN H Q, JIAO J G, PAN Z X. Regional metallogenic controls of small-intrusion-hosted Ni-Cu (PGE) ore deposits in China[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 92-101.
- [10] SU B X, QIN K Z, TANG D M, SAKI P A, LIU P P, SUN H, XIAO Q H. Late Paleozoic mafic-ultramafic intrusions in southern central Asian orogenic belt (NW China): Insight into magmatic Ni-Cu sulfide mineralization in orogenic setting[J]. Ore Geology Reviews, 2013, 51(0): 57-73.
- [11] TAO Y, LI C S, HU R Z, QI L, QU W J, DU A D. Re-Os isotopic constraints on the genesis of the Limahe Ni-Cu deposit in the Emeishan Large Igneous Province, SW China[J]. Lithos, 2010, 119(1/2): 137-146.
- [12] MAO J W, PIRAJNO F, ZHANG Z H, CHAI F M, WU H, CHEN S P, CHEN L S, YANG J M, ZHANG C Q. A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): Principal

- characteristics and ore-forming processes[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(2/4): 184–203.
- [13] ZHOU M F, MICHAEL L C, YANG Z X, LI J W, SUN M. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt[J]. *Chemical Geology*, 2004, 209(3/4): 233–257.
- [14] SONG X Y, WANG Y S, CHEN L M. Magmatic Ni-Cu-(PGE) deposits in magma plumbing systems: Features, formation and exploration[J]. *Geoscience Frontiers*, 2011, 2(3): 375–384.
- [15] HAN C M, XIAO W J, ZHAO G C, QU W J, DU A D. Re-Os dating of the Kalatongke Cu-Ni deposit, Altay Shan, NW China, and resulting geodynamic implications[J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 32(1/2): 452–468.
- [16] YUAN F, ZHOU T F, ZHANG D Y, JOWITT S M, KEAYS R R, LIU S, FAN Y. Siderophile and chalcophile metal variations in basalts: Implications for the sulfide saturation history and Ni-Cu-PGE mineralization potential of the Tarim continental flood basalt province, Xinjiang Province, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2012, 45(0): 5–15.
- [17] ZHANG Z H, MAO J W, DU A D, PIRAJNO F, WANG Z L, CHAI F M, ZHANG Z C, YANG J M. Re-Os dating of two Cu-Ni sulfide deposits in northern Xinjiang, NW China and its geological significance[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(2/4): 204–217.
- [18] ZHU W G, ZHONG H, LI X H, LIU B G, DENG H L, QIN Y. ^{40}Ar - ^{39}Ar age, geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopes of the Neoproterozoic Lengshuiqing Cu-Ni sulfide-bearing mafic-ultramafic complex, SW China[J]. *Precambrian Research*, 2007, 155(1/2): 98–124.
- [19] 佟铁钢, 胡祥昭, 柳建新. 喀拉通克铜镍矿地球物理特征及成矿预测研究[J]. *西部探矿工程*, 2004(9): 105–106.
- TONG Tie-gang, HU Xiang-zhao, LIU Jian-xin. Study of metallogenic forecast and geophysical characteristics in copper-nickel mine of Kalatongke[J]. *West-china Exploration Engineering*, 2004(9): 105–106.
- [20] 党新生, 何永胜, 张文军. 喀拉通克铜镍矿床地质、地球物理特征及成矿预测研究[J]. *新疆有色金属*, 2004(4): 2–4.
- DANG Xin-sheng, HE Yong-sheng, ZHANG Wen-jun. Study on geological characteristics, geophysical characteristics and prognosis of the Karatungke Cu-Ni deposit[J]. *The Xinjiang Nonferrous Metals*, 2004(4): 2–4.
- [21] 王 斌, 王建中, 王 勇. 新疆喀拉通克九号矿床地质特征与成因研究[J]. *新疆有色金属*, 2011(3): 26–29.
- WANG Bin, WANG Jian-zhong, WANG Yong. Geological characteristics and origin of copper, nickel sulfide ore deposits no. 9 in Kelatongke, Xinjiang[J]. *Xinjiang Nonferrous Metals*, 2011(3): 26–29.
- [22] 冯 骥. 新疆喀拉通克铜镍矿床成矿条件及找矿方向[J]. *西北地质*, 1987(4): 32–39.
- FENG Qi. Metallogenic conditions and prospecting direction of copper, nickel sulfide ore deposits in Kelatongke, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 1987(4): 32–39.
- [23] 陈颂光, 刘峰标. 新疆喀拉通克铜镍矿区地质构造特征[J]. *西北地质*, 1984(3): 33–40.
- CHEN Song-guang, LIU Feng-biao. Characteristics of geological structure of copper, nickel sulfide ore deposits in Kelatongke, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 1984(3): 33–40.
- [24] 龚 英, 王 勇, 王 斌. 喀拉通克铜镍成矿带资源预测状况探讨[J]. *新疆有色金属*, 2005(S2): 32–35.
- GONG Ying, WANG Yong, WANG Bin. Study on the resource prediction in Kelatongke Cu-Ni metallogenic belt[J]. *Xinjiang Nonferrous Metals*, 2005(S2): 32–35.
- [25] 王润民, 王志辉. 新疆喀拉通克一号岩体及铜镍硫化物矿床地质特征[J]. *中国地质科学院院报*, 1993(Z1): 95–102.
- WANG Run-min, WANG Zhi-hui. Geological characteristics of the Cu-Ni sulfide deposit in the No.1 intrusive body at Karatongke, Xinjiang[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1993(Z1): 95–102.
- [26] 李钢柱, 雷玮琰, 张忠伟. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床成岩成矿作用综述[J]. *中国矿业*, 2011(10): 52–56.
- LI Gang-zhu, LEI Wei-yan, ZHANG Zhong-wei. A summary of magma evolution and sulfide mineralization of the Kalatongke Cu-Ni sulfide deposit, Xinjiang, China[J]. *China Mining Magazine*, 2011(10): 52–56.
- [27] 王建中, 钱壮志, 高 萍, 等. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床铂族矿物特征、成因及其形成过程[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2011(S1): 114–125.
- WANG Jian-zhong, QIAN Zhuang-zhi, GAO Ping, et al. Characters, genesis and its forming process of platinum group minerals in the kalatongke Cu-Ni sulfide deposit, Xinjiang, China[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2011(S1): 114–125.
- [28] 赵昌龙. 喀拉通克 1 号铜镍硫化物矿床研究[J]. *新疆地质*, 1991(3): 195–211.
- ZHANG Chang-long. On Karatungke No.1 sulphide deposit[J]. *Xinjiang Geology*, 1991(3): 195–211.
- [29] 黄继钧. 喀拉通克铜镍硫化物矿区一号矿床构造控岩控矿作用分析[J]. *地质与勘探*, 1995(6): 23–30.
- HUANG Ji-jun. Study on the rock formation and ore controlling actions of structures in Karatungke No.1 sulphide deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 1995(6): 23–30.
- [30] 姜常义, 夏明哲, 钱壮志, 等. 新疆喀拉通克镁铁质岩体群的岩石成因研究[J]. *岩石学报*, 2009, 25(4): 749–764.
- JIANG Chang-yi, XIA Ming-zhe, QIAN Zhuang-zhi, et al. Petrogenesis of Kalatongke mafic rock intrusions Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(4): 749–764.
- [31] 孙 涛, 钱壮志, 党新生, 等. 喀拉通克铜镍矿床硫同位素组成特征及其地质意义[J]. *地球科学与环境学报*, 2010(4): 344–349.
- SUN Tao, QIAN Zhuang-zhi, DANG Xin-sheng, et al. Characteristics of Sulfur Isotope in Kalatongke Cu-Ni Deposit and its geological Significance[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2010(4): 344–349.

(编辑 何学锋)