

文章编号: 1004-5589 (2010) 03-0413-06

黑龙江穆棱砍椽沟钼铜矿床地质与地球化学特征

刘莉^{1,2}, 杨言辰¹, 杨兆武³, 韩世炯¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061; 2. 吉林大学 地质博物馆, 长春 130026;
3. 黑龙江省地球物理勘查院, 哈尔滨 150036

摘要: 砍椽沟钼铜矿床位于佳木斯—牡丹江多金属成矿带的南东段, 钼铜矿化产于花岗闪长岩和花岗斑岩岩体中。矿床主量元素分析结果表明, 成矿岩体具高 Sr、Na、K 和低 Y、Mg, 显示出钙碱质岩浆演化特点, 应属 C 型埃达克岩; 微量元素测试结果显示本区花岗质岩石亏损 Nb、Nd 等高场强元素, 富集 Rb、Ba 等大离子亲石元素, 同时表明矿区的花岗质岩石具有埃达克岩属性; 稀土元素组成具有轻微负 Eu 异常的特点, 表明斜长石发生一定程度的分离结晶作用, 或曾受到斜长石分离结晶作用的影响, 且岩浆为地壳来源, 在岩浆岩源区存在着一定数量的石榴石残留。矿床属斑岩型—热液脉型成因, 成矿岩体的形成与太平洋板块俯冲作用关系密切。

关键词: 钼铜矿床; 地质特征; 地球化学特征; 砍椽沟; 穆棱

中图分类号: P618.4; P595 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1004-5589.2010.03.008

Geological and geochemical characteristics of Kanchuangou Mo—Cu deposit in Muling of Heilongjiang

LIU Li^{1,2}, YANG Yan-chen¹, YANG Zhao-wu³, HAN Shi-jiong¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;
2. Museum of Geology, Jilin University, Changchun 130026, China;
3. Geophysical Exploration Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China

Abstract: Kanchuangou Mo—Cu deposit is located in the southeast part of Mudanjiang—Jiamusi polymetallic metallogenic belt, and the mineralization of Cu—Mo formed in granodiorite and granite-porphyry. The research of major elements indicated that ore forming intrusive rock has high Sr, Na, K and low Y, Mg, possessing the characteristics of calc-alkali magma evolution, and belonged to C-type adakites. The test of trace elements showed that the local granite lacked of HFS elements as Nb and Nd, relatively enriched in lithophile element as Rb and Ba, also showed the adakitic attribute of the granite rock in this area. The composition of rare earth elements has slight negative Eu abnormal, showing a certain degree fractional crystallization, or ever affection of the plagioclase fractional crystallization occurred in the plagioclase, and magma was the crust source, and a certain amount of garnet residual existed in the magma source. This deposit is porphyry—hydrothermal vein in type, and its formation closely related to the subduction of the Pacific Plate.

Key words: Mo—Cu deposit; geological characteristics; geochemical characteristics; Kanchuangou; Muling

收稿日期: 2010-07-10; 改回日期: 2010-07-31

基金项目: 中国地质调查局大调查项目 (1212010786005)

通讯作者: 杨言辰 (1965—), 男, 教授, 主要从事矿床学及矿产勘查教学与研究工作. E-mail: yyc@jlu.edu.cn

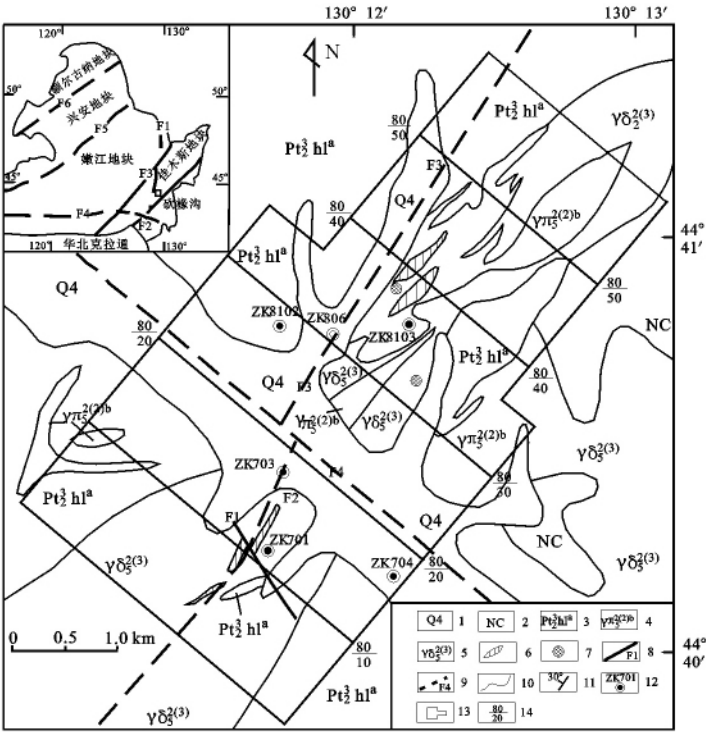
0 引言

穆稜市砍椽沟钼铜矿床位于佳木斯隆起带南缘八面通隆起的穆稜凹陷和伊林凹陷复合带，地处佳木斯—牡丹江多金属成矿带的南东段^[1]。多年来，研究区内已进行过大量工作，探明矿区内存在钼矿体 7 个、矿化体 9 个和铜矿体 1 个，表明该区具有良好的成矿地质条件。对砍椽沟钼铜矿地质特征、成矿地质条件与地球化学特征进一步的分析，目的是在原有矿点检查及矿产普查的基础上，深入研究该矿床的地质地球化学特征，分析成矿地质条件，特别是成矿作用与黑龙江群绿色片岩系及中生代花岗质岩浆岩之间的时空关系和物质成因联系，查明 Mo—Cu 矿体的时间、空间分布规律及矿体的空间组合特征，为正在进行的矿产详查工作提供技术指导。

通过砍椽沟钼铜矿床成矿地质背景、矿床地质特征的研究及矿床地球化学特征及主量元素、微量元素和稀土元素测试资料的分析，探讨了矿床成因，对指导矿床深部及外围预测具有重要的理论及实际意义。

1 成矿地质背景

研究区出露的地层以中元古界黑龙江群下亚群为主，见有新近系船底山玄武岩及第四系砂砾冲积层（图 1）。黑龙江群下亚群在区内广泛分布，由钠长阳起片岩、黑云片岩、钠长片岩、钠长变粒岩、石英片岩、兰闪片岩、钠长角闪片岩及少量大理岩组成，以钠长阳起片岩夹黑云片岩为特征^[2]。新近系船底山玄武岩分布于矿区东部，以伊丁石化发育为特征。



1. 第四系；2. 船底山玄武岩；3. 斜长阳起片岩；4. 花岗斑岩；5. 花岗闪长岩；6. 钼铜矿体；7. 铜矿化点；8. 断层；9. 推测断层；10. 地质界限；11. 地层产状；12. 钻孔及编号；13. 工作区范围；14. 勘探线及测点号

图 1 砍椽沟钼铜矿床矿区地质图
Fig. 1 Geological map on mining area of Kanchuangou Mo—Cu deposit

区内岩浆岩主要是早白垩世花岗质岩石，包括花岗闪长岩和花岗斑岩，呈近南北向带状侵入于黑

龙江群内，局部被玄武岩覆盖，在空间上控制着钼铜矿化的分布。中细粒黑云母花岗闪长岩（YM7、

YM10) 具有不等粒-中细粒半自形结构、块状构造, 主要矿物为斜长石 (50% ~ 60%) + 钾长石 (10% ~ 15%) + 石英 (20% ~ 25%) + 黑云母 (10% ~ 15%) + 普通角闪石, 黑云母含量大于角闪石, 副矿物为磁铁矿、磷灰石及少量的锆石。花岗斑岩 (GDH-1、KCGN) 呈斑状结构, 基质为显微半自形粒状结构-显微他形粒状结构, 有时出现霏细结构和块状构造, 主要成分为斜长石、石英、黑云母及少量钾长石, 副矿物为锆石、磁铁矿和磷灰石; 斑晶主要为石英和斜长石, 呈自形-半自形, 石英自形程度较高, 斜长石斑晶多已蚀变。

2 矿床地质特征

砍椽沟矿区的 Mo、Cu 矿化总体表现为辉钼矿、黄铜矿及少量磁黄铁矿、黄铁矿沿花岗闪长岩裂隙充填或呈稀疏浸染状分布于花岗斑岩中, 细脉状硅化发育。据矿化特征可大致分为 3 种矿化类

型: 细脉浸染型矿化、浸染型矿化和石英脉型矿化, 其中浸染型矿化相对发育, 属于有前景的矿化类型^[2-4], 最具工业价值。

矿体主要赋存于花岗闪长岩及石英脉中, 个别矿体赋存于花岗斑岩中, 矿区共圈定钼矿体 39 个、铜矿体 2 个, 矿化明显受构造-岩浆活动控制。钼铜矿体均呈脉状, 走向 35° ~ 50°, 走向延长为 100 ~ 200 m, 多数矿体延长为 100 m ±。

矿石矿物组成简单, 主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和辉钼矿, 其次是方铅矿和闪锌矿, 地表氧化带中见有孔雀石及铜兰, 南部石英脉矿体中发育强烈的辉钼矿化。矿石呈自形-半自形结构、交代结构和稀疏浸染状构造、细脉状及脉状构造。在辉钼矿中有黄铜矿呈浸染状、微细脉状分布于辉钼矿的解理缝隙中, 主要矿石矿物为辉钼矿和黄铜矿。矿石中主要成矿元素为 Mo, 含量为 0.015% ~ 0.48%, 伴生 Cu、Ag、Au (表 1)。

表 1 矿石成矿元素含量特征
Table 1 Characteristics of ore-forming element contents in ore

样品号	地点	Mo	Cu	Ag	Au	Pb	Zn	W	Co	Ni	Sb	As	Hg
G1	斜井	3990.7	161	2042	11.5	35.7	24	5.2	1.76	3.9	0.21	4.38	6.7
G3	斜井	152.2	231	1257	13.3	16.1	39	1.7	3.71	5.3	0.13	2.34	22.7
G6	斜井	4858.3	148	1552	10.5	9	25	3	3.04	4.8	1.36	4.38	9.5
G9	斜井	3513.1	530	3769	397.6	19.9	39	1.8	3.38	5.4	0.37	2.54	6.2
CM3	穿脉	187	35	1247	7.8	17.3	22	1.9	5	5.3	0.47	3.15	7.3
YM18	沿脉	2370.7	290	2680	96.6	32.7	58	1.5	3.8	5.4	0.38	2.14	6.2
YM2	沿脉	251.3	110	342	97.4	8.5	32	7.3	2.74	5.4	10.14	2.34	7.8
CSC1	采石场	2428.3	1758	6212	34.2	45.9	27	1.4	0.97	4.1	0.73	3.56	15.5
CSC1-1	采石场	2646.7	1799	6612	39.6	47.5	29	1.2	1.03	4	0.81	5.88	16.6

注: Au、Ag、Hg 为 10⁻⁹, 其他为 10⁻⁶; 数据由廊坊物化探研究所测试中心分析, 2009。

3 矿床地球化学特征

在砍椽沟矿区成矿岩体 (花岗闪长岩、花岗斑岩) 中, 采集未蚀变和矿化的岩石进行主量元素、稀土元素和微量元素元素分析。主量元素采用 X-射线荧光光谱 (XRF)、容量法 (VOL) 及重量法 (GR) 分析, 检出限除 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、CO₂ < 0.1% 外, 其余均 < 0.05%; 稀土元素采用等离子体质谱法 (ICP-MS), 检出限均 < 0.1

× 10⁻⁶; 微量元素 Au、Ag 采用无火焰原子吸收光谱法 (AAN), 检出限 < 0.2 × 10⁻⁹ 和 20 × 10⁻⁹; As、Hg、Sb 采用原子荧光光谱法 (AFS) 分析, 检出限分别 < 1 × 10⁻⁶、3 × 10⁻⁶、0.05 × 10⁻⁶; 其余元素采用等离子体质谱法 (ICP-MS), 检出限均 < 2 × 10⁻⁶。

3.1 岩石化学特征

成矿岩体的主量元素含量及相关参数见表 2。花岗质岩石中 SiO₂ 含量变化为 67.38% ~ 71.85%,

平均 72.45%； $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 6.71% ~ 8.72%，平均 7.72%； $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$ 比值较高，为 1.11 ~ 2.17，平均 1.47，显示出富钾、钠特征。 Al_2O_3 的含量较高，为 13.31% ~ 15.74%，平均为 14.48%； $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}) = 1.30 - 1.65$ ； $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ 值集中于 0.14 ~ 0.31。 MgO 的含量偏低，为 0.06% ~ 0.07%， $\text{Mg}^\#$ 为 0.22 ~ 0.28。 $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$ 为 0.46 ~ 0.9，总体 > 0.5 。含矿的花岗闪长岩体具有埃达克岩主量元素组成特征^[5-7]。

表 2 成矿岩体主量元素含量特征

Table 2 Characteristics of major element contents in ore-forming rocks /%

样品号	YM7	YM10	GDH-1	KCGN
样品名称	花岗闪长岩	花岗闪长岩	花岗斑岩	花岗斑岩
SiO_2	67.38	69.4	68.87	71.85
Al_2O_3	15.74	15.42	13.45	13.31
Fe_2O_3	0.49	0.28	0.56	0.31
FeO	2.24	1.97	1.82	1.83
MgO	1.35	0.82	0.88	0.76
CaO	2.29	1.92	1.46	1.46
Na_2O	5.03	4.25	3.72	5.03
K_2O	2.32	3.84	2.99	3.73
MnO	0.06	0.07	0.07	0.07
P_2O_5	0.18	0.12	0.14	0.12
TiO_2	0.43	0.34	0.31	0.31
LOI	1.89	1.74	0.85	0.92
Total	99.4	100.16	95.11	99.68
TFe_2O_3	2.98	2.47	2.58	2.33

在 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解（图 2）中，样品都落入亚碱性岩系列区。岩石具有富碱、贫 Fe、Mg 特征，具备钙碱质岩浆演化的特点，且显示出明显的由富 CaO 向贫 CaO、富 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的演化趋势，反映出岩浆分异演化由早期到晚期逐渐由富钠向富钾演化的总趋势。

3.2 微量元素特征

从成矿岩体的微量元素含量（表 3）可以看出，砍椽沟矿区花岗质岩石中大离子亲石元素 Rb 的含量为 $81 \times 10^{-6} \sim 101 \times 10^{-6}$ 、Sr 为 $343 \times 10^{-6} \sim 494 \times 10^{-6}$ 、Ba 为 $666 \times 10^{-6} \sim 903 \times 10^{-6}$ 。Rb/Ba 比值较高，Nb 含量较低，为 $9.8 \times 10^{-6} \sim 67.5 \times 10^{-6}$ ，Nb/Ta 比值为 7.64 ~ 15.23。

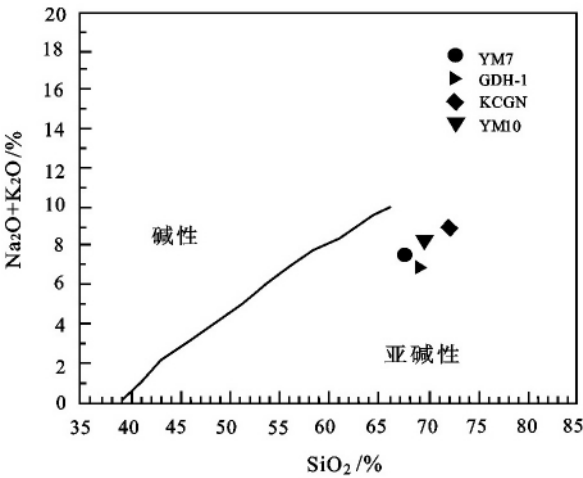


图 2 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解

Fig. 2 Diagram of $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$

表 3 成矿岩体微量元素含量特征

Table 3 Characteristics of trace element contents in ore-forming rocks / 10^{-6}

样品号	YM7	YM10	GDH-1	KCGN
样品名称	花岗闪长岩	花岗闪长岩	花岗斑岩	花岗斑岩
Au	1.2	2	6.7	0.8
Ag	300	197	1007	273
Cu	277	156	699	52
Pb	8.6	14.5	11.3	18.9
Zn	44	37	48	44
Mo	3.6	2.8	1.3	1.4
W	4	2.5	1.7	0.5
Co	6.7	4.2	4.8	4.9
Ni	9.9	5	6.9	5.2
Sb	0.34	0.25	0.14	0.11
Cr	19.1	10.5	15.8	9.7
Ga	17.8	17.1	16.3	17.1
Hf	4.08	4.45	4.24	3.96
Nb	8	9.4	11.9	11.3
Rb	81	98	85	101
Sr	494	415	353	343
Ba	840	903	666	729
Ta	0.79	1.2	1.35	1.1
Th	4	9.1	9.3	10.7
U	0.8	2.6	1.3	2.4
V	41.6	28.3	32.7	26.5
Zr	171	109	104	105

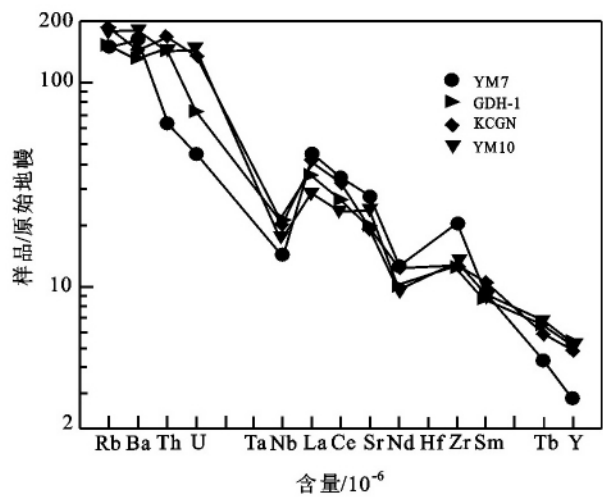


图3 微量元素蛛网图
Fig.3 Spider diagram of trace elements

从微量元素蛛网图（图3）可以看出，本区花岗质岩石贫 Nb、Nd 等高场强元素，相对富集 Rb、Ba 等大离子亲石元素。Ta 和 Nb 具有非常相似的地球化学性质，其亏损反映岩浆为地壳来源，高 Sr 和低 Y、Yb 特点表明岩浆岩源区存在一定数量石榴石的残留^[8]，同时显示砍椽沟矿区的花岗质岩石具有埃达克岩属性。

3.3 稀土元素特征

从砍椽沟矿区岩浆岩稀土元素含量（表4）可以看出， ΣREE 为 $83.5 \times 10^{-6} \sim 112.62 \times 10^{-6}$ ， ΣLREE 为 $71.67 \times 10^{-6} \sim 104.98 \times 10^{-6}$ ， ΣHREE 为 $6.06 \times 10^{-6} \sim 13.75 \times 10^{-6}$ ， La_N/Yb_N 比值为 $5.58 \sim 19.69$ ，轻重稀土分馏明显；花岗闪长岩（YM7）的 La_N/Yb_N 为 19.69，反映其轻重稀土元素的分馏较高。从稀土元素球粒陨石标准化分配模式图（图4）可以看出，砍椽沟矿区花岗质岩石的稀土分配曲线总体右倾，轻稀土富集且分馏明显，重稀土分馏不明显。花岗闪长岩和花岗斑岩具有相似的稀土分配模式，存在轻微负 Eu 异常（ δEu 为 0.61~0.65），花岗闪长岩（YM7）的稀土分配曲线比其他样品更倾斜，且负 Eu 异常（ $\delta \text{Eu} = 0.92$ ）不明显。总体上看，矿区花岗质岩石重稀土元素（Ho—Lu）曲线分布较平坦，具有轻微负 Eu 异常特点，表明斜长石发生一定程度的分离结晶作用，残留物中可能有少量斜长石（±角闪石）存在，或曾受到斜长石分离结晶作用的影响。

表4 成矿岩体稀土元素含量特征
Table 4 Characteristics of REE elements in ore-forming rocks

样品号	YM7	YM10	GDH-1	KCGN
样品名称	花岗闪长岩	花岗闪长岩	花岗斑岩	花岗斑岩
Ce	49.5	33	38.5	46.5
Dy	1.98	3.03	3.16	2.86
Er	1.02	1.85	1.87	1.63
Eu	0.93	0.68	0.65	0.69
Gd	2.73	3.13	3.05	3.21
HO	0.35	0.61	0.61	0.54
La	24.5	15.8	19.5	22.5
Lu	0.15	0.31	0.3	0.26
Nd	20.6	15.1	16.1	19.7
Pr	6.02	3.98	4.5	5.48
Sm	3.3	3.15	3.03	3.62
Tb	0.38	0.58	0.57	0.51
Tm	0.14	0.29	0.32	0.24
Y	9.6	17.6	18	16.7
Yb	0.89	2.03	1.85	1.64

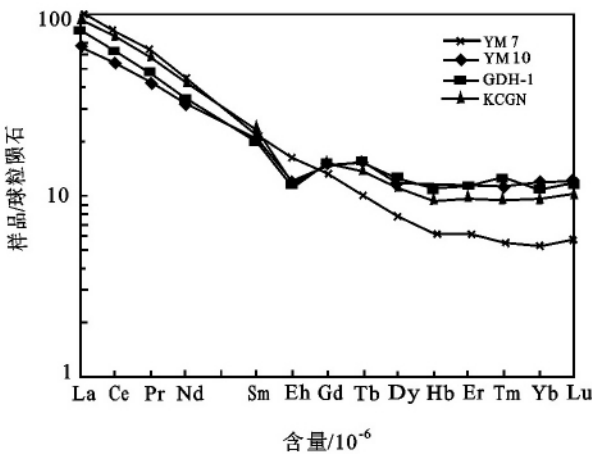


图4 球粒陨石标准化稀土元素配分模式图
Fig.4 Distributed pattern diagram of chondrite-normalized REE

4 矿床成因

砍椽沟钼铜矿床矿体主要赋存于燕山期黑云母花岗闪长岩及花岗闪长斑岩中，含矿岩石为粗粒、不等粒花岗结构、局部似斑状结构。钼、铜矿化主

要赋存于黑云母花岗闪长岩体中的含矿绢云母—硅化(石英)带、石英网脉带和石英大脉带中,受断裂构造及黑云母花岗闪长岩内部裂隙发育程度控制,局部黑云母花岗岩体全岩矿化。矿体与围岩界线不清,主要以样品分析结果圈定,矿化蚀变以绢云母化、硅化为主,未见萤石化,且黑云母花岗闪长岩中硅化的程度越高,绢云母化及石英细脉越发育,相应的矿化程度就越强,钼、铜品位越高。矿石类型包括浸染型、细脉—浸染型和大脉型。由此可见,砍椽沟钼铜矿床不同于典型的斑岩型矿床,应该是斑岩型向热液脉型过渡的钼铜矿床。

5 结论

(1) 岩石的矿物组合及岩石化学特征显示其为高钾钙碱性甚至钾玄岩系列的I型花岗岩,具有造山后岩浆作用的主要岩石学特征,形成于造山后伸展作用。

(2) 花岗质岩石具有埃达克岩的属性,属于C型埃达克岩的高钾钙碱性埃达克岩。高K特点可能是由源区成分的差异、富钾幔源熔体的大量参与和壳源物质混染造成。高Sr、低Y、Yb和Ta、Nb亏损说明岩浆来源于地壳,且在岩浆岩源区存在着一定数量的石榴石残留。

(3) 矿区花岗闪长岩岩浆来源于被小比例软流圈熔体交代富集的底侵增厚的下地壳,斜长石的分离结晶作用造成含矿岩浆的负Eu异常,其岩浆事件与地幔柱上涌导致的区域岩石圈减薄、燕山晚期岩浆大爆发和深部构造体制的转换密切相关。

(4) 根据含矿岩浆岩体的地球化学特征,结合矿床地质特征认为砍椽沟钼铜矿床矿体的形成受花岗闪长岩、花岗斑岩和北北东向断裂构造控制,属斑岩型—热液脉型成因。

参考文献:

- [1] 谭成印. 黑龙江省主要金属矿产构造—成矿系统基本特征: 博士学位论文 [D]. 北京: 中国地质大学, 2009.
- TAN Cheng-yin. General characteristics of the tectonic-metallogenic systems of main ore deposits in Heilongjiang Province, Northeast China: PhD dissertation [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2009.
- [2] 许亚明, 廖桂香, 廖莉萍. 黔西北地区多元素地球化学特征与找矿标志 [J]. 吉林大学学报: 地球科学

版, 2009, 39 (5): 818-822.

- XU Ya-ming, LIAO Gui-xiang, LIAO Li-ping. Geological and geochemical characteristics of multi-elements and prospecting criteria in northwestern Guizhou Province [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39 (5): 818-822.
- [3] 任云生, 牛军平, 雷恩, 等. 吉林四平三家子钼矿床地质与地球化学特征及成因 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40 (2): 314-320.
- REN Yun-sheng, NIU Jun-ping, LEI En, et al. Geological & geochemical characteristics and metallogenesis of Sanjiazhi scheelite deposit in Siping area, Jilin Province [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40 (2): 314-320.
- [4] 王希今, 谭成印, 张东才, 等. 黑龙江省有色、贵金属矿产区域成矿特征 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26 (4): 376-381.
- WANG Xi-jin, TAN Cheng-yin, ZHANG Dong-cai, et al. Study on the regional metallogeny of base and precious metal resources in Heilongjiang Province, China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2007, 26 (4): 376-381.
- [5] 翟明国. 埃达克岩和大陆下地壳重熔的花岗岩类 [J]. 岩石学报, 2004, 20 (2): 193, 194.
- ZHAI Ming-guo. Adakite and related from partial melting of continental lower crust [J]. Acta Petrologica Sinica [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20 (2): 193, 194.
- [6] 王元龙, 张旗, 王强, 等. 埃达克质岩与Cu—Au成矿作用关系的初步探讨 [J]. 岩石学报, 2003, 19 (3): 543-550.
- WANG Yuan-long, ZHANG Qi, WANG Qiang, et al. Study on adakitic rock and Cu—Au mineralization [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19 (3): 543-550.
- [7] 张炯飞, 李之彤, 金成洙. 中国东北部地区埃达克岩及其成矿意义 [J]. 岩石学报, 2004, 20 (2): 361-368.
- ZHANG Jiong-fei, LI Zhi-tong, JIN Cheng-zhu. Adakites in northeastern China and their mineralized implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20 (2): 361-368.
- [8] 葛文春, 吴福元, 周长勇. 兴蒙造山带东段斑岩型Cu, Mo矿床成矿时代及其地球动力学意义 [J]. 科学通报, 2007, 52 (20): 2407-2417.
- GE Wen-chun, WU Fu-yuan, ZHOU Chang-yong. Metallogenic epoch and its geodynamic significance of the porphyry-type Cu—Mo deposit in the east part of the Xing'an—Mongolia orogenic belt [J]. Science Bulletin, 2007, 52 (20): 2407-2417.