

# 新疆塔什库尔干地区莫喀尔磁铁矿床 地球化学特征及成因探讨

张强,冯昌荣,谢月桥,王海军,郝延海

(新疆地矿局第二地质大队,新疆喀什 844002)

**摘要:**莫喀尔磁铁矿床位于新疆塔什库尔干县马尔洋乡,目前,矿区内共发现 11 条磁铁矿带(长 940~3 800 m,厚 2~150 m)及 4 条磁铁矿化带(长 150~240 m,厚 2~12 m);矿体均呈透镜状、层状产于元古宙布伦阔勒岩群中,矿体围岩为斜长角闪岩、黑云母斜长片麻岩、黑云石英片岩,矿体顶、底板岩性与矿体夹石一致,矿体与围岩为渐变接触关系。莫喀尔矿区铁矿石稀土元素总体上呈轻稀土富集的右倾型,具有弱的 Ce 正异常,富集 U、La、Pb、Pr、Sm、Nd,亏损 Ta、Sr、Ti、Zr、Hf;磁铁矿 TFeO 含量为 99.08%~99.64%,平均为 99.35%。赋矿围岩及矿石、磁铁矿地球化学特征显示该矿床具有沉积变质型铁矿的特征,同时也显示了矿床遭受了后期的热液改造,且在成矿过程中可能有相当比例的陆源碎屑物质混入。

**关键词:**磁铁矿床成因;地球化学特征;布伦阔勒岩群;塔什库尔干地区;新疆

中图分类号:P611

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2019)04-0137-15

## Geochemical Characteristics and Genetic Study of Mokaer Magnetite Deposits in the Taxkorgan Area, Xinjiang

ZHANG Qiang, FENG Changrong, XIE Yueqiao, WANG Haijun, HAO Yanhai

(No. 2 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration, Kashi 844002, Xinjiang, China)

**Abstract:** Mokaer magnetite deposit is located in Maeryang Township, Taxkorgan County, Xinjiang. There are 11 magnetite belts (940~3 800m long and 2~150m thick) and 4 magnetite mineralization belts (150~240m long and 2~12m thick) have been found in the deposit. The ore bodies occur in the Proterozoic Bulunkuole Group, and the ore bodies are in gradual contact with the surrounding rocks. The ore bodies are mostly controlled by plagioclase amphibolite, biotite plagioclase gneiss and biotite quartz schist. The rare earth elements in ores in this deposit are generally of right-leaning type and enriched with light rare earth elements, with weak positive Ce anomalies, enriched with U, La, Pb, Pr, Sm, Nd, and depleted with Ta, Sr, Ti, Zr and Hf. The Fe content of magnetite is 99.08% to 99.64%, with an average of 99.35%. Geochemical characteristics of wall rocks, ores and magnetite show that the deposit has the characteristics of sedimentary metamorphic iron ores, and that the deposit has been subjected to later hydrothermal reformation and mixed with a considerable proportion of terrigenous clastic materials.

**Keywords:** Genetic of magnetite deposit; Geochemical characteristics; Bulunkuole group; Taxkorgan area; Xinjiang

收稿日期:2019-08-10;修回日期:2019-09-01

基金项目:中国地质调查局项目(DD20160004、DD20160346、DD20190143)

作者简介:张强(1989-),男,工程师,主要从事矿产勘查相关工作。E-mail:695950774@qq.com

塔什库尔干地区找矿勘探工作始于20世纪50年代,相继发现并评价了赞坎、老井、叶里克、塔辖尔、莫喀尔等一批大中型铁矿,但由于区内自然环境较为恶劣,交通条件较差,找矿勘探工作程度依然较低。随着新矿床的发现及研究工作的深入,对区域上磁铁矿床成因类型的认识也有了较大的变化,2003年新疆地矿局第二地质大队发现了赞坎铁矿床并初步认为其属于矽卡岩型;而后,河南省地质调查院(2003~2004年)在赞坎铁矿的北西部发现了老井铁矿,并认为该矿床属于沉积变质型。随着新矿床及新矿体的不断发现,越来越多的学者逐步认识到区内矿床成因较为复杂,多数矿体在成矿后可能经历了较复杂的后期改造作用,如区域变质作用、接触热变质作用以及后期构造的改造(陈登辉等,2013;刘品德,2014;钱兵等,2014;杨国林等,2015;乔耿彪等,2015;张强,2016;丁明朋等,2018;陈俊魁,2018;李智泉等,2018)。

莫喀尔铁矿的研究开始于2012年。2012~2013年,新疆地质矿产勘查开发局对莫喀尔铁矿Ⅳ、Ⅴ号矿体进行了勘查评价,共求得332+333铁矿石资源量2 837.46万t;2015~2016年,新疆地矿局第二地质大队承担中国地质调查局矿产资源评价专项项目“新疆塔什库尔干县莫喀尔铁矿调查”,进一步查明了该矿床矿体分布特征及资源量。张强(2016)对莫喀尔矿床地质特征及找矿方向进行了较为详细的研究,其认为该矿床的成矿类型主要属于BIF型,在莫喀尔—赞坎一带经历岩浆热液改造,致使局部形成复合型铁矿和局部富矿体,并在前人勘查成果的基础上对下一步找矿方向进行了探讨。笔者以塔什库尔干县莫喀尔磁铁矿床为主要研究对象,在详细的野外工作的基础上,通过室内镜下观察及岩石地球化学特征研究,对莫喀尔磁铁矿床成因进行了探讨,以期为后续的找矿及研究工作提供参考。

## 1 区域地质概况

研究区大地构造位置处于西昆仑和喀喇昆仑两大构造单元的结合部位,具体处于甜水海北羌塘地块群中的塔什库尔干陆块(陈登辉等,2013)(图1a)。区内以康西瓦断裂为界,断裂东侧为秦祁昆地层区,西侧为羌北—昌都—思茅地层区,后者又可以塔阿西—色克布拉克断裂为界,分成东侧的塔什库尔干

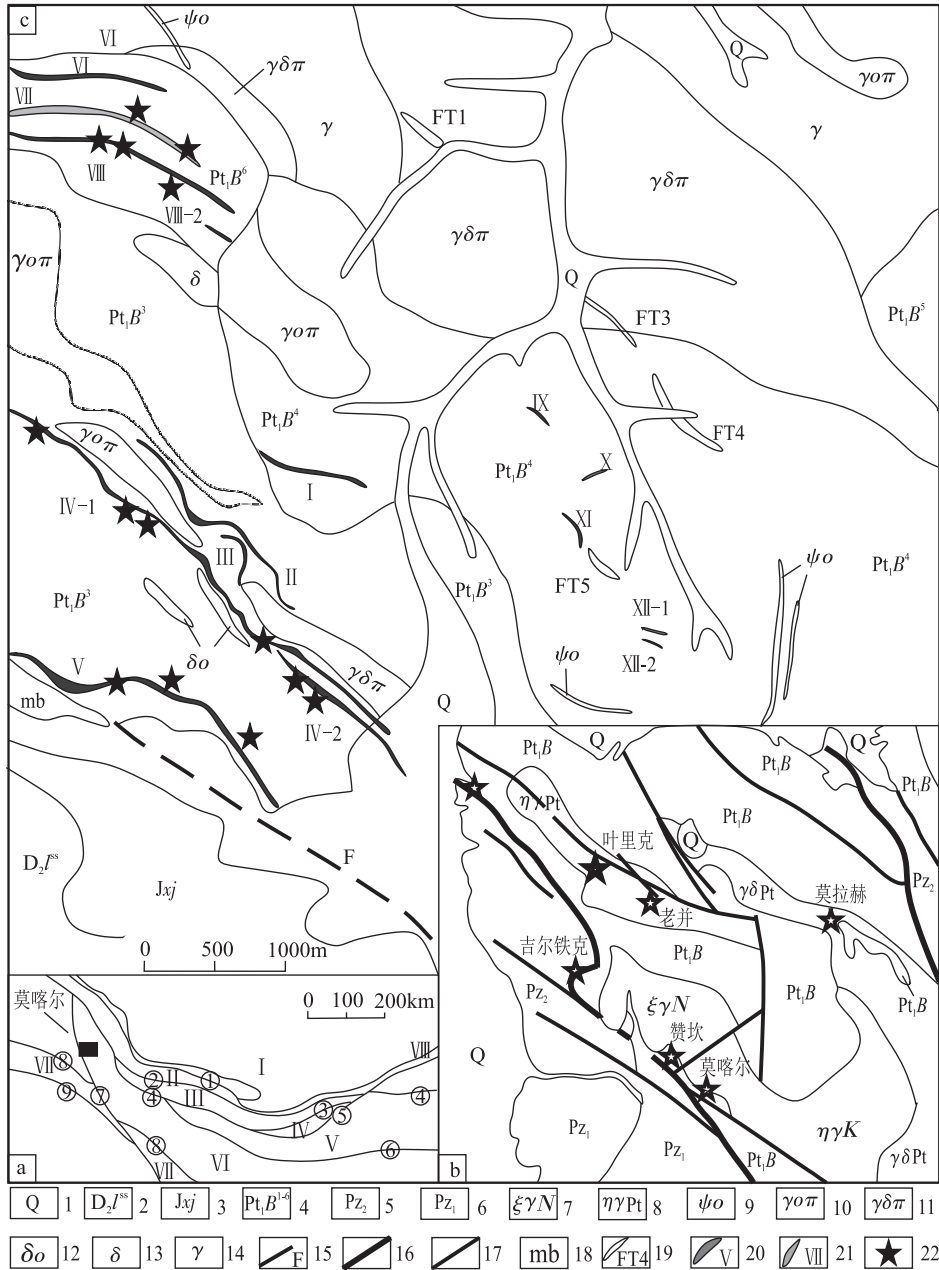
小区及西侧的明铁盖小区,研究区即位于东侧的塔什库尔干小区中并靠近明铁盖小区一侧(河南省地质调查院,2009)。区域上出露的地层主要为元古宙布伦阔勒群( $Pt_1B$ )、蓟县系上统、中泥盆统,其中布伦阔勒群( $Pt_1B$ )是区域上主要的含矿地层,地层呈北西向带状展布于塔什库尔干陆块中部,两侧与早古生代地层为断层接触。区内岩浆活动强烈,经历了加里东期、华力西期、燕山期、喜山期等多期次的岩浆活动,岩性主要为基性—超基性侵入岩和中酸性岩浆岩等。研究区变质作用较强,正是由于经历了漫长的地质构造演化史和复杂的变质变形过程,造就了区内独特的铁矿成矿地质特征。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿区地质

矿区内出露地层主要有古元古界布伦阔勒群( $Pt_1B$ )、蓟县系上统吉尔铁克组( $J_{xj}$ )、中泥盆统落石沟组( $D_2^{fss}$ )石英砂岩、钙质砂岩地层和第四系(Q)(图1c)。其中,布伦阔勒群( $Pt_1B$ )在矿区中部大面积出露,是矿区内重要的含矿地层,地层整体呈北西—南东向带状展布,倾向北东,倾角为 $25^\circ\sim 75^\circ$ 。矿区内该地层可划分为6个岩性段,各岩性段均为整合接触。其中,第三岩性段( $Pt_1B^3$ )是区内最主要也是最大的含矿地层单元,主要岩性为斜长角闪片岩,局部夹黑云斜长片麻岩及黑云石英片岩和石英片岩,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ号矿体即产于该岩性段中;第四岩性段( $Pt_1B^4$ )是矿区内另一个主要含矿地层单元,岩性为角闪片麻岩夹角闪岩、石英岩及石英片岩,Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ、Ⅻ号矿化体即产于其中。此外,第六岩性段( $Pt_1B^6$ )也是矿区主要的含矿地层单元之一,岩性为黑云石英片岩、黑云斜长片岩,Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ号矿(化)体产于其中。

矿区内岩浆岩较为发育,出露面积较大,主要为加里东早期及燕山期中酸性侵入岩;其中,加里东期主要为花岗斑岩、花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩3种类型,燕山期的侵入岩主要为闪长岩、花岗岩和石英闪长岩,以花岗岩的分布面积最大,其他均以小的岩枝和岩脉状态产出。矿区内发育十分强烈的变质作用,主要为是区域变质作用,叠加接触交代变质及动力变质作用,不同的变质作用促进形成不同类型的岩石,同时对矿体造成不同程度的影响。矿区内构造较为简单,其中,具规模的断裂构造为F1断层,发



1. 第四系;2. 中泥盆统落石沟组:石英砂岩、钙质砂岩;3. 蓟县系上统吉尔铁克组;4. 布伦勒勒群第一至六岩性段;5. 晚古生代地层;6. 早古生代地层;7. 正长花岗岩;8. 元古宙细粒二长花岗岩;9. 角闪岩;10. 斜长花岗斑岩;11. 花岗闪长斑岩;12. 石英闪长岩;13. 闪长岩;14. 花岗岩;15. 性质不明断层;16. 区域性断裂;17. 一般性断裂;18. 大理岩;19. 蚀变带位置及编号;20. 磁铁矿体位置及编号;21. 矿化体位置及编号;22. 采样位置;①库尔良-柯岗断裂带;②库地-其漫于特结合带;③昆中断裂带;④苏巴什-康西瓦-瓦恰断裂带;⑤阿尔金断裂带;⑥郭扎错-西金乌兰湖结合带;⑦喀喇昆仑断裂;⑧龙木错-双湖结合带;⑨雅鲁藏布-印度河结合带;I. 塔里木地块;II. 西昆北地块;III. 西昆中地块;IV. 南昆仑晚古生代残弧带;V. 巴颜喀拉地块;VI. 甜水海北羌塘微地块群;VII. 喀喇昆仑南羌塘地块;VIII. 阿尔金造山带

图 1 莫喀尔矿床大地构造位置及矿区地质简图(据陈登辉等,2013;丁明鹏等,2018;略修改)

Fig. 1 Tectonic position and sketch geological map of Mokaer deposit

育于矿区南西角,在矿区内延伸约 4 km,断层走向为北西—南东,由于覆盖层厚度较大,断层的性质不明;该断层对矿区内铁矿体的分布及主要地层的空

间展布形态具有一定的影响。此外,矿区位于白尔力克紧闭褶皱的南西翼,局部揉皱发育强烈,变形强烈地段亦是矿体厚度较大处。

## 2.2 矿体特征

目前,共发现 11 条磁铁矿带及 4 条磁铁矿化带,磁铁矿带长 940~3 800 m,厚 2~150 m,磁铁矿化带宽 150~240 m,厚 2~12 m;矿体与围岩为渐变接触关系,矿体呈透镜状、层状产出。矿体产出多受斜长角闪片岩、黑云斜长片麻岩、黑云石英片岩控制,矿体顶、底板岩性与矿体夹石一致。

在目前发现的矿带中,IV 号矿带为矿区内最主要的磁铁矿带,主要分布在矿区的南侧,走向近北西—南东,倾向北北东,倾角为 20°~70°,目前,控制长度约 4 km,宽 20~150 m,呈顺层状产于布伦阔勒岩群第三岩性段斜长角闪片岩中,在地表断续出露;该矿带可分为 IV-1 和 IV-2 号 2 条矿体。

IV-1 号矿体为矿区内规模最大的一条矿体,地表断续出露长约 3 560 m,宽 20~200 m,呈层状产出,倾向北东,倾角为 25°~67°;该矿体沿北西向延伸进入赞坎矿区,南东端被第四系冰川所覆盖。矿体总厚度变化相对较小,平均厚度约 9.55 m,向西部及深部有变薄的趋势,矿体 TFe 平均品位为 27.95%。

IV-2 号矿体规模亦较大,矿体平均厚度 10.21 m,矿体走向呈波状变形特征,总体走向为 80°~130°,倾向北东,倾角约 33°~68°,矿体沿走向产状变化大,自西向东,矿体明显向南东弯曲,在平面上呈弧形;矿体 TFe 平均品位为 25.22%。

## 2.3 矿石特征

矿区内矿石的矿物组成较为复杂,金属矿物主要有磁铁矿、黄铁矿、白铁矿、赤铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、褐铁矿及微量的黄铜矿等,非金属矿物主要有石英、角闪石、斜长石、方解石、石膏及磷灰石等。矿石矿物较为单一,主要为磁铁矿,分布广泛,但磁铁矿含量超过 85% 的矿石较少,矿石中其他有用矿物含量相对较低。

矿石主要具有团粒-团块状、条带状、致密状、浸染状、星散状等构造(图 2);半自形粒状结构、他形粒状结构、包含结构、交代残余结构等(图 2);磁铁矿主要呈半自形-他形粒状结构,自形晶较少,部分他形粒状磁铁矿呈多角状或拉长状,且由于构造及变质作用的影响,部分拉长状磁铁矿定向分布,是变质重结晶作用产物。显微镜下观察发现磁铁矿嵌布方式在不同类型的矿石中存在明显差异,在中-低品位的铁矿石中(星散、稀疏和中等浸染状)多呈独立的单体或聚粒状分布在脉石矿物粒间,而在稠密浸染状和块状矿石中则以连生晶为主,多呈聚粒状集

合体分布,单晶体产出者少。

矿石中常见黄铁矿产出,具半自形-他形粒状结构,分布不均匀,多呈细脉状产出;通过显微镜下对矿石光片观察发现黄铁矿中有交代残余的磁铁矿,且常见黄铁矿呈港湾状包裹磁铁矿(图 2d),说明黄铁矿生成时间晚于磁铁矿,而且可能存在 2 期黄铁矿,早期黄铁矿晶体形态多为他形粒状结构,而晚期黄铁矿晶体形态相对较好,多呈半自形粒状结构。局部可见白铁矿发育,含量一般在 1% 左右,呈星散状分布,具不规则粒状、环带状结构;此外,矿石中可见少量黄铜矿发育,含量很低,呈他形粒状结构,常因次生氧化作用生成铜蓝。

## 3 矿床地球化学特征

经详细的野外调查工作,笔者分别从钻孔及探槽工程中针对性地采集了岩矿样品进行主量、微量及稀土元素分析,包含赋矿围岩 7 件、矿石 7 件,矿石样品来自 V、VIII、IV 矿带;采用 X-荧光光谱仪和等离子体质谱仪 ICP-MS 岩矿石其主量、微量、稀土元素含量进行了测定;此外,还对磁铁矿进行了电子探针测试分析。

### 3.1 围岩地球化学特征

莫喀尔铁矿床的主要赋矿围岩是黑云石英片岩和斜长角闪片岩,矿体与围岩具有渐变过渡的特征。因此,通过研究矿石及围岩的岩石地球化学特征对揭示矿床成因具有重要的意义。

#### 3.1.1 黑云母石英片岩地球化学特征

主量元素测试数据(表 1)显示,莫喀尔矿床赋矿围岩黑云石英片岩具有富硅铝、贫锰的特点,其 SiO<sub>2</sub> 平均含量为 65.27%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 平均含量为 14.00%。岩石中 TiO<sub>2</sub>、TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MnO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 与 SiO<sub>2</sub> 呈负相关, CaO 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 SiO<sub>2</sub> 呈正相关, MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 等与 SiO<sub>2</sub> 关系不明显。各主量元素差异较小,除了铁和硅含量差异较大外,其他组分的含量较为相似。

岩石微量元素测试结果(表 2)及蛛网图显示(图 3a),该矿区赋矿围岩黑云石英片岩微量元素具有富集大离子亲石元素 Rb、K 和高场强元素 Zr、Pb 而亏损高场强元素 Ta、Nb、Ti、Th、U 的特征;此外,围岩中的 Co、Ni 元素含量也较高, Sr/Ba 值为 0.25~0.32, 平均为 0.29; Ni/Co 值为 1.71~2.24, 平均为 1.92; Th/U 值为 3.41~6.52, 平均为 5.11。



a. 条带状磁铁矿石,夹黄铁矿脉;b. 条带状磁铁矿石;c. 稠密浸染状磁铁矿石;d. 包含结构:黄铁矿(Py)中包含黄铜矿(Ccp)、磁铁矿(Mt);e. 交代结构:铜蓝(Cv)交代黄铜矿(Ccp);f. 半自形粒状结构磁铁矿(Mt)

图 2 磁铁矿石手标本及镜下显微照片

Fig. 2 Specimen of magnetite ores and the micrographs

表 1 莫喀尔矿床岩矿主量元素分析数据表(%)

Tab. 1 Major element analysis data(%)for rocks and ore from Mokaer deposit

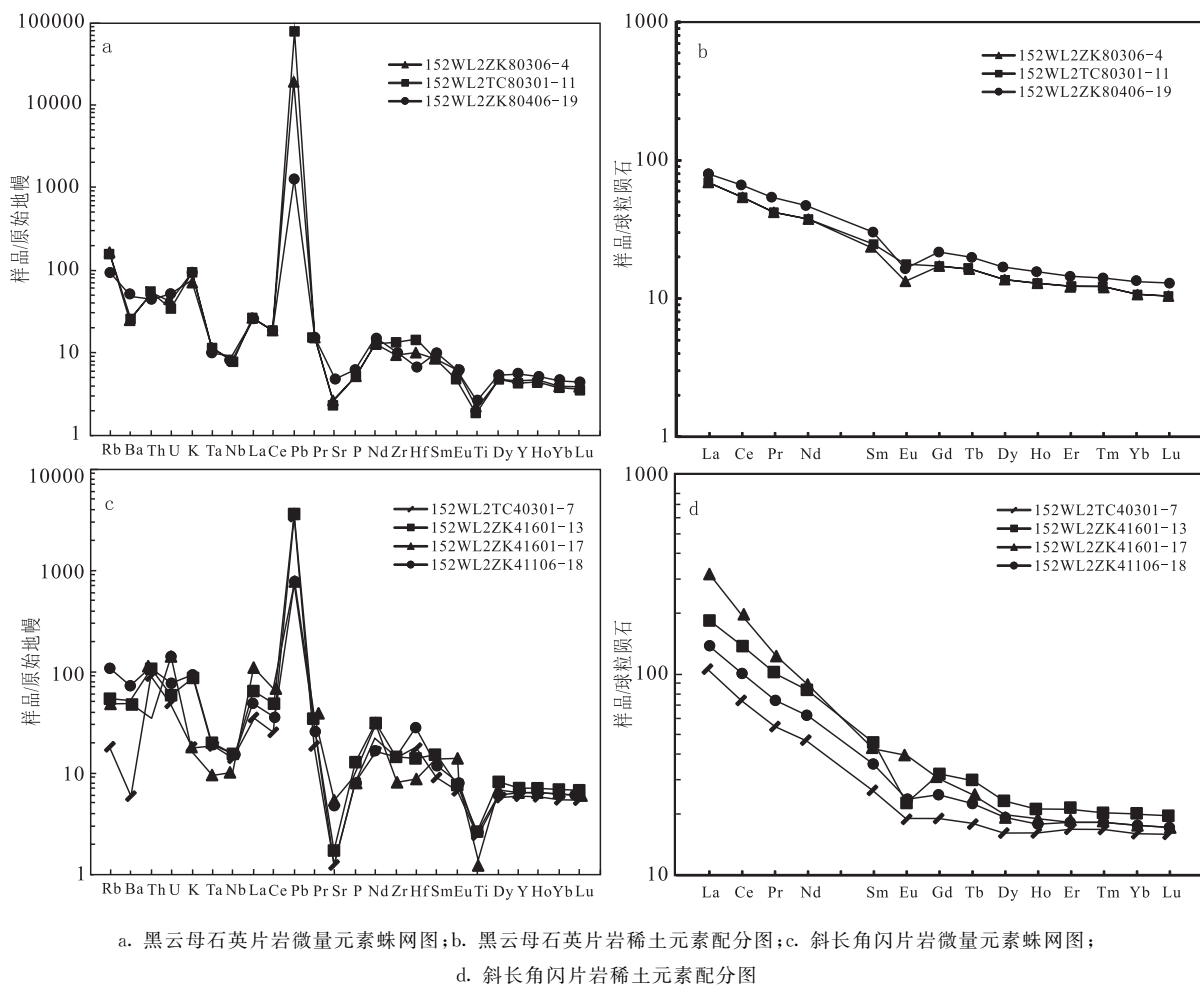
样品位置	样品编号	岩性及矿体	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	LOI
围岩	152WL2ZK80306-4	黑云母石英片岩	66.46	0.41	14.5	9.8	0.11	1.59	3	3.05	3	0.11	0.25	1.08
	152WL2TC80301-11	黑云母石英片岩	66.65	0.36	14.02	9.76	0.1	2.28	3.08	2.58	2.74	0.11	0.15	1.89
	152WL2ZK80406-19	含磁铁矿黑云石英片岩	62.71	0.52	13.47	18.2	0.13	1.88	1.87	2.96	2.38	0.14	0.13	0.43
	152WL2TC40301-7	斜长角闪片岩	68.08	0.51	13.55	10.07	0.03	0.54	1.33	6.86	0.53	0.17	0.27	0.46
	152WL2ZK41601-13	斜长角闪片岩	66.09	0.58	14.38	9.83	0.09	1.27	2.56	4.12	2.47	0.27	0.21	1.14
	152WL2ZK41601-17	含磁铁矿斜长角闪片麻岩	54.17	0.31	8.48	14.51	0.15	5.22	9.61	4.42	0.51	0.21	0.38	4.5
	152WL2ZK41106-18	黑云斜长角闪片岩	68.37	0.53	14.12	8.4	0.05	1.3	2.1	4.44	2.79	0.16	0.17	0.45
矿体	152WL2ZK80306-1		23	0.44	5.59	65.31	0.79	4.64	8.23	0.45	1.23	3.02	0.02	2.58
	152WL2V-9	V、Ⅲ矿体	3.41	0.12	0.78	94.5	1.31	3.25	5.46	0.09	0.1	0.71	0.22	4.55
	152WL2TC80301-12		12.1	0.32	0.62	60.75	0.71	3.54	19.95	0.09	0.11	5.47	0.46	6.95
	152WL2TC40301-6		19.75	0.07	1.59	96.44	0.1	1.52	1.05	0.17	0.6	0.44	0.31	-0.76
	152WL2ZK41601-14	Ⅳ矿体	31.73	0.11	2.63	60.44	0.18	2.69	5.22	0.62	0.69	0.34	6.09	4.25
	152WL2ZK41601-15		37.75	0.1	1.98	61.53	0.15	7.88	2.67	0.41	0.43	0.26	0.25	3.84
152WL2ZK41601-16	11.02		0.04	0.93	45.04	0.06	2.75	14.63	0.06	0.52	0.18	6.47	4.84	

围岩稀土微量元素分析结果(表 3)显示,矿区内赋矿围岩黑云母石英片岩稀土元素总量较低, ( $\sum REE+Y$ )为  $105.98 \times 10^{-6} \sim 132.45 \times 10^{-6}$ , 平均为  $115.10 \times 10^{-6}$ 。球粒陨石标准化配分图显示

(图 3b),莫喀尔矿床黑云石英片岩呈轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型,表现出 Eu 负异常的特征。La、Y、Ce 异常不明显,具有前寒武纪海洋碎屑沉积岩和条带状铁建造的特征(沈其韩等,2011)。

围岩形成环境的研究有助于成矿环境的判别,笔者在野外地质调查及室内岩矿鉴定的基础上,结合岩石地球化学分析成果进行原岩恢复研究。黑云石英片岩是矿区的主要岩石类型之一,岩石呈灰黑色,主要由石英、黑云母、斜长石组成,鳞片粒状变晶结构-细粒粒状变晶结构、片状构造;组成岩石的主要矿物为石英和黑云母以及少量斜长石;副矿物主要为磷灰石和磁铁矿等,反映成岩物质为碎屑物源;

而且石英、长石均以较均匀的他形粒状-半自形为主,经石英矿物粒度统计分析,表明其主要位于细砂岩区,部分位于中砂,个别位于粉砂岩区,反映原岩以细碎屑沉积为主,沉积环境相对稳定。此外,张强(2016)通过对莫喀尔矿区赋矿围岩黑云母石英片岩研究认为,该岩石的原岩具有泥质、砂质沉积岩的特征,其原岩应该是杂砂岩,成岩物质为碎屑物源,以细碎屑沉积为主,且沉积环境相对稳定。



a. 黑云母石英片岩微量元素蛛网图; b. 黑云母石英片岩稀土元素配分图; c. 斜长角闪片岩微量元素蛛网图; d. 斜长角闪片岩稀土元素配分图

图3 莫喀尔矿床赋矿围岩微量元素原始地幔标准化蛛网图及稀土元素球粒陨石标准化配分图

Fig. 3 Pass-normalized Trace element spider diagrams and REE patterns of the wall-rocks in Mokaer deposit

### 3.1.2 斜长角闪片岩地球化学特征

主量元素测试结果(表1)显示,  $\text{SiO}_2$  含量为 54.17%~68.37%, 平均为 64.18%;  $\text{TiO}_2$  含量为 0.31%~0.58%, 平均为 0.48%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 8.48%~14.38%, 平均为 12.63%。  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  为 8.4%~14.51%, 平均为 10.70%;  $\text{MnO}$  含量为 0.03%~0.15%, 平均为 0.08%;  $\text{MgO}$  含量为 0.54%~5.22%,

平均为 2.08%;  $\text{CaO}$  含量为 1.33%~9.61%, 平均为 3.90%;  $\text{Na}_2\text{O}$  含量为 4.12%~6.86%, 平均为 4.96%;  $\text{K}_2\text{O}$  含量为 0.51%~2.79%, 平均为 1.58%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量为 0.16%~0.27%, 平均为 0.20%。各主量元素相关性不是很明显,总体上显示出富硅铝、贫锰的特征,  $\text{SiO}_2$  与  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{TFe}_2\text{O}_3$  呈负相关性,与  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  呈正相关性。



表3 莫喀尔矿床岩矿稀土元素分析数据表(10<sup>-6</sup>)

Tab. 3 REE analysis data for rocks and ore from Mokaerdeposit(10<sup>-6</sup>)

样品	围岩							矿							石				
	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	152WL2	
ZK80306-4	TC80301-1	ZK80406-19	TC40301-7	ZK41601-13	ZK41601-17	ZK41106-18	ZK80306-1	IV-9	TC80301-12	TC40301-6	ZK41601-14	ZK41601-15	ZK41601-16						
黑云母 石英片岩	黑云母 石英片岩	含磁铁矿 黑云母 石英片岩	斜长角 闪片岩	斜长角 闪片岩	含磁铁矿 斜长角 闪片麻岩	黑云斜 长角闪片岩	条带状 磁铁矿	浸染状 磁铁矿	浸染状 磁铁矿	条带状 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿	黄铁矿化 磁铁矿
La	16.5	16.8	18.8	24.5	43.9	75.4	32.8	206	48.6	1025	193	49.2	47.5	219					
Ce	32.3	33.5	40.4	45.6	84.6	123	62.3	645	108	1854	469	79.9	71.2	600					
Pr	4	4	5	5.2	9.6	12	7.1	68.4	12.8	99.8	36.8	7.5	6.5	51.5					
Nd	17.4	17	21.6	21.4	38.9	42.5	29.1	269	53.8	711	107	25	21.9	148					
Sm	3.7	3.6	4.6	4	7.1	6.7	5.5	42.3	9.9	98.1	11.7	3.5	3.2	15.4					
Eu	1	0.76	0.97	1.1	1.3	2.3	1.4	3.9	1.7	5.9	4	1.6	1.3	8.8					
Gd	3.5	3.6	4.4	3.9	6.6	6.3	5.2	37.6	10.2	87.6	11.2	3.6	3.1	13.2					
Tb	0.6	0.62	0.74	0.67	1.1	0.95	0.86	5.2	1.7	11	1	0.51	0.43	1.2					
Dy	3.4	3.5	4.2	4.1	6	5.1	4.9	26.1	9.2	53.4	3.9	2.7	2.3	5.4					
Ho	0.72	0.74	0.86	0.91	1.2	1.1	1	5.2	2	10.5	0.62	0.56	0.49	1					
Er	2	2	2.4	2.8	3.5	3	3	13.5	5.8	28.7	1.6	1.6	1.4	3					
Tm	0.3	0.3	0.36	0.43	0.52	0.46	0.47	1.8	0.92	3.9	0.18	0.24	0.22	0.42					
Yb	1.8	1.8	2.2	2.7	3.4	3	3	9.9	6	22.1	1	1.5	1.4	2.3					
Lu	0.26	0.26	0.32	0.4	0.5	0.46	0.44	1.3	1.1	2.9	0.15	0.2	0.2	0.23					
Y	18.5	18.4	25.6	28	32	27.4	30.9	126	51.7	275	13.4	13.4	11.4	20.2					
ΣREE	87.48	88.48	106.85	117.7	208.2	282.27	157.1	1335	271.72	4014	841.2	177.6	161.1	1069					
LREE	74.9	75.66	91.37	101.8	185.4	261.9	138.2	1235	234.8	3794	821.5	166.7	151.6	1043					
HREE	12.58	12.82	15.48	15.91	22.82	20.37	18.87	100.6	36.92	220.1	19.65	10.91	9.54	26.75					
LREE/ HREE	5.95	5.9	5.9	6.4	8.12	12.86	7.32	12.27	6.36	17.24	41.81	15.28	15.89	38.98					
LaN/ YbN	6.58	6.69	6.13	6.51	9.26	18.03	7.84	14.93	5.81	33.27	138.4	23.53	24.34	68.3					
δEu	0.84	0.64	0.65	0.84	0.57	1.07	0.79	0.29	0.51	0.19	1.05	1.37	1.25	1.84					
δCe	0.94	0.97	1	0.94	0.97	0.9	0.96	1.33	1.04	1.13	1.28	0.91	0.87	1.34					



微量元素测试结果(表2)及其原始地幔标准化图(SUE et al., 1989)(图3c)显示,高场强元素 Hf、Th、Pb 具有正异常, Nb、Ta、Zr、Ti 具有负异常特征,整体表现出亏损大离子亲石元素 Ba、K、Sr 的特征。稀土元素测试结果(表3)显示, ( $\sum\text{REE} + \text{Y}$ ) 变化范围在  $145.71 \times 10^{-6} \sim 309.67 \times 10^{-6}$ , 平均为  $220.89 \times 10^{-6}$ ; 稀土元素球粒陨石标准化配分图(图3d)显示,斜长角闪片岩整体表现出轻稀土相对富集和重稀土相对亏损的右倾型的特征; Eu 显示负异常特征,  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  的变化范围在  $0.57 \sim 1.07$ , 平均为  $0.82$ ; 而 Ce 显示出弱的负异常,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  变化范围在  $0.90 \sim 0.97$ 。

笔者在野外地质调查及室内岩矿鉴定的基础上,结合岩石地球化学分析成果进行原岩恢复研究。斜长角闪片岩中变质矿物为角闪石、黑云母、斜长石等,岩石变质程度达低角闪岩相-角闪岩相,表现出中等变质相的岩石组合特征。岩石具有鳞片变晶结构、中-细粒变晶结构、柱状变晶结构,显示其原岩具有基质隐晶结构和斑状结构的特征,原岩应为一套海相的中基性火山岩的变质岩系。张强(2016)从岩石地球化学的角度对该矿床赋矿围岩斜长角闪片岩进行原岩恢复发现其原岩拉斑玄武岩范畴,并认为其原岩构造环境主要为弧后盆地玄武岩和钙碱性玄武岩,经过区域变质作用形成斜长角闪片岩。结合岩石地球化学特征及邻区赞坎矿区研究成果,笔者认为莫喀尔矿区变质岩的建造类型为大洋拉斑质玄武岩组合夹海相泥砂质细碎屑岩建造,形成于与岛弧有关的弧后盆地环境。

### 3.2 矿石地球化学特征

#### 3.2.1 主量元素地球化学特征

莫喀尔矿区的磁铁矿石主量分析结果(表1)显示,矿石主要由  $\text{SiO}_2$  和  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  组成,其中  $\text{SiO}_2$  与  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  含量表现出此消彼长的关系。 $\text{SiO}_2$  含量为  $3.41\% \sim 37.75\%$ , 平均为  $19.82\%$ ;  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  为  $45.04\% \sim 96.44\%$ , 平均为  $69.14\%$ ;  $\text{MgO}$  含量为  $1.52\% \sim 7.88\%$ , 平均为  $3.75\%$ ;  $\text{CaO}$  含量为  $1.05\% \sim 19.95\%$ , 平均为  $8.17\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $0.62\% \sim 5.59\%$ , 平均为  $2.01\%$ ;  $\text{TiO}_2$  含量为  $0.04\% \sim 0.44\%$ , 平均为  $0.17\%$ 。

#### 3.2.2 微量元素地球化学特征

磁铁矿石微量元素分析结果(表2)及原始地幔标准化的蛛网图(图4)显示,磁铁矿石富集 U、La、Pb、Pr、Sm、Nd, 亏损 Ta、Sr、Ti、Zr、Hf。矿石 Th/

U 值为  $0.02 \sim 15.60$ , 平均为  $3.06$ ; Sr/Ba 值为  $0.05 \sim 196.30$ , 绝大部分样品比值小于 1, 平均为  $28.2$ , 剔除一个极大值后平均为  $0.19$ ; Ni/Co 值为  $0.25 \sim 3.07$ , 平均为  $0.98$ ; Ni/Zn 值为  $0.19 \sim 1.19$ , 平均为  $0.69$ ; Ti/V 值为  $0.15 \sim 8.29$ 。

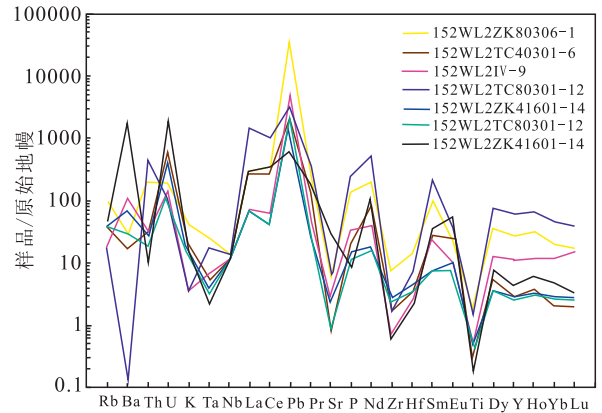


图4 莫喀尔矿床矿石微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 4 Trace element spider diagrams of the ores in Mokaer deposit

#### 3.2.3 稀土元素地球化学特征

莫喀尔矿区磁铁矿石稀土元素分析结果(表3)显示,不同矿带以及不同矿石类型的稀土元素含量变化较大,稀土元素含量总体上较高,且 V、Ⅷ号矿带高于 IV 号矿带,稀土元素总量( $\sum\text{REE}$  不含 Y)为  $161.14 \times 10^{-6} \sim 4\ 013.90 \times 10^{-6}$ , 平均为  $1\ 124.31 \times 10^{-6}$ 。其中, La 在铁矿石中的含量达  $1\ 025 \times 10^{-6}$ , Ce 的含量高达  $1\ 854 \times 10^{-6}$ , 围岩  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  值为  $6.13 \sim 18.03$ , 平均为  $8.72$ ; 矿石  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  值为  $5.81 \sim 138.4$ , 平均为  $44.08$ 。矿石稀土元素球粒陨石标准化配分图总体上呈轻稀土富集的右倾型;  $\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0.87 \sim 1.34$ , 平均为  $1.13$ , 具有弱的 Ce 正异常(图5)。

### 3.3 磁铁矿化学组成特征

磁铁矿电子探针数据(表4)显示,莫喀尔铁矿石中磁铁矿成分以  $\text{TFeO}$ (用 FeO 表示的全铁含量)为主,铁矿石中的磁铁矿  $\text{TFeO}$  为  $99.08\% \sim 99.64\%$ , 平均为  $99.35\%$ ; 其他成分含量大多低于  $0.1\%$ , 部分低于检测限。其中,  $\text{TiO}_2$  含量为  $0.05 \sim 0.13\%$ , 平均为  $0.10\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $0.00 \sim 0.14\%$ , 平均为  $0.07\%$ ;  $\text{MnO}$  含量为  $0.00 \sim 0.30\%$ , 平均为  $0.16\%$ ;  $\text{MgO}$  含量为  $0.00 \sim 0.42\%$ , 平均为  $0.12\%$ 。

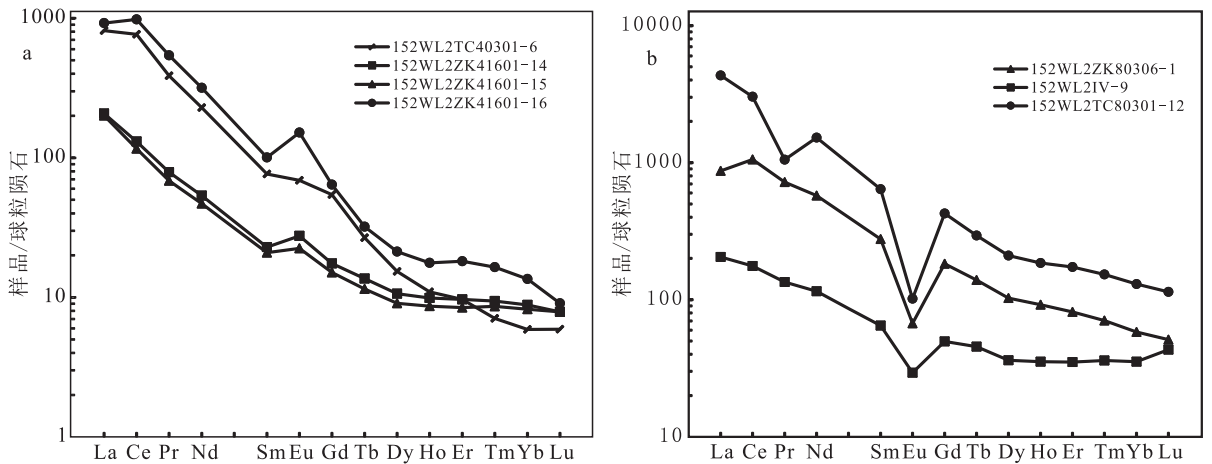


图5 (a)莫喀尔矿床Ⅳ号矿带与(b)Ⅴ、Ⅷ号矿带铁矿石稀土元素球粒陨石标准化配分图

Fig. 5 Pass-normalized REE patterns of the ores in Mokaer deposit

表4 磁铁矿电子探针分析结果表(%)

Tab. 4 The data of Magnetite by electron probe (%)

编号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	FeO	CaO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	Σ
1	0.07	0.06	0.00	99.56	0.00	0.00	0.00	0.13	0.10	0.06	99.99
2	0.21	0.03	0.00	99.23	0.12	0.36	0.00	0.05	0.04	0.00	100.04
3	0.17	0.14	0.00	99.08	0.00	0.42	0.00	0.09	0.00	0.07	99.98
4	0.00	0.08	0.00	99.64	0.01	0.00	0.11	0.11	0.00	0.04	99.99
5	0.03	0.03	0.00	99.51	0.00	0.03	0.00	0.10	0.30	0.00	99.99
6	0.20	0.11	0.00	99.12	0.00	0.07	0.09	0.12	0.27	0.00	99.98
7	0.18	0.08	0.00	99.24	0.03	0.00	0.07	0.09	0.24	0.03	99.96
8	0.00	0.00	0.00	99.40	0.09	0.10	0.01	0.10	0.29	0.00	99.99
平均值	0.11	0.07	0.00	99.35	0.03	0.12	0.03	0.10	0.16	0.03	99.99

## 4 矿床成因探讨

莫喀尔矿床赋矿围岩及矿石主量元素分析结果(表1)显示,不同类型围岩与矿石中除了 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 含量有较大差别以外,其他主量元素含量均比较接近,反映了矿石与围岩具有相似的物质来源,这一特征与该矿区矿体和围岩呈整合渐变过渡接触的地质现象相吻合,指示矿体与围岩应形成于相同或者相近的环境中。而通过对赋矿围岩与矿石在岩石地球化学特征研究发现,围岩和矿石稀土元素配分图及微量元素蛛网图具有一定的相似性,指示矿体与围岩之间具有明显的同源性。张强(2016)通过对莫喀尔矿区的斜长角闪片岩进行原岩恢复,认为其原岩具拉斑玄武岩特征,推测其形成于与岛弧有关

的弧后盆地环境;同时,对黑云母石英片岩进行原岩恢复认为其原岩具有泥质、砂质沉积岩的特征,主要以细碎屑沉积为主,其原岩特征与杂砂岩相似,且沉积环境相对稳定。而计文化等(2011)通过对甜水海西段布伦阔勒群(Pt<sub>1</sub>B)研究认为,该中古元古界的组分是由片理化的变流纹岩、玄武岩与玄武安山岩互层状产出构成,其 εNd(t) 值及微量元素地球化学特征显示亏损地幔源区特征,表现出本地区的古元古代是地壳垂向快速增生的时期,在这一时期的火山活动十分强烈,为铁矿的成矿提供了大量的物质。因此,莫喀尔矿床早期的成矿环境可能较为复杂,推测其可能形成于火山活动强烈的与岛弧有关的弧后盆地环境中。

铁矿石主量元素含量特征对其成矿物质来源的约束具有一定的意义(宋樾,2019),莫喀尔矿床矿石

主量元素含量(表1)显示,块状磁铁矿石和条带状磁铁矿石主要由  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  组成,两者含量均大于 80%,且具有相互消长的线性关系。同时,磁铁矿石中  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量大部分较低,但个别含量较高,显示在沉积过程中可能混入了少量陆源碎屑物质(李志红等,2008;丁文君等,2009;闫斌等,2010)。陈光远等(1987)认为,一般陆源沉积铁矿矿石具有  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 5$  的特征,而海相火山沉积铁矿矿石的  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  一般在 7.3~17.0;而莫喀尔矿区磁铁矿石  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  为 4.11~19.52,大部分大于 11,平均为 11.91,显示出海相火山沉积铁矿矿石的特征。莫喀尔矿床磁铁矿石  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 0.62%~5.59%,平均为 2.02%; $\text{K}_2\text{O}$  含量为 0.1%~1.23%,平均为 0.53%; $\text{P}_2\text{O}_5$  含量为 0.18%~5.47%,平均为 1.49%;王守伦等(1993)认为陆源沉积型铁矿通常富  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,其含量分别为 4.07%、0.6%~1.34%和 0.46%,显示该矿床矿石与陆源沉积型铁矿的特征有明显差异,但局部有一定的重叠区,加上部分矿石的  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量相对较高,因此,这种现象可能是由于在成矿过程中有陆源碎屑物质的混入所致。

前人(BHATIA MR et al., 1981;杜后发,2011;姚纪明;2009)研究认为,可以用 Th/U 元素值作为确定物源类型的标志,当 Th/U 的值约为 4.5 时,其物源主要表现出以沉积岩为主并可能混入岛弧火山碎屑岩的特征;一般火山沉积岩和海相沉积物的 Sr/Ba 值大于 1,而陆源沉积的 Sr/Ba 值小于 1(沈其韩等,2009)。而莫喀尔铁矿床 Th/U 值为 0.02~15.60,平均为 4.21,剔除一个极大值(15.6)后平均为 3.34;Sr/Ba 值为 0.05~196.30,绝大部分样品值小于 1,平均为 28.2,剔除一个极大值平均为 0.19,显示铁矿与陆源沉积岩关系密切,在成矿过程中混入了相当一部分的陆源碎屑物质。前人研究表明,火山沉积的 Ni/Co 值一般小于陆源碎屑沉积铁矿,陆源沉积的铁矿的 Ni/Co 值为 3.0~8.0,而海相火山沉积铁矿的 Ni/Co 值为 1.0~3.6(陈述荣等,1985;沈其韩等,2011)。莫喀尔矿床赋矿围岩及矿石的 Ni/Co 值为 0.25~3.07,大部分在 1.0~3.0,平均为 1.26,显示海相火山沉积铁矿的特征。SUGITANI et al. (1992)认为,热液成因的条带状硅铁建造型铁矿的 Ni/Zn 值为 0.08~0.78,而莫喀尔矿区 Ni/Zn 值为 0.19~

1.19,平均为 0.69,显示出莫喀尔铁矿的形成具有热液成因的特征,可能与火山活动有一定的关系。王守伦等(1993)认为在陆源硅铁页岩建造中 Ti/V 值为 1.33~10.9,而在火山沉积的硅铁建造中 Ti/V 值为 25~89,莫喀尔矿区 Ti/V 值为 0.15~8.29,显示其具有陆源硅铁页岩建造的特征。

莫喀尔矿床矿石稀土元素呈轻稀土富集、重稀土亏损的右倾模式,但不同矿带的特征具有较大差异。Ⅳ号矿带稀土元素含量相对较低,具有 Eu 正异常(Eu/Eu\* 为 1.05~1.84)、弱的 Ce 正异常(Ce/Ce\* 为 0.87~1.34);前人(DANIELSON A, 1992;BAU M et al., 1996;DOUVILLE E, 1999)研究表明,深海高温热液具有 LREE 富集、Eu 正异常的特征;根据矿床地质及地球化学特征,莫喀尔矿床成因与 BIF 铁矿床较为相似,推测Ⅳ号矿带铁矿成矿环境可能是无氧或者缺氧环境,与海底热水沉积成因有关(张连昌等,2012),这与 Ni/Zn 值得出的结论一致。Ⅴ、Ⅷ号矿带具有较为相似的稀土元素特征,稀土元素含量相对较高、变化较大,具有 Eu 负异常(Eu/Eu\* 为 0.19~0.51),具弱的 Ce 正异常(Ce/Ce\* 为 1.04~1.33),显示Ⅴ、Ⅷ号矿带可能形成于氧化的、弱碱性的成矿环境中。

ANNERSTEN(1968)与 RUMBLE(1973)认为,产于岩浆矿床中的磁铁矿的  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NiO}$  含量高;而矽卡岩矿床中磁铁矿的  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NiO}$  含量有所降低,但  $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  仍然较高;BIF 型铁矿床中的磁铁矿的其他金属矿物的氧化物含量均较低,表现出“纯磁铁矿”的特征。DUPUIS 和 BEAUDOIN(2011)统计了全球不同成因类型的矿床中磁铁矿组分特征显示,与其他类型的磁铁矿相比,BIF 型铁矿中的磁铁矿具有很低的  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量;而莫喀尔矿床磁铁矿的电子探针分析结果显示,该矿床磁铁矿的其他氧化物含量均非常低,显示了沉积变质型铁矿的特征。

徐国风和邵洁涟(1979)、陈光远等(1984)、林师整(1982)通过分析不同成因、不同类型的铁矿床中磁铁矿的标型组分特征,将磁铁矿成因类型分为岩浆型、火山岩型、接触交代型、热液交代型及沉积变质型(表5),经对比发现,莫喀尔铁矿与沉积变质型铁矿更为接近。

林师整(1982)提出了运用  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -( $\text{MgO}+\text{MnO}$ )三角成因图解来判别磁铁矿的成因,图解

中把磁铁矿按标型成因分为6种,即副矿物型、沉积变质型、岩浆型、接触交代型、火山岩型和矽卡岩型;在  $TiO_2-Al_2O_3-(MgO+MnO)$  图解中,莫喀尔磁铁矿样品主要落在沉积变质型铁矿区域内及其附近(图6a)。DUPUIS(2011)提出了磁铁矿  $Ca+Al+Mn-Ti+V$  成因判别图解,并将磁铁矿床分为矽卡

岩型矿床、斑岩型矿床、铁氧化物铜金型矿床、条带状含铁建造、基鲁纳型矿床和  $Fe-Ti,V$  型矿床;在  $Ca+Al+Mn-Ti+V$  成因判别图解中,莫喀尔磁铁矿样品主要落在了条带状含铁建造和矽卡岩型矿床中(图6b),并显示出由条带状含铁建造向矽卡岩型演化的趋势。

表5 不同成因类型磁铁矿标型组分对比表(%)

Tab. 5 The Comparison of Magnetite typomorphic component from Different Genesis(%)

矿床类型	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	资料来源
	10.22(3.55~21.72)	1.25~4.60	0.11~1.57	0.38~7.32	徐国风等,1979
岩浆型	5.95	2.00	0.22	1.82	陈光远等,1984
	6.83	3.00	0.054	2.22	林师整,1982
火山岩型	1.1	0.37	0.024	0.68	林师整,1982
	0.183(0.07~0.40)	0.037~0.80	0.095~2.15	0.35~11.51	徐国风等,1979
接触交代型	0.22	0.089	0.28	0.59	陈光远等,1984
	0.11	1.04	0.45	0.37	林师整,1982
热液交代型	0.334(0.107~0.88)	1.82~4.71	0.06~0.227	1.29~13.04	徐国风等,1979
	0.15	3.51	0.21	4.52	陈光远等,1984
沉积变质型	0.0887(0~1.20)	0.02~0.59	0.017~0.14	0.19~0.55	徐国风等,1979
	0.09	0.41	0.04	0.22	陈光远等,1984
莫喀尔铁矿	0.05~0.13(平均0.1)	0.00~0.14(平均0.07)	0.00~0.30(平均0.16)	0.00~0.42(平均0.12)	本文

注:据徐国风等(1979);TiO<sub>2</sub>数据括号前为平均值,括号内为数值范围。

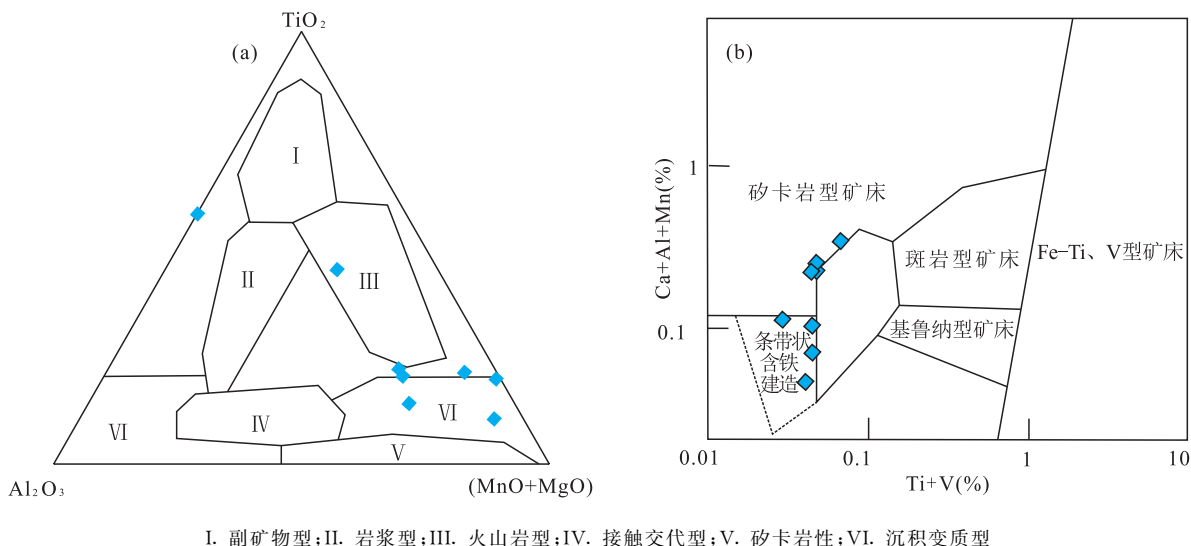


图6 (a)莫喀尔磁铁矿  $TiO_2-Al_2O_3-(MgO+MnO)$  (林师整,1982) (b)  $Ca+Al+Mn-Ti+V$  (DUPUIS,2011) 成因判别图解

Fig. 6 Discrimination diagrams of genesis for magnetite in Mokaer deposit(After LIN,1982; bafter DUPUIS,2011)

综上所述,莫喀尔磁铁矿床矿石及磁铁矿地球化学特征显示该矿床具有沉积变质型铁矿特征,同时也显示了矿床遭受了后期的热液改造,并混入相

当比例的陆源碎屑物质。由于塔什库尔干一带构造、岩浆活动强烈,莫喀尔矿区内部分磁铁矿颗粒粗大,具有重结晶的特征,因此,矿体受到了后期岩浆

活动的影响,并具有一定的矽卡岩型矿床的特征。

## 5 结论

(1)莫喀尔矿床矿区目前共发现 11 条磁铁矿带及 4 条磁铁矿化带,矿体与围岩为渐变接触关系,呈透镜状、层状产出;矿体产出多受斜长角闪片岩、黑云斜长片麻岩、黑云石英片岩控制,矿体顶、底板岩性与矿体夹石一致。

(2)莫喀尔矿区铁矿石稀土元素总体上呈轻稀土富集的右倾型,具有弱的 Ce 正异常,富集 U、La、Pb、Pr、Sm、Nd,亏损 Ta、Sr、Ti、Zr、Hf;磁铁矿<sub>T</sub> FeO 为 99.08%~99.64%,平均为 99.35%。

(3)赋矿围岩及矿石、磁铁矿地球化学特征显示该矿床初始成矿环境与海相火山沉积矿床相似,在后期经历了变质作用而具有沉积变质型铁矿特征,同时也显示了矿床遭受了后期的热液改造,并混入相当比例的陆源碎屑物质。

## 参考文献(References):

河南省地质调查院. 新疆塔什库尔干-莎车铁铅锌多金属矿评价报告[R]. 2009.

杨国林,何雨粟,王文佳,等. 新疆塔什库尔干吉尔铁克铁矿地质特征及成因[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015,51(04):462-469+477.

YANG Guolin, HE Yuli, WANG Wenjia, et al. Geological characteristics and genesis of Jierteke iron deposit in Taxkorgan Area, Xinjiang Province [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2015,51(04):462-469+477.

乔耿彪,王萍,伍跃中,等. 西昆仑塔什库尔干陆块赞坎铁矿赋矿地层形成时代及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(03):616-629.

QIAO Gengbiao, WANG Ping, WU Yuezhong, et al. Formation age of ore-bearing strata of the Zankan iron deposit in Taxkorgan landmass of Western Kunlun Mountains and its geological significance[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 616-629.

刘品德. 西昆仑塔什库尔干地区老并石膏磁铁矿地质特征及成矿作用过程探讨[J]. 西北地质, 2014, 47(04): 227-236.

LIU Pinde. Geological Features and Mineralization Process of Laobing Gypsum Magnetite Deposit in Taxkorgan

Region of West Kunlun [J]. Northwestern Geology, 2014,47(04):227-236.

钱兵,高永宝,李侃,等. 塔什库尔干地区赞坎铁矿矿物学特征与成因[J]. 地质与勘探, 2014,50(04):630-640.

QIAN Bing, GAO Yongbao, LI Kan, et al. Mineralogy and genesis of the Zankan iron deposit in Taxkorgan area, Xinjiang[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(4): 630-640.

丁明朋,汤好书,陈衍景,等. 西昆仑塔什库尔干叶里克铁矿成因:矿床地质与磁铁矿 LA-ICP-MS 原位分析约束[J]. 地球科学, 2018,43(09):3169-3185.

DING Mingpeng, TANG Haoshu, CHEN Yanjing, et al. Genesis of the Erik Iron Ore Deposit in the Taxkorgan Area of the West Kunlun, Xinjiang: Constraints from Ore Deposit Geology and In Situ LA-ICP-MS Analysis of Magnetite[J]. Earth Science, 2018,43(09):3169-3185.

陈俊魁. 新疆西昆仑塔什库尔干地区老并铁矿赋矿地层形成时代及其地质意义[J]. 西北地质, 2018, 51(03): 105-120.

CHEN Junkui. Formation Age of Ore-bearing Strata from the Laobing Iron Deposit in Taxkorgan area of Western Kunlun, Xinjiang and Its Geological Significance [J]. Northwestern Geology, 2018,51(03):105-120.

陈登辉,伍跃中,李文明,等. 西昆仑塔什库尔干地区磁铁矿矿床特征及其成因[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(4):671-684.

CHEN Denghui, WU Yuezhong, LI Wenming, et al. Geological Characteristics and Genesis of the Iron Deposits in the Taxkorgan Area, West Kunlun[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013,37(4):671-684.

李智泉,张连昌,薛春纪,等. 西昆仑赞坎铁矿床地质特征、形成时代及高品位矿石的成因[J]. 岩石学报, 2018, 34(02):427-446.

LI Zhiquan, ZHANG Lianchang, XIE Chunji, et al. Geological characteristics, formation age and high-grade ore genesis of Zankan banded iron deposit in the West Kunlun Mountains [J]. Acta Petrologica Sinica, 2018, 34(02):427-446.

张强. 新疆塔什库尔干县莫喀尔磁铁矿床成矿地质特征与找矿方向[D]. 中国地质大学(武汉), 2016.

ZHANG Qiang. Geological characteristics and prospecting direction of the mokaer Fe deposit in Tashikuergan county, Xinjiang[D]. China University of Geosciences (Wuhan), 2016.

沈其韩,宋会侠,杨崇辉,等. 山西五台山和冀东迁安地区条带状铁矿的岩石化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物

- 学杂志, 2011, 30(2): 161-171.
- SHEN Qihank, SONG Huixia, YANG Chonghuil, et al. Petrochemical characteristics and geological significations of banded iron formations in the Wutai Mountain of Shanxi and Qian an of eastern Hebei[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 30(2): 161-171.
- 计文化, 李荣社, 陈守建, 等. 甜水海地块古元古代火山岩的发现及其地质意义[J]. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(9): 1268-1280.
- JI Wenhua, LI Rongshe, CHEN Shoujian, et al. The discovery of Palaeoproterozoic volcanic rocks in the Bulunkuoler Group from the Tianshuihaimassif in Xinjiang of Northwest china and its geological significance[J]. *Sci China Earth Sci*, 2011, 41(9): 1268-1280.
- 李志红, 朱祥坤, 唐索寒. 鞍山-本溪地区条带状铁建造的铁同位素与稀土元素特征及其对成矿物质来源的指示[J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27(4): 285-290.
- LI Zhihong, ZHU Xiangkun, TANG Suohan. Characters of Fe isotopes and rare earth elements of banded iron formations from Anshan-Benxi area; implications for Fe source[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2008, 27(4): 285-290.
- 闫斌, 朱祥坤, 唐索寒, 等. 广西新元古代 BIF 的铁同位素特征及其地质意义[J]. *地质学报*, 2010, 84(7): 1080-1086.
- YAN Bin, ZHU Xiangkun, TANG Suohan, et al. Fe Isotopic Characteristics of the Neoproterozoic BIF in Guangxi Province and its Implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(7): 1080-1086.
- 丁文君, 陈正乐, 陈柏林, 等. 河北迁安杏山铁矿床地球化学特征及其对成矿物质来源的指示[J]. *地质力学学报*, 2009, 15(4): 363-373.
- DING Wenjun, CHEN Zhengle, CHEN Bolin, et al. Geological characters of band iron formation from Xinshan iron deposit in QianAn area, Hebei province :implication for their origin[J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15(4): 363-373.
- 王守伦, 刘其严, 张殿学, 等. 闽粤地区海底热液喷气成因铁矿床的地球化学特征[J]. *地质找矿论丛*, 1993, (3): 14-27.
- WANG Shoulun, LIU Yanxue, ZHANG Dianxue, et al. Geochemical characteristics of sub-marine hydrothermal exhaled Fe-deposits in Fujian-Guangdong area [J]. *Contributions To Geology and Mineral Resources Research*, 1993, (3): 14-27.
- 杜后发, 姜勇彪, 侯增谦, 等. 囊谦古近纪盆地砂岩地球化学特征及其对物源和沉积环境的指示作用. *岩石矿物学杂志*, 2011, 30(4): 654-664.
- DU Houfa, JIANG Yongbiao, HOU Zengqian, et al. Geochemical characteristics of Paleogene sandstones in Nanqen basin and their implications for provenance and sedimentary environments[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2011, 30(4): 654-664.
- 姚纪明, 于炳松, 陈建强, 等. 中扬子北缘上侏罗统-白垩系沉积岩地球化学特征与构造背景分析[J]. *地球化学*, 2009, 38(3): 231-241.
- YAO Jiming, YU Bingsong, CHEN Jianqiang, et al. The geochemical characteristics of the Upper Jurassic to Cretaceous sedimentary rocks in north margin of the mid-Yangtze and tectonic setting discrimination [J]. *Geochimica*, 2009, 38(3): 231-241.
- 陈述荣, 谢家亨, 许超南, 等. 福建龙岩马坑铁矿床成因的探讨[J]. *地球化学*, 1985(4): 350-357.
- CHEN Shurong, XIE Jiaheng, XU Chaonan, et al. The origin of making iron deposit, Fujian [J]. *Geochimica*, 1985(4): 350-357.
- 张连昌, 翟明国, 万渝生等. 华北克拉通前寒武 BIF 铁矿研究: 进展与问题 [J]. *岩石学报*, 2012, 28(11): 3431-3445.
- ZHANG Lianchang, ZHAI Mingguo, WAN Yusheng, et al. Study of the Precambrian BIF-iron deposits in the North China Craton: Progresses and questions[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(11): 3431-3445.
- 徐国风, 邵洁涟. 磁铁矿的标型特征及其实际意义[J]. *地质与勘探*, 1979, 26(3): 541-546.
- XU Guofeng, SHAO Jielian. Typomorphic characteristics of magnetite and its practical significance[J]. *Geology and Prospecting*, 1979, 26(3): 541-546.
- 陈光远, 黎美华, 汪雪芳, 等. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑第二章磁铁矿[J]. *矿物岩石*, 1984(2): 20-47.
- 林师整. 磁铁矿矿物化学、成因及演化的探讨[J]. *矿物学报*, 1982, 2(3): 166-174.
- LIN Shizheng. A contribution to the chemistry, origin and evolution of magnetite [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1982, 2(3): 166-174.
- 宋越. 塔什库尔干地区铁矿成因类型及成矿环境研究[D]. 吉林大学, 2019.
- SONG Yue. Study on Genetic Types and Metallogenic Environment of Iron Deposits in the Taxkorgan Area[D]. Jilin University, 2019.
- SUN SS, MCDONOUGH WF. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composi-

- tion and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- BHATIA MR, Taylor SR. Trace-element geochemistry and sedimentary provinces: A study from the Tasman Geosyncline, Australia [J]. Chemical Geology, 1981, 33 (1-4): 115-125.
- ANNERSTEN H. A mineral chemical study of a metamorphosed iron formation in northern Sweden [J]. Lithos, 1968, 1(4): 374-397
- RUMBLE D III. Fe-Ti oxide minerals from regionally metamorphosed quartzites of western New Hampshire [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1973, 42 (3): 181-195.
- DUPUIS C, Beaudoin G. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types [J]. Mineralium Deposita, 2011, 46 (4): 319-335.
- SUGITANI K. Geochemical characteristic of Archean cherts and other sedimentary rocks in the Pilbara Block, Western Australia; Evidence for the Archean sea-water enriched in hydrothermally-derived iron and silica [J]. Precambrian Research, 1992, 57(1-2): 21-47.
- DANIELSON A, MÖLLER P, DULSKI P. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust [J]. Chemical Geology, 1992, 97(1-2): 89-100.
- BAU M, DULSKI P. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron formations, Transvaal Supergroup, South Africa [J]. Precambrian Research, 1996, 79(1): 37-55.
- DOUVILLE E, BIENVENU P, CHARLOU JL. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63(5): 627-643.

## 《西北地质》知识产权声明

科技期刊是传播科技信息的重要载体,随着社会信息的蓬勃发展和计算机网络的普及应用,以及网络的快速、便捷、经济、高效,越来越多的科技人员则从网上寻求和获取信息。为了适应当前信息社会的发展和要求,《西北地质》现为纸质版-光盘版-网络版三位一体的出版模式,每期期刊除纸质版外均在《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《万方数据数字化期刊群》、《中国科学引文数据库(CSCD)》、《中文科技期刊数据库》、《台湾华艺(CEPS)中文电子期刊数据库》、《地球与环境科学信息网(EES)》及国内外著名数据库等媒介以光盘版或网络版形式进行传播,凡本刊刊用的稿件及封面照片,其作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如作者不同意入编各种光盘版及网络版,或者不同意封面照片重复利用,请在来稿时特别声明,没有予以声明的,将视为同意。

凡本刊刊用的稿件,其杂志内容版权属《西北地质》编辑部所有,未经授权的任何单位和个人,不得以任何方式重新出版、制作光盘或者开办网上电子杂志。《西北地质》是国家新闻出版广电总局批准的国内外公开发行的杂志,其杂志名称、刊号和条码在国内外是唯一的,凡是盗用《西北地质》杂志名称、刊号和条码的单位和个人,《西北地质》将追究其法律责任。

《西北地质》编辑部