

蒙古国南戈壁省曼莱-曼达赫铜金成矿带 花岗闪长岩地球化学特征及地质意义

刘文毅^{1,2,3}, 何美香³, 王振生³, 王伟³, 程广国⁴

(1. 中南大学, 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南 长沙 410083; 2. 中南大学, 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083; 3. 河南省有色金属地质矿产局第七地质大队, 河南 郑州 450016; 4. 河南省有色金属地质矿产局, 河南 郑州 450016)

摘要:研究区位于蒙古国南戈壁省和东戈壁省北部地区, 南蒙古成矿区曼莱-曼达赫铜金成矿带, 出露华力西期花岗闪长岩、花岗岩及石炭纪—二叠纪火山岩, 发育有石英脉型、斑岩型和构造蚀变岩型铜金矿化。近东西向区域构造控制了成岩成矿作用, 花岗闪长岩株与区内铜金矿化具有成因上和时空上的密切关系。主矿体产于蚀变花岗闪长岩株中。地球化学研究表明: 花岗闪长岩株具有高硅(SiO_2 含量为 61.3%~67.2%)、钙碱性(里特曼指数为 2.07~2.34, AR-SiO₂图解中样品均落入钙碱性区)、高 Sr($491 \times 10^{-6} \sim 631 \times 10^{-6}$)、低 Yb($0.8 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$)、低 Y($7.8 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$)、高 Sr/Y(42.7~80.9)、亏损重稀土以及无明显负 Eu 异常等岛弧背景下埃达克岩岩石特征。基于区域成矿学研究, 认为本区具有寻找大型斑岩型铜金矿的找矿前景。

关键词:铜金成矿带; 曼莱-曼达赫; 地球化学; 埃达克岩; 斑岩型

中图分类号: P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2018)04-0147-09

Geochemical Characteristics of Granodiorite from Manley – Mandah Cu – Au Metallogenic Belt in South Gobi of Mongolia and Its Geological Significance

LIU Wenyi^{1, 2, 3}, HE Meixiang³, WANG Zhensheng³, WANG Wei³, CHENG Guangguo⁴

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitor, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 3. No. 7 Geological Team, Bureau of Nonferrous Metals Geology and Mineral Resources of Henan Province, Zhengzhou 450016, Henan, China; 4. Bureau of Nonferrous Metals Geology and Mineral Resources of Henan Province, Zhengzhou 450016, Henan, China)

Abstract: The studying area is located in South Gobi and the northern part of East Gobi province of Mongolia, which belongs to Manley-Mandah Cu – Au metallogenic belt of southern Mongolia metallogenic area. The Hercynian granodiorite, granite and Carboniferous-Permian volcanic rocks were occurred in this area, with quartz vein type, porphyry type and alteration-rock type copper-gold mineralization. The nearly EW-direction regional structures control the diagenesis and min-

收稿日期: 2018-05-01; 修回日期: 2018-06-09

基金项目: 国土资源部 2010 年度国外矿产资源风险勘查专项资金项目“蒙古国南戈壁省曼莱苏木铜金矿地质调查与评价”(10216A015), 国土资源部 2012 年度国外矿产资源风险勘查专项资金项目“蒙古国东戈壁省曼达赫苏木阿拉戈特铜金矿靶区优选与评价”(201210A01600212)

作者简介: 刘文毅(1984-), 男, 工程师, 主要从事矿产勘查与矿床地质研究工作。E-mail: liuwenyi703@sina.com

eralization, and the granodiorite intrusion is closely related to the origin and temporal-spatial distribution of copper-gold mineralization in this area. The main orebodies are occurred in altered granodiorite. The geochemical results show that these granodiorites have high SiO_2 ($61.3\% \sim 67.2\%$), calc-alkaline (Rittman indexes range from 2.07 to 2.34, all samples fall into the calc-alkaline area in AR - SiO_2 diagram), Sr ($491 \times 10^{-6} \sim 631 \times 10^{-6}$) and Sr/Y ($42.7 \sim 80.9$), but they have low Yb ($0.8 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$) and Y ($7.8 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$), with depleted HREE and no obvious negative Eu anomalies, showing the characteristics of adakitic rocks. Based on the regional metallogenetic study, it can be concluded that this area has the potential for prospecting large porphyry copper-gold deposits.

Keywords: Cu - Au metallogenic belt; Manley-Mandah; geochemistry; adakite; porphyry

自 20 世纪 90 年代起,在与中国毗邻的蒙古国南部,陆续发现了欧玉陶勒盖、曼达赫、苏廷、嘎顺、卡马戈泰等一系列斑岩型铜钼金矿床(点),南蒙古斑岩型铜多金属成矿带遂引起全球矿业界的极大关注(WATANABE et al., 2000; 黄崇轲等, 2001; 洪大卫等, 2003; 张义等, 2003; 刘益康等, 2003; 聂凤军等, 2004; 方维萱等, 2007; 江思宏等, 2010; 侯万荣等, 2010; 方俊钦等, 2013; 郭百创等, 2013; 朱明帅等, 2015)。

作为新发现的南蒙古斑岩型铜多金属成矿带中部的曼莱-曼达赫铜金成矿区带,除王伟等(2015)初步开展了曼莱苏木铜金矿区地质与矿化特征研究外,尚未系统地研究含矿岩体的地球化学特征,对区内的花岗闪长岩与成矿关系尚不清晰,其严重制约了找矿的重大突破。笔者试图从曼莱-曼达赫铜金成矿带花岗闪长岩地球化学特征研究出发,探讨花岗闪长岩与成矿关系,预测区内的找矿前景,以指导找矿勘探并取得找矿突破。

1 区域地质背景

研究区位于蒙古国南戈壁省和东戈壁省,呈北东向斜跨南戈壁省东北部和东戈壁省西部,北侧与中戈壁省接壤(图 1)。地理坐标极值范围为:东经 $106^{\circ}00' \sim 109^{\circ}00'$, 北纬 $43^{\circ}30' \sim 44^{\circ}40'$, 面积约 0.50 万 km^2 。

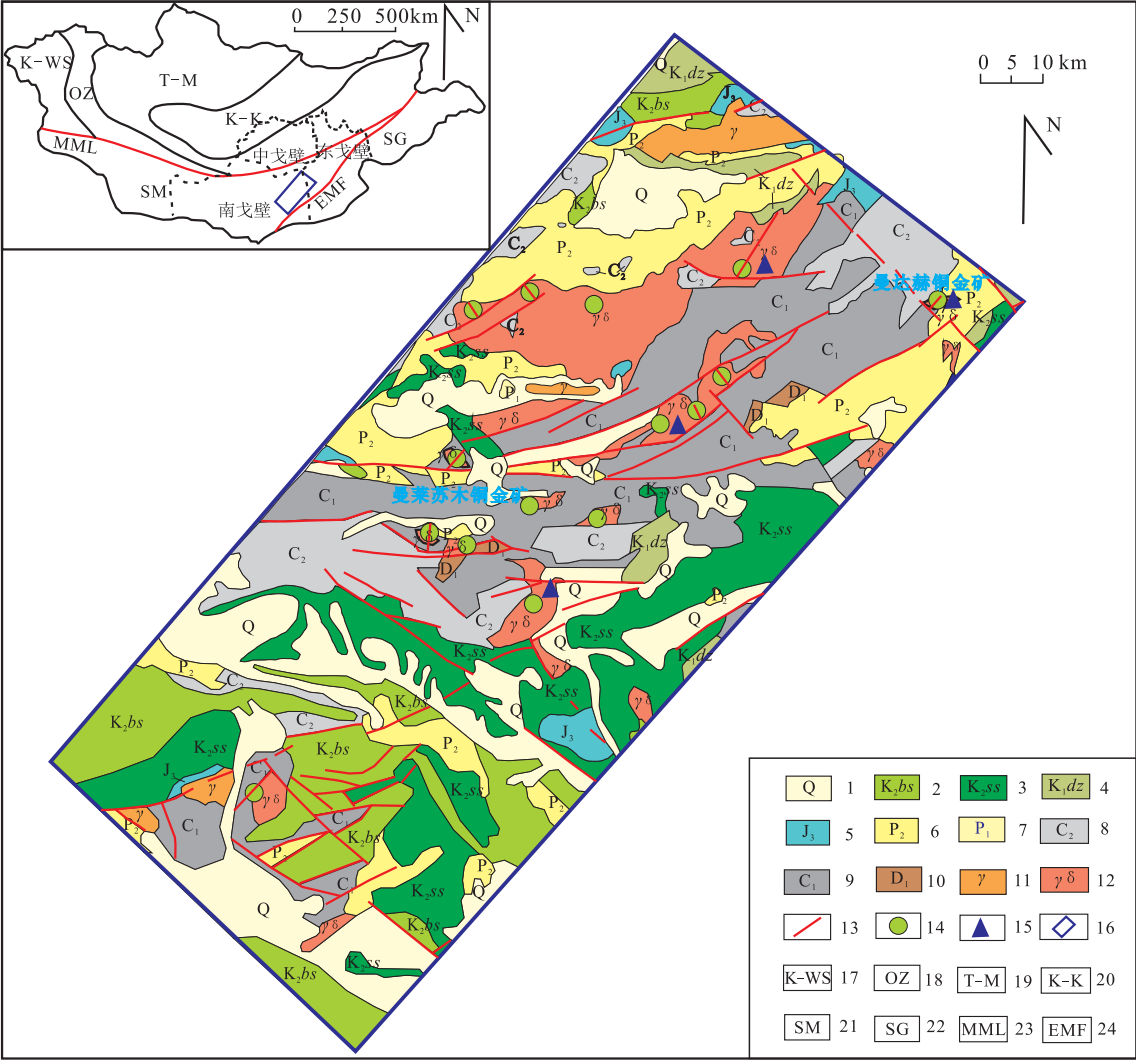
区内出露的地层主要有泥盆系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系、第四系(图 1)。其中,泥盆系主要由海相安山质-英安质-流纹质熔岩与凝灰岩及深海相硅质岩、碧玉岩及凝灰质砂页岩所组成,局部夹碳酸盐岩;石炭系由玄武质-安山质-流纹质熔岩与凝灰岩及砂岩、粉砂岩所组成;二叠系由陆相偏碱性

基性火山岩、正常系列的中性-酸性火山岩与砂页岩所组成;侏罗系由陆相磨拉石建造、含煤碎屑岩建造及陆相中性-酸性熔岩与火山碎屑岩所组成;白垩系为红色陆源碎屑岩、页岩及含有机质页岩等;第四系为河谷冲积层,在高山区为冰川和冰水沉积物,局部为风成黄土及富含砂金的河流相沉积物、沼泽及湖相沉积物。

在区域构造上,曼莱-曼达赫铜金矿区带处于蒙古中央大断裂(MML 蒙古主线性构造)南侧,蒙东断裂(EMF)北西侧。区内断层与次级裂隙发育,多为东西向、北东向和北西向断层及次级裂隙。山前断裂带从矿区中部贯穿全区,走向近东西,以发育断层三角面及次级东西向与北东向断裂(大冲沟)为最大特征,断裂面倾向南东或南西,倾角为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。矿区中南部多见东西向断裂构造蚀变破碎带与含铜石英脉。蚀变带宽一般 $1 \sim 3 \text{ m}$ (含铜石英脉宽 $5 \sim 15 \text{ cm}$),长一般 $10 \sim 200 \text{ m}$ (个别达 900 m)。北部多见东西向和北东向断裂构造蚀变破碎带和含铜石英脉。含铜石英脉带宽一般为 $2 \sim 5 \text{ m}$,长一般为 $10 \sim 200 \text{ m}$ (个别长达 4 km)。

从区域上看,北西和东西向断层起到控岩、控矿作用,北东和北西向断层是最为重要的导矿和容矿构造,其交汇部位多形成工业矿体。

区内晚古生代的火山活动特别强烈,二叠-石炭纪火山岩形成了东西长达 1400 km 、宽约 $60 \sim 140 \text{ km}$ 南蒙古火山岩带。该火山岩带向南,由陆相火山碎屑岩渐变为滨海相火山-沉积岩系,形成宽阔的火山盆地。区内侵入岩分布广泛,以中二叠世-晚石炭世花岗岩、花岗闪长岩以及晚石炭世花岗闪长岩为主,总体上呈弧形展布,由近东西向、北东东向,转向北东向,明显受弧形断裂带所控制。



1. 第四系;2. 上白垩统红色陆源碎屑岩;3. 上白垩统泥质灰岩;4. 下白垩统页岩、有机质页岩;5. 上侏罗统陆相磨拉石建造、含煤碎屑岩建造及陆相中性-酸性熔岩与火山碎屑岩;6. 上二叠统砂页岩;7. 下二叠统陆相偏碱性基性火山岩、中性-酸性火山岩;8. 中石炭统玄武质-安山质-流纹质熔岩;9. 下石炭统凝灰岩、砂岩、粉砂岩;10. 下泥盆统海相安山质-英安质-流纹质熔岩、凝灰岩、深海相硅质岩、碧玉岩、凝灰质砂页岩,局部夹碳酸盐岩;11. 浅色花岗岩;12. 花岗闪长岩;13. 断层;14. 铜金矿床(点);15. 采样点位置;16. 研究区范围;17. 哈尔克仁-西赛彦构造单元;18. 扎纳亚构造单元;19. 图瓦-蒙古构造单元;20. 杭盖-恒特构造单元;21. 南蒙古构造单元;22. 南戈壁构造单元;23. 蒙古主线性构造;24. 蒙东断裂

图 1 曼莱-曼达赫成矿带地质图

Fig. 1 Geological map of Manley - Mandah metallogenic belt

2 区域成矿特征

区内典型矿床主要包括曼莱苏木铜金矿床和曼达赫铜金矿床。矿体主要赋存于花岗闪长岩、花岗闪长岩与碳酸盐岩接触带以及深大断裂构造带的次级节理裂隙中。矿体出露宽从几米到四五十米不等,长约几米到几百米。矿化主要有孔雀石化、褐铁

矿化、黄铜矿化和黄铁矿化等,孔雀石多分布在石英脉内或裂面上,系黄铜矿等风化产物;黄铁矿和黄铜矿呈脉状与浸染状产于石英脉内及蚀变围岩(蚀变花岗闪长岩和火山岩)中,往往呈氧化残余体产出;褐铁矿化系硫化物氧化而成,常呈脉带状展布,和金矿关系密切。

矿体类型有石英脉型、斑岩型及构造蚀变岩型 3 种。

石英脉型:主要分布于成矿带中南部蚀变花岗闪长岩中。地表含铜石英脉带见于浅灰白-肉红色花岗闪长岩中。单条含铜石英脉宽5~20cm,长约十几米、几十米,走向近东西,倾向南,倾角多直立,脉中多见褐铁矿化、孔雀石化、赭石化、铁染等蚀变现象,局部孔雀石化较强,偶见黄铜矿残余。肉红色花岗闪长岩中,呈原地风化残留堆积物。单条含铜石英脉宽5~20cm,长约十几米、几十米,走向近东西,倾向南,倾角多直立,脉中多见褐铁矿化、孔雀石化、赭石化、铁染等蚀变现象,局部孔雀石化较强,偶见黄铜矿残余。

区内共圈出7条铜金矿体,整体上呈近东西向脉带状产出。矿体水平厚度1.15~11.90m,长几十米,个别长约二百米;矿石矿物主要有孔雀石、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、蓝铜矿、自然金等;矿石构造多为细网脉、浸染状;矿石Cu品位为 1.35×10^{-2} ~ 6.32×10^{-2} ,Au品位为 2.4×10^{-6} ~ 13.7×10^{-6} 。

斑岩型:主要分布于成矿带西南部黄铁绢英岩化花岗闪长岩脉中。蚀变矿化脉岩宽为5~10m,长约900m,走向近东西向。矿石矿物以黄铜矿、孔雀石为主,黄铜矿及孔雀石呈微细粒浸染状均匀分布在蚀变花岗闪长岩内,具有明显的分带现象。矿物粒度较细,肉眼难见黄铜矿颗粒;孔雀石肉眼观察比较明显。品位相对较低,Cu品位为 0.55×10^{-2} ~ 1.16×10^{-2} ,Au品位为 0.1×10^{-6} ~ 0.3×10^{-6} 。

构造蚀变岩型:主要分布在成矿带北部外接触带安山质凝灰岩内,受断裂构造控矿,以断裂蚀变岩型金矿为主。规模较大的蚀变岩型金矿脉有6条,呈近东西向平行展布。最大识别特征是强硅化,因氧化呈灰褐-褐红色(强褐铁矿染)突出地表,矿脉两侧发育构造片岩。矿脉一般宽约1~2m,局部可达30m,长一般几百米至4000m不等,倾向南,倾角为 60° ~ 70° 。矿石Au品位为 2.8×10^{-6} ~ 12.1×10^{-6} ,矿化连续性较差。

矿石主要金属矿物为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、自然金、蓝铜矿、孔雀石和褐铁矿等。脉石矿物为斜长石、钾长石、石英、绿泥石、绢云母和方解石。

原生矿石主要为黄铜矿和黄铁矿,其次为辉钼矿、斑铜矿、磁黄铁矿和自然金等。其中,黄铜矿和黄铁矿主要分布在石英细脉中,辉钼矿一般富集在

石英细脉和石英-绢云母细脉中。

在氧化带,矿石结构主要有溶蚀结构、交代残余结构、残余结构等,矿石构造有细脉浸染状、土状、皮壳状和胶状等;原生矿石主要为他形粒状结构,偶见半自形粒状结构和交代结构。在交代结构中,可分为溶蚀结构、交代残余结构和花边结构。矿石构造主要为细脉浸染状、细脉状和浸染状。

围岩蚀变主要有硅化、绢英岩化、高岭土化、伊利石化、碳酸盐化和赭石化。硅化常呈带状分布;碳酸岩化常呈脉状出现;岩体和地层接触带多发育角岩化及绿泥石化、绿帘石化、高岭土化、伊利石化和碳酸盐化等类青磐岩化。

2.1 铜金矿化主体产于蚀变花岗闪长岩内

在曼莱-曼达赫铜金成矿带内,发现石英脉型、斑岩型和构造蚀变岩型铜金矿化,矿化主体石英脉型和斑岩型均产于花岗闪长岩体内(图2),受断裂构造蚀变带与绢英岩化带的控制,蚀变花岗闪长岩呈面型分布,以细脉-浸染型矿石构造为主。地表铜金矿体多产于花岗闪长岩中。

蚀变花岗闪长岩为主要容矿围岩。这表明花岗闪长岩体侵入为铜金矿化提供了成矿物质、成矿热液所需的热力及流-岩反应的动力。区内矿化分布主要受花岗闪长岩株的控制,而与地层围岩没有明显的选择性。

2.2 近东西向华力西期区域构造控制成岩成矿

近东西向区域断裂带控制了区内含矿花岗闪长岩株及铜金矿床的分布,次级近东西向断裂及其派生的北东向与北东向裂隙控制了铜金矿体的分布。

区内火山岩时代为石炭-二叠纪,据BLIGHT等(2010)对曼达赫地区花岗闪长岩及其火山岩围岩锆石U-Pb定年,区内花岗闪长岩及其火山岩围岩等形成年龄均为330Ma左右。因此,侵入其中的花岗闪长岩株为华力西期。研究表明,华力西期钙-碱性花岗闪长岩与锌、铜(金)和铜(钼)矿床(点)具有密切时空分布关系(KIRWIN et al., 2005a, 2005b),整个东准噶尔-东天山-南戈壁-东乌旗成矿带上,晚古生代泥盆纪-二叠纪是铜金成矿带的成矿高峰期之一(聂凤军等,2004)。因此,曼莱-曼达赫铜金成矿带将具有大型以上的铜金找矿前景。



a. 石英脉型; b. 斑岩型; c. 构造蚀变岩型

图 2 曼莱-曼达赫成矿带矿体类型图

Fig. 2 The deposit types of Manley - Mandah metallogenic belt

3 岩石地球化学特征

3.1 岩石化学特征

本次采集了区内代表性的花岗闪长岩样品 4 件(图 2), 颜色为灰色, 半自形粒状结构, 似斑状结构。岩石主要由斜长石、石英、钾长石和黑云母组成。其中, 斜长石占 50%~60%, 灰白色, 半自形板状, 大小为 0.2~4 mm; 石英占 25%~30%, 灰色, 他形粒状, 大小为 0.5~4 mm; 钾长石占 15%~20%, 肉红色, 半自形板柱状, 大小为 0.2~3 mm; 黑云母占 3%~5%, 黑色, 片状, 大小为 0.2~3 mm。主量元

素分析见表 1。

数据处理采用 TAS 图解投影, 先剔除 H₂O 及 CO₂, 去掉挥发分后, 以 100% 重新计算各氧化物含量, 再进行 TAS 图解投影, 并进行分类命名。图 3 为全碱-硅图解(TAS)分类命名和投影对照图。从图 3 中可知研究区花岗闪长岩均投在石英闪长岩-花岗闪长岩区域中。

从表 1 中可以看出, 本区花岗闪长岩化学成分与中国花岗闪长岩平均值相比具有 Fe₂O₃、MgO、K₂O 高, SiO₂ 相当, TiO₂、Al₂O₃、CaO、Na₂O 低的特点。研究区花岗闪长岩 SiO₂ 的质量分数为 61.30%~67.20%, 平均为 64.93%, 为中酸性-酸性岩。通过

表 1 研究区侵入岩主量元素分析结果表

Tab. 1 Major elements for intrusions in the study area

序号	采样位置	岩性	岩石化学成分(%)											特征参数		
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOi	Sum	σ	Ar
1	ZK15701	花岗闪长岩	67.20	0.35	14.40	4.82	0.06	1.73	2.88	3.39	3.75	0.12	1.01	99.71	2.10	2.41
2	ZK16401	花岗闪长岩	66.00	0.38	14.70	4.49	0.06	1.93	3.14	3.46	3.59	0.14	1.94	99.83	2.16	2.31
3	d702	花岗闪长岩	65.20	0.47	15.20	5.56	0.02	2.14	1.02	3.51	3.70	0.23	2.20	99.25	2.34	2.60
4	d1343	花岗闪长岩	61.30	0.56	15.30	6.58	0.10	3.57	4.65	3.14	3.02	0.24	1.23	99.69	2.07	1.89
5	1-4 花岗闪长岩平均		64.93	0.44	14.90	5.36	0.06	2.34	2.92	3.38	3.52	0.18	1.60	99.62	2.17	2.30
6	中国花岗闪长岩平均 (据黎彤等, 1962)		64.98	0.52	16.33	1.89	0.09	1.94	3.70	3.67	2.95	0.32				

注: 样品分析单位: SGS Mongolia LLC(SGS 通标标准测试技术服务公司蒙古公司); LOi 烧矢量; 特征参数 σ 里特曼指数((K₂O+Na₂O)²/(SiO₂-43)), 若里特曼指数<3.3 称为钙碱性岩, 3.3~9 称为碱性岩, >9 称为过碱性岩; AR 碱度率(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)/((Al₂O₃+CaO)-(Na₂O+K₂O))在 K₂O/Na₂O=1~2.5 时, (K₂O+Na₂O)用 2Na₂O 计算。

里特曼-戈蒂里图解(图 4)可以看出,样品点均落在 B 区,说明研究区花岗闪长岩形成于岛弧环境。通过计算花岗闪长岩里特曼指数为 2.07~2.34,并且在 AR-SiO₂图解中样品均落入钙碱性区域(图 5),可以判断研究区花岗闪长岩属钙碱性系列。

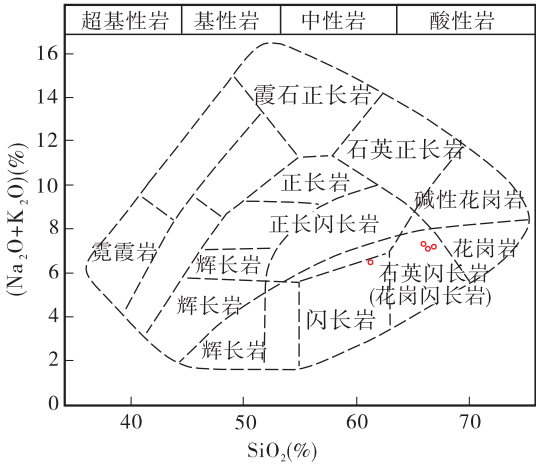


图 3 研究区花岗闪长岩的 TAS 分类图解
Fig. 3 TAS diagram of granodiorite porphyry of the study area

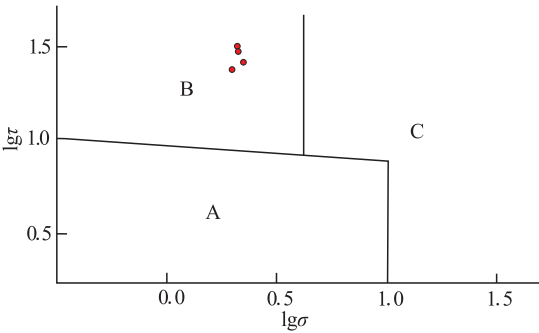


图 4 研究区花岗闪长岩的里特曼-戈蒂里图解
Fig. 4 Rittmann - Gottirry diagram of granodiorite porphyry in the study area

3.2 岩石微量元素特征

本次对曼莱-曼达赫铜金成矿带中的花岗闪长岩样品开展了微量元素含量分析,分析结果列于表 2。按照原始地幔的微量元素含量对研究区内花岗闪长岩分析数据进行标准化成图,从生成的微量元素蛛网图(图 6)中发现,大部分元素相对原始地幔都表现出不同程度富集。如 Rb、Th、U 为原始地幔含量

的 100 多倍,而 Nb、Ta、Ti 等元素则表现出相对亏损。这些元素的亏损与岩浆熔融的残留相中有金红石的出现有关。微量元素配分曲线呈明显的右倾型,反应了微量元素含量与其相容程度呈现出同步下降的趋势,也暗指岩浆经历了结晶分异的演化作用。

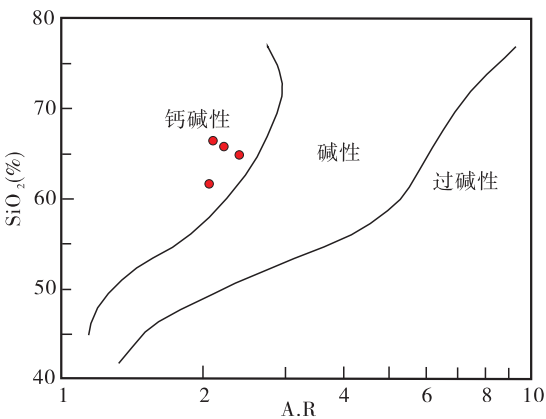


图 5 研究区花岗闪长岩 SiO₂-AR(碱度率)图解
Fig. 5 SiO₂-AR(alkalinity ratio) diagram of granodiorite porphyry in the study area

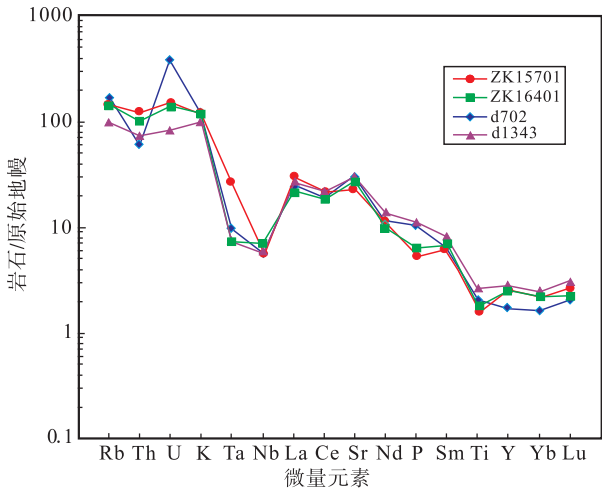


图 6 原始地幔标准化微量元素蛛网图
Fig. 6 Primitive mantle normalized trace element spider diagram

3.3 岩石稀土元素特征

稀土元素作为一种重要的地球化学指示剂,在研究区内花岗闪长岩体的成因、演化及含矿性等方面有重要的意义。研究区花岗闪长岩稀土元素的平均值含量见表 3。由表 3 中可知,花岗闪长岩稀土元素总量(ΣREE)较低,介于 $89.75 \times 10^{-6} \sim 107.10 \times 10^{-6}$,平均为 97.47×10^{-6} 。(La/Yb)_N 为 8.94~13.75,

表 2 研究区侵入岩微量元素含量表(10^{-6})
Tab. 2 Trace elements for intrusions of the study area(10^{-6})

样品编号	岩石名称	Mo	Pb	Au	Ni	Co	Nb	U	Bi	Ta	Th	Sr	Sb	Rb	Y
ZK15701	花岗闪长岩	<2	10	<0.01	20	9.1	4	3.16	<0.1	1.1	10.4	491.0	0.201	91.7	11.5
ZK16401	花岗闪长岩	<2	12	<0.01	20	10.5	5	2.91	0.1	0.3	8.6	562.0	0.721	91.0	11.5
d702	花岗闪长岩	6	7	0.37	20	8.6	4	8.15	0.7	0.4	5.3	631.0	1.960	107.0	7.8
d1343	花岗闪长岩	<2	7	<0.01	40	19.2	4	1.76	0.2	0.3	6.4	626.0	0.481	61.8	13.0

表 3 研究区侵入岩稀土元素含量表(10^{-6})
Tab. 3 REE for intrusions of the study area(10^{-6})

样品编号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
ZK15701	花岗闪长岩	20.5	39.5	3.86	14.9	2.70	0.85	3.00	0.27	2.16	0.47	1.21	0.11	1.10	0.20	11.5
ZK16401	花岗闪长岩	15.2	33.0	3.64	13.5	3.10	0.83	3.12	0.24	2.57	0.40	1.22	0.16	1.10	0.17	11.5
d702	花岗闪长岩	17.0	35.3	3.62	15.8	2.80	0.92	3.06	0.32	2.16	0.23	0.64	0.10	0.80	0.15	7.8
d1343	花岗闪长岩	17.8	39.2	4.10	18.0	3.60	1.13	3.86	0.35	2.73	0.54	1.24	0.12	1.20	0.23	13.0
区内平均		17.6	36.7	3.80	15.6	3.05	0.93	3.26	0.30	2.40	0.41	1.08	0.12	1.05	0.19	11.0
世界平均 (维氏值, 1962)		60.0	100.0	12.00	46.0	9.00	1.50	9.00	2.50	6.70	2.00	4.00	0.30	2.20	0.26	23.0

平均为 11.09, 指示轻重稀土元素分馏较明显。通过球粒陨石标准化后得到稀土元素分配曲线图(图 7), 从图 7 中可知区内各岩石类型的稀土元素特征相似, 曲线形态均表现为右陡倾, 表明轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, 与 LREE/HREE 值结果(3.38~4.94, 平均为 4.01)相符。其中, 轻稀土元素相对陡倾, 重稀土元素相对缓倾, 表明轻稀土元素的分馏

程度要高于重稀土元素。另外, δEu 为 0.81~0.96, 平均为 0.91, Eu 无明显负异常, Tb 负异常明显。这些特征与造山型安山岩的高钾安山岩的特征相近。本区大面积出露安山岩, 因此有可能花岗闪长岩与安山岩为同源。

4 讨论

岩石化学特征、微量元素和稀土元素地球化学特征表明, 本区含矿花岗闪长岩具有岛弧背景下埃达克质岩特征。

(1) 4 件花岗闪长岩样品在 $\text{Sr/Y}-\text{Y}$ 图解中均落入埃达克岩区(图 8)(DEFANT et al., 1990)。

(2) 高 Si($\text{SiO}_2 \geq 56\%$, 61.3%~67.2%), 高 Al($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, 14.4%~15.3%), 贫 Mg($\text{MgO} < 3\%$, 1.73%~3.57%), 高 Sr($\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$, $491 \times 10^{-6} \sim 631 \times 10^{-6}$), 低 Yb($\text{Yb} < 1.9 \times 10^{-6}$, $0.8 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$), 低 Y($\text{Y} < 18 \times 10^{-6}$, $7.8 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$), 高 Sr/Y ($\text{Sr/Y} > 20 \sim 40$, 42.7~80.9), 亏损重稀土(ΣHREE 为 $15.26 \times 10^{-6} \sim 23.27 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 3.38~4.94, $(\text{La/Yb})_{\text{N}}$ 为 8.94~13.75), 无明显负 Eu 异常(δEu 值为 0.81~0.96)。

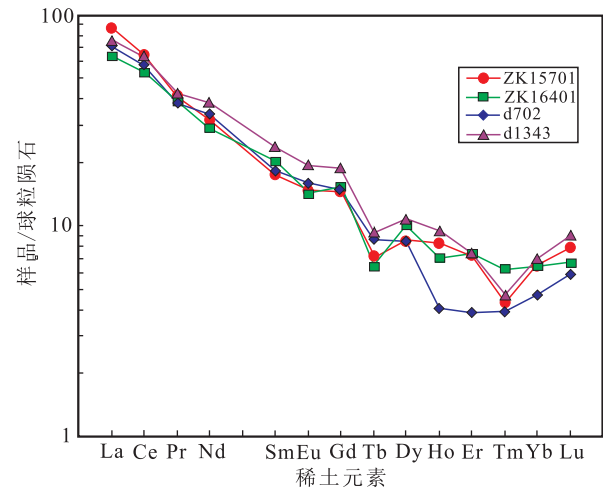


图 7 稀土元素配分模式图

Fig. 7 Normalized abundance patterns (NAP) of trace rare earth elements

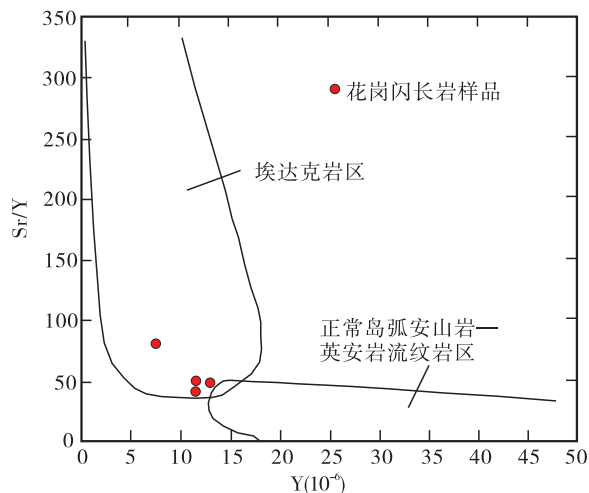


图8 研究区花岗闪长岩的Sr/Y-Y图解
(据DEFANT等,1990)

Fig. 8 Plot of Sr/Y versus Y for the host rocks of the study area

(3) La_N/Yb_N 平均值为11.09,高于埃达克质岩深成岩的 La_N/Yb_N 的平均值11。

中国斑岩型铜(金、钼)矿床多数被认为与埃达克质岩(张旗等,2004;杨建国等,2012)有关,中亚-蒙古成矿域的与埃达克岩有关的斑岩铜多金属矿床有:蒙古国中部的Erdenet超大型斑岩铜钼矿(MOROZUMI,2003)和欧玉陶勒盖铜金矿、多宝山、公婆泉等一系列铜金矿床等。目前,埃达克质岩作为斑岩型铜金钼矿的重要找矿标志已形成共识。因此,区内花岗闪长岩-埃达克质岩对大型Cu-Au矿床的形成具有重要意义,可作为曼莱-曼达赫地区寻找大型铜金矿的重要依据。

5 结论

(1)曼莱-曼达赫铜金成矿区带处于南蒙古斑岩型铜多金属成矿带中部,产于石炭纪—二叠纪火山—侵入杂岩内,发育有石英脉型、斑岩型和构造蚀变岩型铜金矿体,主矿体产于蚀变花岗闪长岩中。

(2)岩石地球化学研究表明,含矿花岗闪长岩株具有岛弧背景下埃达克质岩石特征,与铜金矿化具有成因上和时空上的密切关系。

(3)近东西向区域构造控制了成矿成矿作用。基于区域成矿学研究,认为本区具有寻找大型斑岩型铜金矿的找矿前景。

参考文献(References):

- 方俊钦,聂凤军,徐备,等. 蒙古国欧玉陶勒盖斑岩型铜(金)矿田的找矿新进展[J]. 地质科技情报, 2013, 32(5): 188-194.
- FANG Junqin, NIE Fengjun, XU Bei, et al. Prospecting Progress of the Oyu Tolgoi Porphyry Copper-Gold Ore-field in Mongolia[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(5): 188-194.
- 方维萱,杨社锋,刘正桃,等. 蒙古查干苏布尔加(Tsagaan Suurga)大型斑岩型铜钼矿床含矿蚀变岩常量、微量和稀土元素地球化学特征及意义[J]. 中国稀土学报, 2007, 25(1): 85-94.
- FANG Weixuan, YANG Shefeng, LIU Zhengtao, et al. Geochemical characteristics and significance of major elements, trace elements and REE in mineralized altered rocks of large scale Tsagaan Suurga Cu-Mo porphyry deposit in Mongolia[J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2007, 25(1): 85-94.
- 郭百创,于宝显,张帅,等. 蒙古国玛达特地区铜钼及铅锌银矿矿床成因类型探讨[J]. 西北地质, 2013, 46(1): 130-138.
- GUO Baichuang, YU Baoxian, ZHANG Shuai, et al. Discussion on the Genetic Type of Cu-Mo and Pb-Zn-Ag Deposits of the Madate Area in Mongolia[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(1): 130-138.
- 洪大卫,王式洸,谢锡林,等. 试析地幔来源物质成矿域—以中亚造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 41-55.
- HONG Dawei, WANG Shiguang, XIE Xilin, et al. Metallogenic Province Derived from Mantle Sources: A Case Study of Central Asian Orogenic Belt[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(1): 41-55.
- 侯万荣,聂凤军,江思宏,等. 蒙古国查干苏布尔加大型铜-钼矿床地质特征及成因[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 307-320.
- HOU Wanrong, NIE Fengjun, JIANG Sihong, et al. The Geology and Ore-forming Mechanism of the Tsagaan Suurga Large-size Cu-Mo Porphyry Deposit in Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3): 307-320.
- 黄崇轲,白治,朱裕生. 中国铜矿床[M]. 北京:地质出版社, 2001, 1-198.
- HUANG Chongke, BAI Ye, ZHU Yusheng. The porphyry copper deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001, 1-198.
- 江思宏,聂凤军,苏永江,等. 蒙古国额尔登特大型铜-钼矿床年代学与成因研究[J]. 地球学报, 2010, 31(3):

289-306.

- JIANG Sihong, NIE Fengjun, SU Yongjiang, et al. Geochronology and Origin of the Erdenet Superlarge Cu - Mo Deposit in Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(3):289-306.
- 刘益康,徐叶兵. 蒙古 Oyu Tolgoi 斑岩铜金矿的勘查[J]. 地质与勘探, 2003, 39(1):1-4.
- LIU Yikang, XU Yebing. The prospecting and main features of Oyu Tolgoi porphyry Cu - Au deposit in Mongolia[J]. *Geology and Prospecting*, 2003, 39(1):1-4.
- 聂凤军,江思宏,张义,等. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2004, 23(2):176-189.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, ZHANG Yi, et al. Geological Features and Origin of Porphyry Copper Deposits in China-Mongolia Border Region and Its Neighboring Areas[J]. *Mineral Deposits*, 2004, 23(2):176-189.
- 杨建国,王小红,谢燮,等. 东天山—北山地区埃达克岩与斑岩型铜、金、钼矿床研究现状综述[J]. 西北地质, 2012, 45(2):65-72.
- YANG Jianguo, WANG Xiaohong, XIE Xie, et al. A Review of Adakitic Rocks and Their Relationship with the Porphyry Cu(- Au - Mo) Deposits in East Tianshan-Beishan Area, China[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(2):65-72.
- 王伟,刘继顺,成功. 蒙古国南部曼莱苏木铜金矿区地质特征与找矿远景研究[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30(2):215-220.
- WANG Wei, LIU Jishun, CHENG Gong. Geological Characteristics Prospecting Analysis of Manlay Cu - Au Mineralization Zone in the South Mongolia[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resource Research*, 2015, 30(2):215-220.
- 张旗,秦克章,王元龙,等. 加强埃达克岩研究,开创中国 Cu、Au 等找矿工作的新局面[J]. 岩石学报, 2004, 20(2):195-204.
- ZHANG Qi, QIN Kezhang, WANG Yuanlong, et al. Study on adakite broadened to challenge the Cu and Au exploration in China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2):195-204.
- 张义,聂凤军,江思宏. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜-金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. 地质通报, 2003, 22(9):708-712.
- ZHANG Yi, NIE Fengjun, JIANG Sihong. Discovery of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold deposits along the Sino-Mongolia border and its significance for further mineral exploration[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(9):708-712.
- 朱明帅, ANAAD C, BAATAR M, 等. 蒙古国查干苏布尔加和苏廷铜矿容矿斑岩体 SHRIMP 锆石 U - Pb 年龄[J]. 地质通报, 2015, 34(4): 188-194.
- ZHU Mingshuai, ANAAD C, BAATAR M, et al. SHRIMP zircon U - Pb dating of Tsagaan Suvarga and Shuteen porphyry copper deposits: Constraints on metallogenic time and tectonic setting of porphyry-type mineralization in South Gobi, Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(4): 188-194.
- BLIGHT J H S, CROWLEY Q G, PETTERSON M G, et al. Granites of the Southern Mongolia Carboniferous Arc: New geochronological and geochemical constraints[J]. *Lithos*, 2010, 116:35-52.
- DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere[J]. *Nature*, 1990, 347:662-665.
- KIRWIN D J, FORSTER C N, KAVALIERIS I, et al. The Oyu Tolgoi copper-gold deposit, South Gobi, Mongolia [A]. SELTMANN R, GEREL O, KIRWIN D J(eds). *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits*[C]. London: IAGOD Guidebook Series 11, 2005a:155-174.
- KIRWIN D J, WILSON C C, TURMAGNAI D, et al. Exploration history, geology, and mineralization of the Kharmagtai gold-copper porphyry district, South Gobi region, Mongolia [A]. SELTMANN R, GEREL O, KIRWIN D J(eds). *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits*[C]. London: IAGOD Guidebook Series 11, 2005b:175-191.
- MOROZUMI H. Geochemical characteristics of granitoids of the Erdenet Porphyry copper deposit, Mongolia[J]. *Resource Geology*, 2003, 53(4):311-316.
- WATANABE Y, STEIN H J. Re - Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu - Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications[J]. *Economic Geology*, 2000, 95(7):1537-1542.