

北大山野茈里镁铁-超镁铁岩体母岩浆成分及其成因分析

鲁浩, 焦建刚, 段俊

长安大学地球科学与资源学院, 西安, 710054

北大山隆起带位于阿拉善地块西南缘, 大地构造位置属于华北板块西南边缘, 南邻龙首山隆起带, 北部为巴丹吉林沙漠。北大山与龙首山类似以古元古代变质岩为基底, 地层以前长城系为主, 震旦纪零星分布, 缺失下古生界, 石炭纪、侏罗纪和白垩纪沿隆起区边缘及山间盆地分布。区内岩浆活动强烈, 岩浆岩广泛出露, 有加里东晚期侵入岩、海西期侵入岩以及喷出岩。以海西期侵入岩为主, 包括基性-超基性岩、闪长岩、石英二长岩、花岗岩、钾长花岗岩等一系列侵入岩 (赖新荣, 2007)。龙首山以产出金川铜镍矿而著名, 而北大山目前还没有发现大规模成矿作用。野茈里镁铁-超镁铁岩侵位于北大山隆起带, 目前已经发现一定规模的铁矿床, 超镁铁质岩体下部有铜镍矿化 (李文渊等, 2004; 焦建刚等, 2006)。野茈里岩体在岩石特征、化学成分特征及含矿性方面与金川、喀拉通克、黄山等超镁铁质岩体有一定的相似性, 可能对寻找铜镍矿具有一定的潜力。

野茈里岩体在地表呈半月形, 其走向近于南北, 倾向东, 呈岩株状。岩体规模比较小, 出露面积为 4.9km² (闫海卿等, 2005)。岩体自东南向西北由深部侵入于前寒武纪片麻状斜长花岗岩体中, 北部遭到红山窑钾长花岗岩的入侵, 接触带附近的岩石被混染交代, 出现钾长石, 颜色变为暗红色。岩体分异较好, 从岩体内部到边缘, 斜长石由拉长石渐变为中长石; 橄榄石和辉石逐渐减少, 角闪石和斜长石逐渐增加。岩石由基性的角闪辉长岩过渡到中性的闪长岩。岩体内部比较复杂, 中性岩与基性岩常交错出现。从岩相接触关系上来看, 辉长岩与闪长岩为渐变过渡关系, 辉石岩晚于辉长岩, 橄榄岩类晚于辉石岩。超基性岩以含长辉石橄榄岩为

主, 其次有含辉橄榄岩、辉石橄榄岩、橄榄辉石岩、辉石岩, 基性岩主要为次闪石化辉长岩、透闪石化辉长岩, 其次为辉长辉绿岩、次闪石化辉长岩, 围岩主要为斜长角闪岩和混合花岗岩。

野茈里岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $286 \pm 3.8\text{Ma}$ (MSWD=0.66), $\text{SiO}_2=41.69\% \sim 51.68\%$, $\text{MgO}=7.0 \sim 40.38\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=2.71 \sim 26.36\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=0.13 \sim 2.33\%$, $\text{Mg}^\#$ 为 76.4~86.4, m/f 介于 3.17~6.25 之间, 属于铁质超基性岩。稀土元素总量较低, 辉长岩 $\Sigma \text{REE}=4.412 \times 10^{-6} \sim 70.896 \times 10^{-6}$, 球粒陨石标准化配分曲线表现为轻稀土略富集的右倾型, 但轻、重稀土内部分馏较弱, $\delta \text{Eu}=0.844 \sim 1.890$ 平均为 1.168, 具正铕异常, 与样品中含大量基性斜长石一致。样品富集 Cs、Ba、Rb、Sr 等大离子亲石元素, 相对亏损 Nb、Ta、Zr、Hf 高场强元素, Ni 显示负异常。岩体 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.705949~0.708153, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为 1.0~2.64 ($t=287\text{Ma}$), 表明源区可能为亏损地幔, 并且岩浆在上升过程中受到一定的陆壳物质混染。

岩体的主量、微量和同位素均可作为探讨岩体源区特征的依据, 特别是同位素在岩体的演化过程中保持不变, 是很好的示踪剂。不相容元素因相似的分配系数, 其比值不受分离结晶作用的影响, 并且在地幔部分熔融过程中变化很小, 因而也可以用来指示源区的特征。

野茈里岩体的矿物化学特征及同位素特征表明其来源于亏损地幔。橄榄石的成分主要与母岩浆的 MgO/FeO 比值、Ni 的含量及岩浆结晶分异作用有关, Mg-Fe 在橄榄石-熔体之间的分配系数为 $\text{KD}=0.3 \pm 0.03$, 可以利用橄榄石-熔体平衡原理估算进入岩浆房中母岩浆的 MgO 含量。以岩体中橄榄石 MgO 含量最高的 $\text{Fo}=88.6$, KD 取 0.3, 推算与其共存熔体 $\text{MgO}/\text{FeO}^*=1.293$, 根据质量平衡原理,

计算出野苳里岩体母岩浆 MgO 和 FeO* 分别为 13.8% 和 10.7%，由于早期橄榄石结晶后与隙间熔体之间发生了再平衡或者橄榄石内部的物质扩散造成了橄榄石 Fo 的降低，另外岩浆在上升过程中不可避免会混染地壳物质，因此经过模拟得到的成分可能仅代表遭受混染之后的岩浆成分，实际母岩浆中 MgO、FeO 可能更高，因此野苳里岩体的母岩浆应为高镁玄武质岩浆。根据母岩浆 MgO 含量，选择基性程度最高、具有橄榄石堆晶且尽量少的辉石结晶的样品的全岩分析值，结合橄榄石和熔体之间 Fe-Mg 分配系数以确定橄榄石的结晶比例，进而计算母岩浆中的其他主量元素组成(Li et al., 2010)。如果将母岩浆看做原始地幔的部分熔融产物，依据 Niu(1997) 提出的经验公式 $F=0.03249 \cdot \omega(\text{MgO})_{\text{melt}}-0.234$ ，可以粗略估算出野苳里岩体地幔部分熔融程度为 21.4%，程度较高。

研究显示野苳里岩体经历了地壳混染作用，Sr-Nd 同位素特征，轻稀土略富集，Rb、Sr 正异常、亏损 Nb、Ta 等特征都表明岩体在形成时可能受到一定程度的地壳混染。根据 Neal 等人提出的利用 $(\text{Th}/\text{Ta})_{\text{PM}}-(\text{La}/\text{Nb})_{\text{PM}}$ 值判断，野苳里岩体在形成时主要受到上地壳物质的混染。以 N-MORB 的成分代表地幔源区特征，分别与上、中、下地壳成分进行混染模拟同样显示野苳里岩体在形成时受到中上地壳物质的混染。对于地幔岩浆经历的地壳混染程度，应用 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)-(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 关系图，根据同位素质量平衡模型进行模拟，显示野苳里岩体的地壳混染或壳源流体加入程度约占 3% 左右。

利用 MELTS 软件可以对岩浆演化过程进行模拟，根据上述计算得到的母岩浆成分和软件平衡液相后给出的初始状态下的温度(1332℃)，压力按照 1 kPa 的前提下，进行模拟演化，岩浆在 1332℃ 之前

一直为熔体相，达到 1332℃ 时橄榄石开始结晶，初始 Fo 为 90.64，比真实测定值略高，当温度为 1303℃ 结晶约 3.4% 橄榄石时，Fo 为 88.6，与观测到的最高 Fo 相同。橄榄石持续结晶分异，岩浆为橄榄石和熔体共存；在 1259℃ 时，橄榄石发生 8.13% 的结晶分异时，有少量尖晶石析出；当温度下降到 1250℃ 时，斜方辉石开始结晶，橄榄石继续结晶，此时橄榄石晶体含量达到 9.06%；当温度降至 1210℃ 时，长石开始结晶，岩浆体系为橄榄石、斜方辉石、长石和熔体共存，1203℃ 时，单斜辉石开始结晶，当温度降到 1200℃ 左右时，长石开始大量结晶，岩浆体系平衡遭到破坏。岩浆按照橄榄石、尖晶石、斜方辉石、斜长石、单斜辉石的顺序分离结晶，这样品中观测到的矿物组合与矿物化学成分基本一致。同时在 $(\text{Mg}+\text{Fe})/\text{Ti}-\text{Si}/\text{Ti}$ 摩尔比值图解中，样品点大致沿着斜方辉石与橄榄石控制线分布，说明橄榄石与斜方辉石是岩体的主要组成矿物，岩浆演化过程主要受橄榄石结晶控制，这与 MELTS 模拟结果相吻合。

综上所述，野苳里岩体母岩浆为高镁拉斑玄武岩岩浆，是亏损地幔经过 21.4% 的部分熔融形成的，而且岩浆在上升过程中受到了中上地壳物质混染，混染度大约 3%，岩浆演化过程中发生了橄榄石、尖晶石、斜方辉石、斜长石、单斜辉石的分离结晶，并且在演化过程主要受橄榄石结晶控制。结合岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 $(286 \pm 3.8 \text{Ma})$ $(\text{MSWD}=0.66)$ 及其地球化学特征，初步认为野苳里岩体的形成背景可能与中亚造山带造山后伸展事件有关。

本文为国家自然科学基金资助项目(批准号 41072058)的成果。