青海尕林格矽卡岩铁型多金属矿床交代岩分带特征及成矿岩体研究

于 淼

（中国地质大学（北京） 地球科学与资源学院，北京 100083）

尕林格矽卡岩铁多金属矿床位于青海省西部祁曼塔格成矿带中部。矿床已达大型规模，且全区被第四系覆盖，勘察难度很大。因此研究尕林格矿床成因，对于指导沉积盆地覆盖区找矿工作有着很大意义。矿体处于内接触带花岗闪长岩与滩间山群白云质大理岩产出部位，以及外接触带沿 NWW 向断裂构造破碎带分布的大理岩和蚀变安山岩内。因此尕林格矿床矿化体存在 3 种不同围岩，即蛇纹石化交代岩、蚀变安山岩和石榴子石透辉石矽卡岩。

从侵入接触带往东矿物分带性明显，主要划分为 3 种含矿矽卡岩带：含 Fe 镁质矽卡岩带，含 Fe、Cu 钙质矽卡岩带，含 Fe、Pb、Zn 锰-钙质矽卡岩带。其中镁质矽卡岩带矽卡岩矿物主要包括镁橄榄石及其蚀变矿物蛇纹石、粒硅镁石、透辉石、斜绿泥石，有关的金属矿物主要为磁铁矿、镁磁铁矿；钙质矽卡岩带主要矽卡岩矿物有绿钙闪石、铁阳起石、钙铁辉石、铁叶绿泥石、磷灰石、中长石，有关的金属矿物为磁铁矿、磁黄铁矿和少量黄铜矿；与钙-锰质矽卡岩有关的矽卡岩矿物有锰钙铁辉石、钙铁榴石、钙铝榴石、铁镁绿泥石、绿帘石、硅灰石、磷灰石等，金属矿物有方铅矿、闪锌矿、磁铁矿和磁黄铁矿。通过和中国东部矿床对比，发现锰-钙质矽卡岩带是一种向锰质矽卡岩带过渡的类型，其对于寻找与锰质矽卡岩有关的矿化类型有指导意义。

通过对矿物组合的研究，确定了不同矿物组合的生成关系。如在Ⅳ矿群中，铁阳起石交代绿钙闪石，并和钙铁辉石、铁叶绿泥石共生，产于蚀变安山岩中。Ⅱ矿群蛇纹石主要和斜绿泥石、透辉石共生。而比较复杂的就是Ⅵ矿群，钙铁-钙铝榴石固熔体和透辉石-钙铁辉石固熔体伴生，锰钙铁辉石和硅灰石也很发育，钙铝榴石和绿帘石共生。在Ⅵ矿群变质石英砂岩粉砂岩中发育大量绿帘石，而蚀变安山岩中钙铁辉石、绿帘石、硅灰石、中长石和钠长石共生。

通过矿物组合及镜下观察划分了成矿期次，分为矽卡岩期、退化蚀变期和硫化物期。矽卡岩期又可进一步划分为早期阶段和晚期阶段。不同矿物的生成期次见图。结合 ZK26006 垂向上将矽卡岩划分内带和外带，矽卡岩内带石榴子石化学成分端员以钙铝榴石（$Gro_{67\sim99}$）为主，矽卡岩外带石榴子石化学成分端员以钙铁榴石（$Ad_{78\sim98}$）为主；在横向上从西往东，Ⅱ矿群辉石成分端员以透辉石为主（$Di_{96\sim98}$），Ⅳ矿群辉石成分端员以钙铁辉石为主（$Hd_{68\sim84}$），Ⅵ矿群辉石成分端员以钙铁辉石为主（$Hd_{7\sim58}$）。

尕林格花岗闪长岩体位于尕林格矽卡岩型铁多金属矿床西部，与成矿密切相关。在岩体与围岩接触带附近，岩体蚀变强烈，钾化、钠化、绢英岩化发育。LA-MC-ICP MS 锆石 U-Pb 测年显示尕林格花岗闪长岩体形成于印支期（229 Ma），ZK2404-22 中 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为（229.38±0.79）Ma，ZK16303 中

为（229.51±0.56）Ma，年龄一致，为同期侵入产物。祁漫塔格成矿带内大部分印支期三叠纪花岗岩类年龄接近，结合区域岩体野外观察，中三叠世（229~237 Ma）花岗岩类以普遍发育暗色微粒包体为特征，这充分说明存在着花岗闪长质岩浆和地幔镁铁质岩浆的混合。通过对尕林格花岗闪长岩主微量元素地球化学的研究，尕林格花岗闪长岩体属于准铝质高钾钙碱性系列花岗岩类（I-type），产于主动大陆边缘俯冲板片之上火山岛弧区，为花岗闪长岩向二长花岗岩过渡系列。在稀土元素陨石标准化蛛网图上可以看出尕林格岩体相对富集轻稀土元素，存在弱 Eu 负异常（δEu 0.54~0.83）。微量元素地幔标准化蛛网图显示明显的 Ba、Nb、Pb、Ti.负异常。

锆石 Lu-Hf 同位素分析得出，所有分析点中仅有两个 $\varepsilon_{Hf}(t)$值为正值，分别为 0.21 和 0.20，其余 19 个分析点均为负值（-4.87~-1.13），各分析点对应的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄集中在 229.24~229.86 Ma，二阶段 Hf 模式年龄为（t_{DM2}）为 1248~1571Ma。$\varepsilon_{Hf}(t)$-Age(Ma)显示尕林格花岗闪长岩岩浆主要来自下地壳物质重熔，成岩过程中有少量地幔物质参与。主微量元素和同位素特征充分说明了尕林格花岗闪长岩体是在巴彦喀拉微陆块和东昆仑微陆块主碰撞后的伸展环境下由下地壳部分熔融形成。在后造山阶段（204~237 Ma），祁漫塔格造山带内强烈的岩浆活动和 Fe-Cu-Pb-Zn-Mo 金属矿化密切。

尕林格花岗闪长岩体流体包裹体测温显示斑晶石英内含子晶包裹体中气泡较子晶先消失的包裹体的均一温度更接近原始真实的 *p*、*T* 条件，均一温度 506~558℃，最低捕获压力为 27.82~31.80 MPa，对应的静水压力捕获深度为 2982~3180 m。