

青海省阿什贡含镍矿镁铁-超镁铁岩体形成时代 及其对成矿机制的启示

张照伟^{1, 2)}, 李文渊^{1)*}, 郭周平¹⁾, 王亚磊¹⁾, 高永宝^{1, 2)},
张江伟¹⁾, 李侃¹⁾, 钱兵¹⁾

1)西安地质矿产研究所, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西西安 710054;

2)长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054

摘 要: 通过对阿什贡岩体的野外实地调查, 发现其是由橄榄岩相、辉石岩相、角闪石岩相及辉长岩相组成的镁铁-超镁铁岩体, 并且在辉长苏长岩中发现有原生硫化镍矿体。利用 LA-ICP-MS 方法对岩体进行测年, 获得锆石 U-Pb 年龄为(436.1±1.2) Ma(MSWD=0.13), 为加里东期。岩石地球化学特征分析及区域对比研究揭示, 阿什贡镁铁-超镁铁岩体以低 Ti、亏损 Nb 和 Ta、富集轻稀土元素和大离子亲石元素为特征。结合带内其他同时代镁铁-超镁铁岩体地球化学特征及其同位素组成, 启示我们包括阿什贡在内的化隆镁铁-超镁铁岩带的形成与祁连山及其邻区 460~440 Ma 时期俯冲向碰撞转换的作用有关, 其成矿作用与岛弧岩浆作用相关。这对于青海省化隆一带区域铜镍找矿具有重要指示意义, 同时对丰富发展完善早古生代镁铁-超镁铁岩体及所含的岩浆铜镍硫化物矿床成因研究和形成机制具有借鉴作用与研究价值。

关键词: 镁铁-超镁铁岩体; 形成时代; 成矿机制; 镍矿; 阿什贡; 青海省

中图分类号: P588.125; P597; P611 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2014.01.08

Formation Age of Agong Ni-bearing Mafic-ultramafic Intrusion in Qinghai Province and Its Enlightenment to Metallogenic Mechanism

ZHANG Zhao-wei^{1, 2)}, LI Wen-yuan^{1)*}, GUO Zhou-ping¹⁾, WANG Ya-lei¹⁾,
GAO Yong-bao^{1, 2)}, ZHANG Jiang-wei¹⁾, LI Kan¹⁾, QIAN Bing¹⁾

1) Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR,
Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054;

2) School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054

Abstract: This paper reports partial achievements in the evaluation of magmatic nickel ore resources potential in Hualong County, Qinghai Province, mainly on the basis of field survey and study of Agong mafic-ultramafic intrusion, which is composed of peridotite, pyroxenite, hornblendite and meta-gabbro. The authors obtained the zircon U-Pb age of (436.1±1.2) Ma by LA-ICP-MS. Geochemical studies of the mafic-ultramafic intrusion closely associated with the deposit show that it is characterized by low Ti, depletion of Nb and Ta, and enrichment of LREE and large lithophile elements. These features, combined with the geochemical characteristics and isotope composition of other mafic-ultramafic intrusions in Hualong rocks belt, have led the authors to believe that the magma occurred during the conversion from the subduction to the collision in 460~440 Ma in the Qilian Mountain and its adjacent areas, and mineralization was the result of arc magmatism. These achievements are not

本文由国家自然科学基金项目(编号: 40772062; 41102050)和中国地质调查局地质大调查项目(编号: 1212010911032; 1212011220897; 121201112088; 1212011121092)联合资助。

收稿日期: 2013-09-04; 改回日期: 2013-11-06。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 张照伟, 男, 1976 年生。助理研究员, 博士研究生。从事岩浆作用矿床及区域成矿研究。通讯地址: 710054, 西安市友谊东路 438 号。电话: 029-87821656。E-mail: zhaoweiz@126.com。

*通讯作者: 李文渊, 男, 1962 年生。研究员, 博士生导师。从事岩浆铜镍硫化物矿床与区域成矿研究。通讯地址: 710054, 西安市友谊东路 438 号。电话: 029-87821902。E-mail: xalwenyuan@126.com。

only of great significance for regional prospecting of Ni-Cu ore deposits in Hualong area but also of reference value for the enrichment of studies of Early Paleozoic mafic-ultramafic intrusions and their magmatic Ni-Cu sulfide deposits and formation mechanism.

Key words: mafic-ultramafic intrusion; formation age; metallogenic mechanism; Ni deposit; Agong; Qinghai Province

青海省有八条镁铁-超镁铁岩带, 化隆岩带是其重要的岩带之一, 该带内多数镁铁-超镁铁岩体与铜镍成矿关系密切。在西起青海湖东南的裕龙沟, 东经贵德县的阿什贡到化隆县的塔加, 长约 160 km, 宽 8~20 km 不等的西窄东宽楔形地带, 产出有 32 个大小不同的镁铁-超镁铁岩体(群)(图 1b)。但至今这些岩体的含矿性尚不清楚。要解决这个问题, 关键要查清这些岩体的成因以及岩体形成时的地球动力学背景, 结合阿什贡典型矿床的剖析研究, 从岩体形成时代和区域研究入手, 试图探讨岩体的形成机制和成矿作用。前人对该矿床已进行了一些简单研究(矿石的结构构造、地球化学以及稳定同位素等), 尽管对化隆岩带内具体的镁铁-超镁铁岩体形成过程和成矿作用还存在不同的看法(李文渊, 2006; 赵恒川等, 2007; 樊光明等, 2007; Xu et al., 2007), 但归结起来主要认为铜镍硫化物矿床的形成与岩浆的熔离作用以及结晶分异作用相关。很少从岩体的岩石地球化学角度探讨该岩体的成因进而研究其形成机制。同样, 对于侵入到化隆群中的镁铁-超镁铁岩带, 其岩体形成时代也备受争议, 有晋宁期之说和加里东期之说, 缺乏精确的年龄数据, 多是经过地

层穿插及岩体侵入先后顺序推测而得。该岩带形成于什么样的构造背景, 其地球动力学机制如何? 为此选择了化隆镁铁-超镁铁岩带中典型的阿什贡岩体作为精确定年的研究对象, 通过 LA-ICP-MS 精确定年, 旨在阐明岩体形成时代及侵位构造背景, 结合带内其他镁铁-超镁铁岩体的研究及地球化学特征和相应同位素组成, 探讨成矿机制和过程, 解释其构造意义, 为区域内同类型镁铁-超镁铁岩体的研究和铜镍矿的找矿实践提供基础和指导。

化隆镁铁-超镁铁岩带位于化隆微陆块内, 该微陆块位于南祁连褶皱带内, 区域上恰处于南祁连、东昆仑与西秦岭造山带的结合部位(图 1a)。北以拉脊山南缘深大断裂为界与拉脊山接触, 南以青海湖—天水断裂为界与西秦岭造山带毗邻, 呈西窄东宽的楔形(图 1b)(张照伟等, 2012)。岩带北侧由南向北依次是拉脊山褶皱带、中祁连地块、北祁连缝合带及华北地台西南缘的阿拉善地块, 在拉脊山、中祁连及北祁连均发育有早古生代的镁铁-超镁铁侵入体, 且年龄大多集中在 440~460 Ma 之间(图 1a)(陈隽璐等, 2006; Song et al., 2012)。夏林圻等(2000)认为, 拉脊山是一早古生代的小洋盆, 且

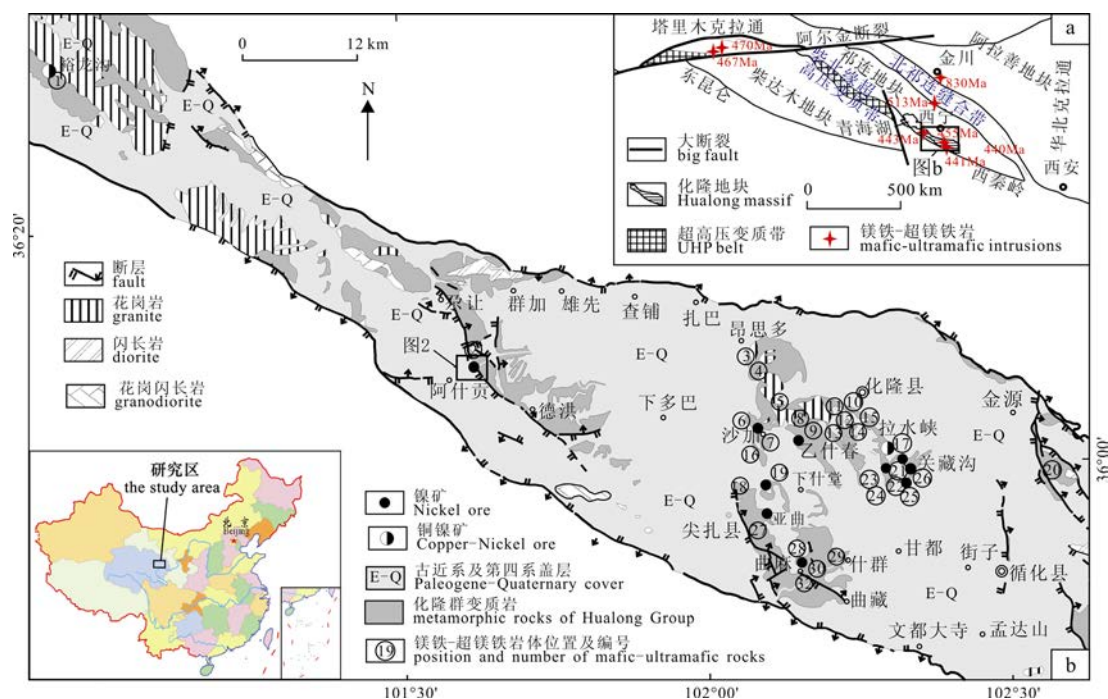


图 1 青海省化隆镁铁-超镁铁岩带地质分布简图(据张照伟等, 2012 修改)

Fig. 1 Sketch geological map of Hualong mafic-ultramafic rocks belt in Qinghai Province (modified after ZHANG et al., 2012)

产出有同时代的镁铁-超镁铁岩体, 而北祁连洋约在 450 Ma 就已完全闭合(Song et al., 2009)。约在 450 Ma 柴北缘高压-超高压变质带就已经完成了俯冲后的折返, 并发育了镁铁-超镁铁杂岩体(Song et al., 2012)。在阿尔金山南部同样发现了 467 Ma(马中等, 2011)和 470 Ma(杨经绥等, 2008)的镁铁-超镁铁侵入体, 并且伴有铜镍矿化。受柴北缘洋及北祁连洋的影响, 祁连山及邻区表现出了由北向南古洋盆闭合或碰撞年龄逐渐变新, 由南向北逆冲拼贴的构造格局。

1 岩体地质、地球化学特征

阿什贡镁铁-超镁铁岩体侵位于元古界黑云斜长片麻岩中, 岩体呈北西向线状延伸, 与区域构造线方向基本吻合, 其接触面与围岩片麻理产状亦大体一致, 局部斜交呈 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 不等夹角, 为受层间裂隙构造控制的脉状岩体。一般规模很小, 常呈群分布, 主要划分四个独立的单斜岩体, 由北西至南东依次编号为 m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 (图 2a)。岩体形态呈陡倾的透镜状或脉状, 局部分枝复合, 岩体总体剥蚀程度较浅, 但从北向南剥蚀程度有逐渐加深的趋势。阿什贡镁铁-超镁铁岩体主要由四个岩相带组成, 分别是橄榄岩相、辉石岩相、角闪石岩相及辉长岩相。

橄榄岩相分布在 m_1 、 m_2 岩体上盘, 呈长条状或透镜状延伸, 主要由角闪橄榄岩和辉石橄榄岩组成。角闪橄榄岩呈黑色、暗绿色, 具有典型的包橄结构, 橄榄石颗粒嵌于较大的角闪石中(图 3a)。该岩相中橄榄石约占 29%~71%, 角闪石大约 34%~67%, 而黑云母不超过 12%, 同时含有少量的辉石、金云母、铬尖晶石。辉石岩相仅在 m_2 岩体南端出露, 主要是由橄榄辉石岩组成, 与橄榄岩相为渐变过渡关系。橄榄辉石岩中辉石约 69%, 角闪石 16%, 橄榄石 10%, 少量金云母和磁铁矿(图 3b)。而角闪石岩相分布在 m_4 及 m_1 和 m_2 岩体的下盘, m_3 岩体上盘也有少量分布, 常呈小团块状、长条状成群出露, 与橄榄岩相接触界线清楚, 为突变关系。常见角闪石岩呈脉状穿插其中。该岩相主要由角闪石岩、黑云角闪石岩、辉石角闪石岩及橄榄角闪石岩等四种岩石组成, 岩石有绿泥石化、碳酸盐化、次闪石化等较强烈蚀变(图 3c)。辉长岩相仅见于 m_3 号岩体, 主要由辉长苏长岩构成, 也是矿区内唯一的含矿岩石。其辉石可达 70%以上, 但均蚀变为次闪石、黑云母、滑石等(图 3d), 而斜长石与辉石构成辉长结构。

区内见有一个原生硫化镍矿体, 主要产于辉长

苏长岩中, 该矿体长 186 m, 平均厚 14.6 m, 延深超过 100 m, 倾向北东, 倾角较陡, 一般在 60° 以上。但矿体形态较简单, 主要为陡倾斜的透镜状(图 2b), 从勘探线剖面的样品分析来看, Ni 品位有向深部变富的趋势。原生矿石为他形粒状结构, 稀疏浸染状构造为主。金属硫化矿物主要是磁黄铁矿、镍黄铁矿、少量紫硫镍矿、黄铜矿、斑铜矿等。矿物共生组合主要表现为磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿, 金属硫化矿物为集合体, 呈小团块状、斑点状和似脉状。另外一种矿物共生组合主要是紫硫镍矿-黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿, 紫硫镍矿呈他形粒状集合体, 粒度较小, 多为交代溶蚀磁黄铁矿和镍黄铁矿。矿石品位一般不高, 原生矿石镍一般平均 0.73%, 但在氧化矿石中, 镍含量均比原生矿中要高。

在阿什贡岩体硅酸盐全岩分析中, MgO 含量(23.44%~26.24%)较高, FeO+Fe₂O₃ 含量变化较小, 为 10.30%~13.0%, 平均值为 11.19%。Al₂O₃ 值在 2.47%~3.22%, 平均值为 2.92%, CaO 含量介于 5.9%~9.56%, Na₂O 的含量介于 0.2%~0.27%, K₂O 含量介于 0.32%~0.58%, TiO₂ 含量介于 0.17%~0.21%。阿什贡岩体微量元素分析, 总体上显示出相容元素(如 Ni、Cr、Co、V)含量低, 不相容元素(如 Rb、Ba、Th 等)含量高的特点。总体显示出较为一致的分布模式, 且富集大离子亲石元素(Sr、Rb、Ba)和相对亏损高场强元素(Nb、Ta、Hf、Zr)(图 4a)。阿什贡岩体的稀土总量(Σ REE)介于 $18.15\times 10^{-6}\sim 24.20\times 10^{-6}$ 之间, 大部分样品(La/Yb)_N 值较高, 介于 4.62~5.50 之间。(La/Sm)_N 介于 2.16~2.43 之间, (Gd/Yb)_N 介于 1.56~1.78 之间, 表明轻重稀土元素分馏较强, 而轻、重稀土元素内部之间的分馏都较弱。阿什贡岩体球粒陨石标准化分配曲线表现为轻稀土富集型特征(图 4b), 各样品的 δ Eu 介于 0.72~0.90 之间, 显示出轻微的负异常。

2 分析方法

阿什贡岩体中采集样品 15 kg, 采样位置如图 2 所示。样品岩性为辉长苏长岩相, 锆石分选工作在河北省区域地质调查研究院实验室进行, 常规碎样 120 目后手工淘洗, 挑选出锆石进行年龄测定。

锆石的 CL 图像在西北大学大陆动力学国家重点实验室电子探针仪加载的阴极发光仪上完成。LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成, 定年分析仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 25 μ m, 以 He 为载气。对锆

石标准的定年精度和准确度在 1%(2 σ)左右, 锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标, U、Th 含量以锆石 M127(U: 923×10^{-6} ; Th: 439×10^{-6} ; Th/U: 0.475)(李锦轶等, 2006)为外标进行校正。测试过程中在每测定 5~7 个样品前后重复测定两个锆石 GJ1 对样品进行校正, 并测量一个锆石 Plesovice, 观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Zhang et al., 2008), 锆石年龄谱和图用 Isoplot 3.0 程序获得。详细实验测试过程可参见文献侯可军等(2009)。

3 分析结果及讨论

阿什贡辉长苏长岩中的锆石绝大多数为烟灰色、浅烟灰色、浅黄色半自形柱状特征(部分残缺锆石属于碎样时机械破损, 或者碎样目数较细所致), 少数为浅玫瑰红色浑圆状, 粒径多在 $80 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m} \sim 120 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ 。锆石 CL 图像(图 5)显示, 少数具有内核, 多数发育有震荡环带结构, 且 Th/U 比值一般在 0.32~1.14 之间, 具岩浆结晶锆石特征。

阿什贡岩体样品在中国地质科学院矿产资源研究所实验室进行了 LA ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定(图 6)。将 42 个测点数据全部投图如图 6b 所示,

其中 14 个点明显偏离谐和线较远, 不能获得谐和年龄, 即便是获得年龄数值也没有任何地质意义, 不能代表岩体的形成时代。鉴于此, 将单点谐和度较好的 28 个测点进行重新作图, 获得锆石 U-Pb 年龄为 $(436.1 \pm 1.2) \text{ Ma}$ (MSWD=0.13)(图 6a), 结合锆

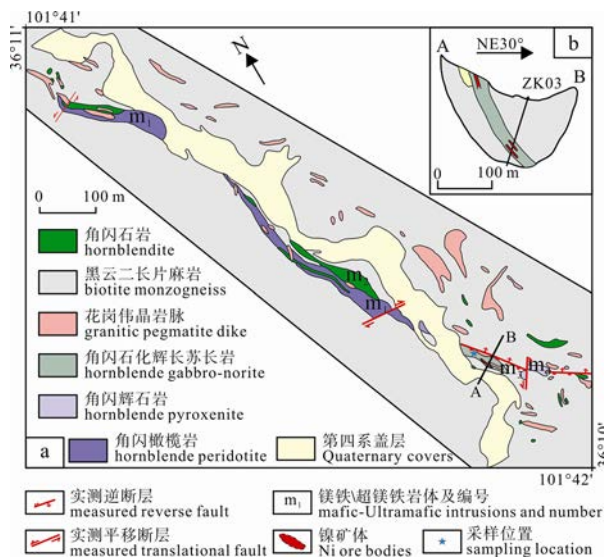


图 2 青海省阿什贡镁铁-超镁铁岩体地质图
Fig. 2 Geological map of Agong mafic-ultramafic intrusion in Qinghai Province

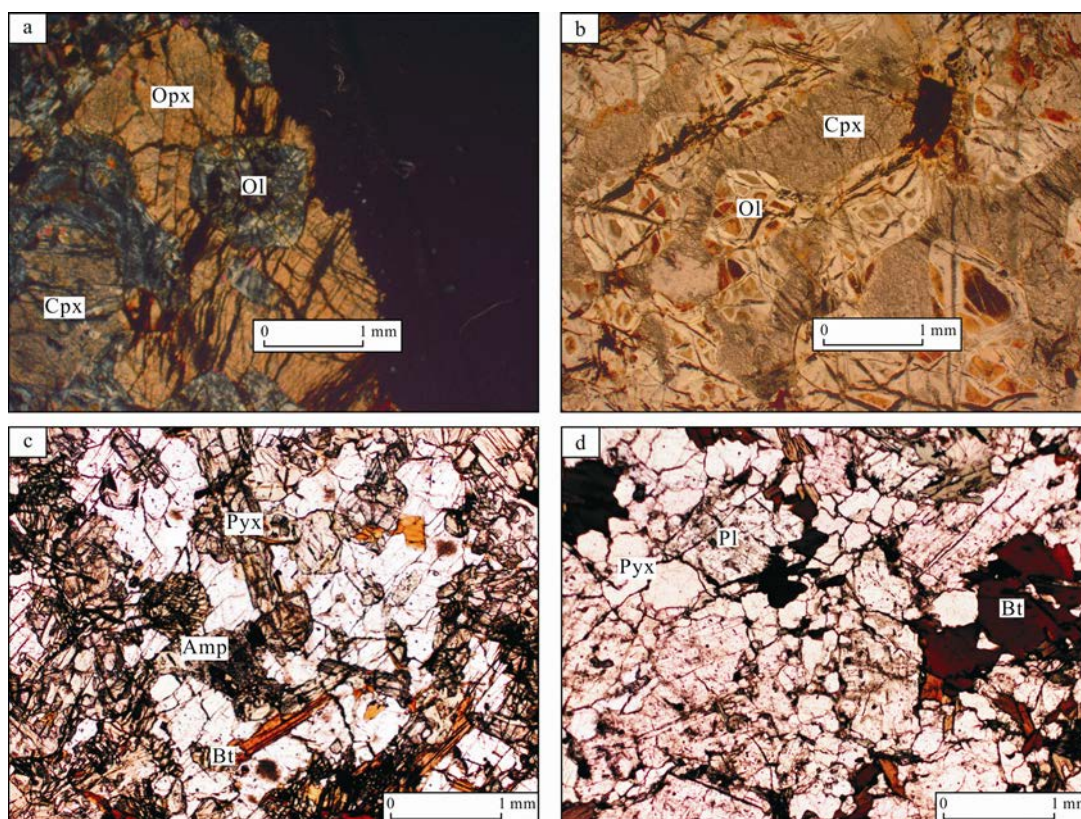


图 3 青海省阿什贡岩体岩相显微照片: 二辉橄榄岩(a)、橄榄辉石岩(b)、辉石角闪岩(c)、辉长岩(d)

Fig. 3 Microphotographs showing a lherzolite sample (a), an olivine-pyroxenite sample (b), a pyroxene hornblende sample (c), and a gabbro sample (d) from the Agong intrusion in Qinghai Province

Amp-角闪石; Bt-黑云母; Cp-黄铜矿; Pl-斜长石; Pyx-辉石; Ol-橄榄石; Cpx-单斜辉石; Opx-斜方辉石
Amp-amphibole; Bt-biotite; Cp-chalcopyrite; Pl-plagioclase; Pyx-pyroxene; Ol-olivine; Cpx-clinopyroxene; Opx-orthopyroxene

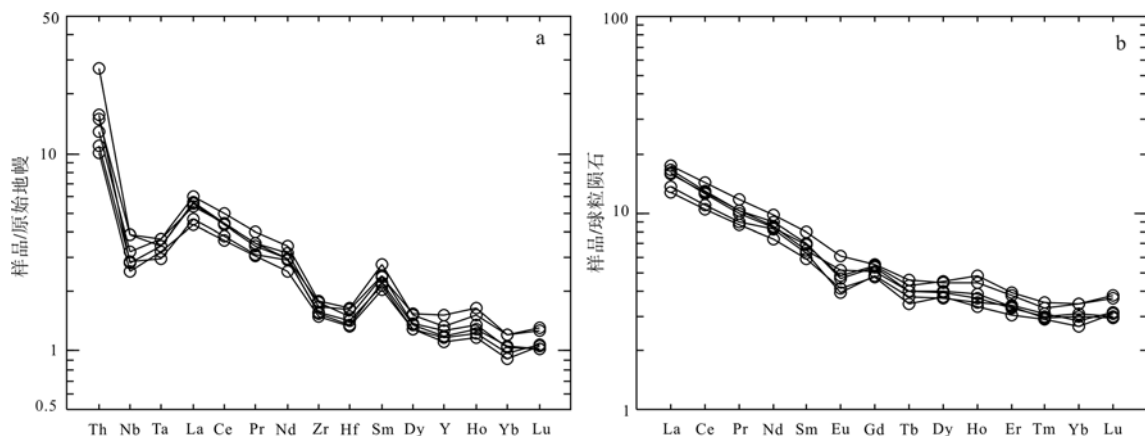


图 4 青海省阿什贡岩体微量元素原始地幔(a)与 REE 球粒陨石标准化(b)图解(标准化数据据 Sun et al., 1989)
Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram and chondrite-normalized REE patterns of Agong intrusion in Qinghai Province (normalization values after Sun et al., 1989)

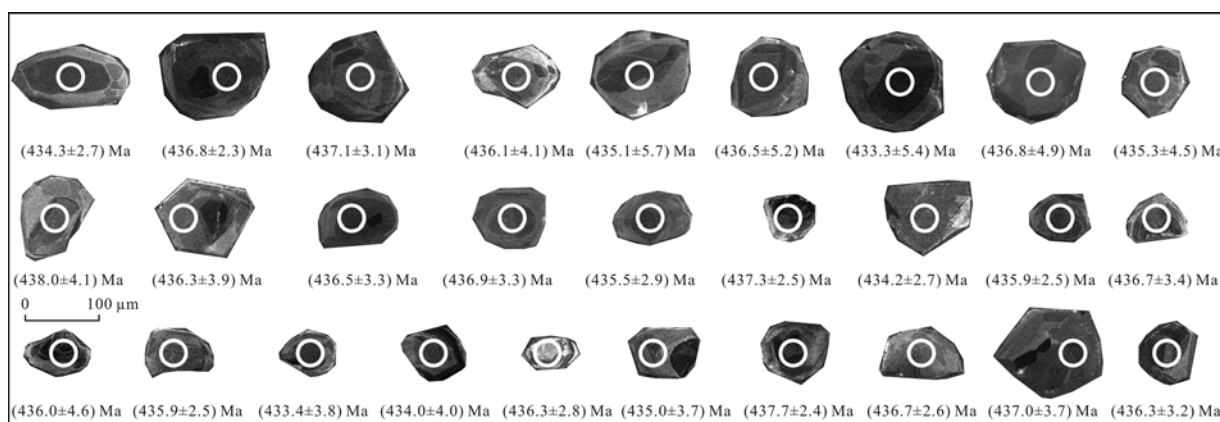


图 5 青海省阿什贡岩体辉长苏长岩锆石 CL 图像
Fig. 5 CL images of zircon from gabbro-norite of Agong intrusion in Qinghai Province

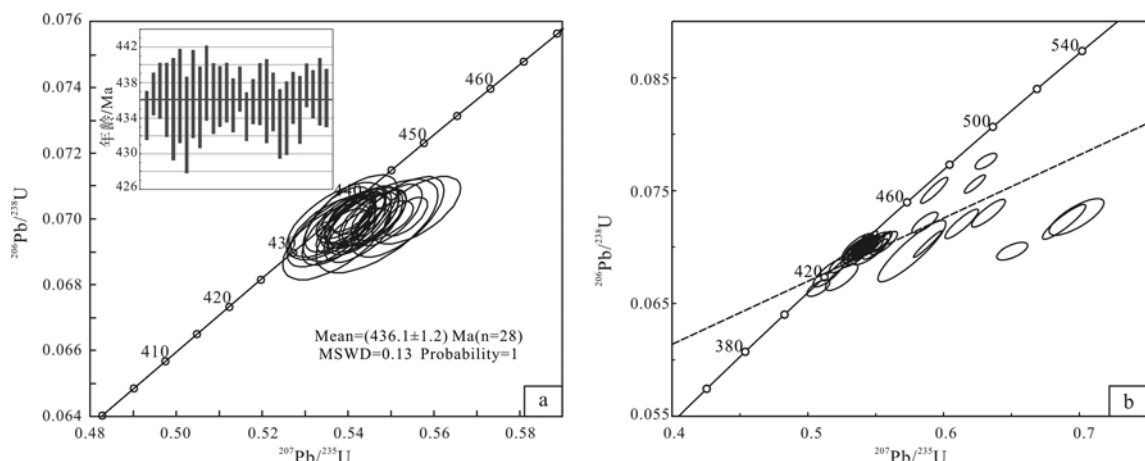


图 6 青海省阿什贡镁铁-超镁铁岩体锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 6 Concordia diagrams showing U-Pb analyses of zircons from Agong mafic-uktramafic intrusion in Qinghai Province

石形态及形成特点, 认为(436.1±1.2) Ma 可代表阿什贡岩体的形成时代, 属早志留世, 为加里东期岩体。

阿什贡岩体位于青海省化隆镁铁-超镁铁岩带的中部, 岩带的最西端是青海湖旁的裕龙沟岩体, 形成于 442 Ma, 而向东经阿什贡到该岩带的东端是

亚曲岩体和下什堂岩体, 其形成年龄分别为 440 Ma 和 449 Ma(张照伟等, 2011)。阿什贡岩体 436 Ma 的形成年龄, 与青海省化隆岩带内其他三个典型岩体的形成年龄基本一致, 共同限制了化隆镁铁-超镁铁岩带的形成时限。岩带整体上位于祁连造山带的南东端, 共同经历了祁连山造山带的形成与演化历

史, 伴随岩浆作用的发育及有用金属的局部富集而形成了有经济价值的矿床。

祁连山造山带是秦祁昆中央造山带的重要组成部分, 而新元古—早古生代秦祁昆大洋具有复杂的结构形式, 洋中有块、块中有裂隙是其主要特征(汤中立等, 2006)。大陆裂解形成一系列大小不等的海洋盆地, 而会聚又可使盆地关闭, 经造山作用使其变质变形。板块的裂解与关闭实际上是构造旋回中一个开合过程的具体体现, 但这种开合可以是原地开合, 也可以是异地开合, 最终使这些原来相关或不相关的一系列陆块聚合在一起, 形成新的陆块。祁连山地体是经加里东末期板块碰撞而形成的典型加里东造山带, 该造山带有着复杂的物质组成和漫长的构造演化历史(孙涛等, 2012)。中祁连地块则是秦祁昆洋中陆块群中的一个, 由新元古代以前的古老变质基底构成, 而南祁连、拉脊山是地块进一步裂解形成的两个盆地(或小洋盆), 它们是在加里东期闭合后形成的造山带(吕林素等, 2007; 王团华等, 2009)。

青海省阿什贡岩体所代表的镁铁-超镁铁岩带恰处于祁连造山带的南东段, 带内所有的镁铁-超镁铁岩体都无一例外地侵入在元古界化隆群中, 且均有不同程度的铜镍矿化, 阿什贡、裕龙沟及拉水峡则成为中小型铜镍矿床。早古生代形成时代的年龄信息对成矿机制有何指示呢? 换言之, 南祁连 440 Ma 左右的地质事件对应了整体俯冲的构造背景, 岩浆作用是如何发生、发展与成矿的? 其特征表明明显不同于稳定板内、克拉通边缘和地幔柱活动等的成矿作用与形成机制(李文渊, 2004; 徐德明等, 2006)。440 Ma 左右的年龄, 与加里东中晚期祁连造山带火山弧或弧后盆地的裂解时代接近(汤中立等, 2006), 可代表加里东运动俯冲碰撞后火山弧的裂解拉张的形成时限, 因而对加里东中晚期在祁连地区的构造运动表现形式与造山作用过程的细节及其时限是一种很好的约束(Li et al., 2008)。岩体的岩石地球化学特征反映出与俯冲相关的地球化学信息(李锦轶等, 2006), 如 Nb、Ta、Ti 的亏损, 以及所有岩石均属于钙碱性系列等, 同时轻稀土元素(LREE)和大离子亲石元素(LILE)相对富集, 适度亏损高场强元素, 应属于碰撞岛弧环境中岩浆系统。阿什贡岩体与带内其他镁铁-超镁铁岩体具有相似的地球化学特征, 而其同位素组成和特征也揭示了与弧有关的构造背景和形成模式(张照伟等, 2012)。随着祁连地块向华北克拉通俯冲的进行, 于 450 Ma 北祁连闭合形成缝合带。与此同时柴达木地块向北俯冲, 也于该时期在柴北缘形成高压超高压变质带

(宋述光等, 2009)。拉脊山有限小洋盆因上述俯冲挤压而被迫关闭, 形成北祁连—中祁连—南祁连—西秦岭等的由南向北的俯冲拼贴状貌, 同时产生了岛弧岩浆作用, 造就了化隆一带镁铁-超镁铁杂岩体的就位。并在此过程中, 减压熔融及地幔楔的混入, 在岩浆自身性质和演化过程中遭受上地壳物质混染, 发生了硫化物的不混溶, Ni 等金属进入硫化物液相, 伴随硫化物的聚集和就位形成矿床, 指示了俯冲背景下弧岩浆作用铜镍成矿机制与形成过程。极大地拓宽了铜镍矿找矿潜力, 并为区域找矿和同类型镁铁-超镁铁岩体及铜镍矿床的研究提供了一种实践与范例。

4 结论

1) 位于青海省化隆岩带中部的阿什贡岩体为一铁质系列的镁铁-超镁铁岩体, 岩体分异较好, 由四个岩相带构成, 并且在辉长苏长岩中发育有原生硫化镍矿体, 是个有利的成矿岩体;

2) 利用 LA ICP-MS 方法首次获得了阿什贡岩体的精确年龄为 (436.1 ± 1.2) Ma, 与化隆镁铁-超镁铁岩带内的裕龙沟岩体、亚曲岩体及下什堂岩体一起, 共同限制了青海省化隆镁铁-超镁铁岩带的形成时限。发育在化隆古老微陆块中的阿什贡等铜镍矿化岩体, 形成于志留纪, 可能与祁连山及其邻区 460~440 Ma 时期俯冲向碰撞转换的作用有关, 是俯冲构造事件的岩浆活动和成矿作用在南祁连造山带的典型表现;

3) 化隆岩带内的铜镍矿床与形成于稳定地台或克拉通边缘的矿床形成鲜明对比, 对扩大区域找矿和潜力具有很好的构造指示意义, 与弧岩浆作用密切相关的岩浆铜镍矿床是青海省化隆一带较重要的找矿方向。

致谢: 衷心感谢中国地质科学院矿产资源研究所李延河研究员、侯可军副研究员对论文测年工作的支持, 在数据处理中得到了美国印第安纳大学李楚思教授的有益帮助, 审稿人给出了具体修改意见和建议, 谨此表示谢意!

参考文献:

- 陈隽璐, 何世平, 王洪亮. 2006. 秦岭-祁连山造山带接合部位基性岩墙的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 25(6): 455-462.
- 樊光明, 雷东宁. 2007. 祁连山东南段加里东造山期构造变形年代的精确限定及其意义[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 32(1): 39-44.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位

- U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4): 481-492
- 李锦轶, 宋彪, 王克卓, 李亚萍, 孙桂华, 齐得义. 2006. 东天山吐哈盆地南缘二叠纪幔源岩杂岩: 中亚地区陆壳垂向生长的地质记录[J]. 地球学报, 27(5): 424-446.
- 李文渊. 2004. 祁连山主要矿床组合及其成矿动力学分析[J]. 地球学报, 25(3): 313-320.
- 李文渊. 2006. 祁连山岩浆作用有关金属硫化物矿床成矿与找矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 吕林素, 毛景文, 刘珺, 张作衡, 谢桂青. 2007. 华北克拉通北缘岩浆 Ni-Cu-(PGE)硫化物矿床地质特征、形成时代及其地球动力学背景[J]. 地球学报, 28(2): 148-166.
- 马中平, 李向民, 徐学义, 孙吉明, 唐卓, 杜涛. 2011. 南阿尔金山清水泉镁铁-超镁铁质侵入体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年及其意义[J]. 中国地质, 38(4): 1071-1078
- 宋述光, 牛耀龄, 张立飞, 张贵宾. 2009. 大陆造山运动: 从大洋俯冲到大陆俯冲、碰撞、折返的时限——以北祁连山、柴北缘为例[J]. 岩石学报, 25(9): 2068-2077.
- 孙涛, 钱壮志, 汤中立, 刘民武, 高萍, 张江江, 张瑞, 姜超. 2012. 东天山四顶黑山层状岩体地质特征及成矿潜力分析[J]. 地球学报, 33(1): 38-48.
- 汤中立, 闫海卿, 焦建刚. 2006. 中国岩浆硫化物矿床新分类与小岩体成矿作用[J]. 矿床地质, 25(1): 1-9.
- 王团华, 谢桂青, 叶安旺, 李宗彦. 2009. 豫西小秦岭—熊耳山地区金矿成矿物质来源研究——兼论中基性岩墙与金成矿作用关系[J]. 地球学报, 30(1): 27-38.
- 夏林圻, 夏祖春, 赵江天, 徐学义, 杨合群, 赵东宏. 2000. 北祁连山西段元古宙大陆溢流玄武岩性质的确定[J]. 中国科学(D 辑), 30(1): 1-8.
- 徐德明, 谢才富, 张业明, 付太安, 李志宏. 2006. 琼中古—中元古代变基性火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 地球学报, 27(3): 227-234.
- 杨经绥, 史仁灯, 吴才来, 苏德辰, 陈松永, 王希斌, WOODEN J. 2008. 北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年[J]. 岩石学报, 24(7): 1567-1584
- 张照伟, 李文渊, 高永宝, 张江伟, 郭周平, 李侃, 王亚磊, 钱兵. 2012. 南祁连山曲含镍铜矿基性杂岩体形成年龄及机制探讨[J]. 地球学报, 33(6): 925-935.
- 张照伟, 李文渊, 高永宝, 张江伟, 郭周平, 李侃. 2011. 青海省化隆县下什岩体地质-地球化学特征及其含矿性研究[J]. 大地构造与成矿学, 35(4): 596-602.
- 赵恒川, 汪明后, 李明奎. 2007. 拉水峡铜镍矿地气异常特征及其意义[J]. 青海科技, (6): 28-33.
- con dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, 28: 481-492(in Chinese with English abstract).
- LI C, EDWARD M R, THOMAS O. 2008. Textural, mineralogical and stable isotope studies of hydrothermal alteration in the main sulfide zone of the Great Dyke, Zimbabwe and the precious metals zone of the Sonju Lake Intrusion, Minnesota, USA[J]. Miner Deposita, 43: 97-110.
- LI Jin-yi, SONG Biao, WANG Ke-zhuo, LI Ya-ping, SUN Gui-hua, QI De-yi. 2006. Permian mafic-ultramafic complexes on the South margin of the Tu-Ha basin, East Tianshan mountains: Geological records of vertical crustal growth in Central Asia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(5): 424-446(in Chinese with English abstract).
- LI Wen-yuan. 2004. Main Mineral Deposit Associations in the Qilian Mountains and Their Metallogenic Dynamics[J]. Acta Geoscientia Sinica, 25(3): 313-320(in Chinese with English abstract).
- LI Wen-yuan. 2006. Mineralization and prospecting of the metal sulphide deposits related to magmatism in Qilian Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LÜ Lin-su, MAO Jing-wen, LIU Jun, ZHANG Zuo-heng, XIE Gui-qing. 2007. Geological Characteristics, Geochronology and Tectonic Settings of Typical Magmatic Ni-Cu-(PGE) Sulfide Deposits in the Northern Margin of the North China Craton[J]. Acta Geoscientia Sinica, 28(2): 148-166(in Chinese with English abstract).
- MA Zhong-ping, LI Xiang-min, XU Xue-yi, SUN Ji-ming, TANG Zhuo, DU Tao. 2011. Zircon LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating for the Qingshuiquan layered mafic-ultramafic intrusion in southern Altun, northwestern China and its implication[J]. Geology in China, 38: 1071-1078(in Chinese with English abstract).
- SONG Shu-guang, NIU Yao-ling, ZHANG Li-fei, WEI Chun-jing, LIOU June G, SU Li. 2009. Tectonic evolution of early Paleozoic HP metamorphic rocks in the North Qilian Mountains, NW China: New perspectives[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 35: 334-353.
- SONG Shu-guang, NIU Yao-ling, ZHANG Li-fei, ZHANG Gui-bin. 2009. Time constraints on orogenesis from oceanic subduction to continental subduction, collision and exhumation: An example from North Qilian and North Qaidam HP-UHP belts[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(9): 2067-2077(in Chinese with English abstract).
- SONG Shu-guang, SU Li, LI Xian-hua, NIU Yao-ling, ZHANG Li-fei. 2012. Grenville-age orogenesis in the Qaidam-Qilian block: The link between South China and Tarim[J]. Precambrian Research, 220-221: 9-22.
- SUN S S, MCDONOUGH W F. 1989. Chemical and isotopic systematics in ocean basalt: Implication for mantle composition and processes[J]. Geological Society of London Special Publication, 42: 313-345.
- SUN Tao, QIAN Zhuang-zhi, TANG Zhong-li, LIU Min-wu, GAO Ping, ZHANG Jiang-jiang, ZHANG Rui, JIANG Chao. 2012. Geological Characteristics and Ore-forming Potential of Sid-

References:

- CHEN Jun-lu, HE Shi-ping, WANG Hong-liang. 2006. Zircon LA-ICPMS U-Pb age of mafic dykes in the area between the Qinling and the Qilian orogenic belts and its geological implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(6): 455-462(in Chinese with English abstract).
- FAN Guang-ming, LEI Dong-ning. 2007. Precise Timing and Significance of Caledonian Structural Deformation Chronology in Southeast Qilian[J]. Earth Science(Journal of China University of Geosciences), 32(1): 39-44(in Chinese with English abstract).
- HOU Ke-jun, LI Yan-he, TIAN You-rong. 2009. In situ U-Pb zir-

- ingheishan Stratified Mafic-ultramafic Intrusion in East Tianshan Mountains[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(1): 38-48(in Chinese with English abstract).
- TANG Zhong-li, YAN Hai-qing, JIAO Jian-gang. 2006. New classification of magmatic sulfide deposits in China and ore-forming processes of small intrusive bodies[J]. *Mineral Deposits*, 25(1): 1-9(in Chinese with English abstract).
- WANG Tuan-hua, XIE Gui-qing, YE An-wang, Li Zong-yan. 2009. Material Sources of Gold Deposits in Xiaolinling-Xiong'er Shan Area of Western Henan Province as well as the Relationship between Gold Deposits and Intermediate-Basic Dykes[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(1): 27-38(in Chinese with English abstract).
- XU De-ming, XIE Cai-fu, ZHANG Ye-ming, FU Tai-an, LI Zhi-hong. 2006. Geochemical Characteristics of the Pale-Mesoproterozoic Meta-basic Volcanics in Qiongzong, Hainan Island, and Their Geological Implications[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(3): 227-234(in Chinese with English abstract).
- XU Wang-chun, ZHANG Hong-fei, LIU Xiao-ming. 2007. U-Pb zircon dating constraints on formation time of Qilian high-grade metamorphic rock and its tectonic implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(4): 531-538.
- YANG Jing-sui, SHI Ren-deng, WU Cai-lai, SU De-chen, CHEN Song-yong, WANG Xi-bin, WOODEN J. 2008. Petrology and SHRIMP age of the Hongliugou ophiolite at Milan, north Altun, the northern margin of the Tibetan plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7): 1567-1584(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Gui-bin, SONG Shu-guang, ZHANG Li-fei, NIU Yao-ling. 2008. The subducted oceanic crust within continental-type UHP metamorphic belt in the North Qaidam, NW China: Evidence from petrology, geochemistry and geochronology[J]. *Lithos*, 104: 99-118.
- ZHANG Zhao-wei, LI Wen-yuan, GAO Yong-bao, ZHANG Ji-ang-wei, GUO Zhou-ping, LI Kan. 2011. Geology and Geochemistry Characteristics and Ore-bearing Potential of the Xiashentang Intrusive Rocks in Hualong County, Qinghai Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(4): 596-602(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhao-wei, LI Wen-yuan, GAO Yong-bao, ZHANG Ji-ang-wei, GUO Zhou-ping, LI Kan, WANG Ya-lei, QIAN Bing. 2012. The Formation Age of the Yaqu Ni-Cu Bearing Basic Complex in Southern Qilian Mountain and A Discussion on Its Mechanism[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(6): 925-935(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Heng-chuan, WANG Ming-qi, LI Ming-kun. 2007. The Geogas anomaly characteristic and its signification in Lashuixia Ni-Cu Deposit in Qihai[J]. *Qinghai Science and Technology*, (6): 28-33(in Chinese).

联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心 落户中国地质科学院

UNESCO Global Scale Geochemistry International Research Center Founded in Chinese Academy of Geological Sciences

2013年11月13日, 经联合国教科文组织第37届大会表决通过, 同意在中国河北廊坊的中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所建立全球尺度地球化学国际研究中心。这是中国地质科学院继国际岩溶研究中心后成功申报的第二家联合国教科文组织二类研究中心。

作为联合国教科文组织下设的二类机构, 该中心将重点围绕以下几方面开展工作: 一是在自然资源和环境管理中, 促进全球尺度地球化学知识与技术的进步, 为可持续的全球发展服务; 二是记录地球表层化学元素的全球集中度和分布情况以及基线和变化情况, 为监测环境、探寻矿藏资源、提高农业效率等服务; 三是以最先进的全球尺度地球化学知识和制图为基础, 对研究生、科学家和工程师开展教育和培训, 向发展中国家提供技术援助; 四是在地球化学领域提倡公平利用基础服务和知识分享, 在科学界、决策者和普通公众之间建立沟通的桥梁。

全球尺度地球化学国际研究中心的宗旨是, 致力于元素周期表上所有元素及其化合物在全球尺度上的含量与分布、基准与变化研究, 为全面了解地球资源分布和全球环境变化提供基础知识与数据, 为政府在矿产资源与生态环境等领域的全球可持续发展提供决策依据, 促进发达国家与发展中国家知识共享。中心的建立对于提高中国在全球资源环境领域的国际话语权, 加强中国科技软实力建设具有重要意义。