

# 西藏措勤隆格尔铁矿岩体成岩时代及其地质意义

费凡<sup>1</sup>, 杨竹森<sup>2</sup>, 刘英超<sup>3</sup>, 赵晓燕<sup>4</sup>, 于玉帅<sup>5</sup>

(1. 中铝矿产资源有限公司, 北京 100082; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 3. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 4. 中国地质大学, 北京 100083; 5. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205)

**摘要:** 西藏措勤县的隆格尔铁矿位于拉萨地块隆格尔-工布江达弧背断隆带的西段, 是冈底斯西段中生代矽卡岩型铁矿中重要的矿床之一。野外和室内工作表明, 隆格尔铁矿床属矽卡岩型铁矿, 与成矿有关的岩体为粗粒二长花岗岩。因此, 本文通过对隆格尔铁矿成矿岩体的 LA-ICP-MS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年来探讨其成矿时代。分析结果表明: 隆格尔粗粒二长花岗岩年龄为  $115.5 \pm 2.1$  Ma, 可近似代表铁成矿年龄。隆格尔铁矿与其东侧同处于同一构造单元内的尼雄铁矿床成岩成矿年龄为 110~116 Ma, 两者间的洛布勒铁矿床的成岩成矿年龄为  $111.3 \pm 1.6$  Ma。这些铁矿床处于相同的构造单元, 具相似的成矿特征和相近的成岩成矿年龄, 构成一条东西向展布的早白垩世矽卡岩型铁矿成矿带, 并可能向西延伸包括帮部勒、龙认拉、查加寺等矽卡岩型铁矿床。该带上还发育有晚白垩世的矽卡岩型铜金矿床, 如日阿铜金矿床, 成矿年龄均为 87 Ma。因此, 这一成矿带应当具有相同或相似的地质背景和构造-岩浆演化过程。隆格尔铁矿床乃至整个成矿带成铁的岩浆活动可能与洋壳断离前的板片回卷过程相关, 成铜金的岩浆活动可能与洋壳断离过程相关, 而矿区内石英闪长岩的侵入处于两者之间。

**关键词:** 西藏隆格尔铁矿; 锆石 U-Pb 年龄; 中酸性侵入岩; 矿床成因; 尼雄铁矿; 铁矿成矿带

中图分类号: P618.31; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2015)04-0568-13

## Petrogenetic epoch of the rock mass in the Lunggar iron deposit of Coqen County, Tibet

FEI Fan<sup>1</sup>, YANG Zhu-sen<sup>2</sup>, LIU Ying-chao<sup>3</sup>, ZHAO Xiao-yan<sup>4</sup> and YU Yu-shuai<sup>5</sup>

(1. Chinalco Mineral Resources Co., Ltd., Beijing 100082, China; 2. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 5. Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205, China)

**Abstract:** Lying in the western segment of Lunggar-Gongbo'gyamda arc back faulted-uplifted belt of the Lhasa terrane, the Lunggar iron deposit in Coqen County of Tibet is one of the important ore deposits in the Mesozoic skarn iron belt in the western part of Gandese. Field and indoor studies show that the Lunggar iron deposit is a skarn deposit related to coarse-grained monzogranite. In this study, LA-ICP-MS and SHRIMP zircon U-Pb dating of the metallogenic rock mass in the Lunggar iron deposit was conducted to probe into the ore-forming epoch of this deposit. The analytical result shows that the coarse-grained adamellite has an age of  $115.5 \pm 2.1$  Ma, which can approximately represent the ore-forming age of iron. The Lunggar iron deposit and the Nyicung

收稿日期: 2014-05-04; 修订日期: 2015-05-27

基金项目: 国家 973 项目(2011CB403106, 2009CB421007, 2009CB421008); “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAB01A08); 国土资源大调查项目(1212010818096); 国家自然科学基金(U0933605)

作者简介: 费凡(1988-), 男, 蒙古族, 硕士, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: feifan315@sina.cn。

iron deposit on the eastern side of the Lunggar iron deposit have rock-forming and ore-forming ages of 110~116 Ma, and the Luobule iron deposit between them have rock-forming and ore-forming ages of  $111.3 \pm 1.6$  Ma. These iron deposits are located in the same tectonic unit, have similar ore-forming characteristics and ore-forming as well as rock-forming ages, and constitute a EW-trending early Cretaceous skarn iron metallogenic belt which possibly extends westward and includes such skarn iron deposits as Bangbuqing, Longrenla and Chajiasi. In this belt, there are also late Cretaceous skarn copper-gold deposits such as the Ri'a copper-gold deposit whose ore-forming age is 87 Ma. Therefore, this ore-forming belt should have the same or similar geological settings and tectonic-magmatic evolution processes. The iron-forming magmatic activity of the Lunggar iron deposit and even of the whole ore-forming belt might have to do with the underbow process of the plate, the copper- and gold-forming magmatic activity might have been related to the faulting and separating process of the oceanic crust, and the intrusion of the quartz diorite might have occurred between them.

**Key words:** Lunggar iron deposit in Tibet; zircon U-Pb age; intermediate-acid intrusive rock; genesis of ore deposit; Nyicung iron deposit; iron ore-forming belt

冈底斯及邻区为青藏高原上洋/陆转换和地体拼贴最复杂、壳/幔物质-能量交换最活跃、岩浆-流体活动最强烈、断裂网络系统最发育的地区,同时也是大规模成矿作用最强烈和金属矿产资源最集中的地带(Yin and Harrison, 2000; 侯增谦等, 2003)。冈底斯火山-岩浆弧带是西藏重要的富铁铜矿成矿区带(孟祥金等, 2003; 杨勇等, 2010)。隆格尔地区在大地构造位置上位于拉萨地块,隆格尔-工布江达弧背断隆带的西段。主要为中生代矽卡岩铁铜矿床,以尼雄、日阿、德新等为代表,西段与东段相比研究程度较低。西藏措勤尼雄岩体是冈底斯造山带白垩纪大规模酸性岩浆活动的代表之一(张晓倩等, 2010),以尼雄为代表的铁矿床多集中在 113 Ma 左右,与白垩纪中酸性侵入岩和二叠纪(含)灰岩地层相关,岩体规模一般较大,岩性常为花岗闪长岩和二长花岗岩。近年来,在尼雄铁矿西新发现了隆格尔、洛布勒铁矿床,其时空位置距尼雄铁矿很近,属同一矿集区,而且成矿规模和潜力较大,向西一直到达雄、查加寺直至龙认拉,形成了一条巨型的尼雄-龙认拉铁矿带。综合考虑,推测该带具有成为一个大规模铁矿带的潜力。通过对隆格尔铁矿和邻近的洛布勒铁矿的成矿岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学的研究来限定其形成时代,以期探讨隆格尔和洛布勒矿床的成矿成岩年龄、大地构造背景及其成矿动力学过程等。进而为该成矿带的建立提供有力的证据,也为在该成矿带上发现新的矿床提供线索和参考。

## 1 区域地质

隆格尔铁矿位于拉萨地块隆格尔-工布江达弧背断隆带的西段。区域地层主要有:上古生界浅海相查果罗玛组( $D_{2-3}$ )碳酸盐岩、永珠组( $C_1$ )碎屑岩、拉嘎组( $C_2$ )碎屑岩、昂杰组( $P_1$ )碎屑岩和下拉组( $P_2$ )碳酸盐岩,不整合其上的中生界浅海相则弄群( $J_3-K_1$ )火山-沉积岩、捷嘎组( $K_1$ )碳酸盐岩和碎屑岩,竞柱山组( $K_2$ )砾岩,及与其不整合的新生界典中组( $E_1$ )和年波组( $E_2$ )火山岩、日贡拉组( $E_3$ )湖相沉积。在山沟还分布有第四系松散坡积物。

区域上中新生代岩浆活动强烈,侵入岩、火山岩分布十分广泛。岩浆岩占面积的 45% 左右,具多类型、多期次、多阶段特征。火山岩分为燕山晚期、喜马拉雅中早期和晚期 4 个活动期,各期火山岩具有不同的喷发环境、喷发类型和岩石组合,其发育程度及喷发强度也有明显差异。侵入岩分布面积广,以中酸性岩浆岩为主,时代集中于燕山晚期,少量为喜马拉雅早期和晚期。频繁的构造-岩浆活动及多期次的岩浆侵入和喷发作用,导致区内岩脉发育,并具明显的多期次、多类型特点,基性、中性、酸性脉岩均有产出。

该区域可划分为 4 个构造变形单元:昂拉仁错褶皱构造带、仁多断褶带、多桑地堑带、捌千错地堑带。挤压、伸展和走滑运动在全区均有表现,但挤压、收缩变形占主导地位,而伸展和走滑变形多是挤

压应力场派生产物,而在挤压应力场中又以南北向和北北东-南南西向的水平挤压应力场为主,总体构造线方向为北西西-南东东向。

本区变质岩类型主要有区域变质岩、接触热力变质岩、接触交代变质岩及动力变质岩等。区域变质岩在本区属于低绿片岩相,变质形式较简单。区内中酸性侵入岩十分发育,其外接触带普遍发育不同程度的接触变质现象,接触变质作用的类型、特征及其分布与围岩地层岩性关系密切。

## 2 矿床地质

隆格尔铁矿区内主要出露下二叠统拉嘎组( $P_1l$ )深灰-灰绿色中厚块状细砾岩、含砾细粉砂岩、含砾不等粒岩屑石英砂岩与深灰-灰黑色中厚层细粒长石石英砂岩、石英细粉砂岩、粉砂质泥岩;中二叠统下拉组( $P_2x$ )深灰色厚层状生物碎屑灰岩、含生物碎屑微量灰岩、白云石化生物碎屑灰岩、白云石化砂屑生物碎屑灰岩夹浅灰色中厚层生物介壳灰岩、深灰色厚层砾屑砂屑灰岩及黄灰色中厚层钙质细砂岩;新近系古新统典中组( $E_1d$ )绿灰色安山岩、安山质火山集块岩、角砾岩、浅绿灰色-灰色英安质角砾凝灰岩、英安质熔结角砾凝灰岩、英安质集块角砾岩、浅黄灰色和紫灰色流纹质凝灰火山角砾岩、流纹质熔结角砾凝灰岩,夹少量球粒状流纹岩。在河沟处分布有第四系松散堆积物。

侵入岩主要有燕山期早白垩世二长花岗岩( $K_1\eta\gamma$ )和晚白垩世石英闪长岩( $K_2\delta o$ ),侵入于拉嘎组及下拉组地层。矿区火山岩仅见古新统典中组( $E_1d$ )地层,局部还见残留的花岗岩内部发育长英质的伟晶岩团块,粗粒二长花岗岩中含大量细粒闪长质包体,其中还见少量闪长玢岩岩脉穿切砂卡岩。典中组( $E_1d$ )地层以中酸性火山岩为主,又被晚期二长花岗岩、花岗斑岩侵位,形成接触带角岩化岩石。在细粒石英闪长岩中见灰绿色-深灰色煌斑岩岩脉,煌斑岩以长石斑晶为主,少量角闪石斑晶。此外,在矿区南部发育的细粒石英闪长岩中还见结晶分异的层状构造的辉长岩包体。

矿区内古近系前地层均有不同程度的褶皱构造作用。拉嘎组与下拉组是最老的沉积变质岩,经受了燕山期及喜山期造山运动,还经受了燕山晚期二长花岗岩( $K_1\eta\gamma$ )的侵入拱起、热力接触变质作用等,碎屑岩地层均有角岩化,角岩具有残留顶盖性质。

受褶皱作用影响也形成不规则的残留对称的层内小的背向斜构造,其走向为北东东向,向北北西或南南东向陡倾。典中组( $E_1d$ )形成时间较前两层晚,受造山运动影响较少,故较前两层的褶皱形态简单,典中组下部地层为南老北新的单斜地层,成层性好。矿区北部边界向北3 km的郎尺阿章沟口,是区域性大断裂昂拉仁错(北西西向逆冲断层)通过处,本区是近昂拉仁错断层的南侧下盘,断裂构造很不明显。本区地层中节理、裂隙发育,特别在下拉组( $P_2x$ )地层中的大理岩、砂卡岩。矿床磁铁矿主要分布于产状为倾向 $32^\circ\sim 35^\circ$ 和倾角 $75^\circ\sim 81^\circ$ 的节理和裂隙中。

本区钙质岩石发生轻微重结晶生成结晶灰岩,局部发生硅化形成硅化灰岩;中酸性火山岩及侵入岩发生弱绢云母化、弱绿泥石化、弱绿帘石化等蚀变;区内最主要变质作用是热力接触变质和接触交代两种,前者形成较多的砂泥质角岩,后者形成砂卡岩和含磁铁矿砂卡岩等。早期砂卡岩以石榴子石、透辉石为主,之后的退变质砂卡岩有透闪石、金云母蛇纹石、绿帘石,在砂卡岩后发育磁铁矿,最后又有石英、黄铁矿和大量方解石产于砂卡岩晶洞中或呈脉状穿切砂卡岩。在外围发育有大范围的大理岩化。

隆格尔铁矿床磁铁矿体主要发育在大理岩与粗粒二长花岗岩的外接触带上,该接触带上发育有不连续的透辉石石榴子石砂卡岩带,宽约2 m,长度不等。隆格尔铁矿床1、2号矿体规模最大,1号矿体长330 m、宽245 m,2号矿体长106 m、宽40 m,皆呈不规则囊状体产出,平均品位为59.36%和63.46% TFe。铁矿体以致密块状、角砾状矿石为主,浸染状和条带状次之,条带状磁铁矿矿石由磁铁矿条带和透明矿物条带构成,被后期石英脉穿切;还有一些矿体呈脉状产于二长花岗岩与大理岩及白云岩灰岩接触带上、大理岩和砂卡岩节理中,规模较小但品位较高。矿石矿物主要为磁铁矿,呈自形-半自形粒状,粒度一般为0.1~0.4 mm,最细者为0.05 mm,有强磁化,次要矿物为少量褐铁矿。与磁铁矿矿石共生的主要是透辉石、石榴子石和方解石等,局部有少量和微量的赤铁矿、黄铁矿、孔雀石,它们分布在矿体边部的岩枝部分。按组成矿石的主要铁矿物分类,属于单一的磁铁矿型;按主要脉石矿物分类属石榴石砂卡岩型(图1)。

## 3 样品采集及测试方法

隆格尔矿区 LGR004-3 和 LGR08-12-1 样品重

量均约 5 kg, 岩性均为细粒石英闪长岩(采样位置见图 1), 呈灰白色, 含斜长石、石英、角闪石和黑云母, 见黑云母包裹角闪石。锆石样品 LGR004-4 岩性为粗粒二长花岗岩(采样位置见图 1), 灰白色, 重量约 5 kg, 含斜长石、钾长石、石英、少量黑云母和角闪石。

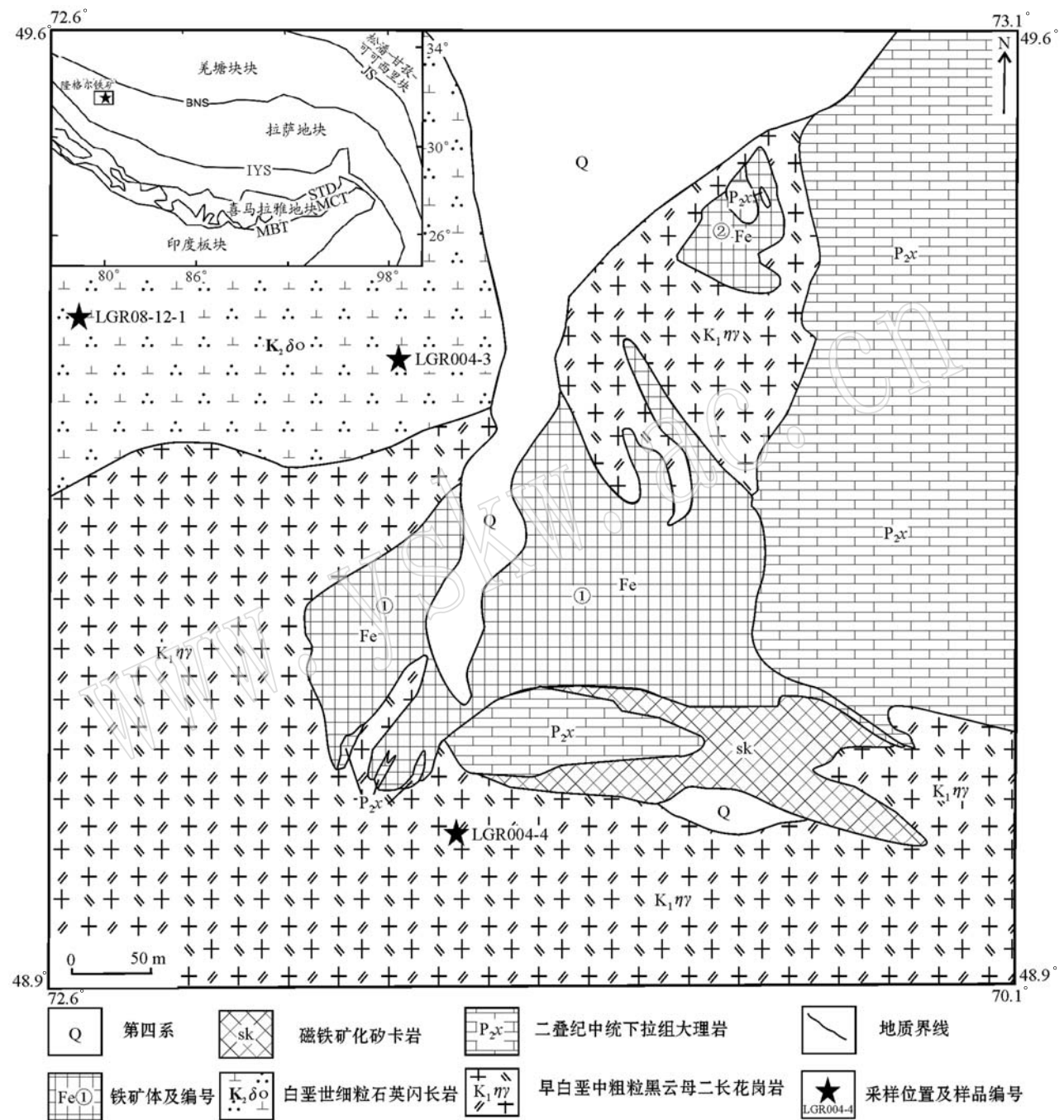


图 1 青藏高原碰撞造山带构造格架图(a)和隆格尔铁矿床地质图(b, 据曲晓明等, 2006 修改)

Fig. 1 Tectonic framework of the Tibetan Plateau collisional orogenic belt (a) and geological map of the Lunggar ore deposit (b, after Qu Xiaoming *et al.*, 2006)

STD—藏南拆离系; MCT—主中央逆冲断裂; MBT—主边界逆冲断裂; JS—金沙江缝合线; BNS—班公湖-怒江缝合带; IYS—雅鲁藏布江缝合带

STD—southern Tibet detachment system; MCT—main central thrust fault; MBT—main border thrust fault; JS—Jinsha River suture; BNS—Bangong Co-Nujiang River suture zone; IYS—Yarlung Zangbo River suture zone



首先将样品粉碎后淘洗干净,再用电磁选和重液浮选法进行分选,锆石分选是在廊坊诚信地质服务公司选矿实验室完成,将样品粉碎至80~100目,用常规方法分选出重砂,然后在双目镜下挑选出晶形相对完好和透明度较好的的锆石作为测定对象。然后将其均匀粘贴在环氧树脂表面,打磨抛光并使其露出近中心部位,进行反射光、透射光和阴极发光显微照相。锆石的阴极发光显微照相在国家地质测试中心 U-Pb 同位素实验室完成。阴极发光分析采用 JXA-733 型电子探针仪,LA-ICP-MS 微区定年分析是在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,激光剥蚀系统采用 193 nm Ar Fexcimer 激光器,激光束斑直径为 32  $\mu\text{m}$ ,等 离子 质 谱 仪 为 Agilent7500a。标准样品的选择及详细分析步骤见袁洪林等(2003)和 Yuan 等(2008)文献。锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在北京离子探针中心完成,详细的分析流程见宋彪等(2002, 2006)的描述。分别采用标准锆石 TEM( $416.8 \pm 1.3$  Ma)和 M257( $561.3 \pm 0.3$  Ma)进行元素间的分馏校正及 U 含量标定。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 程序和 Isoplot 程序(Ludwig, 2008)。普通铅校正根据实测的 $^{204}\text{Pb}$ 进行。年龄的误差为

1 $\sigma$ ,同位素比值误差为 1 相对误差, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值具 95% 的置信度误差。

锆石 LA-ICP-MS 稀土元素的分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。测试仪器与测年所用相同,激光束斑直径 40  $\mu\text{m}$ ,剥蚀频率 10 Hz,脉冲能量为 80 mJ,剥蚀时间 50 s。原位稀土元素分析以锆石  $\text{SiO}_2$  含量为内部标准,NIST610  $\text{SiO}_2$  含量为外部标准,具体实验流程等参见 Gao 等(2002)。

## 4 分析结果

### 4.1 锆石特征

锆石阴极发光图像是反映其内部结构最有效和最常用的方法(Poller *et al.*, 1997; 吴元保等, 2004)。隆格尔铁矿粗粒二长花岗岩(LGR004-4)内的锆石粒度在 100~400  $\mu\text{m}$  之间,依据锆石形态和内部结构,二长花岗岩锆石可分为同一组,均为自形和半自形晶,呈长柱状或短柱状晶形,均具细密生长环带(图 2b),显示出典型的岩浆锆石特征。Th/U 比值中等,分别为 0.68~0.98(表 1),均大于 0.1,为岩浆成因锆石(宋彪等, 2002; Fernando *et al.*, 2003; Samuel and Mark, 2003)。

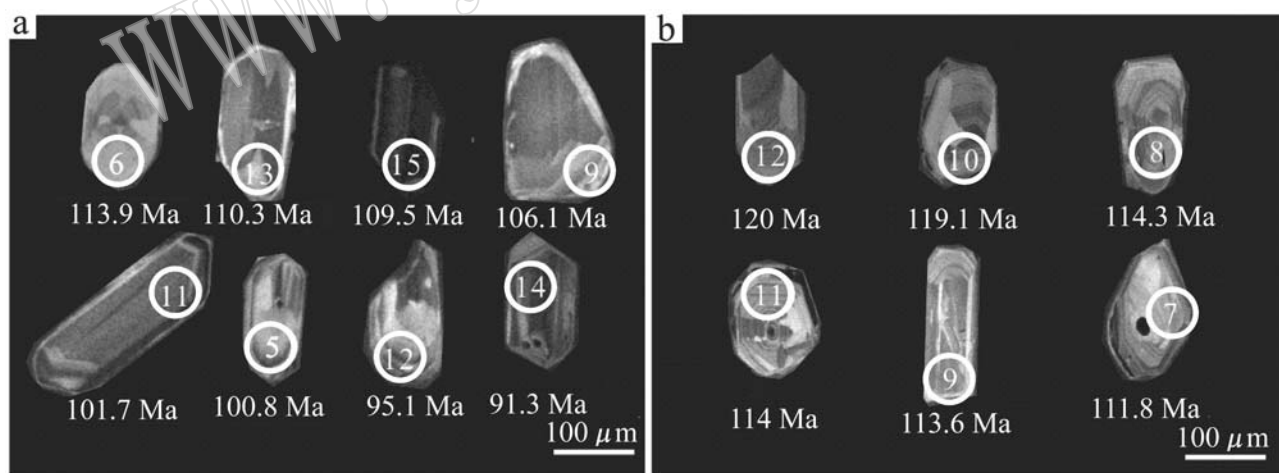


图 2 隆格尔岩体锆石阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence image of zircon from Lunggar rock mass

a—隆格尔细粒石英闪长岩; b—隆格尔粗粒二长花岗岩

a—fine-grained diorite in Lunggar; b—coarse-grained adamellite in Lunggar

细粒石英闪长岩 LGR08-12-1 样品中锆石粒度相对较小为 100~200  $\mu\text{m}$ ,据阴极发光图像特征,锆石群发育过程仅见一期,多为长柱状或短柱状自形-半自形晶,多具有核-边结构,发育细密生长环带。

Th、U 含量普遍较低,除第 9 和第 10 个点的 Th/U 比值其他均大于 0.4,为岩浆复合型锆石(吴元保等, 2004)。而 LGR004-3 样品锆石粒度在 100~400  $\mu\text{m}$  之间,其锆石群可分为 2 组(图 2a)。第 1 组锆石颜

表 1 隆格尔铁矿矿区细粒石英闪长岩、粗粒二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄  
Table 1 Zircon U-Pb age of fine-grained quartz diorite and coarse-grained adamellite in the Lunggar iron deposit

|                       | $w_B/10^{-6}$    |      | $^{232}\text{Th}$ | $w_B/\%$          |        | $\text{Th}/\text{U}$ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |        | $1\sigma$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |     | $1\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |  | $1\sigma$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}(\text{Ma})$ |  | $1\sigma$ |
|-----------------------|------------------|------|-------------------|-------------------|--------|----------------------|-----------------------------------|--------|-----------|----------------------------------|-----|-----------|----------------------------------|--|-----------|---------------------------------------------|--|-----------|
|                       | $^{238}\text{U}$ |      |                   | $^{206}\text{Pb}$ |        |                      |                                   |        |           |                                  |     |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| 隆格尔粗粒二长花岗岩(SHRIMP)    |                  |      |                   |                   |        |                      |                                   |        |           |                                  |     |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-4-7.1          | 131              | 86   | 0.68              | 0.05              | 5.2    | 0.09                 | 0.110                             | 0.026  | 0.024     | 111.8                            | 2.7 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-4-8.1          | 113              | 86   | 0.79              | 0.05              | 5.5    | 0.10                 | 0.095                             | 0.027  | 0.016     | 114.3                            | 2.8 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-4-9.1          | 237              | 224  | 0.98              | 0.05              | 3.9    | 0.07                 | 0.131                             | 0.028  | 0.011     | 113.6                            | 2.5 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-4-10.1         | 223              | 168  | 0.78              | 0.05              | 4.3    | 0.12                 | 0.083                             | 0.030  | 0.019     | 119.1                            | 2.6 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-4-11.1         | 246              | 191  | 0.80              | 0.05              | 3.8    | 0.08                 | 0.230                             | 0.025  | 0.016     | 114.0                            | 2.6 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-4-12.1         | 193              | 139  | 0.74              | 0.05              | 4.2    | 0.14                 | 0.044                             | 0.032  | 0.011     | 120.0                            | 2.6 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| 隆格尔细粒石英闪长岩(SHRIMP)    |                  |      |                   |                   |        |                      |                                   |        |           |                                  |     |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-1.1          | 467              | 740  | 1.64              | 0.05              | 0.024  | 0.11                 | 0.048                             | 0.038  | 0.041     | 116.1                            | 2.3 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-2.1          | 688              | 569  | 0.85              | 0.05              | 0.024  | 0.11                 | 0.036                             | 0.031  | 0.008     | 106.9                            | 2.0 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-3.1          | 539              | 797  | 0.53              | 0.05              | 0.03   | 0.08                 | 0.088                             | 0.023  | 0.025     | 93.3                             | 1.8 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-4.1          | 346              | 380  | 1.14              | 0.05              | 0.037  | 0.10                 | 0.054                             | 0.024  | 0.017     | 98.4                             | 2.0 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-5.1          | 295              | 247  | 0.87              | 0.05              | 0.037  | 0.11                 | 0.050                             | 0.027  | 0.040     | 100.8                            | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-6.1          | 139              | 91   | 0.67              | 0.05              | 0.045  | 0.10                 | 0.110                             | 0.033  | 0.013     | 113.9                            | 2.6 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-7.1          | 605              | 817  | 1.39              | 0.05              | 0.025  | 0.13                 | 0.041                             | 0.044  | 0.023     | 114.8                            | 2.2 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-8.1          | 310              | 347  | 1.15              | 0.05              | 0.034  | 0.10                 | 0.040                             | 0.028  | 0.019     | 101.3                            | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-9.1          | 389              | 644  | 1.71              | 0.05              | 0.028  | 0.11                 | 0.068                             | 0.027  | 0.009     | 106.1                            | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-10.1         | 511              | 921  | 1.86              | 0.05              | 0.026  | 0.09                 | 0.044                             | 0.030  | 0.023     | 97.6                             | 1.9 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-11.1         | 398              | 444  | 1.15              | 0.05              | 0.042  | 0.11                 | 0.044                             | 0.027  | 0.008     | 101.7                            | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-12.1         | 413              | 343  | 0.86              | 0.05              | 0.03   | 0.08                 | 0.148                             | 0.022  | 0.031     | 95.1                             | 2.0 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-13.1         | 486              | 866  | 1.84              | 0.05              | 0.04   | 0.1                  | 0.072                             | 0.043  | 0.019     | 110.3                            | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-14.1         | 423              | 428  | 1.05              | 0.05              | 0.03   | 0.08                 | 0.079                             | 0.024  | 0.018     | 91.3                             | 2.2 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LRG004-3-15.1         | 380              | 603  | 1.64              | 0.05              | 0.02   | 0.13                 | 0.051                             | 0.033  | 0.008     | 109.5                            | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| 隆格尔细粒石英闪长岩(LA-ICP-MS) |                  |      |                   |                   |        |                      |                                   |        |           |                                  |     |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-01         | 193.2            | 293  | 1.51              | 0.05              | 0.0034 | 0.101                | 0.0065                            | 0.0152 | 0.0003    | 97.0                             | 1.9 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-02         | 185.6            | 175  | 0.94              | 0.05              | 0.0032 | 0.107                | 0.0061                            | 0.0154 | 0.0003    | 98.5                             | 1.9 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-03         | 155              | 217  | 1.39              | 0.05              | 0.0037 | 0.112                | 0.0071                            | 0.0149 | 0.0003    | 95.4                             | 1.9 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-04         | 148              | 167  | 1.12              | 0.05              | 0.0043 | 0.103                | 0.0085                            | 0.0151 | 0.0003    | 96.7                             | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-05         | 123              | 123  | 0.99              | 0.05              | 0.0039 | 0.112                | 0.0076                            | 0.0153 | 0.0003    | 97.7                             | 2.0 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-06         | 157              | 234  | 1.48              | 0.05              | 0.0044 | 0.111                | 0.0084                            | 0.0150 | 0.0003    | 96.0                             | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-07         | 202              | 161  | 0.79              | 0.05              | 0.0032 | 0.113                | 0.0060                            | 0.0152 | 0.0002    | 97.2                             | 1.8 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-08         | 205              | 178  | 0.86              | 0.05              | 0.0036 | 0.106                | 0.0069                            | 0.0151 | 0.0003    | 96.7                             | 1.9 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-09         | 73.1             | 28.3 | 0.38              | 0.05              | 0.0047 | 0.11                 | 0.0093                            | 0.0154 | 0.0003    | 98.3                             | 2.2 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-10         | 72.9             | 28   | 0.38              | 0.05              | 0.0046 | 0.101                | 0.0092                            | 0.0154 | 0.0003    | 98.4                             | 2.2 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-11         | 182              | 178  | 0.97              | 0.05              | 0.0067 | 0.112                | 0.0134                            | 0.0152 | 0.0004    | 97.2                             | 2.9 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-12         | 140              | 133  | 0.94              | 0.05              | 0.0044 | 0.105                | 0.0088                            | 0.0154 | 0.0003    | 98.4                             | 2.1 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-13         | 235              | 168  | 1.05              | 0.05              | 0.0079 | 0.113                | 0.0163                            | 0.0154 | 0.0005    | 98.2                             | 3.3 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-15         | 177              | 188  | 1.05              | 0.05              | 0.0059 | 0.107                | 0.0118                            | 0.0150 | 0.0003    | 96.1                             | 2.4 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-16         | 233              | 207  | 0.88              | 0.05              | 0.0043 | 0.111                | 0.0084                            | 0.0152 | 0.0003    | 97.5                             | 2.0 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |
| LGR08-12-1-17         | 226              | 331  | 1.46              | 0.05              | 0.0070 | 0.1                  | 0.0154                            | 0.0152 | 0.0005    | 97.4                             | 3.3 |           |                                  |  |           |                                             |  |           |

色较暗,均为块状均匀的浑圆状及不规则状,边缘较光滑,边部往往发生过熔蚀,具捕获锆石特征(图 2a 中的 6、9、13、15)。Th、U 含量较高(表 1),Th/U 比值 0.67~1.85。第 2 组锆石颜色较亮,一般为规则的长柱或短柱状,具明显的生长环带,边缘无熔蚀,外侧一般具暗色环带(图 2a 中的 5、11、12、14)。Th、U 含量较低(表 1),Th/U 比值为 0.53~1.86。

#### 4.2 锆石 U/Pb 年龄

对矿区中细粒闪长岩(LGR004-3)和粗粒花岗岩(LGR004-4)2 个样品的锆石群中 21 个颗粒的 21 个点进行了 SHRIMP 测试;而细粒闪长岩 LGR08-12-1 样品中 16 颗锆石的 16 个点应用 LA-ICP-MS 锆石 U/Pb 定年。测试结果(表 1)表明,两种方法测得的 3 个样品锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 具有较好的谐和性(图 3),指示锆石形成后 U-Pb 同位素体系基本封闭,没有 U 或 Pb 同位素的明显丢失或加入,测得的年龄可代表锆石的结晶年龄。

细粒闪长岩 LGR08-12-1 样品应用 LA-ICP-MS 锆石 U/Pb 定年所测得的锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄仅一期,16 颗锆石的 16 个点加权平均年龄为  $97.2 \pm 1.1$  Ma(图 3c);LGR004-3 样品中锆石可归纳为 2 期,分别与上述期锆石群分组对应,应用 SHRIMP 方法测得:第 1 期 5 颗锆石的加权平均年龄为  $97.4 \pm 3.2$  Ma(图 3b);第 2 期 7 颗锆石(点 1、2、6、7、9、13、15)的加权平均年龄为  $110.8 \pm 3.7$  Ma(图 3b)。而粗粒花岗岩闪长岩 LGR004-4 内的锆石群中 6 个颗粒的 6 个点进行了 SHRIMP 测试,测得的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄经过加权平均后为  $115.5 \pm 2.1$  Ma(图 3a)。由此可见,对于细粒闪长岩同一岩体的 2 个样品应用不同方法测得的年龄数据一致,但 SHRIMP 测试的精确度显然高于 LA-ICP-MS 锆石 U/Pb 定年方法。并且,两种方法所测有效锆石年龄在谐和图上均落于谐和线上,具较好的谐和年龄。因此,所测年龄可分别代表各组锆石的结晶年龄。

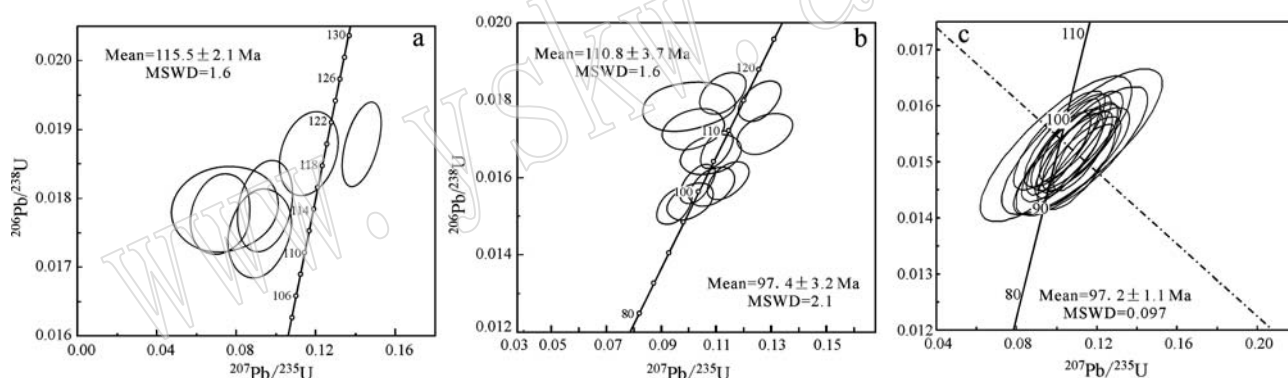


图 3 隆格尔粗粒花岗岩和细粒闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 U-Pb age concordia diagram of zircon from coarse-grained granite and fine-grained diorite in the Lunggar deposit

a—隆格尔粗粒花岗岩闪长岩; b—隆格尔细粒石英闪长岩 LGR004-3; c—隆格尔细粒石英闪长岩 LGR08-12-1

a—coarse-grained adamellite in Lunggar; b—fine-grained quartz diorite LGR004-3 from Lunggar; c—fine-grained quartz diorite LGR08-12-1 from Lunggar

#### 4.3 锆石的稀土元素特征

锆石的稀土元素原位分析点与锆石 U/Pb 年龄点相同。分析结果(表 2、表 3、图 4)表明:不同点的锆石稀土元素配分模式相似,隆格尔细粒闪长岩锆石均表现为 LREE 亏损、HREE 富集的左倾配分模式,明显的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu} = 0.07 \sim 0.11$ )和弱至中等的正 Ce 异常的特征,而 La 变化幅度很大( $< 0.011 \times 10^{-6} \sim 40.21 \times 10^{-6}$ )十分分散,可能是由锆石结晶的氧化还原环境的变化导致的。

$\Sigma\text{REE}$  较高( $913.5 \times 10^{-6} \sim 2\,666.5 \times 10^{-6}$ ),较年轻锆石的稀土元素总量相对高于较老锆石的稀土

元素总量。HREE 强烈富集[(Nd/Yb)<sub>N</sub> = 0.001 39 ~ 0.020 61, (Gd/Yb)<sub>N</sub> = 0.032 97 ~ 0.083 62, (La/Sm)<sub>N</sub> = 0.002 55 ~ 1.881 85, U/Yb = 0.516 68 ~ 1.224 92]。

## 5 讨论

### 5.1 成岩成矿年龄

不同类型锆石具有不同的微量元素组成,对锆石不同区域进行系统的内部结构、形态特征、微量元素特征等综合研究,可以使年龄结果更加准确合理

表 2 隆格尔铁矿细粒石英闪长岩锆石稀土元素含量  
Table 2 REE content of zircons from fine-grained quartz diorite in the Lunggar iron deposit

| 样品号           | Y        | La      | Ce    | Pr      | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy     | Ho    | Er     | Tm    | Yb     | Lu    |
|---------------|----------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 隆格尔细粒闪长岩      |          |         |       |         |       |       |       |       |       |        |       |        |       |        |       |
| LGR08-12-1-01 | 1 386.94 | 0.043   | 15.82 | 0.259   | 4.04  | 7.37  | 1.398 | 33.54 | 11.6  | 126.49 | 46.96 | 196.41 | 40.78 | 362.16 | 64.58 |
| LGR08-12-1-02 | 686.11   | <0.011  | 14.68 | 0.049   | 0.97  | 2.42  | 0.402 | 12.4  | 4.85  | 57.07  | 22.37 | 102.97 | 23.14 | 220.7  | 42.97 |
| LGR08-12-1-03 | 1 038.7  | 11.85   | 39.08 | 3.24    | 16.63 | 8.17  | 1.338 | 28.76 | 9.26  | 98.54  | 35.71 | 147.42 | 31.42 | 281.99 | 50.73 |
| LGR08-12-1-04 | 783.97   | 4.98    | 23.26 | 1.504   | 7.68  | 4.72  | 0.82  | 18.69 | 6.21  | 69.59  | 25.76 | 114.22 | 25.1  | 232.38 | 44.11 |
| LGR08-12-1-05 | 547.45   | 0.331   | 13.1  | 0.153   | 1.17  | 2.19  | 0.56  | 11.08 | 4.19  | 47.15  | 18.21 | 79.74  | 17.17 | 163.26 | 31.24 |
| LGR08-12-1-06 | 1 166.75 | 0.103   | 13.87 | 0.206   | 3.63  | 6.35  | 1.312 | 31.76 | 10.16 | 111.37 | 40.52 | 167.72 | 34.87 | 305.02 | 54.55 |
| LGR08-12-1-07 | 605.67   | 0.019 5 | 13.9  | <0.020  | 0.67  | 2.38  | 0.379 | 12.3  | 4.47  | 51.46  | 20    | 89.94  | 20.42 | 192.34 | 37.14 |
| LGR08-12-1-08 | 651.73   | <0.017  | 14.33 | 0.032 4 | 0.78  | 2.07  | 0.394 | 11.09 | 4.46  | 53.93  | 21.15 | 96.84  | 22.5  | 221.25 | 41.5  |
| LGR08-12-1-11 | 648.78   | 0.051   | 13.32 | 0.054   | 1.21  | 2.60  | 0.576 | 13.52 | 5.08  | 56.15  | 21.65 | 94.6   | 21.08 | 202.41 | 38.76 |
| LGR08-12-1-12 | 732.03   | <0.013  | 12.99 | 0.113   | 1.56  | 3.21  | 0.717 | 16.19 | 5.8   | 63.79  | 24.05 | 106.11 | 23.72 | 226.58 | 41.53 |
| LGR08-12-1-13 | 502.48   | 0.671   | 13.96 | 0.142   | 0.77  | 1.69  | 0.232 | 7.91  | 3.18  | 39.69  | 16.35 | 79.04  | 18.95 | 192.64 | 35.78 |
| LGR08-12-1-14 | 344.12   | 40.21   | 98.31 | 10.73   | 49.83 | 11.67 | 0.859 | 13.63 | 3.33  | 31.35  | 11.08 | 49.8   | 11.13 | 106.07 | 19.63 |
| LGR08-12-1-15 | 780.10   | 0.771   | 16.06 | 0.349   | 2.63  | 4.39  | 0.868 | 19.73 | 6.66  | 72.83  | 27.01 | 117.26 | 24.96 | 240.72 | 43.51 |
| LGR08-12-1-16 | 668.83   | 12.47   | 40    | 2.55    | 11.16 | 4.06  | 0.562 | 13.26 | 4.81  | 57.4   | 22.33 | 100.66 | 22.79 | 225.56 | 41.78 |
| LGR08-12-1-17 | 1 594.80 | 0.055   | 16.65 | 0.349   | 5.80  | 9.43  | 1.8   | 40.98 | 13.63 | 156.11 | 55.65 | 227.45 | 47.48 | 423.35 | 73.04 |
| LGR08-12-1-18 | 556.19   | 3.70    | 20.66 | 0.836   | 3.92  | 2.84  | 0.457 | 11.77 | 4.23  | 48.61  | 18.7  | 83.37  | 18.66 | 179.44 | 34.33 |

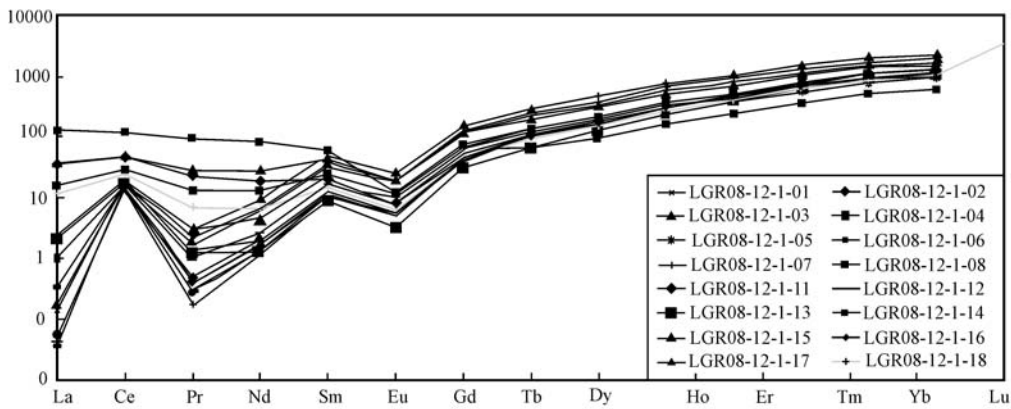


图 4 隆格尔细粒闪长岩锆石稀土元素球粒陨石标准化配分模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of zircons from fine-grained diorite in Lunggar

表 3 隆格尔细粒闪长岩锆石稀土元素 U/Yb 比值及分析结果

$\omega_B/10^{-6}$

Table 3 U/Yb ratios and analyses of REE in zircons from fine-grained quartz diorite in the Lunggar iron deposit

| 样品号           | U/Yb     | $\Sigma\text{REE}$ | $(\text{Nd}/\text{Yb})_N$ | Eu*   | $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ | $(\text{La}/\text{Sm})_N$ | $(\text{La}/\text{Yb})_N$ | $\delta\text{Ce}$ |
|---------------|----------|--------------------|---------------------------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| LGR08-12-1-01 | 0.533 65 | 2 298.3            | 0.003 9                   | 0.088 | 0.074 37                  | 0.003 57                  | 0.000 078                 | 17.57             |
| LGR08-12-1-02 | 0.841 32 | 1 191.1            | 0.001 53                  | 0.073 | 0.045 12                  | 0.002 96                  | 0.000 035                 | 52.70             |
| LGR08-12-1-03 | 0.552 60 | 1 802.8            | 0.020 61                  | 0.087 | 0.081 90                  | 0.888 67                  | 0.027 748                 | 0.23              |
| LGR08-12-1-04 | 0.638 30 | 1 362.9            | 0.011 55                  | 0.087 | 0.064 59                  | 0.646 44                  | 0.014 150                 | 0.69              |
| LGR08-12-1-05 | 0.757 19 | 936.99             | 0.002 50                  | 0.113 | 0.054 50                  | 0.092 60                  | 0.001 338                 | 15.96             |
| LGR08-12-1-06 | 0.516 68 | 1 948.1            | 0.004 16                  | 0.092 | 0.083 62                  | 0.009 93                  | 0.000 222                 | 18.06             |
| LGR08-12-1-07 | 1.052 30 | 1051.0             | 0.001 21                  | 0.070 | 0.051 35                  | 0.005 02                  | 0.000 066                 | 84.28             |
| LGR08-12-1-08 | 0.926 73 | 1 142.0            | 0.001 23                  | 0.082 | 0.040 25                  | 0.005 06                  | 0.000 051                 | 65.91             |
| LGR08-12-1-11 | 0.902 87 | 1 119.8            | 0.002 09                  | 0.097 | 0.053 64                  | 0.012 01                  | 0.000 166                 | 10.01             |
| LGR08-12-1-12 | 0.621 28 | 1 258.3            | 0.002 40                  | 0.099 | 0.057 38                  | 0.002 55                  | 0.000 039                 | 0.06              |
| LGR08-12-1-13 | 1.224 92 | 913.48             | 0.001 39                  | 0.063 | 0.032 97                  | 0.243 26                  | 0.002 300                 | 7.66              |
| LGR08-12-1-15 | 0.738 82 | 1 357.8            | 0.003 81                  | 0.093 | 0.065 82                  | 0.107 60                  | 0.002 114                 | 0.23              |
| LGR08-12-1-16 | 1.036 44 | 1 228.2            | 0.017 29                  | 0.076 | 0.047 21                  | 1.881 85                  | 0.036 505                 | 14.33             |
| LGR08-12-1-17 | 0.534 75 | 2 666.5            | 0.004 78                  | 0.091 | 0.077 73                  | 0.003 57                  | 0.000 085                 | 1.08              |

(吴元保等,2004; 王清海等,2008)。隆格尔铁矿与成矿密切相关的粗粒二长花岗岩的锆石 Th/U 比值均大于 0.1,为岩浆成因锆石,U-Pb 年龄为  $115.5 \pm 2.1$  Ma,可代表岩体的成岩年龄,而矽卡岩型铁矿床形成年龄应略晚于岩体成岩年龄。

成矿后的细粒石英闪长岩的两组锆石 Th/U 比值均大于 0.1,为岩浆成因锆石,U-Pb 年龄分别为  $110.8 \pm 3.7$  Ma 和  $97.3 \pm 2.3$  Ma,其中年龄较老的一组锆石阴极发光图像显示出捕获锆石特征,其年龄代表岩浆侵位过程中捕获的围岩中的锆石年龄;年龄较新的一组锆石阴极发光图像显示岩浆结晶锆石特征,其年龄可代表细粒石英闪长岩的成岩年龄,即  $97.3 \pm 2.3$  Ma。

5.2 岩浆源区特征

在 Grimes 等(2007)总结出的 U/Yb - Y 图解

(图 5)中,隆格尔细粒石英闪长岩均落在陆壳区内。因此,隆格尔细粒石英闪长岩是地壳部分熔融形成的。

隆格尔细粒石英闪长岩锆石具较高且变化范围较宽的  $\Sigma\text{REE}$  ( $913.5 \times 10^{-6} \sim 2\,666.5 \times 10^{-6}$ )和强 Eu 负异常( $\delta\text{Eu}=0.07 \sim 0.11$ ),并具有 LREE 超量现象,与壳源岩浆锆石的稀土元素特征(Belousova *et al.*, 1998; Li *et al.*, 2000; Hoskin and Ireland, 2000)相似;其弱至中等的 Ce 正异常介于幔源岩浆锆石无或弱 Ce 正异常(Belousova *et al.*, 1998)与壳源岩浆锆石显著 Ce 正异常(Li *et al.*, 2000)之间,同样反映出一定的壳幔混源岩浆的特征。由于 LREE 在角闪石、黑云母、斜长石(Eu 除外)及正长石中的分配系数小于 1(陈德潜等,1990),壳幔混源岩浆在岩浆房中发生结晶分异,导致岩浆中 LREE 不

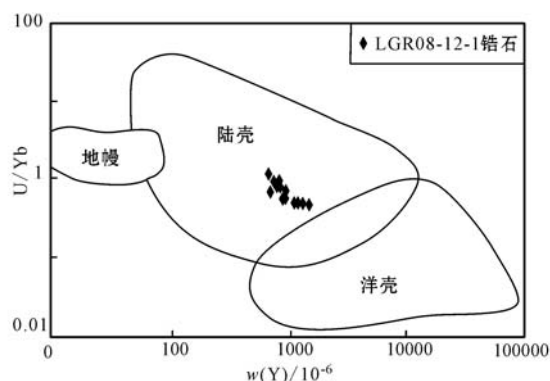


图5 陆壳-洋壳锆石 U/Yb - Y 微量元素图解  
(底图据 Grimes *et al.*, 2007)

Fig. 5 Zircon U/Yb - Y trace element diagrams of continental crust-oceanic crust (base map after Grimes *et al.*, 2007)

断富集,从而加剧了锆石中的 LREE 超量现象,并使 Eu 负异常更趋强烈。

## 5.2 成岩成矿的地质背景

隆格尔铁矿床位于拉萨地块中部隆格尔-王布江达中生代断隆带,其东侧同处于同一构造单元内的尼雄铁矿床成矿年龄为 110~116 Ma(张晓倩等, 2010; 于玉帅等, 2011),两者间的洛布勒铁矿床的成岩成矿年龄为  $111.3 \pm 1.6$  Ma(未刊数据)。这些铁矿床处于相同的构造单元,具有相似的成矿特征和相近的成岩成矿年龄,构成一条东西向展布的早白垩世矽卡岩型铁矿成矿带,并可能向西延伸包括帮部勒、龙认拉、查加寺等矽卡岩型铁矿床。此外,该带上还发育有晚白垩世的矽卡岩型铜金矿床,如尕尔穷铜金矿床(辉钼矿 Re-Os 年龄为 86.79 Ma; 李志军等, 2011)、嘎拉勒金铜矿床(金云母 Ar-Ar 年龄为 85.41 Ma; 张雄等, 2011)和日阿铜金矿床(金云母 Ar-Ar 年龄为 87.69 Ma; 辛洪波等, 2006)。因此,这一成矿带应当具有相同或相似的地质背景和构造-岩浆演化过程。

大规模带状分布的酸性岩浆一般形成于成熟的俯冲带或远离岩浆前锋弧的内陆地区(Vogel *et al.*, 2006),其成因不仅仅局限于地壳源区,地幔物质很可能也发挥了重要作用(Matteini *et al.*, 2002; Healy *et al.*, 2004; Deering *et al.*, 2007)。拉萨地块中北部在白垩纪存在大规模的岩浆作用已成为不争的事实,但其成因一直未有定论。一种观点用新特提斯洋壳沿雅鲁藏布江缝合线做低角度的平缓俯冲来解释其成因(Coulonet *et al.*, 1986; Ding and Lai,

2003; Zhang *et al.*, 2004; Kapp *et al.*, 2005; 马国林等, 2010),但 Gutscher 等(2000)提出平板俯冲不能形成岛弧岩浆。另一种观点提出岩浆作用与冈底斯和羌塘地块碰撞过程中增生下地壳的重熔(Pearce and Mei, 1988)或碰撞后软流圈上涌引起的地壳熔融(Harris *et al.*, 1990)关系密切。再一种观点倾向于认为冈底斯带中北部白垩纪岩浆作用与班公湖-怒江洋特提斯岩石圈向南俯冲有关(莫宣学等, 2005; 潘桂棠等, 2006; 朱弟成等, 2009; Zhu *et al.*, 2009; 康志强等, 2010),Zhu 等(2011)还论证了在  $113 \pm 5$  Ma 发生了洋壳的断离,导致了区域上的带状岩浆岩爆发和幔源物质显著增加。

成岩成矿年代学研究是探讨矿床形成机制,解释成岩成矿地质背景的重要依据。本文对隆格尔铁矿区两种岩浆岩的锆石 U-Pb 测年表明,与铁成矿相关的二长花岗岩的成岩年龄为  $115.5 \pm 2.1$  Ma,与区域上大规模岩浆活动的时代相当,而成矿后的石英闪长岩成岩年龄为  $97.3 \pm 2.3$  Ma,介于成铁的岩浆活动与之后成铜金的岩浆活动时代之间。显然,这种幔源物质逐渐增多的成岩成矿过程,应当与拉萨地块与羌塘地块碰撞过程中已俯冲的班公湖-怒江洋壳发生回卷和断离相关。类似于印度-亚洲大陆碰撞过程中已俯冲的雅鲁藏布江洋壳发生回卷和断离引发大规模岩浆活动与成矿,并考虑到成铁的大规模岩浆活动时期区域上仍为则弄群和捷嘎组浅海相沉积,而成铜金的岩浆活动时期区域上已处于竞柱山组沉积前的陆相环境,因此,笔者认为隆格尔铁矿床乃至整个成矿带成铁的岩浆活动可能与洋壳断离前的板片回卷过程相关,成铜金的岩浆活动可能与洋壳断离过程相关,而矿区内石英闪长岩的侵入处于两者之间。

## 6 结论

(1) 隆格尔铁矿属于矽卡岩型铁矿床。与隆格尔铁矿床成矿相关的岩体为粗粒花岗岩,其锆石年龄为  $115.5 \pm 2.1$  Ma,其成岩年龄可近似代表该铁矿床的成矿年龄。成矿后的细粒石英闪长岩,其成岩年龄为  $97.3 \pm 2.3$  Ma,稀土元素特征反映了石英闪长岩是在地壳环境中结晶,但其岩浆源区却具壳幔混合特征。

(2) 隆格尔铁矿的形成与中特提斯洋向南俯冲及其洋陆转换密切相关,并在青藏高原隆升过程中

进一步遭受改造。白垩纪-始新世中特提斯洋向南俯冲消亡和新特提斯海盆向北俯冲并实现洋陆转换,隆格尔-工布江达带发生同构造岩浆成矿事件。

(3) 综合对比发现,隆格尔铁矿与尼雄超大型富铁矿床属于同一个成矿带,对比其区域背景、矿床地质特征、成矿岩体特征及矿床类型、成矿年龄,认为隆格尔铁矿在时间和空间上均与尼雄铁矿有着紧密的联系,属于同一期成矿事件形成的在地理位置上相近的同类型的矿床。尼雄、隆格尔、洛布勒和帮部勒几个矿床共同形成了时空紧密相连的一个矿集区。该矿集区的发现为今后在该区域进一步寻找同类型矿床提供了重要的线索。

## References

- Belousova E A, Griffin W L and Pearson N J. 1998. Trace element composition and cathodoluminescence properties of southern African kimberlitic zircon[J]. *Mineral Ma.* 62: 355~366.
- Chen Deqian and Chen Gang. 1990. The Utility of Rare Earth Element Geochemistry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 198~209. (in Chinese).
- Coulon C, Maluski H, Bollinger C, *et al.* 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet:  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  dating, petrological characteristics and geodynamical significance[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 79: 281~302.
- Deering C D, Vogel T A, Patino L C, *et al.* 2007. Origin of distinct silicic magma types from the Guachipeln Caldera, NW Costa Rica: Evidence for magma mixing and protracted subvolcanic residence[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 165: 103~126.
- Ding L and Lai Q Z. 2003. New geological evidence of crustal thickening in the Gangdese block prior to the Indo-Asian collision[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(15): 1 604~1 610.
- Fernando C, John M H, Paul W OH, *et al.* 2003. Atlas of zircon textures[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 469~500.
- Grimes C B, John B E, Kelemen P B, *et al.* 2007. Trace element chemistry of zircon from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance[J]. *Geology*, 35(7): 643~646.
- Gutscher M A, Maury R, Eissen J P, *et al.* 2000. Can slab melting be caused by flat subduction? [J]. *Geology*, 28: 535~538.
- Harris N B W, Inger S and Xu R. 1990. Cretaceous plutonism in central Tibet: An example of post-collision magmatism? [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44: 21~32.
- Healy B, Collins W J and Richards S W. 2004. A hybrid origin for Lachlan S-type granites: The Murrumbidgee Batholith example[J]. *Lithos*, 78: 197~216.
- Hoskin P and Ireland T. 2000. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator[J]. *Geology*, 28(7): 627~630.
- Hou Zengqian, Lü Qingtian, Wang Anjian, *et al.* 2003. Try to talk about land-continental collision and mineralization in Qinghai-tibet plateau orogenic belt, for example[J]. *Journal of Ore Deposit Geology*, 22(4): 319~334(in Chinese).
- Kapp P, Yin A and Harrison T M. 2005. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development and volcanism in central Tibet[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 117(7/8): 865~878.
- Li X H, Liang X R, Sun M, *et al.* 2000. Geochronology and geochemistry of single-grain zircons: Simultaneous in situ analysis of U-Pb age and trace elements by LA-ICP-MS[J]. *Eur. J. Mineral.*, 12: 1 015~1 024.
- Ludwig R K. 2008. User's Manual for Isplot 3.70[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 1~76.
- Ma Guolin and Yue Yahui. 2010. The Cretaceous volcanic rocks in northern Tibet Lhasa block and its constraints on the mountain, island arc tectonic evolution[J]. *Rock Mineralogical Magazine*, 29(5): 525~538(in Chinese).
- Matteini M, Mazzuoli R, Omarini R, *et al.* 2002. Geodynamical evolution of Central Andes at 24° S inferred by magma composition along the Calama-Olacapato-ElToro transversal volcanic belt[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118: 205~228.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, *et al.* 2003. The mountain in Tibet, eastern porphyry copper molybdenum lead-zinc metallogenic series of development time: Bangpu copper polymetallic deposit and its Re-Os age evidence[J]. *Journal of Ore Deposit Geology*, 22(3): 246~250(in Chinese).
- Mo Xuanxue, Dong Guochen, Zhao Zhidan, *et al.* 2005. The mountain in Tibet, time and space distribution characteristics of granite and the evolution of the crust growth information[J]. *Journal of Geological Colleges and Universities*, (3): 281~290(in Chinese).
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, *et al.* 2006. The mountain, the space-time structure and evolution of orogenic belts[J]. *Journal of Rock*, 22(3): 521~533(in Chinese).
- Pearce J A and Mei H. 1988. Volcanic rocks of the 1985 Tibet geotraverse: Lhasa to Colmud[J]. *Royal Society of London Philosophical Transactions (Series A)*, 327: 169~201.



- Poller U, Huth J, Hoppe P, *et al.* 1997. REE, U, Th and Hf distribution in zircon from western Carpathian Variscan granitoids: A combined cathodoluminescence and ionmicroprobe study [J]. *American Sci.*, 301: 858~876.
- Samuel A B and Mark D S. 2003. High-precision U-Pb zircon geochronology and the stratigraphic record[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 305~326.
- Song Biao, Zhang Shuanhong, Wang Yanbin, *et al.* 2006. The zircon SHRIMP dating data processing system to avoid deviation-standard zircon segmented correction[J]. *The Necessity of Testing*, 25 (1): 9~14(in Chinese).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, *et al.* 2002. The target making, dating zircon SHRIMP samples and related phenomenon discussion[J]. *Geological Review*, 48(suppl): 26~30(in Chinese).
- Vogel T A, Flood T P, Patino L C, *et al.* 2006. Geochemistry of silicic magmas in the Macolod Corridor, SW Luzon, Philippines: Evidence of distinct, mantle derived, crustal sources for silicicmagmas[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151: 267~281.
- Wang Qinghai, Xu Wenliang, Yang Debin, *et al.* 2008. The zircon titanium thermometer in Luxi—the application of the Mesozoic intrusive complex in north Jiangsu[J]. *Journal of Rock*, 24(1): 2 331~2 342(in Chinese).
- Wu Yuanbao and Zheng Yongfei. 2004. Zircon genetic mineralogy research and interpretation of U-Pb age restriction[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1 590~1 604(in Chinese).
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Journal of Annual Review of the Earth and Planetary Sciences*, 28: 211~280.
- Yu Yushuai, Yang Zhusen, Dor Ji, *et al.* 2011. Tibet and catch more iron copper metallogenic age of rock mass and causes: zircon U-Pb isotope age, Hf and rare earth elements evidence[J]. *Journal of Ore Deposit Geology*, 30(3): 420~434(in Chinese).
- Yuan H L, Gao S and Dai M N. 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser ablation quadrupole and multiple collector ICP-MS [J]. *Chemical Geology*, 247: 100~117.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. Cenozoic intrusive body in the northeast of zircon laser probe U-Pb dating and rare earth elements analysis[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48 (14): 1 512~1 520(in Chinese).
- Zhang K J, Xia B D and Wang G M, *et al.* 2004. Early Cretaceous stratigraphy, depositional environments, sandstone provenance, and tectonic setting of central Tibet[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 116: 1 202~1 222.
- Zhang Xiaoqian, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, *et al.* 2010. Male Tibetan Cuo-qin, rock mass of rock formation and its significance to the potential of rich Fe mineralization[J]. *Journal of Rock*, 26(6): 1 793~1 804(in Chinese).
- Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, *et al.* 2009. Geochemical investigation of Early Cretaceous igneous rocks Along an east-west traverse throughout the central Lhasa Terrane, Tibet[J]. *Chemical Geology*, 268: 298~312.
- Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, *et al.* 2009. The southern Tibet triassic and early cretaceous tectonic magmatism and tethys evolution: new ideas[J]. *Study on the Leading Edge*, 16(2): 1~20(in Chinese).
- Zhu D C, Zhao Z D and Niu Y L, *et al.* 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 301: 241~255.

## 附中文参考文献

- 陈德潜, 陈 刚. 1990. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 198~209.
- 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 等. 2003. 试论陆-陆碰撞与成矿作用以青藏高原造山带为例[J]. *矿床地质*, 22(4): 319~334.
- 康志强, 许继峰, 王保弟, 等. 2010. 拉萨地块北部去申拉组火山岩: 班公湖-怒江特提斯洋南向俯冲的产物? [J]. *岩石学报*, 26 (10): 3 106~3 116.
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 2011. 班公湖-怒江成矿带西段尕尔穷铜金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *成都理工大学学报*, 38(6): 678~683.
- 马国林, 岳雅慧. 2010. 西藏拉萨地块北部白垩纪火山岩及其对冈底斯岛弧构造演化的制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(5): 525~538.
- 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 2003. 西藏冈底斯东段斑岩铜钼铅锌成矿系列的发育时限: 帮浦铜多金属矿床辉钼 Re-Os 年龄证据[J]. *矿床地质*, 22(3): 246~250.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 2005. 西藏冈底斯花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. *高校地质学报*, 11(3): 281~290.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 22(3): 521~533.

- 曲晓明, 辛洪波, 徐文艺, 等. 2006. 西藏措勤含铜双峰岩系的发现及其意义[J]. 岩石学报, 22(3): 707~716.
- 宋彪, 张拴宏, 王彦斌, 等. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理时系统偏差的避免——标准锆石分段校正的必要性[J]. 岩矿测试, 25(1): 9~14.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26~30.
- 王清海, 许文良, 杨德彬, 等. 2008. 锆石中铀温度计在鲁西-苏北地区中生代侵入杂岩中的应用[J]. 岩石学报, 24(10): 2331~2342.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1590~1604.
- 辛洪波, 曲晓明. 2006. 藏西措勤县日阿与斑(玢)岩有关的铜矿床的矿床地质特征与成矿时代[J]. 矿床地质, 25(4): 477~482.
- 杨勇, 罗泰义, 杨竹森, 等. 2010. 冈底斯造山带两套不同成矿体系的含矿斑岩对比研究[J]. 矿床地质, 2(29): 195~206.
- 于玉帅, 杨竹森, 多吉, 等. 2011. 西藏加多捕勒铁铜矿成矿岩体时代与成因: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素与稀土元素证据[J]. 矿床地质, 30(3): 420~434.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素分析[J]. 科学通报, 48(14): 1512~1520.
- 张晓倩, 朱弟成, 赵志丹, 等. 2010. 西藏措勤尼雄岩体的岩石成因及其对富 Fe 成矿作用的潜在意义[J]. 岩石学报, 26(6): 1793~1804.
- 张雄, 杨竹森, 何林. 2014. 西藏嘎拉勒金铜矿床<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 33(6): 1127~1133.
- 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 2009. 西藏南部三叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点[J]. 地学前缘, 16(2): 1~20.