

doi: 10.12029/gc20180611

杨绍, 李德威, 陈桂凡, 李华亮, 张硕, 周涛. 2018. 西藏乌鲁穷含铜磁铁矿床的发现及地质特征[J]. 中国地质, 45(6): 1214–1227.
Yang Shao, Li Dewei, Chen Guifan, Li Hualiang, Zhang Shuo, Zhou Tao. 2018. The discovery of the Wuluqiong magnetite deposit in Tibet and its geological characteristics[J]. Geology in China, 45(6): 1214–1227(in Chinese with English abstract).

西藏乌鲁穷含铜磁铁矿床的发现及地质特征

杨绍^{1,2} 李德威² 陈桂凡² 李华亮³ 张硕⁴ 周涛⁵

(1. 中陕核工业集团地质调查院有限公司, 陕西 西安 710100; 2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074;
3. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 4. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210000;
5. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 四川 成都 610213)

摘要: 继尼雄、弗野、材玛等铁矿床的发现之后, 新一轮 1:5 万区域地质调查又在班公湖—怒江成矿带西段乌鲁穷地区发现了较大规模的含铜磁铁矿床。野外路线调查、剖面实测和大比例尺填图表明, 乌鲁穷磁铁矿形成于南羌塘南缘中—晚侏罗世中酸性岩体与上三叠统日干配错群二组(T_3R^2)碳酸盐岩外接触带中, 矿体受后期近南北向高角度正断层改造, 成矿作用表现出多期次、多阶段特征。通过对矿体邻近的石英闪长岩、二长花岗岩和控矿断层中同构造碳酸盐脉进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年, 获得石英闪长岩、二长花岗岩成岩年龄分别为: (161.3 ± 0.72) Ma、 (157.5 ± 1.7) Ma, 并获得同构造碳酸盐脉热液锆石年龄为 (84.2 ± 1.1) Ma。结合前人研究和 1:5 万地质调查成果, 认为乌鲁穷含铜磁铁矿在中—晚侏罗世(157.5~161.3 Ma)班公湖—怒江洋北向俯冲过程中初步富集成矿, 形成矽卡岩型含铜磁铁矿床, 矿体在晚白垩世(84.2 Ma)陆内伸展过程中再次富集; 提出班公湖地区在晚白垩世中期存在一期横跨缝合带的陆内伸展成矿事件, 成矿作用与班公湖—怒江洋闭合后地幔软流圈底辟及其相关的地壳线性热隆伸展是一个机理关联的系统。

关键词: 班公湖—怒江成矿带; 伸展成矿; 矽卡岩型铁矿; 乌鲁穷

中图分类号: P618.31 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)06-1214-14

The discovery of the Wuluqiong magnetite deposit in Tibet and its geological characteristics

YANG Shao^{1,2}, LI Dewei², CHEN Guifan², LI Hualiang³, ZHANG Shuo⁴, ZHOU Tao⁵

(1. Shaanxi Nuclear Industry Geology Surveying Institute, Xi'an 710100, Shaanxi, China; 2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. College of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 4. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 710000, Jiangsu, China; 5. Sichuan Geology and Mineral Bureau Regional Geological Survey Party, Chengdu 710000, Sichuan, China)

Abstract: A relatively large magnetite (including copper) deposit was newly discovered during the 1:50,000 regional geological

收稿日期: 2016-05-23; 改回日期: 2017-12-19

基金项目: 中国地质调查局西藏聂拉木等 4 幅 1:5 万区域地质调查(1212011121242); 中国地质调查局西藏日土县卡易错地区 4 幅 1:5 万区域地质调查(1212011121246); 国家自然科学基金(41603031)联合资助。

作者简介: 杨绍, 男, 1986 年生, 硕士, 工程师, 从事构造地质及区域地质、矿产调查; E-mail: 331887950@qq.com。

survey in Wuluqiong area, Tibet, following the discovery of the Nixiong iron mine, Fuye iron deposit, Caima iron deposit, and some other deposits. Located in the western part of Bangong Co – Nujiang River mineralization belt, this ore deposit has not been studied in such aspects as geological features, genesis, age and formation structural environment. According to the field survey, the authors found that the Wuluqiong magnetite ore deposit was formed in the exo-contact zone between the intermediate-acid intrusive rocks in Middle – Late Jurassic and carbonate rock in 2nd member of Riganpeicuo Group in Upper Triassic (T_3R^2). It was reconstructed by the later NS-trending high-angle normal fault and showed characteristics of multiple phases and stages of mineralization. Based on the LA-ICPMS zircon U–Pb geochronological study of the quartz diorite and the monzogranite adjacent to the orebody and the isostructural carbonate veins in the fault controlling the orebody, the authors obtained two weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of (161.3 ± 0.72) Ma, (157.5 ± 1.7) Ma for the crystallized zircons in the quartz diorite and the monzogranite, and obtained a weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of (84.2 ± 1.1) Ma for the hydrothermal zircons in the isostructural carbonate veins. Combined with the previous research and 1:50,000 geological survey, the authors hold that the Wuluqiong magnetite ore deposit was initially concentrated in skarn-type magnetite during the process of northward subduction of Bangong Co – Nujiang River in Middle-Late Jurassic (157.5–161.3 Ma), and then underwent another enrichment in the process of intracontinental stretch in Late Cretaceous (84.2 Ma). It is considered that mineralization events related to the intracontinental stretch occurred in the middle of Late Cretaceous in Bangong Co area and mineralization might have existed on both north and south sides of the Bangong Co ophiolitic mélange belt. The mineralization, together with the diapirism of asthenosphere after the closure of Bangong Co – Nujiang River and related linearly thermal uplift and stretch of the crust, constituted a system of correlative mechanism.

Key words: Bangong Co –Nujiang mineralization belt; stretching mineralization; skarn-type iron deposit; Wuluqiong

About the first author: YANG Shao, male, born in 1986, assistant engineer, majors in regional geological survey and mineral survey; E-mail: 331887950@qq.com

Fun support: Supported by China Geological Survey Program (No. 1212011121242; No. 1212011121246) and National Natural Science Fund (No. 41603031).

1 引言

班公湖地区位于班公湖—怒江成矿带西段,是镍、铁、铬、铂、锑、锰、铜、金、银等金属矿产和锂、钾、泥炭等非金属矿产的有利成矿区。目前已在班公湖—怒江成矿带西段北侧岩浆岩带发现了多不杂大型斑岩型铜金矿床和弗野、材玛等铁矿床(冯国胜等,2006,2007;余宏全等,2009)(图1),并在南侧岩浆岩带也发现了尕尔穷金(大型)铜(中型)矿床、嘎拉勒金(大型)铜(小型)矿床等及尼雄超大型铁矿床(唐菊兴等,2013;曹圣华等,2007)。在新一轮1:5万区域地质调查过程中,中国地质大学(武汉)卡易错项目组在日土县城NEE约40 km处的乌鲁穷岩体外接触带发现较大规模的含铜磁铁矿床,并在班公湖南侧扎隆琼娃地区也发现了富铁矿点(李华亮等,2014)。一般认为这些矿床(点)是班公湖—怒江洋俯冲阶段的产物(耿全如等,2011),这些矿床(点)宏观上呈东西向分布,但是从矿田、矿床到矿体却表现为近南北向分布,受陆内伸展构造控制。1:5万地质调查表明,班公湖地区晚白垩世

中期发生了一次陆内伸展事件,表现为85.8~88.8 Ma的基性岩脉成群产出于班公湖蛇绿构造混杂岩带及两侧陆块之中,该期伸展事件与同时期矿床有何关系还值得进一步研究。

本文报道了西藏阿里地区日土县乌鲁穷含铜磁铁矿床,并拟通过野外路线调查、剖面实测和大比例尺填图及室内测试分析,同时综合1:5万地质调查成果和前人研究成果,确定乌鲁穷磁铁矿床的地质特征、矿床成因、成矿时代,并对其成矿构造环境进行探讨。研究成果将为班公湖—怒江成矿带的进一步找矿工作和晚白垩世时期成矿构造背景的认识和把握提供有益参考。

2 地质背景

班公湖蛇绿构造混杂岩带呈NWW向穿越研究区,北为南羌塘地块、南为北冈底地块。在1:5万区域地质调查的基础上,综合前人资料(李德威,2008;李华亮,2014),初步归纳班公湖—怒江洋的洋陆转换历史为:晚三叠世—早侏罗世班公湖—怒江洋盆扩张,中侏罗世开始消减,晚侏罗世南北双

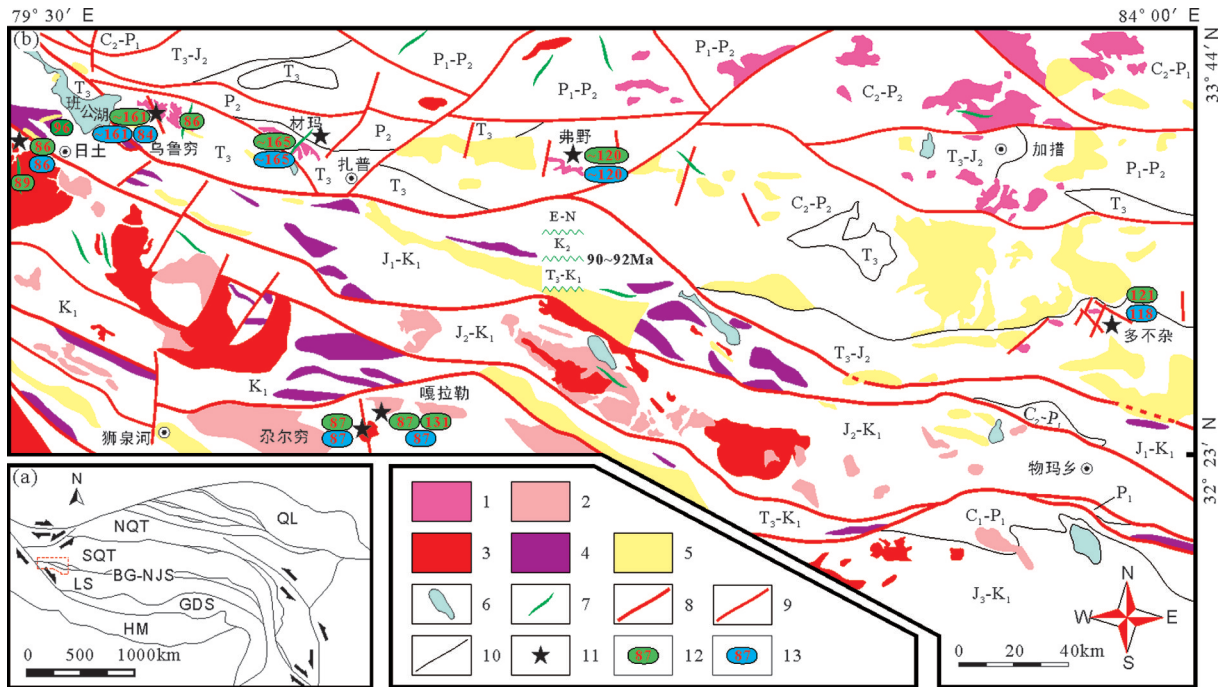


图1 班公湖—怒江成矿带西段地质矿产简图(据余宏全等,2009;张璋等,2011,2015;吕立娜等,2011;姚晓峰等,2013;祝向平等,2015;李志军等,2011;李华亮,2014;张硕等,2014)

1—班—怒带北侧中侏罗世—早白垩世岩浆岩;2—班—怒带南侧早白垩世岩浆岩;3—班—怒带晚白垩世岩浆岩;4—蛇绿构造混杂岩;5— K_2-N 地层;6—湖;7—基性岩脉;8—主断裂;9—次级断裂;10—地层界线;11—矿床(点)位置;12—矿区岩浆岩年龄(Ma);13—成矿年龄(Ma); C_1-P_1 —下石炭统一二叠统地层; C_2-P_1 —上石炭统一二叠统地层; C_2-P_2 —上石炭统一二叠统地层; P_1-P_2 —下二叠统一二叠统地层; P_1 —下二叠统地层; P_2 —上二叠统地层; T_3 —上三叠统地层; T_3-J_2 —上三叠统一中侏罗统地层; T_3-K_1 —上三叠统一白垩统地层; J_1-K_1 —下侏罗统一白垩统地层; J_2-K_1 —中侏罗统一白垩统地层; J_3-K_1 —上侏罗统一白垩统地层; K_1 —下白垩统地层;HM—喜马拉雅地体;GDS—冈底斯地体;LS—拉萨地体;SQT—南羌塘地体;NQT—北羌塘地体;QL—祁连地体;BG—NJS—班公湖—怒江缝合带

Fig. 1 Sketch geological map of the Bangong Co-Nujiang River metallogenic belt showing distribution of mineral deposits

1—Magmatite of Middle Jurassic and early Cretaceous in the north of Bangong Co-Nujiang mineralization belt;2—Magmatite of Early Cretaceous in the south of Bangong Co-Nujiang mineralization belt;3—Magmatite of Late Cretaceous in the Bangong Co-Nujiang mineralization belt;4—Ophiolitic melange;5—Strata of K_2-N ;6—Lake;7—Mafic dikes;8—Main fracture;9—Secondary fault;10—Stratigraphic boundary;11—Location of ore deposit (ore spot);12—Age of magmatic rocks in the mining area (Ma);13—Mineralization age (Ma); C_1-P_1 —Lower Carboniferous to Upper Permian; C_2-P_1 —Upper Carboniferous to Lower Permian; C_2-P_2 —Upper Carboniferous to Upper Permian; P_1-P_2 —Lower Permian to Upper Permian; P_1 —Lower Permian; P_2 —Upper Permian; T_3 —Upper Triassic; T_3-J_2 —Upper Triassic to Middle Jurassic; T_3-K_1 —Upper Triassic to Lower Cretaceous; J_1-K_1 —Lower Jurassic to Lower Cretaceous; J_2-K_1 —Middle Jurassic to Lower Cretaceous; J_3-K_1 —Upper Jurassic to Lower Cretaceous; K_1 —Lower Cretaceous;HM—Himalaya terrane;GDS—Gangdese terrane;LS—Lasha terrane;SQT—South Qiangtang terrane;NQT—North Qiangtang terrane;QL—Qilian terrane;BG—NJS—Bangonghu-Nujiang suture

向俯冲作用加强,早白垩世洋盆消亡(图5);晚白垩世沿着班公湖—怒江结合带线性分布的竟柱山组陆相沉积的砾岩、含砾砂岩角度不整合在蛇绿岩及中特提斯海相沉积岩系之上,标志着洋陆转换的完成,并进入陆内演化阶段,同时发育控制竟柱山组磨拉石建造的近东西向伸展构造和横跨缝合带的基性—酸性岩脉(李德威,2008;江军华等,2011;周涛等,2014;李华亮等,2014;张硕等,2014)。以板块运动、洋陆转换为核心的岩石圈动力学过程向以盆山耦合、板内造山为核心的大陆动力学过程的转折是研究区成矿大爆发的主要地质背景。

3 矿床地质特征

乌鲁穷磁铁矿(含铜)矿床位于南羌塘南缘,西藏日土县城NEE约40 km(图1),主要由2个矿体组成,矿体断续延伸约3000 m,宽40~300 m,局部被第四系覆盖(图2,图3c~f),成矿前景可观,且靠近新藏公路,具有较大的经济价值。

3.1 地层

矿体出露于中—晚侏罗世中酸性岩体与上三叠统日干配错群二组(T_3R^2)泥质条带灰岩外接触带中,其上不整合覆盖有古新统一始新统牛堡组(E_{1-2n})陆相

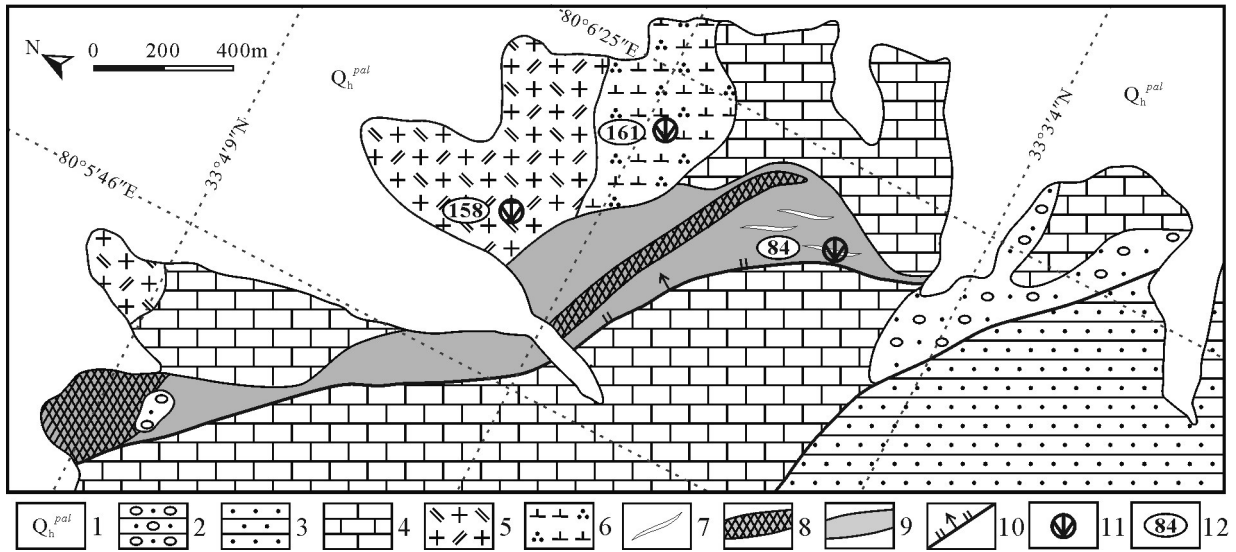


图2 乌鲁穷磁铁矿床地质简图

1—全新世洪冲积物;2—古—始新统牛堡组(E_{1-2n})砾岩;3—上三叠统日干配错群一组(T₃R¹)砂岩;4—上三叠统日干配错群二组(T₃R²)灰岩;5—二长花岗岩;6—石英闪长岩;7—碳酸盐脉;8—矿体;9—矿化带;10—正断层;11—测年位置;12—测年结果(Ma)

Fig. 2 Sketch geological map of the Wuluqiong iron deposit

1—Monzonitic granite;2—Quartz diorite;3—Riganpeicuo Group limestone in Upper Triassic(T₃R¹);4—Riganpeicuo Group sandstone in Upper Triassic(T₃R²);5—Niubao Group in Paleocene to Eocene(E_{1-2n})conglomerate;6—Diluvial deposit and alluvial deposit in Holocene;7—Orebody;8—Mineralized zone;9—Carbonate vein;10—Normal fault;11—Dating location;12—Dating results(Ma)

紫红色砾岩。日干配错群二组(T₃R²)主要由碳酸盐岩构成基本层序,以结晶灰岩与生物碎屑灰岩为特征,两者构成韵律性层序特征,化石丰富,局部夹少量细碎屑岩,属开阔型碳酸盐浅海台地沉积。根据岩性差异将其分为三段:下段灰岩、白云质灰岩,中段角砾灰岩,上段生物碎屑灰岩。地层构造改造强烈,变形样式复杂,是区域上重要的赋矿地层。矿区围岩发生了大理岩化、角岩化、矽卡岩化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化及碳酸盐化等。

3.2 岩浆岩

矿区及周边地区发育中—晚侏罗世石英闪长岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、英云闪长岩等,岩浆活动时代为158~165 Ma(周涛等,2014),区域上属于日土—多不杂岩中侏罗世—早白垩世岩浆弧带,为班公湖—怒江洋北向俯冲的岩浆活动产物。其中石英闪长岩、二长花岗岩与成矿作用关系较为密切。矿区花岗岩以小岩株形式产出,沿北西西向呈带状展布(图1),与区域构造线方向基本一致,岩体中发育少量暗色微粒包体。矿区东侧4 km处发育有近南北向成群产出的85.8 Ma辉绿岩脉(张硕,2014)。

3.3 构造

矿区主要保留了班公湖—怒江洋洋陆转换的构造形迹,构造线走向主体为NWW—SEE向,构造活动具有多期性、继承性特征。矿区保留较好的构造形迹主要有3期:第一期为近东西向中—深构造层次的韧性剪切带,发育有流变褶皱和糜棱岩,剪切作用形成的层间滑脱构造为深部矿液流通和富集创造了良好条件;第二期为近南北向挤压作用形成的等厚褶皱、层间断层、石香肠构造和挤压破碎带,该期构造改造了早期韧性变形,将灰岩肢解和破碎,为矿液的上升和富集进一步创造条件;第三期为陆内伸展体制下形成的近南北向高角度正断层,该期伸展构造改造了早期矿体,并使矿体进一步富集(图2,图3a)。沿该期伸展作用形成的张裂隙和次级断层带中发育有成群产出的同构造碳酸盐脉(图3b),其成分主要为方解石,脉体由对称的不同期次的纤维晶体带组成,显示出脉体生长为一个持续反复增生的过程,且与断层活动同期。不同期次的纤维晶体长轴(X轴)方向均与脉壁垂直,显示出该期围岩变形具有共轴递进变形特征,反映扩

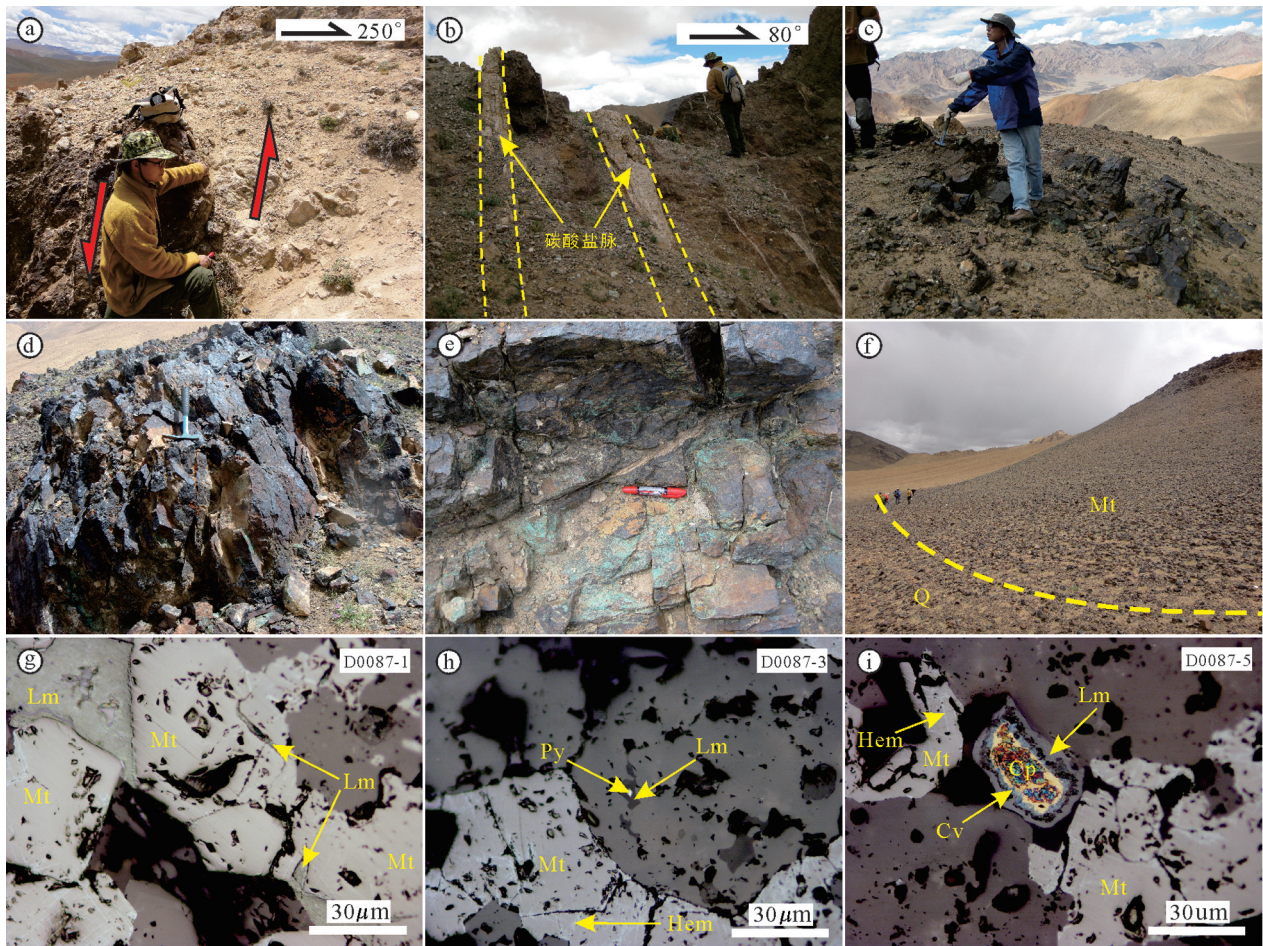


图3 乌鲁穷磁铁矿矿石野外(a, b, c, d, e, f)及镜下(g, h, i)照片

Mt—磁铁矿; Lm—褐铁矿; Hem—赤铁矿; Py—黄铁矿; Cp—黄铜矿; Cv—铜蓝; a—控矿边界断层; b—张裂隙中成群产出的碳酸盐脉; c—矿体(东侧)野外宏观特征; d—矿体(西侧)野外宏观特征; e—矿体中铜矿化; f—矿体与第四系界线; g~i—镜下照片(光片)

Fig. 3 Field photos (a, b, c, d, e, f) and photomicrographs (g, h, i) of Wuluqiong magnetite spot

Mt—Magnetite; Lm—Limonite; Hem—Hematite; Py—Pyrite; Cp—Chalcopyrite; Cv—Covellite; a—Boundary fault controlling ore; b—Carbonate veins formed in separation fractures; c—Macroscopic characteristics of the orebody in the east in the field; d—Macroscopic characteristics of the orebody in the west in the field; e—Copper mineralization in orebodies; f—Boundary between orebody and surrounding rock; g~i—Microscopic photos from flat light sheets

张过程应力方向始终没有变化。脉体宽0.3~5 m,产状与断层一致,平行相间排列,其形成时代代表了伸展作用时代。

矿区控矿构造从类型可分为以下4个方面:(1)接触带构造:岩体和围岩的接触面($225^{\circ}\sim 230^{\circ}\angle 20^{\circ}\sim 30^{\circ}$)与围岩层理面($195^{\circ}\sim 235^{\circ}\angle 22^{\circ}\sim 33^{\circ}$)近于一致;(2)围岩层理和层间破碎带构造:围岩层理发育较好,层厚2~50 cm不等,为泥质灰岩与灰岩互层,局部层间剥离;(3)断裂和裂隙构造:区域上,NNW向断层控制着岩体的侵位,断层走向与接触带走向一致,后期NNW向高角度正断层切穿接触带,促进了

汽水热液进入围岩,并控制矿体产状与分布。条带状灰岩中矩形石香肠构造和节理较为发育,岩石较破碎,多呈角砾状构造;(4)褶皱构造:灰岩褶皱强烈,既有早期中深构造层次的韧性剪切作用形成的流变褶皱,也有后期表浅层次弯滑褶皱作用形成的纵弯褶皱,褶皱类型有顶厚褶皱、平行褶皱、平卧褶皱、紧闭褶皱—开阔褶皱、膝状褶皱,褶皱主波长5~70 cm,褶皱多不完整,常被后期或同期节理或断层错断。

3.4 矿化特征

矿体产于NNW向高角度正断层($55^{\circ}\sim 78^{\circ}\angle 57^{\circ}\sim 73^{\circ}$)上盘,沿断层走向延伸稳定,或尖灭或隐伏于

第四系之下,与围岩层理有较大夹角,明显斜切层理,走向与断层基本一致。矿体赋存状态与围岩岩性、结构构造密切相关,构造裂隙、层间滑脱面及褶皱转折端是主要的赋矿构造。

矿石构造主要为致密块状构造、条带状构造,局部似层状构造、稠密浸染状构造、网脉状构造、角砾状构造,在断层破碎带矿化较好。主要金属矿物为磁铁矿、赤铁矿及少量黄铁矿、褐铁矿,偶见黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿及铜蓝(图3g~i)。

矿石结构为海绵陨铁结构、他形—自形粒状结构、交代格状结构、细脉状结构、包含结构、尖角状结构、交代环边结构、共结边结构等。金属矿物含量55%~85%,磁铁矿呈他形粒状集合体胶结早期透明矿物颗粒,磁铁矿颗粒粒径为0.1~3.0 mm。矿物生成顺序为:黄铁矿→磁铁矿→(黄铜矿、斑铜、黝铜矿)→赤铁矿→铜蓝→褐铁矿。矿石中主要金属元素为Fe,局部富Cu,根据10个捡块样品测试结果,得出其Fe、Cu含量,见表1。

4 样品采集与测试分析

对于矿区石英闪长岩、二长花岗岩和控矿断层中同构造碳酸盐脉(图3b),各采了1件样品用于锆石U-Pb测年。锆石单矿物分选在河北省区域地质调查研究所完成,锆石结构图像应用透射光、反射光和阴极发光(CL)采集,透射光、反射光在中国地质大学(武汉)矿石学实验室完成,阴极发光(CL)和锆石U-Pb定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,锆石定年仪器为带有Shield Torch的Agilent 7500a型ICP-MS;激光剥蚀系统为德国MicroLas公司生产的GeoLas200M,激光器为ComPex102 Excimer(工作物质ArF,波长193 nm)。采用He作为剥蚀物质的载气,分析采用斑束直径为30 μm,频率为10 Hz,能量为32~36 mJ,每个分析点的气体背景采集时间为20 s,信号采集时间为40 s。详细实验过程参见Yuan et al. (2004, 2008)。激光剥蚀方式为单点剥蚀,分析仪器校正采用标准参考物质NIST610进行仪器最佳化。ICP-MS数据采集选用质量峰采点的跳峰方式。年龄计算以国际标准锆石91500作为外标校正,²⁹Si作为内标,每测定6个分析点插入一次标样测定。以ICPMSDataCal(Liu et al., 2008, 2010)软件计算测试

表1 乌鲁穷磁铁矿Fe、Cu元素分析结果

Table 1 Analytic results of Fe, Cu element (%) from the Wuluqiong iron deposit

样品编号	Fe/%	Cu/%
PM10-7-1	12.0	1.82
PM10-7-2	29.0	0.27
PM10-7-3	15.4	0.54
PM10-7-4	19.7	0.01
PM38-28-10	20.7	0.40
PM38-28-12	53.9	0.02
D8077-1	64.7	<0.01
D8077-4	53.9	<0.01
D8077-5	48.4	0.04
07-19-1	12.7	2.82

结果,采用Isoplot3.0程序(Ludwig, 2003)绘制谐和图。所获同位素比值和年龄误差均在1σ水平。

5 分析结果

碳酸盐脉共测定24颗锆石,年龄主要有两组:年龄较老的一组共有17颗锆石,除谐和度较低的4、6、11号测点外,其余14个锆石测点²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值介于156.1~167.7 Ma,加权平均年龄为(160.8±2.0) Ma(MSWD=3.4)(图4b),与矿区岩体年龄一致,可能为从岩体中捕获的锆石,该组锆石颗粒相对较大,粒径50~200 μm,形态多样,总体较它形,边部不平直,部分为港湾状,晶形不完整,多为不规则的碎粒。锆石为面状分带、无分带、或弱分带。部分锆石核部与外侧有明显的界线(图4a中3、8、12、14号测点),核部具有明显的振荡环带,部分核部锆石具有非常明显的溶蚀结构(图4a中8号测点),为流体活动时从围岩捕获的锆石,并受到后期热液的溶蚀作用;外侧的增生边则没有环带结构或环带结构不明显,阴极发光强度比核部弱,增生边厚度5~25 μm。该组锆石由于增生边较窄,锆石测年点基本位于锆石核部,其Th均值为224×10⁻⁶,U均值为358×10⁻⁶,Th/U均值0.65;较年轻的一组有7个测点,除谐和度较低的24号测点外,其余6个锆石测点²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值介于82.8~85.3 Ma,加权平均年龄为(84.2±1.1)Ma(MSWD=1.4)(图4b)。该组锆石颗粒相对较小,有明显的岩浆振荡环带,锆石轮廓清晰,边缘平直,具有较好锆石晶体形态,锆石多呈短柱状(图4a),粒径较前一组小,为50~100 μm,锆石Th、U含量和Th/U比值均比年龄较老的一组高,其

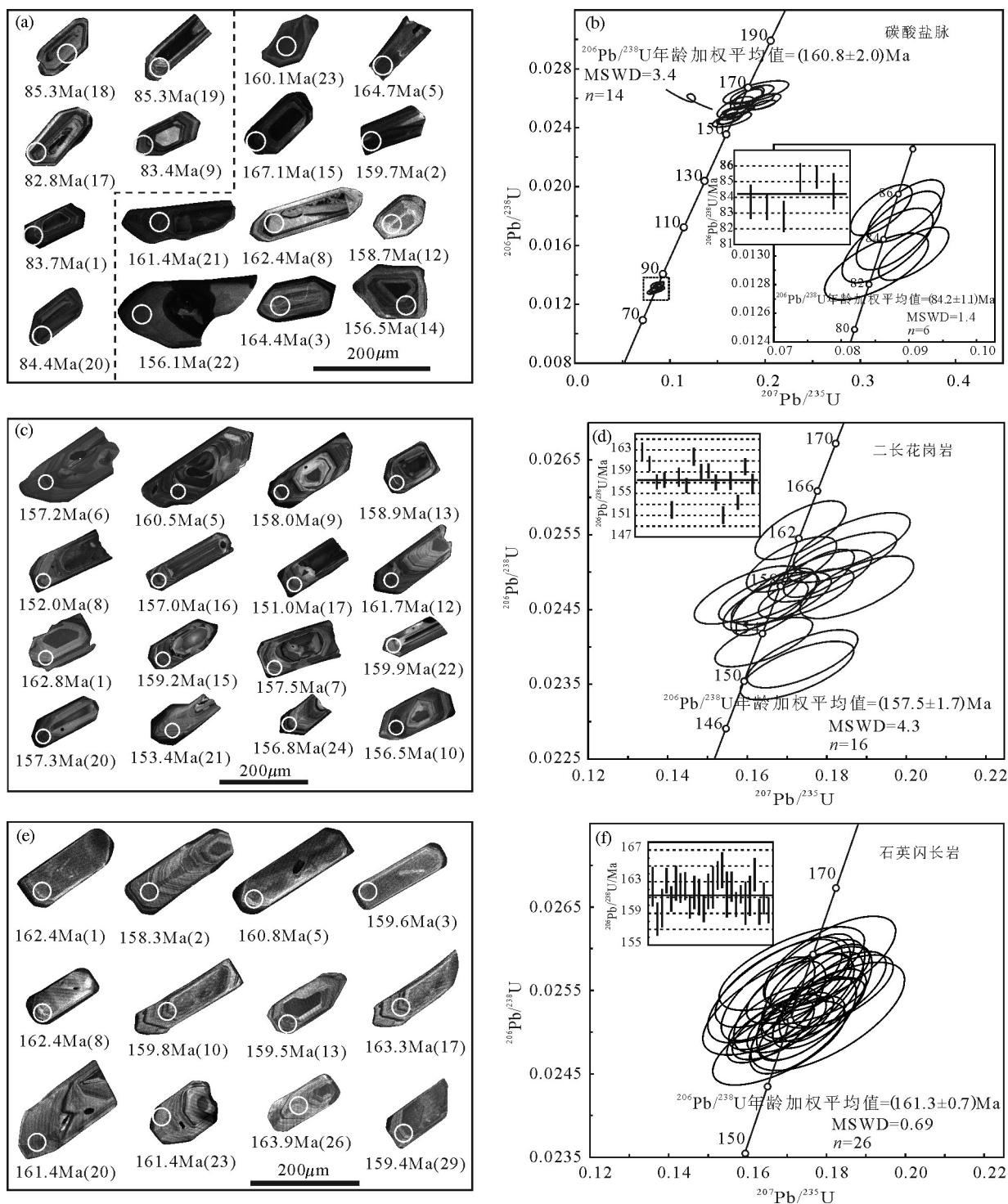


图4 乌鲁木齐同构造碳酸盐脉、二长花岗岩、石英闪长岩锆石阴极发光 (CL) 图像(a, c, e) 和U-Pb年龄谱和图(b, d, f)
Fig.4 Cathodoluminescence (CL) images (a, c, e) and U-Pb concordia diagrams (b, d, f) of zircons in the isostructural carbonate veins, adamellite and quartz diorite

Th均值为 865×10^{-6} , U均值为 680×10^{-6} , Th/U均值1.23, 这部分锆石可能是从热液中直接结晶而成的, 而不是热液对捕获的岩浆锆石蚀变改造的结果, 其结晶年龄代表了热液作用的年代。

二长花岗岩共测定24颗锆石, 锆石多呈短柱状, 少部分为长柱状, 具有明显的岩浆振荡环带, 粒径 $70 \sim 250 \mu\text{m}$, 长宽比为1~2(图4c)。锆石Th均值 165×10^{-6} , U均值 325×10^{-6} , Th/U比值介于0.26~0.84, 平均值0.51, 为典型的岩浆成因(吴元保和郑永飞, 2004)。部分锆石由于铅丢失等原因, 导致谐和度不高, 为了提高数据质量, 将谐和度小于90%的删除。谐和度高于90%的16个锆石测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于151.0~162.8 Ma, 在一致曲线图中, 数据点成群分布(图4d), 其加权平均年龄为 $(157.5 \pm 1.7)\text{Ma}$ (MSWD=4.3), 代表了二长花岗岩的成岩年龄。

石英闪长岩共测定30颗锆石, 锆石多呈长柱状, 少部分为短柱状, 具有明显的岩浆振荡环带, 粒径 $60 \sim 250 \mu\text{m}$, 长宽比为1~4(图4e)。锆石Th均值 126×10^{-6} , U均值 242×10^{-6} , Th/U比值介于0.38~0.80, 平均值0.53, 为典型的岩浆成因(吴元保和郑永飞, 2004)。部分锆石由于铅丢失等原因, 导致谐和度不高, 为了提高数据质量, 将谐和度小于95%的删除。谐和度高于95%的26个锆石测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于158.3~164.4 Ma, 在一致曲线图中, 数据点成群分布(图4f), 其加权平均年龄为 $(161.3 \pm 0.7)\text{Ma}$ (MSWD=0.69), 代表了石英闪长岩的成岩年龄。

6 讨论

6.1 成矿时代

野外调查表明, 乌鲁穷磁铁矿产于岩体与围岩的外接触带, 围岩发生了大理岩化、硅化、角岩化、夕卡岩化, 与南羌塘南缘的弗野、材玛铁矿床一样, 为矽卡岩型矿床, 与邻近的花岗岩岩浆活动密切相关, 岩体成岩年龄可近似代表成矿年龄。同时, 野外地质调查和构造分析表明, 矿体受到NNW向高角度正断层改造, 断层活动时代相对矿区岩体侵位时代较新(后述), 且断层切穿接触带, 断层在一定程度上影响着矿体的形态、产状和规模, 在断层破碎带附近矿化较好, 说明后期断层活动使得矿体进一步发生富集, 成因类型为构造改造-热液叠加

型。次级断层及同期张裂隙中成群产出有同构造碳酸盐脉, 脉体平行相间排列, 其产状与控矿断层产状一致。脉体由对称的不同期次的纤维晶体带组成, 不同期次的纤维晶体长轴(X轴)方向均与脉壁垂直, 显示出脉体生长为一个共递进变形背景下持续反复增生的过程, 并与断层活动同期, 其晚期年龄代表了断层活动时代和热液成矿时代。

从矿区石英闪长岩和二长花岗岩中锆石的结构和Th/U比值来看, 其成因均为岩浆成因, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄分别为161.3 Ma、157.5 Ma, 说明早期成矿时代为157.5~161.3 Ma, 为中-晚侏罗世; 对控矿断层和同期张裂隙中成群产出的同构造碳酸盐脉进行锆石LA-ICP-MS U-Pb测年获得两期年龄。前文分析表明, 早期锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于156.1~167.7 Ma, 加权平均年龄为160.8 Ma, 与矿区花岗岩年龄一致, 为捕获岩体锆石年龄; 晚期锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于82.8~85.3 Ma, 加权平均年龄为84.2 Ma, 代表了晚期热液活动和伸展作用时代, 也即晚期热液成矿年龄, 与班公湖地区晚白垩世陆内伸展运动(后述)相对应。

6.2 成矿构造环境

研究显示, 班公湖-怒江缝合带西段日土-多不杂地区存在一条长约300 km, 呈NWW向延伸的岩浆弧带(曹圣华等, 2006), 从西往东主要有吉普三队岩体、拉热拉新岩体、材玛岩体、弗野岩体、多不杂岩体(图1)。该岩浆弧带为班公湖-怒江洋北向俯冲、消减的岩浆岩响应(曲晓明等, 2009; 耿全如等, 2011; 王勤等, 2015)。岩浆活动主要有两期, 早期岩浆活动时代主要为中-晚侏罗世(158~169 Ma, 如拉热拉新岩体和材玛岩体), 晚期岩浆活动主要集中在早白垩世(118~122 Ma, 如吉普三队岩体、弗野岩体和多不杂岩体)。目前已经在早期的材玛岩体发现了大型夕卡岩型铁矿, 并在晚期的弗野岩体和多不杂岩体分别发现了大型矽卡岩型铁矿和大型斑岩型铜金矿。乌鲁穷铁矿的发现填补了该岩浆弧带西段拉热拉新岩体的找矿空白。前文分析表明, 乌鲁穷磁铁矿成矿作用主要有两期, 早期成矿作用发生于中-晚侏罗世, 矿床类型为矽卡岩型, 与区域上弗野铁矿、材玛铁矿在矿床类型、成矿条件、成矿环境、成矿时代和大地构造背景方面均具有相似性, 形成于班公湖-怒江洋盆北向俯冲的

表2 乌鲁穷同构造碳酸盐脉、二长花岗岩、石英闪长岩的锆石LA-ICP-MS U-Pb 测年结果

Table 2 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results of the isostructural carbonate veins, adamellite and quartz diorite from Wuluqiong

点号	含量/ 10^{-6}		同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
碳酸盐脉														
1	12.4	669	0.01307	0.00017	0.08682	0.00439	0.04801	0.00196	83.7	1.1	84.5	4.1	98.2	102.8
2	8.4	304	0.02508	0.00029	0.17314	0.00983	0.05014	0.00250	159.7	1.8	162.1	8.5	211.2	121.3
3	14.8	507	0.02583	0.00026	0.19666	0.00851	0.05517	0.00185	164.4	1.6	182.3	7.2	420.4	78.7
4	24.7	882	0.02353	0.00031	0.24408	0.01129	0.07521	0.00273	149.9	1.9	221.8	9.2	1073.8	73.3
5	5.5	172	0.02587	0.00046	0.18095	0.01107	0.05195	0.00304	164.7	2.9	168.9	9.5	283.4	135.2
6	7.5	218	0.02435	0.00039	0.30991	0.02110	0.09198	0.00525	155.1	2.4	274.1	16.4	1533.3	108.8
7	12.3	469	0.02460	0.00026	0.16312	0.00859	0.04838	0.00213	156.6	1.6	153.4	7.5	116.8	103.7
8	17.6	590	0.02551	0.00021	0.19826	0.00858	0.05625	0.00166	162.4	1.3	183.7	7.3	461.2	66.7
9	30.88	526	0.01302	0.00012	0.09065	0.00339	0.05087	0.00201	83.4	0.8	88.1	3.2	235.3	90.7
10	10.1	313	0.02600	0.00047	0.18368	0.01021	0.05152	0.00246	165.5	2.9	171.2	8.8	264.9	109.2
11	35.8	446	0.07619	0.00562	2.36985	0.20067	0.22090	0.00253	473.3	33.7	1233.6	60.5	2987.4	18.2
12	10.8	336	0.02492	0.00028	0.16847	0.01014	0.04946	0.00264	158.7	1.7	158.1	8.8	168.6	130.5
13	3.3	103	0.02636	0.00052	0.19089	0.02262	0.05444	0.00641	167.7	3.3	177.4	19.3	390.8	266.6
14	14.9	563	0.02457	0.00025	0.16455	0.00800	0.04855	0.00201	156.5	1.6	154.7	7.0	127.9	93.5
15	5.1	172	0.02626	0.00039	0.18699	0.01487	0.05227	0.00418	167.1	2.4	174.1	12.7	298.2	186.1
16	6.4	221	0.02571	0.00036	0.19844	0.01212	0.05643	0.00329	163.6	2.3	183.8	10.3	477.8	125.0
17	10.6	608	0.01293	0.00015	0.08521	0.00503	0.04753	0.00254	82.8	1.0	83.0	4.7	76.0	122.2
18	16.81	388	0.01331	0.00014	0.08952	0.00369	0.04916	0.00210	85.3	0.9	87.1	3.4	166.8	100.0
19	27.14	539	0.01332	0.00012	0.08589	0.00297	0.04689	0.00170	85.3	0.7	83.7	2.8	42.7	85.2
20	13.0	706	0.01318	0.00018	0.08849	0.00410	0.04853	0.00175	84.4	1.1	86.1	3.8	124.2	85.2
21	4.6	168	0.02535	0.00048	0.16950	0.01265	0.04866	0.00339	161.4	3.0	159.0	11.0	131.6	155.5
22	6.0	219	0.02451	0.00034	0.16587	0.01361	0.04845	0.00363	156.1	2.1	155.8	11.9	120.5	179.6
23	12.7	400	0.02515	0.00021	0.17248	0.01113	0.04944	0.00262	160.1	1.3	161.6	9.6	168.6	124.1
24	21.9	1324	0.01208	0.00013	0.13235	0.00897	0.07882	0.00391	77.4	0.8	126.2	8.0	1168.5	98.5
二长花岗岩														
1	8.9	296	0.02557	0.00026	0.17333	0.00757	0.04917	0.00187	162.8	1.6	162.3	6.6	166.8	88.9
2	14.7	468	0.02395	0.00028	0.29193	0.01249	0.08843	0.00315	152.6	1.8	260.1	9.8	1391.7	68.5
3	10.2	362	0.02343	0.00023	0.18642	0.00786	0.05773	0.00202	149.3	1.5	173.6	6.7	520.4	77.8
4	8.0	251	0.02612	0.00028	0.23471	0.01156	0.06537	0.00278	166.2	1.7	214.1	9.5	787.0	88.9
5	10.1	331	0.02521	0.00022	0.18383	0.00906	0.05300	0.00215	160.5	1.4	171.3	7.8	327.8	90.7
6	9.8	337	0.02468	0.00022	0.16529	0.00834	0.04865	0.00183	157.2	1.4	155.3	7.3	131.6	88.9
7	12.5	435	0.02473	0.00022	0.17466	0.00795	0.05122	0.00150	157.5	1.4	163.5	6.9	250.1	63.9
8	7.7	273	0.02386	0.00025	0.17384	0.00920	0.05326	0.00240	152.0	1.6	162.7	8.0	338.9	101.8
9	7.9	256	0.02481	0.00028	0.18752	0.00946	0.05542	0.00258	158.0	1.7	174.5	8.1	427.8	105.5
10	13.4	424	0.02457	0.00022	0.16445	0.00708	0.04854	0.00179	156.5	1.4	154.6	6.2	124.2	87.0
11	16.0	544	0.02251	0.00016	0.21189	0.00909	0.06800	0.00244	143.5	1.0	195.1	7.6	877.8	75.2
12	6.4	205	0.02541	0.00026	0.18625	0.00968	0.05268	0.00242	161.7	1.6	173.4	8.3	322.3	105.5
13	10.2	338	0.02496	0.00023	0.17819	0.00860	0.05137	0.00211	158.9	1.4	166.5	7.4	257.5	91.7
14	8.2	263	0.02432	0.00025	0.23322	0.01099	0.06982	0.00313	154.9	1.6	212.9	9.0	924.1	92.6
15	16.4	580	0.02500	0.00021	0.17794	0.00589	0.05151	0.00125	159.2	1.3	166.3	5.1	264.9	55.5
16	8.8	299	0.02466	0.00023	0.16846	0.00834	0.04940	0.00210	157.0	1.4	158.1	7.3	168.6	100.0
17	5.9	212	0.02370	0.00025	0.17242	0.00950	0.05325	0.00267	151.0	1.6	161.5	8.2	338.9	114.8
18	7.6	260	0.02487	0.00031	0.20914	0.01105	0.06127	0.00254	158.4	1.9	192.8	9.3	650.0	88.9
19	5.6	179	0.02516	0.00034	0.20833	0.01431	0.06013	0.00351	160.2	2.1	192.2	12.0	609.3	127.8
20	6.4	227	0.02471	0.00026	0.15994	0.00891	0.04684	0.00224	157.3	1.6	150.6	7.8	42.7	107.4

续表2

点号	含量/ 10^{-6}		同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
21	11.0	384	0.02408	0.00022	0.16406	0.00814	0.04950	0.00222	153.4	1.4	154.3	7.1	172.3	103.7
22	9.8	331	0.02512	0.00024	0.17098	0.00749	0.04953	0.00197	159.9	1.5	160.3	6.5	172.3	94.4
23	8.2	227	0.02478	0.00024	0.36889	0.01580	0.10840	0.00413	157.8	1.5	318.8	11.7	1772.5	70.4
24	9.2	327	0.02461	0.00029	0.16659	0.00715	0.04909	0.00179	156.8	1.9	156.5	6.2	153.8	85.2
石英闪长岩														
1	6.8	234	0.02551	0.00039	0.17654	0.00863	0.05059	0.00214	162.4	2.5	165.1	7.4	220.4	98.1
2	4.0	129	0.02486	0.00033	0.16785	0.01113	0.04966	0.00316	158.3	2.1	157.6	9.7	189.0	143.5
3	5.2	170	0.02507	0.00038	0.17394	0.00891	0.05160	0.00267	159.6	2.4	162.8	7.7	333.4	118.5
4	7.8	252	0.02563	0.00025	0.17820	0.00824	0.05096	0.00205	163.1	1.6	166.5	7.1	239.0	92.6
5	8.5	278	0.02526	0.00025	0.17646	0.00865	0.05102	0.00208	160.8	1.6	165.0	7.5	242.7	92.6
6	4.3	143	0.02558	0.00035	0.16777	0.01057	0.04804	0.00267	162.8	2.2	157.5	9.2	101.9	125.9
7	10.0	324	0.02548	0.00029	0.18274	0.00925	0.05287	0.00230	162.2	1.8	170.4	7.9	324.1	100.0
8	9.8	315	0.02552	0.00028	0.17301	0.00881	0.04928	0.00209	162.4	1.8	162.0	7.6	161.2	100.0
9	14.7	107	0.05641	0.00316	3.61359	0.32902	0.38066	0.02467	353.8	19.3	1552.5	72.5	3834.4	98.0
10	8.5	277	0.02511	0.00024	0.17075	0.00723	0.04917	0.00173	159.8	1.5	160.1	6.3	166.8	78.7
11	6.6	212	0.02539	0.00033	0.16511	0.00782	0.04708	0.00203	161.6	2.1	155.2	6.8	53.8	100.0
12	9.3	293	0.02530	0.00036	0.16798	0.00766	0.04769	0.00173	161.0	2.3	157.7	6.7	83.4	85.2
13	7.5	252	0.02505	0.00026	0.16791	0.00787	0.04826	0.00197	159.5	1.6	157.6	6.8	122.3	96.3
14	8.0	264	0.02540	0.00028	0.15436	0.00815	0.04375	0.00211	161.7	1.8	145.8	7.2	187.6	43.5
15	9.2	312	0.02541	0.00036	0.17856	0.00701	0.05105	0.00174	161.8	2.2	166.8	6.0	242.7	79.6
16	3.7	115	0.02550	0.00042	0.16788	0.01192	0.04855	0.00339	162.3	2.6	157.6	10.4	124.2	159.2
17	12.5	380	0.02574	0.00029	0.17553	0.00749	0.04967	0.00194	163.8	1.8	164.2	6.5	189.0	123.1
18	8.1	258	0.02584	0.00036	0.18064	0.01100	0.05166	0.00322	164.4	2.3	168.6	9.5	333.4	142.6
19	9.8	291	0.02609	0.00029	0.25664	0.01390	0.07268	0.00407	166.0	1.8	232.0	11.2	1005.6	113.7
20	7.1	241	0.02535	0.00046	0.17676	0.00962	0.05174	0.00291	161.4	2.9	165.3	8.3	272.3	129.6
21	8.7	288	0.02551	0.00030	0.18296	0.00787	0.05225	0.00194	162.4	1.9	170.6	6.8	298.2	89.8
22	9.3	309	0.02516	0.00025	0.16622	0.00734	0.04787	0.00173	160.2	1.6	156.1	6.4	100.1	112.0
23	8.7	284	0.02536	0.00018	0.17658	0.00853	0.05060	0.00208	161.4	1.1	165.1	7.4	233.4	99.1
24	3.6	113	0.02518	0.00043	0.18016	0.01284	0.05252	0.00348	160.3	2.7	168.2	11.0	309.3	151.8
25	3.9	118	0.02533	0.00040	0.16775	0.01263	0.04770	0.00316	161.2	2.5	157.5	11.0	83.4	151.8
26	3.2	103	0.02575	0.00033	0.17114	0.01215	0.04777	0.00307	163.9	2.1	160.4	10.5	87.1	148.1
27	10.6	351	0.02500	0.00025	0.16575	0.00726	0.04819	0.00179	159.2	1.6	155.7	6.3	109.4	87.0
28	7.7	256	0.02527	0.00031	0.17805	0.00779	0.05091	0.00182	160.9	2.0	166.4	6.7	235.3	81.5
29	10.1	337	0.02504	0.00026	0.17354	0.00718	0.05004	0.00175	159.4	1.6	162.5	6.2	198.2	76.8
30	8.2	246	0.02568	0.00034	0.28056	0.01412	0.07889	0.00354	163.4	2.1	251.1	11.2	1169.4	90.0

构造背景(图5)。

关于晚期成矿作用,其成矿构造背景目前争议较大。板块构造与陆内构造在构造地貌、构造机制和动力学背景等方面存在显著差异,因而两种构造背景下的构造—岩浆—沉积—成矿作用具有明显不同。前人从地层、岩石、构造等多方面对班公湖—怒江洋的洋陆转换进行大量研究(曹圣华等, 2004; 邱瑞照等, 2004; 李德威, 2008; 曲晓明等, 2012; 李奋其等, 2014),但对洋盆最终闭合时限的

认识分歧仍然很大。目前普遍认为洋陆转换完成的最可靠的标志是晚白垩世竟柱山组磨拉石建造,李华亮(2014)通过对竟柱山组进行了磁性地层学和ESR年代学研究,得出了研究区竟柱山组开始沉积时代为92~90 Ma,考虑到沉积作用对于相应的构造事件具有滞后效应。因此,班公湖—怒江洋最晚应于92 Ma完成了洋陆转换,并由板块构造体制进入了陆内构造体制。

基性岩脉常被作为大洋和大陆伸展构造的标

志(张贵山等,2006;董传万等,2006)。本项目1:5万区域地质调查发现,在班—怒带西段班公湖地区,近南北走向的辉绿岩脉成群侵入于班公湖蛇绿岩带及两侧陆块之中(图1,图5),其中南羌塘南缘近南北向的德翁辉绿岩(85.8 Ma)位于矿区NEE向4 km,地质和地球化学特征均显示其形成于陆内伸展环境,与地幔软流圈底辟及其相关的地壳线性热隆伸展作用有关,其成岩年龄为85.8~88.8 Ma(张硕,2014)。乌鲁穷磁铁矿晚期热液成矿作用在时间和空间上均能与该期伸展事件吻合,晚期成矿作用也与伸展构造关系密切,说明该期伸展事件对乌鲁穷磁铁矿在晚白垩世时期的再次富集具有重要

的改造作用。李华亮等(2014)对班公湖南侧晚白垩世中期扎隆琼娃磁铁矿点的研究表明,成矿作用主要受近南北向伸展构造控制,矿体呈脉状充填于伸展作用形成的一系列近南北向高角度正断层中,为班公湖—怒江洋闭合后地幔软流圈底辟及其相关的地壳线性热隆伸展的产物。

综上可知,班公湖地区在晚白垩世中期存在一期横跨缝合带的陆内伸展成矿事件,成矿作用与地幔软流圈底辟及其相关的地壳线性热隆伸展是一个机理关联的系统(图5)。

7 结 论

(1)本文报道了西藏班公湖地区乌鲁穷磁铁矿床。锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学研究结果表明,与矿体邻近的石英闪长岩、二长花岗岩及同构造碳酸盐脉成岩年龄分别为:(161.3±0.72) Ma、(157.5±1.7) Ma和(84.2±1.1) Ma。

(2)乌鲁穷磁铁矿主要有两期成矿作用,早期为矽卡岩型,与矿体邻近的石英闪长岩、二长花岗岩关系密切,成矿时代为157.5~161.3 Ma。晚期为构造改造-热液叠加型,主要受近南北向伸展构造控制,成矿时代为84.2 Ma。

(3)结合区域地质资料和1:5万地质调查成果,认为乌鲁穷磁铁矿在中—晚侏罗世班公湖—怒江洋北向俯冲阶段初步富集成矿,矿体在晚白垩世中期陆内伸展过程中再次富集;提出班公湖地区在晚白垩世中期存在一期横跨缝合带的陆内伸展成矿事件,与班公湖—怒江洋闭合后地幔软流圈底辟及其相关的地壳线性热隆伸展是一个机理关联的系统。

致谢:感谢审稿专家提出的建设性意见和建议!

参考文献(References):

Cao Shenghua, Deng Shiquan, Xiao Zhijian, Liao Liugen. 2006. The archipelagic arc tectonic evolution of the Meso-Tethys in the western part of the Bangong Lake-Nujiang Suture Zone[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(4): 25-33(in Chinese with English abstract).

Cao Shenghua, Li Dewei, Yu Zhongzhen, Yuan Jianya, Wu Xuling, Hu Weizheng. 2007. Metallogenic and geological characteristics of the Nixiong superlarge magnetite deposit in Gangdese, Tibet[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(3): 328-334(in Chinese with English abstract).

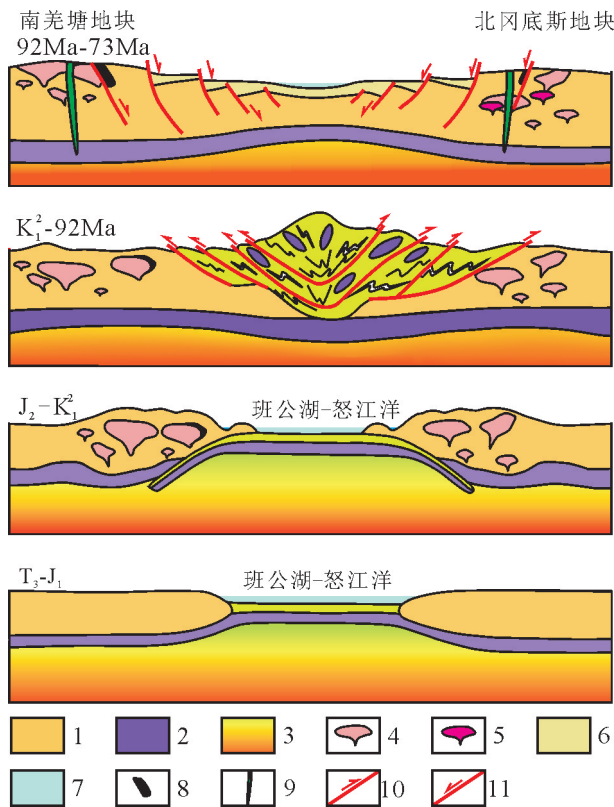


图5 班公湖地区中生代构造演化与成矿演化模式图
1—地壳;2—岩石圈地幔;3—软流圈;4—中侏罗世—早白垩世岩
浆岩;5—晚白垩世岩浆岩;6—竟柱山组磨拉石建造;7—水;
8—铁矿体;9—辉绿岩脉;10—逆断层;11—正断层

Fig. 5 Tectonic evolution and metallogenic evolution in Bangong Lake zone in Mesozoic
1—Crust; 2—Lithosphere mantle; 3—Asthenosphere; 4—Magmatite of Middle Jurassic and Early Cretaceous; 5—Magmatite of Late Cretaceous; 6—Molasse formation of Jingzhushan Group; 7—Water; 8—Iron orebody; 9—Diabase dyke; 10—Reverse fault; 11—Normal fault

- Cao Shenghua, Luo Xiaochuan, Tang Fenglin, Chen Lugen. 2004. Time-space structure and evolution of the arc-basin system on the southern side the Bangong Co-Nujiang junction zone[J]. *Geology in China*, 31(1): 51-56(in Chinese with English abstract).
- Dong Chuanwan, Zhang Dengrong, Xu Xisheng, Yan Qiang, Zhu Guoqiang. 2006. SHRIMP U-Pb dating and litho geochemistry of basic-intermediate dike swarms from Jinjiang, Fujian Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(6): 1696-1702.
- Feng Guosheng, Chen Zhenhua, Liao Liugen, Xiao Yebin. 2007. Geological characteristics of the Fuye porphyrite iron deposit, Rutog County, Tibet, China and its significance for iron prospecting[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 1041-1047(in Chinese with English abstract).
- Feng Guosheng, Liao Liugen, Chen Zhenhua, Xiao Zhijian. 2006. Geological characteristics of the Caima iron-polymetallic deposit, mineral prospecting[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(1): 267-272(in Chinese with English abstract).
- Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liquan, Peng Zhimin, Zhang Zhang. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang Belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1261-1274 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Junhua, Wang Ruijiang, Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Wang Zhenzhong. 2011. Crustal extension of the Bangong lake arc zone, western Tibetan Plateau, after the closure of the Tethys oceanic basin[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 36(6): 1021-1032(in Chinese with English abstract).
- Li Dewei. 2008. Three-stage tectonic evolution and metallogenic evolution in the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent area[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(6): 723-742(in Chinese with English abstract).
- Li Fenqi, Liu Wei, Zhang Shizhen, Li Yong. The Evidence of Earth dynamic background conversion in the north-central Gangdese and its adjacent regions during Middle Jurassic—Early Cretaceous[J]. *Geological Review*, 60(6): 1297-1308(in Chinese with English abstract).
- Li Hualiang, Yang Shao, Li Dewei, Zhang Shuo, Lv Zhiwei, Chen Guifan. 2014. Geochronology, geochemistry, tectonic setting and metallogenic significance of the Late Cretaceous quartz monzonite in the northwestern Gangdise terrane[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(3): 694-705(in Chinese with English abstract).
- Li Hualiang. 2014. Signs and Time of continent-ocean transform of the western part of Bangong - Nujiang Suture Zone [D]. China University of Geosciences(Wuhan), 33-39(in Chinese with English abstract).
- Li Zhijun, Tang Juxing, Yao Xiaofeng, Deng Shilin, Wang You. 2011. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 38(6): 678-683(in Chinese with English abstract).
- Liu Y, Gao S, Hu Z, Gao C, Zong K, Wang D. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51(1/2): 537-571.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Günther D, Xu J, Gao C G, Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257(1): 34-43.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.0: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 4: 1-71.
- Lv Lina, Cui Yubin, Song Liang, Zhao yuanyi, Qu Xiaoming, Wang jiangpeng. 2011. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Galale skarn gold (Copper) deposit, Tibet and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(5): 224-242(in Chinese with English abstract).
- Qiu Ruizhao, Zhou Su, Deng Jinfu, Li Jinfa, Xiao Qinghui, Cai Zhiyong. Dating of gabbro in the Shemalagou ophiolite in the western segment of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt, Tibet—with a discussion of the age of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt[J]. *Geology in China*, 31(3): 262-268(in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Wang Ruijiang, Xin Hongbo, Zhao Yuanyi, Fan Xingtao. 2009. Geochronology and geochemistry of igneous rocks related to the subduction of the Tethys Oceanic Plate along the Bangong lake arc zone, the Western Tibetan Plateau[J]. *Geochimica*, 38(6): 523-535(in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Du Dedao, Chen Hua. 2012. Ages of post-collisional A-type granite and constraints on the closure of the oceanic basin in the middle segment of the Bangonghu-Nujiang suture, the Tibetan plateau[J]. *Geochimica*, 41(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- She Hongquan, Li Jinwen, Ma Dongfang, Li Guangming, Zhang Dequan, Feng Chengyou, Qu Wenjun, Pan Guitang. 2009. Molybdenite Re-Os and SHRIMP zircon U-Pb dating of Duobuza porphyry copper deposit in Tibet and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 28(6): 737-746(in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Zhang Zhi, Li Zhijun, Shun Yan, Yao Xiaofeng, Hu Zhenghua, Wang Hongxing, Song Junlong, He Lin. 2013. The

- metallogensis, deposit model and prospecting direction of the Ga'erqiong-Galale copper-gold ore field, Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 34(4): 385-394(in Chinese with English abstract).
- Wang Qin, Tang Juxing, Fang Xiang, Lin Bin, Song Yang, Wang Yiyun, Yang Huanhuan, Yang Chao, Li Yanbo, Wei Lujie, Feng Jun, Li Li. 2015. Petrogenetic setting of andsites in Rongna ore block, Tiegelong Cu (Au-Ag) deposit, Duolong ore concentration area, Tibet: Evidence from zircon U-Pb LA-ICP-MS dating and petrogeochemistry of andsites[J]. *Geology in China*, 42(5): 1324-1336(in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genetic mineralogy of zircon and its constraints on the interpretation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589-1604 (in Chinese)
- Yao Xiaofeng, Tang Juxing, Li Zhijun, Deng Shilin, Ding Shuai, Hu Zhenghua, Zhang Zhi. 2013. Zhi Zhang. The redefinition of the ore-forming porphyry's age in Gaerqiong skarn-type gold-copper deposit, western Bangong Lake-Nujiang River metallogenic belt, Xizang (Tibet) [J]. *Geological Review*, 59(1): 193-200(in Chinese with English abstract).
- Yuan H L, Gao S, Dai M N, Zong C L, Günther D, Fontaine G H, Liu X M, Diwu C R. 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(1/2): 100-118.
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, Li H M, Günther D, Wu F Y. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353-370.
- Zhang Guishan, Wen Hanjie, Hu Ruizhong, Qiu Yuzhou, Yang Guangshu, Yu Wenxiu. 2006. Geological implications of tectonic stress field formed in mafic dikes in southeastern Fujian[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 30(2): 142-148.
- Zhang Shuo, Shi Hongfeng, Hao Haijian, Li Dewei, Lin Yan, Feng Minmin. 2014. Geochronology, geochemistry and tectonic significance of Late Cretaceous adakites in Bangong Lake, Tibet[J]. *Earth Science —Journal of China University of Geosciences*, 39(5): 509-524(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shuo. Intracontinental Thermal Upwelling Extension after the Ocean-Continent Transition of Meso-Tethys in Bangong Lake, Tibet[D]. *China University of Geosciences(Wuhan)*, 32-41(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhang, Geng Quanru, Peng Zhimin, Cong Feng, Guan Junlei. 2011. Geochemistry and geochronology of the Caima granites in the western part of the Bangong Lake-Nujiang metallogenic zone, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 31(4): 86-96(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhang, Geng Quanru, Peng Zhimin, Cong Feng, Guan Junlei. 2015. Petrogenesis of Fuye pluton in Rutog, Tibet: Zircon U-Pb dating and Hf isotopic constraints[J]. *Geological Bulletin of China*, 34(2/3): 262-273(in Chinese with English abstract).
- Zhou Tao, Chen Chao, Liang Sang, Chen Guifan, Li Hualiang, Li Dewei. 2014. Zircon U-Pb geochronology and geochemical characteristics of Volcanic rocks in the ophiolite mélangé at the Bangong Lake, Tibet[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(1): 157-167(in Chinese with English abstract).
- Zhu Xiangping, Chen Huaan, Liu Hongfei, Ma Dongfang, Li Guangming, Huang Hanxiao, Zhang Hong, Liu Chaoqiang, Wei Lujie. 2015. Zircon U-Pb ages, geochemistry of the porphyries from the Duobuza porphyry Cu-Au deposit, Tibet and their metallogenic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(3): 534-548(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 廖六根. 2006. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. *沉积与特提斯地质*, 26(4): 25-33.
- 曹圣华, 李德威, 余忠珍, 袁建芽, 吴旭铃, 胡为正. 2007. 西藏冈底斯尼雄超大型富铁矿的成矿地质特征[J]. *大地构造与成矿学*, 31(3): 328-334.
- 曹圣华, 罗小川, 唐峰林, 陈鲁根. 2004. 班公湖-怒江结合带南侧弧-盆系时空结构与演化特征[J]. *中国地质*, 31(1): 51-56.
- 董传万, 张登荣, 徐夕生, 闫强, 竺国强. 2006. 福建晋江中-基性岩脉的锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学[J]. *岩石学报*, 22(6): 1696-1702.
- 冯国胜, 陈振华, 廖六根, 肖业斌. 2007. 西藏日土地区弗野粉岩铁矿的地质特征及找矿意义[J]. *地质通报*, 26(8): 1041-1047.
- 冯国胜, 廖六根, 陈振华, 肖志坚. 2006. 西藏西部日土县玛铁多金属矿地质特征及找矿意义[J]. *地质通报*, 25(1): 267-272.
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 彭智敏, 张璋. 2011. 班公湖-怒江带-羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. *地质通报*, 30(8): 1261-1274.
- 江军华, 王瑞江, 曲晓明, 辛洪波, 王振中. 2011. 青藏高原西部班公湖岛弧带特提斯洋盆闭合后的地壳伸展作用[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 36(6): 1021-1032.
- 李德威. 2008. 青藏高原及邻区三阶段构造演化与成矿演化[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(6): 723-742.
- 李奋其, 刘伟, 张士贞, 李勇. 2014. 冈底斯中北部及邻区中侏罗世一早白垩世地球动力背景转换的证据[J]. *地质论评*, 60(6): 1297-1308.
- 李华亮, 杨绍, 李德威, 张硕, 吕志伟, 陈桂凡. 2014. 冈底斯西北缘晚白垩世石英二长岩的年代学、地球化学、构造环境及成矿意

- 义[J]. 大地构造与成矿学, 38(3): 694-705.
- 李华亮. 2014. 班公湖—怒江缝合带西段洋陆转换的标志及时间[D]. 中国地质大学(武汉)博士论文, 33-39
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 邓世林, 王友. 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(自然科学版), 38(6): 678-683.
- 吕立娜, 崔玉斌, 宋亮, 赵元艺, 曲晓明, 王江朋. 2011. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘, 18(5): 224-242.
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 李金发, 肖庆辉, 蔡志勇. 2004. 西藏班公湖—怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定——兼论班公湖—怒江蛇绿岩带形成时代[J]. 中国地质, 31(3): 262-268.
- 曲晓明, 王瑞江, 辛洪波, 赵元艺, 樊兴涛. 2009. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学[J]. 地球化学, 38(6): 523-535.
- 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 陈华. 2012. 西藏班公湖—怒江缝合带中段碰撞后 A 型花岗岩的时代及其对洋盆闭合时间的约束[J]. 地球化学, 41(1): 1-14.
- 余宏全, 李进文, 马东方, 李光明, 张德全, 丰成友, 屈文俊, 潘桂棠. 2009. 西藏多不杂斑岩铜矿床辉钼矿 Re-Os 和锆石 U-Pb SHRIMP 测年及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 737-746.
- 唐菊兴, 张志, 李志军, 孙燕, 姚晓峰, 胡正华, 王红星, 宋俊龙, 何林. 2013. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、矿床模型与找矿方向[J]. 地球学报, 34(4): 385-394.
- 王勤, 唐菊兴, 方向, 林彬, 宋扬, 王艺云, 杨欢欢, 杨超, 李彦波, 卫鲁杰, 冯军, 李力. 2015. 西藏多龙矿集区铁格隆南铜(金银)矿床荣那矿段安山岩成岩背景: 来自锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学的证据[J]. 中国地质, 42(5): 1324-1336.
- 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): 1589-1604.
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 丁帅, 胡正华, 张志. 2013. 班公湖—怒江带西段尕尔穷砂卡岩型铜金矿含矿母岩成岩时代的重新厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 59(1): 193-200.
- 张贵山, 温汉捷, 胡瑞忠, 裘愉卓, 杨光树, 于文修. 2006. 闽东南基性岩脉形成的构造应力场地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 30(2): 142-148.
- 张硕, 史洪峰, 郝海健, 李德威, 吝岩, 冯旻旻. 2014. 青藏高原班公湖地区晚白垩世埃达克岩年代学、地球化学及构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 39(5): 509-524.
- 张硕. 2014. 西藏班公湖中特提斯洋陆转换后陆内热隆伸展作用[D]. 中国地质大学(武汉)硕士论文, 32-41.
- 周涛, 陈超, 梁桑, 陈桂凡, 李华亮, 李德威. 2014. 西藏班公湖蛇绿混杂岩中火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学, 38(1): 157-167.
- 张璋, 耿全如, 彭智敏, 丛峰, 关俊雷. 2011. 班公湖—怒江成矿带西段玛花花岗岩体岩石地球化学及年代学[J]. 沉积与特提斯地质, 31(4): 86-96.
- 张璋, 耿全如, 彭智敏, 丛峰, 关俊雷. 2015. 西藏日土地区弗野岩体的成因——锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素约束[J]. 地质通报, 34(2-3): 262-273.
- 祝向平, 陈华安, 刘鸿飞, 马东方, 李光明, 黄瀚霄, 张红, 刘朝强, 卫鲁杰. 2015. 西藏多不杂斑岩铜矿斑岩锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及其成矿意义[J]. 地质学报, 89(3): 534-548.