

doi: 10.12029/gc20170311

李喆, 李文昌, 刘学龙, 赖安琦, 杨富成. 2017. 云南格咱岛弧带欠虽铜矿石英闪长玢岩年代学、岩石地球化学特征及成岩成矿的制约[J]. 中国地质, 44(3): 541-555.

Li Zhe, Li Wengchang, Liu Xuelong, Lai Anqi, Yang Fucheng. 2017. Geochronological and geochemical characteristics of Qiansui quartz diorite-porphyrite in the Geza Arc, Yunnan Province, and their constraints on diagenesis and mineralization[J]. Geology in China, 44(3): 541-555(in Chinese with English abstract).

云南格咱岛弧带欠虽铜矿石英闪长玢岩年代学、岩石地球化学特征及成岩成矿的制约

李喆¹ 李文昌^{1,2} 刘学龙¹ 赖安琦¹ 杨富成¹

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要: 欠虽铜矿床位于西南三江地区义敦岛弧南段的格咱岛弧中南部, 是近年来该区新发现的铜多金属矿床, 具有良好的找矿前景。目前该地区已发现若干印支期成矿事件中形成的中大型矿床, 是中国重要的多金属矿集区。本文通过LA-ICP-MS锆石U-Pb定年方法对欠虽铜矿石英闪长玢岩进行了年代学研究, 获得铜矿化石英闪长玢岩的形成年龄为(220.3±0.66) Ma (MSWD=0.99)。岩石地球化学特征研究表明, 欠虽石英闪长玢岩具有富钠(K₂O/Na₂O为0.05~1.42, 平均值为0.86)、准铝质(0.82~1.19, 平均值为1.07)的特征, 岩石富集轻稀土元素(LREE), 轻重稀土元素分馏明显(La_N/Yb_N=19.6~28.8), 富集大离子亲石元素(LILE, Ba, Th, U, Sr), 亏损高场强元素(HFSE, Ta, Nb, Ce, P, Ti), 属于典型的I型花岗岩。欠虽铜矿成矿岩体成岩时代发生在印支晚期, 含矿斑岩的微量元素特征、构造背景及同位素特征反映欠虽岩体形成于岛弧环境, 与格咱岛弧印支期洋壳的俯冲造山作用密切联系。通过地球化学特征及成岩成矿年代的研究, 表明欠虽多金属矿的形成年限与甘孜—理塘洋壳俯冲造山作用时限相近, 且与普朗铜矿、红山铜矿是同期次同源构造—岩浆演化的产物, 这对探讨格咱岛弧构造—岩浆演化及成岩成矿作用的研究具有重要意义。

关键词: 石英闪长玢岩; 锆石U-Pb年龄; 地球化学特征; 岩石成因; 格咱岛弧

中图分类号: P597; P618.41 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)03-0541-15

Geochronological and geochemical characteristics of Qiansui quartz diorite-porphyrite in the Geza Arc, Yunnan Province, and constraints on diagenesis and mineralization

LI Zhe¹, LI Wengchang^{1,2}, LIU Xuelong¹, LAI Anqi¹, YANG Fucheng¹

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Chengdu Geological Survey Center of China Geological Survey, Chengdu, 610081, Sichuan, China)

收稿日期: 2016-01-23; 改回日期: 2016-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41502076)、云南省科技领军人才培养计划项目(2013HA001)中国地质调查局项目(12120114013701)、云南省教育厅面上项目“云南格咱岛弧成矿带斑岩型铜矿成矿系统研究”、昆明理工大学省级人培项目(KKSY201421042)联合资助。

作者简介: 李喆, 男, 1992年生, 硕士生, 矿床学专业, 从事云南“三江地”区的地质矿产研究工作; E-mail: lzdyx3113123@163.com。

通讯作者: 刘学龙, 男, 1983年生, 博士后, 副教授, 矿床学专业, 从事云南“三江”地区的地质矿产研究及矿床学教学工作; E-mail: xuelongliu@foxmail.com。

Abstract: The Indosinian Qiansui copper polymetallic deposit discovered in recent years is located in the central and southern segment of the eastern Geza porphyry belt of southern Yidun arc in Southwest China. A large number of indo-Chinese large-size ore deposits were formed in the metallogenic area, which is hence an important polymetallic belt in China. In this paper, the authors studied the ages of the Qiansui quartz diorite porphyry with zircon LA-ICP-MS U-Pb dating method and obtained the formation age of the copper mineralized quartz diorite porphyry of 220.3 ± 0.66 Ma (MSWD=0.99). Geochemical characteristics indicate that Qiansui ore-bearing quartz diorite porphyry is characterized by rich Na ($K_2O/Na_2O=0.05-1.42$, averagely 0.86), metaluminous nature (0.82-1.19, averagely 1.07), enrichment of light rare earth elements (LREE, Ba, Th, U, Sr), obvious REE fractionation ($La_N/Yb_N=19.6-28.8$), enrichment of large ion lithophile elements (LILE, Ba, Th, U, Sr), and depletion of high field strength elements (HFSF, Ta, Nb, Ce, P, Ti). The rock belongs to typical I-type granite. The ore-forming process of Qiansui metallogenic rock body occurred in the late Indosinian, and the trace element characteristics, tectonic background and isotopic characteristics of the ore-bearing porphyry suggest that Qiansui rock was formed in an island arc environment, and that its formation was probably related to the subduction of oceanic crust in Indosinian. The study of geochemical characteristics and petrogenetic age of Qiansui reveals the fixed formation age of Qiansui and the time limit of Ganzi-Litang oceanic crust subduction orogeny, suggesting that Pulang and Hongshan copper deposits were the products of the evolution of magma structure in the same period. The results obtained by the authors have important significance for the study of Geza island arc tectonic magmatic evolution and petrogenetic mineralization.

Key words: quartz diorite porphyry; zircon U-Pb age; geochemical characteristics; petrogenesis; Geza arc; Yunnan

About the first author: LI Zhe, male, born in 1992, master candidate, majors in mineral deposit geology; mainly engages in the study of geology and mineral resources of Sanjiang region in Yunnan Province; E-mail: lzdyx3113123@163.com

About the corresponding author: LIU Xuelong, male, born in 1983, postdoctoral researcher, majors in mineral deposit geology; mainly engages in the study of geology and mineral resources of Sanjiang region in Yunnan Province; E-mail: xuelongliu@foxmail.com.

Fund support: Supported jointly by National Natural Science Fund Project (No. 41502076), China Geological survey program (No. 12120114013701), Yunnan Provincial Department of Education on Project Exploration: Yunnan Geza Island Arc Metallogenic Belt Porphyry Metallogenic System Research, Provincial People Training Project of Kunming University of Science and Technology (No. KKS201421042).

1 引 言

格咱岛弧成矿带是西南“三江”地区构造-岩浆岩带中的重要组成部分,位于义敦岛弧带南段(李文昌等,2011)。该区经历特提斯构造演化和大陆碰撞造山作用的叠加改造,发生了多期次的大规模岩浆侵入活动和成矿作用及巨量的金属矿床聚集(王安建等,2009)。其中包括普朗超大型斑岩型铜矿、红山大型斑岩-矽卡岩型铜多金属矿床、铜厂沟大型斑岩型铜钼多金属矿以及雪鸡坪斑岩型铜矿床(刘学龙等,2016)。从岛弧的发展阶段、侵入岩的空间分布、岩石组合类型、岩石地球化学特征,格咱岛弧侵入带从西到东可划分为:格咱-雪鸡坪岛弧斑岩亚带(西带)、欠虽-普朗岛弧斑岩亚带(中带)、亚杂-浪都-卓玛岛弧斑岩亚带(东带)三个侵入岩及斑岩成矿带(李文昌等,2007,2011;刘学龙等,2012;董毅等,2012)。

欠虽铜矿地处滇西北香格里拉县格咱乡,大地构造位置位于中甸微陆块东侧(图1),甘孜-理塘构造带西侧,中甸陆块南部,是三江构造-岩浆带中甸成矿带中的一部分。由于格咱地区强烈的构造-岩浆活动,丰富的成矿作用发育于岛弧造山的不同阶段、不同环境(李文昌等,2011),因此该地不仅是铜多金属富集区也是研究斑岩型铜矿成矿作用的理想地区(彭慧娟等,2013;黄玉蓬等,2013;金灿海等,2013;李俊杰等,2013;刘学龙等,2014)。近年来不少研究者对格咱岛弧成矿带开展了卓有成效的研究工作,取得了很多新的研究成果(曹殿华等,2009;黄肖潇等,2012;刘学龙等,2013)。年代学方面的研究表明,虽然测年方法和获得的同位素年龄存在一定差异,但是获得的成岩成矿年龄主要集中在220~210 Ma,表明格咱岛弧成矿带成岩成矿作用主要发生在印支晚期。但是,目前对欠虽铜矿床及其含矿岩体的研究尚缺乏系统的岩石的

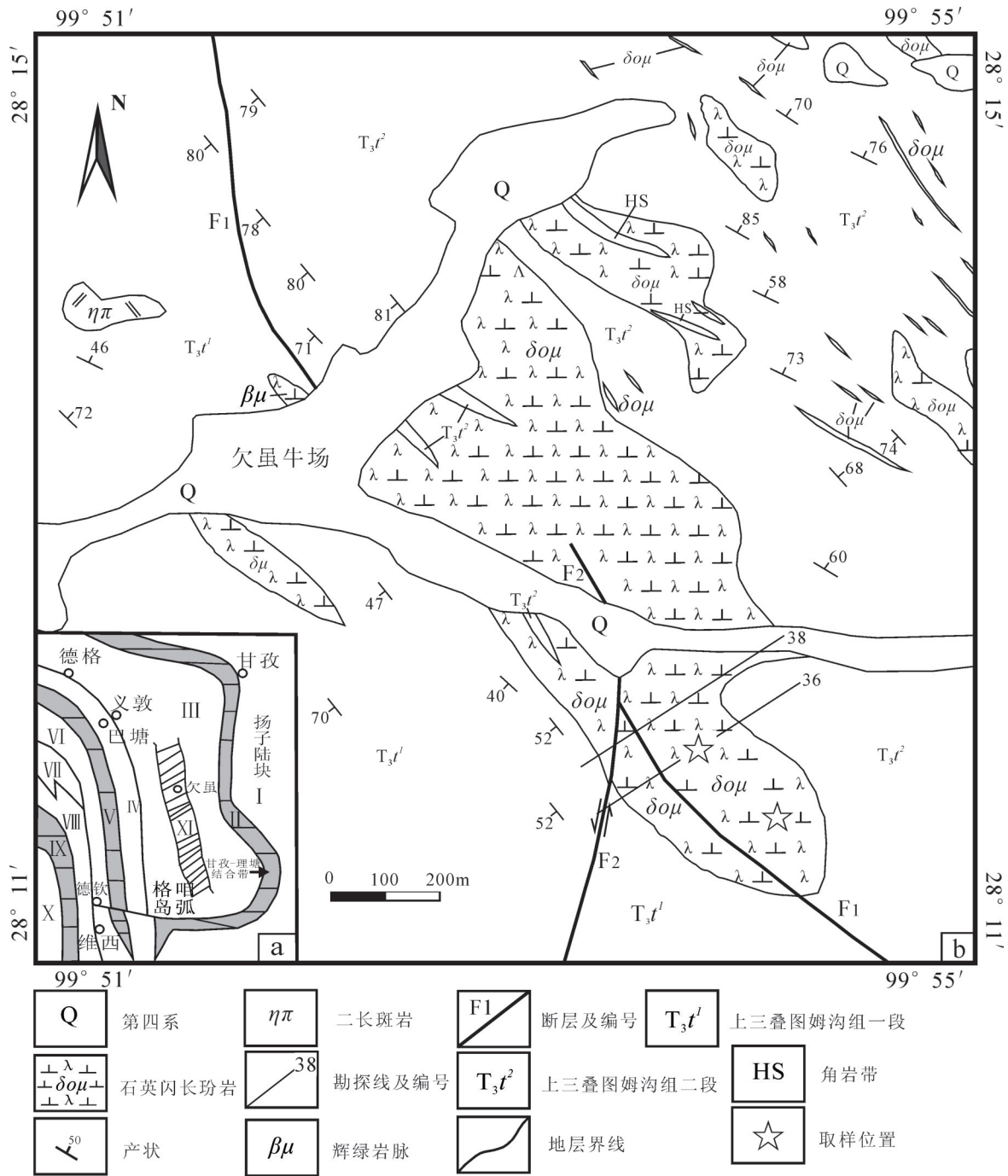


图1 欠虽铜多金属矿床地质略图(据云南省地质调查院, 2013)

a—区域大地构造位置;b—欠虽铜矿岩浆岩分布图

I—扬子板块; II—甘孜—理塘板块结合带; III—义敦岛弧带; IV—中咱微陆块; V—金沙江结合带; VI—江达—维西火山弧; VII—昌都—兰坪陆块; VIII—三达山—景洪火山弧; IX—澜沧江结合带; X—保山地块; XI—中部斑岩亚带

Fig. 1 Simplified geological map of the Qiansui copper deposit(modified from Yunnan Geological Survey, 2013)

a—Tectonic map of Qiansui porphyries; b—Distribution of magmatic rocks in the Qiansui copper deposit

I—Yangtze block; II—Ganze—Litang suture; III—Yidun Island-arc belt; IV—Zhongza massif; V—Jingshajiang suture; VI—Jiangda—Weixi volcanic rock; VII—Changdu—Langping block; VIII—Langcangjiang suture; IX—Langcangjiag; X—Baoshan block; XI—Central porphyry subbelt

地球化学和同位素年代方面的资料。随着地质找矿工作的深入开展,对欠虽含矿岩体的研究工作也越显重要。本文在前人研究工作的基础上,对欠虽铜矿石英闪长玢岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb年代学研究,对含矿斑岩的岩石地球化学特征进行了系统厘定,结果表明该岩体属于印支晚期构造-岩浆活动的产物,为格咱岛弧多金属成矿系统的研究和区域成矿规律的总结提供了新的研究成果,也为印支期的研究增加了新的例证。

2 地质概况及矿床特征

欠虽铜矿位于普朗-红山铜多金属矿亚带中部。矿区地层主要出露有上三叠统图姆沟组一段(T_3t^1)和二段(T_3t^2)。其中,图姆沟组二段(T_3t^2)岩性主要为:灰、深灰色板岩、粉砂质绢云板岩、变质砂板岩、安山岩、英安岩、流纹岩及夹火山碎屑岩;一段岩性主要为:灰、深灰色板岩、绢云板岩、变质砂岩夹灰岩、绢云板岩及硅质岩。地层总体走向NW-SE向,倾角 $45^\circ\sim 80^\circ$ 不等。矿区主要发育NNW向的黑水塘断裂和一条近SN向的左行平移断层及一系列次级小断层,地层受构造强烈改造,使岩层倾向有变化并出现褶皱。矿区岩浆岩分布广泛,以侵入岩为主,火山岩次之。岩体主要以岩株状呈NW向侵入于图姆沟组二段(T_3t^2)地层中。欠虽铜矿主要分布于图姆沟组一段(T_3t^1)与石英闪长玢岩的接触部位图1,图2。矿化元素可见Cu、Pb、Zn、Au、Ag,且以Cu为主,是典型的铜多金属矿床。

矿区侵入岩体主要为石英闪长玢岩,局部出露二长斑岩。区内含矿岩体与围岩主要由石英闪长玢岩组成,石英闪长玢岩中岩石具斑状结构,块状构造,斑晶可见斜长石(22%)、角闪石($< 5\%$)、石英(7%)、钾长石(微)等。石英闪长玢岩具斑状结构、半自形-他形粒状结构、充填结构、交代结构(图3a)。岩石具中等碳酸盐化、绢云母化、泥化蚀变发育。斑晶成分主要为斜长石,呈半自形柱状,聚片双晶和环带状构造发育(图3b、d)。基质主要由石英、绢云母、长石、绿泥石及黏土矿物组成。含矿石英闪长玢岩普遍具黄铁矿化,呈星点状分布(图3c)。

目前,有工程控制的矿体有2个(KT1,KT2),矿体规模属小型。其中,KT1为Cu、Pb、Zn矿体,产于黑水塘断裂破碎带中,矿体产状为 $245^\circ\angle 50^\circ$ 。含矿

岩石类型单一,以矽卡岩为主,次为破碎的大理岩、绿泥绢云斑岩及石英闪长玢岩(图2)。上部接触带为条纹-条带状磁铁矿,磁铁矿沿板岩、灰岩贯入,灰岩大多被交代,板岩类保存下来;向下部过渡为矽卡岩内的致密块状磁铁矿。含矿岩性为构造角砾岩,含Cu 0.22%~3.86%,平均0.82%;Pb 0.23%~2.40%,平均0.47%;Zn 0.21%~0.40%,平均0.32%;Au 0.07~3.88 g/t。铜、铅品位变化较大,锌含量相对较低。KT2为Cu、Au矿体,产于次级层间构造裂隙带中,矿体产状为 $235^\circ\angle 52^\circ$ 。矿体呈脉状、透镜状产出,形态简单,局部含夹石。矿体含矿性为构造角砾岩,含Cu 1.44%,Au 1.30 g/t。矿区内普遍具黄铁矿,矿化体有两种产出方式,一种是与磁铁矿体共生,另一种为后期岩浆-热液活动形成。前者呈浸染状、细脉状分布于矿体中。后者多呈脉状,粒度较粗,分布于裂隙中,常常与铜、铅、锌矿脉共出,或者叠加在磁铁矿体上。而铜铅锌矿体主要呈细脉状,分布于石英二长斑岩体内、外接触带及大理岩裂隙中,以及矿体顶部及铁矿体的一些张性裂隙中。总体上,厚度变化大,连续性差,矿化极不均匀。但是,这些零散分布的矿化现象,是下一步寻找具有一定规模铜多金属矿体的直接标志。据地化资料分析,矿区内分布的铜铅锌异常,其展布与构造-岩浆带一致,多与铜、铅锌矿化带(体)的产出吻合,显示出良好的找矿前景。遥感资料分析表明,在矿区存在一较大规模的高磁异常体。经过对该区的施工钻孔验证,表明该磁异常是深部隐伏磁铁矿化、含磁铁矿矽卡岩带及石英闪长玢岩的反映,具有寻找斑岩铜矿的可能(云南地质调查院,2013)。

3 样品采集与分析

3.1 采样位置

本次研究LA-ICP-MS测年样品所选岩石样品采自滇西北格咱岛弧成矿带北部的欠虽成矿岩体的地表露头,岩性为含矿石英闪长玢岩(表1),共6件,每件样品质量大于3 kg,取样位置见图1所示。全岩的测试样品采自矿区内位于36号勘探线的ZK3602钻孔(图1),共9件样品。

3.2 分析方法

锆石样品的分离、挑选和制靶工作由北京市锆

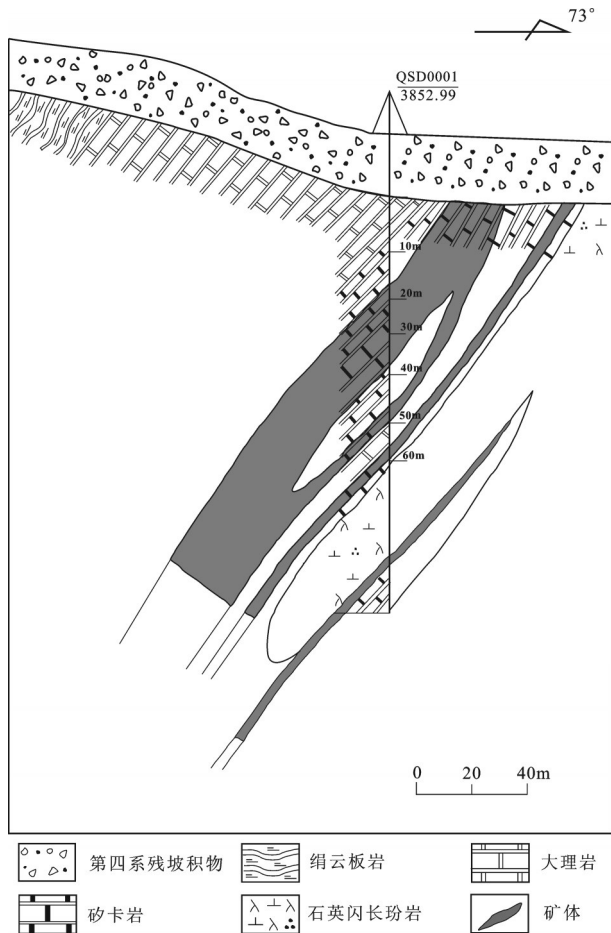


图2 欠虽矿体勘探38号线剖面图(据孙贵荣等,2009)
Fig. 2 Geological section along No. 38 exploration line of Qiansui orebody (after Sun Guirong et al., 2009)

年领航科技有限公司完成。样品经常规的粉碎、磁选和重选,分选出纯度较高的锆石,然后在双目显微镜下经人工挑选出纯度在99%以上的锆石。然后将锆石样品和标样(TEM)一起用环氧树脂固定于样品靶上,其直径为25 mm,厚5 mm。阴极发光图像(CL)和LA-ICP-MS U-Pb年龄测试在中国地质科学院矿产资源所成矿过程国家重点实验室完成。测试采用Finnigan Neptune型多接收电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)及Newwave UP 213 Nd:YAG激光剥蚀系统建立的锆石微区U-Pb定年,采样方式为单点剥蚀,数据采集采用所有信号同时静态方式接收。锆石年龄采用锆石91500或GJ1或TEM作为外标,标准和样品测试前先对空白进行测量,详细处理过程见文献(Pteher et al., 1999)。对分析数据的离线处理(包括对样品和空

白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及U-Th-Pb同位素比值和年龄计算)采用软件ICPMSDataCa完成。测试及数据处理方法参见文献(Liu Yongsheng et al., 2010)。

全岩的主量元素和微量元素测试在核工业北京地质研究院分析测试中心完成,主量元素的测定采用X-荧光光谱仪(XRF),精度优于5%。微量元素和稀土元素的分析测试仪器为Finnigan MAT制造的Element I型ElementII高分辨率电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS),相对湿度30%,误差范围小于5%。

4 岩石地球化学特征与年代学

4.1 岩石地球化学特征

欠虽岩石地球化学分析结果如表2所示。石英闪长玢岩SiO₂含量为54.4%~61.02%,平均为58.10%;Al₂O₃含量为14.83%~18.27%,平均为15.77%;TiO₂的含量为0.46%~0.83%,MgO含量为1.57%~3.22%。全碱(Na₂O+K₂O)含量的变化范围为5.06%~7.87%,Na₂O/K₂O为0.04~1.42,上述特征表明岩石属于富钾的中性岩浆岩类。里特曼指数(σ)为1.14~3.48,平均为2.35(<3.3),岩石属于钙碱性系列。在侵入岩SiO₂-(Na₂O+K₂O)岩石地球化学分类命名图解中(图4),样品落入二长岩-闪长岩的岩区;在SiO₂-K₂O图解中主要落入高钾钙碱性-钾玄岩岩区(图5a)。A/CNK为0.819~1.192,平均为1.071,在A/CNK-A/NK关系图解中,样品点主要落入准铝质岩区(图5b),表明岩石属于准铝质花岗岩。岩石固结指数(SI)为13.56~22.24,表明岩浆结晶程度较高,分异指数(DI)为57.45~69.57,表明岩浆分异不彻底。

欠虽石英闪长玢岩的微量元素和稀土元素分析结果见表2。岩石的稀土元素总含量中等, Σ REE变化范围为160.8 $\times 10^{-6}$ ~221.1 $\times 10^{-6}$,平均为220.0 $\times 10^{-6}$,LREE/HREE为12.2~15.8,表明轻稀土较为富集,重稀土相对亏损;La_N/Yb_N为19.6~28.8,平均为24.5,显示岩石具较高的轻重稀土元素分馏程度。 δ Eu为0.92~1.33,平均为1.13,样品表现出无明显的Eu异常, δ Ce也表现出无异常的范围(0.91~0.95)。不同的样品稀土元素的配分表现出较为一致的变化趋势,稀土曲线呈典型的轻稀土富集型(图6a)。岩石的微量元素分析表明,全岩微量元素地幔标准化图

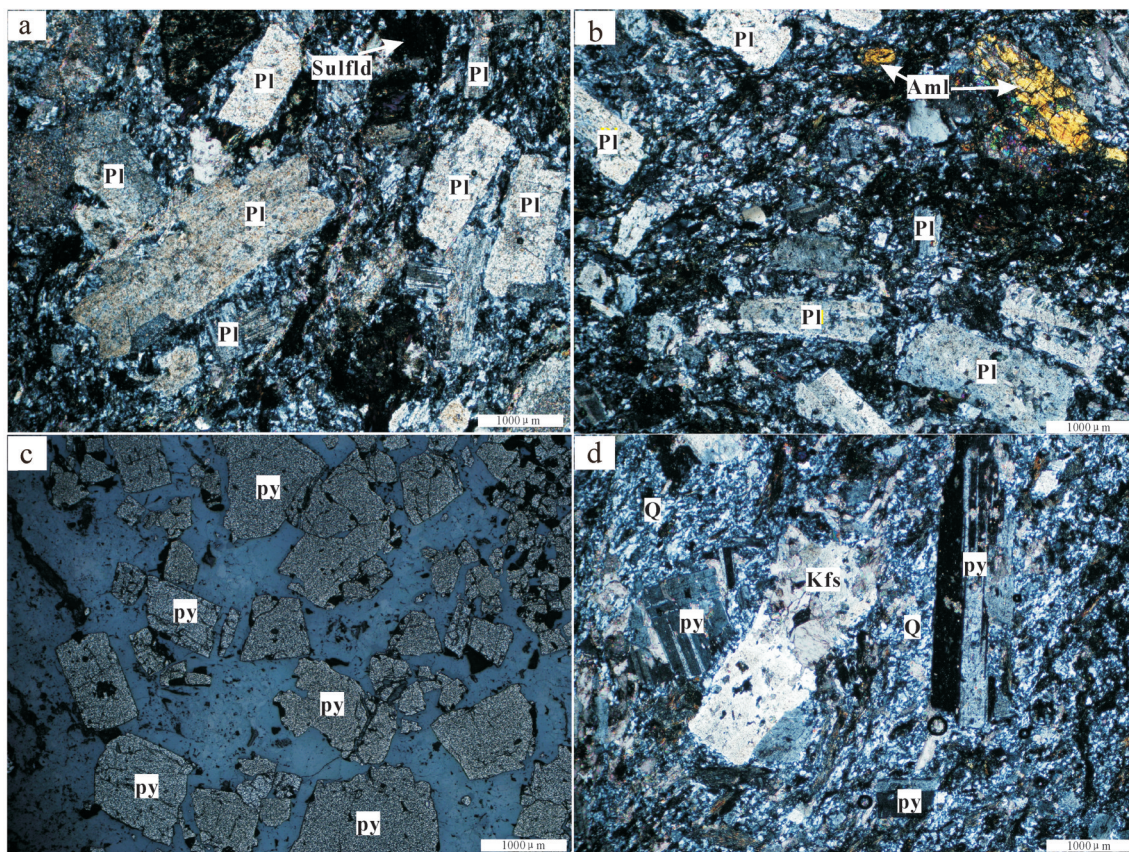


图3 欠虽成矿岩体岩相学特征及显微照片

a—石英闪长玢岩中的斑状结构;b—岩石中发育有大量斜长石斑晶,泥化蚀变强烈,可见残缺的角闪石矿物;c—含矿石英闪长玢岩中发育有大量的立方体状黄铁矿(Py);d—石英闪长玢岩中斜长石(Pl)聚片双晶和环带状构造;Q—石英;Aml—角闪石;Bi—黑云母;Sulfid—金属硫化物;Pi—斜长石;Py—黄铁矿

Fig.3 Petrographic characteristics of intrusions and microscope photographs of Qiansui porphyries

a—Porphyritic texture in the quartz diorite porphyry; b— Rocks with well developed massive plagioclase phenocrysts, visible defects of argillation alteration amphibole; c— Ore-bearing quartz diorite porphyrite with a large number of cub shaped pyrites (py); d—Plagioclase with polysynthetic twins and zonal structure in quartz diorite porphyry; Q—Quartz; Aml— Hornblende; sulfide—Metal sulfide

呈现出右倾的多峰谷模式(图6b),主要表现出富集大离子亲石元素(LILE)K、Rb、Ba、Sr,亏损高场强元素Nb、Ta、Hf、Ti的特征。这种富集大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSF)和重稀土元素(HREE)的配分形式与俯冲带岛弧岩浆地球化学特征类似,且存在一定的地壳混染,岩浆源区可能存在深源流体活动。

4.2 锆石U-Pb年代学研究

本文研究工作共选定欠虽铜矿石英闪长玢岩岩体的QC-07样品中20颗单颗粒锆石作为测试对象,每颗锆石测定一个点,图7为被测锆石的阴极发光图像(CL)、测定点位置及年龄值,分析结果见表1所示。锆石主要呈为自形-半自形柱状结构,单颗粒长度为100~200 μm,长宽比为1:1~2:1,锆石中均发育有较为

清晰的韵律环带结构,属于典型的岩浆成岩锆石。

20个测点的结果表明样品中锆石的U、Th含量变化较小,其中Th含量为 $192.4 \times 10^{-6} \sim 1079.8 \times 10^{-6}$,U含量为 $174.9 \times 10^{-6} \sim 738.2 \times 10^{-6}$,Th/U值为0.9~1.8,平均为1.32,表明这些锆石属典型的岩浆成因锆石(Liu et al, 2010)。测点所获得的年龄变化范围为(218.±2.6)Ma~(222.6±2.8)Ma,年龄值的分布较为集中,在U-Pb谐和图上均投影在谐和线及其附近(图8), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值为(220.3±0.7)Ma(MSWD=0.99)。

5 讨论

5.1 岩体的形成时代

本文采用LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb测年方

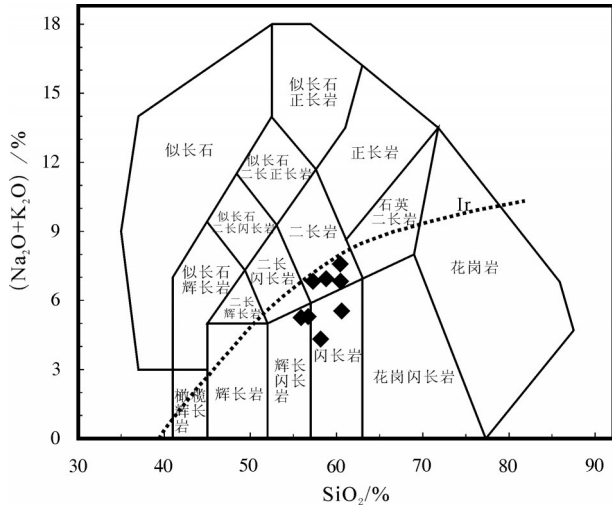


图4 欠虽岩体 TAS 图解 (Middlemost et al. 1994)
Fig. 4 TAS diagram showing data from Qiansui porphyries (after Middlemost et al., 1994)

法, 锆石测年数据显示, 锆石的 Th/U 值为 0.9~1.8, 远大于 0.4, 震荡环带结构发育, 属于岩浆成因的锆石 (吴元保等, 2004), 在谐和年龄图中, 20 个测年数据点都投影在谐和线及其附近, 这一特征说明样品自形成以来其 U-Pb 同位素体系保持了封闭, 锆石中没有发生 Pb 丢失或较少有 Pb 丢失。本文年代学的研究表明, 样品 QC-07 所获得单颗粒锆石 U-Pb 年龄在谐和图上均投影在谐和线及其附近 (图 8), 其加权平均年龄为 (220.3 ± 0.7) Ma (MSWD=0.99), 这代表了欠虽铜矿石英闪长玢岩的结晶年龄。

前已述及, 欠虽含矿斑岩体与区内普朗复式岩体同处于格咱岛弧中部斑岩亚带, 与在同一区域中的普朗、帕那牛场成矿斑岩体、亚杂—卓玛岛弧斑岩体和格咱—雪鸡坪斑岩体相比较, 普朗复式岩体的成矿时限为 221~206.3 Ma (曾普胜等, 2006; 李文

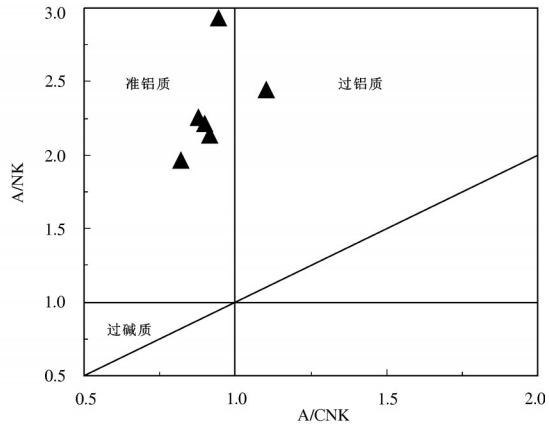
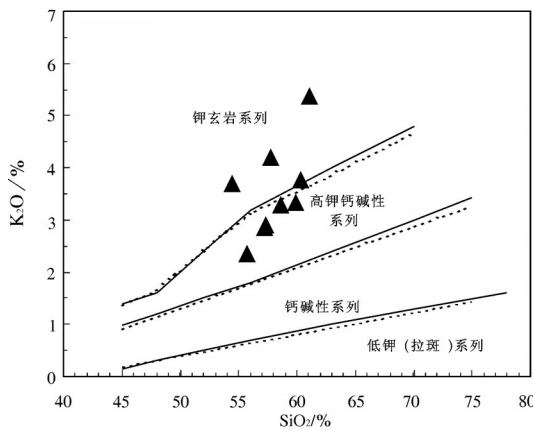


图5 花岗岩 SiO₂-K₂O 图解(a)和 A/CNK-A/NK 分类图解(b)
Fig. 5 SiO₂-K₂O diagram and A/CNK-A/NK diagram for Qiansui porphyries

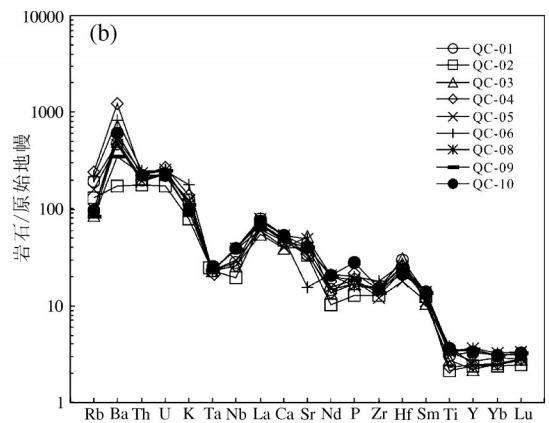
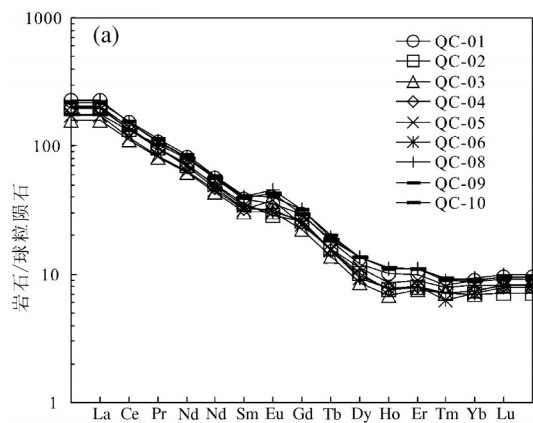


图6 稀土元素球粒陨石标准化图(a)标准化值据 Sun S S 等, 1989)、微量元素蛛网图(b)标准化值 Taylor S R 等, 1985)
Fig. 6 Chondrite-normalized patterns (a) normalizing values after Sun and McDonough, 1989) and primitive mantle normalized patterns (b) normalizing values after Taylor and McLennan, 1985) of Qiansui porphyries

表 1 次呈铜矿石英闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 测年分析结果
 Table 1 LA-ICP-MS U-Th-Pb analytical results of zircons from quartz diorite porphyrite of the Qiansui copper deposit

测点	Pb/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	U/ 10^{-6}	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
							年龄/Ma		年龄/Ma		年龄/Ma		年龄/Ma		年龄/Ma	
QC-07 含矿石英闪长玢岩																
QC-07-1	24.7	587.0	574.8	1.0	0.05245	0.00172	0.24997	0.00798	0.03463	0.00041	305.6	80.5	226.5	6.5	219.5	2.6
QC-07-2	34.5	1079.8	738.2	1.5	0.04987	0.00210	0.23693	0.00962	0.03439	0.00043	187.1	98.1	215.9	7.9	218.0	2.6
QC-07-3	17.4	469.8	375.1	1.3	0.05010	0.00217	0.23921	0.00951	0.03498	0.00047	198.2	101.8	217.8	7.8	221.6	2.9
QC-07-4	18.5	510.2	393.9	1.3	0.05888	0.00350	0.27971	0.01546	0.03492	0.00062	561.1	129.6	250.4	12.3	221.2	3.9
QC-07-5	17.9	437.9	401.1	1.1	0.05326	0.00251	0.25677	0.01209	0.03493	0.00056	338.9	107.4	232.1	9.8	221.3	3.5
QC-07-6	15.3	467.0	322.4	1.4	0.05313	0.00261	0.25357	0.01145	0.03479	0.00044	344.5	111.1	229.5	9.3	220.5	2.8
QC-07-7	25.9	724.8	551.8	1.3	0.05523	0.00190	0.26863	0.00982	0.03514	0.00045	420.4	77.8	241.6	7.9	222.6	2.8
QC-07-8	25.1	702.2	551.2	1.3	0.05312	0.00188	0.25750	0.00951	0.03502	0.00044	344.5	81.5	232.7	7.7	221.9	2.8
QC-07-9	28.5	937.1	578.5	1.6	0.05312	0.00198	0.25481	0.00936	0.03485	0.00041	344.5	80.5	230.5	7.6	220.8	2.5
QC-07-10	13.5	359.5	303.5	1.2	0.05121	0.00242	0.24228	0.01094	0.03466	0.00050	250.1	76.8	220.3	8.9	219.6	3.1
QC-07-11	9.6	211.8	232.1	0.9	0.05582	0.00328	0.26387	0.01528	0.03457	0.00057	455.6	131.5	237.8	12.3	219.1	3.5
QC-07-12	9.8	223.8	235.5	1.0	0.05517	0.00365	0.25944	0.01638	0.03491	0.00086	420.4	148.1	234.2	13.2	221.2	5.4
QC-07-13	7.6	192.4	174.9	1.1	0.04871	0.00299	0.22365	0.01190	0.03484	0.00065	200.1	72.2	204.9	9.9	220.8	4.1
QC-07-14	21.3	655.3	449.4	1.5	0.05294	0.00209	0.25161	0.00947	0.03466	0.00039	327.8	88.9	227.9	7.7	219.6	2.4
QC-07-15	20.5	745.8	405.6	1.8	0.05174	0.00240	0.24671	0.01255	0.03455	0.00038	272.3	105.5	223.9	10.2	218.9	2.4
QC-07-16	27.4	856.4	567.1	1.5	0.05102	0.00162	0.24456	0.00771	0.03480	0.00038	242.7	76.8	222.1	6.3	220.5	2.4
QC-07-17	27.1	789.7	579.3	1.4	0.05442	0.00290	0.25581	0.01010	0.03488	0.00046	387.1	120.4	231.3	8.2	221.0	2.8
QC-07-18	17.2	475.0	375.7	1.3	0.04769	0.00190	0.22738	0.00877	0.03479	0.00048	83.4	92.6	208.0	7.3	220.5	3.0
QC-07-19	20.3	691.4	460.2	1.5	0.05593	0.00211	0.26367	0.00939	0.03445	0.00045	450.0	83.3	237.6	7.5	218.3	2.8
QC-07-20	29.5	884.4	623.8	1.4	0.05054	0.00155	0.24264	0.00747	0.03480	0.00037	220.4	76.8	220.6	6.1	220.5	2.3

表2 欠虽石英闪长玢岩主要岩石的主量(%)、微量元素(10^{-6})分析结果
 Table 2 Major (%) and trace elements analyses (10^{-6}) of the Qiansui porphyries

样品 编号	QC-01	QC-02	QC-03	QC-04	QC-05	QC-06	QC-08	QC-09	QC-10
SiO ₂	54.40	55.68	57.20	57.77	60.34	61.02	58.56	59.85	57.31
TiO ₂	0.67	0.46	0.60	0.50	0.72	0.83	0.74	0.73	0.79
Al ₂ O ₃	15.86	14.83	16.87	15.19	14.65	18.27	15.44	15.44	15.40
Fe ₂ O ₃	1.84	1.55	1.08	1.88	1.24	1.83	1.72	1.10	1.31
FeO	4.49	3.81	4.58	3.29	3.68	1.92	4.60	3.62	4.98
MnO	0.24	0.23	0.17	0.20	0.17	0.08	0.15	0.11	0.17
MgO	2.91	2.98	1.97	2.46	1.96	1.57	2.60	2.63	3.22
CaO	3.83	4.78	3.04	4.32	3.73	2.51	4.17	4.28	4.34
Na ₂ O	1.45	2.71	4.05	0.21	3.11	0.22	3.69	4.54	3.93
K ₂ O	3.69	2.35	2.85	4.20	3.76	5.37	3.29	3.33	2.91
P ₂ O ₅	0.37	0.28	0.37	0.47	0.40	0.43	0.35	0.40	0.61
LOI	9.78	9.93	6.69	9.24	5.89	5.62	4.21	3.55	4.76
Total	99.53	99.59	99.47	99.73	99.65	99.67	99.52	99.58	99.73
A/CNK	1.19	0.95	1.10	1.19	0.92	1.70	0.90	0.82	0.88
SI	20.24	22.24	13.56	20.46	14.25	14.45	16.35	17.28	19.69
AR	1.71	1.70	2.06	1.58	2.19	1.74	2.11	2.33	2.06
σ	1.86	1.67	2.97	1.14	2.51	1.61	2.91	3.48	2.99
La	53.6	47.0	37.7	47.5	41.4	48.1	54.0	41.6	51.3
Ce	93.1	83.4	68.7	82.6	71.8	86.1	94.2	81.6	95.7
Pr	10.1	9.1	7.8	9.1	7.9	9.2	10.4	9.8	10.8
Nd	37.8	33.2	29.4	32.6	29.9	33.7	37.9	37.2	39.5
Sm	5.9	5.5	4.7	5.0	4.9	5.2	6.2	6.0	6.3
Eu	2.1	1.7	1.8	1.8	2.2	1.8	2.7	2.5	2.3
Gd	6.0	5.3	4.6	5.2	5.0	5.4	6.6	6.1	6.6
Tb	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
Dy	3.1	2.6	2.2	2.5	2.8	2.4	3.4	3.5	3.5
Ho	0.57	0.43	0.39	0.44	0.49	0.44	0.63	0.64	0.62
Er	1.63	1.32	1.25	1.34	1.47	1.33	1.84	1.83	1.82
Tm	0.21	0.18	0.18	0.18	0.20	0.16	0.23	0.24	0.23
Yb	1.53	1.19	1.25	1.25	1.41	1.20	1.60	1.52	1.50
Lu	0.24	0.18	0.21	0.21	0.21	0.20	0.25	0.24	0.23
Y	15.0	10.9	9.9	11.1	12.2	11.1	16.5	16.0	15.3
Nb	20.1	14	18.1	18.1	21	28.3	27.6	27.1	27.7
Rb	123.0	83.4	54.9	152.0	101.0	137.0	62.9	52.6	61.7
Sr	725	705	1087	747	836	327	1039	853	840
Ba	3300	1200	3500	8600	3200	5800	3700	2400	4300
Th	17.1	14.9	17.4	19.0	16.4	21.1	20.1	19.6	19.0
U	4.86	3.67	4.94	5.61	4.76	5.23	5.35	5.22	4.70
Cu	124.0	48.3	96.0	60.5	33.2	22.7	54.2	16.2	23.0
Pb	120.0	95.4	79.9	55.0	39.0	42.0	111.0	38.6	47.8
Zn	294.0	99.8	142.0	57.8	64.2	60.8	88.3	82.1	92.5
W	1.6	1.0	0.9	2.5	2.1	6.2	2.3	1.8	2.0
Ga	17.1	16.8	17.6	17.1	16.2	21.6	17.5	16.6	18.7
In	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.06
Mo	4.08	3.01	1.90	3.38	2.43	2.14	1.84	1.94	1.62
Sr	725	705	1087	747	836	327	1039	853	840
Re	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zr	168	145	167	163	137	198	167	153	168
Hf	9.27	7.15	9.47	8.00	5.57	8.44	7.99	7.44	6.54
Sc	16	13	16.8	14.8	10.9	16.8	14.7	13.7	15.2
Sn	2.76	2.73	2.91	2.9	2.31	3.45	2.23	1.95	1.97
V	136	107	134	128	109	169	126	121	133
Ta	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.05	0.04	0.02	0.05
Yb	1.53	1.19	1.25	1.25	1.41	1.2	1.6	1.52	1.5
Σ REE	216.5	191.7	160.8	190.4	170.3	195.8	220.7	193.4	221.1
LREE/HREE	14.6	15.2	14.1	15.3	13.0	15.8	13.4	12.2	13.6
La _N /Yb _N	25.1	28.3	21.6	27.3	21.1	28.8	24.2	19.6	24.5
δ Eu	1.05	0.94	1.16	1.09	1.33	1.01	1.26	1.24	1.11
δ Ce	0.92	0.93	0.93	0.91	0.91	0.94	0.91	0.96	0.95

注:由核工业北京地质研究院分析测试中心测试。

昌等,2007;王守旭等,2008)。前人的研究资料显示普朗大型铜矿的石英二长斑岩的Re-Os时限年龄为(213±3.8) Ma(Liu Yongsheng et al., 2010),石英闪长玢岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为212.1 Ma(李文昌

等,2009);红山铜矿呈脉岩或小岩株产出的石英闪长玢岩,其全岩Rb-Sr等时线年龄为216 Ma(王新松等,2011);松诺含矿斑岩体中的石英二长斑岩的U-Pb同位素年龄为(220.9±3.5) Ma(冷成彪等,

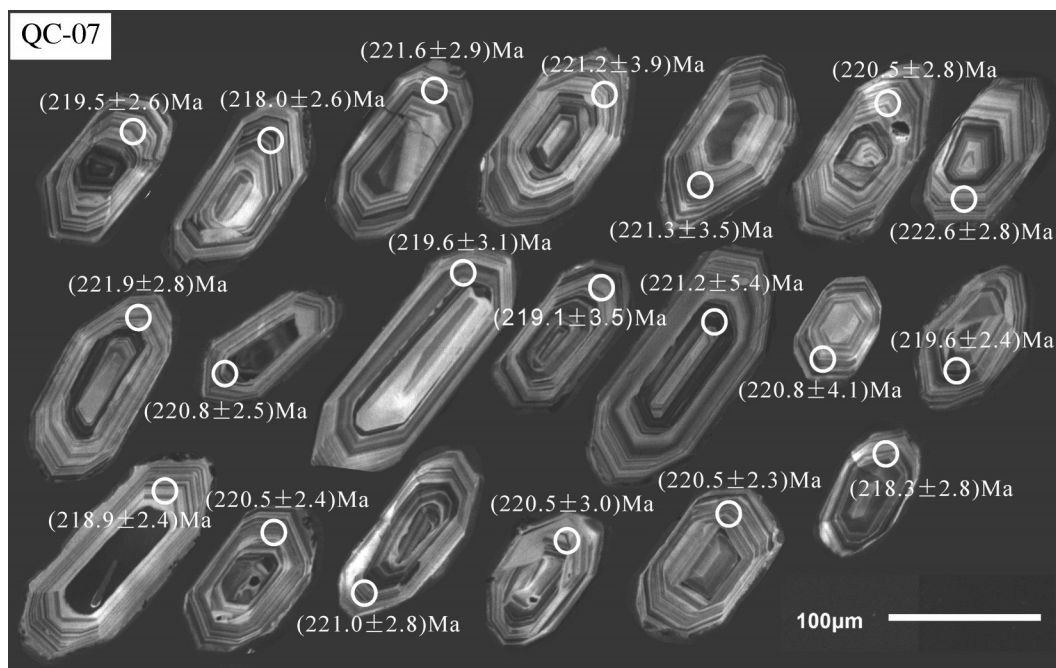
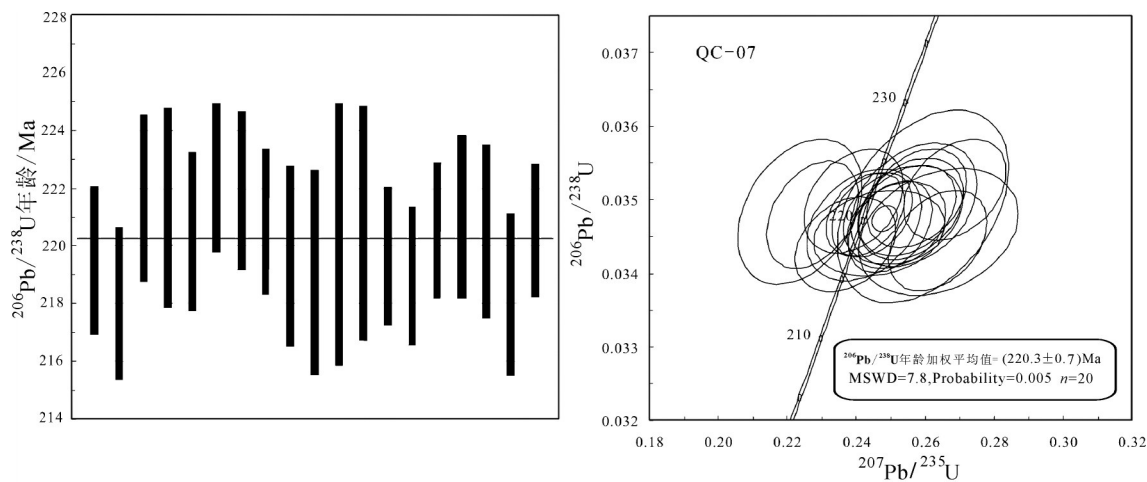


图7 欠虽锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 7 Cathodoluminescence (CL) images of zircon from Qiansui composite porphyries

图8 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图Fig. 8 Zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ concordia diagram from Qiansui composite porphyries

2008);地苏嘎铜多金属矿含石英闪长玢岩的U-Pb同位素年龄为 $(217.3\pm 0.9)\text{Ma}$ 和 $(208.5\pm 1.0)\text{Ma}$,不含矿的石英闪长玢岩的U-Pb同位素年龄为 $(203.03\pm 0.54)\text{Ma}$ (刘学龙等,2014)。欠虽—普朗斑岩带北段的帕纳牛场会锑矿化石英二长斑岩年龄为199 Ma(李文昌等,2010)。亚杂—卓玛岛弧斑岩亚带中亚杂英安斑岩的锆石年龄为217 Ma(金灿海等,2013);格咱—雪鸡坪斑岩亚带中雪鸡坪岩体的

形成时代为249.9~215.2 Ma(曾普胜等,2003;黄肖潇等,2012;刘学龙等,2012)。而本次研究欠虽地区得到的石英闪长玢岩的形成时代为 $(220.3\pm 0.7)\text{Ma}$,表明欠虽铜矿石英闪长玢岩的形成时限与周边典型含矿斑岩的成岩成矿年龄基本吻合。这也进一步说明欠虽含矿岩体同样属于印支晚期构造-岩浆活动的产物,且与甘孜—理塘洋壳俯冲造山作用时限也基本一致。

5.2 岩石成因与构造环境

在花岗岩的成因类型中, ChaPell & White (1974)根据源岩性质划分出I型和S型花岗岩,产于非造山环境相对不含水的碱性花岗岩,即A型花岗岩(Collins et al.,1982),以及常产于蛇绿岩套中的所谓大洋斜长花岗岩,即M型花岗岩(Pitcher et al., 1983;吴福元等,2007)。虽然此分类方法较为全面,然而它建立在花岗岩的物质来源仅仅是壳源的基础上(楼亚儿等,2003)。因此还需要引入Barbarin et al.(1983)提出的分类方法,此方法不仅考虑了岩石的分类特征,还加入了矿物组合、岩相学、地球化学和地球动力学等特征。这两种分类方法的结合更有利于对欠虽石英闪长玢岩的成因研究。

岩石地球化学特征表明,欠虽石英闪长玢岩属富钾钙碱性的中性岩浆岩类,岩石为准铝质花岗岩类。岩石微量元素分析表明,全岩微量元素原始地幔标准化图呈现出右倾的多峰谷模式(图6-b),主要表现出富集大离子亲石元素(LILE)K、Rb、Ba、Sr,亏损高场强元素Nb、Ta、Hf、Ti的特征。这种富集大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSF)和重稀土元素(HREE)的配分形式与俯冲带岛弧花岗岩(I型花岗岩)的地球化学特征类似。

在ACF图解中(图9),岩石全部落入I型花岗岩的岩区,表明欠虽岩体的岩石属I型花岗岩。在Pearce(1984)给出的构造环境判别图解上,欠虽岩体的岩浆岩主要落入火山弧花岗岩的区域(图10),表明欠虽石英闪长玢岩的成岩构造环境为火山弧(VGA)。因此,欠虽花岗岩体形成于活动性大陆边缘,是甘孜—理塘洋盆印支期自东向西发生洋壳俯冲造山形成的产物。

5.3 成岩成矿意义

格咱岛弧地处甘孜—理塘结合带西侧的德格—中甸陆块东缘,印支期义敦岛弧的南端(刘学龙等,2012)。欠虽铜矿床的形成受印支期壳幔型中酸性斑(玢)岩和西北向构造控制,沿斑(玢)岩带两侧常常形成矽卡岩—斑岩型铜多金属矿床和产于构造角砾岩中的热液型含金富银的铅锌(铜)矿床。从欠虽石英闪长玢岩的岩石地球化学特征来看,属于I型花岗岩,岩石成因与洋壳的俯冲作用存在密切的联系。从区域分析来看,由于甘孜—理塘洋壳的向西俯冲消减,使得该地区发生一系列复杂强烈

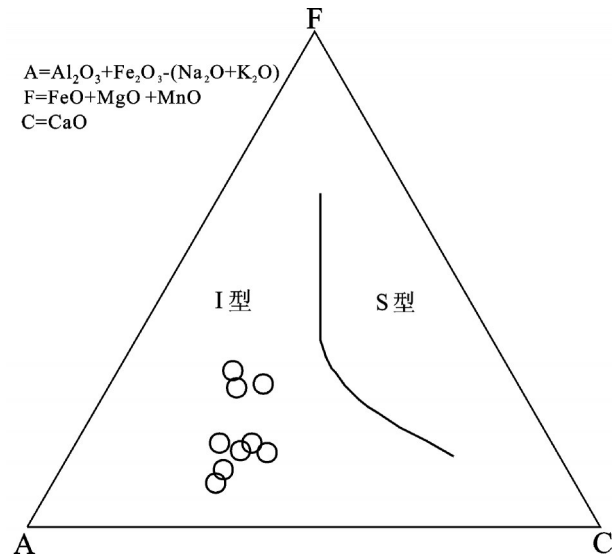


图9 欠虽石英闪长玢岩 ACF 判别图解
Fig. 9 ACF discrimination diagram for Qiansui quartz diorite-porphryrite

的构造运动。欠虽铜多金属矿床位于欠虽—普朗—红山成矿亚带的北部,与格咱岛弧带内众多的中酸性斑(玢)岩体同属于印支晚期洋壳俯冲造山作用诱发火山岩浆活动的产物,并与区内代表性的斑(玢)岩体为同期次同源岩浆演化的产物。

欠虽岩体处于义敦岛弧南端的格咱岛弧带的普朗—红山多金属矿亚带,其构造演化、岩浆侵位活动及成岩成矿作用与格咱岛弧的形成密切相关(李文昌等,2013)。是由于印支期甘孜—理塘带自东向西俯冲至中咱地块底部发生洋壳俯冲作用,使密度相对较轻的大洋板块在高密度的洋壳拖拉牵引下沿着岛弧造山带下部俯冲,由于俯冲大陆板片发生脱水的流体对地幔源区进行交代作用,从而诱发幔源岩浆熔融形成密度和黏度相对较低的钙碱性岩浆,并导致岛弧裂谷断裂、拆离并且沉陷,而后岩浆由于温度和压力的改变发生多阶段的的结晶分异作用并继续向上运移侵位(李文昌等,2010)。后可能因为地壳增厚的缘故,钙碱性岩浆部分浅成超浅成侵位(李文昌等,2007),从而形成欠虽石英闪长玢岩及铜多金属矿床(图11)。

6 结 论

(1)欠虽铜矿石英闪长玢岩的形成时限为(220.3±0.66) Ma,属于印支晚期构造—岩浆活动的产物,与甘

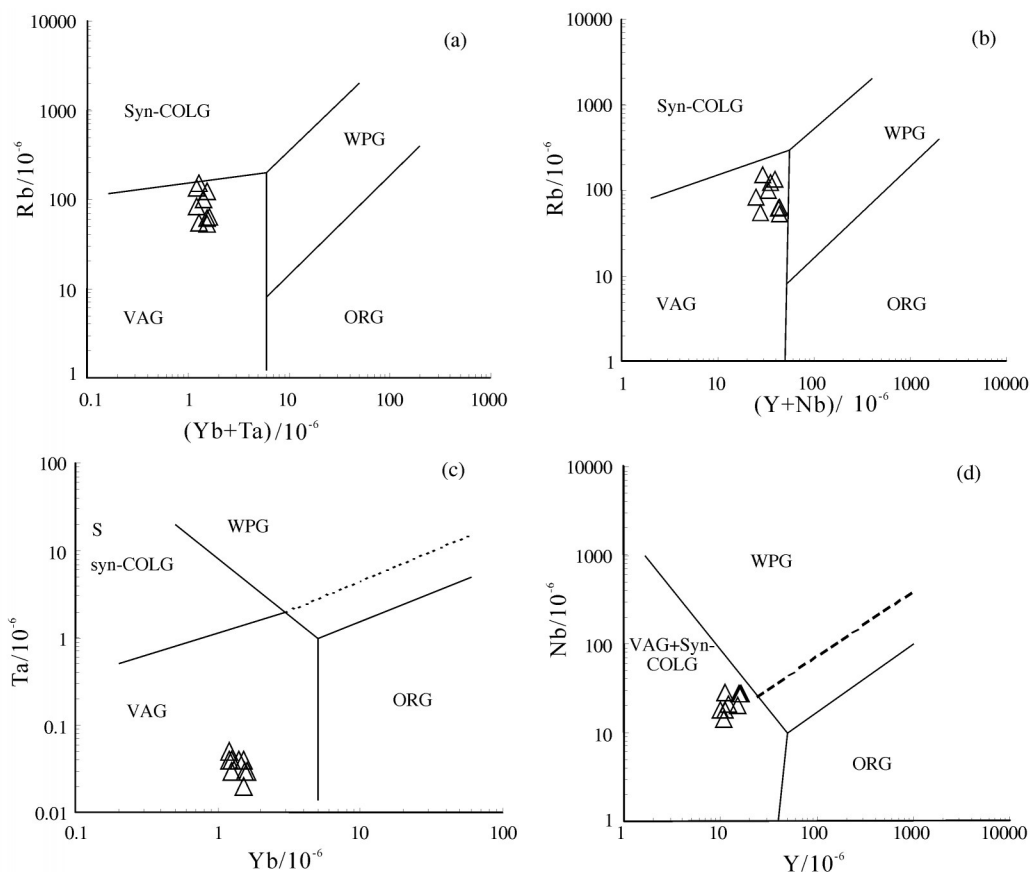


图 10 欠虽石英闪长玢岩构造环境判别图解(Pearce et al等,1984)

a—花岗岩(Yb+Ta)-Rb判别图解;b—花岗岩(Y+Nb)-Rb判别图解;c—花岗岩Yb-Ta判别图解;d—花岗岩Y-Nb判别图解 VAG—火山弧花岗岩;Syn-COLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩

Fig. 10 Discriminant diagrams of tectonic settings for Qiansui quartz diorite porphyrite (after Pearce et al., 1984)

a-Tectonic diagrams of (Yb+Ta)-Rb; b-Tectonic diagrams of (Y+Nb)-Rb; c-Tectonic diagrams of Yb-Ta; d-Tectonic diagrams of Y-Nb. VAG—Volcanic arc granite; Syn-COLG—Syn-collision granite; WPG—Intraplate granite; ORG—Ocean ridge granite

孜—理塘洋壳俯冲造山作用时限也基本一致。

(2) 欠虽石英闪长玢岩的岩石地球化学特征表明,属I型花岗岩,具有火山弧型花岗岩的构造环境,与甘孜—理塘洋壳俯冲造山作用密切相关。

(3) 欠虽岩体属于洋壳俯冲作用的早期的产物,通过欠虽石英闪长玢岩的年代学和地球化学研究以及前人成果的综合可以推测,其与普朗、红山铜矿床是同期次同源岩浆演化产物。

致谢:野外工作得到云南省地质调查局矿产地质调查所董涛工程师的帮助,样品的分析测试工作得到中国地质科学院矿产资源所侯可军助理研究员的帮助,在此一致表示衷心的感谢!同时感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见。

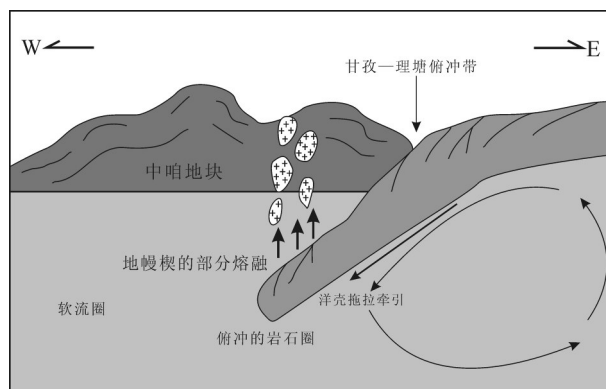


图 11 欠虽成矿斑岩成矿地球动力学模式图

Fig. 11 The metallogenetic model of the mineralization in the metallogenic porphyry of Qiansui area

References

- Barbarin O A. 1983. Coping with ecological transitions by Black families: A psychosocial model[J]. *Journal of Community Psychology*, 11(4): 308–322.
- Cao Dianhua, Wang Anjian, Huang Yufeng, Zhang Wei, Hou Kejun, Li Ruijin, Li Yike. 2009. SHRIMP geochronology and Hf isotope composition of zircons from Xuejiping porphyry copper deposit, Yunnan Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1430–1435(in Chinese with English abstract).
- Chappell B W, White A J R. 1974. Two contrasting granite types[J]. *Pacific Geology*, 8(2): 173–174.
- Collins W J, Beams S D, White A J R & ChaPePII B W. 1982. Nature and origin of A– type Granites with Parieular reference to southeastern Australia[J]. *Contrib. Minera. Petrol.*, (80):1189–200.
- Dong Yi, Liu Yifan, Deng Jianghong, Li Chunhui, Yi Liwen, Zou Jinxi, Huang Yupeng. 2012. Genesis and metallogenic significance of the Indosinian intermediate– acidic intrusive rocks in the west porphyry belt, Zhongdian island arc, Yunnan[J]. *Geology in China*, 39(4) : 887–899(in Chinese with English abstract).
- Huang Xiaoxiao, Xu Jifeng, Chen Jianlin, Ren Jiangbo. 2012. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of two periods of intermediate– acid intrusive rocks from Hongshan area in Zhongdian arc[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5):1493– 1506(in Chinese with English abstract).
- Huang Yupeng, Liu Xianfan, Deng Jianghong, Dong Yi, Zou Jinxi. An analysis of geochemistry and metallogenesis of Bengge alkaline igneous complex in northwestern Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 2013, 40(3): 885–894(in Chinese with English abstract).
- Jin Canhai, Fan Wenyu, Zhang Hai, Sheng Zhanwu, Zhang Yu, Gao Jianhua. 2013. Geochemical characteristics and genesis of the Zhuoma lead– zinc deposit in Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 40(6) : 1902–1911(in Chinese with English abstract).
- Leng Chengbiao, Zhang Xingchun, Wang Shouxu, Qin Chaojian, Gou Tizhong, Wang Waiquan. 2008. SHRIMP zircon U– Pb dating of the Songnuo ore– hosted porphyry, Zhongdian, northwest Yunnan, China and its geological implication[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1):124–130.
- Li Junjie, Zhao Yu. 2013. Geological characteristics and ore prospecting marks of Qiansui iron deposit in Xianggelila[J]. *Coal Technology*, 32(9): 154–156(in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang. 2007. Tethys Tectonic Evolution and Metallogenesis of Important Mineral Deposits in the Sanjiang Region, SW China[D]. China University of Geosciences.
- Li Wenchang ,Yin Guanghou, Lu Yingxiang, Liu Xuelong, Xu Dong, Zhang Shiquan, Zhang Na. 2009. The evolution and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ isotopic evidence of the Pulang complex in Zhongdian[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(10):1421– 1429(in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang, Yin Guanghou, Liu Xuelong, Lu Yingxiang, Xu Dong, Cao Xiaomin, Zhang Shiquan, Yang Shuran. 2010. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ ages and antimony mineralization of the Pananniuchang porphyry in the Zhogndian area of Yunnan Province[J]. *Geology and Exploration*, 46(2): 267–271 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang, Liu Xuelong, Zeng Pu Sheng, Yin Guanghou. 2011. The characteristics of metallogenic rocks in the Pulang porphyry copper deposit of Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 38(2): 403–414 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang, Yin Guanghou, Yu Haijun, Lu Yingxiang, Liu Xuelong. 2011. The porphyry metallogenesis of Geza volcanic magmatic arc in NW Yunnan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2541– 2552(in Chinese with English abstract).
- Li Wenchang, Yu Haijun, Yin Guanghou. 2013. Porphyry metallogenic system of Geza arc in the Sanjiang region, southwestern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(4): 1129– 1144(in Chinese with English abstract).
- Liu Xuelong, Li Wenchang, Yin Guanghou. 2012. Lead isotope characteristics and tracing significance of ore metallogenic material in Geza arc metallogenic belt, Yunnan[J]. *Geoscience*, 26(3) : 445– 452(in Chinese with English abstract).
- Liu Xuelong, Li Wenchang, Yin Guanghou. 2012. The metallogenic system of porphyry– skarn type Cu, Mo(Au) polymetallic deposits in Geza island arc of Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 39(4): 1007–1022(in Chinese with English abstract).
- Liu Xuelong, Li Wengchang, Yin Guanghou, Zhang Na. 2013. The geochronology, mineralogy and geochemistry study of the Pulang porphyry copper deposits in Geza arc of Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(9): 3049– 3064(in Chinese with English abstract).
- Liu Xuelong, Li Wenchang, Zhang Na, Yin Guanghou, Deng Minguo. 2014. Geochronological, geochemical characteristics of Disuga ore– forming I– type granitic porphyries in the Geza Arc, Yunnan Province, and their geological significance [J]. *Geological Reivew*, 60(1):103–114(in Chinese with English abstract).
- Liu Xuelong, Li Wenchang, Zhang Na, Yang Fucheng, Kang Jian, Zhang Biao. 2016. Characteristics of sulfur and lead isotopes and tracing of mineral sources in the Tongchanggou porphyry Mo(Cu) deposit at the southern edge of Geza arc belt, Yunnan[J]. *Geology in China*, 43(1): 209–220(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaoxhu, Wang Dongbing. 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: 537-571.
- Lou Yaer, Du Yangsong. 2003. A review of petrogenetic classification of granitoids[J]. *Geology and Exploration*, 3(10): 269-275 (in Chinese with English abstract).
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. *Earth-Science Reviews*, 37(3): 215-224.
- Pearce J A, Harris H B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983.
- Peng Huijuan, Zhang Changling, Tian Guang, Li Jianxin, Luo Yuezhong, Ren Junsheng, Long Fei. 2012. Geological and geochemical characteristics of the Hongniu copper deposit in Zhongdian area, northeastern Yunnan Province[J]. *Geology in China*, 39(6): 1743-1758. (in Chinese with English abstract).
- Pitcher W S. 1983. Granite type and tectonic environment[C]//Hsu K (ed.). *Mountain Building Processes*. London: Academic Press, 19: 40.
- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 46: 605-626.
- Sun Guirong, Dong Jianchun. 2009. The geological characteristics of qiansui Cu-Fe deposit in Xianggelila and metallogenetic prognosis[J]. *Yunnan Geology*, 28(3): 263-267 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic and processes[C]//Saunders A D, Nony M J (eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 42: 313-345.
- Taylor S R, Mc Clennan S. 1985. *The Continental Crust: Composition and Evolution*[M]. Blackwell Scientific Publications, 54: 209-230.
- Wang Anjian, Cao Dianhua, Guan Ye, Liu Junlai, Li Wenchang. 2009. Metallogenic belts of southern Three Rivers Region, southwest China: Distribution, characteristics and discussion[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(10): 1365-1375 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shouxu, Zhang Xingchun, Leng Chengbiao, Qin Chaoxian, Wang Waiquan. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Pulang porphyry copper deposit, northwestern Yunnan, China: The ore-forming time limitation and geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(10): 2313-2321 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xinsong, Bi Xianwu, Leng Chengbiao, Tang Yongyong, Lan Jaingbo, Qi Youqing, Sheng Nengpin. 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of granite porphyry in the Hongshan Cu-polymetallic deposit, Zhongdian, Northwest Yunnan, China and its geological implication[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 315-327 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinghui, Zheng Yongfei. 2007. Discussions on the petrogenesis of granites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(06): 1217-1238 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao, Zhen Yongfei. 2004. Mineralogy of the causes of zircon U-Pb ages and their interpretation of the constraints[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589-1604 (in Chinese).
- Yunnan Institute of Geological Survey. 2013. *Yunnan Shangri La County Gezan area of Copper Polymetallic Ore Integrated Exploration Achievement Report*[R].
- Zeng Pusheng, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, Hou Zneqian, Xu Qidong, Wang Haipin, Li Hong, Yang Chaozhi. 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, Northwestern Yunnan[J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 393-400 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Pusheng, Li Wengchang, Wang Haiping, Li Hong. 2006. The Indosinian Pulang superlarge porphyry copper deposit in Yunnan, China: Petrology and chronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 989-1000 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹殿华, 王安建, 黄玉凤, 张维, 侯可军, 李瑞萍, 李以科. 2009. 中甸雪鸡坪斑岩铜矿含矿斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成[J]. *地质学报*, 83(10): 1430-1435.
- 曾普胜, 莫宣学, 喻学惠, 侯增谦, 徐启东, 王海平, 李红, 杨朝志. 2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J]. *矿床地质*, 22(4): 393-400.
- 曾普胜, 李文昌, 王海平, 李红. 2006. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿床岩石学及年代学特征[J]. *岩石学报*, 22(4): 989-1000.
- 董毅, 刘显凡, 邓江红, 李春辉, 易立文, 邹金沙, 黄玉蓬. 2012. 中甸弧西斑岩带印支期中酸性侵入岩成因与成矿意义[J]. *中国地质*, 39(4): 887-899.
- 黄肖潇, 许继峰, 陈建林, 任江波. 2012. 中甸岛弧红山地区两期中酸性侵入岩的年代学, 地球化学特征及其成因[J]. *岩石学报*, 28(5): 1493-1506.
- 黄玉蓬, 刘显凡, 邓江红, 董毅, 邹金沙. 2013. 滇西北甯哥碱性杂岩体地球化学与成矿作用分析[J]. *中国地质*, 40(3): 885-894.
- 金灿海, 范文玉, 张海, 沈战武, 张 珂, 高建华. 2013. 云南卓玛铅锌矿床地球化学特征及矿床成因[J]. *中国地质*, 40(6): 1902-1911.
- 冷成彪, 张兴春, 王守旭, 秦朝建, 苟体忠, 王外全. 2008. 滇西北中甸松诺含矿斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 32(1): 124-130.
- 李俊杰, 赵玉. 2013. 香格里拉拉欠虽铁矿地质特征及找矿标志[J]. *煤炭技术*, 32(09): 154-156.

- 李文昌. 2007. 义敦岛弧构造演化与普朗超大型斑岩铜矿成矿模型[D]. 中国地质大学.
- 李文昌, 尹光侯, 卢映祥, 刘学龙, 许东, 张世权, 张娜. 2009. 中甸普朗复式斑岩体演化及 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素依据[J]. 地质学报, 83(10): 1421-1429.
- 李文昌, 尹光侯, 刘学龙, 卢映祥, 许东, 曹晓民, 张世权, 杨舒然. 2010. 中甸矿集区普朗—红山铜多金属成矿亚带北段帕纳牛场斑岩体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及铋矿化[J]. 地质与勘探, 46(2): 267-271.
- 李文昌, 尹光侯, 余海军, 卢映祥, 刘学龙. 2011. 滇西北格咱火山—岩浆弧斑岩成矿作用[J]. 岩石学报, 27(9): 2541-2552.
- 李文昌, 刘学龙, 曾普胜, 尹光侯. 2011. 云南普朗斑岩型铜矿成矿岩体的基本特征[J]. 中国地质, 38(2): 403-414.
- 李文昌, 余海军, 尹光侯. 2013. 西南“三江”格咱岛弧斑岩成矿系统[J]. 岩石学报, 29(4): 1129-1144.
- 刘学龙, 李文昌, 尹光侯. 2012. 云南格咱岛弧斑岩—矽卡岩铜、钼(金)矿床成矿系统[J]. 中国地质, 39(4): 1007-1022.
- 刘学龙, 李文昌, 尹光侯. 2012. 云南格咱岛弧岩浆成矿带铅同位素特征及成矿物质来源示踪[J]. 现代地质, 26(3): 445-452.
- 刘学龙, 李文昌, 尹光侯, 张娜. 2013. 云南格咱岛弧普朗斑岩型铜矿年代学, 岩石矿物学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 29(9): 3049-3064.
- 刘学龙, 李文昌, 张娜, 尹光侯, 邓明国. 2014. 云南格咱岛弧地苏嘎成矿岩体I型花岗岩年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 地质评论, 60(1): 103-114.
- 刘学龙, 李文昌, 张娜, 杨富成, 康健, 张彪. 2016. 云南格咱岛弧带南缘铜厂沟斑岩型铜钼矿床硫铅同位素特征与成矿物质来源示踪[J]. 中国地质, 43(1): 209-220.
- 楼亚儿, 杜杨松. 2003. 花岗质岩石成因分类研究述评[J]. 地质与勘探, (10): 269-275.
- 彭惠娟, 张长青, 周云满, 田广, 李建新, 罗跃中, 任俊生, 龙飞. 2013. 云南省中甸红牛铜矿床地质地球化学特征[J]. 中国地质, 39(6): 1743-1758.
- 孙贵荣, 董建春. 2009. 香格里拉欠虽铜铁矿床地质特征及成矿预测[J]. 云南地质, 28(3): 263-267.
- 王安建, 曹殿华, 管焯, 刘俊来, 李文昌. 2009. 西南三江成矿带中段金属矿床成矿规律与若干问题探讨[J]. 地质学报, 83(10): 1365-1375.
- 王守旭, 张兴春, 冷成彪, 秦朝建, 马德云, 王外全. 2008. 滇西北普朗斑岩铜矿锆石离子探针U-Pb年龄成矿时限及地质意义[J]. 岩石学报, 24(10): 2313-2321.
- 王新松, 毕献武, 冷成彪, 唐永永, 兰江波, 齐有强, 沈能平. 2011. 滇西北中甸红山Cu多金属矿床花岗斑岩锆石LA-ICP-MS U-Pb定年及其地质意义[J]. 矿物学报, 31(3): 315-327.
- 吴宝元, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 23(6): 1217-1238.
- 云南省地质调查院. 2013. 云南香格里拉县格咱地区铜多金属矿整装勘查成果报告[R].