

# 藏北商旭金矿床的碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

裴英茹<sup>1,2)</sup>, 杨竹森<sup>2)\*</sup>, 赵晓燕<sup>2)</sup>, 马旺<sup>3,4)</sup>, 张雄<sup>2,4)</sup>, 毛敬涛<sup>5)</sup>

1)中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 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)地球科学与资源学院, 北京 100083;  
5)黑龙江省水文地质工程地质勘察院, 黑龙江哈尔滨 150030

**摘要:** 商旭金矿床处于班公湖—怒江缝合带中段南侧, 位于藏北双湖县境内, 是班公湖—怒江缝合带已发现的一例造山型金矿。本文选择该矿床木嘎岗日群(J<sub>1-2</sub>M)的变质砂岩进行碎屑锆石 U-Pb 定年研究, 以期获得碎屑沉积物物源区的丰富信息。随机选取 114 颗锆石进行分析, 可知: (1)锆石颗粒大小在 80~150 μm 之间, 绝大多数锆石颗粒的 Th/U 比值>0.4; (2)年龄分布范围在 223~2 615 Ma 之间, 年龄峰值分别为 280 Ma、451 Ma、908 Ma、1 900 Ma 和 2 430 Ma。将商旭矿区碎屑锆石 U-Pb 年龄谱图分别与拉萨地块、羌塘地块沉积岩的碎屑锆石年龄谱图对比分析, 获得如下初步结论: 该区的沉积物的最大沉积年龄为 223 Ma, 峰值为 908 Ma 的年龄群, 可比于南羌塘沉积岩的碎屑锆石年龄峰值(~950 Ma), 明显不同于拉萨地块沉积岩的碎屑锆石年龄峰值(~1 170 Ma)。综合分析表明, 该区的沉积物可能为班公湖—怒江洋残余洋盆的产物, 暗示班公湖—怒江洋壳在中生代存在北向俯冲。

**关键词:** 碎屑锆石; 班公湖—怒江缝合带; 羌塘地块; 西藏商旭

中图分类号: P578.941; P597.1 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.05.11

## Tracing the Provenance of Detrital Zircons from the Shangxu Gold Deposit in Northern Tibet

PEI Ying-ru<sup>1,2)</sup>, YANG Zhu-sen<sup>2)\*</sup>, ZHAO Xiao-yan<sup>2)</sup>, MA Wang<sup>3,4)</sup>,  
ZHANG Xiong<sup>2,4)</sup>, MAO Jing-tao<sup>5)</sup>

1) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

4) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083;

5) Hydrogeology and Engineering Geology Exploration Institute of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150030

**Abstract:** The Shangxu gold deposit is located on the southern side of the middle part of the Bangong Co–Nujiang suture zone in northern Tibet. In this paper, the authors conducted in situ U-Pb dating of detrital zircons from the Middle–Lower Jurassic metasedimentary rocks in Shangxu for tracing their provenance. The analysis of 114 detrital zircons of varied sizes and shapes, which were selected randomly, shows that: (1) zircons are 80~150 μm long, and Th/U ratios of most zircons are higher than 0.4; (2) ages of detrital zircons range from 223 Ma to 2 615 Ma, with five peaks of ca. 280 Ma, ca. 451 Ma, ca. 908 Ma, ca. 1 900 Ma and ca. 2 430 Ma. By contrasting detrital zircon ages for the Middle–Lower Jurassic metasedimentary rocks in Shangxu with those in Lhasa and southern Qiangtang terranes, an important observation is that the ca. 908 Ma age population characteristic of detrital zircons in Shangxu is consistent with the distinctive ca.950 Ma age peak in detrital zircons from the western Qiangtang terrane, rather

本文由国家重点研发计划(深地资源勘查开采)(编号: 2016YFC0600306)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)(编号: 2011CB403104)、中国地质调查局地质调查项目(编号: 12120113037901; DD20160026; DD20179142)和国家科技支撑计划(编号: 2006BAB01A04)联合资助。

收稿日期: 2017-06-23; 改回日期: 2017-08-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 裴英茹, 女, 1988 年生。博士, 助理研究员。主要从事矿床学研究。通讯地址: 100081, 北京市海淀区民族大学南路 11 号。

电话: 010-88815512。E-mail: peiyingru@126.com。

\*通讯作者: 杨竹森, 男, 1964 年生。博士, 研究员。主要从事矿床学和矿床地球化学研究。E-mail: yangzhusen@vip.sina.com。

than distinctive ca. 1 170 Ma age peak in detrital zircons from the Lhasa terrane. The authors hold that the age (223 Ma) is close to the depositional age. The result indicates that the provenance of Middle–Lower Jurassic Mugagangri Group in Shangxu probably is the remnant of the Bangong Co–Nujiang oceanic basin, implying the northward subduction of the Bangong Co–Nujiang Ocean beneath southern Qiangtang terrane.

**Key words:** detrital zircons; Bangong Co–Nujiang suture zone; Qiangtang terrane; Shangxu in Tibet

印—亚陆碰撞产生的青藏高原造山带从北向南依次由松潘—甘孜地块、羌塘地块、拉萨地块和喜马拉雅地块组成，其构造界线分别为金沙江缝合带(JS)、班公湖—怒江缝合带(BNS)和雅鲁藏布江缝合带(YTS)(图 1A, Yin and Harrison, 2000)。

国内外学者针对班公湖—怒江缝合带所代表的中特提斯洋盆的打开闭合时间、洋壳的俯冲极性以及构造演化史等重要科学问题，开展了大量的研究工作(Yin and Harrison, 2000; Kapp et al., 2003, 2005; 潘桂棠等, 2006; 朱弟成等, 2006; Pan et al., 2012; Zhang et al., 2012; Zhu et al., 2013, 2016; Zeng et al., 2015)。作为班公湖—怒江缝合带内极具特色的非史密斯地层单元之一，中—下侏罗统木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ )由变形的深海相浊积岩、砾岩以及含有蛇绿岩片的构造混杂岩组成(Kapp et al., 2003, 2005)，被认为可能是班公湖—怒江洋的残余洋盆的产物(Kapp et al., 2005)。前人研究认为，班公湖—怒江缝合带改则地区中—下侏罗统木嘎岗日岩群( $J_{1-2}M$ )中砂岩的最年轻碎屑锆石年龄为 200 Ma，且与羌塘地块具有亲缘性(Zeng et al., 2016)；同时，班公湖—怒江洋壳北向俯冲于羌塘地块之下的初始年龄可能为 ~220 Ma，其随后所发生的岩浆作用可能为

~210 Ma(Zhu et al., 2013; Zeng et al., 2016)。为了更好地认识木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ )的形成机制及其相关的构造背景，需对其开展深入的研究，这同时有利于对班公湖—怒江缝合带的演化史获得更为全面的理解(Pan et al., 2012; Zhang et al., 2012; Zhu et al., 2013)。

通过对沉积岩及沉积变质岩中的碎屑锆石进行 U-Pb 定年分析，可有效地探讨其源区并开展历史时期的古大陆重建(Veevers et al., 2005; Zhu et al., 2011, 2013; Zeng et al., 2016)。本文对商旭矿区中—下侏罗统木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ )砂岩的碎屑锆石开展了形态学及 U-Pb 年代学的研究，对其物源区进行了初步分析，为揭示班公湖—怒江缝合带内木嘎岗日群的物源区提供了新的证据，同时为探讨班公湖—怒江缝合带的构造演化史提供了一定的依据。

## 1 地质背景

狭义的班公湖—怒江缝合带，即班公湖—怒江蛇绿混杂岩带，以日土—改则—丁青断裂和班公湖—康托—兹格塘错断裂为南北两界，西起班公湖，向东经改则、尼玛、东巧、安多、索县、丁青、嘉玉桥折向南至八宿上林卡，向南沿怒江进入滇西，

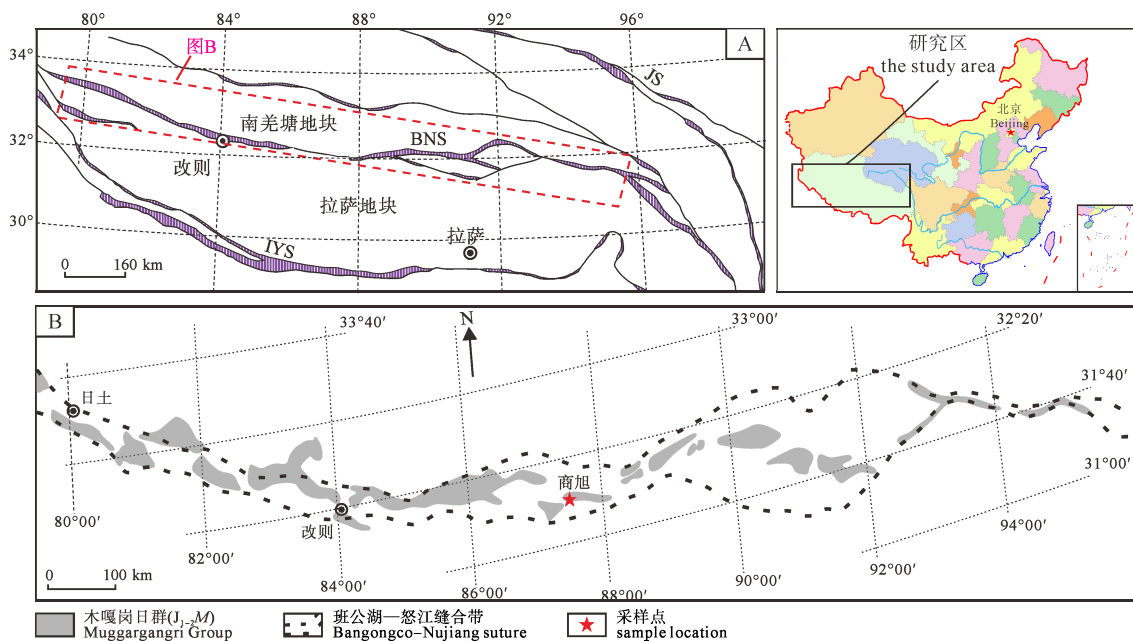


图 1 西藏构造单元划分简图(A, 据侯增谦等, 2006 改绘)和区域地质图(B, 据 Zhu et al., 2016 改绘)

Fig. 1 Geological sketch map of tectonic outline of Tibet (A, modified after HOU et al., 2006) and geological map of the study area (B, modified after Zhu et al., 2016)

图 A 中, IYS-雅鲁藏布江缝合带; BNS-班公湖—怒江缝合带; JS-金沙江缝合带  
In Fig. A, IYS-Indus–Yalu suture; BNS-Bangongco–Nujiang suture; JS-Jinsha suture

在西藏境内长达 2 800 km, 宽 20~120 km(图 1A, 侯增谦等, 2008)。班公湖—怒江缝合带(BNS)中存在规模巨大的蛇绿岩、增生杂岩以及夹持其中的残余弧或岛弧变质地块, 发育有韧性剪切带、逆冲断层、构造混杂岩、复杂褶皱等多种复杂构造行迹, 沿断裂还发育晚白垩世—新近纪陆相火山岩、新生代陆相走滑拉分盆地和第四纪谷地(宋扬等, 2014)。从区域上看, 班公湖—怒江缝合带在中生代经历了班公湖—怒江洋俯冲消减以及羌塘地块、拉萨地块碰撞造山等阶段(潘桂棠等, 2006; 朱弟成等, 2006; Zhu et al., 2016)。近几年, 班公湖—怒江成矿带内不同类型矿床的发现以及同位素地质年代学的研究进展表明, 伴随着洋壳闭合和拉萨地块—羌塘地块的陆陆碰撞造山作用, 班公湖—怒江缝合带内发生了以斑岩成矿系统为核心的多阶段的巨量铜金元素的聚集, 使得其成为青藏高原又一条斑岩成矿带(赵元艺等, 2009; 曲晓明等, 2012; 唐菊兴等, 2013, 2014; 宋扬等, 2014; 李光明等, 2015; 王勇等, 2017)。

中—下侏罗统木嘎岗日岩群( $J_{1-2}M$ ), 系指沿班公错—怒江构造带分布的一套深灰色、暗绿色、灰黑色泥质板岩与变质砂岩、粉砂岩夹灰岩、硅质灰岩为主的地层体; 化石稀少, 有少量双壳类、腕足类化石, 其下未见底, 上未见顶, 其中常夹有灰岩岩块、枕状玄武岩岩块、放射虫硅质岩岩块; 记录了班公湖—怒江洋壳向羌塘地块之下的北向俯冲(图 1B, Zhu et al., 2013; Zeng et al., 2016)。藏北商旭金矿床位于藏北双湖县措折罗玛镇境内, 地处班公湖—怒江缝合带中段南侧, 是班公湖—怒江缝合带已发现的一例造山型金矿(黄瀚霄等, 2014; 刘洪等, 2015, 2017; 裴英茹等, 2015, 2016; 肖万峰等, 2013, 2017)。矿区主要发育中—下侏罗统木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ ), 总体为一套含大量外来灰岩岩块和以深水复理石碎屑沉积为基质的沉积-构造混杂岩, 主要岩性包括灰绿色变质石英砂岩和灰黑色千枚岩(图 1B)。根据岩性组合特征, 商旭矿区中—下侏罗统木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ )从北向南依次分为三个岩性段(肖万峰等, 2013): 第一岩性段( $J_{1-2}mg^1$ )主要为青灰色粉砂至中粗粒变岩屑砂岩, 局部出现含砾岩屑砂岩与灰岩透镜体; 第二岩性段( $J_{1-2}mg^2$ )主要为灰黑色碳质板岩, 局部夹砂质板岩透镜体; 第三岩性段( $J_{1-2}mg^3$ )主要为灰黑色碳质板岩、中粗粒变岩屑砂岩、砂质板岩互层。

## 2 样品和分析方法

锆石 U-Pb 定年的样品为分别采自商旭矿区 II 号矿带木嘎岗日群第三岩性段和 III 号矿带木嘎岗日

群第二岩性段的变质砂岩(图 1B)。

锆石样品的分离和挑选由廊坊市地岩矿物分选有限公司完成; 锆石制靶及阴极发光图像由北京锆年领航科技有限公司完成。将待测锆石置于玻璃板上用无色透明环氧树脂固定, 待环氧树脂充分固化后, 将靶上的锆石粗磨、细磨至约一半使锆石中心部位暴露并抛光; 对样品进行反射光和透射光拍照后, 用阴极发光(CL)扫描电镜进行图像分析, 然后清洗镀金待测。不同类型和大小的碎屑锆石在测定随机挑选, 且避开裂纹和包裹体。

LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成, 锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用束斑直径为 40  $\mu\text{m}$ , 频率为 10 Hz, 能量密度约为 2.5  $\text{J}/\text{cm}^2$ , 以 He 为载气。详细实验测试过程可参见侯可军等(2009), 数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu et al., 2010), 锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得。对小于 1 000 Ma 的锆石, 选取  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  计算年龄; 对大于 1 000 Ma 的锆石, 选取  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  计算年龄, 这样结果更可靠(Compston et al., 1992)。

## 3 分析结果

商旭金矿床砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄数据见表 1。

在商旭金矿床中—下侏罗统木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ )的 2 个砂岩样品中, 随机选取 114 颗锆石进行分析(SX13-3-1 锆石 58 颗、SX13-4-1 锆石 56 颗)。通过 CL 图像可以看出, 样品 SX13-3-1(图 2A)和 SX13-4-1(图 2B)中的锆石颗粒大小在 80~150  $\mu\text{m}$  之间, 绝大多数在 100  $\mu\text{m}$  左右; 60%锆石颗粒的 Th/U 比值>0.4(表 1)。

从碎屑锆石的年龄分布频率直方图中可以看出, 商旭砂岩碎屑锆石的年龄分布在 223~2 615 Ma, 200~1 000 Ma 的锆石有 56 颗, 大于 1 000 Ma 的锆石有 58 颗, 年龄峰值分别为 280 Ma、451 Ma、908 Ma、1 900 Ma 和 2 430 Ma(图 3C)。具体如下: 样品 SX13-3-1 中最年轻的年龄为 223 Ma(测点 SX13-3-1-21, 谐和度 98%), 200~1 000 Ma 的锆石有 32 颗, >1 000 Ma 的锆石有 26 颗, 年龄峰值分别为 280 Ma、448 Ma、1 900 Ma 和 2 430 Ma(图 3A); 样品 SX13-4-1 中最年轻的年龄为 246 Ma(测点 SX13-4-1-46, 谐和度 98%), 200~1 000 Ma 的锆石有 24 颗, >1 000 Ma 的锆石有 32 颗, 年龄峰值分别为 255 Ma、914 Ma、1 906 Ma 和 2 420 Ma(图 3B)。

根据碎屑锆石的阴极发光特征(图 2)和年龄分

布(图 3), 可以将商旭中一下侏罗统木嘎岗日群( $J_{1-2}M$ )的碎屑锆石年龄分为以下几个年龄段:(1)223~940 Ma, 锆石颗粒共计 56 颗。锆石多呈自形一半自形, 内部结构清晰, 发育较为清晰的韵律生长环带, Th/U 比值介于 0.15~1.82 之间, 均值为 0.64, 具有岩浆锆石的特点; (2)1 176~2 615 Ma, 锆石颗粒共计 58 颗。锆石多呈次圆状, 生长环带不清楚或无, 核部发光不均一, 边部见亮白色增生边, Th/U 比值介于 0.06~2.65 之间, 均值为 0.48, 显示主体为岩浆锆石成因, 部分颗粒可能为变质成因。

#### 4 讨论

南羌塘与特提斯喜马拉雅中沉积变质岩的碎屑锆石年龄具有相似的频率分布图, 且二者的两个主要年龄峰值(530 Ma、950 Ma)与高喜马拉雅新元古代沉积变质岩中碎屑锆石年龄主峰一致, 表明二者可能在古生代时期与高喜马拉雅相邻; 同时, 拉萨地块与澳大利亚西部的碎屑锆石具有一致的年龄峰值(1 170 Ma), 表明拉萨地块可能在石炭纪一二

叠纪之间与澳大利亚西北部毗邻(Zhu et al., 2011)。即, 南羌塘地块沉积岩的碎屑锆石年龄的特征峰值为~950 Ma, 而拉萨地块沉积岩的碎屑锆石年龄的特征峰值为~1 170 Ma(Zhu et al., 2011, 2013; 朱弟成等, 2012)。

在班公湖—怒江缝合带内, 班公湖地区中生代沙木罗组( $J_3-K_1s$ )和日松组( $J_3r$ )地层的碎屑锆石 LA-ICPMS U-Pb 年代学研究显示, 碎屑锆石最年轻颗粒的年龄为 106 Ma, 其主要年龄峰值包括 530 Ma 和 950 Ma, 同时缺失 1 170 Ma, 表明晚侏罗世—早白垩世班公湖地区沉积物的物源区可能为其北部的南羌塘地块(图 1B, 樊帅权等, 2011)。另外, 改则地区中一下侏罗统木嘎岗日岩群( $J_{1-2}M$ )中砂岩的碎屑锆石最年轻颗粒的年龄为 200 Ma, 其主要年龄峰值亦含有 950 Ma, 同时缺失 1 170 Ma, 暗示早—中侏罗世改则地区的沉积物物源区可能同样为其北部的南羌塘地块(图 1B, Zeng et al., 2016)。从碎屑锆石 U-Pb 年龄频率图来看(图 3), 商旭地区早—中侏罗世沉积岩碎屑锆石年龄峰值分别为 280 Ma、

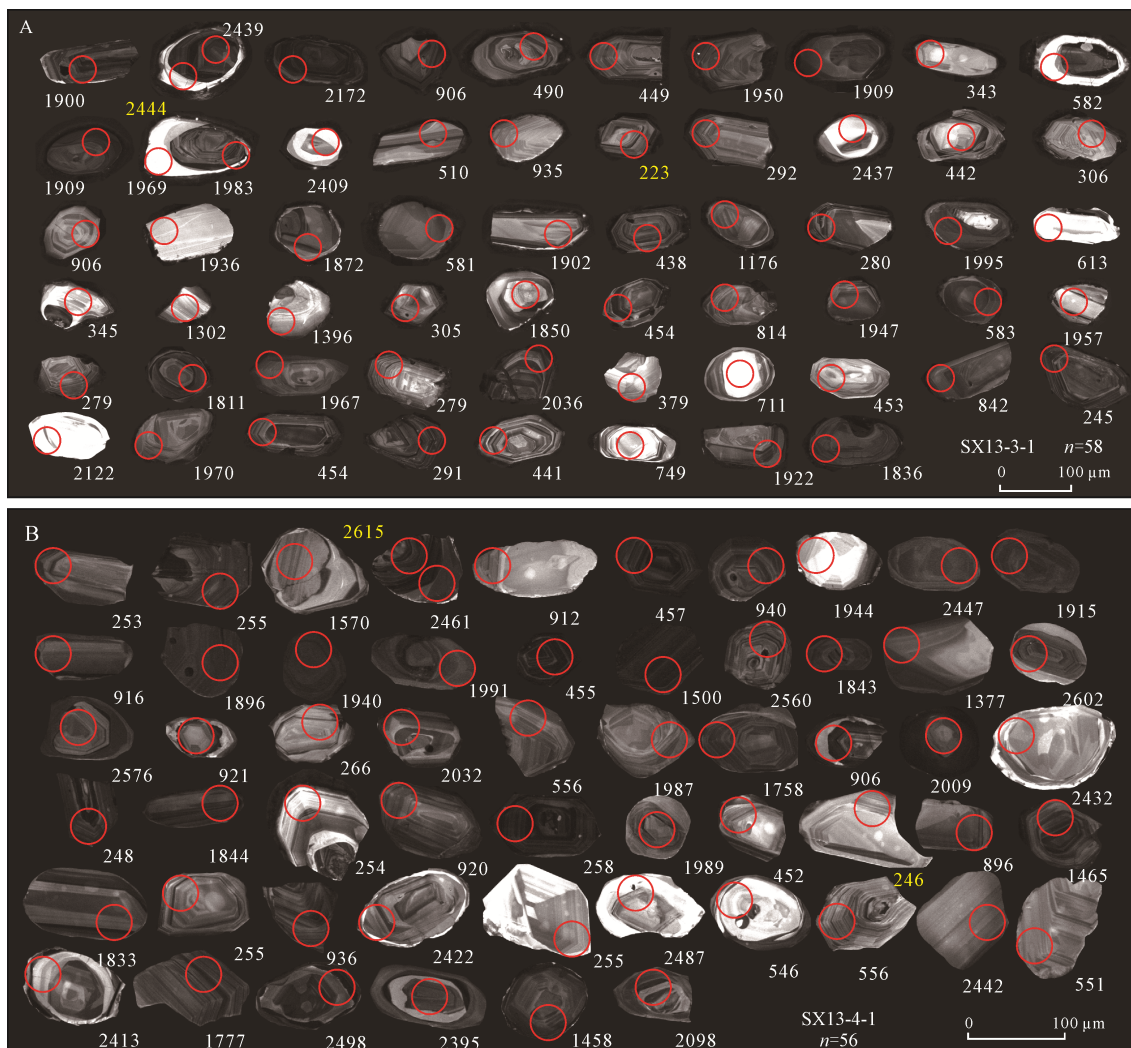


Fig. 2 西藏商旭金矿砂岩碎屑锆石阴极发光图(年龄/Ma)

Fig. 2 Cathodoluminescence images of detrital zircon grains from sandstones in the Shangxu gold deposit in Tibet (age/Ma)

表 1 西藏商旭金矿床碎屑锆石 U-Pb 年龄数据  
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb data of detrital zircons from the Jurassic metasedimentary rocks in the Shangxu gold deposit in Tibet

测点号	含量/ $\times 10^{-6}$				比值										年龄/Ma		接受年龄/Ma	
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$\sigma$	年龄	$\sigma$	年龄
					$\sigma$	$\sigma$	$\sigma$	$\sigma$	$\sigma$	$\sigma$	$\sigma$	$\sigma$						
SX13-3-1-1	325	519	822	0.63	0.0019	5.491 8	0.0902	0.340 7	0.0038	1900	30	1 899	14	1 890	18	1 900	30	
SX13-3-1-3	432	238	944	0.25	0.002 3	9.293 4	0.137 8	0.421 5	0.004 3	2 444	24	2 367	14	2 267	19	2 444	24	
SX13-3-1-4	71	193	441	0.44	0.001 7	1.467 8	0.035 2	0.150 8	0.001 6	1 000	51	917	14	906	9	906	9	
SX13-3-1-5	332	246	774	0.32	0.002 0	7.380 3	0.107 4	0.392 5	0.003 9	2 172	26	2 159	13	2 134	18	2 172	26	
SX13-3-1-6	346	236	708	0.33	0.002 1	9.879 4	0.136 2	0.448 9	0.004 2	2 439	22	2 424	13	2 390	19	2 439	22	
SX13-3-1-7	20	86	275	0.31	0.002 5	0.591 8	0.023 0	0.072 1	0.001 0	587	91	472	15	449	6	449	6	
SX13-3-1-8	49	180	601	0.30	0.003 3	0.630 1	0.029 7	0.079 0	0.001 7	509	121	496	19	490	10	490	10	
SX13-3-1-9	110	163	286	0.57	0.004 3	5.702 2	0.185 7	0.344 9	0.003 8	1 950	65	1 932	28	1 910	18	1 950	65	
SX13-3-1-10	152	139	433	0.32	0.002 1	5.488 6	0.106 7	0.338 7	0.005 0	1 909	32	1 899	17	1 881	24	1 909	32	
SX13-3-1-12	17	143	280	0.51	0.004 2	0.419 4	0.028 2	0.054 6	0.001 2	461	168	356	20	343	8	343	8	
SX13-3-1-13	70	195	718	0.27	0.011 6	0.848 0	0.146 8	0.094 5	0.001 2	761	387	624	81	582	7	582	7	
SX13-3-1-14	145	97	405	0.24	0.002 0	5.728 4	0.104 5	0.341 2	0.004 2	1 969	30	1 936	16	1 892	20	1 969	30	
SX13-3-1-15	140	64	417	0.15	0.011 6 9	5.329 2	0.102 7	0.328 0	0.004 9	1 909	28	1 874	16	1 829	24	1 909	28	
SX13-3-1-17	340	273	901	0.30	0.001 8	5.840 0	0.096 3	0.345 1	0.004 1	1 983	27	1 952	14	1 911	20	1 983	27	
SX13-3-1-18	59	74	121	0.61	0.004 4	8.648 1	0.235 0	0.401 9	0.007 0	2 409	47	2 302	25	2 178	32	2 409	47	
SX13-3-1-19	20	111	225	0.49	0.002 8	0.661 0	0.031 2	0.082 3	0.001 4	532	106	515	19	510	8	510	8	
SX13-3-1-20	14	86	66	1.31	0.007 8	1.517 8	0.100 3	0.156 1	0.003 1	952	139	938	40	935	17	935	17	
SX13-3-1-21	17	169	447	0.38	0.003 6	0.249 3	0.017 3	0.035 1	0.000 6	239	158	226	14	223	4	223	4	
SX13-3-1-22	18	206	342	0.60	0.003 6	0.335 7	0.019 6	0.046 3	0.001 0	354	144	294	15	292	6	292	6	
SX13-3-1-23	37	42	76	0.55	0.006 4	8.923 6	0.359 3	0.407 2	0.008 6	2 437	70	2 330	37	2 202	39	2 437	70	
SX13-3-1-24	13	78	165	0.47	0.007 0	0.592 0	0.072 9	0.071 0	0.005 5	609	256	472	47	442	33	442	33	
SX13-3-1-25	11	109	191	0.57	0.003 9	0.369 8	0.079 9	0.048 6	0.002 0	365	404	320	59	306	12	306	12	
SX13-3-1-26	17	40	104	0.39	0.007 2	1.466 3	0.105 1	0.150 9	0.004 7	991	162	917	43	906	26	906	26	
SX13-3-1-27	71	64	198	0.32	0.011 8 7	5.258 7	0.123 5	0.319 9	0.004 3	1 936	41	1 862	20	1 789	21	1 936	41	
SX13-3-1-28	201	150	604	0.25	0.002 2	4.753 7	0.097 3	0.300 0	0.004 3	1 872	35	1 777	17	1 691	21	1 872	35	
SX13-3-1-31	27	203	243	0.83	0.006 4	0.783 9	0.042 1	0.094 4	0.001 7	617	119	588	24	581	10	581	10	
SX13-3-1-32	107	158	301	0.52	0.011 6 4	5.067 4	0.109 1	0.314 4	0.004 1	1 902	1	1 831	18	1 762	20	1 902	1	
SX13-3-1-33	27	256	340	0.75	0.005 2	0.560 7	0.022 3	0.070 3	0.001 1	600	82	452	14	438	7	438	7	
SX13-3-1-34	60	392	244	1.60	0.009 1	1.957 9	0.061 1	0.179 3	0.002 5	1 176	56	1 101	21	1 063	14	1 176	56	

续表 1

测点号	含量/ $10^{-6}$				Th/U				比值				年龄/Ma				接受年龄/Ma			
	Pb		Th		U		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		年龄	$1\sigma$
	Pb	Th	U	Th	U	Th/U	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	
SX13-3-1-35	18	110	426	0.26	0.26	0.0547	0.0024	0.3316	0.0139	0.0444	0.0007	467	96	291	11	280	5	280	5	
SX13-3-1-36	138	48	467	0.10	0.10	0.1227	0.0028	5.0374	0.1534	0.2963	0.0051	1995	41	1826	26	1673	25	1995	41	
SX13-3-1-37	6	59	42	1.42	1.42	0.0706	0.0105	0.9177	0.1205	0.0998	0.0068	946	312	661	64	613	40	613	40	
SX13-3-1-38	7	118	106	1.11	1.11	0.0544	0.0106	0.4445	0.0947	0.0550	0.0047	391	385	373	67	345	29	345	29	
SX13-3-1-39	42	109	186	0.58	0.58	0.0843	0.0028	2.4991	0.0861	0.2164	0.0045	1302	65	1272	25	1263	24	1302	65	
SX13-3-1-40	28	72	125	0.58	0.58	0.0886	0.0033	2.6037	0.0944	0.2158	0.0042	1396	71	1302	27	1259	22	1396	71	
SX13-3-1-41	28	369	540	0.68	0.68	0.0547	0.0025	0.3619	0.0172	0.0484	0.0010	398	102	314	13	305	6	305	6	
SX13-3-1-42	117	73	357	0.20	0.20	0.1131	0.0024	5.1425	0.1177	0.3310	0.0055	1850	39	1843	19	1843	27	1850	39	
SX13-3-1-43	59	714	691	1.03	1.03	0.0585	0.0019	0.5774	0.0176	0.0730	0.0016	546	72	463	11	454	10	454	10	
SX13-3-1-44	51	190	362	0.52	0.52	0.0674	0.0021	1.2369	0.0345	0.1346	0.0019	850	68	817	16	814	11	814	11	
SX13-3-1-45	91	72	289	0.25	0.25	0.1194	0.0022	5.0843	0.1116	0.3101	0.0053	1947	33	1833	19	1741	26	1947	33	
SX13-3-1-46	41	85	453	0.19	0.19	0.0609	0.0017	0.7861	0.0233	0.0946	0.0017	635	61	589	13	583	10	583	10	
SX13-3-1-48	102	55	331	0.17	0.17	0.1201	0.0023	5.1571	0.1158	0.3128	0.0055	1957	33	1846	19	1755	27	1957	33	
SX13-3-1-49	29	178	657	0.27	0.27	0.0544	0.0049	0.3265	0.0254	0.0443	0.0011	391	208	287	19	279	7	279	7	
SX13-3-1-51	290	71	1133	0.06	0.06	0.1101	0.0019	3.9851	0.0773	0.2623	0.0031	1811	31	1631	16	1502	16	1811	31	
SX13-3-1-53	147	150	399	0.37	0.37	0.1200	0.0033	5.5437	0.1277	0.3376	0.0056	1967	50	1907	20	1875	27	1967	50	
SX13-3-1-54	27	387	558	0.69	0.69	0.0547	0.0032	0.3290	0.01790	0.0442	0.0008	398	131	289	14	279	5	279	5	
SX13-3-1-55	296	277	797	0.35	0.35	0.1255	0.0019	6.0602	0.1113	0.3496	0.0040	2036	28	1985	16	1933	19	2036	28	
SX13-3-1-57	15	179	219	0.81	0.81	0.0583	0.0035	0.4864	0.0302	0.0605	0.0015	539	99	402	21	379	9	379	9	
SX13-3-1-59	12	66	96	0.69	0.69	0.0666	0.0071	1.0646	0.1134	0.1165	0.0028	833	226	736	56	711	16	711	16	
SX13-3-1-60	12	96	155	0.62	0.62	0.0586	0.0036	0.5791	0.0341	0.0728	0.0014	550	135	464	22	453	8	453	8	
SX13-3-1-61	69	231	470	0.49	0.49	0.0681	0.0019	1.3046	0.0343	0.1396	0.0017	872	57	848	15	842	10	842	10	
SX13-3-1-62	41	603	996	0.61	0.61	0.0516	0.0021	0.2760	0.0120	0.0387	0.0005	333	97	247	10	245	3	245	3	
SX13-3-1-63	35	48	85	0.57	0.57	0.1310	0.0054	6.9925	0.3403	0.3870	0.0114	2122	72	2110	43	2109	53	2122	72	
SX13-3-1-64	65	125	158	0.79	0.79	0.1209	0.0029	5.7532	0.1368	0.3467	0.0044	1970	43	1939	21	1919	21	1970	43	
SX13-3-1-65	38	342	470	0.73	0.73	0.0611	0.0024	0.6119	0.0223	0.0730	0.0009	643	79	485	14	454	6	454	6	
SX13-3-1-66	72	506	1491	0.34	0.34	0.0573	0.0029	0.3633	0.0098	0.0462	0.0019	506	111	315	7	291	12	291	12	
SX13-3-1-67	27	277	330	0.84	0.84	0.0573	0.0023	0.5524	0.0208	0.0708	0.0010	502	91	447	14	441	6	441	6	
SX13-3-1-68	20	150	128	1.17	1.17	0.0665	0.0030	1.1207	0.0481	0.1232	0.0020	820	99	763	23	749	11	749	11	



续表 1

测点号	含量/ $10^{-6}$				Th/U				比值				年龄/Ma				接受年龄/Ma	
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\sigma$	年龄	$\sigma$
SX13-3-1-69	161	130	450	0.29	0.1171	0.0043	5.4201	0.1970	0.3348	0.0033	1.922	61	1.888	31	1.862	16	1922	61
SX13-3-1-70	143	59	431	0.14	0.1123	0.0028	4.9366	0.1059	0.3195	0.0037	1.839	44	1.809	18	1.787	18	1839	44
SX13-4-1-1	11	128	230	0.56	0.0556	0.0100	0.2927	0.0133	0.0401	0.0067	435	359	261	10	253	42	253	42
SX13-4-1-2	36	210	860	0.24	0.0513	0.0024	0.2868	0.0130	0.0403	0.0007	254	110	256	10	255	4	255	4
SX13-4-1-3	75	111	299	0.37	0.0971	0.0042	3.0533	0.1290	0.2268	0.0043	1.570	81	1.421	32	1.318	23	1570	81
SX13-4-1-6	636	376	1117	0.34	0.1759	0.0053	12.0412	0.3569	0.4939	0.0069	2.615	51	2.608	28	2.588	30	2615	51
SX13-4-1-7	14	64	77	0.83	0.0707	0.0047	1.4848	0.1042	0.1519	0.0035	950	138	924	43	912	19	912	19
SX13-4-1-8	79	478	998	0.48	0.0567	0.0023	0.5764	0.0236	0.0735	0.0011	480	89	462	15	457	7	457	7
SX13-4-1-9	260	234	581	0.40	0.1605	0.0050	8.7658	0.2720	0.3944	0.0045	2.461	52	2.314	28	2.143	21	2461	52
SX13-4-1-10	85	115	533	0.22	0.0751	0.0028	1.6304	0.0609	0.1570	0.0022	1.072	75	982	24	940	12	940	12
SX13-4-1-11	24	77	59	1.30	0.1192	0.0062	4.7155	0.2294	0.2912	0.0048	1.944	93	1.770	41	1.648	24	1944	93
SX13-4-1-12	93	103	170	0.61	0.1592	0.0068	10.1730	0.4302	0.4624	0.0098	2.447	72	2.451	39	2.450	43	2447	72
SX13-4-1-13	164	81	453	0.18	0.1172	0.0034	5.5582	0.1618	0.3430	0.0043	1.915	52	1.910	25	1.901	21	1915	52
SX13-4-1-14	90	103	583	0.18	0.0724	0.0023	1.5296	0.0484	0.1527	0.0021	996	63	942	19	916	12	916	12
SX13-4-1-16	128	249	404	0.62	0.1160	0.0037	4.4434	0.1407	0.2768	0.0054	1.896	56	1.720	26	1.575	27	1896	56
SX13-4-1-18	168	52	456	0.11	0.1189	0.0033	5.7387	0.1607	0.3481	0.0060	1.940	44	1.937	24	1.925	29	1940	44
SX13-4-1-19	56	114	135	0.85	0.1223	0.0043	5.6029	0.1902	0.3322	0.0070	1.991	61	1.917	29	1.849	34	1991	61
SX13-4-1-21	159	992	1930	0.51	0.0578	0.0036	0.5870	0.0330	0.0732	0.0023	524	132	469	21	455	14	455	14
SX13-4-1-22	250	359	920	0.39	0.0931	0.0026	3.1818	0.0874	0.2464	0.0043	1.500	54	1.453	21	1.420	22	1500	54
SX13-4-1-23	274	255	479	0.53	0.1703	0.0046	11.2250	0.2958	0.4752	0.0080	2.560	45	2.542	25	2.506	35	2560	45
SX13-4-1-25	220	198	723	0.27	0.1126	0.0034	4.3796	0.1338	0.2805	0.0054	1.843	54	1.709	25	1.594	27	1843	54
SX13-4-1-26	21	38	96	0.40	0.0877	0.0052	2.4464	0.1439	0.2020	0.0043	1.377	113	1.256	42	1.186	23	1377	113
SX13-4-1-28	133	190	210	0.90	0.1746	0.0047	11.6508	0.3255	0.4822	0.0091	2.602	40	2.577	26	2.537	40	2602	40
SX13-4-1-29	91	92	155	0.59	0.1717	0.0049	11.5852	0.3316	0.4875	0.0079	2.576	48	2.571	27	2.560	34	2576	48
SX13-4-1-30	89	254	551	0.46	0.0742	0.0023	1.5725	0.0528	0.1536	0.0032	1.047	63	959	21	921	18	921	18
SX13-4-1-31	20	567	312	1.82	0.0539	0.0041	0.3153	0.0249	0.0421	0.0010	365	170	278	19	266	6	266	6
SX13-4-1-32	272	1212	458	2.65	0.1252	0.0053	6.3289	0.2857	0.3628	0.0103	2.032	75	2.022	40	1.995	49	2032	75
SX13-4-1-33	26	239	236	1.01	0.0611	0.0028	0.7590	0.0339	0.0901	0.0021	643	97	573	20	556	13	556	13
SX13-4-1-34	44	104	110	0.94	0.1221	0.0039	5.2403	0.1736	0.3082	0.0076	1.987	57	1.859	28	1.732	37	1987	57
SX13-4-1-35	167	88	506	0.17	0.1075	0.0034	4.6919	0.1577	0.3116	0.0085	1.758	57	1.766	28	1.748	42	1758	57

续表 1

测点号	含量/ $10^{-6}$				Th/U	比值				年龄/Ma				接受年龄/Ma			
	Pb		Th			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\sigma$	年龄	$\sigma$	年龄	$\sigma$	
	Pb	Th	U	Th													$\sigma$
SX13-4-1-36	132	325	797	0.41	0.069 6	0.002 2	1.471 9	0.051 6	0.151 0	0.004 7	917	67	919	21	906	26	26
SX13-4-1-37	198	135	560	0.24	0.123 6	0.014 9	5.075 8	0.362 5	0.324 4	0.011 3	2 009	216	1 832	61	1 811	55	2 009
SX13-4-1-38	109	80	231	0.35	0.157 8	0.006 3	8.770 2	0.363 5	0.397 2	0.016 5	2 432	68	2 314	38	2 156	76	2 432
SX13-4-1-39	89	834	2 053	0.41	0.051 3	0.004 0	0.282 9	0.017 5	0.039 3	0.002 1	254	186	253	14	248	13	248
SX13-4-1-40	199	68	628	0.11	0.112 7	0.005 2	4.593 2	0.227 4	0.292 3	0.014 5	1 844	83	1 748	41	1 653	72	1 844
SX13-4-1-41	25	559	411	1.36	0.051 4	0.006 2	0.292 1	0.036 2	0.040 2	0.002 6	261	261	260	28	254	16	254
SX13-4-1-42	54	171	288	0.59	0.071 4	0.004 9	1.556 4	0.153 5	0.153 5	0.009 6	969	134	953	61	920	54	920
SX13-4-1-43	148	2 117	2 899	0.73	0.053 3	0.003 1	0.308 6	0.067 7	0.040 8	0.007 2	343	136	273	53	258	44	258
SX13-4-1-44	125	70	377	0.19	0.122 2	0.006 6	4.732 6	0.249 6	0.278 8	0.016 1	1 989	91	1 773	44	1 585	81	1 989
SX13-4-1-45	14	79	159	0.49	0.056 9	0.006 6	0.569 4	0.066 6	0.072 7	0.003 8	487	259	458	43	452	23	452
SX13-4-1-46	15	76	346	0.22	0.057 9	0.015 2	0.302 4	0.072 5	0.038 9	0.002 4	524	493	268	57	246	15	246
SX13-4-1-47	90	355	471	0.75	0.072 3	0.004 9	1.509 4	0.130 9	0.149 2	0.008 0	994	140	934	53	896	45	896
SX13-4-1-48	151	403	444	0.91	0.091 8	0.003 1	3.184 9	0.131 1	0.248 7	0.008 5	1 465	64	1 454	32	1 432	44	1 465
SX13-4-1-49	118	48	321	0.15	0.111 4	0.004 0	4.917 1	0.217 1	0.316 9	0.011 1	1 833	66	1 805	37	1 775	55	1 833
SX13-4-1-50	29	384	566	0.68	0.053 1	0.004 9	0.300 3	0.032 1	0.040 3	0.001 8	332	209	267	25	255	11	255
SX13-4-1-51	106	241	597	0.40	0.073 8	0.002 8	1.591 8	0.071 2	0.156 2	0.005 4	1 036	72	967	28	936	30	936
SX13-4-1-52	226	199	449	0.44	0.156 9	0.004 5	9.047 9	0.337 5	0.416 9	0.012 6	2 422	49	2 343	34	2 246	57	2 422
SX13-4-1-53	12	241	225	1.07	0.053 0	0.005 0	0.295 6	0.028 1	0.040 4	0.001 7	328	215	263	22	255	11	255
SX13-4-1-54	96	96	198	0.49	0.163 0	0.005 8	8.822 7	0.344 6	0.395 2	0.010 3	2 487	60	2 320	36	2 147	47	2 487
SX13-4-1-55	34	52	355	0.15	0.061 1	0.010 3	0.761 2	0.176 2	0.088 4	0.007 2	643	368	575	102	546	43	546
SX13-4-1-56	48	341	442	0.77	0.064 3	0.005 7	0.794 7	0.073 8	0.090 1	0.003 8	750	187	594	42	556	23	556
SX13-4-1-57	115	102	229	0.44	0.158 8	0.005 1	9.233 5	0.340 2	0.424 7	0.008 9	2 442	55	2 361	34	2 282	40	2 442
SX13-4-1-60	16	176	152	1.16	0.063 0	0.015 8	0.753 2	0.196 1	0.089 2	0.005 0	707	554	570	114	551	30	551
SX13-3-1-61	178	272	339	0.80	0.156 0	0.005 2	8.951 9	0.346 2	0.418 8	0.006 8	2 413	57	2 333	35	2 255	31	2 413
SX13-3-1-62	119	241	400	0.60	0.108 7	0.004 7	3.777 1	0.185 7	0.253 1	0.004 4	1 777	80	1 588	39	1 455	23	1 777
SX13-3-1-63	328	218	635	0.34	0.164 0	0.004 5	10.207 0	0.326 1	0.454 0	0.006 8	2 498	46	2 454	30	2 413	30	2 498
SX13-3-1-64	108	103	229	0.45	0.154 4	0.004 7	8.411 7	0.292 3	0.396 7	0.006 6	2 395	52	2 276	32	2 154	31	2 395
SX13-3-1-65	85	76	337	0.23	0.091 6	0.002 6	2.969 3	0.097 7	0.236 1	0.003 5	1 458	60	1 400	25	1 367	18	1 458
SX13-3-1-66	167	85	478	0.18	0.130 0	0.004 5	5.624 0	0.221 9	0.314 3	0.005 4	2 098	61	1 920	34	1 762	27	2 098



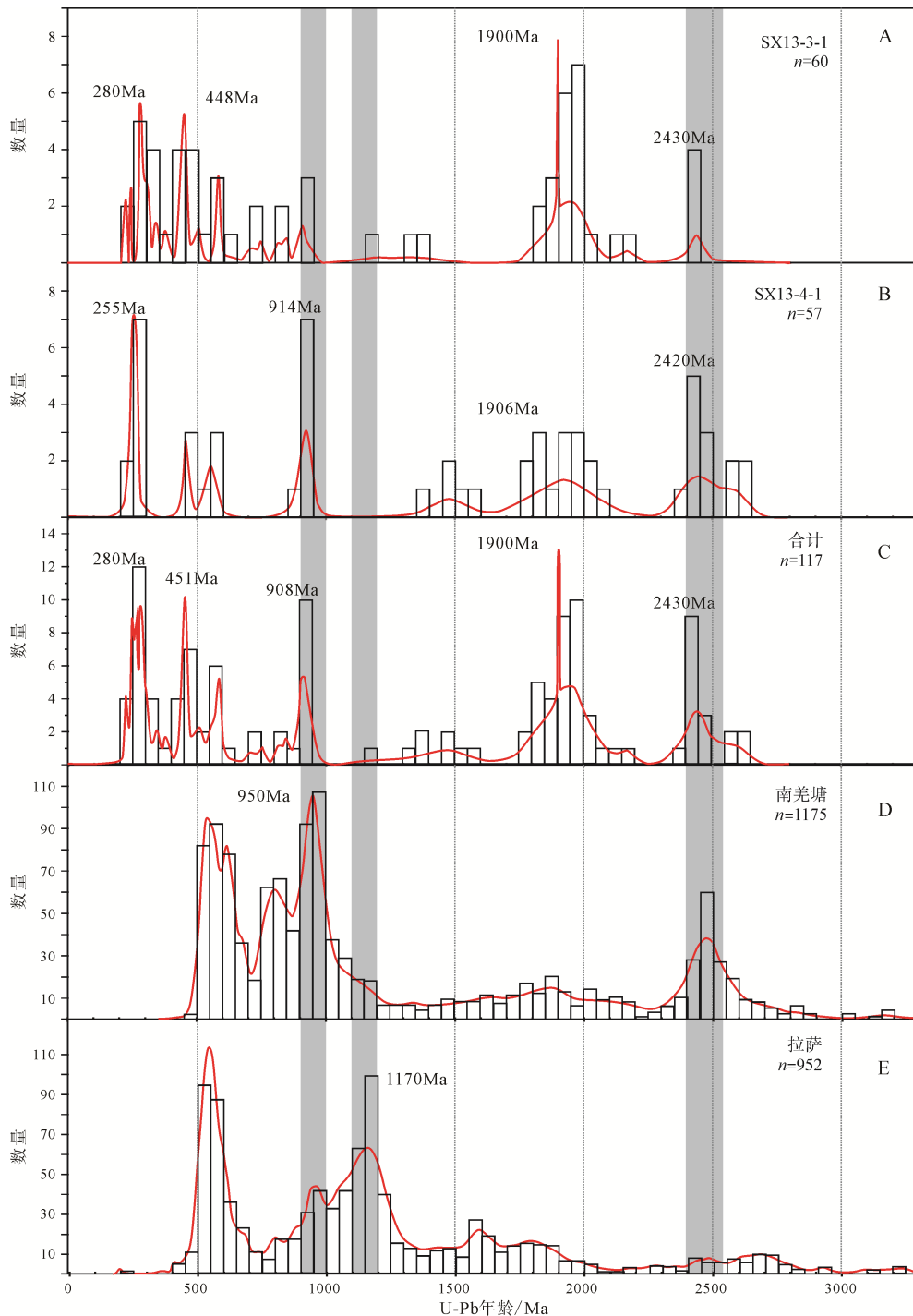


Fig. 3 青藏高原碎屑锆石 U-Pb 年龄频率图(图 D、E 据朱弟成等, 2012 改绘)

Fig. 3 Age distributions of detrital zircons from the Tibetan Plateau (Fig. D and E modified after ZHU et al., 2012)

451 Ma、908 Ma、1 900 Ma 和 2 430 Ma(图 3C), 其中以 908 Ma 为特征峰值的年龄群与南羌塘沉积岩的碎屑锆石年龄峰值一致(~950 Ma, 图 3C, D), 同时缺失在拉萨地块沉积岩中以~1 170 Ma 为特征值的碎屑锆石年龄峰值(图 3C, E)。由此可见, 商旭地区早—中侏罗世沉积物中同样含有来自于其北部南羌塘地块中的物质。班公湖—怒江缝合带内的班公湖地区、改则地区和商旭地区, 这三个地区中生代沉积物的碎屑锆石年龄峰值均含有南羌塘地块沉积岩的碎屑锆石年龄的特征峰值(~950 Ma), 共

同暗示了班公湖—怒江洋壳在中生代存在北向俯冲。

已有研究表明, 班公湖—怒江洋壳北向俯冲于羌塘地块之下可能开始于中—晚三叠世(~220 Ma)(Zhu et al., 2013; Zeng et al., 2016), 止于早白垩世晚期(~110 Ma)(Zhu et al., 2013)。拉萨—羌塘碰撞带在晚侏罗世—早白垩世的地壳变形、地壳缩短、角度不整合和非海相沉积, 以及北部拉萨地块约 114 Ma 非造山 A2 型花岗岩的出现(Chen et al., 2014), 均指示拉萨—羌塘碰撞可能发生在晚侏罗

世一早白垩世,最有可能发生在140~130 Ma(Zhu et al., 2016)。随着班公湖—怒江特提斯洋的闭合,羌塘地区迅速抬升而转化为陆,中央隆起带成为了主要的陆源碎屑源区。通常,根据碎屑锆石最年轻颗粒的年龄可以来确定地层的最大沉积年龄(Rainbird et al., 2001)。由于商旭地区砂岩碎屑锆石的年龄分布介于223~2 615 Ma之间,故而该区沉积物的最大沉积年龄约为223 Ma,分别早于早—中侏罗世改则地区(200 Ma, Zeng et al., 2016)和晚侏罗世—早白垩世班公湖地区沉积物的最大沉积年龄(106 Ma, 樊帅权等, 2011)。进而,因为商旭地区沉积物的这一最大沉积年龄(223 Ma),略早于班公湖—怒江洋壳北向俯冲于南羌塘地块之下的初始年龄(~220 Ma, Zhu et al., 2013; Zeng et al., 2016),所以表明该区当时正处于班公湖—怒江洋拉开规模最大的时候,其碎屑岩沉积大多为深海的复理石沉积,即该区沉积物很可能为班公湖—怒江洋残余洋盆的产物。

## 5 结论

(1)商旭地区早—中侏罗世沉积岩碎屑锆石年龄峰值分别为280 Ma、451 Ma、908 Ma、1 900 Ma和2 430 Ma,其中以908 Ma为特征峰值的年龄群,可比于南羌塘地块沉积岩的碎屑锆石年龄峰值(~950 Ma),明显不同于拉萨地块沉积岩的碎屑锆石年龄峰值(~1 170 Ma)。说明,商旭地区中生代沉积物中含有部分来自于其北部南羌塘地块中的物质,暗示了班公湖—怒江洋壳在中生代存在北向俯冲。

(2)商旭地区早—中侏罗世沉积岩碎屑锆石的年龄分布介于223~2 615 Ma之间,表明该区的最大沉积年龄为223 Ma,略早于班公湖—怒江洋壳北向俯冲于南羌塘地块之下的初始年龄(~220 Ma),表明该区沉积物很可能为班公湖—怒江洋残余洋盆的产物。

**致谢:** 本文野外工作得到中国地质调查局成都地质调查中心黄瀚霄高级工程师、梁维工程师和刘洪工程师等专家的大力协助,锆石U-Pb定年得到中国地质科学院矿产资源研究所侯可军老师的指导,在此表示衷心的感谢!感谢唐菊兴研究员对本文初稿提出的建设性修改意见,使得本文得以完善和提高!感谢审稿人对本文提出的宝贵修改建议!

## Acknowledgements:

This study was supported by National Key Research and Development Program (No. 2016YFC0600306), National Program on Key Basic Research Project (973 Program) (No. 2011CB403104), China Geological Survey (Nos. 12120113037901, DD20160026, and DD20179142), and National Key

Technology Research and Development Program (No. 2006BAB01A04).

## 参考文献:

- 樊帅权, 史仁灯, 丁林, 张国凯. 2011. 碎屑锆石对班公湖地区晚侏罗世—早白垩世沉积物源的制约[J]. 地质科学, 46(3): 847-864.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, (4): 481-492.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 青藏高原碰撞造山带成矿作用:构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 33(3): 340-351.
- 侯增谦, 王二七, 莫宣学, 丁林, 潘桂棠, 张忠杰. 2008. 青藏高原碰撞造山与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.
- 黄瀚霄, 李光明, 刘波, 张智林, 马东, 曲扎, 肖万峰, 刘洪. 2014. 藏北商旭造山型金矿床的发现及意义[J]. 矿床地质, 33(3): 486-496.
- 李光明, 张夏楠, 秦克章, 孙兴国, 赵俊兴, 印贤波, 李金祥, 袁华山. 2015. 羌塘南缘多龙矿集区荣那斑岩-高硫型浅成低温热液 Cu-(Au)套合成矿: 综合地质、热液蚀变及金属矿物组合证据[J]. 岩石学报, 31(8): 2307-2324.
- 刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 肖万峰, 张智林, 刘波, 马东方, 董磊, 马东. 2015. 因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用[J]. 中国地质, 42(4): 1126-1136.
- 刘洪, 李光明, 黄瀚霄, 张智林, 肖万峰, 焦彦杰, 梁生贤, 郭境, 兰双双. 2017. 班公湖—怒江成矿带商旭造山型金矿床Ⅲ号矿段深部找矿潜力研究[J]. 地质学报, 91(6): 1245-1258.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 朱弟成, 王立全, 李光明, 赵志丹, 耿全如, 廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3): 521-533.
- 裴英茹, 杨竹森, 赵晓燕, 张雄, 马旺, 徐玉涛, 毛敬涛. 2016. 藏北商旭金矿床 S、Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 地质学报, 90(2): 341-351.
- 裴英茹, 杨竹森, 赵晓燕, 张雄, 徐玉涛, 马旺, 毛敬涛, 庄亮亮. 2015. 藏北商旭金矿床成因研究: 流体包裹体及氢-氧同位素证据[J]. 地质学报, 89(10): 1814-1825.
- 曲晓明, 王瑞江, 代晶晶, 李佑国, 戚迅, 辛洪波, 宋扬, 杜德道. 2012. 西藏班公湖—怒江缝合带中段雄梅斑岩铜矿的发现及意义[J]. 矿床地质, 31(1): 1-12.
- 宋扬, 唐菊兴, 曲晓明, 王登红, 辛洪波, 杨超, 林彬, 范淑芳. 2014. 西藏班公湖—怒江成矿带研究进展及一些新认识[J]. 地球科学进展, 29(7): 795-809.
- 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 王勤, 王艺云, 杨超, 陈红旗, 李彦波, 李玉彬, 卫鲁杰, 张志, 宋俊龙, 杨欢欢, 段吉琳, 高珂, 方向, 谭江云. 2014. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床[J]. 地球学报, 35(1): 6-10.
- 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. 西藏杂尔穷—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.
- 王勇, 王立强, 旦真王修, 李壮, 李申. 2017. 西藏班公湖—怒江结合带南缘革吉地区晚侏罗世流纹斑岩的成因——锆石

- U-Pb 定年、地球化学和 Hf 同位素约束[J]. 地球学报, 38(5): 723-733.
- 肖万峰, 李光明, 黄瀚霄, 马东, 张智林, 曲扎. 2013. 藏北商旭金矿床控矿因素及其找矿标志[J]. 黄金, 34(10): 17-21.
- 肖万峰, 刘洪, 李光明, 黄瀚霄, 马东方, 张智林, 闫国强, 张红. 2017. 藏北双湖县商旭造山型金矿床的中低温低盐度 CO<sub>2</sub> 成矿流体: 流体包裹体、H-O 同位素的证据[J]. 地质论评, 63(3): 793-808.
- 赵元艺, 宋亮, 樊兴涛, 石登华, 张天平, 陈红旗, 屈文俊. 2009. 西藏申扎县舍索铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义[J]. 地质学报, 83(8): 1150-1158.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 王立全, 廖忠礼, 赵志丹, 董国臣, 周长勇. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世一早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束[J]. 岩石学报, 22(3): 534-546.
- 朱弟成, 赵志丹, 牛耀龄, 王青, DILEK Y, 董国臣, 莫宣学. 2012. 拉萨地体的起源和古生代构造演化[J]. 高校地质学报, 18(1): 1-15.
- References:**
- CHEN Y, ZHU D C, ZHAO Z D, MENG F Y, WANG Q, SANTOSH M, WANG L Q, DONG G C, MO X X. 2014. Slab breakoff triggered ca. 113 Ma magmatism around Xainza area of the Lhasa Terrane, Tibet[J]. Gondwana Research, 26(2): 449-463.
- COMPSTON W, WILLIAMS I S, KIRSCHVINK J L, ZHANG Zi-chao, GUOGAN M A. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale[J]. Journal of the Geological Society, 149(2):171-184.
- FAN Shuai-quan, SHI Ren-deng, DING Lin, ZHANG Guo-kai. 2011. Constraints of provenance from detrital zircon of Upper Jurassic-Lower Cretaceous Formation in Bangong Co area[J]. Chinese Journal of Geology, 46(3): 847-864(in Chinese with English abstract).
- HOU Ke-jun, LI Yan-he, TIAN You-rong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, (4):481-492(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, MO Xuan-xue, YANG Zhi-ming, WANG An-jian, PAN Gui-tang, QU Xiao-ming, NIE Feng-jun. 2006. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. Geology in China, 33(3): 340-351(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, WANG Er-qi, MO Xuan-xue, DING Lin, PAN Gui-tang, ZHANG Zhong-jie. 2008. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HUANG Han-xiao, LI Guang-ming, LIU Bo, ZHANG Zhi-lin, MA Dong, QU Zha, XIAO Wan-feng, LIU Hong. 2014. Discovery of Shangxu orogenic type gold deposit in northern Tibet and its significance[J]. Mineral Deposits, 33(3): 486-496(in Chinese with English abstract).
- KAPP P, MURPHY M A, YIN A, HARRISON T M, DING L, GUO J H. 2003. Mesozoic and Cenozoic Tectonic evolution of the Shiquanhe area of Western Tibet[J]. Tectonics, 22(4): 253-253.
- KAPP P, YIN A, HARRISON T M, DING L. 2005. Cretaceous-tertiary shortening, basin development, and volcanism in Central Tibet[J]. Geological Society of America Bulletin, 117(7): 865-878.
- LI Guang-ming, ZHANG Xia-nan, QIN Ke-zhang, SUN Xing-guo, ZHAO Jun-xing, YIN Xian-bo, LI Jin-xiang, YUAN Hua-shan. 2015. The telescoped porphyry-high sulfidation epithermal Cu(-Au) mineralization of Rongna deposit in Duolong ore cluster at the southern margin of Qiangtang Terrane, Central Tibet: Integrated evidence from geology, hydrothermal alteration and sulfide assemblages[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(8): 2307-2324(in Chinese with English abstract).
- LI J X, QIN K Z, LI G M, RICHARDS J P, ZHAO J X, CAO M J. 2014. Geochronology, geochemistry, and zircon Hf isotopic compositions of Mesozoic intermediate-felsic intrusions in central Tibet: Petrogenetic and tectonic implications[J]. Lithos, 198: 77-91.
- LIU Hong, HUANG Han-xiao, LI Guang-ming, XIAO Wan-feng, ZHANG Zhi-lin, LIU Bo, MA Dong-fang, DONG Lei, MA Dong. 2015. Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet[J]. Geology in China, 42(4): 1126-1136(in Chinese with English abstract).
- LIU Hong, LI Guang-ming, HUANG Han-xiao, ZHANG Zhi-lin, XIAO Wan-feng, JIAO Yan-jie, LIANG Sheng-xian, GUO Jing, LAN Shuang-shuang. 2017. Prospecting potential analysis of deep No. III ore section in the Shangxu orogenic gold deposit, Bangong Co-Nujiang metallogenic belt, Tibet[J]. Acta Geologica Sinica, 91(6): 1245-1258(in Chinese with English abstract).
- LIU Yong-sheng, GAO Shan, HU Zhao-chu, GAO Chang-gui, ZONG Ke-qing, WANG Dong-bing. 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 from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 51(1-2): 537-571.
- PAN G T, WANG L Q, LI R S, YUAN S H, JI W H, YIN F G, ZHANG W P, WANG B D. 2012. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet plateau[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 53: 3-14.
- PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, HOU Zeng-qian, ZHU Di-cheng, WANG Li-quan, LI Guang-ming, ZHAO Zhi-dan, GENG Quan-ru, LIAO Zhong-li. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 521-533(in Chinese with English abstract).
- PEI Ying-ru, YANG Zhu-sen, ZHAO Xiao-yan, ZHANG Xiong, MA Wang, XU Yu-tao, MAO Jing-tao. 2016. Sulfur and lead isotope compositions of the Shangxu orogenic gold deposit in

- northern Tibet: implication for the source of ore-forming material[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(2): 341-351(in Chinese with English abstract).
- PEI Ying-ru, YANG Zhu-sen, ZHAO Xiao-yan, ZHANG Xiong, XU Yu-tao, MA Wang, MAO Jing-tao, ZHUANG Liang-liang. 2015. Genesis of the Shangxu orogenic gold deposit in northern Tibet: constraints from fluid inclusions and isotopic compositions[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(10): 1814-1825(in Chinese with English abstract).
- QU Xiao-ming, WANG Rui-jiang, DAI Jing-jing, LI You-guo, QI-xun, XIN Hong-bo, SONG Yang, DU De-dao. 2012. Discovery of Xiongmei porphyry copper deposit in middle segment of Bangonghu-Nujiang suture zone and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 31(1): 1-12(in Chinese with English abstract).
- RAINBIRD R H, HAMILTON M A, YOUNG G M. 2001. Detrital zircon geochronology and provenance of the Torridonian, NW Scotland [J]. *Journal of the Geological Society*, 158(1): 15-27.
- SONG Yang, TANG Ju-xing, QU Xiao-ming, WANG Deng-hong, XIN Hong-bo, YANG Chao, LIN Bin, FAN Shu-fang. 2014. Progress in the study of mineralization in the Bangongco-Nujiang metallogenic belt and some new recognition[J]. *Advances in Earth Science*, 29(7): 795-809(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, SUN Xing-guo, DING Shuai, WANG Qin, WANG Yi-yun, YANG Chao, CHEN Hong-qi, LI Yan-bo, LI Yu-bin, WEI Lu-jie, ZHANG Zhi, SONG Jun-long, YANG Huan-huan, DUAN Ji-lin, GAO Ke, FANG Xiang, TAN Jiang-yun. 2014. Discovery of the epithermal deposit of Cu(Au-Ag) in the Duolong ore concentrating area, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(1): 6-10(in Chinese with English abstract).
- TANG Ju-xing, ZHANG Zhi, LI Zhi-jun, SUN Yan, YAO Xiao-feng, HU Zheng-hua, WANG Hong-xing, SONG Jun-long, HE Lin. 2013. The metallogenesis, deposit model and prospecting direction of the Ga'erqiong-Galale copper-gold ore field, Tibet[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(4): 85-394(in Chinese with English abstract).
- VEEVERS J J, SAEED A, BELOUSOVA E A, GRIFFIN W L. 2005. U-Pb ages and source composition by Hf-isotope and trace-element analysis of detrital zircons in Permian sandstone and modern sand from southwestern Australia and a review of the paleogeographical and denudational history of the Yilgarn Craton[J]. *Earth-Science Reviews*, 68: 245-279.
- WANG Yong, WANG Li-qiang, DANZHEN Wang-xiu, LI Zhuang, LI Shen. 2017. The Discovery of Late Jurassic Rhyolite Porphyry in Geji Area, Southern Bangong Co-Nujiang Suture Zone, Tibet: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopes[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(5): 723-733(in Chinese with English abstract).
- XIAO Wan-feng, LI Guang-ming, HUANG Han-xiao, MA Dong, ZHANG Zhi-lin, QU Zha. 2013. Prospecting indicator and ore-controlling factors of Shangxu gold deposit in north Tibet[J]. *Gold*, 34(10): 17-21(in Chinese with English abstract).
- XIAO Wan-feng, LIU Hong, LI Guang-ming, HUANG Han-xiao, MA Dong-fang, ZHANG Zhi-lin, YAN Guo-qiang, ZHANG Hong. 2017. Low to moderate temperature, low salinity and enrichment of CO<sub>2</sub> hydrothermal fluid at Shangxu orogenic gold deposit in Shangxu, Northern Xizang (Tibet): evidence from fluid inclusions, H-O isotopic composition[J]. *Geological Review*, 63(3): 793-808(in Chinese with English abstract).
- YIN A, HARRISON T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogrn[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211-280.
- ZENG M, ZHANG X, CAO H, ETTENSOHN F R, CHENG W B, LANG X H. 2016. Late Triassic initial subduction of the Bangong-Nujiang Ocean beneath Qiangtang revealed: stratigraphic and geochronological evidence from Gaize, Tibet[J]. *Basin Research*, 28(1): 147-157.
- ZHANG K J, ZHANG Y X, TANG X C, XIA B. 2012. Late Mesozoic tectonic evolution and growth of the Tibetan Plateau prior to the Indo-Asian Collision[J]. *Earth-Science Reviews*, 114: 236-249.
- ZHAO Yuan-yi, SONG Liang, FAN Xing-tao, SHI Deng-hua, ZHANG Tian-ping, CHEN Hong-qi, QU Wen-jun. 2009. Re-Os dating of molybdenite from the Shesuo copper polymetallic ore in Shenzha County, Tibet and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(8): 1150-1158(in Chinese with English abstract).
- ZHU D C, LI S M, CAWOOD P A, WANG Q, ZHAO Z D, LIU S A, WANG L Q. 2016. Assembly of the Lhasa and Qiangtang terranes in central Tibet by divergent double subduction[J]. *Lithos*, 245(15): 7-17.
- ZHU D C, ZHAO Z D, NIU Y L, DILEK Y, HOU Z Q, MO X X. 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 23: 1429-1454.
- ZHU D C, ZHAO Z D, NIU Y L, DILEK Y, MO X X. 2011. Lhasa terrane in southern Tibet came from Australia[J]. *Geology*, 39(8): 727-730.
- ZHU Di-cheng, PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, WANG Li-quan, LIAO Zhong-li, ZHAO Zhi-dan, DONG Guo-chen, ZHOU Chang-yong. 2006. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534-546(in Chinese with English abstract).
- ZHU Di-cheng, ZHAO Zhi-dan, NIU Yao-ling, WANG Qing, DILEK Y, DONG Guo-chen, MO Xuan-xue. 2012. Origin and Paleozoic Tectonic Evolution of the Lhasa Terrane[J]. *Geological Journal of China Universities*, 18(1): 1-15(in Chinese with English abstract).