

doi: 10.12029/gc20190308

和源, 陈庆, 朱利东, 黄荣才, 杨文光, 陶刚, 李超, 柳树权. 2019. 西藏许如错地区古近纪盆地碎屑锆石 U-Pb 年代学与充填记录分析[J]. 中国地质, 46(3): 557-574.

He Yuan, Chen Qing, Zhu Lidong, Huang Rongcai, Yang Wenguang, Tao Gang, Li Chao, Liu Shuquan. 2019. Paleogene basin Zircon U-Pb Geochronology and basin record of Xurucuo Area in Tibet[J]. Geology in China, 46(3): 557-574(in Chinese with English abstract).

西藏许如错地区古近纪盆地碎屑锆石 U-Pb 年代学 充填记录分析

和源^{1,2}, 陈庆², 朱利东², 黄荣才³, 杨文光², 陶刚², 李超², 柳树权⁴

(1. 西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川 成都 610041; 2. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 3. 中国武装警察部队黄金第十一支队, 西藏 拉萨 850000; 4. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 西藏许如错地区在国内鲜有学者研究, 仅在少有的区域地质报告中出现。研究区内发育一套古近系碎屑岩沉积——日贡拉组, 该地层在研究区局部具有一套火山岩夹层。文章通过对许如错地区古近系日贡拉组碎屑锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 测年分析, 结合周边盆地年龄结构及研究区沉积现象, 进而追寻盆地沉积物物源和盆地充填记录。研究表明, 日贡拉组为一套由粗变细最终又变粗的碎屑岩沉积夹少量火山岩, 根据沉积原生构造和宏观剖面判断其主要是扇三角洲-浅湖相-扇三角洲的沉积环境; 岩浆成因的碎屑锆石年龄峰值集中在 127~134 Ma 年龄段内, 结合周缘年龄推断日贡拉组物源来自北-北西中部拉萨地块的早白垩世花岗岩。通过对研究区日贡拉组岩石组合、岩石地层序列、物源分析、沉积演化过程以及年代证据等方面的研究, 发现日贡拉组的发育处于青藏高原俯冲碰撞隆升阶段和汇聚挤压隆升阶段。

关键词: 锆石 U-Pb 年代学; 许如错地区; 青藏高原

中图分类号: P588.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2019)03-0557-18

Paleogene basin Zircon U-Pb Geochronology and basin record of Xurucuo Area in Tibet

HE Yuan^{1,2}, CHEN Qing², ZHU Lidong², HUANG Rongcai³, YANG Wenguang²,
TAO Gang², LI Chao², LIU Shuquan⁴

(1. Exploration Division, PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, 610041 Sichuan, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 Sichuan, China; 3. China armed police forces gold eleventh detachment, Tibet, 850000; 4. Institute of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 Sichuan, China)

Abstract: Aimed at exploration of provenance and basin filling records, the authors selected detrital zircons from Rigongla Formation of the Paleogene in the middle part of central Lhasa and conducted LA-ICP-MS detrital zircon U-Pb isotope

收稿日期: 2017-04-19; 改回日期: 2017-08-11

基金项目: 中国地质调查局项目“西藏昂仁县北西 H45E008011、H45E009011、H45E010010、H45E010011 幅 1:5 万区域地质矿产调查”(DD2016008004)。

作者简介: 陈庆, 女, 1993 年生, 硕士生, 沉积学专业, 主要从事沉积学与地层学的研究工作; E-mail: 372702934@qq.com。

analysis. The result reveals that Rigongla Formation is a kind of classic rocks which evolved from coarse to thin to coarse, with minor interbedded volcanic rocks. Judging from the sedimentary primary structure and the macroscopic section, its sedimentary environment was fan delta and shallow lake facies and fan delta. The peak age of magmatic origin of detrital zircon is concentrated in the 127–134 Ma age section. Combined with perimeter age, it is held that the provenance was from the early Cretaceous granite of NNW-trending central Lhasa block, and it was in the stage of subduction and collision uplift of the Tibetan Plateau and the stage of convergence and uplift.

Key words: zircon U–Pb geochronology; Xurucuo area; Tibetan Plateau

About the first author: CHEN Qing, female, born in 1993, master candidate, majors in sedimentology, engages in research on sedimentology and stratigraphy; E-mail: 372702934@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program(No. DD2016008004).

1 引 言

研究区属青藏高原大比例尺区域地质调查空白区,地质调查研究程度低。1949年之前有少数外国地质工作者在邻区做过一些地质路线调查,资料零星。1949年之后青海石油普查大队,中国科学院青藏高原综合考察队等单位,在研究区东部及邻区进行了石油地质普查及多学科综合地质调查,编有专著及地质报告(李英烈等,2018)。关于古近系日贡拉组的研究,国内外仅2004年王力圆于研究区东北侧提出了该套地层的沉积序列、沉积物来源及日贡拉组的找矿意义。构造位置上,研究区位于冈底斯岩浆带内。冈底斯岩浆岩带是在青藏高原白垩纪以来岩浆活动期次最多、规模最大、岩浆岩类型最复杂的构造-岩浆岩带,也是青藏高原最重要的岛弧岩浆岩带(李廷栋,2002)。本次工作中发现,研究区及周缘地区主要对于林子宗火山岩关于印度-亚洲板块碰撞时间的意义乃至青藏高原早期隆升的响应进行了研究(孙转荣等,2017),并未过多从地层方面,探讨冈底斯弧背盆地的活动性以及旋回性,以及对碰撞时间和与青藏高原隆升响应问题的研究。本文不仅利用盆地分析手段研究其对青藏高原早期隆升的响应,更是将研究重点放在日贡拉组(E_3r)上,日贡拉组(E_3r)与林子宗火山岩呈平行不整合接触,且该套地层局部出现一套火山岩夹层。所以,利用地层学阐述日贡拉组(E_3r)的沉积过程,以及利用锆石年代学对日贡拉组(E_3r)砂岩的物源情况进行探讨,能够为冈底斯中部提供更丰富的基础性地质资料,也为青藏高原早期隆升的问题提供新的证据。

2 地质背景

潘桂堂等(2004)根据盆地类型和构造类型将冈底斯带及邻区划分为8个不同的构造单元和18个次级单元。研究区位于冈底斯带中,跨越了3个次级构造单元,分别为北部的措勤-多瓦复合弧后前陆盆地,中部的隆格尔-念青唐古拉复合火山岩浆弧,以及南侧的南冈底斯岩浆弧。当穹错-许如错新近纪-第四纪地堑也出现在研究区内。

研究区内主要分布白垩系竞柱山组(K_j),二叠系拉嘎组(P_1l)、昂杰组(P_1a)、下拉组(P_2x),古近系年波组(E_2n)、帕那组(E_2p)、日贡拉组(E_3r)及第四系(Q)(图1)。

拉嘎组(P_1l)为一套含杂砾的碎屑岩组合,主体部分呈北西-南东向带状分布,仅在班戈-八宿地层分区中出露。可分两段:

二段深灰色砂岩与黑色含碳泥岩、泥岩互层。剖面未见底,与上覆早二叠世昂杰组连续过渡,厚度 >472.99 m。

一段深灰色、黑色复成分砾岩、含砾砂岩、砂岩,夹黑色炭质泥岩或互层,含滑塌块体和冰川漂砾,冰川漂砾中产腕足类、苔藓虫及海绵化石碎片。

昂杰组(P_1a)为一套浅海陆棚相碎屑岩为主的地层。岩性主要为一套浅灰色厚层状复成分砾岩、砂砾岩、长石石英砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑石英杂砂岩与灰黑色厚层状粉砂岩、泥岩和含生屑碎屑灰岩等组成反复出现的旋回层系。岩石中含冰碛砾,灰岩和粉砂岩中产丰富的腕足类、海百合茎和苔藓虫等化石。

下拉组(P_2x)主要为一套碳酸盐岩。可分为两段:

二段为浅灰色厚层状含灰粉晶白云岩,间夹少量浅灰色中、厚层状生物碎屑灰岩和硅质岩。沉积区海域地形较封闭的台内潟湖相的沉积环境。

一段为含生物碎屑微晶灰岩、生物碎屑(微晶)灰岩夹瘤状(内碎屑)灰岩,富含筴类、珊瑚、腕足类、苔藓虫和海百合茎等海相化石。认为沉积区海盆水浅、高能开阔台地相环境。

竞柱山组(K_j):竞柱山组是一套火山-沉积建造为特征的岩石地层单元。可分为三段:

三段为浅灰、浅灰紫色英安岩和流纹质含角砾

岩屑玻屑弱熔结凝灰岩等。

二段为浅灰、浅紫红色含凝灰复成分砾岩、含砾长石岩屑砂岩、岩屑砂岩、含钙岩屑砂岩及(钙质)泥质粉砂岩、薄层状微一泥晶灰岩和白云岩等,局部夹炭质泥岩。

一段为一套深灰、灰绿色火山岩建造,岩性为深灰色流纹质玻屑熔结凝灰岩、流纹质含角砾晶屑熔结凝灰岩和流纹质熔结凝灰岩。

年波组(E_{2n}):是古近纪火山活动鼎盛期的产物,分布范围广。年波组为一套酸性-中酸性火山

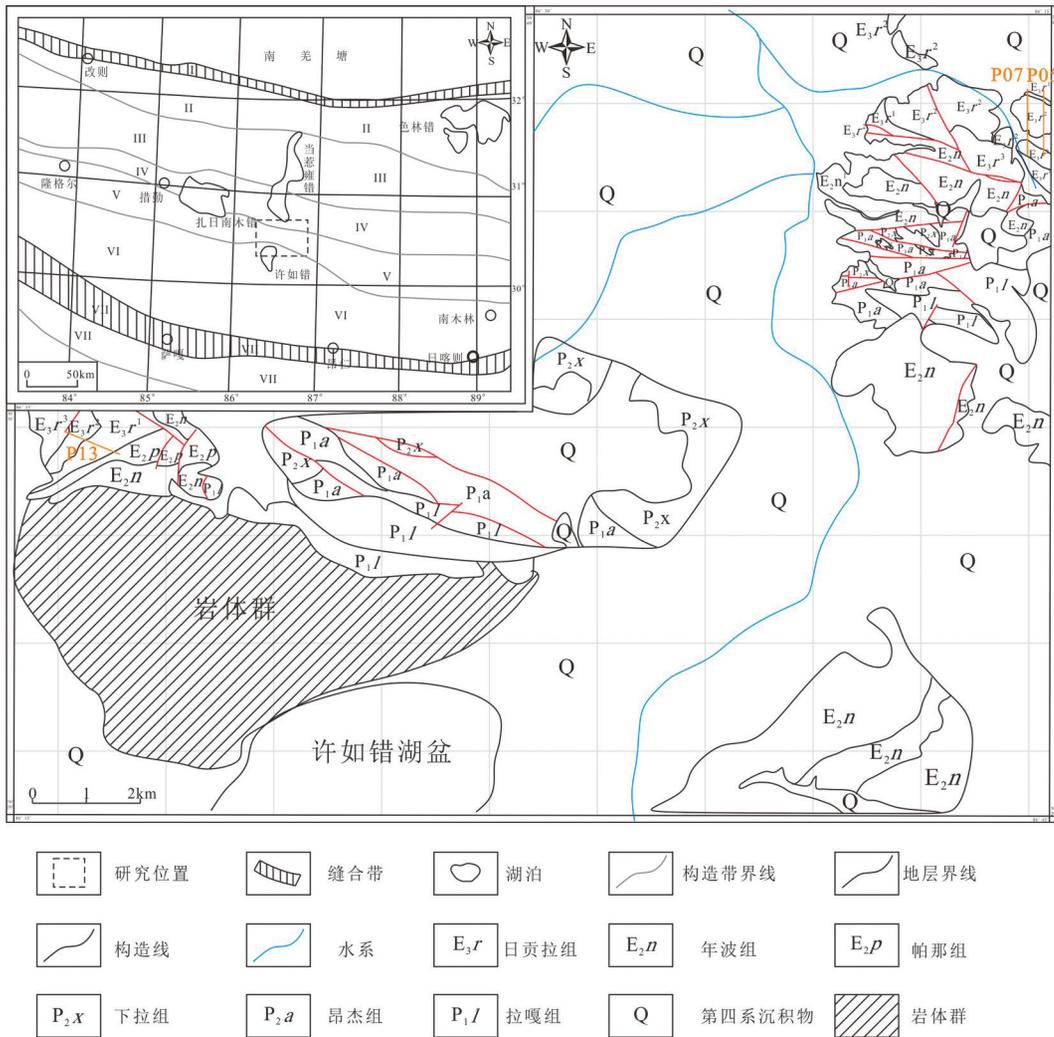


图1 研究区构造位置图

I—班公湖—怒江缝合带;II—波仓藏布—色林错弧前陆棚带;III—则弄火山岩浆弧;IV—措勤—多瓦复合弧后前陆盆地;V—隆格尔—念青唐古拉复合火山岩浆弧;VI—南冈底斯岩浆弧;VII—雅鲁藏布缝合带;VIII—喜马拉雅造山带

Fig.1 Structure location map of the study area

I—Bangong Co—Nujiang suture zone;II—Bocangzangbu—Celin Co front arc shelf belt;III—Zenong magmatic arc;IV—Cuoqin—Duowa composite retroarc foreland basin;V—Longgeer—Nyainqentanglha composite magmatic arc;VI—South Gangdise magmatic arc;VII—Yarlung Zangbo suture zone;VIII—Himalaya orogenic belt

碎屑岩,夹熔岩,少量沉积碎屑岩组合。岩性主要有凝灰岩、流纹岩、英安岩等。年波组与上覆始新世帕那组呈喷发沉积不整合接触。

帕那组(E_p):帕那组零星分布在各火山盆地中心。本组下与始新世年波组呈喷发沉积不整合接触,上与古近系日贡拉组(E_r)呈角度不整合接触,帕那组为一套酸性—中性火山碎屑岩夹熔岩,可分为两段:

二段为沉积碎屑岩组合,其岩性为浅黄色、紫红色流纹质(英安质)含角砾晶(玻)熔结凝灰岩、流纹质(安山质)强熔结角砾岩、流纹质(英安质)晶(玻)屑凝灰岩。

一段为流纹岩、英安岩底部为灰褐色土黄色复成分砾岩,含砾凝灰质岩屑砂岩,沉凝灰岩。

日贡拉组(E_r):岩性以陆源碎屑岩和火山碎屑岩为主,夹少量生物碎屑灰岩、泥灰岩、白云岩和含凝灰质硅质岩。下与始新世帕那组(E_p)为平行不整合接触。

第四系(Q):测区第四纪地层较发育,自晚更新世至全新世均有出露。

3 地层和岩石学特征

3.1 岩石地层特征与沉积环境分析

许如错地区新近系盆地日贡拉组地层主要为一套红色—紫红色河湖相碎屑岩沉积(图2),盆地内地层沉积连续,但由于盆地沉积的不对称性及所处沉积环境的不同,日贡拉组各段在盆地内的出露也不相同,反映了陆相地层多变的特点。本次研究通过参照区域岩石组合变化,结合旋回地层对比的方法及构造恢复建立了日贡拉组的地层序列。

本次工作对巴昌乡和孔隆乡3条实测剖面做了调查和对比研究,并对比分析了研究区日贡拉组地层特征(图2)。研究区的日贡拉组在垂向上表现出由粗变细又变粗的沉积序列(图3),在测区西侧的P13剖面中出现火山岩夹层(图3b),主要岩性为流纹岩及流纹质凝灰岩。

在研究区北东侧巴昌乡一带,日贡拉组主要为一套红色碎屑岩(图3c)。下部主要以砾岩、含砾砂岩为主,中部逐渐向砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩过渡,上部又逐渐变粗,上部主体岩性和下部相同。位于西侧孔隆乡的P13实测地层剖面中,沉积序列

与东侧两条剖面(P05、P07)基本一致,只是由于岩浆活动,在日贡拉组下部出现一套灰紫色—灰白色的流纹岩、流纹质凝灰岩。

研究区日贡拉组基本层序类型和组合特征见图4,A型基本层序为紫红色粉砂质泥岩、粉砂岩和砂岩构成的小韵律,偶有泥岩夹层(图4a);B型基本层序表现为砂岩、粉砂岩和泥岩为背景夹有砂质灰岩或泥灰岩的特征(图4b);C型基本层序为粉砂质泥岩与砂岩互层的岩石组合(图4c);D型层序主要表现为砾岩与砂岩互层的特征(图4d)。其中A、B、C型对应日贡拉组地层的中部,D型层序对应日贡拉组的顶部和底部。

整套日贡拉组地层,在本次研究中未发现古生物。通过地球化学数据看,日贡拉组地层富含钙和铁,并且在测制剖面过程中见石膏夹层,反映了沉积时的古气候属于炎热干燥的内陆环境。沉积特征反映出扇三角洲—河流—湖泊的沉积环境(图5)。

日贡拉组一段不整合于帕那组(E_p)火山岩之上,主体为一套暗紫色—紫红色厚层的砾岩。砾石磨圆一般一较好,分选差,主要为漂砾,砾径多为2 cm左右,剖面中部件巨砾岩,砾石较大,砾径为40~50 cm。在垂向上多与含砾砂岩、粗砂岩互层,砂岩中可见大量原生沉积构造,以平行层理及斜层理较多出现,表现出一段的沉积环境是以扇三角洲—河流为主。

底部砾岩中泥质较重,风化呈土丘和小尖峰,推测为泥石流远端。向上可见杂砂砾岩与含砾泥岩,沉积环境上表现为从泥石流向辫状河过渡,之后又出现泥岩与粗砂岩的互层或是旋回,推测砂岩为水下河道堆积。顶部可见低角度的斜层理和平行层理等沉积构造发育,宏观上顶部露头由多个河道砂体叠置构成。

底部砾岩多为颗粒支撑,向上逐渐过渡为基底式—孔隙式支撑,另外在中上部多见水道的多期叠加,其环境可能为扇三角洲内的河道沉积(Miall, 1985; Miall, 1996)。3条剖面均体现出由底到顶部砾石厚度减薄。据其岩相组合及沉积构造特征,判断应为扇三角洲—河流沉积(Leeder et al., 1988)。

日贡拉组二段主要为一套紫红色—红色薄层泥岩、粉砂质泥岩,偶夹极薄层页岩。本次研究未发现古生物化石,但张克信(2010)在日贡拉组细碎

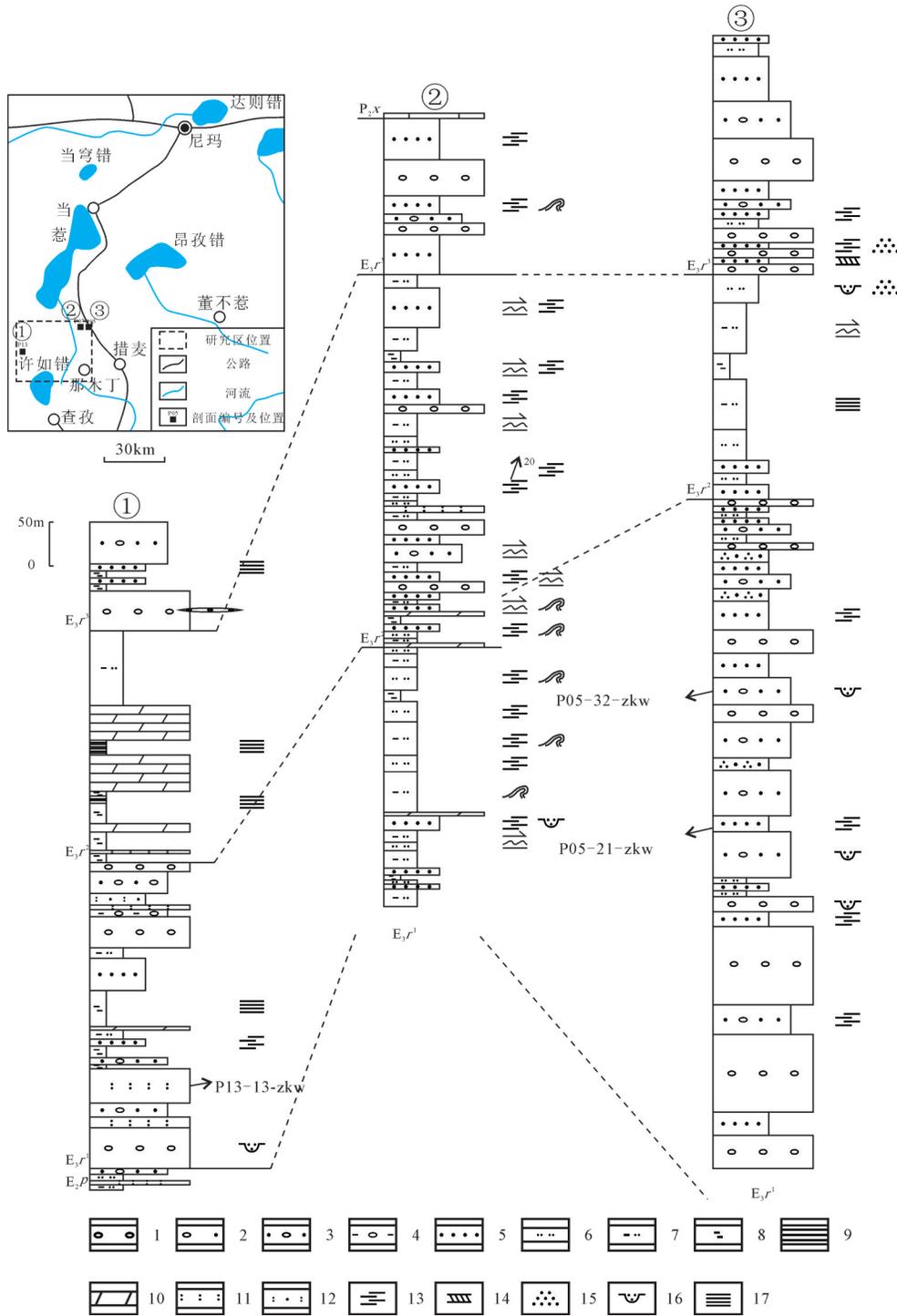


图2 日贡拉组地层柱状对比图

1—砾岩;2—砂砾岩;3—含砾砂岩;4—含砾泥岩;5—砂岩;6—粉砂岩;7—泥质粉砂岩;8—泥岩;9—页岩;10—泥灰岩;11—凝灰岩;
 12—砂质凝灰岩;13—平行层理;14—斜层理;15—递变层理;16—冲刷面;17—水平层理

Fig.2 Stratigraphic section correlation of Rigongla Formation

1—Conglomerate;2—Gravel rock;3—Conglomerate sandstone;4—Gravelly mudstone;5—Sandstone;6—Siltstone;7—Pelitic siltstone;8—Mudstone;
 9—Shale;10—Marl;11—Tuff;12—Sand tuff;13—Parallel bedding;14—Oblique bedding;15—Graded bedding;
 16—Scour surface;17—Horizontal bedding

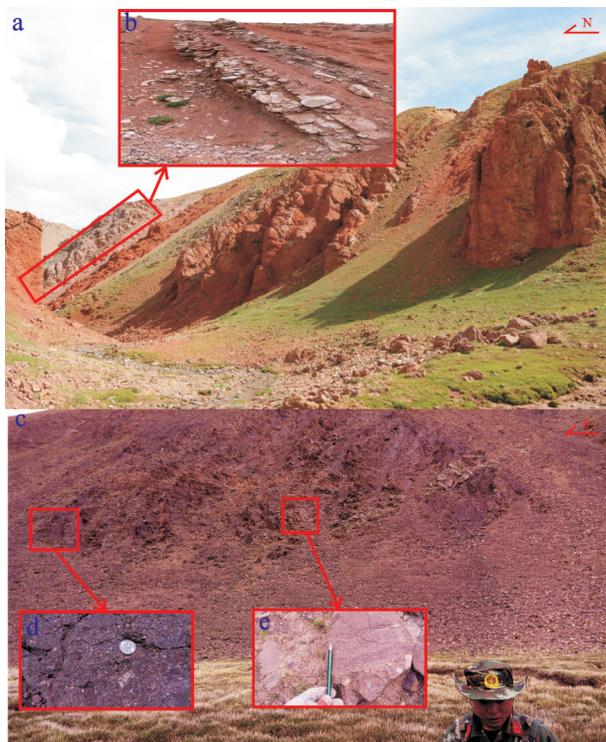


图3 研究区剖面宏观照片(a,c)及局部特征照片(b,d,e)
Fig.3 Macro photo(a,c) and the local characteristics photo of
Rigongla Formation (b, d, e)

屑岩中发现腹足类化石 *Bithynia* sp., 时代属古近纪(李云通等, 1984)。该岩性段发育水平层理, 为浅湖相至深湖相, 反映其为继承性断陷盆地。二段中部可见局部发育石膏脉。泥岩与粉砂质泥岩的互层及石膏层的出现, 表明水动力条件较为复杂, 湖水对于沉积物的改造以及冲刷比较强烈, 使沉积物周期性的露出水面, 同时石膏的存在也代表了一种炎热干燥的蒸发环境, 整体说明该岩性的沉积环境

为河湖盆地内的浅湖相蒸发沉积环境。

该岩性段岩性与日贡拉组一段较为相似, 为一套红色粗碎屑岩系, 砾石成分较为复杂, 分选及磨圆较差, 呈杂基支撑或颗粒支撑, 块状构造, 反映其为近源、快速堆积的扇三角洲相泥石流沉积体。

3.2 岩石学特征

研究区日贡拉组主要为一套陆源碎屑沉积, 以红色调为基本特征。区内主要岩石类型: 紫红色砾岩、含砾粗砂岩、岩屑砂岩、长石岩屑石英砂岩夹紫红色—暗绿色粉砂质泥岩、泥岩和页岩, 部分地区能够见到火山岩夹层, 主要岩性为流纹岩, 局部出现基性岩(云斜煌岩)。

岩屑石英砂岩, 岩石多成紫红色、浅红色(图6e、f), 其中石英含量约为65%, 长石含量约5%, 岩屑含量约30%。一般为中—细粒砂状结构, 局部见石英有重结晶, 具波状消光; 长石以斜长石和正长石居多; 岩屑多为沉积岩岩屑, 少量流纹岩和安山岩岩屑, 呈次棱角状和次圆状; 填隙物多为粉砂石英、微粒石英、绢云母, 呈颗粒支撑, 孔隙式胶结。

流纹岩(图6a、b), 多成褐黄色, 斑晶多为石英、钾长石和黑云母, 石英有熔蚀现象, 呈港湾状; 钾长石边部也有熔蚀现象, 斜长石多为更长石, 呈半自形板状, 有方解石蚀变; 黑云母多有暗化晶现象, 斑晶大小一般小于5 mm。基质为显晶质状的长英质, 具有霏细结构。

云斜煌岩, 斑晶为黑云母, 多数受白云石化影响, 呈颜色较浅的绢云母状, 部分具环带结构, 呈定向的线斑状, 粒径在0.5~2 mm。基质为细—微晶状的斜长石、黑云母, 少量石英, 其中斜长石有严重的白云石、粘土蚀变, 少量见板条状晶型, 及残余分

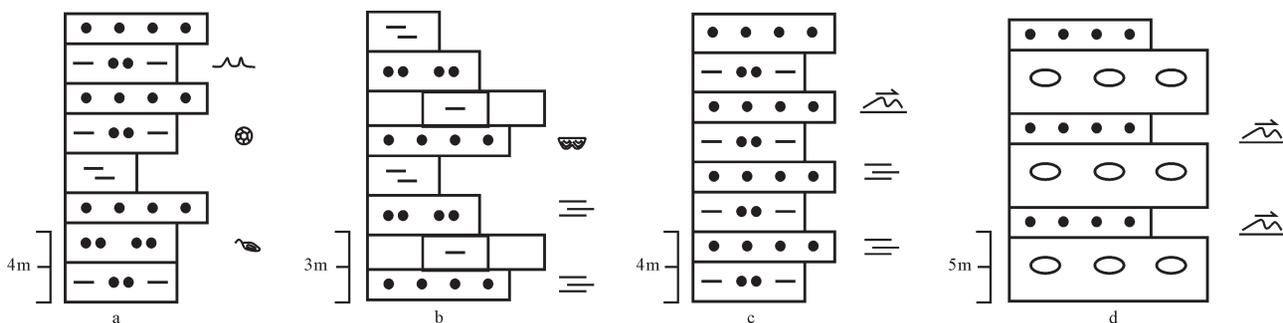


图4 研究区日贡拉组基本层序特征
Fig.4 Basic sequence characteristics of Rigongla Formation in the study area

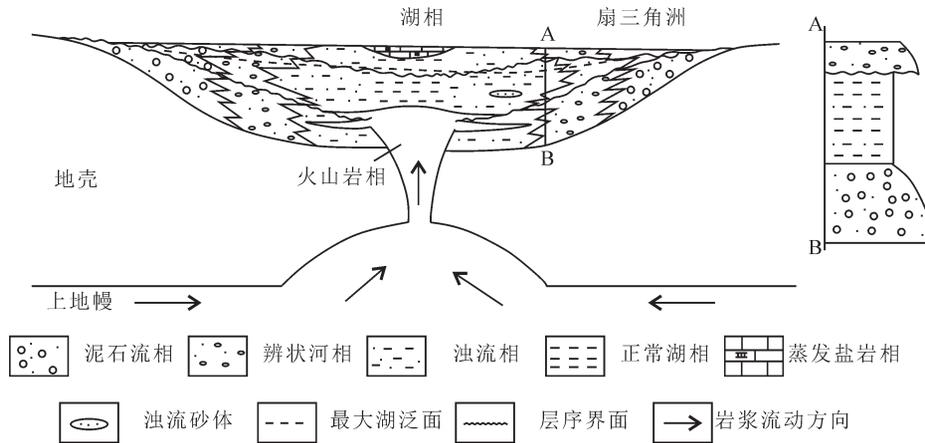


图5 许如错盆地沉积相分析图

Fig.5 Basin sedimentary facies analysis chart

布,具残余粒状结构。金属矿物呈他形粒状,点状分布(图6c、d)。

4 日贡拉组碎屑锆石年代学分析

本次研究挑选了3件样品进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素定年分析,其中2件为长石岩屑砂岩(P05-21-ZKW和P05-32-ZKW),坐标为:30°36'52.51"N,86°44'46.98"E;30°36'27.56"N,86°44'42.97"E。1件为凝灰岩(P13-13-ZKW),坐标为:30°25'14.69"N,86°16'33.99"E。样品均来自日贡拉组,且均较为新鲜,无蚀变。

4.1 锆石的选取、制靶及分析方法

用于锆石定年的3件样品重量约2 kg,锆石均经人工挑选,随后在双目镜下挑纯。锆石的分选工作在四川省地矿局区域地质调查队测试中心完成。

锆石挑选后需要进行制靶工作,首先要在双目镜下挑选时,挑选时要在贴有白纸的玻璃上用针将锆石和其他杂质分离,然后再将双面胶贴在玻璃上,将锆石黏贴在玻璃上,最后再用环氧树脂将锆石固定成0.7 cm的圆柱体。随后,完成的靶子利用砂纸和磨料将锆石磨掉一半再抛光,以便下一步对其的处理;锆石的阴极发光图像在场发射环境扫描电子显微镜JSM 6510上完成,激光剥蚀系统为ESI NWR 193 nm, ICP-MS为Analytikjena Plasma Quant MS Elite ICP-MS。锆石样品的U-Pb年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用Isoplot完成。锆石的制靶、阴极发光和LA-ICP-MS全部在北京科荟测试技术有限公司实验室完成。

本次锆石定年样品的预处理和测试都按照标准严格进行。许如错地区日贡拉组碎屑岩(P05-21-ZKW和P05-32-ZKW)和火山岩(P13-13-ZKW)LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析结果见表1。

4.2 锆石形态特征

在双目镜下观察到锆石的颜色主要为灰白色和灰色,3件样品中,有少部分锆石颗粒受到机械作用,形态上较为破碎,这些锆石颗粒可能来自于较远的物源区。其中,保存较为完整的锆石多为自形-半自形,个别锆石能够看到四方双锥、复四方双锥的晶体形态。锆石颗粒形态总体上呈现出长柱状、短柱状以及粒状(图7)。

从2件碎屑锆石样品的对比中可以看出,锆石颗粒的粒径变化较小,大小分布较为均匀,完整的锆石颗粒长轴在100~150 μm、短轴在50~80 μm之间变化,长宽比在2:1左右。阴极发光(CL)图像显示它们均有典型的震荡环带,为岩浆成因锆石所具有的特征。样品中Th、U含量均较高,两者比值均大于0.4。结合锆石的形态和Th/U比值判断样品中的所有锆石类型均为岩浆锆石。

4.3 锆石年龄分布特征

本次测试碎屑锆石共92个样点,火山岩岩浆锆石共21个,所获得的最年轻碎屑锆石年龄和最古老的碎屑锆石年龄为127 Ma和2599 Ma,主要峰值集中在127~134 Ma年龄段内。火山岩中的岩浆锆石年龄协和年龄为52 Ma。PM05-21-ZKW获得的锆石年龄变化在(130.6±0.82)Ma~(2529±13)Ma(共44

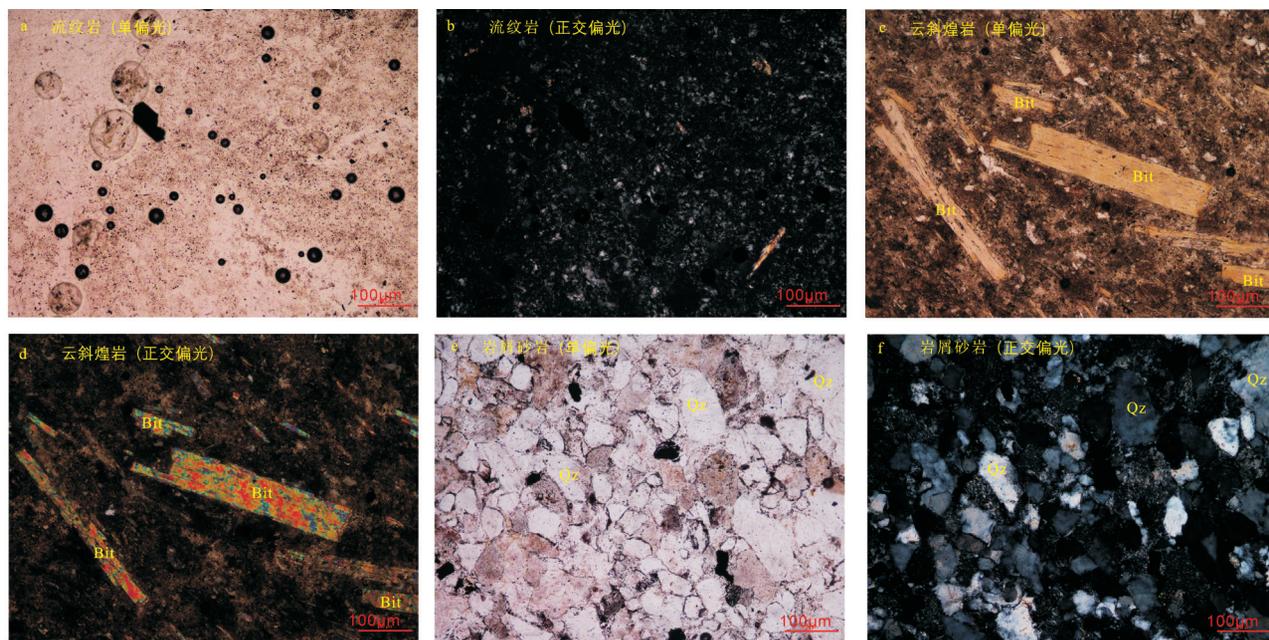


图6 流纹岩、云斜煌岩和岩屑石英砂岩镜下照片

Qz—石英;Bit—云母

Fig.6 The microscopic photograph of rhyolite, kersantite, lithic quartz sandstone

Qz—Quartz; Bit—Mica

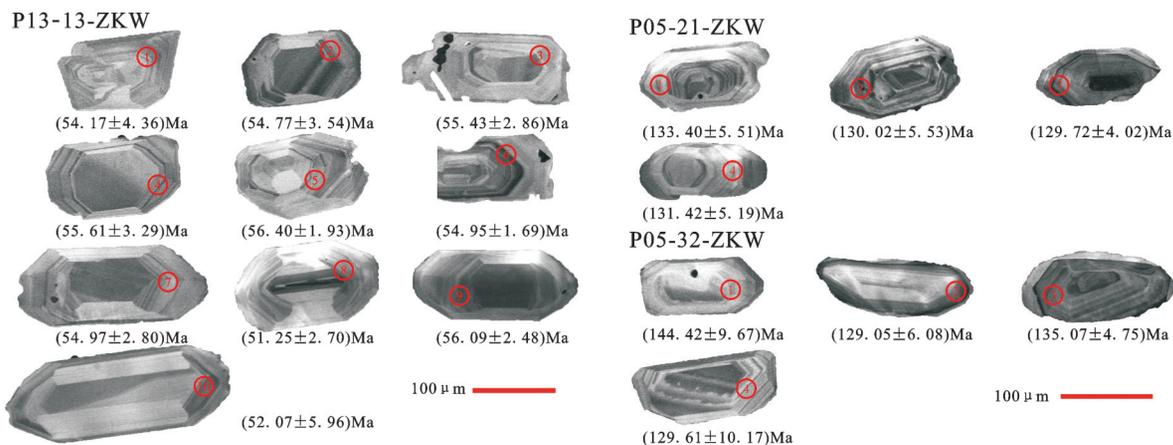


图7 日贡拉组火山岩锆石(P13-13)和沉积岩锆石(P05-21,P05-32)形态及年龄(部分)

Fig.7 Morphology and age of zircon (part) in volcanic rocks (P13-13) and sedimentary rock (P05-21,P05-32) in Rigongla Formation

颗), 127~134 Ma 这一阶段形成的锆石一共有 18 颗, PM05-32-ZKW 获得的锆石年龄变化在 $(130.8 \pm 0.72) \text{Ma} \sim (1578 \pm 15) \text{Ma}$ (共 48 颗), 127~134 Ma 这一阶段形成的锆石一共有 43 颗(图 8)。

P13-13-ZKW 获得的锆石年龄为 $(52.37 \pm 0.14) \text{Ma}$ (共 21 颗)(图 9)。

从碎屑锆石的总体年龄分布特点及锆石的颗粒形态可以看出: 许如错地区日贡拉组的沉积物

源可能较为单一, 在这些碎屑岩沉积物的组合中, 均来自于同一个稳定的物源区(127~134 Ma 阶段形成的锆石与之对应), 而且锆石均呈长状和短柱状及少量的粒状, 磨圆程度较低, 说明锆石均来自于近源。

4.4 物源区分析

锆石 U-Pb 年龄不仅能够解释冈底斯岩浆弧的成因, 还能够分析周围盆地沉积的源区。根据碎屑

表1 许如错地区日贡拉组碎屑锆石分析结果
Table 1 Results of detrital zircon analysis of Rigongla Formation in Xurucuo area

编号	含量/10 ⁻⁶		Th/U		同位素比值				表面年龄/Ma				协和程度				
	Pb	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ		
PM05-21-01	37.9	27.1	366	0.0742	0.0595	0.0010	0.7632	0.0150	0.0930	0.0012	583.36	33.33	575.85	8.65	573.17	7.22	99%
PM05-21-03	5.70	217	202	1.0751	0.0494	0.0021	0.1374	0.0063	0.0201	0.0003	164.90	99.99	130.70	5.62	128.46	1.91	98%
PM05-21-04	38.5	260	218	1.1902	0.0636	0.0013	1.0884	0.0246	0.1245	0.0023	727.79	44.44	747.74	11.95	756.19	13.44	98%
PM05-21-07	40.9	660	243	2.7138	0.0575	0.0012	0.7346	0.0169	0.0929	0.0016	509.30	44.44	559.26	9.90	572.42	9.16	97%
PM05-21-08	63.0	364	513	0.7096	0.0595	0.0008	0.7750	0.0204	0.0944	0.0020	583.36	31.47	582.62	11.64	581.27	11.79	99%
PM05-21-11	221	281	551	0.5094	0.1058	0.0013	4.5924	0.0939	0.3152	0.0060	1728.09	22.07	1747.89	17.06	1766.26	29.42	98%
PM05-21-14	40.7	143	152	0.9428	0.0820	0.0019	2.1861	0.0725	0.1935	0.0045	1255.55	50.16	1176.63	23.11	1140.41	24.42	96%
PM05-21-15	14.9	90.0	118	0.7619	0.0605	0.0018	0.7795	0.0277	0.0936	0.0020	620.39	64.80	585.19	15.79	576.66	12.02	98%
PM05-21-16	23.5	572	870	0.6572	0.0486	0.0011	0.1370	0.0040	0.0204	0.0004	131.57	56.48	130.39	3.55	130.24	2.26	99%
PM05-21-17	5.30	195	179	1.0865	0.0514	0.0024	0.1444	0.0069	0.0205	0.0005	257.47	111.10	136.95	6.09	130.93	2.90	95%
PM05-21-21	13.2	337	470	0.7163	0.0504	0.0014	0.1399	0.0044	0.0202	0.0004	213.04	61.10	132.94	3.91	128.75	2.70	96%
PM05-21-24	5.27	144	192	0.7466	0.0506	0.0021	0.1404	0.0062	0.0202	0.0006	233.40	97.21	133.41	5.51	129.13	3.62	96%
PM05-21-25	6.05	241	206	1.1699	0.0481	0.0029	0.1358	0.0085	0.0209	0.0007	101.94	137.02	129.34	7.57	133.28	4.35	96%
PM05-21-27	14.6	448	536	0.8357	0.0503	0.0019	0.1366	0.0062	0.0197	0.0006	209.33	87.02	130.02	5.54	125.94	3.55	96%
PM05-21-28	18.6	749	579	1.2927	0.0486	0.0016	0.1363	0.0045	0.0205	0.0006	127.87	74.99	129.72	4.02	131.03	3.58	98%
PM05-21-29	25.3	269	175	1.5420	0.0591	0.0013	0.7499	0.0241	0.0923	0.0026	568.55	48.14	568.16	13.98	569.37	15.23	99%
PM05-21-30	94.0	143	421	0.3387	0.0733	0.0011	1.7697	0.0416	0.1754	0.0039	1021.91	29.33	1034.41	15.23	1041.93	21.53	99%
PM05-21-33	26.9	58.8	113	0.5191	0.0731	0.0016	1.8190	0.0469	0.1807	0.0031	1016.67	44.45	1052.32	16.90	1070.62	16.74	98%
PM05-21-35	9.07	298	309	0.9644	0.0501	0.0022	0.1419	0.0065	0.0206	0.0005	211.19	99.99	134.70	5.81	131.43	2.95	97%
PM05-21-38	359.8	284	540	0.5264	0.1682	0.0041	10.7946	0.2069	0.4700	0.0106	2539.81	40.74	2505.60	17.82	2483.74	46.51	99%
PM05-21-41	6.03	184	208	0.8852	0.0467	0.0034	0.1330	0.0090	0.0212	0.0007	35.28	162.95	126.79	8.10	134.96	4.68	93%
PM05-21-42	19.5	156	144	1.0843	0.0609	0.0011	0.7535	0.0163	0.0900	0.0016	636.74	38.89	570.25	9.41	555.65	9.59	97%
PM05-21-45	9.86	260	343	0.7595	0.0496	0.0013	0.1429	0.0044	0.0210	0.0005	176.01	56.47	135.58	3.88	133.84	2.92	98%
PM05-21-48	4.69	172	149	1.1521	0.0498	0.0023	0.1382	0.0058	0.0203	0.0004	183.42	111.10	131.42	5.19	129.86	2.69	98%
PM05-21-49	88.1	60.8	219	0.2779	0.1074	0.0014	4.5545	0.0868	0.3078	0.0056	1766.67	23.77	1740.99	15.87	1729.75	27.72	99%
PM05-21-50	211	254	495	0.5136	0.1086	0.0017	4.6294	0.1033	0.3100	0.0070	1775.93	28.09	1754.58	18.64	1740.72	34.46	99%
PM05-21-52	53.1	56.0	232	0.2409	0.0748	0.0016	1.9096	0.0356	0.1855	0.0036	1064.82	43.06	1084.46	12.42	1097.10	19.66	98%
PM05-21-55	61.0	49.0	283	0.1731	0.0761	0.0011	1.8980	0.0450	0.1815	0.0047	1098.15	28.09	1080.40	15.76	1074.91	25.77	99%

续表1

编号	含量/ 10^{-6}				Th/U				同位素比值				表面年龄/Ma				协和程度		
	Pb		Th		U		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
	含量	1σ	含量	1σ	含量	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ		比值	1σ
PM05-21-56	38.1	239	290	0.8258	0.0586	0.0009	0.7798	0.0196	0.0966	0.0022	550.04	35.18	585.40	11.20	594.57	12.91	98%		
PM05-21-57	21.5	497	783	0.6356	0.0480	0.0012	0.1392	0.0038	0.0211	0.0004	98.24	57.40	132.30	3.40	134.44	2.62	98%		
PM05-21-58	125	87.9	190	0.4628	0.1678	0.0039	11.4950	0.7165	0.4967	0.0309	2535.49	38.89	2564.18	58.29	2599.55	133.12	98%		
PM05-21-59	33.0	13.1	331	0.0394	0.0601	0.0009	0.7398	0.0165	0.0894	0.0020	605.58	31.47	562.27	9.60	552.07	11.78	98%		
PM05-21-60	58.8	82.4	81	1.0182	0.1723	0.0023	11.4089	0.2696	0.4814	0.0121	2579.94	22.53	2557.15	22.06	2533.29	52.58	99%		
PM05-21-62	8.03	244	304	0.8034	0.0514	0.0015	0.1425	0.0047	0.0201	0.0004	261.18	64.80	135.30	4.21	128.00	2.38	94%		
PM05-21-63	150	103	727	0.1421	0.0746	0.0008	1.8305	0.0406	0.1777	0.0035	1057.41	20.37	1056.48	14.57	1054.56	18.90	99%		
PM05-21-64	33.2	166	204	0.8131	0.0649	0.0010	1.0886	0.0226	0.1218	0.0024	772.23	33.33	747.80	10.99	741.18	13.65	99%		
PM05-21-66	82.4	71.6	214	0.3345	0.1078	0.0013	4.6315	0.0919	0.3117	0.0057	1762.65	23.62	1754.97	16.57	1749.16	27.99	99%		
PM05-21-68	66.0	211	233	0.9081	0.0802	0.0014	2.2983	0.0491	0.2087	0.0046	1266.67	33.33	1211.75	15.11	1222.11	24.49	99%		
PM05-21-69	27.1	237	211	1.1240	0.0583	0.0010	0.7347	0.0212	0.0915	0.0025	542.63	43.51	559.33	12.40	564.20	14.55	99%		
PM05-21-71	17.7	503	658	0.7643	0.0496	0.0015	0.1393	0.0049	0.0204	0.0004	188.97	74.99	132.41	4.38	129.96	2.40	98%		
PM05-21-72	4.28	186	141	1.3126	0.0497	0.0054	0.1411	0.0169	0.0205	0.0007	188.97	227.75	134.04	15.07	130.52	4.30	97%		
PM05-21-76	19.5	94.4	123	0.7660	0.0692	0.0013	1.1386	0.0355	0.1196	0.0032	905.56	32.41	771.83	16.84	728.13	18.53	94%		
PM05-21-77	11.3	328	391	0.8375	0.0474	0.0016	0.1373	0.0050	0.0211	0.0004	77.87	68.51	130.61	4.48	134.29	2.58	97%		
PM05-21-78	16.1	639	545	1.1714	0.0514	0.0014	0.1431	0.0036	0.0203	0.0003	257.47	61.10	135.76	3.17	129.85	2.13	95%		
PM05-21-79	11.5	419	364	1.1508	0.0469	0.0019	0.1337	0.0047	0.0208	0.0004	42.69	157.39	127.37	4.19	132.70	2.79	95%		
PM05-32-02	15.4	793	436	1.8200	0.0498	0.0016	0.1413	0.0050	0.0205	0.0004	187.12	77.77	134.16	4.45	131.05	2.66	97%		
PM05-32-03	3.95	135	130	1.0415	0.0537	0.0033	0.1529	0.0110	0.0204	0.0005	366.72	143.50	144.47	9.67	130.34	2.95	89%		
PM05-32-04	22.2	258	146	1.7652	0.0563	0.0018	0.7115	0.0216	0.0916	0.0015	464.86	104.62	545.61	12.81	565.22	9.13	96%		
PM05-32-05	40.9	333	306	1.0864	0.0599	0.0015	0.7406	0.0190	0.0899	0.0025	611.13	55.55	562.76	11.07	554.97	14.52	98%		
PM05-32-09	5.34	189	189	0.9968	0.0503	0.0042	0.1430	0.0128	0.0205	0.0004	209.33	-4.63	135.68	11.40	130.55	2.69	96%		
PM05-32-14	5.73	206	202	1.0193	0.0539	0.0024	0.1514	0.0073	0.0204	0.0005	364.87	101.84	143.15	6.48	130.12	2.89	90%		
PM05-32-15	107	198	290	0.6840	0.0973	0.0017	3.7115	0.0877	0.2767	0.0066	1572.23	33.18	1573.85	18.91	1574.80	33.24	99%		
PM05-32-17	8.95	248	344	0.7215	0.0515	0.0030	0.1458	0.0119	0.0207	0.0008	261.18	135.17	138.16	10.57	132.19	4.99	95%		
PM05-32-18	8.99	253	323	0.7848	0.0510	0.0027	0.1462	0.0079	0.0209	0.0005	238.96	122.21	138.55	7.02	133.16	3.19	96%		
PM05-32-19	7.87	246	282	0.8724	0.0495	0.0024	0.1386	0.0072	0.0204	0.0006	168.60	114.80	131.81	6.38	130.29	4.07	98%		
PM05-32-22	6.19	213	217	0.9799	0.0519	0.0027	0.1475	0.0079	0.0207	0.0005	279.69	113.87	139.67	6.95	131.93	3.18	94%		
PM05-32-23	5.15	151	185	0.8143	0.0487	0.0043	0.1379	0.0118	0.0207	0.0009	200.08	127.76	131.19	10.54	132.15	5.52	99%		

续表1

编号	含量/ 10^{-6}			Th/U			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			同位素比值			表面年龄/Ma			1σ	协和程度
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ			
PM05-32-29	22.6	94.1	859	1.0957	0.0490	0.0020	0.1366	0.0058	0.0202	0.0006	146.38	91.65	130.01	5.18	129.13	3.74	99%
PM05-32-30	5.21	219	184	1.1935	0.0491	0.0036	0.1409	0.0120	0.0205	0.0006	153.79	168.49	133.84	10.68	130.62	3.95	97%
PM05-32-31	9.19	337	356	0.9483	0.0479	0.0020	0.1369	0.0062	0.0206	0.0005	94.54	96.29	130.28	5.52	131.74	3.10	98%
PM05-32-32	7.30	207	279	0.7397	0.0505	0.0028	0.1447	0.0082	0.0207	0.0005	216.74	127.76	137.23	7.24	132.32	3.17	96%
PM05-32-37	7.99	217	299	0.7247	0.0482	0.0025	0.1355	0.0068	0.0205	0.0005	109.35	122.20	129.05	6.08	130.70	3.41	98%
PM05-32-38	8.97	410	303	1.3532	0.0505	0.0021	0.1418	0.0056	0.0205	0.0004	216.74	94.43	134.60	4.98	131.02	2.66	97%
PM05-32-39	3.61	110	147	0.7464	0.0462	0.0059	0.1279	0.0185	0.0205	0.0010	9.36	290.70	122.24	16.64	130.94	6.09	93%
PM05-32-43	5.77	218	193	1.1265	0.0503	0.0024	0.1415	0.0066	0.0205	0.0003	209.33	108.32	134.41	5.91	130.99	2.10	97%
PM05-32-44	5.12	207	169	1.2219	0.0522	0.0058	0.1506	0.0166	0.0211	0.0006	294.51	255.53	142.41	14.69	134.82	4.06	94%
PM05-32-45	20.0	660	729	0.9046	0.0513	0.0020	0.1459	0.0070	0.0206	0.0005	253.77	87.95	138.30	6.17	131.69	3.19	95%
PM05-32-47	2.80	81.9	101	0.8099	0.0484	0.0070	0.1346	0.0176	0.0206	0.0007	116.76	311.07	128.19	15.71	131.72	4.23	97%
PM05-32-48	7.57	215	278	0.7725	0.0524	0.0022	0.1463	0.0065	0.0203	0.0004	301.91	91.66	138.60	5.74	129.62	2.27	93%
PM05-32-49	7.65	142	296	0.4788	0.0489	0.0021	0.1368	0.0069	0.0203	0.0006	142.68	99.99	130.23	6.20	129.63	4.01	99%
PM05-32-51	13.5	315	536	0.5884	0.0502	0.0012	0.1423	0.0054	0.0205	0.0005	211.19	57.40	135.08	4.76	130.58	2.89	96%
PM05-32-52	5.51	151	210	0.7176	0.0508	0.0024	0.1444	0.0084	0.0205	0.0006	231.55	111.10	136.95	7.46	131.05	3.62	95%
PM05-32-53	13.3	552	448	1.2307	0.0499	0.0022	0.1408	0.0067	0.0205	0.0006	190.82	106.47	133.79	5.95	130.98	3.55	97%
PM05-32-54	40.7	758	1656	0.4575	0.0494	0.0010	0.1399	0.0053	0.0205	0.0006	164.90	46.29	132.98	4.76	130.68	3.74	98%
PM05-32-55	7.88	374	253	1.4817	0.0484	0.0017	0.1383	0.0055	0.0207	0.0005	120.46	87.95	131.53	4.87	131.99	3.06	99%
PM05-32-56	5.30	144	198	0.7256	0.0499	0.0038	0.1388	0.0096	0.0204	0.0005	190.82	-16.67	131.93	8.59	130.04	3.10	98%
PM05-32-58	18.0	510	707	0.7211	0.0512	0.0027	0.1419	0.0080	0.0200	0.0004	250.07	120.35	134.76	7.10	127.77	2.54	94%
PM05-32-59	4.47	125	165	0.7610	0.0471	0.0034	0.1338	0.0098	0.0205	0.0004	53.80	162.94	127.55	8.77	131.10	2.78	97%
PM05-32-60	15.8	539	454	1.1868	0.1369	0.0084	0.3940	0.0269	0.0206	0.0004	2187.97	106.80	337.25	19.58	131.38	2.80	12%
PM05-32-62	22.7	599	831	0.7213	0.0492	0.0015	0.1422	0.0051	0.0208	0.0004	166.75	70.36	135.00	4.58	132.93	2.81	98%
PM05-32-63	7.20	54.9	60.0	0.9147	0.0592	0.0023	0.7122	0.0269	0.0875	0.0016	575.96	87.02	546.05	15.93	540.50	9.50	98%
PM05-32-66	6.32	180	223	0.8080	0.0471	0.0025	0.1350	0.0069	0.0208	0.0005	53.80	118.51	128.56	6.13	132.82	2.98	96%
PM05-32-67	12.2	394	414	0.9512	0.0485	0.0024	0.1393	0.0073	0.0207	0.0004	124.16	116.65	132.38	6.48	132.19	2.29	99%
PM05-32-68	20.6	582	721	0.8066	0.0507	0.0016	0.1435	0.0059	0.0205	0.0006	227.85	74.06	136.14	5.23	130.50	3.54	95%
PM05-32-69	34.1	57.9	90.4	0.6409	0.0984	0.0020	3.7649	0.1065	0.2769	0.0065	1594.75	33.18	1585.30	22.69	1575.87	32.95	99%
PM05-32-70	2.39	79.6	81.4	0.9773	0.0488	0.0065	0.1386	0.0188	0.0205	0.0005	138.98	288.85	131.84	16.78	130.98	2.89	99%
PM05-32-71	8.20	290	255	1.1367	0.0492	0.0021	0.1416	0.0066	0.0208	0.0005	166.75	98.14	134.47	5.87	132.70	2.94	98%
PM05-32-72	11.3	341	400	0.8519	0.0472	0.0016	0.1340	0.0042	0.0206	0.0004	57.50	81.48	127.70	3.78	131.68	2.21	96%
PM05-32-73	3.43	104	116	0.8928	0.0522	0.0037	0.1462	0.0101	0.0205	0.0004	294.51	162.94	138.51	8.97	130.70	2.83	94%

续表1

编号	含量/ 10^{-6}				Th/U				同位素比值				表面年龄/Ma				1 σ	协和程度
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
																6.20		
PM05-32-74	6.20	219	210	1.0439	0.0470	0.0024	0.1341	0.0064	0.0208	0.0005	50.10	114.81	127.76	5.74	132.93	3.44	96%	
PM05-32-75	12.9	163	485	0.3352	0.0803	0.0313	0.1466	0.0053	0.0209	0.0012	1205.56	840.70	138.94	4.72	133.48	7.32	95%	
PM05-32-77	4.07	128	151	0.8486	0.0487	0.0041	0.1362	0.0114	0.0205	0.0006	131.57	185.16	129.61	10.17	130.66	3.80	99%	
PM05-32-78	27.4	1495	834	1.7926	0.0471	0.0019	0.1335	0.0059	0.0205	0.0004	53.80	92.58	127.23	5.27	130.85	2.35	97%	
PM05-32-79	27.6	1168	947	1.2331	0.0496	0.0018	0.1380	0.0054	0.0206	0.0007	176.01	78.69	131.25	4.80	131.17	4.16	99%	
P13-13-04	1.92	204	155	1.3210	0.0479	0.0039	0.0548	0.0045	0.0084	0.0002	94.54	181.46	54.17	4.36	54.02	1.50	99%	
P13-13-06	1.52	113	133	0.8492	0.0498	0.0033	0.0554	0.0037	0.0081	0.0001	187.12	155.54	54.77	3.54	52.05	0.83	94%	
P13-13-07	2.13	249	171	1.4594	0.0501	0.0026	0.0561	0.0030	0.0081	0.0001	198.23	123.13	55.43	2.86	52.22	0.94	94%	
P13-13-10	1.34	132	117	1.1277	0.0515	0.0033	0.0563	0.0034	0.0081	0.0002	261.18	180.53	55.61	3.29	52.05	1.40	93%	
P13-13-16	4.45	628	324	1.9377	0.0512	0.0020	0.0571	0.0020	0.0081	0.0001	255.62	95.36	56.40	1.93	52.18	0.52	92%	
P13-13-17	7.62	683	680	1.0040	0.0496	0.0013	0.0556	0.0018	0.0081	0.0001	176.01	54.62	54.95	1.69	52.17	0.85	94%	
P13-13-19	1.50	112	135	0.8284	0.0490	0.0025	0.0556	0.0029	0.0082	0.0001	146.38	113.87	54.97	2.79	52.80	0.56	95%	
P13-13-22	2.70	339	200	1.6972	0.0482	0.0025	0.0542	0.0028	0.0082	0.0002	109.35	124.05	53.61	2.67	52.53	0.97	97%	
P13-13-23	1.77	173	148	1.1682	0.0500	0.0039	0.0560	0.0039	0.0082	0.0001	194.53	-17.59	55.28	3.75	52.66	0.79	95%	
P13-13-26	1.81	160	158	1.0122	0.0486	0.0033	0.0543	0.0034	0.0082	0.0001	127.87	155.53	53.66	3.31	52.35	0.57	97%	
P13-13-27	2.47	257	203	1.2675	0.0455	0.0024	0.0507	0.0025	0.0081	0.0001	error	error	50.21	2.38	52.16	0.67	96%	
P13-13-35	3.13	321	251	1.2774	0.0456	0.0024	0.0518	0.0028	0.0082	0.0001	error	error	51.25	2.70	52.80	0.56	97%	
P13-13-36	1.68	204	117	1.7426	0.0473	0.0033	0.0534	0.0036	0.0082	0.0001	64.91	168.49	52.86	3.44	52.93	0.54	99%	
P13-13-39	2.77	249	234	1.0629	0.0486	0.0018	0.0532	0.0018	0.0080	0.0001	127.87	85.17	52.67	1.75	51.14	0.78	97%	
P13-13-51	0.96	83.9	81.5	1.0292	0.0481	0.0042	0.0535	0.0047	0.0081	0.0001	105.65	196.27	52.93	4.53	51.85	0.95	97%	
P13-13-52	2.17	229	169	1.3578	0.0501	0.0023	0.0568	0.0026	0.0082	0.0001	198.23	107.39	56.09	2.48	52.84	0.93	94%	
P13-13-65	1.80	157	151	1.0349	0.0498	0.0030	0.0563	0.0035	0.0082	0.0001	187.12	142.57	55.61	3.39	52.58	0.72	94%	
P13-13-67	2.28	233	187	1.2428	0.0456	0.0029	0.0530	0.0036	0.0084	0.0002	error	error	52.44	3.50	53.61	1.04	97%	
P13-13-68	5.36	798	370	2.1551	0.0483	0.0012	0.0543	0.0015	0.0082	0.0001	122.31	57.40	53.67	1.46	52.35	0.64	97%	
P13-13-69	1.85	242	143	1.6923	0.0470	0.0055	0.0526	0.0062	0.0081	0.0001	50.10	259.23	52.08	5.96	52.30	0.67	99%	
P13-13-71	2.26	215	193	1.1163	0.0492	0.0020	0.0556	0.0026	0.0082	0.0001	166.75	96.28	54.92	2.51	52.48	0.82	95%	
P13-13-72	7.36	912	549	1.6609	0.0491	0.0010	0.0557	0.0011	0.0082	0.0001	150.09	46.29	55.01	1.01	52.92	0.41	96%	

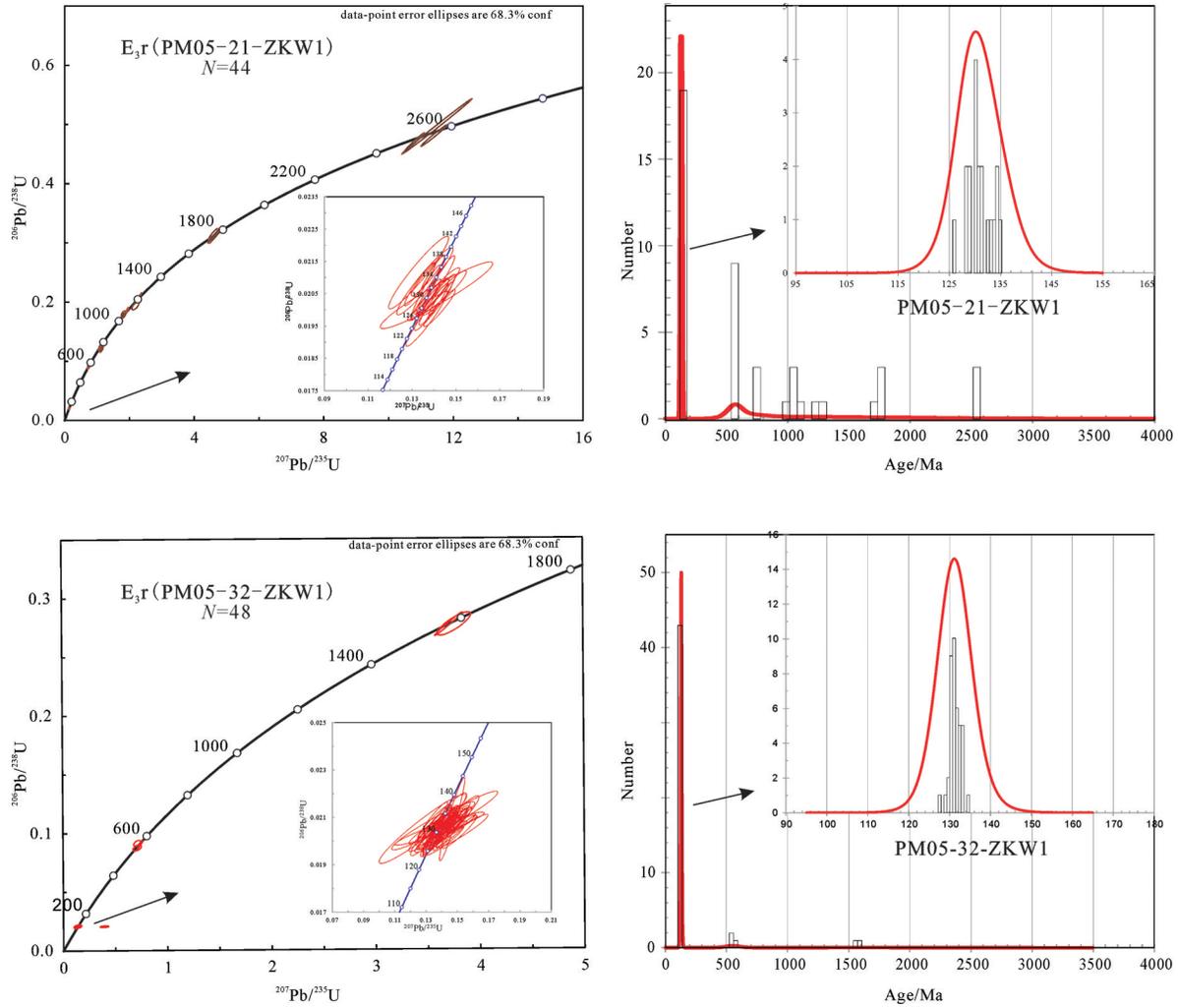


图8 日贡拉组沉积岩碎屑锆石谐和图及年龄频率分布图
 Fig.8 Age distribution of detrital zircon, sedimentary rock in Rigongla Formation

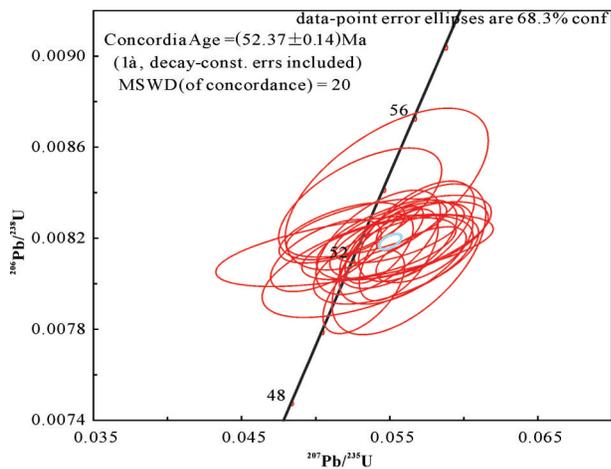


图9 日贡拉组火山岩夹层锆石U-Pb年龄谐和图
 Fig.9 Zircon U-Pb concordia diagrams for volcanic rocks in Rigongla Formation

锆石年代学数据以及岩浆活动数据,研究区日贡拉组碎屑锆石年轻的年龄峰值为130 Ma,火山岩夹层的年龄为52 Ma。

本次研究收集了各地块中生代碎屑锆石U-Pb年龄,将这些数据与研究区数据对比得出早白垩世的花岗岩为日贡拉组提供物源(图10)。

南部拉萨地块中生代岩浆作用:康清日岩体107.4 Ma的黑云母二长花岗岩(杨经绥等,2007),央嘎岩体(100.6±0.7)Ma的石英二长闪长岩(朱弟成等,2006),达孜大桥南(174±3.6)Ma的叶巴组英安岩(Zhu D C et al.,2008),乌郁岩体(188.1±1.4)Ma的花岗岩(Chu M F et al.,2006),早侏罗世叶巴组火山岩、早侏罗—晚白垩桑日群~134 Ma的埃达克质安山岩(Zhu D C et al.,2009)。

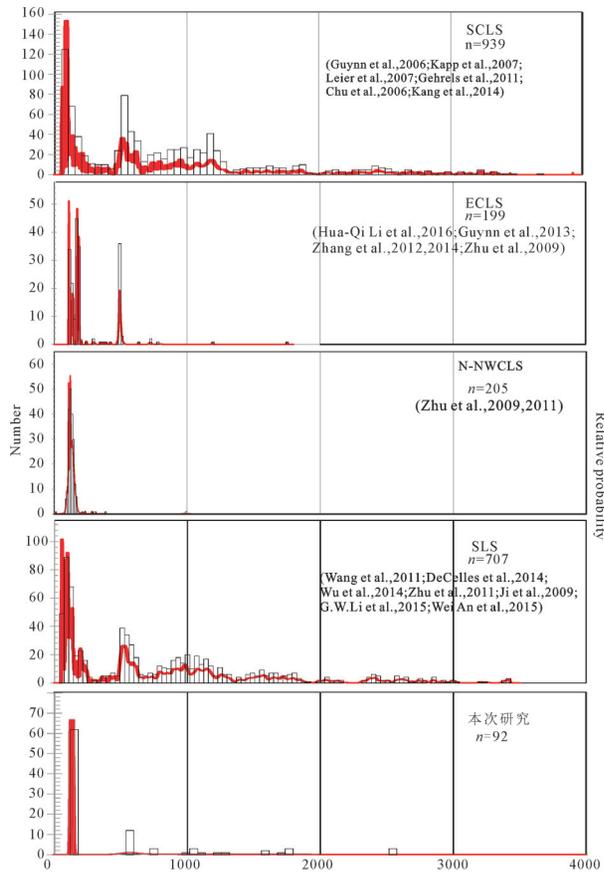


图10 拉萨地块晚白垩世—渐新世碎屑锆石年龄对比图
SCLS—中拉萨南部;ECLS—中拉萨东部;N-NWCLS—中拉萨北—北西部;SLS—南部拉萨

Fig.10 The comparison chart of Detrital zircon ages from Late Cretaceous–Oligocene in Lhasa block
SCLS–South of central Lhasa;ECLS– East of central Lhasa;N-NWCLS– North and northwest of central Lhasa;SLS– South Lhasa

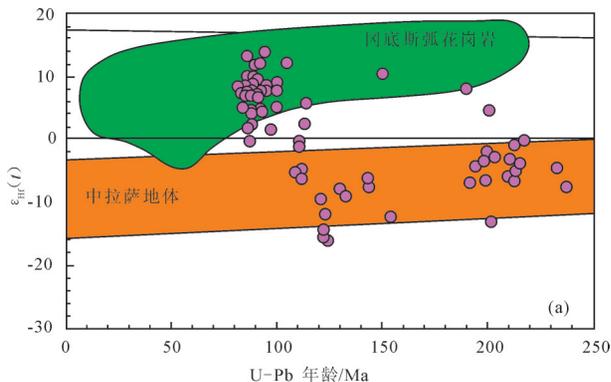


图11 碎屑锆石 $\epsilon_{Hf}(t)$ –U–Pb年龄分布图(据 Wu et al.,2010)
Fig.11 The distribution map of Zircon $\epsilon_{Hf}(t)$ –U–Pb(after Wu et al.,2010)

中部拉萨地块中生代岩浆作用:巴嘎岩体(139.3±8.3)Ma的二云母花岗岩(和钟铎等,2005),江达岩体141.3 Ma的花岗岩,罗扎岩体(133.9±0.9)Ma的二云母花岗岩(翟庆国等,2005),申扎扎贡128.54 Ma的安山岩,雄巴岩体(149±3)Ma的花岗岩,邦巴岩体(144±3)Ma的正长花岗岩(姜昕等,2010)。

北部拉萨地体中生代岩浆作用:班戈岩体118 Ma的角闪黑云花岗闪长岩,聂荣岩体(185±4.1)Ma和(177.7±3.3)Ma的斑状花岗闪长岩(西藏自治区地质矿产局,1993),以及(182.9±2.6)Ma的黑云角闪花岗闪长岩(Guynn et al.,2006)。

王力圆等(2014)对吉瓦地区日贡拉组碎屑岩利用Dickson图解判断其构造背景基本上是属于大陆物源区的火山弧造山带,与早白垩世火山岩密切相关,与研究区地球化学特征相吻合(和源,2017)。并且,本次研究也和王力圆等(2014)提出日贡拉组碎屑锆石U–Pb峰值年龄基本一致,厘定为早白垩世。

根据 Wu et al.(2010)获得的碎屑锆石 Hf(t)–U–Pb 年龄,120~150 Ma之间的年龄均处于中部拉萨地体(图11),说明日贡拉组130 Ma的源区来自中部拉萨花岗岩带。

为了进一步追溯日贡拉组沉积岩的碎屑锆石物源区,本文对中部拉萨及南部拉萨碎屑锆石年轻年龄峰值进行对比(图12),日贡拉组碎屑锆石130 Ma的峰值年龄,与北—北西部中拉萨地体火山岩及岩体年龄较为吻合,又根据锆石形态所分析的物源区可能为近源,故结合上述数据判断日贡拉组物源来自北—北西部中拉萨地块的早白垩世花岗岩(图13)。

本次研究中西侧的孔隆乡朗龙隆日贡拉组实测地层剖面中,火山岩夹层的岩浆锆石年龄为52 Ma。对于未在东侧剖面中的碎屑锆石年龄中获得古近系的年龄,根据前人研究,板块碰撞可能始于冈底斯岩浆带西段,之后随着板块运动逐渐向东段碰撞过渡,并非是大规模大面积的正向碰撞。本次研究区东侧未获得白垩世以来的年龄,可能是因为不断碰撞的过程中,产生差异升降,早白垩世地层被推覆上来,给东侧的日贡拉组提供物源,也就是说研究区的东西两侧可能是碰撞推覆的转换点,但此观点还需要在下一步的工作中得到进一步的证明。

5 对高原早期隆升的响应

通过上述对研究区日贡拉组岩石组合、岩石地层序列、物源分析、沉积演化过程以及确定时代证据等方面的描述。本次研究依据前人对青藏高原三大隆升阶段,根据火山岩年龄判断日贡拉组岩石地层年龄可能在古新世—渐新世(E_{1-3})之间,故将日贡拉组地层划分入俯冲碰撞隆升阶段和汇聚挤压隆升阶段(李廷栋,2002)。

5.1 俯冲碰撞隆升阶段

该阶段主要发生在晚白垩世—古近纪始新世。印度和亚洲板块在初始碰撞阶段主要表现为冈底斯岩浆弧内的林子宗火山岩较为发育,该套火山岩与白垩系呈喷发不整合接触或者角度不整合接触。地貌上表现出青藏高原大型周缘前陆盆地以及压陷盆地的形成。恒河平原盆地即为周缘前陆盆地,成都盆地等就是压陷盆地。恒河平原盆地和成都盆地内的古新统内无地层缺失,且林子宗火山岩的下限年龄约为65 Ma,说明板块碰撞在古新世的汇聚并不剧烈。56~45 Ma是板块碰撞的高峰期,新特提斯残留海逐渐消亡,冈底斯带内新生代的沉积均以粗碎屑岩为主,说明粗碎屑岩的出现是碰撞的沉积响应。45~34 Ma是板块全面碰撞阶段,该阶段初期因全面完成碰撞而导致发生在冈底斯一带的初始隆升时间被称为冈底斯运动(施雅风等,1999;李吉均等,2001)。冈底斯运动结束后继续隆起,其隆起证据表现在喜马拉雅彻底脱离沉积,进入隆起剥蚀阶段。

研究区内日贡拉组在56~45 Ma这个阶段开始发育,岩石主要为一套紫红色砾岩、含砾砂岩及粗砂岩夹泥页岩、粉砂质泥岩,火山岩夹层的年龄也约为52 Ma,约束了研究区日贡拉组的下限年龄。对于夹层火山岩构造环境分析中也提到,日贡拉组的构造环境是从岛弧向碰撞再到后碰撞阶段的过渡。所以综上所述,日贡拉地层的沉积能够反映印度—亚洲板块碰撞的开始。

5.2 陆内汇聚挤压隆升阶段

渐新世时期冈底斯仍然处在隆升阶段,主要表现为带内分布日贡拉组的紫红色陆源粗碎屑岩(张克信等,2010)。研究区内东侧日贡拉组碎屑锆石年龄未出现小于130 Ma的年龄,本次研究提出几点推测:

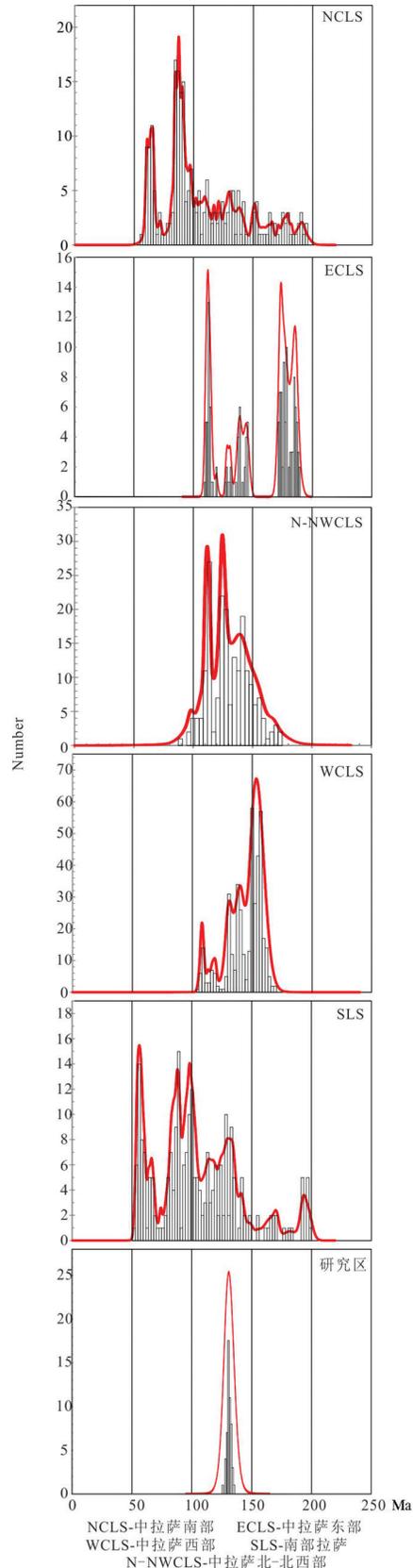


图12 碎屑锆石年轻峰值年龄对比(块体名称同图10)

Fig.12 The young peak age of detrital zircon

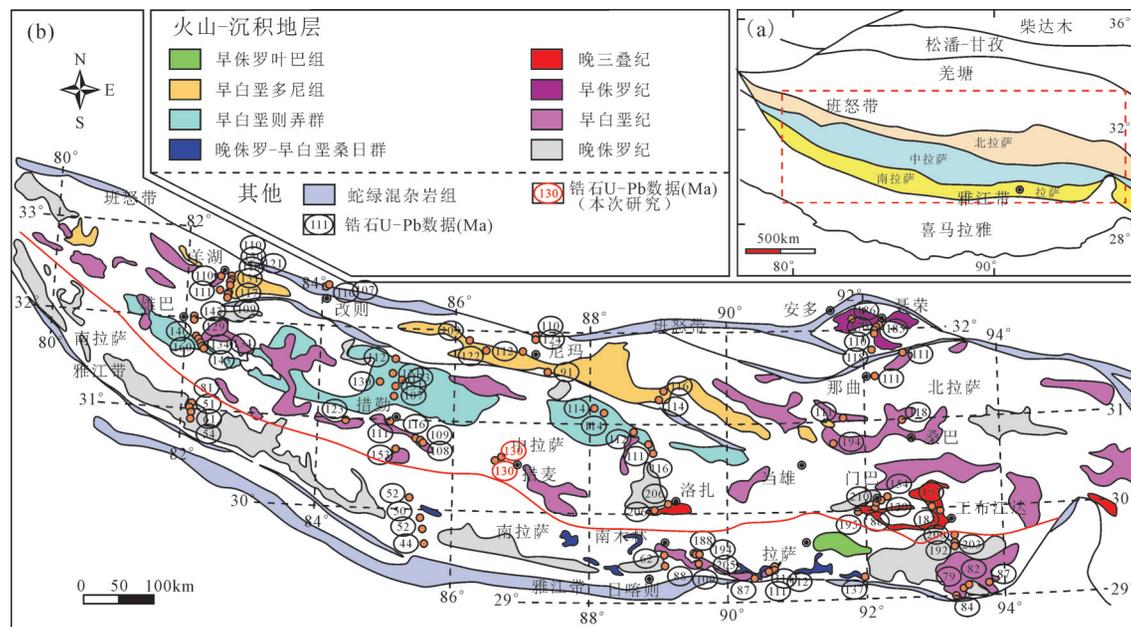


图13 冈底斯锆石U-Pb年龄分布图(据Zhu et al.,2011 修改)

Fig.13 The distribution map of zircon U-Pb ages in Gangdise (modified from Zhu et al., 2011)

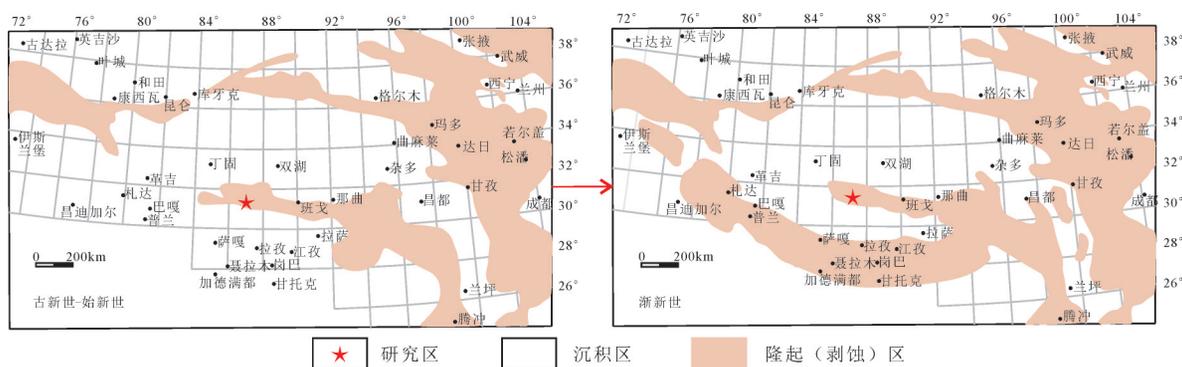


图14 青藏高原及邻区古新世—渐新世沉积区与隆起(剥蚀)区演变略图

Fig.14 The deposition zone and uplift (erosion) region evolution map from Paleocene to Oligocene in the Tibetan plateau and adjacent areas

(1)可能是因为该时期高原逐渐差异隆升,且逐渐快速冷却剥露,所以古近纪的林子宗火山岩在局部地区可能被剥蚀完全只剩白垩纪地层(图14)。

(2)根据前人研究,北—北西中部拉萨地块未出现新生代的火山活动,不存在130 Ma以来的岩浆锆石,只有集中在130 Ma年龄的锆石向研究区提供。

6 结论

综上所述,日贡拉组一段和三段沉积环境以扇三角洲—河流为主,二段以浅湖相蒸发沉积环境为主。说明许如错盆地整体上自古新世开始由于水

体能量较大,先沉积一套粗碎屑岩,局部地区发育下覆地层帕那组火山岩沉积,随后由于构造运动影响导致水体能量较为复杂,水面出现短期暴露沉积一套细碎屑岩并夹部分石膏层,最后盆地及邻区整体归于与日贡拉组沉积早期相似,充填一套粗碎屑岩。垂向上由一个旋回构成,体现出“两粗夹一细”的沉积特征。

通过对日贡拉组碎屑岩地层和火山岩地层的锆石分析,判断日贡拉组地层物源来自北—北西中部拉萨早白垩世的花岗岩。但火山岩夹层年龄54Ma才是真正日贡拉组开始沉积的时间。出现这

种情况的原因可能有两种:(1)高原逐渐差异隆升,且逐渐快速冷却剥露,所以古近纪的林子宗火山岩在局部地区可能被剥蚀完全只剩白垩纪地层;(2)北—北西中部拉萨地块未出现新生代的火山活动,不存在130Ma以来的岩浆锆石,只有集中在130Ma年龄的锆石向研究区提供。这部分资料为青藏高原隆升问题中俯冲碰撞隆升阶段和陆内汇聚挤压隆升阶段提新的理论资料。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region.1993.Regional Geology of Tibet Autonomous Region[M]. Beijing:Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Chu M F, Chung S L, Song B. 2006. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of southern Tibet[J]. *Geology*, 34(9):745.
- Guyon J H, Kapp P, Pullen A, Heizler M, Gehrels G, Ding L.2006. Tibetan basement rocks near Amdo reveal “missing” Mesozoic tectonism along the Bangong suture, central Tibet[J]. *Geology*,34: 505–508.
- He Zhonghua, Yang Mingde, Zheng Changqing, Huang Yingcong.2005.Geochemistry of the Indosinian granitoids in the Mamba area,Gangdese belt,Tibet and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*. 24(4):354–359(in Chinese with English abstract).
- He yuan. 2017. Oligocene Basin Record and its Response to the Early Uplift of the Tibetan Plateau in Xurucuo, Tibet[D]. Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Jiang Xin, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Zhang Fengqin, Dong Guochen, Mo Xuanxue,Guo Tieying. 2010. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic geochemistry of Jiangba,Bangba and Xiongba granitoids in western Gangdese,Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*,26 (7):2155–2164. (in Chinese with English abstract).
- Li Yandong. 2002. New progress in the geoscience study of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(7): 370–376 (in Chinese with English abstract).
- Li Yinglie,Wu Xinhe,Wang Rui,Xia Xianghua.2018.New findings of oil and gas in central depression of Lunpola Basin,Tibet[J]. *Geology in China*, 45(4):853–854.
- Li Yuntong.1984.Stratigraphy of China: Third Series in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 272–341 (in Chinese with English abstract).
- Leeder M R, Smith A B, Yin J X. 1988. Sedimentology,palaeoecology and palaeoenvironmental evolution of the 1985 Lhasa to Golmud Geotraverse[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*,327(1574):107–143.
- Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian,Zhao Zhijun,Song Yougui.2001. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area[J].*Quaternary Sciences*, 21(5):381–391 (in Chinese with English abstract).
- Miall A D. 1985. Architectural element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. *Earth- Science Review*, 22(4): 261–308.
- Miall A D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits*[M]. Springer Berlin Heidelberg,582.
- Pan Guitang, Ding Jun. 2004. *Geological Map of Qinghai Tibet Plateau and its Adjacent Areas*[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Shi Yaeng, Li Jijun, Li Bingyuan, Yao Tandong, Wang Sumin, Li Shijie, Cui Zhiyou, Wang Fubao, Pan Baotian, Fang Xiaomin, Zhang Qingsong. 1999. Uplift of the Tibetan Plateau and East Asia environmental change during late Cenozoic[J]. *Acta Geographica Sinica*, 54(1):10–21(in Chinese with English abstract).
- Sun Zhuanrong,Dong Guochen,Zhao Zuoxin,Wang Weiqing,Liu Shengqiang.2017.Petrological,geochemical and geochronological features of Lailishan ganitoids in western Yunnan and their genesis of partial melting of crustal soure[J].*Geology in China*, 44(6):1140–1158(in Chinese with English abstract).
- Taylor P, Zhu D, Pan G, Chung S, Liao Z. 2008. Shrimp zircon age and geochemical constraints on the origin of Lower Jurassic volcanic rocks from the yeba Formation, southern Gangdese, south Tibet shrimp zircon age and geochemical constraints [J].*International Geology Review*, 50(5):442–471.
- Wang Liyuan, Zheng Youye, Gao Shunbao, Huang Liangliang, Mao Rongwei. 2014. Provenance anlysis and prospecting significane of Oligocene Rigongla Formation in Jiwa Area,Tibet[J].*Journal of Jilin University:Earth Science Edition*.44(4):1097–1107(in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Ji W Q, Liu C Z, Chung S L. 2010. Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic data from the Xigaze fore-arc basin: Constraints on Transhimalayan magmatic evolution in southern Tibet[J]. *Chemical Geology*, 271(1/2):13–25.
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Li Tianfu, Li Huaqi, Li Zhaoli, Ren Yufeng, Xu Xiangzhen, Chen Songyong. 2007. Oceanic subduction - type eclogite in the Lhasa block, Tibet, China: Remains of the Paleo-Tethys ocean basin?[J]. *Geological Bulletin of China*,26(10):1277–1287(in Chinese with English abstract).
- Zhai Qingguo, Li Cai, Li Huimin, Wang Tianwu. 2005. U-Pb zircon age of leucogranite in the central Gangdese, Tibet and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(4): 349–353 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kexin, Wang Guocan, Ji Junliang, Luo Mansheng, Kou Xiaohu, Wang Yueming, Xu Yadong, Chen Fenning, Chen Ruiming,Song Bowen, Zhang Jianyu, Liang Yiping. 2010. Stratigraphic division

- and sequence of Paleogene and Neogene in Tibetan Plateau and its response to uplift[J]. *Science China: Earth Science*, 40(12):1632–1654 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, Wang Liquan, Liao Zhongli, Zhao Zhidan, Dong Guochen, Zhou Changyong. 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 D C, Zhao Z D, Pan G T, Lee H Y, Kang Z Q, Liao Z L. 2009. Early cretaceous subduction–related adakite–like rocks of the gangdese belt, southern tibet: products of slab melting and subsequent melt–peridotite interaction?[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3):298–309.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Mo X X. 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 301(1/2):241–255.
- ### 附中文参考文献
- 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 黄映聪. 2005. 西藏冈底斯带门巴地区印支期花岗岩地球化学特征及其构造意义[J]. *地质通报*, 24(4):354–359.
- 和源. 2017. 西藏许如错地区古近纪盆地记录及其对高原早期隆升的响应[D]. 成都理工大学.
- 姜昕, 赵志丹, 朱弟成, 张凤琴, 董国臣, 莫宣学, 郭铁鹰. 2010. 西藏冈底斯西部江巴、邦巴和雄巴岩体的锆石 U–Pb 年代学与 Hf 同位素地球化学[J]. *岩石学报*, 26(7):2155–2164.
- 李廷栋. 2002. 青藏高原地质科学研究的新进展[J]. *地质通报*, 21(7):370–376.
- 李英烈, 伍新和, 汪锐, 夏响华. 2018. 西藏伦坡拉盆地中央凹陷带探获油气[J]. *中国地质*, 45(4):853–854.
- 李云通. 1984. 中国地层—中国的第三系[M]. 北京:地质出版社, 272–341.
- 李吉均, 方小敏, 潘保田, 赵志军, 宋友桂. 2001. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. *第四纪研究*, 21(5):381–391.
- 潘桂堂, 丁俊. 2004. 青藏高原及邻区地质图说明书[M]. 北京:地质出版社.
- 施雅凤, 李吉均, 李炳元, 姚檀栋, 王苏民, 李世杰, 崔之久, 王富保, 潘保田, 方小敏, 张青松. 1999. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J]. *地理学报*, 54(1):10–21.
- 孙转荣, 董国臣, 赵作新, 王伟清, 刘圣强. 2017. 滇西来利山花岗岩年代学、地球化学特征及其壳源部分熔融成因[J]. *中国地质*, 44(6):1140–1158.
- 王方圆, 郑有业, 高顺宝, 黄亮亮, 毛荣威. 2014. 西藏吉瓦地区渐新统日贡拉组物源分析及找矿意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 44(4):1097–1107.
- 西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 杨经绥, 许志琴, 李天福, 李化启, 李兆丽, 任玉峰, 徐向珍, 陈松永. 2007. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩:古特提斯洋盆的残留?[J]. *地质通报*, 26(10):1277–1287.
- 翟庆国, 李才, 李惠民, 王天武. 2005. 西藏冈底斯中部淡色花岗岩锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 24(4):349–353.
- 张克信, 王国灿, 季军良, 骆满生, 寇晓虎, 王岳明, 徐亚东, 陈奋宁, 陈锐明, 宋博文, 张健钰, 梁银平. 2010. 青藏高原古近纪—新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应[J]. *中国科学:地球科学*, 40(12):1632–1654.
- 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—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.