

doi:10.3799/dqkx.2013.031

# 川西若尔盖地区中—新生代构造—热事件及其年代学框架

邓 宾<sup>1</sup>, 刘树根<sup>1</sup>, 刘 顺<sup>1</sup>, 李祥辉<sup>2</sup>, 李巨初<sup>1</sup>, 李智武<sup>1</sup>

1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610059

2. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093

**摘要:** 通过对川陕甘矿产资源“金三角”地区若尔盖及其周缘沉积建造特征、构造—热事件放射性年代学测试以及磷灰石裂变径迹热年代学测试等综合研究表明, 若尔盖地区自印支末期以来, 共发生了7次构造—热事件: (1)卡尼末—诺利初期构造—热事件(D<sub>1</sub>); (2)早侏罗世(200~180 Ma)构造—热事件(D<sub>2</sub>); (3)晚侏罗—早白垩世(160~140 Ma)构造—热事件(D<sub>3</sub>); (4)早白垩世(130~110 Ma)构造—热事件(D<sub>4</sub>); (5)古新世(70~60 Ma)构造—热事件(D<sub>5</sub>); (6)50~40 Ma构造—热事件(D<sub>6</sub>); (7)20 Ma左右构造—热事件(D<sub>7</sub>)。其中D<sub>1</sub>期构造—热事件为若尔盖地区主褶皱造山构造运动, 基本奠定若尔盖及其周缘地区区域构造格架; D<sub>2</sub>、D<sub>4</sub>为区域关键构造变革期, 导致构造—热体制(压性与张性)的关键转换, 对区域成矿具有重要意义; 最晚期事件(D<sub>7</sub>期)为青藏高原东北缘高原地貌定型期。

**关键词:** 裂变径迹; ESR测年; 地质年代学; 构造—热事件; 若尔盖; 青藏高原东缘。

**中图分类号:** P534.4

**文章编号:** 1000-2383(2013)02-0317-12

**收稿日期:** 2012-04-15

## Tectono-Thermal Events and Chronological Framework in Zoige and Its Periphery

DENG Bin<sup>1</sup>, LIU Shu-gen<sup>1</sup>, LIU Shun<sup>1</sup>, LI Xiang-hui<sup>2</sup>, LI Ju-chu<sup>1</sup>, LI Zhi-wu<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. School of Earth Sciences and Engineering Nanjing University, Nanjing 210093, China

**Abstract:** Based on analysis of the sedimentary features, fission track data, ESR dating and Ar-Ar dating, we argue that there are seven tectono-thermal events in Zoige and its periphery from the Late Triassic. The first tectono-thermal events (D<sub>1</sub>) took place at the end of the Carnian to the beginning of the Norian stage to form the tectonic framework of Zoige area; the second (D<sub>2</sub>) and the fourth (D<sub>4</sub>) tectono-thermal events took place at the early of Jurassic (200—180 Ma) and 130—110 Ma, respectively. They are the key change events in tectonic framework at each time. The seventh (D<sub>7</sub>) took place at the early of Miocene (~20 Ma), as the most important tectonic event to form the Tibet Plateau. The other three events (D<sub>3</sub>, D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub>) took place at 160—140 Ma, 70—60 Ma, 50—40 Ma, respectively.

**Key words:** apatite fission track; ESR dating; geochronology; tectono-thermal events; Zoige; eastern margin of Tibet.

近年来,构造—热事件对盆地或造山带构造演化及其成藏、成矿作用的重要性受到越来越多的重视(陈衍景等,2004;刘家军等,2004;陈宣华等,2012),如何将构造热年代学与(关键变革)构造—热事件等地质演化核心问题有机契合已成为当前大陆动力学和矿藏地质学研究的热点,而区域构造—热事件年代学框架的厘定则为其核心问题之一。若尔盖地区地处

青藏高原东北缘为中国大陆东西向构造与南北向构造结合关键部位,是我国中西部最重要的构造转换域,其构造—热年代学框架研究涉及特提斯洋闭合和亚洲大陆构造变形等重要问题(许志琴等,1992;Yin and Nie, 1993;张国伟等,2004)。同时,由于若尔盖地区地处我国川陕甘矿产资源的“金三角”地区,其构造热年代学框架与多种矿产成矿年代紧密相关逐步成

**基金项目:** 国家自然科学基金重点基金(No. 41230313); 国家重点基础研究发展计划“973”项目(No. 2012CB214805); 成都理工大学能源学院重点学科建设基金。

**作者简介:** 邓宾(1980—),男,博士,矿产普查与勘探专业。E-mail: Dengbin3000@163.com

为人们关注的热点问题.然而,由于特殊的地理环境和复杂的构造特征,若尔盖及周缘地区构造—热事件年代学研究相对薄弱(Enkelmann *et al.*, 2006; Weislogel *et al.*, 2006).

本文依据构造—热事件年代学原理,从热年代学技术(氩—氩年龄测定、裂变径迹技术、ESR 测年技术等)出发,对构造—热事件形成的产物(构造脉体、岩浆岩、各种矿物等)进行直接年龄测定与数理统计,结合区域构造—沉积建造特征,探讨若尔盖及其周缘地区构造—热事件年代学问题,初步建立若尔盖地区中、新生代构造—热事件年代学序次与框架,以期为本区基础地质研究,尤其是川陕甘“金三角”矿产地区的多种矿藏耦合成矿时代的研究提供重要的信息.

## 1 区域构造背景

若尔盖地区地处于青藏高原东北缘,为松潘—甘孜造山带东北部与西秦岭造山带南缘结合部位(图 1),早二叠世末期中国南北大陆由东向西“剪刀式”的碰撞造山过程中(Yin and Nie, 1993),松潘—甘孜地区整体褶皱造山成为我国西部最重要的构造交接转换域主体部分(张国伟等,2004),区域褶皱造山时间及伴随的酸性岩类侵入时间都具有由北向南逐渐迁移的趋势(殷鸿福等,1992).

燕山期若尔盖地区构造运动主要以断裂控制的岩浆活动和断陷盆地出现为特征,断陷盆地内沉积

的侏罗—白垩纪红层近水平或低角度覆盖于寒武纪或志留纪地层之上(四川省地质矿产局,1991),表明晚三叠世强烈褶皱造山作用导致区域相当程度的剥蚀,其后若尔盖及其周缘地区经历了漫长的构造平静期.喜马拉雅期构造运动中,燕山期断陷盆地多遭受破坏,形成新生褶皱和断裂区域快速构造抬升,地貌准平原化,形成现今川西高原地貌.

## 2 构造事件与沉积建造特征

若尔盖地区与邻区构造—地层单元的叠置关系表明,晚三叠世诺利末期若尔盖乃至整个松潘—甘孜造山带以褶皱成山为川西前陆盆地主要物源供应区(李勇和曾允孚,1995;陈扬等,2011).然而,区域上三叠统发育的完全性和接触关系却表明,松潘—甘孜造山带北、西南和东侧三个边界地区褶皱造山过程并不是完全同步,且具有由北向南的渐变过程.

若尔盖地区,缺失晚三叠世诺利—瑞替期沉积,弱变形的八宝山组(或甲秀组)含煤沉积不整合上覆于褶皱变形的卡尼晚期—诺利早期复理石层系(雅江组或卓尼组).向南至马尔康—雅江地区,普遍缺失瑞替期沉积,至理塘新龙发现喇嘛亚组与上覆瑞替期英石娘组平行不整合.再向南西至义敦、稻城地区,晚三叠世沉积可一直延续到瑞替晚期(英珠娘阿组),且整个晚三叠世沉积近乎连续,未见有明显的区域性角度不整合(四川省地质矿产局,1991).在褶

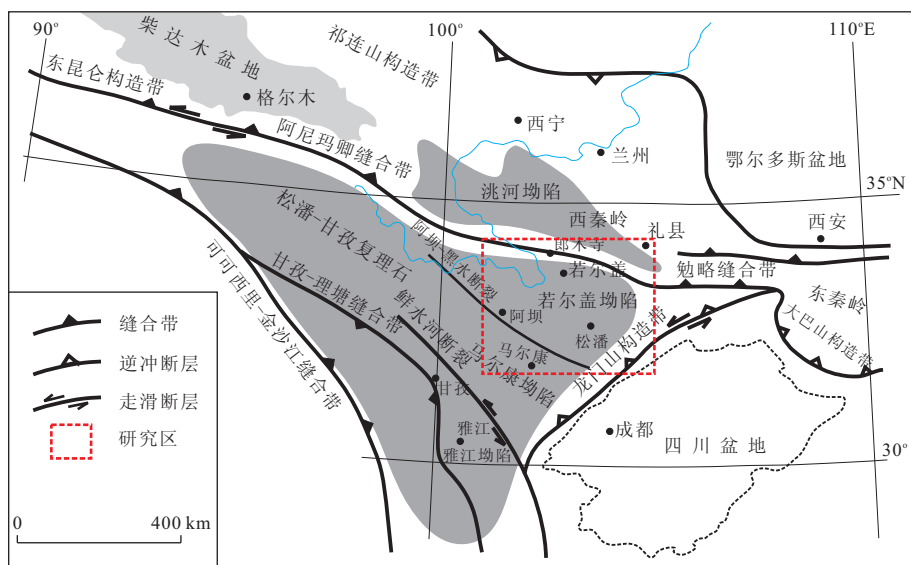


图 1 若尔盖地区区域构造格架

Fig. 1 Regional tectonics in Zoige and its periphery

皱带东南部龙门山前陆盆地充填地层中,诺利晚期(须三段)和瑞替克期(须四段)砂、砾岩大规模出现碳酸盐岩岩屑,同时小塘子组砂岩中也出现了变质岩岩屑(李勇和曾允孚,1995;陈扬等,2011),预示着龙门山及其以西地区诺利期已经开始抬升剥蚀,为川西地区提供大量物源.因此,印支末期松潘—甘孜地区褶皱变形首先是从北侧若尔盖地区(或西秦岭造山带)开始逐渐向南递进,来自秦—祁—昆造山带的挤压力导致松潘—甘孜北部若尔盖地区印支期褶皱变形明显早于南部马尔康—雅江和龙门山地区(即早于晚三叠世诺利期).

若尔盖地区晚三叠世岩相古地理研究表明,卡尼晚期盆地相分布范围属于整个复理石阶段最广时期(图 2a),外扇页岩夹中扇扇舌沉积分布全区,斜坡相在若尔盖东部变得较为宽阔,且滨岸、陆棚被海水淹没,局部为泻水主干河流,盆地可能存在海底扇;卡尼晚期—诺利早期全区大部分隆升出海面成为暴露陆地(图 2b),川北—甘南的海水在洮河盆地已经退出卓尼以西,在若尔盖盆地则可能退出到阿坝以西,此时有可能在洮河盆地的卓尼—碌曲、若尔盖盆地的阿坝地区发育与残留盆地有关的三角洲建造,甚至个别的海底扇沉积体系.因此,卡尼末—诺利早期的构造变形是若尔盖地区乃至松潘—甘孜地区的主褶皱造山构造运动(D<sub>1</sub>),致使区域隆升暴露成为陆地.

卡尼末—诺利早期造山运动后,若尔盖地区北

部山间盆地内沉积了一套含煤碎屑岩系(甲秀组),其底界安山质火山岩角度不整合于不同时代的地层之上,甲秀组中产有侏罗—白垩纪常见植物分子 *Coniopteris* 和晚三叠世至早侏罗世孢子化石组合.甲秀组与上覆郎木寺组中—基性火山岩喷发不整合接触,其火山岩全岩 K-Ar 法同位素年龄值为  $199.08 \pm 5.50 \text{ Ma} \sim 185.22 \pm 4.15 \text{ Ma}$  (四川省地矿局川西北地质队,1992).据此可以初步厘定本区在主褶皱造山事件(D<sub>1</sub>)后经历过短暂的稳定沉积期,随后于早侏罗世发生区域火山岩浆活动事件(D<sub>2</sub>).

郎木寺附近早白垩世沉积的财宝山组浅色酸性火山岩建造,喷发不整合于晚—中侏罗世郎木寺组之上,其全岩 Rb-Sr 年龄为  $112 \pm 27 \text{ Ma}$  (四川省地矿局川西北地质队,1992).根据其明显的交切关系可推定财宝山组中—酸性火山岩的活动序次明显发生于郎木寺组火山岩之后,加上顶界有晚白垩世热当坝群红色磨拉石砾岩不整合覆盖,因此可以推定早白垩世存在火山岩浆活动事件(详述见后).

### 3 构造—热事件及其年代学分析

#### 3.1 岩浆活动与同位素年龄

(热)流体是构造活动中最活跃的因素,是控制盆—山系统中物质演变和能量再分配的主导因素.与构造运动相伴的岩浆或(和)流体作用是盆山转换过程中能量和物质传递的主要方式之一,其伴生的

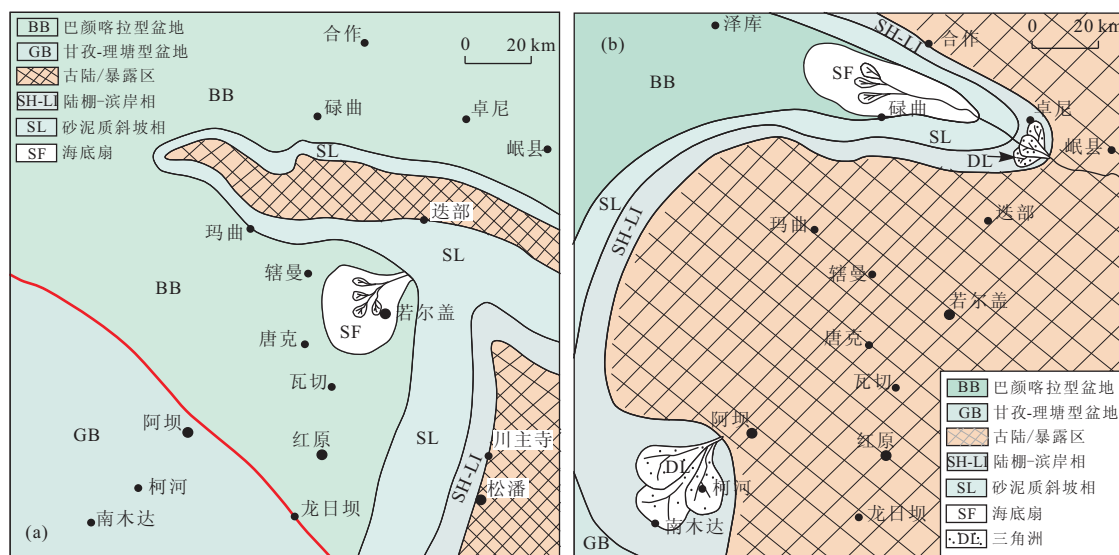


图 2 若尔盖地区晚三叠世复理石沉积岩相(古地理)分布  
 Fig. 2 Lithofacies palaeogeography of Late Triassic in in Zoige area  
 a. 卡尼晚期; b. 卡尼晚期—诺利早期

表 1 若尔盖及周缘地区火成岩同位素测年结果

Table 1 Isotopic dating of igneous rock in Zoige and its periphery

时代	原始样号	采样样点及岩样	年龄(Ma)	补充说明
E	77-R-902	拉尔玛金矿、铀钼型矿石	14~21	
	R-512-34	拉尔玛金矿、铀钼型矿石	22~30	
	C-112	拉尔玛金矿、铀钼型矿石	24~33	U-Pb 测年
	Ip-53	东北寨金矿、碳质板岩	41	
	H-B <sub>7</sub>	东北寨金矿、若蚀变辉绿玢岩	47	
K <sub>2</sub>	包络错米闪长岩	燕云乡 N32°32', E103°14.16'	67	
	年茶铺	斜长花岗斑岩	89.0	K-Ar 测
	89094	腊子口茶铺、斜长花岗斑岩	102.3±8.2	
	老虎沟口脉岩	黑河乡 N30°34'20", E104°04'30"	104±16	Rb-Sr 测年
	隆雷郎闪长岩	卡隆乡 N32°46', E103°07'	106	
K <sub>1</sub>	羊拱海花岗岩	黑水县 N32°10.37', E102°37.58'	110.8	K-Ar 测年
	达盖寨花岗岩	扎窝乡 N32°18', E103°05.12'	112	
	财 GS <sub>1-5</sub>	财宝山、流纹英安岩	112±27	Rb-Sr 测年
	剑科闪长岩	毛尔盖乡 N32°32.33', E103°02.03'	115	K-Ar 测年
	CM48-62	东北寨金矿、薄层泥灰岩	115	U-Pb 测年
	润德闪长岩	泽盖乡 N32°14', E102°55.59'	123.2	
	年保也则花岗岩	久治县 N32°59', E101°11.15'	125.6±3	K-Ar 测年
J <sub>3</sub>	TC <sub>51</sub>	降扎、花岗斑岩	151.3±2.0	
	TC <sub>52</sub>	降扎、花岗斑岩	156.0±2.0	
	紫柏杉花岗岩	虎牙乡 N32°35.37', E103°05.57'	164	
	D5996TW <sub>1</sub>	财宝山、英安岩	173.21±4.37	
J <sub>1-2</sub>	崇 TW <sub>1</sub>	崇尔、斜长花岗斑岩	183.2	
	财 TW <sub>1-5</sub>	财宝山、英安岩	183.2	K-Ar 测年
	89096	邛莫、次安山岩	183.2±6.6	
	D6115TW <sub>1</sub>	财宝山、玄武岩	185.22±4.15	
	89097	邛莫、次安山岩	186.3±6.7	
	2842DL	萨木擦库合、闪斜煌斑岩	187.8	
	纳隆柯闪长岩	红星乡 N24°01'00", E102°46'30"	189.28	
	玛洼闪长岩	包坐 N33°37.17', E103°19.67'	190.7±0.6	U-Pb 测年
T <sub>3</sub>	D5784TW <sub>1</sub>	财宝山、黑云母	193.74±4.46	K-Ar 测年
	2984DL	八甘卡、闪长玢岩	195.6±3	
	贡 TW4	贡巴、安山岩	204.8	
	玄浦沟花岗岩	塔藏乡 N32°20'00", E103°53'30"	204	U-Pb 测年
	贡 TW16	贡巴、安山岩	206.3	K-Ar 测年

参考数据来源:四川省地矿局川西北地质队,1992;杨俊龙和余必胜,1997;采用国际地层年代表,2004.

岩脉和脉体则是构造—热运动事件中物质循环的直接记录和良好标志,因此对其进行年代学鉴定能为构造—热事件时间序列和年代学框架的建立提供重要的依据(刘函等,2012).

若尔盖北部及东部与西秦岭南缘衔接带火成岩零星分布广泛,其类型主要有火山岩、次火山岩和侵入岩,岩体基本上沿断层展布,主要受断层控制,反映构造活动与岩浆热事件密切相关(四川省地矿局川西北地质队,1992).岩体及脉岩时代主要为晚印支期—燕山期,放射性同位素测年值分布广泛(表1),经统计表明多集中于140~100 Ma、160~150 Ma、200~180 Ma三个峰值年龄段之间(图3),早侏罗世(200~180 Ma)、晚侏罗世(160~

150 Ma)、早白垩世(140~100 Ma)对应于燕山期早、中、晚三幕,表明本地区曾经产生过多期区域性伴随火山岩浆活动的构造—热事件(D<sub>2</sub>-D<sub>4</sub>).

### 3.2 热流体活动与 ESR 年龄

电子顺磁共振测年(ESR),是一种根据样品所吸收的自然辐射剂量来测试样品形成年代的测年方法(Grun, 1989;梁兴中和高钧成,1999),样品年龄值不会因为岩石中受到压力作用而衰减或消失,且热退火实验证明中低温环境下温度对年龄值影响极小,同时根据理论计算,在2亿年内铀钍钾的放射性衰变量甚微,所以在封闭性良好的取样点上放射性年龄可认为至今保持不变,因而通过构造脉体矿物(石英)热活化 ESR 测年,可以确定伴生构造脉体



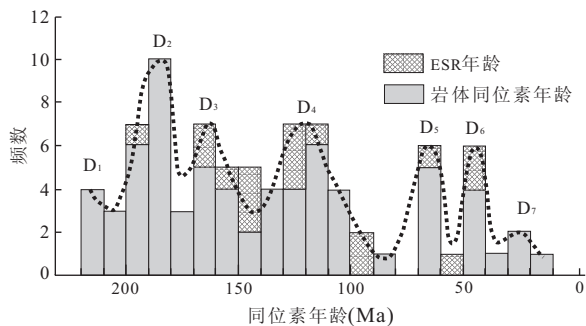


图3 西秦岭若尔盖及周缘地区放射性测年值统计直方图  
Fig. 3 Histogram of radiometric ages of Zoige and its periphery in West Qinling

参考数据来源:郑明华等,1994;杨俊龙和余必胜,1997;王平安等,1998;邵世才和汪东波,2001;张晓军等,2002;齐金忠等,2003

的中—新生代以来构造活动时间和期次(梁兴中和高灼成,1999;杨坤光等,2006)。

首先在若尔盖及周边地区对三叠系脆性构造变形中伴生新鲜石英样品进行系统采集,随后在成都理工大学应用核技术研究所进行ESR年龄测定。新鲜样品自然风干后,首先粉碎为0.200~0.125 mm粒度大小,用KJD-2000N低本底伽马仪和微机数据采集测 $\alpha$ 和 $\gamma$ 天然放射性含量,同时进行含水量校正;其次分选出0.20~0.45 mm粒度单矿物石英样品,分别对每件样品进行热活化处理,每份质量为120 mg,经热火化的样品仍需要冷却一周,然后用ER-200D-SRC电子自旋共振仪测定其顺磁中心浓度值;最后计算得到待测样品年龄值。由于若尔盖地区石英样品主要为脆性变形伴生,其形成温度较低、普遍小于 $\alpha$ 石英E1心归零温度(300 °C),因而其节理和断层石英ESR年龄分别代表该断层或节理的活动时间(表2)。

石英样品年龄分布较广(167~36 Ma),统计表明主要集中在2个峰值年龄段:165~100 Ma、70~40 Ma(图3),分别对应于中、晚燕山期和喜马拉雅早期,反映出中、新生代若尔盖及其周边地区发生过多期次区域性构造—热事件活动。对比石英和岩(脉)体放射性年代学统计数据表明,除早侏罗世和中新世岩(脉)体测年富集而石英测量值相对稀少外,测年值峰值集中区二者相对应,反映了若尔盖地区中、新生代的多期构造—热事件。

松潘—甘孜造山带及西秦岭在前期洋—陆格局基础上,印支晚期(卡尼末—诺利早期D<sub>1</sub>幕构造事件)开始褶皱造山,陆壳大规模俯冲、缩短、增厚(高锐等,2006),在若尔盖地区南部黑水—阿坝地区大面积

发育碰撞型或S型花岗岩体(张志兰等,1991;Roger *et al.*, 2004)以及埃达克岩(胡健民等,2005;Zhang *et al.*, 2006),指示造山挤压隆升、地壳增厚作用在晚三叠世(诺利期)达到高峰,伴随A型花岗岩体(四姑娘山岩体、年保也则岩体)的出现(Zhang *et al.*, 2007;赵永久等,2007),以及在若尔盖北缘夏河县境内出现中侏罗世碱性系列的玄武岩—安山岩侵位(代文军等,2001),标志早侏罗世区域挤压构造体制发生关键构造反转,变为区域伸展构造体制。燕山中—晚期广泛的后造山伸展塌陷,形成侏罗纪山间含煤盆地、白垩—第三纪红色陆相盆地,并伴随广泛的燕山期中酸性岩浆侵入,郎木寺附近还发育中—基性火山岩。综上所述,晚印支期—早侏罗世本区经历了由挤压向伸展构造体制的转变过程(D<sub>2</sub>构造—热事件),同时产生强烈构造—热流体活动,构造—热事件峰值年龄表现出多期性(D<sub>2</sub>—D<sub>4</sub>)。

### 3.3 磷灰石裂变径迹热隆升事件

若尔盖地区地表出露为晚三叠世杂古脑组、侏倭组及新都桥组复理石沉积地层,晚中—新生代地层普遍缺失仅在其北部地区零星出露(四川省地质矿产局,1991),因此难以根据地层接触关系厘定晚中—新生代构造—热事件序次。磷灰石裂变径迹分析(AFT)是沉积盆地构造—热年代学研究的一种重要方法,利用矿物封闭温度以及径迹密度、长度退火模型,可以精确反演不同层系样品构造—隆升事件及时间序列(刘树根等,1996;邓宾等,2008,2009;罗梦等,2012)。

对本区地表上三叠统新都桥组、杂古脑组中岩屑砂岩进行系统采样(表3),在中国科学院高能物理所进行了所有样品的磷灰石裂变径迹测试。所有样品单颗粒年龄远小于地层年龄(>199.6 Ma),表明地表样品都经历完全退火(>110±10 °C),单颗粒年龄 $\chi^2$ 检验值 $P(\chi^2)$ 为45.8%~99.5%,远远大于5%,表明样品颗粒径迹年龄可以视为同组年龄;样品中值年龄为50±4~68±5 Ma,径迹长度12.2±1.8~13.4±1.5  $\mu\text{m}$ 远小于原始径迹长度(16.3±0.9  $\mu\text{m}$ ),同时样品径迹长度分布直方图多具有双峰特征,表明多期次构造—热事件致使其发生显著的抬升冷却退火过程。

基于裂变径迹的分析测试数据,应用Ketcham退火模型和蒙特卡罗逼近法以及AFTSOLVE模拟软件,结合区域地质背景确定反演模拟的初始条件,然后对磷灰石裂变径迹样品的时间—温度历史即构造隆升史进行定量模拟(图4),根据快速冷却事件

表 2 若尔盖及周边地区电子自旋共振 (ESR) 测年结果  
Table 2 Electron Spin Resonance (ESR) in Zoige and its periphery

Table with 7 columns: 时代 (Era), 样品编号 (Sample No.), GPS 地点 (GPS Location), 采样描述 (Sampling Description), 顺磁浓度 (15Sp/g) (Paramagnetic Concentration), 铀当量 (μg/g) (U equivalent), 年龄 (Ma) (Age). Rows include samples E, K, and J with various locations like 川主寺, 白依沟, 安羌乡, etc.

表 3 若尔盖地区样品磷灰石裂变径迹分析结果  
Table 3 The fission track analysis data of apatite in Zoige

Table with 10 columns: 样号 (Sample No.), GPS 点 (GPS Point), 地层 (Stratum), 岩性 (Lithology), 高程 (Elevation), 颗粒数 n (Grain No.), ρs (10^5 cm^-2) (Ns) (Self-irradiation density), ρi (10^5 cm^-2) (Ni) (Induced irradiation density), P(χ^2)% (Probability), 中值年龄 (Ma) (±1σ) (Mean age), L (μm) (N) (Track length).

注: n=颗粒数; ρs=自发径迹密度; Ns=自发径迹条数; ρi=诱发径迹密度; Ni=诱发径迹条数; P(χ^2)=检验概率; 中值年龄±σ=径迹年龄±标准差; L=径迹长度; N=封闭径迹条数. 样品由中国科学院高能物理所测试.

往往与构造非平稳运动的突变事件有关(刘树根等, 1996; 陈文寄和李奇, 1999), 并且快速冷却事件均反

映相应构造运动的变化, 厘定出构造抬升冷却事件和时间序列. 所有样品在 100~70 Ma 和 25 Ma~现

今都经历显著快速抬升冷却过程;晚期快速抬升过程中不同样品退火时间各不相同(50~25 Ma),反映出差异构造隆升事件与区内不同断块差异构造隆升的相关性。样品 HF1 约 45 Ma 开始中等速率的构造抬升冷却运动(52.96 m/Ma);样品 HF2 在约 25 Ma 开始中等速率的构造抬升冷却运动(62.32 m/Ma)。样品 HF3 分别在~90 Ma 和~10 Ma 发生了速度跃迁,表明快速构造抬升事件的发生,早期和晚期抬升冷却速度分别为 79.95 m/Ma 和 141.64 m/Ma。样品 HF4 同样也分别于约 90 Ma 和约 20 Ma 发生速度跃迁,表明快速构造抬升冷却事件,早期和晚期抬升冷却速度分别为 73.23 m/Ma 和 108.12 m/Ma。样品 HF5 约 75 Ma 和约 25 Ma 发生两次快速构造抬升冷却事件,其速率分别为 75 m/Ma 和 56.08 m/Ma。上述研究表明若尔盖—唐克地区经历多期次非均一性构造抬升冷却运动过程,其快速构造—隆升冷却事件主要发生于 90~75 Ma、45 Ma 左右和 25~10 Ma。

若尔盖东缘平武地区、北缘洮河地区不同岩体样品磷灰石裂变径迹热隆升史反演(*T-t*)曲线表明若尔盖周缘普遍发生了早中白垩世和中新世快速抬升构造—热事件(刘春平,2006)。洮河地区于~125 Ma 发生关键构造反转运动(图 4,样品 TH1),由早期的构造沉降转变为后期的构造抬升;平武地区也于约 120 Ma 发生快速的构造抬升事件,导致本地区由早期低速抬升过程转变为中等—快速构造抬升过程(图 4,样品 PW1)。同时,它们都分别于约 20 Ma 再次由低速隆升阶段转变进入高速构造抬升阶段,结合若尔盖—唐克地区晚期快速构造抬升过程和侏罗—白垩纪含煤沉积建造等特征,表明中新世以来区域快速构造抬升运动为最终青藏高原东北缘高原地貌的形成奠定了基础。

若尔盖北缘西秦岭礼县—宕昌新生代大面积喷发(Ar-Ar 同位素年龄 22~23 Ma)钾质和超钾质碱性超基性火山岩(喻学惠等,2005),以及同属于青藏高原及其周边地区新生代后碰撞岩浆作用产物,可能预示着青藏高原东北部若尔盖乃至整个西秦岭地区同期(D<sub>7</sub>)进入了喜马拉雅构造运动后造山期。若尔盖地区地处青藏高原东部弱负重力均衡异常区,根据 GPS 监测成果反映,川青地块的水平运动速率变化在 25.66~8.32 mm/a 之间,具有顺时针漩涡转动特征(陈智梁等,2006);另外根据第四纪地貌研究表明盆地北缘边界断裂玛曲断裂带,全新世以来活动强烈,平均水平滑动速率为 6.29~

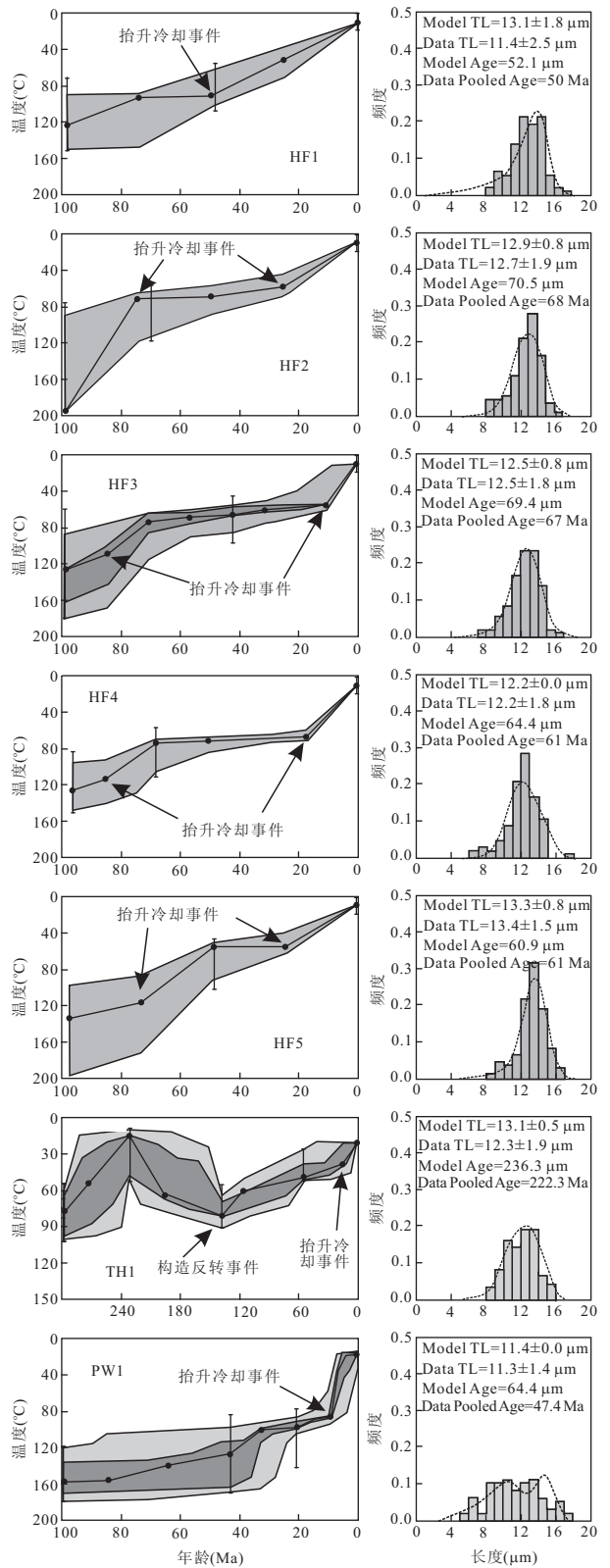


图 4 若尔盖—唐克地区磷灰石裂变径迹反演抬升冷却事件(其中样品 TH1、PW1 据刘春平,2006)

Fig. 4 Cooling histories and their cooling events from AFT data in Zoige

表 4 若尔盖地区构造—热事件年代学框架

Table 4 Tectono-thermal events and Chronological Frame in Ruorgai area

构造期	构造—热事件	主要证据	代号
印支末期	卡尼末期—诺利初期	1. 沉积建造; 2. 区域低温动热变质作用; 3. U-Pb 测年; 4. K-Ar 测年	D <sub>1</sub>
	早侏罗世(200~180 Ma)	1. K-Ar 测年; 2. U-Pb 测年; 3. 沉积建造	D <sub>2</sub>
燕山期	晚侏罗—早白垩世(160~140 Ma)	1. K-Ar 测年; 2. U-Pb 测年; 3. ESR 测年	D <sub>3</sub>
	早白垩世(130~120 Ma)	1. ESR 测年; 2. K-Ar 测年; 3. Rb-Sr 测年; 4. 磷灰石裂变径迹年龄; 5. 沉积建造	D <sub>4</sub>
	古新世(70~60 Ma 左右)	1. ESR 测年; 2. K-Ar 测年; 3. 磷灰石裂变径迹年龄; 4. 区域地质资料	D <sub>5</sub>
喜马拉雅期	50~40 Ma	1. ESR 测年; 2. U-Pb 测年; 3. 磷灰石裂变径迹年龄; 4. 岩浆作用	D <sub>6</sub>
	20 Ma 左右	1. 磷灰石裂变径迹年龄; 2. U-Th-Pb 测年; 3. 岩浆作用; 4. 区域地质资料	D <sub>7</sub>

4. 03 mm/a(马寅生等, 2005), 它们说明若尔盖地区晚期构造活动一直持续至今, 整个地区现今仍处于较活动状态。

磷灰石裂变径迹热史(AFT)反演表明早白垩世以来若尔盖及其周边地区存在多期次的区域非均一构造抬升运动(D<sub>1</sub>-D<sub>7</sub>), 主要集中在中晚白垩世(120 Ma 左右、90~75 Ma)、古近纪(45 Ma 左右)和中新世以来(20 Ma 左右)。若尔盖及周缘地区初次构造关键变革期(D<sub>2</sub>)后, 进入燕山期后造山期区域伸展阶段, 具有区域差异性隆升—沉降构造特征, 且北部洮河地区由南向北有沉降加速现象(刘春平, 2006)。早白垩世晚期—晚白垩世早期(D<sub>4</sub> 幕构造事件)若尔盖北部洮河地区由构造沉降转换为构造抬升, 可能预示着区域构造格架(张性—压性)的关键转换, 进入非均一性隆升阶段。新生代构造事件体现出一定的继承性, 尤其是中新世以来的构造运动(D<sub>7</sub>)导致区域性快速构造抬升, 非均一隆升过程导致青藏高原重大的地貌格局反转(张克信等, 2007), 最终形成高原地貌特征。

## 4 讨论与结论

根据沉积建造、构造—热事件年代学、磷灰石裂变径迹隆升史等相关分析, 若尔盖地区重要构造—热事件不仅表现在构造—沉积特征的突变, 同时必然引发不同尺度的构造—热液活动和同位素年龄记录的相对集中, 体现为构造—热事件、放射性年龄峰值以及构造抬升冷却事件共生的特征, 表明区域构造—热事件的多期性。若尔盖及周边地区自印支卡尼末—诺利期主褶皱造山事件以来, 共发生 7 期构造—热事件, 其详细特征见表 4。

印支末期晚三叠世卡尼末—诺利初期(D<sub>1</sub>)若尔盖地区发生了最为重要褶皱造山运动, 它是基本奠定区域构造格架的关键构造—热事件, 青藏高原

东缘地区具有普遍的相应过程(刘树根等, 2009, 2011; Deng *et al.*, 2012a)。燕山期本地区至少包含 3 期构造事件(D<sub>2</sub>-D<sub>4</sub>), 其中 D<sub>2</sub>、D<sub>4</sub> 期为关键构造变革期, 早侏罗世(200~180 Ma)D<sub>2</sub> 事件区域构造体制由挤压转变为伸展构造体制, 进入燕山中、晚期后造山伸展阶段, 呈现出区域差异性隆升—沉降构造格局; 早白垩世(130~110 Ma)D<sub>4</sub> 事件使区域构造体制由伸展转换为挤压特征, 青藏高原东北缘地区转变为压性体制下区域非均一构造抬升过程。D<sub>4</sub> 期构造事件略早于扬子板块西缘四川盆地及龙门山地区早—晚白垩世之交古特提斯构造域与新特提斯构造域关键构造转换变革期(刘树根等, 2009, 2011; Deng *et al.*, 2012b), 可能与陆内应力—应变渐变性扩展过程相关。

新生代构造事件(D<sub>5</sub>-D<sub>7</sub>)主要表现为继承性的区域非均一性隆升—剥蚀和多期次构造抬升, 其中至少包含峰值年龄集中为 70~60 Ma、50~40 Ma、约 20 Ma 的 3 期构造—热事件, 尤其是中新世以来的(D<sub>7</sub> 事件)区域性快速构造抬升运动为青藏高原东北缘地区高原地貌定型事件。新生代 3 期构造事件相邻的龙门山—川西前陆盆地具有一致的构造事件(刘树根等, 2001), 体现出扬子板块西缘盆—山体系构造演化及其活动性上良好的耦合关系。

致谢: 本文在研究过程中得到王成善教授和杨恒书高工的指导, 野外工作还得到冉波、孟伟、司建涛、胡爱平等的帮助, 在此谨表谢意!

## References

- Chen, X. H., Chen, Z. L., Han, S. Q., et al., 2012. Geothermochronology of Mo-W Deposits in Balkhash Metallogenic Belt, Kazakhstan, Central Asia. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(5): 878—893 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y., Liu, S. G., Li Z. W., et al., 2011. LA-ICP-MS Detrital Zircon U-Pb Geochronology Approaches to the



- Sediment Provenance of the Western Sichuan Foreland Basin and Limited Uplift of the Longmen Mountains during the Early Stage of Late Triassic. *Geotectonic et Metallogenia*, 35(2): 315—323 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. J., Zhang, J., Zhang, F. X., et al., 2004. Carlin and Carlin-Like Gold Deposits in Western Qinling Mountains and Their Metallogenic Time, Tectonic Setting and Model. *Geological Review*, 50(2): 134—152 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W. J., Li, Q., 1999. MDD Model and Rapid Cooling Events. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 371—377 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. L., Liu, Y. P., Tang, W. Q., et al., 2006. Recent Deformation and Displacement of Continental Lithosphere in the Northeastern Margin of Qinhai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 25(1—2): 20—28 (in Chinese with English abstract).
- Dai, W. J., Dang, Y. Y., Liu, S. X., et al., 2001. Feature and Tectonic Setting of Volcanic Rock of Median Jurassic System in Zizihe Area, Xiahe County. *Acta Geologica Gansu*, 10(2): 23—28 (in Chinese with English abstract).
- Deng, B., Liu, S. G., Jansa, L., et al., 2012a. Sedimentary Record of Late Triassic Transpressional Tectonics of the Longmenshan Thrust Belt, SW China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 48(2): 43—55. doi: 10.1016/j.jseas.2011.12.019
- Deng, B., Liu, S. G., Li, Z. W., et al., 2012b. Late Cretaceous Tectonic Change of the Eastern Margin of the Tibetan Plateau—Results from Multisystem Thermochronology. *Journal Geological Society of India*, 80(2): 241—254. doi: 10.1007/s12594—012—0134—8
- Deng, B., Liu, S. G., Li, Z. W., et al., 2008. A Comparative Study of the Late Mesozoic Uplifting in the Eastern Margin of Qinghai-Tibet Plateau and Sichuan Basin. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 35(4): 477—486 (in Chinese with English abstract).
- Deng, B., Liu, S. G., Li, Z. W., et al., 2009. Uplifting Characteristics in Eastern Margin Area of Tibetan Plateau: Evidence from Low-Temperature Thermochronology. *Quaternary Sciences*, 29(3): 594—606 (in Chinese with English abstract).
- Enkelmann, E., Ratschbacher, L., Jonckheere, R., et al., 2006. Cenozoic Exhumation and Deformation of Northeastern Tibet and the Qinling: Is Tibetan Lower Crustal Flow Diverging around the Sichuan Basin? *GSA Bulletin*, 118(5—6): 651—671. doi: 10.1130/B25805.1
- Gao, R., Ma, Y. S., Liu, Q. S., et al., 2006. Structure of the Lower Crust Beneath the Songpan Block and West Qinling Orogen and Their Relation as Revealed by Deep Seismic Reflection Profiling. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 411—418 (in Chinese with English abstract).
- Grun, R., 1989. ESR Dating for the Early Earth. *Nature*, 338: 543—544. doi: 10.1038/338543a0
- Hu, J. M., Meng, Q. R., Shi, Y. R., et al., 2005. SHRIMP U-Pb Dating of Zircons from Granitoid Bodies in the Songpan-Ganzi Terrane and Its Implication. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 867—880 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Zeng, Y. F., 1995. Stratigraphic Signatures to Thrusting of the Longmen Mountains Thrust Belt. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 22(2): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Liang, X. Z., Gao, J. C., 1999. Study on the  $\alpha$ -Quartz Dating of Fault-Related Ore Mineralization. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 19(2): 69—71 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. P., 2006. The Tectonic Evolution and the Basic Petroleum Condition in Songpan-Aba Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. J., Feng, C. X., Liu, J. M., et al., 2004. Reidentification of the Ore-Hosted Strata Age and Metallogenic Age of the Stratabound Au-Se Deposits, the Western Qinling Mountains. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 435—443 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H., Wang, G. C., Cao, S. Z., et al., 2012. Discovery of Nanhuaiian Bi-modal Volcanics in Northern Altyn Tagh and Its Tectonic Significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(5): 917—929 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. G., Li, Z. W., Cao, J. X., et al., 2009. 4-D Textural and Structural Characteristic of Longmen Intracontinental Composite Orogenic Belt, Southwest China. *Chinese Journal of Geology*, 44(4): 1151—1180 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. G., Li, Z. W., Sun, W., et al., 2011. Basic Geological Features of Superimposed Basin and Hydrocarbon Accumulation in Sichuan Basin, China. *Chinese Journal of Geology*, 46(1): 233—257 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. G., Luo, Z. L., Dai, S. L., et al., 1996. The Uplift of the Longmenshan Thrust Belt and Subsidence of the

- West Sichuan Foreland Basin. *Acta Geological Sinica-English Edition*, 9(1): 16—26. doi: 10.1111/j.1755—6724.1996.mp9001002.x
- Liu, S. G., Zhao, X. K., Luo, Z. L., et al., 2001. Study on the Tectonic Events in the System of the Longmen Mountain—West Sichuan Foreland Basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 28(3): 221—231 (in Chinese with English abstract).
- Luo, M., Zhu, W. B., Zhang, B. H., et al., 2012. Mesozoic—Cenozoic Tectonic Evolution of the Kuqa Basin: Evidence from Apatite Fission-Track Data. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 37(5): 893—903 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. S., Shi, W., Zhang, Y. Q., et al., 2005. Characteristics of the Activity of the Maqu Segment of the East Kunlun Active Fault Belt and Its Eastward Extension. *Geological Bulletin of China*, 24(1): 30—35 (in Chinese with English abstract).
- Qi, J. Z., Yuan, S. S., Li, L., et al., 2003. Geological Features and Ore-Controlling Factors of the Yanshan Superlarge Gold Deposit, Gansu Province, China. *Geological Review*, 49(1): 85—92 (in Chinese with English abstract).
- Roger, F., Malavielle, J., Leloup, P. H., et al., 2004. Timing of Granite Emplacement and Cooling in the Songpan-Ganze Fold Belt (Eastern Tibetan Plateau) with Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22(5): 465—481. doi: 10.1016/S1367—9120(03)00089—0
- Shao, S. C., Wang, D. B., 2001. Ar-Ar Dating of Three Typical Gold Deposits and Its Geological Significance in the Southern Qinling Region. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 106—110 (in Chinese with English abstract).
- Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1991. Regional Geology of Sichuan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Sichuan Northwest Geological Team, 1992. 1 : 50 000 Regional Geology of Gongba, Zhagana Area. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, P. A., Chen, Y. C., Pei, R. F., 1998. Regional Metallogenic Series and Tectono-Metallogenic Cycles and Evolution of the Qinling Orogen. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Weislogel, A. L., Graham, S. A., Chang, E. Z., et al., 2006. Detrital Zircon Provenance of the Late Triassic Songpan-Ganzi Complex: Sedimentary Record of Collision of the North and South China Blocks. *Geology*, 34(2): 97—100. doi: 10.1130/G21929.1
- Xu, Z. Q., Hou, L. W., Wang, Z. X., et al., 1992. Orogenic Processes of the Songpan—Garze Orogenic Belt of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yang, J. L., Yu, B. S., 1997. U-Th-Pb Geochronology and Lead Isotope Geochemistry of the La'erma Carlin Type Gold Deposit in West Qinling Mountain. *Geology and Mineral Resources of South China*, 4: 39—49 (in Chinese with English abstract).
- Yang, K. G., Liang, X. Z., Xie, J. L., et al., 2006. EAR Dating, the Principle and Application of a Method to Determine Active Ages of Brittle Faults. *Advances in Earth Science*, 21(4): 430—435 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Nie, S., 1993. An Indentation Model for the North and South China Collision and the Development of Tanlu and Honam Fault Systems, Eastern Asia. *Tectonics*, 12(4): 801—813. doi: 10.1029/93TC00313
- Yin, H. F., Yang, F. Q., Huang, Q. S., et al., 1992. The Triassic of Qinling Mountains and Neighboring Areas. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Yu, X. H., Zhao, Z. D., Mo, X. X., et al., 2005. <sup>40</sup>Ar—<sup>39</sup>Ar Dating and Its Implication of Cenozoic Kamafugite in Western Qinling, Gansu. *Chinese Science Bulletin*, 50(23): 2638—2643 (in Chinese).
- Zhang, G. W., Guo, A. L., Yao, A. P., 2004. Western Qinling-Songpan Continental Tectonic Node in China's Continental Tectonics. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 23—32 (In Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Chen, F. N., et al., 2007. Coupling between the Uplift of Qinghai-Tibet Plateau and Distribution of Basin of Paleogene-Neogene. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 583—579 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H. F., Parrish, R., Zhang, L., et al., 2007. A-Type Granite and Adakitic Magmatism Association in Songpan-Garze Fold Belt, Eastern Tibetan Plateau: Implication for Lithospheric Delamination. *Lithos*, 97(3—4): 323—335. doi: 10.1016/j.lithos.2007.01.002
- Zhang, H. F., Zhang, L., Harris, N., et al., 2006. U-Pb Zircon Ages, Geochemical and Isotopic Compositions of Granitoids in Songpan-Garze Fold Belt, Eastern Tibetan Plateau: Constraints on Petrogenesis and Tectonic Evolution of the Basement. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 152(1): 75—88. doi: 10.1007/s00410—006—0095—2
- Zhang, Z. L., Zhang, P., Yuan, H. H., 1991. The Geochemical Information of Dynamical Mechanism Forming Longmenshan Mountains. *Journal of Chengdu College*

- of *Geology*, 18(1): 23—32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. J., Zhang, J., Jia, Y. S., et al., 2002. Geological and Geochemical Features of the Jimuda Gold Deposit in Northwestern Sichuan Province. *Geology and Prospecting*, 38(3): 28—32 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y. J., Yuan, C., Zhou, M. F., et al., 2007. Post-Orogenic Extension of Songpan-Ganzi Orogen in Early Jurassic: Constrains from Niuxingou Monzodiorite and Siguaniangshan A-Type Granite of Western Sichuan, China. *Geochimica*, 36(2): 139—152 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, M. H., 1994. Stratabound Gold Deposits of Exhalation Type and Turbidity Type. Sichuan Publishing House of Science & Technology, Chengdu (in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 陈宣华, 陈正乐, 韩淑琴, 等, 2012. 中亚巴尔喀什成矿带铅—钨矿的地质热年代学. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(5): 878—893.
- 陈杨, 刘树根, 李智武, 等, 2011. 川西前陆盆地晚三叠世早期物源与龙门山的有限隆升——碎屑锆石 U-Pb 年代学研究. *大地构造与成矿学*, 35(2): 315—323.
- 陈衍景, 张静, 张复新, 等, 2004. 西秦岭地区卡林—类卡林型金矿床及其成矿时间构造背景和模式. *地质论评*, 50(2): 134—152.
- 陈文寄, 李齐, 1999. MDD 模式与快速冷却事件. *地学前缘*, 6(4): 371—377.
- 陈智梁, 刘宇平, 唐文清, 等, 2006. 青藏高原东北缘大陆岩石圈现今变形和位移. *地质通报*, 25(1—2): 20—28.
- 代文军, 党引业, 柳生祥, 等, 2001. 夏河县孜孜合一带中侏罗世火山岩特征及构造环境探讨. *甘肃地质学报*, 10(2): 23—28.
- 邓宾, 刘树根, 李智武, 等, 2008. 青藏高原东缘及四川盆地晚中生代以来隆升作用对比研究. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 35(4): 477—486.
- 邓宾, 刘树根, 李智武, 等, 2009. 青藏高原东缘地区隆升作用特征—低温年代学证据. *第四纪研究*, 29(3): 594—606.
- 高锐, 马永生, 李秋生, 等, 2006. 松潘地块若尔盖盆地与西秦岭造山带岩石圈尺度的构造关系——深地震反射剖面探测成果. *地球学报*, 25(12): 411—418.
- 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等, 2005. 松潘—甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. *岩石学报*, 21(3): 867—880.
- 李勇, 曾允孚, 1995. 龙门山逆冲推覆作用的地层标识. *成都理工学院学报*, 22(2): 1—10.
- 梁兴中, 高钧成, 1999. 断裂成矿年龄的  $\alpha$  石英 ESR 研究. *矿物岩石*, 19(2): 69—71.
- 刘春平, 2006. 松潘—阿坝盆地构造演化与石油地质基本条件(博士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 刘函, 王国灿, 曹树钊, 等, 2012. 北阿尔金南华纪双峰式火山岩的发现及构造意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(5): 917—929.
- 刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 1996. 四川前陆盆地的“四川运动”及与油气的关系. *石油与天然气地质*, 17(4): 276—281.
- 刘树根, 赵锡奎, 罗志立, 等, 2001. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究. *成都理工学院学报*, 28(3): 221—231.
- 刘树根, 李智武, 曹俊兴, 等, 2009. 龙门山陆内复合造山带的四维结构构造特征. *地质科学*, 44(4): 1151—1180.
- 刘树根, 李智武, 孙玮, 等, 2011. 四川含油气叠合盆地基本特征. *地质科学*, 46(1): 233—257.
- 刘家军, 冯彩霞, 刘建明, 等, 2004. 西秦岭南亚热带层控金—硒矿床的赋矿地层年代与成矿时代. *地学前缘*, 11(2): 435—443.
- 罗梦, 朱文斌, 郑碧海, 等, 2012. 库车盆地中生代构造演化: 磷灰石裂变径迹证据. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(5): 893—903.
- 马寅生, 施炜, 张岳桥, 等, 2005. 东昆仑活动断裂带玛曲段活动特征及其东延. *地质通报*, 24(1): 30—35.
- 齐金忠, 袁士松, 李莉, 等, 2003. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质特征及控矿因素分析. *地质论评*, 49(1): 85—92.
- 邵世才, 汪东波, 2001. 南秦岭 3 个典型金矿床的 Ar-Ar 年代学及其地质意义. *地质学报*, 75(1): 106—110.
- 四川省地矿局川西北地质队, 1992. 贡巴、扎杂那等 1:5 万八副联测区调报告. 北京: 地质出版社.
- 四川省地质矿产局, 1991. 四川省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 王平安, 陈毓川, 斐荣富, 1998. 西秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造—成矿旋回与演化. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等, 1992. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程. 北京: 地质出版社.
- 杨俊龙, 余必胜, 1997. 西秦岭拉尔玛卡林型金矿床的 U-Th-Pb 年代学与 Pb 同位素地球化学研究. *华南地质与矿产*, 4: 39—49.
- 杨坤光, 梁兴中, 谢建磊, 等, 2006. ESR 定年: 一种确定脆性断层活动年龄的方法原理与应用. *地球科学进展*, 21(4): 430—435.
- 殷鸿福, 杨逢清, 黄其胜, 等, 1992. 秦岭及邻区三叠系. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 喻学惠, 赵志丹, 莫宣学, 等, 2005. 甘肃西秦岭新生代钾霞橄黄长岩的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素定年及其地质意义. *科学通*

报,50(23):2638—2643.

张国伟,郭安林,姚安平,2004. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结. *地学前缘* 2004,11(3):23—32.

张克信,王国灿,陈奋宁,等,2007. 青藏高原古近纪—新近纪隆升与沉积盆地分布耦合. *地球科学*, 32(5):583—579.

张志兰,张平,袁海华,1991. 龙门山形成动力机制的地球化学信息. *成都地质学院学报*,18(1):23—32.

张晓军,张均,贾永胜,等,2002. 川西北金木达矿床地质地球化学特征研究. *地质与勘探*,38(3):28—32.

赵永久,袁超,周美夫,等,2007. 松潘甘孜造山带早侏罗世的后造山伸展:来自川西牛心沟和四姑娘山岩体的地球化学制约. *地球化学*,36(2):139—152.

郑明华,1994. 喷流型与浊流型层控金矿床. 成都:四川科学技术出版社.

\*\*\*\*\*

(上接 316)

Pan,S. K. ,2009. Tectonic Setting and Petrogenesis Analysis of Xiaorequanzi Formation in Shanshan, Xinjiang(Dissertation). Chang'an University, Xi'an; 26—29(in Chinese with English abstract).

例 2 (文内)……林东燕(2011)综合前人测定的石英铁矿 Rb-Sr 等时线年龄(346±68 Ma)和角闪石磁铁矿年龄(334 Ma),……. 对应的文献:

林东燕,2011. 闽西南地区晚古生代—三叠纪构造演化与铁多金属矿成矿规律研究(博士学位论文). 北京:中国地质大学.

Lin,D. Y. , 2011. Research on Late Paleozoic-Triassic Tectonic Evolution and Metallogenetic Regularities of Iron-polymetallic Deposits in the Southwestern Fujian Province(Dissertation). China University of Geosciences, Beijing(in Chinese with English abstract).

**(4) 论文集中析出文献著录:作者(只列出前 3 名,多出的用“等”省略),年份. 论文题. 见(In):论文集编者,论文集名. 出版地:出版社,起—止页.**

例 1 (文内)……陆续提出了几种成因:(1)干燥裂缝成因;(2)姬再良(1985)提出水下缩凝水成因,……. 对应的文献:姬再良,1985. 华中、西南地区上奥陶统宝塔组的沉积环境初探. 见:荣灵璧编,地层古生物论文集(第十二辑). 北京:地质出版社,91—100.

Ji,Z. L. ,1985. On the Depositional Environment of the Pagoda Formation in Central and Southwestern China. In: Rong,L. B. ,ed. ,Stratigraphy and Palaeontology Proceedings(12). Geological Publishing House, Beijing,91—100(in Chinese).

例 2 (文内)……图 2 为南迦帕尔巴特西南的巴基斯坦喜马拉雅和南迦帕尔巴特地区的反映变质作用和深熔作用的温度—时间图(Searle,1996),……. 对应的文献:

Searle,M. P. ,1996. Cooling History, Erosion, Exhumation, and Kinematics of the Himalaya Karakoram, Tibet Orogenic Belt. In: Yin, A. , Harrison, T. M. , eds. , The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge Univ. Press, New York, 37—110.