

华北板块南缘石人山岩块晚古生代陆内变形特征及侧向挤出构造

王静雅¹⁾, 任升莲¹⁾, 董树文²⁾, 李加好¹⁾, 宋传中¹⁾, 林寿发³⁾,
韩旭¹⁾, 李振强¹⁾, 张刚¹⁾, 王莹¹⁾, 杨青亮¹⁾

- 1) 合肥工业大学资源与环境工程学院, 中国合肥, 230009;
- 2) 南京大学地球科学与工程学院, 中国南京, 230026;
- 3) 滑铁卢大学, 加拿大安大略省滑铁卢市, N2L 3G1

内容提要:华北板块南缘在古生代时期经历了复杂的陆内变形过程。石人山岩块边界断裂发育大量平行于断裂带的A型褶皱和近水平的矿物生长线理,表明其经历了以走滑剪切变形为主的构造阶段。动力学研究表明石人山岩块具有南西向逆冲的运动学特征,其南侧洛南—栾川断裂带(洛栾断裂带)以左行剪切变形为主,北东侧鲁山断裂带以北西向逆冲兼有右行剪切变形为特征,夹于其中的石人山岩块显示为向西、向上挤出的特征。选择典型岩石样品进行同位素测年来限定断裂活动的时代,其中,洛栾断裂带内同构造花岗岩脉的锆石U-Pb定年结果为 413.6 ± 7.4 Ma,鲁山断裂带内走滑剪切特征明显的构造透镜体内变形岩石的锆石定年结果为 419.3 ± 11.2 Ma。虽然洛栾断裂与鲁山断裂的运动方向不同,但是同位素年代学研究限定了两条断裂带发生走滑变形的时间都是晚古生代泥盆纪末期,从而共同构成了石人山岩块整体向西挤出的构造特征,同时也表明,相互碰撞的大陆在碰撞之后将很快转变为以平行造山带侧向挤出与走滑位移为主的陆内变形演化阶段。

关键词:华北板块南缘;石人山岩块;陆内变形;侧向挤出;洛栾断裂带;鲁山断裂带

秦岭造山带是中国南、北大陆碰撞拼贴过程中形成的巨型纬向碰撞造山带(张国伟等,1995; Dong Yunpeng et al., 2014, 2016),它西接祁连山,东部与桐柏—大别造山带相连,是俯冲碰撞型的大陆造山带,以其独特的复杂性、多阶段性更是得到国内外地质学家的青睐,并对其进行了深入的研究,成果极其丰硕。许志琴等(1990)、索书田等(1995)等通过造山带结构、变形分析和花状构造组合的研究,指出秦岭造山带是由多块体组成,存在平行造山带的左行平移现象。张国伟等(1997, 2001)对秦岭造山带进一步研究后认为秦岭造山带在长期的演化过程中形成了现今南北分带的主体构造格局,自北向南可划分为华北板块南缘、北秦岭、南秦岭和扬子板块北缘等构造带。在秦岭造山带内部发育的平行造山带的走滑剪切变形代表了典型碰撞造山带在陆内变形阶段的地壳运动特征,与其相邻的华北板块南缘地区也发育有相同的、平行于秦岭造山带的走滑剪切变

形构造,这些变形都是晚古生代泥盆纪以来华北板块南缘进一步演化以及陆内造山作用所造成的。

早期宋传中等(2009)在华北板块南缘石人山岩块内就发现了大量的晚古生代走滑剪切变形,但是相关研究仅限于石人山岩块南侧的洛南—栾川(洛栾)断裂带,对石人山岩块周缘的构造变形尚未研究。基于此,笔者等以华北板块南缘石人山岩块内的不同变形特征为主要内容,开展陆内变形方面的研究,并结合前人研究成果,系统阐述华北板块南缘石人山岩块晚古生代变形特征及变形年代。

1 构造背景

石人山岩块是发育于华北板块南缘的一个独立地质体(图1),出露面积约 2000 km^2 ,边界为断裂构造。南侧与宽坪群的界线为洛栾断裂带,北侧以车村断裂带与熊耳群火山岩相隔,东侧发育鲁山断裂带。石人山岩块自南向北由混合岩、片麻岩和岩浆

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41572177, 41272213, 41573023, 41072161, 41502193, 41272222)的成果。

收稿日期:2019-03-22;改回日期:2019-06-16;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.04.003

作者简介:王静雅,女,1993年生,博士研究生,构造地质学专业;Email: migorhappyday@126.com。通讯作者:任升莲,女,1963年生,博士,教授,主要从事构造矿物学、构造地质学教学和研究;Email: ren_lotus@126.com。

岩组成。除了北侧没有变形的花岗岩外,中、东部的花岗质片麻岩和南侧的混合岩都遭受了多次的强烈变形,它们都记录了不同时期构造活动的变形(任升莲等,2016a,2016b;王静雅等,2016)。

洛栾断裂带是北秦岭与华北板块南缘之间的一条变质变形十分强烈的断裂带,近东西向展布数百千米。其南侧为宽坪群,北侧主要为陶湾群、栾川群、太华群、石人山岩块等(裴先治等,1995)。前人的研究表明,在早古生代华北地块向宽坪群逆冲过程中伴随有明显的左行走滑运动,至晚古生代,这种走滑作用可能成为其主要活动方式(任升莲等,2010;胡达等,2015)。左行走滑形成的线理对早期的俯冲线理具有明显的改造作用,显示了石人山岩块向西的运动(宋传中等,2009;涂文传等,2013)。鲁山断裂带位于石人山岩块东北缘,呈NW—SE走向,形成于新太古代末的嵩阳运动期间,太华地块与嵩箕地块拼贴形成太华—嵩箕地块,该断裂即是其拼贴边界(唐辉明等,1989)。在中元古代早期,又经历陆内裂谷活动,喷发形成了熊耳群火山岩(裴放,1999)。车村断裂带位于石人山岩块北缘,是一个截切了鲁山断裂的脆性断裂,近东西走向,北侧为熊耳群火山岩。该断裂早期表现为压性,断裂带呈舒缓波状延展,挤压破碎,发育片理构造和构造透镜体;中期为张性,形成张性角砾岩带,切入早期挤压带内;晚期为压扭性,断面平直光滑,有斜向擦痕,发育劈理、断层泥及磨圆状硅质小砾石。前人研究表明,鲁山断裂与车村断裂内存在较多的硅化岩带、萤石脉及少量蛋白石、重晶石、方解石脉,它们为低温热液作用所形成,是热水强烈活动的显示,说明断裂在每次岩浆侵入和断裂活动时期伴随一定的热液活动,因此可能为长期活动的断裂带(夏中广,2015)。

2 洛南—栾川断裂带构造变形特征

洛南—栾川断裂带是一条延伸范围巨大的以左行走滑为主的韧性剪切变形带(宋传中等,2009; Dong Yunpeng et al., 2011),其南北两侧的沉积建造、岩浆活动、地球物理场和地球化学场等方面均显示不同,具有非常明显的线性特征(袁学诚等,1994;张国伟等,1996;韩江涛等,2016)。该断裂带总体走向 290° ,西段(栾川县境内)发育宽约500 m的大型破碎带,东段(南召县境内)主要为韧性变形的花岗片麻岩,并表现为由北向南逆冲推覆的特征。在石人山南部的产状为 $320^{\circ}\sim 355^{\circ}\angle 67^{\circ}\sim 80^{\circ}$,在石人山西南的产状为 $8^{\circ}\sim 21^{\circ}\angle 71^{\circ}\sim 74^{\circ}$,具有左旋斜

向汇聚特征,经历了多期构造活动且变形特征明显。强烈的构造活动产生大量的热,使北侧太华群部分熔融形成了同构造岩浆,沿构造薄弱带侵入断裂带形成石人山岩块同构造原生片麻岩(Wang Jingya et al., 2019)。因此,对洛栾断裂带的深入研究,可以解译石人山岩块的运动学特征和演化过程。笔者对洛栾断裂带进行了详细的野外考察和构造剖面研究,构造剖面自西向东包括马市坪—龙头沟剖面、杨树庄—石庙湾剖面、留山镇—昭平台水库剖面(图1、图2)。

2.1 马市坪—龙头沟剖面

该剖面位于洛栾断裂带的西段,基本垂直于断裂走向(图1、2a)。从马市坪往西北,沿河可见花岗岩片麻岩和混合岩,在竹园寺村可见糜棱岩化花岗片麻岩,其剪切面理为 $7^{\circ}\angle 65^{\circ}$,拉伸线理 $265^{\circ}\angle 9^{\circ}$,镜下可见具有明显的左行剪切变形特征(图3a),在断裂中段,可见片麻岩中有深浅相间的基性条带,变形带内褶皱变形极为强烈(图3b)。沿河可见河床出露的基性条带增多,为辉绿岩和角闪片岩条带,面理为 $219^{\circ}\angle 36^{\circ}$,其中含有钾长石和石英脉。剖面北部片麻岩较多,条带状片麻岩、花岗岩、糜棱岩等几种长英质岩石相间、交互出露,显示出变形强弱相间。可见钾长石斑晶,斑晶拖尾方向指示断裂带左旋(图3c),与此同时,发育枢纽与拉伸线理平行的A型褶皱(图3d),也表明洛栾断裂带经历了强烈的走滑剪切变形。

剖面沿途变形强烈,岩石普遍受中低级变质作用改造,在早古生代地层中常见发育一组剪切面理与矿物生长线理。各类岩石中的剪切面理与岩石片理一致,呈近东西走向,而剪切面上的矿物生长线理以北西西或近东西向为主,但是线理的倾伏角很缓,具有典型的走滑剪切变形特征。

2.2 杨树庄—石庙湾剖面

剖面位于石人山岩块南部石庙湾一带(图1、图2b),岩性主要为花岗片麻岩,剖面宽度约150 m。片麻岩面理为 $14^{\circ}\angle 63^{\circ}$,线理较水平,深色矿物成条带状,深浅条带分异清晰,流动现象明显,呈现不对称小褶皱。片麻岩中发育一系列平行的小剪切带,剪切带产状 $26^{\circ}\angle 66^{\circ}$,指示左旋剪切。该断裂带内岩石普遍发育近东西向透入性矿物生长线理,向东低角度倾伏,剪切面理大体上平行于岩石层理,总体走向为近东西向,倾角大于 50° ,野外观察可见近东西向的线理改造了北东—南西向的倾向线理,具有左行走滑性质(图4a),说明水平线理改造了俯

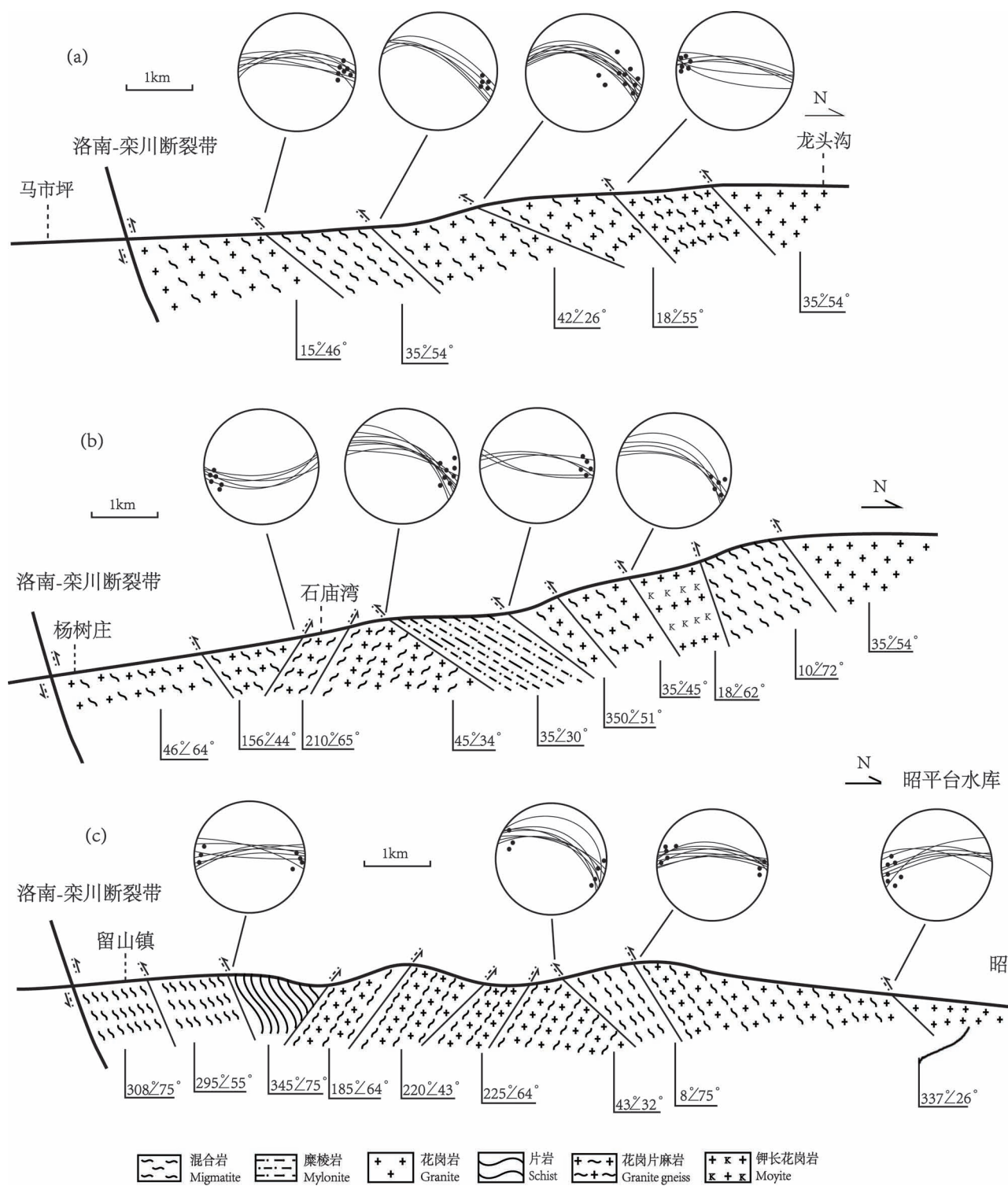


图 2 洛南—栾川断裂带地质构造剖面图 [剖面(a)、(b)、(c) 对应于图 1 中的剖面位置 (a)、(b)、(c)]

Fig. 2 Geological and structural section of Luonan—Luanchuan fault from west to east

[the section (a), (b) and (c) are corresponding to the section locations (a), (b), (c) in Fig. 1]

冲线理,其形成晚于俯冲线理。沿河可见河床中有若干条构造透镜体岩体(图 4b),走向 95°,由造山带水平运动拉伸形成。与此同时,在断裂带内发育

大量具有左行运动特征的柔流褶皱群(图 4c、d)。

2.3 留山镇—昭平台剖面

留山镇—昭平台构造剖面位于石人山岩块东



图 3 洛南—栾川断裂带马市坪—龙头沟剖面构造变形特征

Fig. 3 Structural deformation of the Mashiping—Longtougou section in the Luonan—Luanchuan fault

(a) 镜下左旋特征; (b) 褶皱; (c) 钾长石斑晶; (d) 与拉伸线理平行的 A 型褶皱

(a) microscopic sinistral rotation; (b) folds; (c) potash feldspar; (d) A-fold parallel to the lineation

部,从留山镇往北,依次可见宽坪群绿片岩、宽坪片岩、浅色片麻岩、片麻状花岗岩、花岗岩(图 1、图 2c)。岩石中普遍发育一组透入性拉伸线理,向北西或北西西方向低角度倾伏。在剖面中段可见基性岩条带、团块非常发育(图 5a),向北逐渐过渡到没有暗色条带的花岗岩,其间为渐变接触关系。岩石的变质程度由南向北逐渐变浅,暗色矿物、含水矿物逐渐减少。岩石中可见密集发育的 A 型剪切褶皱群,在 XZ 面上的不对称褶皱显示断裂带具有左行剪切变形的特征(图 5b),以及近垂直的糜棱岩带处,出露后期水平运动擦痕,表现出左旋特征。与此同时,岩石中发育长石脉体,成透镜状、长条带状,宽 1~3cm,变形特征显示左行剪切(图 5c)。剖面往南面理较直立,发育钾长石δ型旋转碎斑(图 5d)和石英斑晶(图 5e),同样显示了左行运动特征。

通过上述三条垂直于洛栾断裂带的构造剖面勘察和构造特征分析,认为石人山岩块向南西方向逆冲,且洛栾断裂带是一条具有左行走滑运动特征的韧性剪切带,其左行走滑使石人山岩块整体向西运动。

3 鲁山断裂构造变形特征

鲁山断裂带是石人山岩块东北部的一条区域性断裂,其北侧为熊耳群火山岩,总体呈近东西走向,沿下汤—鲁山一线延伸(图 1)。岩石中剪切面理和矿物生长线理总体呈南西走向,矿物生长线理倾伏角一般小于 40°(图 6)。鲁山断裂带中段长英质片麻岩中,原生片麻理被后期倾向南西的剪切面理完全置换,指示了右行运动特征(图 7a)。断裂的剪切面理倾向西南 230°~ 250°,倾角为 15°~ 45°,矿物

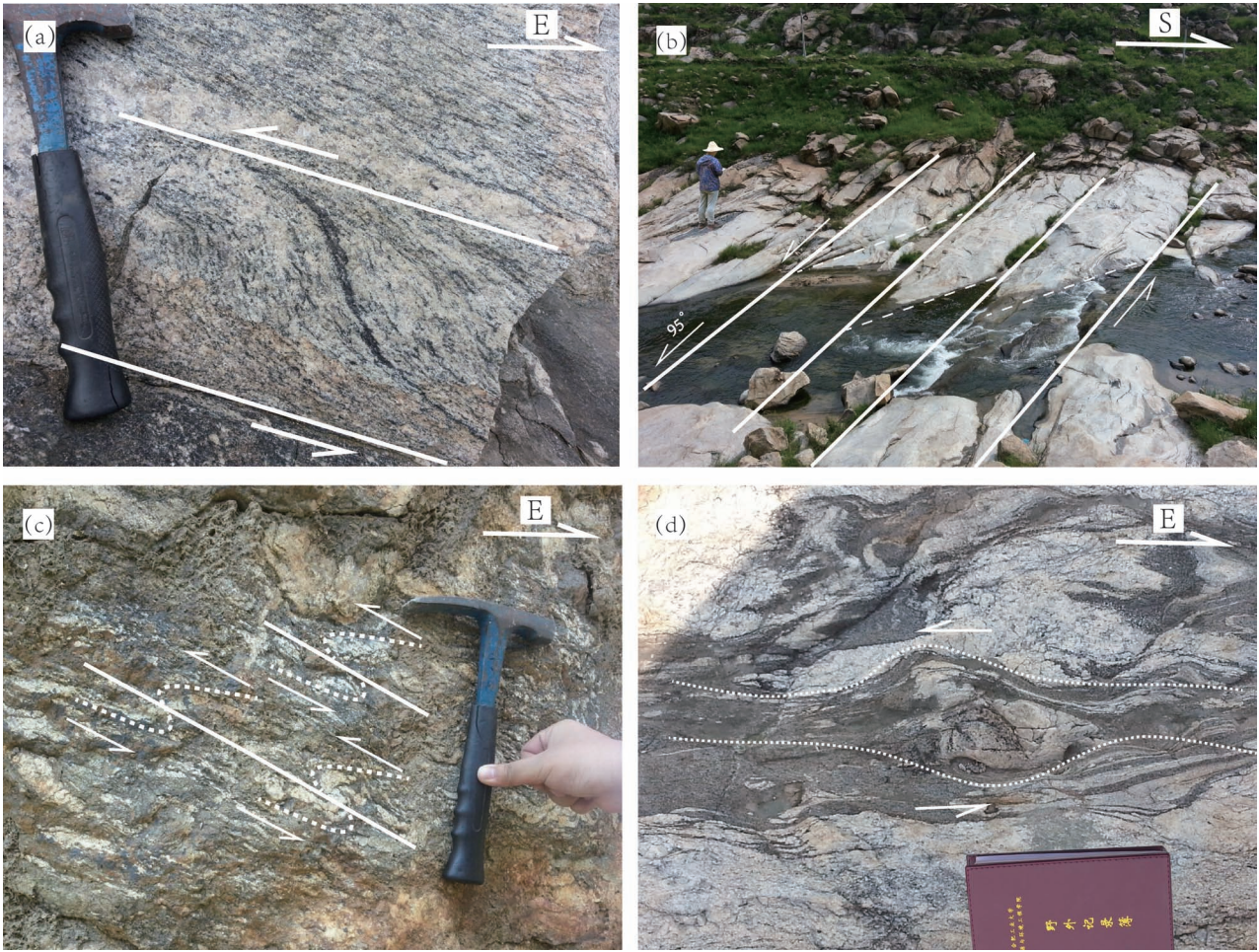


图 4 洛栾断裂带杨树庄—石庙湾剖面构造变形特征
Fig. 4 Structural deformation in the Yangshuzhuang—Shimiaowan section in Luoluan fault
(a) 指示左行运动特征;(b) 河床中的构造透镜体岩体;(c)、(d) 具有左行运动特征的柔流褶皱群
(a) indicate left-lateral movement;(b) tectonic lens in the riverbed;(c)、(b) fold groups with sinistral movement

生长线理倾伏向为 $250^{\circ} \sim 300^{\circ}$, 倾伏角为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。断裂以南主要为晚元古代—早古生代花岗质片麻岩及燕山期花岗岩, 花岗质片麻岩经历了明显的剪切变形, 其剪切面产状总体向南西倾, 剪切面上发育明显的拉伸线理, 镜下观察可见不对称旋转碎斑系与书斜构造等也指示了右行运动特征(图 7b)。在鲁山断裂以南的黑云斜长片麻岩中, 不对称褶皱表明经历了由南向北的逆冲变形(图 7c)。在褶皱的轴面劈理上有明显定向排列的云母, 其拉伸线理产状近东西向, 且基本近于水平(图 7d), 显示经历了走滑变形。褶皱的枢纽与拉伸线理平行, 显示了 A 型褶皱特点。与此同时, 岩石中发育的石英张性脉体与斑晶也指示了断裂右行运动特征(图 7e、f)。不对称褶皱总体显示了北西向斜向逆冲的特征, 矿物生长线理显示其以右行走滑变形为主。因此, 鲁

山断裂构造变形特征总体显示其向北西方向逆冲兼右行走滑, 也即说明石人山岩块向西、向上运动。车村断裂以脆性活动为主, 断裂切割北侧熊耳群和南侧燕山期花岗岩, 断裂走向 95° , 近平直, 发育宽 $500 \sim 2000 \text{ m}$ 的破碎带, 断层面倾向 $120^{\circ} \sim 150^{\circ}$, 倾角 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 具有向北逆冲的特征, 前人研究表明其形成于燕山晚期(裴放, 1999)。

结合以上研究以及石人山岩块周边断裂带的活动情况, 认为石人山岩块整体向西、向上运动, 具有向西挤出的特征。

4 变形时代

4.1 锆石测年分析

锆石的单矿物分离由河北省地勘局廊坊实验室完成, 将分离出的锆石在双目镜下挑出无裂痕透明

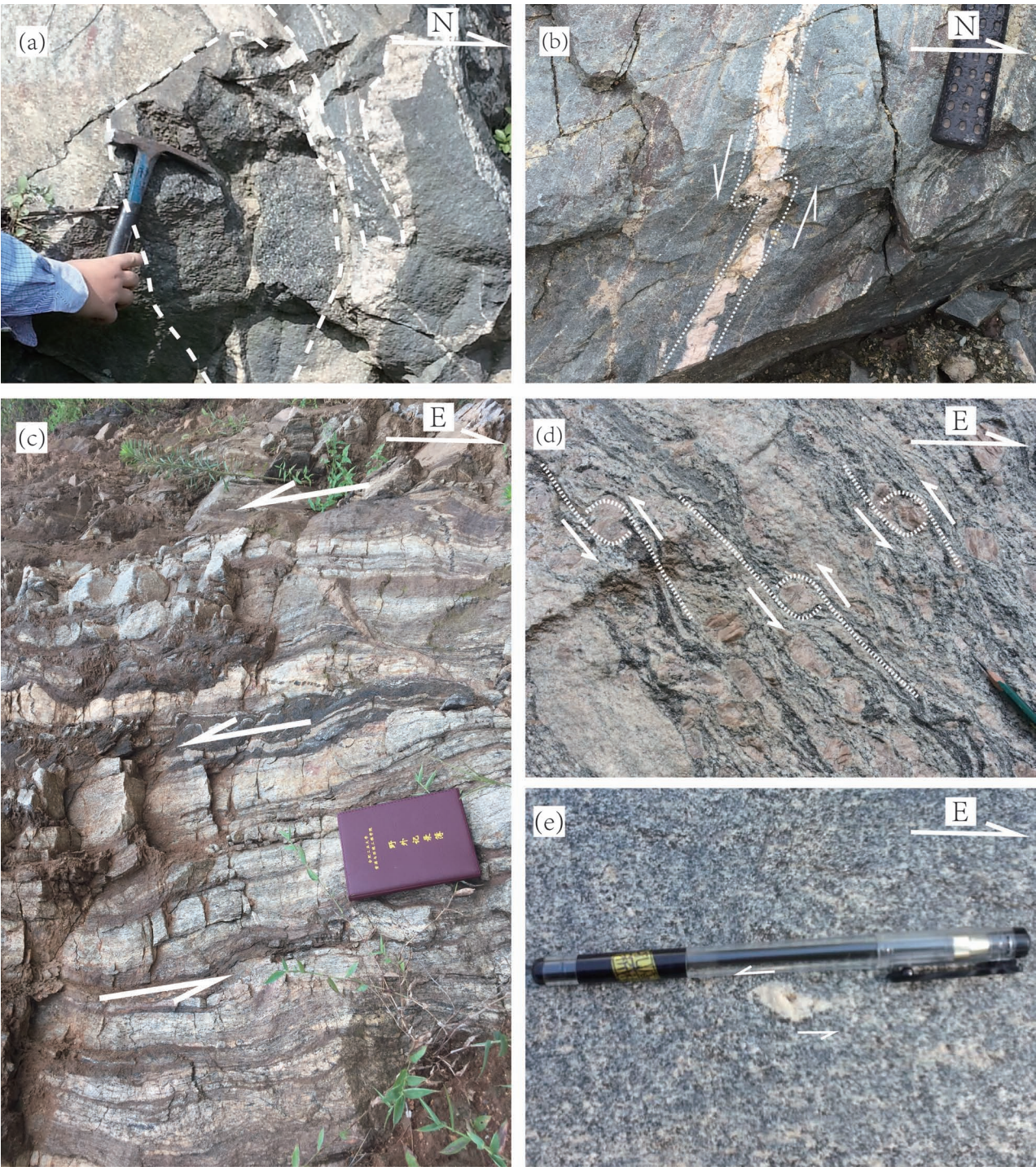


图 5 洛栾断裂带留山镇—昭平台剖面构造变形特征

Fig. 5 Structural deformation in the Liushanzhen—Zhaopingtai section in Luolan fault

(a) 水平线理改造俯冲线理; (b) XZ 面上的不对称褶皱; (c) 长石脉体;
(d) 肉红色钾长石条带; (e) 左旋特征的石英斑晶

(a) subduction lineation modified by horizontal lineation; (b) asymmetric folds on the XZ plane;
(c) feldspar veins; (d) potash feldspar; (e) quartz phenocrysts with sinistral movement

颗粒制成胶饼,抛光后进行锆石的光学与阴极荧光 (CL) 观察,最后利用 LA-ICP-MS 进行 U—Th—Pb

同位素分析。锆石 U-Pb 定年分析由合肥工业大学 LA-ICP-MS 洁净实验室完成。激光剥蚀孔径为 24

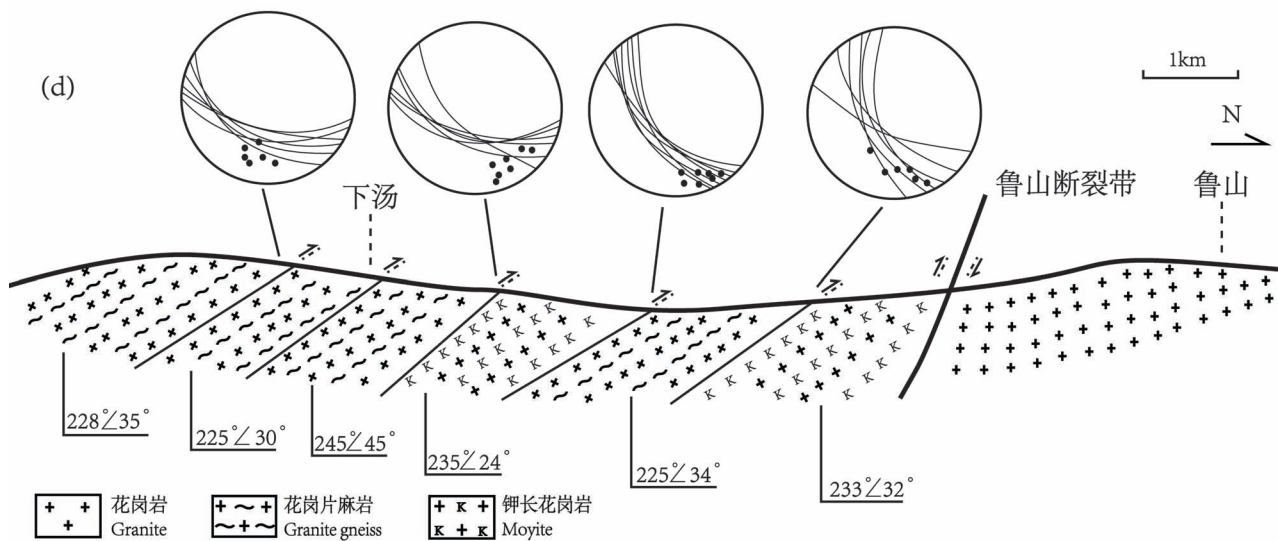


图 6 鲁山断裂带地质构造剖面图 [剖面位置见图 1 中的剖面(d)]

Fig. 6 Geological and structural section of Lushan fault [this section location is the (d) section in Fig. 1]

μm ,采用氦气作为载气,氩气为补偿气以调节灵敏度,用国际标样 91500 作为外标,元素含量采用 NISTSRM610 作为外标,每测试分析 5 个样品测两次标准锆石 91500,对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U—Th—Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDateCal9.0 完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同文献(Liu Yongsheng et al.,2010)。

4.2 洛南—栾川断裂变形时代

构造变形研究表明,洛栾断裂带经历了强烈的韧性和脆性左行走滑变形,但是现有研究涉及该期构造事件的时代较少,早期宋传中等(2006)对变形岩石中的多硅白云母进行 Ar-Ar 年代学测定,获得其年龄为 372 Ma,但是该年龄仅能反映云母达到封闭温度的冷却年龄;任升莲等(2016)利用石英进行 ESR 年代学研究,得到糜棱岩中动态重结晶石英的形成年代为 385 Ma;韩旭等(2018)利用锆石测定洛栾断裂带在卢氏段活动结束时间大概为 386 Ma。笔者等也曾对洛栾断裂带北部的石人山中部同构造片麻岩进行锆石年代学研究,得到的结晶年龄为 405 Ma(Wang et al.,2017)。为了获得更加准确反映该断裂初始活动的时间,笔者在断裂带内采集了同构造侵位的花岗岩脉体进行年代学研究。

在南召县仓房村河床底部的黑灰色片麻岩中有一条宽约 20 cm 的花岗岩脉体,该花岗岩脉体边部形成了与片麻理平行的片理,在脉体边界也可见围

岩片麻理发生牵引褶皱,说明脉体的侵入在片麻理形成稍后,但受到了其影响。因此,花岗岩脉体的年龄指示了形成片麻理的构造活动结束年代。利用该花岗岩样品(NC5-2)进行了锆石 U-Pb 测年(表 1)。

花岗岩 NC5-2 中锆石大多数呈长柱状,半截锥状,少数颗粒呈浑圆状,颗粒粒度多为 80~160 μm ,柱状晶体长宽比为 2:1~3:1,有大的可达 5:1(图 8)。同位素比值及年龄结果见表 1,根据 24 个有效分析点的测试结果,锆石韵律环带发育,和谐性较好的共 10 个分析点,锆石的 Th/U 值介于 0.43~0.48, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $413.6 \pm 7.4 \text{ Ma}$ (MSWD=0.09),反映了晚古生代泥盆纪早期的构造岩浆事件,也即洛栾断裂带在此时发生了左行走滑的构造活动。正是这期构造活动,形成了大量的糜棱岩,也造成了石人山岩块向西的运动。

4.3 鲁山断裂变形时代

沿鲁山断裂带的不同构造位置采集了变形的马家河组片麻岩岩石样品进行锆石 U-Pb 测年,分析结果见表 1。样品 NZ11-1 采自鲁山断裂带附近剪切特征明显的构造透镜体中的钾长石脉体,样品岩性为二长花岗片麻岩。

样品 NZ11-1 中的锆石粒度较大,颗粒粒度多为 100~200 μm ,长柱状,长宽比为 2:1~4:1(图 9),同位素比值及年龄结果见表 1。锆石阴极发光(CL)图像显示锆石具有明显的核一边结构,核部相对较宽,有明显的岩浆结晶环带,边部较窄,隐约可



图 7 鲁山断裂带内构造变形特征

Fig. 7 Structural deformation characteristics in Lushan fault

(a) 指示右行运动特征; (b) 镜下不对称旋转碎斑系与书斜构造; (c) 指示右行运动特征的不对称褶皱; (d) 褶皱轴面劈理上定向排列的云母; (e) 石英张性脉体; (f) 右旋特征的石英斑晶

(a) indicate right-lateral movement; (b) microscopic asymmetric rotating fragile system; (c) asymmetric folds with right-lateral movement; (d) oriented mica in axial cleavage of the fold; (e) quartz vein; (f) quartz with right-lateral movement

见环带结构,为变质边。对该样品共计做了 13 个有效分析点,同位素比值及年龄结果见表 1,其 Th/U 值介于 0.44 ~ 0.96, 总体符合岩浆锆石特征,

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $419.3\pm11.2\text{ Ma}$ (MSWD = 0.14), 反映了早泥盆—晚志留纪的构造岩浆事件。

表 1 华北板块南缘石人山岩块 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating data of the Zircons from the Shirensan block, southern margin of the North China Block

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)	
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$				
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ				
NC5-2: 同构造侵入花岗岩脉体, 位于南召县仓房村河床底部的黑灰色片麻岩中, 宽约 20cm																		
NC5-2-1	20.68	220	485	0.4536	0.0558	0.0025	0.5288	0.0089	0.0688	0.0007	418	106.7	410	13.7	409	7.2	96	
NC5-2-2	75.93	535	518	1.0328	0.0563	0.0022	0.5293	0.0088	0.0684	0.0007	445	112.6	415	13.2	410	4.2	92	
NC5-2-3	44.68	338	805	0.4199	0.0565	0.0028	0.5390	0.0088	0.0690	0.0007	451	88.4	418	13.1	410	4.4	93	
NC5-2-4	35.54	328	540	0.6074	0.0566	0.0021	0.5476	0.0099	0.0704	0.0007	468	96.1	422	14.2	412	8.2	95	
NC5-2-5	60.80	139	340	0.4088	0.5670	0.0023	0.5400	0.0103	0.0695	0.0007	455	112.6	418	13.6	412	8.8	92	
NC5-2-6	45.92	193	185	1.0432	0.0563	0.0024	0.5412	0.0116	0.0698	0.0007	442	98.5	418	14.1	415	5.2	99	
NC5-2-7	25.85	633	1300	0.4869	0.0567	0.0023	0.5406	0.0085	0.0692	0.0007	452	103.2	426	13.4	417	5.6	93	
NC5-2-8	66.48	175	330	0.5303	0.0559	0.0022	0.5420	0.0104	0.0704	0.0007	443	106.7	421	13.8	417	5.4	94	
NC5-2-9	37.60	405	656	0.6174	0.0570	0.0026	0.5530	0.0090	0.0703	0.0008	473	100.2	425	13.3	418	6.6	93	
NC5-2-10	25.47	194	372	0.5215	0.0566	0.0022	0.5436	0.0100	0.0701	0.0007	450	107.7	423	14.0	418	6.8	99	
NZ11-1: 走滑剪切变形透镜体内钾长石脉体, 围岩为二长花岗岩片麻岩																		
NZ11-1-1	51.78	828	1712	0.4836	0.0634	0.0021	0.5853	0.0122	0.0670	0.0014	573	89.3	468	14.2	405	8.5	93	
NZ11-1-2	106.45	356	442	0.8054	0.0591	0.0021	0.5487	0.0161	0.0673	0.0015	1288	95.5	591	14.1	408	9.2	98	
NZ11-1-3	33.21	227	211	1.0758	0.0547	0.0022	0.5155	0.0179	0.0683	0.0017	526	106.3	479	13.2	416	10.1	93	
NZ11-1-4	79.38	109	195	0.5590	0.0550	0.0021	0.5205	0.0174	0.0686	0.0015	996	111.4	552	13.1	417	9.2	90	
NZ11-1-5	88.50	560	2600	0.2154	0.0623	0.0023	0.5890	0.0138	0.0686	0.0021	384	108.8	418	13.1	418	12.7	98	
NZ11-1-6	30.70	185	200	0.9250	0.0573	0.0025	0.5483	0.0196	0.0693	0.0021	866	101.6	493	13.5	422	12.9	92	
NZ11-1-7	66.29	354	442	0.8009	0.0591	0.0026	0.5655	0.0127	0.0693	0.0015	377	97.1	411	13.3	422	9.2	91	
NZ11-1-8	83.11	528	1603	0.3294	0.0613	0.0022	0.5868	0.0228	0.0693	0.0019	379	93.6	447	13.2	422	11.2	99	
NZ11-1-9	59.28	716	1586	0.4515	0.0595	0.0022	0.5736	0.0305	0.0696	0.0014	489	106.9	426	14.6	424	9.2	99	
NZ11-1-10	50.30	741	1457	0.5086	0.0622	0.0021	0.5993	0.0135	0.0699	0.0016	962	101.3	531	13.3	425	9.9	91	
NZ11-1-11	101.68	77	162	0.4753	0.0558	0.0023	0.5377	0.0188	0.0699	0.0020	479	115.3	540	14.3	425	11.3	87	
NZ11-1-12	52.20	109	195	0.5590	0.0550	0.0025	0.5351	0.0145	0.0699	0.0019	444	99.5	431	14.5	426	11.2	95	
NZ11-1-13	36.66	627	1282	0.4891	0.0618	0.0021	0.5965	0.0176	0.0700	0.0013	457	101.2	513	14.1	427	7.6	94	

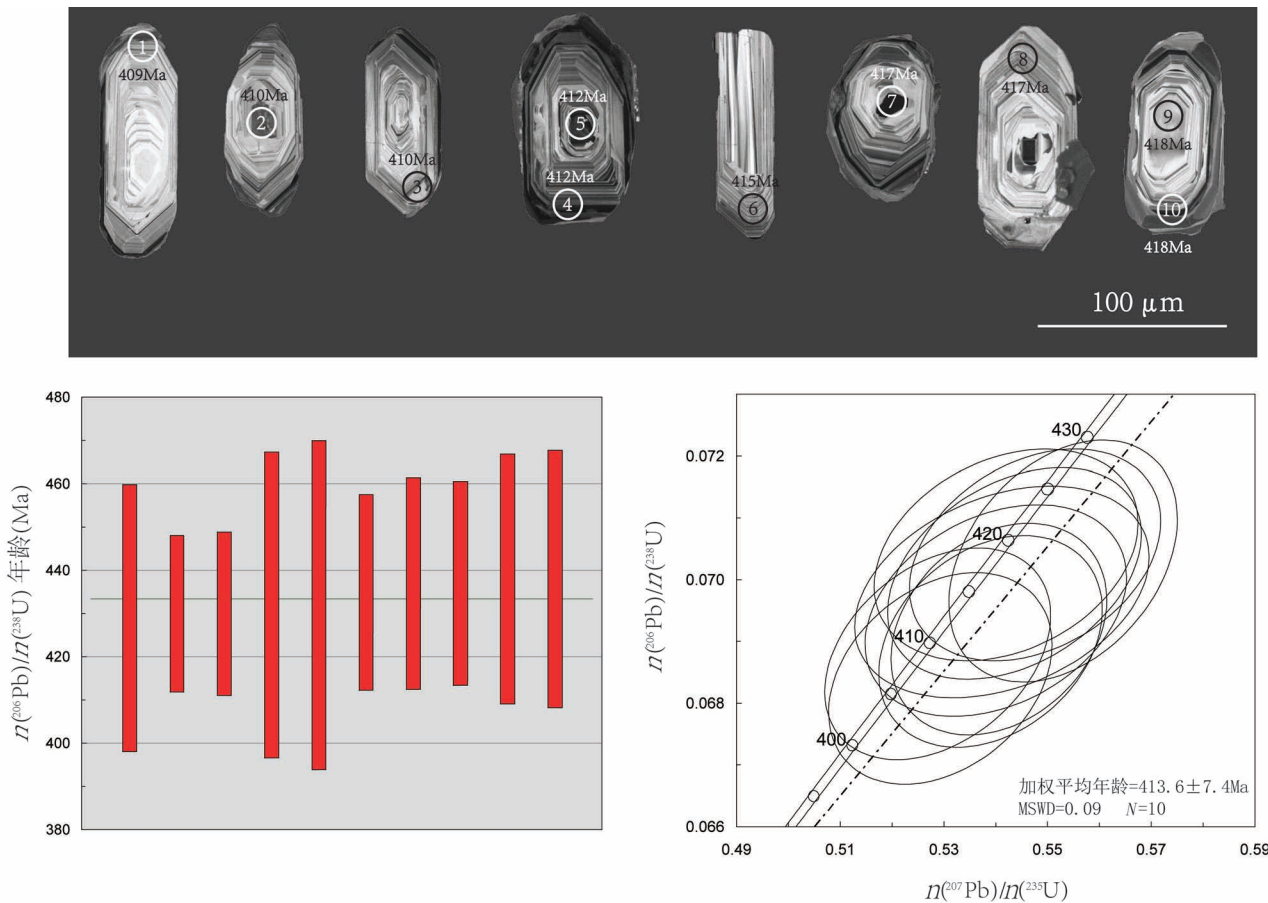


图 8 洛乐断裂锆石 CL 图像及 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 CL images and U-Pb age concordant diagram of zircons in Loulun fault belt

5 石人山岩块的侧向挤出特征

晚古生代,华北板块南缘经历了强烈的构造岩浆热事件,形成了巨量的花岗岩体,岩浆活动集中在 400 Ma 左右,其地球化学组成显示了后碰撞富钾钙碱性花岗岩体特征,从而指示了该时期扬子和华北两大板块的碰撞汇聚已经开始转向伸展环境,表明华北板块南缘的陆块碰撞拼贴已经转入了陆内变形阶段(Wang et al., 2019),形成了一系列近平行的走滑型断裂,导致断裂间的岩块产生东西向的运动,形成挤出构造。

通过上述的研究表明,在晚古生代,石人山岩块南部边界断裂——洛乐断裂带发生左行走滑,而其北东侧的鲁山断裂带为北西方向逆冲兼右行走滑,因而介于它们之间的石人山岩块表现出向西、向上挤出的特征。同位素年代学研究表明,两条断裂带发生走滑变形的时间都是晚古生代泥盆纪早期。所以这种同期发育的平行造山带的走滑断裂共同造成

了石人山岩块整体向西与向上方向挤出的构造效应。并且在洛乐断裂带以南,基本没有出露晚古生代时期的花岗岩,也表明该时期洛乐断裂带与鲁山断裂带之间的石人山岩块可能以统一的块体向西运动。因此,华北板块南缘晚古生代的陆内变形阶段以平行造山带的侧向挤出为主要构造特征,并且伴随着主碰撞构造位置的转变,侧向挤出块体也会发生变化,对于这种挤出构造的规模和时间还有待进一步研究。此外,石人山岩块的侧向挤出作用使得岩石圈结构发生破碎和剪切,并扰动地壳深部,导致热异常,从而形成大规模的岩浆活动(Wang et al., 2017)。在洛乐断裂带上,由于断裂带发生了左行走滑构造作用,使铁镁质岩浆会沿着先存的断裂带上涌,在花岗岩岩体裂缝中侵入就位、冷凝,形成铁镁质岩墙(任升莲等,2010)。因而石人山岩块晚古生代花岗岩的产生,是伴随着左行走滑断裂形成的,断裂带为岩浆的侵入提供了前提条件,岩浆侵位又进步加大了断裂带规模的形成。二者具有相互制

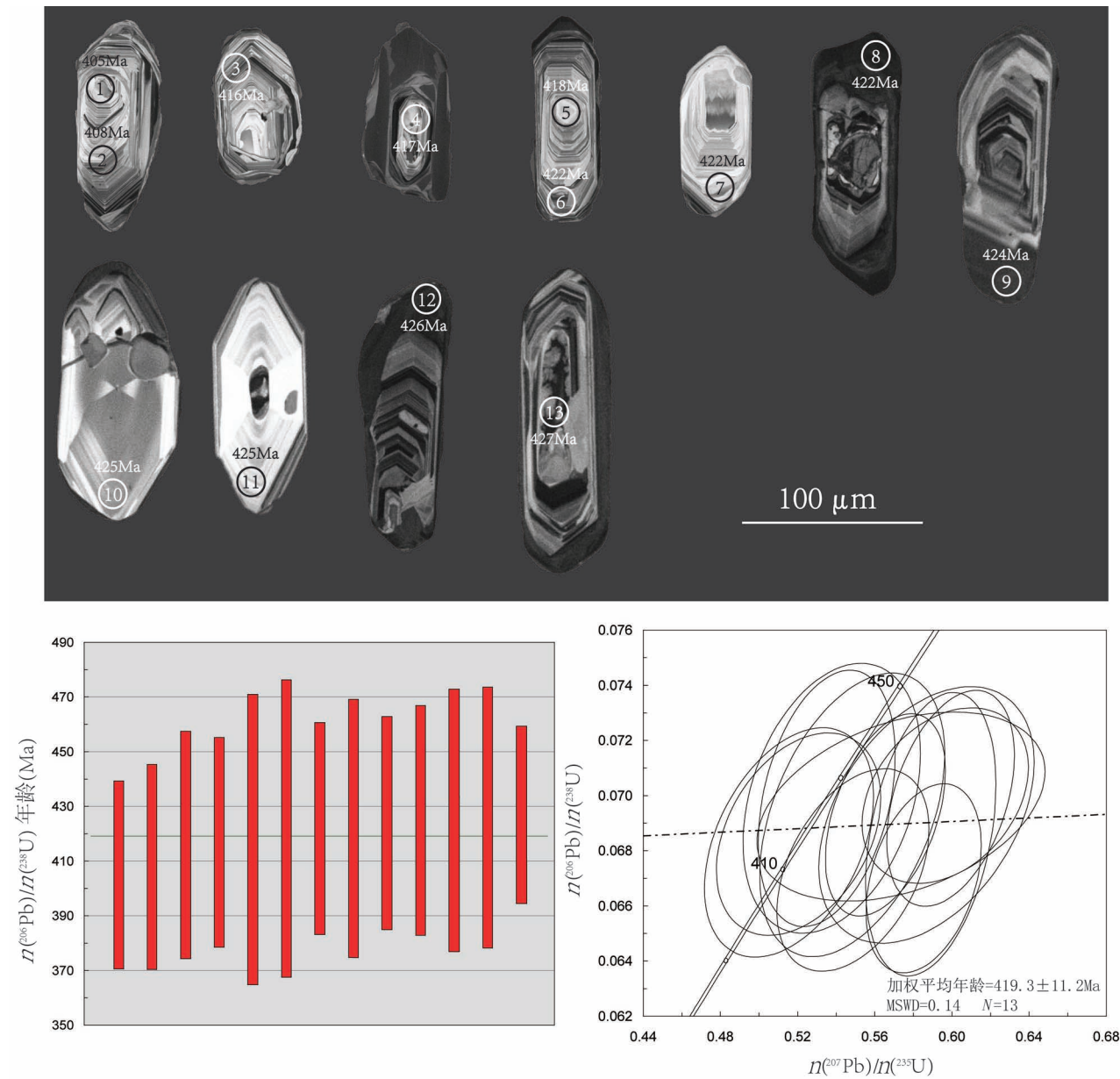


图 9 鲁山断裂锆石 CL 图像及 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 9 CL images and U-Pb age concordant diagram of zircons in Lushan fault belt

约、互为限制性的紧密联系,对华北板块南缘晚古生代以来的构造变形特征和现今的构造格架起到了重要的作用。

6 结论

通过对石人山岩块变形及年代学分析,得出以下几点认识:

(1) 华北板块南缘石人山岩块南部的洛栾断裂带具有左行剪切变形的特征,同构造侵入的花岗岩脉的锆石年龄为 413.6 ± 7.4 Ma,表明该断裂的左行

走滑运动至少自晚古生代已经开始活动。

(2) 华北板块南缘石人山岩块北部的鲁山断裂带具有右行剪切变形特征,走滑剪切变形透镜体内脉体的锆石年龄为 419.3 ± 11.2 Ma,表明该断裂经历了早泥盆—晚志留纪的构造变形活动。

(3) 秦岭造山带内陆内变形自晚志留纪开始后,一直持续到晚古生代。在这段时间内,华北板块南缘石人山岩块以强烈的陆内走滑和侧向挤出构造为主要的构造变形方式。

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 胡达,任升莲,宋传中,李加好,张妍,林寿发,李龙明,黄鹏,刘国厅. 2015. 东秦岭陶湾岩群碳酸盐质糜棱岩的变质—变形特征及形成环境分析. 地质论评,61(5):1079~1088.
- 韩江涛,刘国兴,韩松,高锐,王海燕,梁宏达. 2016. 秦岭造山带与渭河地堑地电结构研究. 地质科学,51(1):76~85.
- 韩旭,任升莲,李龙明,李加好,葛粲,宋传中,林寿发,王静雅,李振强. 2018. 东秦岭卢氏地区奥陶系陶湾群的变质变形特征及形成环境分析. 地质论评,64(2):378~391.
- 裴放. 1999. 平顶山市三条主要断裂及其对矿产的影响. 河南地质,17(2):16~20.
- 裴先治,张维吉,王涛. 1995. 北秦岭造山带的地质特征及其构造演化. 西北地质,16(4):8~12.
- 任升莲,宋传中,李加好,陈泽超,黄文成,张浩然,张华. 2010. 秦岭石人山岩块的构造岩石学特征及其意义. 中国地质,37(2):347~356.
- 任升莲,刘国厅,宋传中,李加好,杨帆,王静雅,王微,胡达. 2016a. 秦岭洛南—栾川断裂带角闪石的变质变形特征及其意义. 岩石学报,32(3):775~786.
- 任升莲,李加好,李龙明,葛粲,宋传中,林寿发,刘国厅,孙文龙,王静雅. 2016b. 洛南—栾川断裂带(栾川段)变形特征及形成环境研究. 地质科学,51(4):1074~1089.
- 宋传中,张国伟,牛漫兰,刘国生,霍立新. 2006. 秦岭造山带北缘的斜向碰撞与汇聚因子. 中国地质,33(1):48~55.
- 宋传中,张国伟,任升莲,李加好,黄文成. 2009. 秦岭—大别造山带中几条重要构造带的特征及其意义. 西北大学学报(自然科学版),39(3):368~380.
- 索书田,侯光久,魏启蒙,郑贵洲. 1995. 造山带内部的正花状构造. 湖北地质,9(1):1~13.
- 唐辉明,潘别桐. 1989. 河南下汤地区温泉形成机制及其与车村—鲁山断裂的关系. 地球科学,14(2):173~180.
- 涂文传,宋传中,任升莲,李加好,张欢. 2013. 北秦岭瓦穴子—乔端断裂带的构造特征及形成温度—压力条件探讨. 地质论评,59(4):760~768.
- 王静雅,任升莲,宋传中,李加好,张妍,李龙明,刘国厅,王凯,胡达. 2016. 秦岭石人山南缘岩石变质变形分析及其构造意义. 地质论评,62(4):870~880.
- 夏中广. 2015. 河南下汤温泉与车村—鲁山断裂的关系及电测深法在其勘查中的应用. 物探与化探,39(1):95~99.
- 许志琴,卢一伦,汤耀庆. 1990. 中国的脊梁——秦岭山链的形成——聚合、碰撞及陆内俯冲. 中国地质科学院院报,12(1):130~132.
- 袁学诚,徐明才,唐文榜,王庆海. 1994. 东秦岭陆壳反射地震剖面. 地球物理学报,37(6):749~758.
- 张国伟,孟庆任,赖绍聪. 1995. 秦岭造山带的结构构造. 中国科学(B辑),25(9):994~1003.
- 张国伟,郭安林,刘福田,孟庆任,肖庆辉. 1996. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析. 中国科学(D辑),26(增刊):1~6.
- 张国伟,董小鹏,姚安平. 1997. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化. 陕西地质,7(2):1~14.
- 张国伟,董小鹏,姚安平. 2001. 造山带与造山作用及其研究的新起点. 西北地质,15(1):1~9.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Franz Neubauer, Liu Xiaoming, Johann Genser, Christoph Hauzenberger. 2011. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. Journal of Asian Earth Sciences, 41(3):213~237.
- Dong Yunpeng, Yang Zhao, Liu Xiaoming, Zhang Xiaoning, He Dengfeng, Li Wei, Zhang Feifei, Sun Shengsi, Zhang Hongfu, Zhang Guowei. 2014. Neoproterozoic amalgamation of the northern Qinling terrain to the North China Craton: Constraints from geochronology and geochemistry of the Kuanping ophiolite. Precambrian Research, 255:77~95.
- Dong Yunpeng and Santosh M. 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling orogenic belt, central China. Gondwana Research, 29(1):1~40.
- Han Jiangtao, Liu Guoxing, Han Song, Gao Rui, Wang Haiyan, Liang Hongda. 2016&. Electrical structure study on the Qinling orogenic belt and Weihe graben. Chinese Journal of Geology, 51(1):76~85.
- Han Xu, Ren Shenglian, Li Longming, Li Jiahao, Ge Can, Song Chuanzhong, Lin Shoufa, Wang Jingya, Li Zhenqiang. 2018&. An analysis on Metamorphic and deformation characteristics and formation environment of the Ordovician Taowan Group in Lushi Area, Eastern Qinling Mountains. Geological Review, 64(2):378~391.
- Hu Da, Ren Shenglian, Song Chuanzhong, Li Jiahao, Zhang Yan, Lin Shoufa, Li Longming, Huang Peng, Liu Guoting. 2015&. The analysis on metamorphic and deformation characteristics and formation environment of carbonate mylonite of Taowan Group in east Qinling. Geological Review, 61(5):1079~1088.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, Gao Changgui, Gao Shan, Xu Juan, Chen Haihong. 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. Chinese Science Bulletin, 55(15):1535~1546.
- Pei Fang. 1999&. The three major fractures in Pindingshan City and their influence on the minerals. Henan Geology, 17(2):16~20.
- Pei Xianzhi, Zhang Weiji, Wang Tao. 1995&. Geological characteristics and tectonic evolution of the North Qinling orogenic belt. Northwestern Geology, 16(4):8~12.
- Ren Shenglian, Song Chuanzhong, Li Jiahao, Chen Zechao, Huang Wencheng, Zhang Haoran, Zhang Hua. 2010&. Petro morphology of the Shiren Mountain block in the Qinling orogenic belt and its significance. Geology in China, 37(2):347~356.
- Ren Shenglian, Liu Guoting, Song Chuanzhong, Li Jiahao, Yang Fan, Wang Jingya, Wang Wei, Hu Da. 2016a&. Deformation and metamorphic characteristics of amphiboles in the Luonan—Luanchuan fault belt of the Qinling Orogen and its significance. Acta Petrologica Sinica, 32(3):775~786.
- Ren Shenglian, Li Jiahao, Li Longming, Ge Can, Song Chuanzhong, Lin Shoufa, Liu Guoting, Sun Wenlong, Wang Jingya. 2016b&. Luonan—Luanchuan fault belt(Luanchuan section) deformation and formation environment of characteristics. Chinese Journal of Geology, 51(4):1074~1089.
- Ren Shenglian, Song Chuanzhong, Li Jiahao. 2016. Application of electron spin resonance (ESR) dating to ductile shearing: Examples from the Qinling orogenic belt, China. Journal of Structural Geology, 85(2016):12~17.
- Song Chuanzhong, Zhang Guowei, Niu Manlan, Liu Guosheng, Huo Lixin. 2006&. Oblique collision and convergence factor on the northern margin of the Qinling orogenic belt. Geology in China, 33(1):48~55.
- Song Chuanzhong, Zhang Guowei, Ren Shenglian, Li Jiahao, Huang

Wencheng. 2009&. The research on deformation features of some structural zones in the Qinling—Dabieshan orogenic belt. *Journal of Northwest University (Nature Science Edition)*, 39(3):368~380.

Suo Shutian, Hou Guangjiu, Wei Qimeng, Zheng Guizhou. 1995&. Tectonic characteristics and evolution of the Wudang Group. *Hebei Institute of Geosciences*, 9(1):1~13.

Tang Huiming, Pan Bietong. 1989&. The mechanism of Xiatang warm spring and its relation to Checun—Lushan fault. *Earth Science*, 14(2):173~180.

Tu Wenchuan, Song Chuanzhong, Ren Shenglian, Li Jiahao, Zhang Huan. 2013&. Study on structural features and *P—T* conditions of the Waxuezi—Qiaoduan Fault Zone in northern Qinling Mountains. *Geological Review*, 59(4):760~768.

Wang Jingya, Ren Shenglian, Song Chuanzhong, Li Jiahao, Zhang Yan, Li Longming, Liu Guoting, Wang Kai, Hu Da. 2016&. Metamorphism and deformation analysis of rocks in Southern margin of Shirensan and its tectonic significance, Qinling. *Geological Review*, 62(4):870~880.

Wang Jingya, Ren Shenglian, Li Jiahao, Li Quanzhong, Song Chuanzhong, Li Longming, Lin Shoufa, Huang Yonglong, Han Xu, Li Zhenqiang. 2017. Study on deformation of Shirensan Block in the north Qinling. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 91(1):351~352.

Wang Jingya, Ren Shenglian, Jiang Dazhi, Dong Shuwen, Li Jiahao, Li Longming, Ge Can, Song Chuanzhong, Han Xu, Li Zhenqiang. 2019. New zircon U-Pb ages of the Shirensan Gneiss, North Qinling and

their geological implications. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 93(1):238~240.

Xia Zhongguang. 2015&. The relationship between Xiatang warm spring and Checun—Lushan fault and the electrical sounding method as well as its application in exploration. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 39(1):95~99.

Xu Zhiqin, Lu Yilun, Tang Yaoqin. 1990&. The formation of the Qinling Mountain China as the backbone of China, convergence, collision and intracontinental subduction. *Bulletin of The Chinese Academy of Geological Sciences*, 12(1):130~132.

Yuan Xuecheng, Xu Mingcai, Tang Wenbang, Wang Qinghai. 1994&. Eastern Qinling seismic reflection profiling. *Acta Geophysica Sinica*, 37(6):749~758.

Zhang Guowei, Meng Qinren, Lai Shaocong. 1995&. Structure and Tectonics of the Qinling Orogen. *Science in China: Series B*, 25(9):994~1003.

Zhang Guowei, Guo Anlin, Liu Futian, Meng Qingren, Xiao Qinghui. 1996&. 3D structure and dynamic analysis of Qinling orogenic belt. *Science in China: Series D*, 26(Supplement):1~6.

Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Yao Anping. 1997&. The crustal compositions, structures and tectonic evolution of the Qinling orogenic belt. *Geology of Shaanxi*, 7(2):1~14.

Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Yao Anping. 2001&. Review on the development of studies on the tectonic and orogen process of orogenic belt, and discussing on some new key problems. *Northwestern Geology*, 15(1):1~9.

Late Paleozoic intracontinental deformation and lateral extrusion structures of the Shirensan in the southern margin of the North China Block

WANG Jingya¹⁾, REN Shenglian¹⁾, DONG Shuwen²⁾, LI Jiahao¹⁾, SONG Chuanzhong¹⁾, LIN Shoufa³⁾, HAN Xu¹⁾, LI Zhenqiang¹⁾, ZHANG Gang¹⁾, WANG Ying¹⁾, YANG Qingliang¹⁾

1) School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China;
2) School of Geoscience and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 230026, China;
3) University of Waterloo, Waterloo, Ontario, N2L 3G1, Canada

Objectives: The southern margin of the North China Block underwent complex intracontinental deformation during the Paleozoic. A-type folds parallel to the fault and near-horizontal mineral growth lineation developed in large numbers in the boundary faults of the Shirensan block, which indicates that this block had undergone a tectonic stage dominated by strike-slip shear deformation.

Methods: In this study, four cross sections were observed. We used geological mapping, key sections of the profile drawing, structural analysis and other conventional construction methods. We present new geochronological results, and document the emplacement Zircon U-Pb age of the sample.

Results: Dynamics study shows that the Luoluan fault is characterized by NE subduction and left-lateral shear deformation, while the Lushan fault is characterized by NW thrust and right-lateral shear deformation, and that the Shirensan block sandwiched therein displays features of being westward and upward extruding. Using typical rock samples for isotope dating to define the age of the fault activity, zircon U-Pb dating results of the syntectonic granite veins in the Luoluan fault are (413.6±7.4) Ma; and in the Lushan fault, inside the structural lentils with obvious strike-slip shear characteristics, zircon dating results of the veins are (419.3±11.2) Ma.

Conclusions: Given that the movement directions of the Luoluan and Lushan faults are different, and that the

isotope chronology study has pinpointed the time of the strike-slip deformation of the two faults to the end of the Late Paleozoic Devonian, the structural characteristics of the Shirensan block being westward extruding is jointly constituted. This finding also suggests that continents after collision soon enter the evolution stage of intracontinental deformation which consists mainly of lateral extrusion and strike-slip displacement of orogenic belts.

Keywords: southern margin of the North China Block; Shirensan; intracontinental deformation; lateral extrusion; Luoluan fault; Lushan fault

Acknowledgements: This was finally supported by the National Nature Science Foundation of China (Nos. 41572177,41272213,41573023,41072161,41502193,41272222)

First author: WANG Jingya, female, born in 1993. Ph.D candidate, mainly engaged in structural geology, Email: migorhappyday@ 126.com

Corresponding author: REN Shenglian, female, born in 1963. Ph. D, professor, mainly engaged in the teaching and research of structural geology, Email: ren_lotus@ 126.com

Manuscript received on: 2019-03-22; Accepted on: 2019-06-16; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.04.003

世界华人地质科学研讨会在长春召开

2019 年 6 月 1~2 日,由中国地质学会主办,吉林大学、吉林省地质学会协办的第九届世界华人地质科学研讨会在长春召开,来自中国、美国等国家和地区的 350 余名华人地质学家以“东亚地质与经济社会发展”为主题,分享了各自在地质—资源—环境等方面的探索成果。世界华人地质科学研讨会于 1999 年由中国地质学会、台湾大学地质学系及香港地质学会联合发起,已陆续在北京(1999)、旧金山(斯坦福大学,2000)、香港(香港大学,2001)、南京(南京大学,2002)、台北(2004)、赤峰(市内和克什克腾世界地质公园,2005)、成都(成都理工大学,2013)、台北(2015)举办了 8 届。

中国地质调查局副局长王研在开幕式致辞时表示,在经济全球化、构建人类命运共同体以及“一带一路”倡议的背景下,中国地学界愿意与世界各国、各地区的地质学家共同分享彼此的经验和成果,共同促进人类社会进步和可持续发展做出贡献。王研还透露,目前,中国在联合国教科文组织和国际地质科学联合会的支持下,正在牵头实施“化学地球”和“全球岩溶”两大地学科学计划,这将成为各国开展国际合作的重要平台。

海外华人地球科学与技术协会主席周义明自连续参加了第二届至第九届世界华人地质科学研讨会,他认为,该研讨会已经成为世界华人地质学家凝聚共、识、促进交流及合作的重要平台。

开幕式后,中国科学院院士郭正堂、郝芳、杨经绥,中国科学院深海科学与工程研究所深海极端环境模拟研究实验室主任周义明,美国密苏里科技大学教授高尚行,香港大学教授焦赳赳等 6 位专家,分别以“风尘堆积与全球变化”、“关于深层油气富集和保存若干问题的思考”、“金刚石与地球深部物质循环”、“透视高压腔的研发与实验地球化学基础研究的进展”、“构造地震学——探索地表地质现象与壳幔不均一

性的关系”、“海底地下水排泄对南海营养物的贡献”为题,作了精彩的大会主题报告。

与会专家围绕板块活动与环太平洋火山带、东亚地区地震活动与地震地质、西太平洋地区矿产资源与勘查、地球关键带相互作用与效应、地球深部地质与地球动力学、高精度地层格架、化石生物群及其生态环境背景、能源勘查和开发、水文地质与地质灾害防治、地质勘查技术与实验方法、矿山地质与绿色矿山、地质遗迹与地质公园建设等议题进行了交流。

会议分析了国际地球科学发展呈现出的新态势:地球系统科学迅速发展,地球圈层相互作用、地球系统过程和整体行为、人类活动与地球系统之间的相互作用和相互影响逐渐成为研究重点;地球系统科学与大数据相融合,促进地质数据密集型的科研方式形成与地质工作方式现代化;更综合、更复杂的资源和环境问题,要求地球科学与生物科学、环境科学等其他相关学科融合发展。地球科学发展的新态势,正在推进地质学科交叉与融合,构建以地球系统科学为核心的学科体系,促进新兴学科发展。

会议认为,中国实施的创新驱动发展战略,对地质工作质量和服务水平、科技创新能力提出了更高更新的要求。面向未来,世界华人地质学家要以全球视野,加强互联互通,主动融入世界科技革命大潮,围绕重大、重要的地质—资源—环境问题,在解决全球能源资源、生态环境等重大问题中,加强地球科学合作,攻坚克难、携手共进,充分发挥地质科技的支撑和引领作用,共促国家和区域经济社会发展。

(中国地质学会 王涛 供稿 章雨旭 编辑)

WANG Tao: The 9th World Chinese Conference of Geological Sciences held in Changchun