

· 专题研究 ·

# 医巫闾山变质核杂岩核部晚中生代花岗岩成因及地质意义

梁键婷<sup>1</sup>, 欧阳志侠<sup>2</sup>, 张莹<sup>3</sup>, 李建波<sup>1</sup>, 曾涛<sup>1</sup>, 周智超<sup>1</sup>

(1. 东华理工大学, 江西 南昌 330029; 2. 广东省有色地质勘查院, 广东 广州 510000; 3. 中陕核工业集团二一八大队有限公司, 陕西 西安 710100)

**摘要:** 位于华北克拉通北缘的医巫闾山变质核杂岩是中生代东北亚大陆大规模伸展变形的一个代表。本文在系统收集该区已有数据的基础上,对医巫闾山变质核杂岩核部晚中生代花岗岩的主量元素、微量元素以及 Sr-Nd 同位素进行了测试分析和特征总结,进而讨论其成因及地质意义。研究结果显示,医巫闾山花岗岩主要为一套由黑云母二长花岗岩和花岗闪长岩等组成的杂岩体,总体上富硅( $\text{SiO}_2=61.17\% \sim 75.21\%$ )、富碱( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=7.34\% \sim 9.03\%$ ),呈准铝质-过铝质( $A/\text{CNK}=0.96 \sim 1.08$ ),属于高钾钙碱性,与 I 型花岗岩特征相一致;大部分花岗岩具有弱的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu}=0.71 \sim 1.63$ ),富集大离子亲石元素(Rb、Ba、Sr)和轻稀土元素,亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti)和重稀土元素,高 Sr( $308 \times 10^{-6} \sim 1.414 \times 10^{-6}$ , 平均  $709 \times 10^{-6}$ ),低 Y( $3.17 \times 10^{-6} \sim 13.30 \times 10^{-6}$ , 平均  $7.86 \times 10^{-6}$ )和 Yb( $0.45 \times 10^{-6} \sim 1.32 \times 10^{-6}$ , 平均  $0.78 \times 10^{-6}$ ),具有埃达克质岩的特征;同位素分析结果显示,早期同侵位花岗岩具有变化较大的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值( $0.695\,966 \sim 0.707\,869$ )和较低的  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值( $-21.72 \sim -18.32$ ),表明其物源为古老地壳,应是加厚下地壳在区域伸展减压背景下部分熔融的产物,晚期变形后侵位花岗岩的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 值为  $0.705\,909 \sim 0.706\,774$ ,  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值为  $-20.60 \sim -16.99$ ,与晚中生代华北克拉通伸展减薄相关。

**关键词:** 医巫闾山; 变质核杂岩; 同位素; 花岗岩; 晚中生代

**中图分类号:** P588.12<sup>+</sup>1; P588.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6524(2021)04-0671-16

## The genesis of the Late Mesozoic granitoids in the core of the Yiwulüshan metamorphic core complex and its geological significance

LIANG Jian-ting<sup>1</sup>, OUYANG Zhi-xia<sup>2</sup>, ZHANG Ying<sup>3</sup>, LI Jian-bo<sup>1</sup>, ZENG Tao<sup>1</sup> and ZHOU Zhi-chao<sup>1</sup>

(1. East China University of Technology, Nanchang 330029, China; 2. Guangdong Provincial Institute of Nonferrous Geological Survey, Guangzhou 510000, China; 3. China Shaanxi Nuclear Industry Group 218 Party Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

**Abstract:** The Yiwulüshan metamorphic core complex (MCC) within the northern margin of the North China Craton is a typical representative of large-scale Mesozoic extensional deformation in Northeast Asia continent. Many studies including the fabric characteristics, shear-sense indicators, strain, kinematic vorticity and deformation age have been intensively conducted. However, some problems concerning geochemistry, isotopic characteristics and genesis of the granite within the core of this MCC remain unanswered. The granite of the core within the MCC is composed of biotite monzogranite and granodiorite. Based on previous research, together with the major elements, trace elements and Sr-Nd isotopic data, the paper presents the results of the data and discusses the genesis and geological significance.

收稿日期: 2020-04-22; 接受日期: 2021-05-23; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 国家自然科学基金项目(41662014)

作者简介: 梁键婷(1995-),女,硕士研究生,地质学专业, E-mail: liangjianting11@sina.com; 通讯作者: 李建波(1976-),男,博士,副教授,长期从事构造变形分析及构造与成矿方面的研究工作, E-mail: jianboli2000@163.com。

网络首发时间: 2021-06-11; 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20210611.1117.002.html>

According to the results obtained, the granite of Yiwulüshan MCC granite is characterized by high silicon and alkali content ( $\text{SiO}_2 = 61.17\% \sim 75.21\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.34\% \sim 9.03\%$ ), thus belonging to metaluminous and peraluminous ( $A/\text{CNK} = 0.96 \sim 1.08$ ) and can be assigned to genetic type of high-k-calc-alkaline series, suggesting characteristics of I type granites; most granites have weak negative Eu anomaly ( $\delta\text{Eu} = 0.71 \sim 1.63$ ), enrichment of large ion lithophile elements (e. g., Rb, Ba and Sr) and light rare earth elements, depletion of high field strength elements (e. g., Nb, Ta and Ti) and heavy rare earth elements, high Sr ( $308 \times 10^{-6} \sim 1\,414 \times 10^{-6}$ , averaging  $709 \times 10^{-6}$ ), low Y ( $3.17 \times 10^{-6} \sim 13.30 \times 10^{-6}$ , averaging  $7.86 \times 10^{-6}$ ) and Yb ( $0.45 \times 10^{-6} \sim 1.32 \times 10^{-6}$ , averaging  $0.78 \times 10^{-6}$ ), showing the characteristics of adakitic rocks; isotopic data show that the early co-emplacement granites have a wide range of  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  values ( $0.695\,966 \sim 0.707\,869$ ) and a lower  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  values ( $-21.72 \sim -18.32$ ) and were derived from ancient crust and attributed to the partial melting of the thickened lower crust under the background of regional extension; the isotopic data of the later post-emplacement granites range from  $0.705\,909$  to  $0.706\,774$ , and have negative  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  values ( $-20.60 \sim -16.99$ ), which indicates that the post-emplacement granite resulted from the North China Craton extension thinning during the Late Mesozoic.

**Key words:** Yiwulüshan; metamorphic core complex; isotope; granite; Late Mesozoic

**Fund support:** National Natural Science Foundation of China (41662014)

我国华北及邻区典型伸展构造(变质核杂岩)因发育时间长、规模大,为世界之罕见,它们可能是中生代华北克拉通破坏(岩石圈减薄)的浅部表现和响应(Zhang *et al.*, 2000; 郑亚东等, 2000; Wang *et al.*, 2005, 2006; 王涛等, 2007; 王彦斌等, 2010; 李舫等, 2010)。近十几年来,研究者主要侧重于报道各个变质核杂岩的几何形态、构造组成、运动学特征及构造背景(马寅生等, 1999; Wang *et al.*, 2002; Darby *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2005; 刘俊来等, 2006; 纪沫等, 2009),而对变质核杂岩的岩浆作用研究较少,对其中花岗岩的研究也主要集中在年代学方面(Davis *et al.*, 1996, 1998, 2002; 罗镇宽等, 2001; 李永刚等, 2003; Wang *et al.*, 2004, 2005; 刘翠等, 2004; 郭春丽等, 2004; Deng *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2005, 2006; 吴福元等, 2006; 杜建军等, 2007; 杨进辉等, 2007; Yang *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2008; 纪沫等, 2009; 欧阳志侠等, 2010; 康月蓝等, 2018)。医巫闾山变质核杂岩为一形成于中晚侏罗世—早白垩世的地质体,主要由核部的变质核、韧性拆离带及其上盘的未变质岩系组成。前人对医巫闾山变质核杂岩的研究工作主要关注韧性拆离带的变形期次(张宏等, 2004; 李刚等, 2010, 2012, 2013a, 2016; 张必龙等, 2011; Lin *et al.*, 2012)、变形机制和剪切作用类型(Li *et al.*, 2016)以及变形的年代学(张晓辉等, 2002; 吴福元等, 2006; 张必龙等, 2012; 李刚等, 2012, 2013b, 2016)等方面,认为 NE-SW 地壳缩短加厚事

件(纯剪切)、早白垩世 NW-SE 向地壳伸展(简单剪切)及核杂岩核部岩浆上侵(纯剪切)等是制约医巫闾山变质核杂岩形成的主导因素,而对变质核主要组成部分的核部花岗岩体的研究相对较弱。欧阳志侠(2010)对医巫闾山变质核杂岩核部晚中生代花岗岩进行了岩石学、主微量元素和稀土元素研究,认为研究区花岗岩为准铝—弱过铝高钾钙碱性系列 I 型花岗岩;区域尺度的研究成果显示,华南北缘包括医巫闾山在内的大部分变质核杂岩形成于加厚地壳的伸展垮塌作用(郑亚东等, 2005; 刘俊来等, 2006, 2020; Lin *et al.*, 2012),这一结果暗示,作为变质核主要组成部分的核部花岗岩应来源于古老地壳的部分熔融。虽然 Zhang 等(2014)对研究区医巫闾山岩体和海棠山岩体进行的 Sr-Nd 同位素及锆石 Hf 同位素研究结果表明,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值介于  $0.705\,41 \sim 0.705\,77$  之间,  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值为  $-5.54 \sim -1.78$ , 认为它们是壳幔相互作用的产物,但该结果并未考虑研究区花岗岩体变形期次及时代,因为不同构造背景的花岗岩可能记录了不同的同位素组成,而这对反演研究区的构造演化尤其重要。因此,笔者在充分收集前人资料基础上,依据核杂岩核部花岗岩体的变形程度,分别对同侵位变形花岗岩体和变形后侵位花岗岩体的同位素特征进行了研究,从而探讨其岩浆源区及岩石成因,以揭示花岗岩体在核杂岩剥露过程中的构造响应及其与变质核杂岩的成因联系,为理解变质核杂岩的构造演化历史提供更加丰富的同位素地球化学信息。

## 1 区域地质概况

### 1.1 地质背景及研究区概况

医巫闾山变质核杂岩位于华北地块北缘燕山造山带的东端、中生代大型走滑断裂郯庐断裂的西侧(图1a),由太古宙变质杂岩、晚侏罗世-早白垩世岩体

的变质核、韧性拆离带和上盘未变质岩系组成。该区经历了克拉通结晶基底形成、克拉通盖层演化和中新世陆内造山等多个构造演化阶段,变形历史复杂,是燕山造山带的重要组成部分。

古生代研究区处于与整个华北陆块相似的克拉通型盖层的稳定发育阶段,只有其北部边缘受到邻区古生代构造-岩浆事件的一定影响(辽宁省地质

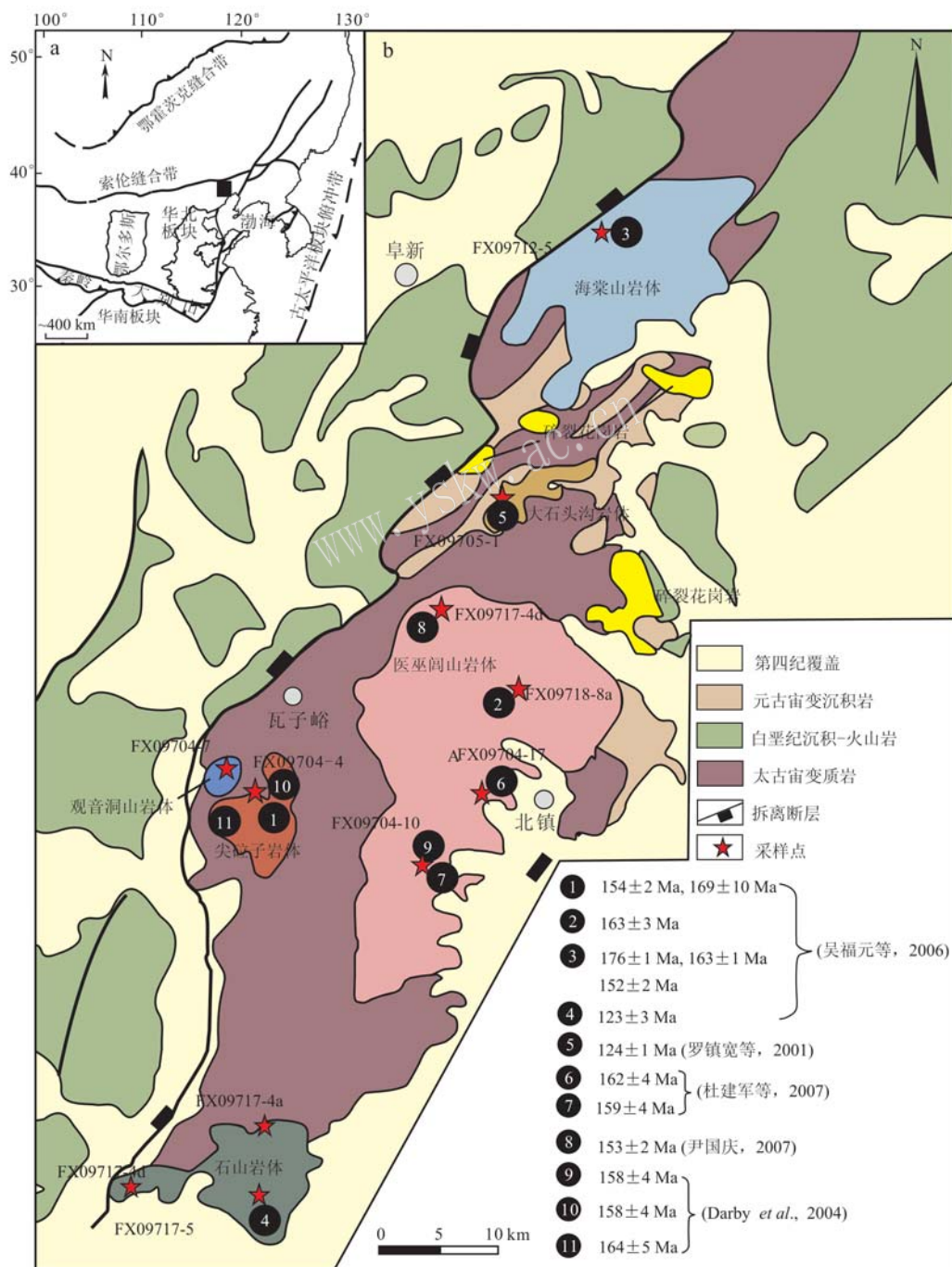


图1 医巫闾山变质核杂岩晚中生代花岗岩分布图[据 Darby 等(2004)修改]

Fig. 1 Geological map of the Late Mesozoic granitoids of the Yiwulüshan MCC (after Darby et al., 2004)



矿产局,1989)。中新世时期发生强烈的造山作用,处于陆内造山阶段盆地-山脉或盆-岭构造相互对立和协调发展过程中,印支及燕山期形成不同时期的构造-岩浆带与火山沉积盆地群(辽宁省地质矿产局,1989)。

医巫闾山所在的辽西东南部地区花岗质岩浆作用较为发育,除研究区由北向南出露海棠山岩体、大石头沟岩体、医巫闾山岩体(可分为6个单元)、观音洞山岩体、尖砬子岩体、石山岩体(图1b、表1)外,还包括碱厂-旧门岩体及杨家杖子岩体。建立研究区及邻区花岗岩的年代学格架,有助于理解研究区中生代以来地壳伸展减薄与构造体制转折。

医巫闾山变质核杂岩核部与盖层之间的拆离断层贯穿整个研究区,沿着中新元古界盖层和太古宇变质核的接触界线展布,为波瓦状低角度正断层,断层拆离面产状平缓,断层带内岩石强烈变形,拆离面之上为盖层底部过渡层和中新元古界低绿片岩相的糜棱岩带,拆离面下为太古宇建平群片麻岩退变而成的糜棱岩。

## 1.2 花岗岩的年代学格架及岩石组合类型

辽西东南部地区花岗岩岩浆活动大致可划分为4期,岩浆活动峰期在165~150 Ma(吴福元等,2006)。医巫闾山变质核杂岩岩浆活动的峰期与辽西东南部地区的花岗岩一致。依据核杂岩核部花岗岩的变形程度,可将其划分为同变形侵位花岗岩与变形后侵位花岗岩两期(表2)。医巫闾山变质核杂岩核部早期花岗岩的年龄为170~153 Ma,普遍发生韧性剪切变形,发育糜棱面理或片麻理。医巫闾山岩体为同构造早期岩体,医巫闾山变质核杂岩在163~153 Ma已开始活动(马寅生等,1999)。石山岩体侵位于医巫闾山变质核杂岩主拆离断层的瓦子峪拆离断层中,未发生变形,其年龄123 Ma限定了医巫闾山变质核杂岩的最小形成时代,说明医巫闾山变质核杂岩的活动时限在163~123 Ma之间(表2)。

早期,中晚侏罗世花岗质岩体(176~152 Ma)。岩石类型主要为黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩、二云母二长花岗岩以及含石榴子石白云母花岗岩。由于后期韧性剪切作用,海棠山岩体普遍不同部位变形程度不一,晚期可见细粒花岗岩和闪长岩侵入体。医巫闾山岩体、观音洞山岩体、尖砬子山均发育明显的韧性剪切构造,变形使其与周围的太古宙杂岩不易区分,其中医巫闾山岩体变形较弱,观音洞山岩体、尖砬子山岩体靠近瓦子峪拆离断层被改造成眼球状糜棱岩。

晚期,早白垩世花岗质岩体(126~123 Ma)。仅有石山岩体的南部和大石头沟岩体出露,岩石类型为黑云母花岗岩、花岗闪长岩。石山岩体侵入强韧性变形的太古宙杂岩中,岩体内部含有未变形的闪长质包体和变形的太古宙杂岩捕虏体,未见片麻状构造。大石头沟岩体未发生变形。此外,研究区早白垩世还发育大量的花岗质脉体,但除罗镇宽等(2001)报道排山楼金矿发育糜棱岩化闪长斑岩脉和花岗斑岩外,未见该时期变形花岗质脉体的报道。

医巫闾山花岗岩呈灰白色,粗粒花岗结构,块状构造,多为黑云母二长花岗岩,由斜长石(20%~25%)、钾长石(20%~35%)、石英(20%~40%)、黑云母(3%~5%)、白云母(<1%)和磁铁矿(<1%)等组成(图2),斜长石呈自形-半自形板状,聚片双晶发育,可见环带结构偶见绿泥石化,钾长石自形-半自形板状或粒状,石英他形粒状,粒度不等,黑云母呈片状,零星分布。

## 2 采样及分析方法

样品采自医巫闾山变质核杂岩的6个岩体。对花岗岩新鲜样品进行筛选后,选取代表性样品进行了主量元素、微量元素、稀土元素和Sr-Nd同位素分析,其中主量、微量元素及稀土元素分析在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成。主量元素采用XRF进行测定,测量精度优于1%。微量元素和稀土元素采用电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)进行测定,Ta、Nb、Zr和Hf的测试精度为9%,其它元素测试精度达到5%。Sr-Nd同位素化学分析在中国科学院地质与地球物理研究所使用MAT262完成,分别采用 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.1194$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 进行Sr和Nd同位素比值标准化,国标标样NBS-987的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 $0.710243 \pm 12(2\sigma)$ ,标样La Jolla的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为 $0.511123 \pm 10(2\sigma)$ 。

## 3 分析结果

### 3.1 主量元素特征

医巫闾山变质核杂岩晚中生代花岗岩类主量元素分析结果见表3。早期和晚期花岗岩样品的常量元素含量显示出较好的一致性:晚期花岗岩 $\text{SiO}_2$ 含量为61.17%~74.02%,平均69.12%,具有富硅的特点; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.34\% \sim 9.03\%$ ,平均8.27%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} =$



表 1 医巫闾山核杂岩晚中生代花岗岩质侵入体特征  
Table 1 Characteristics of Late Mesozoic plutons in the Yiwulishan MCC

时 代	侵入体名称	主要岩石类型	面积/ km <sup>2</sup>	结构构造	宏观特征	围岩	年龄
早 白 垩 世	石山岩体	花岗闪长岩		中细粒结构、块状构造	灰白色，本身不变形，含大量太古宙强变形片麻岩包体	太古宙片麻岩	123 Ma(吴福元等, 2006)
	大石头沟岩体	黑云母花岗岩		中粗粒结构、块状构造	浅肉红色，局部钾长石晶体较粗形成似斑状结构	太古宙片麻岩、九仙洞组	124 Ma(罗镇宽等, 2001)
	长岭沟	花岗闪长岩	94	中细粒等粒结构、块状构造	灰白色，细粒为主，中粒为辅	太古宙片麻岩	153 Ma(尹国庆, 2007)
	石佛寺	花岗闪长岩	20	中粗粒花岗岩结构、块状构造	粒度粗大，含黑白两种云母	太古宙片麻岩	
中 晚 侏 罗 世	医巫闾山岩体	黑云母二长花岗岩	34	似斑状结构	灰白色，长石斑晶较发育	望海寺单元	159~158 Ma(Darby <i>et al.</i> , 2004; 杜建军等, 2007)
	望海寺	黑云母二长花岗岩	160	中粗粒花岗岩结构、块状构造	灰白色，黑云母定向排列，长英质伟晶岩和花岗岩质细晶岩脉较发育	长岭沟单元、石佛寺单元	163 Ma(吴福元等, 2006)
	南白台子	黑云母二长花岗岩	2.2	中粗粒花岗岩结构、块状构造	灰白色、中粗粒花岗岩结构	望海寺单元	
	江家	石榴石白云母二长花岗岩	3	中粗粒花岗岩结构、块状构造	灰白色，可见石榴子石和鳞片状白云母	太古宙片麻岩、石佛寺单元、望海寺单元	
	尖砬子山岩体 (含观音洞山岩体)	二云母二长花岗岩	47	糜棱结构、片麻状构造	浅肉红色-灰白色，风化较严重，破碎	太古宙片麻岩	169~154 Ma(Darby <i>et al.</i> , 2004; 吴福元等, 2006)
	海棠山岩体	黑云母二长花岗岩	200	粗粒结构、片麻状构造构造	灰白色，有晚期闪长岩和细粒花岗岩侵入	太古宙片麻岩、高于庄组	176~152 Ma (吴福元等, 2006)

表 2 医巫闾山及辽西东南部地区花岗岩年代学数据表

Table 2 Chronologic data of granites in Yiwulüshan and the southeast of western Liaoning

岩体	变形程度	岩性	年龄/Ma	测年方法	数据来源
尖砬子山岩体	强变形	黑云母花岗岩	164±5	锆石 U-Pb	Darby 等 (2004)
海棠山岩体	变形	二长花岗岩	158±4	锆石 U-Pb	Darby 等 (2004)
医巫闾山岩体	变形	花岗岩	158±4	锆石 U-Pb	Darby 等 (2004)
海棠山岩体	弱变形	花岗岩	176±1	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
海棠山岩体	弱变形	片麻状花岗岩	163±1	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
海棠山岩体	变形	片麻状花岗岩	152±1	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
医巫闾山岩体	弱变形	二云母花岗岩	163±3	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
医巫闾山岩体	变形	花岗闪长岩包体	153±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
尖砬子山岩体	强变形	二云母二长花岗岩	154±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
尖砬子山岩体	强变形	二云母二长花岗岩	169±10	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
医巫闾山岩体	强变形	黑云母二长花岗岩	162±4	SHRIMP U-Pb	杜建军等 (2007)
医巫闾山岩体	强变形	黑云母二长花岗岩	159±4	SHRIMP U-Pb	杜建军等 (2007)
医巫闾山岩体	变形	花岗岩	153±2	LA-ICP-MS U-Pb	尹国庆 (2007)
石山岩体	未变形	二长花岗岩	123±3	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
大石头沟	未变形	黑云母花岗岩	124±1	SHRIMP U-Pb	罗镇宽等 (2001)
侵位海棠山岩脉	未变形	闪长岩脉	125±4	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
排楼山金矿	变形	糜棱岩	124±1	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar (黑云母)	骆辉等 (1997)
剪切带	变形	长英质糜棱岩	127±3	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar (黑云母)	张晓晖等 (2002)
剪切带	变形	黑云斜长糜棱岩	116±2	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar (黑云母)	张晓晖等 (2002)
排楼山金矿	变形	二云斜长质糜棱岩	219±4	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar (黑云母)	张晓晖等 (2002)
排楼山金矿	变形	花岗斑岩脉	124±1	SHRIMP U-Pb	罗镇宽等 (2001)
排楼山金矿	变形	闪长玢岩脉	125±1	SHRIMP U-Pb	罗镇宽等 (2001)
排楼山金矿	变形	闪长玢岩脉	126±2	SHRIMP U-Pb	罗镇宽等 (2001)
碱厂-旧门岩体	弱变形	粗粒二长花岗岩	153±1	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
碱厂-旧门岩体	弱变形	石英二长闪长岩	157±1	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
宽带岩体	变形	石英二长闪长岩	182±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
杨家杖子岩体	变形	似斑状二长花岗岩	182±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
碱厂-旧门岩体	弱变形	似斑状二长花岗岩	185±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
杨家杖子岩体	弱变形	粗粒二长花岗岩	188±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
杨家杖子岩体	变形	细粒二长花岗岩	189±4	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
碱厂-旧门岩体	弱变形	细粒花岗岩	190±3	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)
松树卵岩体	变形	闪长岩	221±2	LA-ICP-MS U-Pb	吴福元等 (2006)

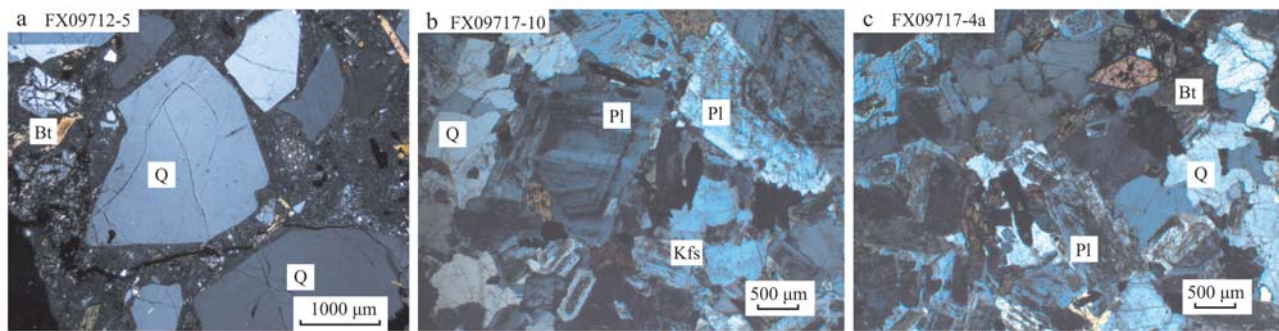


图 2 医巫闾山花岗岩正交偏光显微照片

Fig. 2 Photomicrographs under crossed nicols of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulüshan MCC

Bt—黑云母; Kfs—碱性长石; Pl—斜长石; Q—石英

Bt—biotite; Kfs—K-feldspar; Pl—plagioclase; Q—quartz

0.58~1.30, 平均 0.98;  $Al_2O_3 = 13.72\% \sim 18.41\%$ , 平均 15.60%。早期花岗岩  $SiO_2$  含量为 71.79%~75.21%, 平均 73.21%;  $K_2O+Na_2O = 8.04\% \sim 8.91\%$ ,

平均 8.60%;  $K_2O/Na_2O = 0.65 \sim 0.91$ , 平均 0.78;  $Al_2O_3 = 14.41\% \sim 15.65\%$ , 平均 14.86%。与早期花岗岩相比, 晚期花岗岩的  $MgO$  含量 (0.26%~1.37%, 平

表 3 医巫闾山变质核杂岩晚中生代花岗岩主量( $w_B/\%$ )、微量和稀土元素( $w_B/10^{-6}$ )含量表  
 Table 3 Major ( $w_B/\%$ ), trace and rare elements ( $w_B/10^{-6}$ ) concentrations of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulüshan MCC

时代 岩体 岩性 样号	早白垩世				中晚侏罗世				
	石山岩体		大石头沟		尖砬子山	观音洞山	海棠山	医巫闾山	
	二长花岗岩	闪长质包体	二长花岗岩	花岗闪长岩	二长花岗岩	钾长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	碱长花岗岩
样号	FX09717-4a	FX09717-4d	FX09717-5	FX09705-1	FX09704-4	FX09704-7	FX09712-5	FX09717-10	FX09718-8a
SiO <sub>2</sub>	72.19	57.97	74.02	61.17	71.79	74.18	71.83	73.02	75.21
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.70	0.17	0.40	0.11	0.05	0.25	0.09	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.68	18.82	13.72	18.41	15.65	14.77	14.50	14.98	14.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.61	1.99	0.68	3.13	0.63	0.09	0.86	0.36	0.15
FeO	0.88	3.68	0.56	1.63	0.56	0.48	1.13	0.45	0.31
MnO	0.03	0.07	0.03	0.09	0.05	0.05	0.05	0.02	0.08
MgO	0.34	2.63	0.26	1.37	0.24	0.05	0.49	0.20	0.05
CaO	1.50	4.50	1.28	4.01	1.47	0.97	2.11	1.67	0.56
Na <sub>2</sub> O	3.92	5.50	4.08	4.65	5.04	4.65	4.63	5.20	4.68
K <sub>2</sub> O	5.11	2.27	4.36	2.69	3.55	4.24	3.41	3.38	4.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.37	0.05	0.31	0.06	0.03	0.12	0.03	0.03
Los	0.23	0.69	0.22	2.31	0.46	0.29	0.53	0.20	0.47
Total	99.72	99.19	99.43	100.17	99.61	99.85	99.91	99.60	100.23
A/NK	1.23	1.64	1.20	1.74	1.29	1.21	1.28	1.23	1.17
A/CNK	1.00	0.96	1.00	1.03	1.06	1.06	0.96	0.98	1.08
AR	3.53	2.00	3.57	1.97	3.01	3.60	2.88	3.13	3.94
FeO*/MgO	4.20	2.08	4.51	3.25	4.70	11.22	3.89	3.87	8.90
La	36.00	82.10	20.50	19.70	24.60	6.79	23.90	7.98	3.42
Ce	63.10	154.00	38.00	43.10	46.40	13.90	48.20	15.60	8.54
Pr	6.10	15.30	3.98	5.29	4.76	1.57	5.41	1.67	1.13
Nd	18.70	50.70	12.90	21.20	15.90	5.85	19.50	5.57	4.08
Sm	2.50	6.41	1.98	3.84	2.17	1.23	2.92	0.92	1.23
Eu	0.56	1.55	0.43	1.26	0.55	0.31	0.83	0.46	0.11
Gd	2.00	4.34	1.61	3.54	1.80	1.34	2.45	0.76	1.70
Tb	0.23	0.43	0.19	0.46	0.23	0.18	0.27	0.08	0.32
Dy	1.28	2.03	1.03	2.49	1.47	1.17	1.45	0.47	2.17
Ho	0.23	0.35	0.23	0.48	0.29	0.23	0.26	0.10	0.48
Er	0.78	0.98	0.72	1.36	0.91	0.68	0.72	0.36	1.29
Tm	0.11	0.10	0.10	0.20	0.12	0.10	0.09	0.05	0.20
Yb	0.79	0.70	0.78	1.32	0.84	0.71	0.62	0.45	1.24
Lu	0.14	0.11	0.12	0.19	0.11	0.12	0.10	0.08	0.18
Y	7.06	8.88	6.76	13.30	9.27	7.19	7.21	3.17	14.40
ΣREE	139.58	327.98	89.33	117.73	109.42	41.37	113.93	37.72	40.49
(La/Yb) <sub>N</sub>	32.69	84.13	18.85	10.71	21.01	6.86	27.65	12.72	1.98
(La/Sm) <sub>N</sub>	9.30	8.27	6.68	3.31	7.32	3.56	5.28	5.60	1.79
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	2.09	5.13	1.71	2.22	1.77	1.56	3.27	1.40	1.13
δEu	0.74	0.85	0.71	1.02	0.82	0.73	0.92	1.63	0.23
Li	26.70	51.90	35.60	23.20	35.40	17.60	24.90	9.38	21.40
Be	2.21	1.14	2.22	1.88	1.55	2.44	1.79	0.93	2.58
Sc	3.27	8.55	2.94	5.19	1.86	2.41	3.23	1.83	2.82
Ti	1 018.98	4 195.79	1 018.98	2 397.60	659.34	299.70	1 498.50	539.46	299.70
V	14.70	82.80	11.60	34.00	5.58	1.19	17.40	5.00	2.98
Cr	32.80	38.80	9.88	1.34	7.84	5.90	4.16	71.20	3.95
Mn	232	542	232	697	387	387	387	154	619
Co	2.29	12.70	1.90	5.60	1.13	0.29	2.52	1.27	0.33
Ni	15.10	19.80	4.96	1.74	5.43	3.27	2.78	28.80	2.46
Cu	8.54	4.32	3.45	5.67	2.74	1.67	3.23	4.43	1.23
Zn	34.8	89.5	29.4	74.4	45.1	27.8	49.2	22.6	11.7
Ga	17.2	22.4	17.2	20.2	18.3	18.9	17.7	14.0	21.7
Rb	162.00	72.90	154.00	61.90	76.50	104.00	77.30	58.50	147.00
Sr	421	1414	396	996	743	308	576	822	21
Zr	170.0	98.5	112.0	131.0	99.7	46.6	118.0	73.0	30.9
Nb	8.23	5.17	10.30	5.20	8.10	10.30	7.77	2.86	18.40
Cs	2.30	2.90	2.19	0.89	0.77	0.54	1.36	0.29	1.21
Ba	1 210	1 495	722	990	1 351	939	742	1 747	16
Hf	4.28	2.42	3.43	3.41	2.52	1.74	3.27	1.98	1.71
Ta	0.71	0.12	0.73	0.24	0.38	0.52	0.40	0.14	1.03
Pb	26.4	10.0	28.4	12.8	20.9	24.7	18.1	20.1	16.3
Th	12.10	5.40	7.48	1.72	1.24	1.02	3.53	0.91	1.72
U	3.62	0.26	1.29	0.47	0.30	0.31	0.96	0.13	0.58



均 0.66%) 相对较高。

在  $A/NK - A/CNK$  图解中所有样品均落在准铝质-过铝质区, 铝饱和指数  $A/CNK$  值均小于 1.1 (图

3a); 在  $K_2O - SiO_2$  图解中, 本文所测所有样品均落在高钾钙碱性系列区域 (图 3b)。

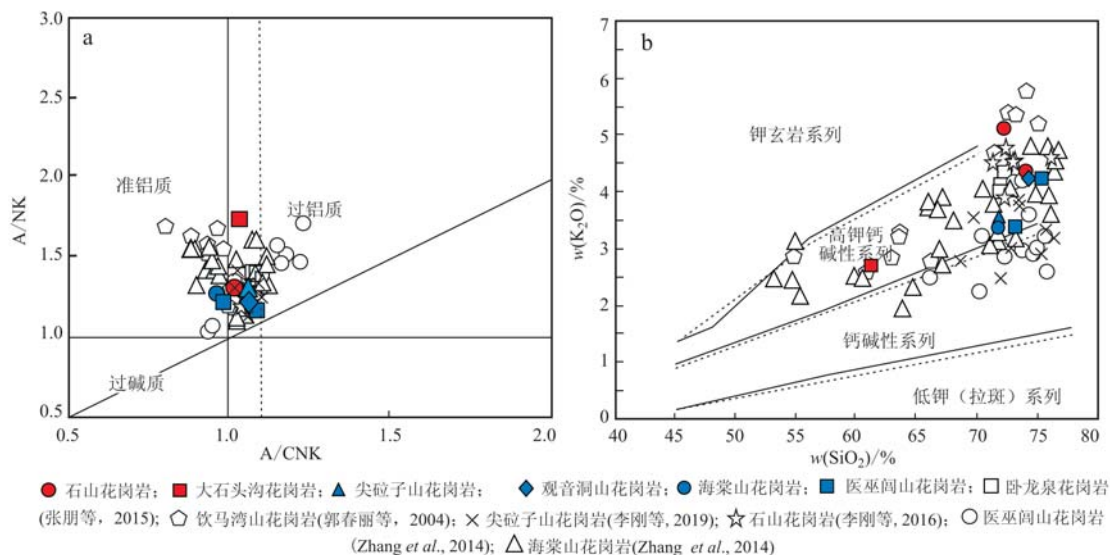


图 3 医巫闾山变质核杂岩晚中生代主量元素图解

Fig. 3 Major elements diagrams of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulushan MCC

### 3.2 稀土元素与微量元素特征

医巫闾山变质核杂岩中的花岗岩类微量元素及稀土元素的分析结果见表 3。

晚期花岗岩  $\Sigma REE = 89.33 \times 10^{-6} \sim 139.58 \times 10^{-6}$ , 在球粒陨石标准化图 (图 4a) 上, 各样品曲线相似, 明显右倾, LREE 相对富集, HREE 相对亏损,  $(La/Yb)_N = 10.71 \sim 32.69$ ,  $(La/Sm)_N = 3.31 \sim 9.30$ ,  $(Gd/Yb)_N = 1.71 \sim 2.22$ , 轻重稀土元素分馏中等, LREE 较 HREE 分馏明显, 其中石山花岗岩具弱的 Eu 负异常 ( $\delta Eu = 0.71 \sim 0.74$ )。在原始地幔标准化微量元素蛛网图解 (图 4b) 中, 晚期花岗岩的配分模式近似一致, 表现出  $La$ 、 $Hf$ 、 $Zr$ 、 $Sm$  正异常, 亏损  $Ta$ 、 $Nb$ 、 $P$ 、 $Ti$  等高场强元素, 高 LREE ( $La = 19.70 \times 10^{-6} \sim 36.00 \times 10^{-6}$  之间), HREE 和 Y 含量低,  $Sr/Y$  值 ( $58.58 \sim 74.88$ ) 较高, 符合高 Sr 花岗岩的特征。

早期花岗岩稀土元素和微量元素特征较复杂。尖砬子山花岗岩、海棠山花岗岩与晚期花岗岩相似,  $\Sigma REE = 109.42 \times 10^{-6} \sim 113.93 \times 10^{-6}$ ,  $(La/Yb)_N = 21.01 \sim 27.65$ ,  $(La/Sm)_N = 5.28 \sim 7.32$ ,  $(Gd/Yb)_N = 1.77 \sim 3.27$ , 轻重稀土元素分馏不明显, LREE 较 HREE 分馏明显。Ba、Sr 含量较高 (Ba 含量达  $1351 \times 10^{-6}$ , Sr 含量达  $743 \times 10^{-6}$ ), 显示高 Sr 花岗岩的性质, 且普遍具  $La$ 、 $Hf$ 、 $Zr$ 、 $Sm$  正异常,  $Ta$ 、 $Nb$ 、 $P$ 、 $Ti$  等

元素负异常, LREE ( $La = 23.90 \times 10^{-6} \sim 24.60 \times 10^{-6}$ ) 含量高, HREE 和 Y 含量低,  $Sr/Y$  值 ( $79.89 \sim 80.15$ ) 较高, 符合高 Sr 花岗岩的特征。而医巫闾山花岗岩、观音洞山花岗岩的稀土元素较其他样品低,  $\Sigma REE = 37.72 \times 10^{-6} \sim 41.37 \times 10^{-6}$ ,  $(La/Yb)_N = 6.86 \sim 12.72$ ,  $(La/Sm)_N = 3.56 \sim 5.60$ ,  $(Gd/Yb)_N = 1.40 \sim 1.56$ , 其中观音洞山花岗岩的配分曲线较平坦 (图 4a), 具有轻微的 Eu 负异常 ( $\delta Eu = 0.73$ ); 医巫闾山岩体两个样品显示出明显的差异, 样品 FX09717-10 为二长花岗岩, 亏损 HREE, 具有明显的 Eu 正异常 ( $\delta Eu = 1.63$ ), 样品 FX09718-8a 为碱长花岗岩, 配分曲线除的明显负 Eu 异常 ( $\delta Eu = 0.23$ ) 外, 其余部分较平坦, 与壳源花岗岩配分曲线类似; 具明显的 Ba、Sr 负异常 ( $Ba = 16 \times 10^{-6}$ ,  $Sr = 21 \times 10^{-6}$ )。

### 3.3 Sr-Nd 同位素特征

医巫闾山花岗岩 Sr-Nd 同位素分析结果见表 4, 花岗质岩石的全岩初始  $^{87}Sr/^{86}Sr$  值变化范围较大, 介于  $0.695966 \sim 0.708177$  之间, Nd 同位素  $\epsilon Nd(t)$  值均为负值, 介于  $-21.72 \sim -16.99$  之间,  $f_{Sm/Nd}$  均偏离大陆地壳平均值, 为  $-0.62 \sim -0.05$ 。早期同侵位变形花岗岩的初始  $^{87}Sr/^{86}Sr$  值为  $0.695966 \sim 0.707869$ , 平均  $0.706295$ ;  $\epsilon Nd(t)$  值为  $-21.72 \sim -18.32$ , 平均  $-19.81$ ; Nd 二阶段模式年龄  $t_{DM2}$  为

表 4 医巫闾山变质核杂岩晚中生代花岗岩 Sr-Nd 同位素分析数据  
Table 4 Isotopic analysis data of Sr-Nd of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulishan MCC

时代	样品号	$\frac{W_B/10^{-6}}{Rb}$	$\frac{W_B/10^{-6}}{Sr}$	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$\delta\epsilon$	$I_{Sr}$	$\frac{W_B/10^{-6}}{Sm}$	$\frac{W_B/10^{-6}}{Nd}$	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$\delta\epsilon$	$\epsilon_{Nd}(t)$	$t_{DM}$	$f_{Sm/Nd}$	$t_{DM2}$
中晚侏罗世	FX09704-4	75.83	569.7	0.385 1	0.707 300	14	0.706 457	2.028	14.64	0.083 79	0.511 466	14	-20.65	1 969	-0.57	2 639
	FX09704-7	102.50	246.8	1.201 0	0.709 947	15	0.707 318	1.382	6.321	0.132 30	0.511 460	15	-21.72	3 142	-0.33	2 688
	FX09712-5	78.24	462.5	0.489 4	0.706 487	11	0.705 430	2.883	18.73	0.093 14	0.511 596	11	-18.32	1 958	-0.53	2 442
	FX09717-10	57.86	683.1	0.245 1	0.708 402	16	0.707 869	0.844 2	5.910	0.086 42	0.511 491	16	-20.23	1 980	-0.56	2 491
	FX09718-8a	153.30	17.4	25.554 0	0.751 545	18	0.695 966	1.402	4.525	0.187 40	0.511 637	18	-19.35	-	-0.05	2 478
早白垩世	FX09705-1	58.57	741.1	0.228 6	0.706 299	16	0.705 909	3.697	20.34	0.109 90	0.511 699	16	-16.99	2 122	-0.44	2 294
	FX09717-4d	62.02	1104.0	0.162 6	0.708 461	14	0.708 177	5.650	45.52	0.075 09	0.511 433	14	-21.60	1 882	-0.62	2 683
	FX09717-4b	161.60	323.2	1.447 0	0.709 304	14	0.706 774	2.536	19.02	0.080 63	0.511 493	14	-20.52	1 892	-0.59	2 593
	FX09717-5	154.10	307.6	1.450 0	0.707 970	13	0.705 435	1.842	12.33	0.090 33	0.511 586	13	-18.86	1 926	-0.54	2 455

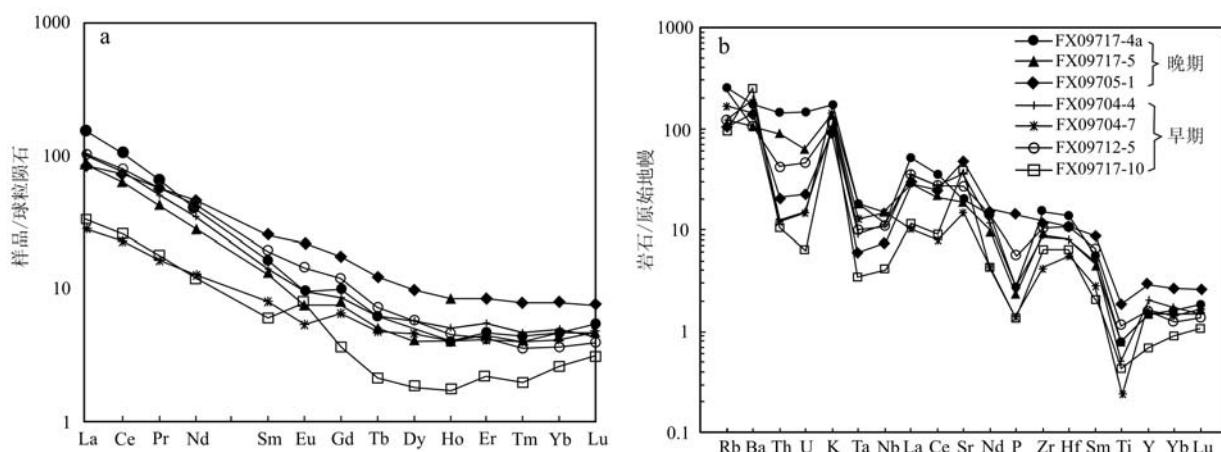


图4 医巫闾山变质核杂岩晚中生代花岗岩稀土元素球粒陨石标准化分布模式图(a)和微量元素原始地幔蛛网图(b)  
(标准化据 Sun & McDonough, 1989)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized spidergram (b) of the Late Mesozoic granitoids Yiwulushan MCC (normal data from Sun & McDonough, 1989)

2 688~2 442 Ma, 平均 2 547 Ma。晚期变形后侵位花岗岩的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  值为 0.705 435 ~ 0.706 774, 平均 0.706 035;  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值为 -20.52 ~ -16.99, 平均 -19.78; Nd 二阶段模式年龄  $t_{\text{DM}2}$  为 2 683 ~ 2 294 Ma, 平均 2 506 Ma。

## 4 讨论

### 4.1 花岗岩的岩石成因与源区特征

医巫闾山变质核杂岩核部花岗岩以二长花岗岩为主,同时发育有花岗闪长岩、石英二长闪长岩、二云母二长花岗岩、钾长花岗岩和碱长花岗岩。各岩体的岩相学特征表现出较好的一致性:岩体富含黑云母,可见磁铁矿、绢云母化和绿帘石化,未见磁黄铁矿、石墨,发育角闪石,未见钠闪石、钠铁闪石等碱性暗色矿物。研究区花岗岩的高场强元素 Zr、Nb、Y、La、Ce、Zn、Ga 等丰度较低, A/CNK 值均小于 1.1 (0.96~1.08), 表现为 I 型花岗岩的特点。在  $\text{P}_2\text{O}_5$  -  $\text{SiO}_2$  图解(图 5)上,  $\text{P}_2\text{O}_5$  的含量随着  $\text{SiO}_2$  含量的增加而逐渐降低,也显示研究区花岗岩属于 I 型花岗岩的范畴 (Wu *et al.*, 2003)。

研究区内花岗岩的  $\text{SiO}_2$  含量变化范围较大 (61.17%~75.21%), 富  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、CaO 和  $\text{Na}_2\text{O}$ , 轻稀土元素相对富集, 相对亏损重稀土元素,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值 (1.98~84.13) 变化范围较大, 富集 Ba、Sr 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素, 这些特征说明岩浆可能来自中、下地壳物质的

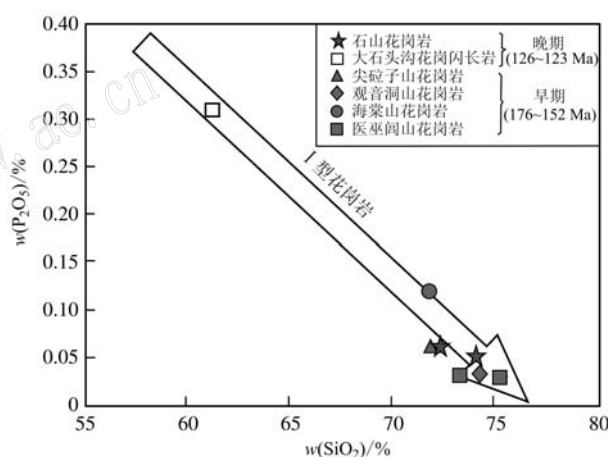


图5 医巫闾山变质核杂岩中花岗岩  $\text{P}_2\text{O}_5$  -  $\text{SiO}_2$  图解  
Fig. 5  $\text{P}_2\text{O}_5$  versus  $\text{SiO}_2$  variation diagram of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulushan MCC

部分熔融。前文述及,研究区花岗岩划分为同构造变形 (176~152 Ma) 及变形后侵位 (126~123 Ma) 两期,虽然 Zhang 等 (2014) 对核部同构造弱变形花岗岩的 Sr-Nd 做了初步研究,然而,对制约核杂岩最终出露的变形后侵位花岗岩的同位素特征并未报道。依据本文数据,早期同侵位变形花岗岩的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值平均 0.706 295, 晚期变形后侵位花岗岩的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值平均 0.706 035; 早期  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值平均 -19.81, 晚期平均 -19.78。早期花岗岩同时具有更古老的 Nd 二阶段模式年龄,表明早期花岗质岩体主要起源于古老陆壳物质;晚期花岗岩较早期更低的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值和模式年龄、更高的  $\varepsilon\text{Nd}(t)$



值,显示晚期花岗岩可能混有少量年轻的物质。在  $\varepsilon\text{Nd}(t) - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  图解(图6)中,早期花岗岩样品均落在陆壳源区,意味着古老下地壳物质参与成岩作用,而晚期花岗岩所在区域接近玄武岩源区和陆壳源区之间的过渡源区,暗示其中有年轻物质混合,可能形成于伸展减压的背景下。本区花岗岩的源区特征与华北克拉通太古宙麻粒岩相下地壳的同位素数据有较好的一致性(Jahn *et al.*, 1999; Miao *et al.*, 2008)。在与研究区构造背景相似的辽南地区,郭春丽等(2004)获得的 Sr-Nd 同位素分析结果表明饮马湾山花岗岩主要来源于下地壳物质的部分熔融,也从侧面证明了本区花岗岩的源区性质。

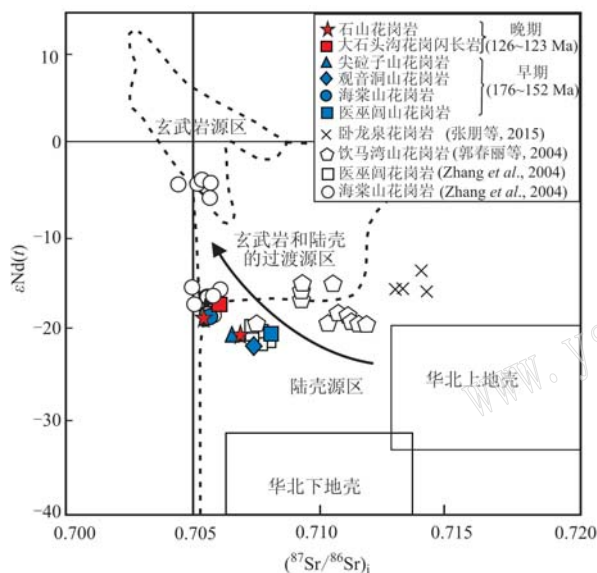


图6 医巫闾山变质核杂岩中的花岗岩的  $\varepsilon\text{Nd}(t) - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  图解(底图据张旗等, 2008)

Fig. 6  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  versus  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  diagram of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulushan MCC (after Zhang Qi *et al.*, 2008)

研究区花岗岩具高 Sr、低 Y 和 Yb 的特点,具有埃达克质岩浆岩的特征。在 Sr/Y - Y 判别图(图7)上,样品大多落在埃达克岩范围之内,且含较低的 MgO 含量(0.05% ~ 1.37%),表明研究区花岗岩应属高 Sr 的埃达克岩或埃达克质岩石,与由加厚下地壳部分熔融形成的花岗岩(He *et al.*, 2011)相似。另外,岩石具有高 Bb、Sr 和低 Y 特征,同样表明其来源于加厚下地壳的部分熔融(Zhang *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2012)。在与研究区毗邻的辽南地区,杨进辉等(2007)对小黑山岩体(175 ~ 170 Ma)的 Hf 同位素研究表明,小黑山岩体主要来源于高压下古

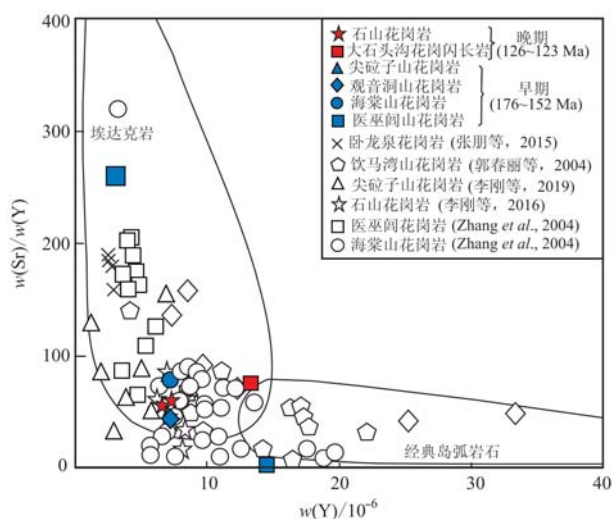


图7 医巫闾山变质核杂岩中的花岗岩的 Sr/Y - Y 相关图(底图据 Defant 和 Drummond, 1990)

Fig. 7 Sr/Y versus Y plot of the Late Mesozoic granitoids in Yiwulushan MCC (after Defant and Drummond, 1990)

老下地壳物质的部分熔融,幔源岩浆不仅为地壳物质的部分熔融作用提供了热量,而且直接参与了花岗岩的成岩作用。张朋等(2015)对辽东卧龙泉黑云二长花岗岩 Sr-Nd-Pb 同位素的研究结果表明,卧龙泉岩体具有埃达克岩的地球化学属性,形成于加厚地壳的部分熔融。Zhang 等(2014)及李刚等(2019)等均认为研究区在中生代存在一加厚地壳。综上所述,地球化学资料与前人研究都表明研究区及邻区在中生代可能存在一加厚地壳,花岗岩是加厚地壳部分熔融的结果。

## 4.2 构造意义

已有的研究成果表明,包括研究区在内的整个华北北缘地区,在中生代构造体制由挤压向伸展转换,医巫闾山地区广泛发育的近 S-N 线理应与中生代早起的挤压事件有关(Lin *et al.*, 2012; 李建波等, 2017)。该期挤压事件的主导因素为晚侏罗世一早白垩世鄂霍次克洋的闭合,该事件使研究区进入陆内造山阶段,西伯利亚板块的持续南向运动形成的近 SN 向挤压作用导致了自北向南的地壳缩短增厚,挤压作用形成了研究区广泛存在的中生代造山带(郑亚东等, 2000; Davis *et al.*, 2001)。伴随陆内造山的进行,地温梯度增加,华北陆块古老的下地壳物质被卷入造山带根部并发生部分熔融,形成了具埃达克质的 I 型花岗岩;同时,该地壳缩短加厚事件也是微量元素及 Sr-Nd 所指示的成岩环境的响

应。造山带根部岩石的部分熔融与中生代晚期研究区上地壳的伸展拆离,使得医巫闾山核部花岗岩体在早白垩世(126~123 Ma)最终形成。

## 5 结论

(1) 侵位于医巫闾山的早中晚侏罗世花岗质岩体主要由黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩、二云母二长花岗岩和含石榴子石白云母花岗岩组成,发育明显的韧性变形构造;晚期早白垩世花岗质岩体主要由花岗闪长岩、黑云母花岗岩组成。

(2) 医巫闾山变质核杂岩核部花岗岩总体具富硅、富碱,铝质含量中等特征,属于准铝质-过铝质,属高钾钙碱性系列 I 型花岗岩;同时,花岗岩具有弱的负 Eu 异常,富集大离子亲石元素和轻稀土元素,亏损高场强元素和重稀土元素,具高 Sr、低 Y 的特点,具有埃达克质岩的特征。

(3) 医巫闾山变质核杂岩核部早期同侵位变形花岗岩的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  初始比值为 0.695 966 ~ 0.707 869,  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值较低(-21.72 ~ -18.32),全岩 Nd 二阶段模式年龄  $t_{\text{DM2}}$  为 2 688 ~ 2 442 Ma;晚期变形后侵位花岗岩的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  初始比值为 0.705 909~0.706 774,  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值较低(-20.60 ~ -16.99),全岩 Nd 二阶段模式年龄  $t_{\text{DM2}}$  为 2 683 ~ 2 294 Ma;早期花岗岩的  $\varepsilon\text{Nd}(t)$  值较晚期更低,同时具更古老的 Nd 二阶段模式年龄,表明早期同侵位变形花岗质岩主要起源于古老陆壳物质,为加厚地壳的部分熔融;晚期变形后侵位花岗岩有年轻物质混合,与地壳的伸展减压有关。

## References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. 1989. Regional Geology of Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Darby B J, Davis A D and Zhang X H. 2004. The newly discovered Waziyu metamorphic core complex, Yiwulushan, Western Liaoning Province, Northeast China[J]. Earth Science Frontiers, 11(3): 145~155.
- Davis G A, Qian X, Zheng Y, *et al.* 1996. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmeng Shan: A Chinese metamorphic core complex north of Beijing[A]. Yin A and Harrison T M. The tectonic evolution of Asia[C]. Cambridge Univ. Press, 253~208.
- Davis G A, Wang Cong, Zheng Yadong, *et al.* 1998. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intra-plate contractional styles[J]. Geo. Science World, 26: 43~46.
- Davis G A, Zheng Yadong, Wang Cong, *et al.* 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, northern China[A]. Hendrix M S and Davis G A. Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation [C]. Geol. Soc. of Am. Memoirs, 194: 171~198.
- Davis G A, Darby B J, Zheng Yadong, *et al.* 2002. Geometric and temporal evolution of an extensional detachment fault, Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia, China[J]. Geo Science World, 30(11): 1 003~1 006.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailiang, *et al.* 2004. A new model for the dynamic evolution of Chinese lithosphere: Continental roots plume tectonics[J]. Earth Science Reviews, 65: 223~275.
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 347 (6 294): 662~665.
- Du Jianjun, Ma Yinsheng, Zhao Yue, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Yiwulushan granite in western Liaoning and its geological implications[J]. Geology in China, 34(1): 26~33 (in Chinese with English abstract).
- Guo Chunli, Wu Fuyuan, Yang Jinhui, *et al.* 2004. The extensional setting of the Early Cretaceous magmatism in eastern China: Example from the Yinmawanshan pluton in southern Liaodong Peninsula[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(5): 1 193~1 204 (in Chinese with English abstract).
- He Yongsheng, Li Shuguang, Hoefs Jochen, *et al.* 2011. Post-collisional granitoids from the Dabie orogeny: New evidence for partial melting of a thickened continental crust[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 75(13): 3 815~3 838.
- Jahn B M, Wu Fuyuan, Lo Chinghua, *et al.* 1999. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: Geochemistry and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China[J]. Chemical Geology, 157(1~2): 119~146.
- Jiang Neng, Chen Jingzhi, Guo Jinghui, *et al.* 2012. In situ zircon U-Pb, oxygen and hafnium isotopic compositions of Jurassic granites from the North China craton: Evidence for Triassic subduction of continental crust and subsequent metamorphism-related  $^{18}\text{O}$  depletion [J]. Lithos, 142~143: 84~94.
- Ji Mo, Liu Junlai, Hu Ling, *et al.* 2009. Zircon SHRIMP U-Pb age of

- Yinmawanshan and Zhaofang pluton in South Liaoning metamorphic core complex and its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 173~181 (in Chinese with English abstract).
- Kang Yuelan and Shi Yuruo. 2018. Zircon SHRIMP U-Pb ages and geochemical characteristics of the granitoids in Yunmengshan area of Beijing and their geological significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 37(3): 379~394 (in Chinese with English abstract).
- Li Gang, Jiang Zhiqian, Shao Xuefeng, *et al.* 2019. Relationship between Middle-Late Jurassic deformation and syn-tectonic granitoid emplacement in the Yiwulüshan area, North China [J]. *Earth Science Frontiers*, 26(2): 72~91 (in Chinese with English abstract).
- Li Gang, Liu Zhenghong, Cui Weilong, *et al.* 2016. Emplacement of Early Cretaceous syn-extension granitic in Yiwulüshan area, North China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(9): 2 677~2 689 (in Chinese with English abstract).
- Li Gang, Liu Zhenghong, Liu Junlai, *et al.* 2012. Formation and timing of the extensional ductile shear zones in Yiwulü Mountain area, Western Liaoning Province, North China [J]. *Science China Press*, 42(6): 879~892 (in Chinese).
- Li Gang, Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, *et al.* 2010. Evidences of syn-extensional emplacement of Yiwulüshan Pluton and its geological significance [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(4): 971~978 (in Chinese with English abstract).
- Li Gang, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong, *et al.* 2013a. Early Cretaceous extension of the Yiwulüshan metamorphic core complex [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 938~952 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianbo, Guo Lei, Lu Yonghua, *et al.* 2017. The kinematic vorticity and the ductile thinning of the Yiwulüshan ductile shear detachment zone in North China Craton [J]. *Geological Review*, 63(6): 1 429~1 439 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianbo, Wang Tao, Guo Lei, *et al.* 2016. Formation of Late Jurassic-Early Cretaceous metamorphic core complexes in NE China: Insights from the structural study of the Yiwulüshan ductile detachment zone [J]. *International Geology Review*, 58(12): 1 443~1 460.
- Li Shan, Wang Tao and Tong Ying. 2010. Spatial-temporal distribution and tectonic settings of Early Mesozoic granitoids in the middle-south segment of the Central Asia Orogenic System [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 642~662 (in Chinese with English abstract).
- Li Yonggang, Zhai Guoming, Yang H, *et al.* 2003a. The metallogenic epoch of the anjiaying gold deposit in chifeng, Inner Mongolia and its significance to the mineralization of the Mesozoic in north China [J]. *Science in China*, 33(10): 960~966 (in Chinese with English abstract).
- Lin Wei, Faure M, Monie P, *et al.* 2008. Mesozoic extensional tectonics in Eastern Asia: The south Liaodong peninsula metamorphic core complex (NE China) [J]. *The Journal of Geology*, 116: 134~154.
- Lin Wei, Faure M, Yan Chen, *et al.* 2012. Late Mesozoic compressional to extensional tectonics in the Yiwulüshan massif, NE China and its bearing on the evolution of the Yinshan-Yanshan orogenic belt [J]. *Gondwana Research*, 23: 54~77.
- Liu Cui, Deng Jinfu, Su Shangguo, *et al.* 2004. Zircon SHRIMP dating of Yunmengshan gneissic granite and its geological significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(2): 141~146 (in Chinese with English abstract).
- Liu Junlai, Davis G A, Lin Zhiyong, *et al.* 2005. The Liaonan metamorphic core complex, Southeastern Liaoning Province, North China: A likely contributor to Cretaceous rotation of Eastern Liaoning, Korea and contiguous areas [J]. *Tectonophysics*, 407: 65~80.
- Liu Junlai, Guan Huimei, Ji Mo, *et al.* 2006. Late Mesozoic metamorphic core complexes in north China and their constraints on lithospheric thinning [J]. *Progress in Natural Science*, 16(1): 21~26 (in Chinese).
- Liu Junlai, Ni Jinlong, Chen Xiaoyu, *et al.* 2020. Parallel extension tectonics: Mechanism of Early Cretaceous thinning and destruction of the lithosphere of the North China Craton [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 36(8): 2 331~2 343.
- Luo Hui and Zhao Yunqi. 1997. Geology and mineralization of Paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning Province [J]. *Progress in Precambrian Research*, 20(4): 13~24 (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Guan Kang, *et al.* 2001. SHRIMP U-Pb zircon of magmatic rock in Paishanlou gold mine district Fuxin, Liaoning Province, China [J]. *Geochimica*, 30(5): 483~490 (in Chinese with English abstract).
- Ma Yinsheng, Cui Shengqin, Wu Ganguo, *et al.* 1999. The structural feature of metamorphic core complex in Yiwulüshan Mountains, West Liaoning [J]. *Acta Geologica Sinica*, 20(40): 385~391 (in Chinese with English abstract).
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Liu Dunyi, *et al.* 2008. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(5~6): 348~370.
- Ouyang Zhixia. 2010. Comparison of Geochronology and Origin of the Late Mesozoic Granitoids from Major Metamorphic Core Complexes in the North China Craton and Their Significance [D]. *Chinese Academic*



- my of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Ouyang Zhixia, Wang Tao, Li Jianbo, *et al.* 2010. Deformation characteristics and zircon SHRIMP U-Pb age of the mylonitized granite vein in Jinzhou detachment fault of southern Liaoning: Evidence for constraint on the ductile detachment time[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(4): 403~413 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M T. *Magmatism in Ocean Basins* [C]. Geological Society Special Publications, 42: 313~345.
- Wang Tao, Zheng Yadong and Hong Dawei. 2005. Comparison of Mesozoic extensional tectonics and magmatism on the southernmost Sino-Mongolia border with those within North China Craton: Implications for geodynamics of delamination of continental lithosphere of NCC-The Origin, Evolution and Present State of Subcontinental Lithosphere [A]. IUGS-SECE (Commission on Solid Earth Composition & Evolution) Conference, Abstract [C]. Beijing: 108~110.
- Wang Tao, Zheng Yadong and Hong Dawei. 2006. Mesozoic extensional tectonics and magmatism on the southernmost Sino-Mongolia border with those within North China Craton: Comparison with those in North China Craton [A]. Abstract for conference of WPGS, Beijing [C].
- Wang Tao, Zheng Yadong, Li Tianbing, *et al.* 2002. Forceful emplacement of granitic plutons in extensional tectonic setting: Syn-kinematic plutons in the Yagan-Onch Hayrhan metamorphic core complex on Sino-Mongolian border [J]. *Acta Geological Sinica*, 76(1): 81~88.
- Wang Tao, Zheng Yadong, Zhang Jinjiang, *et al.* 2007. Some problems in the study of Mesozoic extensional structure in the North China craton and its significance for the study of lithospheric thinning [J]. *Geology Bulletin of China*, 9(26): 1 154~1 166 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yanbin, Han Juan, Li Jianbo, *et al.* 2010. Age, petrogenesis and geological significance of the deformed granitoids in the Louzidian metamorphic core complex, southern Chifeng, Inner Mongolia: Evidence from zircon U-Pb dates and Hf isotopes [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 763~778 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Jahn B W, Wilder S A, *et al.* 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China (I): Geochronology and petrogenesis [J]. *Lithos*, 66(3~4): 241~273.
- Wu Fuyuan, Lin Jingqian, Wilde S A, *et al.* 2005. Nature and significance of Early Cretaceous giant igneous event in eastern China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1~2): 103~119.
- Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Zhang Yanbin, *et al.* 2006. Emplacement ages of the Mesozoic granites in southeastern part of the Western Liaoning Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2): 315~325 (in Chinese with English abstract).
- Yin Guoqing. 2007. The Tectonics and the Establishment's FEM Simulation of Metamorphic Core Complex in Yiwulü Mountains [D]. Master's Thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan and Chung Sunlin. 2007. Rapid exhumation and cooling of the Liaonan metamorphic core complex: Inferences from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology and implications for Late Mesozoic extension in the eastern North China Craton [A]. Lo Chinghua, Wilde S A and Davis G A. *Proceedings, Division of Science and Technology and Achievement, Chinese Academy of Sciences* [C]. Beijing: 119(11~12): 1 405~1 414.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Liu Xiaoming, *et al.* 2007. Petrogenesis and geological significance of the Jurassic Xiaoheishan pluton in the Liaodong Peninsula, East China: In-situ zircon U-Pb dating and Hf isotopic analysis [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 26(1): 29~42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Bilong, Zhu Guang, Jiang Dazhi, *et al.* 2011. Evolution of the Yiwulüshan metamorphic core complex and Late Jurassic extensional event in the Western Liaoning Province [J]. *Geological Review*, 57(6): 779~798 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Bilong, Zhu Guang, Xie Chenglong, *et al.* 2012. Timing of Late Jurassic extension in the Yiwulüshan area, Western Liaoning: Geochronological evidence from syn-kinematic granitic dikes [J]. *Geological Journal of China Universities*, 18(4): 647~660 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Wang Wuli, Li Zhitong, *et al.* 2004. Study of two period ductile deformations in Yiwulüshan area of western Liaoning in Mesozoic [J]. *Global Geology*, 23(3): 213~220 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jinjiang, Zheng Yadong and Liu Shuwen. 2000. Application of general shear theory to the study of formation mechanism of the metamorphic core complex: A case study of Xiaoqinling in central China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 74: 19~28.
- Zhang Juan, Zhao Zifu, Zheng Yongfei, *et al.* 2010. Postcollisional magmatism: Geochemical constraints on the petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Sulu orogen, China [J]. *Lithos*, 119(3~4): 512~536.
- Zhang Peng, Chen Dong, Kou Linlin, *et al.* 2015. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopes of the Wolongquan intrusion in Liaodong and its tectonic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(10): 1 762~1 772 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Pan Guoqiang, *et al.* 2008. Sources of granites:

- some crucial questions on granite study[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6): 1 193~1 204(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaohui, Wilde S A, *et al.* 2014. Crust/mantle interaction during the construction of an extensional magmaticdome: Middle to Late Jurassic pluton complex from western Liaoning, North China Craton [J]. *Lithos*, 205: 185~207.
- Zhang Xiaohui, Li Tiesheng and Pu Zhiping. 2002.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  Thermo-chronology of two ductile shear zones from YiwuLüshan, West Liaoning region: Age constraints on the Mesozoic tectonic events[J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(13): 1 113~1 118(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yadong, Davis G A, Wang Cong, *et al.* 2000. Major Mesozoic tectonic events in the Yanshan Belt and the plate tectonic setting[J]. *Acta Geological Sinica*, 74(4): 271~302(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yadong and Wang Tao. 2005. Kinematics and dynamics of the Mesozoic orogeny and late-orogenic extensional collapse in the Sino-Mongolian border areas[J]. *Science in China (Series D)*, 48(7): 849~862.
- ### 附中文参考文献
- 杜建军, 马寅生, 赵 越, 等. 2007. 辽西医巫闾山花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. *中国地质*, 34(1): 26~33.
- 郭春丽, 吴福元, 杨进辉, 等. 2004. 中国东部早白垩世岩浆作用的伸展构造性质——以辽东半岛南部饮马湾山岩体为例[J]. *岩石学报*, 20(5): 1 193~1 204.
- 纪 沫, 刘俊来, 胡 玲, 等. 2009. 辽南变质核杂岩饮马湾山和赵房岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 25(1): 173~181.
- 康月蓝, 石玉若. 2018. 北京云蒙山地区侵入岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 37(3): 379~394.
- 李 刚, 蒋职权, 邵学峰, 等. 2019. 医巫闾山中-晚侏罗世构造变形与同构造花岗岩的耦合关系[J]. *地学前缘*, 26(2): 72~91.
- 李 刚, 刘正宏, 崔维龙, 等. 2016. 医巫闾山地区早白垩世同伸展花岗岩就位机制[J]. *岩石学报*, 32(9): 2 677~2 689.
- 李 刚, 刘正宏, 李永飞, 等. 2013b. 辽西医巫闾山地区韧性剪切带的应变与运动学涡度[J]. *地质通报*, 32(Z1): 408~423.
- 李 刚, 刘正宏, 刘俊来, 等. 2012. 医巫闾山伸展型韧性剪切带的形成过程及年代学证据[J]. *中国科学: 地球科学*, 42(6): 879~892.
- 李 刚, 刘正宏, 徐仲元, 等. 2010. 医巫闾山岩体同伸展侵位的证据及其地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(4): 971~978.
- 李 刚, 徐仲元, 刘正宏, 等. 2013a. 医巫闾山变质核杂岩早白垩世伸展变形[J]. *岩石学报*, 29(3): 938~952.
- 李建波, 郭 磊, 鲁勇花, 等. 2017. 华北克拉通北缘医巫闾山韧性剪切剥离带的运动学涡度与韧性减薄量[J]. *地质论评*, 63(6): 1 429~1 439.
- 李 舫, 王 涛, 童 英. 2010. 中亚造山系中南段早中生代花岗岩类时空分布特征及构造环境[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 642~662.
- 李永刚, 翟明国, 杨进辉, 等. 2003. 内蒙古赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义[J]. *中国科学(D辑)*, 33(10): 960~966.
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 刘 翠, 邓晋福, 苏尚国, 等. 2004. 北京云蒙山片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 23(2): 141~146.
- 刘俊来, 关会梅, 纪 沫, 等. 2006. 华北晚中生代变质核杂岩构造及其对岩石圈减薄机制的约束[J]. *自然科学进展*, 16(1): 21~26.
- 刘俊来, 倪金龙, 陈小宇, 等. 2020. 岩石圈伸展的壳/幔剥离模型 (Parallel Extension Tectonics): 华北克拉通东部早白垩世岩石圈减薄与破坏机理[J]. *岩石学报*, 36(8): 2 331~2 343.
- 罗镇宽, 苗来成, 关 康, 等. 2001. 辽宁阜新排山楼金矿区岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *地球化学*, 30(5): 483~490.
- 骆 辉, 赵运起. 1997. 辽宁阜新排山楼金矿地质和成矿作用[J]. *前寒武纪研究进展*, 20(4): 13~24.
- 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 1999. 医巫闾山变质核杂岩构造特征[J]. *地球学报*, 20(4): 385~391.
- 欧阳志侠. 2010. 华北克拉通主要变质核杂岩晚中生代花岗岩时代、成因类型对比及意义[D]. 中国地质科学院.
- 欧阳志侠, 王 涛, 李建波, 等. 2010. 辽南金州剥离带糜棱状花岗岩脉体变形特征及锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——韧性剥离时限的新证据[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(4): 403~413.
- 王 涛, 郑亚东, 张进江, 等. 2007. 华北克拉通中生代伸展构造研究的几个问题及其在岩石圈减薄研究中的意义[J]. *地质通报*, 9(26): 1 154~1 166.
- 王彦斌, 韩 娟, 李建波, 等. 2010. 内蒙赤峰楼子店剥离断层带下盘盘变形花岗质岩石的时代、成因及其地质意义——锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据[J]. *岩石矿物学杂志*, 29(6): 763~778.
- 吴福元, 杨进辉, 张艳斌, 等. 2006. 辽西东南部中生代花岗岩时代[J]. *岩石学报*, 22(2): 315~325.

- 杨进辉, 吴福元, 柳小明, 等. 2007. 辽东半岛小黑山岩体成因及其地质意义: 锆石 U-Pb 年龄和铅同位素证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 26(1): 29~42.
- 尹国庆. 2007. 医巫闾山变质核杂岩构造特征及其形成过程的有限元模拟(硕士学位论文)[D]. 长春: 吉林大学.
- 张必龙, 朱光, 姜大志, 等. 2011. 辽西医巫闾山变质核杂岩的形成过程与晚侏罗世伸展事件[J]. 地质论评, 57(6): 779~798.
- 张必龙, 朱光, 谢成龙, 等. 2012. 辽西医巫闾山晚侏罗世伸展事件的时限: 来自同构造岩脉的年代学证据[J]. 高校地质学报, 18(4): 647~660.
- 张朋, 陈冬, 寇林林, 等. 2015. 辽东卧龙泉岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素特征及其构造意义[J]. 地质学报, 89(10): 1762~1772.
- 张旗, 王焰, 潘国强, 等. 2008. 花岗岩源岩问题——关于花岗岩研究的思考之四[J]. 岩石学报, 24(6): 1193~1204.
- 张宏, 王五力, 李之彤, 等. 2004. 辽西医巫闾山地区中生代两期韧性变形的研究[J]. 世界地质, (3): 213~220.
- 张晓晖, 李铁胜, 蒲志平. 2002. 辽西医巫闾山两条韧性剪切带的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄: 中生代构造热事件的年代学约束[J]. 科学通报, 47(9): 697~701.
- 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 2000. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背问题[J]. 地质学报, 74(4): 271~302.
- 郑亚东, 王涛. 2005. 中蒙边界区中生代推覆构造与伸展垮塌作用的运动学和动力学分析[J]. 中国科学(D 辑), 35(4): 291~303.

## 《岩石矿物学杂志》再次入选地质学类中文核心期刊

《岩石矿物学杂志》再次入选《中文核心期刊要目总览》(2020 年版)地质学类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》第一版于 1992 年由北京大学出版社出版,之后每 3~4 年更新研究和编制出版一次,在图书情报部门馆藏优化和读者导读方面发挥了重要作用。《中文核心期刊要目总览》(2020 年版)从 2018 年 10 月开始由北京大学图书馆主持研究,北京大学图书馆、中国人民大学图书馆、清华大学图书馆等 28 个单位的 145 位专家和工作人员参加了研究工作,全国各地 10143 位学科专家参加了核心期刊的评审工作。《岩石矿物学杂志》已连续 8 次入选地质学类中文核心期刊。

2020 年版的地质学类核心期刊表如下:

序号	刊名	序号	刊名
1	岩石学报	18	第四纪研究
2	地质学报	19	高校地质学报
3	地学前缘	20	矿物岩石地球化学通报
4	地质论评	21	现代地质
5	矿床地质	22	地质与勘探
6	中国地质	23	地质科学
7	地球科学	24	地层学杂志
8	地球学报	25	地球科学与环境学报
9	大地构造与成矿学	26	矿物岩石
10	中国科学. 地球科学	27	地质科技通报(原地质科技情报)
11	地质通报	28	西北地质
12	沉积学报	29	物探与化探
13	古地理学报	30	岩矿测试
14	吉林大学学报. 地球科学版	31	沉积与特提斯地质
15	岩石矿物学杂志	32	水文地质工程地质
16	地球化学	33	地质力学学报
17	矿物学报		