第 92 卷　第 6 期
2018年6月　1163～1175

地　质　学　报　ACTA GEOLOGICA SINICA

Vol. 92 No. 6 2018
Jun.　1163～1175

武当山腹地晚古生代沉积与火山物质的识别：微体化石和锆石年代学证据

王刚[1)]，王宗起[1)]，武昱东[1)]，王东升[1)]，王涛[2)]，王嘉玮[1)]，张航[1)]

1）中国地质科学院矿产资源研究所，国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室，北京，100037；
2）中国地质科学院地质研究所，北京，100037

内容提要：普遍认为武当山为南秦岭前寒武纪基底，主要由新元古代武当群和耀岭河群构成，局部发育陡山沱组。野外路线调查查明，武当山黄龙－方滩地区岩石单元与区域上广泛分布的前寒武纪有序地层不同，具有明显“block-in-matrix”特征。进一步详细的微体化石和锆石 LA-ICP-MS 同位素年代学工作表明：原划归陡山沱组的变石英砂质板岩呈岩片产出，分离和鉴别出 15 属 30 余种晚泥盆世孢子化石；原划归耀岭河群的凝灰质砂岩亦呈岩片产出，获得 382Ma 单一加权峰值年龄，且碎屑锆石综合分析显示物源以晚泥盆世岩浆岩为主，仅少量可能来源于区域发育的武当群和耀岭河群。黄龙－方滩地区原划定的前寒武纪岩石地层中发现晚古生代沉积组合与火山活动物质的存在，为重新认识武当地区物质组成与演化提供了基础资料。该成果结合作者野外剖面构造解析和室内获得的玄武岩、大理岩及辉绿岩块体和砂岩基质多组新元古代－中生代锆石年代学数据，共同指示十堰黄龙－方滩地区岩石单元并非前寒武纪或显生宙有序构造－沉积层，而是混杂岩带。

关键词：锆石测年；孢子化石；晚古生代；混杂岩带；武当山

秦岭造山带是华北与扬子板块俯冲－碰撞造山作用形成的复合型造山带，记录了陆缘增生、陆－陆碰撞的全部过程，是研究中国东部大陆形成机制的关键地带之一（Zhang Guowei, et al., 1995; Wang Zongqi et al., 2009; Dong Yunpeng et al., 2016）。南秦岭在秦岭造山带构造过程中的构造属性与响应是中国地学界的研究难点，争议主要集中于新元古代时的构造属性，显生宙是被动陆缘、活动陆缘、还是增生杂岩等问题。武当山占据南秦岭造山带重要位置（图 1a），其物质组成及其构造属性是南秦岭造山带地质研究的关键之一。前人大量地质科研工作普遍认为武当山前寒武系主体由新元古代武当群和周缘或内部出露的耀岭河群共同构成（Cai Zhiyong et al., 2006, 2007; Ling Wenli et al., 2007; Zhu Xiyan et al, 2008, 2014; Zhang Yongqing et al., 2013），内部发育大量新元古代（Zhou Dingwu et al., 1999; Ling Wenli et al., 2007; Zhu Xiyan et al., 2015; Li Qiwei, et al., 2016）或加里东期（Hu Jianmin et al., 2003; Nie Hu et al., 2016）及印支期（Nie Hu et al., 2016）镁铁质侵入岩，并出露少量新元古代花岗质侵入岩（Wang Ruirui, et al., 2016），局部还发育震旦系－寒武系，未见报道存在晚古生代以来的沉积与火山物质组成。

笔者对武当山十堰黄龙－方滩地区进行了野外地质路线解析和室内研究，野外产状显示该地区明显不同于十堰断裂南侧与两郧断裂北侧有序地层的岩石组合，具有明显“block-in-matrix”混杂特征，而其岩块和基质组成与时代成为研究其成因的关键。本文重点报道最新获得的晚古生代微古化石和年代学资料，以期为重新认识武当山区域物质组成和构造演化提供证据。

1　区域地质背景

武当山的主体由武当群及耀岭河群构成（图 1b）。武当群包含变沉积岩和基性－中酸性变火山岩，它们的上下层位关系存在不同认识（Chen Jinbiao et al., 1991; Cai Zhiyong et al., 2006; Ling Wenli et al., 2007; Zhu Xiyan et al., 2008;

注：本文受中国地质科学院基本科研业务费（项目编号：YK1701、K1615）和国家青年自然基金项目（编号：41402180）联合资助。
收稿日期：2017-08-07；改回日期：2018-02-01；责任编辑：黄敏。
作者简介：王刚，男，1984 年生。助理研究员。构造地质学专业。Email：wanggang0315@126.com。通讯作者：王宗起，男，1960 年生。研究员。大地构造与成矿研究。Email：kcwzq@vip.sina.com。

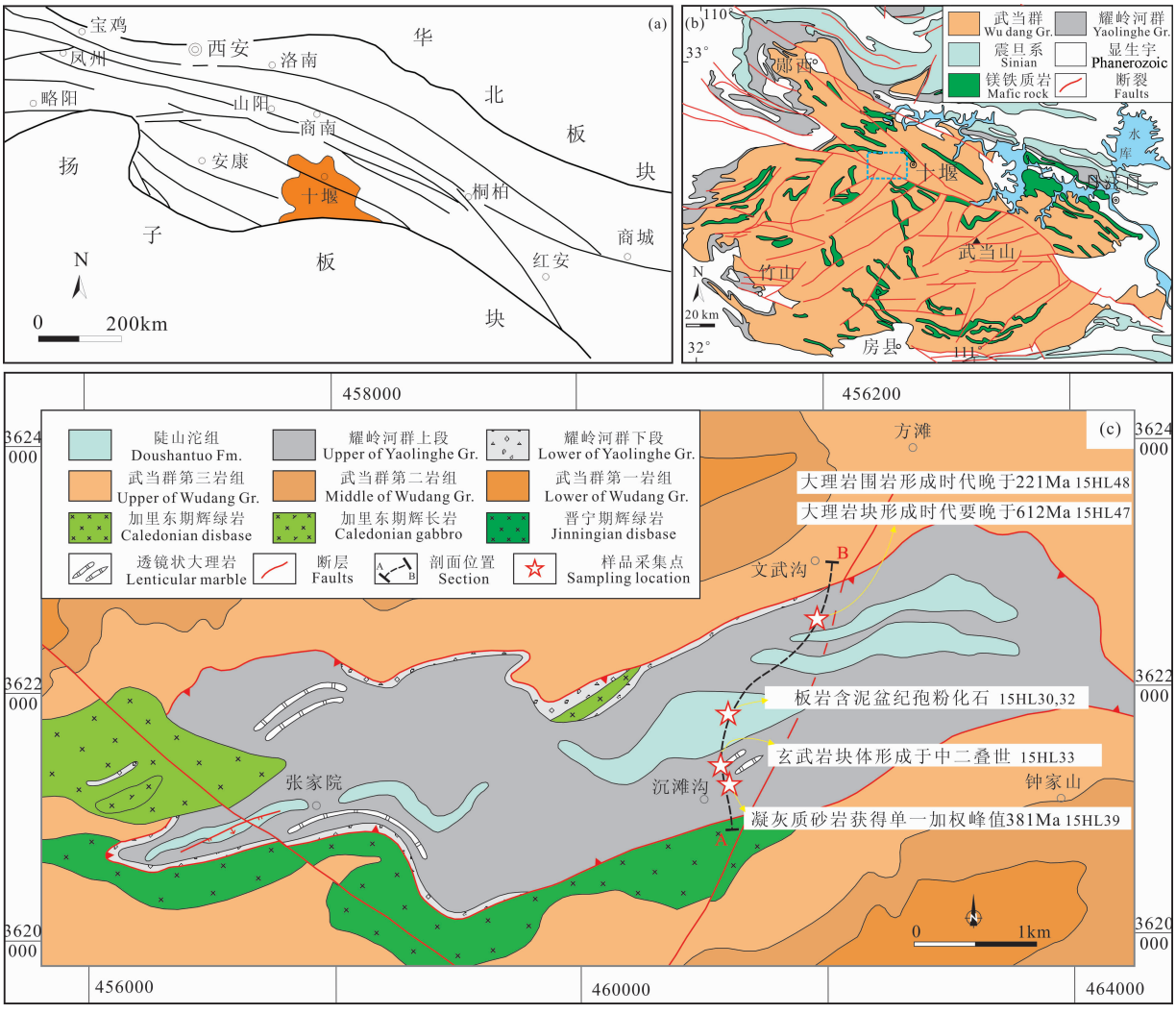


图 1 武当山在秦岭－大别造山带的位置图(a),武当地区地质简图
(b,据 Ling Wenli et al.,2007 修改)和湖北十堰黄龙－方滩地区 1∶5 万地质简图(c)

Fig. 1 Location of Wudang Mountain in Qinling-Dabie Orogeny (a), Geological map of Wudang Mountain (b, modified after LingWenli et al.,2007), 1∶50000 of geological map of the Huanglong-Fangtan area, Shiyan City of Hubei Province (c)

Zhang Yongqing et al., 2013)。武当群之上为耀岭河群火山－沉积岩,二者接触关系也存在整合、高角度不整合或后期构造拼合接触等认识(Chen Jinbiao et al., 1991; Hu Jianmin et al., 1995; Zhu Xiyan et al., 2008)。高精度同位素年龄数据显示武当群和耀岭河群时代均为新元古代,但二者在武当山不同空间展布形成时代有较大差异,武当群火山岩时代为 780～670Ma,耀岭河群火山岩时代为 680～630Ma(Cai Zhiyong et al., 2006, 2007; Ling Wenli et al., 2007; Zhu Xiyan et al, 2008, 2014; Zhang Yongqing et al., 2013; Wang Lijuan et al., 2013),且二者分别在商南－安康－武当等不同区域的岩石组合和地球化学及构造属性等具有不同特征(Zhou Dingwu et al., 1998; Zhang Yeming et al., 2001; Zhang Zongqing et al., 2002; Su Chunqian et al., 2006; Zhu Xiyan et al, 2008, 2014),导致对它们所形成的大地构造背景及对全球古大陆演化的作用也存在较大分歧,如大陆裂谷环境(Zhang Benren et al., 1994; Zhang Guowei et al., 2001; Ling Wenli et al., 2007; Xia Linqi et al., 2008; Zhu Xiyan et al, 2008)、岛弧－弧后环境(Wang Dongbo et al., 1991; Lei Shihe, 1995; Fu Jianming et al., 1999; Wang Zongqi et al., 2002, 2009)或不同分布区域具有不同构造属性(Su Chunqian et al., 2006; Zhu Xiyan et al, 2014)等不同观点。十堰断裂和两郧断裂是武当地区两条重要构造带,将武当分为北部、南部和中部三个不同的构造区段(Zhao Guochun et al., 2003; Hu Jianmin et

al.，2004),十堰断裂以南于印支期碰撞造山过程中发生由北向南的逆冲推覆(Lei Shihe，1995；Lei Shihe et al.，1996；Hu Jianmin et al.，1999，2004)。在两郧断裂以北的郧县－白桑－高庙一带,部分学者认为发生伸展体制下自北往南滑脱,且滑脱构造具有多层次的特点(Xu Zhiqin et al.，1988，1997),也有学者认为其形成于加里东－印支期由南向北的顺层滑脱构造(Qin Zhengyong et al.，1997；Hu Jianmin et al.，2004)；而 Zeng Yun(1998)认为武当－两郧地区为印支－燕山造山运动形成的陆内造山带,早期以逆冲－推覆单向造山为特征,晚期则以走滑－陆陆碰撞双向造山为主,十堰与两郧断裂之间为中央走滑剪切带,两侧则分别向南、北逆冲。因此区域内断裂总体呈北西西向展布,且发育多条与两条主干断裂走向一致的断层,此外还发育多条北北东向断层,共同组成了武当山内部构造体系。区域内岩浆岩主要为镁铁质辉绿岩、辉长岩(Zhou Dingwu et al.，1999；Hu Jianmin et al.，2003；Ling Wenli et al.，2007；Zhu Xiyan et al.，2015；Li Qiwei，et al.，2016；Nie Hu et al.，2016),少量超基性辉石岩和花岗质侵入岩(Wang Ruirui et al.，2016)。

黄龙－方滩地区位于十堰断裂北侧,岩石地层近东西方向展布,与区域构造线方向一致。大部分学者和单位通过地层对比,均认为该地区与武当山整体一致,主要由武当群、耀岭河群、局部出露陡山沱组的前寒武纪有序地层及少量镁铁质岩组成(图 1c)。研究区东西延伸的郧西和丹江口地区获得了武当群(757 Ma,Ling Wenli et al.，2007;675Ma,Zhang Yongqing et al.，2013)和耀岭河群时代(632Ma，Cai Zhiyong et al.，2007)。目前黄龙地区仅报道了变辉长岩角闪石$^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年 694.4±21Ma 坪年龄,并认为其代表了岩浆活动时代(Zhou Dingwu et al.，1999),区内物质组成及它们所记录的地质历史缺乏系统研究,且前人研究限于测试手段和测试对象,得出的地质意义也存在不同程度局限性。

2　样品采集和测试方法

2.1　样品产状及采集

作者及合作者对武当黄龙地区沉滩沟－文武沟一带进行了路线剖面调查、样品采集和室内测试分析,路线起点坐标 N 110°35′09.5″,E 32°42′55.9″。地质剖面中可见原划耀岭河群岩石地层表现为玄武岩、灰岩、辉绿岩等块体和凝灰质砂岩岩片等包裹于绢云钠长绿泥片岩(变凝灰质砂岩)和含石榴石二云母片岩(变泥质岩)等围岩中,局部发育具烘烤边的辉绿岩侵入脉体。围岩能干性整体较弱,受挤压形成紧闭褶皱,发育矿物定向拉伸线理以及长石和绢云母组成的旋转碎斑判断受北西－南东向剪切作用,发育的石榴子石截切了片理且未发生旋转为构造后成因;而玄武岩、大理岩(灰岩)及辉绿岩等块体能干性强呈透镜状产出,围岩片理未被块体截切而是绕块体延伸,且块体内部无变形特征仅与围岩接触边部位发生片理化,因此判断这些块体与围岩为断层接触并受南北向挤压作用;绢云绿泥片岩(原岩为凝灰质砂岩)与大理岩(原岩为灰岩)互层呈岩片产出,二者均表现出矿物定向拉长特征,绿泥片岩中石榴子石变斑晶和黑云母等构成的旋转碎斑指示该岩片发生了南北向剪切和近东西向剪切。原划陡山沱组岩石地层呈黄、褐、黑相间的炭硅质砂板岩岩片包裹于碎屑砂岩和变泥质岩中,其中围岩与原耀岭河群围岩特征相似,而炭硅质砂板岩岩片能干性较弱,受挤压作用在劈理面上发育大量的皱纹线理,同时也存在较宽缓的褶皱对板劈理进行改造,在褶皱的核部还发育很多小褶皱,形成复式褶皱;板岩内部顺板劈理还有大量的石英脉,受挤压形成了褶皱的层间剪切作用;岩片内部还发育较多由北向南的逆冲断层,并形成板劈理的牵引式弯曲。原划武当群的绢云钠长石英片岩内部矿物定向拉长形成拉伸线理,并发育 σ－型石英碎斑和指示左行剪切旋转的石榴子石和长石变斑晶,上述特征共同表明岩石受到明显的由北向南的剪切作用,其与上覆地层呈断层接触(图 2),通过野外岩性和构造解析查明原定耀岭河群和陡山沱组岩石地层具有围岩包裹块体的组成,且围岩和块体或岩片经历了不同的构造变形特征。此外区域上可见火山角砾岩呈块体产出。其中 15HL15-21,27-32 等为炭质细砂板岩样品,用于挑选微古化石,样品 1kg/件;15HL39 为凝灰质砂岩岩片样品,样品＞50kg。

2.2　分析测试方法

孢子样品分析由中国地质科学院地质研究所古生物实验室完成,样品分析采用重液浮选法(Moore et al.，1978),详细的实验步骤可参见(Li Xiaoqiang et al.，1999),鉴定工作由中国地质科学院地质研究所高联达研究员完成。样品碎样和锆石挑选工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。锆石样品的制靶和阴极发光图像工作由北京

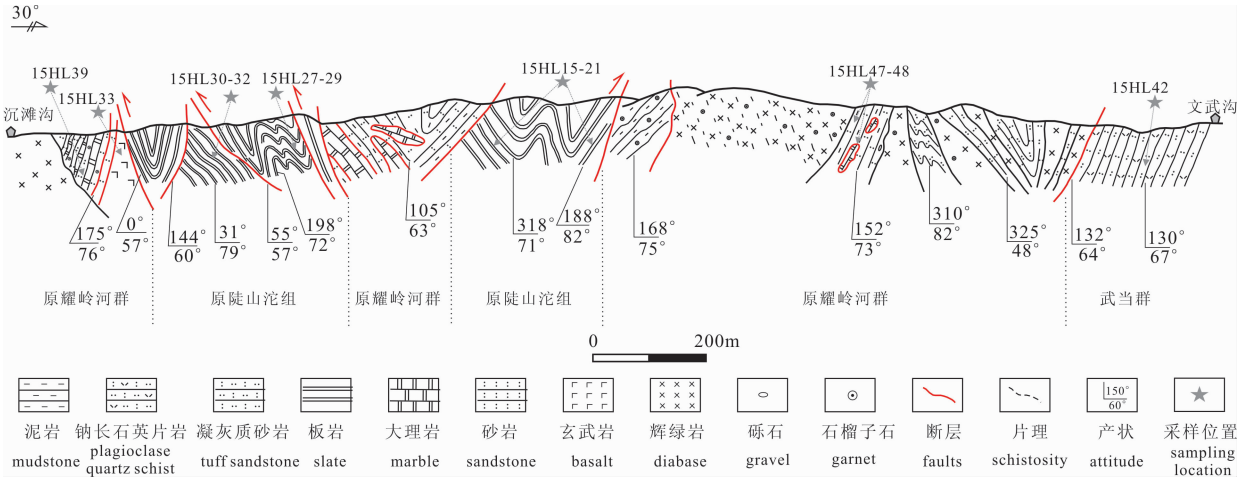


图 2 湖北十堰黄龙—方滩地区沉滩沟至文武沟信手地质剖面

Fig. 2 Geology sections from Chentangou to Wenwugou of Huanglong-Fangtan area, Shiyan City of Hubei Province

锆年领航有限公司完成。锆石 U-Pb 年龄测定前，依据透反射图像和阴极发光图像分析，对锆石样品随机圈定裂隙和包裹体不发育的颗粒。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所完成，锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。详细实验测试过程可参见(Hou Kejun et al., 2009)。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu Yongsheng et al., 2010)，普通 Pb 校正采用 Anderson(2002)，锆石年龄谐和图由 Isoplot 3.0 程序完成(Ludwig 2003)。对锆石年龄＞1000Ma 的数据，采用$^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄，而对于＜1000Ma 的数据，采用$^{206}Pb/^{238}Pb$ 年龄(Gehrels et al., 1999; Sircombe, 1999)。以不谐和度绝对值≤10% 为标准遴选 U-Pb 年龄数据(Naipaner et al., 2010; Zhang Yingli et al., 2016)，用于谐和图和直方图绘制以及探讨物源和区域的构造事件。

3 分析测试结果

3.1 微体化石

样品采自 1∶5 万黄龙滩幅地质图❶中的晚震旦世“陡山沱组”，以含炭黏土质细砂板岩、(黏土质)石英细砂板岩夹透镜状大理岩组成，野外产状特征显示这套地层内部变形复杂，并重复出现，拉伸线理、旋转碎斑及褶皱构造等指示发生南北向剪切和东西向走滑作用，并发生自北向南的逆冲；该套岩石与围岩以断层接触，形成较大岩片。在路线剖面上出露较连续、变形较弱地区连续采集样品(图 2，15HL15～21、27～32 等)，进行微体化石的分离和鉴定工作。送样 18 件，样品岩性均为含炭细砂板岩，镜下特征显示主要由石英、长石和黑云母及绿泥石组成，偶见蚀变方解石(图 3a)，其中 15HL30 和 15HL32 等 7 件样品发现植物孢子(spore)和极少疑源类(acritarchs)化石，其中孢子微体化石共计 15 属 30 余种，图示有(图 3)：*Retusotriletes phillopsii* Chendening, Eames and Wood, *R. distinctus* Richardson, *Acanthotriletes* sp., *Geminispora* sp., *Grandispora echinata* Hacquebard, *Archaeozonotriletes variabilis* (Naumova) Allen, *Cymbosporites* sp., *Retispora lepidophyta* (Kedo) Playford 等。此外未图示的孢子主要还有：*Verrucosisporites* cf. *nitidus* (Naumova) Playford, *Gradispora fanmenensis* (Naumova) Streel, *Vallatisporites pusillites* (Kedo) Dolby and Neves 等。

3.2 锆石 U-Pb 年龄

样品采自 1∶5 万黄龙滩幅地质图❶中的早震旦世耀岭河群，主要由凝灰质砂岩与大理岩互层呈岩片出露，与两侧砂岩呈断层接触，其中凝灰质砂岩局部呈含榴绢云绿泥片岩产出，大理岩层较薄约 5～15cm，二者互层产出并发生变质可能与印支期造山作用有关。采集上部凝灰质砂岩样品磨片和挑选锆石矿物(15HL39)，镜下显示主要由长石、石英和黑云母及绢云母、绿泥石等矿物组成(图 4a)，局部见绿帘石化长石晶屑等火山碎屑以及石榴子石。样品的锆石颗粒大部分呈无色透明自形结构，CL 图像呈灰黑色，但强弱不等可能为不同锆石颗粒之间

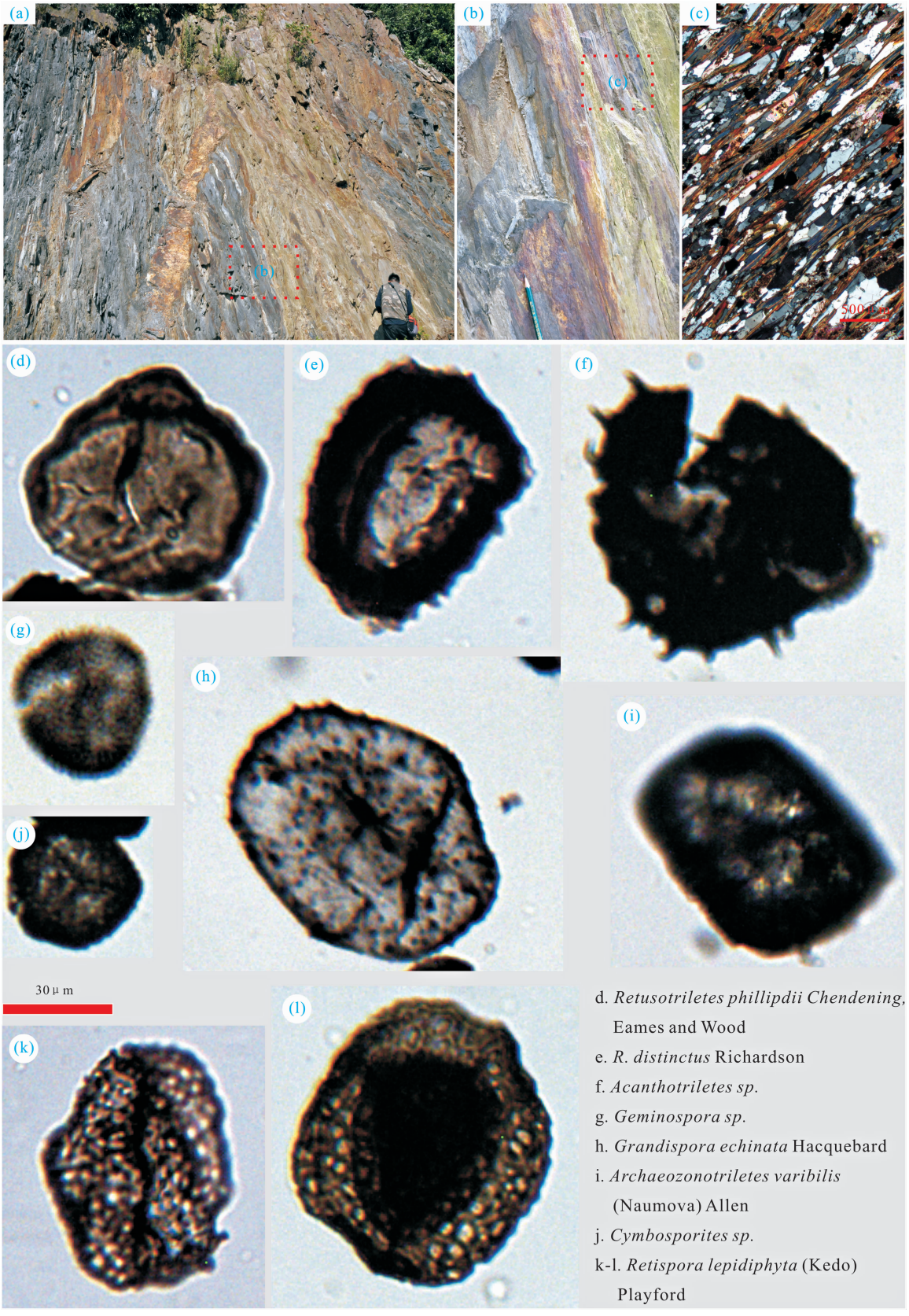


图 3　湖北十堰黄龙地区原陡山沱组板岩野外产状(a,b)和显微特征(c)及鉴定出的晚古生代孢子化石(d-l)

Fig. 3　Outcrops (a,b) and microscope text (c) of slate for former Doushantuo Formation from Huanglong area, Shiyan City of Hubei Province and the identified of late Devonian sporopollen fossil (d-l)

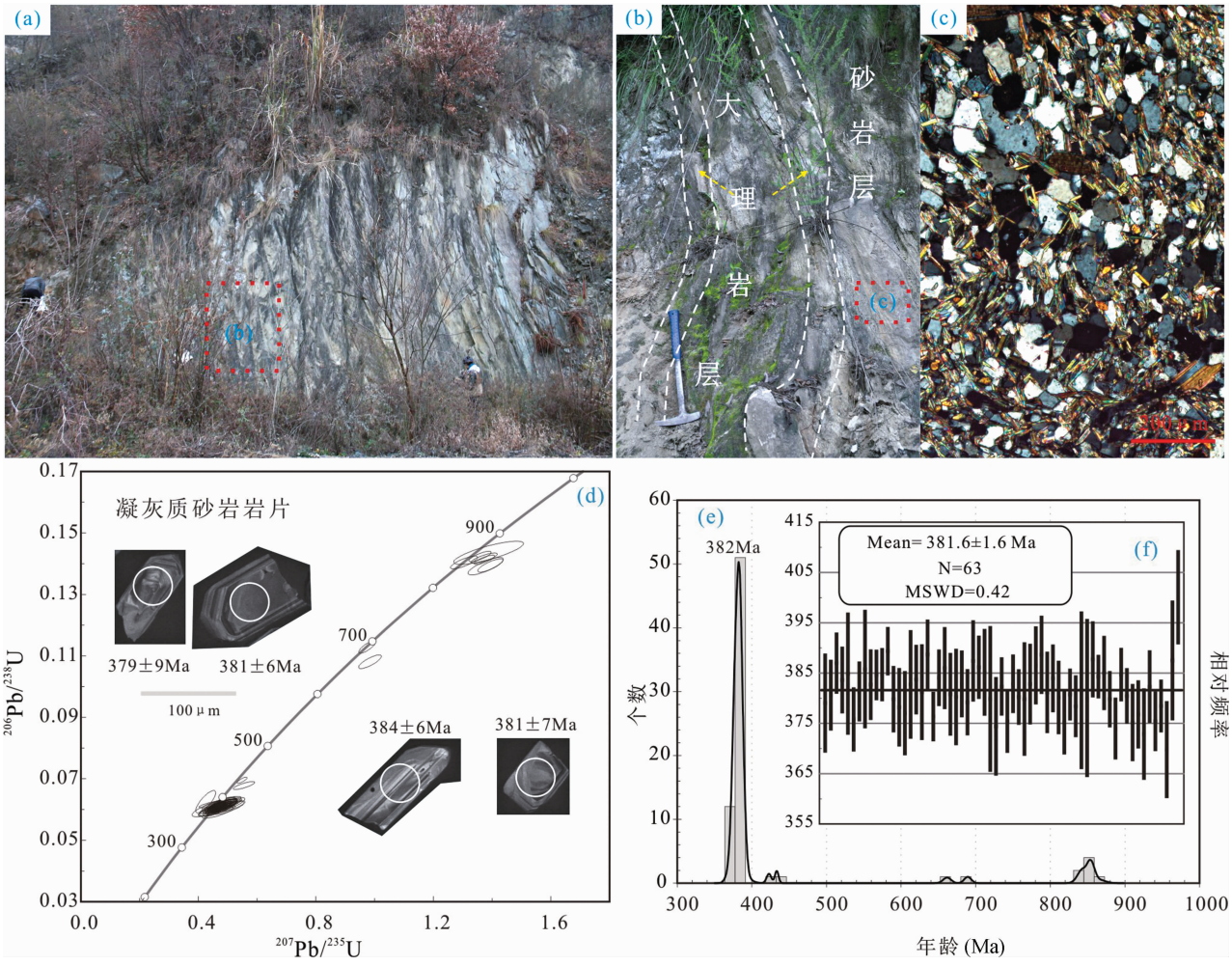


图 4 黄龙—方滩地区原耀岭河群砂岩野外产状和显微特征及碎屑锆石年龄

Fig. 4 Outcrops and microscope text of sandstone for former Yaolinghe Group from Huanglong-Fangtan area, Shiyan City of Hubei Province and the detrital zircon U-Pb ages

(a)—砂岩露头;(b)—砂岩露头局部产出特征;(c)—砂岩显微特征;(d)(e)(f)—碎屑锆石谐和图、直方图及加权平均年龄)

(a)—Characteristics of production for sandstone; (b)— part of characteristics of production; (c)— microscope text for sandstone; (d)(e)(f)— cathodoluminescence images of representative zircon, Concordia plots, histograms and relative probability plots and weighted mean age plots of detrital zircon

的 Th、U 等元素含量不同导致的成分差异所致(Corfu et al., 2003),锆石颗粒呈板状震荡环带或均质结构,长度变化范围为 50～180μm,长宽比为 4∶1～2∶1。选取了 85 颗单颗粒锆石进行测试,其中 74 粒锆石获得有效年龄(表 1),并获得了单一加权峰值年龄(381.6±1.6Ma,n=63),结合碎屑锆石的形态和阴极发光图像分析,表明区域上物源以中晚泥盆世岩浆岩为主(图 4)。

4 讨论

4.1 时代探讨

湖北地矿局区域地质矿产调查所(1985)❸认为武当山内部及周缘发育的以板岩、千枚岩夹碳酸盐为主的地层与邻区震旦系具有一定的差异,岩性和岩貌自成一体,本应予以建组命名,但缺乏化石依据,为便于划分对比,暂用"陡山沱组"命名;湖北省地矿局区调所(1990)❶与湖北省地质调查院(2009)❷沿用上述观点,将十堰黄龙地区发育在"耀岭河群"之上的变含炭黏土质细砂岩、变(黏土质)石英砂岩夹透镜状大理岩等岩石组合划归陡山沱组。本次在黄龙沉滩沟附近这套岩石地层单元中分离和鉴别出的孢子组合可与中国西藏珠峰地区晚泥盆世晚期章东组、湖南和湖北地区的晚泥盆世梯子口组和长江下游地区的五通群上部擂鼓台组的孢子组合比较,相当西欧、北美、俄罗斯和澳大利亚所建立的晚泥盆世法门阶(Famennian)晚期 *Vallatisporites*

表 1　湖北十堰黄龙—方滩地区原耀岭河群凝灰质砂岩样品碎屑锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 1 U-Pb isotopic data for detrital zircons from the former Yaolinghe Group in Huanglong-Fangtan area, Shiyan City of Hubei Province

测点号	元素含量($\times10^{-6}$)		元素比值	同位素比值						年龄(Ma)						不谐和度(%)
	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	
1	98	214	0.46	0.0557	0.0047	0.4631	0.0382	0.0606	0.0016	443	191	386	27	379	9	2
2	84	172	0.49	0.0572	0.0045	0.4824	0.0349	0.0617	0.0019	498	171	400	24	386	7	4
3	148	194	0.76	0.0551	0.0046	0.4591	0.0357	0.0609	0.0015	417	185	384	25	381	6	1
5	147	274	0.54	0.0548	0.0026	0.4581	0.0218	0.0608	0.0008	467	103	383	15	380	6	1
6	85	147	0.57	0.0555	0.0057	0.4669	0.0519	0.0610	0.0025	432	228	389	36	382	12	2
7	103	251	0.41	0.0590	0.0039	0.4757	0.0246	0.0602	0.0011	565	143	395	17	377	6	5
9	412	948	0.44	0.0624	0.0013	0.9747	0.0233	0.1129	0.0016	700	51	691	12	689	9	0
10	67	152	0.44	0.0593	0.0034	0.4928	0.0285	0.0608	0.0011	576	121	407	19	381	6	7
11	66	261	0.25	0.0596	0.0028	0.5067	0.0227	0.0619	0.0009	591	108	416	15	387	11	8
12	157	265	0.59	0.0590	0.0031	0.5552	0.0300	0.0678	0.0010	565	112	448	20	423	12	6
13	142	201	0.71	0.0523	0.0035	0.4249	0.0278	0.0625	0.0030	302	158	360	20	391	9	−8
15	99	144	0.69	0.0553	0.0028	0.4627	0.0232	0.0613	0.0010	433	147	386	16	384	7	1
16	82	132	0.62	0.0594	0.0061	0.4984	0.0491	0.0615	0.0019	583	224	411	33	385	5	7
17	73	133	0.55	0.0576	0.0045	0.4815	0.0370	0.0600	0.0010	517	168	399	25	376	5	6
19	140	233	0.60	0.0561	0.0027	0.4772	0.0235	0.0609	0.0009	454	109	396	16	381	4	4
20	109	200	0.55	0.0577	0.0041	0.4794	0.0327	0.0612	0.0011	517	156	398	22	383	6	4
21	295	431	0.69	0.0543	0.0020	0.4606	0.0162	0.0615	0.0008	383	81	385	11	385	7	0
23	199	247	0.81	0.0543	0.0024	0.4616	0.0205	0.0615	0.0008	383	100	385	14	385	8	0
24	276	377	0.73	0.0547	0.0018	0.4695	0.0160	0.0623	0.0007	398	76	391	11	389	10	0
25	119	135	0.88	0.0561	0.0039	0.4588	0.0301	0.0607	0.0010	454	156	383	21	380	7	1
26	104	148	0.70	0.0567	0.0038	0.4692	0.0316	0.0604	0.0012	480	156	391	22	378	9	3
27	86	154	0.55	0.0552	0.0056	0.4615	0.0466	0.0602	0.0013	420	228	385	32	377	7	2
28	80	132	0.60	0.0568	0.0053	0.4757	0.0446	0.0612	0.0017	483	209	395	31	383	5	3
29	98	204	0.48	0.0563	0.0037	0.4780	0.0315	0.0613	0.0011	465	144	397	22	384	5	3
30	142	196	0.73	0.0570	0.0035	0.4903	0.0320	0.0622	0.0011	500	144	405	22	389	8	4
31	433	449	0.96	0.0562	0.0021	0.4669	0.0177	0.0601	0.0008	461	83	389	12	376	8	3
32	131	224	0.59	0.0592	0.0034	0.5009	0.0273	0.0614	0.0009	576	119	412	18	384	9	7
33	182	361	0.50	0.0578	0.0030	0.4935	0.0248	0.0617	0.0013	524	111	407	17	386	6	6
34	97	178	0.55	0.0553	0.0038	0.4571	0.0289	0.0608	0.0013	433	152	382	20	381	6	0
36	88	152	0.58	0.0607	0.0056	0.5014	0.0439	0.0608	0.0015	628	200	413	30	380	8	9
37	146	193	0.75	0.0567	0.0033	0.4775	0.0274	0.0612	0.0010	480	131	396	19	383	6	4
38	98	204	0.48	0.0558	0.0038	0.4672	0.0310	0.0606	0.0010	456	150	389	21	379	8	3
39	132	220	0.60	0.0578	0.0037	0.4915	0.0312	0.0619	0.0013	520	140	406	21	387	11	5
42	102	207	0.49	0.0558	0.0027	0.4810	0.0243	0.0617	0.0010	456	109	399	17	386	14	3
43	121	167	0.73	0.0534	0.0047	0.4626	0.0415	0.0616	0.0014	343	200	386	29	385	13	0
44	54	86	0.63	0.0594	0.0059	0.4737	0.0475	0.0607	0.0023	583	217	394	33	380	9	4
45	58	207	0.28	0.0544	0.0050	0.4506	0.0422	0.0598	0.0015	387	209	378	30	374	5	1
46	322	480	0.67	0.0545	0.0021	0.4587	0.0180	0.0611	0.0009	391	89	383	13	382	6	0
48	133	171	0.78	0.0558	0.0032	0.4542	0.0240	0.0600	0.0010	456	123	380	17	375	5	1
49	95	173	0.55	0.0561	0.0033	0.4707	0.0276	0.0612	0.0009	454	136	392	19	383	10	2
50	114	174	0.65	0.0615	0.0056	0.5055	0.0435	0.0607	0.0018	657	192	415	29	380	5	9
51	68	116	0.58	0.0582	0.0046	0.4866	0.0372	0.0612	0.0013	539	174	403	25	383	11	5
52	121	268	0.45	0.0604	0.0042	0.5058	0.0322	0.0618	0.0012	617	152	416	22	387	10	8
53	63	116	0.54	0.0591	0.0041	0.5061	0.0344	0.0621	0.0012	572	152	416	23	389	8	7
54	73	133	0.55	0.0583	0.0045	0.4712	0.0340	0.0609	0.0013	543	172	392	23	381	7	3
55	94	132	0.71	0.0584	0.0044	0.4881	0.0361	0.0614	0.0010	546	165	404	25	384	8	5
56	120	210	0.57	0.0570	0.0035	0.4675	0.0265	0.0607	0.0011	500	133	389	18	380	7	2
57	170	227	0.75	0.0551	0.0032	0.4542	0.0273	0.0599	0.0010	417	131	380	19	375	7	1
58	236	416	0.57	0.0550	0.0022	0.4596	0.0180	0.0608	0.0008	413	89	384	12	381	8	1
59	126	220	0.57	0.0551	0.0031	0.4589	0.0254	0.0605	0.0010	417	126	383	18	378	6	1

续表 1

测点号	元素含量($\times10^{-6}$)		元素比值	同位素比值						年龄(Ma)						不谐和度(%)
	Th	U	Th/U	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	
60	85	246	0.34	0.0548	0.0080	0.4555	0.0627	0.0607	0.0025	467	331	381	44	380	7	0
61	229	272	0.84	0.0553	0.0065	0.4684	0.0536	0.0620	0.0012	433	267	390	37	388	6	1
63	968	973	0.99	0.0565	0.0016	0.4779	0.0132	0.0614	0.0007	472	95	397	9	384	5	3
64	110	180	0.61	0.0548	0.0036	0.4628	0.0309	0.0615	0.0012	467	144	386	21	385	5	0
65	184	283	0.65	0.0559	0.0027	0.4663	0.0226	0.0607	0.0009	456	103	389	16	380	6	2
66	100	199	0.50	0.0556	0.0026	0.4486	0.0203	0.0597	0.0010	435	136	376	14	374	15	1
67	138	284	0.49	0.0547	0.0025	0.4642	0.0209	0.0615	0.0008	398	102	387	14	385	17	1
68	201	324	0.62	0.0553	0.0026	0.4619	0.0210	0.0608	0.0009	433	104	386	15	380	8	1
69	244	269	0.91	0.0567	0.0040	0.4625	0.0305	0.0599	0.0012	480	156	386	21	375	15	3
70	92	188	0.49	0.0564	0.0055	0.4549	0.0448	0.0595	0.0014	478	218	381	31	373	7	2
71	107	195	0.55	0.0583	0.0036	0.4807	0.0281	0.0611	0.0011	543	103	399	19	382	4	4
72	181	265	0.68	0.0569	0.0029	0.4638	0.0219	0.0600	0.0009	500	113	387	15	375	18	3
74	206	436	0.47	0.0572	0.0035	0.4802	0.0306	0.0605	0.0008	498	132	398	21	378	7	5
75	110	181	0.61	0.0581	0.0055	0.4659	0.0435	0.0590	0.0015	532	209	388	30	370	5	5
76	62	112	0.56	0.0604	0.0060	0.4888	0.0465	0.0620	0.0019	620	215	404	32	388	6	4
77	118	354	0.33	0.0715	0.0024	1.3783	0.0491	0.1392	0.0023	972	69	880	21	840	5	5
78	132	554	0.24	0.0722	0.0018	1.3941	0.0353	0.1394	0.0018	992	50	886	15	841	5	5
79	110	362	0.30	0.0675	0.0020	1.3048	0.0379	0.1404	0.0017	854	66	848	17	847	7	0
80	503	1282	0.39	0.0704	0.0014	1.3741	0.0289	0.1413	0.0012	939	46	878	12	852	6	3
81	358	823	0.44	0.0692	0.0016	1.3592	0.0309	0.1423	0.0014	906	47	872	13	858	6	2
82	68	166	0.41	0.0705	0.0050	1.3883	0.0972	0.1436	0.0031	943	145	884	41	865	9	2
83	37	290	0.13	0.0707	0.0020	1.3730	0.0368	0.1418	0.0014	947	59	877	16	855	7	3
84	162	264	0.61	0.0655	0.0020	0.9844	0.0319	0.1081	0.0018	791	65	696	16	662	6	5
85	427	929	0.46	0.0572	0.0014	0.5488	0.0138	0.0695	0.0008	502	49	444	9	433	5	3

pusillites-Retispora lepidophyta（PL）带和 *Retispora lepidophyta-Verrucosisporites nitidus*（LN）带（Gao Lianda，2015），其中 *Retispora lepidophyta* 孢子是晚泥盆世典型分子。最新鉴定出的孢子化石为厘定十堰黄龙地区该套岩石地层时代归属提供了直接的证据。此外，疑源类（acritarchs）是分类位置不明的海相微体古植物，它生存在海洋中，因此研究区泥盆纪应属海相沉积，这与沉积岩组合类型耦合。

湖北省地矿局区调所（1990）❶与湖北省地质调查院（2009）❸将十堰断裂以北黄龙地区发育的含砾凝灰岩与炭泥质片岩、变基性火山岩及钠长绿泥片岩、钙质砂岩及大理岩透镜体组合划归耀岭河群（组）。作者野外调查查明黄龙地区前人划归的“耀岭河群”物质组成不同于十堰断裂南侧与两郧断裂北侧该套岩石的有序地层组成，具有变凝灰质砂岩（片岩）和变质泥岩（含石榴石二云母片岩）包裹玄武岩、辉绿岩、灰岩（大理岩）以及凝灰质砂岩等块体或岩片的混杂特征，路线剖面中采集不同样品并测试，获得了晚古生代年代学证据：与大理岩互层产出的凝灰质砂岩碎屑锆石的单一峰值加权年龄 382Ma，结合锆石 CL 图像成因分析，表明其物源以中晚泥盆世岩浆岩为主，其中～430Ma 锆石可能与区域内岩浆活动有关，680Ma 和～850Ma 等少量碎屑锆石时代暗示极少量物源可能来自耀岭河群及武当群。此外，作者及合作者在该套岩石单元中还获得了多组年代学数据（未发表数据）：如玄武岩块体 LA-ICP-MS 锆石测年显示为中二叠世岩浆活动并捕获了古元古代－早古生代多期次岩浆锆石；含石英大理岩块体较年轻的碎屑锆石加权峰值年龄为～612Ma，表明其形成时代晚于前人划分的最年轻耀岭河群（632Ma，Cai Zhiyong et al.，2007）和区域内相当层位的地层（636Ma，Deng Qianzhong et al.，2016）；含石英大理岩块体的围岩（砂岩）较年轻的碎屑锆石加权峰值年龄为～221Ma，表明其形成于晚三叠世之后，碎屑锆石综合分析显示其物源与包裹的含石英大理岩块体具有显著不同，且物源较复杂，峰值物源主要来自～0.25Ga 和～0.9Ga 的岩石，次要峰值年龄为～2.2Ga、～0.8Ga、～0.4Ga 和～0.3Ga；同时该套岩石内发育的辉绿岩块体获得 640Ma 的锆石 SHRIMP 年龄，而侵入接触关系的辉绿辉长岩获得 220Ma 的锆石 SHRIMP 时代。综上，野外地质特征、碎屑锆石年代及物源分析均表明前人划分的该套岩石单元不属于武当山真正意义

震旦纪耀岭河群,而包含不同时代、不同岩性物质组成,其中晚泥盆世火山沉积物质与前述发育晚泥盆世孢子化石的沉积物质形成时代具有一致性。

4.2　大地构造意义

武当山地处商丹断裂和巴山-青峰断裂之间,大部分学者根据同位素年龄认为武当山主体为新元古代基底有序地层产物(Ling Wenli et al., 2007; Xia Linqi et al., 2008; Zhu Xiyan et al., 2008, 2014),后期经历了加里东期－印支期伸展滑脱、逆冲推覆及走滑剪切等构造作用(Cai Xuelin et al., 1988; Xu Zhiqin et al., 1988, 1997; Lei Shihe, 1995; Qin Zhengyong et al., 1997; Hu Jianmin et al., 1999, 2004),因此前人一致将武当群和耀岭河群中获得的加里东期以来的锆石年龄解释为后期变质年龄。科研文献和区调资料等显示武当山内部如红岩背地区、五峰－黄龙一带出露混乱、破碎等不协调岩石单元,大部分学者认为这些特征是后期陆内构造作用,使地层叠瓦状堆垛或局部包含少量卷入的构造岩块,为有序地层陆内变形构造混杂岩(Xu Zhiqin et al., 1988; Lei Shihe, 1995; Hu Jianmin et al., 2004);也有学者认为是两郧和丹江口一带存在古俯冲带或增生混杂带(Wang Quan et al., 2010),为俯冲－增生混杂岩;或有学者认为它们是由武当群和耀岭河群组成为主的推覆体局部地段剥蚀出现构造窗或飞来峰等构造形态(Cai Xuelin et al., 1988)。显然,上述有陆内变形混杂、俯冲－增生混杂、构造窗或飞来峰等成因,所代表的地质构造过程和意义是迥异的,对这些混乱岩石单元成因进行系统研究有助于正确理解区域构造演化。

本次开展了黄龙－方滩一带野外路线剖面调查与室内微体化石和锆石 U-Pb 年代学及碎屑锆石源区分析等,研究成果证明了武当山内部存在晚古生代及以来的沉积与火山岩浆作用,为深入研究区域基础科学提供了目标地质载体,同时各项证据共同指示:黄龙地区岩石单元包含了新元古代－古生代－中生代等若干不同时代的物质组成,结合野外构造解析,该地区不符合有序构造－沉积层序特征,可以排除构造窗或飞来峰成因,而符合基质包裹块体的混杂岩特征。对上述不同时代物质组成、成因及所代表的构造意义等的研究是解决混杂成因的关键,将是下一步开展工作的重点。

5　结论

综上,我们可以得出以下认识:

(1)武当山黄龙－方滩地区原划定为晚震旦世陡山沱组岩石单元中分离和鉴别出 15 属 30 余种晚泥盆世孢子化石,原划定为早震旦世耀岭河群岩石单元中获得了碎屑锆石 382Ma 的单一峰值时代,二者均表明黄龙－方滩地区发育晚古生代沉积和火山物质;

(2)野外地质与构造解析和室内年代学研究结论指示,黄龙地区岩石单元并非前寒武纪或显生宙有序地层沉积－构造成因,而具有混杂岩带特征。因此,武当山并非统一前寒武纪基底,需要重新认识其组成与构造属性。

致谢:野外工作得到了中国地质科学院地质研究所闫臻研究员等同行的指导,室内同位素测试得到中国地质科学院矿产资源研究所王倩和侯可军的帮助,孢子分析和鉴定得到中国地质科学院地质研究所古生物实验室王洋等的帮助。评审专家和编委对本文提出了建设性的修改意见,作者在此一并感谢。

注　释

❶ 竹山幅 1/20 万区域地质调查报告. 武汉:湖北地矿局区域地质矿产调查所, 1985.

❷ 十堰市幅 1/25 万区域地质调查报告. 武汉:湖北省地质调查院, 2009.

❸ 黄龙滩幅 1/5 万地质图说明书. 武汉:湖北地矿局区调所, 1990.

References

Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report 204Pb. Chemical Geology, 192:59～79.

Cai Xuelin, Wei Xiangui, Wu Dechao, Hou Jianyong. 1988. Nappe structure patterns in the Wudang Mountains. Journal of Chengdu College of Geology, 15(4): 30～38 (in Chinese with English abstract).

Cai Zhiyong, Luo Hong, Xiong Xiaolin, Wu Dekuan, Wu Xianliang, Sun Sancai, Yang Jun. 2006. A discussion on the age of the meta-sedimentary rocks in the upper part of the Wudang Group constrained by the grain-zircon U-Pb dating. Journal of Stratigraphy, 30(1): 60～63 (in Chinese with English abstract).

Cai Zhiyong, Xiong Xiaolin, Luo Hong Wu Dekuan, Sun Sancai, Rao Bangliang, Wang Shouqiong. 2007. Forming age of the volcanic rocks of the Yaolinghe Group from Wudang Block, Southern Qinling mountain: constraint from grain-zircon U-Pb dating. Acta Geologica Sinica, 81(5): 620～625 (in Chinese with English abstract).

Chen Jinbiao, Qin Zhengyong, Wang Shouqiong. 1991. The geological characteristics of Wudang Group. Tianjin: Tianjin Science & Technology Translation & Publishing Corp, 1～130

(in Chinese without English abstract).

Corfu F, Hanchar J M, Hoskin P WO, Kinny P. 2003. Altas of zircon textures. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53: 469～500.

Deng Qianzhong, Yang Qingxiong, Mao Xinwu, Kong Lingyao. 2016. Study of Lithostratigraphic sequences and chronology of Middle-late Nanhua in Wudang-Suizhou area. Resources Environment & Engineering, 30(2): 132～142 (in Chinese with English abstract).

Dong Yunpeng, Santosh M. 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China. Gondwana Research, 29: 1～40.

Fu Jianming, Zhang Yeming, Cai Jinhui, Chen Shengfeng. 1999. Lithogeochemical evidences showing origin of the banded meta-basic rock in Wudang region. Geology and Mineral Resources of South China, 2:9～14 (in Chinese with English abstract).

Gao Lianda. 2015. The Late Devinian-Early Carboniferous miospore zonation in the lower Yangtze valley, China and the Devonian-Carboniferous boundary. Acta Geoscientica Sinica, 1:7～21 (in Chinese with English abstract).

Gehrels G E, Johnsson M J, Howell D G. 1999. Detrital zircon geochronology of the Adams Argillite and Nation River Formation, East-Central Alaska, U. S. A. Journal of Sedimentary Research, 69:135～144.

Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS. Mineral Deposits, 28(4):481～492 (in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Guo Liyu, Song Zixin, Li Xia, Liu Shoujun. 1995. The contract relation of the Wudangshan Group and the Yaolinghe Group in the north margin of Yangzi massif and its significance. Journal of Xi'an College of Geology, 17(1): 22～27 (in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Song Zixin, Guo Liyu. 1999. Extensional detachment structure on the northern margin of the Wudang massif, Hubei province. Regional geology of China, 18(1): 39～45 (in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Zhao Guochun, Ma Guoliang, Zhang Senqi, Gao Diansong. 2004. Paleozoic extensional tectonics of the Wudang block in the Qinling Orogen, China. Chinese Journal of Geology, 39(3): 305～319 (in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Zhao Guochun, Meng Qingren, Luo Hong, Wang Zonghe. 2003. The geological features and tectonic significances of the basic swarms in Wudang terrain of Qinling orogen. Acta Petrologica Sinica, 19(4): 601～611 (in Chinese with English abstract).

Lei Shihe, Tang Guiying. 1996. The structural model and genetic mechanics of the Wudang nappe on the North margin of the Yangtze platform. Journal of Heibei College of Geology, 19(3～4):278～284 (in Chinese with English abstract).

Lei Shihe. 1995. Tectonic characteristics and evolution of the Wudang Group. Hubei Geology, 1: 14～20 (in Chinese with English abstract).

Li Qiwei, Zhao Junhong. 2016. Petrogenesis of the Wudang mafic dikes: Implications of changing tectonic settings in South China during the Neoproterozoic. Precambrian Research, 272: 101～114.

Li Xiaoqiang, Du Naiqiu. 1999. The acid-alkali-free analysis of Quaternary Pollen. Acta Botanica Sinica, 41(7):782～784 (in Chinese with English abstract).

Ling Wenli, Ren Bangfang, Duan Ruichun, Liu Xiaoming, Mao Xinwu, Peng Lianhong, Liu Zaoxue, Cheng Jianping, Yang Hongmei. 2007. Timing of the Wudangshan, Yaolinghe volcanic sequences and mafic sills in South Qinling: U-Pb zircon geochronology and tectonic implication. Science Bulletin, 52(17): 1445～1456 (in Chinese with English abstract).

Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. Journal of Petrology,51:537～571.

Ludwig K R. 2003. User's manual for isoplot 3.0: geochronological toolkit for Microsoft excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication,4:1～70.

Moore P D, Webb J A. 1978. An illustrated guide to pollen analysis. London: Hodder, 1～133.

Naipaner M, Wujovich G I, Cingolani C A, McClelland W C. 2010. Detrital zircon analysis form the Neoproterozoic-Cambrian sedimentary cover (Cuyania terrane), Sierra de Pie De Palo, Argentina: evidence of a rift and passive margin system? Journal of South American Earth Sciences, 29:306～326.

Nie Hu, Wan Xin, Zhang He, He Jianfeng, Hou Zhenhui, Siebel W, Chen Fukun. 2016. Ordovician and Triassic mafic dykes in the Wudang terran: evidence for opening and closure of the South Qinling ocean basin, central China. Lithos, 266～267:1～15.

Qin Zhengyong, Liu Xingyi, Hu Xiaodie. 1997. Structural analysis and metallogenetic regularities in Wudang area, Hubei, China. Beijing: Geological Publishing House, 1～159 (in Chinese with English abstract).

Sircombe K N. 1999. Tracing provenance through the isotope ages of littoral and sedimentary detrital zircon, eastern Australia. Sedimentary Geology, 124:47～67.

Su Chunqian, Hu Jianmin, Li Yong, Liu Jiqing. 2006. The existence of two different tectonic attributes in Yaolinghe Group in South Qinling region. Acta Petrologica ET Mineralogica, 25(4): 287～298 (in Chinese with English abstract).

Wang Dongbo, Zhang Benren, Ma Zhendong. 1991. The geochemistry and appraisal of gold-silver bearing ability of Wudangshan Group in Hubei province. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1: 14～27 (in Chinese with English abstract).

Wang Quan, Liu Xueya. 2010. Is magmatic intrusion or exotic block

emplacement?. Geological Review, 56(3): 329～338 (in Chinese with English abstract).

Wang Ruirui, Xu Zhiqin, Santosh M, Yao Yuan, Gao Li'e, Liu Chunhua. 2016. Late Neoproterozoic magmatism in South Qinling, central China: geochemistry, zircon U-Pb-Lu-Hf isotopes and tectonic implications. Tectonophysic, 683: 43～61.

Wang Zongqi, Wang Tao, Yan Zhen, Yan Quanren. 2002. Late Paleozoic forearc accretionary piggyback type basin system in the South Qinling, central China. Geological Bulletin of China, 21(8): 456～464 (in Chinese with English abstract).

Wang Zongqi, Yan Quanren, Yan Zhen, Wang Tao, Jiang Chunfa, Gao Lianda, Li Qiugen, Chen Junlu, Zhang Yingli, Liu Ping, Xie Chunlin, Xiang Zhongjin. 2009. New division of the main tectonic units of the Qinling orogenic belt, Central China. Acta Geologica Sinica, 83(11): 1527～1546 (in Chinese with English abstract).

Xia Liqi, Xia Zuchun, Li Xiangmin, Ma Zhongping, Xu Xueyi. 2008. Petrogenesis of the Yaolinghe Group, Yun xi Group, Wudangshan Group volcanic rocks and Basic dyke swarms from eastern part of the South Qinling Mountain. Northwestern Geology, 41(3):1～29 (in Chinese with English abstract).

Xu Zhiqin, Luo Yilun, Tang Yaoqing, Zhang Zhitao. 1988. Formation of the composite Eastern Qinling chains. Beijing: Environmental Science Press, 1～193 (in Chinese without English abstract).

Xu Zhiqin, Zhang Jianxin, Xu Huifang. 1997. Ductile shear zones in the main continental mountain chains of China and their dynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1～294 (in Chinese with English abstract).

Zeng Yun. 1998. Geotectonic characteristics and evolution in Wudang-Yunxian-Yunxi area, Hebei. Geology and Mineral Resources of South China, 1: 60～66 (in Chinese with English abstract).

Zhang Benren, Luo Tingchuan, Gao Shan. 1994. Geochemical study of the lithosphere, tectonism and metallogenesis in the Qinling-Dabashan region. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1～446.

Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng. 2001. Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 1～855 (in Chinese without English abstract).

Zhang Guowei, Zhang Zongqi, Dong Yunpeng. 1995. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling Orogeny: implications for the tectonic evolution. Acta Petrologica Sinica, 11(2):101～104 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yeming, Wei Changshan, Fu Jianming, Yu Fengming. 2001. Discussion of some key problems about the Wudang Group. Geology and Mineral Resources of South China, 1:36～39 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yingli, Wang Zongqi, Wang Gang, Wang Kunming. 2016. Detrital zircon geochronology of the Late Paleozoic Taohekou Formation and its constraints on the Paleozoic magmatic events in North Daba Mountains. Acta Geologica Sinica, 90(4): 728～738 (in Chinese with English abstract).

Zhang Yongqing, Zhang Jian, Li Huaikun, Lu Songnian. 2013. Zircon U-Pb geochronology of the meta-acidic volcanic rocks from the Wudangshan Group, Southern Qinling Mountains, central China. Acta Geologica Sinica, 87(7): 922～930 (in Chinese with English abstract).

Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan, Wang Jinhui. 2002. The age of metamorphic rocks of the Wudang Group. Geology in China, 29(2):117～125 (in Chinese with English abstract).

Zhao Guochun, Hu Jianmin, Meng Qingren. 2003. Geochemistry of the basic sills in the western Wudang block: the evidences of the Paleozoic underplating in south Qinling. Acta Petrologica Sinica, 19(4):612～622 (in Chinese with English abstract).

Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Hua Hong, Hu Jianmin. 1998. New knowledge about division and correlation of the mid-and Neo-Proterozoic strata in the South Qinling. Geological Journal of China Universities, 4(3): 350～357 (in Chinese with English abstract).

Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Zhou Xiaohu, Sang Haiqing. 1999. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of basic dykes from Wudang block and their geology significance. Acta Petrologica Sinica, 15(1): 14～20 (in Chinese with English abstract).

Zhu Xiyan, Chen Fukun, Liu Bingxiang, Zhang He, Zhai Mingguo. 2015. Geochemistry and zircon ages of mafic dikes in the South Qinling, central China evidence for late Neoproterozoic continental rifting in the northern Yangtze block. International Journal of Earth Sciences, 104: 27～44.

Zhu Xiyan, Chen Fukun, Nie Hu, Siebel W, Yang Yizeng, Xue Yingyu, Zhai Mingguo. 2014. Neoproterozoic tectonic evolution of South Qinling, China: Evidence from zircon ages and geochemistry of the Yaolinghe volcanic rocks. Precambrian Research, 245:115～130.

Zhu Xiyan, Chen Fukun, Wang Wei, Pham T H, Wang Fang, Zhang Fuqin. 2008. Zircon U-Pb ages of volcanic and sedimentary rocks of the Wudang group in the Qinling orogenic belt within western Henan province. Acta Geoscientica Sinica, 29(6): 817～829 (in Chinese with English abstract).

参　考　文　献

蔡学林, 魏显贵, 吴德超, 侯建勇. 1988. 武当山推覆构造模式. 成都地质学院学报, 15(4): 30～38.

蔡志勇, 罗洪, 熊小林, 吴德宽, 吴贤亮, 孙三才, 杨军. 2006. 武当山群上部变沉积岩组时代归属问题:单锆石 U-Pb 年龄的制约. 地层学杂志, 30(1): 60～63.

蔡志勇, 熊小林, 罗洪, 吴德宽, 孙三才, 饶帮良, 王寿琼. 2007. 武当地块耀岭河群火山岩的时代归属:单锆石 U-Pb 年龄的制约. 地质学报, 81(5): 620～625.

曾云. 1998. 湖北武当－两郧地区地质构造基本特征及构造演化. 华南地质与矿产, 1: 60～66.

陈晋镳, 秦正永, 王寿琼. 1991. 武当群地质特征. 天津: 天津科技

出版社，1～130.

邓乾忠，杨青雄，毛新武，孔令耀. 2016. 湖北武当－随枣地区中－晚南华世岩石地层序列与年代学研究. 资源环境与工程，30(2)：132～142.

付建明，张业明，蔡锦辉，陈盛锋. 1999. 武当地区条带状变基性岩成因的岩石地球化学证据. 华南地质与矿产，2：9～14.

高联达. 2015. 长江下游地区晚泥盆世至早石炭世孢子带和泥盆系－石炭系界线. 地球学报，1：7～21.

侯可军，李延河，田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质，28(4)：481～492.

胡健民，郭力宇，宋子新，李侠，刘护军. 1995. 扬子地块北缘武当山岩群与耀岭河岩群不整合接触关系的地质意义. 西安地质学院学报，17(1)：22～27.

胡健民，宋子新，郭力宇. 1999. 湖北武当地块北缘伸展滑脱构造特征. 中国区域地质，18(1)：39～45.

胡健民，赵国春，马国良，张森琦，高殿松. 2004. 秦岭造山带武当地区古生代伸展构造. 地质科学，39(3)：305～319.

胡健民，赵国春，孟庆任，罗洪，王宗合. 2003. 武当地块基性侵入岩群的地质特征与构造意义. 岩石学报，19(4)：601～611.

雷世和，唐桂英. 1996. 南秦岭造山带武当地区构造变形及构造复合. 河北地质学院学报，19(3～4)：278～284.

雷世和. 1995. 武当群的构造特征及其演化. 湖北地质，1：14～20.

李小强，杜乃秋. 1999. 第四纪花粉的无酸碱分析法. 植物学报，41(7)：782～784.

凌文黎，任邦方，段瑞春，柳小明，毛新武，彭练红，刘早学，程建萍，杨红梅. 2007. 南秦岭武当山群、耀岭河群及其基性侵入岩群锆石 U-Pb 同位素年代学及其地质意义. 科学通报，52(17)：1445～1456.

秦正永，刘兴义，胡小蝶. 1997. 武当地区构造解析及成矿规律. 北京：地质出版社，1～159.

苏春乾，胡建民，李勇，刘继庆. 2006. 南秦岭地区存在两种不同构造属性的耀岭河群. 岩石矿物学杂志，25(4)：287～298.

汪东波，张本仁，马振东. 1991. 鄂西北地区武当山群地球化学及金银含矿性评价. 地质找矿论丛，1：14～27.

王荃，刘雪亚. 2010. 是岩浆侵入还是构造侵位？地质论评，56(3)：329～338.

王宗起，王涛，闫臻，闫全人. 2002. 秦岭晚古生代弧前增生的背驮型盆地体系. 地质通报，21(8)：456～464.

王宗起，闫全人，闫臻，王涛，姜春发，高联达，李秋根，陈隽璐，张英利，刘平，谢春林，向忠金. 2009. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分. 地质学报，83(11)：1527～1546.

夏林圻，夏祖春，李向民，马中平，徐学义. 2008. 南秦岭东段耀岭河群、陨西群、武当山群火山岩和基性岩墙群岩石成因. 西北地质，41(3)：1～29.

许志琴，卢一伦，汤耀庆，张治洮. 1988. 东秦岭复合山链的形成：变形、演化及板块动力学. 北京：中国环境科学出版，1～193.

许志琴，张建新，徐惠芳. 1997. 中国主要大陆山链韧性剪切带及其动力学. 北京：地质出版社，1～294.

张本仁，骆庭川，高 山. 1994. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究. 武汉：中国地质大学出版社，1～446.

张国伟，张宗清，董云鹏. 1995. 秦岭造山带主要岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义. 岩石学报，11(2)：101～104.

张国伟，张本仁，袁学诚. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京：科学出版社，1～855.

张业明，韦昌山，付建明，余凤鸣. 2001. 关于武当群的几点思考. 华南地质与矿产，1：36～39.

张英利，王宗起，王刚，王坤明. 2016. 北大巴山地区晚古生代滔河口组碎屑锆石年代学研究及对古生代岩浆事件的限定. 地质学报，90(4)：728～738.

张永清，张健，李怀坤，陆松年. 2013. 南秦岭武当山群变质酸性火山岩锆石 U-Pb 年代学. 地质学报，87(7)：922～930.

张宗清，张国伟，唐索寒，王进辉. 2002. 武当群变质岩年龄. 中国地质，29(2)：117～125.

赵国春，胡健民，孟庆任. 2003. 武当地块西部席状基性侵入岩群地球化学特征：南秦岭古生代底侵作用的依据. 岩石学报，19(4)：612～622.

周鼎武，张成立，华洪，胡建民. 1998. 南秦岭中、新元古代地层划分对比新认识. 高校地质学报，4(3)：350～357.

周鼎武，张成立，周小虎，桑海清. 1999. 武当地块基性岩墙群 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年及其地质意义. 岩石学报，15(1)：14～20.

祝禧艳，陈福坤，王伟，Pham Trung Hie，王芳，张福勤. 2008. 豫西地区秦岭造山带武当山群火山岩和沉积岩锆石 U-Pb 年龄. 地球学报，29(6)：817～829.

The Determination of Late Paleozoic Volcanic and Sedimentary Substances in the Hinterland of Wudang Mountain, South Qinling Orogeny: Evidence from Microfossil and Zircon Geochronology

WANG Gang[1)], WANG Zongqi[1)], WU Yudong[1)], WANG Dongsheng[1)], WANG Tao[2)], WANG Jiawei[1)], ZHANG Hang[1)]

1) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing*, 100037;
2) *Institute of Geolgoy, CAGS, Beijing*, 100037

Abstract

It is traditionally regarded that the Wudang Mountain is the Precambrian basement of South Qinling Orogeny and mainly composed of Neoproterozoic Wudang Group, Yaolinghe Group, regionally developed Doushantuo Formation. Field investigation indicates that the rock unit of the Huanglong-Fangtan area, which is different from widely distributed Precambrian orderly sequence, has the typical feature of "block in matrix" structure. Further study of microfossil and zircon isotopic geochronology indicates that the meta-quartz sandstone of formerly determined Doushantuo Formation occurs as slate, from which 15 species and more than 30 kinds of late Devonian sporopollen fossils were separated and identified. Tuffaceous sandstone, which was formerly determined as the Yaolinghe Group and occurs as schist, yielded a single weighted peak age of 382 Ma. And detrital zircon analysis suggests that provenance is dominated by late Devonian magmatic rocks, with minor from the developed Wudang Group and Yaolinghe Group. The discovery of Late Paleozoic sediments assemblage and volcanic active materials in the formerly named Precambrian rock unit in the Huanglong-Fangtan area provides the basic information for re-understanding the material composition of Wudang Mountain. Neoproterozoic-Mesozoic zircon dating data obtained for basalt, mable, diabase and sandstone matrix, along with field investigation for structural sections, suggest that lithological units in the Huanglong-Fangtan area in Shiyang are not Precambrian orderly structural-sedimentary layer but a mélange belt.

Key words: Zircon geochronology; microfossil; Late Paleozoic; Mélange; Wudang Mountain