豫西汝阳群、洛峪群碎屑锆石年代学 特征及其地质意义

刘欢,李怀坤,田辉,常青松,张健 中国地质调查局天津地质调查中心,天津,300170

内容提要:华北克拉通南缘"豫陕裂陷槽"发育大量中一新元古代地层,其中汝阳群和洛峪群分布于渑池一确 山地层小区,其形成时代一直存有争议。本文针对汝阳群和洛峪群沉积岩进行了系统的碎屑锆石年代学研究工 作,结合地层发育和岩石组合分析,为建立华北克拉通南缘中一新元古代地层框架提供依据。根据云梦山组下部 碎屑锆石中获得年轻锆石年龄平均值 1723.6 Ma,结合前人从洛峪群凝灰岩夹层中获得的年代学资料(1611±8 Ma、1640±16 Ma、1638±9 Ma、1634±10 Ma),将汝阳群-洛峪群的沉积时限限定在 1720~1600 Ma 之间。本文所采 集的云梦山组、白草坪组和崔庄组样品中碎屑锆石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄分别在 2657~1739 Ma、2712~1780 Ma 和 2654~ 1819 Ma 之间,说明三个组沉积物质主要来源于古元古代地质体,部分为新太古代地质体。鲁山地区发育的新太古 代一古元古代的太华杂岩,登封地区发育的新太古代登封群以及古元古代嵩山群和花岗质岩石等,均可为中一新 元古代沉积岩提供物源。豫西地区汝阳群-洛峪群碎屑锆石中~2.7 Ga、~2.5 Ga、2.1~2.0 Ga 和 1.85~1.8 Ga 的 年龄谱峰值分别对应华北克拉通早前寒武纪发生地壳生长、克拉通化、裂谷和造山等重要地质事件。越来越多资料 显示华北克拉通在 2.2~2.0 Ga 时期存在强烈的岩浆活动,豫西地区~2.1 Ga 的岩浆作用也逐渐被识别出来。

关键词:豫西;汝阳群;洛峪群;碎屑锆石;中一新元古代

华北克拉通中元古界分布广泛,但归属为不同 的沉积盆地。华北克拉通在中元古代时期发育三个 沉降中心:北缘的"渣尔泰-白云鄂博裂陷槽",中部 的"燕辽裂陷槽"以及南缘的"豫陕裂陷槽",三者岩 石组合和演化历史各有异同。燕辽裂陷槽的沉积组 合被列入中国地层表(2014),作为中元古界标准地 层,研究程度最高,以天津蓟县剖面为代表,已建立 了精确的年代地层格架,自下而上包括:长城系的常 州沟组、串岭沟组、团山子组和大红峪组(1650~ 1600 Ma, 对应国际地层表古元古界固结系), 蓟县 系的高于庄组、杨庄组、雾迷山组、洪水庄组和铁岭 组(1600~1400 Ma,对应中元古界盖层系),待建系 底部的下马岭组(1400~1350 Ma,对应中元古界延 展系底部)(Lu Songnian et al., 1991, 2008; Li Huaikun et al., 1995, 2009, 2010, 2014; Gao Linzhi et al., 2007, 2008, 2009; Su Wenbo et al., 2008, 2010, 2014; Zhang Shuanhong et al., 2013; Tian Hui et al., 2015; Zhang Jian et al., 2015; Zhu Shixing et al. ,2012; Niu Shaowu et al. ,2018)。由 于缺少精确的年龄数据控制,华北克拉通其他地区 中元古代区域地层对比,尚未获得普遍认可的方案。 华北克拉通南缘中一新元古界主要分布于河南-陕 西-山西交界地区,以河南西南部为主。河南中一新 元古代地层划分为三个地层小区:渑池确山地层小 区、嵩萁地层小区、熊耳山地层小区(图1)。不仅三 个地层小区中一新元古代地层的划分和区域对比存 在一定的争议(Guan Baode et al., 1980, 1988; L Qinzhong et al., 1985; Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province, 1989; Bureau of Geology and Mineral Resources of Shanxi Province, 1989a, 1989b; Xing Yusheng et al., 1989, 1996; Xi Wenxiang et al., 1997; Chen

注:本文为国家自然科学青年基金项目(编号 41302007)和中国地质调查局地质调查项目(编号 DD20190365、DD20190009)联合资助的成果。

收稿日期:2019-10-09;改回日期:2019-11-13;网络发表日期:2021-07-20;责任编委:任东;责任编辑:黄敏、李曼。

作者简介:刘欢,女,1983年生。硕士,高级工程师,前寒武纪地层古生物研究。E-mail: liuhuan220205@aliyun.com。

引用本文:刘欢,李怀坤,田辉,常青松,张健. 2021. 豫西汝阳群、洛峪群碎屑锆石年代学特征及其地质意义. 地质学报, 95(8): 2436~2452, doi: 10.19762/j. cnki. dizhixuebao. 2021233.
 Liu Huan, Li Huaikun, Tian Hui, Chang Qingsong, Zhang Jian. 2021. Detrital zircon geochronological characteristics of Ruyang and Luoyu Group from western Henan Province and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 95(8): 2436~2452.



图 1 华北克拉通南缘豫西地区中一新元古代地层分布简图及采样位置图(据 Guan Baode et al., 1988; Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province, 1989; Su Wenbo et al., 2012)

Fig. 1 Simplified geological map of Meso-Neoproterozoic sedimentary sequences in the southern margin of the North China Craton and sampling location map(after Guan Baode et al., 1988; BGMRH, 1989; Su Wenbo et al., 2012)
I-嵩萁地层小区;II-渑池-确山地层小区;II-熊耳山地层小区;典型剖面:①-渑桓公路;②-汝州阳坡;③-鲁山下汤;④-叶县张家营 I - The stratigraphic unit of Songji; II - the stratigraphic unit of Mianchi-Queshan; III - the stratigraphic unit of

Xiong'ershan cross section: ①—Mianhuan road; ②—Yangpo Ruzhou; ③—Xiatang Lushan; ④—Zhangjiaying Yexian County

Jinbiao et al., 1999; Zhou Hongrui, 1999; Su Wenbo et al., 2012; Hu Guohui et al., 2013),汝阳 群一洛峪群的形成时代也一直存有争议。根据三教 堂组、崔庄组以及董家组中获得海绿石 K-Ar 年龄, 洛峪群年龄范围限定在青白口系(Guan Baode et al., 1980, 1988);而根据其中微古植物组合等古生物 特征,洛峪群可能属于中元古代末期(Yin Leiming et al., 2005)、新元古代青白口纪(Xing Yusheng et al., 1996)、或者震旦纪(Yan Yuzhong et al., 1992)。由于 海绿石和黏土矿物测年技术的可信度普遍受到质疑、

前寒武纪古生物对时代约束存在的局限性,以及迄今 为止可靠的地层年龄数据还很稀少,汝阳群-洛峪群 的时代归属尚未获得一致认可。

本文针对渑池一确山地层小区中一新元古代 汝阳群和洛峪群沉积岩进行了年代学方面的研究 工作,结合地层发育和岩石组合分析,为建立华北 克拉通南缘中一新元古代地层框架提供依据。同 时通过碎屑锆石 U-Pb 地质年代学方法对沉积盆 地的物源进行了研究,对区域板块构造重建起到 了关键作用。

1 区域地质概况

渑池-确山小区分布于豫西渑池、汝阳、鲁山、方 城、泌阳、确山和晋南阳城、垣曲等地。小区内的中、 新元古界自下而上包括汝阳群、洛峪群和震旦系。 汝阳群主要为一套陆源碎屑沉积-碳酸盐岩过渡的 沉积组合,不整合覆于熊耳群火山岩系之上,自下而 上包括小沟背组、云梦山组、白草坪组和北大尖组;洛 峪群与下伏汝阳群为平行不整合接触,顶部被震旦系 平行不整合覆盖,自下而上分为崔庄组、三教堂组和 洛峪口组,也是一套陆源碎屑岩-碳酸盐岩的沉积组 合;震旦系由黄连垛组、董家组和罗圈组组成,黄连 垛组主要岩性为石英砂岩、页岩和硅质白云岩,董家 组主要是长石石英砂岩夹粉砂岩,顶部为泥质白云 岩,罗圈组为一套冰碛砂砾岩与含砾砂泥岩(表1)。

2 剖面和采样位置

本文年龄样品共计三个:14HN012、14HN06-2 和14HN08(图 1,表 1)。14HN012 为云梦山组的 不等粒石英砂岩,采自渑桓公路剖面(N34°54′ 13.9",E111°50′4.3"),由石英及少量长石、岩屑组 成,呈次棱角一次圆状,分选性差,磨圆中等,石英主 要为单晶石英,部分为硅质岩,长石为正长石,轻高 岭土化,岩屑成分可见流纹岩等。14HN06-2为白 草坪组的不等粒(岩屑)石英砂岩,采自鲁山下汤九 女洞剖面(N33°46′44.6″, E112°39′20.1″),主要由石 英及少量长石、岩屑组成,呈次棱角一次圆状,分选 性差,磨圆中等,石英为单晶石英,少见次生加大边, 长石主要为钾长石,少量斜长石,岩屑成分可见黏土 岩。14HN08为崔庄组的细中粒长石砂岩,采自汝 阳阳坡剖面(N34°03′23.5",E112°35′44.4"),细中粒 砂状结构,主要由长石、石英及少量岩屑组成,呈棱 角一次棱角状,分选性中等,磨圆差,长石为正长石、 微斜长石,正长石高岭土化明显,微斜长石格子双晶 发育,石英主要为单晶石英,另见少量硅质岩、石英 岩,岩屑成分可见流纹岩等。

3 分析方法与数据处理

测年研究的样品前处理过程包括样品粉碎、锆 石分选、样靶制作等环节,具体步骤及实验流程参见 相关文献(Li Huaikun et al.,2009,2010,2011)。 需要说明的是,为尽量避免样品混染,我们在露头上 尽力挖除表面风化部分后,采集新鲜岩石样品(每个 样品重约5kg)。锆石的分选工作由河北省廊坊市

表 1 华北克拉通南缘渑池一确山地层小区中-新元古代地层柱状图

 Table 1
 Schematic stratigraphic section of

Meso-Neoproterozoic sequences in the stratigraphic

province of Mianchi-Queshan of the southern

margin of the North China Craton

群	组	岩性柱 状图	岩性描述(年龄,样品号)
	辛集组		主要为石英砂岩和细砂岩
	罗圈组	A • A • A - A - A	底部为杂砂岩,其上为粉砂岩
	董家组		由砂砾岩一碎屑岩一泥质碳酸盐 岩组成
	黄连垛组		由砾岩一砂岩一白云岩组成
洛	洛峪口组		主要为白云岩、富藻层石白云岩, 底部为页岩 [61]+&Ma(Sa Wenbo et al., 2012) [640±16Ma (Wang Xiaofeng, 2015) [638±9Ma (Li Chengdong et al., 2017)
峪	三教堂组		主要为浅红色石英砂岩
群	崔庄组		灰黑色炭质泥岩,页岩。底部为石 英砂岩和粉砂岩
			样品号: 14HN08
汝	北大尖组		主要为灰白色石英砂岩、长石砂 岩,夹少量灰绿色页岩。顶部为 一层白云岩、含砾白云岩。
阳	白草坪组		主要为呈互层的紫红色砂、页岩 样品号:14HN06-2
群	云梦山组		主要为紫红色、灰紫色砾岩、 砂砾岩、不等粒石英砂岩;上部 主要为砂岩,粉砂岩和泥页岩, 有风化壳存在 样品号:14HN12
	小沟背组		主要为砾砂岩、砾岩、含砾粗砂岩
	熊 耳 群	V V	主要为(玄武)安山岩和玄武岩, 上部有沉积岩夹层

注:14HN012—云梦山组的不等粒石英砂岩;14HN06-2—白草坪 组不等粒(岩屑)石英砂岩;14HN08—崔庄组细中粒长石砂岩。

宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成,样靶制 备及错石阴极发光图像照相由北京错年领航科技有 限公司完成,锆石反射光及透射光照相在天津地质 调查中心同位素实验室进行。样靶制作完成后,在 天津地质调查中心同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)进行微区原位 U-Th-Pb 同位素测定。仪器配置和测试流程参见文献(Li Huaikun et al.,2009,2010,2011)。用标准锆石 GJ-1 作为外部年龄标准进行 U、Pb 同位素分馏校正。采用中国地质大学刘勇胜教授研发的 ICPMS Data Cal 程序和 Ludwig 的 Isoplot 程序进行数据处理,用²⁰⁸ Pb 校正法对普通铅进行校正。利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

4 结果

4.1 锆石特征

云梦山组 14HN012 样品分选出的锆石,粒径 65~260 μm,大部分在 100~150 μm 之间,磨圆度 普遍很好,柱状、柱状碎片或浑圆状,多数为具有振 荡环带的岩浆锆石经历磨圆后的碎屑锆石,少量无 分带或弱分带(图 2)。白草坪组 14HN06-2 样品分 选出的锆石,粒径 50~250 μm,磨圆度普遍很好的 浑圆状或柱状,具有明显的碎屑锆石特征,反映了锆 石经历了较远的搬运作用,CL 图像显示近半数为 具有振荡环带的岩浆锆石,而后经过搬运磨圆,其余 多数为无分带或弱分带构造的变质锆石(图 2)。崔 庄组 14HN08 样品中分选出的锆石,粒径 75~240 μm,柱状或浑圆状,磨圆度较好,具有振荡环带,面 状、弱分带或无分带,为明显的碎屑锆石(图 2)。

4.2 U-Pb 碎屑锆石年龄

锆石年龄较大(>1000 Ma)时,会存在一定程 度的铅丢失,但是²⁰⁷ Pb 和²⁰⁶ Pb 在初始条件相同条 件下,经历了相同的地质事件,具有同步的变化特 征,两者比值也相对稳定,²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄更为接 近锆石结晶年龄(Blank et al.,2003),故均采用 ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄。由于三个样品中部分锆石存在不 同程度铅丢失,因此谐和度在 90%~110%之外的 样品均不参与谐和图和直方图的统计以及讨论。

云梦山组 14HN012 样品共测定了 91 个 U-Pb 同位素数据点(表 2),77 个点的谐和度在 90%~ 110%之间,分布在谐和线上或附近。其中最年轻的 锆石年龄为 1739±25 Ma(谐和度为 105%),最老的 锆石年龄为 2657±21 Ma(谐和度为 100%)。根据直 方图的统计,碎屑锆石具有明显的峰值在 2130 Ma, 另外在 1880 Ma 和 2500 Ma 存在两个次级峰值(图 3)。Th/U 比值范围在 0.3169~4.1605 之间。

白草坪组 14HN06-2 样品共测定了 90 个 U-Pb

同位素数据点(表 3),其中 64 个点谐和度在 90%~ 110%之间,分布在谐和线上或附近。其中最年轻的 一颗锆石年龄为 1780±25 Ma(谐和度为 103%),最 老的锆石年龄为 2712±22 Ma(谐和度为 97%)。根 据直方图的统计,碎屑锆石年龄集中为两组,一组年 龄在 2712~2348 Ma 之间,在 2500 Ma 存在一个明 显的峰值,另一组年龄在 2186~1780 Ma,其中存在 两个次级峰值 1865 Ma 和 2055 Ma(图 3)。Th/U 比值范围为 0.1027~1.4212。

崔庄组 14HN08 样品测定了 80 个 U-Pb 同位 素数据点(表 4),51 个点的谐和度在 90%~110% 之间。其中最年轻的锆石年龄为 1819±22 Ma(谐 和度为 104%),最老的锆石年龄为 2654±21 Ma (谐和度为 101%)。根据直方图的统计,碎屑锆石 具有明显的峰值为 1860 Ma(图 3)。Th/U 比值除 三颗锆石为 0.0745、0.0753 和 0.0872 之外,其他均 在 0.1186~1.2985 之间。

5 讨论

5.1 汝阳群和洛峪群的形成时代

近几年来,多位学者从洛峪口组层凝灰岩中获 得锆石 U-Pb 同位素年龄。Su Wenbo et al. (2012) 运用 LA-MC-ICPMS 方法,对河南汝州阳坡村附近 洛峪口组中部层凝灰岩夹层开展了锆石 U-Pb 同位 素年代学研究,获得了 1611±8 Ma 的年龄。结合 区域资料,特别是熊耳群火山岩近年来的年代学标 定(多集中于1780~1750 Ma),将该地区汝阳群-洛 峪群的形成年代限定在 1750~1600 Ma 之间, 对应 于国际地层表的固结纪。该年龄后期也得到了其他 学者的研究验证。Wang Xiaofeng(2015)对汝州阳 坡剖面洛峪口组中部层凝灰岩锆石进行了年龄测 定,获得其1640±16 Ma 的年龄,将汝阳群-洛峪群 的时代标定于固结纪。Li Chengdong et al. (2017) 对豫西汝州洛峪口村和阳坡村附近的洛峪口组中多 层凝灰岩夹层进行了锆石 U-Pb 年代学研究,分别 获得 1638 ± 9 Ma、1634 ± 10 Ma 的年龄,表明洛峪 口组形成于中元古代长城纪,也进一步说明洛峪群 及下伏汝阳群的时代均应归属长城纪。

通过本文所采集的三个碎屑锆石年龄样品,同时结合其他研究者碎屑锆石年龄的研究成果(Hu Guohui et al.,2014;Wang Xiaofeng,2015;Li Meng et al.,2013),获得云梦山组、白草坪组、北大尖组和 崔庄组最年轻的²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 锆石年龄分别为 1682 ± 56 Ma、1733 ± 31 Ma、1819 ± 22 Ma 和 1813 ± 24



图 2 豫西汝阳群样品 14HN012、14HN06-2 和洛峪群样品 14HN08 中碎屑锆石 CL 图像(图中标注 年龄值为²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 表面年龄 Ma)

Fig. 2 CL images and the ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb ages (Ma) of zircons from the samples of 14HN012, 14HN06-2 in Ruyang Group and 14HN08 in Luoyu Group of western Henan

Ma,这些数据谐和性较好。在参与统计的云梦山组 碎屑锆石 518 个年龄数据中,挑选出最年轻的 8 颗 锆石,这 8 个年龄数据取平均值为 1723.6 Ma,同时 考虑小沟背组砾岩沉积速度快,因此将 1720 Ma 作 为汝阳群的沉积下限。结合前人从洛峪群凝灰岩夹 层中获得的年代学信息,将汝阳群-洛峪群的沉积时

限限定在 1720~1600 Ma 之间。

5.2 物质源区分析

本文采集云梦山组 14HN012 样品碎屑锆石 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 谐和年龄在 2657~1739 Ma 之间,在 2130 Ma 形成明显峰值,同时具有 1880 Ma 和 2500 Ma 两期次级峰值;白草坪组 14HN06-2 样品碎屑



图 3 云梦山组 14HN012、白草坪组 14HN06-2 和崔庄组 14HN08 碎屑锆石年龄谐和图和统计直方图 Fig. 3 U-Pb concordia diagramsand histogram of zircons of the samples 14HN012, 14HN06-2, 14HN08, respectively from Yunmenshan Formation, Baicaoping Formation and Cuizhuang Formation

锆石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 谐和年龄在 2712~1780 Ma 之间, 在 2500 Ma 时期存在明显峰值,同时在 1865 和 2055 Ma 存在两期次级峰值;崔庄组 14HN08 样品 碎屑锆石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 谐和年龄在 2654~1819 Ma 之间,其中近 75%的年龄集中在 1883~1819 区间 内。说明三个组沉积物质主要来源于古元古代地质体,部分为新太古代地质体。根据华北克拉通南缘构造-热事件年代学资料,鲁山地区发育的新太古代一古元古代的太华杂岩(Sun Yong,1982;Diwu Chunrong et al.,2010b,2018),登封地区发育的新

表 2 豫西汝阳群云梦山组 14HN012 样品碎屑锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 2 Detrital zircon U-Pb dating results of 14HN012 sample from Yunmengshan Formation in Ruyang Group of western Henan

	含量()	$\times 10^{-6}$)		同位素比值							年龄(Ma)					
点号	Pb	U	Th/U	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1σ	谐和度 (%)
1	163	508	1.08	0.3155	0.003	4.8395	0.073	0.1112	0.001	1768	19	1792	27	1820	23	97
2	100	220	0.85	0.4031	0.004	7.4580	0.116	0.1342	0.001	2183	26	2168	34	2153	22	101
3	200	449	0.66	0.4034	0.004	7.4879	0.109	0.1346	0.001	2185	23	2172	32	2159	22	101
4	205	471	1.18	0.3858	0.003	7.0812	0.102	0.1331	0.001	2103	21	2122	31	2139	22	98
5	174	375	2.30	0.3940	0.004	7.3404	0.108	0.1351	0.001	2141	23	2154	32	2166	22	99
6	234	560	1.01	0.3647	0.003	6.7878	0.097	0.1350	0.001	2004	20	2084	30	2164	22	93
7	143	340	0.91	0.3753	0.004	6.8632	0.101	0.1326	0.001	2054	22	2094	31	2133	22	96
8	63	156	0.64	0.3526	0.003	5.9506	0.087	0.1224	0.001	1947	20	1969	29	1991	23	98
9	79	181	1.66	0.3869	0.004	7.2112	0.105	0.1352	0.001	2109	22	2138	31	2166	22	97
10	140	319	0.59	0.4025	0.004	7.5697	0.109	0.1364	0.001	2180	22	2181	32	2182	22	100
12	28	55	0.75	0.4207	0.004	9.4204	0.150	0.1624	0.002	2264	26	2380	38	2481	22	91
13	75	159	1.34	0.3996	0.004	7.3451	0.112	0.1333	0.001	2167	24	2154	33	2142	22	101
16	232	536	1.38	0.3976	0.004	7.2045	0.105	0.1314	0.001	2158	23	2137	31	2117	22	102
17	70	127	0.95	0.4704	0.004	10.6301	0.157	0.1639	0.002	2485	26	2491	37	2496	22	100
18	85	246	0.31	0.3377	0.003	5.4461	0.083	0.1169	0.001	1876	22	1892	29	1910	23	98
19	118	297	1.17	0.3377	0.003	5.3436	0.081	0.1148	0.001	1876	21	1876	29	1876	23	100
20	148	372	1.91	0.3446	0.003	5.6029	0.082	0.1179	0.001	1909	20	1917	28	1925	23	99
21	95	208	0.72	0.4284	0.006	8.6237	0.165	0.1460	0.001	2298	33	2299	44	2300	22	100
22	251	173	1.38	0.3087	0.004	0.2092	0.101	0.1231	0.001	2023	24	2013	33	2002	23	101
23	201	409	0.01	0.4714	0.004	5 7446	0.152	0.1042	0.002	1046	20	1020	20	1020	21	100
24	130	200	0.30	0.5023	0.005	12 6680	0.080	0.1103	0.001	2653	30	2655	41	2657	23 21	101
25	62	158	1.04	0.3656	0.003	6 2377	0.194	0.1237	0.002	2000	21	2000	41 29	2037	23	100
20	76	139	0.52	0. 3030	0.005	11 3897	0.174	0.1207	0.002	2546	28	2556	39	2563	21	99
28	67	141	0.83	0. 4234	0.004	8. 4429	0.123	0. 1446	0.001	2276	23	2280	33	2283	22	100
29	202	469	0.54	0. 4114	0.004	8. 5157	0.136	0. 1501	0.001	2221	26	2288	37	2347	22	95
30	112	233	0.86	0. 4222	0.004	8. 3341	0.124	0. 1432	0.001	2271	24	2268	34	2266	22	100
31	202	506	0.95	0.3675	0.003	6.6344	0.096	0.1309	0.001	2018	20	2064	30	2110	22	96
33	108	237	1.04	0.4046	0.004	7.7613	0.114	0.1391	0.001	2190	23	2204	33	2216	22	99
34	77	177	1.11	0.3871	0.004	7.0254	0.106	0.1316	0.001	2109	23	2115	32	2120	22	100
35	54	132	1.46	0.3372	0.004	5.3123	0.084	0.1143	0.001	1873	22	1871	30	1868	24	100
36	62	177	1.83	0.3131	0.003	4.6681	0.070	0.1081	0.001	1756	19	1762	27	1768	23	99
37	155	349	0.70	0.4205	0.004	8.2401	0.124	0.1421	0.001	2263	25	2258	34	2253	22	100
39	38	70	2.13	0.4438	0.004	9.8260	0.144	0.1606	0.002	2367	24	2419	36	2462	22	96
41	98	233	0.90	0.3891	0.004	7.1269	0.110	0.1328	0.001	2119	24	2127	33	2136	23	99
42	90	195	0.57	0.4248	0.004	8.3513	0.127	0.1426	0.001	2282	25	2270	35	2259	22	101
43	122	312	1.25	0.3455	0.003	5.4603	0.081	0.1146	0.001	1913	21	1894	28	1874	23	102
44	184	440	0.90	0.3849	0.004	6.9286	0.101	0.1305	0.001	2099	22	2102	31	2105	22	100
45	101	261	1.75	0.3465	0.003	5.9168	0.086	0.1238	0.001	1918	20	1964	29	2012	23	95
46	69	161	0.76	0.4023	0.004	7.4740	0.109	0.1347	0.001	2180	23	2170	32	2161	22	101
47	164	409	0.93	0.3779	0.003	6.8875	0.099	0.1322	0.001	2066	21	2097	30	2127	22	97
48	102	236	0.81	0.3968	0.004	7.2804	0.108	0.1331	0.001	2154	23	2146	32	2139	22	101
50	115	293	1.21	0.3518	0.004	5.4950	0.086	0.1133	0.001	1943	22	1900	30	1853	23	105
51	156	366	0.62	0.3987	0.004	7.2919	0.106	0.1327	0.001	2163	22	2148	31	2133	23	101
52	110	252	0.57	0.4052	0.004	7.3848	0.110	0.1322	0.001	2193	23	2159	32	2127	23	103
53	62	158	0.42	0.3755	0.004	6.4804	0.097	0.1252	0.001	2055	22	2043	31	2031	23	101
54	59	133	0.78	0.3947	0.004	7.1819	0.111	0.1320	0.001	2145	25	2134	33	2124	23	101
55	70	166	0.35	0.4006	0.004	7.0217	0.104	0.1271	0.001	2172	22	2114	31	2058	23	106
56	146	340	0.51	0.3997	0.005	7.2476	0.117	0.1315	0.001	2168	27	2142	35	2118	22	102
57	105	195	0.53	0.4854	0.005	10.9662	0.165	0.1638	0.002	2551	28	2520	38	2496	21	102
58	66	157	0.62	0.3955	0.004	7.1522	0.105	0.1311	0.001	2149	23	2131	31	2113	23	102
99	30	68	2.10	0.3782	0.003	0.7294	0.105	0.1291	0.001	2068	21	2076	33	2085	25	99

															续	表 2
	含量()	$ \times 10^{-6} $)				同位素	比值					年龄(Ma)			
点号	Pb	U	Th/U	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1σ	$^{207}{ m Pb}$ / $^{235}{ m U}$	1σ	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1σ	谐和度
60	93	177	1.55	0.4578	0.005	10.0439	0.154	0.1591	0.002	2430	27	2439	38	2446	22	99
61	158	392	0.59	0.3768	0.003	6.7750	0.098	0.1304	0.001	2061	21	2082	30	2104	23	98
63	113	259	1.46	0.3968	0.004	7.2494	0.107	0.1325	0.001	2154	23	2143	32	2131	22	101
65	55	128	0.54	0.4006	0.004	7.2531	0.107	0.1313	0.001	2172	23	2143	32	2116	23	103
67	122	318	4.16	0.3196	0.003	5.2084	0.076	0.1182	0.001	1788	18	1854	27	1929	23	93
68	111	310	0.87	0.3391	0.003	5.3178	0.078	0.1137	0.001	1882	19	1872	27	1860	23	101
70	129	303	0.62	0.3962	0.004	7.6060	0.117	0.1392	0.001	2151	24	2186	34	2218	22	97
71	36	105	0.49	0.3269	0.003	4.7959	0.074	0.1064	0.001	1823	19	1784	28	1739	25	105
72	103	225	1.11	0.4212	0.004	8.4449	0.125	0.1454	0.001	2266	24	2280	34	2293	22	99
73	33	78	0.53	0.3962	0.004	7.0929	0.106	0.1298	0.001	2152	23	2123	32	2096	23	103
74	114	267	0.75	0.3905	0.004	6.8329	0.100	0.1269	0.001	2125	22	2090	31	2056	23	103
75	95	251	0.63	0.3486	0.003	5.5799	0.084	0.1161	0.001	1928	21	1913	29	1897	23	102
76	32	70	0.23	0.4344	0.005	8.9279	0.142	0.1490	0.002	2326	27	2331	37	2335	23	100
77	152	351	0.21	0.3895	0.004	7.2398	0.108	0.1348	0.001	2121	23	2141	32	2162	22	98
78	144	328	0.20	0.3713	0.004	6.9942	0.109	0.1366	0.001	2036	23	2111	33	2185	22	93
79	138	281	0.20	0.3756	0.004	7.1504	0.108	0.1381	0.001	2056	23	2130	32	2203	22	93
83	113	237	0.22	0.4278	0.004	8.5875	0.128	0.1456	0.001	2296	25	2295	34	2295	22	100
84	7	21	0.18	0.3367	0.003	5.1571	0.119	0.1111	0.002	1871	21	1846	43	1817	38	103
85	32	88	0.18	0.3409	0.003	5.1983	0.081	0.1106	0.001	1891	21	1852	29	1809	24	104
86	169	386	0.21	0.3960	0.004	7.1229	0.104	0.1305	0.001	2151	22	2127	31	2104	22	102
87	43	76	0.26	0.5050	0.005	12.5472	0.187	0.1802	0.002	2635	28	2646	40	2655	21	99
88	32	57	0.24	0.4676	0.005	10.1944	0.182	0.1581	0.002	2473	27	2453	44	2436	26	102
89	77	194	0.19	0.3493	0.003	5.2889	0.079	0.1098	0.001	1931	21	1867	28	1796	23	108
90	94	230	0.19	0.3447	0.004	5.5580	0.098	0.1170	0.001	1909	26	1910	34	1910	23	100
91	90	226	0.19	0.3529	0.003	5.7803	0.086	0.1188	0.001	1949	20	1943	29	1938	24	101

注:同位素比值已采用²⁰⁸ Pb 校正法进行了普通铅校正;表面年龄谐和度计算公式为(²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄÷²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄)×100。

表 3 豫西汝阳群白草坪组 14HN06-2 样品碎屑锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 3 Detrital zircon U-Pb dating results of 14HN06-2 sample from Baicaoping Formation in Ruyang Group of western Henan

	含量(×10 ⁻⁶)					同位素	素比值				进和审					
点号	Pb	U	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	咱和度 (%)
1	99	218	0.10	0.4394	0.004	10.4121	0.157	0.1719	0.002	2348	26	2472	37	2576	22	91
4	95	192	0.64	0.4323	0.004	9.6875	0.144	0.1625	0.002	2316	25	2406	36	2482	22	93
6	66	135	0.48	0.4348	0.004	9.9416	0.150	0.1658	0.002	2327	26	2429	37	2516	22	92
8	22	43	0.79	0.4202	0.004	9.1223	0.144	0.1574	0.002	2262	25	2350	37	2428	24	93
14	78	146	0.64	0.4590	0.005	10.4522	0.160	0.1651	0.002	2435	28	2476	38	2509	22	97
15	86	255	0.38	0.3193	0.003	5.0965	0.077	0.1158	0.001	1786	20	1836	28	1892	24	94
17	37	64	0.49	0.5060	0.005	13.0126	0.201	0.1865	0.002	2639	29	2681	41	2712	22	97
18	76	153	0.31	0.4540	0.005	10.4638	0.161	0.1671	0.002	2413	28	2477	38	2529	22	95
19	57	148	0.50	0.3446	0.003	6.0608	0.092	0.1275	0.001	1909	21	1985	30	2064	23	92
20	59	122	0.30	0.4454	0.005	10.1996	0.157	0.1661	0.002	2375	27	2453	38	2519	22	94
21	61	128	0.35	0.4313	0.005	9.8454	0.154	0.1656	0.002	2311	27	2420	38	2513	22	92
22	93	269	0.15	0.3427	0.003	5.7385	0.086	0.1215	0.001	1900	21	1937	29	1978	24	96
23	101	276	0.53	0.3258	0.003	5.1581	0.078	0.1148	0.001	1818	20	1846	28	1877	24	97
24	22	41	0.64	0.4517	0.005	10.0037	0.156	0.1606	0.002	2403	27	2435	38	2462	23	98
25	45	93	0.20	0.4519	0.005	11.1617	0.177	0.1791	0.002	2404	29	2537	40	2645	22	91
26	62	172	0.54	0.3252	0.003	4.9897	0.076	0.1113	0.001	1815	20	1818	28	1820	24	100
28	49	86	0.74	0.4723	0.005	10.7524	0.163	0.1651	0.002	2494	28	2502	38	2509	22	99
31	49	136	0.49	0.3303	0.003	4.9575	0.076	0.1088	0.001	1840	20	1812	28	1780	25	103
32	69	167	0.42	0.3739	0.004	6.6131	0.102	0.1283	0.001	2048	23	2061	32	2075	23	99
33	80	227	0.28	0.3391	0.003	5.2936	0.080	0.1132	0.001	1882	21	1868	28	1852	24	102
35	155	255	1.01	0.4710	0.005	10.5316	0.158	0.1622	0.002	2488	28	2483	37	2479	22	100

2443

										续表 3									
	含量($\times 10^{-6}$)				同位刻	素比值					年龄(Ma)			We for the			
点号	Pb	U	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	增和度 (%)			
36	89	255	0.49	0.3165	0.003	5.0084	0.075	0.1148	0.001	1773	19	1821	27	1876	24	94			
37	54	92	1.00	0.4538	0.005	10.2661	0.154	0.1641	0.002	2412	27	2459	37	2498	22	97			
38	42	99	0.60	0.3704	0.004	6.5460	0.102	0.1282	0.001	2031	23	2052	32	2073	24	98			
39	34	59	0.66	0.4826	0.005	12.1658	0.187	0.1828	0.002	2539	29	2617	40	2679	22	95			
40	54	122	1.06	0.3481	0.004	5.9066	0.094	0.1231	0.001	1925	22	1962	31	2001	24	96			
44	132	245	0.78	0.4452	0.004	9.6130	0.142	0.1566	0.002	2374	26	2398	36	2419	22	98			
45	51	112	0.51	0.4031	0.004	7.5617	0.117	0.1360	0.001	2183	25	2180	34	2177	23	100			
46	93	164	0.51	0.4955	0.005	11.3729	0.174	0.1665	0.002	2594	30	2554	39	2522	22	103			
48	111	196	0.23	0.5210	0.006	13.0013	0.198	0.1810	0.002	2704	31	2680	41	2662	22	102			
49	39	71	0.42	0.4862	0.005	11.1008	0.173	0.1656	0.002	2554	29	2532	40	2514	22	102			
50	28	65	0.73	0.3760	0.004	6.0626	0.103	0.1169	0.001	2058	26	1985	34	1910	26	108			
51	50	95	0.22	0.4846	0.006	11.7706	0.207	0.1762	0.002	2547	35	2586	46	2617	23	97			
52	35	60	0.84	0.4813	0.005	10.7861	0.172	0.1626	0.002	2533	30	2505	40	2482	23	102			
53	58	136	0.39	0.3956	0.005	7.0359	0.117	0.1290	0.001	2149	28	2116	35	2084	23	103			
54	63	101	0.88	0.5025	0.007	11.5158	0.201	0.1662	0.002	2625	38	2566	45	2520	22	104			
55	26	38	1.42	0.4998	0.007	11.2181	0.242	0.1628	0.002	2613	40	2541	55	2485	25	105			
56	83	210	0.64	0.3521	0.005	5.4239	0.098	0.1117	0.001	1945	29	1889	34	1828	24	106			
57	90	190	0.39	0.4353	0.007	9.0130	0.171	0.1502	0.002	2330	37	2339	44	2348	22	99			
59	68	114	0.93	0.4808	0.006	11.0188	0.192	0.1662	0.002	2531	35	2525	44	2520	23	100			
61	113	193	0.69	0.4833	0.012	10.8893	0.295	0.1634	0.002	2542	63	2514	68	2491	22	102			
62	103	268	0.20	0.3781	0.005	6.4567	0.117	0.1238	0.001	2067	31	2040	37	2012	23	103			
63	81	202	0.46	0.3652	0.005	6.1390	0.101	0.1219	0.001	2007	29	1996	33	1985	24	101			
64 C5	127	341	0.34	0.3516	0.007	5.5084	0.128	0.1136	0.001	1942	41	1902	44	1858	24	105			
60	111	144	0.41	0.4809	0.009	10.0190	0.244	0.1691	0.002	2031	49	2541	55	2048	22	99			
66		196	0.69	0.4761	0.011	10.9180	0.285	0.1663	0.002	2510	59	2516	66	2521	22	100			
60	45	110	0.80	0.5018	0.007	11.0488	0.207	0.1084	0.002	2021	38	2011	40	2042	23	103			
09 71	39	215	0.82	0.4108	0.005	1. 7439	0.132	0.1307	0.001	2219	50	2202	38	2180	24	102			
79	110	70	0.39	0.4000	0.010	10.0039	0.272	0.1625	0.002	2475	20	2300	100	2002	22	90			
73	40	102	0.57	0.3487	0.007	5 4842	0.200	0.1023	0.002	1028	22	1808	28	1865	25	101			
73	133	211	1 12	0.3407	0.000	11 2067	0.103	0.1656	0.001	2574	56	2540	61	2514	20	103			
76	03	150	1.12	0.4907	0.010	11.2007 11.1352	0.176	0.1637	0.002	2585	31	2535	40	2/05	22	102			
77	13	31	0.43	0.3897	0.000	6 8600	0.146	0.1037	0.002	2121	26	2004	45	2066	35	104			
78	118	208	0.58	0.4918	0.007	11 2241	0.201	0.1655	0.002	2578	38	2542	46	2513	22	103			
79	122	212	0.38	0.5075	0.007	12 8256	0.201	0.1833	0.002	2646	35	2667	45	2683	22	99			
80	62	174	0.10	0. 3583	0.006	5. 8581	0. 121	0.1186	0.001	1974	35	1955	41	1935	24	102			
81	38	73	0.20	0.4940	0.007	10, 9394	0. 205	0.1606	0.002	2588	40	2518	47	2462	23	105			
82	48	83	0.72	0. 4843	0.006	11, 1084	0.188	0. 1663	0.002	2546	34	2532	43	2521	23	101			
83	143	249	0. 59	0. 4947	0.006	11, 2335	0. 192	0.1647	0.002	2591	36	2543	44	2504	22	103			
84	113	189	0.78	0. 4885	0.006	11, 1910	0.192	0. 1661	0.002	2564	35	2539	44	2519	22	102			
85	85	158	0.63	0.4514	0.007	10.3776	0.188	0.1667	0.002	2401	37	2469	45	2525	22	95			
86	74	119	0.95	0.4928	0.007	11.0633	0.199	0.1628	0.002	2583	3.9	2528	46	2485	22	104			
87	123	233	0.60	0.4624	0.010	10, 5346	0.263	0.1652	0.002	2450	56	2483	62	2510	22	98			

注:同位素比值已采用²⁰⁸Pb校正法进行了普通铅校正;表面年龄谐和度计算公式为(²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄÷²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年龄)×100。

太古代登封群以及古元古代嵩山群和花岗质岩石 (Diwu Chunrong,2008; Wan Yusheng et al.,2009) 等,均可为中一新元古代沉积岩提供物源。

结合其他学者(Li Meng et al., 2013; Hu Guohui et al., 2014; Wang Xiaofeng, 2015)所获得 的汝阳群-洛峪群碎屑锆石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 谐和年龄,其 多数集中在 2.90~1.68 Ga,另外还存在少量 3.60 ~2.90 Ga 的年龄,绝大多数都大于其沉积时代 (1720~1600 Ma),表现为稳定的被动大陆边缘环 境下形成的沉积岩碎屑锆石年龄分布特征 (Cawood,2012)。可以看出,云梦山组、白草坪组、 北大尖组和崔庄组碎屑锆石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄具有 1850 和 2500 Ma 两期峰值,另外在 2120 和 2710 Ma 还存在两期次级峰值(图 4),这四期峰值年龄正

表 4 豫西洛峪群崔庄组 14HN08 样品碎屑锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 4 Detrital zircon U-Pb dating results of 14HN08 sample from Cuizhuang Formation in Luoyu Group of western Henan

占	占 含量(×10 ⁻⁶)				同位素比值								年龄(Ma)						
尽見	DL	II	Th/U	$^{206}\mathrm{Pb}$	1.	²⁰⁷ Pb	1.	²⁰⁷ Pb	1	²⁰⁶ Pb	1.	$^{207}\mathrm{Pb}$	1.	²⁰⁷ Pb	1 -				
ヺ	гb	0		$/^{238}{ m U}$	10	$/^{235}{ m U}$	1σ	$/^{206}\mathrm{Pb}$	10	$/^{238}{ m U}$	10	$/^{235}{ m U}$	10	$/^{206} \mathrm{Pb}$	10	(70)			
2	206	601	0.15	0.3409	0.003	5.3865	0.075	0.1146	0.001	1891	20	1883	27	1874	22	101			
3	198	603	0.11	0.3317	0.003	5.2187	0.074	0.1141	0.001	1846	21	1856	27	1866	22	99			
4	289	837	0.33	0.3314	0.003	5.1843	0.075	0.1135	0.001	1845	21	1850	27	1856	22	99			
6	78	225	0.34	0.3328	0.003	5.2272	0.073	0.1139	0.001	1852	20	1857	26	1863	22	99			
8	181	559	0.34	0.3094	0.003	4.8667	0.074	0.1141	0.001	1738	21	1797	28	1865	22	93			
10	124	236	0.72	0.4451	0.004	9.4631	0.136	0.1542	0.001	2373	26	2384	34	2393	21	99			
11	109	314	0.30	0.3328	0.003	5.2361	0.074	0.1141	0.001	1852	20	1859	27	1866	22	99			
12	165	472	0.31	0.3372	0.003	5.2615	0.074	0.1132	0.001	1873	20	1863	26	1851	22	101			
14	183	530	0.21	0.3396	0.003	5.3622	0.075	0.1145	0.001	1885	20	1879	26	1872	22	101			
15	119	344	0.27	0.3364	0.003	5.2769	0.075	0.1138	0.001	1869	21	1865	27	1860	22	100			
17	274	783	0.24	0.3410	0.003	5.3359	0.077	0.1135	0.001	1891	21	1875	27	1856	22	102			
19	263	751	0.30	0.3365	0.003	5.2163	0.075	0.1124	0.001	1870	21	1855	27	1839	22	102			
21	563	1813	0.10	0.3166	0.004	4.9739	0.078	0.1140	0.001	1773	25	1815	29	1863	22	95			
22	167	500	0.07	0.3394	0.004	5.3441	0.082	0.1142	0.001	1884	24	1876	29	1867	22	101			
24	49	108	0.46	0.4173	0.005	8.1025	0.126	0.1408	0.001	2248	28	2243	35	2237	21	100			
25	473	1189	0.22	0.3807	0.004	6.9481	0.103	0.1324	0.001	2080	25	2105	31	2130	21	98			
26	258	719	0.29	0.3424	0.004	5.3403	0.081	0.1131	0.001	1898	24	1875	29	1850	22	103			
27	298	832	0.33	0.3392	0.004	5.2678	0.084	0.1126	0.001	1883	26	1864	30	1843	22	102			
28	158	448	0.28	0.3386	0.004	5.3182	0.088	0.1139	0.001	1880	27	1872	31	1863	22	101			
29	189	604	0.16	0.3138	0.005	4.9368	0.089	0.1141	0.001	1760	28	1809	33	1866	22	94			
30	115	301	0.58	0.3365	0.005	5.2897	0.095	0.1140	0.001	1870	30	1867	34	1864	22	100			
32	202	598	0.14	0.3360	0.003	5.3047	0.075	0.1145	0.001	1867	21	1870	27	1872	22	100			
33	77	225	0.22	0.3330	0.003	5.2735	0.075	0.1149	0.001	1853	21	1865	27	1878	22	99			
34	56	108	0.26	0.4820	0.005	11.3349	0.163	0.1706	0.002	2536	28	2551	37	2563	20	99			
36	135	404	0.13	0.3338	0.003	5.2940	0.075	0.1150	0.001	1857	20	1868	27	1880	22	99			
37	412	973	0.12	0.4095	0.004	8.9902	0.126	0.1592	0.001	2212	24	2337	33	2448	21	90			
41	103	311	0.16	0.3295	0.003	5.1214	0.073	0.1127	0.001	1836	20	1840	26	1844	22	100			
43	53	158	0.54	0.3013	0.003	4.8055	0.069	0.1157	0.001	1698	19	1786	26	1890	22	90			
45	167	530	0.15	0.3125	0.003	4.9346	0.069	0.1145	0.001	1753	19	1808	26	1872	22	94			
47	40	112	0.47	0.3270	0.003	5.0178	0.071	0.1113	0.001	1824	20	1822	26	1821	23	100			
48	133	400	0.07	0.3361	0.003	5.2675	0.074	0.1137	0.001	1868	21	1864	26	1859	22	101			
49	134	397	0.19	0.3328	0.003	5.2395	0.074	0.1142	0.001	1852	20	1859	26	1867	22	99			
51	93	270	0.24	0.3381	0.004	5.2778	0.083	0.1132	0.001	1877	25	1865	30	1852	22	101			
52	197	576	0.28	0.3308	0.003	5.1107	0.074	0.1121	0.001	1842	21	1838	27	1833	22	101			
53	125	317	0.22	0.3738	0.004	6.6344	0.092	0.1287	0.001	2047	23	2064	29	2081	22	98			
54	161	453	0.37	0.3402	0.004	5.2159	0.081	0.1112	0.001	1887	24	1855	29	1819	22	104			
55	95	274	0.29	0.3372	0.003	5.3307	0.077	0.1146	0.001	1873	21	1874	27	1874	22	100			
56	80	190	0.40	0.3930	0.004	7.3493	0.109	0.1356	0.001	2137	26	2155	32	2172	22	98			
57	40	104	0.72	0.3405	0.004	5.2868	0.090	0.1126	0.001	1889	27	1867	32	1842	23	103			
58	343	890	0.12	0.3826	0.006	6.8762	0.161	0.1304	0.001	2088	36	2096	49	2103	24	99			
60	40	115	0.38	0.3256	0.004	5.0781	0.086	0.1131	0.001	1817	26	1832	31	1850	24	98			
61	129	208	1.29	0.4765	0.006	10.7923	0.182	0.1643	0.002	2512	36	2505	42	2500	21	100			
62	57	104	0.67	0.4731	0.007	10.7514	0.201	0.1648	0.002	2497	41	2502	47	2506	21	100			
63	26	44	0.44	0.5185	0.007	12.8814	0.231	0.1802	0.002	2693	41	2671	48	2654	21	101			
64	25	41	1.01	0.4878	0.008	11.3367	0.226	0.1686	0.002	2561	44	2551	51	2543	23	101			
65	48	105	0.38	0.4227	0.006	8.3873	0.151	0.1439	0.001	2273	37	2274	41	2275	22	100			
70	274	873	0.32	0.3013	0.003	4.7055	0.067	0.1133	0.001	1698	19	1768	25	1852	22	92			
71	124	401	0.25	0.3015	0.003	4.7589	0.067	0.1145	0.001	1699	19	1778	25	1872	22	91			
74	132	425	0.16	0.3104	0.003	4.8447	0.069	0.1132	0.001	1743	19	1793	26	1851	22	94			
76	56	105	0.86	0.4540	0.005	9.9736	0.153	0.1593	0.002	2413	27	2432	38	2448	22	99			
80	168	511	0.08	0.3356	0.003	5.1679	0.093	0.1117	0.001	1865	21	1847	33	1827	28	102			

注:同位素比值已采用²⁰⁸ Pb 校正法进行了普通铅校正;表面年龄谐和度计算公式为(²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄÷²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄)×100。

对应华北克拉通新太古代-元古宙重要的构造-岩 浆-热事件发生的时代。这些碎屑锆石年龄谱与华 北克拉通其他中一新元古代沉积岩碎屑锆石一样, 具有华北陆块地质演化的显著特点(Wan Yusheng et al.,2006a,2016b;Lu Songnian et al.,2009)。 华北克拉通古元古代末-新元古代沉积岩碎屑锆石 记录的构造热事件以~2.5 Ga 和~1.85 Ga 为主, 另外~2.7 Ga、~1.6 Ga 和~1.2 Ga 三个时期的事 件也非常明显(Peng Peng et al.,2002;Hu Bo et al.,2013;Zhai Mingguo et al.,2014)(图 5)。



图 4 华北克拉通南缘汝阳群-洛峪群沉积岩碎屑锆石 ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄分布图(碎屑锆石数据据 Li Meng et al., 2013; Hu Guohui et al.,2014; Wang Xiaofeng,2015; 本文;北大尖组数据由作者测试,未刊)

Fig. 4 Histogram of zircon ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb ages from Ruyang Group and Luoyu Group in the southern margin of the NCC (zircon ages after Li Meng et al. ,2013; Hu Guohui et al. ,2014; Wang Xiaofeng,2015; this article; data from Beidajian Formation tested by author, unpublished)

5.3 锆石年龄记录的华北克拉通南缘早前寒武纪 地质事件

豫西地区汝阳群-洛峪群碎屑锆石中~2.7 Ga、 ~2.5 Ga、2.1~2.0 Ga 和 1.85~ 1.8 Ga 的年龄谱 峰值分别对应华北克拉通早前寒武纪发生地壳生 长、克拉通化、裂谷和造山等重要地质事件。其中碎 屑锆石年龄谱主峰值~2.5 Ga 和 1.85 Ga,以及次 级峰值~2.7 Ga 均可与华北克拉通对比。另外豫 西地区碎屑锆石年龄谱中~2.1 Ga 峰期也被识别 出来。

华北克拉通 2.8~2.75 Ga 的事件主要代表了 新太古代新生地壳的形成(Zhai Mingguo et al.,



图 5 华北克拉通古元古代-新元古代沉积岩碎屑锆石 ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 年龄分布图(据 Hu Bo et al.,2013) Fig. 5 Histogram of zircon ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb ages of Meso-Neoproterozoic sedimentary rocks in the Southern margin

of the NCC. Zircon ages (after Hu Bo et al. ,2013)

2001,2010a)。该时期碎屑锆石所占比例较小,这与 华北克拉通出露岩石的 U-Pb 年龄统计结果一致 (Peng Peng et al.,2002; Li Jianghai et al.,2006; Diwu Chunrong et al.,2008)。华北南缘发现存在 2.85~2.70 Ga 的 TTG 片麻岩(Kroner et al., 1988; Sun Yong et al.,1994; Diwu Chunrong et al.,2010b,2018; Huang Xiaolong et al.,2010),岩 石主要以鲁山地区太华杂岩的下部为代表。

~2.5 Ga 时期,华北克拉通发生广泛的变质作 用和岩浆岩的侵入,是华北克拉通重要的陆壳增生 及克拉通化时期(Zhai Mingguo et al.,2001; Zha Mingguo,2011; Yu Chao,2019),也是华北地区中、 新元古代地层中碎屑锆石年龄谱中一个主要的峰 值。该年龄与整个华北克拉通的年龄统计结果一致 (Peng Peng et al.,2002; Wu Fuyuan et al.,2005; Li Jianghai et al.,2006; Diwu Chunrong et al., 2008,2010b)。2.5 Ga 左右的岩石记录在华北克拉 通广泛存在,其中包括登封地区的登封群(Wan Yusheng et al.,2009; Diwu Chunrong et al., 2010b)。~2.5 Ga 是华北克拉通重要的陆壳增生 及克拉通化时期,也是对更古老地质体的强烈破坏 和再循环事件(Zhai Mingguo,2006; Diwu Chunronget al.,2010b)。

华北克拉通在~2.5 Ga 克拉通化之后,于2.3 ~2.0 Ga 经历了一次陆内拉伸-裂谷事件,越来越 多资料显示华北克拉通在2.2~2.0 Ga 时期存在强 烈的岩浆活动,~2.1 Ga 的岩浆作用也逐渐被识别 出来(Wan Yusheng et al., 2006a, 2006b; Yang Chonghui et al., 2017, 2018; Du Lilin et al., 2018): 辽宁大石桥地区辽吉花岗岩侵位于 2.09 Ga 和 2.17 Ga(Li Sanzhong et al., 2005); 辽宁宽甸地 区宽甸花岗岩侵位于 2.14 Ga(Sun Dazhong et al., 1993);辽宁通化地区钱桌沟正长花岗岩侵位于 2.16 Ga(Lu Xiaoping et al., 2004);河北阜平地区 花岗质片麻岩侵位年龄约 2.1~2.0 Ga (Guan Hong et al., 2002; Zhao Guochun et al., 2002a), 河北石家庄地区甘陶河群变质玄武岩的 2087 ± 16 Ma 侵位年龄(Xie Hangqiang et al., 2013), 冀东石 门变质基性岩墙群的形成年龄为 2.1 Ga(Yang Chonghui et al., 2017); 山西中条山地区中条群和 绛县群凝灰岩夹层中均发现有 2.1~2.0 Ga 的年龄 (Sun Dazhong et al., 1991);山西五台山地区滹沱 群凝灰岩夹层中获得 2.1 Ga 火山年龄(Wilde et al.,2003),滹沱群底部砾岩层中发育的浅变质玄武 安山岩中获取 2140±14 Ma 的岩浆锆石结晶年龄 (Du Lilin et al., 2010),大梁洼似斑状花岗岩,王家 惠花岗岩和莲花山花岗岩 2.1 Ga 侵位年龄(Du Lilin et al., 2018), 以及侵入高凡亚群的大洼梁花 岗岩 2.1 Ga 侵位年龄(Wilde et al., 1997, 2005; Wang Kaiyi et al., 2000), 该期热事件虽然较弱, 但 也不可忽视(Zhai Mingguo et al., 2001);山西吕梁 地区赤坚岭杂岩中花岗片麻岩 2.15 Ga 的侵位年龄 (Geng Yuansheng et al., 2000), 变火山岩 2.10 Ga 的火山年龄(Yu Jinhai et al., 1997), 以及杜家沟长 石斑岩 2.1 Ga 侵位年龄和恶虎滩闪长质片麻岩 2.1 Ga 原岩锆石结晶年龄(Du Lilin et al., 2012)。 在研究区鲁山地区,有学者(Wan Yusheng et al, 2006a,2006b; Yang Changxiu, 2008) 在侵入于太华 岩群雪花沟岩组的石榴钾长花岗片麻岩中获得岩浆 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 2.146±0.02 Ga;在鲁山 太华杂岩中含榴石英二长岩获取了 2.1 Ga 的侵位 年龄(Zhou Yanyan et al., 2015)。发育于豫西地区 2.1 Ga 时期的岩浆事件也正是该时期华北克拉通 陆内拉伸-裂谷事件的响应。

~1.85 Ga 时期,是华北克拉通东、西两大陆块的碰撞拼合和统一结晶基底的最终形成时期(Zhao Guochun et al.,2002b; Wang Zhentao et al.,2017)。1.95~1.85 Ga 的地质事件被视为华北克 拉通与哥伦比亚超大陆形成有关的造山事件(Lu Songnian et al.,2016),期间发生的大规模变质事件及与变质作用有关的花岗岩和伟晶岩脉的侵入是 对碰撞造山作用的指示(Guan Hong et al.,2002; Kroner et al.,2006; Wan Yusheng et al,2006a, 2006b; Hu Bo et al.,2013)。华北克拉通沉积岩碎 屑锆石中保存了很多~1.85 Ga 时期的年龄记录, 在嵩山和鲁山也基本经历了该时期的构造-热事件 (Wan Yusheng et al.,2003; Liu Chaohui et al., 2011,2012; Chu Hang et al.,2011; Hu Bo et al., 2013; Wang Xiaofeng,2015)。

华北克拉通经历了 1.85 Ga 时期大规模碰撞拼 合之后,发生伸展裂解事件(Zhao Guochun et al., 2003)。中元古代早期,华北克拉通南缘发育了熊耳 群火山-沉积岩系为代表的三叉裂谷系,随后又发育 了中、新元古代陆源碎屑岩-碳酸盐岩沉积。汝阳 群-洛峪群中碎屑锆石年龄,绝大多数都大于其沉积 时代(1720~1600 Ma),表现为稳定的被动大陆边 缘环境下形成的沉积岩碎屑锆石年龄分布特征 (Cawood et al.,2012)。这与五佛山群砂岩形成于 被动大陆边缘环境稳定型沉积特征是一致的,共同 表明了熊耳群之后华北克拉通南缘开始进入了一个 稳定的沉积阶段(Hu Guohui et al.,2012)。

6 结论

(1)通过本文实验测试以及收集前人有关碎屑 锆石年龄的研究成果,限制了汝阳群最早的沉积年 龄不早于 1720 Ma。结合前人从洛峪群凝灰岩夹层 中获得的年代学资料(1611±8 Ma、1640±16 Ma、 1638±9 Ma、1634±10 Ma),将汝阳群-洛峪群的沉 积时限限定在 1720~1600 Ma 之间。

(2)本文采集云梦山组、白草坪组和崔庄组样品 中碎屑锆石²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb 谐和年龄分别在 2657~ 1739 Ma、2712~1780 Ma 和 2654~1819 Ma 之间, 说明三个组沉积物质主要来源于古元古代地质体, 部分为新太古代地质体。鲁山地区发育的新太古 代一古元古代的太华杂岩,登封地区发育的新太古 代登封群以及古元古代嵩山群和花岗质岩石等,均 可为中一新元古代沉积岩提供物源。

(3)豫西地区汝阳群-洛峪群碎屑锆石中~2.7 Ga、~2.5 Ga、2.1~2.0 Ga 和 1.85~1.8 Ga 的年 龄谱峰值分别对应华北克拉通早前寒武纪发生地壳 生长、克拉通化、裂谷和造山等重要地质事件。值得 注意的是,越来越多资料显示华北克拉通在 2.2~ 2.0 Ga 时期存在强烈的岩浆活动,豫西地区~2.1 Ga 的岩浆作用也逐渐被识别出来。

References

- Blank L P, Kamo S L, Williams I S. 2003. The application of SHEIMP to Phanerozoic geochronology: a critical appraisal of four zircon standards. Chemical Geology, 200: 171~188.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province. 1989. Regional geology of Hennan Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shanxi Province. 1989a. Regional geology of Shanxi Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shanxi Province. 1989b. Regional geology of Shanxi Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Cawood P A, Hawkesworth C J, Dhuime B. 2012. Detrital ziron record and tectonic setting. Geology, 40(10): 875~878.
- Chu Hang, Lu Songnian, Wang Huichu, Xiang Zhenqun, Liu Huan. 2011. U-Pb age spectrum of detrital zircons from the Fuzikuang formation, Penglai Group in Changdao, Shangdong Province. Acta Petrologica Sinica, 27(4): 1017 ~ 1028 (in Chinese with English abstract).
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Lin Ciluan, Wang Hongliang. 2010b. LA-(MC)-ICPMS U-Pb zircon geochronology and Lu-Hf isotope compositions of the Taihua Complex on the southern margin of the North China Craton. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(23): 2557~2571.
- Diwu Chunrong, Liu Xiang, Sun Yong. 2018. The composition and evolution of the Taihua Complex in the southern North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 34(4): 999~1018 (in Chinese with English abstract).
- Du Lilin, Yang Chonghui, Guo Jinghui, Wang Wei, Ren Liudong, Wan Yusheng, Geng Yuansheng. 2010. The age of the base of the Paleoproterozoic Hutuo Group in the Wutai Mountains area, North China Craton: SHRIMP zircon U-Pb dating of basaltic andesite. Chinese Science Bull, 55(17): 1782~1789.
- Du Lilin, Yang Chonghui, Ren Liudong, Song Huixia, Geng Yuansheng, Wan Yusheng. 2012. The 2. 2~2.1 Ga magmatic event and its tectonic implication in the Lüliang Mountains, North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 28(9): 2751~ 2769 (in Chinese with English abstract).
- Du Lilin, Yang Chonghui, Song Huixia, Zhao Lei, Lu Zenglong, Li Lun, Wang Tao, Ren Liudong. 2018. Petrogenesis and tectonic setting of 2. 2~2. 1Ga granites in Wutai area, North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 34 (4): 1154 ~ 1174 (in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, Zhou Hongrui, Wang Ziqiang. 2007. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling Formation of the Qingbaikou system in North China. Geological Bulletin of China, 26(3): 249 ~ 255 (in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, Wang Ziqiang. 2008. Mesoproterozoic age for Xiamaling formation in North China plate indicated by zircon SHRIMP dating. Chinese Science Bulletin, 53 (11): 2617 \sim 2623 (in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Liu Pengju, Ding Xiaozhong, Wang Ziqiang. 2009. Recognition of Meso-and Neoproterozoic stratigraphic framework in North and South China. Acta Geoscientica Sinica, 30(4): 433~446 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wan Yusheng, Shen Qihan, Li Huimin, Zhang Ruxin. 2000. Chronological framework of the Early Precambrian important events in the Lü liang area, Shanxi Province. Acta Geologica Sinica, 74(3): 216~223 (in Chinese with English abstract).
- Guan Baode, Pan Zecheng, Geng Wuzhen, Wu Zhiquan, DuYinghui. 1980. Sinian Suberathea in the northern slope of

eastern Qingling ranges. In: Tian Jin Institute of Geology and Mineral Resources (ed.). Research on Precambrian Geology Sinian suberathem in China. Tian jin: Tianjin Science and Technology Press (in Chinese with English abstract).

- Guan Baode, Geng Wuchen, Wu Zhiquan, Du Huiying. 1988. The Middle and Upper Proterozoic in the Northern slope of the eastern Qinling ranges, Henan, China. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press (in Chinese with English abstract).
- Guan Hong, Sun Min, Simon A W, Zhou Xianhua, Zhai Mingguo. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Fuping complex: implications for formation and assembly of the North China Craton. Precambrian Research, 113(1~2): 1~18.
- Hu Bo, Zhai Mingguo, Peng Peng, Liu Fu, Diwu Chunrong, Wang Haozheng, Zhang Haidong. 2013. Late Paleoproterozoic to Neoproterozoic geological events of the North China Craton: evidences from LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Cambrian and Jurassic sedimentary rocks in Western Hills of Beijing. Acta Petrologica Sinica, 29(7): 2508 ~2536 (in Chinese with English abstract).
- Hu Guohui, Zhou Yanan, Zhao Taiping. 2012. Geochemistry of Proterozoic Wufoshan Group sedimentary rocks in the Songshan area, Henan Province: implications for provenance and tectonic setting. Acta Petrologica Sinica, 28(11): $3692 \sim 3704$ (in Chinese with English abstract).
- Hu Guohui, Zhao Taiping, Zhou Yanan, Wang Shiyan. 2013. Meso-Neoproterozoic sedimentary formation in the southern margin of the North China Craton and its geological implications. Acta Petrologica Sinica, 29(7): 2491~2507 (in Chinese with English abstract).
- Hu Guohui, Zhao Taiping, Zhou Yanyan. 2014. Depositional age, provenance and tectonic setting of the Proterozoic Ruyang Group, southern margin of the North China Craton. Precambrian Research 246: 296~318.
- Huang Xiaolong, Niu Yaoling, Xu Yigang, Yang Qijun, Zhong Junwei. 2010. Geochemistry of TTG and TTG-like gneisses from Lushan-Taihua complex in the southern North China Craton: implications for late Archean crustal accretion. Precambrian Research, 182: 43~56.
- Kroner A, Compston W, Zhang Guowei. 1988. Age and tectonic setting of late Archaean greenstone-gneisses terrain in Henan Province, China, as revealed by single-grain zircon dating. Geology, 16: 211~215.
- Kroner A, Wilde S A, Zhao G C, O'Brien P J, Sun M, Liu D Y, Wan Y S, Liu S W, Guo J H. 2006. Zircon geochronology and metamorphic evolution of mafic dykes in the Hengshan Complex of northern China: evidence for late Palaeoproterozoic extension and subsequent high-pressure metamorphism in the North China Craton. Precambrian Research, 146(1~2): 45~67.
- Li Chengdong, Zhao Ligang, Chang Qingsong, Xu Yawen, Wang Shiyan, Xu Teng. 2017. Zircon U-Pb dating of tuff bed from Luoyukou formation in western Henan Province on the southern margin of the North China Craton and its stratigraphic attribution discussion. Geology in China, 44(3): 511~525 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Li Huimin, Lu Songnian. 1995. Grain zircon U-Pb ages for volcanic rocks from Tuanshanzi formation of Changcheng System and their geological implications. Geochimica, 24 (1): 43 \sim 47 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Lu Songnian, Li Huimin, Sun Lixin, Xiang Zhenqun, Geng Jianzhen, Zhou Hongying. 2009. Zircon and beddeleyite U-Pb precision dating of basic rock sills intruding Xiamaling formation, North China. Geological Bulletin of China, 28(10): 1396~1404 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaikun, Zhu Shixing, Xiang Zhenqun, Su Wenbo, Lu Songnian, Zhou Hongying, Geng Jianzhen, Li Sheng, Yang Jianfeng. 2010. Zircon U-Pb dating on tuff bed from Gaoyuzhuang formation in Yanqing, Beijing: Further

constraints on the new subdivision of the Mesoproterozoic stratigraphy in the northern North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 26(7); $2131 \sim 2140$ (in Chinese with English abstract).

- Li Huaikun, Su Wenbo, Zhou Hongying, Xiang Zhenqun, Tian Hui, Yang Ligong, Warren D Huff, Frank R. E. 2014. The first precise age constraints on the Jixian System of the Meso-to Neoproterozoic standard section of China: SHRIMP zircon U-Pb dating of bentonites from the Wumishan and Tieling formation in the Jixian section, North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 30 (10): 2999 ~ 3012 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianghai, Niu Xianglong, Cheng Suhua, Qian Xianglin. 2006. The Early Precambrian Tectonic Evolution of Continental Craton: A Case Study from North China. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 31(3): 285 ~ 293 (in Chinese with English abstract).
- Li Meng, Wang Chao, Wang Zhaofei. 2013. Depositional age and geological implication of the Ruyang Group in the southwestern margion of the North China Craton: Evidence from detrital zircon U-Pb ages. Chinese Journal of Geology, 48(4): 1115~ 1139 (in Chinese with English abstract).
- Li Qinzhong, Yang Yingzhang, Jia Jinchang. 1985. The study of late Precambrian strata in the southern margin of the North China platform(Part of Shanxi Province). Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press (in Chinese without English abstract).
- Li Sanzhong, Zhao Guochun, Sun Min, Han Zongzhu, Luo Yan, Hao Defeng, Xia Xiaoping. 2005. Deformation history of the Paleoproterozoic Liaohe assemblage in the Eastern Block of the North China Craton. Journal of Asian Earth Sciences, 24 (5): 659~674.
- Liu Chaohui, Zhao Guochun, Sun Min, Zhang Jian, He Yanhong, Yin Changqing, Wu Fuyuan, Yang Jinhui. 2011. U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the Hutuo group in the Trans-North China Orogen and tectonic implications. Gondwana Research, 20(1): 106~121.
- Liu Chaohui, Zhao Guochun, Sun Min, Zhang Jian, Yin Changqing, He Yanhong. 2012. Detrital zircon U-Pb dating, Hf isotopes and Wholewhole-rock geochemistry from the Songshan Group in the Dengfeng Complex: Constraints on the tectonic evolution of the Trans-North China Orogen. Precambrian Research, 192~ 195: 1~15.
- Lu Songnian, Li Huimin. 1991. A precise U-Pb single zircon age determination for the volcanics of Dahongyu formation, Changcheng System in Jixian. Chinese Academy of Geological Science Bulletin, 22(1): 137~146 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Zhao Guochun, Wang Huichu, Hao Guojie. 2008. Precambrian metamorphic basement and sedimentary cover of the North China Craton. Precambrian Research, $160(1\sim2)$: 77 \sim 93.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Wang Huichu, Chen Zhihong, Zheng Jiankang, Xiang Zhenqun. 2009. Detrital zircon population of Proterozoic metasedimentary strata in the Qinling-Qilian-Kunlun orogen. Acta Petrologica Sinica, 25(9): 2195~2208 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Hao Guojie, Xiang Zhenqun. 2016. Precambrian major geological events. Earth Science Frontiers, 23(6): 140~ 155 (in Chinese with English abstract).
- Lu Xiaoping, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, Zhao Chengbi, Guo Chunli. 2004. Emplacement age and tectonic setting of the Paleoproterozoic Liaoji granites in Tonghua area, southern Jilin Province. Acta Petrologica Sinica, 20 (3): $381 \sim 392$ (in Chinese with English abstract).
- Niu Shaowu, Xin Houtian, Liu Huan, Wang Guoming. 2018. Establishment of the Huainan system (Tonian period) in Northern China platform. Geological Survey and Research, 41 (4): 241~257 (in Chinese with English abstract).

Peng Peng, Zhai Mingguo. 2002. Two major Precambrian geological

events of North China Block (NCB): Characteristics and property. Advance in Earth Sciences, 17(6): $818 \sim 825$ (in Chinese with English abstract).

- Su Wenbo, Zhang Shihong, Huff W D, Li Huaikun, Ettensohn F R, Chen Xiaoyu, Yang Hongmei, Han Yigui, Song Biao, Santosh M. 2008. SHRIMP U-Pb ages of K-bentonite beds in the Xiamaling Formationformation: implication for revised subdivision of the Meso-to Neoproterozoic history of the North China Craton. Gondwana Research, 14(3): 543~553.
- Su Wenbo, Li Huaikun, Huff WD, Ettensonhn F R, Zhang Shihong, Zhou Hongying, Wan Yusheng. 2010. SHRIMP U-Pb dating for a K-bentonite bed in the Tieling Formation, North China. Chinese Science Bulletin, 55(22): 2197~2206.
- Su Wenbo, Li Huaikun, Xu Li, Jia Songhai, Geng Jianzhen, Zhou Hongying, Wang Zhihong, Pu Hanyong. 2012. Luoyu and Ruyang Group at the south margin of the North China Craton (NCC) should belong in the Mesoproterozoic Changchengian System: Direct constraints from the LA-MC-ICPMS U-Pb age of the tuffite in the Luoyukou formation, Ruzhou, Henan, China. Geological Survey and Research, 35(2): $96 \sim 108$ (in Chinese with English abstract).
- Sun Dazhong, Li Huimin, Lin Yuanxian, Zhou Huifang, Zhao Fengqing, Tang Min. 1991. Precambrian Geochronology, Chronotectonic framework and model of chronocrustal structure of the Zhongtiao Mountains. Acta Geologica Sinica, 65(3): 216 ~231 (in Chinese with English abstract).
- Sun Dazhong, Hu Weixing. 1993. The Tectonic Framework of Precambrian in Zhongtiaoshan. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Su Wenbo. 2014. A review of the revised Precambrian time scale (GTS2012) and the research of the Mesoproterozoic chronostratigraphy of China. Earth Science Frontiers, 21(2): $119{\sim}138$ (in Chinese with English abstract).
- Sun Yong. 1982. Polymetamorphism of the Taihua Group at the Lushan, Henan. Journal of Northwest University (Special Issue forPrecambrian Geology), $44 \sim 65$ (in Chinese with English abstract).
- Sun Yong, Yu Ziaping, Kroner A. 1994. Geochemistry and single zircon geochronology of Archaean TTG gneisses in the Taihua high-grade terrain Lushan area, central China. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 10(3~4): 227~233.
- Tian Hui, Zhang Jian, Li Huaikun, Su Wenbo, Zhou Hongying, Yang Ligong, Xiang Zhenqun, Geng Jianzhen, Liu Huan, Zhu Shixing, Xu Zhenqing. 2015. Zircon LA-MC-ICPMS U-Pb dating of tuff from Mesoproterozoic Gaoyuzhuang formation in Jixian county of North China and its geologican significance. Acta Geoscientica Sinica, 36(5): $647 \sim 658$ (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng, Zhang Qiaoda, Song Tianrui. 2003. SHRIMP ages of detrital zircons from the Changcheng System in the Ming Tombs area, Beijing: Constraints on the protolith nature and maximum depositional age of the Mesoproterozoic cover of the North China Craton. Chinese Science Bulletin, 48(22): 2500~ 2506.
- Wan Yusheng, Wilde S A, Liu Dunyi, Yang changxiu, Song Biao, Yin Xiaoyan. 2006a. Further evidence for ~ 1.85 Ga metamorphism in the Central Zone of the North China Craton: SHRIMP U-Pb dating of zircon from metamorphic rocks in the Lushan area, Henan Province. Gondwana Research, 9: 189 ~197.
- Wan Yusheng, Song Biao, Liu Dunyi, Wilde S A, Wu Jiashan, Shi Yuruo, Yin Xiaoyan, Zhou Hongying. 2006b. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Paleoproterozoic metasedimentary rocks in the North China Craton: evidence for a major Late Paleoproterozoic tectonothermal event. Precambrian Research, 149(3~4): 249~271.
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Wang Shiyan, Zhao Xun, Dong Chunyan, Zhou Hongying, Yin Xiaoyan, Yang Changxiu, Gao Linzhi. 2009. Early Precambrian crustal evolution in the

Dengfeng area, Henan Province (eastern China): Constraints from geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon dating. Acta Geologica Sinica, 83(7): $982 \sim 999$ (in Chinese with English abstract).

- Wang Kaiyi, Hao Jie, Wilde S, Cawood P. 2000. Reconsideration of some key geological problems of late Archaean-Early Proterozoic in the Wutaishan-Hengshan area: constraints from SHRIMPU-Pb zircon data. Scientia Geologica Sinica, 35(2): 175~184 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaofeng. 2015. The geochronology of the Meso-Neoproterozoic strata in the southern margin of North China and its geological significance. PhD dissertation of China University of Geosciences, $1 \sim 120$ (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhentao, Shen Yang, Wang Xunlian, Ma Boyong, Huang Xiaohong. 2017. Detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Changlongshan Formation of Qingbaikou System in Huailai county, Hebei Province and its tectonic-paleogeographic significance. Acta Geologica Sinica, 91(8): 1760~1775 (in Chinese with English abstract).
- Wilde S A, Cawood P A, Wang Kaiyi, Nemchin A. 1997. The relationship and timing of granitoid evolution with respect to felsic volcanism in the Wutai Complex, North China Craton. Proceedings 30th International Geology Congress, Precambrian Geology Metamorphic Petroleum, 17: 75~ 87.
- Wilde S A, Cawood P A, Wang Kaiyi, Nemchin A A. 2005. Granitoid evolution in the Late Archaean Wutai Complex, North China Craton. Journal of Asian Earth Sciences, 24(5): 597~613.
- Wu Fuyuan, Zhao Guochun, Wilde S A, Sun Deyou. 2005. Nd isotopic constraints on crustal formation in the North China Craton. Journal of Asian Earth Sciences, 24(5): 523~545.
- Xi Wenxiang, Pei Fang. 1997. Stratigraphy(Lithostratic) of Henan Province, Department of Geology and Mineral Resource of Henan Province-Multiple classification and correlation of the stratigraphy of China (41). Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Xie Hangqiang, Liu Dunyi, Yin Xiaoyan, Zhou Hongying, Yang Chonghui, Du Lilin, Wan Yusheng. 2013. Formation age and tectonic environment of the Gantaohe Group, North China Craton: Geology, geochemistry, SHRIMP zircon geochronology and Hf-Nd isotopic systematics. Chinese Science Bull, 57: 4735~4745.
- Xing Yusheng. 1989. The Upper Precambrian of China-Stratigraphy of China (3). Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Yan Yuzhong, Zhu Shixing. 1992. Discovery of Acanthomorphic acritarchs from the Baicaoping Formation in Yongji, Shanxi and its geological significance. Acta Micropalaeontologica Sinica, 9 (3): 267~282 (in Chinese with English abstract).
- Yang Changxiu. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb ages, geochemical characteristics and environmental evolution of the Early Precambrian metamorphic series in the Lushan area, Henan, China. Geological Bulletin of China, 27 (4): 517 ~ 533 (in Chinese with English abstract).
- Yang Chonghui, Du Lili, Geng Yuansheng, Ren Liudong, Lu Zenglong, Song Huixia. 2017. Paleoproterozoic metamaficc dyke swarms in the eastern Hebei massif, the eastern North China Craton: ~2.1 Ga extension and ~1.8 Ga metamorphism. Acta Petrologica Sinica, 33(9): 2827 ~ 2849 (in Chinese with English abstract).
- Yang Chonghui, Du Lilin, Song Huixia, Ren Liudong, Miao Peisen, Lu Zenglong. 2018. Stratigraphic division and correlation of the Pleoproterozoic strata in the North China Craton: A review. Acta Petrologica Sinica, 34(4): 1019~1057 (in Chinese with English abstract).
- Yin Leiming, Yuan Xunlai, Meng Fanwei, Hu Jie. 2005. Protists of the Upper Mesoproterozoic Ruyang Group in Shanxi Province, China. Precambrian Research, 141: 49~66.

- Yu Chao. 2019. Geochronological and geochemical characteristics of the tonalite and its geological implication in the Qinyuan area, northern Liaoning Province. Geological Survey and Research,42 (1): 18~29 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinhai, Wang Dezi, Wang Ciyin, Li Huimin. 1997. Ages of the Luliang Group and its main metamorphism in the Luliang mountains, Shanxi: evidence from single grain zircon U-Pb age. Geology Reviews, 43(4): 403~408 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Guo Jinghui, Zhao Taiping. 2001. Study advances of Neoarchaean-Paleoproterozoic tectonic evolution in the North China Craton. Progress in Precambrian Research, 24(1): 17~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo. 2006. Geological significance of the Neoarchean global cratonization event and the boundary between Archean and Proterozoic. Geotectonica of Metallogenis, 30(4): 419~ 421 (in Chinese without English abstract)
- Zhai Mingguo. 2011. Cratonization and the ancient North China Continent: A summary and review. Science China (Earth Sciences), 54(8): 1110~1120.
- Zhai Mingguo, Hu Bo, Peng Peng, Zhao Taiping. 2014. Meso-Neoproterozoic magmatic events and multi-stage rifting in the NCC. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences (beijing); Peking University), 21(1): 100~119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jian, Tian Hui, Li Huaikun, Su Wenbo, Zhou Hongying, Xian Zhenqun, Geng Jianzhen, Yang Ligong. 2015. Age, geochemisty and zircon Hf isotopeof the alkaline basaltic rocks in the middle setion of the Yan-Liao aulacogen along the northern margin of the North China Craton: New evidence for the breakup of the Columbia Supercontinent. Acta Petrologica Sinica, 31 (10): 3129 ~ 3146 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Ye Hao, Hu Jianmin, Wu Fei. 2013. New constraints on ages of the Chuanlinggou and Tuanshanzi formation of the Changcheng System in the Yan-Liao area in the northern North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 29(7): 2481~2490 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Guochun, Wilde S A, Cawood P A, Sun Min. 2002a. SHRIMP U-Pb zircon ages of the Fuping complex: implications for Late Archean to Paleoproterozoic accretion and assembly of the North China Craton. American Journal of Science, 302: 191 \sim 226.
- Zhao Guochun, Cawood P A, Wilde S A, Min Sun. 2002b. Review of global 2. $1 \sim 1.8$ Ga orgens: implications for a pre-Rodinia supercontinent. Earth-Science Reviews, 59: $125 \sim 162$.
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A, Li Sanzhong. 2003. Assembly, accretion and breakup of the Paleo-Mesoproterozoic Columbia Supercontinent: Records in the North China Craton. Gondwana Research, 6(3): 417~434.
- Zhou Hongrui. 1999. Mesoproterozoic and Neoproterozoic sequence stratigaphy of western Henan and its regional correlation. Geosciences, 13 (2): 221 ~ 222 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yanyan, Zhao Taiping, Zhai Mingguo, Gao Jianfeng, Lan Zhongwu, Sun Qianying. 2015. Petrogenesis of the 2. 1Ga Lushan garnet-bearing quartz monzonite on the southern margin of the North China Craton and its tectonic implications. Precambrian Research, 256: 241~255.
- Zhu Shixing, Liu Huan, Hu Jun. 2012. On the disintegration of the Neoproterozoic Qingbaikou system in Yanshan range, North China. Geological Survey and Research, 35(2): 81~95 (in Chinese with English abstract).

参考文献

Wilde S A, 赵国春, 王凯怡, 孙敏. 2003. 五台山滹沱群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄: 华北克拉通早元古代拼合新证据. 科学通报, 48(20): 2179~2186.

- 陈晋镳,张鹏远,高振家. 1999. 中国地层典一中元古界. 北京:地 质出版社.
- 初航,陆松年,王惠初,相振群,刘欢. 2011.山东长岛地区蓬莱群 辅子夼组碎屑锆石年龄谱研究. 岩石学报, 27(4): 1017 ~1028.
- 第五春荣,孙勇,袁洪林,王洪亮,钟兴平,柳小明. 2008. 河南登 封地区嵩山石英岩碎屑锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成及其 地质意义.科学通报,53(16):1923~1934.
- 第五春荣. 2010a. 华北克拉通南缘早前寒武纪地壳的形成和演 化一太华、登封杂岩锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素形成. 西北 大学博士学位论文.
- 第五春荣, 孙勇, 林慈銮, 王洪亮. 2010b. 河南鲁山地区太华杂岩 LA-(MC)-ICPMS 锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成. 科学通 报, 55(21): 2112~2123.
- 第五春荣,刘祥,孙勇. 2018. 华北克拉通南缘太华杂岩组成及演 化. 岩石学报,34(4):999~1018.
- 杜利林,杨崇辉,郭景辉,王伟,任留东,万渝生,耿元生.2010. 五台地区滹沱群底界时代:玄武安山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定 年.科学通报,55(3):246~254.
- 杜利林,杨崇辉,任留东,宋会侠,耿元生,万渝生. 2012. 吕梁地 区 2.2~2.1Ga 岩浆事件及其构造意义. 岩石学报,28(9): 2751~2769.
- 杜利林,杨崇辉,宋会侠,赵磊,路增龙,李伦,王涛,任留东. 2018. 华北克拉通五台地区 2.2~2.1Ga 花岗岩的成因与构造 背景. 岩石学报,34(4):1154~1174.
- 高林志,张传恒,史晓颖,周洪瑞,王自强. 2007. 华北青白口系下 马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年.地质通报,26(3):249 ~255.
- 高林志,张传恒,史晓颖,宋彪,王自强. 2008. 华北古陆下马岭组 归属中元古界的 SHRIMP 锆石新证据. 科学通报,53(11): 2617~2623.
- 高林志,张传恒,刘鹏举,丁孝忠,王自强. 2009. 华北-江南地区 中、新元古代地层格架的再认识. 地球学报,30(4):433~446.
- 耿元生,万渝生,沈其韩,李惠民,张如心. 2000. 吕梁地区早前寒 武纪主要地质事件的年代框架. 地质学报,74(3):216~223.
- 关保德,潘泽成,耿午辰,戎治权,杜慧英. 1980. 东秦岭北坡震旦 亚界.见:天津地质矿产研究所编.中国震旦亚界.天津:天津 科学技术出版社.
- 关保德, 耿午辰, 戎治权, 杜慧英. 1988. 河南东秦岭北坡中一上元 古界. 郑州: 河南科技出版社.
- 河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 胡国辉,赵太平,周艳艳,王世炎.2013.华北克拉通南缘中一新元 古代沉积地层对比研究及其地质意义.岩石学报,029(07): 2491~2507.
- 胡波, 翟明国, 彭澎, 刘富, 第五春荣, 王浩铮, 张海东. 2013. 华 北克拉通古元古代末-新元古代地质事件—来自北京西山地区 寒武系和侏罗系碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学的证据. 岩 石学报, 29(7): 2508~2536.
- 胡国辉,周艳艳,赵太平.2012.河南嵩山地区元古宙五佛山群沉 积岩的地球化学特征及其对物源区和构造环境的制约.岩石学 报,28(11):3692~3704.
- 颉颃强,刘敦一,殷小艳,周红英,杨崇辉,杜利林,万渝生.2013. 甘陶河群形成时代和构造环境:地质、地球化学和锆石 SHRIMP 定年.科学通报,58(1):75~85.
- 李承东,赵利刚,常青松,许雅雯,王世炎,许腾. 2017. 豫西洛峪 口组凝灰岩锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄及地层归属讨论. 中国地质,44(3):511~525.
- 李怀坤,李惠民,陆松年. 1995. 长城系团山子组火山岩颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球化学,24(1):43~47.
- 李怀坤,陆松年,李惠民,孙立新,相振群,耿建珍,周红英.2009. 侵入下马岭组的基性岩床的锆石和斜锆石 U-Pb 精确定年一对 华北中元古界地层划分方案的制约.地质通报,28(10):1396 ~1404.
- 李怀坤,苏文博,周红英,相振群,田辉,杨立公,Warren D HUFF, Frank R ETTENSONHN. 2014. 中-新元古界标准剖

面蓟县系首获高精度年龄制约蓟县剖面雾迷山组和铁岭组斑 脱岩锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年研究. 岩石学报,30(10): 2999~3012.

- 李怀坤,朱士兴,相振群,苏文博,陆松年,周红英,耿建珍,李生, 杨锋杰.2010.北京延庆高于庄组凝灰岩的锆石 U-Pb 定年研究 及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束.岩石学 报,26(7):2131~2140.
- 李江海,牛向龙,程素华,钱祥麟.2006.大陆克拉通早期构造演化 历史探讨:以华北为例.地球科学一中国地质大学学报,31 (3):285~293.
- 李猛, 王超, 王钊飞. 2013. 华北克拉通西南缘汝阳群沉积时代及 其地质意义:来自碎屑锆石 U-Pb 年龄的证据. 地质科学, 48 (4):1115~1139.
- 李钦仲,杨应章,贾金昌. 1985. 华北地台南缘(陕西部分)晚前寒 武纪地层研究. 西安:西安交通大学出版社.
- 陆松年,李怀坤,王惠初,陈志宏,郑健康,相振群. 2009. 秦-祁-昆造山带元古宙副变质岩层碎屑锆石年龄谱研究. 岩石学报, 25(9): 2195~2208.
- 陆松年,郝国杰,相振群.2016.前寒武纪重大地质事件.地学前缘 (中国地质大学(北京):北京大学),23(6):140~155.
- 陆松年,李惠民. 1991. 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年龄. 中国地质科学院院报,22(1):137~145.
- 路孝平,吴福元,张艳斌,赵成弼,郭春丽. 2004. 吉林南部通化地 区古元古代辽吉花岗岩的侵位年代与形成构造北京. 岩石学 报,20(3): 381~392.
- 牛绍武,辛后田,刘欢,王国明. 2018. 论中国拉伸纪淮南系的建立. 地质调查与研究,41(4):241~257.
- 彭彭,翟明国. 2002. 华北陆块前寒武纪两次重大地质事件的特征 和性质. 地球科学进展, 17(6): 818~825.
- 全国地层委员会编著. 2014. 中国地层指南及中国地层指南说明 书. 北京: 地质出版社.
- 山西省地质矿产局. 1989. 山西省区域地质志. 北京: 地质矿产局.
- 陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 苏文博, 李怀坤, Huff W. D., Eetensohn F. R., 张世红, 周红英, 万渝生. 2010. 铁岭组钾质斑脱岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学 研究及其地质意义. 科学通报, 55(22): 2197~2206.
- 苏文博,李怀坤,徐莉,贾松海,耿建珍,周红英,王志宏,蒲含勇. 2012. 华北克拉通南缘洛峪群一汝阳群属于中元古界长城 系——河南汝州洛峪口组层凝灰岩锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄的直接约束.地质调查与研究,35(2):96~108.
- 苏文博. 2014. 全球前寒武纪新年表与中国中元古代年代地层学研 究. 地学前缘, 21(2): 119~138.
- 孙大中、李惠民、林源贤、周慧芳、赵凤清、唐敏. 1991. 中条山前寒 武纪年代学、年代构造格架和年代地壳结构模式的研究. 地质 学报,65(3):216~231.
- 孙大中,胡维兴. 1993. 中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳 结构. 北京:地质出版社.
- 孙勇. 1982. 河南鲁山太华群的多期变质作用. 西北大学学报(前寒 武纪地质专辑),44~65.
- 田辉,张健,李怀坤,苏文博,周红英,杨立公,相振群,耿建珍, 刘欢,朱士兴,许振清.2015. 蓟县中元古代高于庄组凝灰岩 锆石 LA-MC-ICPMS U-Pb 定年及其地质意义.地球学报,36 (5):647~658.
- 万渝生,刘敦一,王世炎,赵逊,董春艳,周红英,殷小艳,杨长秀, 高林志. 2009. 登封地区早前寒武纪地壳演化-地球化学和锆石 SHRIMP U-Pb 年代学制约. 地质学报,83(7):982~999.
- 汪校锋. 2015. 华北南缘中一新元古代地层年代学研究及其地质意 义. 中国地质大学博士学位论文.
- 王凯怡,郝杰,Simon Wilde,Peter Cawood. 2000. 山西五台山一恒 山地区晚太古一早元古代若干关键地质问题的再认识:单颗粒 锆石离子探针质谱年龄提出的地质制约. 地质科学,35(2): 175~184.
- 王振涛, 沈阳, 王训练, 马伯永、黄晓宏. 2017. 河北怀来龙凤山青 白口系长龙山组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其构造古 地理意义. 地质学报, 91(8): 1760~1775.

- 席文祥,裴放.1997.河南省岩石地层——全国地层多重划分对比 研究(14).武汉:中国地质大学出版社.
- 邢裕盛,高振家,王自强. 1996. 中国地层典一新元古界. 北京:地 质出版社.
- 邢裕盛. 1989. 中国的上前寒武系一中国地层(3). 北京: 地质出版社.
- 阎玉忠,朱士兴. 1992. 山西永济白草坪组具刺疑源类的发现及其 地质念义. 微体古生物学报,9(3):267~282.
- 杨崇辉,杜利林,耿元生,任留东,路增龙,宋会侠. 2017. 冀东古 元古代基性岩墙群的年龄及地球化学:~2.1Ga伸展及~1. 8Ga变质.岩石学报,33(9):2827~2849.
- 杨崇辉,杜利林,宋会侠,任留东,苗培森,路增龙.2018. 华北克 拉通古元古代地层划分与对比. 岩石学报,34(4):1019 ~1057.
- 杨长秀. 2008. 河南鲁山地区早前寒武纪变质岩系的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及环境演化. 地质通报, 27(4): 517~533.
- 余超. 2019. 辽北清原地区英云闪长岩年代学、地球化学特征. 地质 调查与研究,42(1):18~29.

于津海,王德滋,王赐银,李惠民.1997.山西吕梁群和其主要变质

作用的锆石 U-Pb 年龄. 地质论评, 43(4): 403~408.

- 翟明国,郭敬辉,赵太平.2001.新太古一古元古代华北陆块构造 演化的研究进展.前寒武纪研究进展,24(1):17~27.
- 翟明国. 2006. 新太古代全球克拉通事件与太古宙一元古宙分界的 地质涵义. 大地构造与成矿学, 30(4): 419~421.
- 翟明国,胡波,彭澎,赵太平.2014.华北中一新元古代的岩浆作用 与多期裂谷事件.地学前缘(中国地质大学(北京);北京大学), 21(1):100~119.
- 张健,田辉,李怀坤,苏文博,周红英,相振群,耿建珍,杨立公. 2015. 华北克拉通北缘 Columbia 超大陆裂解事件:来自燕辽裂 陷槽中部长城系碱性火山岩的地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素证据. 岩石学报,31(10):3129~3146.
- 张拴宏,赵越,叶浩,胡健民,吴飞. 2013. 燕辽地区长城系串岭沟 组及团山子组沉积时代的新制约. 岩石学报,29(7):2481 ~3490.
- 周洪瑞. 1999. 豫西地区中、新元古界层序地层研究及其区域地层 对比意义.现代地质,13(2):221~222.
- 朱士兴,刘欢,胡军. 2012. 论燕山地区青白口系的解体. 地质调查 与研究,35(2): 221~222.

Detrital zircon geochronological characteristics of Ruyang and Luoyu Group from western Henan Province and its geological significance

LIU Huan*, LI Huaikun, TIAN Hui, CHANG Qingsong, ZHANG Jian

Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China * Corresponding author: liuhuan220205@aliyun.com

Abstract

Meso-Neoproterozoic sequences are developed in "Yushan Rift Trough" in the southern margin of North China Craton, and Ruyang Group and Luoyu Group are distributed in Mianchi-Qushan stratigraphic unit. The ages of formations have been controversial. In this paper, a systematic detrital zircon geochronology study was carried out from Ruyang and Luoyu Group of Meso-Neoproterozoic sequences, combining with stratigraphic development and rock assemblage, which provides a basis for the establishment of a Meso-Neoproterozoic stratigraphic framework on the southern margin of the North China Craton. The average age of young zircons in the lower part of Yunmenshan Formation is 1723. 6 Ma. Considering other geochronology datas from tuff intercalation of Luoyu Formation $(1611 \pm 8 \text{ Ma}, 1640 \pm 16 \text{ Ma}, 1638 \pm 9 \text{ Ma}, 1634 \pm 10 \text{ Ma})$, the deposition time limit of the Ruyang-Luoyu group was limited to 1720~1600 Ma. The ²⁰⁷ Pb/²⁰⁶ Pb ages from the samples collected from Yunmengshan Formation, Baicaoping Formation and Cuizhuang Formation were between 2657~1739 Ma, 2712~1780 Ma and $2654 \sim 1819$ Ma respectively, indicating that the sedimentary materials of the three formations were mainly derived from Paleoproterozoic geological bodies and some Neoarchean geological bodies. The Neoarchean-Paleoproterozoic Taihua Complex, the Neoarchean Dengfeng Group, the Paleoproterozoic Songshan Group and granitic rocks developed in Lushan area can all provide material sources for the Meso-Neoproterozoic sedimentary rocks. The age peaks of ~ 2.7 Ga, ~ 2.5 Ga, $2.1 \sim 2.0$ Ga and $1.85 \sim 1.8$ Ga from the Ruyang-Luoyu detrital zircons in Western Henan, correspond to important geological events, such as crustal growth, cratonization, rifting and orogenesis in the early Precambrian of the North China Craton, respectively. More and more datas show that the North China Craton had strong magmatism during the period of 2. $2\sim2.0$ Ga and the magmatism of ~2.1 Ga in western Henan area has been gradually identified.

Key words: western Henan Province; Ruyang Group; Luoyu Group; detrital zircon; Meso-Neoproterozoic