禹州地区山西组和上石盒子组地层沉积时限及地质意义

邢舟, 曹高社, 杨明慧

相似文章推荐（请使用火狐或IE浏览器查看文章）

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

中国华南渝东北城口地区下寒武统烃源岩发育环境与形成机制

Development Environment and Formation Mechanism of Lower Cambrian Source Rocks in the Chengkou Area, Northeast Chongqing, South China

沉积学报. 2020, 38(5): 1111−1122   https://doi.org/10.14027/j.issn.1000−0550.2019.102

寒武系第二统仙女洞组混合沉积特征及古环境意义——以川北旺苍唐家河剖面为例

Characteristics and Paleoenvironmental Significance of Mixed Siliciclastic−Carbonate Sedimentation in the Xiann ü dong Formation, Cambrian (Series 2): A case study from the Tangjiahe Section, Wangcang, northern Sichuan

沉积学报. 2020, 38(1): 166−181   https://doi.org/10.14027/j.issn.1000−0550.2019.015

天津蓟县晚元古代冰碛岩的发现

Discovery of Tillite in the Late Proterozoic at Jixian County of Tianjin,North China

沉积学报. 2019, 37(6): 1181−1192   https://doi.org/10.14027/j.issn.1000−0550.2019.092

楚雄盆地北部桂花铜矿区晚白垩世含矿岩系沉积环境

Sedimentary Environments of Late Cretaceous Ore−bearing Sequences at the Guihua Copper Ore Field in the Northern Chuxiong Basin, Yunnan Province, SW China

沉积学报. 2019, 37(3): 491−501   https://doi.org/10.14027/j.issn.1000−0550.2018.153

皖南志留系唐家坞组物源分析:来自碎屑锆石年代学和岩石地球化学的制约

Provenance Analysis for the Clastic Rocks in Tangjiawu Formation, South Anhui: Constraints from Detrital Zircon Ages and Geochemistry Characteristics

沉积学报. 2018, 36(1): 42−56   https://doi.org/10.3969/j.issn.1000−0550.2018.007

禹州地区山西组和上石盒子组地层沉积时限及地质意义

邢舟 [1,2,3,4],曹高社 [3,4],杨明慧 [1,2]

1.中国石油大学(北京)地球科学学院,北京　102249
2.中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京　102249
3.河南理工大学资源环境学院,河南焦作　454000
4.中原经济区煤层(页岩)气河南省协同创新中心,河南焦作　454000

摘　要　**【目的】**禹州地区是华北板块南部上古生界含煤地层研究程度最高的地区,具有丰富的沉积学和地层古生物学研究基础,但由于缺乏绝对年代学数据而影响了年代地层划分及区域上大尺度的地层对比。**【方法】**选取禹州地区太原组与山西组、下石盒子组与上石盒子组地层界线附近的两件泥岩样品,通过碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb定年测试技术,确定它们的地层最大沉积年龄。**【结果】**数据表明:(1)山西组底部样品(ZK1006-5)的40颗碎屑锆石构成了283~343 Ma的连续年轻组分频谱,其最年轻单颗粒锆石年龄(YSG年龄)为283±9.4 Ma;上石盒子组底部样品(ZK2387-3)的18颗碎屑锆石构成了257~299 Ma的连续年轻组分频谱,其最年轻单颗粒锆石年龄(YSG年龄)为257±6.8 Ma;其分别可代表样品地层最大沉积年龄,表明沉积时间不早于283±9.4 Ma和257±6.8 Ma;(2)禹州地区山西组、上石盒子组沉积分别开始于空谷期(Kungurian)和吴家坪期(Wuchiapingian),与区域生物地层资料研究相一致;(3)华北板块上古生界含煤地层岩石地层穿时明显,且跨度较大,整体表现为由板块边缘向内部逐渐穿时变新。**【结论】**综合前人对华北晚古生代盆地火山事件沉积相关研究,认为同沉积期盆地东缘活动强烈,其诱发的岩浆活动、构造活动、生物演替和海侵作用可能与同时期逐渐形成劳亚古大陆有关。

关键词　山西组;上石盒子组;碎屑锆石;U-Pb定年;禹州地区

0　引言

华北板块南部禹州地区上古生界出露良好,研究程度也较为深入。自本区建立晚古生代地层系统以来,对其沉积环境与聚煤规律(杨起,1987)、岩石地层对比(陈钟惠等,1993)、古生物地层(杨关秀,2006)均进行过较为系统的研究。然而,关于地层的时代归属及对比尚存在较多分歧,主要表现在两个方面:一是围绕禹州地区上古生界含煤地层腕足类(夏国英等,1987;郑洪,1987;裴放,2004)、蜓类(汪曾荫和尚冠雄,1989;河南煤田地质公司,1991;裴放,1998)、牙形石(王志浩和张文生,1985;河南煤田地质公司,1991)、植物化石(盛金章,1962;李星学,1963;夏国英等,1987;杨关秀,2006;刘陆军和姚兆奇,2009)等不同化石组合延线带的研究对于地层时代的限定存在一定差异,且野外和鉴定工作的复杂性及某些化石组合的缺乏也为地层时代带来不确定性;二是禹州地区上古生界地层中尚未发现有火山事件层(张文昱,1984;贾炳文和武永强,1995;钟蓉等,1996a,1996b;张开均,1998;贾炳文等,1999;桑树勋等,1999a,1999b;周安朝等,2001),缺乏绝对的地层年龄控制,而岩石地层的普遍穿时性又给大范围的华北上古生界含煤地层对比带来较大困难。因此,对于地层时代限定的新方法的介入变得必要。

近年来，随着LA-ICP-MS（激光剥蚀—电感耦合等离子体—质谱仪）成功应用于碎屑锆石U-Pb年代学研究，为层序地层体系、物源体系和汇聚体系作为一个有机整体进行研究发挥了重要作用（Yang *et al.*，2006；李洪颜等，2009；Li *et al.*，2010；Wang *et al.*，2010；Liu *et al.*，2014；Cai *et al.*，2015；Wang *et al.*，2016；马千里等，2017；张航川等2018）。其用于限定地层的最大沉积年龄逐渐成为一种成熟可靠的方法，并得到广泛应用（Moecher and Samson，2006；Dickinson and Gehrels，2009；Ustaömer *et al.*，2016；Coutts *et al.*，2019；Copeland，2020；Sharman and Malkowski，2020）。

因此，本项研究选取禹州地区含煤地层山西组底部和上石盒子组底部两件泥岩样品进行碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb定年，确定其样品地层最大沉积年龄，并结合生物地层资料对地层形成时限进行探讨，其对于约束上古生界含煤岩系的时代归属和华北板块大尺度地层对比提供了直接证据，对区域沉积环境和聚煤规律研究具有重要意义。

1 区域地质概况

华北板块由东、西板块于古元古代晚期（~1.85 Ga）经过最终的碰撞缝合完成克拉通化（赵国春等，2002），其古生代一直处于较为稳定的板内构造环境（图1a）。禹州地区位于华北板块南部（图1b），上古生界出露良好。晚古生代期间，华北板块整体沉降，受该时期周缘古构造的影响，形成主要以向东开口的簸箕状陆表海盆地重新接受沉积（曹高社等，2013），海水主要自北东和南东方向侵入，在西面和西北地区与西部海域也有不同程度的沟通，随后海水整体向南东方向逐渐退出（武法东等，1995；郭英海和刘焕杰，1999），整体上为海退型剖面，其沉积环境演化为由陆表海碳酸盐岩—碎屑海岸、碎屑潮坪至被河流三角洲充填的半咸水海湾，最后到近海湖泊，并结束含煤地层沉积（杨起，1987；李宝芳等，1989；陈钟惠等，1993）。禹州地区位于华北板块南部，其上古生界含煤岩系包括本溪组、太原组、山西组、下石盒子组和上石盒子组（图1c），整体上，受周缘构造活动影响，最大海侵期发育的碳酸盐岩集中在下部，同时在上、下石盒子组中也存在诸多富含 *Lingula* 海相化石的暗色泥岩和富含海绵骨针的硅质岩等海侵记录层位（李宝芳等，1989，

1999），泥岩和煤岩在整个晚古生代煤系地层中均有发育。

2 样品采集及测试方法

2.1 样品采集

从基于"岩石地层"的本义出发，采用杨起（1987）、杨关秀（2006）对于禹州地区上古生界划分方案，选取研究区两口全取心煤田钻孔ZK1006和ZK2387，并采集山西组和上石盒子组岩心样品各一件。样品ZK1006-5采自山西组底部（L8灰岩上覆泥岩），样品长度约2.2 m，岩性以灰黑色粉砂质泥岩为主，且砂泥互层（图2a），层面可见植物化石及少量白云母碎片（图2b）；样品ZK2387-3采自上石盒子组底部（田家沟砂岩上覆泥岩），样品长度约2.4 m，岩性以灰绿色含紫色斑块厚层状泥岩为主（图2c，d）。

2.2 测试方法

锆石的挑选在廊坊市地科勘探技术服务有限公司完成，制靶工作和阴极发光照相在北京地时科技有限公司完成，锆石U-Pb年龄LA-ICP-MS测定在合肥工业大学资源与环境工程学院实验中心完成。锆石U-Pb LA-ICP-MS测定的激光剥蚀系统为Geo Las 2005，等离子体质谱仪为Agilent 7500a，激光束斑直径32 μm，激光脉冲重复频率为6 Hz。每测定5个样品选用标准锆石91500进行两次锆石U/Pb比值及年龄校准，每测10个样品点测一次NIST610和年龄监控样Plesovice。锆石测试原始数据的处理采用ICPMSDateCal 7.5软件，并采用Andersen（2002）的方法进行普通铅作年龄校正，年龄计算和图谱制作运用Isoplot处理（Liu *et al.*，2010）。

3 测试结果

3.1 碎屑锆石形貌学特征

样品碎屑锆石CL图像显示，晚古生代U-Pb年龄碎屑锆石一般具有清晰的明暗相间的震荡环带，少数具有扇形分带，自形程度高，晶型较为完整，晶棱锋锐清晰，多数呈柱状或细长柱状，锆石颗粒长度为70~100 μm，长短比介于1.5∶1~3∶1，具有明显的岩浆锆石形貌特征（图3）。

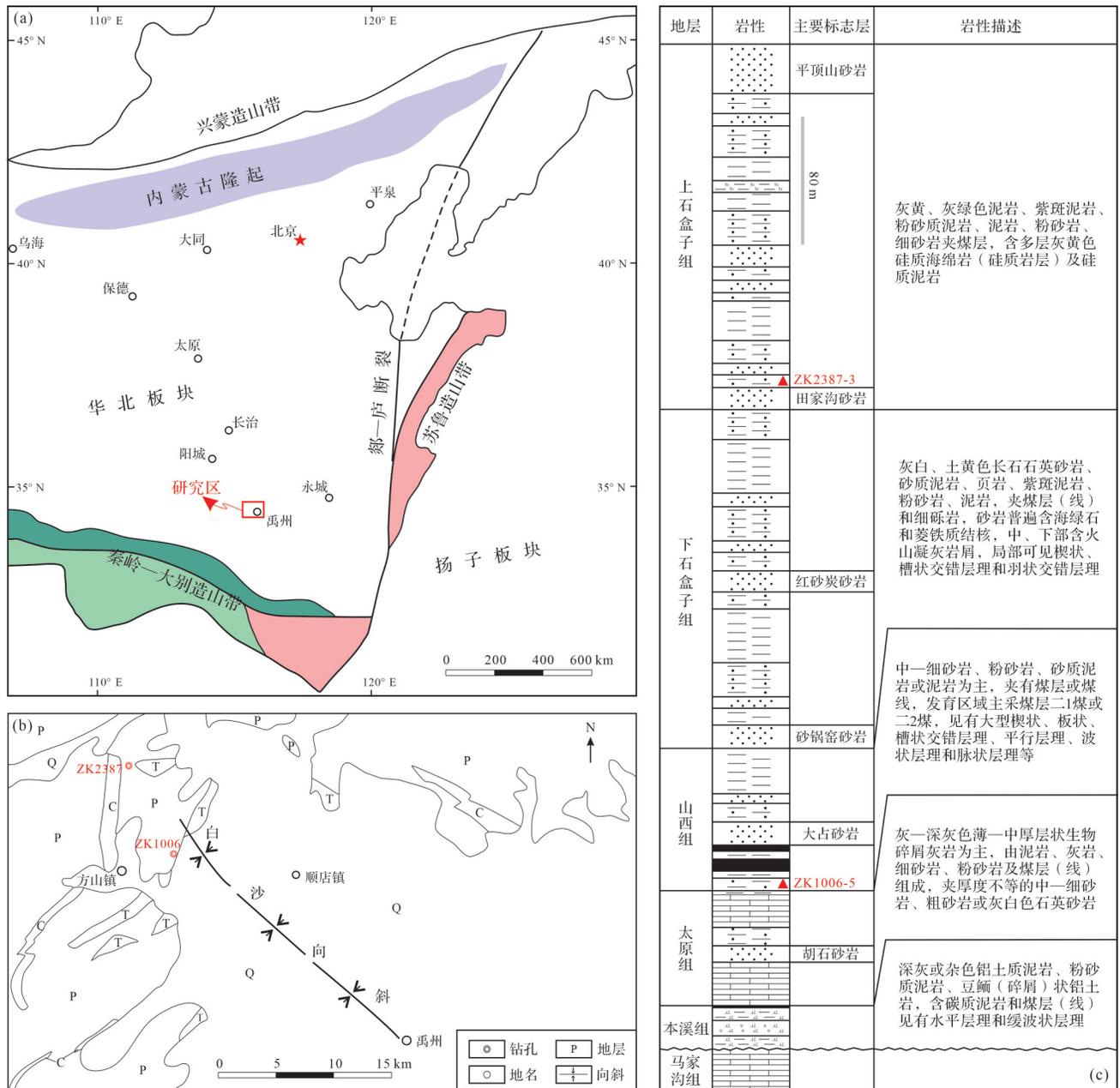与晚古生代U-Pb年龄碎屑锆石外形多呈不规则的特征相比，前寒武纪U-Pb年龄碎屑锆石多呈卵圆形，晶面复杂，时代愈老的碎屑锆石晶棱愈圆润，内

图1　(a)禹州地区构造位置图;(b)研究区地质简图与钻孔位置;(c)上古生界地层柱状图及采样位置

Fig.1　(a) Structural location of the Yuzhou area; (b) geological map of the Yuzhou area and borehole location; (c) simplfied stratigraphic column of Upper Paleozoic coal-bearing strata in the Yuzhou area and sample location

部结构愈复杂,但多数碎屑锆石的残留晶核仍具有震荡环带。此外,还常见有继承锆石的残留晶核,并发育有颜色分明的增生边,表明这些碎屑锆石多存在有不同程度的后期变质作用,锆石颗粒长度介于50~80 μm,长短比介于1.2∶1~1.5∶1,具有岩浆锆石或为岩浆锆石的变质增生锆石形貌特征(图3)。

3.2　碎屑锆石地球化学特征

不同时期锆石的Th/U比值多数大于0.4,极少数Th/U比值小于0.1,显示了岩浆锆石的Th/U比值特征(Hermann *et al.*, 2001;吴元保和郑永飞,2004)(图4a)。大部分锆石Zr/Hf比值大于40,一般认为,岩浆锆石中Hf同位素含量总体较低,且形成之后的地质作用不会对锆石Hf同位素含量产生明显的影响,所以岩浆锆石和变质重结晶的岩浆锆石Zr/Hf比值较高,Zr/Hf比值一般大于40(Vavra *et al.*, 1996;Dubiṅsk *et al.*, 2004),但少部分碎屑锆石Zr/Hf比值小于40,可能是部分岩浆锆石变质增生作用造成的(Dubiṅsk *et al.*, 2004)(图4b)。
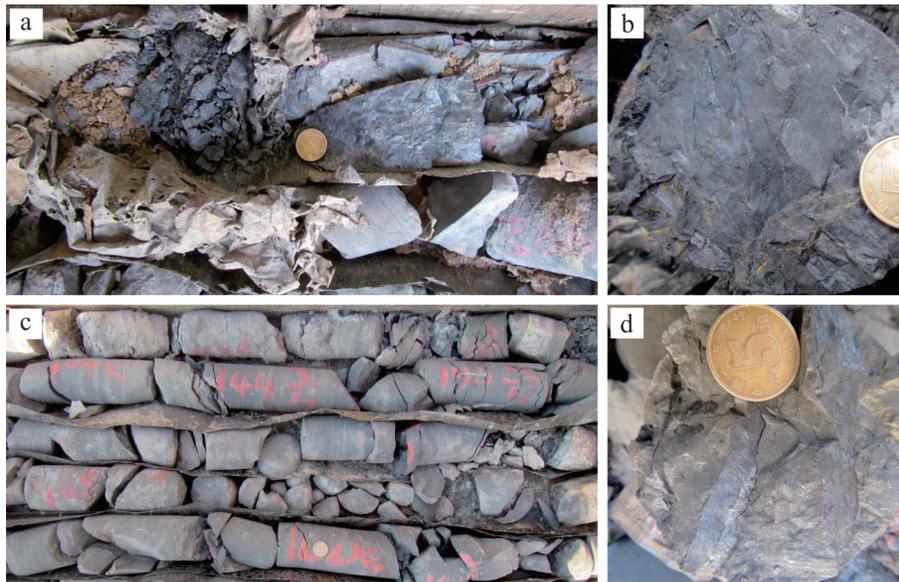
图 2 （a，b）禹州地区山西组碎屑锆石样品（ZK1006-5）和（c，d）上石盒子组碎屑锆石样品（ZK2387-3）
轮廓与局部特征

Fig.2 (a, b) Contours and local characteristics of detrital zircon samples from the Shanxi Formation
and (c, d) Shangshihezi Formation in the Yuzhou area

其中，晚古生代碎屑锆石稀土元素表现出 Ce 和 Sm 正异常与 Pr 和 Eu 的负异常（图 4c），富重稀土贫轻稀土，配分曲线表现出明显的由轻稀土向重稀土元素急剧上升的左倾现象（图 4d），明显区别于变质锆石（Boynton，1984），具有岩浆锆石的稀土元素特征（Heaman *et al.*，1990；Buick *et al.*，1995；Hoskin and Ireland，2000）。

结合样品碎屑锆石的形貌、主要微量元素及稀土元素特征，接近地层沉积年龄的碎屑锆石主要为岩浆成因锆石，前寒武纪锆石主要为岩浆锆石或为岩浆成因的变质增生锆石。

3.3 碎屑锆石 U-Pb 年龄特征

锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试中，锆石激光剥蚀的位置主要在具有震荡环带的部位，所以测定的 U-Pb 年龄应主要是锆石形成或寄主岩浆的年龄。由于古老锆石（大于 1 000 Ma）多存在一定程度的铅丢失，而 ^{207}Pb 和 ^{206}Pb 在相同的初始条件和共同的地质构造环境中具有同步的变化，两者保持相对稳定的比值，因此对于大于 1 000 Ma 的锆石，采用 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 表面年龄；对于小于 1 000 Ma 的锆石，由于放射性成因 Pb 含量低和普通铅校正的不确定性，因而采用更为可靠的 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄（Sircombe，1999）。剔除谐和度小于 90％的测试数据后，剩余数据在 U-Pb 谐和图上，大部分数据点落在了谐和线上或接近于谐和线，仅有极个别分析点稍偏离谐和线，反映极少部分锆石可能存在一定程度的铅丢失或富集（图 5a，c）。

山西组底部粉砂质泥岩（样品 ZK1006-5）所测试的 90 颗锆石中，有 76 颗锆石的谐和度大于 90％参与年龄统计。其中，40 颗晚石炭世—早二叠世（283~343 Ma）构成连续年龄图谱，占 53％，最年轻单颗粒锆石年龄（YSG）283±9.4Ma，年轻组分峰值年龄（YPP）~299 Ma；其余年龄（429~3 501 Ma）具较明显的~1 000 Ma、~1 800 Ma 和~2 500 Ma 左右的年龄峰值（图 5b）。

上石盒子组底部紫斑泥岩（样品 ZK2387-3）所测试的 80 粒锆石中，有 69 颗锆石谐和度大于 90％参与年龄统计。其中 18 颗二叠世（257~299 Ma）锆石构成连续年龄图谱，占 26％，最年轻单颗粒锆石年龄（YSG）257±6.8 Ma，年轻组分峰值年龄（YPP）~270 Ma；其余年龄（380~2 695 Ma）具明显的~1 800 Ma 和~2 500 Ma 左右的年龄峰值（图 5d）。

4 讨论

4.1 山西组和上石盒子组地层最大沉积年龄

利用碎屑锆石限定地层最大沉积年龄的方法主要基于多种数理统计方法围绕碎屑锆石年轻 U-Pb 年

图 3　禹州地区样品代表性碎屑锆石 CL 图

Fig.3　Typical detrital zircon cathodoluminescence images of samples in the Yuzhou area

龄组分展开(Dickinson and Gehrels,2009;Tucker et al.,2013)。例如:YSG 年龄为最年轻单颗粒锆石年龄;WA 年龄为算术平均年龄;YC1$_\sigma$(+3)年龄和 YC2$_\sigma$(+3)年龄是基于一个或两个标准误差的加权平均值;YDZ 年龄是基于 Monte Carlo 算法产生的年龄;Tuffzirc 年龄(+6)是基于去卷积算法得出的年龄,需要锆石颗粒数大于 10 颗(Ludwig,2008)或利用最年轻 6 颗碎屑锆石进行计算(Tucker et al.,2013)等[①]。

　　根据禹州地区山西组底部粉砂质泥岩(样品 ZK1006-5)和上石盒子组底部紫斑泥岩(样品 ZK2387-3)的碎屑锆石年轻 U-Pb 年龄组分分析,其 YSG 年龄分别为 283±9.4 Ma 和 257±6.8 Ma,YDZ 年龄分别为 ~281 Ma(+5.6 Ma/−8.8 Ma)和 ~257 Ma

(+5.5 Ma/−7.5 Ma),与其相近,而对比其他 5 种不同算法计算的年龄发现 YPP 年龄、YC1$_\sigma$(+3)年龄、YC2$_\sigma$(+3)年龄、WA 年龄、Tuff-Zirc(+6)年龄均与 YSG 年龄和 YDZ 年龄出入较大(表 1)。

　　据实例研究,在样品其他年龄数据约束的前提下(Tucker et al.,2013),YSG 年龄一般与地层沉积年龄误差在 5 Ma 之内,与其地层沉积年龄相近(Dickinson and Gehrels,2009)。从禹州地区碎屑锆石 U-Pb 年龄组分频谱可以看出,其两个样品 YSG 年龄与其年轻 U-Pb 年龄组分分别构成了连续的年龄频图,具有可信度,因此可以代表其样品地层最大沉积年龄,即山西组底部和上石盒子组底部地层沉积时间分别不早于 283±9.4 Ma 和 257±6.8 Ma。
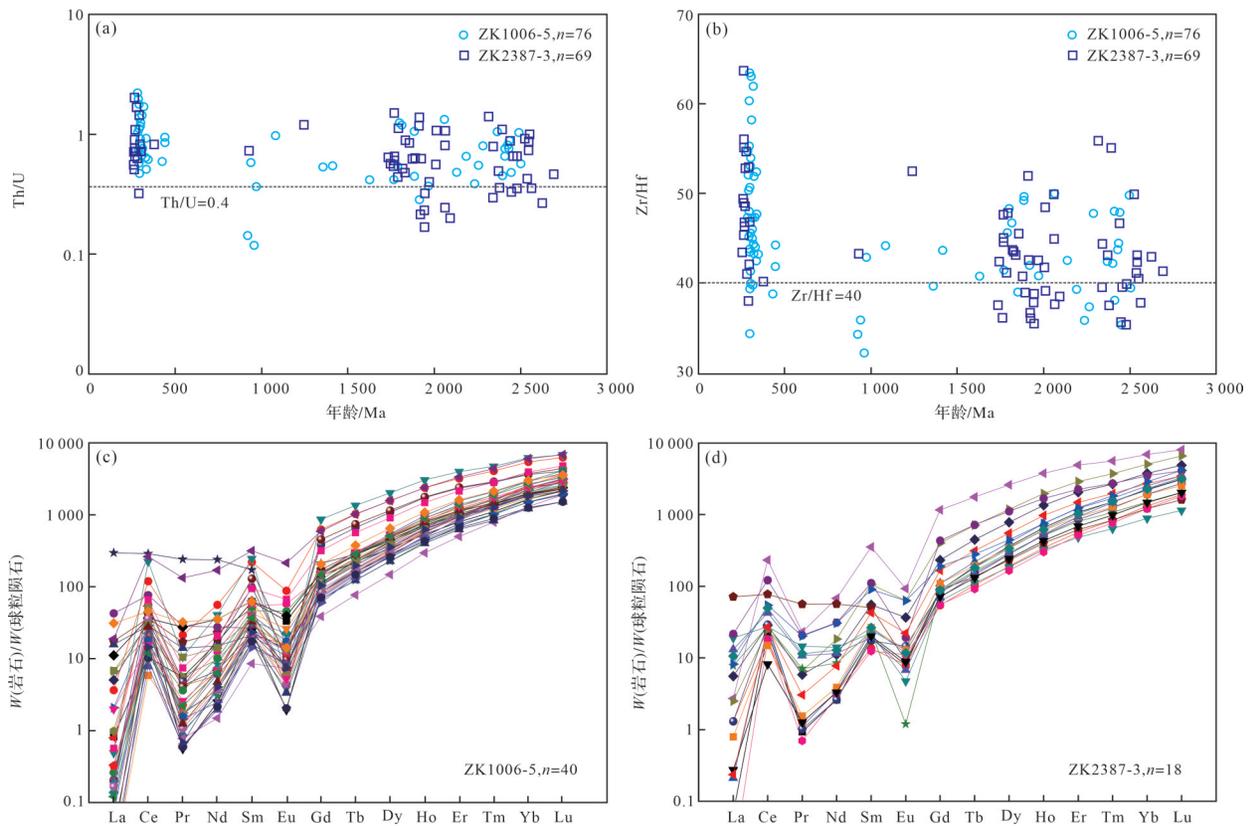
图 4 禹州地区样品碎屑锆石微量与稀土元素特征

(a)Th/U 比值分布图;(b)Zr/Hf 比值分布图;(c,d)晚古生代年龄锆石稀土元素配分曲线(球粒陨石丰度值采用Boynton,1984)

Fig.4 Trace and rare earth element (REE) characteristics of detrital zircon samples in the Yuzhou area

(a) Th/U distribution; (b) Zr/Hf distribution; (c, d) Late Paleozoic detrital zircon REE (the chondrite abundance values from Boynton, 1984)

4.2 山西组和上石盒子组地层最大沉积年龄与生物地层对比

禹州地区上古生界含煤岩系以陆相沉积为主,沉积特征变化大。目前主要是基于植物化石和下部太原组海相灰岩提供的生物化石记录等生物地层学信息推测上古生界山西组和上石盒子组的地层年龄,其一直没有确切的年代学数据(图6)。

根据古植物化石反映的时代,多数学者将山西组和上石盒子组地层年龄可分别划为早二叠世晚期—中二叠世早期和中二叠世—晚二叠世早期(李星学,1963;杨关秀,2006;刘陆军和姚兆奇,2009)。杨关秀(2006)根据禹州地区植物群研究,将山西组植物化石划分为 *Emplectopteris triangularis-Cathaysiopteris whitei - Emplectopteridium alatum - Lobatannu-laria sinensis* 组合带和将上石盒子组划分为 *Monogigantonoclea colocasifolia-Pinnagigantonoclea mucronata - Lobatannularia heianennisis* 组合带及 *Pinnagigantopteris nicotianaefolia - Psygmophyllum*

multipartitum - Pseudorhipidopsis brevicaulis 组合带,其对应时代相当于中二叠世早期(栖霞期)和晚二叠世早期末(吴家坪期),并基本可对比李星学(1963)建立的华北中部植物群的 *Emplectopteris triangularis-Tingia carbonica - Cathaysiopteris whitei* 组合带和 *Gigantonoclea hallei - Lobatannularia heianensis - Psygmophyllum multipartitum* 组合带,李星学(1963)认为其对应时代相当于早二叠世晚期和中二叠世早期。而刘陆军和姚兆奇(2009)根据大羽羊齿 *Gigantopteris nicotianaefolia Schenk* 化石时空分布,认为禹州地区上石盒子组完全可与江苏龙潭组和江西乐平组老山段下亚段的含煤层位化石对比,而将其时代定为中二叠世晚期(冷坞期)。

根据太原组中腕足类、蜓类、牙形石等海相生物化石指示,其上覆的山西组沉积开始于早二叠世无疑。例如:王志浩和张文生(1985)认为太原组顶部 L9 灰岩中出现的牙形石 *Sweetognathus whitei* 是标准的早二叠世化石;郑洪(1987)根据小有孔虫动物群研
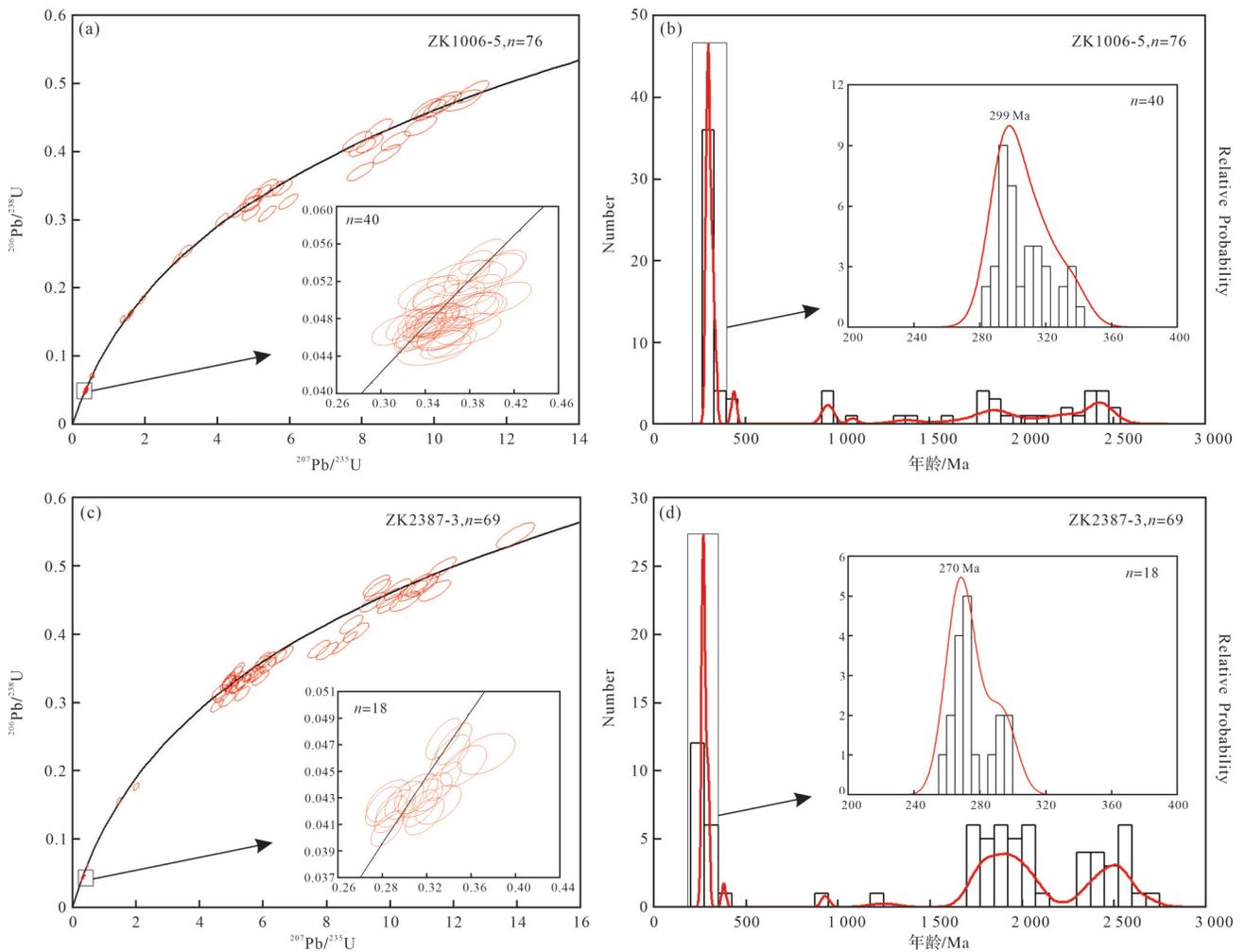
图5　禹州地区样品碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和年龄分布图

Fig.5　Diagram of U-Pb concordia and age distribution of detrital zircon samples in the Yuzhou area

究将太原组时代归属为晚石炭世—早二叠世。此外，夏国英等(1987)认为太原组下部灰岩段与中部砂泥岩段之间为石炭—二叠纪界限，其反映了动植物的突然变化；汪曾荫和尚冠雄(1989)认为 L7 灰岩之上 *Pseudofusulina-Sphaeroschwagerina* 完全消失，而出现二叠纪色彩很浓的 *Staffella* 分子，以其顶界作为石炭—二叠纪界限；河南省煤田地质公司(1991)根据太原组顶部灰岩或其上覆黑色泥岩之顶，以蜓类、牙形石消失特征划分为石炭—二叠纪界限，禹州地区石炭—二叠纪界限讨论同样侧面支持了山西组沉积开始于早二叠世，向上部逐步转变为陆相地层为主。可以发现，由于海相化石的贫乏和古生物地层无法跨相带的可对比性(王训练，2022)，不同化石组合延线带的研究对于地层时代的限定存在一定差异，且某些化石组合的缺乏也为地层时代带来不确定性。

目前，禹州地区上古生界含煤岩系尚未发现有与华北板块中—北部(缘)(贾炳文和武永强，1995；钟蓉等，1996a，1996b；贾炳文等，1999；桑树勋等，1999a，1999b；Cope *et al.*，2005；Wu，2021)及东部(缘)(张开均 1998；Yang *et al.*，2014，2020)广泛发育的火山碎屑岩类或凝灰岩等类似沉积，而未报道有绝对的定年数据。根据岩石地层划分原则及样品采样位置的特殊性，结合本文在禹州地区山西组和上石盒子组底部样品得出的碎屑锆石 U-Pb 年龄显示，可以认为，山西组底部和上石盒子组底部地层沉积时间分别不早于283±9.4 Ma 和257±6.8 Ma，其指示山西组和上石盒子组沉积分别开始于早二叠世晚期空谷阶(Kungurian)和晚二叠世早期吴家坪期(Wuchiapingian)，这也与前述生物地层推测地层时代基本一致。

表1 禹州地区样品碎屑锆石最年轻锆石年龄对比

Table 1 Age comparisons of the youngest detrital zircon from samples in the Yuzhou area

样品编号		ZK1006-5(山西组)	ZK2387-3(上石盒子组)
YSG	年龄/Ma	283±9.4	257±6.8
YPP	年龄/Ma	299	270
YDZ	年龄/Ma	281.25	257
	范围/Ma	+5.6/−8.8	+5.5/−7.5
	置信度	95%	95%
YC1$_\sigma$(+3)	年龄/Ma	305.3±4.8	273.5±9.4
	系统误差	1.1	1.1
	加权平均方差	3.10	0.34
YC2$_\sigma$(+3)	年龄/Ma	305.3±4.8	273.5±5.9
	系统误差	1.1	1.1
	加权平均方差	12	1.4
WA	年龄/Ma	305.3±4.8	274.5±6.1
	置信度	95%	95%
	加权平均方差	12	10.9
Tuff−Zirc(+6)	年龄/Ma	288.34	265.14
	范围	+3.29/−5.17	+2.39/−7.97
	置信度	96.9%	96.9%
	数量	6/6	6/6

4.3 华北板块上古生界含煤地层年代地层格架

建立标准年代地层格架一直是华北板块上古生界煤系地层对比研究的焦点(沈树忠等,2019;王训练,2022)。目前对于华北板块上古生界煤系地层,仅在东南部永城地区本溪组顶部(301.13±0.2 Ma)、太原组下部(299.32±0.12 Ma)、太原组顶部(295.65±0.08 Ma)、山西组顶部(293.0±2.5 Ma)(Yang et al.,2014,2020)和中西部保德地区太原组顶界(298.18±0.32 Ma、298.925±0.073 Ma)、山西组中段(296.962±0.086 Ma、295.346±0.080 Ma)、上石盒子组下部(294.8±1.2 Ma)、上石盒子组中上部—顶部(283.93±0.15 Ma、280.98±0.11 Ma、280.73±0.12 Ma)(Wu et al.,2021),以及西部乌海地区太原组上部(298.34±0.09 Ma)(Wang et al.,2020)报道有较为精确的火山事件层年龄(图7)。申傅恒等(2022)根据上述火山事件层年龄为基准建立的华北板块上古生界含煤地层年代地层格架,认为华北板块上古生界含煤岩系基本上整体向南穿时,沉积时限为早巴什基尔期(Bashkirian)—早空谷期(Kungurian),且上石盒子组和孙家沟组之间普遍存在一个长时间(≥20 Ma)的沉积间断。

实际上,对于广袤华北晚古生代陆表海盆地,依据局部地区火山事件层绝对年龄修正整体华北板块晚古生代生物地层格架尚存在诸多问题。因此,除华北板块东南部永城和中西部保德地区凝灰岩层U-Pb年龄外,本文还整理了平泉地区(马收先等,2011)、太原地区(刘超等2014;孙蓓蕾等,2014)、阳城地区(Zhu et al.,2014)、禹州地区(本文数据)、永城地区(作者未发表数据)系列上古生界碎屑锆石U-Pb年龄作为华北板块上古生界含煤地层年代地层对比参考依据。对比发现,华北板块上古生界含煤地层岩石地层穿时特征明显,表现为周缘地区向中部地区逐渐变新的穿时地层单位(图7),而整体不同于前人所认为的自北向南逐渐变新的特点(邵龙义等,2014;申博恒等,2022)。

盆地几何学特征表明,华北晚古生代陆表海盆地整体表现为向东开口的簸箕状形态(曹高社等,2013),海水除主要来自北东、南东两个方向以外(武法东等,1995;裴放,2004),还具有来自西北向的海侵(王国莲等,1989),分别以在东北部辽东地区小市灰岩中发现的 *Eostaffella subsolana* 带(盛金章,1962)、东南部徐州地区泉旺头灰岩中发现的 *Profusulinella payva* 带)(芮琳和张遴信,1986)和西北部保德地区扒楼沟灰岩中发现的 *Montiparus-Triticites* 顶峰带(王国莲等,1989)等为特征,代表华北晚古生代陆表海盆地海侵的开始,且迄今在海相灰岩中发现的最早的牙形石 *Idiognathoides corrugatus-Idiognathodus sinuatus* 带和牙形石类 *Idiognathodus delicatus-idiognathodus magnificus* 带也分别主要分布在东北缘、东南缘(万世禄等,1983)和西部保德地区
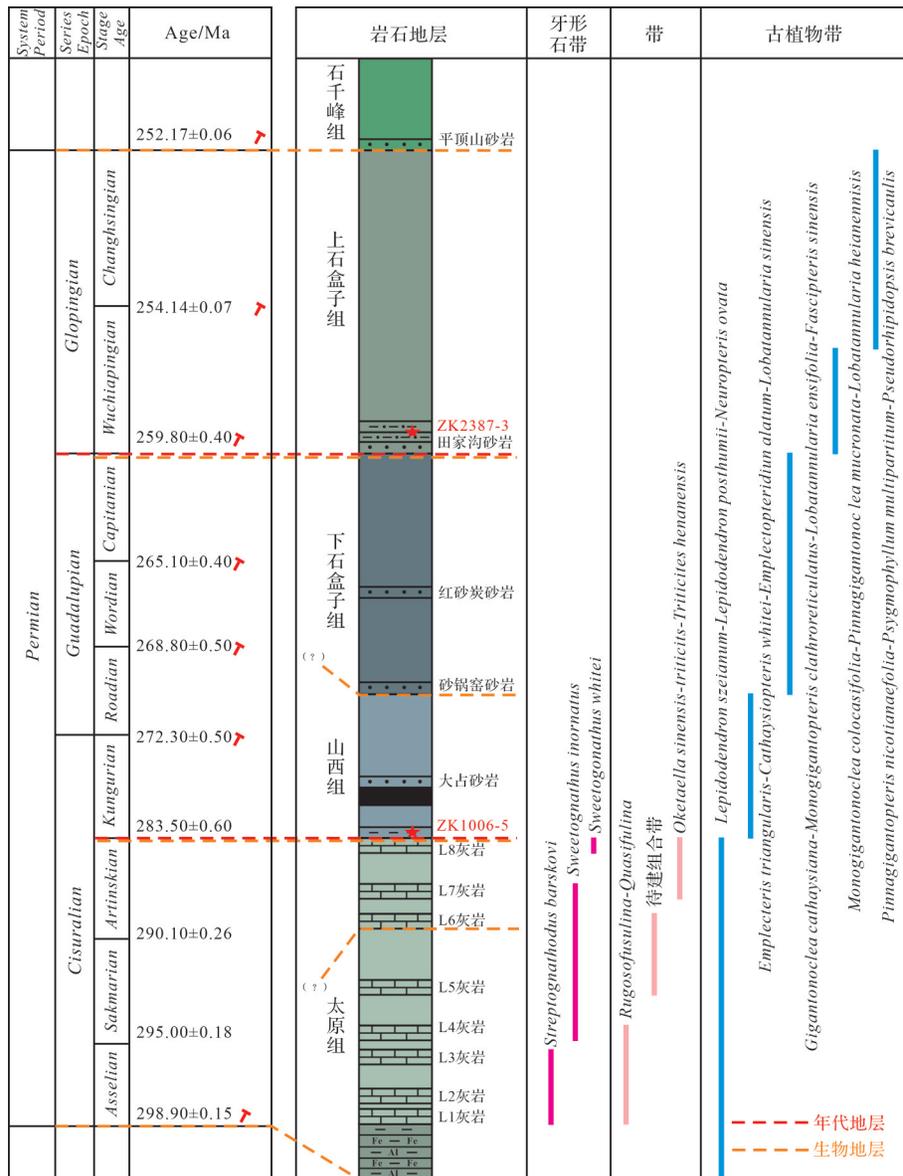
图 6　禹州地区上古生界年代地层格架

古生物资料来源于王志浩和张文生(1985);汪曾荫和尚冠雄(1989);裴放(2004);杨关秀(2006)

Fig.6　Upper Paleozoic chronostratigraphic framework of the Yuzhou area

paleontological data source form Wang and Zhang(1985);Wang and Shang(1989); Pei(2004); Yang(2006)

（孔宪祯等,1996）。值得注意的是,从古生物化石分布来看,来自西北方向的海水仅浸淹至临县—临城一线以北区域(王国莲等,1989),同时伴随着东部频繁海侵的发生(武法东等,1995),来自西北方向的海侵也逐渐受限、频次逐渐减少,海水此消彼长,整体表现为海退—海侵线不断南移的特征。而海水进退普遍认为是岩石地层穿时的根本原因,这也与华北上古生界岩石地层整体由西北、东北及东南地区向中部穿时特征的年代地层格架相一致。而造成这一变化的根本原因被认为是华北陆表海盆地古地势由早期南高北低向北高南低的转变,即古斜坡由北倾变为南倾"跷跷板"式构造变动所致(李宝芳等,1989,1999;陈钟惠等,1993)。

5　对于华北板块晚古生代构造背景的启示

华北板块内部迄今未发现直接的晚古生代火山活动,但找到较多的相关火山事件沉积记录,如在华北板块北缘及东缘广泛见有火山碎屑岩类或凝灰岩
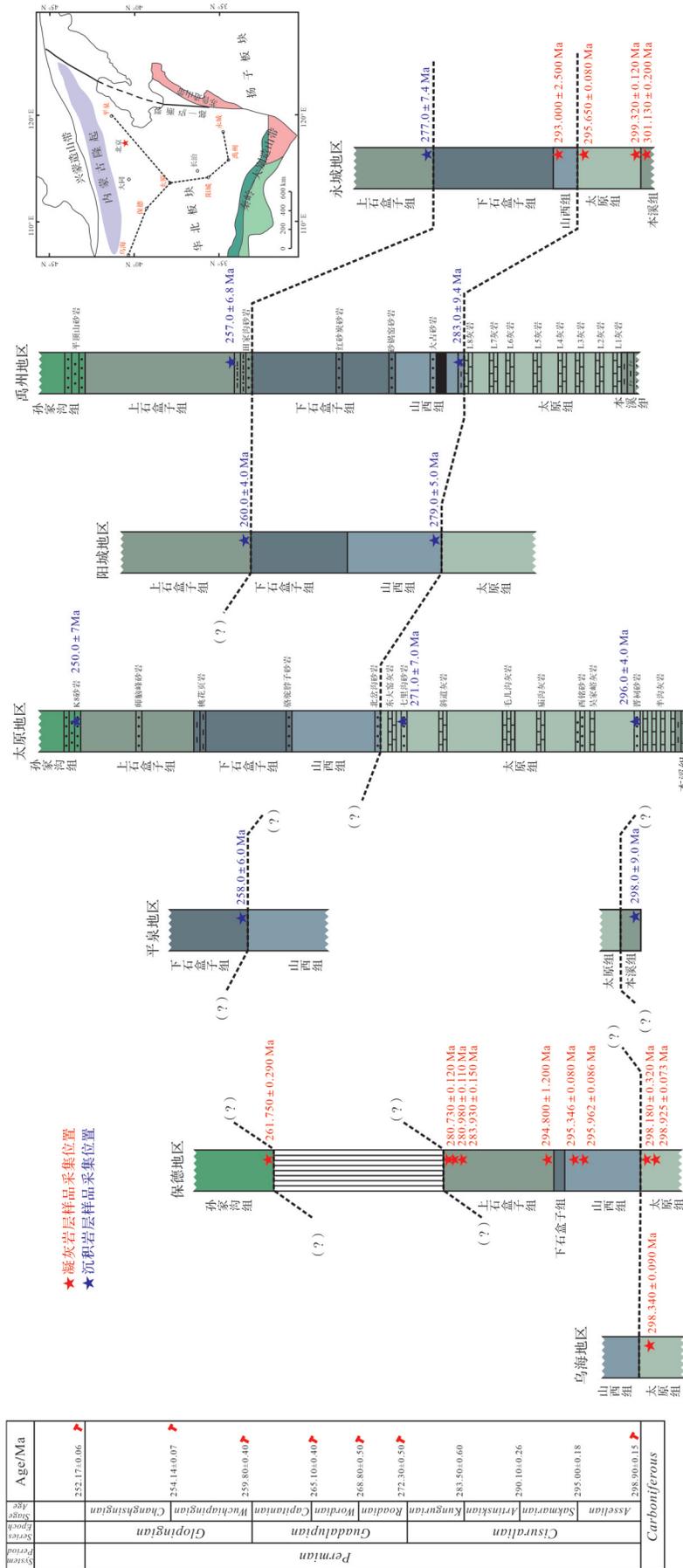
图 7　华北板块上古生界年代地层对比

Fig.7　Upper Paleozoic chronostratigraphic framework of the North China Block

数据来源：乌海地区（Wang et al., 2020）；保德地区（Wu et al., 2021）；平泉地区（马收先等，2021）；太原地区（刘超等，2014；孙蓓蕾等，2014）；禹州地区（本文数据）；阳城地区（Zhu et al., 2014）；永城地区（Yang et al., 2014，2020；未发表数据）

data sources: Wuhai area (Wang et al., 2020); Baode area (Wu et al., 2021); Pingquan area (Ma et al., 2021); Taiyuan area (Liu et al., 2014; Sun et al., 2014); Yuzhou area (this study); Yangcheng area (Zhu et al., 2014); Yongcheng area (Yang et al., 2014, 2020; this study unpublished data)

类沉积(张文昱,1984;贾炳文和武永强,1995;贾炳文等,1999;Yang et al.,2014,2020;沈树忠等,2019;Wu et al.,2021)。此外,张开均(1998)在华北板块东缘分布稳定煤夹矸中找到黑云母、钛铁矿、电气石、金红石等较多火成矿物甚至火山弹,劳林娟(1994)、孔宪祯等(1996)研究认为太原地区太原组"硅质层"可能是凝灰岩—沉凝灰岩或蚀变流纹质沉凝灰岩,其原岩为火山玻璃;曹高社等(2015,2019)运用X衍射及能谱、辅以差热测试发现在洛阳、禹州和焦作地区太原组层状硅质岩中叶腊石矿物的存在,并通过矿物学综合分析认为其硅质岩原岩为富含岩浆碎屑的泥质灰岩或生物碎屑灰岩。另外,在华北板块上古生界含煤地层普遍发现有同时期岩浆成因的碎屑锆石 U-Pb 年龄记录(Yang et al.,2006;李洪颜等,2009;Li et al.,2010;Wang et al.,2010;Liu et al.,2014;Ma et al.,2014;Cai et al.,2015;Wang et al.,2016;马千里等,2017;Yang et al.,2017;张航川等,2018)(图8a,b),通过数据收集、整理发现,其同时期碎屑锆石具有 247~380 Ma 连续的 U-Pb 年龄组分,峰值年龄为~299 Ma,此外,还具有~333 Ma、~378 Ma 的次级峰值。可以发现,诸多直接或间接的火山事件沉积记录均表明存在同时期火山活动,表明当时的华北晚古生代聚煤盆地沉积期并不平静(图8b)。

对于同时期火山源的分布和性质的讨论,多数学者认为这种强烈的火山活动与当时板块周缘特殊的构造环境有关(Wang et al.,2022),张拴宏等(2007)、Zhang et al.(2009)在华北板块与兴蒙造山带过渡部位的内蒙古隆起发现有平行于华北北缘边界的呈东西向条带状分布的晚古生代—早中生代侵入体及出露记录,并认为内蒙古隆起在晚古生代—早中生代期间经历了强烈的剥露及剥蚀作用,其可视为北缘安第斯型主动大陆边缘弧的分布范围(张拴宏等,2010)。所以,较多研究将根据碎屑锆石年龄频谱和 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值对比,将华北盆地内部晚古生代~299 Ma、~333 Ma 和~378 Ma 的三个峰值年龄组分的碎屑锆石均源于内蒙古隆起(Wang et al.,2010;Liu et al.,2014;Cai et al.,2015;Wang et al.,2016;马千里等,2017;张航川等,2018),这与贾炳文和武永强(1995)、钟蓉等(1996a)、贾炳文等(1999)、桑树勋等(1999a,1999b)根据北缘火山事件层所推测的火山源分布范围存在一定的交叉。同时,北缘内蒙古隆起在晚石炭世发生的强烈构造抬升和岩浆活动被认为是华北克拉通开始活化的表现(李洪颜等,2009;徐义刚等,2009;Li et al.,2010)。

实际上,晚古生代期间华北板块北缘的岩浆活动并不特别显著(邵济安等,2015),即使存在少量的该时期岩浆岩,也几乎全部为侵入岩,不可能为近于同一时期的沉积盆地提供物源,且在华北盆地南部禹州地区上古生界样品碎屑锆石 U-Pb 年龄频谱中仅有~297 Ma 的峰值年龄,而并未发现~378 Ma 的碎屑锆石年龄显示(图8a)。其次,有学者认为~290 Ma 峰值年龄的碎屑沉积物可能是靠风力搬运(Wang et al.,2010;Liu et al.,2014),但其锆石粒径多大于 100 μm,事实上粒径大于 20 μm 的颗粒很少在空气中悬浮较长时间(Tsoar and Pye,1987)。本项研究所揭示的~310 Ma 的碎屑锆石粒径几乎都大于 20 μm,所以~290 Ma 峰值年龄的碎屑锆石不可能由风力搬运。另外,华北板块上古生界~299 Ma 和~378 Ma 两个峰值年龄的碎屑锆石 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值特征具有相对宽泛的范围(Yang et al.,2006;李洪颜等,2009;Li et al.,2010;Wang et al.,2010;Liu et al.,2014;Cai et al.,2015;Wang et al.,2016),与华北北缘该时期岩浆岩 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 多为较大的负值并不完全吻合(张拴宏等,2010)(图8c)。

根据研究区碎屑锆石的年龄频谱特征发现,其与南加利福尼亚海沟/弧前盆地的沉积物碎屑锆石年龄频谱类似(Cawood et al.,2012),表现出汇聚型构造背景特征,且其与地层沉积时期相近年龄的碎屑锆石微量元素特征表明,这些碎屑锆石主要属于大陆壳锆石(Belousova et al.,2002)(图9a,b)且形成背景与火山弧有关(Grimes et al.,2007)(图9c,d)。同时,Zhang(1997)根据华北板块东缘火山事件层岩石地球化学分析表明其为钙碱系列中(酸)性火山岩,并认为晚古生代华北板块东缘可能存在与主动大陆边缘相关火山弧。此外,根据地球物理资料揭示的郯庐断裂深部(~160 km)存在一个由东向西俯冲的高速板舌(滕吉文等,2006),晚古生代期间华北板块东部应存在一个与俯冲有关的汇聚型板块边缘,与此伴生有强烈的火山喷发活动。但遗憾的是,板块汇聚边缘的岩石往往保存潜力较差(Belousova et al.,2002),且目前华北板块东部缺失整个新元古界—古生界的边缘相,被仅存的以郯庐断裂为代表的东部活动带所截切,并与具有扬子板块性质的基底或盖层相交接。
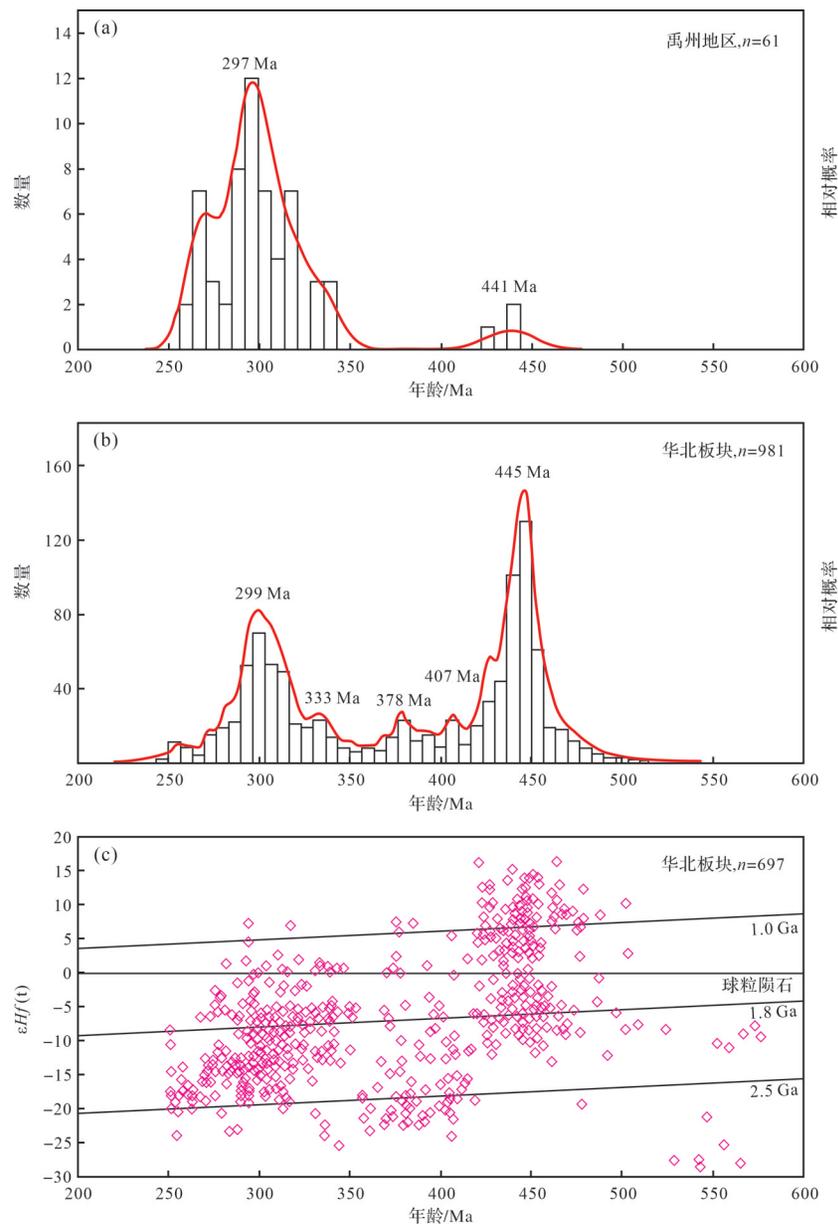
图8 禹州地区及华北板块上古生界碎屑锆石显生宙U-Pb年龄频谱及Hf同位素特征

数据来源于Yang *et al.*(2006);李洪颜等(2009);Wang *et al.*(2010);Ma *et al.*(2014);Liu *et al.*(2014);Zhu *et al.*(2014);Wang *et al.*(2016);Yang *et al.*(2017)

Fig.8 Phanerozoic U-Pb age distribution and Hf isotopic characteristics of the Yuzhou area and North China Block

data source from Yang *et al.*(2006); Li *et al.*(2009); Wang *et al.*(2010); Ma *et al.*(2014); Liu *et al.*(2014); Zhu *et al.*(2014); Wang *et al.*(2016); Yang *et al.*(2017)

综上,华北晚古生代岩浆活动、构造活动、生物演替和海侵作用可能是相互关联的,而引起这一连锁反应的根本原因可能与劳伦大陆、波罗的大陆、西伯利亚大陆、哈萨克大陆、华北板块、华南板块逐渐形成劳亚古大陆有关。

6 结论

(1)禹州地区两个样品的年轻单颗粒锆石年龄(YSG年龄)分别可代表其地层最大沉积年龄,即山西组底部和上石盒子组底部地层沉积时间分别不早于283±9.4 Ma和257±6.8 Ma,其山西组、上石盒子组沉积分别开始于空谷期和吴家坪期。

(2)华北板块上古生界含煤地层岩石地层穿时特征明显,且跨度较大,整体表现为周缘地区向中部地区逐渐变新的穿时地层单位,与前人研究成果有所区别。

(3)华北东部晚古生代期间应存在一个板块俯冲带,与此伴生有强烈的火山喷发活动,为同时期华

图 9　禹州地区晚古生代年龄碎屑锆石微量元素相关图

底图据 Belousova *et al*.（2002）；Grimes *et al*.（2007）修改

Fig.9　Binary diagrams of Late Paleozoic detrital zircon trace element of the Yuzhou area

base map modified from Belousova *et al*. (2002); Grimes *et al*. (2007)

北陆表海盆地提供大量火山灰及岩浆成因的碎屑锆石记录。

参考文献（References）

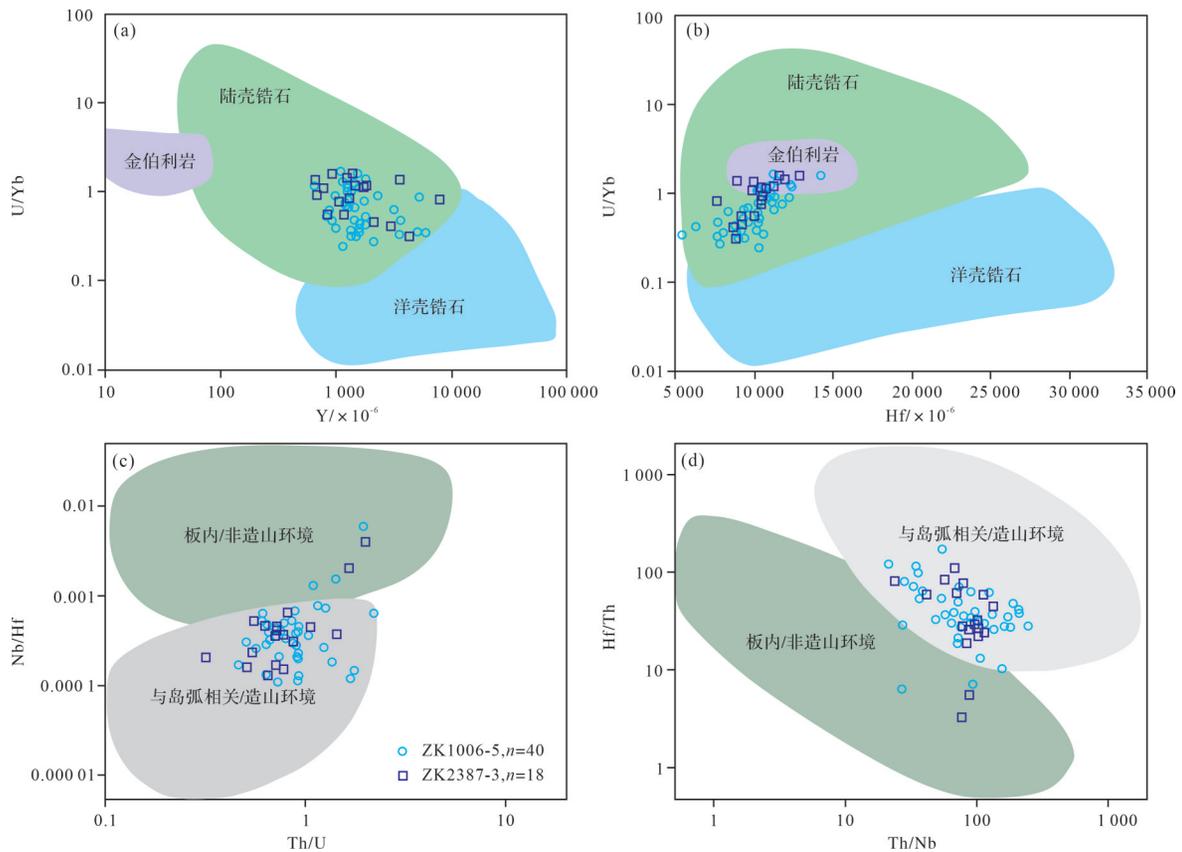曹高社,宋世豪,杜忠. 2019. 焦作地区太原组中硅质岩的矿物学特征和成因分析[J]. 河南理工大学学报（自然科学版）,38（1）:36-44. [Cao Gaoshe, Song Shihao, Du Zhong. 2019. Genesis analysis and mineralogical characteristics of siliceous rocks in Taiyuan Formation, Jiaozuo area[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 38(1): 36-44.]

曹高社,徐光明,林玉祥,等. 2013. 华北东部前中生代盆地基底的几何学特征[J]. 河南理工大学学报（自然科学版）,32（1）:46-51. [Cao Gaoshe, Xu Guangming, Lin Yuxiang, et al. 2013. Geometry characteristics of Pre-Mesozoic basin of eastern part of North China[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 32 (1): 46-51.]

曹高社,徐光明,周红春,等. 2015. 焦作地区太原组层状硅质岩中叶蜡石的发现及其成因意义[J]. 矿物岩石,35（4）:43-50. [Cao

Gaoshe, Xu Guangming, Zhou Hongchun, et al. 2015. Discovery and its genetic significance of pyrophyllite in the bedded siliceous rocks of the Taiyuan Formation in Jiaozuo area[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 35(4): 43-50.]

陈钟惠,武法东,张守良,等. 1993. 华北晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 武汉:中国地质大学出版社:1-153. [Chen Zhonghui, Wu Fadong, Zhang Shouliang, et al. 1993. The depositional environments and coal-accumulating regularities of Late Paleozoic coal-bearing measures in North China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1-153.]

郭英海,刘焕杰. 1999. 鄂尔多斯地区晚古生代的海侵[J]. 中国矿业大学学报,28（2）:126-129. [Guo Yinghai, Liu Huanjie. 1999. Transgression of Late Paleozoic era in Ordos area[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 28(2): 126-129.]

河南煤田地质公司. 1991. 河南省晚古生代聚煤规律[M]. 武汉:中国地质大学出版社:8-55. [Henan Company of Coal Geology. 1991. The Late Paleozoic coal-accumulating laws in Henan province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 8-55.]

贾炳文,武永强. 1995. 内蒙古大青山晚古生代煤系中火山事件层的物质来源及地层意义[J]. 华北地质矿产杂志,10（2）:203-213. [Jia Bingwen, Wu Yongqiang. 1995. The provenance and stratigraphic significance of volcanic event layers in Late Paleozoic coal

measures from Daqingshan, Inner Mongolia[J]. Journal of Geology of Mineral Resource North China, 10(2): 203-213.]

贾炳文,周安朝,谷东起. 1999. 辽西地区晚古生代火山事件沉积地球化学特征及物源区分析[J]. 沉积学报,17(3):473-477. [Jia Bingwen, Zhou Anchao, Gu Dongqi. 1999. Geochemistry and provenance analysis of Late Paleozoic volcanic event deposits in the West Liaoning[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 17(3): 473-477.]

孔宪祯,许惠龙,李润兰,等. 1996. 山西晚古生代含煤地层和古生物群[M]. 太原:山西科学技术出版社:1-280. [Kong Xianzhen, Xu Huilong, Li Runlan, et al. 1996. Late Paleozoic coal-bearing strata and biota in Shanxi, China[M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press: 1-280.]

劳林娟. 1994. 太原西山太原组蚀交流纹质沉凝灰岩的发现[J]. 煤田地质与勘探,22(1):9-11. [Lao Linjuan. 1994. Discovery of altered rhyolite tuff of Taiyuan Formation, Xishan, Taiyua[J]. Coal Geology & Exploration, 22(1): 9-11.]

李宝芳,李祯,付泽明,等. 1989. 华北南部晚古生代陆表海的沉积充填、聚煤特征和构造演化[J]. 地球科学:中国地质大学学报,14(4):367-378. [Li Baofang, Li Zhen, Fu Zeming, et al. 1989. The depositional filling, coal accumulation characteristics and tectonic evolution of the Late Paleozoic epeiric sea in the south of North China[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 14(4): 367-378.]

李宝芳,温显端,李贵东. 1999. 华北石炭、二叠系高分辨层序地层分析[J]. 地学前缘,6(增刊1):81-94. [Li Baofang, Wen Xianduan, Li Guidong. 1999. High resolution sequence stratigraphy analysis on the Permo-Carboniferous in North China Platform[J]. Earth Science Frontiers, 6(Suppl. 1): 81-94.]

李洪颜,徐义刚,黄小龙,等. 2009. 华北克拉通北缘晚古生代活化:山西宁武—静乐盆地上石炭统太原组碎屑锆石U-Pb测年及Hf同位素证据[J]:科学通报,54(5):632-640. [Li Hongyan, Xu Yigang, Huang Xiaolong, et al. 2009. Activation of northern margin of the North China Craton in Late Paleozoic: Evidence from U-Pb dating and Hf isotopes of detrital zircons from the Upper Carboniferous Taiyuan Formation in the Ningwu-Jingle Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 54(5): 632-640.]

李星学. 1963. 中国晚古生代陆相地层[M]. 北京:科学出版社:1-168. [Li Xingxue. 1963. Late Palaeozoic continental formations of China[M]. Beijing: Science Press: 1-168.]

刘超,孙蓓蕾,曾凡桂. 2014. 太原西山上二叠统—下三叠统地层最大沉积年龄的碎屑锆石U-Pb定年约束[J]. 地质学报,88(8):1579-1587. [Liu Chao, Sun Beilei, Zeng Fangui. 2014. Constraints on U-Pb dating of detrital zircon of the maximum depositional age for Upper Permian to Lower Triassic Strata in Xishan, Taiyuan[J]. Acta Geologica Sinica, 88(8): 1579-1587.]

刘陆军,姚兆奇. 2009. 烟叶大羽羊齿 Gigantopteris nicotianaefolia Schenk 的时空分布和相关地层的对比[J]. 古生物学报,48(1):31-39. [Liu Lujun, Yao Zhaoqi. 2009. Temporal and spatial distribution of Gigantopteris nicotianaefolia Schenk and correlation of

related formations[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 48(1): 31-39.]

马千里,许欣然,杜远生. 2017. 北京周口店三好砾岩的时代、物源背景及其古地理意义:来自沉积学和碎屑锆石年代学的证据[J]. 地质科技情报,36(4):29-35. [Ma Qianli, Xu Xinran, Du Yuansheng. 2017. Zircon U-Pb chronology and provenance of the Sanhao conglomerate in Zhoukoudian, Beijing: Implications for coeval paleogeography[J]. Geological Science and Technology Information, 36(4): 29-35.]

马收先,孟庆任,曲永强. 2011. 华北地块北缘上石炭统—中三叠统碎屑锆石研究及其地质意义[J]. 地质通报,30(10):1485-1500. [Ma Shouxian, Meng Qingren, Qu Yongqiang. 2011. A study of detrital zircons of Late Carboniferous-Middle Triassic strata in the northern margin of North China Block and its geological implication[J]. Geological Bulletin of China, 30(10): 1485-1500.]

裴放. 1998. 河南省华北型石炭—二叠纪地层多重划分与对比[J]. 河南地质,16(4):273-280. [Pei Fang. 1998. North China type Permo-Carboniferous multiple stratigraphic division and correlation in Henan province[J]. Henan Geology, 16(4): 273-280.]

裴放. 2004. 河南省华北型石炭纪—二叠纪蜓和牙形石生物地层[J]. 地层学杂志,28(4):344-353. [Pei Fang. 2004. The North China type Permo-Carboniferous Fusulinid and conodont biostratigraphic units of Henan province[J]. Journal of Stratigraphy, 28(4): 344-353.]

芮琳,张遴信. 1986. 论石炭系与二叠系的分界[J]. 地层学杂志,10(4):249-261. [Rui Lin, Zhang Linxin. 1986. On the Carboniferous-Permian boundary[J]. Journal of Stratigraphy, 10(4): 249-261.]

桑树勋,贾玉如,刘焕杰,等. 1999a. 华北中部太原组火山事件层与煤岩层对比:火山事件层的旋回性与煤岩层对比(II)[J]. 中国矿业大学学报,28(2):108-112. [Sang Shuxun, Jia Yuru, Liu Huanjie, et al. 1999a. Volcanic event strata and correlation of coals and rocks of Taiyuan Formation in central North China: Cyclicity of volcanic event strata and correlation of coals and rocks (II)[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 28(2): 108-112.]

桑树勋,刘焕杰,贾玉如. 1999b. 华北中部太原组火山事件层与煤岩层对比:火山事件层的沉积学研究与展布规律(I)[J]. 中国矿业大学学报,28(1):46-49. [Sang Shuxun, Liu Huanjie, Jia Yuru. 1999b. Volcanic event strata and correlation of coals and rocks of Taiyuan Formation in central North China: Sedimentary study of volcanic event strata and their distribution (I)[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 28(1): 46-49.]

邵济安,何国琦,唐克东. 2015. 华北北部二叠纪陆壳演化[J]. 岩石学报,31(1):47-55. [Shao Ji'an, He Guoqi, Tang Kedong. 2015. The evolution of Permian continental crust in northern part of North China[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(1): 47-55.]

邵龙义,董大啸,李明培,等. 2014. 华北石炭—二叠纪层序—古地理及聚煤规律[J]. 煤炭学报,39(8):1725-1734. [Shao Longyi, Dong Daxiao, Li Mingpei, et al. 2014. Sequence-paleogeography and coal accumulation of the Carboniferous-Permian in the North

China Basin[J]. Journal of China Coal Society, 39(8): 1725-1734.]

申博恒, 沈树忠, 吴琼, 等. 2022. 华北板块石炭纪—二叠纪地层时间框架[J]. 中国科学：地球科学, 52(7)：1181-1212. [Shen Fuheng, Shen Shuzhong, Wu Qiong, et al. 2022. Carboniferous and Permian integrative stratigraphy and timescale of North China Block[J]. Science China Earth Sciences, 52(7): 1181-1212.]

沈树忠, 张华, 张以春, 等. 2019. 中国二叠纪综合地层和时间框架[J]. 中国科学：地球科学, 49(1)：160-193. [Shen Shuzhong, Zhang Hua, Zhang Yichun, et al. 2019. Permian integrative stratigraphy and timescale of China[J]. Science China Earth Sciences, 49(1): 160-193.]

盛金章. 1962. 中国的二叠系[M]. 北京：科学出版社：1-95. [Sheng Jinzhang. 1962. The Permian system in China[M]. Beijing: Science Press: 1-95.]

孙蓓蕾, 曾凡桂, 刘超, 等. 2014. 原西山上古生界含煤地层最大沉积年龄的碎屑锆石U-Pb定年约束及地层意义[J]. 地质学报, 88(2)：185-197. [Sun Beilei, Zeng Fangui, Liu Chao, et al. 2014. Constraints on U-Pb dating of detrital zircon of the maximum depositional age for Upper Paleozoic coal-bearing strata in Xishan, Taiyuan and its stratigraphic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 88(2): 185-197.]

滕吉文, 闫雅芬, 王光杰, 等. 2006. 大别造山带与郯庐断裂带壳、幔结构和陆内"俯冲"的耦合效应[J]. 地球物理学报, 49(2)：449-457. [Teng Jiwen, Yan Yafen, Wang Guangjie, et al. 2006. Structure of Earth's crust and upper mantle, inland subduction and its coupling effects on the Dabie orogenic belt and the Tancheng-Lujiang fault zone[J]. Chinese Journal of Geophysics, 49(2): 449-457.]

万世禄, 丁惠, 赵松银. 1983. 华北中、晚石炭世牙形石生物地层[J]. 煤炭学报, (2)：62-72. [Wan Shilu, Ding Hui, Zhao Songyin. 1983. Middle and Late Carboniferous conodont biostratigraphy of North China[J]. Journal of China Coal Society, (2): 62-72.]

王国莲, 朱广明, 肖素珍. 1989. 华北陆台晚石炭世之蜓带与海水进退规程[J]. 中国地质科学院地质力学研究所文集, (2)：87-97. [Wang Guolian, Zhu Guangming, Xiao Suzhen. 1989. The fusulinid acme-zone and the canon of marine transgression of Late Carboniferous in North China[J]. Bulletin of the Institute of Geomechanics CAGS, (2): 87-97.]

王训练. 2022. "金钉子"之后的国际年代地层表刍议[J]. 科学通报, 67(3)：307-320. [Wang Xunlian. 2022. Attempting discussion of the international chronostratigraphic chart after the global standard boundary stratotype section and point[J]. Chinese Science Bulletin, 67(3): 307-320.]

汪曾荫, 尚冠雄. 1989. 河南禹县大风口石炭、二叠纪含蜓地层初步研究[J]. 地层学杂志, 13(4)：290-295. [Wang Zengyin, Shang Guanxiong. 1989. A preliminary study of Carboniferous-Permian strata in Dafengkou, Yu xian, Henan province[J]. Journal of Stratigraphy, 13(4): 290-295.]

王志浩, 张文生. 1985. 河南禹县太原组上部牙形刺的发现[J]. 地层学杂志, 9(3)：228-230. [Wang Zhihao, Zhang Wensheng. 1985. Discovery of upper conodont of Taiyuan Formation, Yuxian, Henan province[J]. Journal of Stratigraphy, 9(3): 228-230.]

武法东, 陈钟惠, 张守良, 等. 1995. 华北石炭二叠纪的海侵作用[J]. 现代地质, 9(3)：284-292. [Wu Fadong, Chen Zhonghui, Zhang Shouliang, et al. 1995. Transgressions during Permo-Carboniferous period in North China[J]. Geoscience, 9(3): 284-292.]

吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16)：1589-1604. [Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589-1604.]

夏国英, 丁蕴杰, 赵松银. 1987. 河南石炭—二叠纪含蜓地层划分及生物群特征[J]. 地层古生物论文集, 17(1)：98-128. [Xia Guoying, Ding Yunjie, Zhao Songyin. 1987. Subdivision of Carboniferous-Permian Fusulinid-bearing strata of Henan and their Faunas[J]. Proceedings of Stratigraphy and Paleontology, 17(1): 98-128.]

徐义刚, 李洪颜, 庞崇进, 等. 2009. 论华北克拉通破坏的时限[J]. 科学通报, 54(14)：1974-1989. [Xu Yigang, Li Hongyan, Pang Chongjin, et al. 2009. On the timing and duration of the destruction of the North China Craton[J]. Chinese Science Bulletin, 54(14): 1974-1989.]

杨关秀. 2006. 中国豫西二叠纪华夏植物群：禹州植物群[M]. 北京：地质出版社：1-361. [Yang Guanxiu. 2006. The Permian Cathaysian flora in western Henan province, China-Yuzhou flora[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-361.]

杨起. 1987. 河南禹县晚古生代煤系沉积环境与聚煤特征[M]. 北京：地质出版社：1-246. [Yang Qi. 1987. Sedimentary environment and coal-accumulating characteristics of the Late Paleozoic coal series of Yu Xian, Henan[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-246.]

张航川, 徐亚军, 杜远生, 等. 2018. 北京周口店太平山南坡晚古生代碎屑锆石U-Pb年代学及其大地构造意义[J]. 地球科学, 43(6)：2100-2115. [Zhang Hangchuan, Xu Yajun, Du Yuansheng, et al. 2018. Detrital zircon geochronology of Late Paleozoic strata from southern hillside of Taiping Hill in Zhoukoudian area, Beijing and their tectonic implications[J]. Earth Science, 43(6): 2100-2115.]

张开均. 1998. 华北板块东缘晚古生代火山活动及其大地构造含义[J]. 中国煤田地质, 10(3)：10-11, 20. [Zhang Kaijun. 1998. Late andesitic volcanism of Late Palaeozoic Era along the eastern margin of North China Plate and its tectonic implications[J]. Coal Geology of China, 10(3): 10-11, 20.]

张拴宏, 赵越, 刘健, 等. 2007. 华北地块北缘晚古生代—中生代花岗岩体侵位深度及其构造意义[J]. 岩石学报, 23(3)：625-638. [Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jian, et al. 2007. Emplacement depths of the Late Paleozoic-Mesozoic granitoid intrusions from the northern North China Block and their tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 625-638.]

张拴宏, 赵越, 刘建民, 等. 2010. 华北地块北缘晚古生代—早中生代

岩浆活动期次、特征及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志，29（6）：824-842. [Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jianmin, et al. 2010. Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatism in the northern margin of the North China Block: A preliminary review[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(6): 824-842.]

张文昱. 1984. 华北燕山南麓晚古生代煤系中火山碎屑岩的发现[J]. 煤田地质与勘探，12（5）：8-10. [Zhang Wenyu. 1984. The found of North South Yanshan volcano clastic rocks in Late Paleozoic coal measures[J]. Coal Geology & Exploration, 12(5): 8-10.]

赵国春，孙敏，Wilde S A. 2002. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合[J]. 中国科学：地球科学，32（7）：538-549. [Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A. 2002. Characteristics of Proterozoic tectonic units of the basement of the North China Craton and Proterozoic amalgamation[J]. Science China Earth Sciences, 32(7): 538-549.]

郑洪. 1987. 河南禹县晚古生代小有孔虫动物群[J]. 微体古生物学报，4（2）：217-224. [Zheng Hong. 1987. Late Palaeozoic small foraminiferal fauna from Yuxian, Henan[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 4(2): 217-224.]

钟蓉，孙善平，付泽明. 1996a. 华北地台本溪组、太原组火山事件沉积特征及时空分布规律[J]. 地质力学学报，2（1）：83-91. [Zhong Rong, Sun Shanping, Fu Zeming. 1996a. The characteristics of volcanic event deposits and their temporal-spatial distribution of Benxi and Taiyuan Formations in North China Platform (NCP)[J]. Journal of Geomechanics, 2(1): 83-91.]

钟蓉，孙善平，傅泽明. 1996b. 山东及邻区晚石炭世—早二叠世火山事件沉积及地层对比[J]. 地质学报，70（2）：142-152. [Zhong Rong, Sun Shanping, Fu Zeming. 1996b. Volcanic event deposits and stratigraphic correlation of the Late Carboniferous-Early Permian in Shandong and adjacent regions[J]. Acta Geologica Sinica, 70(2): 142-152.]

周安朝，贾炳文，马美玲，等. 2001. 华北板块北缘晚古生代火山事件沉积的全序列及其主要特征[J]. 地质论评，47（2）：175-183. [Zhou Anchao, Jia Bingwen, Ma Meiling, et al. 2001. The whole sequences of volcanic event deposits on the north margin of the North China Plate and their features[J]. Geological Review, 47(2): 175-183.]

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report [204]Pb[J]. Chemical Geology, 192(1/2): 59-79.

Belousova E, Griffin W, O'Reilly S Y, et al. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5): 602-622.

Boynton W V. 1984. Chapter-3 Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[J]. Developments in Geochemistry, 2: 63-114.

Buick R, Des Marais D J, Knoll A H. 1995. Stable isotopic compositions of carbonates from the Mesoproterozoic Bangemall Group, northwestern Australia[J]. Chemical Geology, 123(1/2/3/4): 153-171.

Cai S H, Wang Q F, Liu X F, et al. 2015. Petrography and detrital zircon study of Late Carboniferous sequences in the southwestern North China Craton: Implications for the regional tectonic evolution and bauxite genesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 98: 421-435.

Cawood P A, Hawkesworth C J, Dhuime B. 2012. Detrital zircon record and tectonic setting[J]. Geology, 40(10): 875-878.

Cope T, Ritts B D, Darby B J, et al. 2005. Late Paleozoic Sedimentation on the northern margin of the North China Block: Implications for regional tectonics and climate change[J]. International Geology Review, 47(3): 270-296.

Copeland P. 2020. On the use of geochronology of detrital grains in determining the time of deposition of clastic sedimentary strata[J]. Basin Research, 32(6): 1532-1546.

Coutts D S, Matthews W A, Hubbard S M. 2019. Assessment of widely used methods to derive depositional ages from detrital zircon populations[J]. Geoscience Frontiers, 10(4): 1421-1435.

Dickinson W R, Gehrels G E. 2009. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database[J]. Earth and Planetary Science Letters, 288(1/2): 115-125.

Dubiṅsk E, Bylina P, Kozłowski A, et al. 2004. U-Pb dating of serpentinization: Hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland)[J]. Chemical Geology, 203(3/4): 183-203.

Grimes C B, John B E, Kelemen P B, et al. 2007. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance[J]. Geology, 35(7): 643-646.

Heaman L M, Bowins R, Crocket J. 1990. The chemical composition of igneous zircon suites: Implications for geochemical tracer studies[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54(6): 1597-1607.

Hermann J, Rubatto D, Korsakov A, et al. 2001. Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav Massif, Kazakhstan)[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 141(1): 66-82.

Hoskin P W O, Ireland T R. 2000. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator[J]. Geology, 28(7): 627-630.

Li H Y, He B, Xu Y G, et al. 2010. U-Pb and Hf isotope analyses of detrital zircons from Late Paleozoic sediments: Insights into interactions of the North China Craton with surrounding plates[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 39(5): 335-346.

Liu J, Zhao Y, Liu A K, et al. 2014. Origin of Late Palaeozoic bauxites in the North China Craton: Constraints from zircon U-Pb geochronology and in situ Hf isotopes[J]. Journal of the Geological Society, 171(5): 695-707.

Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. 2010. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 55(15): 1535-1546.

Ludwig K R. 2008. User's manual for isoplot 3. 70[C]//A geochrono-

logical toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkley Geochronol-ogy Centre Special Publication.

Ma S X, Meng Q R, Duan L, et al. 2014. Reconstructing Late Paleo-zoic exhumation history of the Inner Mongolia Highland along the northern edge of the North China Craton[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 87: 89-101.

Moecher D P, Samson S D. 2006. Differential zircon fertility of source terranes and natural bias in the detrital zircon record: Implications for sedimentary provenance analysis[J]. Earth and Planetary Science Letters, 247(3/4): 252-266.

Sharman G R, Malkowski M A. 2020. Needles in a haystack: Detrital zircon U-Pb ages and the maximum depositional age of modern global sediment[J]. Earth-Science Reviews, 203: 103109.

Sircombe K N. 1999. Tracing provenance through the isotope ages of littoral and sedimentary detrital zircon, eastern Australia[J]. Sedi-mentary Geology, 124(1/2/3/4): 47-67.

Sparks B W. 1965. Time in stratigraphy Alan B. Shaw[J]. The Geo-graphical Journal, 131(3): 412.

Tsoar H, Pye K. 1987. Dust transport and the question of desert loess formation[J]. Sedimentology, 34(1): 139-153.

Tucker R T, Roberts E M, Hu Y, et al. 2013. Detrital zircon age con-straints for the Winton Formation, Queensland: Contextualizing Australia's Late Cretaceous dinosaur faunas[J]. Gondwana Re-search, 24(2): 767-779.

Ustaömer T, Ustaömer P A, Robertson A H F, et al. 2016. Implications of U-Pb and Lu-Hf isotopic analysis of detrital zircons for the depo-sitional age, provenance and tectonic setting of the Permian-Triassic Palaeotethyan Karakaya Complex, NW Turkey[J]. Interna-tional Journal of Earth Sciences, 105(1): 7-38.

Vavra G, Gebauer D, Schmid R, et al. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Trias-sic metamorphism in granulites of the Ivrea zone (southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study[J]. Contributions to Mineral-ogy and Petrology, 122(4): 337-358.

Wang M, Zhong Y T, He B, et al. 2020. Geochronology and geochemis-try of the fossil-flora-bearing Wuda Tuff in North China Craton and its tectonic implications[J]. Lithos, 364/365: 105485.

Wang Q F, Deng J, Liu X F, et al. 2016. Provenance of Late Carbonifer-ous bauxite deposits in the North China Craton: New constraints on marginal arc construction and accretion processes[J]. Gondwana

Research, 38: 86-98.

Wang Y, Zhou L Y, Zhao L J, et al. 2010. Palaeozoic uplands and un-conformity in the North China Block: Constraints from zircon LA-ICP-MS dating and geochemical analysis of bauxite[J]. Terra Nova, 22(4): 264-273.

Wang Y D, Yang S L, Zhang S H, et al. 2022. Early-Middle Permian drying in the North China Block induced by large igneous prov-inces[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 592: 110922.

Wu Q, Ramezani J, Zhang H, et al. 2021. High-precision U-Pb age con-straints on the Permian floral turnovers, paleoclimate change, and tectonics of the North China Block[J]. Geology, 49(6): 677-681.

Yang D B, Yang H T, Shi J P, et al. 2017. Sedimentary response to the paleogeographic and tectonic evolution of the southern North China Craton during the Late Paleozoic and Mesozoic[J]. Gond-wana Research, 49: 278-295.

Yang J H, Cawood P A, Du Y S, et al. 2014. Global continental weath-ering trends across the Early Permian glacial to postglacial transi-tion: Correlating high- and low-paleolatitude sedimentary records [J]. Geology, 42(10): 835-838.

Yang J H, Cawood P A, Montañez I P, et al. 2020. Enhanced continen-tal weathering and large igneous province induced climate warm-ing at the Permo-Carboniferous transition[J]. Earth and Planetary Science Letters, 534: 116074.

Yang J H, Wu F Y, Shao J A, et al. 2006. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan fold and thrust belt, North China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 246(3/4): 336-352.

Zhang K J. 1997. North and South China collision along the eastern and southern North China margins[J]. Tectonophysics, 270(1/2): 145-156.

Zhang S H, Zhao Y, Kröner A, et al. 2009. Early Permian plutons from the northern North China Block: Constraints on continental arc evo-lution and convergent margin magmatism related to the Central Asian Orogenic Belt[J]. International Journal of Earth Sciences, 98 (6): 1441-1467.

Zhu X Q, Zhu W B, Ge R F, et al. 2014. Late Paleozoic provenance shift in the south-central North China Craton: Implications for tec-tonic evolution and crustal growth[J]. Gondwana Research, 25(1): 383-400.

Stratigraphic Depositional Age of the Shanxi Formation and Shangshihezi Formation in the Yuzhou Area and Its Geological Significance

XING Zhou[1,2,3,4], CAO GaoShe[3,4], YANG MingHui[1,2]

1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

3. Institute of Resources & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China

4. Collaborative Innovation Center of Coalbed Methane and Shale Gas for Central Plains Economic Region, Jiaozuo, Henan 454000, China

Abstract：［**Objective**］The Yuzhou area is the most highly studied Upper Paleozoic coal-bearing strata of the southern part of North China Block, which has abundant sedimentological and stratigraphic paleontological research basis; however, owing to the lack of absolute chronology data, the division of chronostratigraphy, and regional large-scale stratigraphic correlation are affected.［**Methods**］In this study, laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry（LA-ICP-MS）was applied to date the U-Pb age of detrital zircon of two mudstone samples near the stratigraphic boundary of the Taiyuan Formation-Shanxi Formation and Xiashihezi Formation-Shangshihezi Formation in the Yuzhou area and determine their maximum depositional ages.［**Results**］（1）The 40 detrital zircons from the bottom sample of the Shanxi Formation（ZK1006-5）constitute a continuous young component spectrum ranging from 283-343 Ma, with the youngest single zircon age（YSG age）is 283±9.4 Ma. The 18 detrital zircons from the bottom sample of the Shangshihezi Formation（ZK2387-3）constitute a continuous young component spectrum ranging from 257-299 Ma, with the YSG age is 257±6.8 Ma. They represent the maximum deposition age of the sample strata, indicating that the deposition time is no earlier than 283±9.4 Ma and 257±6.8 Ma.（2）The deposition of the Shanxi Formation and Shangshihezi Formation in the Yuzhou area began in Kungurian and Wuchiapingian, respectively, which is consistent with regional biostratigraphic data.（3）The Upper Paleozoic coal-bearing strata of the North China Block have a large span of penetrating rock strata, and the overall performance is characterized by inward penetration of the plate edge gradually through the new characteristics.［**Conclusions**］Based on the previous studies on volcanic events in the Late Paleozoic basin of the North China Block, the eastern margin of the basin was found to be strongly active in which the same sedimentary period, and the induced magmatism, tectonic activity, biological succession, and transgression may be related to the formation of the ancient continent of Laurisia land at the same time.

Key words：Shanxi Formation；Shangshihezi Formation；detrital zircons；U-Pb dating；Yuzhou area