

李振宏,董树文,渠洪杰. 华北克拉通北缘侏罗纪造山过程及关键时限的沉积证据. 吉林大学学报:地球科学版,2014,44(5):1553-1574. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.201405113.

Li Zhenhong, Dong Shuwen, Qu Hongjie. Sedimentary Evidences of Jurassic Orogenic Process and Key Time Limit on the Northern Margin of North China Craton. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2014, 44(5): 1553-1574. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.201405113.

华北克拉通北缘侏罗纪造山过程 及关键时限的沉积证据

李振宏¹,董树文²,渠洪杰¹

1. 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081

2. 中国地质科学院,北京 100037

摘要:宁武—静乐盆地与浑源盆地位于华北克拉通中北部,侏罗纪地层序列完整,物源指向于阴山—燕山造山带中段,通过对盆地内侏罗纪沉积特征的研究,可以演绎华北克拉通北缘侏罗纪的造山过程。在盆地沉积分析的基础上,通过宁武—静乐盆地中侏罗统云岗组顶部的凝灰质泥晶碳酸盐岩及浑源盆地上侏罗统髫髻山组玄武—安山岩锆石 U-Pb 同位素测年,结合国际地层年代表推荐年龄及中侏罗统的沉积速率,对整个侏罗纪沉积序列转换的关键时限进行了限定。研究认为:中侏罗统云岗组底部砾岩沉积时期,侏罗纪沉积演化序列经历了早期湖进至晚期湖退的转换过程,暗示着区域应力场由早期的拉张向晚期的挤压转换,孕育着侏罗纪造山运动的开始,具体时限大约为 168 Ma;中侏罗统云岗组顶部凝灰质泥晶碳酸盐岩沉积时期,沉积地层的颜色由其下的灰绿色突变为其上的紫红色,孕育着湖盆地形的突然抬升,区域氧化性增强,气候环境的突变,侏罗纪造山运动进入了快速发展阶段,具体时限为 161.0~159.0 Ma;中/晚侏罗世沉积序列具有继承性的发育特征,随着湖盆地形的进一步抬升,侏罗纪沉积范围迅速退至造山带前缘,以砾岩沉积为主,为同期造山运动的产物,侏罗纪造山运动进入了高峰期,具体时限为 159.0~153.0 Ma;晚侏罗世晚期,区域上以玄武—安山岩及凝灰质角砾岩沉积为主,侏罗纪造山运动进入了造山期后的调整阶段。

关键词:华北克拉通;侏罗纪;沉积岩;凝灰质泥晶碳酸盐岩;玄武—安山岩;锆石 U-Pb 年龄

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.201405113

中图分类号:P542.2

文献标志码:A

Sedimentary Evidences of Jurassic Orogenic Process and Key Time Limit on the Northern Margin of North China Craton

Li Zhenhong¹, Dong Shuwen², Qu Hongjie¹

1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Abstract: Ningwu-Jingle basin and Hunyuan basin are located within the north-central of North China craton, and the Jurassic sedimentary sequences are complete from Early Jurassic to Late Jurassic, whose provenance came from the middle of Yinshan-Yanshan orogenic belt. Therefore, we may infer the

收稿日期:2014-02-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41372122);国家深部探测技术与实验研究专项(Sinoprobe-08-01);中国地质调查局地质调查工作项目(1212011121095)

作者简介:李振宏(1973—),男,在站博士后,主要从事盆地分析研究,E-mail:lizhenhong@126.com。

orogenic process by the research of sedimentary sequences in these basin. According to U-Pb dating for the tuffaceous micritic limestone at the top of the Yungang Formation in the Middle Jurassic and the basalt-andesite at the bottom of the Tiaojiashan Formation, the recommended age of the Middle Jurassic in the international stratigraphic chart and the sedimentary rate of it, the key limit of the change of Jurassic sedimentary sequences was determined. The Jurassic sedimentary sequences experienced a conversion from the early lacustrine transgressive sedimentation to the late lacustrine regressive one at the bottom of the Middle Jurassic Yungang Formation ($J_2.yg$). It was indicated that the regional tectonic stress field converted from extensional environment to compressional one, giving birth to the beginning of the Jurassic orogenic movement, and the time limit is about 168 Ma. The colors of the tuffaceous micritic limestone on the top of the Yungang Formation in the Middle Jurassic varied from celadon to fuchsia, indicating a suddenly uplift of the lake basin topography and a quick strengthen of regional oxidizing. The Jurassic orogenic movement experienced a stage of quick development, and the time limit is about 161.0-159.0 Ma. The sedimentary sequence from the Middle Jurassic to the Late Jurassic is continuous and inherited. With the further uplift of the lake basin topography, the sedimentary scope of Jurassic retreated quickly the leading edge of the orogenic belt. It is characterized by the synorogenic conglomerates, while Jurassic orogenic movement reached to the peak period, and the time limit is about 159.0-153.0 Ma. In the Late Jurassic, the regional sedimentary sequences consisted of basalt-andesite and the tuffaceous breccia, the Jurassic orogenic movement came into a post-orogenic adjustment stage.

Key words: North China craton; Jurassic; sedimentary rocks; the tuffaceous micritic carbonates; basalt-andesite; zircon U-Pb age

0 引言

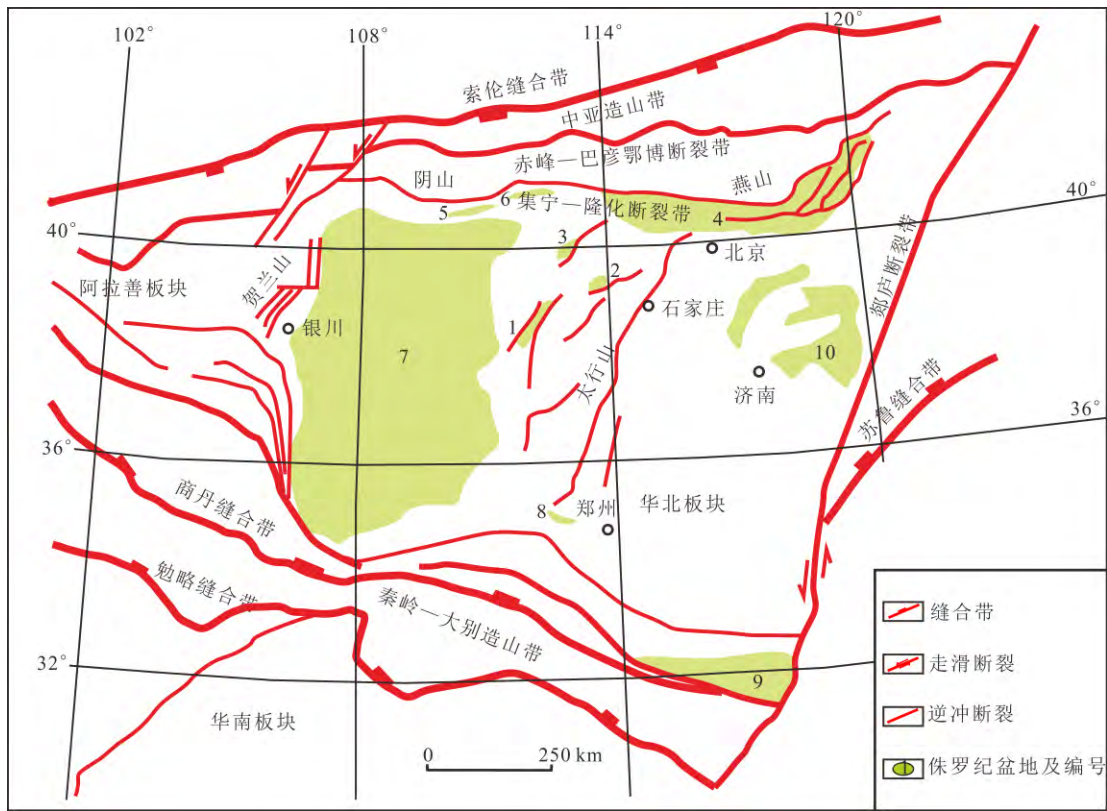
侏罗纪/白垩纪之交是中国中东部构造变迁的重要时期,华北克拉通周缘及其内部在构造、岩浆、沉积及成矿等方面都有具体的表现形式^[1-8]。华北克拉通周缘造山带构造变形强烈、逆冲推覆构造发育^[9-14]。侏罗纪含煤地层普遍被卷入变形带,上侏罗统与下白垩统之间具有明显的角度不整合^[15-20]。华北克拉通内部普遍缺失上侏罗统,仅有的沉积主要分布在阴山—燕山造山带的南麓和秦岭—大别山造山带的北麓,表现为山间和山前磨拉石沉积并伴随强烈的岩浆活动^[21-25]。对于这一强烈构造事件的发展过程,前人从构造变形特征^[26-30]、变形时限^[31-35]以及岩浆喷发的时限^[36-39]等方面做了大量的研究工作,划分了构造变形和岩浆活动的期次,诠释了侏罗纪造山运动的演化过程。

与构造和岩浆活动相比,华北克拉通侏罗纪造山作用过程的研究工作在沉积方面显得相对薄弱。具体表现在以下4个方面:1)沉积演化序列的变化与区域构造应力场之间的内在关系;2)沉积旋回与岩浆旋回之间的内在关系;3)晚侏罗世分布局限的磨拉石沉积或火山岩沉积与下伏地层之间的过渡关

系,是突变还是正常的沉积演化;4)上侏罗统的大面积缺失是没有接受沉积还是沉积后由于地层剥蚀造成的。这一系列问题的解答可以较好地恢复华北克拉通侏罗纪的构造演化过程,厘定构造变迁的关键时限。本次研究工作主要立足于沉积盆地,依靠盆地内沉积序列的纵向变化来响应物源区的构造变迁过程。同时,利用地层中的凝灰质夹层和火山岩的年龄,结合沉积速率,厘定构造变迁的关键时限,划分构造演化阶段。

1 地层特征

研究区选择了位于华北克拉通中北部的宁武—静乐盆地和与之相邻的浑源盆地(图1)。按照1:25万岢岚县幅和应县幅区域地质填图成果:宁武—静乐盆地中、下侏罗统序列齐全,缺失上侏罗统髫髻山组($J_3.tj$)和土城子组($J_3.tc$)火山岩序列(图2);浑源盆地基本缺失了中、下侏罗统,仅保留了上侏罗统髫髻山组和土城子组火山岩序列,上侏罗统髫髻山组与下伏的二叠系山西组含煤地层角度不整合接触(图3)。宁武—静乐盆地与浑源盆地相结合,在纵向上组成了侏罗纪完整的沉积序列,物源指向于阴山—燕山造山带中段,为从沉积角度探讨华北克拉



1. 宁武—静乐盆地; 2. 浑源盆地; 3. 云岗盆地; 4. 燕—辽盆地; 5. 石拐子盆地; 6. 卓资盆地; 7. 鄂尔多斯盆地; 8. 义马盆地; 9. 合肥盆地; 10. 鲁西地区。

图 1 华北克拉通侏罗纪盆地分布图
Fig. 1 Jurassic basin of North China craton

通北缘的侏罗纪造山过程奠定了物质基础(图 4)。

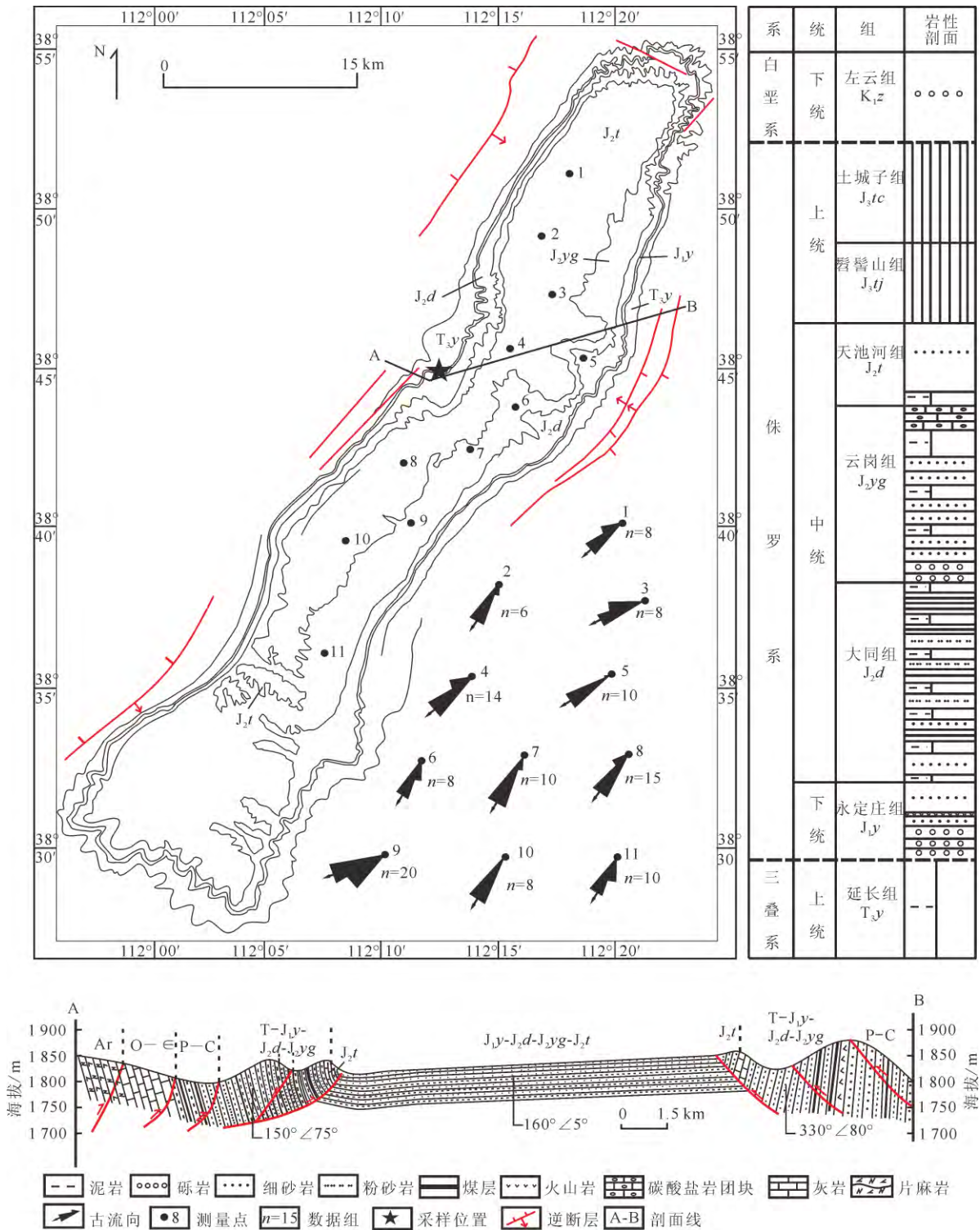
下侏罗统永定庄组(J_{1y})是指大同煤田大同组之下一套不含煤的杂色河流相碎屑岩地层。岩性序列分为上下两部分:下部以灰白色含砾、砂砾岩为主,夹少量粉砂岩,上部以紫、黄、灰、绿等杂色粉砂岩、粉砂质泥岩为主,夹砂岩、砂砾岩。该套地层底部以一层砾岩、砂砾岩或含砾砂岩为界,与下伏延长组呈平行不整合接触,砾石成分主要由石英组成,砾石磨圆中等,砾径 5~20 cm,泥质胶结,砾石底面不平,局部充填于下伏岩层的剥蚀凹坑内。中下部具有 1~3 层厚度不一的凝灰质砂岩,岩石呈黑色,凝灰结构,层状构造,碎屑体积分数为 50%~80%,成分主要为石英(80%),其次为长石、岩屑(20%),岩屑成分多为中基性的安山岩类,在区域上火山碎屑岩仅发育在盆地的东北部^[40]。该组地层横向厚度变化较大,一般为 70~90 m。

中侏罗统大同组(J_2d)主要为一套湖沼相含煤岩系,底部以灰白色石英砂岩、石英杂砂岩与下伏永

定庄组整合接触。该组下部地层粒度较粗,砂岩较发育;上部则以泥岩、粉砂质泥岩为主夹砂岩、煤层,地层厚度 200~500 m。

中侏罗统云岗组(J_{2yg})是以灰白色砂泥岩为主的河流相沉积,底部为一套灰白色砾岩、砂砾岩,含页岩碎块及煤屑,与下伏大同组呈整合接触,砾石成分主要为石英。顶部稳定发育一套凝灰质的泥晶碳酸盐岩团块,全区可以追踪对比,是一套明显的区域标志层,为中侏罗统云岗组和天池河组(J_{2t})的分界线。中侏罗统天池河组为氧化条件下的红色河流相沉积,以紫红色、灰红色的中、细粒岩屑砂岩为主,夹少量紫红色砂质泥岩,砂岩普遍发育斜层理、大型交错层理,盆地内保留厚度不一致,一般为 100~200 m。

上侏罗统髫髻山组为一套以基性—中基性火山喷出岩为主,夹有角砾凝灰岩、凝灰质砂砾岩等火山碎屑岩的火山—沉积地层。底部均发育一套 15~30 m 的灰—灰紫色砂质砾岩。其中,砾石成分较为均

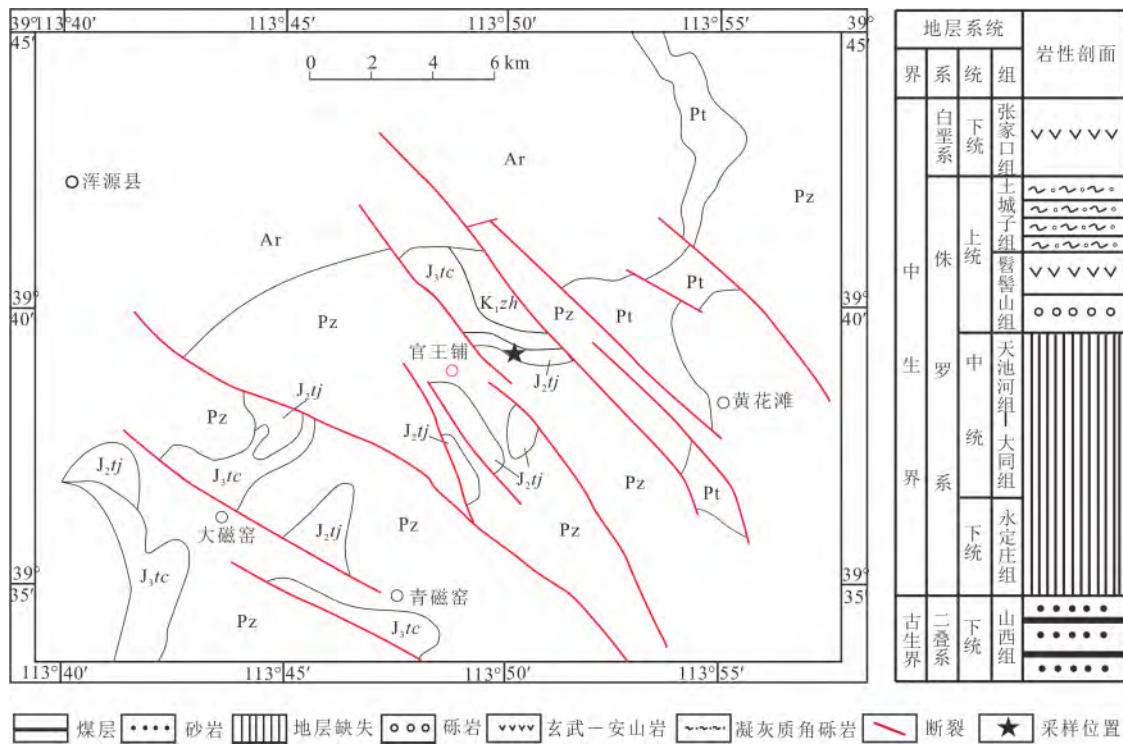


Ar. 太古宇; O—Є. 奥陶系—寒武系; P—C. 二叠系—石炭系; T. 三叠系。

图 2 宁武—静乐盆地区域地质图

Fig. 2 Regional geological map of Ningwu-Jingle basin

一, 以灰岩为主, 其次为燧石、泥岩、砂岩及火山岩等组成。该砾岩段发育不稳定, 且成分、结构成熟度均较低, 具有快速堆积特征。上部为玄武岩、杏仁状安山玄武岩、玄武-安山质集块岩及安山玄武质集块凝



Ar. 太古宇;Pt. 元古宇;Pz. 古生界;K₁zh. 下白垩统张家口组。

图 3 浑源盆地地质图

Fig. 3 The regional geological map of Hunyuan basin

灰(角砾)岩等,厚度为 35~50 m。其下伏由南向北层位由二叠系山西组至石盒子组,具有古地势抬高的趋势,呈角度不整合接触。

上侏罗统土城子组为一套酸性火山碎屑岩夹火山熔岩、以含膨润土层为特征、底部具冲积砾岩的沉积-火山岩系,与下伏髫髻山组平行不整合接触。该组下部一般稳定发育粗碎屑岩层,岩性为紫红色凝灰质砾岩、砂砾岩,局部为灰-灰绿色中细粒凝灰质长石砂岩,横向上厚度极不稳定,一般厚为 0.1~0.4 m。上部岩性以流纹质凝灰岩、流纹质凝灰角砾(熔)岩、流纹质晶屑-玻屑凝灰岩等为主,总体具有由北向南减薄、尖灭的趋势。该组与上覆的下白垩统张家口组玄武岩最明显的界限是具有一套灰白色的膨润土层,横向上分布比较稳定,可以作为区域对比的标志层。

在整个侏罗纪沉积演化序列中,中侏罗统云岗组占据着十分重要的地位。其主要表现在两个方面:1)自下侏罗统永定庄组(J₁y)至中侏罗统天池河组,整个侏罗纪沉积序列经历了从湖进至湖退的完整旋回,转换的关键点位于中侏罗统云岗组底部砾

岩附近;2)整个侏罗纪的地层颜色可以明显地划分为上、下两部分,上部以紫红色色调为主,下部以灰绿色色调为主,而这一颜色突变点正好以中侏罗统云岗组顶部的凝灰质泥晶碳酸盐岩团块为界。因此,如何确定中侏罗统云岗组的底界和顶界年龄,对于厘定沉积序列转换的关键时限尤为重要。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集

测年样品分别采集于宁武-静乐盆地和浑源盆地(图 2,图 3)。

宁武-静乐盆地的样品采集于陈家半沟剖面中侏罗统云岗组顶部,野外表现为一套成排分布的碳酸盐岩团块,镜下详细鉴定定名为凝灰质泥晶碳酸盐岩(图 4,图 5A、B)。岩石主要由泥晶方解石、凝灰物、陆源砂级碎屑组成。泥晶方解石为他形粒状,大小一般为 0.001~0.005 mm,部分为 0.005~0.01 mm,镶嵌状分布,为岩石主体部分。凝灰物为晶屑、玻屑。晶屑为长石(斜长石、钾长石)、石英,大小一般为 0.01~0.1 mm,部分为 0.1~0.2 mm,棱

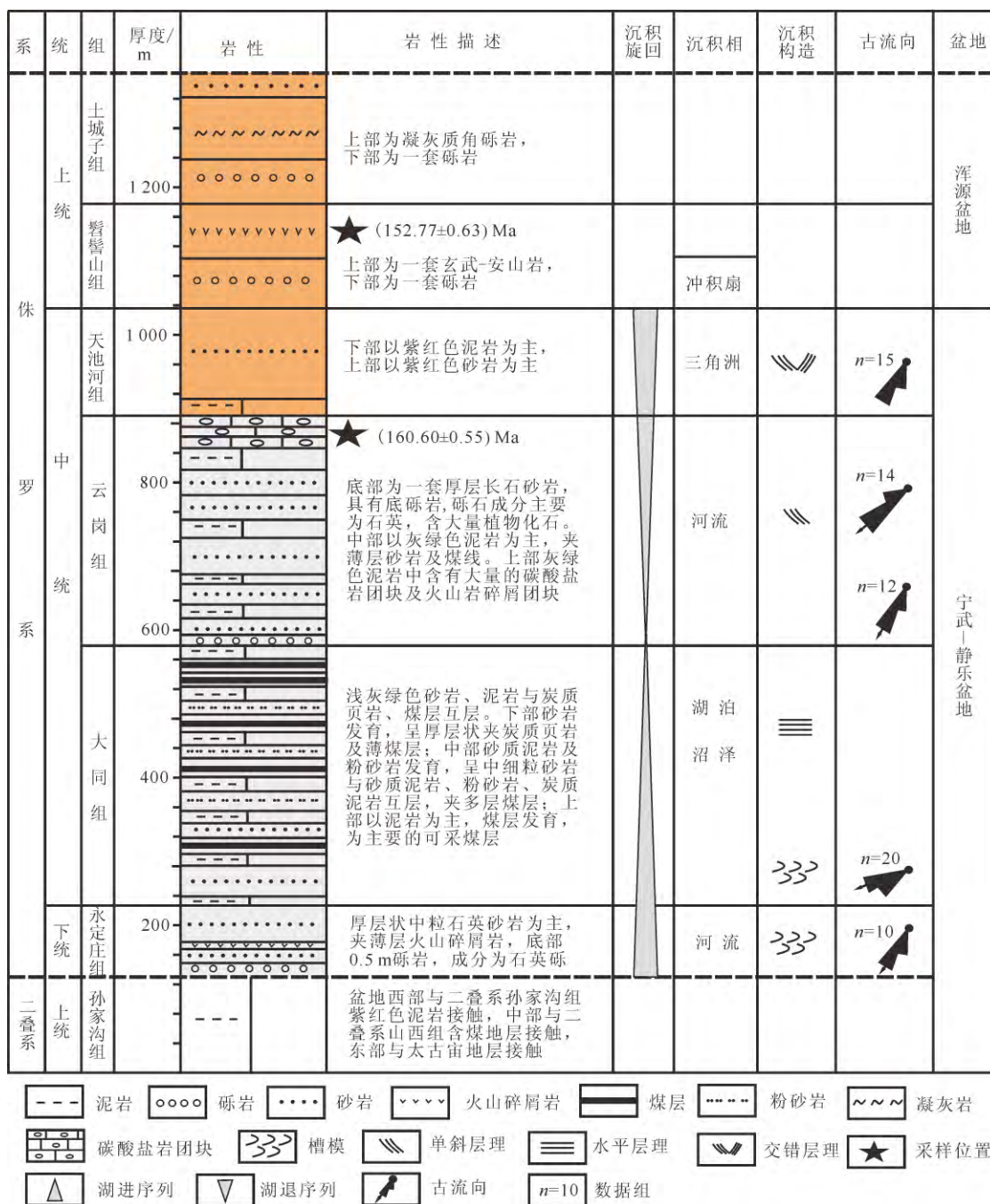


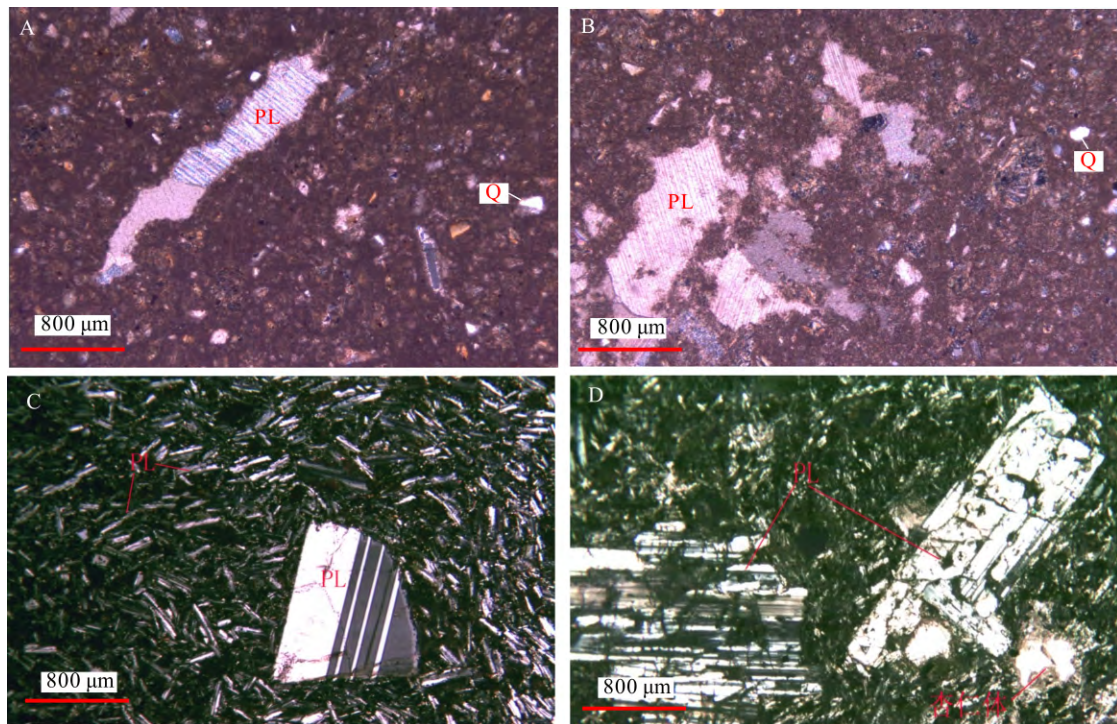
图 4 宁武—静乐—浑源盆地地层综合柱状图

Fig. 4 The stratigraphic integrated histogram of Ningwu-Jingle-Hunyuanyuan basin

角状,星散状分布。玻屑弧面棱角状,星散状分布,被方解石交代,呈假象产出。陆源砂级碎屑主要为岩屑,为硅质岩、黏土岩,次棱状一次圆状,大小一般为0.05~0.15 mm,星散状分布。

浑源盆地的样品采集于官王铺剖面上侏罗统髻髻山组(图4)。上侏罗统髻髻山组的样品采集于玄武-安山岩的底部,岩石主要由斑晶、基质组成(图

5C、D)。斑晶为斜长石,斜长石为半自形板状,大小一般为0.5~2 mm,部分为2~3 mm,少部分为3~5 mm,星散状、定向分布,局部被方解石交代。基质为斜长石、辉石,斜长石为半自形板状,大小一般为0.1~0.2 mm,部分为0.2~0.5 mm,定向一半定向分布,构成交织结构,局部被方解石交代。辉石呈半自形粒状,大小一般为0.01~0.05 mm,部分为



A, B. 中侏罗统云岗组顶部凝灰质泥晶碳酸盐岩镜下照片(正交偏光); C, D. 上侏罗统髫髻山组玄武-安山岩镜下照片(正交偏光)。Q. 石英; PL. 斜长石。

图5 实验样品的岩石结构及矿物组成特征

Fig. 5 Main mineral compositions and textures of test samples

0.05~0.1 mm, 少部分为0.1~0.2 mm, 被绿泥石交代, 部分呈假象产出。杏仁体为椭圆形、透镜状、长条状, 大小一般为0.5~2 mm, 部分为2~3 mm, 少部分为3~10 mm, 定向分布, 成分为绿泥石、方解石, 约占5%。

2.2 实验方法

碎样和锆石挑选工作在河北省区域地质矿产调查研究所完成, 锆石样品制靶工作由中国地质科学院矿产资源所电子探针室完成。室内先将岩石样品粉碎至120目以下, 用常规的人工淘洗和电磁选方法富集锆石, 再在双目显微镜下手工逐个精选锆石颗粒。锆石阴极发光图像在中国地质科学院地质研究所的HITACHI S3000-N型扫描电子显微镜并配有GATAN公司Chroma阴极发光探头分析仪器上完成。LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所MC-ICP-MS实验室完成。锆石定年所用仪器为Finnigan Neptune型MC-ICP-MS及配套的Newwave UP213激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为25 μm, 频率为10 Hz, 能量密度约为 $2.5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 以He为载气。

LA-MC-ICP-MS激光剥蚀采用单点剥蚀的方式, 数据分析前用锆石GJ-1进行调试仪器, 使之达到最优状态, 锆石U-Pb定年以锆石GJ-1为外标, U、Th含量以锆石M127为外标进行校正^[41]。数据处理采用ICPMSDataCal程序, 锆石年龄谐和图由Isoplot3.0程序完成。样品分析过程中, Plesovice标样作为未知样品的分析结果为337 Ma, 对应的年龄推荐值为 $(337.13 \pm 0.37) \text{ Ma} (2\sigma)$, 两者在误差范围内完全一致^[42]。

2.3 实验结果

对于中侏罗统云岗组顶部凝灰质泥晶碳酸盐岩样品, 考虑到样品中含有陆源碎屑成分, 为了获得较好的测试效果, 本次共随机测试样品点120个。对于碎屑锆石年龄 $>1000 \text{ Ma}$ 的数据, 采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄, 而对于碎屑锆石年龄 $<1000 \text{ Ma}$ 的数据, 采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄^[43]。以谐和度 $>90\%$ 为标准遴选U-Pb年龄数据, 共得到有效数据96个(表1)。U-Pb年龄值为159.58~2594.14 Ma, 有效年龄峰值集中分布于160、230、280、360、440、470、1260、1760、2280、2480 Ma(图6)。其中, 160 Ma

表 1 宁武—静乐盆地中侏罗统云岗组顶部凝灰质泥晶碳酸盐岩锆石 U - Pb 年龄
Table 1 U - Pb isotope dating results for the tuffaceous micritic limestone zircons from the Yungang Formation in the Ningwu - Jingle basin

点号	Th		Th/U	207Pb/206Pb		207Pb/235U		206Pb/238U		207Pb/206Pb		207Pb/235U		206Pb/238U	
	wB/10 ⁻⁶	U		1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ
1	81.137 6	57.444 0	1.412 5	0.050 6	0.176 7	0.014 5	0.025 4	0.000 6	233.40	10.185	165.258 7	12.506 3	161.670 9	3.718 4	
2	51.956 0	74.049 4	0.701 6	0.053 4	0.335 6	0.004 5	0.045 6	0.000 2	346.35	29.627 5	293.841 1	3.383 1	287.673 0	1.368 3	
3	287.691 1	62.681 0	4.589 8	0.055 7	0.292 9	0.006 9	0.038 1	0.000 4	442.64	46.292 5	260.816 4	5.436 2	241.069 0	2.302 8	
4	84.012 2	79.674 3	1.054 4	0.052 1	0.000 4	0.325 2	0.002 9	0.000 2	287.10	12.035	285.866 3	2.224 9	285.751 7	1.363 5	
5	78.648 5	116.571 1	0.674 7	0.056 6	0.559 6	0.003 4	0.071 7	0.000 2	475.97	17.590	451.271 9	2.240 5	446.093 7	1.455 4	
6	115.536 3	95.023 1	1.215 9	0.052 3	0.000 4	0.324 3	0.002 7	0.045 0	298.21	16.665	285.236 1	2.033 9	283.495 9	1.061 3	
7	438.653 7	268.743 9	1.632 2	0.113 5	0.000 4	4.647 3	0.020 9	0.296 8	1 857.41	7.255	1 757.804 1	3.762 3	1 675.336 2	4.646 8	
8	195.850 4	305.448 5	0.641 2	0.052 0	0.000 3	0.302 5	0.001 7	0.042 2	283.395	11.110	268.364 1	1.319 0	266.624 6	0.848 5	
9	105.434 0	115.298 3	0.914 4	0.054 1	0.000 4	0.358 7	0.002 9	0.048 1	375.98	13.887 5	311.248 9	2.164 5	302.653 3	1.014 6	
10	74.074 5	53.220 3	1.391 8	0.052 4	0.000 6	0.326 3	0.003 8	0.045 2	301.91	25.922 5	286.750 6	2.934 2	285.091 7	1.201 4	
11	470.177 3	353.769 5	1.329 1	0.049 3	0.000 3	0.171 3	0.001 1	0.025 2	161.195	14.815	160.579 2	0.978 8	160.474 6	0.507 2	
12	69.797 1	34.699 3	2.011 5	0.112 5	0.000 4	4.878 4	0.025 8	0.314 6	1 839.20	11.265	1 798.535 3	4.463 3	1 763.426 8	6.596 0	
13	42.156 1	30.690 7	1.373 6	0.111 9	0.000 4	4.834 1	0.027 1	0.313 3	1 831.485	2.777 5	1 790.851 8	4.715 6	1 757.012 2	6.882 0	
14	433.010 3	145.708 7	2.971 8	0.054 2	0.001 1	0.356 1	0.007 4	0.047 7	388.94	50.920	309.303 6	5.541 6	300.087 3	0.949 6	
15	245.763 6	153.893 5	1.597 0	0.052 2	0.000 3	0.319 3	0.002 0	0.044 4	294.505	14.815	281.383 7	1.542 7	279.831 1	0.940 3	
16	279.683 0	122.192 2	2.288 9	0.052 8	0.000 3	0.349 7	0.002 3	0.048 1	320.43	19.442 5	304.514 6	1.754 8	302.784 3	1.333 1	
17	125.300 5	55.439 7	2.260 1	0.052 1	0.000 7	0.269 2	0.003 5	0.037 6	287.10	31.480	242.091 4	2.830 6	237.837 4	1.025 9	
18	773.064 8	448.003 1	1.725 6	0.052 7	0.000 2	0.346 4	0.001 7	0.047 7	322.28	9.257 5	302.000 5	1.302 9	300.436 6	0.990 2	
19	25.315 0	17.129 5	1.477 9	0.054 2	0.002 7	0.187 9	0.008 8	0.025 3	388.94	117.580	174.798 4	7.527 9	161.103 2	2.848 0	
20	168.471 0	77.156 5	2.183 5	0.050 4	0.000 7	0.174 3	0.002 3	0.025 1	213.035	36.102 5	163.144 0	1.967 9	159.889 3	0.805 1	

表 1(续)

点号	$^{238}\text{U}/10^{-6}$		同位素比值				同位素年龄/Ma								
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ					
				1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ						
21	831.978 9	343.028 9	2.425 4	0.052 9	0.000 2	0.348 7	0.001 7	0.047 8	0.000 2	324.130	13.887 5	303.720 9	1.310 0	300.982 4	1.116 2
22	106.770 8	71.896 1	1.485 1	0.054 3	0.000 5	0.303 5	0.002 9	0.040 5	0.000 2	383.385	20.367 5	269.125 0	2.289 1	256.072 8	1.052 1
23	1436.406 9	822.771 1	1.745 8	0.056 5	0.000 2	0.396 9	0.002 3	0.050 9	0.000 2	472.265	9.257 5	339.392 6	1.646 6	320.282 4	1.114 4
24	553.121 9	144.484 5	3.828 2	0.054 0	0.000 5	0.284 3	0.003 2	0.038 2	0.000 2	368.570	22.220	254.032 7	2.554 2	241.416 2	0.958 2
25	285.869 5	273.040 9	1.047 0	0.052 3	0.000 2	0.286 7	0.001 6	0.039 8	0.000 2	298.21	11.110	255.956 2	1.254 0	251.461 9	1.054 4
26	305.400 9	105.225 0	2.902 4	0.055 5	0.000 3	0.438 8	0.003 2	0.057 4	0.000 2	431.530	19.442 5	369.434 8	2.246 1	359.497 0	1.380 5
27	30.351 7	13.288 2	2.284 1	0.171 8	0.000 7	11.088 2	0.096 2	0.468 0	0.003 7	2575.620	6.792 5	2530.567 6	8.084 9	2474.946	16.229 1
28	282.253 7	225.436 1	1.252 0	0.050 8	0.002 0	0.177 1	0.008 0	0.025 3	0.000 3	231.550	60.177 5	165.557 5	6.861 9	160.965 9	2.071 4
29	546.504 5	367.209 0	1.488 3	0.057 9	0.000 2	0.568 2	0.004 0	0.071 2	0.000 5	524.110	7.407 5	456.818 9	2.569 4	443.525 1	2.781 4
30	439.071 4	172.301 5	2.548 3	0.054 5	0.000 4	0.364 4	0.003 5	0.048 5	0.000 3	390.790	14.812 5	315.529 4	2.634 1	305.416 0	1.896 5
31	63.044 3	47.870 6	1.317 0	0.051 7	0.003 5	0.180 2	0.009 7	0.025 6	0.000 7	272.285	155.535	168.201 3	8.329 7	162.715 1	4.473 5
32	16.282 5	11.207 3	1.452 9	0.052 2	0.001 6	0.288 9	0.009 1	0.040 6	0.000 6	300.060	70.362 5	257.726 3	7.143 4	256.821 1	3.801 6
33	17.140 2	71.695 2	0.239 1	0.053 5	0.000 5	0.332 3	0.004 8	0.045 0	0.000 5	350.055	22.220	291.355 2	3.666 6	283.938 1	2.948 3
34	257.890 0	203.361 4	1.268 1	0.050 0	0.001 6	0.173 5	0.007 3	0.025 2	0.000 8	194.525	108.317 5	162.424 1	6.302 0	160.698 8	5.315 2
35	1806.915 0	996.409 9	1.813 4	0.052 5	0.000 2	0.304 3	0.002 8	0.042 0	0.000 4	309.320	10.185	269.789 9	2.211 3	265.350 3	2.240 5
36	41.522 5	31.616 6	1.313 3	0.050 5	0.001 8	0.175 2	0.006 8	0.025 1	0.000 3	216.740	83.320	163.907 2	5.898 8	160.037 4	2.124 1
37	43.253 1	80.444 4	0.537 7	0.054 0	0.001 5	0.319 0	0.009 8	0.042 8	0.000 4	372.275	62.957 5	281.162 1	7.578 8	269.984 5	2.511 4
38	115.278 8	132.123 2	0.872 5	0.050 3	0.000 5	0.175 1	0.002 2	0.025 3	0.000 2	205.630	24.067 5	163.857 8	1.915 2	161.027 7	1.366 8
39	46.568 0	28.326 4	1.644 0	0.053 9	0.001 2	0.304 2	0.007 1	0.040 9	0.000 4	368.570	49.995	269.691 6	5.547 8	258.464 4	2.451 5
40	310.396 7	220.197 2	1.409 6	0.053 6	0.000 3	0.306 1	0.002 6	0.041 4	0.000 3	353.760	12.962 5	271.150 4	2.059 5	261.813 8	1.766 2
41	83.168 4	97.295 6	0.854 8	0.052 8	0.000 4	0.344 7	0.003 6	0.047 4	0.000 4	316.725	21.295	300.762 0	2.702 0	298.717 7	2.309 4

表 1(续)

点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				同位素年龄/Ma								
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
	42	110.577 3	81.639 2	1.354 5	0.056 0	0.001 1	0.441 0	0.008 3	0.057 3	0.000 5	450.045	44.440 0	370.929 9	5.873 4	358.907 3
43	486.766 0	458.018 5	1.062 8	0.053 4	0.000 4	0.354 4	0.004 5	0.048 1	0.000 4	346.35	18.517 5	308.017 8	3.352 4	302.854 1	2.278 3
44	83.616 2	108.084 6	0.773 6	0.054 2	0.001 2	0.331 8	0.008 0	0.044 4	0.000 4	375.98	52.772 5	290.956 2	6.089 7	280.149 2	2.257 3
45	107.497 5	53.941 0	1.992 9	0.051 9	0.000 7	0.258 5	0.004 2	0.036 1	0.000 3	279.69	26.850 0	233.432 0	3.374 9	228.806 6	2.023 7
46	57.164 3	41.975 9	1.361 8	0.053 7	0.003 8	0.187 2	0.015 6	0.025 3	0.001 0	366.72	165.720 0	174.208 1	13.382 8	160.948 5	6.337 2
47	40.767 5	48.318 2	0.843 7	0.050 5	0.000 9	0.325 6	0.005 6	0.047 0	0.000 4	216.74	42.582 5	288.166 8	4.267 8	296.086 6	2.691 6
48	148.480 0	109.619 6	1.354 5	0.051 1	0.001 4	0.176 7	0.008 0	0.025 1	0.001 0	255.62	58.322 5	165.186 1	6.918 3	159.758 2	6.595 8
49	90.126 3	129.742 3	0.694 7	0.162 6	0.000 5	9.224 5	0.104 0	0.411 4	0.004 7	2 488.02	4.167 5	2 360.547 9	10.330 6	2 221.490 2	21.279 6
50	39.726 1	60.831 0	0.653 1	0.052 3	0.000 7	0.260 3	0.003 6	0.036 2	0.000 3	298.21	2.777 5	234.887 2	2.877 1	229.101 0	1.816 1
51	37.385 5	25.228 7	1.481 9	0.115 3	0.000 6	4.963 7	0.041 0	0.312 3	0.002 3	1 887.04	9.255 0	1 813.155 5	6.987 1	1 751.902 4	11.132 7
52	89.379 5	71.871 2	1.243 6	0.051 5	0.000 5	0.281 9	0.003 7	0.039 7	0.000 3	264.88	24.072 5	252.184 0	2.914 9	250.867 3	1.810 4
53	484.159 0	269.576 5	1.796 0	0.050 4	0.000 6	0.175 4	0.002 1	0.025 2	0.000 1	213.035	25.917 5	164.076 9	1.824 6	160.719 8	0.471 1
54	188.631 9	259.884 1	0.725 8	0.056 6	0.000 3	0.594 8	0.003 7	0.076 2	0.000 3	475.97	11.110 0	473.930 3	2.366 2	473.160 1	1.749 2
55	436.782 5	180.545 8	2.419 2	0.051 9	0.000 4	0.316 3	0.002 3	0.044 2	0.000 2	283.395	16.665 0	279.031 8	1.786 6	278.859 5	1.250 3
56	285.233 0	263.955 1	1.080 6	0.052 1	0.000 3	0.307 6	0.002 1	0.042 9	0.000 2	287.10	12.960 0	272.322 9	1.617 4	270.496 0	1.110 3
57	586.900 1	175.637 4	3.341 5	0.051 3	0.000 4	0.254 4	0.002 0	0.036 0	0.000 2	253.77	47.217 5	230.148 6	1.638 7	227.801 8	0.943 8
58	569.913 8	596.245 2	0.955 8	0.051 4	0.000 2	0.266 8	0.001 5	0.037 7	0.000 1	257.47	38.885 0	240.152 1	1.198 1	238.461 8	0.898 9
59	244.624 3	254.685 6	0.960 6	0.052 6	0.000 3	0.337 5	0.002 4	0.046 5	0.000 2	322.28	12.960 0	295.302 5	1.810 7	293.191 2	1.195 4
60	364.056 8	356.951 9	1.019 9	0.118 9	0.000 3	5.134 0	0.023 7	0.313 1	0.001 3	1 939.205	4.322 5	1 841.743 2	3.921 5	1 756.153 6	6.453 8
61	315.654 4	238.381 7	1.324 2	0.052 4	0.000 3	0.309 3	0.003 2	0.042 9	0.000 4	301.91	17.590 0	273.620 0	2.477 0	270.585 6	2.419 7
62	90.240 0	86.164 6	1.047 3	0.051 9	0.001 5	0.182 5	0.013 3	0.025 4	0.001 1	279.69	66.657 5	170.235 3	11.414 4	161.943 3	7.044 2

表 1(续)

点号	$w_B/10^{-6}$		同位素比值				同位素年龄/Ma							
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ				
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ				
63	176.309 8	137.910 5	1.278 4	0.049 3	0.170 9	0.006 0	0.025 1	0.000 5	164.90	65.730 0	160.184 0	5.215 0	159.584 8	2.899 8
65	100.211 0	187.723 7	0.533 8	0.084 5	2.499 9	0.017 9	0.214 6	0.001 4	1 303.39	6.017 5	1 272.019 3	5.180 4	1 253.115 9	7.469 2
66	31.074 6	24.646 8	1.260 8	0.049 8	0.171 9	0.006 1	0.025 1	0.000 4	183.415	75.912 5	161.059 9	5.265 5	160.107 9	2.515 1
67	75.019 3	75.954 4	0.987 7	0.049 9	0.173 4	0.005 8	0.025 3	0.000 5	190.82	105.540 0	162.407 9	5.050 1	161.290 5	3.370 4
68	240.018 8	158.744 8	1.512 0	0.049 5	0.171 3	0.003 1	0.025 1	0.000 3	172.305	2.777 5	160.515 0	2.662 9	159.921 0	1.796 4
69	63.580 1	126.169 7	0.503 9	0.051 2	0.177 3	0.017 6	0.025 1	0.001 3	255.62	186.087 5	165.752 0	15.175 5	159.974 7	7.886 6
70	105.901 6	118.866 8	0.890 9	0.050 4	0.175 6	0.011 0	0.025 3	0.001 0	213.035	113.872 5	164.226 9	9.522 9	160.812 2	6.116 2
71	169.924 0	221.152 0	0.768 4	0.173 8	0.090 5	0.063 3	0.421 2	0.002 5	2 594.140 0	4.167 5	2 443.102 7	5.791 2	2 266.133 4	11.476 7
72	83.557 4	61.225 6	1.364 7	0.052 9	0.263 9	0.003 9	0.036 2	0.000 3	324.13	33.330 0	237.815 3	3.103 1	229.540 0	1.630 9
73	226.501 0	254.250 5	0.890 9	0.050 0	0.174 6	0.007 2	0.025 3	0.000 6	198.23	88.875 0	163.401 8	6.206 6	161.226 1	3.858 9
75	45.638 8	63.459 1	0.719 2	0.054 3	0.000 7	0.004 8	0.046 5	0.000 3	383.385	29.625 0	303.472 4	3.584 6	293.196 5	1.811 4
76	300.788 5	410.618 6	0.732 5	0.050 1	0.174 7	0.003 7	0.025 3	0.000 3	198.23	66.655 0	163.479 3	3.221 2	161.200 0	1.751 3
77	101.526 0	122.759 1	0.827 0	0.052 3	0.184 5	0.020 9	0.025 5	0.000 8	298.21	187.015 0	171.930 2	17.919 7	162.020 9	4.992 0
78	50.346 7	55.454 0	0.907 9	0.052 8	0.309 7	0.004 2	0.042 5	0.000 2	320.43	24.997 5	273.931 7	3.282 2	268.491 2	1.356 0
79	68.651 5	146.233 7	0.469 5	0.052 2	0.183 2	0.001 8	0.025 5	0.000 3	294.505	45.365 0	170.826 5	1.561 1	162.028 3	2.049 0
80	79.363 9	75.816 0	1.046 8	0.049 4	0.172 4	0.013 9	0.025 2	0.000 6	168.60	41.662 5	161.508 0	12.070 8	160.411 9	3.587 2
81	360.765 8	105.805 0	3.409 7	0.052 9	0.330 6	0.003 2	0.045 4	0.000 2	324.13	20.370 0	290.052 9	2.443 1	286.089 7	1.408 7
82	129.172 1	147.513 5	0.875 7	0.051 6	0.179 7	0.008 1	0.025 2	0.000 4	333.39	80.542 5	167.796 7	6.940 0	160.612 0	2.294 1
83	88.129 7	79.393 2	1.110 0	0.050 8	0.177 4	0.008 4	0.025 4	0.001 0	231.55	122.205 0	165.811 8	7.228 7	161.824 7	5.998 2
84	149.670 8	151.343 9	0.988 9	0.051 0	0.178 8	0.018 3	0.025 3	0.001 4	238.955	152.757 5	167.070 0	15.771 2	160.937 1	8.609 5
85	59.798 0	65.896 3	0.907 5	0.050 3	0.174 2	0.007 9	0.025 2	0.000 8	205.63	86.097 5	163.051 4	6.793 6	160.484 0	4.862 9

表 1(续)

点号	$w_{\text{Pb}}/10^{-6}$		同位素比值						同位素年龄/Ma						
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
				1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ				
86	112.970 8	102.602 8	1.101 1	0.051 3	0.000 4	0.312 4	0.004 5	0.044 3	0.000 6	253.77	18.517 5	276.076 3	3.515 9	279.131 2	3.595 5
87	132.044 1	130.832 7	1.009 3	0.053 7	0.000 4	0.274 6	0.003 9	0.037 2	0.000 5	366.72	18.517 5	246.388 5	3.145 7	235.301 3	3.002 4
88	284.264 6	191.944 7	1.481 0	0.052 0	0.002 6	0.182 0	0.010 0	0.025 4	0.001 0	287.10	112.947 5	169.752 7	8.602 8	161.921 1	6.132 2
89	9.753 9	25.882 3	0.376 9	0.055 5	0.001 2	0.414 1	0.009 2	0.054 2	0.000 4	431.53	45.365 0	351.800 5	6.586 3	340.291 1	2.681 5
90	31.178 9	32.138 4	0.970 1	0.056 3	0.000 7	0.438 8	0.007 7	0.056 5	0.000 7	464.86	29.627 5	369.398 3	5.459 3	354.607 0	4.360 7
91	52.269 1	50.897 7	1.026 9	0.053 2	0.000 8	0.311 5	0.006 0	0.042 5	0.000 5	344.50	33.330 0	275.376 8	4.621 8	268.220 1	2.796 9
92	59.923 7	82.296 9	0.728 1	0.053 6	0.000 9	0.300 0	0.006 0	0.040 5	0.000 2	353.76	34.255 0	266.434 6	4.650 8	256.196 8	1.298 8
93	10.303 6	53.558 3	0.192 4	0.053 0	0.000 6	0.327 0	0.003 9	0.044 8	0.000 2	327.835	32.405 0	287.237 9	2.953 5	282.733 3	1.268 0
94	264.113 7	412.228 2	0.640 7	0.052 5	0.000 2	0.311 5	0.001 5	0.043 0	0.000 1	309.32	9.257 5	275.329 8	1.166 9	271.390 9	0.828 6
95	55.896 8	63.983 5	0.873 6	0.048 7	0.001 3	0.182 0	0.011 9	0.025 6	0.000 7	200.075	61.105 0	169.779 9	10.213 8	162.879 6	4.465 7
96	77.315 4	51.321 3	1.506 5	0.051 7	0.002 7	0.179 0	0.009 5	0.025 2	0.000 5	272.285	118.502 5	167.194 1	8.219 4	160.175 2	3.045 2
97	93.243 4	112.046 2	0.832 2	0.050 7	0.002 3	0.178 8	0.007 9	0.025 7	0.000 6	233.40	102.762 5	167.029 2	6.764 8	163.334 2	3.598 2
98	488.558 2	273.297 6	1.787 6	0.050 4	0.002 4	0.175 8	0.010 9	0.025 3	0.000 5	213.035	112.947 5	164.448 3	9.380 7	160.837 2	3.346 9

的数据共有 33 个,谐和年龄为 (160.60 ± 0.55) Ma (图 6)。该组锆石长度为 $40 \sim 120 \mu\text{m}$,长宽比一般为 $4:1$,CL 图像强弱不等,部分呈黑色,可能反映了不同锆石颗粒之间 Th、U 质量分数的差异(图 7)。锆石 Th/U 值为 $0.47 \sim 2.18$,具有明显的震荡环带,为岩浆成因^[44-45]。上侏罗统髫髻山组玄武安山岩样品,共测试有效样品点 24 个(表 2)。锆石年龄段主要集中于 $150.67 \sim 153.53$ Ma,谐和年龄为 (152.77 ± 0.63) Ma,代表了该套火山岩的喷发年龄(图 8)。

3 问题与讨论

3.1 天池河组地层时代

天池河组是山西省区域地层表编写组于 1979 年创立的,命名地为流经宁武县迭台寺的天池河一带,在地层时代上划归为中侏罗统的上部,相当于鄂尔多斯盆地的安定组。本次测得的云岗组顶部凝灰质碳酸盐岩的年龄为 (160.60 ± 0.55) Ma,即为天池河组的底界年龄,参照国际地层表推荐的中/上侏罗统界限为 161.0 Ma^[46],天池河组在地层时代上应归属于上侏罗统。

在华北克拉通内部,宁武—静乐盆地的天池河组与鄂尔多斯盆地的安定组同为一套红色碎屑岩地层,沉积厚度一般为 100 m 左右。同时,鄂尔多斯盆地安定组其下的直罗组顶部也存在一套泥灰质碳酸盐岩沉积,可以与宁武—静乐盆地云岗组顶部的碳酸盐岩团块具有较好的对比性,证明了区域上沉积环境的一致性。这一沉积特征甚至可以影响到中

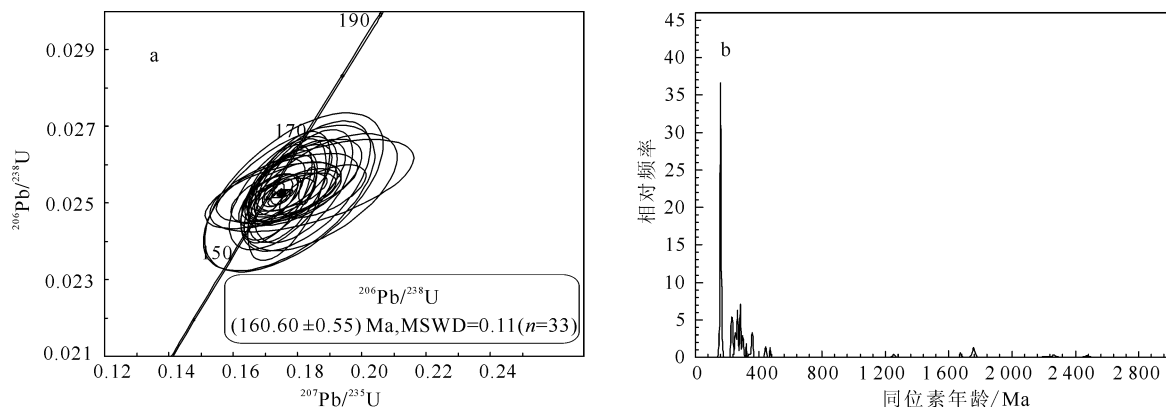
国的绝大部分地区,区域上具有较好的对比性。在准噶尔盆地,侏罗系上统的齐古组、喀拉扎组同为一套红色碎屑岩地层,与其下的中侏罗统灰绿色地层之间存在明显的界限^[47]。在四川盆地,上侏罗统遂宁组为一套红色碎屑岩地层,与其下的中侏罗统灰绿色地层之间也存在明显的突变关系(表 3)^[48]。因此,在华北克拉通以至中国的绝大多数地区,在中侏罗世晚期,都存在气候环境的剧变,孕育着区域上构造动力学背景的突变。

天池河组具体的沉积时间段可以通过沉积速率进行推测,在宁武—静乐盆地陈家半沟剖面,中侏罗统大同组沉积厚度为 427.8 m,云岗组沉积厚度为 370.5 m。根据国际地层表推荐年龄中侏罗统的底部年龄为 176.0 Ma,本次测得的云岗组顶部年龄为 (160.60 ± 0.55) Ma,按照同一沉积速率进行推测,中侏罗统的沉积速率大约为 53.0 m/Ma。研究区天池河组的沉积厚度一般为 100 m 左右,因此天池河组沉积时间段为 $161.0 \sim 159.0$ Ma,为晚侏罗世早期快速沉积的产物。

3.2 构造—沉积演化

根据宁武—静乐盆地侏罗纪的沉积充填过程,结合晚侏罗世华北克拉通区域沉积特征,反演阴山—燕山造山带中段的侏罗纪造山过程,可以明显地划分为起始、发展、高峰及造山期后调整 4 个阶段:

起始阶段 中侏罗统云岗组底部砾岩沉积时期,整个侏罗纪沉积序列由早期的湖进向晚期的湖退转换(河流相→湖沼相→河流相),代表了区域构



a. 谐和数据点; b. 相关数据点。

图 6 中侏罗统云岗组顶部凝灰质泥晶碳酸盐岩锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 6 Concordia plots of U-Pb zircon dating results for the tuffaceous micritic limestone sample of Yungang Formation



图 7 中侏罗统云岗组凝灰质泥晶碳酸盐岩典型岩浆锆石阴极发光图像

Fig. 7 Representative cathodoluminescence (CL) images of zircon grains from the tuffaceous micritic limestone of the Yungang Formation in Ningwu-Jingle basin

造应力场由早期的拉张向晚期的挤压转换,孕育着侏罗纪造山运动的开始。其具体时限可以根据中侏罗统的沉积速率进行推测,大致为 168 Ma 左右。在华北克拉通内部,该套砾岩可以依靠其下的中侏罗统含煤地层进行全区对比,反映了这一区域性构造事件在时间效应上的一致性。这一阶段构造运动相对比较平静,可以一直持续到中侏罗统云岗组沉积末期。

发展阶段 中侏罗统云岗组顶部凝灰质碳酸盐岩沉积之后,即上侏罗统天池河组沉积阶段,161.0~159.0 Ma 期间,侏罗纪造山运动进入了快速发展

阶段。该阶段继承了中侏罗统云岗组的沉积特征,区域上以河流相沉积为主(图 9)。但湖盆地形快速抬升,氧化性迅速增强,地层颜色由早期的灰绿色突变为紫红色,岩性由早期的以长石砂岩为主转变为以岩屑砂岩为主,代表区域上进入了快速隆升剥蚀阶段。在这一阶段,气候环境也随之发生了突变,天池河组砂岩中大量风成交错层的出现,证明了气候环境由早期的温暖湿润,迅速突变为寒冷干燥。

高峰阶段 随后,随着盆地周缘造山作用的进一步加强,华北克拉通中东部地区快速隆升,沉积范围迅速退至周缘造山带前缘,发育以砾岩为主的冲

表 2 浑源盆地上侏罗统暨誓山组安山岩锆石 U - Pb 年龄
Table 2 U - Pb isotope dating results for the andesite zircons from the Tiaoishan Formation in the Hunyuan basin

点号	Th		U		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		同位素比值		同位素年龄/Ma				
	$w_B/10^{-6}$		$w_B/10^{-6}$				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
1	430.667 8	278.919 1	1.544 1	1.112 6	0.000 3	4.522 2	0.022 4	0.291 0	0.001 1	1 842.290	4.475 0	1 735.06	4.115 0	1 646.758 6	5.636 1
2	25.432 6	17.988 1	1.413 9	0.051 0	0.001 3	0.171 2	0.004 4	0.024 4	0.000 2	242.660	57.397 5	160.45	3.823 3	155.529 4	1.262 7
3	57.922 4	42.832 7	1.352 3	0.051 2	0.001 0	0.171 5	0.003 6	0.024 3	0.000 2	250.065	42.587 5	160.71	3.136 8	154.625 5	1.411 3
4	150.310 0	110.649 0	1.358 4	0.051 7	0.001 2	0.169 3	0.004 0	0.023 8	0.000 3	275.990	51.845 0	158.81	3.484 8	151.563 3	1.606 0
5	468.827 8	258.330 1	1.814 8	0.053 3	0.000 9	0.177 8	0.003 3	0.024 2	0.000 2	342.650	40.737 5	166.15	2.824 1	153.967 1	1.168 1
6	241.740 3	248.892 2	0.971 3	0.052 4	0.000 4	0.340 0	0.002 9	0.047 1	0.000 2	301.910	18.517 5	297.19	2.223 8	296.570 3	1.229 2
7	94.434 8	85.351 2	1.106 4	0.052 2	0.002 9	0.173 0	0.011 5	0.023 8	0.000 2	294.505	125.907 5	162.05	9.920 0	151.869 0	1.516 0
8	201.423 6	158.072 8	1.274 2	0.050 5	0.000 5	0.170 7	0.002 1	0.024 5	0.000 2	216.740	24.067 5	160.02	1.850 0	156.279 6	1.125 6
9	55.247 3	86.404 5	0.639 4	0.053 4	0.001 1	0.179 4	0.003 8	0.024 4	0.000 2	346.350	48.142 5	167.55	3.290 0	155.186 6	0.981 1
10	165.654 7	226.903 5	0.730 1	0.175 2	0.000 5	10.107 3	0.060 0	0.418 6	0.002 4	2 609.260	4.630 0	2 444.63	5.480 0	2 254.115 3	10.917 7
11	190.859 4	225.289 2	0.847 2	0.050 8	0.000 5	0.166 6	0.001 8	0.023 8	0.000 1	235.250	20.367 5	156.49	1.540 0	151.488 0	0.884 1
12	108.553 6	140.308 3	0.773 7	0.049 4	0.000 5	0.164 1	0.002 1	0.024 1	0.000 1	168.600	25.922 5	154.24	1.802 2	153.313 1	0.871 2
13	67.262 1	144.690 1	0.464 9	0.054 0	0.000 8	0.185 4	0.003 0	0.024 9	0.000 2	372.275	63.882 5	172.69	2.564 9	158.533 9	1.077 0
14	77.583 8	78.922 2	0.983 0	0.054 2	0.001 0	0.183 6	0.003 7	0.024 6	0.000 2	375.980	36.107 5	171.11	3.165 6	156.536 8	1.227 6
15	198.929 7	71.941 0	2.765 2	0.054 9	0.001 3	0.354 4	0.010 1	0.046 8	0.000 7	409.310	47.217 5	308.05	7.579 2	294.682 3	4.433 5
16	127.337 1	156.559 3	0.813 3	0.049 7	0.000 4	0.165 8	0.001 7	0.024 2	0.000 1	183.415	24.995 0	155.79	1.524 4	154.053 2	0.941 5
17	93.270 8	97.684 1	0.954 8	0.051 5	0.000 6	0.167 7	0.002 4	0.023 6	0.000 2	264.880	32.405 0	157.43	2.095 5	150.678 9	1.360 4
18	144.310 5	155.547 6	0.927 8	0.050 5	0.000 4	0.167 6	0.002 0	0.024 1	0.000 2	220.440	20.362 5	157.32	1.722 8	153.265 0	1.265 8
19	55.734 0	62.044 1	0.898 3	0.049 3	0.001 4	0.161 8	0.005 5	0.023 8	0.000 4	161.195	63.877 5	152.31	4.797 1	151.548 6	2.690 4
20	271.939 7	183.438 9	1.482 5	0.050 0	0.000 4	0.163 7	0.002 4	0.023 8	0.000 3	194.525	18.512 5	153.95	2.061 9	151.362 1	1.772 6
21	6.830 1	39.977 7	0.170 8	0.055 0	0.002 3	0.357 3	0.016 1	0.047 1	0.000 6	413.010	94.435 0	310.19	12.081 0	296.446 5	3.573 3
22	103.778	126.077 6	0.823 1	0.051 5	0.000 5	0.171 3	0.002 1	0.024 1	0.000 2	264.880	22.220 0	160.54	1.841 8	153.672 6	1.217 9
23	526.992 4	291.049 8	1.810 7	0.050 7	0.000 4	0.168 4	0.001 8	0.024 1	0.000 2	227.845	14.812 5	158.06	1.531 7	153.375 8	1.145 8
24	64.129 1	83.550 6	0.767 5	0.050 7	0.000 6	0.165 6	0.002 3	0.023 7	0.000 2	227.845	29.620 0	155.62	1.965 5	151.286 6	1.155 4

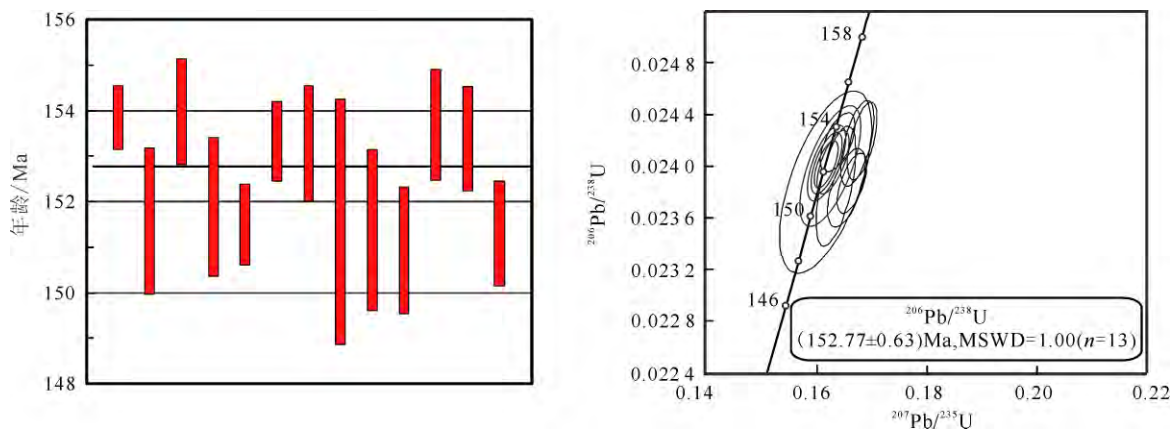


图 8 浑源盆地上侏罗统髫髻山组玄武-安山岩锆石 U-Pb 年龄

Fig. 8 Concordia plots of U-Pb zircon dating results for basalt-andesite of Tiaojishan Formation

表 3 侏罗纪地层划分对比表

Table 3 Comparison of the Jurassic strata

系	统	宁武—静乐—浑源盆地	鄂尔多斯盆地	准噶尔盆地	四川盆地	合肥盆地	石拐子盆地	燕山地区
侏罗系	上统	土城子组						土城子组
		髫髻山组	芬芳河组				大青山组	髫髻山组
		天池河组	安定组	喀拉扎组	遂宁组			
	中统	云岗组	直罗组	齐古组	沙溪庙组	圆筒山组	长汉沟组	下花园组
		大同组	延安组	头屯河组			召沟组	
	下统	永定庄组	富县组	三工河组	自流井组	防虎山组	武当沟组	南大岭组
				八道湾组				

积扇沉积(图 10)。此时,盆地大部分地区缺失沉积,沉积范围仅限于鄂尔多斯盆地西缘的芬芳河组、大青山石拐子盆地的大青山组、燕—辽地区普遍分布的髫髻山组底部的砾岩,以及大别造山带北缘的园筒山组上部砂砾岩沉积^[49]。根据本次对与宁武—静乐盆地相邻的浑源盆地晚侏罗世髫髻山期玄武-安山岩锆测年结果,髫髻山组玄武-安山岩的底部年龄为(152.77±0.63)Ma(图 8,表 2)。因此,在 159.0~153.0 Ma,华北克拉通主要沿着周缘造山带前缘发育冲积扇沉积,为同期造山作用的产物,侏罗纪造山作用达到了高峰期。

造山期后调整阶段 晚侏罗世晚期,华北克拉通整体处于造山期后的调整阶段。燕—辽地区火山岩大量喷发,以髫髻山组玄武-安山岩和土城子组凝灰质火山角砾岩为代表(图 11)。

3.3 沉积与变形记录的耦合关系

本次研究从沉积记录方面确立了华北克拉通侏罗纪造山作用的过程及关键时限,盆地沉积记录与周缘造山带变形时限之间是否具有耦合性,关系到研究成果的可靠性。据 Davis 等^[3]和郑亚东等^[8]的研究成果,在辽西—冀北地区存在着 3 期地壳南北向缩短变形期:前中侏罗世(180 Ma)、晚侏罗世(161~148 Ma)和早白垩世(143~127 Ma)。在这 3 次构造变动期中,尤以晚侏罗世变形最为强烈,发生了明显的推覆和褶皱作用。李三忠等^[50]在辽东发现了 160 Ma 的“S”型重熔花岗岩,推测是太平洋板块俯冲的最早记录,依靠区域变形与测年结果相结合,将辽东地区的中生代构造变形划分为 3 幕:第一幕变形为 195~193 Ma,第二幕变形确定为 153~145 Ma,第三幕变形确定为 135~95 Ma。Zhu

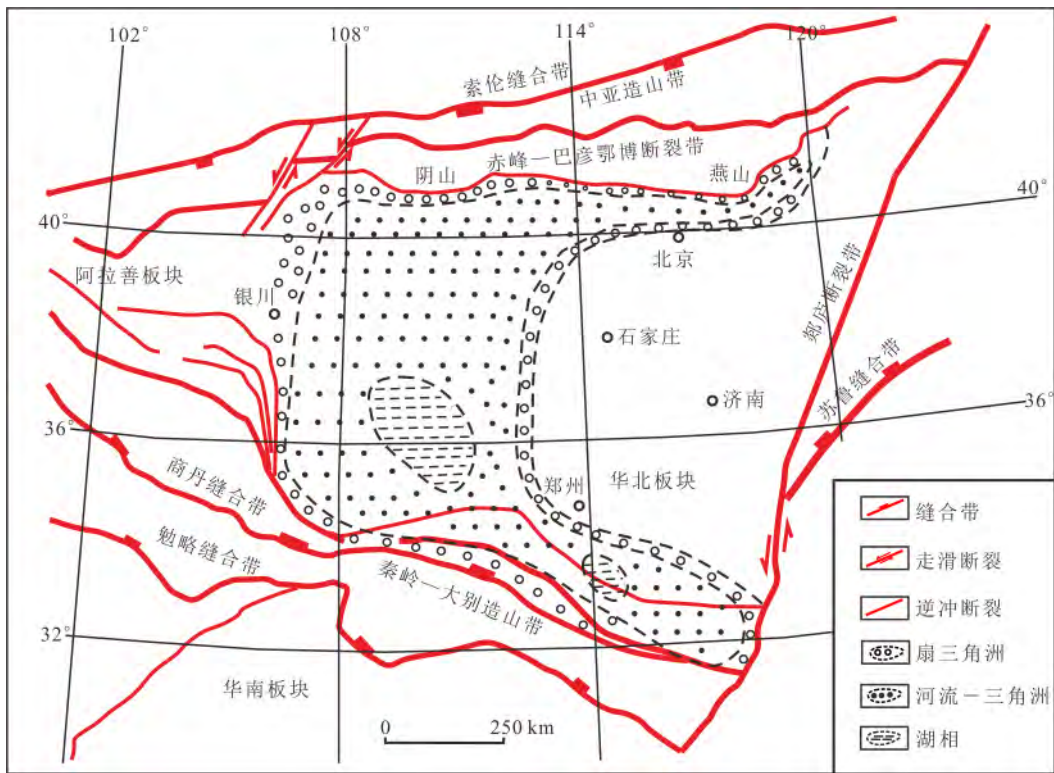


图 9 华北克拉通晚侏罗世早期岩相古地理图(161.0~159.0 Ma)

Fig. 9 Lithofacies paleogeographic map of North China craton on early Late Jurassic(161.0-159.0 Ma)

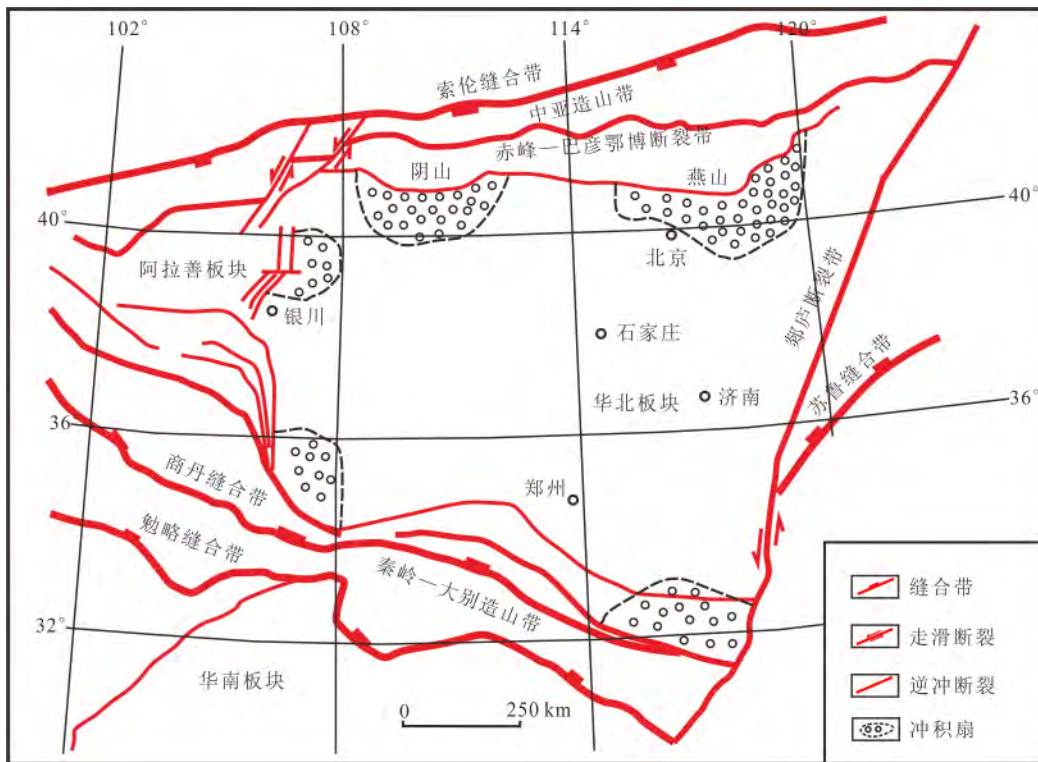


图 10 华北克拉通晚侏罗世中期岩相古地理图(159.0~153.0 Ma)

Fig. 10 Lithofacies paleogeographic map of North China craton on middle Late Jurassic(159.0-153.0 Ma)

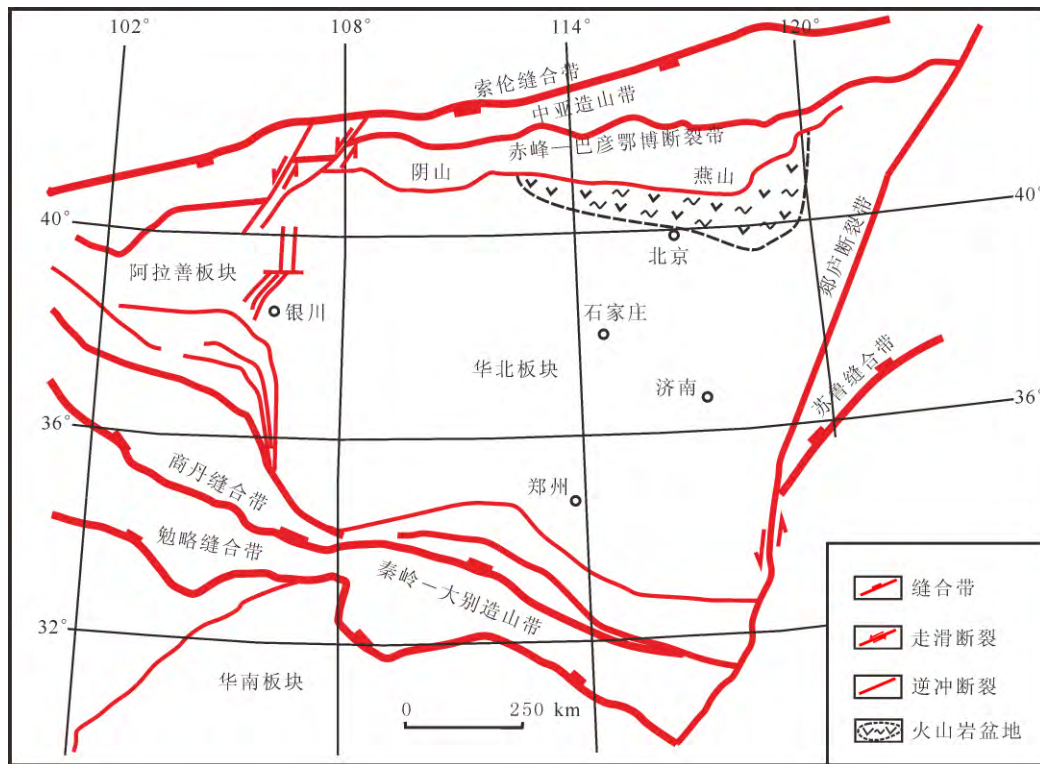


图 11 华北克拉通晚侏罗世晚期岩相古地理图 (153.0~145 Ma)

Fig. 11 Lithofacies paleogeographic map of North China craton on Latest Jurassic (153.0~145 Ma)

等^[51], Wang 等^[52]在大别山东缘和肥东—张八岭地区发现了大型基底走滑韧性剪切带,其中超糜棱岩中的白云母、多硅白云母、角闪石等单矿物的⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年,获得了晚侏罗世(160~143 Ma)变形时代。由此可见,在晚侏罗世(161~145 Ma),华北克拉通的北缘和东缘几乎同时期发生了强烈的构造变形,这与本次在宁武—静乐盆地通过沉积记录得出的结果是基本上一致的,体现了盆地沉积记录与造山带变形之间的吻合关系。对于这种盆-山之间的耦合机制,与整个中国中东部晚中生代的大陆动力学背景有关,西伯利亚板块向南、滨太平洋板块向西、印度板块向北,整个中国中东部进入了三面超级汇聚时期^[18-19,50,53]。在华北、华南板块内部由于受到早期先存基底断裂的控制,引起了微块体之间的相互滑动与逃逸,进而形成了盆-山一体化的构造格局^[53-55]。

4 结论

1) 中侏罗统云岗组底部砾岩沉积时期,侏罗纪沉积序列由早期的湖进向晚期的湖退转换,暗示了区域构造应力场由拉张向挤压转换,代表了侏罗纪

造山运动的开始,其大致时限为 168 Ma 左右。

2) 中侏罗统云岗组顶部凝灰质泥晶碳酸盐岩沉积前后,侏罗纪地层颜色由下部的灰绿色转变为上部的紫红色,孕育着区域沉积环境发生了突变,代表了侏罗纪造山运动进入了快速发展阶段,其时限为 161.0~159.0 Ma。

3) 上侏罗统天池河组沉积之后,华北克拉通沉积范围迅速退至造山带前缘,以砾岩沉积为主,为同造山期的产物,燕山造山运动进入了高峰期,其时限为 159.0~153.0 Ma。

4) 上侏罗统髫髻山组及土城子组沉积时期,燕—辽地区以玄武—安山岩及凝灰质角砾岩沉积为主,侏罗纪造山运动进入了造山期后的调整阶段。

参考文献 (References):

- [1] Wong W H. Crustal Movement and Igneous Activities in Eastern China Since Mesozoic Time[J]. Bulletin of Geological Society of China, 1927, 6(1): 9-36.
- [2] Wong W H. The Mesozoic Orogenic Movement in Eastern China[J]. Bulletin of Geological Society of China, 1929, 8: 33-34.
- [3] Davis G A, Qian X, Zheng Y, et al. Mesozoic Deform-

- mation and Plutonism in the Yunmeng Shan; A Chinese Metamorphic Core Complex North of Beijing, China [C]//Yin A, Harrison T M. The Tectonics Evolution Asia. Cambridge; Cambridge University Press, 1996; 253-280.
- [4] Davis G A, Wang C, Zheng Y D, et al. The Enigmatic Yinshan Fold-and-Thrust Belt of Northern China: New Views on Its Intraplate Contractional Styles[J]. *Geology*, 1998, 26; 43-46.
- [5] Davis G A, Zheng Y D, Wang Z, et al. Mesozoic Tectonic Evolution of the Yanshan Fold and Thrust Belt; With Emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, Northern China [C]//Hendrix, Davis. Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation. Boulder; Geological Society of America Memoir, 2001; 1-10.
- [6] Zheng Y D, Zhang Q, Wang Y, et al. Great Jurassic Thrust Sheets in Beishan (North Mountain); Gobi Areas of China and Southern Mongolia[J]. *Journal of Structural Geology*, 1996, 18; 1111-1126.
- [7] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造[J]. *中国科学: D 辑*, 1998, 28(4): 290-297.
Zheng Yadong, Davis G A, Wang Cong, et al. Major Thrust Sheet in the Daqingshan Mountains, Inner Mongolia, China [J]. *Science in China: Series D*, 1998, 28(4): 290-297.
- [8] 韩世炯, 孙景贵, 邢树文, 等. 中国东北部陆缘内生金矿床成因类型、成矿时代及地球动力学背景[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2013, 43(3): 716-733.
Han Shijiong, Sun Jinggui, Xing Shuwen, et al. Genetic Types, Metallogenic Epoch and Geodynamic Settings of Endogenetic Gold Deposits in the Continental Margin, Northeast China [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2013, 43(3): 716-733.
- [9] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 阴山中生代地壳逆冲推覆与伸展变形作用[J]. *地质通报*, 2002, 21(4/5): 246-250.
Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng. Mesozoic Crustal Overthrusting and Extensional Deformation in the Yinshan Mountains Area [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5): 246-250.
- [10] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升, 等. 鄂尔多斯北缘石合拉沟逆冲推覆构造的发现及意义[J]. *地质调查与研究*, 2004, 7(1): 24-27.
Liu Zhenghong, Xu Zhongyuan, Yang Zhensheng, et al. Discovery of Shihelagou Thrust Nappe and Its Geological Significance [J]. *Geological Survey and Research*, 2004, 7(1): 24-27.
- [11] Darby B J, Ritts B D. Mesozoic Contractional Deformation in the Middle of the Asia Tectonic Collage: The Intraplate Western Ordos Fold-Thrust Belt, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 205: 13-24.
- [12] 赵越, 崔盛芹, 郭涛, 等. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义[J]. *地质通报*, 2002, 21(4/5): 211-217.
Zhao Yue, Cui Shengqin, Guo Tao, et al. Evolution of a Jurassic Basin of the Western Hills, Beijing, North China and Its Tectonic Implications [J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(4/5): 211-217.
- [13] 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. *地学前缘*, 2004, 11(3): 319-328.
Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanhong, et al. Yanshanian Movement and Conversion of Tectonic Regimes in East Asia [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3): 319-328.
- [14] 邓宾, 李智武, 刘树根, 等. 大巴山城弧形断裂带右旋走滑构造特征及其意义[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2013, 43(5): 1501-1516.
Deng Bin, Li Zhiwu, Liu Shugen, et al. Dextrally Strike-Slipping Features of the Chengkou Arc Fault in Daba Mountain and Its Significances [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2013, 43(5): 1501-1516.
- [15] 杜菊民, 张庆龙, 李洪喜, 等. 内蒙古大青山地区推覆构造系统与断层相关的褶皱[J]. *地质通报*, 2005, 24(7): 660-664.
Du Jumin, Zhang Qinglong, Li Hongxi, et al. Nappe Structure and Fault-Related Folds in the Daqing Mountains, Central Inner Mongolia, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(7): 660-664.
- [16] 张岳桥, 施炜, 廖昌珍, 等. 鄂尔多斯盆地周边断裂运动学分析与晚中生代构造应力体制转换[J]. *地质学报*, 2006, 80(5): 639-647.
Zhang Yueqiao, Shi Wei, Liao Changzhen, et al. Fault Kinematic Analysis and Change in Late Mesozoic Tectonic Stress Regimes in the Peripheral Zones of the Ordos Basin, North China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 639-647.
- [17] 张岳桥, 廖昌珍, 施炜, 等. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形[J]. *地学前缘*, 2007, 14(2): 182-196.
Zhang Yueqiao, Liao Changzhen, Shi Wei, et al. On

- the Jurassic Tectonics in and Around the Ordos Basin, North China [J]. *Earth Science Frontier*, 2007, 14(2): 186-196.
- [18] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. *地质学报*, 2007, 81(11): 1449-1461.
Dong Shuwen, Zhang Yueqiao, Long Changxing, et al. Jurassic Tectonic Revolution in China and New Interpretation of the Yanshan Movement [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(11): 1449-1461.
- [19] 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 等. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征[J]. *地球学报*, 2008, 29(3): 306-317.
Dong Shuwen, Zhang Yueqiao, Chen Xuanhua, et al. The Formation and Deformational Characteristics of East Asia Multi-Direction Convergent Tectonic System in Late Jurassic [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2008, 29(3): 306-317.
- [20] 张珂, 邹和平, 刘忠厚, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗纪西边界分析[J]. *地质论评*, 2009, 55(6): 761-774.
Zhang Ke, Zou Heping, Liu Zhonghou, et al. On the Jurassic West Boundary of the Ordos Basin [J]. *Geological Review*, 2009, 55(6): 761-774.
- [21] 和政军, 李锦轶, 牛宝贵, 等. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆—隆升事件及沉积响应[J]. *地质论评*, 1998, 44(4): 407-418.
He Zhengjun, Li Jinyi, Niu Baogui, et al. A Late Jurassic Intensive Thrusting Uplifting Event in the Yanshan-Yinshan Area, Northern China, and Its Sedimentary Response [J]. *Geological Review*, 1998, 44(4): 407-418.
- [22] 和政军, 王宗起, 任纪舜. 华北北部侏罗纪大型推覆构造带前缘盆地沉积特征和成因机制初探[J]. *地质科学*, 1999, 34(2): 186-195.
He Zhengjun, Wang Zongqi, Ren Jishun. A Preliminary Research on Sedimentary Features and Genetic Mechanism of Frontal Basins Before Jurassic Large-Scale Nappe in the Northern Region of North China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1999, 34(2): 186-195.
- [23] 李伍平, 路凤香, 李献华, 等. 北京西山髻髻山组火山岩的地球化学特征与岩浆起源[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(2): 123-133.
Li Wuping, Lu Fengxiang, Li Xianhua, et al. Geochemical Features and Origin of Volcanic Rocks of Tiaojishan Formation in Western Hills of Beijing [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2001, 20(2): 123-133.
- [24] 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. *地质学报*, 2005, 79(5): 617-638.
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, et al. Space-Time Coordinate of the Evolution and Reformation and Mineralization Response in Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(5): 617-638.
- [25] 彭向东, 徐仲元, 刘正宏. 大青山地区侏罗纪陆相沉积盆地形成、迁移及演化规律[J]. *世界地质*, 2001, 20(3): 231-236.
Peng Xiangdong, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong. The Formation, Moving and Evolution Pattern of Jurassic Terrestrial Deposit Basin in Daqingshan Region [J]. *World Geology*, 2001, 20(3): 231-236.
- [26] 彭向东, 徐仲元, 刘正宏. 内蒙古大青山地区中、上侏罗统大青山组的修订[J]. *地层学杂志*, 2003, 27(1): 67-70.
Peng Xiangdong, Xu Zhongyuan, Liu Zhenghong. Revision of the Middle and Upper Jurassic Daqingshan Formation in Daqingshan Area, Inner Mongolia [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2003, 27(1): 67-70.
- [27] Davis A G. The Late Jurassic "Tuchengzi/Houcheng" Formation of the Yanshan Fold-Thrust Belt: An Analysis [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(4): 331-345.
- [28] 刘健, 赵越, 柳小明. 冀北承德盆地髻髻山组火山岩的时代[J]. *岩石学报*, 2006, 22(11): 2617-2630.
Liu Jian, Zhao Yue, Liu Xiaoming. Age of the Tiaojishan Formation Volcanics in the Chengde Basin, Northern Hebei Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(11): 2617-2630.
- [29] 孙立新, 赵凤清, 王惠初, 等. 燕山地区土城子组划分、时代与盆地性质探讨[J]. *地质学报*, 2007, 81(4): 445-453.
Sun Lixin, Zhao Fengqing, Wang Huichu, et al. Correlation of Tuchengzi Formation and Implications of the Basin Tectonic Evolution in the Intracontinental Yanshan Belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(4): 445-453.
- [30] Cope T C. Sedimentary Evolution of the Yanshan Fold-Thrust Belt, Northeast China [M]. Stanford: Stanford University Press, 2003.
- [31] Swisher C C, Wang X L, Zhou Z H. New Evidence of the Yixian Formation Isotopic Age and the ^{40}Ar -

- ³⁹Ar Dating of the Tuchengzi Formation[J]. Chinese Science Bulletin, 2001,46(23): 2009-2013.
- [32] 柳永清,刘燕学,李佩贤,等. 内蒙古宁城盆地东南缘含道虎沟生物群岩石地层序列特征及时代归属[J]. 地质通报, 2004,23(12): 1180-1187.
Liu Yongqing, Liu Yanxue, Li Peixian, et al. Daohugou Biota-Bearing Lithostratigraphic Succession on the Southern Margin of the Ningcheng Basin, Inner Mongolia, and Its Geochronology [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12): 1180-1187.
- [33] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling Lower Continental Crust in the North China Craton [J]. Nature, 2004, 432: 892-897.
- [34] 张宏,袁洪林,胡兆初,等. 冀北滦平地区中生代火山岩地层锆石 U-Pb 测年及启示[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 30(6): 707-720.
Zhang Hong, Yuan Honglin, Hu Zhaochu, et al. U-Pb Zircon Dating of the Mesozoic Volcanic Strata in Luanping of North Hebei and Its Significance [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2002, 30(6): 707-720.
- [35] Liu Y X, Liu Y Q, Zhang H. LA-ICPMS Zircon U-Pb Dating in the Jurassic Daohugou Beds and Correlative Strata in Ningcheng of Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 80(5): 733-742.
- [36] Niu B G, He Z J, Song B, et al. SHRIMP Geochronology of Volcanics of the Zhangjiakou and Yixian Formation, Northern Hebei Province, with a Discussion on the Age of the Xing'anling Group of the Great Hinggan Mountains and Volcanic Strata of the Southeastern Coastal Area of China [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(6): 1214-1228.
- [37] 徐刚,赵越,吴海,等. 辽西凌源牛营子盆地晚三叠世—中侏罗世地层层序及区域对比[J]. 地球学报, 2005,26(4): 299-308.
Xu Gang, Zhao Yue, Wu Hai, et al. Late Triassic-Middle Jurassic Stratigraphic Succession in the Niuyingzi Basin, Lingyuan County, Western Liaoning and the Correlation of Regional Stratigraphic Sequences in the Yanliao Region [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2005, 26(4): 299-308.
- [38] 徐翔军,赵羽君. 内蒙古石拐中生代断陷盆地形成与成因探讨[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 35(1):33-38.
Xu Xiangjun, Zhao Yujun. Discussion on the Formation and Origin of the Shiguai Mesozoic Rift Basin in Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2005, 35(1): 33-38.
- [39] 曾涛,王涛,郭磊,等. 东北新开岭地区晚中生代花岗岩类时代、成因及地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011,41(6):1881-1900.
Zeng Tao, Wang Tao, Guo Lei, et al. Ages, Origin and Geological Implications of Late Mesozoic Granitoids in Xinkailing Region, NE China [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011,41(6):1881-1900.
- [40] 卫彦升,谢飞跃. 宁武—静乐盆地永定庄组的发现及其地质意义[J]. 太原科技, 2007,28(6):22-23.
Wei Yansheng, Xie Feiyue. The Discovery of the Yongdingzhuang Group in the Ningwu-Jingle Basin and Its Geological Meaning [J]. Taiyuan Sci-Tech, 2007,28(6):22-23.
- [41] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M257: A Homogeneous Natural Reference Material for the Ion Microprobe U-Pb Analysis of Zircon [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2008, 32: 247-265.
- [42] Sláma J, Kosler J, Condon D J, et al. Plesovice Zircon: A New Natural Reference Material for U-Pb and Hf Isotopic Microanalysis [J]. Chemical Geology, 2008, 249: 1-35.
- [43] Sircombe K N. Tracing Provenance Through the Isotope Ages of Littoral and Sedimentary Detrital Zircon, Eastern Australia [J]. Sedimentary Geology, 1999,124: 47-67.
- [44] Corfu F, Hancher J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of Zircon Textures [J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003,53: 469-500.
- [45] Wu Y B, Zheng Y F. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49: 1554-1569.
- [46] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G. A New Geological Time Scale, with Special Reference to Precambrian and Neogene [J]. Episodes, 2004, 27(2):27-29.
- [47] 王思恩,高林志. 新疆准噶尔盆地侏罗系齐古组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2012, 31(4):503-509.
Wang Sien, Gao Linzhi. SHRIMP U-Pb Dating of Zircons from Tuff of Jurassic Qigu Formation in Junggar Basin, Xinjiang [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(4):503-509.

- [48] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1991:159-260.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. Regional Geology of Sichuan Province[M]. Beijing:Geological Publishing House,1991:159-260.
- [49] 李双应,万秋,孔为伦,等. 大别造山带北缘中—上侏罗统园筒山组沉积学研究[J]. 合肥工业大学学报, 2011,34(7):1051-1057.
Li Shuangying, Wan Qiu, Kong Weilun, et al. Sedimentary Characteristics of Middle-Upper Jurassic Yuantongshan Formation on Northern Margin of Dabie Orogenic Belt[J]. Journal of Heifei University of Technology, 2011,34(7):1051-1057.
- [50] 李三忠,刘建忠,赵国春,等. 华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造的制约:以胶辽地区为例[J]. 岩石学报,2004,20(3):633-646.
Li Sanzhong, Liu Jianzhong, Zhao Guochun, et al. Key Geochronology of Mesozoic Deformation in the Eastern Block of the North China Craton and Its Constraints on Regional Tectonics : A Case of Jiaodong and Liaodong Peninsula [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004,20(3):633-646.
- [51] Zhu G, Wang Y S, Liu G S, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of Strike-Slip Motion on the Tan-Lu Fault Zone, East China[J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27(8):1379-1398.
- [52] Wang Q, Xu J F, Jian P. Petrogenesis of Adakitic Porphyries in an Extensional Tectonic Setting, Dexing, South China; Implications for the Genesis of Porphyry Copper Mineralization [J]. Journal of Petrology, 2006, 47: 119-144.
- [53] Li Sanzhong, Zhao Guochun, Dai Liming, et al. Mesozoic Basin in Eastern China and Their Bearing on the Deconstruction of the North China Craton [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 47: 64-79.
- [54] 刘建忠,李三忠,周立宏,等. 华北板块东部中生代构造变形与盆地格局[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004,24(4):45-54.
Liu Jianzhong, Li Sanzhong, Zhou Lihong, et al. Mesozoic Tectonics and Basin Distribution in the Eastern North China Plate[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2004,24(4)45-54.
- [55] 李三忠,张国伟,周立宏,等. 中、新生代超级汇聚背景下的陆内差异变形:华北伸展裂解和华南挤压逆冲[J]. 地学前缘,2011,18(3):79-107.
Li Sanzhong, Zhang Guowei, Zhou Lihong, et al. The Opposite Meso-Cenozoic Intracontinental Deformations Under the Super-Convergence: Rifting and Extension in the North China Craton and Shortening and Thrusting in the South China Craton [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(3):79-107.