

# 河南云台山世界地质公园百家岩景区中元古界 砂岩沉积相特征与沉积环境分析

赵汀<sup>1)</sup>, 李兵<sup>5)</sup>, 吴珍汉<sup>2)</sup>, 高林志<sup>3)</sup>, 马寅生<sup>4)</sup>, 吴中海<sup>4)</sup>, 刘超<sup>1)</sup>, 梁飞<sup>1)</sup>

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

2)中国地质科学院, 北京 100037; 3)中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

4)中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 5)中国地质大学(北京), 北京 100083

**摘要:** 云台山联合国教科文组织世界地质公园是南太行地区层状峡谷地貌的典型代表。园区内发育一套中元古界云梦山组紫色石英砂岩, 是地质公园典型代表性景观地层, 在太行山地区广泛分布, 被称作“太行山红层”, 美学价值极高。其中发育大量的交错层理, 波痕、干裂等层面沉积构造, 在野外观察和区域地质资料分析基础上, 通过对百家岩地质剖面重点剖析, 采集不同层位的岩石样品, 进行化学分析、薄片分析、沉积相特征分析研究。在此基础上对云梦山组沉积环境进行了探讨, 结果表明: 百家岩景区云梦山组紫色石英砂岩形成于滨海海滩-潮坪沉积环境, 部分沉积特征具有三角洲相特点, 波浪对砂的来回冲洗, 磨圆度较好, 石英砂岩质地较纯, 成分和结构成熟度较高, 整体处于频繁动荡整体抬升的状态。该研究不仅对揭示云台山地区中元古代古地理环境、演化历史提供了重要资料, 并有助于提高公园科普教育功能, 增加公众对地质学科的兴趣和爱好, 从而带动焦作地区经济社会的转型和发展具有重要意义。

**关键词:** 地质公园; 云台山; 太行山红层; 石英砂岩; 地质遗迹

中图分类号: P56 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2021.070901

## An Analysis of Sedimentary Facies and Sedimentary Environment of Mesoproterozoic Sandstone in the Baijiayan Area of Yuntaishan UNESCO Global Geopark, Henan

ZHAO Ting<sup>1)</sup>, LI Bing<sup>5)</sup>, WU Zhen-han<sup>2)</sup>, GAO Lin-zhi<sup>3)</sup>, MA Yin-sheng<sup>4)</sup>, WU Zhong-hai<sup>4)</sup>,  
LIU Chao<sup>1)</sup>, LIANG Fei<sup>1)</sup>

1) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources,  
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

4) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081;

5) China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083

**Abstract:** The Yuntaishan UNESCO Global Geopark in Henan Province is a typical representative of layered canyon landforms in the South Taihang area. A set of purple quartz sandstones of the Yunmengshan Formation in the Mesoproterozoic developed in the Geopark constitute the major typical representative landscape-building strata, which are widely distributed in the Taihang area, named “red beds in Taihang Mountain”. The aesthetic value is extremely high, and in the beds, a large number of cross bedding, ripple marks, and mud-crack sedimentary structures are developed. Based on field observations and regional geological data analysis, the authors focused the study on the Baijiayan profile. Rock sampling in different locations, element analysis, thin slice analysis, and sedimentary facies analysis were carried out. Based on these items of evidence, the authors

本文由河南焦作市科研项目“云台山地貌地质学特征及评价指标体系研究”(编号: M1407)和中国地质调查局项目“典型地质景观形成条件研究”(编号: 1212010611810)联合资助。

收稿日期: 2021-05-06; 改回日期: 2021-07-03; 网络首发日期: 2021-07-12。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 赵汀, 男, 1975年生。博士, 硕士生导师, 教授级高工。长期从事自然资源领域研究工作。E-mail: 771899460@qq.com。

investigated the sedimentary environment of the Yunmengshan Formation. The results show that the purple quartz sandstone of Yunmengshan Formation in the Baijiayan area was formed in a coastal beach-tidal flat sedimentary environment. The Yuntai Mountain was in a state of frequent turbulence and overall uplift during the Mesoproterozoic period. This research not only provides important information for revealing the Mesoproterozoic paleogeographic environment and evolution history of the Yuntai Mountain area, but also helps to improve the science education function of the Geopark and increase public interest and hobbies in geological sciences. In the other hand, these researches will benefit the economic and social transformation of Jiaozuo area.

**Key words:** geoparks; Yuntai Mountain; red beds in Taihang Mountain; quartz sandstone; geoheritage

近二十年来,以原中国地质科学院赵逊研究员为首的研究团队完成了《云台山主要景观地质背景研究——云台地貌成因》、《云台地貌特征及区域对比研究》、《云台地貌与美国大峡谷地貌对比研究》系列研究成果,揭示了云台地貌的形成演化过程,分析了典型地质景观特征,提出“云台地貌”是云台山地区发育的,垂向上由河流阶地、唐县面和太行面等层状地貌面所构成的典型的层状地形及其构成的河谷横向上的“谷中谷”地貌景观,开展区域和国际对比。携手云台山世界地质公园、美国大峡谷国家公园、美国科罗拉多大学开展了中美两国峡谷地貌的学术交流研究,将云台地貌的研究成果推向了世界(赵逊等, 2005, 2008, 2009, 2010; 赵汀和赵逊, 2005)。

吴珍汉等(2000)和吴中海等(2003)以裂变径迹测年为主的低温热年代学方法对华北地区晚白垩世以来山脉隆升历史进行了研究,马寅生等(2007)对太古界片麻岩和太行山南缘新生代夷平面进行了地质年代测定并对云台山一带出露的多个时期地层进行沉积相和沉积环境的划分。

为研究云台山红色砂岩的形成时代,2003年高林志、赵汀等对云台山世界地质公园红石峡的云梦山组碎屑沉积岩的碎屑锆石进行了 SHRIMP 测年,碎屑锆石的年龄峰值在~1.85 Ga 和~1.4 Ga 出现了两个峰值,可能分别代表了华北克拉通古元古代末期和中元古代末期的两次重大的构造热事件。同时,云台山地区红色碎屑岩所捕捉的最小年龄的碎屑锆石(6粒),其锆石年龄为(1163±32) Ma,其年龄值极有可能代表了该碎屑沉积的最大沉积年龄(高林志等, 2005)。

郑伟等(2008)对园区云梦山组大量原生波痕进行分类分析,发现其波痕以小水流波痕和浪成波痕为主,少量存在有干涉波痕、削顶波痕和双脊波痕,认为其沉积环境由极浅水的前滨过渡为浅水的临滨环境。

郑德顺等(2011)利用扫描电子显微镜和能谱仪对云梦山组中上部的暗紫色和肉红色石英砂岩进行了化学成分分析。研究表明,该组砂岩具有较

高的成分和结构成熟度,暗紫色石英砂岩胶结物中 Fe 元素的含量明显高于肉红色石英砂岩中的含量。

综上,前人对云台山云梦山的研究主要集中在地貌演化及沉积岩沉积特征分析上,主要应用岩性及结构特征进行环境分析,对云梦山组沉积环境的研究还不够深入,仅分析了云梦山组的沉积相,大多数人认为云梦山组是滨浅海环境,其形成时代、沉积亚相、微相及沉积模式等问题还存在争议尚待完善。

## 1 研究区地质概况

风光秀丽的云台山世界地质公园位于太行山南缘(图 1),行政区划隶属于河南省西北部焦作市,处于山西省与河南省的省际边界南侧。在地质构造方面,云台山属于华北地台山西台隆的南部,具有 34 Ga 的岩石记录和漫长的地质发展历史(高林志等, 2005),近水平的地层层序记录了华北地台自太古代以来海陆变迁和构造运动,经历了太古宙—古元古代基底变质变形、中新元古代裂谷作用、寒武纪—中奥陶统稳定浅海陆台沉积、石炭—二叠纪含煤建造、中生代陆内造山和新生代盆—山构造地貌演化等不同发展阶段(图 2),形成了颇具特色的地质构造和地貌景观(吴珍汉等, 2000; 赵逊等, 2003)。

公园主要园区——云台山园区面积 84 km<sup>2</sup>,由红石峡、百家岩、泉瀑峡、潭瀑峡、猕猴谷、叠彩洞、茱萸峰、子房湖、万善寺等九个景区组成,最高峰茱萸峰海拔 1 297.6 m,与区内最低谷底相对高差 1100 m。区内地层出露齐全,可见太古宇、元古宇、古生界及新生界;此外,其间的不整合接触面清晰明显,地层内各种内部构造及地质营力所塑造的地质景观极其典型(赵逊等, 2003)。

百家岩景区位于云台山园区的最东端,是一处正在开发的景区。受黑龙王庙断裂控制,景区出露地层下部为中元古界云梦山组的紫红色石英砂岩,与上部寒武系的页岩、灰岩及白云岩呈不整合接触。下部地层多构成“丹崖长墙”,气势恢弘;而上部地层则构成典型的岩溶地貌。此外,景区内的人文资源极其丰富。以魏晋时期的竹林七贤为代表,在

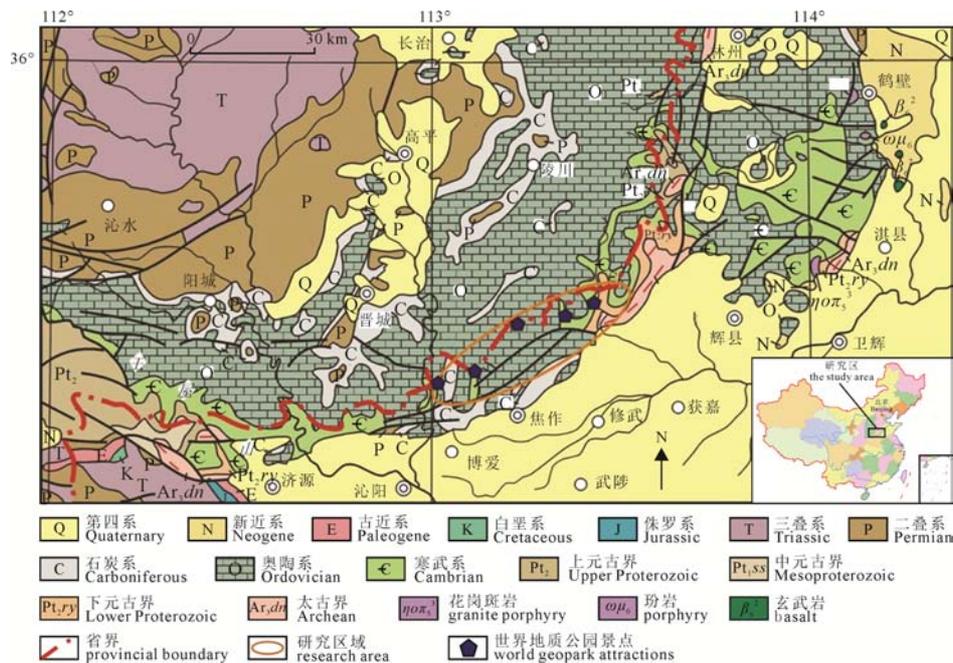


图 1 河南焦作地区的地质图及地质公园景点位置图

Fig. 1 Geological Map of Jiaozuo area, Henan Province, showing geopark's geosite localities

百家岩活动长达 20 年之久, 对中国古代的园林文化从宫廷走向大自然, 起到了承前启后的作用, 因而在中国历史文化中有重要影响。

## 2 野外调查与样品采集

野外调查分为两条路线, 路线一在红石峡景区, 起点为红石峡谷谷顶, 经景区阶梯一路向下到达深切河谷底部, 沿峡谷底向南行 800 m, 在峡谷的转弯处结束, 该观察点见元古界汝阳群云梦山组碎屑岩直接不整合于太古界之上, 云梦山组底部为底砾岩, 底砾岩厚度变化较大, 从零至数十米间变化, 见太古代的黑云角闪片麻岩(图 2)。该路线主要完成分界点上下不整合接触关系、岩性定性、样品采集



图 2 云梦山组(Pt<sub>2y</sub>)与太古宇(AR)角度不整合接触 (云台山红石峡景区)

Fig. 2 Angular unconformity between Yunmengshan Formation (Pt<sub>2y</sub>) and Archean strata (AR) (Hongshixia, Yuntaishan Geopark)

及周边的地形地貌特征的观察等。

路线二在百家岩景区, 是本次调查的主要研究区域。从百家岩的顶部开始沿南西向的小路到底部结束, 全长 400 m, 该景点云梦山组出露较厚, 原生构造发育, 顶部与百草坪组平行整合接触分界清晰(图 3)。该路线主要完成云梦山组岩性、原生构造的观察, 与上覆地层的接触关系等。两条路线均采集了岩石样品(图 4), 主要岩性为紫红-灰绿色粉砂质页岩夹石英砂岩及钙质石英砂岩, 紫红-浅灰白色厚层石英砂岩、长石石英砂岩。

## 3 百家岩沉积剖面云梦山组沉积构造特征

本次工作在百家岩景区采样 14 件, 采集样品



图 3 百草坪组与云梦山组平行不整合 (云台山百家岩景区)

Fig. 3 Disconformity between Yunmengshan Formation (Pt<sub>2y</sub>) and Baicaoiping Formation (Pt<sub>2b</sub>) (Baijiayan, Yuntaishan Geopark)

主要为云梦山组的紫红色、肉红色石英砂岩, 编号为 B-01、B-02、B-03、B-04、B-05、B-06、B-07、B-08、B-09、B-10、B-11、B-12、B-13、B-14(图 4)。

通过百家岩地质剖面(图 4)的测量发现, 该套紫红色砂岩厚度约 120 m, 岩层产状近水平, 砂岩整体呈紫红色与肉红色相间分布, 岩层剖面表面形成了一层灰白色的钙膜, 部分岩层表面有紫红色光亮的氧化膜(李兵, 2018)。这套紫红色砂岩沉积序列的底部为薄层细砂岩夹泥岩, 局部见砾岩, 砂岩里见有 5 mm 左右的泥粒, 水平层理发育; 向上由薄层细砂岩与中厚层中砂岩互层过渡到厚层的中粒砂岩, 产状一致, 岩石较致密, 硬度大, 发育平行层理、板状交错层理、羽状交错层理(图版 I); 再向上为中厚层中砂岩与粗砂岩的互层; 顶部为薄层粗砂岩夹砾岩层, 粗砂岩颗粒较粗、孔隙度大, 薄砾层中砾石被肉红色的石英砂岩充填, 砾石清晰可见无磨圆, 上覆古生界寒武系关口砾岩或馒头组, 呈平行不整合接触关系。

百家岩地层剖面云梦山组的砂岩层面上, 普遍发育有泥质斑块、多角形干裂纹和波痕。观察其主要沉积构造特征为:

(1)波痕所在层岩性单一, 颜色和粒度均变化较

小。该组含波痕的地层岩性单一, 主要为紫红色细粒石英砂岩, 石英颗粒具有较好的成分和结构成熟度, 颗粒粒度变化不大, 为水流及波浪对沉积物反复冲刷淘洗的结果。

(2)波痕以小水流波痕和浪成波痕为主, 少量存在有干涉波痕、削顶波痕和双脊波痕。云台山云梦山组发育的波脊以圆顶和尖顶为主, 形态主要为直线型, 少量为波曲型; 波长 2.5~7.0 cm, 少数大于 20 cm, 大于 50 cm 以上者少见, 波高为 0.2~0.6 cm, 波痕指数大部分为 4.5~12, 其大小只相当于 Simons 和 Richardson 水槽实验中所观察到的沙纹。上述特征说明形成波痕的水流的流速有一定的范围。

据此从整套地层岩性和结构构造特征来判断云梦山组属于干热气候条件下滨海的浅水沉积环境, 部分沉积特征表明为三角洲相特点, 波浪对砂的来回冲洗形成了这种石英含量较高的砂岩。

#### 4 云梦山组砂岩粒度特征

岩石样品磨制薄片进行岩石矿物成分和结构构造的岩相学观察。根据野外剖面记录特征, 进行地层岩性划分与对比。开展岩石地层、沉积相方面的观察和研究。结合沉积相各种判别标志, 如岩石

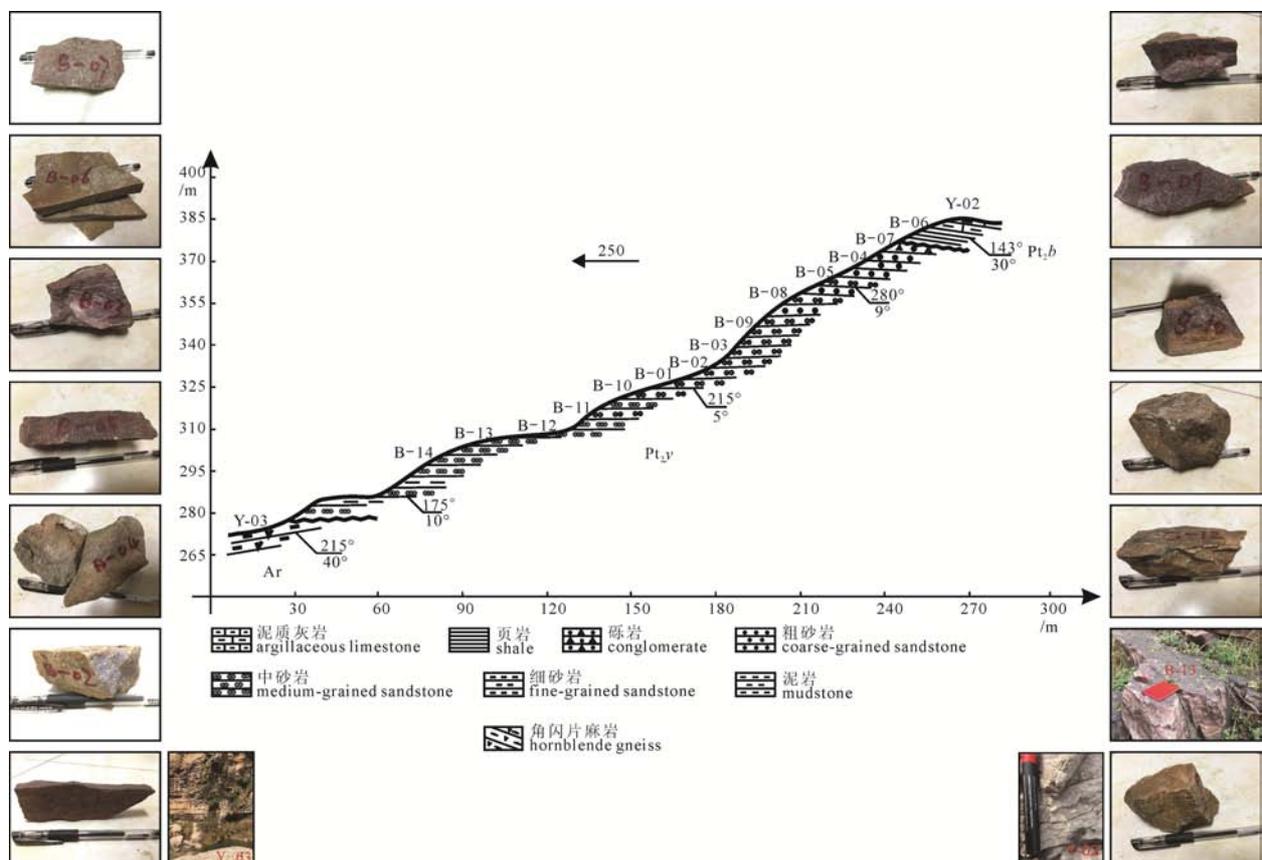


图 4 百家岩剖面与采样点位(李兵, 2018)  
Fig. 4 Baijiayan section and sampling sites (LI, 2018)

学、沉积构造学进行分析和岩石粒度数据整理,进一步分析沉积环境变迁和演化。

为了更准确的研究云梦山组沉积时的水动力条件和沉积环境,在百家岩剖面选取了具有代表性的10块样品进行粒度分析(取样位置见图4)。粒度分析采用薄片激光扫描分析方法,薄片制作、观察及粒度数据采集委托北京天和信矿业技术开发有限公司完成,实验设备为西图孔隙特征及粒度图像分析系统软件(V3.4)及 Carl Zeiss 偏光显微镜 Axioskop 40。按照 GB/T 19077-2016《碎屑岩粒度分析方法》图像法步骤,每个薄片统计500个以上

的颗粒粒径(图5),换算得到 $\phi$ 值进行统计的(表1)。

碎屑岩的粒度特征是衡量搬运介质搬运营力和搬运能力大小的尺度,为判别水动力环境提供良好的标志,常用的粒度参数主要有平均粒径 $M_z$ 、标准偏差 $\sigma_1$ 、偏度 $SK_1$ 和峰度 $K_G$ 。根据上述粒度分析方法得到的数据,经过图解法计算,得到了相应的粒度参数,如表1所示。

#### (1)平均粒径

沉积物的平均粒径表示粒度分布的集中趋势,其数值大小受2个因素控制,即沉积介质的平均动力能(速度)和来源物质的原始大小,所以平均粒径

表1 粒度参数统计  
Table 1 Statistics of grain size parameters

编号	$M_z$	$\sigma_1$	$SK_1$	$K_G$	$Y_{A:B}$
B-07	1.43	1.71	0.33	2.94	-26.681 497 64
B-05	1.25	1.64	0.61	3.38	-26.027 407 84
B-04	1.92	0.94	0.28	1.10	-8.510 181 44
B-08	1.66	1.61	0.55	3.12	-24.775 276 84
B-11	0.22	1.15	0.09	1.26	-11.902 541 00
B-03	1.69	1.16	0.43	1.83	-13.321 876 24
B-02	1.78	0.76	0.35	1.46	-6.194 599 04
B-01	1.88	1.51	0.44	3.95	-21.401 030 04
B-12	1.87	1.00	0.26	1.36	-9.433 756 00
B-14	1.60	0.98	0.21	1.23	-8.925 454 16

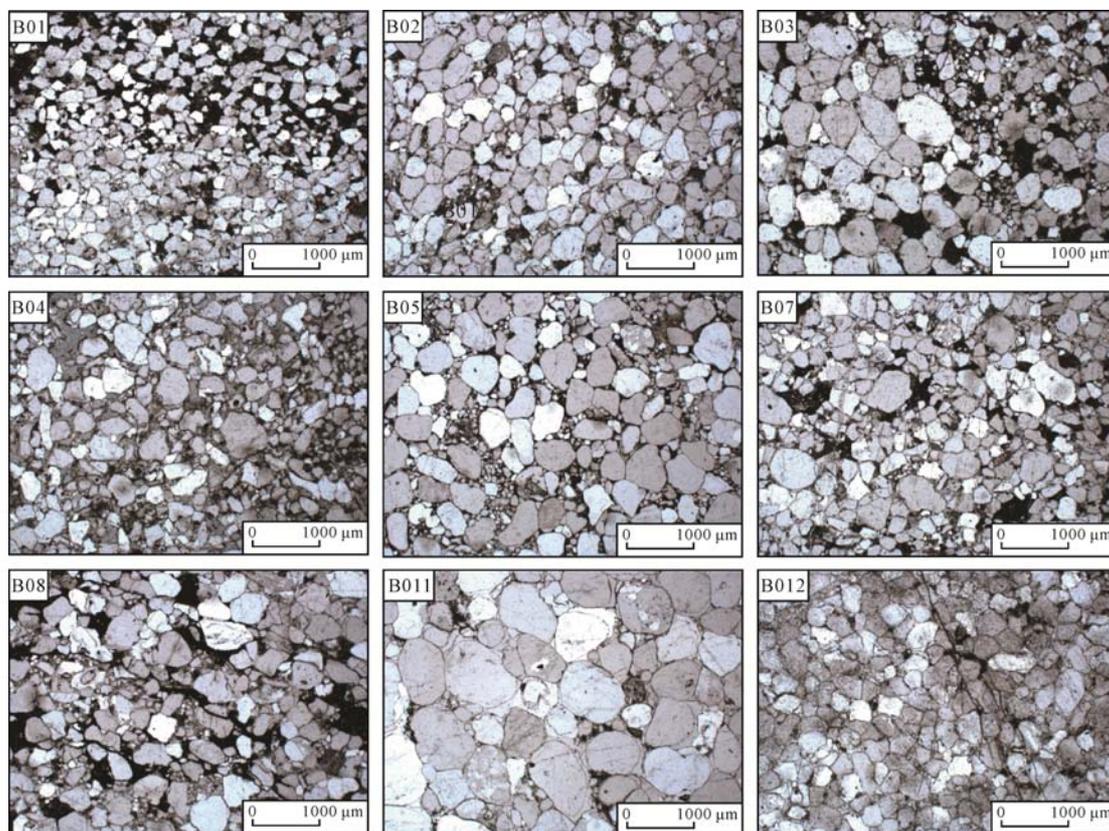


图5 百家岩砂岩样品显微照片

Fig. 5 Microphotographs of Baijiayan sandstone samples

的变化可以反映出其形成时环境水动力条件的变化。从表 1 可以看出, 样品除了 B-06 外其他样品的平均粒径介于 1.25 ~ 1.92  $\mu\text{m}$  之间。整体上, 从下到上值呈现出由大到小的趋势, 即粒度存在由细到粗的变化特征, 认为是由于潮间带的沙坪沉积过渡到潮下带潮汐河道沉积, 潮间坪由陆向海水动力变强, 砂岩粒度变粗, 由泥砂质沉积过渡到较纯的砂质沉积。潮下带潮汐作用强, 能量高, 沉积了以中粗砂为主的水下砂坝、沙滩沉积。这也可视为水动力条件变化的结果, 与剖面观测情况吻合。

#### (2) 标准偏差

标准偏差体现了颗粒大小的均匀程度, 是表示沉积物分选程度的参数。而碎屑物质的颗粒大小和分选程度与沉积时的水动力条件和地理条件有着密切联系, 所以标准偏差的变化可以作为环境标志。样品的标准偏差大都介于 0.7 ~ 1.7 之间, 其分选程度为差到中等, 样品 B-04 分选较好, 样品 B-03、B-07、B-09、B-10 分选差, 样品 B-01、B-02、B-05、B-06、B-08 分选中等, 整体上从下到上呈现中等到差的变化, 这也反映了水动力强弱的变化。而分选中等则为潮间坪中低潮坪沉积物, 而分选差可能是因为浅潮道碎屑流沉积夹层沉积物大小混杂, 这与平均粒径的变化基本一致。

#### (3) 偏度和峰度

偏度和峰度都能反应沉积物频率曲线的双峰性及其尾部变化, 偏度反应粒度分布的集中范围, 而且能表明均值与中位数的位置; 峰度是用来衡量粒度频率曲线尖锐程度的参数。样品偏度由下到上为正偏态到很正偏态, 频率曲线多成双峰型, 个别为单峰型或三峰型; 峰度在 1.1 ~ 3.95 之间, 平均为 2.163, 峰态由尖锐、很尖锐、非常尖锐不等。结合偏度和峰度的特征, 表明沉积区的多物源沉积性, 推断与碎屑流沉积物大小混杂或者水动力强弱的变化有关。

利用鉴别沉积环境的萨胡判别函数能对浅海/河流(三角洲)进行判定, 经计算, 样品萨胡判别值除了 B-02 外全部位于河流三角洲区间, 由此也说明云梦山组为潮坪三角洲沉积。

#### (4) 概率累计曲线特征

碎屑物的粒度概率累计曲线可以说明颗粒的搬运状态, 解释沉积环境, 所以在沉积环境分析中应用广泛、效果较好, 下面选取 6 个样品的累计概率曲线进行了分析。样品 B-12、B-14 累积曲线呈台阶状多段式(图 6), 呈现出多直线组成的台阶状, 滚动总体含量小于 20%, 跳跃总体含量一般为 70% ~ 80%, 悬浮总体含量为 10% ~ 20%, S 截点白值位于

2.25 $\phi$  ~ 3 $\phi$  之间。反映流体能量较小, 但湍动性较强, 推测其为潮间带的中低潮坪的碎屑流沙坪沉积向潮坪砂坝或潮间道的过渡; 也可能是潮间道沉积物受多股水流影响, 造成颗粒搬运方式复杂, 从而使累积曲线呈现多段台阶状。样品 B-01、B-08 累计曲线为三段式(图 6), 其中颗粒以跳跃为主, 含量为 80% 以上, 直线倾角在 60° 左右, 分选很好, 滚动组分含量很低, 含量在 5% 以下, 直线倾角为 15°, 分选差, 同时还含有含量很低的悬移组分, 与跳跃组分的交切点在 2.25 $\phi$  ~ 2.75 $\phi$  之间, 与潮间带相比, 跳跃总体含量增加, 反映了水动力条件明显增强。具有潮汐砂坝沉积物的特点。样品 B-02、B-07 累积曲线呈两段式(图 6), 该曲线由跳跃总体和悬移总体组成, 细尾部分在 2.25 $\phi$  附近斜率有明显变化, 跳跃总体约 75% ~ 85%, 直线倾角在 50° ~ 60°; 悬移总体组分占总体 10% ~ 20%, 直线倾角为 20° ~ 30°, 推测其为潮间道的牵引流沉积, 因为它是水体流动的主要通道, 水动力条件相对较强, 岩性较粗。

## 5 沉积相划分及沉积模式分析

总体上该组岩石粒度分布均匀, 分选一般, 磨圆度较好, 质较纯, 石英含量高, 大部分为紫红色石英砂岩, 在地层剖面上粒度总体趋势由下到上逐渐变粗, 表明沉积环境是与波浪或水流冲刷有关的海岸砂沉积环境。从地层剖面图可以看出沉积构造由下到上, 是由泥裂、雨痕、水平层理、演化到小型交错层理、羽状交错层理、波状层理、再到平行层理的总体演化趋势, 表明了该环境是从极浅水的潮间带中潮坪环境向浅水的低潮坪环境再到深水的潮下带的水下砂坝、潮汐通道环境缓慢过渡的一次海侵过程。通过对该组波痕的分析可以看出波痕在地层剖面上由下部到上部总体是从小流水波痕、双脊波痕、改造和干涉波痕演变到浪成波痕再到小水流波痕, 符合由时常暴露地表的潮间带环境过渡到浅水的潮下带环境的海侵过程。

## 6 区域沉积环境演化浅析

河南云台山云梦山组位于华北地台的南部, 属于汝阳群, 不整合于熊耳群之上, 被认为是中元古界的典型地层。该组地层在河南省境内分布广泛, 在渑池-确山、太行山和嵩箕地层区内均有分布。在区域上, 云梦山组厚度变化较大, 云台山地区出露的最老地层是太古宇登封群变质岩, 其 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 3.4 Ga(高林志等, 2005)。在其漫长的地质演化历史中, 经历了多期构造变形、变质作用、沉积演化、隆升和剥蚀。根据区域地质发展历

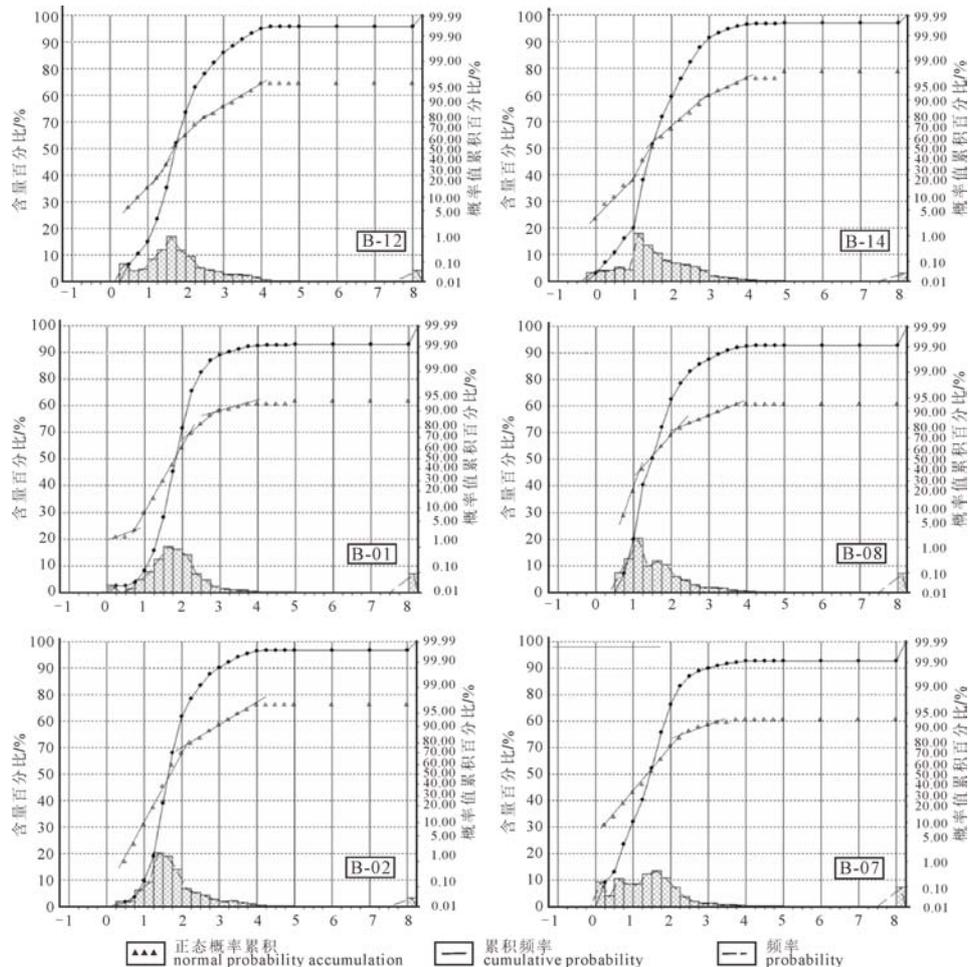


图6 砂岩的粒度概率累计曲线

Fig. 6 Cumulative curves of grain size probability of sandstone

史、古构造演化规律和古环境变迁过程, 变质作用、沉积建造和构造变形综合分析, 云台山世界地质公园的构造演化历史可以划分为三个大阶段, 即太古宙-古元古代克拉通结晶基底形成阶段、中元古代-古生代稳定克拉通盖层演化阶段和中新生代盆山构造与东亚裂谷形成演化阶段。其中, 克拉通盖层演化阶段又进一步分为中新元古代拗拉槽演化时期、早古生代稳定浅海发育时期和晚古生代海陆交互盆地演化时期。

## 7 结论

(1)中元古界云梦山组在景区的不同地点与太古界呈不整合接触, 与古生界寒武系关口砾岩或馒头组为平行不整合接触。该界面缺失了近5亿年的沉积记录。根据华北地台南缘新元古代地层发育的情况, 说明云台山地区新元古界后期一直处于地垒型的剥蚀区。寒武系全球大海侵时才又开始接受新的沉积。

(2)百家岩、红石峡等景区的主要成景地层云梦山组发育了各种类型的波痕、干裂和交错层理, 其沉积特征反映了华北地台古老陆核在经过一系列构

造运动后, 开始接受快速的陆源沉积, 而巨厚的石英砂岩沉积特征反映了华北地台南缘沉降速率与陆源供给和海平面变化的一致性。

(3)云台山云梦山组石英砂岩形成于滨海海滩-潮坪环境中, 磨圆度较好, 石英砂岩质较纯, 填隙物含量少, 成分和结构成熟度较高。

(4)云台地貌是长期地史演化的结果, 是不可多得的世界自然遗产, 其丰富的地质地貌遗迹, 系统的记录了太古代到新生代的地质历史记录, 百家岩、红石峡等景点多彩的层状砂岩组合, 悠久的构造演化历史, 是阶状峡谷地貌的典型代表, 具有全球科学对比研究价值, 列入世界地质公园进行保护是人类共同的责任。

致谢: 仅以此文纪念我的父亲中国地质科学院赵逊研究员(1940—2012年), 赵逊研究员是全球世界地质公园的发起者和奠基者之一, 在国际上被誉为“中国地质公园之父”, 他及其研究团队中国地质科学院吴珍汉研究员、中国地质科学院地质研究所高林志研究员、中国地质科学院地质力学研究所马寅生研究员、吴中海研究员等多年致力于推动全球地质遗迹保护运动以及地质公园建设, 对云台地貌

等典型地质遗迹研究和保护做出了重大贡献。本研究得到了河南省焦作市、修武县政府、云台山世界地质公园管委会的大力支持, 焦作市团市委书记李明霖博士多方推动云台地貌研究, 在野外地质考察和研究过程中得到了云台山世界地质公园领导及各部门的大力协助, 在这里一并感谢。

### Acknowledgements:

This study was supported by Jiaozuo, Henan Province (No. M1407), and China Geological Survey (No. 1212010611810).

### 参考文献:

- 高林志, 赵汀, 万渝生, 赵逊, 马寅生, 杨守政. 2005. 河南焦作云台山早前寒武纪变质基底锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 24(12): 1089-1093.
- 李兵. 2018. 云台山中元古界云梦山组沉积环境分析[D]. 北京: 中国地质大学: 21-23.
- 马寅生, 赵逊, 赵希涛, 吴中海, 高林志, 张岳桥, 赵汀, 吴珍汉, 杨守政. 2007. 太行山南缘新生代的隆升与断陷过程[J]. 地球学报, 28(3): 219-233.
- 吴珍汉, 崔盛芹, 吴淦国, 朱大岗, 冯向阳, 马寅生. 2000. 燕山山脉隆升的动力学过程[J]. 地质学报, 74(1): 96.
- 吴中海, 吴珍汉. 2003. 燕山及邻区晚白垩世以来山脉隆升历史的低温热年代学证据[J]. 地质学报, 77(3): 399-406.
- 赵汀, 赵逊. 2005. 自然遗产地保护和发展的理论与实践—以中国云台山世界地质公园为例[M]. 北京: 地质出版社: 256-257.
- 赵逊, 马寅生, 吴中海, 高林志, 赵汀. 2003. 云台山主要景观地学背景研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵逊, 马寅生, 吴中海, 高林志, 赵汀, 赵希涛, 吴珍汉, 杨守政. 2005. 云台山主要景观地学背景研究—云台地貌成因[M]. 北京: 地质出版社: 6-10.
- 赵逊, 马寅生, 吴中海, 赵汀, 高林志, 吴珍汉, 赵希涛. 2008. 云台地貌特征及区域对比研究[M]. 北京: 地质出版社: 10-24.
- 赵逊, 马寅生, 赵汀, 吴珍汉. 2010. 云台地貌与美国大峡谷地貌的对比研究[M]. 北京: 地质出版社: 24-36.
- 赵逊, 赵汀. 2009. 地质公园发展与管理[J]. 地球学报, 30(3): 301-308.
- 郑德顺, 郑伟, 王娟, 吴林, 任振华, 苏振宽, 蒙发强, 王艳伟, 阎纪伟. 2011. 云台山中元古界云梦山组红色砂岩特征及其环境意义[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 30(5): 534-538.
- 郑伟, 齐永安, 刘顺喜, 张洲. 2008. 河南云台山世界地质公园云梦山组波痕类型及其成因分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 27(4): 399-403.

### References:

- GAO Lin-zhi, ZHAO Ting, WAN Yu-sheng, ZHAO Xun, MA Yin-sheng, YANG Shou-zheng. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb age of the Yuntaishan Proterozoic metamorphic basement, Jiaozuo, Henan, China[J]. Geological Bulletin of China, 24(12): 1089-1093(in Chinese with English abstract).
- LI Bing. 2018. Analysis of sedimentary environment to Yunmengshan Formation of Mesoproterozoic in Yuntai Mount[D]. Beijing: China University of Geosciences: 21-23(in Chinese with English abstract).
- MA Yin-sheng, ZHAO Xun, ZHAO Xi-tao, WU Zhong-hai, GAO Lin-zhi, ZHANG Yue-qiao, ZHAO Ting, WU Zhen-han, YANG

Shou-zheng. 2007. The Cenozoic rifting and uplifting process on the southern margin of Taihangshan Uplift[J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(3): 219-233(in Chinese with English abstract).

- WU Zhen-han, CUI Sheng-qin, WU Gan-guo, ZHU Da-gang, FENG Xiang-yang, MA Yin-sheng. 2000. The dynamic process of the uplift of the Yanshan Mountains[J]. Acta Geologica Sinica, 74(1): 96(in Chinese).
- WU Zhong-hai, WU Zhen-han. 2003. Low-temperature thermochronological analysis of the uplift history of the Yanshan Mountain and its neighboring area[J]. Acta Geologica Sinica, 77(3): 399-406(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Ting, ZHAO Xun. 2005. The theory and practice of conservation and development of the natural heritage areas—A case study of Yuntaishan World Geopark[M]. Beijing: Geological Publishing House: 256-257(in Chinese).
- ZHAO Xun, MA Yin-sheng, WU Zhong-hai, GAO Lin-zhi, ZHAO Ting, ZHAO Xi-tao, WU Zhen-han, YANG Shou-zheng. 2005. Study on the geological settings of landscapes in the north of Jiaozuo, Henan—Yuntai Geomorphogeny[M]. Beijing: Geological Publishing House: 6-10(in Chinese).
- ZHAO Xun, MA Yin-sheng, WU Zhong-hai, GAO Lin-zhi, ZHAO Ting. 2003. Research on the main landscape geology background of Yuntai Mountain[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHAO Xun, MA Yin-sheng, WU Zhong-hai, ZHAO Ting, GAO Lin-zhi, WU Zhen-han, ZHAO Xi-tao. 2008. Characteristics and correlation of Yuntai landscapes[M]. Beijing: Geological Publishing House: 10-24(in Chinese).
- ZHAO Xun, MA Yin-sheng, ZHAO Ting, WU Zhen-han. 2010. Correlation study of Yuntai Mountain and Grand Canyon landscapes[M]. Beijing: Geological Publishing House: 24-36(in Chinese).
- ZHAO Xun, ZHAO Ting. 2009. Development and management of geopark[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(3): 301-308(in Chinese with English abstract).
- ZHENG De-shun, ZHENG Wei, WANG Juan, WU Lin, REN Zhen-hua, SU Zhen-kuan, MENG Fa-qiang, WANG Yan-wei, YAN Ji-wei. 2011. Characteristic of red sandstone and its environment significance in Yunmengshan Formation of Mesoproterozoic in Yuntai Mount[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 30(5): 534-538(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Wei, QI Yong-an, LIU Shun-xi, ZHANG Zhou. 2008. Classification and genetic analysis of ripple marks on Yunmengshan Formation of Yuntaishan World Geopark, Henan Province[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 27(4): 399-403(in Chinese with English abstract).

### 图版说明

#### 图版 I Plate I

- 1-板状交错层理; 2-波状层理; 3-波痕;  
4-泥裂; 5 砾岩; 6-砾岩砂岩互层

- 1-tabular cross bedding;  
2-wavy bedding;  
3-ripple marks;  
4-mud cracks;  
5-conglomerate;  
6-interbed of conglomerate and sandstone

图版 I Plate I

