

文章编号: 1000-0550(2017)04-0752-11

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.009

冲积扇沉积向滨岸沉积的转变 ——以华北克拉通南缘中元古界兵马沟组为例

岳亮^{1,2}, 刘自亮³

1. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059
2. 江苏建筑职业技术学院能源学院, 江苏徐州 221116
3. 成都理工大学能源学院, 成都 610059

摘要 中国华北克拉通南缘的前寒武纪沉积地层发育齐全、出露较好, 具有较高的研究价值。但前寒武纪的沉积地层年代久远, 缺少佐证的生物依据, 对沉积环境的判断更多依赖于构造背景、地理环境、岩石类型和沉积构造等, 导致前人研究有较多的争议。以华北克拉通南缘汝阳群兵马沟组为例, 通过精细分析岩石特征、古水流和沉积相, 结合相关地层的区域对比及古地貌的重建, 解释了兵马沟组的沉积成因和环境转换。汝阳群沉积地层不整合覆盖在华北克拉通南缘太古宙变质结晶基底或古元古代熊耳群火山—沉积岩系之上, 兵马沟组作为汝阳群底部的地层单元, 受地形和断裂的明显控制, 接受丰富的物源供给, 发育了一套极具特色的“双层叠加”沉积地层, 代表了从冲积扇沉积到砂砾质滨岸沉积的环境转变, 作为华北克拉通南缘以海相为主控的沉积开端, 具有重要的科学价值。

关键词 兵马沟组; 冲积扇沉积; 滨岸沉积; 元古宇; 华北克拉通南缘

第一作者简介 岳亮, 男, 1986年出生, 博士, 讲师, 沉积学, E-mail: qzyueliang@163.com

通讯作者 刘自亮, 男, 副教授, E-mail: bugliu2001@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

中国华北克拉通是地球上最老的克拉通板块之一, 最老的岩石记录可以追溯到38亿年, 一直是中国前寒武纪地质的研究热点^[1-9]。由于缺乏古地磁和地质约束等基础数据, 其在哥伦比亚超大陆中所处的位置仍存在争议^[10-11]。Zhao *et al.*^[12]和Zhao^[13]推断华北克拉通的东部板块和南印度板块是同一个大陆裂解而来的。依靠熊耳群岩石的高精度古地磁数据, Zhang *et al.*^[14]认为华北克拉通位于低纬度地区, 与印度板块、北澳大利亚板块和西澳大利亚板块相邻。超大陆的聚合和裂解, 与其过渡时期的沉积构造环境联系紧密。Hoffman^[15]认为大陆边缘的裂谷作用和大陆裂离是建立超大陆的最基本前提。而已有的地质资料表明, 华北克拉通和哥伦比亚超大陆的关系密切, 其保留了关于哥伦比亚超大陆的汇聚、增生和裂解的完整记录^[6]。不同于华北克拉通腹地, 其南缘前寒武纪沉积发育较好, 具有重要的研究意义。

在1.85~1.80 Ga 华北克拉通发展为一个稳定且

完整的大陆地台(图1A), 之后开始发育陆内断裂。在华北克拉通南缘则形成了熊耳裂陷槽(也称为晋豫裂陷槽), 其主体在河南省西部和山西省中南部, 标志着华北克拉通伸展—裂解事件的开始, 时间上与哥伦比亚超大陆的裂解事件(1.8~1.2 Ga)接近^[16]。熊耳裂陷槽为三叉裂谷且发育规模应该较大(图1B), 其中两支沿着华北克拉通南缘的断裂带延伸, 另一支朝NE方向延伸至山西省中部地区。熊耳裂陷槽形成之后, 华北克拉通南缘的大地构造活动开始弱化, 进入稳定的沉积盖层发育阶段, 这套稳定的沉积盖层记录了古元古代末期到中元古代从陆相到海相的沉积转变。

研究区出露的中元古代地层主要为汝阳群, 在西南部栾川地区发育官道口群(图1C、图2)。兵马沟组地层为汝阳群的底部, 以富含大量的砾质和砂质碎屑沉积为特征, 叠覆在华北克拉通结晶基底或熊耳群之上, 受控于地形和构造作用, 以致于其分布局限且厚度变化迅速。前人对于兵马沟组及其隶属的汝阳群, 研究程度一般且大多偏重于汝阳群的年代归属和

收稿日期: 2016-09-05; 收修改稿日期: 2016-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472065); 江苏省自然科学基金项目(BK20160208); 中石化前瞻性海相项目共同资助(C0800-07-ZS-164)
[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 40472065; Natural Science Foundation of Jiangsu province, No. BK20160208; China Sinopec, No. C0800-07-ZS-164]

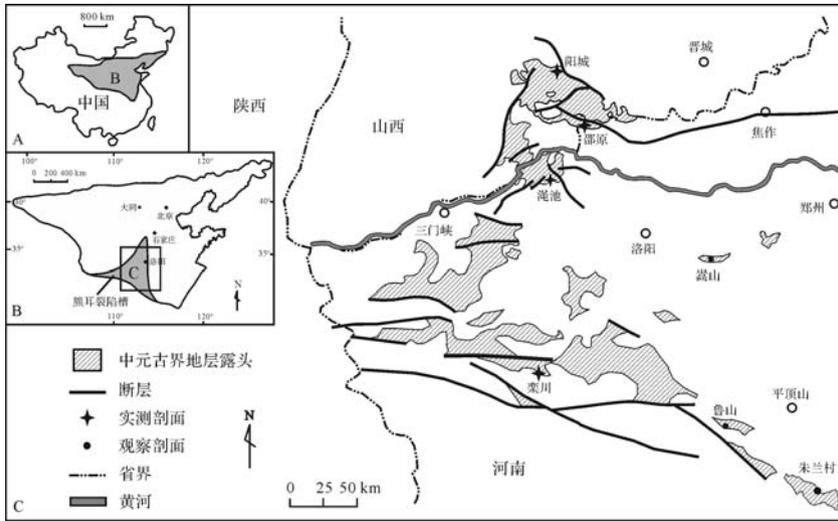


图1 研究区位置及剖面分布

A. 华北克拉通在中国的位置; B. 发育在华北克拉通南缘的熊耳裂陷槽; C. 研究区的地质概况

Fig.1 Location of the study area and distribution of cross-sections

微生物沉积^[1,5,17-19],仅有少数学者从沉积学和地层学角度对汝阳群进行过研究^[20-22],但也大多忽视了汝阳群底部的兵马沟组地层。虽然兵马沟组仅出露在局部地区,但不可忽视其发育的重要性,尤其是作为华北克拉通稳定沉积盖层的开端。而对于兵马沟组的描述,大多数专家仍沿用七八十年代的观点,没有进行系统的研究。由于兵马沟组地层的厚度极不稳定且各地区出露的层位存在差异,导致前人对兵马沟组的沉积成因有不同认识,有学者认为是冲积扇—河流相沉积^[22],或者山麓—河流三角洲—滨海沉积^[23],也有支持是冲积扇沉积^[24-25],但也有学者认为是冲积扇—扇三角洲沉积^[26]。

中元古代与华北克拉通相邻的印度板块^[13-14],发育的 Chattisgarh 超群可识别出由冲积扇沉积到风暴陆棚沉积的环境转变^[27]。挪威南部地区中元古代处于被动大陆边缘的 Rjukan 裂陷盆地,类似熊耳裂陷槽,在古地形、古气候和古构造的控制下发育了典型的冲积扇沉积^[28]。

本文通过野外地质调查、岩石特征观察、沉积相分析和沉积古地理研究,对兵马沟组地层的沉积成因进行了分析,并探讨了华北克拉通南缘元古宙早期沉积盆地的古地貌环境、物质来源和构造演化,为该区地层层序的对比和划分提供依据,进而为华北克拉通南缘乃至哥伦比亚超大陆演化的研究提供新的证据。

1 区域地质背景

河南省西部和山西省南部的元古宙沉积地层出

露较好且分布广泛,利于区域追索和对比。前人对于该区提出了较多的地层划分方案^[5,29-30],一般划分为三个地层小区:澠池—确山地层小区、嵩箕地层小区、熊耳山地层小区。澠池—确山地层小区发育汝阳群,其底界地层单位旧称小沟背组;嵩箕地层小区发育五佛山群,其底界地层单位称兵马沟组;熊耳山地层小区发育官道口群,其底界地层单位称高山河组。小沟背组与兵马沟组相当^[31],为同物异名,建议废除^[32]。

中元古界汝阳群厚度达数千米,主要由砾岩、砂岩和泥岩组成,局部发育有灰岩和白云岩。兵马沟组属于汝阳群的底部,不整合覆盖在太古宙登封群或元古界熊耳群之上(图2),但兵马沟组地层分布局限,仅出露在邵原、澠池、嵩山、鲁山和朱兰村等地区(图1C),其他地区的汝阳群均缺失兵马沟组。经过分析,兵马沟组的分布受构造控制作用异常明显,其主要发育在熊耳裂陷槽NE分支的东部地区,其他地区未有发现。

虽然兵马沟组地层的分布局限且厚度变化迅速,但仍有一定的规律可循。邵原地区的兵马沟组地层厚度可达872.1 m,是该组在研究区的最大厚度,其西南方向澠池地区地层厚度减薄至164.8 m;嵩山地区的兵马沟组地层厚度为566 m,向南追索至鲁山地区的兵马沟组地层厚度变薄至39 m;研究区最南部的朱兰店地区该地层厚度仅为25 m。华北克拉通南缘的地势整体北高南低,在嵩山地区存在古隆起^[33],在其物源供给范围内的邵原地区、澠池地区和嵩山地区

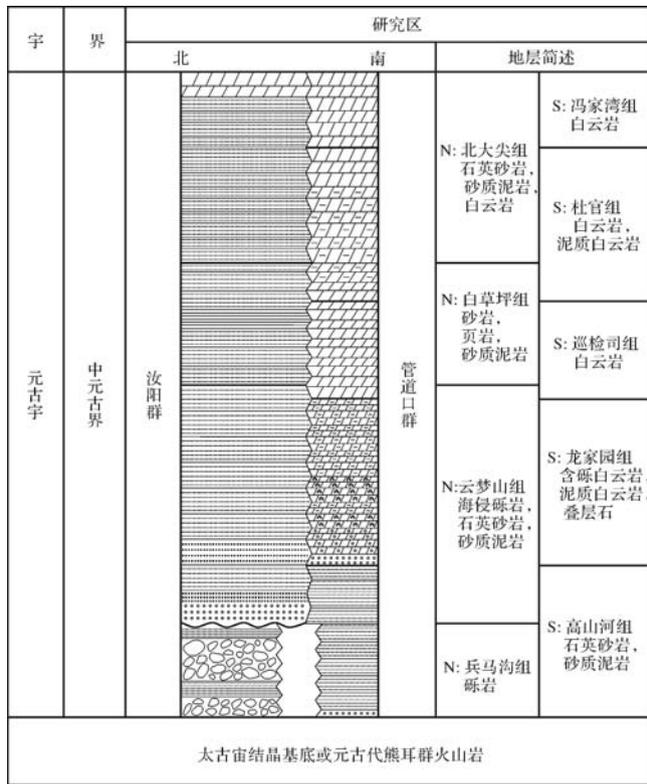


图2 研究区区域地层柱状图^[31]

Fig.2 Simplified regional stratigraphic column in the study area

的兵马俑组沉积地层厚度巨大,反之远离隆起区的鲁山地区和朱兰村地区的地层厚度较小。各地区地层中的砾岩成分复杂,来源为太古界登封群的片麻岩和古元古代的岩浆岩和变质石英岩等。自北向南,兵马俑组沉积地层逐渐变薄,可能受地形降低和物源减少的影响,特别是鲁山和朱兰村地区,仅发育兵马俑组上部的海相沉积地层,缺失下部的冲积扇沉积。从分布范围上看,海相沉积覆盖全区,而冲积扇沉积仅在邵原、澠池和嵩山地区可见。

2 沉积相分析和解释

选取研究区的4条主要剖面(阳城、邵原、澠池和栾川)和3条观察剖面(嵩山、鲁山和朱兰村)(图1C),除阳城和栾川外,其他地区均发育有兵马俑组地层,以下将重点描述邵原地区和澠池地区(图3)的兵马俑组地层剖面。

邵原地区的兵马俑组地层厚度可达870多米,为研究区出露的最大厚度(图3),该地层主要由砾岩、含砾砂岩、粗—细粒砂岩、粉砂岩和泥页岩组成。根据岩性、沉积构造、古水流等方法,可识别出两种沉积环境,并依此划分为两段,下段为冲积扇陆相沉积,上

段为砂质滨岸海相沉积。澠池地区兵马俑组的地层厚度为165 m(图3),与邵原地区的兵马俑组特征相似,也可划分为两个沉积环境单元,下部为冲积扇沉积,但其地层厚度和所含砾石的粒度都相对小于邵原地区,应更靠近冲积扇的边缘,砂泥质地层的沉积比例更高;上部为滨岸沉积,以海侵底砾岩为底界,向上为典型的海相沉积,可见广泛发育的斜层理、交错层理和冲洗层理,并发育有海绿石沉积层。

古水流是确定盆地边缘、物源区位置、古斜坡方向、砂岩体延伸方向的重要标志^[34-35]。本文的古水流数据主要收集于大型斜层理、槽状交错层理和砾石叠瓦状构造,分析方法见 High *et al.*^[36]和 Ramsay^[37]。邵原地区和澠池地区的数据结果表明,古流向主要集中在NE方向,为单峰型,呈扇状展布,也表明了主要的物源来自华北克拉通^[21-22]。

碎屑沉积岩的粒度分布及其组合特征是判断沉积环境和水动力条件的良好指标,其中应用广泛且效果较好的方法是分析碎屑物的粒度参数及粒度概率累计曲线^[38-40]。郑德顺等^[26]对兵马俑组硅质碎屑沉积物的标本进行粒度分布特征分析,认为兵马俑组为水动力较强且近源堆积的冲积扇沉积环境。

2.1 冲积扇沉积相组合

冲积扇沉积相组合,占主要剖面(邵原和澠池)的70%及以上,不整合覆盖在华北克拉通变质基底或熊耳群之上,在邵原、澠池和嵩山地区均有发育。冲积扇沉积相由3种相构成。

2.1.1 相A: 颗粒支撑和基质支撑砾岩相

该相的特征是成熟度较低,分选较差且少见原生沉积构造(图4A~D)。岩层的上下界面大多平行,局部因发育冲刷面而呈波浪状。砾岩颜色为灰褐色或紫红色,厚度一般为中至巨厚层(0.3 m到5 m)。所含砾石的粒径大小不一,从2 cm到50 cm,由棱角状到次圆状,无明显的定向排列。而基质支撑砾岩为典型的泥石流沉积,丰富的泥质基质保证了高孔隙压力致使砾石漂浮其中,砾石长轴方向多与层面平行(图4C)。泥石流一般有陡峭的前端且富含泥浆和粗碎屑,流速低于主体并可能拖慢主体速度,可以形成巨厚的堆积^[41-42],从而兵马俑组冲积扇沉积下段发育有巨厚的砾岩沉积层。颗粒支撑砾岩与上覆的基质支撑砾岩之间为渐变过程,但基质支撑砾岩向含砾砂岩转变的过程中,有时则突变为颗粒支撑砾岩。

冲积扇沉积作为粒度最大的碎屑沉积相,以巨厚砾岩层为主要特征。前人将此相识别为河流相的河

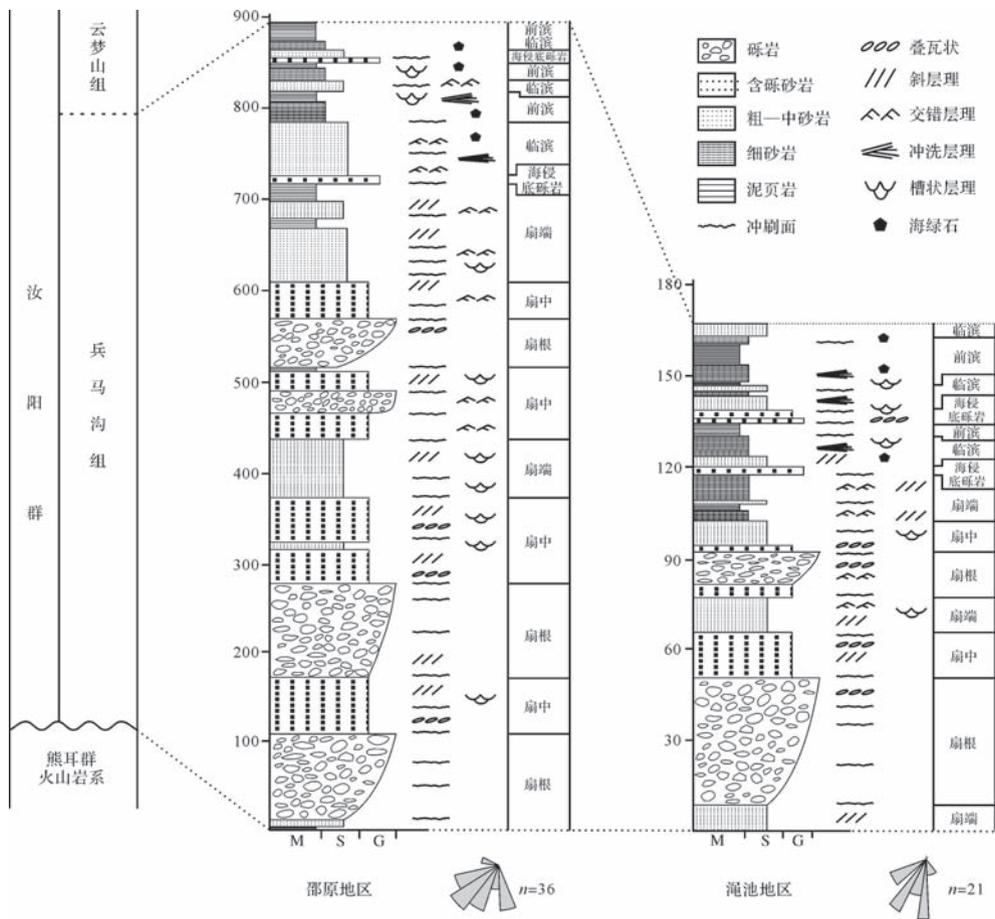


图3 邵原地区和澠池地区兵馬沟组綜合柱狀圖

M.泥質;S.砂質;G.砾質

Fig.3 The column of the Bingmagou Formation, Shaoyuan area and Mianchi area

床沉积,用来解释兵馬沟组地层分布的局限性和厚度的急剧变化的原因,但却不能合理解释砾质沉积厚达几十米甚至数百米。这种以紫红色为主,分选差,成熟度低,沉积厚度大的沉积特征,表明碎屑物的充分暴露,属近源堆积,更符合冲积扇的沉积特征。

2.1.2 相B:含砾砂岩—中粗粒砂岩相

含砾砂岩主要呈紫红色或灰黄色,一般为薄层至厚层(0.1~2 m),所含砾石成分复杂,大小不一(1~5 cm),棱角状至圆状,部分可见叠瓦状排列(图4E,F,H)。含砾砂岩层底界面多为冲刷面,可见砾石沿冲刷面堆积、排列;层内发育斜层理、楔状及槽状交错层理,砾石长轴方向多与层理面平行。含砾砂岩层整体显示正粒序沉积序列,向上碎屑颗粒的粒径逐渐减小,过渡到砂岩层;局部突变至砂岩层,但岩层横向延伸有限。中粗粒砂岩主要有两种类型:一种是由含砾砂岩层过渡而来,岩层内部广泛发育斜层理、楔状及槽状交错层理,横向连续性较好;另一种则是内部没

有明显沉积构造,呈层状产出,偶见平行层理,薄层一般不连续,横向延伸短,有时呈透镜体产出。

此类型主要存在冲积扇沉积的中上段,代表冲积扇内部水流水动力变化影响下的碎屑沉积模式。水动力较强时,易形成泥石流沉积或内部沉积构造丰富的砂岩层,水动力较弱时则会形成内部没有显著分层的砂岩层,更弱的时候变为安静水体而发育细粒沉积,这种状况一般归因于重力流的稀释作用,体现流体层状搬运和堆积的特征^[43-45]。层理丰富的中粗粒砂岩,可以归因于水下产生的高黏性碎屑流或者单向片流等^[46]。

2.1.3 相C:细粒沉积相

该相包含了冲积扇沉积中所有的细粒砂岩、粉砂岩和泥页岩(图4G,I,J,K),岩石颜色为红褐色或灰黄色,地层厚度一般为20 cm~2 m,层内缺乏交错层理及其他沉积构造,偶见水平层理。砂质岩多与泥质岩互层(图4G),向上有泥质含量呈增加的趋势,这

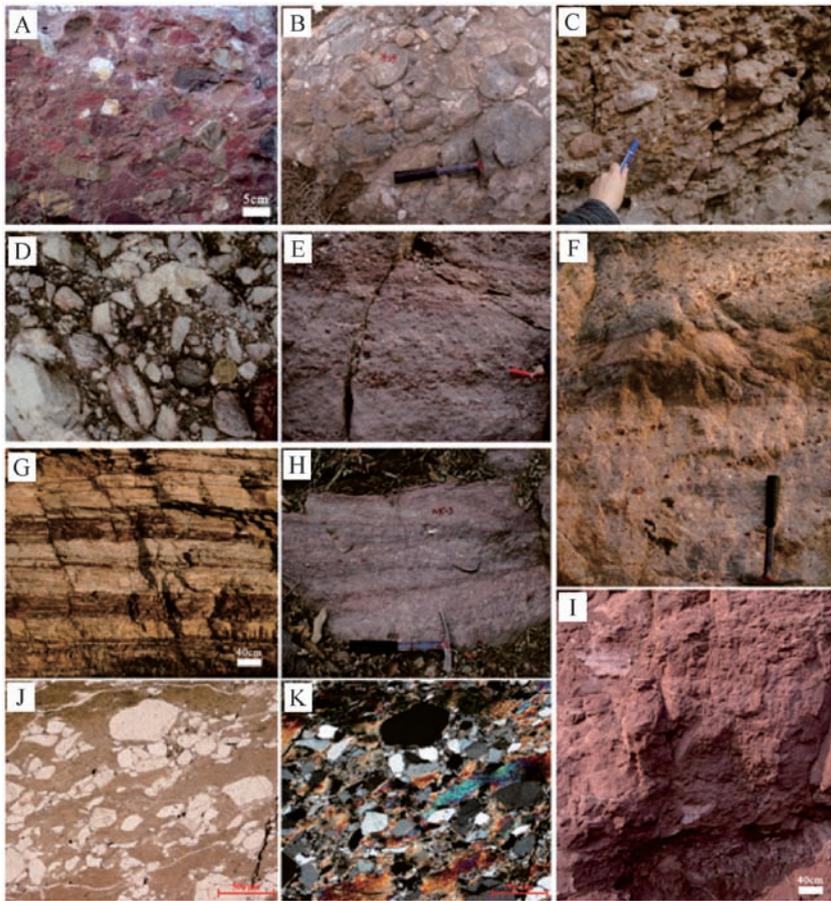


图4 邵原及澠池地区兵马沟组岩石野外露头及镜下特征

A, B. 邵原地区的颗粒支撑砾岩, 砾石成分复杂, 粒度大小不一, 分选差, 磨圆差, 无明显的沉积构造; C. 澠池地区的基质支撑砾岩, 可见砾石定向排列, 长轴方向与层面平行; D. 澠池地区的颗粒支撑砾岩, 砾石多为石英岩, 夹有片麻岩, 无明显的沉积构造; F. 邵原地区的含砾砂岩, 可见含砾砂岩层和层状砂岩互层, 其中所含砾石定向排列; E, H. 澠池地区的含砾砂岩, 可见砾石成分复杂, 沿冲刷面或层面排列; H. 可见楔状层理, 层内纹层单向倾斜; G. 紫红色泥页岩和灰褐色细粒泥质砂岩互层, 邵原地区; I. 澠池地区的红色砂质泥岩; J, K. 泥质砂岩的微观特征, 基质支撑, 可见石英颗粒长轴定向排列, 石英颗粒棱角状至圆状, 分选较差; J. 为单偏光, K. 为正交偏光。

Fig.4 The outcrop characteristics and microcharacteristics of rocks of Bingmagou Formation, Shaoyuan Section and Mianchi Section

种大量细粒碎屑沉积应代表着较长周期稳定水体环境下悬浮砂质和泥质的垂直沉降^[47-48]。

富含碎屑的流体, 一般由机械强度高的基底层和上覆液流组成, 作为基底的砾质碎屑不断沉积, 其上的液流则在前端或侧端形成砂体层^[49], 解释了冲积扇的正粒序沉积序列的成因, 因此细粒均质沉积多发育在沉积旋回的上部(图3)。但细粒沉积的顶底界面也可以突变为含砾砂岩, 指示着远端扇表面的片流沉积。

2.2 滨岸沉积相组合

滨岸沉积地层一般发育在兵马沟组的上部, 其分布范围要大于冲积扇的分布范围, 在邵原、澠池、嵩山、鲁山和朱兰村等地区均有出露, 其中朱兰村地区的兵马沟组滨岸沉积直接覆盖在熊耳群之上, 缺失冲

积扇沉积单元。滨岸沉积相组合可以识别出3个相。

2.2.1 相D: 海侵底砾岩—含砾砂岩相

该相主要由海侵底砾岩和含砾砂岩组成。与兵马沟组的冲积扇砾质沉积不同的是, 该相所含砾石的成分虽然复杂, 但其中泥质砾屑的比例较大, 且砾石的整体粒度较小, 大约0.5 cm到2 cm。层内层理发育, 可见斜层理、交错层理和冲洗层理等; 常见冲刷面, 砾石沿冲刷面或者纹层方向定向排列。

海侵底砾岩多覆盖在冲积扇沉积上段的砂岩层或泥页岩层之上, 接触面多为大型的冲刷面。砾石成分以石英质和泥质为主, 石英质砾石代表着陆源碎屑的涌入或者原冲积扇砾质沉积的再搬运, 所以整体粒度较小且磨圆度较高(图5A); 而泥质砾石则可能是海侵对原冲积扇砂泥质沉积的侵蚀和运移, 所以泥质

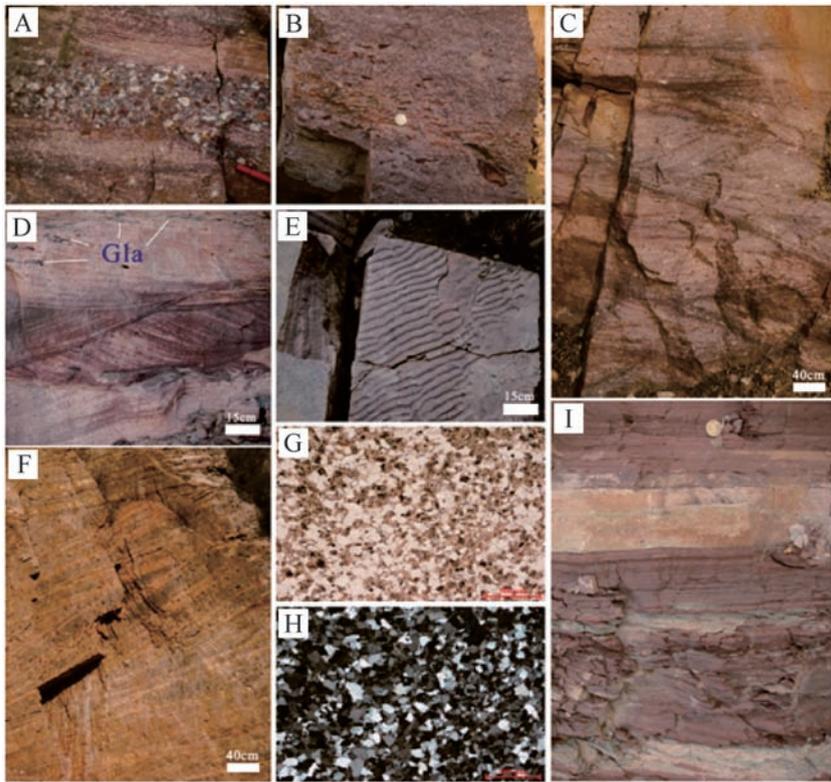


图5 滏池地区和邵原地区兵马沟组岩石野外露头及镜下特征

A.粗砂岩与砾岩互层,砾岩中砾石成分复杂,以石英质和泥质砾石为主,总体粒度较小,磨圆较好,但泥质砾石的磨圆一般;B.含砾粗砂岩,砾石成分以泥砾为主,定向排列,长轴方向平行于冲刷面;C.邵原地区的含砾粗砂岩,往复交叉状的交错层理;D.滏池地区的中—细粒砂岩,槽状交错层理和平行层理,上部可见海绿石, Gla=Glauconite;E.鲁山地区的细砂岩,砂岩层面上音叉状波痕;F.滏池地区的中—细粒砂岩,低角度的冲洗层理;G, H.邵原地区滨岸砂岩的镜下特征,富含石英,成熟度较高,分选较好,石英颗粒次圆状到圆状;I.红色的砂质泥岩中夹有薄层的粉砂岩,可见呈层状或透镜状产出的海绿石沉积。

Fig.5 The outcrop and microcharacteristics characteristics of rocks of Bingmagou Formation, Mianchi Section and Shaoyuan Section

砾石的磨圆较差,代表着近距离或原地的再沉积(图5B)。

2.2.2 相E:复合层理砂岩相

该相主要由紫红色或灰黄色的长石石英砂岩、石英砂岩或泥质砂岩组成,多为薄层或中厚层,有明显侵蚀界面,广泛发育冲刷面和充填构造,可见平行层理、交错层理和冲洗层理,广泛发育脉状、透镜状砂层理和束状层理,多与砂泥岩互层构成韵律层。发育漂浮状产出的砾石,但砾石的粒径较小(小于2 cm)。部分层中含海绿石及铁质结核,层面可见波痕。

前寒武纪滨岸沉积以高成熟度、分选好的砂岩为特征,其主要的沉积构造有丘状交错层理、洼状交错层理、羽状交错层理、平行层理和槽状及板状交错层理^[50-54]。在研究区兵马沟组发育的砂岩地层中存在大量典型的沉积构造,如复合的交错层理及切断活化的层面(图5C, F)、羽状交错层理和代表海相沉积的海绿石(图5D)、音叉状分叉的层面波痕(图5E)

等,证明兵马沟组上部地层为海相沉积。

2.2.3 相F:泥页岩相

该相包含粉砂质和泥质沉积,通常呈紫红色,由均匀的泥岩、砂质泥岩或粉砂岩构成横向延伸的薄层或中厚层,代表了相对安静、暴露的沉积环境(图5I)。一般位于正粒序层序的上部,部分单元中可见砂岩或含砾砂岩的夹层,有时可见含海绿石沉积,呈层状横向延伸。

3 讨论

3.1 沉积演化

华北克拉通南缘熊耳裂隙槽的产生和熊耳群的发育(年龄约为1.8~1.75 Ga)^[13,55-57],是中—新元古代华北克拉通南缘伸展—裂解事件的产物,同时响应了哥伦比亚超大陆的裂解。已有研究表明,中元古代的汝阳群发育在被动大陆边缘环境,年龄不早于1.7 Ga,以硅质碎屑—碳酸盐岩沉积为主^[6]。从地理

方位上看,栾川、滎池、邵原和阳城地区由南向北分布在熊耳裂隙槽的 NE 分支(图 1B,C),栾川地区更接近熊耳裂隙槽的中心,靠近华北克拉通的南缘,是最先遭到海水侵入的地区,也是海侵后期水深最大的地区。对于滎池、邵原和鲁山地区,一方面受当时北高南低地势的影响,另一方面处于熊耳裂隙槽的断裂带上且受控制作用明显,发育了兵马沟组下部的冲积扇

沉积地层,虽然构造作用可能不是冲积扇形成的主要因素^[58-59],但对于冲积扇沉积的沉积学特征、扇体形状和沉积物厚度的影响却不能忽视。

兵马沟组作为汝阳群的底部地层,仅出露于邵原、滎池、嵩山、鲁山和朱兰村等地区,在阳城和栾川地区并没有发育(图 6)。因断裂的长期活动,重力流的广泛发育,形成了兵马沟组冲积扇的超厚砾质沉积

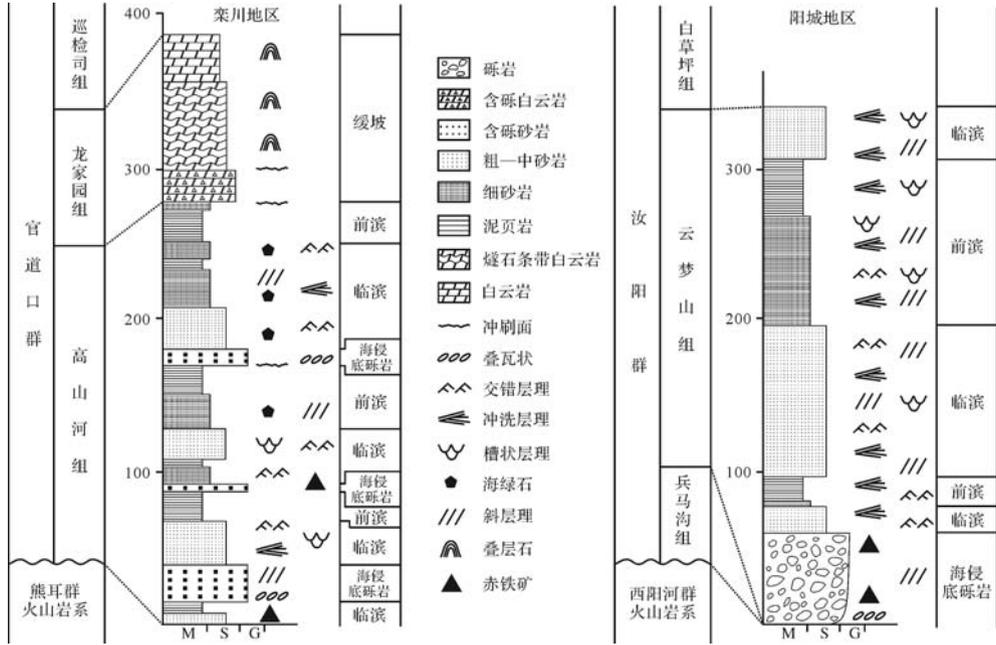


图 6 栾川地区和阳城地区地层剖面综合柱状图

Fig.6 The column section of Luanchuan area and Yangcheng area

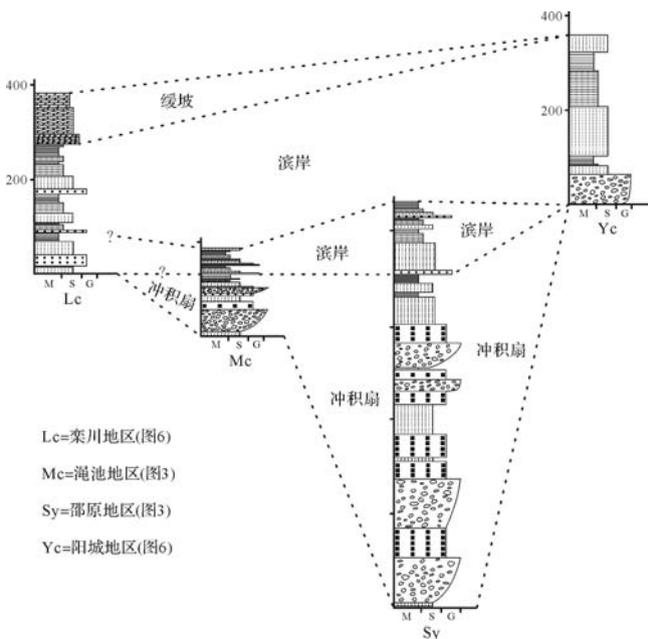


图 7 华北克拉通南缘兵马沟组地层对比和沉积相演化

Fig.7 Stratigraphic correlation and sedimentary facies evolution of Bingmagou Formation, the southern margin of the north China craton

和扇形辐射状沉积特征^[26]。随着海水的侵入,兵马沟组地层上部则开始发育海相滨岸沉积地层。兵马沟组发育时期,阳城地区处于较高的稳定地形,受风化剥蚀而作为碎屑物源区存在,直到后期海水侵入才发育了兵马沟组上部的云梦山组滨岸沉积地层。

因底部发育有相似火山岩夹层,前人多将高山河组和云梦山组进行对比,但其底界年龄仍存有疑问^[31,60]。同为海相沉积且不整合覆盖熊耳群火山岩之上的高山河组和云梦山组进行地层对比,是毋庸置疑的。但是在发育兵马沟组的地区,兵马沟组上部的海相地层是否可以与高山河组的下部地层进行部分对比(图 7)? 位于华北克拉通南缘的栾川地区最先接受海侵,而发育的高山河组地层,是否应该比内陆地区发育的云梦山组地层更早一些?

3.2 沉积模式

中元古代早期,海水侵入熊耳裂隙槽,但范围有限,仅发育在华北克拉通南缘的边缘地带。如图 8A,

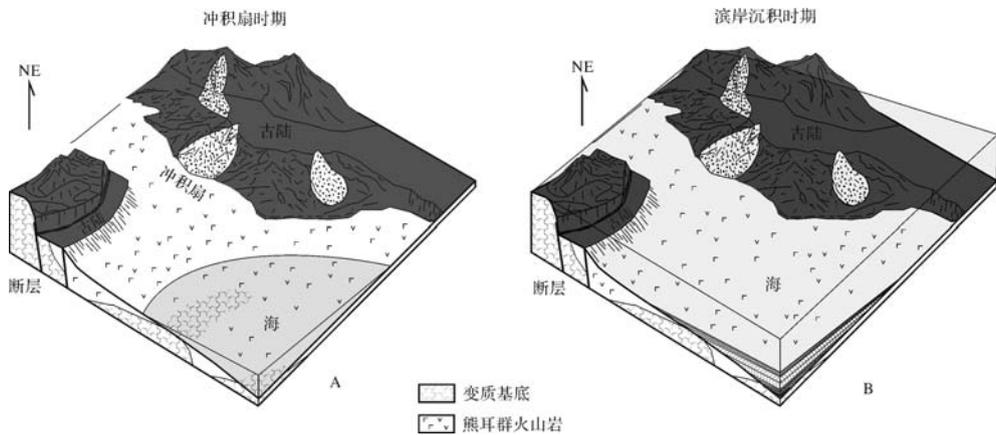


图8 华北克拉通南缘兵马沟组沉积模式

A. 兵马沟组冲积扇发育时期; B. 兵马沟组滨岸发育时期

Fig.8 Sedimentary model of Bingmagou Formation, southern margin of the north China craton

栾川地区为海相滨岸带,而沿裂隙槽 NE 分支的依次延伸的鲁山、澠池、邵原和澠池地区皆为隆起区。受断裂和地形的影响,发育了具有典型近源快速堆积特征的冲积扇沉积,地层厚度巨大,碎屑沉积物分选和磨圆差,平均粒径较大,成分复杂。兵马沟组冲积扇地层在空间上展布范围较小且呈辐射状延伸,受华北克拉通南缘北高南低的地势影响,从东北向西南展布并尖灭。

之后,随着持续的海侵,大部分地区由陆相转为海相,从而发育了兵马沟组上部的滨岸沉积地层(图 8B)。由冲积扇沉积到滨岸沉积的变化,可识别的转换界面是海侵滞留砾岩层的底部界面。滨岸沉积的砾岩层厚度相对较小,砾石的粒径较小、磨圆较好,向上的砂岩层中发育海相典型的双向交错层理、束状层理和冲洗层理,而不同于下部冲积扇沉积的单向层理;也见大量波痕发育,砂岩层或泥岩层中的海绿石沉积。另外,滨岸沉积地层空间展布范围较大,可以进行区域追索和对比。

总的来说,在发育范围方面,兵马沟组下部冲积扇沉积地层要小于上部滨岸沉积地层。原因是冲积扇沉积受构造和地形的控制作用明显,仅部分地区存在;随着后期海水的侵浸,海相沉积的范围要远大于前期的冲积扇沉积,从而导致在朱兰村地区仅可见到兵马沟组地层上部的滨岸沉积。

4 结论

对于前寒武系沉积地层的环境识别,更多借助于岩石特征和沉积构造的变化,也就是沉积学和地层学的理论推断和验证。当然,实验和测试也是一个有效

的手段,比如粒度分析、典型元素的含量、矿物特征等,同样有甄别古环境的作用。

兵马沟组作为华北克拉通结晶基底或古元古代熊耳群之上的第一套沉积地层,发育年龄不早于 1.7 Ga,代表着华北克拉通南缘伸展事件之后稳定沉积的开始,甚至可能是哥伦比亚超大陆开始裂解的沉积响应。随着华北克拉通南缘熊耳裂陷槽的形成和发展,海水的持续侵入,兵马沟组的沉积环境也由陆相的冲积扇沉积转变为海相砂砾质滨岸沉积。不过,受熊耳裂陷槽东部地区的局部隆起和华北克拉通南缘地形北高南低的影响,兵马沟组的冲积扇沉积仅发育在邵原、澠池、鲁山和嵩山等地区,其他地区未见。后期海侵形成的砂砾质滨岸沉积覆盖全区,但栾川地区最早接受海相沉积,在兵马沟组冲积扇时期就为海相滨岸沉积,兵马沟期后的云梦山期转变为碳酸盐岩缓坡沉积的较深水环境;阳城地区无兵马沟组沉积,云梦山组地层直接覆盖在华北克拉通变质基底或熊耳群火山岩之上。综上,这种特殊的环境转变形成了兵马沟组独特的“双层叠加”沉积特征。

参考文献 (References)

- [1] 高林志,尹崇玉,王自强. 华北地台南缘新元古代地层的新认识 [J]. 地质通报, 2002, 21(3): 130-135. [Gao Linzhi, Yin Chongyu, Wang Ziqiang. New view of the Neoproterozoic Strata on the southern margin of the North China Platform[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(3): 130-135.]
- [2] Lu S N, Zhao G C, Wang H C, et al. Precambrian metamorphic basement and sedimentary cover of the North China Craton: a review [J]. Precambrian Research, 2008, 160(1/2): 77-93.
- [3] Zhao G C, He Y H, Sun M. The Xiong'er volcanic belt at the

- southern margin of the North China Craton: petrographic and geochemical evidence for its outboard position in the Paleo-Mesoproterozoic Columbia Supercontinent [J]. *Gondwana Research*, 2009, 16(2): 170-181.
- [4] Zhai M G, Santosh M. The Early Precambrian odyssey of the North China Craton: a synoptic overview [J]. *Gondwana Research*, 2011, 20(1): 6-25.
- [5] 苏文博,李怀坤,徐莉,等. 华北克拉通南缘洛峪群—汝阳群属于中元古界长城系—河南汝州洛峪口组层凝灰岩锆石 LA-MC-ICPMSU-Pb 年龄的直接约束 [J]. *地质调查与研究*, 2012, 35(2): 96-108. [Su Wenbo, Li Huaikun, Xu Li, et al. Luoyu and Ruyang group at the south margin of the North China Craton (NCC) should belong in the Mesoproterozoic Changchengian System: direct constraints from the LA-MC-ICPMS U-Pb age of the Tuffite in the Luoyoukou Formation, Ruzhou, Henan, China [J]. *Geological Survey and Research*, 2012, 35(2): 96-108.]
- [6] 胡国辉,赵太平,周艳艳,等. 华北克拉通南缘中—新元古代沉积地层对比研究及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2013, 29(7): 2491-2507. [Hu Guohui, Zhao Taiping, Zhou Yanyan, et al. Meso-Neoproterozoic sedimentary formation in the southern margin of the North China Craton and its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(7): 2491-2507.]
- [7] 翟明国,胡波,彭澎,等. 华北中—新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件 [J]. *地学前缘*, 2014, 21(1): 100-119. [Zhai Mingguo, Hu Bo, Peng Peng, et al. Meso-Neoproterozoic magmatic events and multi-stage rifting in the NCC [J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(1): 100-119.]
- [8] Zhai M G, Hu B, Zhao T P, et al. Late Paleoproterozoic-Neoproterozoic multi-rifting events in the North China Craton and their geological significance: a study advance and review [J]. *Tectonophysics*, 2015, 662: 153-166.
- [9] Li Y, Peng P, Wang X P, et al. Nature of 1800-1600 Ma mafic dyke swarms in the North China Craton: implications for the rejuvenation of the sub-continental lithospheric mantle [J]. *Precambrian Research*, 2015, 257: 114-123.
- [10] Zhao G C, Sun M, Wilde S A, et al. Some key issues in reconstructions of Proterozoic supercontinents [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 28(1): 3-19.
- [11] Zhang S H, Zhao Y, Santosh M. Mid-Mesoproterozoic bimodal magmatic rocks in the northern North China Craton: implications for magmatism related to breakup of the Columbia supercontinent [J]. *Precambrian Research*, 2012, 222-223: 339-367.
- [12] Zhao G C, Sun M, Wilde S A. Correlations between the eastern block of the north China Craton and the south Indian block of the Indian Shield: an Archaean to Palaeoproterozoic link [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122(1/2/3/4): 201-233.
- [13] Zhao G C. *Precambrian Evolution of the North China Craton* [M]. Oxford: Elsevier, 2013: 149-157.
- [14] Zhang S H, Li Z X, Evans D A D, et al. Pre-Rodinia supercontinent Nuna shaping up: a global synthesis with new paleomagnetic results from North China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2012, 353-354: 145-155.
- [15] Hoffman P F. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? [J]. *Science*, 1991, 252(5011): 1409-1412.
- [16] Hu G H, Zhao T P, Zhou Y Y. Depositional age, provenance and tectonic setting of the Proterozoic Ruyang Group, southern margin of the North China Craton [J]. *Precambrian Research*, 2014, 246: 296-318.
- [17] 马国干. 河南省西部晚前寒武纪海绿石 K-Ar 测年 [C]//中国地质科学院宜昌地质矿产研究所文集. 1980, 1(2): 14-21. [Ma Guogan. The glauconitic K-Ar age of Late Precambrian in the west of Henan province [C]//Yichang Geology Minerals Research Institute Branch of Gazette of Chinese Academy of Geological Science. 1980, 1(2): 14-21.]
- [18] Yin L M. Acanthomorphic acritarchs from Meso-Neoproterozoic shales of the Ruyang Group, Shanxi, China [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1997, 98(1/2): 15-25.
- [19] 高林志,张传恒,尹崇玉,等. 华北古陆中、新元古代年代地层框架 SHRIMP 锆石年龄新依据 [J]. *地球学报*, 2008, 29(3): 366-376. [Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Yin Chongyu, et al. SHRIMP zircon ages: basis for refining the chronostratigraphic classification of the Meso- and Neoproterozoic Strata in North China old land [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2008, 29(3): 366-376.]
- [20] 关保德,吕国芳,王耀霞. 河南省地台区中—晚元古代构造沉积盆地演化分析 [J]. *河南地质*, 1993, 11(3): 181-191. [Guan Baode, Lv Guofang, Wang Yaoxia. The tectono-sedimentary basin evolution of the Middle and Late Proterozoic Age in Henan Platform [J]. *Henan Geology*, 1993, 11(3): 181-191.]
- [21] 周洪瑞,王自强,崔新省. 华北地台南部中新元古界层序地层研究 [M]. 北京:地质出版社, 1999: 5-8. [Zhou Hongrui, Wang Ziqiang, Cui Xinxing. Study on sequence stratigraphy of the Mesoproterozoic and Neoproterozoic in the southern margin of the North China Platform [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 5-8.]
- [22] 黄秀,周洪瑞,王自强,等. 豫西地区中元古代蕲县纪沉积相 [J]. *古地理学报*, 2008, 10(6): 589-598. [Huang Xiu, Zhou Hongrui, Wang Ziqiang, et al. Sedimentary facies of the mesoproterozoic Jixianian in western Henan province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(6): 589-598.]
- [23] 张元国,陈雷,刘长乐. 河南鲁山地区中元古代兵马沟组的发现及其地质意义 [J]. *地质通报*, 2011, 30(11): 1716-1720. [Zhang Yuanguo, Chen Lei, Liu Changle. The discovery of the middle Proterozoic Bingmagou Formation in Lushan county, Henan province, and its significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(11): 1716-1720.]
- [24] 孙枢,从柏林,李继亮. 豫陕中—晚元古代沉积盆地(一) [J]. *地质科学*, 1981, 16(4): 314-322. [Sun Shu, Cong Bolin, Li Jiliang. Evolution of the Henan-Shanxi sedimentary basin of the Middle and Late Proterozoic Age (part 1) [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1981, 16(4): 314-322.]
- [25] 孙枢,陈志明,王清晨. 豫陕中—晚元古代沉积盆地(二) [J]. *地质科学*, 1982, 17(1): 5-12. [Sun Shu, Chen Zhiming, Wang

- Qingchen. Evolution of the Henan-Shanxi sedimentary basin of the Middle and Late Proterozoic Age (part 2) [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1982, 17(1): 5-12.]
- [26] 郑德顺,王鹏晓,孙凤波. 豫西济源中元古界兵马沟组沉积环境分析[J]. *地质科技情报*, 2016, 35(1): 1-7. [Zheng Deshun, Wang Pengxiao, Sun Fengbo. Sedimentary environment of Mesoproterozoic Bingmagou Formation in Jiyuan, western Henan province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2016, 35(1): 1-7.]
- [27] Chakraborty P P, Sarkar A, Das K, et al. Alluvial fan to storm-dominated shelf transition in the Mesoproterozoic Singhora Group, Chattisgarh Supergroup, Central India[J]. *Precambrian Research*, 2009, 170(1/2): 88-106.
- [28] Köykkä J. Precambrian alluvial fan and braidplain sedimentation patterns: example from the Mesoproterozoic Rjukan Rift Basin, southern Norway [J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 234(1/2/3/4): 89-108.
- [29] 关保德,耿宇辰,戎治权,等. 河南省东秦岭北坡中—上元古界[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1988:41-49. [Guan Baode, Geng Wuchen, Rong Zhiquan, et al. The Middle and Upper Proterozoic in the northern slope of the East Qinling ranges [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1988: 41-49.]
- [30] 陈晋镛,张鹏远,高振家,等. 中国地层典—中元古界[M]. 北京:地质出版社,1999:1-89. [Chen Jinbiao, Zhang Pengyuan, Gao Zhenjia, et al. Stratigraphic dictionary of China (Meso-Proterozoic) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1-89.]
- [31] 赵太平,邓小芹,胡国辉,等. 华北克拉通古/中元古代界线和相关地质问题讨论[J]. *岩石学报*, 2015, 31(6): 1495-1508. [Zhao Taiping, Deng Xiaoqin, Hu Guohui, et al. The Paleoproterozoic-Mesoproterozoic boundary of the North China Craton and the related geological issues: a review [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(6): 1495-1508.]
- [32] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989. [He'nan Bureau of Geo-exploration & Mineral Development. Regional geology of Henan province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.]
- [33] 左景勋. 河南箕山地区中元古界五佛山群沉积环境及岩相古地理特征[J]. *地质科技情报*, 2002, 21(3): 30-34. [Zuo Jingxun. Characteristic of lithofacies paleogeography and sedimentary environment of the Middle Proterozoic Wufushan Group in Jishan area, Henan province, China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2002, 21(3): 30-34.]
- [34] Klein G D V. Paleocurrent analysis in relation to modern marine sediment dispersal patterns [J]. *AAPG Bulletin*, 1967, 51(3): 366-382.
- [35] Miall A D. Paleocurrent analysis of alluvial sediments: a discussion of directional variance and vector magnitude [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1974, 44(4): 1174-1185.
- [36] High L R, Picard M D, Jr. Reliability of cross-stratification types as Paleocurrent indicators in fluvial rocks [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1974, 44(1): 158-168.
- [37] Ramsay J G. The effects of folding upon the orientation of sedimentation structures [J]. *The Journal of Geology*, 1961, 69(1): 84-100.
- [38] Mason C C, Folk R L. Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1958, 28(2): 211-226.
- [39] Glaister R P, Nelson H W. Grain-size distributions, an aid in facies identification [J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1974, 22(3): 203-240.
- [40] Friedman G M. Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins: addendum to IAS Presidential Address [J]. *Sedimentology*, 1979, 26(6): 859-862.
- [41] Pierson T C. Flow behavior of channelized debris flows, Mount St. Helens, Washington [M]//Abrahams A D. *Hillslope Processes*. Boston: Allen & Unwin, 1986: 269-296.
- [42] Wan Z H, Wang Z Y, Julien P Y. Hyperconcentrated flow [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1994, 120(10): 1234-1234.
- [43] Enos P. Flow regimes in debris flow [J]. *Sedimentology*, 1977, 24(1): 133-142.
- [44] Nemeč W, Steel R J. Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits [M]//Koster E H, Steel R J. *Sedimentology of Gravels and Conglomerates 10*. Canadian Society of Petroleum, 1984, 10: 1-31.
- [45] Major J J. Depositional processes in large-scale debris-flow experiments [J]. *The Journal of Geology*, 1997, 105(3): 345-366.
- [46] Hampton B A, Horton B K. Sheetflow fluvial processes in a rapidly subsiding basin, Altiplano plateau, Bolivia [J]. *Sedimentology*, 2007, 54(5): 1121-1148.
- [47] Miall A D. Tectonic setting and syndepositional deformation of molasse and other nonmarine-paralic sedimentary basins [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1978, 15(10): 1613-1632.
- [48] Miall A D. Cyclicity and the facies model concept in fluvial deposits [J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1980, 28(1): 59-80.
- [49] Sohn Y K. Depositional processes of submarine debris flows in the Miocene Fan Deltas, Pohang Basin, SE Korea with special reference to flow transformation [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(3): 491-503.
- [50] Walker R G. Facies, facies models, and modern stratigraphic concepts [M]//Walker R G, James N P. *Facies Models: Response to Sea Level Change*. St. John's: Geological Association of Canada, 1992: 1-14.
- [51] Harris C W, Eriksson K A. Allogenic controls on the evolution of storm to tidal shelf sequences in the Early Proterozoic Uncompahgre Group, southwest Colorado, USA [J]. *Sedimentology*, 1990, 37(2): 189-213.
- [52] Lindsey K A, Gaylord D R. Fluvial, coastal, nearshore, and shelf deposition in the Upper Proterozoic (?) to Lower Cambrian Addy Quartzite, northeastern Washington [J]. *Sedimentary Geology*, 1992, 77(1/2): 15-35.
- [53] Eriksson P G, Condie K C, Tirsgaard H, et al. Precambrian clas-

- tic sedimentation systems [J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 120 (1/2/3/4): 5-53.
- [54] Eriksson P G, Catuneanu O, Sarkar S, et al. Patterns of sedimentation in the Precambrian [J]. *Sedimentary Geology*, 2005, 176 (1/2): 17-42.
- [55] 陈衍景, 富士谷, 强力志. 评熊耳群和西洋河群形成的构造背景 [J]. *地质论评*, 1992, 38 (4): 325-333. [Chen Yanjing, Fu Shigu, Qiang Lizhi. The tectonic environment for the formation of the Xionger Group and the Xiyanghe Group [J]. *Geological Review*, 1992, 38(4): 325-333.]
- [56] 任富根, 李惠民, 殷艳杰, 等. 熊耳群火山岩系的上限年龄及其地质意义 [J]. *前寒武纪研究进展*, 2000, 23(3): 140-146. [Ren Fugen, Li Huimin, Yin Yanjie, et al. The upper chronological limit of Xionger Group's volcanic rock series, and its geological significance [J]. *Progress in Precambrian Research*, 2000, 23 (3): 140-146.]
- [57] 乔秀夫, 王彦斌. 华北克拉通中元古界底界年龄与盆地性质讨论 [J]. *地质学报*, 2014, 88(9): 1623-1637. [Qiao Xiufu, Wang Yanbin. Discussions on the lower boundary age of the Mesoproterozoic and basin tectonic evolution of the Mesoproterozoic in North China Craton [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(9): 1623-1637.]
- [58] Drew F. Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the Upper-Indus Basin [J]. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 1873, 29(1/2): 441-471.
- [59] Roed M A, Wasylyk D G. Age of inactive alluvial fans—Bow River Valley, Alberta [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1973, 10 (12): 1834-1840.
- [60] 汪校峰, 李德威, 杜远生, 等. 华北南缘高山河组和云梦山组中解体的次火山岩: 锆石 U-Pb 定年 [J]. *大地构造与成矿学*, 2015, 39(5): 919-932. [Wang Xiaofeng, Li Dewei, Du Yuansheng, et al. Zircon U-Pb dating of the sub-volcanic rocks dismantled from Gaoshanhe and Yunmengshan formations in southern margin of North China Craton [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2015, 39 (5): 919-932.]

An Alluvial Fan to Coastal Transition: A case study of Mesoproterozoic Bingmagou Formation, southern margin of the North China Craton

YUE Liang^{1,2}, LIU ZiLiang³

1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. College of Energy, Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China

3. College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The Precambrian sedimentary strata in the southern margin of the North China Craton are well developed, and widely exposed, it has a high value to study further. But no unambiguous biogenic criteria exist to discriminate Precambrian ancient sedimentary strata, the judgement of sedimentary environment is often based on the tectonic background, geographical environment, rock types and sedimentary structure, resulting in previous research have some controversies. This paper takes Bingmagou Formation in the Ruyang Group in the southern margin of the north China craton as an example, through the analysis of rock features, paleocurrent and sedimentary facies, combined with the regional comparison of relevant strata and the reconstruction of ancient landform, to explain the depositional genesis and the environmental transition of Bingmagou Formation. The sedimentary strata of the Ruyang Group unconformably onlaps Archean crystalline basement or Proterozoic Xionger Group, the Bingmagou Formation as the bottom unit of the Ruyang Group, obviously controlled by topography and fracture, accepted the rich fragment deposition, was a very particular “bilayer superimposition” sedimentary strata, represented an alluvial fan to coastal transition, and it also was the beginning of marine deposition in the southern margin of the North China Craton.

Key words: Binmagou Formation; alluvial fan; coastal; Proterozoic; southern margin of the North China Craton