

文章编号: 1009-3850(2010) 01-0018-07

宁夏香山群徐家圈组波痕特征及成因分析

李 华¹, 何幼斌¹, 李向东¹, 罗进雄¹, 郑昭昌²

(1. 长江大学地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 2. 宁夏地矿局, 宁夏 银川 750021)

摘要: 宁夏香山群为一套遭受轻微区域变质的砂岩、页岩、石灰岩和硅岩, 可分为徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组。徐家圈组为深海斜坡沉积, 狼嘴子组和磨盘井组为深海平原沉积。在宁夏中卫大柳树沟和下石棚的徐家圈组下部发现波痕, 波长分别为 13~15 m 和 8~12.5 m; 波高分别为约 2 m 和 1.1~2 m。波痕所在岩层底部和下伏岩层见槽模, 波痕上覆岩层中见交错层理。通过对波痕、槽模、交错层理进行野外资料的采集, 对古流向进行了分析。大柳树沟的波痕、槽模、交错层理反映古流向分别为 SSE 向、SSE 向和 NE 向; 而在下石棚地区分别为 NW 向、SSW 向和 SWW 向。本文用复合流模式分析了波痕的成因, 并对槽模、波痕、交错层理组成的沉积构造组合的形成过程进行了阐述。

关键词: 香山群; 徐家圈组; 波痕; 复合流

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

波痕是由风、水流或波浪等介质的运动在沉积物表面所形成的一种波状起伏的层面构造。按成因可分为浪成、流水成因和风成波痕三种类型。其中, 前两种为浅水波痕。风成波痕多出现于沙漠、湖泊和海滨岸的沙丘沉积中。此外, 在世界各大深海盆地发现有不少波痕^[1~14]。其成因主要有等深流、浊流、滑塌、内波四种观点^[1~3, 15~18]。近年来, 国外有人提出了复合流成因波痕, 并对其进行了不同程度的研究^[19~30]。

复合流是两种或多种不同类型的流体在时间和空间上的叠加, 一般为摆动流和单向流叠加^[19]。复合流发育场所很广, 可在潮坪、河口湾、湖泊、海滩等浅水区域产出, 也可发育在三角洲前缘、陆棚及大洋盆地等深水区域, 主要类型包括波浪(风暴引起)和地转流叠加^[20~25]、波浪与潮汐叠加^[27]和波浪与浊流(超重流)叠加^[28~30]。

本文在宁夏中卫县南部大柳树沟、下石棚香山群徐家圈组下部灰绿色中层粉细粒砂岩中发现波

痕, 其特征与复合流形成的波痕类似, 本文将用复合流模式对其进行成因分析(图 1)。

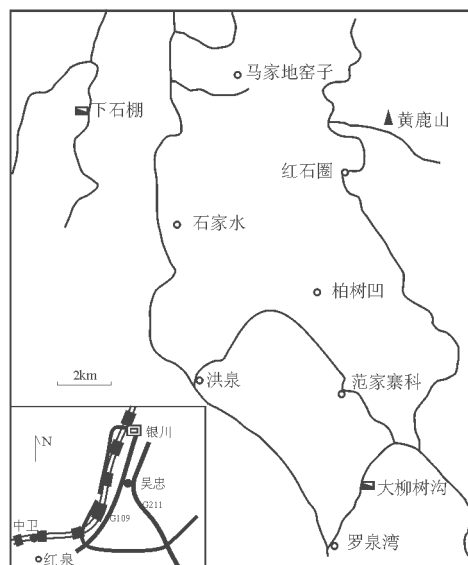


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

收稿日期: 2009-02-15 改回日期: 2009-09-04

作者简介: 李华(1984—), 男, 硕士生, 研究方向: 沉积学。E-mail: LH840607@126.com

资助项目: 国家自然科学基金“宁夏香山群内波、内潮汐沉积及其伴生沉积研究”(40672071)

1 区域地质背景

香山群主要分布于宁夏自治区香山、卫宁北山、青羊山等地区。该区地处鄂尔多斯地块、阿拉善地

块、秦岭 祁连造山系的构造交接部位^[31]。香山群可分为徐家圈组、狼嘴子组、磨盘井组三个组^[32](图2)。

徐家圈组主要为灰绿色 黄绿色浅变质中 细粒

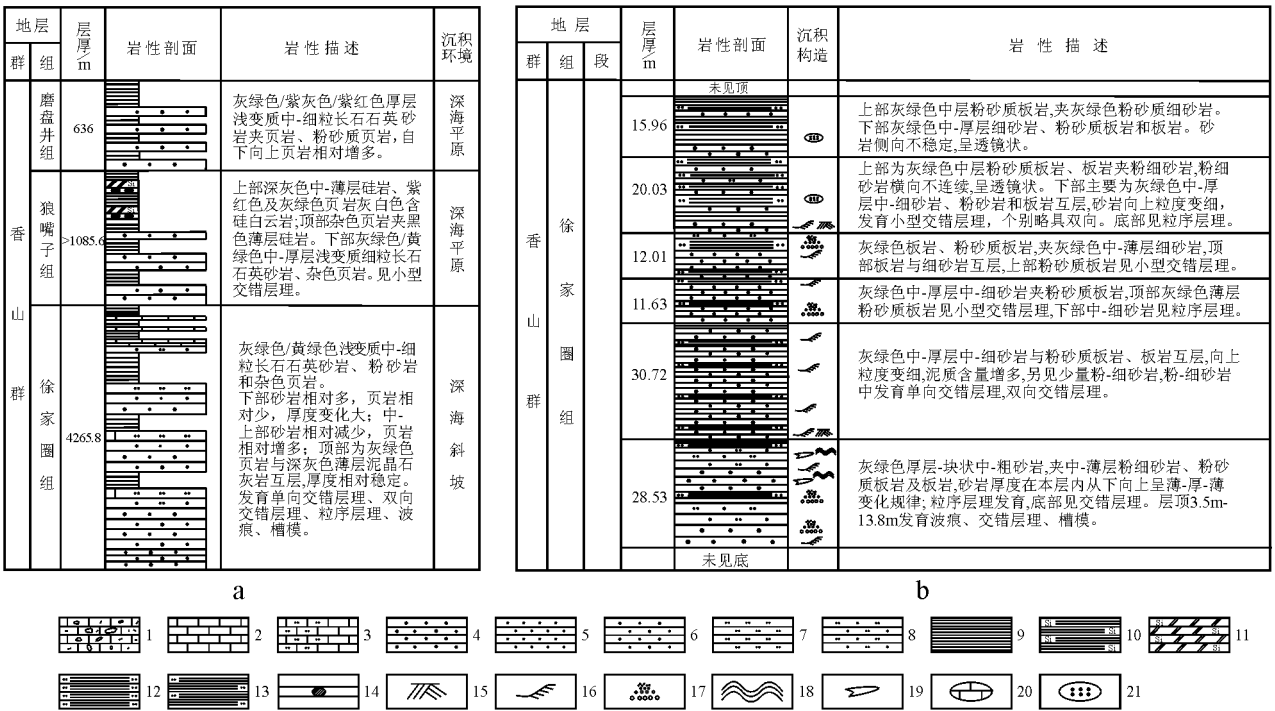


图2 宁夏中卫香山群(a)和大柳树沟香山群徐家圈组(b)沉积柱状示意图

1 砾屑石灰岩; 2 泥晶石灰岩; 3 粉砂质石灰岩; 4 中 粗砂岩; 5 细砂岩; 6 中 细砂岩; 7 粉砂岩; 8 粉 细砂岩; 9 页岩、板岩; 10 硅质页岩、板岩; 11 含硅白云岩; 12 粉砂质页岩、板岩; 13 含粉砂页岩、板岩; 14 硅岩; 15 双向交错纹理; 16 单向交错层理; 17 粒序层理; 18 波痕; 19 槽模; 20 灰岩透镜体; 21 透镜体

Fig 2 Sedimentary columns through the Xiangshan Group in Zhongwei (a) and Xujiajuan Formation of the Xiangshan Group in Dalushugou (b), Ningxia

1= gravelly limestone 2= micritic limestone 3= silty limestone 4= medium to coarse grained sandstone 5= fine grained sandstone 6= medium to fine grained sandstone 7= siltstone 8= siltstone and fine grained sandstone 9= shale and slate 10= siliceous shale and slate 11= silica bearing dolomite 12= silty shale and slate 13= silt bearing shale and slate 14= siliceous rock 15= bidirectional cross bedding 16= unidirectional cross bedding 17= graded bedding 18= ripple mark 19= flute cast 20= limestone lens 21= lens

长石英砂岩、钙质砂岩、粉砂岩和杂色页岩(板岩),底部见少量的角砾岩、砾岩、含砾砂岩。下部砂岩相对较多,厚度变化大;中 上部砂岩相对减少,页岩相对增多;顶部灰绿色页岩与深灰色薄层泥晶石灰岩互层。石灰岩中发育交错层理,并具有不平整的底界,在侧向上尖灭于砂岩中^[33],局部见砂岩透镜体。见块状砂岩 板岩,中层砂岩 板岩、板岩 石灰岩、角砾岩 板岩和砾岩 板岩等层序。

大柳树沟徐家圈组实测剖面显示,其岩性主要为黄绿色 灰绿色中 细粒石英砂岩、页岩(板岩)、粉

砂质页岩(板岩)、粉砂岩(图2)。从下而上,砂岩含量减少,单层厚度变薄,页岩、板岩含量增多。砂泥岩互层,总体向上变细,局部构成多个旋回,部分砂泥互层组成鲍玛序列 T_{a-c} 和 T_{b-d} 段。见块状砂岩 板岩、中层砂岩 板岩等层序。砂岩中见正粒序层理、双向交错层理、羽状交错层理、槽模和沟模等。

狼嘴子组下部为灰绿色 黄绿色中 厚层浅变质细粒长石英砂岩、杂色页岩(板岩);上部主要为深灰色中 薄层硅岩、紫红色 灰绿色页岩(板岩)和灰白色含硅质泥晶白云岩;顶部为杂色页岩(板岩)

夹黑色薄层硅岩。本组从下到上,砂岩减少、厚度变薄,页岩增多,沉积物粒度变细,构成一个较大的沉积旋回。见厚层砂岩板岩、中层砂岩板岩、板岩石灰岩、硅岩硅质白云岩和板岩硅岩或硅质白云岩等层序。见平行层理、沙纹层理、小型交错层理和透镜体等沉积构造。硅岩、拉班玄武岩和韵律较薄的砂泥岩共同组成发育不全的非典型的“蛇绿岩”^[37];拉班玄武岩地球化学分析结果为:常量元素具有高镁、铁,低钛,与洋脊拉班玄武岩特征基本一致;稀土元素球粒陨石标准化配分模式、微量元素特征均与洋中脊拉班玄武岩相似^[38]。

磨盘井组主要为灰绿色紫灰色紫红色厚巨厚层浅变质中细粒长石石英砂岩夹页岩(板岩)、粉砂质页岩(板岩)。自下向上页岩相对增多。基本层序主要为块状砂岩板岩、中层砂岩板岩等,见平行层理和沙纹层理等沉积构造。

从岩性组合、地球化学等特征综合分析,香山群沉积环境形成于深海,徐家圈组为深海斜坡,狼嘴子和磨盘井组形成于深海平原环境。

2 数据来源

指向沉积构造可以用来判断古流方向^[36],本文主要对波痕的古流方向、波长、波高、槽模、交错层理的产状等进行了测量。其中,交错层理按层系分别测量每个层系。每个数据点本应尽量多采集数据,但由于条件限制,每个数据点为5~11个数据。

波痕数据采自徐家圈组上部灰绿色中层粉细粒砂岩;槽模数据采自于波痕所在层位底部;交错层理数据采自波痕上覆地层灰绿色中厚层中细粒砂岩。

在室内首先将野外测量数据在吴氏网上校正,用校正后的数据编制玫瑰花图,度数间差为10度。

3 波痕的特征

大柳树沟灰绿色中层粉细粒砂岩中发育的波痕,波长8~12.5m,波高1.1~2m,不对称度1.4~3.55,平均值为2.34,波脊平直连续;下石棚灰绿色中层粉细粒砂岩中发育的波痕,波长13~15m,波高约2m,迁移方向与单向优势明显,波脊不规则,有的有小角度的斜交,也有的近于垂直;两处波痕发育面积因出露不完整而无法估计。同时,两地波痕所在岩层底部和下伏岩层都见槽模,波痕上覆中层粉细粒砂岩中见交错层理。

根据野外资料,对大柳树沟、下石棚的波痕、槽

模、交错层理反映的古流方向分别编制玫瑰图(图3)。

从图3可以看出,大柳树沟波痕的古流向为SSE向,槽模指示的古流向为SSE向,而交错层理指示的古流向优势方向为NE向,次优势方向为NW、SE向。下石棚波痕古流向为NW向,槽模指示的古流向为SSW向,而交错层理显示的古流向为SWW向;大柳树沟波痕、槽模和交错层理指示的古流向的次优势方向基本一致,而下石棚波痕、槽模和交错层理指示的古流方向相差较大;两处波痕反映的古流向大致相反。

4 波痕的成因解释

徐家圈组发育鲍玛序列 T_{a1} 和 T_{b1} 段、正粒序层理、槽模、沟模,显示浊流沉积特征。但是,深水环境中,浊流、等深流不能形成双向构造,而潮汐对深水区域影响较小。所以,双向交错层理可能为其它

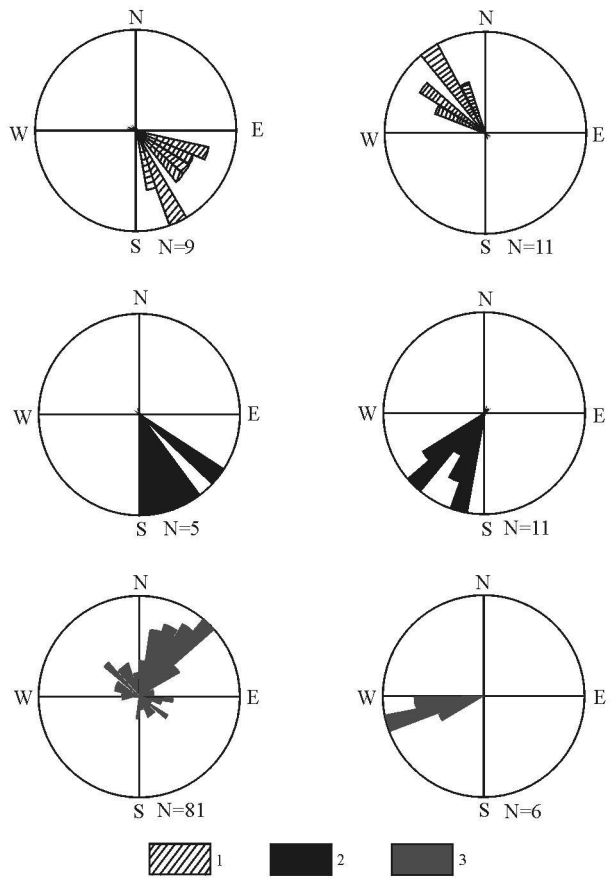


图3 波痕、槽模、交错层理古流向玫瑰图

1 波痕; 2 槽模; 3 交错层理

Fig 3 Roses of the ripple marks, flute casts and cross-beddings in the study area

1= ripple mark; 2= flute cast; 3= cross-bedding

流体作用形成。

内波是一种水下波,存在于两个不同密度的水层界面之上,或存在于具有梯度的水层界面之内^[41];内波沉积常发育单向交错层理、双向或多向交错层理及其它指向沉积构造^[17]。水体存在密度差和扰动源是产生内波的必要条件^[20]。因此,双向交错层理可能为内波作用而成,内波传播方向大致由南东向北西,基本沿着斜坡的走向传播^[42]。

内波属于摆动流,而浊流属于单向流,两种不同类型的流体可以相互叠加从而形成复合流,并形成其它复合流沉积构造。

香山群徐家圈组大柳树沟波痕的波脊平直且连续,属于复合流痕中的2D波痕,下石棚波痕波脊连续不规则,为复合流痕中的3D波痕,这两种波痕是复合流痕中比较常见的类型。Lamb等提出的复合流模式中,复合流的两种类型流体为波浪和浊流^[30];而本处稍有不同的是摆动流为内波而非波浪。由于内波和波浪都属于摆动流,其波动特征类似。因此,本文用Lamb等(2008)模式对香山群徐家圈组波痕成因进行分析^[30]。

Lamb等认为在波浪与浊流形成的复合流沉积中存在着脉动流与反向流两种流体。脉动流是指当摆动流的轨迹速度小于单向流速度时,在一个波动周期内,净流流动方向始终保持为同一方向,只是大小发生周期性的变化的流体;而反向流是指当摆动流的轨迹速度大于单向流速度时,在一个波动周期内,净流流动方向会发生反转的流体。

复合流前进过程中,当内波轨迹速度小于浊流速度时($V_t < V_T$),A、B、C三点净流方向相同,可以形成迁移方向与净流方向相同的波痕;而当内波轨迹速度大于浊流速度($V_t > V_T$)时,波峰位置(A、C)净流方向与波谷位置(B)净流方向相反,因波谷(B)比波峰(A、C)更接近沉积物表面,所以波谷的净流对沉积物的作用更强,可以形成迁移方向与波峰净流相反的波痕(图4)。

在大柳树沟由于浊流作用相对较弱,当内波轨迹速度小于浊流速度时,复合流可产生方向为SSE向的净流,从而形成迁移方向为SSE向的波痕。而下石棚内波轨迹速度大于浊流时,净流方向发生倒转,大致变为NW向,较长时间作用,可形成迁移方向为NW向的波痕。

当浊流基本结束时,复合流作用不明显,主要为摆动流作用,持续时间可以形成内波沉积构造,如脉状层理、波状层理、透镜层理、单向交错层理、双向交

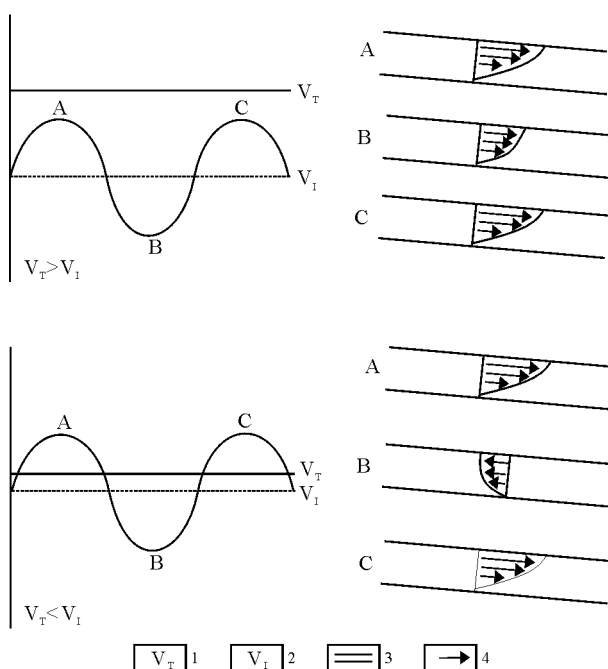


图4 内波、浊流速度与净流方向关系示意图(据Lamb等, 2008, 略修改)

1. 浊流速度; 2 内波轨迹速度; 3 内波波动作用范围; 4 净流方向

Fig. 4 Illustration of the relationship between the internal wave, turbidity current velocity and net flow direction (modified from Lamb et al., 2008)

错层理、双向递变层理等^[1]。

根据本区古地理、古水流等特征,建立该时期的沉积模式图(图5)。另外,对槽模、波痕和交错层理(主要为双向交错层理)组成沉积构造组合的形成过程进行阐述(图6)。值得注意的是槽模、波痕和交错层理沉积组合只是复合流沉积组合中的一种,本次还发现较多的水平层理和丘状交错层理及其它不规则纹层、水平层理和丘状交错层理构造组合等。

当浊流爆发前中期,其速度大于内波轨迹速度,表现为浊流沉积特征,底部见侵蚀面,形成槽模、粒序层理等。当浊流进入后期时,速度减小,复合流沉积占主导作用,形成复合流痕,如波痕、爬升层理和丘状交错层理等;因大柳树沟较下石棚更偏南,而浊流作用北部大于南部,所以在同一时间,大柳树沟的浊流速度相对小于下石棚,而可能形成净流方向不同的复合流,从而形成迁移方向不同的波痕。当浊流末期和浊流爆发间隙期时,复合流沉积作用不明显,而以内波沉积为主,长时间的作用可形成羽状交错层理、双向交错层理、单向交错层理等。

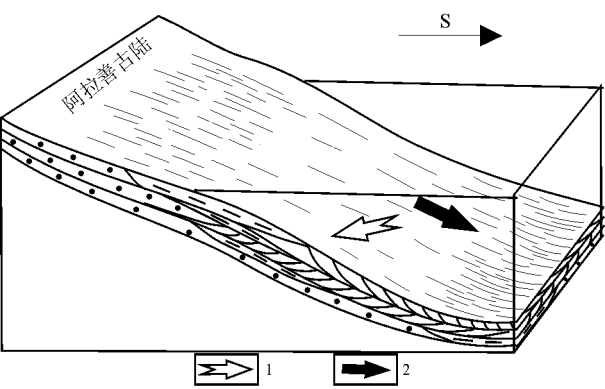


图 5 徐家圈组沉积模式图

1. 内波传播方向; 2 浊流方向

Fig 5 Sedimentary model for the Xujiawan Formation

1. Propagation direction of the internal waves; 2 Direction of turbidity currents

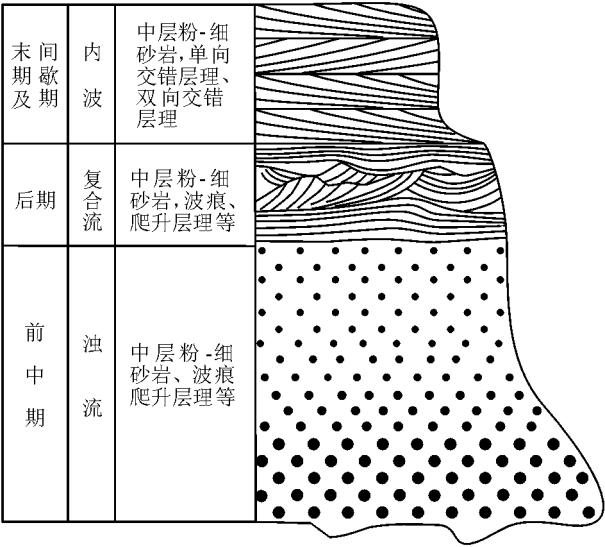


图 6 徐家圈组槽模、波痕及交错层理沉积构造组合

Fig 6 Illustration showing the formation of the sedimentary structures including flute casts, ripple marks and cross-beddings in the Xujiawan Formation

5 结 语

(1)香山群为一套遭受轻微区域变质的砂岩、页岩、石灰岩和硅岩, 见单向交错层理、双向交错层理、粒序层理、槽模、波痕等, 可分为徐家圈组、狼嘴子组和磨盘井组。徐家圈组为深海斜坡沉积环境, 狼嘴子组和磨盘井组为深海平原沉积环境。

(2)徐家圈组发现复合流沉积, 复合流可能为内波和浊流相互叠加作用而成。

(3)在宁夏中卫大柳树沟和下石棚两地的徐家

圈组下部发现波痕、槽模和交错层理。波痕为复合流成因。其中, 大柳树沟内波摆动速度小于浊流速度形成迁移方向为 SSE 向的波痕; 而在下石棚内波轨迹速度大于浊流时, 复合流的净流方向发生倒转, 形成迁移方向为 NW 向的波痕。

(4)浊流爆发前中期时能量高, 以浊流沉积为主, 形成槽模、粒序层理等; 进入后期时, 浊流速度减小, 以复合流沉积为主, 形成波痕; 浊流末期和间歇期时, 以内波沉积为主, 形成双向交错层理、羽状交错层理和单向交错层理等。

本文在资料收集和整理过程中, 得到了硕士研究生王丹、文静、李蔚洋、刘娜、周新平、徐艳霞等的支持和帮助, 并提出了宝贵的意见和建议, 在此表示衷心的感谢。

参考文献:

[1] DAMUTH J E. Migrating sedimented waves created by turbidity currents in the northern South China Basin[J]. Geology, 1979, 7 (1): 520—523.

[2] HOWE J A. Turbidite and contourite sediment waves in the northern Rockall Trough, North Atlantic Ocean[J]. Sedimentology, 1996, 43 (2): 219—234.

[3] HABGOOD E, KENYON N H, MASSON D A et al. Deep-water sediment wave fields, bottom current sand channels and gravity flow channel lobe systems, Gulf of Cadiz, NE Atlantic[J]. Sedimentology, 2003, 50 (3): 483—510.

[4] HOLLISTER C D, FLOOD R D, JOHNSON D A et al. Abyssal furrows and hyperbolic echo traces on the Bahama Outer Ridge[J]. Geology, 1974, 2 (8): 395—400.

[5] WYNN R B, PIPER D J W, MARTIN J R G. Generation and migration of coarse-grained sediment waves in turbidity current channels and channel lobe transition zones[J]. Marine Geology, 2002, 192 (1—3): 59—78.

[6] ERCILLA G, ALONSO B, WYNN R B et al. Turbidity current sediment waves on irregular slopes: observations from the Orinoco sediment wave field[J]. Marine Geology, 2002, 192 (1—3): 171—187.

[7] NORMARK W R, PIPER D J W, ROSAMENTER H et al. Variability in form and growth of sediment waves on turbidite channel levees[J]. Marine Geology, 2002, 192 (1—3): 23—58.

[8] SERANNE M, NZE ABEGNE C R. Oligocene to Holocene sediment drifts and bottom currents on the slope of Gabon continental margin (West Africa): Consequences for sedimentation and southeast Atlantic upwelling[J]. Sedimentary Geology, 1999, 128 (3—4): 179—199.

[9] FAUGERES J C, GONTHIER E, MULDER T et al. Multi-process generated sediment waves on the Land Plateau (Bay of Biscay, North Atlantic)[J]. Marine Geology, 2002, 182 (3—4): 279—

- 302
- [10] NORMARK W R, HESS G R, STOW D A V et al. Sediment waves on the Monterey Fan levee: A Preliminary Physical interpretation [J]. *Marine Geology*, 1980, 37(1—2): 1—18.
- [11] FLOOD R D, SHORA N, MANLEY P D. Morphology of abyssal mudwaves at Project MUDWAVES sites in the Argentine Basin [J]. *Deep-Sea Research*, 1993, 40: 859—888.
- [12] 王海容, 王英民, 邱燕, 等. 南海北部大陆边缘深水环境的沉积物波 [J]. *自然科学进展*, 2007, 17(9): 235—243.
- [13] MARANIM ARGNANI A, ROVERIM et al. Sediment drifts and erosional surfaces in the central Mediterranean: seismic evidence of bottom-current activity [J]. *Sedimentary Geology*, 1993, 82(1—4): 207—220.
- [14] MGEON S, SAVOYE B, ZANELLA E et al. Detailed seismic reflection and sedimentary study of turbidite sediment waves on the Var Sedimentary Ridge (SE France): significance for sediment transport and deposition and for the mechanisms of sediment-wave construction [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18(2): 179—208.
- [15] 高振中, 何幼斌, 罗顺社, 等. 深水牵引流沉积—内潮汐、内波和等深流沉积研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [16] 张兴阳, 高振中, 姚雪根. 北大西洋洛克尔海槽东北部内波沉积 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(3): 464—471.
- [17] 高振中, 何幼斌, 张兴阳, 等. 塔中地区中晚奥陶世内波、内潮汐沉积 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 400—407.
- [18] 李华, 马良涛, 严世帮, 等. 深水大型波痕成因机制 [J]. *海洋地质动态*, 2007, 23(12): 1—7.
- [19] DUMAS S, ARNOTT R W C, SOUTHARD J B. Experiments on oscillatory flow and combined-flow bed forms: implications for interpreting parts of the shallow-marine sedimentary record [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2005, 75(3): 501—513.
- [20] DAVIES A G, SOULSBY R L, KING H L. A numerical model of the combined wave and current bottom boundary layer [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1988, 93: 491—508.
- [21] DUKE W L. Geostrophic circulation or shallow marine turbidity currents: The dilemma of paleoflow patterns in storm-influenced prograding shoreline systems [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1990, 60(6): 870—883.
- [22] MYROW P M, SOUTHARD J B. Combined-flow model for vertical stratification sequences in shallow marine storm-deposited beds [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1991, 61(2): 202—210.
- [23] LIM Z, AMOS C L. Sheet flow and large wave ripples under combined wave and currents: field observations, model predictions and effects on boundary layer dynamics [J]. *Continental Shelf Research*, 1999, 19(5): 637—663.
- [24] NOTTVEDT A, KREISA R D. Model for the combined-flow origin of hummocky cross-stratification [J]. *Geology*, 1987, 15(4): 357—361.
- [25] GREENWOOD B. Hummocky cross-stratification in the surf zone: flow parameters and bedding genesis [J]. *Sedimentology*, 1986, 33(1): 33—45.
- [26] HILL P R, MEULE S, LONGUEPÉE H. Combined-flow processes and sedimentary structures on the shoreface of the wave-dominated grande rivière de la baie de la J. *Journal of Sedimentary Research*, 2003, 73(2): 217—226.
- [27] MORGAT M, ARNOTT R W C. Combined tide and wave influence on sedimentation patterns in the Upper Jurassic Swift Formation, southeastern Alberta [J]. *Sedimentology*, 2001, 48(6): 1353—1369.
- [28] MYROW P M, FISCHER W, GOODGE J W. Wave-modified turbidites: combined-flow shore-line and shelf deposits, Cambrian, Antarctica [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2002, 72(5): 641—656.
- [29] PATTERSON S A J. Isolated highstand shelf sandstone body of turbidite origin, lower Kenilworth Member, Cretaceous Western Interior, Book Cliffs, Utah, USA [J]. *Sedimentary Geology*, 2005, 177(1—2): 131—144.
- [30] LAMB M P, MYROW P M, LUKENS C et al. Deposits from wave-influenced turbidity currents: Pennsylvanian Minton Formation, Colorado, USA [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2008, 78(7): 480—498.
- [31] 徐黎明, 周立发, 张义楷, 等. 香山群沉积岩浆记录及其反映的大地构造环境 [J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2006, 36(3): 442—448.
- [32] 中华人民共和国区域地质调查报告 1:50000(宣和幅、上校育川幅、下流水幅). 宁夏地质矿产勘察院(内部资料), 1995, 47—50.
- [33] REMACHA E, FERNANDEZ L P, MAESTRO E. The transition between sheet-like lobe and basin-plain turbidites in the Heccho basin (south-central Pyrenees, Spain) [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2005, 75(5): 789—819.
- [34] 邓昆, 周立发, 曹欣, 等. 香山群狼嘴子组硅质岩地球化学特征及形成环境 [J]. *中国地质*, 2007, 34(3): 497—505.
- [35] 邓昆, 周立发, 胡朋, 等. 香山群辉绿岩地球化学特征及其构造背景 [J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(3): 365—371.
- [36] A D Mail. 沉积盆地分析原理 [M]. 孙枢译. 北京: 石油工业出版社, 1991, 253—263.
- [37] LAFOND E C. Internal Waves [A]. Fairbridge G W. *The Encyclopedia of Oceanography* [C]. New York: Reinhold, 1996, 402—408.

Origin of the ripple marks from the Xujiajuan Formation of the Xiangshan Group in Ningxia

LI Hua¹, HE Youbin¹, LI Xiangdong¹, LUO Jinxiong², ZHENG Zhaochang²

(1. School of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 2. Ningxia Bureau of Geology and Mineral Resources, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: The Xiangshan Group in Ningxia consists of the Xujiajuan Formation in the abyssal slope environment and the Langzui and Mopanjin Formations in the abyssal plain environment. The ripple marks from the lower part of the Xujiajuan Formation of the Xiangshan Group in Ningxia have the wave lengths in 13 ~ 15 cm and the wave heights about 2 cm in Dalushugou and the wave lengths in 8 ~ 12.5 cm and the wave heights in 1.1 ~ 2 cm in Xiaoshipeng. The flute casts are observed in the basal and underlying beds, while the cross-beddings appear in the overlying beds. The paleocurrents indicated by the ripple marks, flute casts and cross-beddings are oriented to SSE, SSE and NE, respectively in Dalushugou while to NW, SSW and SWW, respectively in Xiaoshipeng. The ripple marks in the study area may owe their origin to the combined flows.

Key words: Xiangshan Group, Xujiajuan Formation, ripple mark, combined flow