

# 广西凭祥盆地深水底流沉积类型及其研究意义

宋 博<sup>1,2</sup> 闫全人<sup>3</sup> 向忠金<sup>2</sup> 李向东<sup>4</sup> 高景民<sup>5</sup> 王彦闻<sup>1</sup> 李现冰<sup>5</sup>

(1.中国地质调查局西安地质调查中心 西安 710054;2.中国地质科学院地质研究所 北京 100037;

3.中国科学院大学 北京 100049;4.昆明理工大学国土资源工程学院 昆明 650093;

5.陕西省核工业地质调查院 西安 710100)

**摘 要** 内波、内潮汐沉积和复合流沉积是二十余年来在古代深水环境中新发现的一种具牵引流性质的沉积相类型,由于地层沉积记录十分有限,制约了深水底流沉积的沉积学研究。大比例尺实测地质剖面 and 精细露头测量表明,底流沉积发育于凭祥盆地深水沉积之中,通过对其沉积构造精细剖析和古水流测量,识别出内波、内潮汐沉积和复合流沉积,其中内波、内潮汐沉积以双向交错层理、单向交错层理、透镜状层理为特征,复合流沉积以复合流层理、丘状交错层理和较陡的爬升波纹层理为特征,进一步表明存在浊流和底流的交互作用,为古代地层中的深水底流沉积提供了又一研究实例。

**关键词** 内波、内潮汐 复合流 深水底流 凭祥盆地

**第一作者简介** 宋 博 男 1988 年出生 硕士 助理工程师 造山带沉积学 E-mail: song5080@yeah.net

**中图分类号** P512.32 **文献标识码** A

自从 Hollister *et al.* (1972) 关于等深流的开创性工作以来,以等深流为代表的深水牵引流理论已有 40 余年的研究历史,深水牵引流理论发展后期出现了底流(bottom currents)理论<sup>[1-2]</sup>。一般说来,底流是指作用在深水的,且为大洋和其边缘海中的温盐或风所驱动而循环的那些海流,它们并不严格遵循等深线,但等深流依然作为底流的同义词被广泛使用<sup>[3]</sup>,其包括等深流、潮汐底流(内波、内潮汐)、温盐循环底流和风驱底流<sup>[4]</sup>。目前,海洋物理学的相关新近研究成果并未及时应用在深水底流沉积的研究中,而地层记录中底流沉积研究则更为滞后,因此,精细识别深水牵引流沉积对恢复沉积环境和盆地充填与演化过程具有重要意义<sup>[2,5-9]</sup>。

新近海洋学调查表明,深水环境内波和内潮汐可产生双向流动的水流(20~50 cm/s)<sup>[10]</sup>,深水潜水装置还观察到,这种流动能搬运沉积物的粒度可达细砂级,并能在数千米深处形成大量波痕<sup>[11]</sup>。需要指出的是,重力流和底流是深水环境下的两大基本流动机制,对二者交互作用的研究是当前沉积学研究的前缘和薄弱环节<sup>[4,7,12-13]</sup>。目前有关重力流和底流交互作用的研究主要集中在岩芯、露头和地震识别方面,地震识别可在地震剖面上识别出规模巨大的等深流漂

积体<sup>[14-16]</sup>,岩芯和露头则可以较精细化地识别出“底流改造”所特有的沉积构造<sup>[17]</sup>。我国学者在古代地层中底流沉积研究领域进行了积极的探索和研究,相关工作主要集中在露头和岩芯尺度的内波、内潮汐沉积<sup>[8,18-26]</sup>、等深流沉积<sup>[27]</sup>、大型沉积物波<sup>[28-29]</sup>和复合流沉积<sup>[30]</sup>等方面,地震识别方法则主要应用在南海的新生代沉积<sup>[13,29-32]</sup>。相比同属深水异地沉积的浊流理论而言,其已将现代沉积、地层沉积记录和室内水槽实验相结合,而关于重力流和底流交互作用(后文简称为交互作用)的研究仅限于理论综述以及少量的野外探索阶段<sup>[13,29-32]</sup>。目前亟需将地层记录研究与室内水槽实验反演结合起来,解决底流沉积的沉积动力学成因<sup>[33]</sup>。此外,由于缺少系统地控制因素、形成条件和构造背景研究,特别是古海洋和古气候等影响因素,也制约了深水底流(以内波、内潮汐为代表)沉积的研究<sup>[33]</sup>。也有学者将与内波、内潮汐相关的沉积称为斜压岩(baroclinites)<sup>[34]</sup>,并针对深水内波、内潮汐沉积的成因以及沉积构造特征等方面提出了质疑<sup>[35]</sup>。但是尽管目前缺少大洋钻探方面的现代沉积记录<sup>[36]</sup>,利用“将古论今”的方法论,并针对客观地质事实(特征沉积构造分析)进行研究,也是值得肯定的<sup>[37]</sup>。

广西凭祥盆地发育一套以浊积岩为代表的海相深水沉积,地层赋存有菊石和双壳类化石,时代为中三叠世<sup>[38]</sup>,高振中等<sup>[39]</sup>对其东南侧十万大山盆地的早三叠世碳酸盐岩重力流沉积进行了详细分析,并识别出了其中的等深流沉积(文中称为“等高流”),而针对凭祥盆地深水底流沉积的研究较少,笔者通过1/1 000大比例尺剖面测制及精细露头柱状图分析识别出了以内波、内潮汐沉积为代表的底流沉积<sup>[40]</sup>,此文拟对该套底流沉积及其交互作用进行详细的沉积动力学分析。

### 1 区域地质背景

凭祥盆地位于广西南部中越边境地区,部分位于越南境内<sup>[40]</sup>。区域大地构造上位于滇—琼缝合带东段<sup>[40]</sup>(图1A),盆地东侧以凭祥—东门区域性大断裂与十万大山盆地相邻(图1B),周缘展布着早三叠世岛弧火山岩<sup>[41]</sup>。盆地充填物主要为中三叠统板纳组( $T_2b$ )和兰木组( $T_2l$ ),主体为一套海相复理石沉积地层,周缘弧型断裂构造明显控制盆地现今形态,前人研究认为这些断裂可能与印支—燕山期强烈逆冲推

覆作用有关<sup>[42-43]</sup>,盆地南侧变形明显强于北侧,因而盆地原型已被破坏并肢解于造山带之中。

本文完成了凭祥—安镇公路一线的1/1 000大比例尺实测剖面,长度约12 km,跨越地层由下至上包括茅口组( $P_2m$ )、北泗组( $T_1b$ )、板纳组( $T_2b$ )和兰木组( $T_2l$ ),盆地充填物为板纳组( $T_2b$ )和兰木组( $T_2l$ ),板纳组为一套灰绿色泥岩夹少量薄层粉砂岩和细砂岩,兰木组为一套砂岩和泥岩组合,均以细碎屑岩为主,二者为断层接触,板纳组与下伏北泗组中酸性火山岩为断层接触,上二叠统茅口组灰岩逆冲推覆于兰木组之上(图2)。沉积微相及组合分析表明凭祥盆地包括深水盆地相、浊积扇相和扇三角洲相等<sup>[40]</sup>(图3),其中深水盆地相以发育大套深灰色泥页岩和裹夹碎屑流沉积为特征,浊积扇相以发育槽模、正粒序、爬升波纹层理、包卷层理、双向交错层理、透镜状层理、平行层理为特征,三角洲相以发育大型板状交错层理、潮沟、厚层透镜状砂体和砖红色泥岩为特征<sup>[40]</sup>。盆地周边出露的地层从下至上包括有石炭系—二叠系碳酸盐岩、下三叠统南洪组砂岩、下三叠统碳酸盐岩、下三叠统北泗组中酸性火山岩以及侏

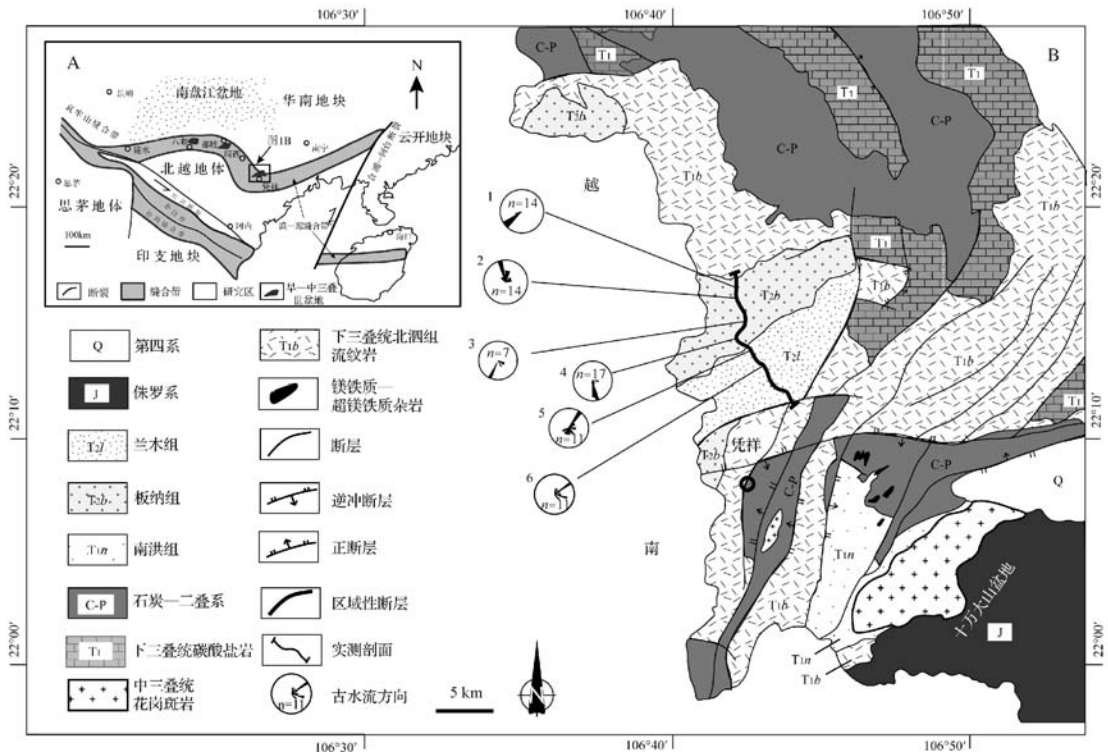


图1 华南地块南缘区域大地构造简图(A)和广西凭祥中三叠世盆地地质构造图(B)(A据文献简化<sup>[44]</sup>;B据文献简化<sup>[38]</sup>)

Fig.1 Sketch map showing geology in the southern margin of the South China block and its relationship with surrounding regions (A. simplified after references<sup>[44]</sup>) and geological sketch map of the Pingxiang Middle Triassic basin, southern Guangxi (B. simplified after references<sup>[38]</sup>)

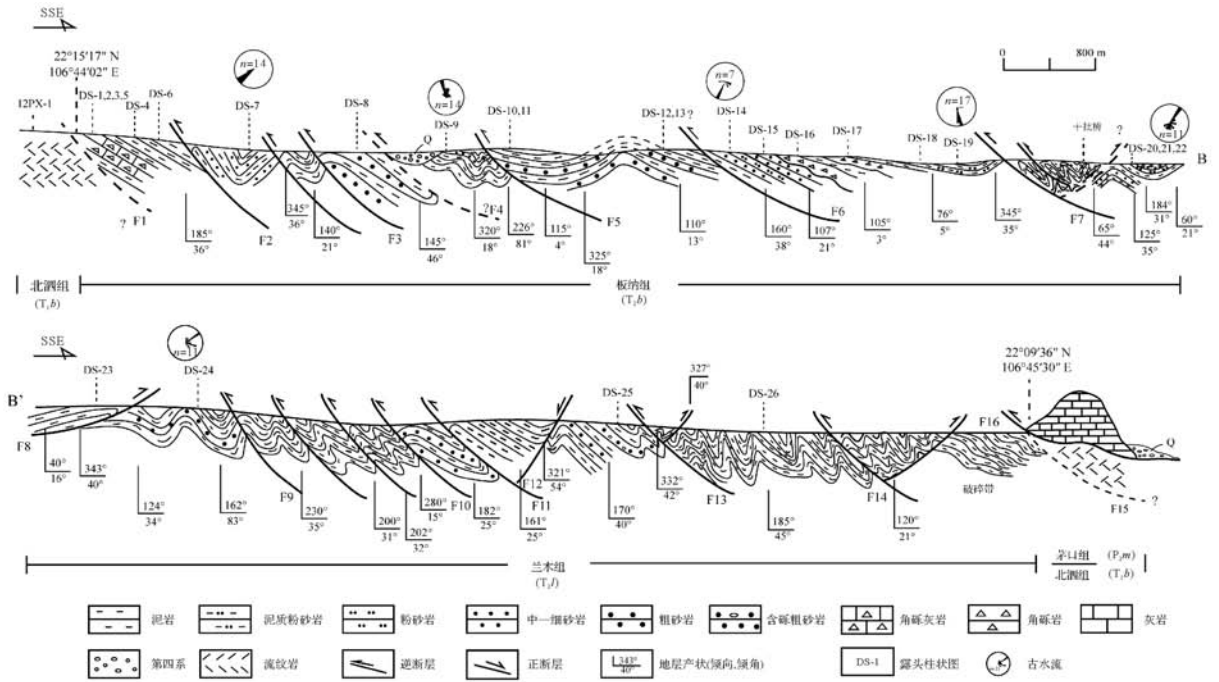


图2 横跨凭祥盆地的凭祥—安镇实测剖面图(据文献[40]修改)

Fig.2 The Pingxiang-Anzhen geological section across the Pingxiang Basin (modified from reference [40])

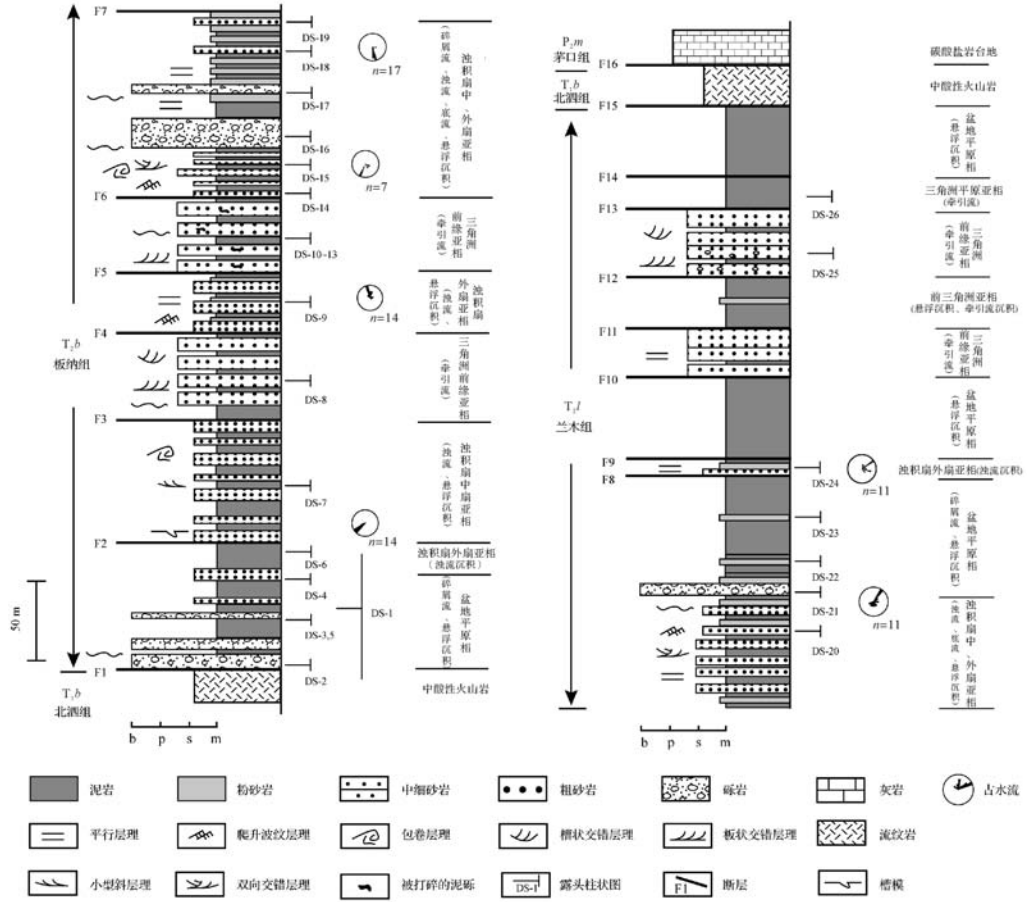


图3 凭祥盆地沉积层序和沉积环境解释

Fig.3 The sedimentary sequence and sedimentary environment explanation of Pingxiang Basin

罗系砂岩等。

### 2 数据来源

本文古水流方向的获得大量来自深水沉积中的交错层理,次为槽模。在野外测量统计过程中,每个测点尽可能保证 10 个以上数据,并按层系分开测量双向交错层理,每个层系一般为 5~8 个数据,共采集了 6 组共 74 个数据。在室内通过 Stereo 软件进行玫

瑰花图解投图,并且根据地层产状进行了水平校正。

### 3 深水沉积证据

确定存在深水系统是研究深水底流沉积及其交互作用的前提,广西凭祥中三叠世盆地深水沉积的主要证据有:

(1) 盆地内发育有大套深灰色泥页岩和泥质粉砂岩的深水原地沉积(图 4A)。

表 1 凭祥盆地古水流数据统计表

Table 1 Statistical table of plaeocurrent data of Pingxiang Basin

点号	地层产状	古水流	沉积构造类型	校正后	古水流玫瑰花图	备注
1	160/20	230/225/228/230/223/220/224/233/238/237/246/225/231/247	槽模	230/225/228/230/223/220/224/233/238/237/246/225/231/247		直接侧方位
2	146/39	136/42,138/34,137/38,150/30,143/33,147/30,130/30,140/30,129/24,126/32,130/20,96/20,143/47,142/28	斜层理	76.93/7.15,6.42/6.89,313.5/9.28,341.17/6.25,42.38/5.69,4.79/12.71,344.24/9.61,322.81/9.02,349.57/17.3,17.01/13.48,341.68/20.42,357.92/29.7,12.17/13.44,335.69/11.21		
3	120/19	169/31,123/27,139/44,151/23,147/35,184/40,147/47	斜层理	204.06/23,129.73/8.08,150.31/26.62,205.17/11.65,170.26/19.8,208.31/35.31,160.11/31.02		
4	94/13	97/32,97/37,134/36,140/28,151/31,124/34,164/34,141/25,145/30,150/33,145/30,142/34,156/30,142/28,155/32,135/27,145/33	斜层理	98.88/19.03,98.44/24.03,149.8/27.18,164.57/20.98,173.44/26.06,138.41/23.55,184.02/31.7,170.02/18.57,167.95/23.85,170.54/27.66,167.95/23.85,160.8/26.88,179.61/26.28,166.88/21.41,176.68/27.86,159.87/19.05,165.05/26.58		
5	140/37	82/61,55/60,70/52,120/58,150/48,160/50,160/55,140/45,105/36,160/36,166/45	斜层理	56.03/48.23,34.42/63.59,38.16/49.16,97.59/25.47,175.37/12.88,194.33/18.81,186.1/22.88,140/8,33.11/20.63,242.82/11.9,215.18/18.7		
6	300/32	93/29,93/33,346/24,342/39,354/31,323/20,327/41,323/28,10/38,306/27,296/26	斜层理	103.52/58.72,103.89/62.99,69.88/22.41,32.07/24.92,55.36/27.46,83.82/18.39,12.17/18.23,58.93/12.1,52.45/38.75,92/5.8,136.17/6.3		

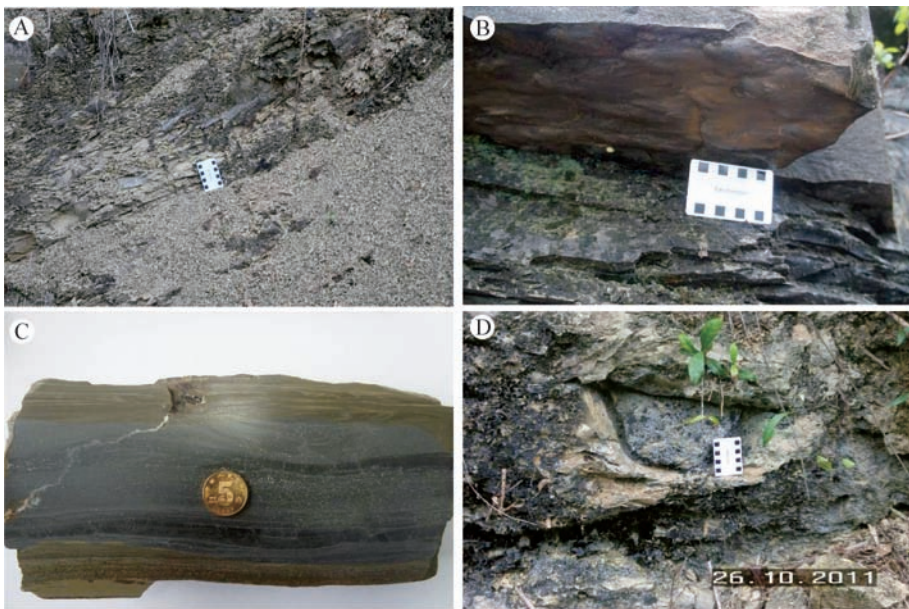


图 4 广西凭祥盆地深水沉积特征

A.深水原地沉积;B.舌状槽模;C.正粒序、平行层理、包卷层理和水平层理;D.碎屑流沉积之“泥包砾”

Fig.4 The sedimentary characteristics of deep-water sediments of Pingxiang Basin, Guangxi

(2) 盆地沉积物以浊积岩为主,具备典型鲍马序列的沉积构造,即舌状槽模(图4B)、正粒序、平行层理、包卷层理、爬升波纹层理以及水平层理(图4C)。

(3) 盆地内部24件细碎屑岩及泥岩样品的地球化学特征均表明具有明显的Ce、Eu负异常<sup>[45]</sup>,指示了深水沉积特征。

(4) 盆地内部发育有三处碎屑流沉积,且该套沉积与厚层深灰色泥页岩和浊积岩共生,(图4D),并见有典型深水碎屑流沉积的“泥包砾”结构<sup>[46]</sup>,灰岩砾石成浑圆状,并被泥质包壳所包裹,且砾岩底部可见“S”型拖曳变形,反映了水下碎屑流的剪应力作用,这些灰岩砾石主要来自滨浅海的碳酸盐岩点礁,后经碎屑流搬运至深水盆地中<sup>[40]</sup>。

(5) 盆地地层中赋存菊石、双壳等海相化石,指示了海洋环境<sup>[38]</sup>。

(6) 区域构造上,研究区位于滇—琼缝合带东段,诸多学者对展布于该构造带内的早石炭世八布蛇绿岩<sup>[47]</sup>、印支期洋岛玄武岩<sup>[48]</sup>、中三叠世岛弧火山岩<sup>[41,49-50]</sup>以及二叠纪放射虫硅质岩<sup>[51]</sup>进行了研究,表明该近东西向的构造带存在古特提斯分支洋盆的俯冲增生作用,虽然该洋盆的形成时代和俯冲极性存有争议,但是诸多学者均认为中三叠世研究区主体为深水海相沉积<sup>[52-54]</sup>。

## 4 底流沉积微相划分及沉积作用分析

### 4.1 双向交错层理细—粉砂岩微相

该微相以发育双向交错层理为特征(图5A,B,C),发育于浊积扇外扇亚相中,剖面共发育3处双向交错层理,另外有2块室内光片标本发育有双向交错层理。其一般由2个或2个以上层系构成,形态呈弯曲状或平行状,并夹有泥质纹层,层系界面清晰,上覆准平行层理粉砂岩(图5C)。该微相下伏为浊积扇中扇亚相的透镜状水道砂体,砂体最厚处约20 cm,向上砂体厚度逐渐变小,数量变少,上覆一套深水盆地相的泥岩沉积,且发育双向交错层理的砂岩对下伏泥岩形成较强侵蚀,并发育高起伏底面(图5D)。显微镜下薄片观察到两组倾向相反的交错层理(图5E),二者之间为富含泥质组分的浊流沉积,为低角度爬升波纹层理。我们对露头样品进行古水流统计,研究表明其指示了两组不同方向的水流,其中斜坡倾向南南西,古水流呈发散状,而斜坡向上方向则较为稳定,遗憾的是我们未对光薄片样品进行定向采样,只标定了顶底方向,因而并未统计其古水流方向。

### 4.2 平行层理粉砂岩微相

该微相与双向交错层理粉砂岩微相共生(图5C),其中部分层理泥质含量明显增多,分选较好,部分石英颗粒较大,顺层理展布(图5E)。该微相与双向交错层理共同产出,很可能是底流改造的结果,较之与浊流成因的平行层理相比,其表现为杂基含量明显变少,要更为纯净<sup>[4]</sup>。

### 4.3 束状透镜体叠加的交错层理粉砂岩微相

该微相以发育透镜状砂纹层(1 cm±)并侧向叠加生长为特征(图5F),该微相与发育平行层理的粉砂岩微相共生,向上泥质成分增多,透镜状层理是由孤立的泥质沉积和砂质波痕组成的,通常小于1 cm,这些“饥饿”的波痕的是由“洁净”的底流冲刷泥质沉积形成的,因而小型透镜状的砂或粉砂向前进积形成了透镜状层理<sup>[15]</sup>。Shanmugam<sup>[17]</sup>认为其是底流改造的沉积标志,而Stow *et al.*<sup>[3]</sup>则认为细粒浊流的快速沉降也可以形成压扁层理、饥饿波痕,甚至是泥质衍生物。综合微相组合特点,本文认为其可能为内波产生的波痕迁移产物,垂向序列反映了底流的周期性<sup>[55]</sup>。

### 4.4 复合流层理和丘状交错层理粉砂岩微相

广义来讲,复合流是指2种或多种不同类型的流体在时间和空间上叠加而成,但通常将叠加的流体限定为振荡流和单向流<sup>[56]</sup>,复合流层理、准平行层理、不对称的小型丘状交错层理及角度较陡的爬升层理等沉积构造是其鉴别标志<sup>[57-58]</sup>,另外,丘状交错层理被认为是风暴沉积的标志之一,通常发育于临滨—近海过渡带<sup>[59]</sup>,但是也可以发育于深水环境<sup>[60-61]</sup>。

该微相以发育复合流层理和不对称丘状交错层理为特征(图5G),发育于灰绿色粉砂岩中,尽管发现数量不多,但是其特征较为明显。底部为水动力较强的高角度的爬升波纹层理,向上则出现包卷层理和低角度斜层理,应为水动力减弱抑或底流改造作用产物,向上则为不对称的小型丘状交错层理,该沉积构造与发育在大型丘状交错层理上的复合流痕十分相似<sup>[57]</sup>。基于此,我们推测该套沉积为内波与浊流的交互作用产物。这是继李向东等<sup>[30]</sup>在宁夏香山群徐家圈组识别出地层中深水复合流沉积构造之后,在广西凭祥盆地识别出的又一例深水复合流沉积。

## 5 讨论

### 5.1 底流沉积及其交互作用

根据深水盆地不同地质时期主导沉积机制的不同,深水环境下的交互作用一般包括以下四个方面:

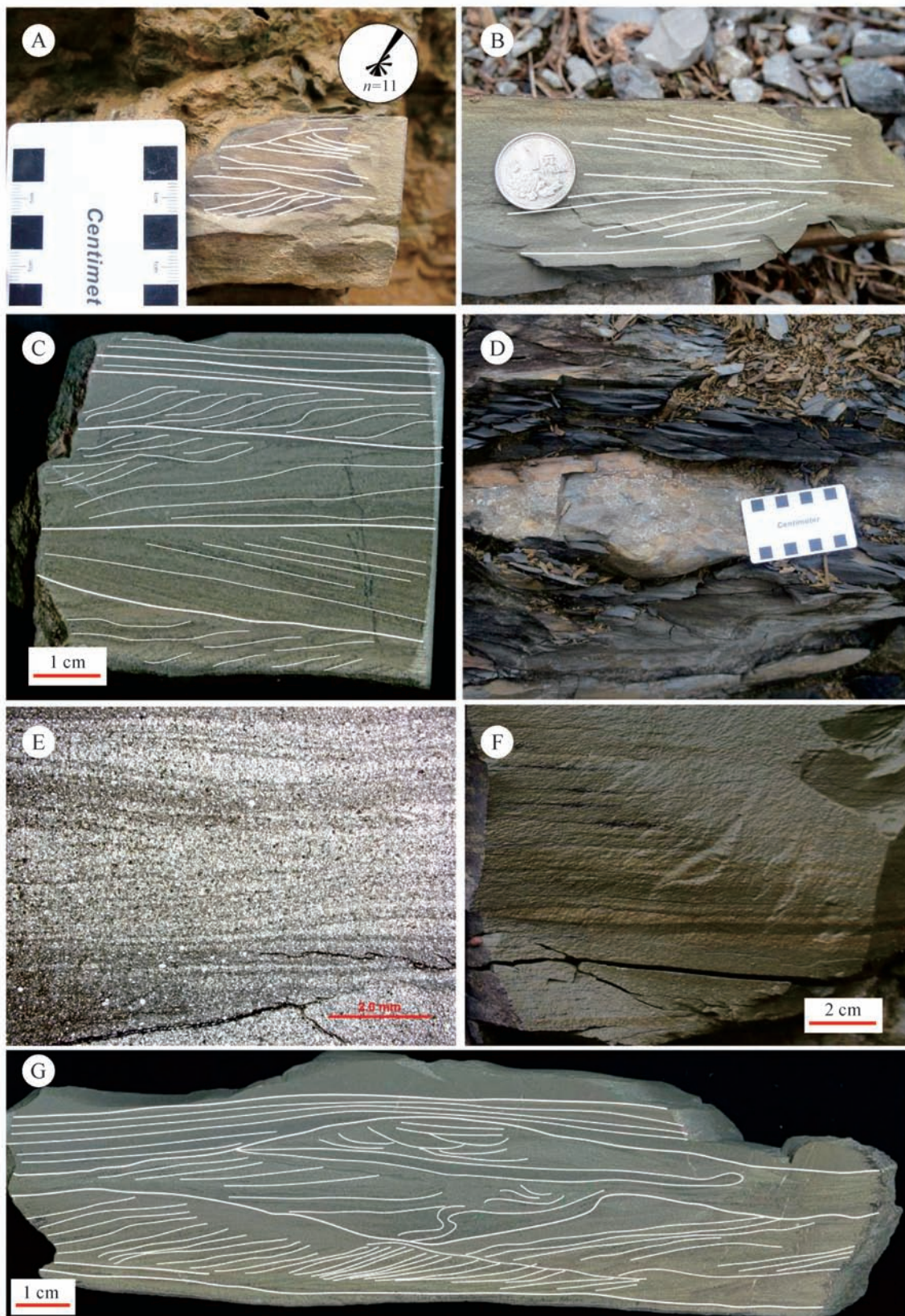


图5 广西凭祥盆地深水底流沉积及其交互作用

A,B,C,E.双向交错层理;D.底流沉积的高起伏底面;F.透镜状砂纹层;G.丘状交错层理

Fig.5 Deep-water bottom current deposits and interaction between bottom currents and turbidity currents

底流改造前期重力流沉积;重力流改造前底流沉积;重力流与底流交互主导同一地区的沉积;底流与重力流同时作用于沉积物<sup>[13]</sup>。目前关于深水底流沉积及其交互作用的研究还相对薄弱,近十年来,深水环境下的交互作用研究逐渐增多,并逐渐成为国际沉积学界的研究热点<sup>[13]</sup>。前人对广西凭祥地区发育深水沉积存有共识,但仅仅停留于传统浊积岩的认识,并识别出鲍马序列为代表的沉积构造,其中的底流沉积以及交互作用鲜有学者进行识别并研究。

笔者基于研究区存有海相深水沉积的认识,结合古流向资料,认为该深水沉积中的双向交错层理砂岩微相,并不属于浊流或者等深流的沉积产物,因为浊流为顺斜坡向下方的单向流动,不能形成这种双向指向构造,而等深流则大角度相交于浊流方向,且是横越海底水道而不是平行海底水道轴向的<sup>[22]</sup>。而这种深水环境中形成的双向交错层理和纹层倾向水道(或区域斜坡)上方的单向交错层理是内波、内潮汐沉积典型的特征性沉积构造<sup>[62]</sup>,另共生有不同岩石组成的复合层理,如韵律性砂、泥岩薄互层<sup>[63-64]</sup>和脉状、波状、透镜状层理等<sup>[55,62]</sup>。根据槽模古流向测量,研究区古斜坡方向为南南西,双向交错层理的古流向测量结果表明浊流方向较为发散,而内波、内潮汐方向为北东东,沿陆坡上方且流向稳定,因而该底流沉积很有可能为内波、内潮汐沉积<sup>[40]</sup>。

虽然凭祥盆地被后期逆冲推覆作用强烈改造,但是局部地层沉积序列完整,据此仍可以判别沉积亚相、微相及其组合特征,研究区的内波、内潮汐沉积以薄互层的砂岩、泥岩为主,其砂岩、泥岩比率在纵向上呈规律性变化,其可能暗示了其沉积环境为水平开阔地带,根据微相组合特征,其发育部位处于浊积扇外扇部位,且内波、内潮汐一般发生于水流相对静止期和流动期,因而造成砂质和泥质沉积频繁互层沉积<sup>[19]</sup>。同时底流作用抑或交互作用不但流速变化大,而且水流反复倒向,不利于底栖生物生存,因而地层中缺乏化石,且不发育生物扰动构造<sup>[40]</sup>,而现代和古代的等深流沉积的生物扰动构造都是很发育的<sup>[13]</sup>,这和底流沉积中缺乏化石的认识也是一致的<sup>[22]</sup>。另外发育双向交错层理的砂岩具有高起伏底面(图4D),说明底流对下伏泥岩存在较强的侵蚀作用。

此外,通过对研究区19个砂岩样品进行岩相学分析,结果表明发育双向交错层理和平行层理的底流沉积较为“纯净”,其杂基含量明显少于其他浊积岩

样品,底流沉积的砂岩杂基含量约10%,而浊流沉积样品杂基含量为20%左右,结合野外露头观察到的底流改造现象,二者共同指示浊积岩(浊流沉积)受到了后期底流的“淘洗”作用<sup>[4,22]</sup>。如美国弗吉尼亚州芬卡斯尔地区中奥陶统贝斯组浊积砂岩样品的杂基平均含量为24%,而与其伴生的内潮汐沉积砂岩的杂基平均含量为20%,表明内潮汐对其进行了明显的“淘洗”作用<sup>[22]</sup>。

研究表明,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、爬升波纹层理和丘状交错层理<sup>[65]</sup>。研究区发育的复合流层理和丘状交错层理粉砂岩微相则很有可能为复合流作用的产物。

## 5.2 沉积模式

凭祥盆地浊积岩底面的舌状槽模指示的古流向为SW225°左右,鲍马序列C段交错层理倾向的变化范围为178°~234°,代表了古斜坡方向,另外与之相伴生的碎屑流沉积也反映出通过滑移作用进入深水盆地之中<sup>[40]</sup>。研究表明,内波、内潮汐的双向指向沉积并不一定刚好相差180°,也可以有一定程度的偏离,且优势方向为重力流方向(图4A),这与潮坪环境中形成的指向沉积构造的方向类似<sup>[22]</sup>。古水流测量结果表明,研究区主要存在向南和向北两个水流方向,依据舌状槽模指示确定的古斜坡方向应为向南,因而双向水流和朝北的单向水流应为底流作用产物。底流沉积作为深水交互作用的产物,之所以容易发育于浊积扇外扇部位,这很有可能与其通常只能搬运粉砂级的沉积物有关,凭祥盆地的研究也支持这一观点。

前人对内波、内潮汐沉积的沉积模式进行了研究,认为存在水道型、陆坡非水道型和海台型三种沉积模式<sup>[22]</sup>,由于凭祥盆地受到后期强烈的逆冲推覆作用的改造,原始沉积充填序列已经无法恢复,但是仍可以识别并划分露头尺度残存的沉积微相和亚相,进而分析相组合特征,凭祥盆地可以归为Bouma<sup>[66]</sup>提出的细粒(富泥)浊积扇沉积体系(图6)。其中,底流沉积发育于浊积扇外扇部位,凭祥盆地发育典型的浊积扇中扇、外扇亚相,此外还有扇三角洲相和深水盆地相沉积,缺失陆坡部位的海下峡谷、滑塌体以及浊积扇内扇亚相沉积,这可能由于盆地受到后期构造改造并抬升遭受剥蚀所致,深水盆地的碎屑流滑移

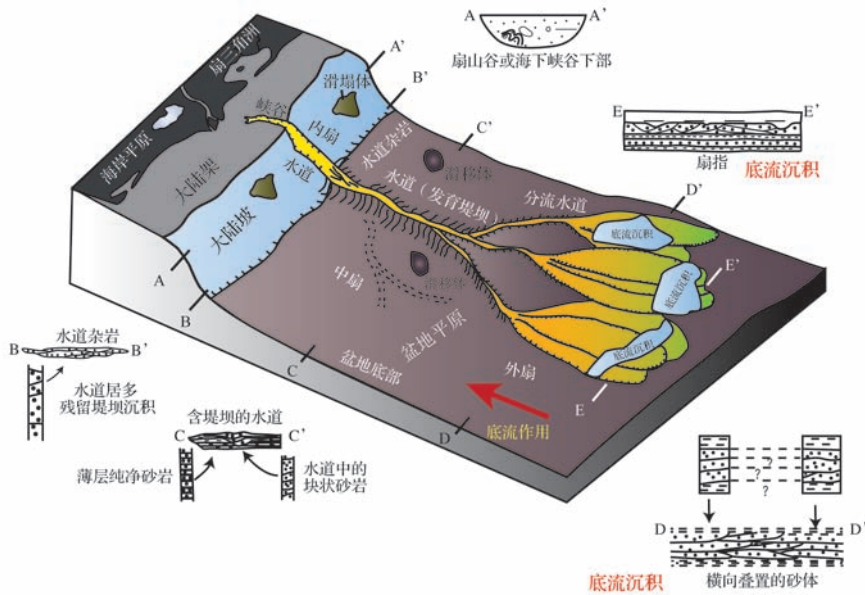


图6 凭祥盆地深水沉积模式图(据参考文献[66]修改)

Fig.6 Deep-water sedimentary model of Pingxiang Basin(modified from reference[66])

体的生物碎屑灰岩砾石反映了可能存有滨浅海的碳酸盐岩生物点礁。此外,研究表明,当垂向密度稳定变化的海水在天体引潮力的作用下流动时,地形剧烈变化的大洋边缘区域经常形成内波、内潮汐,包括海峡、海山、海岭、海沟和陆架坡折处等<sup>[67-68]</sup>,这与笔者团队所推断的凭祥盆地处于活动大陆边缘的构造背景是一致的<sup>[40,45]</sup>。

需要指出的是,目前单一的相模式还无法解释复杂深水环境下的所有变化<sup>[69]</sup>,包括海底地形、沉积过程、几何形态及堆积样式等诸多因素的综合影响,深水沉积系统是非常复杂的<sup>[2,69]</sup>,本文研究区露头十分有限,植被十分发育,因而仅靠一条主干剖面 and 辅助剖面控制盆地充填序列是不够的,针对凭祥盆地这种造山带内被构造肢解的残余盆地,我们需要尽可能依托局部精细沉积柱状图测量,仔细观测相关深水沉积构造,但就恢复盆地岩相古地理格局而言,还是存有一定难度,因而凭祥盆地的浊积扇相模式还需要进一步的考证和后期证据的补充。

## 6 结论

本文基于在广西凭祥盆地识别出内波、内潮汐沉积的基础上,对其中的深水底流沉积作用和古水流数据进行详细解析,并进一步厘定出其中发育的复合流沉积,提出了凭祥中三叠世盆地细粒(富泥)浊积扇

沉积模式,该套底流沉积发育于浊积扇外扇部位,这和凭祥盆地处于活动陆缘环境的构造背景是一致的。深水环境下的底流沉积和重力流沉积实际上是不同性质流体的产物,以往的研究工作可能忽视了深水重力流沉积中的底流沉积,而识别出双向交错层理、倾向斜坡上方的单向交错层理、透镜状层理、复合流层理以及丘状交错层理等沉积构造,结合古水流和沉积微相组合特征分析是区分底流沉积和重力流沉积的有效手段。

致谢 在论文撰写初期,笔者请教了长江大学地球科学学院何幼斌教授,感谢他对本文的指导和鼓励,另外中国地质科学院地质研究所的陈辉明研究员在野外考察过程中提供了帮助,审稿人及本刊编辑对本文提出了建设性修改意见。在此一并表示感谢!

## 参考文献(References)

- Hollister C D, Heezen B C. Geological effects of the ocean bottom currents; Western North Atlantic[M]//Gordon A L. Studies in Physical Oceanography. Vol. 2. New York: Gordon and Breach, 1972: 37-66.
- 王英民,王海荣,邱燕,等. 深水沉积的动力学机制和响应[J]. 沉积学报,2007,25(4):495-504. [Wang Yingmin, Wang Hairong, Qiu Yan, et al. Process of dynamics and its response of deep-water sedimentation[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 495-504.]
- Stow D A V, Hernández-Molina F J, Llave E, et al. Bedform-velocity matrix: The estimation of bottom current velocity from bedform observations[J]. Geology, 2009, 37(4): 327-330.



- 4 Shanmugam G. Deep-marine tidal bottom currents and their reworked sands in modern and ancient submarine canyons[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(5): 471-491.
- 5 Viana A R, Faugères J C, Stow D A V. Bottom-current-controlled sand deposits—a review of modern shallow- to deep-water environments[J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 115(1/2/3/4): 53-80.
- 6 Stow D A V, Mayall M. Deep-water sedimentary systems: New models for the 21st century[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 125-135.
- 7 Mutti E, Bernoulli D, Lucchi F R, et al. Turbidites and turbidity currents from Alpine ‘flysch’ to the exploration of continental margins[J]. *Sedimentology*, 2009, 56(1): 267-318.
- 8 高振中,何幼斌,李向东. 中国地层记录中的内波及内潮汐沉积研究[J]. *古地理学报*, 2010, 12(5): 527-534. [Gao Zhenzhong, He Youbin, Li Xiangdong. Study of internal-wave and internal-tide deposits in stratigraphical record in China[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 12(5): 527-534.]
- 9 李林,曲永强,孟庆任,等. 重力流沉积:理论研究与野外识别[J]. *沉积学报*, 2011, 29(4): 677-688. [Li Lin, Qu Yongqiang, Meng Qingren, et al. Gravity flow sedimentation: theoretical studies and field identification[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(4): 677-688.]
- 10 Young R N, Southard J B. Erosion of fine-grained marine sediments: Sea-floor and laboratory experiments[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1978, 89(5): 663-672.
- 11 Mullins H T, Keller G H, Kofoed J W, et al. Geology of Great Abaco Submarine Canyon (Blake Plateau): Observations from the research submersible “Alvin”[J]. *Marine Geology*, 1982, 48(3/4): 239-257.
- 12 Shanmugam G. Ten turbidite myths[J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58(3/4): 311-341.
- 13 吴嘉鹏,王英民,王海荣,等. 深水重力流与底流交互作用研究进展[J]. *地质论评*, 2012, 58(6): 1110-1120. [Wu Jiapeng, Wang Yingmin, Wang Hairong, et al. The interaction between deep-water turbidity and bottom currents: A review[J]. *Geological Review*, 2012, 58(6): 1110-1120.]
- 14 Masson D G, Howe J A, Stoker M S. Bottom-current sediment waves, sediment drifts and contourites in the northern Rockall Trough[J]. *Marine Geology*, 2002, 192(1/2/3): 215-237.
- 15 Rebesco M, Camerlenghi A. Contourites[M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2008: 779.
- 16 Hanquiez V, Mulder T, Toucanne S, et al. The sandy channel-lobe depositional systems in the Gulf of Cadiz: Gravity processes forced by contour current processes[J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 229(3): 110-123.
- 17 Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 285-342.
- 18 He Y B, Gao Z Z, Luo J X, et al. Characteristics of internal-wave and internal-tide deposits and their hydrocarbon potential[J]. *Petroleum Science*, 2008, 5(1): 37-44.
- 19 He Y B, Gao Z Z. The characteristics and recognition of internal-tide and internal-wave deposits[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(7): 582-589.
- 20 高振中,何幼斌,刘成鑫,等. 深水牵引流沉积的研究历程、现状与前景[J]. *古地理学报*, 2006, 8(3): 331-338. [Gao Zhenzhong, He Youbin, Liu Chengxin, et al. History, status and prospect of study on deep-water traction current deposit[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8(3): 331-338.]
- 21 高振中,何幼斌,李建明,等. 我国发现内潮汐沉积[J]. *科学通报*, 1997, 42(13): 1418-1421. [Gao Zhenzhong, He Youbin, Li Jianming, et al. The first internal-tide deposits found in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(13): 1418-1421.]
- 22 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: 112. [Gao Zhenzhong, He Youbin, Luo Shunshu, et al. Deep-Water Tractive Current Deposits[M]. Beijing: Science Press, 1996: 112.]
- 23 高振中, Eriksson K A. 美国阿巴拉契亚山脉芬卡苏地区奥陶纪海底水道中的内潮汐沉积[J]. *沉积学报*, 1993, 11(1): 12-22. [Gao Zhenzhong, Eriksson K A. Internal-tide deposits in an Ordovician submarine channel, Fincastle, Appalachians, USA[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(1): 12-22.]
- 24 何幼斌,高振中. 内潮汐、内波沉积的特征与鉴别[J]. *科学通报*, 1998, 43(9): 903-908. [He Youbin, Gao Zhenzhong. The characteristics and identification of inter-tide and internal-wave deposits[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(9): 903-908.]
- 25 李向东. 关于深水环境下内波、内潮汐沉积分类的探讨[J]. *地质论评*, 2013, 59(6): 1097-1109. [Li Xiangdong. Proposed classification of internal-wave and internal-tide deposits in deep-water environment[J]. *Geological Review*, 2013, 59(6): 1097-1109.]
- 26 李向东,何幼斌,张铭记,等. 宁夏中奥陶统香山群徐家圈组内波、内潮汐沉积类型[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(9): 1006-1014. [Li Xiangdong, He Youbin, Zhang Mingji, et al. Sedimentary types of internal-wave and internal-tide deposits of Middle Ordovician, Xujiajuan Formation, Xiangshan Group, Ningxia Autonomous Region, China[J]. *Advances in Earth Sciences*, 2011, 26(9): 1006-1014.]
- 27 段太忠,郭建华,高振中,等. 华南古大陆边缘湘北九溪下奥陶统碳酸盐等深岩丘[J]. *地质学报*, 1990(2): 131-143. [Duan Taizhong, Guo Jianhua, Gao Zhenzhong, et al. A Lower Ordovician carbonate contourite drift on the margin of the South China palaeocontinent in Jiuxi, northern Hunan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1990(2): 131-143.]
- 28 张兴阳,高振中,姚雪根. 北大西洋洛克海槽东北部内波沉积——深水大型沉积物波成因的再解释[J]. *沉积学报*, 1999, 17(3): 464-472. [Zhang Xingyang, Gao Zhenzhong, Yao Xuegen. Internal-wave deposits in the north-eastern Rockall Trough, North Atlantic Ocean—reinterpretation of deep-water sediment waves formation[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(3): 464-472.]
- 29 李华,马良涛,严世帮,等. 深水大型沉积物波的成因机制[J]. *海洋地质动态*, 2007, 23(12): 1-7. [Li Hua, Ma Liangtao, Yan Shibang, et al. The genetic mechanism of the deep-water large sediment wave[J]. *Marine Geology Letters*, 2007, 23(12): 1-7.]

- 30 李向东,何幼斌,郑昭昌,等. 宁夏香山群徐家圈组发现深水复合流沉积构造[J]. 地质学报,2010,84(2):221-232.[ Li Xiangdong, He Youbin, Zheng Shaochang, et al. Deep-water combined-flow sedimentary structure in the Xujiaquan Formation of Xiangshan Group, Ningxia[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(2): 221-232.]
- 31 Gong C L, Wang Y M, Peng X C, et al. Sediment waves on the South China Sea Slope off southwestern Taiwan: Implications for the intrusion of the Northern Pacific Deep Water into the South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 32(1): 95-109.
- 32 于兴河,张志杰,苏新,等. 中国南海天然气水合物沉积成藏条件初探及其分布[J]. 地学前缘,2004,11(1):311-315.[ Yu Xinghe, Zhang Zhijie, Su Xin, et al. Primary discussion on accumulation conditions for sedimentation of gas hydrate and its distribution in South China Sea[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1): 311-315.]
- 33 Gao Z Z, He Y B, Li X D, et al. Review of research in internal-wave and internal-tide deposits of China[J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 2(1): 56-65.
- 34 Shanmugam G. Modern internal waves and internal tides along oceanic pycnoclines: Challenges and implications for ancient deep-marine baroclinic sands[J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(5): 799-843.
- 35 Shanmugam G. Review of research in internal-wave and internal-tide deposits of China: Discussion[J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 3(4): 332-350.
- 36 Stow D A V, Hernández-Molina F J, Llave E, et al. The Cadiz Contourite Channel: Sandy contourites, bedforms and dynamic current interaction[J]. Marine Geology, 2013, 343: 99-114.
- 37 Gao Z Z, He Y B, Li X D, et al. Reply to Shanmugam, G. "Review of research in internal-wave and internal-tide deposits of China: Discussion" [J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 3(4): 351-358.
- 38 广西壮族自治区地质调查研究院. 凭祥市、凉山(1/3幅)幅1:25万区域地质调查报告[R]. 南宁:广西壮族自治区地质调查研究院,2009:1-286.[ Guangxi Zhuang Autonomous Province Institute of Geological Survey. 1: 250000 Regional geological survey report of Pingxiang and Liangshan (1/3)[R]. Nanning: Guangxi Zhuang Autonomous Province Institute of Geological Survey, 2009: 1-286.]
- 39 高振中,刘怀波. 十万大山盆地北缘早三叠世碳酸盐重力流及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,1983,4(1):53-65.[ Gao Zhenzhong, Liu Huaibo. Early Triassic carbonate gravity flow along the north margin of Shiwandashan Basin and its geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 1983, 4(1): 53-65.]
- 40 宋博,闫全人,向忠金,等. 广西凭祥中三叠世盆地沉积特征与构造属性分析[J]. 地质学报,2013,87(4):453-473.[ Song Bo, Yan Quanren, Xiang Zhongjin, et al. Sedimentary characteristics and tectonic setting of the Middle Triassic Pingxiang Basin, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(4): 453-473.]
- 41 覃小锋,王宗起,张英利,等. 桂西南早中生代酸性火山岩年代学和地球化学:对钦—杭结合带西南段构造演化的约束[J]. 岩石学报,2011,27(3):794-808.[ Qin Xiaofeng, Wang Zongqi, Zhang Yingli, et al. Geochronology and geochemistry of Early Mesozoic acid volcanic rocks from Southwest Guangxi: constraints on tectonic evolution of the southwestern segment of Qinzhou-Hangzhou joint belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 794-808.]
- 42 梁金城,邓继新,陈懋弘,等. 桂西南早三叠世中酸性火山岩及其构造环境[J]. 大地构造与成矿学,2001,25(2):141-148.[ Liang Jincheng, Deng Jixin, Chen Maohong, et al. The Early Triassic intermediate-acid volcanics and its tectonic environment in southwestern Guangxi[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001, 25(2): 141-148.]
- 43 梁金城,彭淑兰,陈懋弘,等. 广西凭祥逆冲推覆构造的发现及意义[J]. 桂林工学院学报,1996,16(4):329-337.[ Liang Jincheng, Peng Shulan, Chen Maohong, et al. The discovery of Piangxiang nappe in Guangxi and its significance[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 1996, 16(4): 329-337.]
- 44 Cai J X, Zhang K J. A new model for the Indochina and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic[J]. Tectonophysics, 2009, 467(1/2/3/4): 35-43.
- 45 宋博,闫全人,向忠金,等. 广西南部凭祥中三叠世沉积盆地构造环境——来自岩相学和碎屑岩地球化学的证据[J]. 地质通报,2014,33(12):2032-2050.[ Song Bo, Yan Quanren, Xiang Zhongjin, et al. Petrography and geochemistry of clastic rocks and their constraints on the tectonic setting of the Middle Triassic Pingxiang Basin, southern part of Guangxi[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(12): 2032-2050.]
- 46 李相博,刘化清,张忠义,等. 深水块状砂岩碎屑流成因的直接证据:“泥包砾”结构——以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组研究为例[J]. 沉积学报,2014,32(4):611-622.[ Li Xiangbo, Liu Huaqing, Zhang Zhongyi, et al. "Argillaceous parcel" structure: A direct evidence of debris flow origin of deep-water massive sandstone of Yanchang Formation, Upper Triassic, the Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(4): 611-622.]
- 47 钟大赉,吴根耀,季建清,等. 滇东南发现蛇绿岩[J]. 科学通报,1998,43(13):1365-1370.[ Zhong Dailai, Wu Genyao, Ji Jianqing, et al. The foundation of ophiolite in the southeast of Yunnan[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(13): 1365-1370.]
- 48 吴根耀,李曰俊. 桂东南马山沿灵山断裂出露的印支期洋岛玄武岩及其区域构造意义[J]. 现代地质,2011,25(4):682-691.[ Wu Genyao, Li Yuejun. The Mashan indosinian oceanic island basalt outcropping along the Lingshan fracture in southeast Guangxi and its tectonic implications[J]. Geoscience, 2011, 25(4): 682-691.]
- 49 杜远生,黄虎,杨江海,等. 晚古生代—中三叠世右江盆地的格局和转换[J]. 地质论评,2013,59(1):1-11.[ Du Yuansheng, Huang Hu, Yang Jianghai, et al. The basin translation from Late Paleozoic to Triassic of the Youjiang Basin and its tectonic signification[J]. Geological Review, 2013, 59(1): 1-11.]
- 50 胡丽沙,杜远生,杨江海,等. 广西那龙地区中三叠世火山岩地球化学特征及构造意义[J]. 地质论评,2012,58(3):481-494.[ Hu Lisha, Du Yuansheng, Yang Jianghai, et al. Geochemistry and tectonic significance of Middle Triassic volcanic rocks in Nalong, Guangxi area[J]. Geological Review, 2012, 58(3): 481-494.]
- 51 王忠诚,吴浩若,邝国敦. 广西晚古生代硅岩的地球化学及其形成的大地构造环境[J]. 岩石学报,1995,11(4):449-455.[ Wang Zhongcheng, Wu Haoruo, Kuang Guodun. Geochemistry and origin of Late Paleozoic cherts in Guangxi and their explanation of tectonic en-

- vironments[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(4): 449-455.]
- 52 杜远生, 黄宏伟, 黄志强, 等. 右江盆地晚古生代—三叠纪盆地转换及其构造意义[J]. *地质科技情报*, 2009, 28(6): 10-15. [Du Yuansheng, Huang Hongwei, Huang Zhiqiang, et al. Basin translation from Late Palaeozoic to Triassic of Youjiang Basin and its tectonic significance [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(6): 10-15.]
- 53 秦建华, 吴应林, 颜仰基, 等. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化[J]. *地质学报*, 1996, 70(2): 99-107. [Qin Jianhua, Wu Yinglin, Yan Yangji, et al. Hercynian-Indosinian sedimentary-tectonic evolution of the Nanpanjiang Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70(2): 99-107.]
- 54 曾允孚, 刘文均, 陈洪德, 等. 华南右江复合盆地的沉积构造演化[J]. *地质学报*, 1995, 69(2): 113-124. [Zeng Yunfu, Liu Wenjun, Chen Hongde, et al. Evolution of sedimentation and tectonics of the Youjiang composite basin, South China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1995, 69(2): 113-124.]
- 55 晋慧娟, 李育慈, 方国庆. 西秦岭古代地层记录中内波、内潮汐沉积及其成因解释[J]. *沉积学报*, 2002, 20(1): 80-84. [Jin Huijuan, Li Yuci, Fang Guoqing. Internal-wave and internal-tide deposits in the Paleostratigraphic record of the western Qinling Mountains and their origin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(1): 80-84.]
- 56 Dumas S, Arnott R, 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.
- 57 Lamb M P, Myrow P M, Lukens C, et al. Deposits from wave-influenced turbidity currents: Pennsylvanian Minturn Formation, Colorado, U.S.A. [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2008, 78(7): 480-498.
- 58 Myrow P M, Fischer W, Goode J W. Wave-modified turbidites: combined-flow shoreline and shelf deposits, Cambrian, Antarctica [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2002, 72(5): 641-656.
- 59 Quin J G. Is most hummocky cross-stratification formed by large-scale ripples? [J]. *Sedimentology*, 2011, 58(6): 1414-1433.
- 60 Mulder T, Razin P, Faugeres J C. Hummocky cross-stratification-like structures in deep-sea turbidites: Upper Cretaceous Basque basins (Western Pyrenees, France) [J]. *Sedimentology*, 2009, 56(4): 997-1015.
- 61 Morsilli M, Pomar L. Internal waves vs. surface storm waves: A review on the origin of hummocky cross-stratification [J]. *Terra Nova*, 2012, 24(4): 273-282.
- 62 Gao Z Z, Eriksson K A. Internal-tide deposits in an Ordovician submarine channel: Previously unrecognized facies? [J]. *Geology*, 1991, 19(7): 734-737.
- 63 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. [Gao Zhenzhong, He Youbin, Zhang Xinyang, et al. Internal-wave and internal-tide deposits of the Middle-Upper Ordovician in the center Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 400-407.]
- 64 何幼斌, 高振中, 张兴阳, 等. 塔里木盆地塔中32井中上奥陶统内潮汐沉积[J]. *古地理学报*, 2003, 5(4): 414-425. [He Youbin, Gao Zhenzhong, Zhang Xinyang, et al. Internal-tide deposits of the Middle and Upper Ordovician in Well TZ 32, Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2003, 5(4): 414-425.]
- 65 李华, 何幼斌, 李向东, 等. 宁夏香山群徐家圈组波浪特征及成因分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 2010, 30(1): 18-24. [Li Hua, He Youbin, Li Xiangdong, et al. Origin of the ripple marks from the Xujiaquan Formation of the Xiangshan Group in Ningxia [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2010, 30(1): 18-24.]
- 66 Bouma A H. Coarse-grained and fine-grained turbidite systems as end member models: applicability and dangers [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 137-143.
- 67 李家春. 水面下的波浪—海洋内波 [J]. *力学与实践*, 2005, 27(2): 1-6. [Li Jiachun. Billow under the sea surface—internal waves in the ocean [J]. *Mechanics and Engineering*, 2005, 27(2): 1-6.]
- 68 蔡俊, 吕修祥, 焦伟伟, 等. 内波和内潮汐沉积对深水油气勘探的意义 [J]. *新疆石油地质*, 2012, 33(1): 52-57. [Cai Jun, Lü Xiuxiang, Jiao Weiwei, et al. Internal-wave and internal-tide deposits and implications for hydrocarbon exploration in deep water [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2012, 33(1): 52-57.]
- 69 李相博, 卫平生, 刘化清, 等. 浅谈沉积物重力流分类与深水沉积模式 [J]. *地质论评*, 2013, 59(4): 607-614. [Li Xiangbo, Wei Pingsheng, Liu Huaqing, et al. Discussion on the classification of sediment gravity flow and the deep-water sedimentary model [J]. *Geological Review*, 2013, 59(4): 607-614.]

## Sedimentary Types and Significance of Deep-water Bottom Currents Deposit in the Pingxiang Basin, Guangxi

SONG Bo<sup>1,2</sup> YAN QuanRen<sup>3</sup> XIANG ZhongJin<sup>2</sup> LI XiangDong<sup>4</sup>

GAO JingMin<sup>5</sup> WANG YanWen<sup>1</sup> LI XianBing<sup>5</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. School of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

5. Shaanxi Nuclear Industry Geology Surveying Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** The internal-wave, internal-tide and combined-flow deposit of the ancient deep-water system is a new find in recent twenty years. As the sedimentary records are rare, the sedimentology research on the bottom currents in the deep-water system is restricted. Based on detailed analysis of the geological sections and sedimentary outcrop columns, there exists bottom current deposits in the deep-water deposits of Pingxiang Basin. This paper deeply analyzes the sedimentary structure and paleocurrent of these bottom current deposits. The bottom current deposits consist of internal-wave, internal-tide and combined-flow deposits. The internal-wave and internal-tide deposits are characterized by bidirectional cross lamination, unidirectional cross lamination and lenticular lamination. The combined-flow deposit is characterized by combined-flow ripple lamination, hummocky cross lamination and sharp climbing ripple lamination. Furthermore, it shows the interaction between turbidity and bottom currents. This paper provides a new sample for the research of bottom currents in the ancient deep-water system.

**Key words:** internal-wave and internal-tide; combined-flow; deep-water bottom current; Pingxiang Basin