

石门杨家坪下寒武统杷榔组三段内波和 内潮汐沉积研究

何幼斌 高振中 郭成贤 徐 徽 董桂玉

(长江大学地球科学学院,湖北 荆州 434023)

摘要:湖南石门杨家坪下寒武统杷榔组三段主要为一套深灰色、灰绿色页状至薄层含粉砂水云母泥(页)岩与泥质粉砂岩夹透镜状、条带状粉砂岩,其沉积环境为斜坡环境。中上部透镜状、条带状粉砂岩中交错层理极为发育,纹层倾向既有沿斜坡向上和向下双向倾斜的,也有沿斜坡向下或沿斜坡向上单向倾斜的,它们不应是等深流沉积或浊流沉积,而应为内波、内潮汐产生的沿斜坡上下交替流动所形成的。笔者对寒武系内波、内潮汐沉积做了首次研究。

关键词:内波;内潮汐沉积;双向交错层理;深水沉积;斜坡;下寒武统

中图分类号:P534.41 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)01-0062-08

内波和内潮汐是海洋学研究的一项重要成果。内波是一种水下波,它存在于两个不同密度的水层的界面上,或存在于具有密度梯度的水层之内^[1]。在所有的大洋中均有内波存在,而它的振幅、周期、传播速度及存在的深度有很大的变化。当内波的周期与海面潮汐(半日潮或日潮)的周期相同时,就称这种内波为内潮汐^[2]。一般在深度超过 200~250 m 时,内潮汐表现得比较明显。内波和内潮汐可以引起沿海底峡谷或大陆边缘其他各种类型的沟谷轴线向上和向下的双向交替流动,也可以引起其他非峡谷环境中的双向交替流动^[3]。海洋学的调查表明,这种双向流动的流速一般为 20~50 cm/s^[3]。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^[4]。这表明,在深水区内波和内潮汐是一种重要的地质营力,并对深水沉积作用有重要影响。然而沉积学研究没有及时地吸取海洋学中这一研究成果,将其应用于沉积学的研究中。尽管一些研究者已注意到深水沉积中存在潮汐作用迹象^[5,6],但未能进行系统深入研究。直到 1990 年,高振中等^[7,8]在研究美国阿巴拉契亚山脉中段奥陶系时,才首次识别出了古代地层中的内波和内潮汐沉积。至此,内潮汐沉积这一术语开始出现于沉积学词汇中,一个新的研究领域宣告展开。目前已在阿巴拉契亚山脉中段奥陶系、浙江桐庐上奥陶统^[9]、塔里木盆地中上奥陶统^[10,11]、西秦岭泥盆系至三叠系^[12]、江西修水中元古界^[13]、翁通爪哇海台

古近系至第四系^[14]中识别出了内波、内潮汐沉积。

目前所发现的内波、内潮汐沉积主要为碎屑岩。其中水道环境中内波、内潮汐沉积的粒度以极细砂至中砂为主,少量粗砂,而在平坦、开阔的非水道环境中的内波、内潮汐沉积的粒度范围要宽广得多,包括砂质、粉砂质和泥质沉积。该类沉积具有特征的指向构造——双向沉积构造,即具有沿水道(或斜坡)向上和向下方向倾斜的交错层理或交错层,这是区别于重力流和等深流沉积的显著标志^[14,15]。在具有平缓坡度的开阔地带,内潮汐和内波作用形成的指向沉积构造可能是多向的。内波、内潮汐沉积中还常见脉状、波状和透镜状层理,这与潮坪环境所见比较相似,但内波、内潮汐沉积形成于深水还原环境,其沉积物颜色和指相矿物与潮坪沉积迥然不同,更无暴露标志。此外,在现已发现的内波、内潮汐沉积中尚未发现有生物扰动构造^[7,14]。

目前在世界各地已发现的内波、内潮汐沉积主要有双向交错层理砂岩微相,单向交错层和交错层理砂岩微相,韵律性砂泥岩薄互层微相,脉状、波状、透镜状层理有孔虫灰岩微相,砂质鲕粒灰岩微相等类型^[14,15]。内潮汐和内波沉积的模式主要有水道型内潮汐、内波沉积模式,陆坡非水道环境内潮汐沉积模式和海台内潮汐沉积模式 3 种^[14,15]。

湖南石门杨家坪寒武系剖面是扬子地层区湘西北分区的典型剖面。下寒武统杷榔组三段是一套深灰色、灰绿

收稿日期:2004-02-13;改回日期:2004-10-03

基金项目:国家自然科学基金(40272060)、高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(教人司[2002]123号)、石油科技中青年创新基金(2002F70102)资助。

作者简介:何幼斌,男,1964年生,博士,教授,主要从事沉积学的教学和研究工作;E-mail:heyoub@sohu.com。

表 1 石门杨家坪下寒武统地层及沉积相

Table 1 Summary of the Lower Cambrian stratigraphy and sedimentary facies in Yangjiaping, Shimen

统	组	段	厚度/m	主要岩性	沉积相
下	清虚洞组	三段	60.9	灰色中—厚层泥粉晶白云岩夹砂屑、砾屑、藻屑白云岩,发育水平纹理,见鸟眼构造和石膏假晶	台地蒸发岩 局限海台地
		二段	52.3	以中厚层亮晶颗粒灰岩为主,包括叠层石灰岩、砂砾屑灰岩及燧石团块灰岩,夹少量白云岩	开阔海台地相 台地边缘浅滩相
		一段	66.9	深灰色—灰色中—薄层泥质灰岩为主,发育准同生变形和滑塌构造	台地前缘斜坡相
寒武统	杷榔组	三段	260.3	上部深灰色、灰绿色薄层水云母粘土岩、含灰粉砂质粘土岩夹透镜状、条带状泥质灰质粉砂岩;中部灰绿色薄层含粉砂水云母粘土岩与薄层泥质粉砂岩,见各种亮晶颗粒灰岩的孤立滑动岩块;中上部粉砂岩中发育单向及双向交错层理;下部灰至深灰色薄层水云母粘土岩夹灰色薄层含云灰岩,具水平层理	斜坡相
		二段	470	灰色薄层泥晶—粉晶含泥含云灰岩、含云泥质灰岩夹含泥云质灰岩,底部为灰绿、黄绿色泥粉晶含云泥质灰岩与绢云母页岩夹泥晶含泥含云灰岩。普遍发育水平层理,下部发育准同生变形层理及孤立滑动岩块	盆地边缘相 斜坡相
		一段	68.0	黑色、暗灰色薄层硅质碳质页岩及碳质页岩,底部为暗灰色中薄层泥晶粉屑灰岩	盆地边缘相
寒武统	牛蹄塘组	二段	136.5	黑色薄层含粉砂碳质页岩,上部为含硅碳质页岩。发育水平纹层,见海绵骨针及浸染状黄铁矿等	盆地相
		一段	14.7	黑色含硅碳质页岩,上部夹透镜状含碳灰岩,下部含磷碳质页岩与含碳磷酸盐岩互层,见含磷结核。发育水平纹层,见海绵骨针	盆地边缘相

色页岩至薄层含粉砂水云母粘土岩与泥质粉砂岩夹透镜状、条带状粉砂岩。一般认为其形成环境为斜坡环境或斜坡下部环境^[16,17],以深水原地降落沉积为主,并认为其中的透镜状、条带状粉砂岩等为深流沉积或远源浊流沉积^[16,17]。笔者通过详细的野外观察和室内研究,发现中上部透镜状、条带状粉砂岩中交错层理极为发育,部分具有双向交错层理,单向倾斜的交错层理中的纹层倾向既有向斜坡上方的,也有向斜坡下方的,其特征与等深流沉积和浊流沉积明显不同,而与内波、内潮汐沉积的特征吻合,应解释为内波、内潮汐沉积。

1 区域地质背景

研究剖面位于湖南省石门县北部杨家坪村,该区构造上属于中扬子地台西南部桑植—石门复向斜。北临长江三峡,西接鄂西南、湘西北武陵山地,属扬子准地台中区西南部八面山台褶带范围。

该区下寒武统露头完整,厚度较大,与下伏灯影组和上覆高台组呈整合接触。从下至上分为牛蹄塘组、杷榔组和清虚洞组(表 1)。研究层位为下寒武统杷榔组上部,即杷榔组三段(相当沧浪铺晚期)。在早寒武世沧浪铺期,从上扬子地区再到湘鄂地区到江南区,为陆源碎屑陆棚向碳酸盐台地、斜坡、盆地逐渐过渡^[8],沉积相的展布格局自北西向南东为近陆源碎屑潮坪→浅水缓斜坡→深水斜坡→深水盆地,区域斜坡大致倾向 SE—SEE。研究区湘西北石门杨家坪位于深水斜坡区,该处斜坡倾向与区域斜坡倾向基本近似,大致为 SEE 方向(图 1)。

2 岩性特征及沉积环境分析

研究区下寒武统岩石类型较为丰富,碎屑岩和碳酸盐岩都有发育。其中碎屑岩包括泥岩、页岩、粉砂岩和角砾岩,碳

酸盐岩包括泥—粉晶灰(云)岩等。研究的杷榔组三段以泥、页岩为主。

牛蹄塘组一段以黑色碳质板状页岩、硅质板状页岩沉积为主,偶夹沉积型重晶石富集层,水平纹层发育,富浸染状黄铁矿;下部发育页状至薄层粉屑磷块岩、薄层粉屑含磷灰岩等夹层,具微侵蚀面和粒序层理,可能为远源浊流沉积;底部

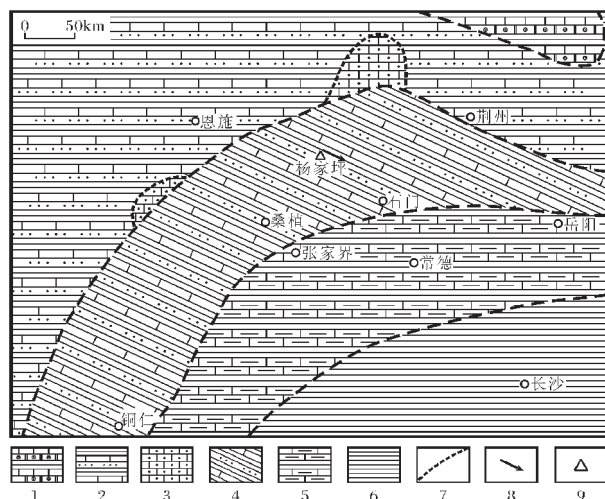


图 1 湘鄂西地区早寒武世沧浪铺期沉积相展布图

(据蒲心纯等, 1993, 修改)

1—潮坪; 2—浅水缓坡; 3—浅滩; 4—深水斜坡; 5—盆地边缘; 6—盆地; 7—相带界线; 8—研究区斜坡倾向; 9—剖面位置

Fig. 1 Distribution of Early Cambrian Canglangpuan sedimentary facies in western Hunan and Hubei provinces (modified from Pu Xinchun et al., 1993)

1—Tidal flat; 2—Shallow-water gentle slope; 3—Shoal; 4—Deep-water slope; 5—Basin margin; 6—Basin; 7—Facies zone boundary; 8—Dip of the slopes in the study area; 9—Location of the study section

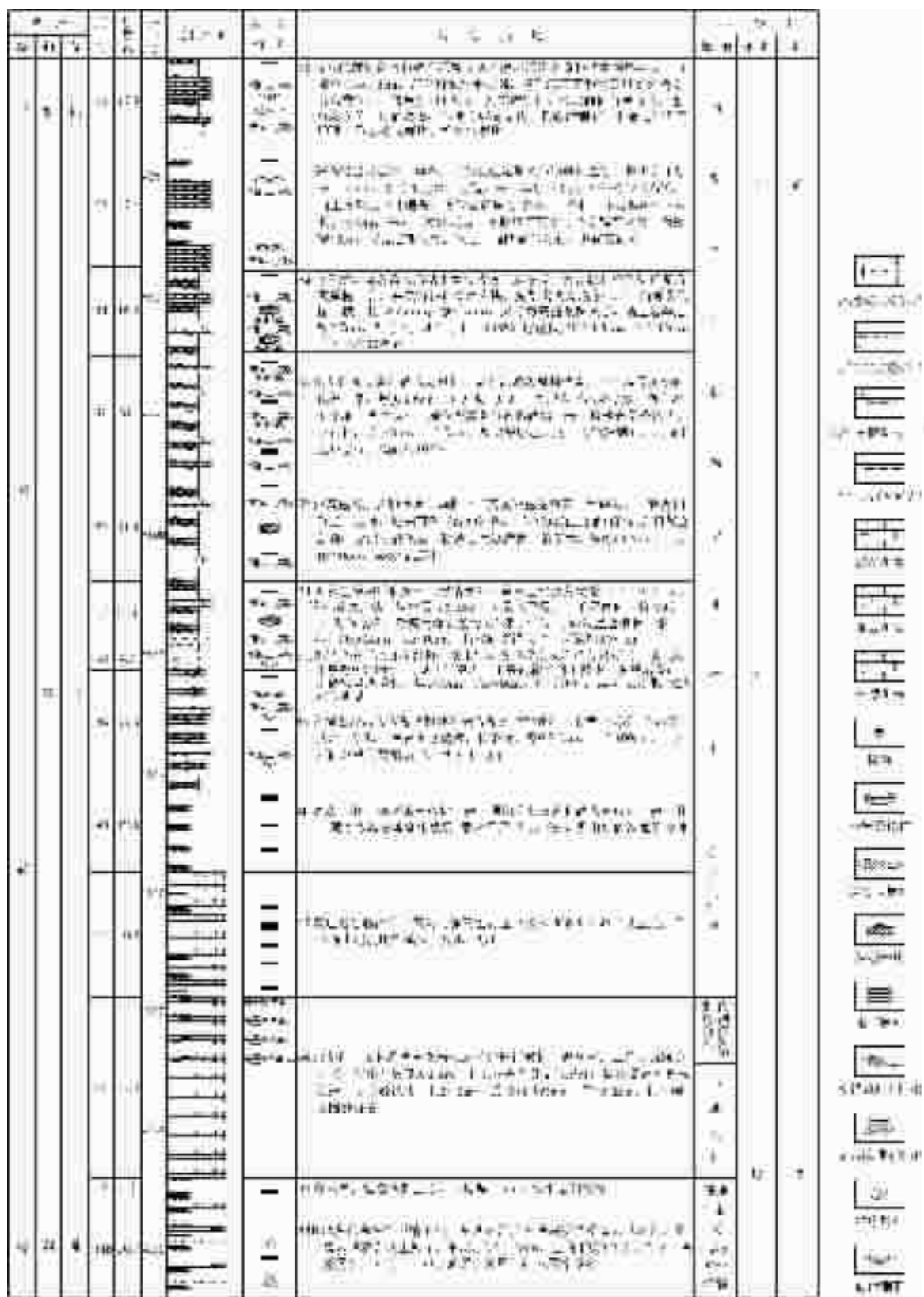


图 2 湖南石门杨家坪下寒武统杷榔组三段沉积相柱状图

Fig.2 Columnar section of sedimentary facies of the Third Member of the Lower Cambrian Balang Formation at Yangjianping, Shimen, Hunan Province

产 *Protohertzina* 群落带^[9];牛蹄塘组二段以深灰色至黑色水云母板状页岩为主,含少量碳质和陆源石英粉砂,局部有硅质岩夹层,水平纹层发育,亦有浸染状黄铁矿,产海绵骨针和三叶虫化石,顶部产 *Hunanocephalus* 群落带^[9];中部偶夹沉积型重晶石富集层。这些特征反映牛蹄塘期沉积环境为浅海盆地边缘至盆地环境。

杷榔组一段以深灰色水云母页岩、含碳水云母页岩为主,毫米级水平纹层发育,可见浸染状黄铁矿;底部见有深灰色中薄层泥晶粉屑灰岩,其粉屑为暗色泥晶灰岩、黑色碳质页岩的岩屑,可能为低密度浊流沉积。产 *Arthricocephalus* 群落带^[9]。反映了盆地边缘沉积的特征。

杷榔组二段以灰色、暗灰色薄层泥粉晶含泥灰岩、泥质灰岩为主,水平纹层发育,普遍夹有粉晶粉屑灰岩,单层仅数毫米,但横向延伸稳定,具正粒序和底侵蚀面;中下部岩层普遍发生准同生滑动变形,偶见数厘米至数十厘米长的孤立滑动岩块,成分为纹层状含泥灰岩;产腕足类和三叶虫,产 *Redlichia takooensis* 群落带和 *Redlichia hupehensis* 群落带^[9]。这些特征反映该段为斜坡至盆地边缘沉积环境。准同生滑动变形中以滑动褶皱最为发育,其滑动褶皱的轴面多与层面呈角度相交,且轴面倾向经校正后主要为 NW—NW,反映沉积物向 SE—SE 方向滑动,即研究区在该时期的古斜坡向 SE—SE 倾。

杷榔组三段主要为灰色、暗灰色页状至薄层含粉砂水云母泥(页)岩、含灰泥(页)岩夹薄层状、透镜状、条带状粉砂岩、泥质粉砂岩及钙质粉砂岩(图 2),可见准同生滑动变形构造(图版 I-1)及大小不等的孤立滑动岩块(图版 I-2),偶见具水平层理的粉砂质粘土岩滑动而成的滑塌角砾岩。孤立滑动岩块大小不等、形态各异,主要是亮晶颗粒灰岩、亮晶砂屑灰岩等浅水台地相岩石。短轴 10 cm,长轴 5~60 cm,个别为 55 cm×300 cm,长轴多顺层排列^[9]。发育透镜状层理(图版 I-3),局部可见波状层理(图版 I-4)。粉砂岩中发育各种交错层理(图版 I-3~6);页岩及薄层泥质粉砂岩具水平层理,单层厚小于 5 cm,一般为 1~2 cm,横向稳定。产 *Palaeolenus* 群落带^[9],层面上可见遗迹化石^[17]。这些特征表明该段应为深水斜坡沉积(图 2)。

清虚洞组一段以灰色薄板状含泥粉晶灰岩为主,自下而上泥质增多,具水平纹层,常夹准同生滑动变形层,可见灰色厚层滑塌角砾岩。角砾主要由灰岩角砾组成,多呈板条状,长轴 2~3 cm,无分选杂乱排列,角砾岩横向分布不稳定,与薄层含泥粉晶、泥晶灰岩呈“阶梯”状接触。表明该段为台地前缘斜坡沉积。

清虚洞组二段下部由含泥粉屑灰岩与含泥粉晶灰岩互层组成,偶见交错层理,微波状,起伏的藻叠层石,偶夹薄层亮晶颗粒灰岩,具中型槽状交错层和底冲刷面,颗粒多为鲕粒和变形砂屑。上部为灰色亮晶砂屑灰岩、亮晶藻粘结核形石—鲕粒灰岩、波状藻叠层石白云岩与具韵律层理的泥晶白

云岩、粉屑白云岩互层,具中—大型交错层和生物扰动构造,为碳酸盐台地至台地边缘浅滩沉积。

清虚洞组三段为灰色厚层块状白云岩与灰色中厚层砂屑、砾屑白云岩互层。下部为粉屑白云岩与泥晶白云岩互层,偶夹微波状藻叠层石白云岩,具水平纹层,偶见小型交错层,层面上可见叠加波痕。中部为粉屑白云岩与泥晶白云岩互层,偶夹波状藻叠层石白云岩,具水平层理、鸟眼构造、石膏假晶。上部以泥晶白云岩为主,具水平层理,普遍出现柱状、针状石膏假晶,偶夹透镜状变形砂屑白云岩、亮晶鲕白云岩。这些特征表明其沉积环境为局限台地至台地蒸发岩环境或潮间—潮上带的潮坪沉积环境。

综上所述,石门杨家坪下寒武统沉积环境基本上是由深变浅,杷榔组沉积环境由盆地边缘逐渐变为斜坡环境,其中杷榔组三段为斜坡环境。

3 杷榔组三段内波和内潮汐沉积特征

由上述可见,杷榔组三段中上部以灰—深灰、灰绿色含粉砂或粉砂质水云母泥(页)岩夹薄层状、透镜状、条带状粉砂岩、泥质粉砂岩及泥质灰质粉砂岩为主(图 2)。这种透镜状、条带状粉砂岩厚度一般 0.5~2 cm,横向延伸数厘米至数十厘米,垂向丰度 10~60 层/m;发育交错层理(图版 I-3~6),通常一个透镜体仅见一个层系,个别较厚的透镜体可见 2~3 个

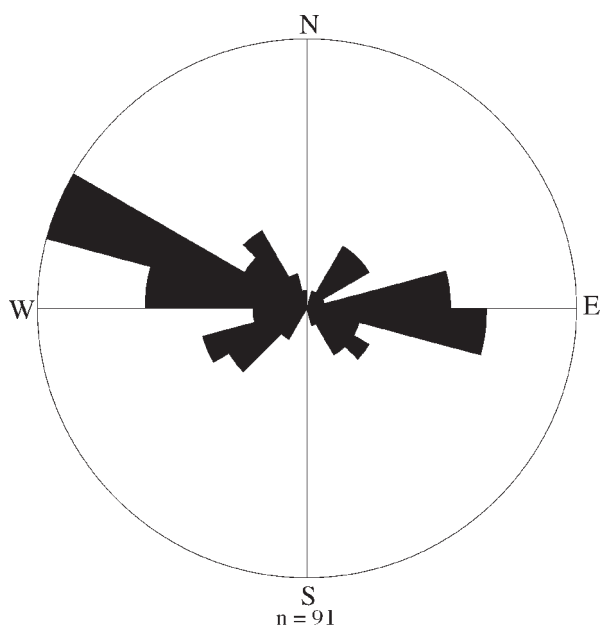
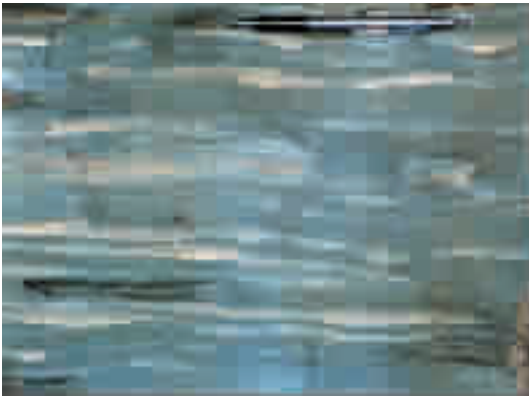


图 3 湖南石门杨家坪下寒武统杷榔组三段粉砂岩中交错层理前积纹层倾向玫瑰图

Fig.3 Dip rose diagram of foreset laminae in siltstones of the Third Member of the Lower Cambrian Balang Formation at Yangjianping, Shimen, Hunan Province

图版 I



1. 把榔组二段泥粉晶含泥灰岩中的准同生滑动变形构造(照片中下部),箭头所示滑动方向(SEE);
 2. 把榔组三段粉砂质粘土岩及其中所夹孤立滑动岩块(S),岩块成分为亮晶鲕粒灰岩,箭头所示滑动方向(SEE);
 3. 把榔组三段深灰色含粉砂泥岩夹黄灰色透镜状、条带状灰质粉砂岩,发育透镜状层理,粉砂岩中发育单向及双向交错纹理;
 4. 把榔组三段深灰色含粉砂泥岩与浅灰色条带状、透镜状灰质粉砂岩互层,组成波状、透镜状层理,粉砂岩中发育单向及双向交错纹理;
 5. 把榔组三段浅灰色条带状灰质砂岩的双向交错纹理,校正后的纹层分别倾向 SEE(A)和 NWW(B);
 6. 把榔组三段浅灰色条带状灰质砂岩的交错纹理,校正后的纹层分别倾向 SEE(A)和 NW(B)。
1. Penecontemporaneous slump deformation structures in mud-bearing micritic to silt-sized crystalline limestones in the second member of Balang Formation (the middle to lower section in the picture); the slide direction as the arrowhead (SEE).
 2. The silty claystones and the isolated slide block contained in the silty claystones in the third member of Balang Formation and the component of the slide block is oosparite; the slide direction as the arrowhead (SEE).
 3. The deep-gray silt-bearing mudstones with intercalated beds of yellow-gray lenticular and zebra calcareous siltstones in the third member of Balang Formation, in which lenticular beddings are well developed. Unidirectional and bidirectional cross beddings are well developed in the siltstones.
 4. Wavy and lenticular beddings composed of thin alternating layers of the dark-gray silt-bearing mudstone and the light-gray zebra and lenticular calcareous siltstones in the third member of Balang Formation, and unidirectional and bidirectional cross beddings are well developed in the siltstones.
 5. Bidirectional cross beddings developed in the light-gray zebra calcareous siltstone in the third member of Balang Formation. Laminae dip ESE(A) and WNW(B).
 6. Cross beddings developed in the light-gray zebra calcareous siltstones in the third member of Balang Formation. Laminae dip ESE(A) and NW(B) .

层系;纹层倾角 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,倾向既有单向的,也有双向的(图版 I-3~6)。91 个纹层产状校正数据统计表明(图 3),纹层主要是向 NW—NW 倾,以 $286^{\circ}\sim 295^{\circ}$ 为主,次为 $273^{\circ}\sim 284^{\circ}$,少量为 $303^{\circ}\sim 321^{\circ}$;其次是向 E—SEE 倾,以 $77^{\circ}\sim 103^{\circ}$ 为主,次为 $107^{\circ}\sim 151^{\circ}$;此外尚有少量纹层倾向 SW 和 NE 方向。可见交错层理的倾向既有与斜坡倾向几乎完全相反的,也有斜坡倾向近一致的,还有少量与斜坡倾向近于垂直的,其中多数交错层理的倾向与斜坡倾向几乎完全相反。说明形成这种交错层理的水流是多向的,但主要应是沿斜坡上下交替的流动,局部时期以向斜坡上方流动为主。

对于具有双向交错层理的粉砂岩来说,既不可能形成于浊流,也不可能为等深流沉积。因为浊流是向下方的单向流动,而等深流是平行海底等深线沿斜坡走向流动的。而且等深流沉积中的生物扰动构造十分发育^[20-22],而该粉砂岩则不同。因此,在这种较深水的斜坡环境中,只有内波、内潮汐形成的双向流动才能形成具有这种双向纹理的粉砂岩。

对于具单向交错层理的粉砂岩,如其纹层倾向向斜坡上方倾斜,那也不可能形成于浊流和等深流,而应形成于向斜坡上方为主的流动,这种单向优势流动可由长周期内波与内潮汐叠加而成^[7,8,14],显然这也应归于内波、内潮汐沉积。对于研究区杷榔组三段,这种类型的粉砂岩相对较多一些。如其纹层倾向向斜坡下方倾斜,则有可能为浊流沉积,也有可能是长周期内波与内潮汐叠加形成的向斜坡下方为主的单向优势流动所致。在这种情况下,就必须根据沉积层序和其他特征加以鉴别。对于杷榔组三段的粉砂岩而言,没有明显的底侵蚀面和粒序层,可能不应为浊流沉积。

对于在具有平缓坡度的开阔地带,内潮汐和内波作用引起的双向往复流动的路径并不一定相同,且往复流动的总方向易于发生变化,因此导致双向交错层理的纹层方向并不一定相差 180° ,而有一定程度的偏离,使得形成的交错层理事实上是多向的^[14]。而研究区当时的沉积环境为深水较平缓的斜坡环境,粉砂岩中交错层理纹层倾向除沿斜坡上下外,还有向其他方向的(图 3),这可能是内潮汐、内波引起往复流动的路径不断变化的结果。

杷榔组三段中上部深灰色泥岩夹粉砂岩薄层以及透镜状、波状层理的存在,代表了床沙载荷与悬浮载荷的频繁交替,这是与潮汐有关的沉积的基本特征,交错层理的双向倾斜则更是潮流双向运动的直接证据,所以在深水斜坡环境形成的具有这种特征的沉积应为内波、内潮汐沉积作用的结果。

由此可见,杷榔组三段中上部的薄层状、透镜状、条带状粉砂岩、泥质粉砂岩应为内波、内潮汐沉积。其特征与塔中地区中、上奥陶统和浙江桐庐上奥陶统堰口组中深水陆棚至斜坡环境中由内潮汐作用形成的具有波状、脉状和透镜状层理的砂泥岩薄互层^[9-11]非常相似,而且沉积构造特征与阿巴拉契亚山脉中段芬卡斯尔地区中奥陶统内潮汐沉积^[7,8]也十分相似,只是其砂质较细,含量较少。这表明它们的成因和形成环

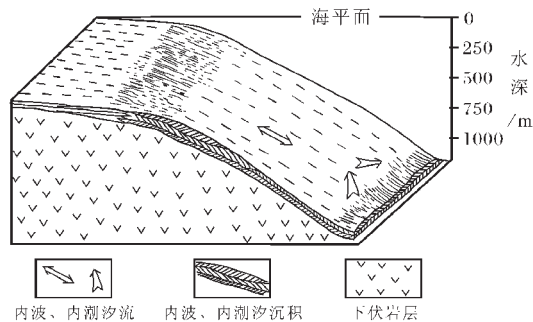


图 4 湖南石门杨家坪下寒武统杷榔组三段内波和内潮汐沉积模式图

Fig.4 Sedimentation model for internal-wave and internal-tide deposits in the Third Member of the Lower Cambrian Balang Formation at Yangjianping, Shimen, Hunan

境也应该是相似的,即斜坡环境中的内波、内潮汐沉积,只是其内波、内潮汐的能量较其他地区弱。

可将这种内波、内潮汐沉积分为具有双向交错层理的粉砂岩透镜体微相和具有单向交错层理的粉砂岩透镜体微相两种沉积微相类型。其岩性特征表明其形成时的能量较低,应为水道不发育斜坡环境中的内波、内潮汐沉积^[14],因此,可建立研究区杷榔组三段内潮汐沉积模式(图 4)。在这种条件下,产生的床沙载荷与悬浮载荷的交替沉积,并以悬浮载荷为主,即形成泥(页)岩夹粉砂岩薄层、透镜体或条带,粉砂岩内部多具交错层理,双向倾斜甚至多向倾斜。由于内潮汐流多具不对称性特点,故两个方向交错层理的发育程度也不平衡^[14],有时以一个方向为主,有时以另一个方向为主,而显示出单向交错层理的特征。加之水动力较弱,因此层间无明显的侵蚀面。

4 结语

内波、内潮汐沉积是近十多年来发现和研究的新的深水沉积类型,目前已报道的研究实例尚不多见。石门杨家坪下寒武统杷榔组三段内波、内潮汐沉积的发现不仅为该类型研究提供了一个新的实例,而且对于重新认识该地区杷榔组三段沉积的环境具有现实意义。

参考文献(References):

- [1] Lafond E C. Internal waves[A]. In: Fairbridge R W(ed.). The Encyclopedia of Oceanography[C]. New York: Reinhold, 1966.402~408.
- [2] Rattray M. On the coastal generation of internal tides[J]. Tellus, 1960, 12:54~62.
- [3] Shepard F P, Marshall N F, McLoughlin P A, et al. Currents in Submarine Canyons and Other Seavalleys[M]. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, 1979.1~13.

- [4] Mullins H T, Keller G H, Kofond J W, et al. Geology of Great Abaco Submarine Canyon (Blake Plateau): observations from the research submersible "ALVIN"[J]. *Marine Geology*, 1982, 48: 239-257.
- [5] Laird M G. Sedimentology of the Greenland Group in the Paparua Range, west coast, south island[J]. *N. Z. Journal of Geology and Geophysics*, 1972, 15(3): 372-393.
- [6] Klein G D. Resedimented pelagic carbonate and volcanoclastic sediments and sedimentary structures in Leg 30 DSDP cores from the Western Equatorial Pacific[J]. *Geology*, 1975, 3(1): 39-42.
- [7] Gao Zhenzhong, Eriksson K A. Internal-tide deposits in an Ordovician submarine channel: Previously unrecognized facies?[J]. *Geology*, 1991, 19(7): 734-737.
- [8] 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, Appalachian, USA[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(1): 12-22 (in Chinese with English abstract).
- [9] 何幼斌, 高振中, 李建明, 等. 浙江桐庐地区晚奥陶世内潮汐沉积[J]. *沉积学报*, 1998, 16(1): 1-7.
He Youbin, Gao Zhenzhong, Li Jianming, et al. Internal-tide deposits of the Late Ordovician in Tonglu, Zhejiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- [10] 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 Xingyang, et al. Internal-wave and internal-tide deposits of the Middle-Upper Ordovician in the Cenral Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 400-407 (in Chinese with English abstract).
- [11] 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 Xingyang, et al. Internal-tide deposits of the Middle and Upper Ordovician in Well TZ32, Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2003, 5(4): 414-425 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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 (in Chinese with English abstract).
- [13] 郭建秋, 张雄华, 章泽军. 江西修水地区中元古界双桥山群修水组内波内潮汐沉积[J]. *地质科技情报*, 2003, 22(1): 47-52
Guo Jianqiu, Zhang Xionghua, Zhang Zejun. Internal-wave and internal-tide deposits of Xiushui Formation of Shuangqiaoshan Group in Middle Proterozoic in Xiushui area, Jingxi Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2003, 22(1): 47-52 (in Chinese with English abstract).
- [14] Gao Zhenzhong, Eriksson K A, He Youbin, et al. Deep-Water Traction Current Deposits: A Study of Internal Tides, Internal Waves, Contours and Their Deposits[M]. Beijing and New York: Science Press, Utrecht and Tokyo: VSP. 1998, 25-49.
- [15] He Youbin, Gao Zhenzhong. The Characteristics and recognition of internal-tide and internal-wave deposits [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(7): 582-589.
- [16] 郭成贤, 朱忠德, 胡明毅, 等. 石门杨家坪早寒武世的沉积环境[J]. *石油与天然气地质*, 1993, 14(4): 326-330.
Guo Chengxian, Zhu Zhongde, Hu Mingyi, et al. Sedimentary environments of early Cambrian at Yangjiaping, Shimen[J]. *Oil and Gas Geology*, 1993, 14(4): 326-330 (in Chinese with English abstract).
- [17] 朱忠德, 胡明毅, 肖传桃. 鄂西南湘西北地区上震旦统至奥陶系石油地质研究[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 71-80.
Zhu Zhongde, Hu Mingyi, Xiao Chuantao, et al. Study on oil geology of upper Sinian-ordovician in Southwestern Hubei and Northwestern Hunan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 71-80 (in Chinese with English abstract).
- [18] 肖传桃, 郭成贤. 湖南石门杨家坪早寒武世生态地层学[J]. *科技通报*, 1994, 10(3): 161-165.
Xiao Chuantao, Guo Chengxian. Study on early Cambrian ecotratigraphy of Yangjiaping, Shimen, Hunan Province [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 1994, 10(3): 161-165 (in Chinese with English abstract).
- [19] 蒲心纯, 周浩达, 王熙林, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 48-50.
Pu Xinchun, Zhou Haoda, Wang Xilin, et al. Cambrian Lithofacies Paleogeography and Mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 48-50 (in Chinese with English abstract).
- [20] Faugeres J C, Stow D A V. Bottom-current-controlled sedimentation: a synthesis of the contourite problem [J]. *Sedimentary Geology*, 1993, 82: 287-297.
- [21] Stow D A V, Faugeres J C, Viana A, et al. Fossil contourites: a critical review[J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 115: 3-32.
- [22] Stow D A V, Lovell J P B. Contourites: their recognition in modern and ancient sediments[J]. *Earth Sciences Reviews*, 1979, 14: 251-291.

Study on internal-wave and internal-tide deposits of the third member of the Lower Cambrian Balang Formation at Yangjiaping, Shimen

He You-bin, Gao Zhen-zhong, Guo Cheng-xian, Xu Hui, Dong Gui-yu

(*School of Earth Sciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China*)

Abstract: The third member of the lower Cambrian Balang Formation at Yangjiaping, Shimen, Hunan Province consists mainly of dark-gray, gray-green laminated to thinly bedded silt-bearing hydromica mudstones and muddy siltstones intercalated with lenticular and striped siltstones, whose sedimentary environment was a slope environment. Cross laminations are well developed in lenticular and striped siltstones of the middle and upper Parts of the third member, whose laminae are inclined not only bi-directionally up- and down the slope, but also uni-directionally which correspond to up-or down-slope directions. The characteristics indicated that lenticular and striped siltstones should not be contourites or turbidites, but should be formed by alternating up- and down-slope currents produced by internal waves and internal tides. This is the first example of internal-wave and internal-tide deposits found in the Cambrian.

Key words: internal wave; internal-tide deposit; bi-directional cross lamination; deep-water deposit; slope; Lower Cambrian

About the first author: HE You-bin, male, born in 1964, professor, Ph. D, mainly engaging in the teaching and study of sedimentology; E-mail: heyoub@sohu.com.