

槽状交错层理几何学特征及其古流指示意义

——以柴达木盆地西部阿尔金山前侏罗系为例

马锋¹⁾, 钟建华^{2,3)}, 顾家裕¹⁾, 许怀先¹⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083;

2) 中国石油大学(华东), 山东东营, 257061;

3) 中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640

内容提要:本文以柴达木盆地西部侏罗系为例,对野外露头中的槽状交错层理进行识别和观测。根据其几何学特征分为大型、中型和小型槽状交错层理;根据其岩性特征和槽的组合分为单岩性槽状交错层理和复合槽状交错层理。沉积水动力学分析表明可以从槽状交错层理特征中的粒序、低角度斜层和逆向层理提取可靠的古流信息。根据槽状交错层理几何学特征指示柴达木盆地西部侏罗系古流格局比较复杂,东北部水流自北东流向南西;西南部古流主要来自南东方向和北东方向,柴达木盆地西部阿尔金山斜坡处于持续沉降时期,为一沉积拗陷。

关键词:槽状交错层理;几何学特征;古流;柴达木盆地西部

层理是碎屑岩最典型最重要特征之一,能够直接反映沉积物沉积时水动力条件,根据沉积岩具有成层构造的特点,可以合理划分和对比地层(冯增昭, 1993),恢复地层的正常产状,是沉积环境的重要标志之一。交错层理中斜层的倾向最常用于研究古流向的特征。斜层倾向的变化,亦即方位角的分散性,对于判别环境有很大意义。布令克曼(Brinkmann, 1933)首先比较了各种不同的河流沉积中交错层的标准偏差,发现流向最复杂的河流,流动方向的标准偏差也最大。汉勃林(Hamblin, 1958)对现代河流所进行的研究发现,标准偏差变化于 $20^{\circ}\sim 83^{\circ}$,它决定于河流的蛇曲程度及坡降(刘宝珺等, 1985)。

大约在 130 年前由 H. C. Sorby 独创的交错层理的野外研究,被人们完全忽视了有半个世纪之久才引起了人们的注意。19 世纪后半叶和 20 世纪早期,物源区和指向特征的测量,曾是冰川地质学家努力从事研究的题目,他们在研究更新世沉积时,记录并测绘了基岩上擦痕的定向,漂砾列的方向、冰蚀丘的形态和长形碎屑的优选定向。从 1950 年开始,在研究水成岩层过程中测量具有指向意义的沉积特征引起沉积学家巨大的兴趣,广泛利用野外测量交错

层理和其他可以用来推测古代沉积物搬运方向的沉积特征。对古水流的首次现代研究,与勘探美国西南部科罗拉多高原下面中生代地层中的铀矿床有关。由于许多铀聚集在古河道沉积中的碳化漂木碎屑周围。通过预测古河道走向就成为寻找铀矿的一种方法。后来的研究涉及到确定古斜坡的区域形态。重点很少放在把出露于一个大区域内的许多地层的全部测量值综合成一个总平均方向上,而更多地放在利用这些推测方向在地层和地理上的分布和展布作为推断沉积环境的线索方面(弗里德曼等, 1987)。刘宝珺等(1985)认为:任何规模大小的交错层理都有识别古水流的价值,交错层前积层倾斜的方位就代表了水流的方向。交错层揭示的水流方向不是漫无规律的,而是具有显著的优选方向性;而它的变化范围则与其形成环境有关。

槽状交错层理作为交错层理的一种,其特点是具有槽形冲刷面,纹层顶部被切割,层系界面的横剖面为槽状,纵剖面呈弧状,顶视为重置的花瓣状。在水槽实验中,形成槽状交错层理的床沙其形体脊几何形态为弯曲状、链状、舌状和新月状,但由于水槽中的流水是处于平衡状态,近似于均匀和稳定的流

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 40503003)、国家教委博士点基金(编号 20030425008)、中国石油勘探开发研究院石油科技中青年创新基金及中国博士后科学基金资助成果。

收稿日期:2007-11-09;改回日期:2008-08-26;责任编辑:周健。

作者简介:马锋,男,1980 年生。博士后,从事沉积学与石油地质研究。通讯地址:100083,北京市海淀区学院路 20 号,北京 910 信箱塔里木分院;Email: mafeng0903@sina.com。

水,而天然的流水是处于不平衡状态的快速流水,特别是悬浮物的快速沉降及流动条件的迅速变化。事实上,由于实验的规模远小于天然水流的规模,不可能研究大型的床沙形体。因此,在研究大型的床沙形体时,应注意将水力学研究与野外观察结合起来(姜在兴,2003)。但槽状交错层理由于其斜层系可以彼此重叠、交错、切割,给野外露头特征观察和沉积组构分析带来一定的困难。

本次研究通过对野外槽状交错层理的识别,对槽状交错层理进行不同剖面观察,尽量根据三维形态确定层理类型及其在剖面中的组合关系;详细描述了层理的内部特征,首先确定层系的性质,包括形状、厚度、层系间界面的形状以及有无侵蚀现象等。然后描述纹层的性质,尤其对前积纹层特征要倍加注意,包括形状(直线形、切线形、上凹曲线形)、倾角、倾向、纹层的清晰程度以及有无粒度的变化等,判别层理显示是由沉积物的物质成分、粒度和颜色变化所引起,还是由生物化石、结核的分布所引起。最后在对槽状交错层理进行定向测量时,通过箭头图解及玫瑰图解等各种方式进行资料处理。对有过构造变动的岩层,要同时测定前积层面倾向和岩层倾向,对岩层的倾向采用吴氏网法作过校正,确定出顺流的方位角。

1 地质背景

柴达木盆地西部阿尔金山前斜坡带侏罗系一直是柴达木盆地西部深层勘探的重点目标,其地层出露少,钻井少,勘探难度高。在界定侏罗系露头层位的前提下,对其沉积构造的研究就成了揭示柴达木盆地西部侏罗系沉积环境直接有效的方法。笔者于 2004 年和 2005 年先后 3 次历时 3 个月对柴达木盆地西部侏罗系进行野外细测,细测中发现侏罗系主要出露于

犬牙沟、红沟子、采石岭和月牙山地区,其中红沟子为一向东南倾没的断鼻构造,包括黑石山、三角架、砾石梁等构造;整个柴达木盆地西部侏罗系以黑色碳质页岩、黄绿色粉砂岩(泥质粉砂岩)、含砾细砂岩、红色砾岩和灰绿色砾岩为主,其砂岩层及泥质砂岩层广泛发育槽状交错层理,这些槽状交错层理规模大小不一,形态也呈多样化,剖面出露较好,为探讨槽状交错层理指示古水流意义提供了理想场所。

2 槽状交错层理几何学特征

2.1 野外槽状交错层理的识别

在确定交错层理类型时,最好有三度空间在不同的断面上,层系或细层可以有不同的形态。槽状交错层理,在与流水垂直的断面上,层系成槽状;在与流水平行的断面上,层系可以呈单向倾斜的板状或舟状(图 1)。但野外往往能够观察到槽状交错层理的两个断面或者一个断面的露头,因此要利用其来恢复古流向,需要尽量根据其展布特征(必要时需要人工挖出其部分三维剖面)来恢复其形态。此外,由于受后期构造活动的影响,造成岩层的褶皱变形,局部呈现槽状层理特征,对其要进行识别和排除。根据笔者对柴达木盆地西部槽状交错层理野外识别,一般真正的槽状交错层理其横向上层理稳定出现,分布区域构造稳定,层位可连续追踪。假槽状交错层理的特点是构造成槽,分布局限,层理破碎严重,平面上和纵向上立体叠置关系不明显,分布区域构造强烈。

2.2 槽状交错层理的类型

笔者对柴达木盆地西部野外所观测到的槽状交错层理特征按照以下 3 个方面进行划分和研究,其分类标准是在参照传统沉积岩教科书的基础上,结合野外实际细测情况建立的。根据槽状交错层理的

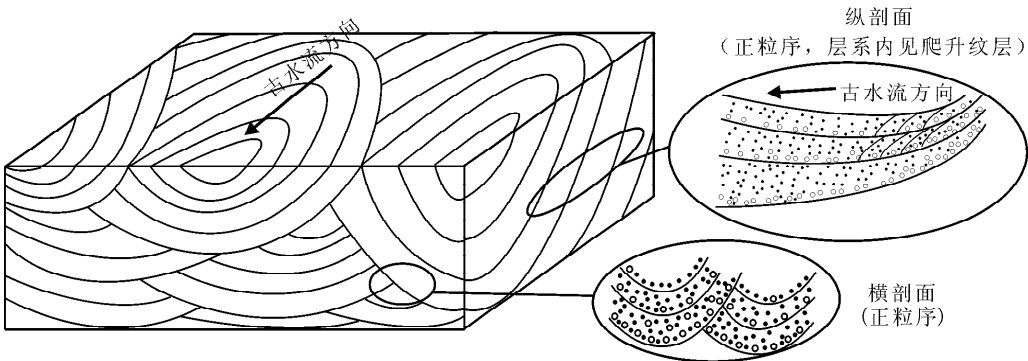


图 1 典型槽状交错层理与水流方向示意图

Fig. 1 Trough cross stratification and the current direction

槽高和槽深可以分为缓槽(前积层倾角低角度 $<15^{\circ}$)和陡槽(前积层高角度 $>15^{\circ}$);根据槽的长轴方向长度和层的厚度可以分为大型槽($>2\text{ m}$)、中型槽($2\sim1\text{ m}$)和小型槽($<1\text{ m}$);根据组成槽的不同岩性可以分为多岩性组合成槽(细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩组合成槽)和单岩性成槽。一般小型槽状交错层理其槽稍陡,多为单岩性槽;中型槽状交错层理缓槽较多,其岩性一般为粉砂岩—细砂岩—含砾细砂岩过渡特点,这里提出的“多岩性”特点实质上就是一个沉积过程的连续记录,岩性呈连续过渡特点,而不会出现突变特点。而且在野外发现,大型槽状交错层理中某一岩性层系中还存在小型单岩性槽状交错层理或板状交错层理。

2.3 槽状交错层理的特征

野外观察槽状交错层理主要从槽状交错层理出露位置、上下岩性、每个层系内构造、粒度、槽高、槽深、槽长、对称性,多个槽的叠置关系及在单位体积内叠置出现的频率,轴向,槽峰连线等方面进行描述。柴达木盆地西部侏罗系野外露头中不同类型槽状交错层理特征如下:

(1)小型槽状交错层理:野外观测此类交错层理典型特点为:槽长在 32 cm 左右,槽高(槽底到槽顶垂直距离)为 14 cm ,岩性多为灰绿色粉砂岩,纹层最厚为 $2\sim3\text{ cm}$,边缘 1 mm ,层系厚 2.8 cm ,层系组厚 12 cm ;槽状交错层理表面见碳屑,碳屑长 1 cm ,宽 $4\sim5\text{ mm}$,呈椭圆状,岩层中夹块状细砂岩条带。小型槽状交错层理常上下叠置,横向比较连续,上下两槽间存在小型加积层,多分布在两槽接触处或上下槽中间位置。此外常见有含砾的砂岩条带叠加,其粒度呈现正粒序性,形成槽状交错层理(图 2、图版 I-1~4)。

(2)中型槽状交错层理:分为岩性不均一的,不同岩性组成不同的层系,每个层系的厚度相对比较

接近;岩性均一的槽内多发育小型流水爬升层理或斜层理,槽两翼爬升层理发育较好,不同爬升层理组合构成槽状;野外观测此类交错层理典型特点为:纵剖面上槽与槽相互超覆,在槽凸起边缘,上槽切割下伏槽,超覆方向 256° ,横剖面上,每个层系的纹层向上卷起,不同的槽叠置,其槽谷成一直线,与层面斜交。平面上呈弧状叠置。槽凸起处,纹层较薄,多为 $0.5\sim0.8\text{ mm}$,位于中部的槽谷,纹层变厚,多为 $1\sim2\text{ mm}$;纹层呈小型波状,波高 1.5 cm ,波长 2.5 cm ,在槽内岩性均一,多为灰绿色粉砂岩。其具体特征如图 3:①含砾细砂岩:砾石较小,直径为 $0.5\sim2\text{ mm}$,多为黑色碳砾,表面出现球状风化,厚 40 cm ,从槽中部到边缘其厚度差不大;②灰绿色细砂岩:纹层互相平行,纹层厚 1.5 cm ,层系厚 7 cm ,层系组厚 28 cm ,整个岩层厚 150 cm 左右,岩性均一的;③碳质粉砂岩,厚度分布不均匀,槽中间薄或尖灭,边缘厚 $5\sim10\text{ cm}$;④碳质泥岩,薄层,分布稳定,见炭化植物叶茎(图 3、图版 I-5、6)。

(3)大型槽状交错层理:此类槽状交错层理野外规模较大,一般不易观察到完整的三维剖面,多见两个或一个断面。多为不同岩性组合而成,野外观测此类交错层理典型特点为:底部岩层常为灰褐色含砾粗砂岩,最厚 68 cm ,两端尖灭,长 13 cm ,含白色长英质砾;砾石磨圆和分选都很好,成条带状分布,也成小槽分布,成分以长英质为主。此为岩性差异造成小型槽状交错层理,纹层厚 $1\sim4\text{ cm}$ 。底部层位偶含碳屑,形状不规则;中部岩层常为碳质细砂岩,新鲜面为黑色含碳屑,纹层相互平行,厚 $2\sim3\text{ cm}$,层系 6 cm ,层系组 19 cm ,表面见柱状植物碳屑,长 1 cm ,宽 4 mm 。此类层最厚为 61 cm ,边缘减为 28 cm ;上部岩层多为岩性较细的碳质粉砂岩或页岩,最厚 48 cm ,边缘 13 cm ,纹层互相平行,厚 0.1

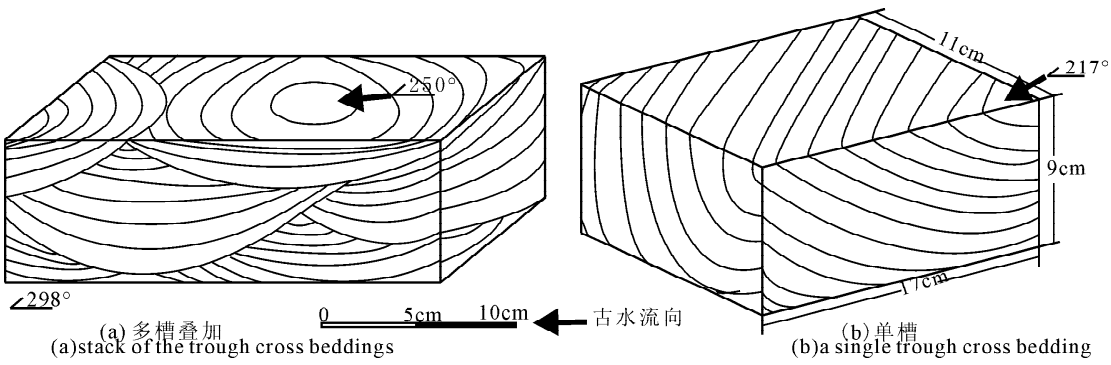


图 2 小型槽状交错层理示意图

Fig. 2 Small scale trough cross stratification

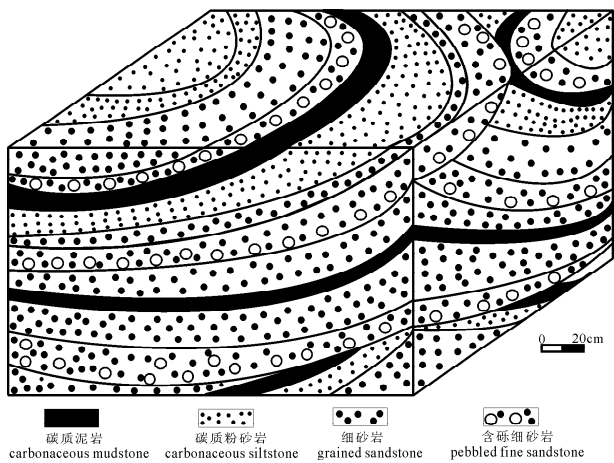


图 3 中型槽状交错层理

Fig. 3 Medium trough cross stratification

mm,层系厚 5 mm,层系组 1.5 cm,此层与中部层位从纵向剖面观察多为连续过渡。此外在大型的槽状交错层理内,常发育一些层内变形构造,如某些粉砂岩单层内发育的窗棂构造(反映层理的缩短作用,其轴向与沉积物质运动方向垂直)、叠瓦状构造和包卷构造(图 4、图版 I-7、8)。

(4)缓槽状交错层理:此类型的交错层理是上述 3 种类型层理中为了完整描述槽的几何特征,根据其槽两翼倾角(前积层倾角低角度 $<15^{\circ}$)大小划分出来的,上述 3 种类型的槽状交错层理中都存在,其特点是槽深小,比较缓,纹层相互平行,岩性纵向变化小,出露于泥岩层所夹的粉砂岩层中。野外观测此类典型交错层理特点描述为:槽底部岩层厚度在 14~20 cm 左右,纹层相互平行,厚 1~2 mm,层系 4.6 cm,层系组厚 11 cm。中部岩层槽长 3 m 左右,槽深 12 cm,单层槽厚横向变化不大,两侧仰角 10° 左右,槽宽在 160 cm。上部槽灰绿色粉砂岩表面见

黑色植物碳屑,可见微细层理,纤维状构造,长 2.2 cm,直径 5 mm;槽边缘碳质含量高,粉砂岩呈黑绿色,槽中部位置碳质含量减少。

(5)陡槽状交错层理:此类型交错层理其两翼倾角较大,前积层高角度 $>15^{\circ}$,其特点是槽深大,比较陡,槽两翼纹层发育爬升层理,而且层理倾向两翼一致;岩性纵向变化大,横向剖面相邻两槽剖面趋于对称,岩性相对较粗些。

3 槽状交错层理流体动力学特点

自 G. K. Gilbert 把 H. C. Sorby 对波痕的观察实验作了延伸并获得比波痕大的形态以来,许多研究人员都在水槽中作了大量实验,为研究水流和沉积物搬运的关系提供了大量定量的资料。在水槽实验中,牵引流作用于床沙时,可在表面造成沙纹、沙垅和沙浪等不同类型的床沙形体,它们通过后积层(上游面)被侵蚀、前积层(下游面)的崩落加积向下游移动,而形成层理。沙纹是小型的床沙几何形体,沙纹交错层理是小型的交错层理,沙垅的迁移则造成大型槽状交错层理,其层系厚度变化快,底界呈下凹弧形,层系呈舟状(横截面)及透镜状(纵切面),在纵切面上可见细层单向倾斜。

弗林德曼等(1987)把大型床沙形体分为沙垅(A型)、沙浪(B型)、大型沙浪(C型)、过渡区低角度的交错层(D型)和同相位的逆行沙波 5 种类型。其中前三者的前积层的起伏(脊与凹)与水的表面波的起伏是不相符合的,即水表面波的脊部相当于沙浪的凹部,水波的凹部相当于沙浪的脊,故称之为异相位的。流水经过 A、B、C 型沙浪的脊后要发生流动的二次分离,在沙浪(沙垅)脊的分离点与下一个沙浪(沙垅)的后方(后积层)接触点之间产生一个反向的涡辊,其速

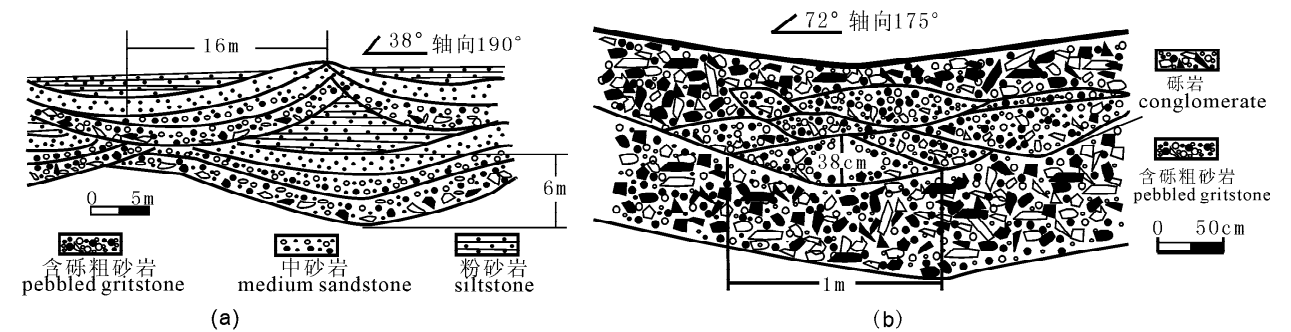


图 4 大型槽状交错层理图

Fig. 4 Large scale trough cross stratification

(a)—含砾粗砂岩-粉砂岩组合;(b)—砾岩-含砾粗砂岩组合

(a)—Lithological combination of the pebbled sandstone-siltstone;(b)—lithological combination of the conglomerate-pebbled sandstone

度是主流的 1/3 到 1/2,如果沉积物是细沙,涡辊的速度又足够大,就会形成反向的小沙纹(图 5)。当床沙几何形体被埋藏下来,保留在层面上称波痕,这里波痕指的是沙纹的痕迹,并非波浪的痕迹。在沙垅背流面形成的逆主流方向迁移波痕称之为回流波痕,回流波痕的小型交错层与沙垅的大型交错层之结合是流水搬运细沙所特有的形态;它是沙波造成的水流分离作用形成的(Boersma,1967)。



图 5 沙波迁移模式图(据弗里德曼修改,1987)

Fig. 5 Migrational mode bed ripple
(modified from Frideman, 1987)

此外,在流动剪切较大处,则出现 D 型的沙浪,它缺乏共生的小沙纹,其下游边(前积层)倾斜角度 $<10^\circ$ 。向下游流动的水可与 D 型沙浪的所有部分连续接触,流动不发生二次分离,D 型沙浪所造成的交错是低角度的斜细层,形成时的水动力条件属低流态与高流态之间的过渡区。

水流在沉积物中的作用及特征是由沉积物类型及水流如何影响沉积物而定。主要的控制因素是水流深度和速度及低床物质的粒度,在早期水流速度较大时,多形成侵蚀—改造水流,它有选择地搬运其底床物质。分选机理和分选程度随流速的变化而变化,造成沉积物在顺水流方向上有规律地分选开来,其最终产物按主要作用、颗粒的粒度以及它们在床底物质中的丰度而变。水槽实验表明,侵蚀—改造水流形成两层沉积,一层是具有波痕交错纹层状细砂被一层交错层状粗砂所覆盖。在流速慢道开始沉积物质,但又能使已经沉积的颗粒产生牵引效应时,就成为沉积—改造水流,它生成平纹层和特征产物——叠合波痕,Sorby 称其为迁移波痕,其内部纹层是水流和波痕的前进速度和床底向上的建设速度相互作用造成的。有时,极细砂能散布在波痕的整个表面上,另一些时候,粉砂和粘土集中在波谷或背流坡上,而极细砂则聚集在向流面和波脊上。

综上所述,野外露头中槽状交错层理的不同几何学特征利用水槽实验得到很好的解释:根据水深度及水流速度不同,可以形成不同大小的槽状交错层理,根据沉积物形成的沙波移动过程不同部位产

生流速的变化,产生逆行沙波,造成小型交错层理和大型交错层理的复合。大型交错层理中出现低角度爬升层理是水动力条件由低流态向高流态过渡的产物。槽状交错层理不同部位所表现出的粒度特征是由于不同性质水流作用造成的。对于野外出现的多岩性组合成槽状交错层理,笔者认为是由于间歇性水流流动形成的,在总的水流方向和水动力条件不变的前提下,不同时期水流的性质和特征不一样,其携带沉积物能力不同造成多岩性槽的叠置。槽内出现很多具有指向意义的细纹层,是由于每一个细纹层是由连续水流由大到小脉动式流动的过程,其共同特点是水流的流动方向不变。此外,柴达木盆地西部侏罗系露头的槽状交错层理间往往出现薄层岩性较细的碳质层,这是由于水流出现短暂的稳定期,携带沉积物能力减弱,植物碎屑沉积形成薄的碳质层,指示两次大洪流之间间隔期沉积。

4 槽状交错层理古流指示意义

槽状交错层理在与流水垂直的断面上,层系成槽状;在与流水平行的断面上,层系可以呈单向倾斜的板状或舟状,槽的长轴倾斜方向平行于水流的流向,其斜层的倾向是最常用于研究古流向特征的(Simpson et al., 2002; Tamura et al., 2003; Arnaud, 2004)。斜层倾向的变化,亦即方位角的分散性,对于判别环境有很大意义。布令克曼(Brinkmann, 1933)首先比较了各种不同的河流沉积中交错层的标准偏差,发现流向最复杂的河流,流动方向的标准偏差也最大。汉勃林(Hamblin, 1958)对现代河流所进行的研究发现,标准偏差变化于 $20^\circ \sim 83^\circ$,它决定于河流的蛇曲程度及坡降。刘宝珺等(1985)认为对目的层交错层理倾向进行测量,最好测量 100 个以上,计算它的主中值(或平均值)及标准偏差,后者亦可以均方差表示,然后绘出玫瑰花图,其中值即可代表主流向或平均流向,标准偏差则是具有指示环境意义的离散性数值。

槽状交错层理作为河流相典型构造之一,其长轴方向可以代表层理形成区的古流方向,但对古水流的指示意义,应该放在一定的沉积环境中来论述,在曲流河等河道变迁比较大的沉积环境,要注意整体流向与局部流向不一致的现象。柴达木盆地西部侏罗纪地层受古阿尔金山升降控制,沉积相以近源河流三角洲相、扇三角洲相、滨浅湖相为主(钟建华等, 2006),其层理构造显示以牵引流性质为主,所研究层理主要存在三角洲前缘亚相中水下分流河道沉

巴斯与昆仑山之间发育古泛芒崖拗陷,呈近东西向延伸,拗陷中心在砾石梁和月牙山南侧一带,但发育期间有多次的隆升,甚至遭受剥蚀。由此可以看出,柴达木盆地西部这一拗陷在中生代是一个大沉降区,历史上曾经有过深水沉积,因而侏罗系的厚层烃源岩在柴达木盆地的西南角可能发育比较好,进而表明柴达木盆地西南角(英雄岭及其以北的小梁山、南翼山等)中生代油气资源比较丰富(李鹤永等,2005;钟建华等,2006;汪劲草等,2006)。

5 结束语

以上通过对柴达木盆地西部阿尔金山南缘中生界古流格局的恢复,简要介绍了利用槽状交错层理几何学特征进行古流示踪的方法,为柴达木盆地西部中生界和阿尔金造山带新生代的演化提供一点新的材料和研究方法,我们认为只要通过详细的野外观察和测量,以槽状交错层理作为古流示踪数据是比较可靠的。国内外单独论述槽状交错层理示踪古流的论文很少,但槽状交错层理在野外露头中比较常见,对其研究不仅可以揭示古流向,而且通过槽状交错层理的几何特征还可以确定古流速,进而有助于研究水动力和沉积环境,这也是今后野外考察和科学研究应当注意和加强的方向。

致谢:由青海油田公司勘探事业部刘云田高级

工程师协助完成了野外考察,在此致谢。

参 考 文 献

冯增昭. 1993. 沉积岩石学. 北京:石油工业出版社, 70~81.
弗里德曼 G M, 桑德斯 J E. 1987. 沉积学原理. 徐怀大, 陈伟文译. 北京:科学出版社, 440~442.
姜在兴. 2003. 沉积学. 北京:石油工业出版社, 88~94.
李鹤永, 刘震, 马达德. 2005. 柴达木盆地西部地区古流体系场演化对油气成藏的控制作用. 石油大学学报(自然科学版), 29(3): 11~16.
刘宝珺, 曾允孚. 1985. 岩相古地理基础和工作方法. 北京:地质出版社, 40~57.
马锋, 钟建华, 段宏亮. 2006. 柴达木盆地西部阿尔金山前中生界浊积岩特征及意义. 地质论评, 52(5): 618~623.
汪劲草, 胡勇, 刘云田. 2006. 多世代旋转正断层对断陷盆地沉积迁移的控制——柴达木早、中侏罗世盆地性质. 地质学报, 80(8): 1141~1148.
钟建华, 尹成明, 段宏亮, 等. 2006. 柴达木盆地西部阿尔金山南缘中生界古流特征. 石油学报, 27(2): 20~27.
Arnaud E. 2004. Giant Cross-beds in the Neoproterozoic Port Ashaig Formation, Scotland: Implications for snowball Earth. Sedimentary Geology, 165(1/2): 155~174.
Simpson E L, Dilliard K A, Roqwl B F, et al. 2002. The fluvial-to-marine transition within the post-rift Lower Cambrian Hardyston Formation, Eastern Pennsylvania, USA. Sedimentary Geology, 147(1/2): 127~142.
Tamura T, Masuda F. 2003. Shallow-marine fan delta slope deposits with large-scale cross-stratification: The Plio-Pleistocene Zaimokuzawa Formation in the Ishikari Hills, northern Japan. Sedimentary Geology, 158(3/4): 195~207.

Geometric Characters and Paleocurrent Implications
of the Trough Cross Stratification

——An Example of the Altyn Mountain in the Western Qaidam Basin

MA Feng¹⁾, ZHONG Jianhua^{2,3)}, GU Jiayu¹⁾, XU Huaixian¹⁾

1) Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing, 100083;

2) China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061;

3) Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, 510640

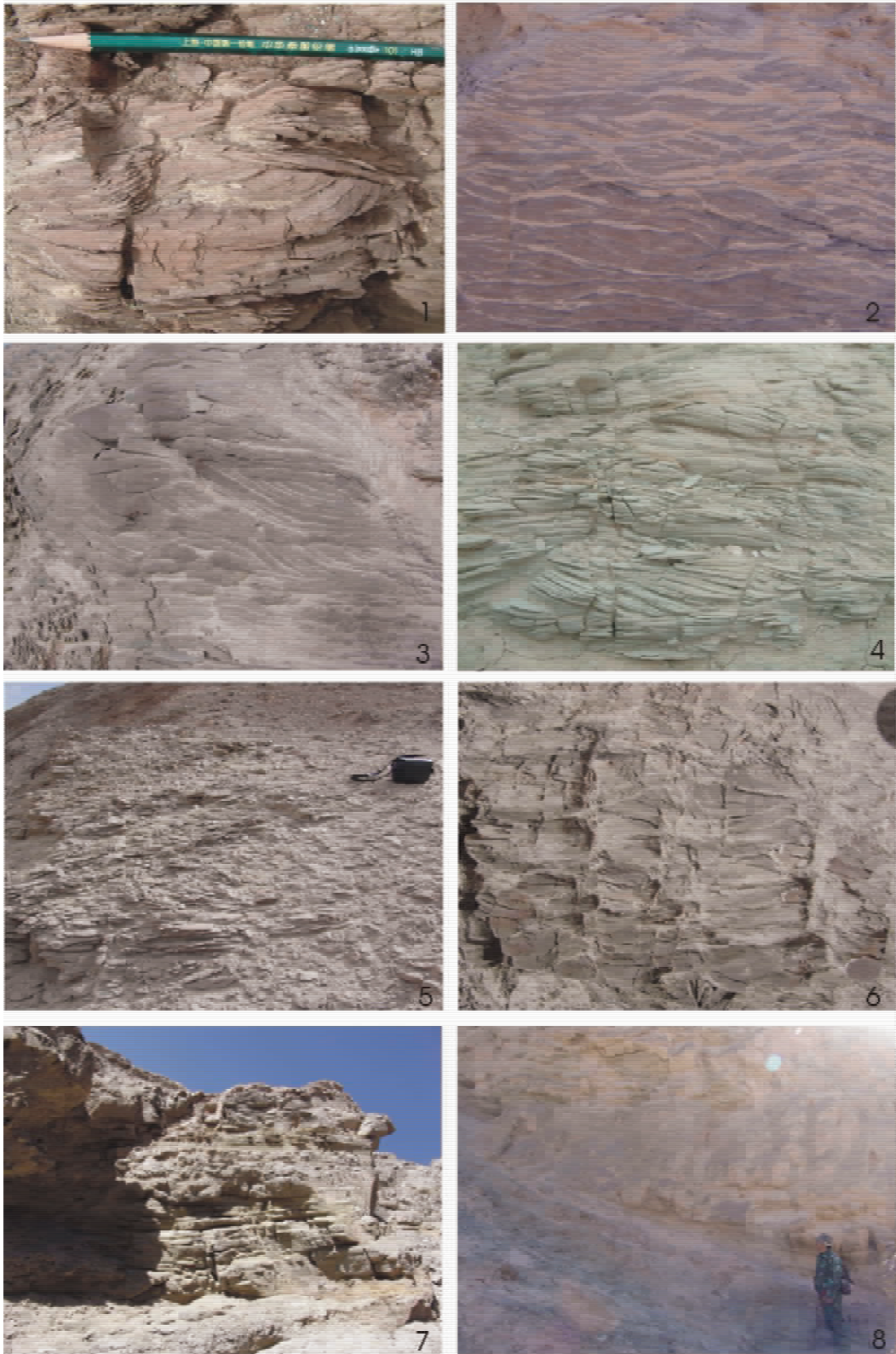
Abstract

From observing the trough cross stratification in the outcrop of the Altyn mountain in the western Qaidam Basin, they were classified large scale, medium and small scale cross stratification according to the geometric characters; On the basis of the lithologic characters, the trough cross stratification were divided into single lithologic and multiple unit. The study of the hydrodynamics indicates that the reliable data of the paleocurrent can be collected through features of the size grading, low angle inclined bedding and the backward bedding. The geometric characters of cross stratifications reveal that the current in the early Mesozoic went along the direction from northeast to south west in the northeast and went along two directions: southwesterly in the northwest part and southwesterly in the southwest. The Altun slope was subsided continuously during the middle-late Jurassic.

Key words: trough cross stratification; geometric characters; paleocurrent; western Qaidam Basin

马锋等：槽状交错层理几何学特征及其古流指示意义

图版 I



- 1. 小型槽状交错层理（三脚架）。
- 2. 小型槽状交错层理（采石岭）。
- 3. 小型槽状交错层理（采石岭）。
- 4. 小型槽状交错层理（三脚架）。
- 5. 中型槽状交错层理（黑石山）。
- 6. 中型槽状交错层理（月牙山北）。
- 7. 大型槽状交错层理（犬牙沟）。
- 8. 大型槽状交错层理（黑石山）。

