

侧积交错层——辫状河道 的主要沉积构造类型^①

李维锋 高振中 彭德堂

(江汉石油学院地质系, 湖北荆沙 434102)

侧积交错层是砂体侧向迁移加积所形成。在辫状河道砂体中特别发育,其特点:①层系的整体形态呈板状,而细层呈“S”形弯曲,向上,向下收敛明显;②侧积交错层的某些细层内部可见次一级的前积交错层及滑塌构造;③层系厚度与沉积物粒度无关;④同一层系内各细层的厚度、成分和粒度有较大差异;⑤细层倾向垂直于区域古流向。辫状河道中侧积交错层发育原因是:横向环流的普遍存在;沉积物中富砂少泥。

关键词 侧积交错层 辫状河道 沉积构造

第一作者简介 李维锋 男 35岁 副教授 沉积学

侧积交错层(lateral accretion cross-bedding)是砂体侧向迁移加积作用的产物。最早发现侧积交错层的是Allen(1963),当时他命名为“ ϵ ”交错层(epsilon cross-bedding),后来,国内外陆续有报道(瑞内克 HE 等, 1979;里丁 HG, 1986;Kirk M, 1983),然而,到目前为止,有关侧积交错层的概念和研究仅限于曲流河边滩的侧向迁移加积。笔者近几年在对新疆及峡东等地辫状河体系及辫状河三角洲体系研究中,发现辫状河道及辫状河三角洲水下分流河道砂体中广泛发育侧积交错层,为河道砂体的主要沉积构造类型,完全可作为辫状河体系及辫状河三角洲体系的一种重要鉴别标志。本文对辫状河道中的沉积特点、基本特征、形成条件及鉴别标志等进行探讨。

1 侧积交错层特征

侧积交错层是砂体侧向迁移加积作用中形成的,因而具有一系列不同于前积交错层的特征。

侧积交错层层系厚度较大,多在0.5m以上,少数达2m,甚至更大。层系多呈板状,亦可见到楔状或透镜状。层系底部均发育冲刷面构造,冲刷面上往往分布砾石或粗砂。单一层系从底到顶沉积物粒度明显变细,多从砾石级(以细砾为主)到中砂级,局部达细砂级。侧积交错层的细层厚度亦大,一般为2~10cm,局部达10cm以上,且同一层系中细层的厚度亦有较大差别;细层多呈“S”形,向上向下明显收敛,但多数侧积交错层因受到侵蚀而只保留其下部,从而形成向下收敛明显的细层。细层倾角明显地小于休止角,一般为 $8^{\circ}\sim 20^{\circ}$,同一层系中细层的排列不如前积交错层规则,部分呈现出明显的不协调。同一层系中细层的粒度亦有差别,个别差别很大,细层的岩性主要为含砾砂岩及中、粗粒砂岩,夹粉砂岩,甚至泥岩;细层可以以粗细相间的岩性频繁交替,亦可为数层较粗的细层与数层较细的细层相间出现。细层的界面往往为粒度很细的粉砂岩、泥岩及炭质泥岩等,其厚度极小,约为1~2mm,这些细粒沉积物同细层主体部分的岩性差别明显,非渐变关系。

侧积交错层的“细层”中可发育次一级的前积作用形成的交错层,常见的有板状交错层及沙纹层理,其分布受“细层”界面的限制,即不越过“细层”界面。侧积交错层同一层系内不同细层间的次一级前积交错层

① 本文为“八五”国家重点科技攻关项目的一部分

类型往往不同,发育规模亦不等。细层内可见到弯曲的滑动面(即滑动构造),其规模不大,多限于一个细层内,且在粒度较细的细层中较发育。

侧积交错层中常见到相邻层系中细层倾向相反的情况。

在地层倾角测井图上,侧积交错层的特征独特,易于识别;对于细层呈“S”形的侧积交错层,其下部在矢量图上表现为一组蓝模式,上部为一组红模式;但由于多数侧积交错层受到侵蚀而只保留向下收敛部分,因而,交错层多呈蓝模式;由于两个层系间多为冲刷面接触,因此,在倾角矢量图上,表现为从高倾角到低倾角的突变;此外,对于细层倾向相反的侧积交错层,在全矢量方位频率图上,最高频率往往出现在两个大致相反的方向(图1)。

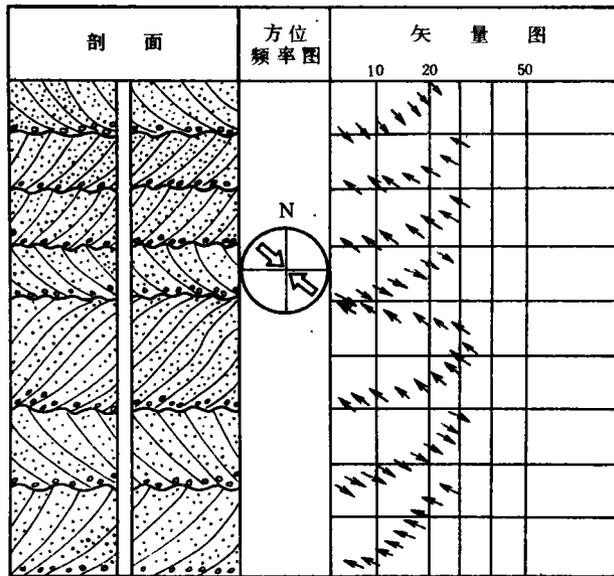


图1 侧积交错层在倾角测井图上的表现

2 成因解释

侧积交错层的形态与前积交错层有某些相似之处,但其形成机制却根本不同。前积交错层是沙波、沙丘向前迁移过程中,在背流面上不断向前加积斜层而形成的;侧积交错层则是由于水道侧向迁移,在水道的背离迁移方向的一侧,砂体侧向加积的结果。前述侧积交错层的各种特征是由其特定的形成机制决定的。

显而易见,侧积交错层的斜层倾向不是和古流向平行,而是与其接近垂直,斜层倾向代表水道侧向迁移的方向。由于水道可以往复迁移,故在流向不变的情况下,相邻层系细层倾向可以完全相反。

侧积交错层的层系厚度,不象前积交错层那样代表沙波高度,而是代表侧向迁移的水道的深度,因而,侧积交错层的层系厚度通常较前积交错层大。再者,前积交错层的层系厚度与粒度有关,通常规模较大的交错层由较粗粒沉积物构成,而侧积交错层则不然,其层系厚度与沉积物粒度无直接关系,而受迁移水道深度的控制。层系底界的冲刷面代表河道底床中心部分侧向迁移的轨迹,层系底部的砾石代表河床滞留沉积。

侧积交错层完整的细层呈“S”形,代表侧积体的剖面形态:中部较陡,上下平缓,这实际上是河床横剖面形态的记录。其倾角代表河床横剖面的坡度。因此,侧积交错层的倾角通常较小。

一个前积交错层系是在短时期内水动力条件无明显变化的情况下形成的,故各细层的粒度组成无明显差别,各细层相互平行,形态一致,各细层厚度不大且较均匀,无明显差别。而一个侧积交错层的层系形成时间可以相当长,在此期间水动力条件也可能有相当大的变化,故细层间粒度差别明显,细层的厚度较大,相互差别也可较大;细层形态随底床形态的变化而变化,因而细层间可互相不甚平行,产生不协调现象。细层界面上与细层主体部分呈突变接触的极细粒沉积物薄层则代表侧积作用暂时停止期的悬浮沉积物的垂向加积产物。

侧积交错层内次一级交错层或沙纹层理才是前积作用的产物,其倾向可基本代表古流向,而与包含它的侧积交错层的细层倾向接近垂直。侧积交错层“细层”内次级交错层的存在,表明其“细层”的形成经历了一个较长的过程,同时也清楚表明了侧积交错层的特殊成因。不同“细层”内前积交错层的规模和类型不同,说明同一侧积交错层层系内各“细层”形成时的水动力条件有较大差异。

侧积交错层某些“细层”中的滑塌构造,显然是由于侧积坡度的存在,在重力作用下产生滑移的结果。它一般形成于侧积作用缓慢期或暂停期,由于没有上覆沉积物的及时掩埋而重力失衡所致。滑塌层多由较细粒沉积物构成也说明了这一点。

3 辫状河道中侧积交错层发育原因

3.1 横向环流的普遍存在

如前所述,侧积交错层是由于水道的横向迁移、砂体的侧向加积而形成。而水道的横向迁移主要由于横向环流所致。

辫状河道呈网状分布,河道不断地分叉、合并,其间被一系列砂坝隔开,在分流和汇流区最易产生横向环流。如图 2A 所示,A 河道的流速为 U_A ,B 河道的流速为 U_B ,在分流口处,水流要以 U_B 的流速进入 B 河道,则必然要有一个流速 v 与流速 U_A 合成,而要产生流速 v ,一定要有一个流速水头 $\frac{v^2}{2g}$,即水位差 $\Delta h = \frac{v^2}{2g}$,因而,在这里就出现了横比降,而横比降的存在必然激起横向环流(见图 2 I-I' 剖面)。此外,两股河道的水流阻力不可能任何时候都是相同的,两股水流阻力的差异也会产生横比降,从而产生横向环流。实验证明,即使在直线河槽中也存在着环流,环流速度可达纵向流速的 1%~2.5%(华东水利学院等,1981),且随着河岸糙率和河道弯曲度增大,横向环流亦增强。因而,分流区内普遍存在着横向环流。在汇流区,由于

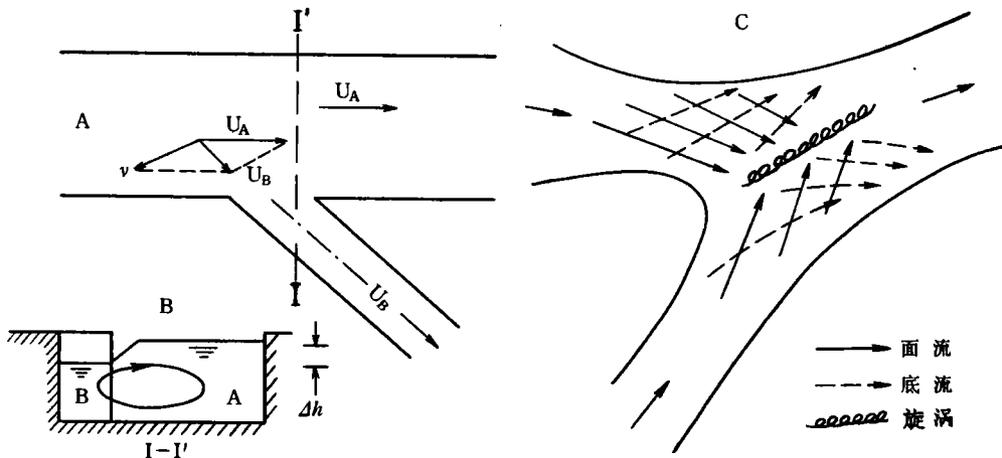


图 2 分流河道中环流的形成示意图

两股水流汇合时相互冲击、摩擦和挤压作用,河心水位高于两边,形成一对方向相反的环流,其面流指向河心,而底流指向两边,沉积物从分流河道中心向两边运动(图2c)。同样,辫状河三角洲水下分流河道中也存在形成横向环流的条件。由于辫状河道中横向环流的方向和强度受多种因素影响,如分流河道宽度、弯度、水深的变化、河床形态及流量变化等,因而,河道砂坝在环流作用下侧向迁移加积的方向往往是经常变化的,即经常发生来回迁移,从而形成倾向相反的侧积交错。

3.2 沉积物富沙少泥便于砂体侧向迁移

侧积交错层的发育程度与河道及河岸的可动性关系密切,只有可动性大的河道才能便于河道砂坝的快速侧向迁移,而河道及河岸的可动性与其沉积物的性质有关。尤连元^①等(1983)曾统计了中国一些冲积河流的边界条件及其它因素对河型形成的影响,指出:河床的可动性与河床砂坝中颗粒粒径(D)成正比,河岸的可动性与河岸中粉砂、粘土的含量(M_w)成反比,并据此作为定量指标,提出河床与河岸的相对可动性 Π 可用下式表示: $\Pi = \frac{100D}{M_w}$ (式中: D 以mm计, M_w 以百分率计);从式中可看出,由于辫状河沉积物粉砂及粘土的含量低,且河道砂坝沉积物粗,以砂、砾质为主,辫状河道的可动性明显高于其它类型河道,因而辫状河道砂体的稳定性差,很易进行侧向迁移,这是辫状河道中侧积交错层发育的一个重要因素。

4 辫状河道中侧积交错层的鉴别标志

(1)侧积交错层的“细层”中可见到次一级的交错层,其分布受“细层”界面的控制,且同一“层系”中不同“细层”内次一级交错层的类型可能不同,规模亦可不等。

(2)层系厚度较大,常为0.5m以上的板块单元,其底面发育冲刷面构造,并分布有河床滞留沉积的砾石,整个层系从下向上粒度变细,显正粒序性。

(3)细层多呈“S”型,上、下收敛明显,但上部往往被侵蚀掉,仅保存向下收敛部分。这种向下明显收敛的特征与槽状交错层相似,但层系形态又为板状而非槽状,故其形态非“槽”非“板”,独具特征。

(4)同一层系内细层的岩性往往不同,既可为粗、细层频繁交替或数个粗粒的细层与数个细粒的细层相间分布,亦可粗细层无规律的随机分布;细层的厚度较大,常为厘米级,细层间的厚度差别亦较大。

(5)细层间界面多为毫米级厚的泥岩、粉砂岩等细粒沉积物,它们与细层主体部分呈突变接触。

(6)同一层系中各细层的排列不如前积交错层规则,部分呈现明显的不协调。

(7)侧积交错层的倾向同该区的总水流方向近于垂直,即细层走向接近平行古流向。

(8)在倾角测井图上,侧积交错层常表现为一组蓝模式,且相邻两个层系间多表现为从高倾角到低倾角的突变。

5 侧积交错层的研究在油气勘探开发中的意义

目前,中国许多油田的油气分布在辫状河及辫状河三角洲砂体中(如塔里木盆地轮南地区三叠系的3个油组皆为辫状河三角洲砂体),而侧积交错层是这种砂体的鉴别标志,因而在勘探中可据侧积交错层特征来寻找砂体、辨别砂体类型、预测砂体的空间展布,进而给勘探部署提供依据,这样可提高勘探效果、减少经济损失。其次,从辫状河道砂体快速频繁的侧向迁移加积可知,砂体内部是由若干个小的砂岩透镜体相互叠置在一起而组成的,实质上,单一透镜体就是侧积交错层的一个层系,其横向展布不远即快速变薄甚至尖灭,内部岩性亦有明显差异,且两砂岩透镜体间(两层系间)及体内(两层系间)往往被细粉砂和泥相隔,这些宏观和微观特征表明,辫状河道砂体属非均质性砂体,其砂体内部因部分夹有细粒物质又构成局

① 尤连元等,1983,影响河道发育几个因素的初步探讨,第三届河流泥沙国际学术讨论会论文集

部非渗透性遮挡的“半连通体”。这些特性皆由河道砂体频繁侧向迁移加积所形成,因而掌握侧积作用机理及侧积交错层特征,对于建立辫状河与辫状河三角洲砂体的储层建筑结构模型及建立地下剩余油分布模式、提高采收率具有重要意义。

收稿日期:1995年8月17日

参 考 文 献

- 1 Allen Jr L. The classification of cross-stratified units, with notes on their origin. *Sedimentology*, 1963, 2(1), 93~114
- 2 瑞内克 H E, 辛格 I B. 陆源碎屑岩的沉积环境. 北京, 石油工业出版社, 1979, 89
- 3 里丁 H G. 沉积环境和相. 北京, 科学出版社, 1986, 68
- 4 Kirk M. Bar development in a fluvial sandstone. *Sedimentology*, 1983, 30(5), 727~742
- 5 华东水利学院等四校合编. 河流动力学. 北京, 人民交通出版社, 1981, 150~151

LATERAL ACCRETION CROSS—BEDDING: THE MAIN TYPE OF SEDIMENTARY STRUCTURES IN THE BRAIDED CHANNEL

Li Weifeng Gao Zhenzhong Peng Detang

(Jiangnan Petroleum Institute, Hubei 434102)

Abstract

Lateral accretion cross-bedding results from lateral accretion of sandbodies induced by the lateral migration of channels and is very abundant in the braided channels. Its characteristics are: ① the overall shape of its sets is tabular, but its laminae are sigmoid, clearly converging both upward and downward. ② there is secondary cross-bedding or cross laminations as well as slump structures in the inner part of some 'laminae'. ③ the set thickness has nothing to do with the grain size of the sediments. ④ the thickness, grain size and composition of each lamination within the same set are significantly different each other. ⑤ the laminae dip is at approximate vertical angles to palaeocurrent direction. The lateral accretion cross-beddings are very abundant in the braided channel as there are more transverse circulation flows in it and more sand and less mud in the sediments.