

文章编号 :1000-0550(2000)02-0241-07

曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型^①

马世忠¹ 杨清彦²

(¹大庆石油学院勘探系 黑龙江省安达 151400) (²大庆石油管理局勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘要 通过对曲流点坝形成过程、洪水事件的水动力条件及冲淤机制分析,结合大庆长垣曲流点坝垂向层序、侧积体类型与组成、岩石相、粒度、储油性,建立了单一侧积体横向与垂向沉积模式和点坝侧积体沉积迭式,由此建立了点坝三维构形,进而对点坝砂体内部非均质控制格架、层次性、各级实体规律性、空间形态进行研究,建立三维非均质模型。

关键词 曲流点坝 侧积体沉积模式 岩相 非均质性

第一作者简介 马世忠 男 1964 年出生 副教授 博士 储层地质

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

尽管曲流点坝沉积被较早并较清楚的认识,且侧向加积已成为经典模式,但对构成点坝的侧积体沉积过程、特征及模式仍需进行深入研究。这对建立更为详尽的曲流点坝沉积模式,特别对用于三次采油甚至四次采油的点坝三维非均质模型研究是不可缺少的沉积理论基础。本文结合大庆长垣 P₁₂ 点坝垂向层序、侧积体类型与特征、岩石相、粒度、孔隙度及渗透率等,通过曲流点坝形成过程、洪水事件的水动力特征及冲淤机制分析,建立了单一侧积体横向与垂向沉积模式和点坝侧积体沉积迭式,由此建立了点坝三维构形,进而对点坝砂体内部非均质控制格架、层次性、各级实体规律性、空间形态进行研究。

单一曲流点坝是由曲流河侧向迁移(蚀凹增凸)过程中形成的若干个侧积体侧向迭加组合而成,每个侧积体则是从洪峰开始到洪峰退去的一次洪水事件全过程所形成的侧向加积沉积物单元体。因此,反映砂体外部几何形态、内部结构样式、界面层次、实体构架与特征的点坝单砂体三维构形主要取决于侧积体沉积模式、侧积体沉积迭式与侧积轨迹、点坝几何外形三个层次,而其又受控于每次洪水事件的水动力及沉积机制、河道侧向迁移动态及方式、曲流部位河流起始与废弃形态与方式等。

1 河流洪水事件与侧积体沉积模式

1.1 河曲段螺旋流与蚀凹增凸作用

在洪水期河曲段内,由于凹岸陡凸岸缓的河道不对称性及向凹岸的离心力作用,使水流最高流速线向凹岸偏移,形成水堆并构成凹岸高凸岸低的水面斜坡,

从而产生不对称流速场^[1](图 1)。并由此导致河曲水体中螺旋流的形成和凹岸侵蚀凸岸沉积,从而控制着河道迁移及点坝形成的全过程,成为曲流侧蚀和点坝沉积的根本原因。

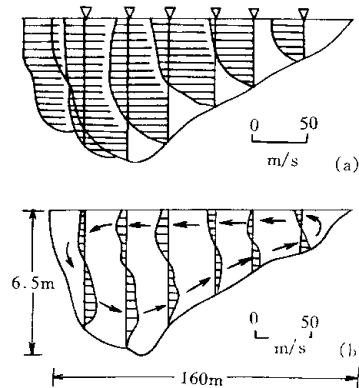


图 1 曲流河断面流速分布(据 Allen)
(a)沿程纵向流速分布 (b)横向环流流速分布

Fig. 1 Velocity distribution in asymmetric stream channels (from Allen)

横向环流是导致点坝沉积的重要原因,并由在曲率半径为 R 处密度为 ρ 沿程流速为 u 的单位水体所受的垂直流线指向凹岸的离心力 $\rho u^2/R$ 与由水面斜坡横比降 (J) 产生的同一单位水体在向心方向的分力 $\rho g J$ 所产生^[2]。因为 u 由水面向河床逐渐减小,致使离心力随 u 成平方关系降低,而分力 $\rho g J$ 则自水面至河底都是均匀分布的,则二者的合力由上而下减小,形成了由水面指向凹岸的最大值逐渐降到河底指向凸岸

^① 黑龙江省自然科学基金资助项目(编号 96-G-11)和大庆石油学院青年基金资助项目研究成果之一,

的最大值,从而形成了表层水流向凹岸,底层水流向凸岸的横向环境(图 1(b)),并在河水中部形成一个横向流速 0 值面。横向环流与沿程纵向水流(图 1(a))构成螺旋流。

在洪水期,因河水最高流速线向凹岸偏移,使沿河曲运动的快速沿程水流及其携带负载沿流线的切线方向对凹岸进行冲顶、磨蚀、刨削;以及横向环流由上而下对凹岸掏蚀,加之因凹岸下部被刨空、洪水浸泡使岸强度降低及重量增加、落洪后岸质的高孔隙压力和失去河水的侧向撑托压力等致使凹岸坍塌,最终导致河道向凹岸迁移,这一侧蚀作用在河曲转折端的凹岸下游侧最为强烈。而凹岸一侧在纵向流及横向环流(构成螺旋流)的共同作用下,含沙量较小的表层水流不断流向凹岸并插向河床,而含沙量较高的河床底流又不断向凸岸爬升,从而形成了输沙不平衡。并在向凸岸爬升过程中,因纵向流速和横向环流底流流速向凸岸

逐渐降低,以及落洪时整体河水流速的渐降从而导致河水不能继续搬运某些组份负载而沉积于凸岸,形成向凸岸粒度变细的侧向增生体。由此形成凹岸侵蚀凸岸沉积(蚀凹增凸)。

1.2 侧积体横向(同时异位)沉积模式

为研究侧积体横向沉积特征,现对一次洪水事件中的某阶段(以最大洪水水位期为例—同一时间)在河曲(如转折端处的)横断面上不同部位的水动力条件及沉积特征进行研究。由前述蚀凹增凸作用可知,横断面上由凹岸向凸岸,由于河水渐浅、纵向流速及横向底流流速渐降,致使流动体制下降、沉积粒度渐细、主要沉积负载由滚动→跳跃→悬浮、底形及形成的沉积层理类型与规模渐变,而在不同部位形成不同岩石相,由此构成如下侧积体横向沉积模式(图 2(a))。

凹岸(AB):为上部流动体制且流速最大,使凹岸遭受侧向侵蚀(冲顶、磨蚀、刨削及掏蚀),河道向外侧

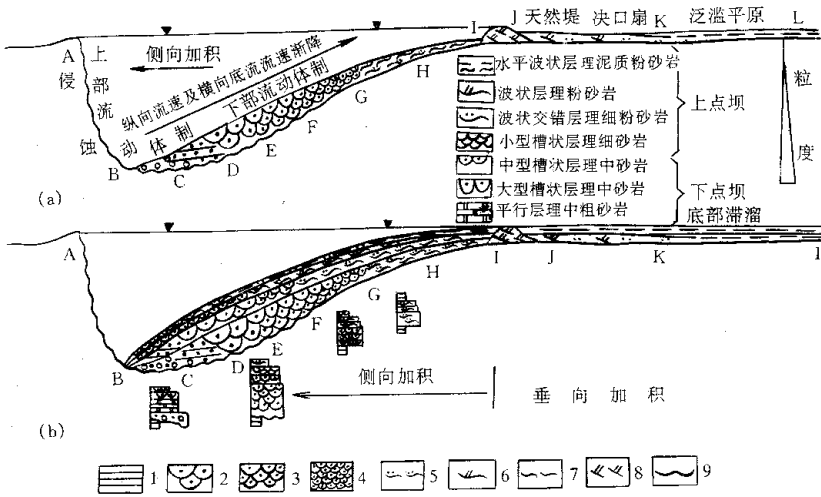


图 2 侧积体沉积模式

- 1. 平行层理 2. 大型槽状交错层理 3. 中型槽状交错层理 4. 小型槽状交错层理 5. 波状交错层理;
- 6. 波状层理 7. 水平波状层理 8. 小型楔状交错层理 9. 冲刷面
- (a)侧积体横向(同时异位)沉积模式 (b)侧积体垂向(同位异位)沉积模式

Fig. 2 The depositional model of lateral accretion body

迁移。

凹岸深潭(BC):为上部流动体制且流速接近最大,使河床遭受冲蚀,形成河道底部冲刷面。因流速最大,携带颗粒最粗,当流速稍有降低时,最粗的滚动负载(砾石)及跳跃负载中的最粗组分(粗中砂)大小混杂的沉积于冲刷面之上,构成(含砾粗中砂岩)底部滞留沉积。

点坝底部(CD):为上部流动体制,但因开始偏向凸岸并开始变浅,而流速有所降低但仍很大,致使跳跃负载中的最粗组分(粗—中砂)成为主体沉积物,并产

生平底底形,形成平行层理,由此构成平行层理粗—中砂岩岩相的下点坝底部沉积。当实际流速较小而不能形成平底底形时,常缺少该类型。

点坝下部(DE):开始变为下部流动体制,因进一步偏向凸岸变浅,流速降低,致使跳跃负载中的较粗组分(中砂)沉积,并产生沙丘相的大型沙丘底形。由于螺旋底流与最大流速方向存在一个夹角使总体指向下游方向的沙丘峰与水流方向也存在一个夹角,约为 60° ^[1]。大型沙丘的移动形成大型槽状交错层理,由此构成大型槽状交错层理中砂岩岩相的下点坝下部沉

积。

点坝中部(EF):同理,流速渐降,形成中型槽状交错层理的中—细砂岩岩相的下点坝上部沉积。

点坝中上部(FG):为下部流动体制,但流速进一步降低,跳跃负载中的中粒组分(细砂)成为主体沉积物,并产生沙丘相的小型沙丘底形,形成小型槽状交错层理,构成小型槽状交错层理细砂岩岩相的上点坝下部沉积。

点坝上部(GH):为下部流动体制,河水已较浅,而流速较低,跳跃负载中的细粒组分(细—粉砂)沉积,并产生波纹底形,形成波状交错层理,构成波状交错层理细—粉砂岩岩相的上点坝中部沉积。

点坝顶部(HI):仍为下部流动体制,河水已很浅,流速很低,跳跃负载中的最细粒组分(粉砂)发生沉积,产生波纹或平底底形,形成小型波状层理或水平纹层,构成波状或水平层理粉砂岩岩相的上点坝顶部沉积。

以上为河道内沉积,而在大洪水期洪水越岸时,将形成河道外沉积:

天然堤(IJ):洪水越岸,但水体很浅,流速低,致使跳跃细粒负载(粉砂)及部份悬浮负载(泥)沉积,产生小型沙丘或波纹底形,构成小型交错层理及波状层理粉砂岩或泥质粉砂岩相的天然堤沉积。

决口扇(JK):当冲开堤岸决口时,随水流发散,流速降低,将在小型冲刷面或岩性突变面之上沉积小型交错层理粉砂岩的决口扇沉积。

泛滥平原(KL):溢岸水流在广阔的泛滥平原形成片流,由于流速低并速减,使其悬浮泥质发生淤积,形成具氧化色的块状泥岩。在特大洪水期,溢岸片流流速大,携带粉砂组分时,将沉积溢流席状砂。

侧积体横向沉积模式反映了侧积体横向沉积的总体规律,但因河曲不同横断面(如上游坝头、转折端、下游坝尾)的形态(特别是凸岸河床起伏、陡缓)及流速场不完全相同,具体沉积特征将有差别,如某一岩石相的宽度和厚度,甚至缺少其中某个或几个岩相类型。

另外,侧积体横向沉积模式的岩相变化也将相应导致储集物性的变化,从而也可成为物性横向模式。

1.3 侧积体垂向(异时同位)沉积模式

一次洪水事件从涨洪→落洪→枯水期分为不同阶段,每一阶段都可形成向凸岸粒度渐细、层理类型与规模渐变的前述横向沉积规律,但由于每一阶段都有不同于其它阶段的水动力特征,因而在同一位置将形成粒度、层理不同(或稍不同)于其它阶段的沉积。由此各阶段形成的具不同特征的横向沉积则构成侧积体垂向(异时同位)沉积模式(图2(b))。

I型:涨冲落淤正韵律侧积体垂向模式

涨冲落淤多在含沙量偏低、挟沙能力一直大于来沙量、且洪峰涨落较缓时发生,是河流沉积的基本规律。

①涨洪期:因河水不断上涨,流量、流速增加,总体处于上部流动体制,特别是至最大洪峰时,河水侧蚀凹岸并向凹岸迁移,同时流速较大的深潭及下点坝部位被冲刷形成小型冲刷面即侧积面,使上次洪水形成的侧积体顶部的侧积泥岩及其下部砂岩被冲蚀,因上点坝流速相对较小,前期沉积物得以保存,这正是侧积泥岩在上点坝常见而下点坝少见形成半连通体的原因。

②最大洪峰始落洪期:总体为上部流动体制。由于洪峰时的最大流速所携带的沉积物最粗,因此开始落洪且流速开始降低时,最粗沉积物首先沉积,而在每个位置沉积了该次洪水的最粗沉积物。其横向变化详见侧积体横向模式(图2(a))。

③中落洪期:随水流进一步下降,水中负载按机械分异作用由粗至细依次沉积于始落洪期粗沉积物之上。同时,在横剖面上,向凸岸方向粒度、层理规模减小,层理类型发生变化。

④后落洪期:河水降至低速时,水面下降且粗负载搬运停止,很细沉积物可从悬浮状态沉积于始、中落洪期沙质为主的沉积物之上,形成微波层理泥质粉砂至水平纹层或块状泥的非渗透层覆盖即侧积泥。侧积泥一般较薄,多为几~三十厘米,倾角视河曲段、横断面、上下点坝位置不同而不同,多 $4^{\circ}\sim 20^{\circ}$,宽度小于侧积砂体宽度(其为满岸河宽的 $2/3$)。

⑤低水位枯水期:河水紧靠凹岸并沿对角线斜穿于两河曲间,凸岸点坝出露水面,河水搬运及沉积作用基本停止。

由上可见,一次涨冲落淤型洪水事件形成一个正韵律侧积体,而落洪的快慢也将直接影响这一正韵律的特征。当水动力缓减(I_1)时,侧积体由下而上粒度、层理渐变:侧积面→大型槽状交错层理中沙→小型槽状交错层理细砂→波状交错层理细—粉砂→爬升层理(微波层理)粉砂→微波层理泥质粉砂→水平纹层泥或块状泥→侧积面。当水动力骤减(I_2)时,侧积体垂向序列表现为砂泥突变,如在上述序列中缺少爬升层理粉砂→微波层理泥质粉砂。如大庆长垣 GJ45 井 PI_2 点坝中侧积体 LA4、LA1 为明显的 I_1 型, LA3 为明显的 I_2 型(图3)。

对同一侧积体在不同部位也表现为不同正韵律特征(图2(b)):如在深潭处为:河床冲刷面→含砾粗中砂底部滞留沉积→平行层理粗中砂→大中型槽状交错层理中细砂→小型槽状交错层理或波状层理含泥粉砂→侧积面;在点坝中下部:似上述 I_1 或 I_2 序列;而在点

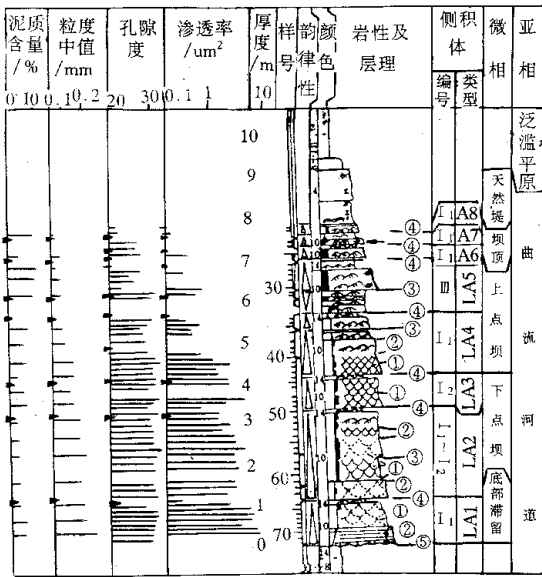


图3 GJ-45井PI₂单元曲流点坝垂向沉积层序及侧积体类型与构成

Fig.3 The vertical sedimentation succession of point bar and the type of lateral accretion body of PI₂ time unit in well GJ-45

坝上部为：侧积面→波状交错层理粉砂→波状层理含泥粉砂→水平纹层粉砂质泥或块状泥→侧积面。

II型 涨淤落冲反韵律侧积体垂向模式

形成于河水负载超载的涨慢落快的小型洪水事件。在低速开始涨洪期，其超载泥淤积，随涨洪增速，搬运负载增粗，并依次沉积，至高洪峰期因快速落洪，使悬载刚或尚未沉积，便形成冲刷，而构成：侧积面→块状泥→爬升层理泥质粉砂→波状层理粉砂→小型交错层理细砂→侧积面的反韵律。其也可由缓慢波动涨洪快速落洪形成。

III型 涨淤落淤复合韵律侧积体垂向模式

由前述涨淤形成反韵律和落淤形成正韵律机制复合而成(如图3 LA5)。在此不再赘述。

IV型 涨冲落冲无或很小沉积的冲刷型

一个完整的侧积体是一次洪水事件全过程的产物，洪水事件中某一阶段(同时)在河曲断面不同位置(异位)的横向沉积模式和同一洪水事件不同洪水阶段(异时)在同一位置的垂向沉积模式综合构成侧积体沉积模式(图2)。

2 点坝侧积体沉积迭式

由1.1所述的蚀凹增凸作用可知，一次洪水事件，河曲凹岸被强烈侵蚀，相应地在凸岸侧积面之上就沉

积一个侧积体，河道就发生一次迁移。由于洪水事件周期性发生，则使后期洪水事件形成的楔状新月形侧积体呈叠瓦状侧向迭加于前一侧积体之上，至河流废弃时，则由若干个侧积体迭加组合为一个点坝，每个侧积体即是一个等时间单元，其间存在一侧积面，正韵律侧积体的侧积泥岩位于后期侧积面之下，反韵律侧积体的侧积泥岩位于本期侧积面之上。由此构成点坝侧积体沉积迭式(图4(d)(e))。而不同洪水事件形成的河道外沉积则为垂向加积模式。

点坝沉积垂向层序(图4(f))正是这一不同时间侧积体沉积迭式在同(井)点的垂向反映，它是该(井)点在河道向凹岸迁移过程中依次位于凹岸深潭→下点坝→上点坝→堤岸→泛滥平原等不同位置而引起的流速降低和流动体制下降的结果。且该(井)点由不同时间形成的侧积体迭合组成的点坝垂向序列与1.2中所述的同时间形成的侧积体横向(断面)序列相同或相似，并符合沃尔索相序定律，并可由垂向层序按横向沉积模式建立横向序列。大庆长垣GJ45井PI₂单元为8m厚正旋回点坝砂体(图3)，其垂向上由5个主侧积体和顶部3个薄而不明显的顶尾部次侧积体构成，其间被7个在岩心图上难以表示的极薄(几~十几厘米)的小型波状交错层理、波状层理泥质粉砂岩、粉砂质泥岩的非或特低渗透侧积泥岩隔开。侧积体LA1、4、6、7、8为I₁型(涨冲落淤水动力缓减型)，LA3为I₂型，LA2为I₁-I₂过渡型，LA5为III型，说明每次洪水涨落速度、冲淤机理不同。自下至上由LA1→LA8，侧积体特征渐变，粒度渐细、层理类型与规模渐变：底部的1.8m厚I₁型LA1为：冲刷面→含泥砾中砂岩(底部滞留)→平行层理中砂岩→大型槽状交错层理中-细砂岩→小型槽状层理细砂岩→岩性突变面→微水平波状层理含泥粉砂岩→岩性突变面，反映水动力渐弱；中部0.97m厚I₂型LA3为：岩性突变面→中型槽状交错层理细砂岩→岩性突变面→小型楔状交错层理含泥粉砂岩→岩性突变面，反映水动力骤减；顶部0.25m厚I₁型LA7为：岩性突变面→小型楔状交错层理含角砾粉砂岩→小型波状交错层理含泥粉砂岩。侧积体厚度总体为中部大，底部小，顶部最小，由此可推测凸岸点坝的地貌特征。

由于向凹岸偏移的最高流速线对河曲转折端凹岸强烈冲顶侵蚀及其后产生的反射侧向力，导致一个向下游及侧向的曲线迁移趋势，此外点坝侧向增生(或曲流侧蚀迁移)轨迹受古地形、河道起始形态、岸质、水动力条件等众多条件影响，John R. L. Allen将其划分为(a)简单对称(b)简单不对称(c)复杂对称(d)复杂不对称(e)返回环(Rebounding loop)(f)相位增生

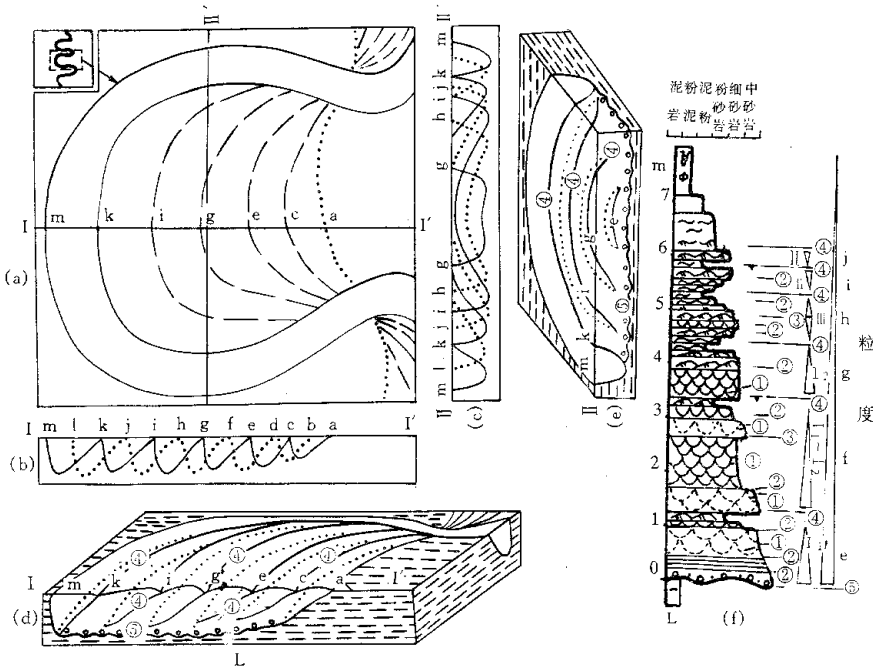


图 4 曲流点坝沉积模式及内部三维构形模式图

- (a) 曲流河道侧向迁移及点坝增生轨迹平面图 (b) 曲流河道侧向迁移纵剖面图 (c) 曲流河道侧向迁移横剖面图
- (d) 点坝单砂体内 5、4 级(侧积泥岩)界面空间构形 (I~I') (e) 点坝单砂体内 5、4 级(侧积泥岩)界面空间构形 (II~II')
- (f) 曲流点坝垂向层序及 1~5 级界面

Fig. 4 The depositional model and 3-D architecture model of point bar in meandering channels

(phase growth only) 7 种类型,该轨迹对点坝三维构形很重要,这一增长轨迹也形成了旋涡状的脊和沼的地形。

侧积体迭加规模:一个点坝砂体能够发育多少个侧积体,取决于河流相特征中的多种关系,对同一曲流而言,在流槽截直、曲流截直和冲裂不同废弃情况下,其发育的侧积体个数显然不同。国外研究表明,河弯的曲率半径与河宽之比可用来表示曲流段的平面几何形态^[2],是控制曲流河发育型式的一个主要因素。

3 单一点坝砂体几何外形

一个侧向及上部没有被切蚀的保存完整的单一点坝砂体的外部几何形态,在侧向四周取决于该河曲起始河道和最终废弃河道的位置、形态展布,底部取决于各洪水期下切点连成的河道侵蚀面;上部取决于点坝增生轨迹形成的旋涡状脊和沼的旋涡状波面形态(图 4(a)(d)(e))。

4 曲流点坝三维构形与非均质性

曲流河储层具极强的非均质性,而引起其内部流体渗流及驱油剂驱油的非均匀性,使油气采收率很低,

也成为油田高含水期强化采油及三次采油的重要挖潜对象。对同一曲流点坝砂体,因其面积相对较小,埋深差异很小,所经历的成岩作用相同或相近,因此成岩作用引起的非均质性相对较小,其关键影响因素是点坝复杂的沉积过程,因此,弄清点坝的形成过程、沉积特征、内部结构模式、界面层次、实体构架成为打开点坝非均质性的钥匙,而反映点坝各级形成过程及内部结构样式的三维构形极好的揭示了点坝砂体的各级次的三维非均质性。

由曲流点坝形成的单一侧积体横向及垂向沉积模式、侧积体沉积迭式及点坝砂体外部形态并据 A. D. Mall 等的构形理论^[3,4,5]来研究点坝砂体三维构形及其等级界面(图 4(a)(d)(e)(f)):

5 级界面:为河道充填复合体的大型砂席或砂体界面。它通常为平坦状或稍上凹状,底部滞溜砾岩及局部被切割和充填是其识别标志。其与点坝顶界面反映了保存完整的单一点坝砂体的三维外部几何形态,其上下左右被泛滥平原泥岩包围,它构成了一个相对独立的油水运动单元,即决定了其中油水运动的外部边界,是单一点坝砂体的最高非均质性界面。

4 级界面:对曲流点坝而言,其是大洪水期形成的

明显底部冲刷侵蚀面,是河曲蚀凹增凸的主要阶段。其实体是两次相邻大洪水期形成的底部冲刷面之间的主侧积体,空间上呈楔状新月形分布,产生4级界面的大洪水期控制点坝形成(凹岸明显迁移,凸岸形成主侧积体)4级界面通常是极薄(几~十几厘米)非或特低渗透侧积泥岩的顶面(I型侧积体)或底面(II型侧积体),呈新月空间形态以 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 角度向河道侧移方向斜列分布,其间隔从几十厘米~几米,垂向可达下点坝(最大 $2/3$ 河深),宽度小于 $2/3$ 满岸河宽(图4(d)(e)),其在上点坝引起上倾岩性尖灭、空间阻流、水平遮挡、垂向分隔等作用,对流体渗流及注入剂驱油产生极大影响,是控制点坝内流体渗流的最重要的非均质格架,是研究点坝非均质性的关键,以往由于对在岩心上难以表出的极薄侧积泥岩的忽略及侧积体认识的不足,将这一关键性格架忽略,将点坝非均质性侧重于渗透率研究,其实侧积泥岩构形对非均质的影响至少不亚于渗透率的空间分布,并且这一格架控制了渗透率的空间分布规律。

3级界面:对曲流点坝而言,其是小洪水形成的填充体底部小型冲刷面或大洪水事件中的次洪峰沉积或大洪水事件中不同水动力阶段沉积形成的界面。当为小洪水填充体且有泥质沉积层时,其作用与4级界面相似,只是规模较小。

2级界面:为交错层系组界面,其反映了水流条件或水流方向的变化,但无明显的时间间断。其与侧积体沉积模式(图2)是研究一个侧积体内空间渗透率模式的关键,因为相邻2级界面内为同一岩石相,其渗透率相对均质,不同岩石相则不然,而侧积体沉积模式则提供了侧积体内岩石相在空间(横向、垂向)上的变化规律。

1级界面:为交错层系界面,该面没有遭受明显侵蚀,其代表一系列相同微型底形的连续沉积。反映了小规模的非均质性,平行层系界面渗流稍快,垂直层系界面渗流较慢。

5 结论

(1)一次洪水事件中的某阶段,由凹岸向凸岸,因

河水渐浅、纵向流速及横向底流流速渐降、流动体制下降,致使沉积粒度渐细、沉积层理类型与规模渐变、形成不同岩石相,构成侧积体横向(同时异位)沉积模式。

(2)一次洪水事件不同阶段水动力特征不同,而在同位置形成粒度、层理不同的岩石相,并在垂向上形成不同韵律性,构成侧积体垂向(异时同位)沉积模式,共有I、II、III、IV型,侧积体横向和垂向沉积模式,构成侧积体沉积模式。

(3)点坝是由不同洪水事件形成的多个楔状新月形侧积体呈叠瓦状侧向迭加组合而成。其间被侧积面(其上或下多有侧积泥)分开,构成点坝侧积体沉积迭式,点坝沉积垂向层序正是这一沉积迭式在同(井)点的垂向反映。

(4)由曲流点坝形成机理得到其5级界面及其间实体建立其三维构形,从而反映了砂体外部几何形状、内部结构样式、界面层次、实体构架与特征。

(5)由点坝形成微过程、三维构形研究非均质性,从形成机理上全面地揭示了点坝砂体内部非均质的控制格架、层次性、各级实体规律性、空间形态,这是纯数学方法建模所不能比拟的。5级界面控制了相对独立的油水运动单元,4及3级界面控制了极薄的非渗透侧积泥岩格架和侧积砂体格架,及其侧积体沉积迭式是研究点坝砂体内渗透率空间分布的关键,2级界面及侧积体沉积模式是研究单一侧积体内空间渗透率分布模式的关键。

参 考 文 献

- 1 Robert R Berg. Reservoir sandstones[M]. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986, 131~133
- 2 薛培华编著. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京:石油工业出版社, 1991. 51~55
- 3 Maill A D. Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: Lessons from outcrop studies[J]. AAPG, 1988, 72(6): 628~696
- 4 Robinson J W, McCabe P J. Sandstone-body and shale-body dimensions in a braided fluvial system: Salt Wash sandstone Member (Morrison Formation), Garfield County, Utah[J]. AAPG, 1997, 81(8): 1267~1288
- 5 Doyle J D, et al. Three-dimensional distribution of lithofacies, bounding surfaces, porosity and permeability in a fluvial sandstone-gypsum sandstone of northern Oklahoma[J]. AAPG, 1995, 79(1): 70~95

The Depositional Model 3-D Architecture and Heterogeneous Model of Point Bar in Meandering Channels

MA Shi-zhong¹ YANG Qing-yan²

(Daqing Petroleum Institute ,Anda ,Heilongjiang 151400)

∫ The Research Institute of Petroleum Exploration and Development ,Daqing Petroleum Administration Bureau ,Daqing ,Heilongjiang 163712)

Abstract

This paper analyses the forming process of point bar ,hydrodynamic regime and scour-and-fill mechanism of flood event ,and combines the vertical sequence of point bar ,the type of lateral accretion body(LAB) ,lithofacies ,granularity ,porosity and permeability ,sets up the tranverse and vertical depositional model and the sedimentary stack of LAB in point bar 3-D architecture of point bar and the heterogeneous model.

At a stage in a flood event ,the velocity of rich-sand helical bottom flow from concave bank to convex bank decreasing makes that depositional grain thins ,bedding form changes and bedding scale becomes smaller ,tranverse lithofacies variation (eg. pebbly Crs. Grn. sand → parallel-bedding Med. Grn. sand → trough cross-bedding fine Grn. sand → ripple cross-lamination silt) forms. At different stage in a floodevent ,different hydrodynamic regime forms different lithofacies in vertical ,these can constitute 4 types of rhythm :I. Fining-upwards rhythm(FUR) of Rising-flood Scouring(RS) and Falling-flood Depositing(FD) ;II . Coarsening-upwards rhythm(CUR) of RD & FS ;III . CUR of RD & FUR of FD ;IV . no or little sediments of RS & FS. The tranverse and vertical models of LAB constitute the depositiomal model of LAB. It is the product in whole process of a flood event.

Many wedge-form and lunate-shape LABs deposited in different flood events laterally stack in imbricated shape and constitute point bar. This is the sedimentary stack of LABs. and The vertical succession of PI₂ point bar in well GJ-45 consists of 8 LABs ,there is 5-15cm thickness lateral accretion mudstone between LABs.

According to above forming process and mechanism of point bar ,fivefold hierarchy bounding surface(BS) and solid body between BSs are divided in a point bar sandstone body (PBSB) ,sets up 3-D architecture of point bar which reveals geometric external form ,the controlling frame ,hierarchy ,rule and spatial characteristic of inter nal structure in sandstone-body and heterogeneity of point bar. This method of heterogeneous study is better than mathematical method. 5th BS controls relatively independent oil-water moving unit ;4th and 3th BS controls the frame of very thin lateral accretion mudstone and sandstone ,the sedimentary stack of LABs is the key to study spatial distribution permeability of in PBSB 2th BS and depositional model of LAB are the key to study spatial distribution permeability of in LAB.

Key words point bar of meandering channels depositional model of lateral accretion body lithofacies heterogeneity