

粗碎屑洪积扇的某些沉积特征和微相划分

张纪易

(新疆石油管理局勘探开发研究院)

洪积扇既是常见的地貌现象,又是一种特殊的地质体。近几年来,为研究粗碎屑洪积扇油气藏的勘探和开发问题,笔者参与或组织了对这类洪积扇所作的一些调查。注意到有一些以往未被重视和描述的沉积特征具有重要的指相意义,并根据扇体不同部位的沉积现象提出了洪积扇微相划分的意见。

一、粗碎屑洪积扇的沉积特征

1972年, W·B·布尔总结了识别洪积扇沉积物的十项鉴别特征,可简单归纳为:洪积扇沉积物缺乏有机质,由厚的辫状河流和河道沉积的水携沉积物或厚的泥流沉积物组成,主体是长宽比的5—20倍的席状体,泥流沉积物主要发育于扇体上方,碎屑粒度向下方变小,河道切割充填见于扇顶附近,沉积层的厚度、粒度和分选多变,CM图显示出两种特殊图型,沉积构造呈现辐向水流特点,这类沉积物与河漫滩或湖泊等其它环境沉积物常呈超覆或舌状交错接触。布尔等还指出,洪积扇辐向剖面大多由几个直线段组成,直线段的坡度随远离扇顶而变缓,使辐向剖面表现为下凹形态。泥石流沉积物、筛滤沉积和硬壳泥球是最好的鉴定标志。

这些鉴定特征大多适用于现代的、地表的洪积扇的识别,但用以识别地层中的、井下的洪积扇时则有一定困难。

对新疆三大盆地边缘的现代洪积扇和准噶尔盆地古代洪积扇的调查研究中,注意到了四种以往很少报导或未予重视的某些特征,它们对于鉴定现代及古代粗碎屑洪积扇具有指相意义,可考虑作为相标志应用,现介绍如下:

1. 洪积层理

粗碎屑洪积扇中有一种广泛发育的层理,它表现为分选差的砂砾在垂向上频繁交替,但细层间没有规则明显的层理面。它是无数个结构(粒度,分选、砂泥质含量)和成分都不同的洪积物透镜体互相叠覆而成的成层沉积构造。透镜体一般厚3—20厘米,长度小于100米,宽不足20米,为洪积扇沉积物所独有,称为洪积层理。古代洪积扇的洪积层理,由于钻井岩芯直径有限,多被误认为块状层理。

国内外文献中对洪积扇层理类型的描述曾见有交错层理、板状层理、平行层理、粒

序层理、块状层理等，但都不是粗碎屑洪积扇的主要层理类型。

表 1 洪积层理和平行层理的区别

Table 1 Difference between alluvial stratification and parallel bedding

	平 行 层 理	洪 积 层 理
成 因	一定流速下的床砂运动	许多以垂向加积为主要方式沉积的洪积物透镜体相叠复
水 流 动 态	$Fr > 1$	$Fr > 1$ 或 < 1 均可形成
层 理 形 态	细层薄，层理面规则平整，严格平行，细层厚度稳定	细层最薄1厘米，多数3—20厘米，不稳定，常见楔状细层
层 理 面	发育、平坦	不明显、不规则
粒 度 分 选	细—粗砂，分选较好	砾石为主，分选很差
共生层理类型	多层系大型交错层理，逆行沙波层理	块状层理，单层系大型交错层理
特 殊 构 造	剥离线理	支撑砾岩（砾石层）

洪积层理在以片状加积为主的洪积扇靠近山口的部位最为发育。这里，交错层理、粒序层理所占比例很小，块状层理的发育程度决定于泥石流沉积和特大洪水出现次数的多少。交错层理是在扇面地形洼坑中形成的前积层，因此，都是单层系的，而且细层的结构变化很大。洪积扇中部辫状水系发育的地方，碎屑沉积的层理构造以大型多层系交错层理为主，但洪积层理仍普遍存在。有的人（如麦克高文）将洪积层理称为平行层理或平行纹层，这种叫法值得商榷，因为两者的成因和性质是不同的。

2. 支撑砾石

所谓支撑砾岩系指洪积扇中的松散砾石层，特点是分选较好的砾石互相支撑接触，孔隙中无或极少沙泥质填集物，因而不能胶结成岩。它呈厚度不超过20厘米、辐向延伸长度不到50米，宽度仅数米至十数米的透镜体产出。这种砾石主要见于洪积扇顶部块状砾岩层的中上部，在剖面中往往多次出现。由间歇河流形成的粗碎屑洪积扇支撑砾岩的砾石有一定圆度；而暂时河流的洪积扇，砾石棱角发育。古代的粗碎屑洪积扇中也可保存有支撑砾岩（图1）。

不能把支撑砾岩和筛滤沉积混为一物。两者至少在以下几个方面存在区别：

(1) 筛滤沉积是在一个洪水事件中一次完成的，支撑砾岩则是洪积物被后期洪水改造而成的。在扇体顶部细密沟槽中先期沉积的洪积物中的泥沙被后续洪水带走，剩下砾石骨架，形成支撑砾岩。

(2) 筛滤沉积在整个扇体表面均可出现，支撑砾岩仅局限于扇顶细密沟槽—流沟中。

(3) 在辐射向剖面上，筛滤沉积呈尖端指向山口的楔形，前缘可高出扇面3—9米，故顶面坡度小于扇面坡度。支撑砾岩厚度不到0.2米故顶面坡度与扇面坡度一致。

(4) 筛滤物粒度范围在64—910毫米间，比支撑砾岩大得多。图1为野外实测的砾石

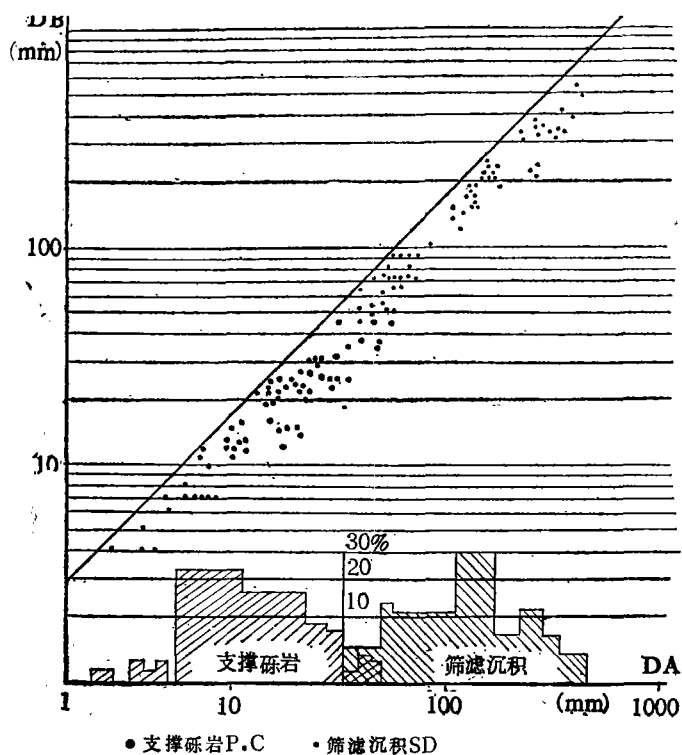


图 1 支撑砾岩和筛滤沉积的粒度分布

Fig.1 Grain-size distribution of propping conglomerate and sieve deposit

A、B轴直径。筛积物的砾径集中于90—600毫米；支撑砾岩的砾径则集中于10—60毫米。

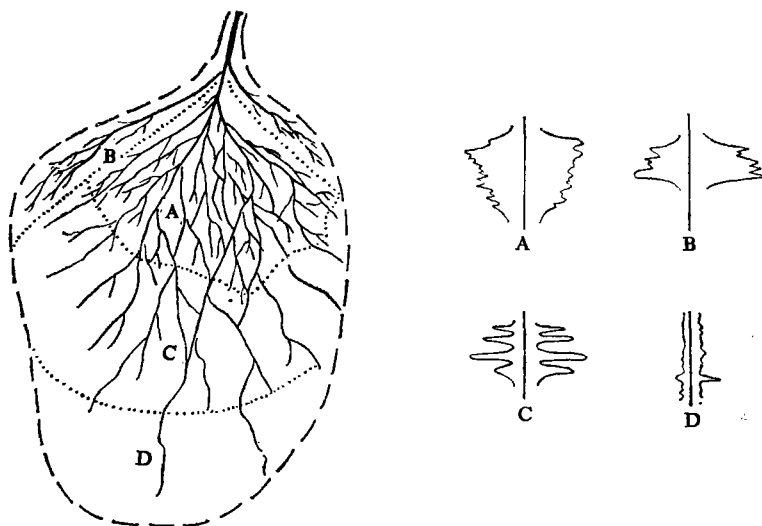


图 2 粗碎屑沉积扇电性特征示意图

Fig.2 Electric characteristics of coarse clastic alluvial fan

3. 漏斗状电性曲线

井下粗碎屑洪积扇的测井曲线具有明显的形态特征。在粗碎屑洪积扇的不同部位因洪水活动方式、沉积时间和沉积方式不同，电性特征也不同。这种电性曲线的特殊形态和分区性在准噶尔盆地西北缘二叠、三叠纪的各个洪积扇上具有普遍性，在该盆地南缘第四纪洪积扇采水井的测井曲线上也同样存在。

一个粗碎屑洪积扇可分成四个电性区（图2）：

A区 位于扇体核部的偏上方，沉积物为片状加积的巨厚砾岩层。电阻率曲线表现为块状高阻形态。因该区是洪积扇最早接受沉积的部位，底部沉积物含泥量较高，故电阻率值由下而上增高。而渗透率变化趋势使自然电位曲线的偏移幅度也向上变大。电阻率和自然电位曲线组成漏斗形态，显示为反旋回假象。由于厚度很薄的沉积物细层结构变化频繁，使电性曲线表现为细小锯齿状。电极距越小，如微电极曲线及侧向测井曲线，锯齿越清楚。

B区 位于扇顶的两侧。曲线表现为高阻正旋回形态，即呈三角形或梯形，其上同样具有密集锯齿。形成这种形态的原因是这一部位的沉积作用晚于A区，因而底部沉积物的含泥量低渗透性高。

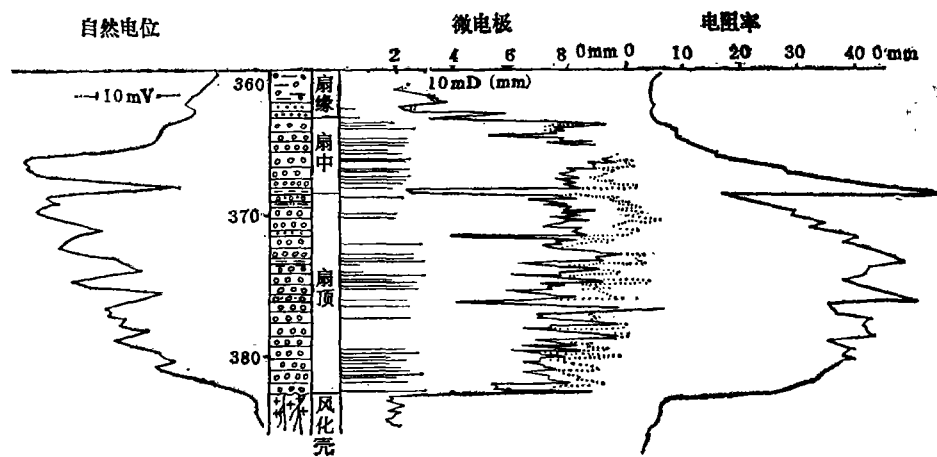


图3 洪积扇粗碎屑岩的电性曲线特征

Fig. 3 Electric curve characteristics of coarse clastic rocks of alluvial fan

C区 位于扇体中部。电性曲线呈高低阻互层形态，高阻层为辫状水流沉积，低阻层为辫状水流之间地形高处漫流沉积。由于该部位存在多条辫状水流，因此，横剖面上同一层位的高低阻层相间分布。

D区 是洪积扇的前缘部位。沉积物主要是细粒悬浮质，粗碎屑很少，属次生扇、弯曲河流和特大洪水期的沉积。电性曲线为平直低阻形态，其间有时夹少量中阻薄层。

四种形态的曲线中最典型的是A型曲线，它具有重要的指相意义。它和三角洲前缘沉积的区别在于（1）A型曲线电阻率值远远大于泥岩基线值，三角洲前缘沉积则从泥岩基线值向上逐渐增大；（2）A型曲线锯齿明显，三角洲前缘沉积的曲线较平滑，自然电位曲线往往呈箱状；（3）A型曲线下部通常是高阻层或薄的低阻层（风化壳），三角洲

前沉积之下为稳定的前三三角洲泥岩低阻层。如果在一口井中找到了典型的A型曲线段 则在邻井相同层位可根据电性区的分布规律确定它们是处在扇体的那一部位。

如果粗碎屑洪积扇形成于一个沉积旋回的初期，且盆地边缘继续沉降（地层中的洪积扇大多形成这样的构造背景中），则电测曲线将表现出由扇顶过渡到扇缘的完整水进层序，即下部为A型，中部为B型，顶部为C型（图3）。

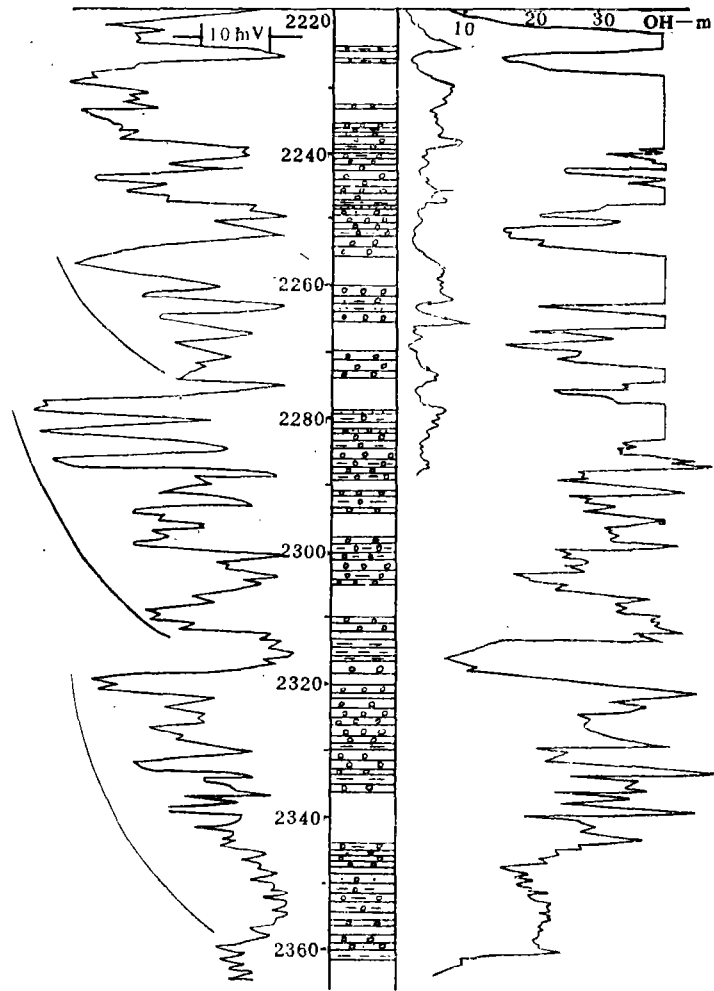


图4 克拉玛依一口井下三叠统电性岩性剖面

Fig.4 Lower Triassic electric-lithologic profile of a well in Karamay

当构造活动以盆地边缘间歇沉降、山区间歇抬升时，扇体顶部电性曲线表现为几组A型曲线的叠加，其间的低阻隔层代表一个古风化壳（图4），在该图中还可看出，当剖面中央有泥石流沉积时，A型曲线就演化成指状互层，但其廓线仍表现为漏斗形。

4. “粗、宽、低” 正态概率粒度曲线

粗碎屑洪积扇的正态概率粒度曲线以其“粗粒度、宽区间、低斜率”为特点，曲线

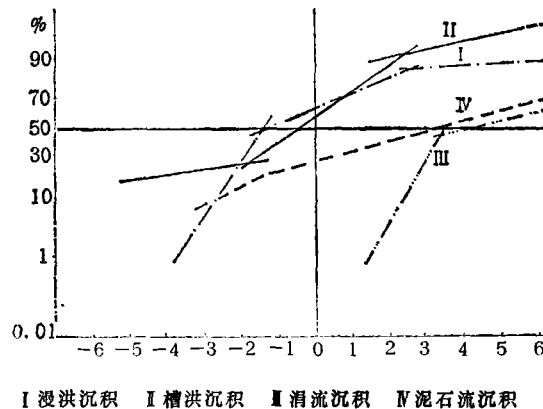
的线段数、上凸或下凹则往往多变。洪水期中不同阶段的曲线形态也不相同(图5)：

(1)漫洪型(早期) 曲线粒度范围从 -4ϕ (或更粗) -6ϕ , 为无截点的低平直线或由多个短直线段组成; 含泥量一般10—25%。

(2)槽洪型(中期) 曲线多呈两段或三段式。从槽洪期的开始至结束, 粗端 ϕ 值渐趋增大且含量降低, 中段斜率略为增大, 粗截点在 $-2-0\phi$ 间, 含泥量低于15%。

(3)涓流期(晚期) 粒度在 $1-6\phi$ 间, 斜率较大, 两段或三段式, 粗截点 $2-2.5\phi$, 细截点 $3.5-4.5\phi$, 含泥量30%以上。

(4)泥石流型 多为平直或多段式, 斜率可与浊积层之曲线对比, 粗端在 -3ϕ 以外, 含泥量大于30%。



I 漫洪沉积 II 槽洪沉积 III 涓流沉积 IV 泥石流沉积

图5 克拉玛依中三叠统扇积物正态概率粒度曲线

Fig.5 Normal probability grain-size distribution curves of the Middle Triassic alluvial deposits in Karamay

二、粗碎屑洪积扇的微相划分

国外文献中一般把洪积扇环境划分为三部分, 即扇顶, 扇中和扇缘。笔者认为, 如果把洪积扇作为独立的大陆环境与诸如冰川、河流、湖泊、沙漠等相提并论, 则扇顶、扇中和扇缘就是洪积扇上具有不同沉积特点的亚环境(亚相带)。

即使在同一亚相带内, 不同部位的沉积状况也有差别, 这些差别对洪积扇地下水层及洪积扇油气藏的开发影响很大, 因此有必要将亚相带再细分为若干更次一级的单元——微相带。在调查现代洪积扇和克拉玛依油田中三叠统洪积扇的基础上, 笔者提出了一个粗碎屑洪积扇的划分系统(图6)供讨论, 商榷。

1. 扇顶亚相带的微相带

主槽 位于扇顶中部, 顶端正对山口, 呈喇叭形向下方展宽, 展宽程度取决于山麓斜坡地形的复杂程度。横断面呈底部微下凸的宽浅槽形。槽内布满流沟, 流沟宽数米, 深不到1米, 呈放射状撒开, 其间为相对较高的沟间滩。

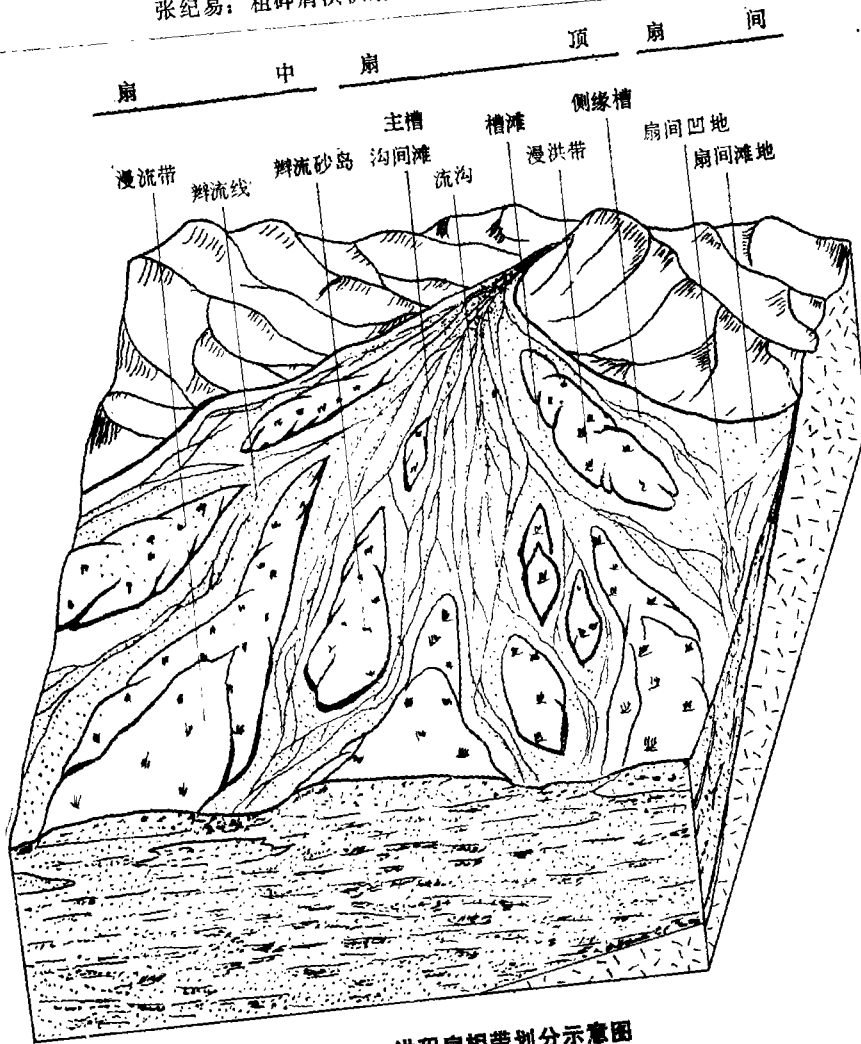
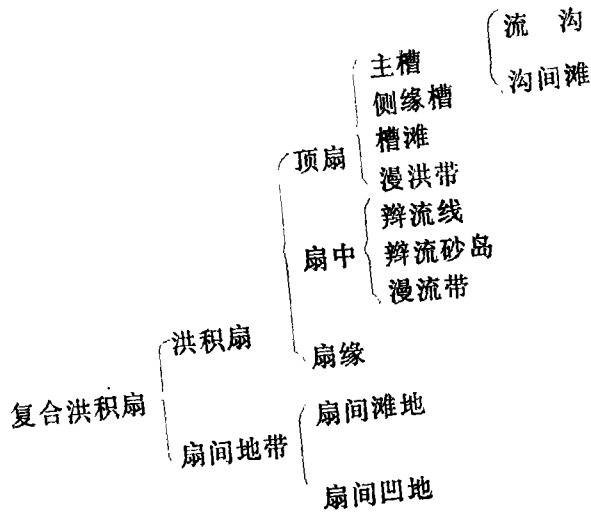


图6 洪积扇相带划分示意图
 Fig.6 Delineation of alluvial fan facies zones



沟间滩上接受的是悬移质最多的漫洪期物质,形成分选极差、砾径大的泥质砾石层。而流沟内洪积物较沟间滩洪积物粗,含泥量低,故渗透性高,支撑砾岩即形成于流沟中。流沟和沟间滩在平面上和时间上反复迁移更替,致使两种渗透性差别很大的沉积物在主槽剖面上反复交替。

主槽沉积物是一套很厚的砂砾岩。砾岩岩比通常在90%以上,夹少量局部回流、涓流和风成的中细砂岩透镜体,砂岩岩屑含量高,重矿物含量也高,常见单层系斜层理。剖面中偶有泥石流成因的含砂砾泥岩和泥质砂砾岩。普遍发育洪积层理。剖面上泥质含量以底部最高,向上减少,支撑砾岩出现于中上部。电性曲线呈漏斗状(A型),当剖面中夹有泥石流沉积物时,电测曲线具指状分叉特征,但其包线仍属于A型。

侧缘槽 位于扇顶一侧或两侧,其上游端在山口附近与主槽分叉。形态狭长,下游端消失于扇间地带。它与外侧的山麓风化基岩和内侧的主槽之间,以狭窄的槽滩或漫洪带或扇间滩作为过渡。年轻的扇体以及狭长形的洪积扇上,侧缘槽往往不发育。

沉积物也由流沟和沟间滩沉积组成,与主槽微相无明显差别,常混有少量坡积、坠积物。发育洪积层理。沉积物厚度小于主槽,砾岩仍在90%以上,但粒度略小,分选稍好。含泥量与主槽微相中上部相近或更低,且垂向上以底部最低。支撑砾岩见于中下部。电性特征为B型。

漫洪带 是扇顶表面上突起的部分,仅在特大洪水期才接受沉积。其成因有三种:(1)主槽某一部分在一定条件下不断加积堆高而两侧或一侧被冲蚀;(2)源区间歇抬升,山区河流下切导致主槽加深,两侧形成阶地。这两种成因的漫洪带都以主槽微相的巨厚粗碎屑沉积为基座。(3)突出于扇表的基岩风化残丘。三种成因中以构造成因(2)最普遍。

漫洪带沉积物多呈棕黄、黄褐色,岩性为含砂砾泥岩或泥质砂砾岩,颗粒直径比主槽、侧缘槽沉积小得多,且分布不均,成团块状集结。漫洪带沉积物在扇顶沉积物剖面中比例很小,单层厚度仅数十厘米至数米。电性特征为D型但电阻略高,它与泥石流沉积物的区别是:它在扇顶剖面中出现次数不多,少见100毫米以上的砾石;有成层性,见不规则波状层理;下伏砾岩(主槽沉积)顶部砾石常见风化裂解现象,有时砾表可见铁质薄膜。

槽滩 是扇顶的沟槽(主槽、侧缘槽)与相对高部位(漫洪带、扇面基岩残丘、扇侧山坡)间的过渡地带,多呈狭窄条带状介于上述微相带间。当主槽内地形起伏较大时,沟间滩也可发育而成槽滩。

此微相以砾巨粗砂岩、砂质砾岩为主夹薄层不纯泥岩,砾岩含量在70—90%之间,分选较主槽、侧缘槽好,含泥量则稍高,洪积层理发育,支撑砾岩少见。钻井剖面中与主槽沉积的区分主要靠电性曲线来辨别,它的电阻率较低,自然电位幅度中等,锯齿清楚,旋回性不明显。

2. 扇中亚相带的微相带

辫流线 是主槽在扇中部位的分支,也是流沟在扇中的归并,大体呈辐向散布。一般宽10—15米,有时可宽百余米,深1—5米,可达10米以上。最深处在辫流线上中段,向扇缘变浅。至交切点处,沟底露出扇面。

沉积物为槽洪携带的砂砾,一般厚数米,砾岩岩比占70—90%,粒度中值较扇顶

小,分选略好,含泥量则有所增加。洪积层理和大型多层系交错层理广泛发育。交错层理的细层下端收敛,上端多被侵蚀,细层内粒度向上变细。扁平砾石定向排列较扇顶更显著,以 $20-35^\circ$ 角倾向上游。底部冲刷面粗糙不规则,下切幅度不大,常见泥砾泥块。电性曲线由多个韵律组成锯齿形正旋回形态,中高阻,自然电位幅度中等。

辫流砂岛是辫流线中间或边缘的砾石滩。面积不大,顺辫流线走向延伸,沉积物粒度与辫流线微相相近甚至可更粗,但含泥量变高,砾岩岩比在 $50-70\%$,普遍发育大型交错层理,洪积层理次之。在砂质沉积中可见波状纹层,粒度、分选变化大。电性特征和槽滩微相相近,但电阻及自然电位幅度都变小。

漫流带是辫流线间高部位,只接受漫洪期细粒悬浮沉积,边部往往有砂岛镶边。沉积物为砂质泥岩及泥质砂岩,含少量细砾石。见块状层理及不规则层理,偶见根系印痕及植物碎屑。电性与漫洪带相似。辫流线在扇体建设过程中不断迁移游荡,三种微相交互出现于扇中沉积物剖面中,形成指状分叉的C型曲线。

3. 扇缘亚相带

扇缘亚相带虽有次生扇和由小股水流沉积的粗碎屑岩,但比例很小,主要是细粒泛滥沉积。这一亚相带实际是洪积扇和其它环境(如河流、沙漠等)的过渡部位,其微相划分可参考弯曲河流亚相确定。

除少量粗碎屑外,扇缘亚相主要是棕红、黄褐色过渡岩性沉积物。有块状层理、沙纹层理、波状层理、包卷层理及不规则层理。常见草、木本植物根系和枝叶印痕。电性曲线呈D型。

扇间地带以相邻两扇侧缘槽交汇点为界,以上称扇间滩地,以下称扇间凹地。扇间滩地面积有限,沉积特征与槽滩微相类似。扇间凹地是扇面水流主要汇集地带,流向盆地的间歇或暂时河流往往都由此流出。地貌呈槽形,向盆地稍展宽,然后过渡为扇缘。岩性为砂砾和泥岩的不规则互层,砾岩岩比小于 50% ,含泥量高。层理类型丰富,洪积扇上所见的层理几乎都有出现,但以交错层理为主。沉积物由于来自两侧扇体,在横剖面上往往可看到许多方向相反的薄的楔形体交错掺杂。电性主要形态为中低阻薄互层,无旋回性,与两侧扇体难以对比。

在埋藏地下的粗碎屑洪积扇中,主槽、侧缘槽、槽滩,辫流线、辫流砂岛、扇间滩地和凹地等微相,可能成为地下水或油气的储集层。由于其沉积特征不同,油、气、水在各微相中具有不同的运动特点。

(收稿日期1983年10月4日)

参 考 文 献

- [1] 刘宝珺, 1980, 沉积岩石学, 地质出版社。
- [2] W.B.Bull, 1964, Geomorphology of Sedimented Alluvial Fans in Western Fresno County, California. Geol. Soc. America Bull., V. 71.
- [3] R. LeB Hooke, 1966, Processes on Arid-Region Alluvial Fans. Jour. Geology, V. 75.

SOME DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS AND MICROFACIES SUBDIVISION OF COARSE CLASTIC ALLUVIAL FANS

Zhang Chiyi

(Research Institute for Petroleum Exploration
and Development Karamay, Xinjiang)

Abstract

Four depositional characteristics of coarse clastic alluvial fans have been recognized in the investigations performed on recent and ancient fans in Xinjiang. Such features have not been paid attention to, or even never been described in previous literatures. These depositional characteristics are of significance for identification of coarse clastic fans, especially the ancient one and that buried in subground sediments. Therefore, such unique characteristics can be used as depositional facies indicators.

1) Alluvial sediment bedding: Stratified structure formed from thin to moderate thick, aggradated and overlapped alluvial sediments. Vertically, such stratified structure appears as a number of sand and gravel or pebble strata occur alternatively, while no distinct, regular bedding plane can be observed.

2) Propping conglomerate: It is a loose packed gravel or pebble bed occurring in alluvial fan sediments and characterized by the mutual prop of pebbles with rather good sorting, it can not be consolidated by cementation, due to rare or absent sandy/argillaceous infilling materials in pore spaces.

3) Funnel-like electrolog response.

4) Normal probability cumulative curves of grain size characterized by wide range of grain size distribution and gentle slope of curve.

The origin, property and distribution of these characteristics mentioned above have been stated in this paper. Furthermore, the differences between the propping conglomerate and sieve sediments, alluvial bedding and parallel stratification, as well as that between the type "A" electrolog curve of coarse clastic alluvial fan and that of the frontal fringe facies of delta have been described.

Due to the different conditions of topography and hydrokinetic, the sediments located in different parts of the coarse clastic alluvial fan are different, unique features, which will affect the development of hydrocarbon reservoir and aquifer of the alluvial fan.

The second part of this paper presents a microfacies subdivision system of alluvial fan, based on investigation made on recent alluvial fan and that of the Middle

Triassic in Karamay oilfield.

The alluvial fan may be divided into three subfacies and subdivided into several microfacies as follows:

1) Fan top subfacies zone including four microfacies, namely the main ravine, lateral margin ravine, flood zone and ravine bank.

2) Mid-fan subfacies zone including three microfacies, namely the braided stream, braided sand island and flood flow zone.

3) Fan margin subfacies zone.

Again, the inter-fan zone between two adjacent fans may be subdivided into two microfacies, namely the inter-fan bank and the inter-fan depression. All the involved depositional features have been described in this paper respectively.

The investigations have proved that the application of such subdivision and delineation system of coarse clastic alluvial fan may be to development studies on such reservoirs have obtained better results.