

车西洼陷沙二段滩坝砂体粒度特征及其水动力学意义

路慎强¹,王 健^{2*},操应长²,谭明友¹,张莹革¹

(1.中国石化胜利油田分公司物探研究院,山东 东营 257022;

2.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东 青岛 266580)

摘要:车西洼陷沙二段沉积时期广泛发育浅水三角洲—滨浅湖滩坝沉积,因沉积砂体的碎屑颗粒粒度是沉积环境中水动力条件和能量强度的响应,故在岩心观察及系统取样分析的基础上,对滩坝砂体沉积物粒度特征及其水动力学意义进行了深入研究。车西洼陷沙二段滩坝砂体主要存在低截点高斜一跳一悬式、高截点高斜一跳一悬式、两跳一悬式和滚动、跳跃加悬浮式4种粒度概率曲线及两峰型、三峰型、多峰型3种样式的粒级—标准偏差图。利用粒级—标准偏差方法对滩坝砂体的环境敏感粒度进行计算,结合粒度概率图进行分析,在研究区确定出了4类环境敏感粒度组分,分别反映了悬浮搬运、沿岸流、波浪和三角洲前缘水下分流河道流体作用下的4类水动力类型,且波浪和沿岸流是控制滩坝砂体形成和发育的主要水动力类型。在车西洼陷沙二段滩坝砂体沉积时期,水动力类型以波浪为主,其环境敏感粒度组分占粒度总体的60%以上,沿岸流作用强度较弱,其环境敏感粒度组分占粒度总体的比例一般小于20%。

关键词:环境敏感粒度组分 水动力 滩坝砂体 沙二段 车西洼陷

中图分类号: TE112.113

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)03-0026-04

车西洼陷是车镇凹陷的一个次级构造单元,具有北断南超、北陡南缓的构造格局。沙二段沉积时期为车镇凹陷断陷阶段的中晚期,此时盆地伸展作用强烈,产生的一系列小规模正断层使得沉降中心多且远离边界控盆断层^[1-2]。受盆地伸展作用的控制,车西洼陷在沙二段沉积时期整体处于浅水环境,并且由于其构造形态特殊,使得沙二段沉积时期车西洼陷具有窄盆浅水的沉积格局,发育大规模的浅水三角洲—滨浅湖滩坝沉积体系^[3]。沉积砂体的碎屑颗粒粒度是沉积环境中水动力条件和能量强度的响应。为此,笔者在车西洼陷沙二段滩坝砂体岩心观察和系统取样分析的基础上,对滩坝砂体的粒度概率曲线特征和环境敏感粒度组分特征进行了系统分析,结合其他地质资料,探讨了研究区滩坝砂体沉积区的水动力特征及其对滩坝砂体沉积的控制作用,以为碎屑岩沉积水动力定量分析提供可行的方法。

1 粒度概率曲线特征

通过对车西洼陷沙二段滩坝砂体系统取样、测试分析表明,研究区滩坝砂体的粒度概率曲线有直线式(图1a),低截点高斜一跳一悬式(图1b),高截点高斜一跳一悬式(图1c),两跳一悬式(图1d),滚动、跳跃加悬浮式(图1e)和多段式(图1f)共6种类型,其中,低截点高斜一跳一悬式,高截点高斜一跳一悬式,两跳一悬式和滚动、跳跃加悬浮式最为常见,其他类型仅在部分地区见到。低截点高斜一跳一悬式粒度概率曲线跳跃组分含量为60%~70%,悬浮组分含量为30%~40%,与跳跃组分的交切点 ϕ 值约为2.5~3,反映沉积时水动力条件较强。高截点高斜一跳一悬式粒度概率曲线跳跃组分与悬浮组分交切点 ϕ 值较高,一般为3.5~4,其中,跳跃组分占绝对优势,其含量大于80%,悬浮组分含量一

收稿日期:2013-03-04。

作者简介:路慎强,男,高级工程师,博士,从事沉积学与油气勘探研究。联系电话:15054600298, E-mail: sloflusq@163.com。

*通讯作者:王健,男,在读博士研究生,从事层序地层学、沉积学及储层地质学研究。联系电话:18366201873, E-mail: wangjian8512@yahoo.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“济阳拗陷低渗透储层有效量化预测模型”(2011ZX05006-003),国家自然科学基金“东营凹陷古近系中深层孔隙度高值带成因机制及其量化预测研究”(40972080)。

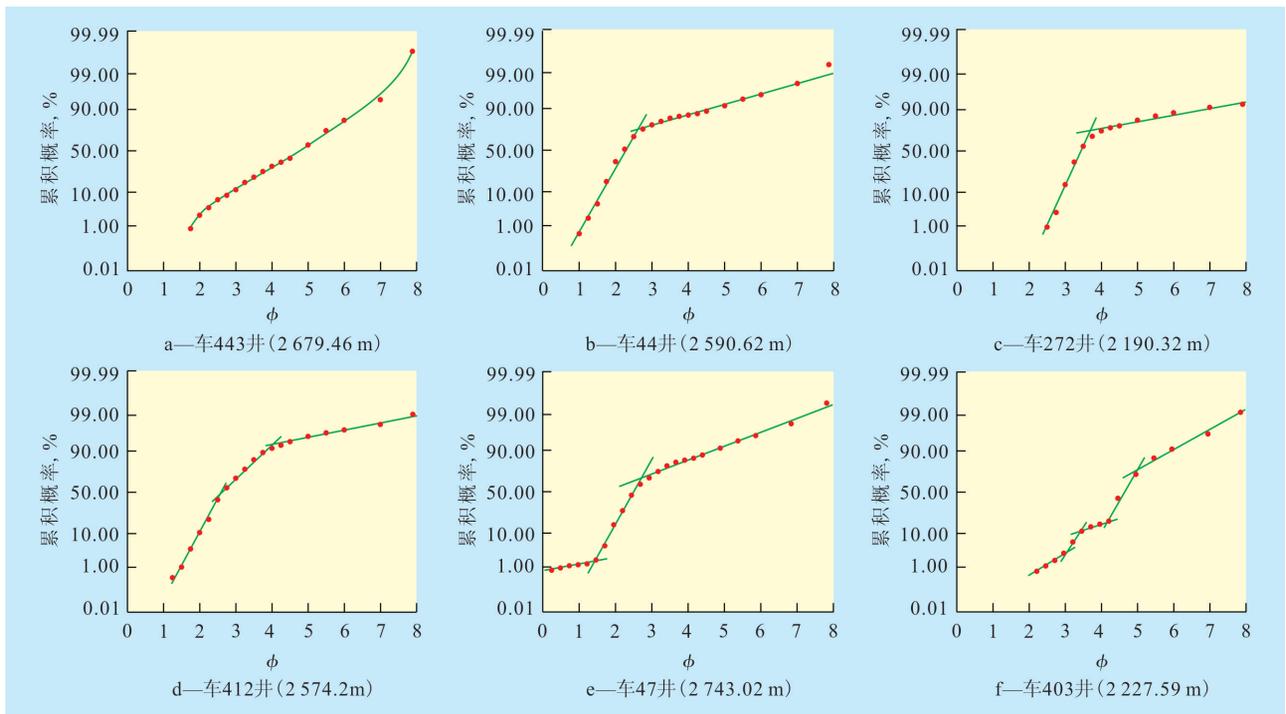


图1 车西洼陷沙二段滩坝砂体粒度概率曲线

般小于20%。两跳一悬式粒度概率曲线具有2组跳跃组分,其含量一般大于80%,跳跃组分与悬浮组分的交切点 ϕ 值一般为3.5~4,反映了滨浅湖区波浪冲刷回流作用较强。滚动、跳跃加悬浮式粒度概率曲线滚动组分与跳跃组分的交切点 ϕ 值为2~3,跳跃组分与悬浮组分的交切点 ϕ 值为3~4,滚动组分含量约为5%,斜率较低, ϕ 值为0~3,分选较差;跳跃组分含量约为65%,斜率较高,大于60°, ϕ 值为2~4,分选中等至较好;悬浮组分含量约为30%, ϕ 值为3~8,反映了能量较强的牵引流作用特征。直线式和多段式在研究区发育较少,反映了强水动力特征。

2 环境敏感粒度组分特征分析

现代和地质历史时期内的沉积物往往受多个物源或多种水动力控制,随着对沉积古环境定量研究的深入^[4-9],很多学者认识到用全样的粒度参数只能近似地作为沉积环境的代用指标^[7-8],故有学者提出了采用环境敏感粒度组分分析法,从多峰态的频率分布曲线中分离出单一粒度组分的特征,进而探讨各个组分所指示的沉积学意义^[8,10-13]。用粒度一标准偏差方法,计算环境敏感粒度组分的个数和分布范围,进一步分析其沉积学意义,在海洋细粒沉积物^[10-12]和风成沉积物^[13]中得到广泛应用,同样在分析现代及地质历史时期滨浅湖滩坝砂体的水动

力特征中也取得了良好效果^[14-15]。

2.1 粒度一标准偏差特征

利用研究区20多口取心井样品的粒度测试分析结果,绘制了每口井的粒度一标准偏差图。分析结果表明,研究区存在两峰型、三峰型和多峰型3种样式的粒度一标准偏差图(图2)。

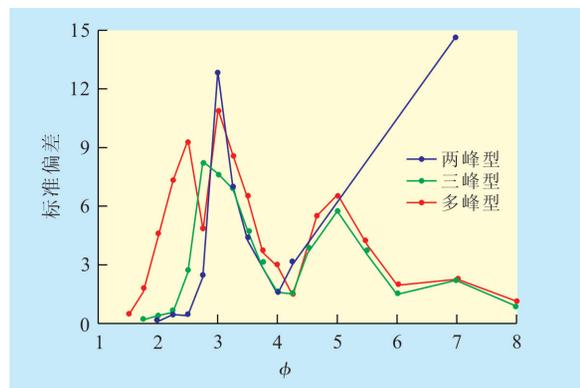


图2 车西洼陷沙二段滩坝砂体粒度与标准偏差的关系

两峰型在研究区仅见于车35井,存在2个峰值,其对应的 ϕ 值分别为7和3,分界点 ϕ 值为4,最大敏感粒度 ϕ 值为2.5。

三峰型在3个峰点,在研究区内主要分布在车44、车441、车40、车402、车410、车241、车443和车272等井处。第1个峰点对应的 ϕ 值为7或大于7,少数为8;第2个峰点对应的 ϕ 值为5或5.5,仅车443井为4.5;第3个峰点对应的 ϕ 值变化较大,为2.5~3.75,一般为2.5和3。第1个与第2个峰点之间的谷

点所对应的 ϕ 值均为6;第2个与第3个峰点间的谷点所对应的 ϕ 值一般为4或4.25;最大敏感粒度变化较大,其 ϕ 值为0.75~2.5,一般为1或1.75。

多峰型在研究区内较为常见,主要分布在车古201、车412、车42、车411和车403等井处,一般为4个峰点,少数为5个。第1个峰点对应的 ϕ 值为7或更大;第2个峰点对应的 ϕ 值一般为5,少数为5.5,个别井不存在此峰;第3个峰点对应的 ϕ 值较大,为3~3.75,一般为3或3.25;第4个峰点对应的 ϕ 值变化较大,为1.5~2.75。第1个与第2个峰点间的谷点对应的 ϕ 值均为6;第2个与第3个峰点间的谷点对应的 ϕ 值为4.25,少数为4.5;第3个与第4个峰点间的谷点对应的 ϕ 值变化较大,为1.75~3,一般为2.75或2.25;最大敏感粒度 ϕ 值为1.5或1.25。

2.2 环境敏感粒度组分特征

车西洼陷沙二段滩坝砂体中两峰型对应的粒度概率曲线主要为低截点高斜一跳一悬式和高截点高斜一跳一悬式,三峰型对应的粒度概率曲线主要为两跳一悬式和高截点高斜一跳一悬式,多峰型对应的粒度概率曲线主要为两跳一悬式和滚动、跳跃加悬浮式。对比分析滩坝砂体粒级—标准偏差图与粒度概率曲线可知,车西洼陷滩坝砂体中至少存在4类环境敏感粒度组分(I—IV),反映了滩坝沉积过程中复杂的水动力特征。

I类环境敏感粒度组分主要出现在两峰型和三峰型中,其 ϕ 值一般小于6,与粒度概率曲线中悬浮组分粒度较细的部分具有良好的对应关系(图1,图2),反映能量非常弱的水动力特征。

II类环境敏感粒度组分在3种样式中均存在,其 ϕ 值为4.25~6,对应于粒度概率曲线中悬浮组分粒度较粗的部分(图1,图2),反映了能量较强的水动力特征,且在研究区发育较为广泛。

III类环境敏感粒度组分在3种样式中均存在,其 ϕ 值为1.75~4,主要对应粒度概率曲线中的跳跃组分和少部分的悬浮组分,粒度较粗(图1,图2),反映了强能量的水动力特征,在研究区广泛分布。

IV类环境敏感粒度组分主要出现在多峰型中,其 ϕ 值为1.25~2.75,对应粒度概率曲线中跳跃组分较粗的部分和滚动组分,粒度粗(图1,图2),反映了能量非常强的水动力特征。

3 滩坝砂体水动力机制

环境敏感粒度组分分析结果表明,车西洼陷滩

坝砂体发育期至少存在4种类型的水动力环境。I类环境敏感粒度组分的粒度非常细,并且主要对应粒度概率曲线中悬浮组分粒度较细的部分,反映了细粒沉积物的悬浮搬运特征。II—IV类环境敏感粒度组分对应的沉积物粒度逐渐变粗,说明水动力能量逐渐变强,并且II类和III类环境敏感粒度组分在研究区分布广泛,代表了影响滩坝砂体沉积的主要水动力类型。车西洼陷沙二段滩坝砂体中反映浅水的波浪冲刷(图3a,图3b,图3c)和沿岸流作用(图3d)及生物扰动现象(图3e)的沉积构造非常发育,表明滨浅湖滩坝的形成发育主要受波浪和沿岸流控制^[16]。

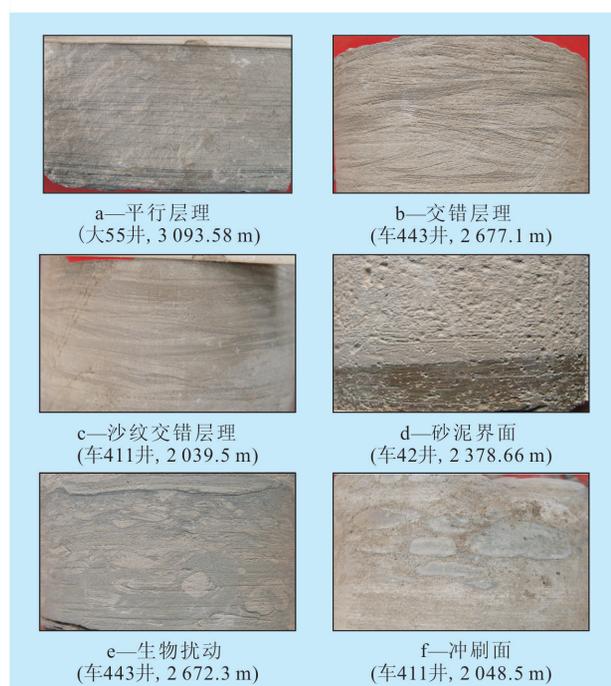


图3 车西洼陷沙二段沉积体系中典型的沉积构造

根据II类和III类环境敏感粒度组分特征,结合沉积构造研究和现代滩坝沉积的水动力研究认为,II类环境敏感粒度组分所代表的水动力为沿岸流,III类环境敏感粒度组分所代表的水动力为波浪。在发育IV类环境敏感粒度组分的井区,岩心上常出现冲刷面等沉积构造(图3f),反映了河道或水下分流河道流体作用特征^[17-18],因此,IV类环境敏感粒度组分反映了三角洲前缘水下分流河道流体作用特征,因其不影响滩坝砂体的形成和发育,在此不对其进行讨论。

对比沿岸流和波浪环境敏感粒度组分在粒度总体所占比例发现:车西洼陷中沿岸流的环境敏感粒度组分占粒度总体的比例一般小于20%,波浪的环境敏感粒度组分占粒度总体的比例一般大于

60%;沿岸流对滩坝砂体的形成和发育的控制程度较弱,而波浪作用相对较强(图4)。总体而言,车西洼陷沿岸流的发育程度低,对滩坝砂体的形成和发育的控制程度也较低,波浪在滩坝砂体的形成和发育过程中占据主导地位。

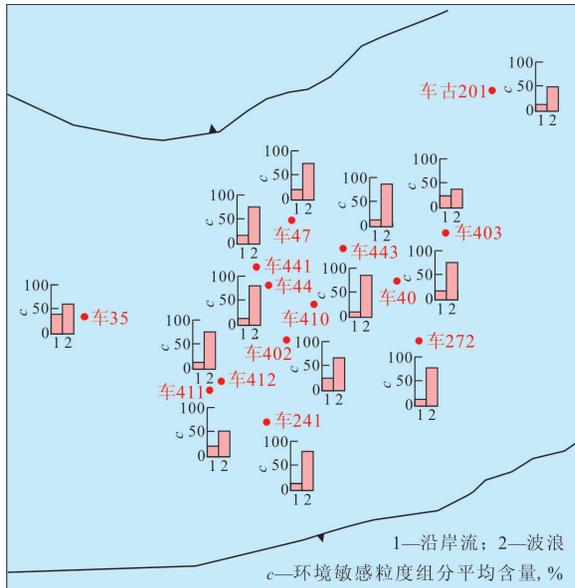


图4 车西洼陷沙二段沿岸流和波浪的环境敏感粒度组分平均含量的平面分布

4 结论

车西洼陷沙二段滩坝砂体中主要存在低截点高斜一跳一悬式,高截点高斜一跳一悬式,两跳一悬式和滚动、跳跃加悬浮式4种粒度概率曲线及两峰型、三峰型和多峰型3种样式的粒级—标准偏差图。滩坝砂体沉积时期存在4类环境敏感粒度组分,分别反映了悬浮搬运、沿岸流、波浪和三角洲前缘水下分流河道流体作用下的4种水动力类型。

在车西洼陷沙二段滩坝砂体沉积时期,沿岸流作用的环境敏感粒度组分占粒度总体的比例一般小于20%,波浪的环境敏感粒度组分占粒度总体的比例多大于60%,因此,车西洼陷沿岸流的发育程度低,对滩坝砂体的形成和发育的控制程度低,波浪在滩坝砂体形成和发育过程中占据主导地位。

参考文献:

[1] 邱桂强,王勇,熊伟,等.济阳坳陷新生代盆地结构差异性研究

[J].油气地质与采收率,2011,18(6):1-5.

- [2] 王永诗,赵乐强.隐蔽油气藏勘探阶段区带评价方法及实践[J].油气地质与采收率,2010,17(3):1-5.
- [3] 操应长,韩敏,王艳忠,等.济阳坳陷车镇凹陷沙二段浅水三角洲沉积特征及模式[J].石油与天然气地质,2010,31(5):576-582.
- [4] Kolmer J R.A wave tank analysis of the beach foreshore grain size distribution[J].Journal of Sedimentary Petrology, 1973, 43(1):200-204.
- [5] 狄明信,戴启德,白光勇.济阳坳陷上第三系馆陶组河流相沉积的粒度特征[J].石油大学学报:自然科学版,1996,20(2):1-5.
- [6] 张平,宋春晖,杨用彪,等.稳定湖相沉积物和风成黄土粒度判别函数的建立及其意义[J].沉积学报,2008,26(3):501-507.
- [7] Syvitski J P M.Factor analysis of size frequency distributions:Significance of factor solutions based on simulation experiments[C]//Syvitski J P M.Principles, methods, and application of particle size analysis.Cambridge: Cambridge University Press, 1991:249-263.
- [8] Prins M A, Postma G, Weltje G.Controls on the terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: The Makran continental slope [J].Marine Geology, 2000, 169(3):351-371.
- [9] 孙东怀,安芷生,苏瑞侠,等.古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及应用[J].自然科学进展,2001,11(3):269-276.
- [10] 孙有斌,高抒,李军.边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J].科学通报,2003,48(1):83-86.
- [11] 肖尚斌,李安春.东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J].沉积学报,2005,23(1):122-129.
- [12] 向荣,杨作升,Saito Y,等.济州岛西南泥质区近2300 a来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化[J].中国科学:D辑 地球科学,2006,36(7):654-662.
- [13] 徐树建,潘保田,高红山,等.末次间冰期—冰期旋回黄土环境敏感粒度组分的提取及意义[J].土壤学报,2006,43(2):183-189.
- [14] 王健,操应长,弭连山,等.山东高密峡山水库现代滨浅湖滩坝砂体的粒度特征及水动力学分析[J].西安石油大学学报:自然科学版,2009,24(s1):35-39.
- [15] 操应长,王健,刘惠民.利用环境敏感粒度组分分析滩坝砂体水动力学机制的初步探讨[J].沉积学报,2010,28(1):94-104.
- [16] 操应长,王健,刘惠民,等.东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的沉积特征及模式[J].中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(6):5-10.
- [17] 王勇,钟建华.湖盆三角洲露头特征及与油气的关系[J].油气地质与采收率,2010,17(3):6-11.
- [18] 国景星.三角洲前缘亚相沉积精细描述——以东营凹陷梁11断块沙二段7—8砂层组为例[J].油气地质与采收率,2012,19(1):7-10.