文章编号:1673-9469(2019)03-0088-07

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.03.017

鄂尔多斯盆地合水地区长6组浊积扇沉积特征 及其相模式分析

张景军, 王畅溪, 柳成志, 韩江波

(东北石油大学 地球科学学院,黑龙江 大庆 163318)

摘要:应用丰富的岩心资料、测井资料以及录井资料,通过岩心观察描述以及沉积相分析方法, 深入开展鄂尔多斯盆地合水地区长6油层组储层的沉积相类型及相模式等研究。通过岩石类型、 沉积结构、构造、古生物以及沉积环境分析,认为长6油层组沉积时期主要发育陆相湖盆深水浊 积扇相,并可划分出内扇、中扇和外扇等3个亚相;通过沉积相及测井相等分析方法,以明确沉 积相平面展布以及垂向演化规律,最终建立了研究区长6油层浊积扇相模式。 关键词:浊积扇;沉积特征;沉积相模式;长6油层组;合水地区 中图分类号:P618.13 文献标识码:A

Sedimentary Characteristics and Facies Model of Turbidite Fan of Chang 6 Formation in Heshui Area, Ordos Basin

ZHANG Jingjun, WANG Changxi, LIU Chengzhi, HAN Jiangbo (School of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163000, China)

Abstract: Through core observation and description and sedimentary facies analysis, and with rich core data, logging information and logging data, the sedimentary facies types and facies patterns of the reservoir in the Chang 6 formation are studied in depth. Based on the analysis of rock type, sedimentary structure, sedimentary tectonics, paleontology and sedimentary environment, it is concluded that the sedimentary period of Chang 6 formation mainly developed the terrestrial lacustrine turbidite fan facies in deep water, and could be divided into three subfacies: inner fan, middle fan and outer fan. The turbidite fan facies model of Chang 6 reservoir in the study area was finally established through the analysis of sedimentary facies and logging equivalence to clarify the planar distribution and vertical evolution of sedimentary facies.

Key words: turbidite fan, sedimentary characteristics, sedimentary facies model, Chang 6 reservoir, Heshui area

中国油气勘探开发的总体趋势已经由陆相向海 相,中浅层向深层,常规向非常规储层转变^[1-3]。关 于鄂尔多斯盆地陆相湖盆深水区浊积岩及其浊积扇 的研究取得了较多的成果与认识。李相博^[4]等认为 鄂尔多斯陆相湖盆延长组深水砂体的露头和岩心中 具有典型 Bouma 序列的浊积岩,郑荣才^[5]对鄂尔多 斯盆地白豹地区长6油层组展开了研究,将浊积扇 划分为三个亚相(内扇、中扇、外扇)及若干微相 类型,鄂尔多斯盆地陇东地区延长组重力流沉积特 征及其模式,将重力流沉积物分为4种类型,分别 是浊积岩、砂质碎屑流沉积物、泥质碎屑流沉积物 和滑塌岩^[6]。鄂尔多斯晚三叠世湖盆异重流沉积新 发现,通过岩心观察和薄片鉴定,认为该岩石组合 形成于晚三叠世深湖背景下的异重流^[7]。鄂尔多斯 盆地合水地区长6油层沉积时期,湖盆面积广阔且 湖水深度较大,以发育浊积扇沉积相以及相应浊积

收稿日期: 2019-06-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41472125)

作者简介:张景军(1973-),男,吉林长春人,博士,副教授,从事储层地质学、岩石学等方面的研究。

岩为特征,并且具有形成良好储层及丰富岩性油气 藏的勘探潜力^[8-12]。但是,由于以往研究较少,对 于研究区目的层浊积扇相的岩性(相)以及沉积相 展布特征等都缺乏深入的理解与认识,严重阻碍了 研究区的深水区岩性油气藏的精细勘探与深入开发。 因此,本文主要针对以上问题,通过岩心观察描述, 测井综合解释与相分析以及沉积相解释等技术方法, 旨在明确浊积岩的岩性岩相特征,搞清浊积扇沉积 相的垂向与平面分布规律,最终建立研究区目的层 的浊积扇沉积相的沉积模式,为本区油气勘探部署 提供重要的理论依据。

1 研究区概况

鄂尔多斯盆位于华南地台的西部,是我国的第 二大沉积盆地。北起阴山,南抵秦岭,西自六盘山, 东达吕梁山,面积约25×10⁴km^{2[5]}。本文的研究区 域处于鄂尔多斯地区的西南部,位于甘肃省庆城、 合水县境内,研究区向北到达悦乐,向南抵达宁县, 向西到达庆阳,向东抵达罗山府,勘探面积接近 3000km²。

合水地区处于鄂尔多斯盆地东部斜坡构造带上, 表现为东高西低的单斜构造。合水地区的中心为一 个面积巨大的湖盆,以陆源碎屑沉积岩为主,其沉 积速度较快、搬运距离较短、非均质性强,长6沉 积时期主要为半深湖一深湖沉积环境,发育湖泊— 浊积扇沉积体系。岩石类型主要为浊流成因的浊积 岩并多具有典型的鲍马序列。

2 岩性岩相特征及相标志

2.1 岩性与岩相分析

2.1.1 浊积细砂岩相和浊积粉砂岩相

油积岩的主要组成部分为细砂岩、粉砂岩。油 积细砂岩主要分布在浊流相的下部,发育正粒序和 平行层理(图1(c)),出现粒级递变构造,即鲍马序 列,浊积粉砂岩分布在浊流相的上部,发育水平层 理(图1(d)),出现不完整的鲍马序列。在浊积岩的 底部也可见到槽模(图1(e))等底面构造。

2.1.2 滑塌岩相

通过岩心观察得知该岩相发育包卷层理以及小 型褶皱构造,在界面可明显看到岩性的差异,砂泥 高度混杂,整体呈块状,是在滑塌作用较强烈的时 期形成的。

2.1.3 半深湖 — 深湖泥岩相

该岩相的颜色呈灰黑色一黑色,厚度较大且发 育面积较广,可见炭化的植物碎屑(图1(g)),局部 发育水平层理。

2.2 沉积相标志

2.2.1 泥岩颜色标志

泥岩的颜色是判断沉积相沉积条件的重要依据, 通过泥岩的原生色可以判断岩层沉积期的水介质条 件和烃源岩的品质。合水地区长6层岩心中发育的 泥岩颜色全部呈深灰一灰黑色和黑色(图1(g)),且 发育页岩和油页岩。由此可以推断出合水地区长6 油层组是在还原性较强的沉积环境中形成的。

2.2.2 岩石组分标志

通过对岩心的观察及其中化石的分析,可以确 定合水地区长6油组的沉积环境。如灰黑色泥岩中 的贝壳化石(图1(g)),生物潜穴构造(图1(i)),以 及在粉砂质泥岩和泥质粉砂岩中可见碳化的植物屑 和植物的根迹化石,其中植物的碎片可能是由于水 流的搬运作用而沉积形成的。这些都表明沉积物形 成于水下环境。

2.2.3 沉积构造标志

合水地区长6油层中具有丰富的原生沉积构造, 反映了浊流沉积成因,其中最常见的为块状层理(图 1(k)),其次为递变层理,其他类型的层理如平行层理、 水平层理和沙纹层理较为少见。泥质粉砂岩和粉砂 质泥岩中常见包卷状和小褶皱状等变形层理,是由 于沉积物未固结而发生水下滑动所致。细砂一粉砂 岩中发育沙纹层理,泥岩发育水平层理。在粉砂一 细砂岩与泥岩的互层段发育丰富的槽模(图1(e))、 沟模(图1(l))等底层面构造;与此同时,还发育有 重荷模(图1(e))及伴生的泥岩火焰构造(图1(l))、砂 岩脉(图1(j))等泄水构造,这都可反应合水地区长6 储层具有深水沉积环境的浊积扇沉积特征。 2.2.4 粒度分布标志

沉积物在沉积的过程中其粒度的分布情况会受 到水动力条件的控制,因此可根据沉积物的粒度分 布情况来确定沉积时的水动力条件,这是判断沉积 环境的重要依据。在分析合水区块长6储层粒度资 料的基础上,作出研究区 *C-M* 图,合水区块 *C-M* 图 呈现出一种类型,显示出浊流沉积的特征,具体情 况详见图 2。



(m)

(n)

(a) 平行层理,上部碳屑纹层清晰,高 27 井,深度:1639.21 m;(b) 盆内黑色泥岩撕裂屑,高 60 井,深度:1537.92 m; (c) 浊积岩 B 段(块状层理)与C 段(平行层理)组合,宁 140 井,深度:1596.30 m;(d) 水平层理,池 296 井,深度: 2 379.57 m;(e) 槽模构造,宁 153 井,深度:1380.80 m;(f) 砂球构造,包卷层理,胡 216 井 深度:2 025.92 m;(g) 灰 黑色泥岩,含碳化植物屑及小贝壳化石,高 60 井,深度:1556.06 m;(h) 黑色泥岩含黄铁矿结核,深湖沉积,庄 140 井, 深度:1787.90 m;(i) 水平生物潜穴,安 47 井,深度:2 074.61 m;(j) 砂墙构造,宁 153 井,深度:1389.70 m;(k) 块 状层理,含盆外褐色泥岩砾石,里 170 井,深度:1937.71 m;(l) 沟模构造,宁 183 井,深度:1556.15 m;(m) 浊积岩 A 段(碎屑流)与B 段(颗粒流)组合,庄 140 井深度,1897.55 m;(n) 浊积岩 A 段(碎屑流)与B B 段(颗粒流)组合, 宁 183 井,深度:1539.98 m;(o) 滑塌泥岩撕裂屑,含盆外褐色泥砾,庄 145 井,深度:1719.10 m。

图1鄂尔多斯盆地合水地区长6组岩心照片

Fig.1 Photographs of chang 6 formation cores in Heshui area, Ordos Basin

2.2.5 萨胡判别

在对合水区块长6储层运用萨胡函数进行沉积环境判别中,得出萨胡函数判别值主要分布在 -8.3619 < Y<-7.5300,平均值 Y=-7.6513,数据落入 浊流分布区内(图3),判别为浊流沉积环境。

3 浊积扇相类型及其特征

3.1 浊积微相划分

结合上述沉积相标志,确定合水地区主要发育 浊积扇沉积,大量的沉积物在重力的作用下发生移

(0)



图 2 鄂尔多斯盆地合水地区长 6 组浊积岩 C-M 图 Fig.2 C-M map of turbidite of chang 6 formation in Heshui area, Ordos Basin





动和滑塌,最终以浊流的形式被搬运到深水湖区, 从而在湖底广泛的发育浊积扇沉积体系。此类浊积 扇可进一步划分为内扇、中扇和外扇三个亚相,内 扇亚相可分为浊积主水道和水道漫溢微相,中扇和 外扇亚相又可分为浊积分流水道和浊积分流水道间

表 1	合水区块长 6 ½	虫积扇沉积微林	目划分
Tab.1 Se	dimentary micro	facies division	of Chang 6

turbidite fan in Heshul block			
相	亚相	微相	
	内扇	浊积主水道 水道漫溢	
浊积扇	中扇	浊积分流水道 浊积分流水道间深湖	
	外扇	浊积分流水道 浊积分流水道间深湖	

深湖两个沉积微相(表1)。

3.2 沉积微相特征

3.2.1 内扇亚相

内扇亚相是最先形成的亚相部分,位于浊积扇 的后方部位,该亚相通过补给水道来实现物源的供 给。内扇靠近物源区,是浊积扇的主水道发育区, 又可进一步划分为浊积主水道和水道漫溢微相。

(1) 油积主水道

合水地区长6层浊积主水道主要发育厚层浊积 岩,岩性为中粒细砂岩。单砂层厚0.5~1.5m, 叠积砂体厚度可达10m以上,单层厚度大,横向 上厚度变化较快,呈透镜状产出。砂体呈块状常不 具任何沉积构造,泥岩夹层极薄或缺失,经常有多 个递变层重复出现,其间有微冲刷现象,WalkerRG (1979)称之为叠覆冲刷砂岩,他认为块状砂岩主要 形成于沟道环境,浊流间歇期的细粒沉积物被后来 发生的浊流侵蚀掉而不能保存下来,显示鲍玛序列 A段的中粒细砂岩韵律性重复出现,可用鲍马序列 "A,A,A,A"序描述(图1(m))。在相序上与中 扇浊积分流水道微相砂岩共生,在自然电位曲线上 此相整体表现为中幅齿化箱形或钟形。

(2) 水道漫溢微相

水道漫溢微相可出现侧向不连续的 CDE 段组合 油流沉积,且单层厚度 5 ~ 20 cm,多为漫溢形成 的细粒粉砂岩。在完整的垂向序列中,可见底部与 深水泥岩呈冲刷接触,普遍见有沟模、槽模,冲刷 面之上常见泥砾层。向上为厚度较大的含泥砾砂岩 层,可见的构造有粒序层理、平行层理、水平波状 层理或沙纹层理,并伴随滑塌构造,岩性为泥质粉 砂岩和粉砂质页岩。

3.2.2 中扇亚相

中扇亚相是湖底浊积扇沉积的重要组成部分, 也是湖底扇内扇亚相向外延伸的部分,约占整个浊 积扇砂体分布面积的 60% 以上,而且往往也是厚度 最大的部位。相对内扇亚相,中扇亚相砂岩粒度明 显变细,而泥岩组分或夹层增多,可进一步划分为 浊积分流水道和浊积分流水道间深湖两个沉积微相。

(1) 浊积分流水道微相

其以发育中层浊积岩为特征,砂层厚度 30 cm 到 1.2 m,累积厚度 3 ~ 5 m,一般为几十厘米的 中层浊积岩,一种通常可见到较完整的鲍马序列 ABCDE 段或不完整的鲍马序列组合 (图 1(c)、图



(a) 内扇亚相,宁140井,1582.2~1585.5m,分为主水道、水道漫溢分流水道微相,主要发育砂岩;
(b) 中扇亚相,庄140井,1775.5~1784.5m,分为分支水道、水道间深湖微相,发育粉砂岩和泥岩;
(c) 外扇亚相,里170井,1931.4~1935.5m,分为水道间深湖、分支水道微相,发育泥岩和粉砂岩。 图 4 合水地区浊积扇不同部位沉积微相柱状剖面图

Fig.4 Sedimentary microfacies columnar profiles of turbidite fans in Heshui area

1(n))。还有一种夹于黑色泥岩中的中层浊积岩,该 浊积砂岩顶底界面突变,底部可见微冲刷,略显正 粒序。砂岩为细砂岩,多饱含油,底面具有较清楚 的槽模、沟模、重荷模。

中扇浊积分流水道岩性以细砂岩、粉细砂岩 和粉砂岩为主夹薄层粉砂质泥岩、泥岩,呈砂泥互 层的特点,具粒序层理和多期韵律性旋回、各种 准同生变形构造发育,如包卷层理、砂球构造(图 1(f))、液化摆动构造、火焰构造、滑塌构造、重荷模等。 可见泥岩撕裂屑、泥砾(图1(o))等,冲刷面局部发 育。粒度概率曲线呈一段式或较平缓的两段式。

电性特征为自然电位曲线呈弱起伏状,箱形负 异常,自然伽马值较低,曲线呈箱状,具有小的锯 齿状起伏,并且表现为低幅一中高幅的锯齿状的近 箱形或钟形曲线的频繁叠加,电阻率曲线为中、低 阻的反复叠置(图4)。

(2) 浊积分流水道间深湖微相

主要的岩石类型为薄层粉砂岩、粉砂质泥岩和 泥岩,常呈砂泥互层状。可见的沉积构造为水平层 理和变形层理等,也可见泥岩撕裂屑等。电性特征 为中低幅微齿状,平直状(图4)。

3.2.3 外扇亚相

外扇位于中扇与半深湖一深湖之间宽广的过渡带,通常发育在湖底扇最外缘的湖底平原,围绕扇

体呈弯曲环带状分布,以低密度浊流沉积为主。外扇亚相也可进一步划分浊积分流水道和浊积分流水 道间深湖两个沉积微相,其位于中扇外缘的湖底平 原,通常分布在凹陷最深的部位,此处地形平坦, 水体相对宁静,沉积作用缓慢。因浊积水道能量变弱, 形成薄层浊积岩沉积,一般砂岩厚度小于 30 cm, 有的不到 5 cm。通常由下部的细粒粉砂岩和上部粉 砂质泥岩或泥岩组成多个韵律层,常以砂泥岩薄互 层出现。细粒粉砂岩底部平整,岩性突变,常有微 型重荷模出现,具有正粒序,上部水平层理,少量 岩心可见沙纹层理,在垂向上构成鲍玛序列的 CE 及 DE 组合。浊流间歇期沉积的泥质沉积物保存较好, 所占比例高,所以水平延伸方向沉积稳定的薄层浊 积砂岩与深湖相暗色泥岩重复单调沉积(图 4)。自 然伽马曲线呈平直泥岩基线偶见低幅指型曲线。

3.3 平面相展布规律

通过对平面相展布的研究能够反映储层的成因、 分布及演化特征,是油田进一步储层预测的基础 ^[13]。合水地区长6油层组可以划分为3个油层,分 别为长61油层、长62油层、长63油层。

3.3.1 长 63 沉积期

合水区块发育深湖一浊积扇沉积体系,浊积水 道、浊积水道间深湖和水道漫溢,区块北部主要发 育五条较大的浊积水道,由西向东依次发育一条由 南东至北西向,沿马岭—西231井—庄22井展布的 浊积水道,四条近南北向展布的浊积水道。区块南 部发育四条由南向北展布的浊积水道,最东侧发育 较大的浊积水道与由北部延伸而来的浊积水道在白 马—板桥—城关—庄54井—王家大院一线交汇,南 部宁29井—宁88井连线附近发育。

3.3.2 长 62 沉积期

合水区块发育深湖一浊积扇沉积体系,浊积水 道、浊积水道间深湖和水道漫溢微相,区块大部分 面积被沿南西向北东展布的浊积水道砂体占据,北 部出现一条由牛王台向大凤川近南北向展布的浊积 水道,南部有焦村向西 89 井和宁 12 井展布、宁县 向宁 54 井展布的三条较细的浊积水道。

3.3.3 长 61 沉积期

合水区块发育深湖一浊积扇沉积体系,浊积水 道、浊积水道间深湖微相,区块北部出现一条沿白 284 井—庄 65 井—庄 44 井—庆城—线展布的长条 状浊积水道,南部呈现三条由南向北及由东南向西 北展布浊积水道。

4 沉积相模式分析

4.1 沉积机制分析

岩心观察表明合水地区沉积模式与其他地区有 所不同,合水为深湖浊积扇沉积模式。合水地区位 于半深湖一深湖区,受风暴、地震、火山等阵发性 外部因素的影响,浅水地区沉积的辫状河三角洲砂 体发生大型滑塌作用,被浊流二次搬运至深水湖区, 在湖底形成浊积扇沉积体(图5),随着搬运距离增 大, 浊流机制降低, 在湖底扩散开来, 形成以浊积 水道为骨架构成的内扇、中扇、外扇沉积, 内扇浊 积水道能量强大,称为浊积主水道,沉积厚层浊积岩, 以鲍玛序列的A、A、A、A 段组合为特征。中扇和 外扇浊积水道散开, 形成浊积分流水道, 至外扇浊 积分流水道能量减弱至消失, 分别形成中层浊积岩 和薄层浊积岩, 中层浊积岩可发育于较完整的鲍玛 序列, 或以A 段发育为主的不完整的鲍玛序列, 薄 层浊积岩则为A 段不发育的鲍玛序列上部组合为主。

4.2 沉积模式建立

应用 doublefox draw 软件,根据其剖面特征并 结合沉积岩性建立了合水地区湖底浊积扇沉积模式 图。沉积物由于重力作用和其他外力作用而发生滑 塌并向下运移,经过河流而进入三角洲平原,在向 下运移的过程中产生分流,经过了三角洲前缘和前 三角洲,最后进入半深湖一深湖环境形成了湖底滑 塌扇。在整个过程中,沉积物的颗粒由粗变细,运 移速度由快至慢,地形坡度由陡至缓,沉积物沿着 坡体向下持续堆积形成了浊积扇。

5 结论

 1)鄂尔多斯盆地合水地区长6组浊积岩主要为 灰色一黑色的泥岩,结构成熟度低,分选性较差, 为快速沉积的产物,通过粒度分析、测井曲线表明 其为典型的浊流沉积。通过泥岩的颜色、岩石的组分、 沉积构造等可以推断出合水地区长6组沉积环境为 半深湖—深水湖环境。

2) 具有浊积岩的典型沉积构造,主要发育泥底



图 5 合水地区湖底浊积扇沉积模式 Fig.5 Sedimentary model of lake bottom turbidite fan in Heshui area

构造、粒序层理和同生变形构造等,常见的鲍马序 列有 ABCDE 型、CE 型、DE 型、CDE 型等。

3)根据研究区单砂体厚度、浊积岩类型及其发育位置的不同,将长6组浊积扇划分为内扇、中扇和外扇3个亚相,以及对研究区沉积体系及微相进行研究,划分出浊积主水道、水道漫溢、浊积分流水道等6个微相。

4) 合水地区长6油层组可以划分为长61油层、
 长62油层、长63油层3个油层,反映了储层的成因、
 分布及演化特征。

参考文献:

- [1] 庞 龙,陈长民,朱 明,等.深水沉积研究前缘问题
 [J].地质论评,2007,53(1):36-43.
- [2] 王亚辉,赵鹏肖,左倩媚,等.浅析深水沉积理论[J]. 地质学报,2010,30(2):150-153.
- [3]张 雷,李振海,张学娟,等.重力流沉积岩相划分及
 其发育规律[J].中国石油大学学报,2015,39(1):17-24.
- [4] 李相博,卫平生,刘化清,等.浅谈沉积物重力流分 类与深水沉积模式 [J].地质论评,2013,59(4):607-614.
- [5] 郑荣才,文华国,韩永林,等,鄂尔多斯盆地白豹地 区长6油层组湖底滑塌浊积扇沉积特征及其研究意义

[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2006, 33(6): 566-575.

- [6] 廖纪佳,朱筱敏,邓秀芹,等.鄂尔多斯盆地陇东地 区延长组重力流沉积特征及其模式[J].地学前缘, 2013,20(2):29-39.
- [7]杨仁超,金之钧,孙冬胜,等.鄂尔多斯晚三叠世湖
 盆异重流沉积新发现 [J]. 沉积学报,2015,33(1):10-33.
- [8]杨华,窦伟坦,刘显阳,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7沉积相分析[J].沉积学报,2010,28(2): 254-263.
- [9]张伟,刘建朝,高志亮,等.鄂尔多斯盆地吴堡地区 长6段浊积特征及其石油地质意义[J].地球科学与环 境学报,2012,34(2):64-71.
- [10] 张世懋,丁晓琪,鄂尔多斯盆地延长组浊积岩特征及 其影响因素[J].测井技术,2011,35(6):594-598.
- [11] 王 越,陈世悦,梁绘媛,等.鄂尔多斯盆地保德地 区上古生界沉积相与沉积演化特征[J].沉积学报, 2016,34(4):775-784.
- [12]SHANMUGAMG.A Preliminary Experimental Study of Turbidite Fan Deposits-Discussion[J].Journal of Sedimentary Research, 2003, 73(5): 838-414.
- [13] 马成龙. 杜 84 块馆陶组沉积微相特征及沉积模式 [J]. 非常规油气, 2019, 6(1): 7-13.

(责任编辑 王利君)