



鄂尔多斯盆地湖盆中部长73亚段深水砂质沉积特征及勘探前景

期刊:	《地球科学》
稿件 ID	ES-2022-0239.R3
稿件类型:	论文
作者提交的日期:	2022-7-8
完整作者列表:	刘, 显阳 郭, 雯 刘, 江艳 李, 士祥
关键词:	深水砂质沉积, 水平井, 勘探潜力, 长73亚段, 鄂尔多斯盆地
研究方向:	石油地质与工程 < 地质资源与地质工程

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

SCHOLARONE™
Manuscripts

in press

鄂尔多斯盆地湖盆中部长 7_3 亚段深水砂质沉积特征 及勘探前景

刘显阳^{1,2}, 郭雯^{1,3*}, 刘江艳^{1,3}, 李士祥^{1,3}

1. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西西安 710018

2. 中国石油长庆油田分公司, 陕西西安 710018

3. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西西安 710018

摘要: 鄂尔多斯盆地延长组长 7_3 亚段发育大套厚层的富有机质泥页岩夹薄层粉细砂岩, 深水环境的砂质岩类受到优质烃源岩的高强度源内充注, 局部具有一定规模, 是盆地深水勘探的重要目标。基于湖盆中部长 7_3 亚段的岩心、测录井、分析测试资料, 结合岭页、池页水平井风险勘探实践, 对长 7_3 亚段深水砂质岩类的沉积储层特征进行探讨分析。研究结果表明: 长 7_3 沉积期水体较深, 优质烃源岩发育, 湖盆西南祁秦造山带地震火山活动频发, 物源供给充足, 降雨量大、湖平面上升, 滑塌成因与洪水成因的重力流沉积在湖盆中部广泛发育; 环绕湖盆的一级坡折带控制着深水重力流的发育范围, 沉积物入湖后受古地貌与沉积微相的控制, 发育滑动-滑塌、砂质碎屑流、混合事件层、浊流、异重流等沉积类型, 坡折带的坡脚、古沟道相对富砂, 砂质碎屑流、浊流沉积是有利的储层类型, 单砂体较薄, 平均厚度 1m, 孤立或叠置发育, 空间上厚度、长度、宽度较小, 较厚的块状单砂体和紧密连续叠置的薄层单砂体组合是期待钻遇的储层; 高 R_o 、高 TOC 的泥页岩是砂质岩类充注油气的物质基础, 高剩余压差下, 储集性能较优的紧密叠置细砂岩薄储层与优质烃源岩互层的源储配置关系最易出现优质砂岩“甜点”; 长 7_3 亚段深水砂质沉积勘探潜力较好, 需持续攻关薄储层地球物理探测技术及砂泥一体压裂改造工艺。

关键词: 深水砂质沉积; 水平井; 勘探潜力; 长 7_3 亚段; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P624

0 引言

2010 年以来, 美国、加拿大等国家在页岩油气勘探开发领域取得了较大的突破, 依托水平井与水力压裂等工程技术进步, 取得了革命性的快速发展, 深刻改变了世界石油格局, 全球能源已进入非常规时代 (邹才能等, 2019, 2021; 邱振和邹才能, 2020)。目前, 中国原油对外依存度已高达 73.5%, 页岩油作为中国油气领域的战略性接替资源, 对保障国家能源安全具有重要意义, 亟需增加勘

基金项目: 中国石油集团公司前瞻性基础性研究重大科技项目“鄂尔多斯盆地页岩油勘探开发理论与关键技术研究” (编号: 2021DJ1806)与国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“淡水湖盆细粒沉积与富有机质页岩形成机理” (编号: 2014CB239003)资助。

作者简介: 刘显阳 (1969-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事油气地质勘探综合研究. ORCID:0000-0002-6638-1120.

E-mail: lxy3_cq@petrochina.com.cn earth-science.net

*通信作者: 郭雯, E-mail: guowen_cq@petrochina.com.cn.

30 探开发力度，不断寻找探索新领域、新区块。

31 鄂尔多斯盆地中生界延长组长 7 段发育典型的页岩油，资源规模巨大（付金
32 华等，2018，2020；李士祥等，2020）。湖盆中部长 7₁、长 7₂ 亚段发育的重力
33 流砂质储层，在勘探开发实践中探明了十亿吨级的庆城页岩油大油田，实现了规
34 模勘探与效益开发，建成了百万吨页岩油开发示范区；长 7₃ 亚段深水沉积的大
35 套厚层泥页岩中，也发育重力流成因薄层砂质岩类，在风险勘探探索中实现了城
36 页井组的突破，但在实践中遇到了砂体展布不明、储层性质复杂、钻遇率低且开
37 采效果不佳等问题（付金华等，2020；李志明等，2019；刘显阳等，2021；徐黎
38 明等，2021；李士祥等，2021）。针对湖盆深水区的水下重力流沉积，基于岩心
39 露头解剖、物理模拟、数值模拟以及现代河流实例对比分析等手段，学者们在成
40 因机制、沉积模式、重力流类型以及沉积搬运过程等方面已取得了里程碑式的成
41 果（Cartigny *et al.*, 2013；Cao *et al.*, 2018；Felix and Peakall, 2006；Fongngern
42 *et al.*, 2018；Mulder and Alexand, 2001；金杰华等，2019；裴羽等，2015；宋
43 明水等，2017；谈明轩等，2016；田洁等，2021；付鑫等，2020），指导深水油
44 气的勘探。随着深水重力流类型认识的不断深入（Shanmugam, 2013），深水斜
45 坡沉积模式被广泛接受并在鄂尔多斯盆地长 7 段得到较好的证实，相比于长 7₁、
46 长 7₂ 亚段相对厚层连片的砂质夹层，长 7₃ 亚段的薄层砂质沉积的成因机制、沉
47 积类型及展布规律可能存在较大差异，砂岩储层的孔隙结构、成岩演化及主控因
48 素也因沉积环境及物源等的差异、烃源岩的影响而表现出不同的特征（朱如凯等，
49 2018；吴松涛等，2015），亟需开展机理方面的研究，以健全长 7 段的沉积理论
50 体系、明确鄂尔多斯盆地页岩层系的形成机制。

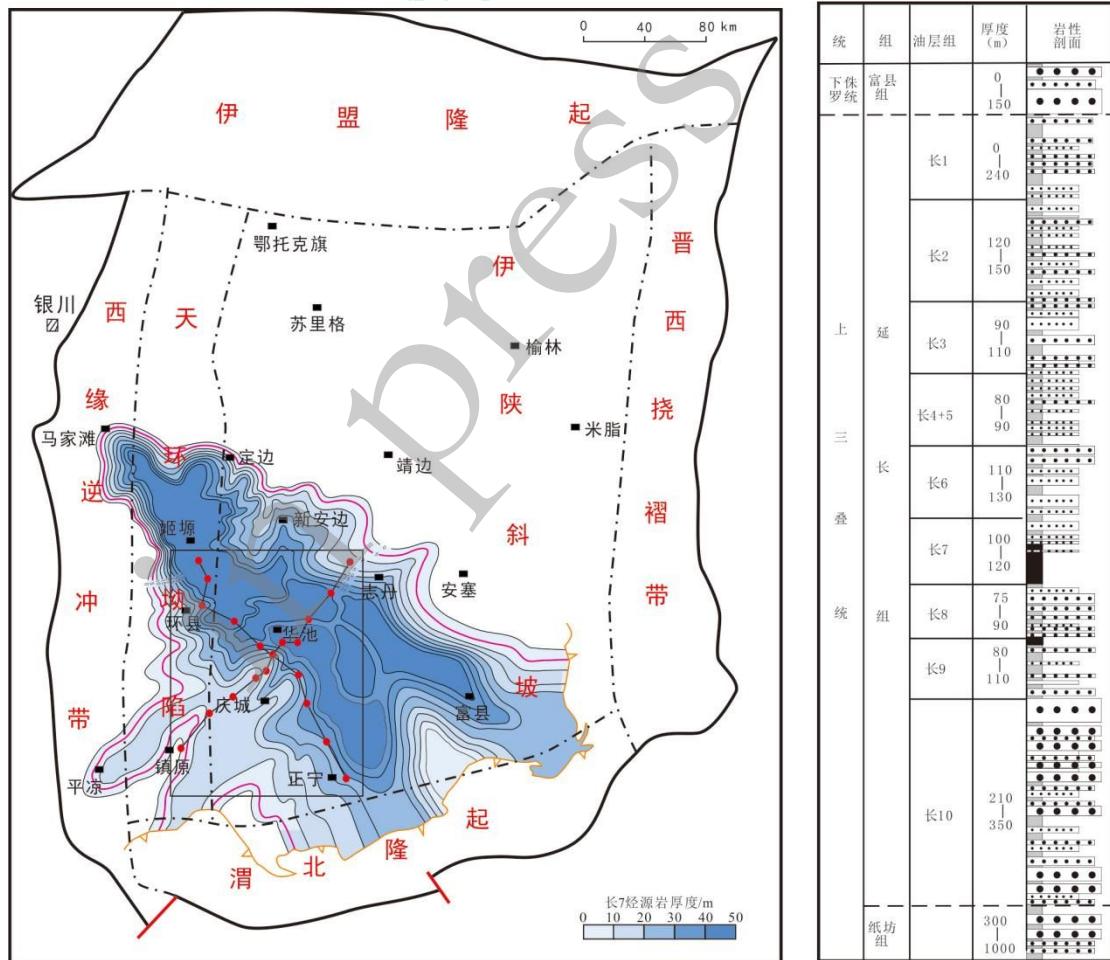
51 本文利用鄂尔多斯盆地湖盆中部长 7₃ 亚段的剖面、岩心、测井、录井及分
52 析测试资料，结合风险勘探实践，对长 7₃ 亚段深水砂质岩类的沉积模式及主控
53 因素进行探讨，详细分析大套厚层泥页岩中薄层砂质储层的岩石学特征、储集性
54 及含油性，讨论长 7₃ 亚段深水砂质沉积的“甜点”展布规律及勘探潜力，以期
55 为湖盆中部深水新类型页岩油的勘探开发提供借鉴。

56 1 地质背景

57 鄂尔多斯盆地处于中国东部构造域与西部构造域接合部位，古生代时属于华
58 北盆地的一部分，晚三叠世发生的印支运动使扬子板块向北挤压碰撞华北板块，
59
60

59 西秦岭造山带隆升，形成了东北宽缓、西南陡窄的不对称大型内陆拗陷湖盆。根
 60 据现今盆地构造形态及演化历史，划分出西缘逆冲带、天环拗陷、伊陕斜坡、晋
 61 西挠褶带、伊盟隆起及渭北隆起 6 个二级构造单元（图 1a）。

62 三叠系延长组是一套内陆河流—三角洲—湖泊相碎屑沉积体系，自上而下依
 63 次划分为长 1—长 10 共 10 段。受盆地构造沉降作用影响，长 8—长 7 期盆地沉
 64 积体系由浅水三角洲转变为半深湖—深湖相，长 7 期为湖盆发育鼎盛期，形成了
 65 “面广水深”的沉积格局。长 7 半深湖—深湖区面积达 $6.5 \times 10^4 \text{km}^2$ ，水深 60~
 66 120 米，湖相烃源岩大面积分布，为页岩油规模成藏奠定重要物质基础。长 7 段
 67 自下而上可细分为长 7₃ 亚段、长 7₂ 亚段和长 7₁ 亚段（图 1b），湖盆中部主要以
 68 半深湖—深湖亚相沉积为主，长 7₃ 亚段受重力流沉积作用，形成一定规模深水
 69 砂质沉积，受源内优质烃源岩高强度充注，勘探前景较好。



(a)长7段沉积期湖盆分布及构造区划图

(b)延长组沉积地层柱状简图



图 1 鄂尔多斯盆地构造区划分及延长组地层柱状简图

72 Fig.1 Tectonic division and stratigraphic column of the Yanchang Formation, Ordos Basin

73 2 深水砂质岩类沉积特征

74 2.1 深水砂质沉积主要类型

75 湖盆中部长 7_3 亚段深水砂质沉积主要发育滑动-滑塌沉积、砂质碎屑流沉积、
76 混合事件层沉积、浊流沉积和异重流沉积等。

77 长 7_3 亚段滑动-滑塌沉积主要分布在坡折带的坡上及古地貌起伏较大的部位，
78 平面上呈舌状或扇状，剖面上多为厚层孤立块状（图 4b、4d）。滑动-滑塌沉积
79 主要发育灰色块状层理、变形层理细砂岩，底面可见对下伏岩层的侵蚀作用，砂
80 泥接触面可见剪切变形构造、内部可见揉皱变形及阶梯断层构造（图 2b、2f）。

81 长 7_3 亚段砂质碎屑流沉积在平面上主要呈带状或连续不规则舌状分布在盆
82 地西南，剖面上呈孤立或叠加透镜体状（图 4b）。砂质碎屑流沉积主要发育浅
83 灰色、灰色块状层理细砂岩相，以砂岩与底部和顶部泥岩突变接触为典型特征，
84 砂岩底部具有剪切构造，上部具有不规则接触面，侧向具有突然尖灭的几何特征，
85 块状砂岩顶部泥质碎屑集中发育，内部可含有页岩碎屑/泥岩撕裂屑，矿物颗粒
86 分选较好（图 2c）。

87 混合事件层沉积在长 7_3 亚段顺物源沉积流体转化方向条带状分布，剖面上
88 呈互层状叠置，在湖盆中部主要为砂质、泥质碎屑流和浊流及其之间过渡流体的
89 混合流沉积层（Talling, 2013）。混合事件层沉积发育灰色块状层理粉细砂岩与
90 泥岩突变接触的双层结构（图 2h），内部见漂浮泥质碎片，泥质含量较高。

91 长 7_3 亚段浊流沉积分布范围较大，主要分布在盆地西南坡脚区及深湖平原
92 的深洼部位，平面上呈席状平铺展开分布，剖面上呈薄互层透镜体状（图 4b）。
93 浊流沉积发育深灰色沙纹层理粉砂岩，与平层层理细砂岩构成不完整的鲍马序列，
94 形成正粒序层理表现为粒度减小泥质含量增多，具有明显的砂泥互层特征（图
95 2a），粉砂岩中泥质含量一般较高（图 2g），在流动过程中浊流沉积侵蚀泥质
96 基底，多发育槽模构造。

97 长 7_3 亚段异重流沉积平面上在盆地西南部呈扇形稳定铺开，局部相对厚层
98 为条带状，剖面上为互层状透镜体。异重流沉积发育深灰色逆-正粒序层理粉砂
99 岩，表现为不同尺度上的砂泥岩频繁互层（图 2d），发育侧向迁移形成的牵引
100 构造。

101

表 1 长 7₃ 亚段深水砂质沉积主要类型

102

Table 1 The characteristics of main types sandy deposits of Chang 7₃ sub-member

沉积微相类型	主要岩相	主要岩性	典型沉积构造
滑动-滑塌沉积	块状层理细砂岩相	细砂岩	变形构造
	块状层理粉砂岩相		
	变形构造粉砂岩相	泥质粉砂岩	
砂质碎屑流沉积	泥质粉砂岩相	细砂岩	块状层理 漂浮泥岩撕裂屑
	块状层理细砂岩相		
	块状层理粉砂岩相		
混合事件层沉积	块状层理粉砂岩相	粉细砂岩	双层结构
	泥质粉砂岩相		
浊流沉积	粉砂质泥岩相	粉砂岩	不完整的鲍马序列 冲刷面 槽模
	韵律层理粉砂岩相		
	沙纹层理粉砂岩相	泥质粉砂岩	
	黑色页岩相	泥页岩	
异重流沉积	块状泥岩相	细砂岩	逆-正粒序组合
	逆-正粒序粉砂岩相		
	沙纹层理粉砂岩相		

103



104

105

图 2 长 7₃ 亚段深水砂质沉积岩心特征

106

Fig.2 The core characteristics of sandstone reservoir of Chang 7₃ sub-member

107

108 a.浊流沉积, 砂泥互层特征, Z61 井, 长 7₃ 亚段, 2075m; b.滑动-滑塌沉积, 泥岩内的砂质条带发生揉皱
 109 变形, Ch96 井, 长 7₃ 亚段, 2073.34m; c.砂质碎屑流沉积, 整体块状, 侧向尖灭, 细砂岩内部发育泥岩撕
 110 裂屑, M138 井, 长 7₃ 亚段, 2338.8m; d.异重流沉积, 发育逆-正粒序层理粉砂岩, Z155 井, 长 7₃ 亚段,
 111 1605.05m; e.层理断面见白云母及暗色矿物, Z40 井, 长 7₃ 亚段, 1443.52m; f.滑动-滑塌沉积, 细砂岩内
 112 部见阶梯断层构造, G347 井, 长 7₃ 亚段, 2452.92m; g.浊流沉积, 泥质粉砂岩底部发育泥岩条带, Y1 井,
 113 长 7₃ 亚段, 2031.37m; h.混合事件层沉积, 细砂岩与粉砂质泥岩突变接触, Ch96 井, 长 7₃ 亚段, 2046.57m

113

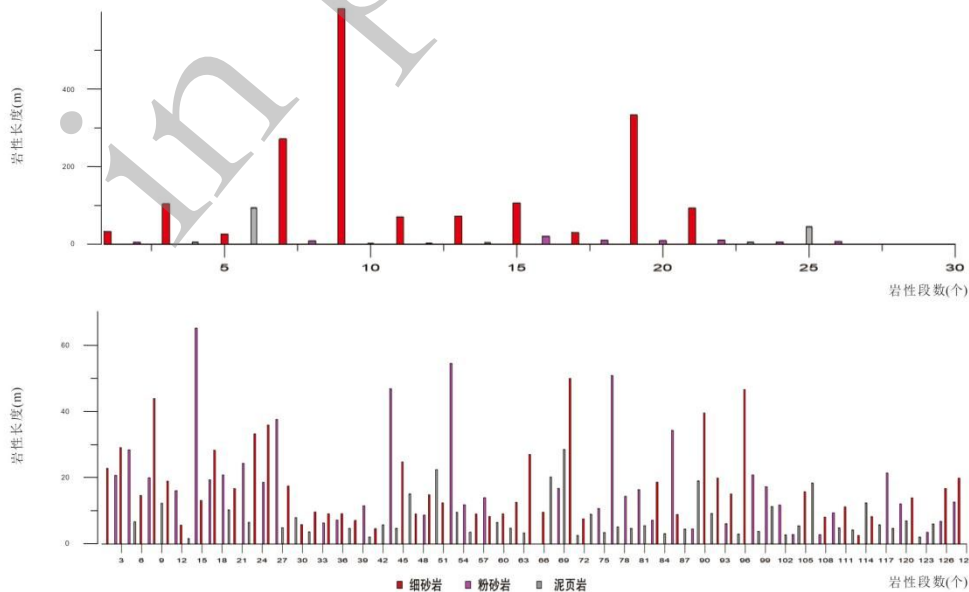
2.2 砂体展布特征

114

115 通过深入的地质研究及测井岩性识别技术的进步 (李霞等, 2015), 对长 7₃
 116 砂质沉积进行了更为精细的刻画, 长 7₃ 砂质沉积累计厚度介于 4m~12m, 局部
 117 厚度大于 16m, 具有一定的规模; 其中细砂岩累计厚度 4m~8m, 孤立分布; 粉
 118 砂岩累计厚度 3m~6m, 相对叠置连片发育。单砂体厚度较薄, 对盆地 15 口长 7₃
 119 全取心井的单砂体厚度进行统计, 可以得到单个砂体在纵向上的厚度主要介于
 0.5m~1.5m, 平均厚度 1m。

120

121 城页、岭页水平井研究区单期砂体厚度介于 0.5m~2.5m, 平均厚度 1.89m;
 122 长 7₃ 亚段上砂层组累计厚度 1m~4m, 下砂层组相对更厚, 累计厚度 3m~9m;
 123 三维空间上多为厚度 1m 左右的单砂体孤立或叠置发育, 长度与宽度较小 (付金
 124 华等, 2020), 目前的探测方法较难实现精准预测, 较厚的块状单砂体和紧密连
 续叠置的薄层单砂体是期待钻遇的储层。



125

图 3 岭页、池页水平井钻遇岩性段统计

126

Fig.3 The drilling lithologic characteristics of horizontal well Lingye and Chiye

127

128 a.CY1H 井钻遇岩性剖面; b.LY1H 井钻遇岩性剖面

129 通过对湖盆中部长 7_3 亚段西南体系多薄层砂泥岩间互型和西北体系厚层砂
130 岩型的不同岩性组合进行探索的 LY1H 井和 CY1H 井的钻遇情况进行统计(图 3),
131 可以发现, LY1H 井水平段方向岩性变化频繁, 2000m 水平段钻遇间互的岩性段
132 达 127 段, 砂岩在水平段方向延伸长度较短, 主要分布在 5m~20m, 其中细砂
133 岩 11 段, 粉砂岩 8 段。CY1H 井在水平段方向岩性变化相对较小, 分布较稳定,
134 1972m 水平段钻遇岩性间互段 26 段, 其中细砂岩最长 605m, 最短 26m, 粉砂岩
135 最长 20m, 最短 4.7m, 水平段钻遇岩性以细砂岩为主。

136 2.3 深水砂质沉积成因机制

137 鄂尔多斯盆地长 7 沉积期, 西秦岭隆升导致盆地西南迅速拗陷, 形成一定的
138 地形坡度, 同时提供充足的物源。长 7_3 亚段沉积时期气候总体温暖潮湿, 水体
139 较深, 在环县-华池、正宁北、富县、黄龙一带水体深度超过 100m, 局部地区最
140 大水深可达 160m 左右, 大套厚层的泥页岩发育, 高生物生产力及贫氧还原的淡
141 水湖盆保存环境促使有机质富集; 强烈的板块碰撞作用使西南祁秦造山带地震火
142 山活动频发(邱欣卫等, 2011), 在湖平面升高、降雨较多的有利条件下, 垮塌
143 成因、洪水成因的重力流沉积广泛发育(张家强等, 2021; 张倚安等, 2021; 周
144 新平等, 2021)。

145 古地貌形态与沉积微相主要控制了长 7_3 亚段砂质沉积的发育特征。通过对
146 盆地中部湖盆底型的定量恢复, 结合岩心、测井资料进行标定, 更为精细地刻画
147 了长 7_3 期湖盆中部发育的多个微地貌单元。从湖盆东北志丹-吴起-定边一带绕
148 过环县一直延伸到湖盆西南镇原-崇信-宁县的坡折带是长 7_3 期古地貌的一级构造
149 单元, 在坡折带之上, 是鄂尔多斯盆地北-东北缘、西南缘的古沉积高地, 主要
150 发育曲流河、辫状河三角洲等沉积, 坡折带之下则发育多种类型的半深湖-深湖
151 深水重力流沉积; 在湖盆中部又发育次一级的坡折带、古沟道、湖底古脊、湖底
152 深洼、湖底古隆以及湖底平原等微古地貌单元, 进一步控制长 7_3 期深水远端重
153 力流的分布与类型(图 4)。

154 盆地西南缘三角洲前缘沉积物在构造运动触发及自身重力作用下失稳向湖
155 盆中部搬运, 形成滑塌型重力流沉积。在坡折带的顶端至斜坡区, 发育滑动-滑
156 塌沉积; 搬运过程中, 随着环境水体的卷入稀释转化为砂质碎屑流, 具有块状构

157 造及稳定的厚度; 砂质碎屑流继续向湖盆中心运输推进, 运动过程中压力、速度
 158 变小, 动力不足, 同时吸卷湖底泥质, 流体由碎屑流转化为浊流, 继续向湖盆远
 159 端形成砂质朵体沉积; 砂质沉积在向深水区远端搬运的过程中, 泥质含量变多、粒
 160 度变细, 发育不同类型重力流沉积的单一或纵向叠置组合分布。盆地南-西南缘,
 161 受长 7₃ 期洪水演化作用及物源供给的控制以及坡度的影响, 形成广泛分布的异
 162 重流沉积, 受洪水能量强弱的控制。在宁县-庆城和正宁-华池东区带, 受到南-
 163 西南物源与坡折带、古沟道的控制, 砂体较为发育, 发育水道沉积的砂质碎屑流、
 164 浊流沉积; 庆阳一带受湖底古隆地形的影响主要发育浊流沉积, 砂体分散分布;
 165 湖底深洼主要发育在环县西北, 主要发育深湖-半深湖泥, 砂体极少发育。

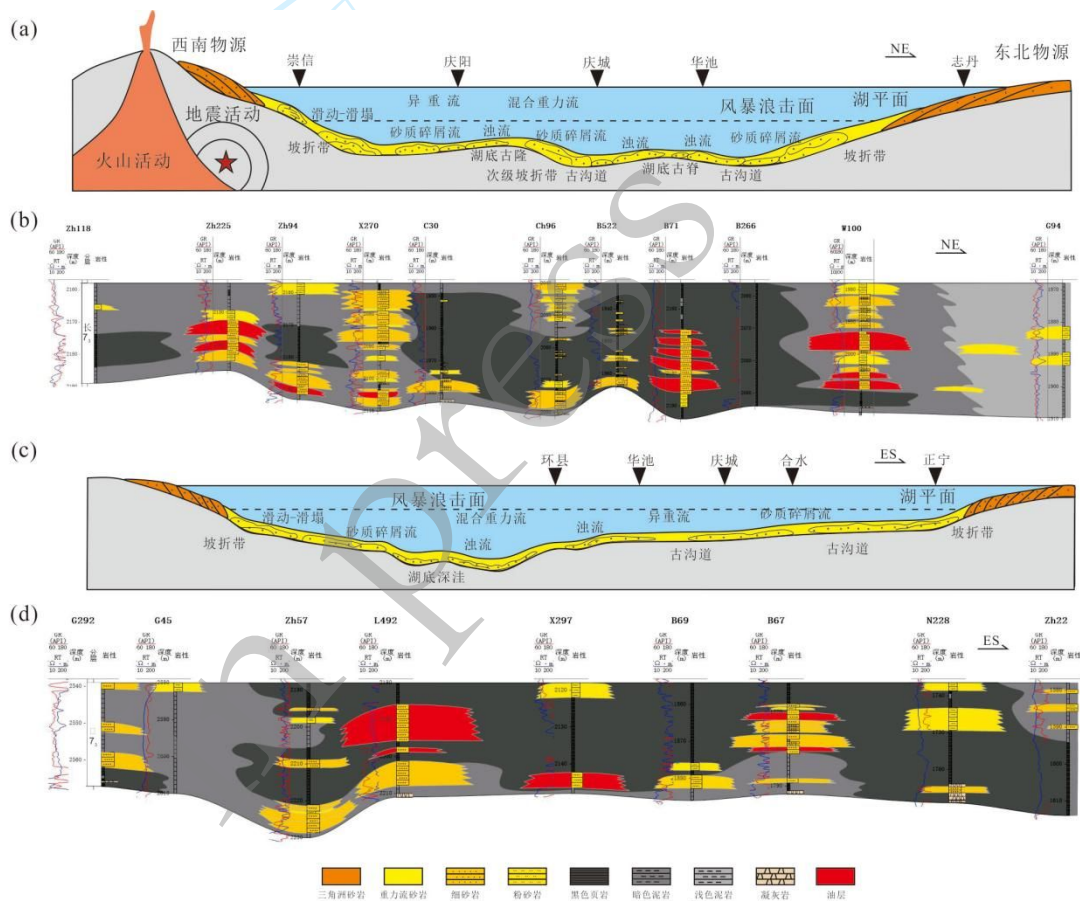


图 4 长 7₃ 亚段砂质储层沉积成藏模式

Fig.4 The sedimentary and accumulation assemblage models of sandstone reservoir of Chang 7₃ sub-member

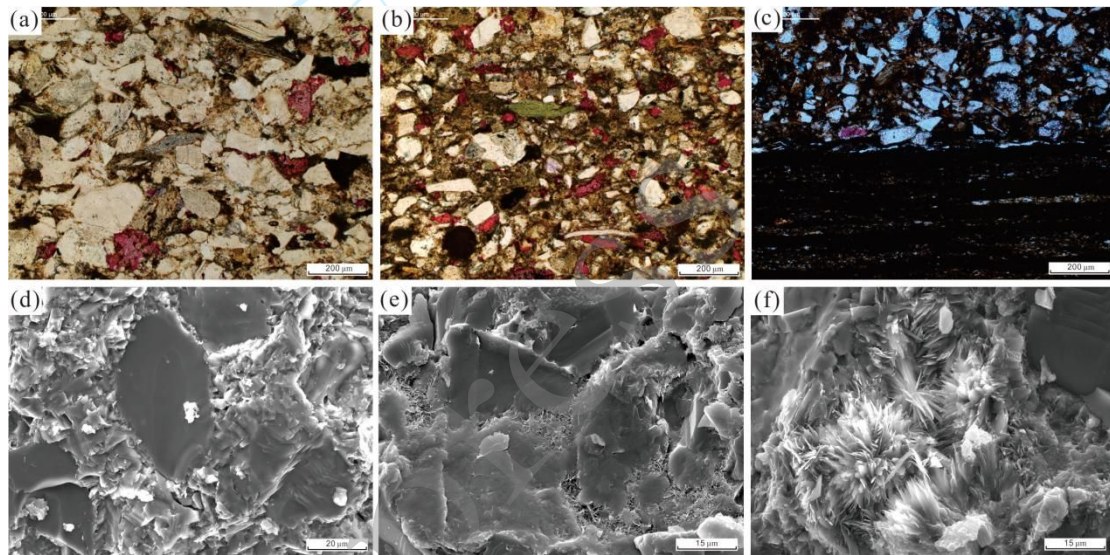
a.盆地东北向剖面长 7₃ 亚段沉积模式; b.盆地东北向剖面长 7₃ 亚段成藏组合模式; c.盆地东南向剖面长 7₃ 亚段沉积模式; d.盆地东南向剖面长 7₃ 亚段成藏组合模式 (两条剖面位置均在图 1 中标出)

3 砂质岩类储层特征

173 3.1 储层岩石学特征

174 长 7_3 亚段砂质储层主要发育细砂岩和粉砂岩，粉砂岩泥质含量一般较高，
175 通过岩心观察，多为泥质粉砂岩。

176 长 7_3 亚段细砂岩多为浅灰色长石岩屑细砂岩和岩屑长石细砂岩（图 5a），
177 层理面多见云母碎片，矿物颗粒呈次圆-次棱角状，分选中等-较好，主要粒径介
178 于 0.1mm~0.3mm，常见钙质胶结（图 5d）。细砂岩矿物成分以长石为主，石
179 英次之，石英含量平均值为 32.6%，长石矿物平均含量 48.2%；岩屑含量较多，
180 成分以变质岩屑为主；碳酸盐矿物平均含量 3.8%；黏土矿物平均含量 10.5%，
181 以绿泥石和伊利石为主（图 5e）。



182 图 5 长 7_3 亚段砂质储层岩石学特征

183 Fig.5 The petrology characteristics of sandstone reservoir of Chang 7_3 sub-member

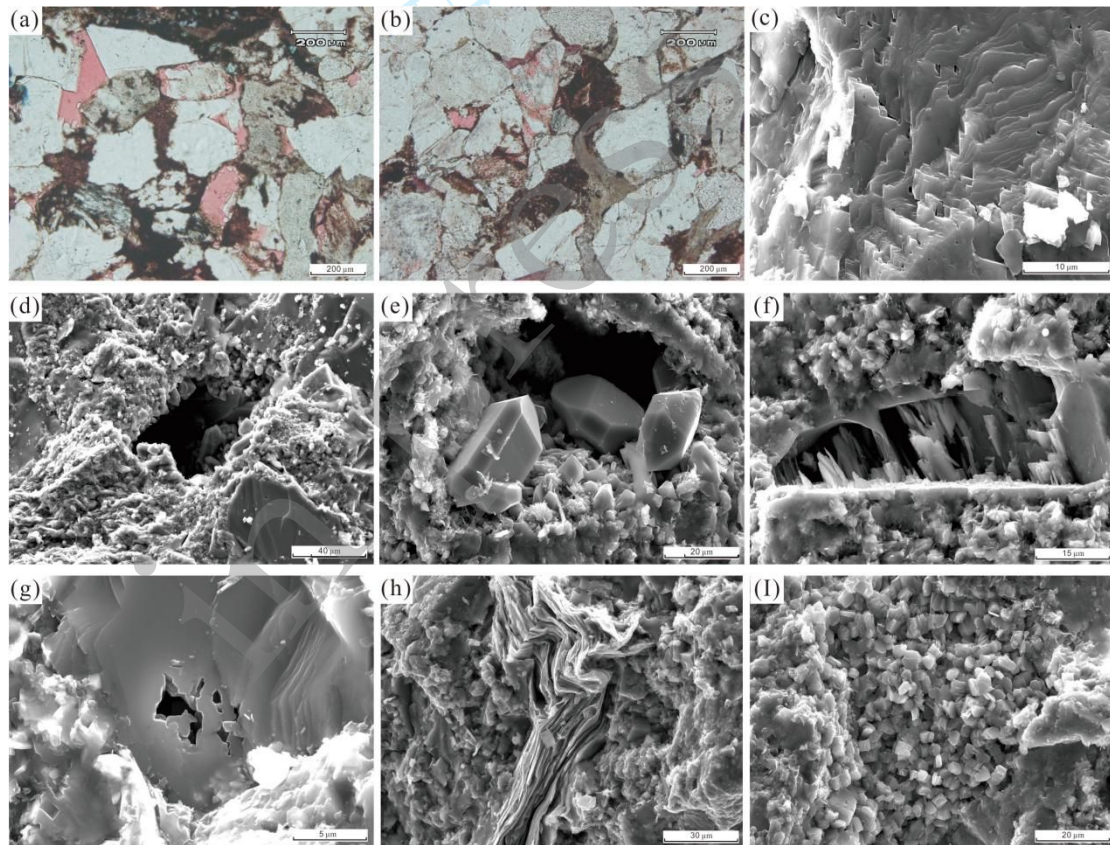
184 a.细砂岩，以石英长石为主，见云母、伊利石等，微孔发育，Z40 井，长 7_3 亚段，1438m；b.泥质粉砂岩，
185 致密，分选较差，Z40 井，长 7_3 亚段，1445m；c.粒序层理，富有机质泥岩与泥质粉砂岩互层，Z70 井，
186 长 7_3 亚段，1648.7m；d.方解石胶结致密，B522 井，长 7_3 亚段，1940.3m；e.碎屑矿物间黏土矿物充填胶结，
187 长 7_3 亚段，1906.6m；f.碎屑蚀变丝缕状伊利石，Z70 井，长 7_3 亚段，1664.5m

188 长 7_3 亚段粉砂岩多为灰色-深灰色含泥、含泥含钙、泥质长石岩屑粉砂岩、
189 岩屑长石粉砂岩、长石粉砂岩（图 5b），泥质胶结使岩石致密，内部常见不均
190 匀分布的泥质条带及水平层理泥质纹层（图 5c），与泥质接触面易断开，断面
191 常见白云母碎片及碳化植物碎片（图 2e），矿物颗粒呈次棱角状，分选差-中等，
192 主要粒径介于 0.05mm~0.2mm，部分钙质胶结程度较大。粉砂岩矿物成分以长
193 石为主，石英次之，石英含量平均值为 32.8%，长石矿物平均含量 40.7%；岩屑
194

195 含量较多，成分以变质岩屑、火成岩屑为主；碳酸盐矿物含量占到 10.8%；黏土
196 矿物平均含量 12.6%，以绿泥石和伊利石为主（图 5f）。

197 3.2 储层储集性特征

198 长₇亚段细砂岩主要发育残余粒间孔、长石溶孔和岩屑溶孔等（图 6a、6b），
199 粒径较大的石英长石碎屑颗粒支撑起来的粒间孔隙占到一定的比例，粒间自生石
200 英的生长以及黏土矿物的充填作用，使得残余粒间孔的空间减小，成岩作用过程
201 中流体的溶蚀作用使得长石溶孔、岩屑溶孔的贡献成为最主要的后期增孔机制，
202 以及微裂缝的发育可以增加储层的孔渗性能。细砂岩孔隙度主要介于 4%~9%，
203 平均值为 5%，渗透率主要介于 $(0.03 \sim 0.07) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，平均值为
204 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；孔隙半径主要介于 $0.1 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ ，吼道半径主要介于 $20 \text{nm} \sim 100 \text{nm}$ ，
205 平均面孔率 0.43%。



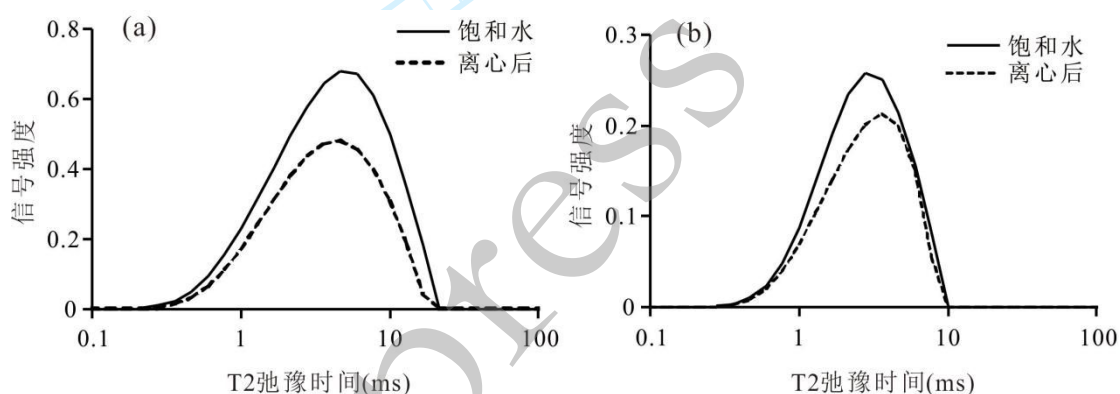
206
207 图 6 长₇亚段砂质储层孔隙特征

208 Fig.6 The pore characteristics of sandstone reservoir of Chang 7₃ sub-member

209 a.细砂岩，粒间孔、长石溶孔发育，L231 井，长₇亚段，2122.32m；b.细砂岩，致密，粒间孔、溶孔发育，
210 L231 井，长₇亚段，2164.3m；c.细砂岩，白云石溶蚀产生粒内溶孔，B522 井，长₇亚段，1940.3m；d.
211 细砂岩，发育粒间孔，B522 井，长₇亚段，1946.1m；e.粉砂岩，粒间孔充填自生石英，N36 井，长₇亚
212 段，1667.4m；f.粉砂岩，长石溶孔，N36 井，长₇亚段，1667.4m；g.粉砂岩，长石粒内溶蚀，Z70 井，

213 长₇亚段, 1654.5m; h.粉砂岩, 片状云母弯曲变形, 发育残余层间缝隙, Z70井, 长₇亚段, 1648.7m;
214 i.粉砂岩, 高岭石晶间微孔, N36井, 长₇亚段, 1667.4m

215 长₇亚段粉砂岩主要发育长石溶孔、残余粒间微孔以及黏土矿物晶间孔等,
216 碎屑矿物粒度细、磨圆差, 沉积时期泥质含量多使得塑性成分大大增加, 通过成
217 岩压实作用留下的粒间孔一般呈不规则多边形, 粒间、颗粒边缘多发育黏土矿物
218 和蚀变杂基充填孔隙(图6e), 使得残余粒间孔较小、吼道形态复杂细小(图
219 6h、6i), 碳酸盐矿物胶结作用强烈, 多见方解石、铁方解石交代碎屑矿物, 铁
220 白云石胶结充填孔隙, 使得岩石致密, 长石溶孔的发育增加了储层的孔隙空间,
221 但只有部分具有较好的连通性(图6f、6g)。粉砂岩孔隙度主要介于2%~4%,
222 平均值为3%, 渗透率主要介于 $(0.01 \sim 0.04) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为
223 $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 孔隙半径主要介于 $0.1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$, 吼道半径主要介于 $10 \sim 60 \text{nm}$;
224 平均面孔率0.12%。



225 图7 长₇亚段砂质储层可动流体饱和度特征

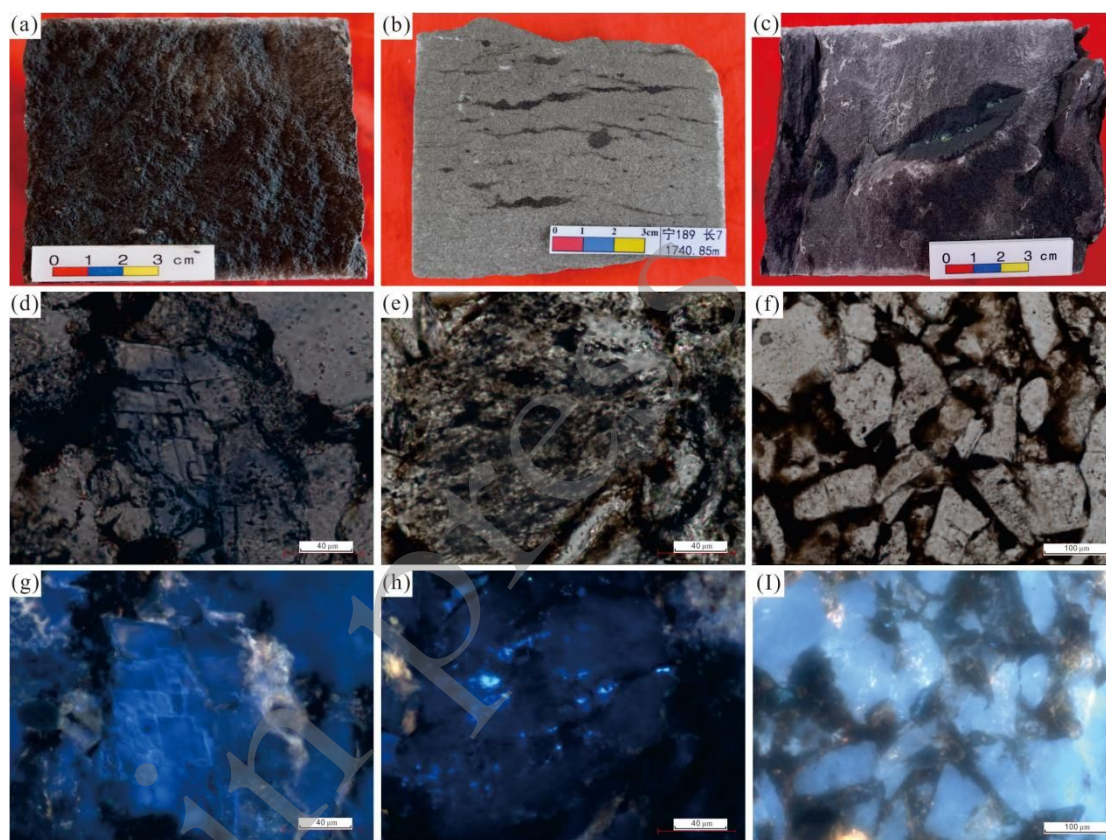
227 Fig.7 The movable fluid saturation characteristics of sandstone reservoir of Chang 7₃ sub-member

228 a.长₇亚段细砂岩核磁共振图谱, ChY1井, 2028.76m, 核磁孔隙度8.29%, 可动流体饱和度27.37%; b.
229 长₇亚段粉砂岩核磁共振图谱, ChY1井, 2051.19m, 核磁孔隙度2.88%, 可动流体饱和度20.83%

230 3.3 储层含油性特征

231 湖盆中部长₇亚段大套厚层泥页岩为长₇段最优质的生烃源岩, 黑色页岩
232 生油母质类型好, TOC平均含量13.81%, 暗色泥岩有机质类型次之, TOC平均
233 含量3.75%, 夹于其中的长₇砂质储层受源内烃类高强度充注, 含油饱和度高达
234 80%~90%, 成熟度高的高TOC优质泥页岩是长₇砂质储层含油的物质基础,
235 对比池页水平井与岭页水平井含油层段, 可以发现, 由于西北体系处于生烃中心
236 边部, 烃源岩本身品质及充注条件略差, 因此出现大段不见油显示的干层。通过
237 研究发现, 含油饱和度和可动流体饱和度与砂质岩孔隙度和渗透率成正相关关系

238 在荧光薄片, 较大尺度的碎屑矿物粒间孔及微裂缝含油面积最大, 粒内溶蚀孔
 239 常见含油, 颗粒边缘可见包裹油质, 油质多呈发亮蓝色荧光, 轻质组分含量高(图
 240 8d-i); 以上说明长 7_3 亚段砂质储层的含油性主要受物性的控制(图 9), 通过
 241 实验也可证实, 长 7_3 亚段砂质岩类中由于细砂岩物性更优, 其可动流体饱和度
 242 与含油率都高于粉砂岩(图 7)。另外, 在生烃充注条件较好的岭页水平井区,
 243 也出现大套砂岩为差油层的情况, 盆地中长 7_3 亚段直井段也见大套砂岩干层的
 244 情况, 目前可以初步得出, 长 7_3 亚段物性较好的紧密叠置细砂岩薄储层与高 R_o 、
 245 高 TOC 优质烃源岩互层的源储配置关系可能最容易出现优质砂岩含油储层。



246
 247 图 8 长 7_3 亚段砂质储层含油特征

248 Fig.8 The oil-bearing characteristics of sandstone reservoir of Chang 7_3 sub-member

249 a.细砂岩均匀含油, Y1 井, 长 7_3 亚段, 2037.5m; b.粉砂岩层理面含油, N189 井, 长 7_3 亚段, 1740.85m;
 250 c.裂缝见油, Y1 井, 长 7_3 亚段, 2008.39m; d.细砂岩, 矿物发育裂缝, ChY1 井, 长 7_3 亚段, 2027.9m; e.
 251 粉砂岩, 发育溶蚀孔, ChY1 井, 长 7_3 亚段, 2027.52m; f.细砂岩, 粒间孔较发育, ChY1 井, 长 7_3 亚段,
 252 2028.91m; g.d 的荧光薄片, 颗粒裂缝中蓝色油质沥青, ChY1 井, 长 7_3 亚段, 2027.9m; h.e 的荧光薄片,
 253 颗粒内部蓝色油质沥青, ChY1 井, 长 7_3 亚段, 2027.52m; i.f 的荧光薄片, 粒间蓝色油质沥青, ChY1 井,
 254 长 7_3 亚段, 2028.91m

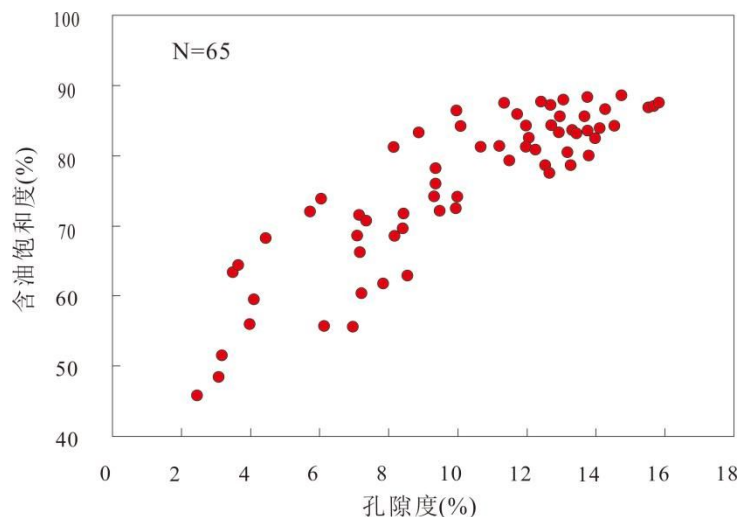


图9 长₇₃亚段砂质储层含油饱和度与孔隙度关系

Fig.9 The relationship between oil saturation and porosity of sandstone reservoir of Chang 7₃ sub-member

4 勘探进展及前景

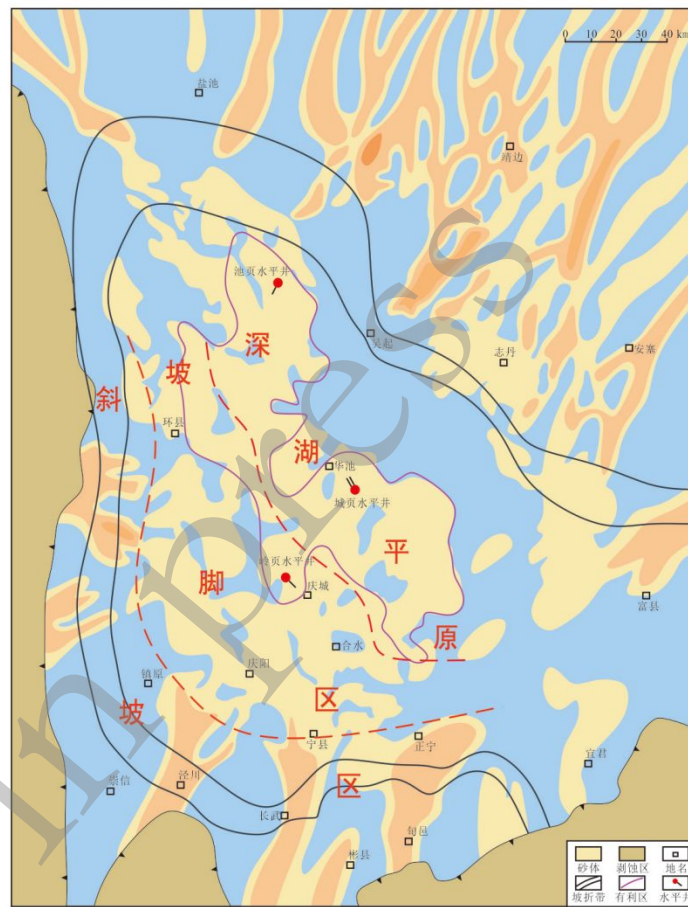
4.1 岭页、池页水平井勘探进展

在城页水平井取得突破的基础上，针对长₇₃亚段湖盆中部西南体系多薄层砂泥间互和西北体系厚层砂岩源储配置关系进行甩开部署的岭页、池页两口风险探井都已顺利完钻并获得较好的钻遇率，LY1H井水平段长2000m，砂岩钻遇率73.94%，油层钻遇率60.02%，CY1H井水平段长1972m，砂岩钻遇率91.57%，油层钻遇率57.02%，LY1H井、CY1H井试油分别获116.80t/d和36.64t/d的高产油流，截至目前，LY1H井已投产49天，试采平均日产油16.7t，累计产油1258.04t。岭页、池页水平井风险勘探攻关的突破进一步证实了长₇₃亚段砂质储层的勘探潜力。

4.2 长₇₃亚段砂质储层勘探潜力

长₇₃亚段湖盆中部深水环境沉积厚层泥页岩夹持的薄层粉细砂岩，受到优质烃源岩高强度充注，成藏条件有利，储集性较好的砂质储层局部规模发育，是有利的“甜点”。长₇₃亚段砂质储层页岩油富集的物质基础是高 R_o 、高TOC的优质烃源岩在高剩余压差的有利充注条件下进行供烃，砂体向湖盆中心搬运及演化的过程中，岩石粒度、泥质含量、成岩作用及沉积构造等性质都发生变化，具备较优储集空间的细砂岩及部分泥质含量较少的粉砂岩多形成于砂质碎屑流、油

276 流以及滑动-滑塌沉积中，部分异重流及混合事件层沉积中局部也发育优质砂岩
 277 储层，坡折带的坡脚及湖盆中部的古沟道处优势沉积相砂体更为发育，优质烃源
 278 岩与紧密叠置的薄砂岩储层在空间上充分接触，有利的源储配置关系与有利的充
 279 注条件的时空耦合形成长 7₃ 亚段含油砂质“甜点”。根据长 7₃ 亚段优质烃源岩
 280 与有利深水重力流沉积相带的分布叠合，初步划分出最为有利的勘探区带（图
 281 10）。通过城页井组所在的城 80 井区精细解剖，估算其资源量为 7500 万吨，资
 282 源丰度为 $34 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ ，整个盆地中高成熟度 ($R_o > 0.9\%$) 烃源岩面积约 2 万平
 283 方公里，远景资源量 60 亿吨。



284
 285 图 10 长 7₃ 亚段砂质储层平面分布特征及有利区范围

286 Fig.10 Distribution characteristics and play fairways of sandstone reservoir of Chang 7₃
 287 sub-member

288 目前测井在精细识别岩性，定量计算泥质含量技术上取得了创新突破，进一
 289 步识别了盆地直井长 7₃ 亚段的高伽玛背景下的砂质储层；高精度三维地震采集
 290 在陇东地区也全面铺开，在剖面上对长 7₃ 亚段砂质岩振幅响应较为明显（图 11），

291 结合反演资料与各类关键参数属性预测技术,可以较好预测其厚度和物性,已在
 292 盆地多地局部探测刻画出长 7_3 亚段砂质的陀状平面展布特征,多顺物源搬运分
 293 布在坡脚富砂区带及深湖平原。对比长 7_3 亚段泥页岩储层,砂质储层具有明显
 294 优越的储集性,且具有现实的试采效果,在一定的成本控制下,具有投资回报率,
 295 不仅是目前,也是中远期长 7_3 亚段泥页岩储层开采技术突破后重要的产能贡献
 296 储层类型,具有重大的勘探意义及前景。

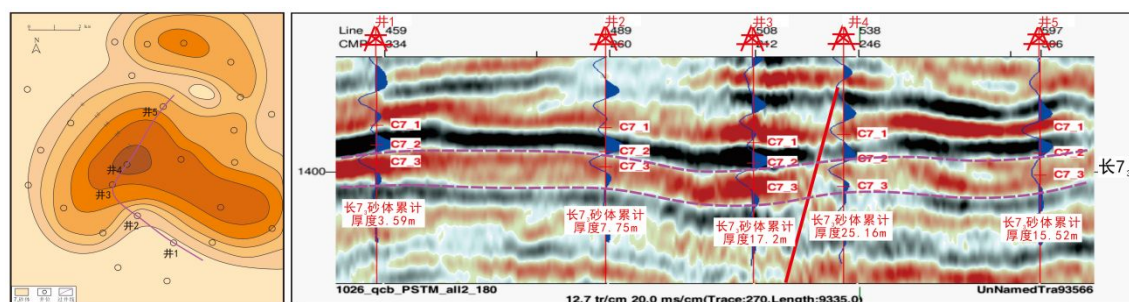


图 11 长 7_3 亚段砂质储层地震反射特征

Fig.11 The seismic event characteristics of sandstone reservoir of Chang 7_3 sub-member

5 结论

301 (1) 长 7_3 亚段沉积时期水体较深,大套厚层富有机质泥页岩发育,西南物
 302 源带地震火山活动频发,洪水持续作用,多种类型的重力流沉积广泛发育;古地
 303 貌形态与沉积微相主要控制了砂质沉积的展布特征与成因类型,坡折带以下的坡
 304 角处、古沟道等相对富砂,砂质碎屑流、浊流沉积是有利的储层类型。

305 (2) 长 7_3 亚段砂质岩类单砂体厚度较薄,平均厚度 1m,累计厚度介于
 306 4m~12m,具有一定规模,纵向上长 7_3 亚段下砂层组砂体相对更厚,累计厚度 3m~
 307 9m,孤立或叠置组合发育的砂体三维空间上厚度、长度、宽度较小,水平井追
 308 踪难度大,较厚的块状单砂体和紧密连续叠置的薄层单砂体组合是期待钻遇的储
 309 层。

310 (3) 长 7_3 亚段砂质储层主要发育长石岩屑细、粉砂岩,储集空间以残余粒
 311 间孔、溶孔和粒内孔为主,粉砂岩钙质、泥质含量一般较高,细砂岩的孔渗性能
 312 及含油性都优于粉砂岩,高剩余压差下,储集性能较优的紧密叠置细砂岩薄储层
 313 与高 R_0 、高 TOC 优质烃源岩互层的源储配置关系最易出现优质砂岩“甜点”。

314 (4) 长 7_3 亚段深水环境厚层泥页岩夹持的薄层粉细砂岩,受到优质烃源岩
 315 高强度充注,储集性较好的砂质储层局部规模发育,具有较好的勘探潜力,远景

316 资源量 60 亿吨。随着长 7₃ 亚段砂体成因展布与储层非均质性研究的进一步深入，
317 测井地震探测技术的持续攻关以及压裂开采工艺制度的优化突破，长 7₃ 亚段深
318 水砂质岩类将成为重要的产能贡献储层类型。

319 致谢：三位匿名审稿专家对文章提出了诸多建设性的修改意见与宝贵建议，收益匪浅，
320 在此一并表示衷心的感谢！

321

322

323

324

325 参考文献(References)

326 Cartigny, M. J. B., Eggenhuisen, J. T., Hansen, E. W. M., et al., 2013. Concentration-Dependent
327 Flow Stratification in Experimental High-Density Turbidity Currents and their Relevance to
328 Turbidite Facies Models. *Journal of Sedimentary Research*, 83: 1046-1064.

329 Cao, Y. C., Wang, Y. Z., Gluyas, J. G., et al., 2018. Depositional Model for Lacustrine Nearshore
330 Subaqueous Fans in a Rift Basin: the Eocene Shahejie Formation, Dongying Sag, Bohai Bay
331 Basin, China. *Sedimentology*, 65: 2117-2148.

332 Felix, M., Peakall, J., 2006. Transformation of Debris Flows into Turbidity Currents: Mechanisms
333 Inferred from Laboratory Experiments. *Sedimentology*, 53:107-123.

334 Fongngern, R., Olariu, C., Steel, R., et al., 2018. Subsurface and Outcrop Characteristics of
335 Fluvial-dominated Deep Lacustrine Clinoforms. *Sedimentology*, 65:1447-1481.

336 Mulder, T., Alexand, J., 2001. The Physical Character of Subaqueous Sedimentary Density Flows
337 and their Deposits. *Sedimentology*, 48: 269-299.

338 Shanmugam, G., 2013. New Perspectives on Deep-water Sandstones: Implications. *Petroleum*
339 *Exploration and Development*, 40: 316-324.

340 Talling, P. J., 2013. Hybrid Submarine Flows Comprising Turbidity Current and Cohesive Debris
341 Flow: Deposits, Theoretical and Experimental Analyses, and Generalized Models.

342 *Geosphere*, 9: 460-488.

343 付金华,李士祥,侯雨庭,等,2020.鄂尔多斯盆地延长组 7 段 II 类页岩油风险勘探突破及其意义.

344 中国石油勘探,25(01):78-92.

- 1
2
3
4 345 Fu, J. H., Li, S. X., Hou, Y. T., Zhou, X. P., et al., 2020. Breakthrough of Risk Exploration for
5
6 346 Class II Shale Oil in Chang 7 Member of the Yanchang Formation and its Significance in the
7
8 347 Ordos Basin. *China Petroleum Exploration*, 25(1): 78-92 (in Chinese with English abstract).
9
10 348 付金华,李士祥,牛小兵,等,2020.鄂尔多斯盆地三叠系长7段页岩油地质特征与勘探实践.石油
11
12 349 勘探与开发,47(5): 870-883.
- 13 350 Fu, J. H., Li, S. X., NIU X. B., et al., 2020. Geological Characteristics and Exploration of Shale
14
15 351 Oil in Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China.
16
17 352 *Petroleum Exploration and Development*, 47(5): 870-883 (in Chinese with English abstract).
18
19 353 付金华,李士祥,徐黎明,等,2018.鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7段古沉积环境恢复及意义.石
20
21 354 油勘探与开发,45(06):936-946.
- 22
23 355 Fu, J. H., Li, S. X., XU L. M., et al., 2018. Paleo-sedimentary Environmental Restoration and its
24
25 356 Significance of Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, NW
26
27 357 China. *Petroleum Exploration and Development*, 45(6): 936-946 (in Chinese with English
28
29 358 abstract).
- 30
31 359 付鑫,杜晓峰,官大勇,等,2020.渤海海域沙河街组一二段扇三角洲混合沉积特征、沉积模式及
32
33 360 勘探意义.地球科学,45(10):3706-3720.
- 34
35 361 Fu, X., Du, X. F., Guan, D. Y., et al., 2020. Depositional System, Plane Distribution and
36
37 362 Exploration Significance of Fan-Delta Mixed Siliciclastic-Carbonate Sediments in Lacustrine
38
39 363 Basin: An Example of Member 1-2 of Shahejie Formation in Offshore Bohai Bay, Eastern
40
41 364 China. *Earth Science*, 45(10): 3706-3720 (in Chinese with English abstract).
- 42
43 365 金杰华,操应长,王健,等,2019.深水砂质碎屑流沉积:概念、沉积过程与沉积特征.地质论
44
45 366 评,65(03):689-702.
- 46
47 367 JIN, J. H., CAO, Y. C., WANG, J., et al., 2019. Deep- water Sandy Debris Flow Deposits:
48
49 368 Concepts, Sedimentary Processes and Characteristics. *Geological Review*, 65(3):689-702 (in
50
51 369 Chinese with English abstract).
- 52
53 370 雷群,翁定为,熊生春,等,2021.中国石油页岩油储集层改造技术进展及发展方向.石油勘探与开
54
55 371 发,48(05):1035-1042.
- 56
57 372 LEI, Q., WENG, D. W., XIONG, S. C., et al., 2021. Progress and Development Directions of
58
59 373 Shale Oil Reservoir Stimulation Technology of China National Petroleum Corporation.
60
374 *Petroleum Exploration and Development*, 48(5): 1035-1042 (in Chinese with English

- 1
2
3
4 375 abstract).
- 5
6 376 李士祥,牛小兵,柳广弟,等,2020.鄂尔多斯盆地延长组长 7 段页岩油形成机理.石油与天然气地
7
8 377 质,41(4):719-729.
- 9
10 378 Li, S. X., Niu, X. B., Liu, G. D., et al., 2020. Formation and Accumulation Mechanism of Shale
11
12 379 Oil in the 7th Member of Yanchang Formation, Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 41(4):
13
14 380 719-729 (in Chinese with English abstract).
- 15
16 381 李士祥,周新平,郭茂恒,等,2021.鄂尔多斯盆地长 7_3 亚段页岩油可动烃资源量评价方法.天然
17
18 382 气地球科学,32(12):1771-1784.
- 19
20 383 Li, S. X., ZHOU, X. P., GUO, Q. H., et al., 2021. Research on Evaluation Method of Movable
21
22 384 Hydrocarbon Resources of Shale Oil in the Chang 73 Sub-member in the Ordos Basin.
23
24 385 *Natural Gas Geoscience*, 32(12): 1771–1784 (in Chinese with English abstract).
- 25
26 386 李霞,程相志,周灿灿,等,2015.页岩油气储层测井评价技术及应用.天然气地球科
27
28 387 学,26(5):904-914.
- 29
30 388 LI, X., CHENG, X. Z., ZHOU, C. C., et al., 2015. Technology and Application of Well Logging
31
32 389 Evaluation of Shale Oil and Gas Reservoirs. *Natural Gas Geoscience*, 26(5): 904–914 (in
33
34 390 Chinese with English abstract).
- 35
36 391 李志明,陶国亮,黎茂稳,等,2019.鄂尔多斯盆地西南部彬长区块三叠系延长组 7 段 3 亚段页岩
37
38 392 油勘探前景探讨.石油与天然气地质,40(03):558-570.
- 39
40 393 Li, Zh. M., Tao, G. L., Li, M. W., et al., 2019. Discussion on Prospecting Potential of Shale Oil in
41
42 394 the 3rd Sub-member of the Triassic Chang 7 member in Binchang block, Southwestern Ordos
43
44 395 Basin. *Oil & Gas Geology*, 40(3): 558-570 (in Chinese with English abstract).
- 45
46 396 刘显阳,李士祥,郭茂恒,等,2021.鄂尔多斯盆地延长组长 7_3 亚段泥页岩层系岩石类型特征及
47
48 397 勘探意义.天然气地球科学,32(08):1177-1189.
- 49
50 398 LIU, X. Y., LI, S. X., GUO, Q. H., et al., 2021. Characteristics of Rock Types and Exploration
51
52 399 Significance of the Shale Strata in the Chang 73 Sub-member of Yanchang Formation, Ordos
53
54 400 Basin. *Natural Gas Geoscience*, 32(8): 1177–1189 (in Chinese with English abstract).
- 55
56 401 裴羽,何幼斌,李华,等,2015.高密度浊流和砂质碎屑流关系的探讨.地质论评,61(06):1281-1292.
57
58 402 PEI, Y., HE, Y. B., LI, H., et al., 2015. Discuss about Relationship between High Density
59
60 403 Turbidity Current and Sandy Debris Flow. *Geological Review*, 61(6):1281-1292 (in Chinese
404 with English abstract).

- 1
2
3
4 405 邱欣卫,刘池洋,毛光周,等,2011.鄂尔多斯盆地延长组火山灰沉积物岩石地球化学特征.地球科
5
6 406 学,36(1):140-149
7
8 407 QIU, X. W., LIU, C. Y., MAO, G. Zh., et al., 2011. Petrological-Geochemical Characteristics of
9
10 408 Volcanic Ash Sediments in Yanchang Formation in Ordos Basin. *Earth Science*, 36(1):
11
12 409 139-150 (in Chinese with English abstract).
13
14 410 邱振,邹才能,2020.非常规油气沉积学:内涵与展望.沉积学报,38(01):1-29.
15
16 411 QIU, Zh., ZOU, C. N., 2020. Unconventional Petroleum Sedimentology: Connotation and
17
18 412 Prospec. *Acta Sedimentologica Sinica*, 38(1): 1-29 (in Chinese with English abstract).
19
20 413 宋明水,向奎,张宇,等,2017.泥质重力流沉积研究进展及其页岩油气地质意义——以东营凹陷
21
22 414 古近系沙河街组三段为例.沉积学报,35(04):740-751.
23
24 415 SONG, M. Sh., XIANG, K., ZHANG, Y., et al., 2017. Research Progresses on Muddy Gravity
25
26 416 Flow Deposits and their Significances on Shale Oil and Gas: A Case Study from the
27
28 417 3rd Oil-member of the Paleogene Shahejie Formation in the Dongying Sag. *Acta*
29
30 418 *Sedimentologica Sinica*, 35(4): 740-751 (in Chinese with English abstract).
31
32 419 田洁,宋军,马本俊,等,2021.中建海底峡谷地貌及沉积特征的分段性.地球科学,46(02):708-718.
33
34 420 Tian, J., Song, J., Ma, B. J., et al., 2021. Segmentation Features of Geomorphology and
35
36 421 Sedimentary Structure of Zhongjian Canyon. *Earth Science*, 46(2): 708-718 (in Chinese with
37
38 422 English abstract).
39
40 423 谈明轩,朱筱敏,耿名扬,等,2016.沉积物重力流流体转化沉积—混合事件层.沉积学
41
42 424 报,34(06):1108-1119.
43
44 425 Tan, M. X., ZHU, X. M., GENG, M. Y., et al., 2016. The Flow Transforming Deposits of
45
46 426 Sedimentary Gravity Flow-hybrid Event Bed. *Acta Sedimentologica Sinica*, 34(6):
47
48 427 1108-1119 (in Chinese with English abstract).
49
50 428 吴松涛,邹才能,朱如凯,等,2015.鄂尔多斯盆地上三叠统长7段泥页岩储集性能.地球科学(中国
51
52 429 地质大学学报),40(11):1810-1823.
53
54 430 Wu, S. T., Zou, C. N., Zhu, R. K., et al., 2015. Reservoir Quality Characterization of Upper
55
56 431 Triassic Chang 7 Shale in Ordos Basin. *Earth Science*, 40(11): 1810-1823 (in Chinese with
57
58 432 English abstract).
59
60 433 徐黎明,郭茛恒,刘元博,等,2021.鄂尔多斯盆地长7₃亚段深水重力流砂岩储层特征及控制因
434 素——以华池地区CY1井为例.天然气地球科学,32(12):1797-1809.

- 1
2
3
4 435 XU, L. M., GUO, Q. H., LIU, Y. B., et al., 2021. Characteristics and Controlling Factors of
5
6 436 Deep-water Gravity Flow Sandstone Reservoir in the Chang 73 sub-member in Ordos Basin :
7
8 437 Case Study of Well CY1 in Huachi Area. *Natural Gas Geoscience*, 32(12): 1797–1809 (in
9
10 438 Chinese with English abstract).
- 11 439 张家强,李士祥,李宏伟,等,2021.鄂尔多斯盆地延长组 7 油层组湖盆远端重力流沉积与深水油
12
13 440 气勘探——以城页水平井区长 7_3 小层为例.石油学报,42(05):570-587.
- 14
15 441 Zhang, J. Q., Li, S. X., Li, H. W., et al., 2021. Gravity Flow Deposits in the Distal Lacustrine
16
17 442 Basin of the 7th Reservoir Group of Yanchang Formation and Deepwater Oil and Gas
18
19 443 Exploration in Ordos Basin: a Case Study of Chang 73 Sublayer of Chengye Horizontal Well
20
21 444 Region. *Acta Petrolei Sinica*, 42(5): 570-587 (in Chinese with English abstract).
- 22
23 445 张倚安,李士祥,田景春,等,2021.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长 7 段深水重力流沉积类型.沉
24
25 446 积学报,39(02):297-309.
- 26
27 447 ZHANG, Y. An., Li, S. X., TIAN, J. C., et al., 2021. Sedimentation Types of Deep-water Gravity
28
29 448 Flow, Chang7 Member, Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin. *Acta*
30
31 449 *Sedimentologica Sinica*, 39(2): 297-309 (in Chinese with English abstract).
- 32
33 450 周新平,何青,刘江艳,等,2021.鄂尔多斯盆地三叠系延长组 7 段深水碎屑流沉积特征及成因.石
34
35 451 油与天然气地质,42(05):1063-1077.
- 36
37 452 Zhou, X. P., He, Q., Liu, J. Y., et al, 2021. Features and Origin of Deep-water Debris Flow
38
39 453 Deposits in the Triassic Chang 7 Member, Ordos Basin. *Oil & Gas Geology*, 42(5):
40
41 454 1063-1077 (in Chinese with English abstract).
- 42
43 455 朱如凯,金旭,王晓琦,等,2018.复杂储层多尺度数字岩石评价.地球科学,43(05):1773-1782.
- 44
45 456 Zhu, R. K., Jin, X., Wang, X. Q., et al., 2018. Multi-Scale Digital Rock Evaluation on Complex
46
47 457 Reservoir. *Earth Science*, 43(5): 1773-1782 (in Chinese with English abstract).
- 48
49 458 邹才能,杨智,张国生,等,2019.非常规油气地质学建立及实践.地质学报,93(01):12-23.
- 50
51 459 ZOU, C. N., YANG, Z., ZHANG, G. S., et al., 2019. Establishment and Practice of
52
53 460 Unconventional Oil and Gas Geology. *Acta Geologica Sinica*, 93(1):12-23 (in Chinese with
54
55 461 English abstract).
- 56
57 462 邹才能,赵群,王红岩,等,2021.非常规油气勘探开发理论技术助力我国油气增储上产.石油科技
58
59 463 论坛,40(03):72-79.
- 60 464 Zou, C. N., Zhao, Q., Wang, H. Y., et al., 2021. Theory and Technology of Unconventional Oil

1
2
3
4 465 and Gas Exploration and Development Helps China Increase Oil and Gas Reserves and
5 466 Production. *Petroleum Science and Technology Forum*, 40(3): 72-79 (in Chinese with
6
7 467 English abstract).
8
9

10 468

11
12 469

13
14
15 470

17
18 471 **Characteristics and exploration prospects of deep-water**
19
20 472 **sandstone reservoir of Chang 7₃ sub-member, Ordos Basin**
21

22 473

23
24 474 LIU Xianyang^{1,2}, GUO Wen^{1,3}, LIU Jiangyan^{1,3}, LI Shixiang^{1,3}

25
26 475 *1.National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas*
27 476 *Fields, Xi'an 710018, China;*

28
29 477 *2.PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China;*

30 478 *3.Exploration and Development Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an*
31 479 *710018, China*

32
33 480 **Abstract:** Thick organic-rich shale with thin silty sandstones is developed in Chang 7₃
34
35 481 sub-member of Yanchang Formation in Ordos Basin. The sandstones in deep water environment
36
37 482 are charged high intensity by source rocks and have a certain scale, which is an important target of
38
39 483 deep water exploration in the basin. Based on the core, logging and test data of Chang 7₃
40
41 484 sub-member, combined with the risk exploration practice of Lingye and Chiye horizontal Wells,
42
43 485 this paper discusses and analyzes the sedimentary and reservoir characteristics of deep-water
44
45 486 sandy rocks in Chang 7₃ sub-member. The results show that during the Chang 7₃ sedimentary
46
47 487 period, the water body was deep, organic-rich shale was developed, the Qiqin orogenic belt in the
48
49 488 southwest of the basin had frequent seismic and volcanic activities, and the source supply was
50
51 489 sufficient, the rainfall was large and the lake level was rising. The gravity flow deposits of slump
52
53 490 origin and flood origin were widely developed in the middle of the basin. Slope break belt
54
55 491 controlled the development of deep-water gravity flow, the characteristics of deep-water gravity
56
57 492 flow were controlled by the ancient landform and sedimentary microfacies, developing
58
59 493 sliding-slump, sandy debris flow, hybrid event bed, turbidity current and density flow, such as
60
494 slope break zone of slope toe, relatively rich ancient channel sand, sandy debris flow and turbidity

1
2
3
4 495 current deposits are favorable reservoir types; The single sand body is thin, with an average
5
6 496 thickness of 1m, and is isolated or superimposed. In terms of spatial thickness, length and width,
7
8 497 the combination of thick block single sand body and tightly continuous superimposed thin single
9
10 498 sand body is the reservoir expected to be drilled. Shale with high R_o and high TOC is the material
11
12 499 basis for sandy rock. Under high residual pressure difference, high-quality sandy "sweet spot" is
13
14 500 most likely to appear in the source-reservoir configuration relationship between tightly stacked
15
16 501 thin sandstone reservoir with better reservoir performance and interbedded high-quality source
17
18 502 rock. The exploration potential of deep-water sandy rocks in Chang 7₃ sub-member is good, so it
19
20 503 is necessary to continuously explore the geophysical exploration technology of thin reservoir and
21
22 504 the matched fracturing technology.

23 505 **Key words:** deep-water sandy deposits; horizontal well; exploration potential; the Chang 7₃
24
25 506 sub-member; Ordos Basin