

doi:10.3799/dqkx.2017.132

辽西低凸起北段源—汇系统精细描述与油气勘探实践

宋章强, 杜晓峰, 王启明, 加东辉, 李晓辉

中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459

摘要: 辽西低凸起北段现存物源区范围小, 长期被认为供源能力不足缺乏优质储层而成为勘探“禁区”。为理清辽西低凸起北段物源面貌及沉积储层分布规律, 综合利用钻井、测井和三维地震资料, 对古物源区面貌、古沟谷与坡折体系等源—汇要素精细描述, 预测了富砂沉积体平面分布, 并探讨了砂体差异富集的控制因素。结果表明: 研究区自南向北发育多个孤立的“链状岛”状隐性物源区, 并发育半充填型和侵蚀型两类古沟谷及 8 种坡折带组合类型, 多个近源沉积体环物源分布。源—汇耦合关系决定了砂体的富集程度, 其中物源区大小及持续发育时间是影响砂体发育的决定性因素, 断裂活动及坡折带类型进一步决定了不同位置砂体富集程度的差异性。上述新认识指导发现了锦州 25-1、锦州 20-2 北两个油气田。

关键词: 源—汇系统; 隐性物源; 沉积储层; 勘探实践; 辽西低凸起; 石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2017)11-2069-12

收稿日期: 2017-05-15

Source-to-Sink System Fine Description and Petroleum Exploration Practice of the Northern Section of Liaoxi Low Uplift

Song Zhangqiang, Du Xiaofeng, Wang Qiming, Jia Donghui, Li Xiaohui

Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China

Abstract: The northern section of Liaoxi low uplift used to be regarded as a “forbidden zone” for exploration because it has been believed to be short of generation supply capacity and high-quality reservoirs as a result of its small existing provenance area. In order to determine the provenance features and distribution of reservoir of northern section of Liaoxi low uplift, drilling, logging and 3D seismic data are used for the fine description of the elements of Source-to-Sink system, including ancient provenance features, ancient valleys and slope break system in this study. In addition, the horizontal distribution of sand rich deposits is predicted, and the controlling factors of differential enrichment of sand were are discussed. It is found that the recessive provenance areas developed are distributed from south to north in a shape of several isolated archipelagos in the study area. What's more, two kinds of ancient valleys, namely, half filling type and erosion type, and 8 kinds of combination type of slope break zone also develop in the study area and several proximal sedimentary deposits are distributed around the provenance. The coupling relationship of Source-to-Sink plays a decisive role in the enrichment degree of sand bodies, among which the size and duration of provenance are the determining factors in the development of sand bodies. Furthermore, the fault activity and types of slope break further determine the difference of the enrichment degree of sand bodies in different positions. The study results have been applied in the discovery of Jinzhou 25-1 and Jinzhou 20-2N oil and gas fields.

Key words: Source-to-Sink system; recessive provenance; sedimentary reservoir; exploration practice; Liaoxi low uplift; petroleum geology.

关于源—汇系统的研究正式起源于 1998 年美国国家自然科学基金委员会和联合海洋学会组织的

“大陆边缘计划”(MARGINS Program Science Plans, MARGINS Office, 2004)(高抒, 2005)。其沉

基金项目: 国家科技重大专项(No.2016ZX05024-003)。

作者简介: 宋章强(1981—), 男, 高级工程师, 主要从事沉积储层研究。ORCID: 0000-0002-0909-3982. E-mail: songzqh@cnooc.com.cn

引用格式: 宋章强, 杜晓峰, 王启明, 等, 2017. 辽西低凸起北段源—汇系统精细描述与油气勘探实践. 地球科学, 42(11): 2069—2080.

积学与地层学项目组研究专题为“从源到汇”(Source-to-Sink, S2S)(Carter *et al.*, 2010),自此源—汇系统研究逐渐成为国内外沉积学领域的研究热点和重要课题之一.国际上源—汇系统研究主要集中在对现代河流—三角洲沉积体系中沉积物的搬运过程进行研究,强调搬运过程中沉积物的滞留、组分变化等(Allen, 2008; Alexander *et al.*, 2010; Berryman *et al.*, 2010; Fuller and Marden, 2010),研究的焦点在于沉积物从源到汇全过程的驱动机制、古物源区演化恢复与古水系重建.

源—汇思想及研究方法同样引起了国内学者的重视(李铁刚等,2003;高抒,2005),并逐渐被应用在中国大陆边缘含油气盆地的古沉积体系研究中,进行了物源体系恢复、被动大陆边缘剥蚀—沉积过程恢复研究(祝彦贺等,2011;林畅松等,2015;刘强虎等,2015;廖计华等,2016;高丹等,2016).针对国内复杂陆相断陷盆地,渤海油田率先将源—汇思想引入到日常勘探研究中,并创新提出了“源—汇时空耦合控砂原理”(徐长贵,2013).该原理把有效物源、汇聚通道与砂体分布有机结合起来,极大缓解了复杂陆相断陷盆地储层预测困难的矛盾,在渤海油田多个区块富砂储层预测中取得了良好效果,指导了一批大中型油气田的勘探开发.该原理同时指出源—汇体系研究应该以物源体系研究为根本出发点,强调物源区剥蚀、沉积物搬运和堆积的整个过程以及三者之间的相互耦合关系.既重视传统大型物源区周边勘探,同时也重视盆内小型(低)凸起、凸起倾末端等在特定时期的供源能力,突破了找砂禁区,克服了传统物源认识的局限性,拓展了勘探领域.

前人研究多注重源—汇系统相关理论的总结(徐长贵,2013;林畅松等,2015;徐长贵等,2017),鲜有对某一地区源—汇系统精细解剖的具体案例分析.本文以辽西低凸起北段为靶区,以沙河街组沙一二段为主要研究对象,根据钻井、三维地震等资料,系统开展源—汇系统精细描述,重点研究物源识别与描述、沟谷坡折体系与控砂作用、富砂储层综合预测等方面内容,并探讨了富砂储层主控因素,相关成果认识可以为类似地区的油气勘探和相关研究提供一定借鉴作用.

1 地质背景

辽西低凸起位于渤海湾盆地的下辽河拗陷,东西两侧分别为辽中凹陷和辽西凹陷,呈北北东向狭长型展布,研究区位于辽西低凸起的北部倾末端(图1).两侧凹陷区均表现为东断西超的箕状凹陷特点,整体构造演化经历了古近纪早期(古新世—始新世初)的初始裂陷期、始新世中期强裂陷期、始新世晚期的裂后拗陷期、渐新世强拗陷期和新近纪裂后热沉降共5个阶段.低凸起区古近系沉积厚度小,且古近系下部地层普遍缺失,一般为沙一二段直接覆盖在潜山基底之上,局部地区沙河街组全部缺失基底之上直接被东营组覆盖;东西两侧凹陷区发育有巨厚的古近系沉积,除缺失古近系底部的孔店组和部分沙四段外,其他地层发育齐全,自下而上分别为沙四段、沙三段、沙一二段、东三段、东二段和东一段,勘探主要目标层系为古近系沙河街组的沙一二段和沙三段,其次为东营组东二段.综合地质条件分析认

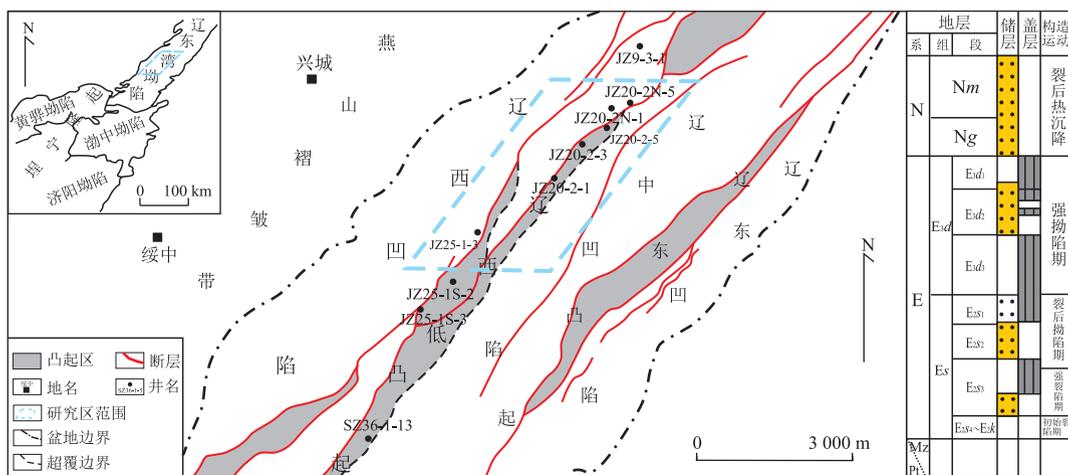


图1 辽西低凸起北段构造位置及地层柱状图

Fig.1 Tectonic location and stratigraphic column of the northern of Liaoxi low uplift

为研究区成藏条件优越、勘探潜力巨大,是高质量原油和天然气勘探的有利区带(朱筱敏等,2008;吕丁友等,2009;邹华耀等,2010;田立新等,2011)。

然而,能否找到大规模优质储层是制约该区勘探的瓶颈问题,早期中深层勘探全部因储层发育程度差而失利。早期区域沉积研究表明,辽西低凸起北段大部分区域被沙一段湖相碳酸盐岩覆盖,沙一二时期出露面积小,本区难以提供有效物源,而来自西部燕山带的大型辫状河三角洲因距离较远在研究区也难以形成优质储层。近年来,随着地质认识不断深化,新认识到本区存在隐性物源具有近源富砂储层发育基础(赖维成等,2010)。通过对研究区源—汇系统精细解剖,明确了盆内隐性物源的规模及特征、与富砂储层分布的响应关系,发现了多个富砂储层发育区,油气勘探取得了重大突破。

2 源—汇系统特征精细描述

源—汇基本思想决定了源—汇系统特征描述的基本内容。物源是优质砂体形成的物质基础,也是源—汇系统描述的关键点与首要任务;沉积物特征及其分布是源—汇描述的主要目的;而输导体系则是联系物源和沉积的桥梁和纽带。

2.1 (隐性)物源识别与描述

物源是储集砂体的物质基础,无物源则无储集层,物源区的规模、母岩性质、古地貌条件及古风化剥蚀环境从根本上决定了沉积储层的发育规模、分布位置和储层质量。陆相断陷盆地物源体系是比较复杂的,既有长期遭受风化剥蚀、稳定、容易识别的大型显性物源体系,如盆地外源的大型造山带、隆起带和盆地内部长期稳定发育的大型凸起区等;同时在盆地内部也存在有隐性物源体系,即遭受风化剥蚀时间较短,仅在某一特定时期发育,或者受后期构造运动影响改造,用传统认识方法难以识别的隐性物源区。

传统物源分析将研究层段顶的剥蚀范围作为物源区,这其实是整套地层沉积之后静态的物源区范围。这种方法对盆外大型隆起区具有很好的指示作用,但相对较小的盆内局部物源区或短时期发育的隐性物源区,则得不到有效反映甚至完全无法体现,隐性物源区的识别与描述就成了源—汇系统描述及富砂储层预测的首要任务。隐性物源区识别是根据物源动态变化思想而建立的(赖维成等,2010),受控于三级层序内湖平面变化的旋回性,即早期物源区

剥蚀范围大,晚期接受沉积而不能提供物源,由此造成早期剥蚀地层不容易被识别,形成隐性物源发育区。对研究区辽西低凸起北部倾末端的沙一二时期古物源面貌,可以分两个层次分别描述:一种是低凸起区上覆无沙一二段地层,属于长期继承型,该部分任何时候都可提供物源,但往往分布范围较小,代表了静态的最小物源区范围(图 2b);另一种则是早剥晚覆型,即低凸起区虽有很薄的目的层地层,但是受湖平面变化的影响,在湖水范围较大的湖浸与高位期才被水体淹没,早期低位期则有较大面积出露可作为物源区提供物源,这一认识物源区剥蚀区范围得到扩大,被晚期沉积覆盖的隐性物源区得以重新认识,是同一层序时间内最大物源区范围(图 2a)。

在辽西低凸起北段沙一二段沉积时期,受基准面的影响,相对湖平面发生变化,在早期低位域时期,低凸起区有较大面积出露水面,并遭受风化剥蚀,成为物源区。而晚期则由于湖泛期湖平面的上升而淹没于水下,接受沉积,形成了较薄的泥岩或湖相碳酸盐岩,这时候就不能提供有效物源。按照上述认识,与潜山面相比,以初始湖泛面地层突然加厚处为动态物源最大外边界,作为识别与刻画局部物源区隐形边界。平面上识别出多块相互孤立的呈北东向展布的“群岛”状隐形物源区,面积达 130 km²(图 2 和图 3)。

精细物源分析不仅要识别刻画出隐性物源的范围,物源区母岩岩石类型特征也是要重点分析的内容之一。研究区可作为母岩的古潜山地层岩性复杂多样,主要包括花岗岩、片麻岩、玄武岩、火山角砾岩和砂岩。不同类型的基岩在 seismic 波组特征上有明显

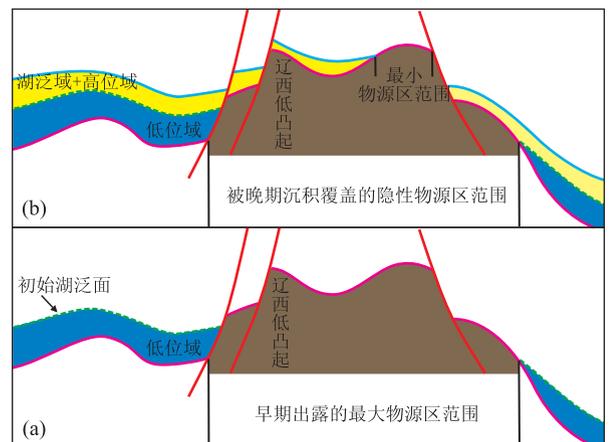


图 2 隐性物源区形成及边界分析示意

Fig.2 Diagram of the origin and boundary analysis technique of recessive provenance

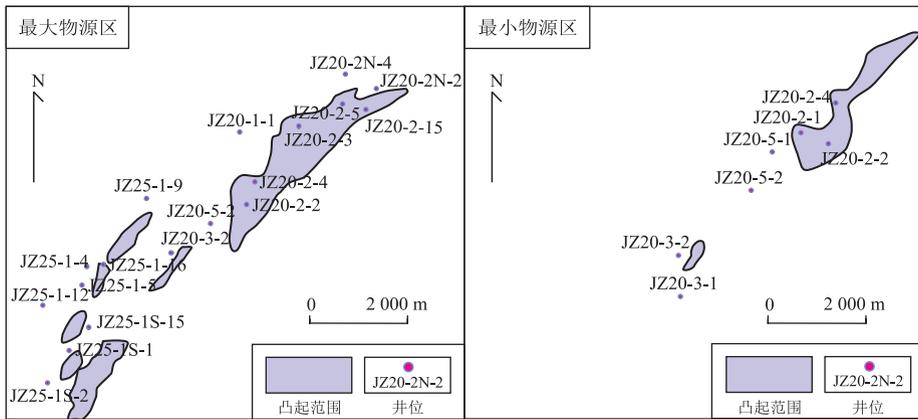


图 3 辽西低凸起北段沙河街组沉积时期物源边界分析

Fig.3 Provenance boundary analyze in the sedimentary period of Shahejie Formation of the northern section of Liaoxi low uplift

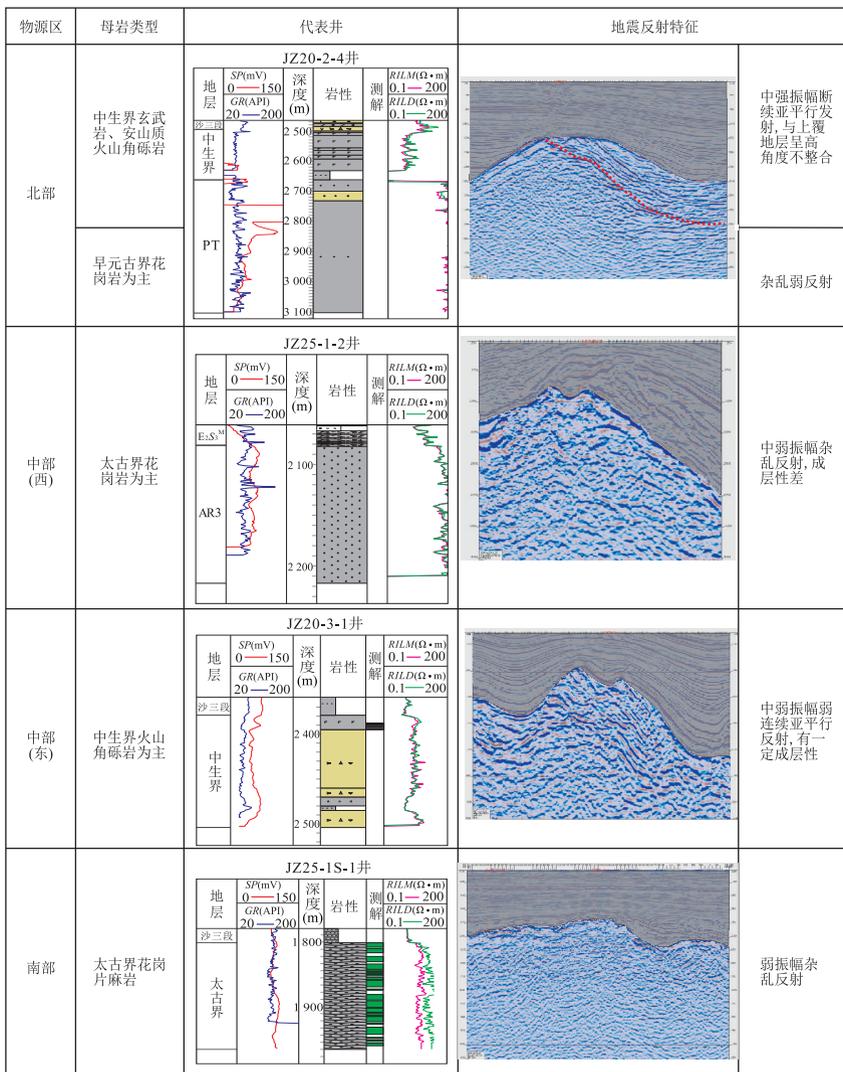


图 4 母岩类型及典型地震反射特征

Fig.4 Type of motherrock and its typical seismic reflection characteristics

差别,其中太古界花岗岩为中弱振幅杂乱反射,成层性差;而中生界火山岩类为断续中强振幅—弱反射,

地层产状稳定等(图 4)。利用上述地震响应差异,结合地层叠置关系,在地震剖面上追踪解释,可以较准

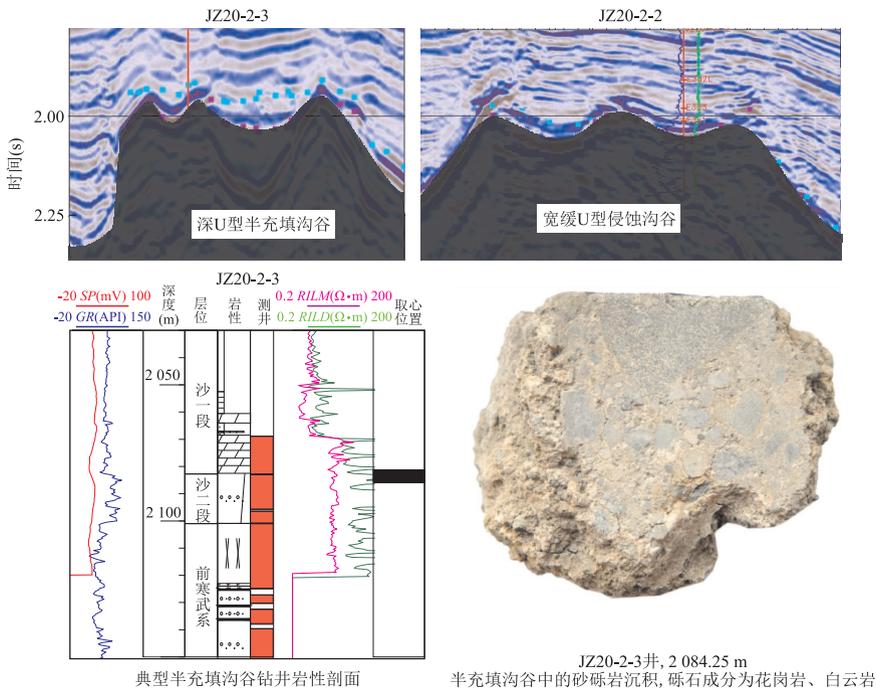


图 5 辽西低凸起北段古沟谷剖面特征及钻井证据

Fig.5 The profile feature and drilling evidence of ancient gully in the northern section of Liaoxi low uplift

确的预测基岩性质的平面分布,进而明确物源区供源能力,为下步富砂储层预测奠定基础。

2.2 古沟谷与坡折体系

古沟谷是物源区母岩剥蚀并搬运至沉积区的输送通道,是决定富砂沉积的关键因素之一,也是源-汇系统描述的必要环节。通过精细古地貌分析发现,沙三中亚段到沙二段早期剥蚀区长轴方向南北两侧均发育可以作为砂体运输通道的古沟谷,可细分为半充填型古沟谷和侵蚀型古沟谷两种类型(图 5)。半充填型古沟谷主要发育沿凸起长轴方向发育,剖面呈深 U 型,以 JZ20-2-3 井为例,在沙一二段薄层湖相碳酸盐岩与泥岩、油页岩互层底部,岩心发现有一套细一中砾岩,砾石分选磨圆中等,砾石成分与下覆前寒武系基本一致,分析其为一套沟道滞留沉积产物,这类沟谷是沉积搬运的直接证据,其前端往往发育富砂储层,也进一步验证了辽西低凸起北段沙一二段早期可以作为有效物源区。而侵蚀型沟谷则多发育于低凸起西部陡坡带,剖面呈比较宽缓的 U 型,滞留沉积不发育,其前端对应的富砂储层发育程度则需结合其他因素进一步判断。

断裂坡折带是由沉积构造长期活动引起的沉积斜坡明显突变的地带。坡折组合样式和低势区构型共同决定砂体分配方向和富集位置,坡折发育地带往往对应着砂体发育的地带(徐长贵,2006)。通过对

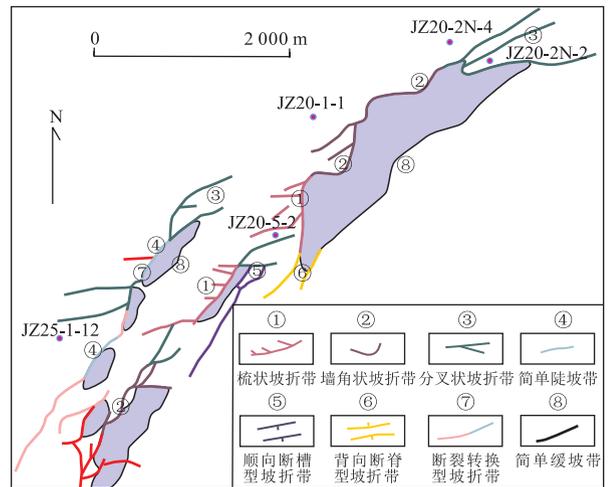


图 6 辽西低凸起北段坡折带组合类型

Fig. 6 Slope breaks combination types of the northern section of Liaoxi low uplift

断裂体系的研究,明确断裂的发育期次和活性,对同沉积断裂进行分类组合,与古地貌特征结合,综合分析不同断裂组合样式的控砂机制。研究区属于邻庐断裂带西支辽东湾段的一部分,其断裂活动性强,断裂发育样式复杂多样。根据断裂的组合样式和特征,辽西低凸起北段系统划分为梳状坡折带、墙角状坡折带、分叉状坡折带、断裂消减转换型坡折带、顺向断槽式坡折带、背向断脊式坡折带、简单陡坡带和简单缓坡带 8 种坡折带组合类型(图 6)。分析认为:

梳状坡折带、墙角状坡折带、分叉状坡折带、断裂消减转换型坡折带对砂体聚集最为有利;而断脊式坡折带和简单缓坡带则不利于厚层砂体发育.对于不同类型坡折带控砂模式,前人已有深入研究,这里就不再赘述.

2.3 物源区构造演化对砂体发育模式的影响

研究区古近纪经历了多次裂陷构造活动,不同时期物源区面貌、坡折发育特征有显著差异,造成物源供给、输导及砂体富集模式的差异性.而砂体发育模式对富砂沉积预测有明显指导作用,是研究区海域少井条件下提高砂体预测成功率的关键.

始新世早期(沙三段沉积时期)为盆地主裂陷期,辽西低凸起区北段出露面积较大,存在大范围的剥蚀区(赖维成等,2010),边界断裂发育且活动性强,来自辽西低凸起物源的粗碎屑物质可直接在各断裂坡折带下沉积下来,形成近源陡坡扇三角洲沉积;如锦州 25-1 油田的 3 井区就是典型实例,在同向消减式转换带下方形成了厚层的扇三角洲富砂沉积体(徐长贵,2013).在沙三中湖泛期,由于快速沉降及沉积基准面的上升,凸起区部分被淹没于水下,洼陷内深水沉积为主,局部发育重力流沉积(图 7a).

始新世中期(沙二段沉积时期),盆地演化转入裂陷后拗陷期,处于一种断—拗转换状态,断裂活动逐步减弱,凸起区剥蚀区范围减小,高部位剥蚀区整体成条带状北东向展布(图 3).凸起区除边界断层发育外,在凸起区的南北两侧断层开始发育,形成小型分叉状断裂坡折带或梳状断裂坡折带(图 6),此时,在剥蚀区长轴方向南北两侧均发育可作为砂体输运通道的古沟谷,砂体通过古沟谷在剥蚀区南北两端小型断裂坡折带沉积下来,呈现局部物源—长轴沟谷—小型断裂坡折的源—汇体系特征,发育辫状河三角洲沉积,锦州 20-2 北油田沙二段辫状河三角洲富砂储层就是典型案例.此时期因凸起区出露剥蚀区面积减小,同时西部边界断裂活动进一步减弱,西侧近源扇体发育规模与沙三期相比富砂储层厚度和平面规模进一步萎缩(图 7b).

始新世末期(沙二段晚期至沙一段沉积时期),随着构造活动减弱及湖平面的不断上升,各类断裂坡折带逐渐消失,辽西低凸起北段整体淹没于水下,此时辽西低凸起已经不具备陆源碎屑供给能力,周边碎屑储层不发育.但相对高的古地貌形态依然存在,水下古隆起地带水体清浅、阳光充足、有利于碳酸盐岩的生长,在高部位形成碳酸盐岩台地相沉积,生物碎屑礁、滩成为重要的油气储层(图 7c).

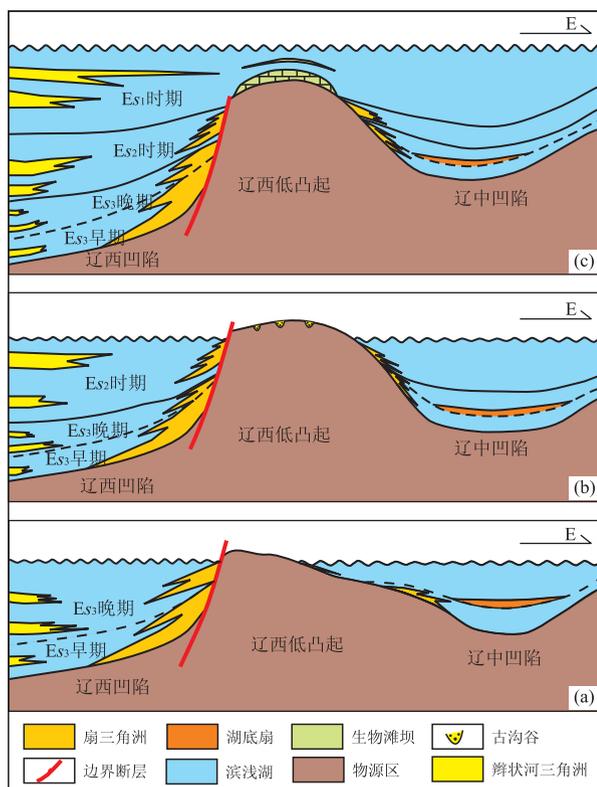


图 7 辽西低凸起北段古隆起演化及其对沉积体系发育分布的控制作用

Fig.7 The evolution of ancient uplift and its control action on the distribution of sedimentary system in the northern section of Liaoxi low uplift

由早期到晚期,辽西低凸起周缘的沉积体系类型和优质储层分布有明显不同,早期在低凸起短轴的断坡带发育扇三角洲,优质储层在短轴方向分布,中期在低凸起的长轴方向发育辫状河三角洲,优质储层在长轴方向分布,晚期低凸起淹没于水下,发育湖泊沉积,缺少优质碎屑岩储层.

2.4 富砂沉积体综合预测与描述

富砂沉积体预测与描述,是复杂陆相断陷盆地进行源—汇系统研究的主要目的,也是中深层油气勘探中面临的难点之一.针对研究区目的层沙一二段地层薄、资料品质差的情况,采取地质模式指导下的地质—地震富砂沉积体综合预测思路及技术方法(赖维成等,2009;周心怀等,2012),以完成富砂沉积体精细预测与描述.

在前述物源区识别描述、沟谷和坡折分析与控砂模式认识基础上,采取富砂成因相分析、精细井震标定与富砂沉积相类比相结合方式,建立研究区不同沉积类型地震反射特征与富砂程度识别模板(图 8).结合已钻井测井曲线形态、岩心岩相及地震相综合分

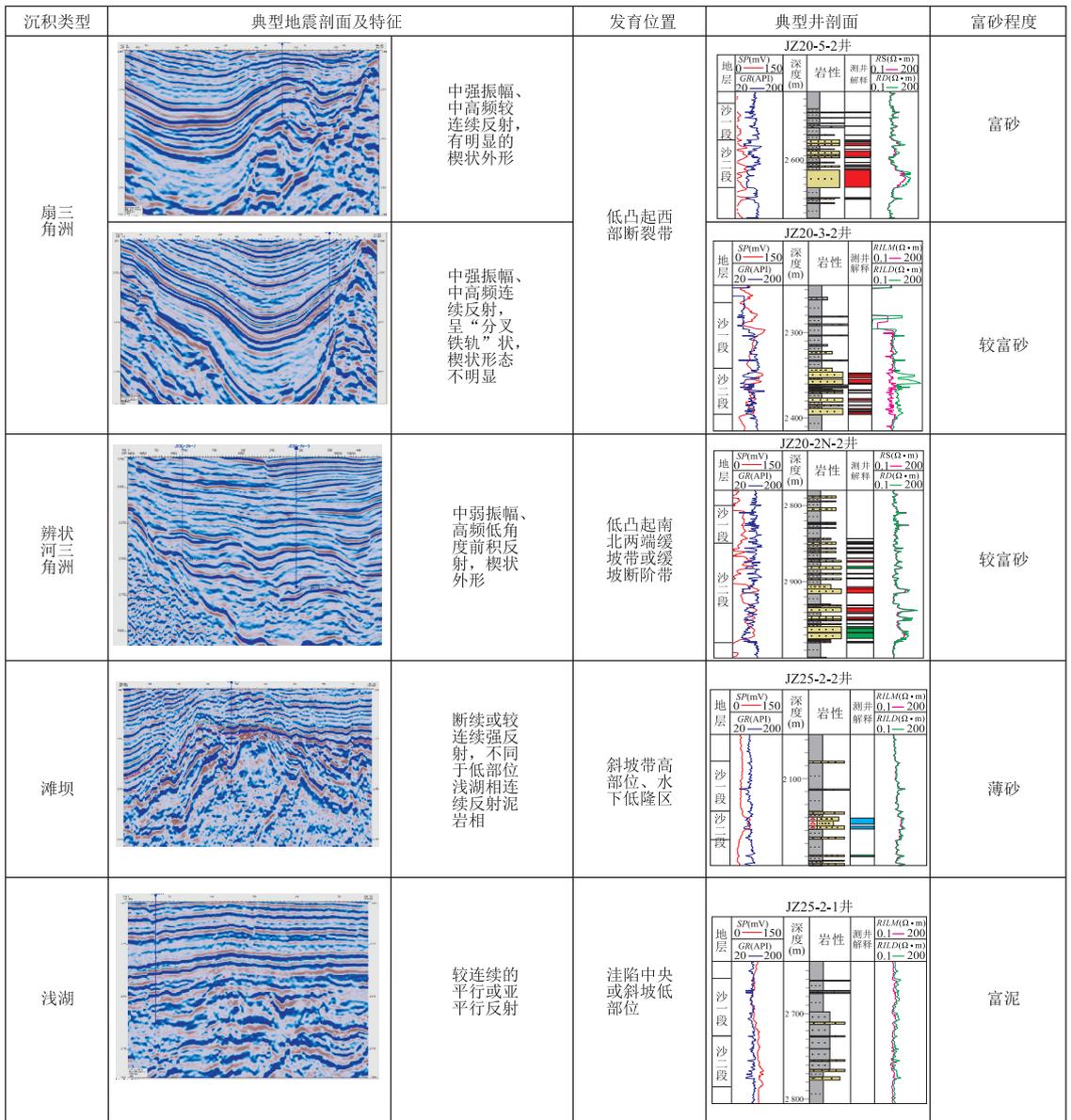


图 8 辽西低凸起北段典型沉积类型地震反射特征及富砂性

Fig.8 Comprehensive chart of seismic reflection characteristics and sand rich property of typical sedimentary types in the northern section of Liaoxi low uplift

析,本区沙一二段识别出近源扇三角洲、辫状河三角洲、滨浅湖滩坝和浅湖 4 种沉积类型:一类扇三角洲呈中强振幅、中高频较连续反射,有明显的楔状外形,厚度大较为富砂;另一类扇三角洲呈中强振幅、中高频连续反射,“分叉铁轨”状,楔状形态不明显,厚度及富砂程度中等;辫状河三角洲则呈中弱振幅、高频低角度前积反射,楔状外形特征明显,沉积主体部位较富砂;滩坝沉积仅在局部发育,呈断续或较连续强反射,与低部位浅湖相泥岩连续反射有明显差异。

同时,根据研究区富砂地震相差异响应特征,综合考虑富泥围岩相背景反射特征,在目的层有效时

窗内提取对振幅、频率、连续性等比较敏感的属性。多属性分析结果表明,研究区范围大,受地震资料品质差异和富砂地震响应类型多样共同影响,分区带的局部识别地震异常体效果较好,多属性分析呈现的异常体和富砂宏观地震相分布比较吻合。

3 源-汇系统特征及差异性主控因素分析

通过上述隐性物源的识别与描述、沟谷坡折体系分析、富砂模式及演化特征、富砂沉积体精细刻画

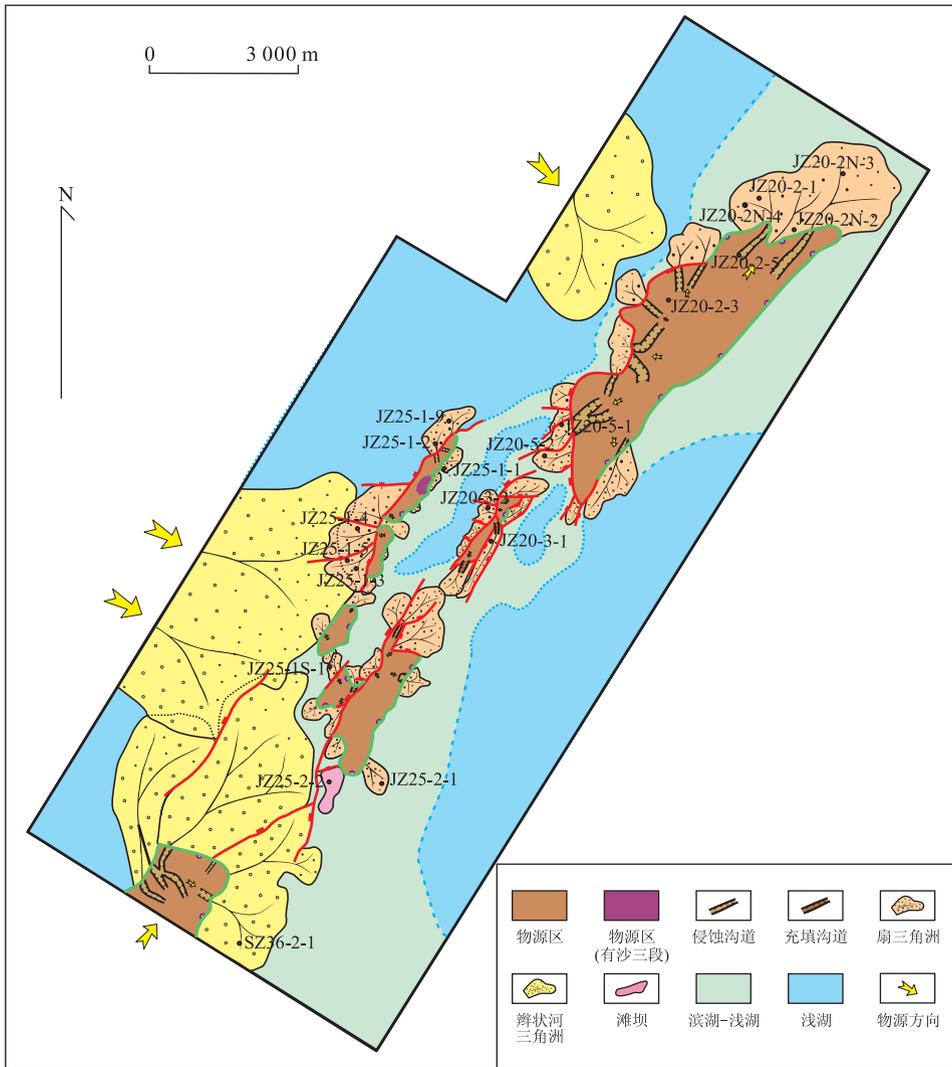


图 9 辽西低凸起北段沙二时期源—汇体系

Fig.9 The Source-to-Sink system diagram of Es_2 period in the northern section of Liaoxi low uplift

等综合研究,在辽西低凸起北段沙二时期找到了多个源—汇系统,明确了有利砂体发育范围和分布特征(图 9)。研究结果和后期钻探实践均表明,研究区源—汇系统响应特征具有明显的差异性,不同源—汇系统物源区大小、有效发育时间、断裂坡折类型的差异性及其耦合关系,决定了砂体发育富集程度的差异(表 1)。

首先,物源区供源能力是影响砂体富集的首要决定性因素。4 个物源区对应的源—汇体系中以北部锦州 20-2 构造区物源面积最大,且持续发育时间最长(晚期仍有部分出露),其相应的源—汇系统中砂体也最为发育,地层厚度大、储层砂体发育程度高,钻井揭示沙二段厚 66.85~150.00 m,砂岩厚度 45.71~64.88 m、平均厚度为 51.23 m。而中部两个面积较小的物源区,地层及砂岩发育程度则明显稍低,

地层厚度 33~100 m,储层砂岩厚度 7.5~51.7 m、平均为 26.61 m。以 JZ20-3-2 井与 JZ20-5-2 井处于两个源—汇系统大致相同的构造位置的两口井做对比,北部的 JZ20-5-2 井地层厚度、砂体厚度上明显高于中部的 JZ20-3-2 井。物源区母岩性质是影响其供源能力的重要因素,研究区母岩以早元古—太古界花岗岩、花岗岩片麻岩以及中生界的玄武岩、火山角砾岩为主,上述母岩经风化剥蚀后可以提供大量的粗粒碎屑,是形成富砂沉积体的物质保障。相反,如果母岩古生界寒武系—奥陶系碳酸盐岩、亦或是早期沉积的富泥沉积,则母岩有效性大大降低,难以形成富砂沉积。这种差异在中部(西)物源区表现明显,其北部 JZ25-1-1 井附近现今局部仍有沙三段细粒泥质沉积残留,表明沙二段沉积时期物源区有更大范围的沙三地层,作为母岩粗粒碎屑物供给能力不

表 1 辽西低凸起北段沙二时期源-汇系统及砂体差异特征

Table 1 Source-to-Sink system and feature table of sand body difference of Es₂ period in the northern section of Liaoxi low uplift

物源位置	物源区大小	坡折类型	沉积类型	代表井	地层厚度(m)	砂岩厚度(m)	平均砂岩厚度(m)	
南部	中等	局部低隆	滩坝	JZ25-2-2	22.00	130.50	17.28	13.05
		缓坡带	缓坡扇	JZ25-2-1	59.50	21.50		21.50
中部(西)	较小	缓坡带	缓坡扇	JZ25-1-1	33.00	7.50	26.61	7.50
		断裂陡坡带	近源陡坡扇	JZ25-1-2	96.50	16.00		30.43
				JZ25-1-3	71.50	28.04		
				JZ25-1-5	100.00	23.60		
				JZ25-1-4	95.00	32.80		
JZ25-1-9	89.50	51.70						
中部(东)	较小	缓坡带	缓坡扇	JZ20-3-1	28.50	12.50	23.47	12.50
		陡坡带	近源陡坡扇	JZ20-3-2	54.00	34.44		34.44
北部	较大	陡坡带	近源陡坡扇	JZ20-5-2	66.85	45.71	51.23	45.71
		轴向沟谷	轴向辫状河三角洲	JZ20-2N-1	127.00	52.30		52.61
				JZ20-2N-2	150.00	64.88		
				JZ20-2N-3	143.00	43.00		
				JZ20-2N-4	146.00	50.26		

足,两侧的 JZ25-1-2 井、JZ25-1-1 井富砂程度远低于其南部的 JZ25-1-3 井区(图 9,表 1)。

其次,断裂活动性及坡折带类型进一步决定了同一物源体系不同位置砂体富集程度的差异性。陡坡带因其断裂活动性强,相应地造成附近物源区的侵蚀剥蚀能力远高于断裂活动不发育的缓坡带,同时多数输导沟谷的形成也与强断裂活动相关,因此一般陡坡带地层厚度及砂体发育程度均高于缓坡带。以面积较小的中部(西)锦州 25-1 区为例,其陡坡带地层厚度为 71.5~100.0 m,砂岩厚度为 23.6~51.7 m、平均为 30.43 m;而缓坡带 JZ25-1-1 井揭示地层厚度为 33 m,砂岩厚度仅为 7.5 m。

最后,需要强调的是轴向输导性沟谷对富砂沉积的控制作用明显,是本区最有利的砂体发育区。研究区沙二时期北部源-汇体系发育北北东方向的轴向型沟谷,对应于锦州 20-2N 构造区发育的辫状河三角洲沉积,其钻井揭示厚度 127~150 m,砂岩厚度 43.00~64.88 m、平均厚度达 52.61 m,为整个研究区砂体最为发育区。探究其成因,一是与前述该时期构造演化有关,沙二时期西部陡坡带断裂活动减弱,北部断裂开始发育逐渐形成轴向沟谷,改变了原有的砂体有利输导方向;另一个原因笔者认为受物源区面貌特征和沟谷的配置关系的影响,该地区

物源区呈北北东方向狭长型展布特征,与物源区展布方向一致的轴向沟谷,其物源区对应的剥蚀面积无疑更大,更多的物源区剥蚀的砂质碎屑沿北北东方向轴向沟谷输导,在坡折带下方形成厚层辫状三角洲沉积。

4 预测成效与油气勘探实践

在源-汇思想指导下,突破了辽西低凸起北段中深部储层不发育的传统认识,新认识到低凸起及其倾末端在特定时期特定条件下也可作为有效物源区,周边具有优质储层发育的基础。研究区源-汇系统的精细描述及控砂因素分析成果认识,为该地区油气勘探勘探提供了依据,指导发现了锦州 25-1、锦州 20-2 北两个大中型油气田及锦州 20-3、锦州 20-5 等含油气构造(图 10),新钻井富砂储层预测成功率接近 100%,同时也发现了多个有利富砂构造区,解决了制约本区勘探的关键问题。

5 结论

(1)辽西低凸起北段沙一二时期存在隐性物源:早期物源区面积较大,呈多块孤立的“群岛状”北北

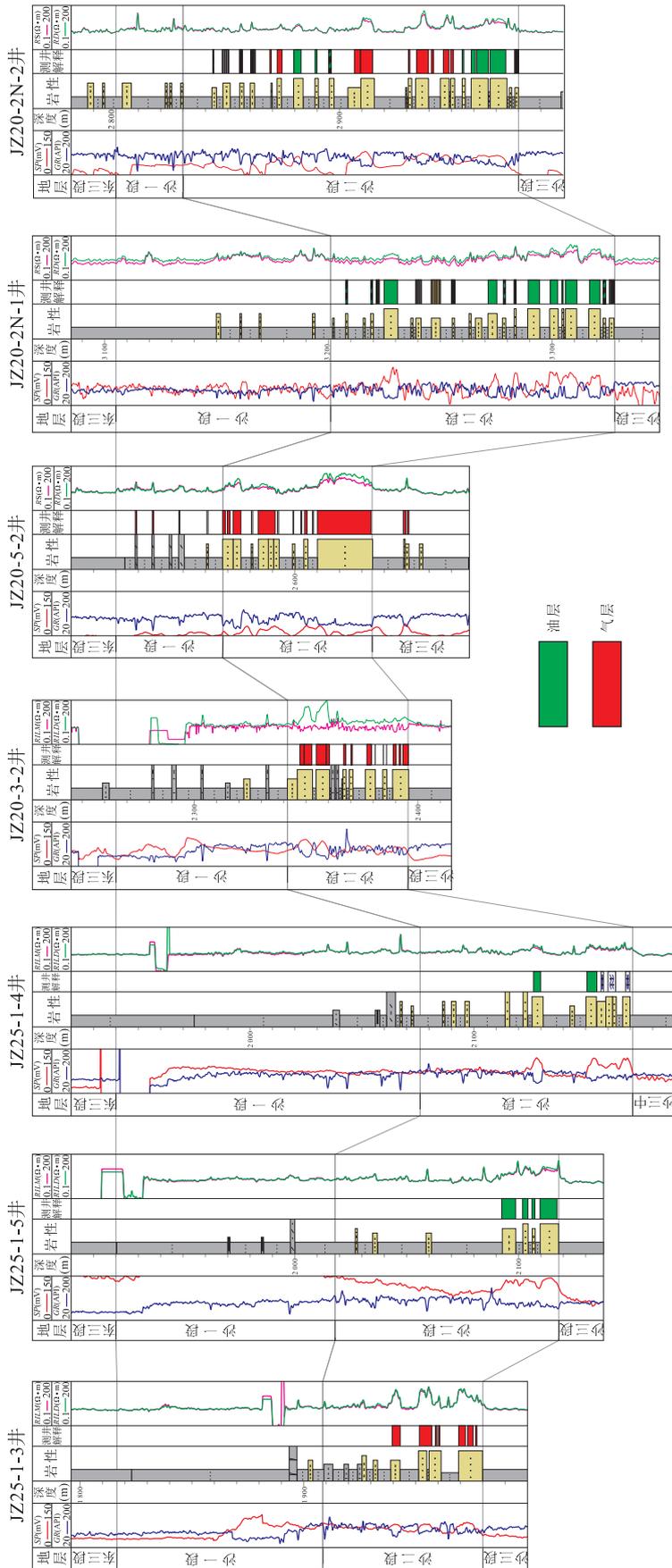


图 10 辽西低凸起北段沙二段富砂沉积体预测与勘探成效
 Fig. 10 The sand rich sedimentary body prediction and exploration effect of Es₂ period in the northern section of Liaoxi low uplift

东向展布;后被晚期沉积所覆盖,形成了时间上的隐性物源特征.隐性物源为周边砂体发育提供了物质基础.

(2)物源区大小及持续发育时间是影响砂体发育的决定性因素,北部物源区面积大、持续发育剥蚀时间相对较长,其周边砂体也最为富集;断裂活动及坡折带类型进一步决定了不同位置砂体富集程度的差异性,以轴向沟谷分叉状断裂坡折带、墙角状断裂坡折带、转换型断裂坡折带砂体富集程度相对较高.

(3)勘探实践证明辽西低凸起北段富砂沉积体环物源差异分布的特点,在传统的勘探禁区中油气勘探获得重大突破,新发现了锦州 25-1、锦州 20-2 北两个大中型油气田及多个含油气构造.

References

- Alexander, C.R., Walsh, J.P., Orpin, A.R., 2010. Modern Sediment Dispersal and Accumulation on the Outer Poverty Continental Margin. *Marine Geology*, 270: 213—226. doi:10.1016/j.margeo.2009.10.015
- Allen, P.A., 2008. From Landscapes into Geological History. *Nature*, 451: 274—276. doi:10.1038/nature06586
- Berryman, K., Marden, M., Palmer, A., et al., 2010. The Post-Glacial Downcutting History in the Waihuka Tributary of Waipaoa River, Gisborne District: Implications for Tectonics and Landscape Evolution in the Hikurangi Subduction Margin, New Zealand. *Marine Geology*, 270: 55—71. doi:10.1016/j.margeo.2009.10.001
- Carter, L., Orpin, A. R., Kuehl, S. A., 2010. From Mountain Source to Ocean Sink- the Passage of Sediment across an Active Margin, Waipaoa Sedimentary System, New Zealand. *Marine Geology*, 270: 1—10. doi: 10.1016/j.margeo.2009.12.010
- Fuller, I. C., Marden, M., 2010. Rapid Channel Response to Variability in Sediment Supply: Cutting and Filling of the Tarndale-Fan, Waipaoa Catchment, New Zealand. *Marine Geology*, 270: 45—54. doi: 10.1016/j.margeo.2009.10.004
- Gao, D., Cheng, R. H., Shen, Y. J., et al., 2016. Southwestern Provenance-Sedimentary System and Provenance Tectonic Setting of Eastern Sag in the North Yellow Sea Basin. *Earth Science*, 41(7): 1171—1187 (in Chinese with English abstract).
- Gao, S., 2005. Comments on the “NFS Margins Program Science Plans 2004”. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 25(1): 119—123 (in Chinese with English abstract).
- Lai, W.C., Song, Z.Q., Zhou, X.H., et al., 2009. Geology-Seismic Technique of Reservoir Predication and Its Application in Bohai Offshore Area. *Geoscience*, 23(5): 933—939 (in Chinese with English abstract).
- Lai, W.C., Song, Z.Q., Zhou, X.H., et al., 2010. Model of Dynamic Source Controlling Sand. *Petroleum Exploration and Development*, 37(6): 763—768 (in Chinese with English abstract).
- Li, T.G., Cao, Q.Y., Li, A.C., et al., 2003. Source to Sink: Sedimentation in the Continental Margins. *Advance in Earth Sciences*, 18(5): 713—721 (in Chinese with English abstract).
- Liao, J.H., Xu, Q., Chen, Y., et al., 2016. Sedimentary Characteristics and Genesis of the Deepwater Channel System in Zhujiang Formation of Baiyun-Liwan Sag. *Earth Science*, 41(6): 1041—1054 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C.S., Xia, Q.L., Shi, H.S., et al., 2015. Geomorphological Evolution, Source to Sink System and Basin Analysis. *Earth Science Frontiers*, 22(1): 9—20 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Q.H., Zhu, H.T., Shu, Y., et al., 2015. Provenance Systems and Their Control on the Beach-Bar of Paleogene Enping Formation, Enping Sag, Pearl River Mouth Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 36(3): 286—299 (in Chinese with English abstract).
- Lv, D.Y., Yang, M.H., Zhou, X.H., et al., 2009. Structural Characteristics and Hydrocarbon Accumulation in the Buried Hills of the Liaoxi Low Salient, the Liaodong Bay Depression. *Oil & Gas Geology*, 30(4): 490—497 (in Chinese with English abstract).
- Tian, L.X., Xu, C.G., Jiang, S.K., 2011. Hydrocarbon Accumulation Conditions and Process of Jinzhou 25-1 Large-Scale Light Gas-Oil Field in Liaodong Bay. *Journal of China University of Petroleum*, 35(4): 47—52 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C.G., 2006. Genetic Types of Paleogene Slope-Break Zones and Their Controls on Depositional System in Bohai Offshore. *China Offshore Oil and Gas*, 18(6): 365—371 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C.G., 2013. Controlling Sand Principle of Source-Sink Coupling in Time and Space in Continental Rift Basins: Basic Idea, Conceptual Systems and Controlling Sand Models. *China Offshore Oil and Gas*, 25(4): 1—11 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C.G., Du, X.F., Xu, W., et al., 2017. New Advances and Trends of “Source-to-Sink” Research in Sedimentary Basin. *Oil & Gas Geology*, 38(1): 1—11 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X.H., Lai, W.C., Du, X.F., et al., 2012. Some Key Exploration Techniques for the Subtle Reservoirs and Their Appli-

- cation in Bohai Water. *China Offshore Oil and Gas*, 24 (Suppl.1): 11–18 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X. M., Dong, Y. L., Yang, J. S., et al., 2008. Sequence Stratigraphy and Sedimentary System Distribution in Paleogene, Liaodong Area. *Science in China: Earth Science Press*, 38(Suppl.1): 1–10 (in Chinese).
- Zhu, Y. H., Zhu, W. L., Xu, Q., et al., 2011. Sedimentary Response to Shelf-Edge Delta and Slope Deep-Water Fan in 13.8 Ma of Miocene Epoch in Pearl River Mouth Basin. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 42 (12): 3827–3834 (in Chinese with English abstract).
- Zou, H. Y., Zhou, X. H., Bao, X. H., et al., 2010. Controlling Factors and Models for Hydrocarbon Enrichment/Depletion in Paleogene and Neogene, Bohai Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 31 (6): 885–893 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 高丹, 程日辉, 沈艳杰, 等, 2016. 北黄海盆地东部坳陷侏罗纪西南物源—沉积体系与源区构造背景. *地球科学*, 41 (7): 1171–1187.
- 高抒, 2005. 美国《洋陆边缘科学计划 2004》述评. *海洋地质与第四纪地质*, 25(1): 119–123.
- 赖维成, 宋章强, 周心怀, 等, 2009. 地质—地震储层预测技术及其在渤海海域的应用. *现代地质*, 23(5): 933–939.
- 赖维成, 宋章强, 周心怀, 等, 2010. “动态物源”控砂模式. *石油勘探与开发*, 37(6): 763–768.
- 李铁刚, 曹奇原, 李安春, 等, 2003. 从源到汇: 大陆边缘的沉积作用. *地球科学进展*, 18(5): 713–721.
- 廖计华, 徐强, 陈莹, 等, 2016. 白云—荔湾凹陷珠江组大型深水水道体系沉积特征及成因机制. *地球科学*, 41(6): 1041–1054.
- 林畅松, 夏庆龙, 施和生, 等, 2015. 地貌演化、源—汇过程与盆地分析. *地质前缘*, 22(1): 9–20.
- 刘强虎, 朱洪涛, 舒誉, 等, 2015. 珠江口盆地恩平凹陷古近系恩平组物源体系及其对滩坝的控制. *石油学报*, 36(3): 286–299.
- 吕丁友, 杨明慧, 周心怀, 等, 2009. 辽东湾坳陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集. *石油与天然气地质*, 30(4): 490–497.
- 田立新, 徐长贵, 江尚昆, 2011. 辽东湾地区锦州 25-1 大型轻质油气田成藏条件与成藏过程. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 35(4): 47–52.
- 徐长贵, 2006. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制. *中国海上油气*, 18(6): 365–371.
- 徐长贵, 2013. 陆相断陷盆地源—汇时空耦合控砂原理: 基本思想、概念体系及控砂模式. *中国海上油气*, 25(4): 1–11.
- 徐长贵, 杜晓峰, 徐伟, 等, 2017. 沉积盆地“源—汇”体系研究新进展. *石油与天然气地质*, 38(1): 1–11.
- 周心怀, 赖维成, 杜晓峰, 等, 2012. 渤海海域隐蔽油气藏勘探关键技术及其应用成效. *中国海上油气*, 24(增刊 1): 11–18.
- 朱筱敏, 董艳蕾, 杨俊生, 等, 2008. 辽东湾地区古近系层序地层格架与沉积体系分布. *中国科学: 地球科学*, 38(增刊 1): 1–10.
- 祝彦贺, 朱伟林, 徐强, 等, 2011. 珠江口盆地 13.8 Ma 陆架边缘三角洲与陆坡深水扇的“源—汇”关系. *中南大学学报(自然科学版)*, 42(12): 3827–3834.
- 邹华耀, 周心怀, 鲍晓欢, 等, 2010. 渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式. *石油学报*, 31(6): 885–893.