

文章编号: 0253-2697(2003)05-0074-05

濮城油田沙三中层序格架内储层非均质性研究

尹太举^{1,2} 张昌民³ 李中超⁴ 毛立华⁴ 曾大乾⁴ 尹艳树³

(1. 中原油田博士后科研工作站 河南濮阳 457001; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083;
3. 长江大学 湖北荆州 434023; 4. 中原油田勘探开发研究院 河南濮阳 457001)

摘要: 对濮城油田沙三中油藏的研究表明,基准面旋回控制了砂体展布及储层的非均质性特征。在短期基准面上升期,形成向上物性变差、高渗段位于砂层下部的层内非均质模式;而在短期基准面下降期,形成向上物性变好、高渗段位于中上部的层内非均质模式。在中长期基准面较低位置处,砂体厚度大、分布面积广,沟道相对较为发育,物性相对较好;而在中长期基准面较高位置处,砂体厚度薄、面积小,沟道不发育,储层物性较差。在中长期基准面上升旋回内形成向上物性变差的层间非均质格局,而在中长期下降期则形成向上物性变好的非均质性格局。在水下扇前缘区,靠近湖心区其剖面上砂体中的沟道成分减小,砂体连通性和连续性及物性变差;而向岸方向则砂体相对较连续,物性较好。

关键词: 基准面旋回; 储层结构; 非均质性; 砂体厚度; 物性; 濮城油田

中图分类号: TE343 **文献标识码:** A

Reservoir heterogeneity analysis in the base level frame of Pucheng Oilfield

YIN Tai-ju^{1,2} ZHANG Chang-min³ LI Zhong-chao⁴ MAO Li-hua⁴ ZENG Da-qian⁴ YIN Yan-shu³

(1. Working Station for Postdoctoral Scientific Research of Zhongyuan Oil Field Company Ltd., Puyang 457001, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083; 3. Yangtze University, Jingzhou 434023, China;
4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development of Zhongyuan Oil Field Company Ltd., Puyang 457001, China)

Abstract: The base level cycle controlled sand distribution and the reservoir heterogeneities in Pucheng oil reservoir. In the rising period of short cycle, the reservoir heterogeneity model with better property at the bottom of the sandstone and poorer to top, as well as with a totally different way in the falling semi-cycle. It was reversed in the lowering period of short cycle. At the lower position of medium and long term cycles, braided channels with a wide spread area and good property were well developed, while the braided channels were small, and the sand spread area was limited with poor property at the high position of the cycles. In the rising semi-cycle of long-and medium-cycles, the reservoir became poorer from bottom to top, while it became better in the falling semi-cycle. From the bank to lacustrine center, the braided channel became weaker and smaller, and the reservoir architecture turned from mainly channel sands near the middle fan to mainly sheet-like sands near the front of middle fan, and finally turned to lacustrine mud in the lake center.

Key words: base level cycle; reservoir architecture; heterogeneity; sands thickness; physical property; Pucheng Oilfield

基于地层基准面原理进行油藏描述的研究方法是近年来油藏描述中的一个热点。Cross认为其不仅能解决储层格架的问题,对油藏的开发分析也具有重要意义^[1]。邓宏文将其引入国内后^[2],大多数的研究集中于勘探及开发早期储层地层格架的建立^[3-5],尽管在油田开发研究中也有一定的尝试^[6,7],就其在开发的应用上,目前所作的工作还较少。在濮城油田沙三中油藏精细描述中,笔者发现基准面旋回对储层的非

均质性有明显的控制作用,基准面格架内储层非均质性是规律可循的。

濮城油田位于东濮凹陷东北缘,含油层系为沙河街组。该凹陷形成于中新世,是渤海湾盆地中最西缘的一个凹陷。凹陷东以兰考—聊城基底断裂与鲁西隆起的菏泽凸起为界,西为内黄隆起,南隔兰考凸起与开封凹陷为邻,北以马陵断层与莘县凹陷相连,呈北北东向展布,北窄南宽(图1)。兰聊、长垣、黄河三条基

基金项目: 中国石油青年创新基金资助项目(2002F70104)“正弦曲线型地层基准面旋回定量理论模型与层序模型”和中国石化集团公司科技攻关项目(P031033)“深层低渗难动用储量开发配套技术”部分研究成果。

作者简介: 尹太举,男,1971年7月生,1995年毕业于江汉石油学院地质系,现为中原油田勘探开发研究院博士后流动站和中国石化中原油田分公司博士后工作站博士后科研人员,主要从事储层沉积学和开发地质研究。

岩断裂控制了断陷的形成与发展,凹陷早期为箕状凹陷,后发展成双断式的断陷。凹陷从形成到消亡经历了由沉降到抬升两大沉降旋回($E_k-Es_2^f$)、(Es_2-E_d)共6个发展阶段,包括初期裂陷($E_k-Es_4^f$)、强烈裂陷($Es_4^f-Es_3$)、萎缩(Es_2)、稳定下沉(Es_1)、收缩(E_d)和消亡—凹陷(N)等。

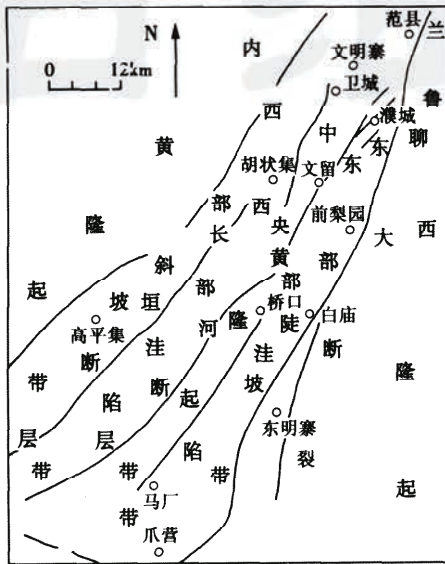


图1 濮城油田构造位置图

Fig.1 Tectonic location of Pucheng oil field

研究区块位于凹陷东部凹陷带北缘(图1),目的层形成于盆地强烈裂陷期,储层主要为水下扇沉积。主要砂体类型为沟道砂、席状砂;储层岩性以粉砂岩为主,细喉、中低孔、低渗储层。郑鸿稳^[8]、曾大乾^[5]等曾对该区进行过层序地层学研究。

1 储层层序地层格架

1.1 基准面旋回划分

以湖泛面为层序边界,在对岩心和测井资料分析的基础上,结合地震反射特征识别出四级基准面旋回:超短期旋回,短期旋回,中期旋回,长期旋回;在研究层段内识别出27个短期旋回、6个中期旋回和1个长期旋回。以短期旋回为单元,讨论储层的沉积演化、非均质性和油气分布规律。

超短期旋回:相当于单一沉积事件的沉积,是由沉积事件中所形成的单一岩性或相关岩性组成的地层叠加样式,一般反映一期水体的变浅和加深的过程。垂向上由一种地貌要素组成,相当于朵叶体内一期沟道作用过程内的沉积。由于其分布局限,一般只能在岩心上识别,无法在井间进行对比。

短期旋回:是一组沉积事件的产物,反映一期明显的水体变化过程,形成一个小规模的进积—退积样式,相当于水下扇扇朵体中的一个叶体。垂向上由一种或两种地貌要素所构成的湖进—湖退地层叠加样式所组成,为井间可对比的最小单元,也是本研究的制图单位。

中期旋回:是一个较明显的水体变化,为一系列较小幅度的水体变化组成的整体上呈现出一种区域性的进积—退积地层叠加样式,其沉积相当于一个水下扇朵体。

长期旋回:是一套较大水深变化幅度的、彼此间具成因联系的地层所组成的代表区域性湖进—湖退沉积序列,相当于水下扇复合体所组成的一种进积—退积型地层叠加样式,反映了整个扇复合体的形成。本层次在地震上有较明显的响应,可用地震资料进行约束对比。

1.2 层序地层格架

研究区位于水下扇的扇中前部及前缘部位,基本上在沉积时都位于基准面之下,一直接受沉积物的沉积。沟道对沉积物的侵蚀作用不太强,因而本区基本上是面与面的对比和岩石与岩石的对比,很少出现岩石与界面的对比。

层序对比遵循以下原则:①利用地震对长期基准面旋回识别进行约束。②依据地层叠加样式对比中、长期旋回。对于中期旋回及其内部地层的对比,依据中期旋回所组成的地层叠加样式来完成,对比的是地层叠加样式。③在叠加样式内部对比短期旋回。在叠加样式对比的框架内,结合短期旋回所处的位置,决定各短期旋回之间的对应关系,完成短期旋回的对比。

在6个中期旋回中,A—B旋回以上升期沉积为主,下降期沉积不太发育;C、D旋回则以下降期沉积为主,上升期沉积发育较差;E、F旋回的对称性较好,但由于所处基准面位置较高,整体上地层不发育,地层厚度较小。在单个中期旋回及短期旋回内部可以识别出沟道的向湖推进和向岸退缩。如在F旋回内沟道先向湖推进;至F3中期时,沟道推进至湖中最深处,然后开始后退;至F3结束时,沟道前缘退至濮5-4与濮110井之间。整个F旋回内沟道先进后退,形成一个完整的旋回,反映了基准面先降后升的一个变化过程。

2 层序格架内储层非均质特性

2.1 短期-超短期基准面旋回样式控制砂体层内非均质模式

在超短期基准面升降变化过程中,随着基准面的

升降,沉积物供给与可容空间的比值发生变化,由此对沉积物的成分、粒度、分选性等也都产生了影响,而这又进一步决定了储层砂体的非均质特性。在超短期基准面上升半旋回内,随基准面的上升,可容空间增大,沉积物供给减少,使得粗粒物质供给不足,砂体退积,整体上形成一种向上变细的正韵律沉积。同时,由于向上可容空间的增大,水深增大,水动力减小,水流对砂体的改造能力减小,砂体的分选性变差。而随砂体组构变差,其物性也将变差,这使得在超短期基准面上升期内形成的正韵律砂体呈现出向上变差的物性特征。

在超短期基准面下降期,随着基准面的下降,沉积物供给与可容空间的比值减小,更多的沉积物被带入到沉积区。粗粒沉积物的比值增大,形成向上变粗的沉积韵律。基准面下降伴随的水动力的加强,使得砂体向上分选性变好,细粒填充物减少,砂体组构更为有序,从而使其形成向上物性变好的总体特征。

在短期基准面上升期,每期水动力条件较前期弱,使得后期沉积时携带的粗粒沉积物数量和最大粒径较前期小,同时后期水动力的减弱也使其对沉积物的改造能力较小,从而形成短期旋回内后期韵律物性较前期韵律差的总体物性分布特征。而且后期水动力的减弱,使其对前期韵律顶部的细粒沉积冲刷能力减小,韵律顶部细沉积保存能力增强,这使得短期基准面旋回上升期内砂体向上层内夹层的数量和厚度增大,稳定性和分隔性增强。图2给出由多个超短期基准面组成的一个基准面上升旋回的沟道沉积。由图2可见,随

基准面整体上升,砂体的物性整体上呈向上变差特征。

在短期基准面下降期,随基准面的下降,后期的水

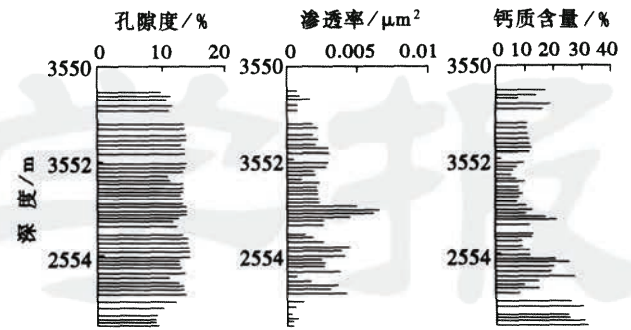


图2 短期基准面上升期沟道砂体层内非均质模式

Fig.2 The heterogeneity pattern of channel sand in the rising semi-cycle of short term base level

动力较前期增强,使得后期沉积期内水流携带粗粒沉积物的能力增大,将更多和更粗的沉积物带入到沉积区内,从而使得后期的沉积在起始岩相和总体粒度上较前期沉积韵律粗。同时,水动力增强对其改造也增强,使得后期沉积韵律的物性较前期沉积砂体物性好,从而形成短期旋回内砂体向上总体物性变好的格局。此外,随着后期沉积时水动力的增大,其对下伏层的冲刷能力增强;随基准面的下降,下伏层顶部细粒层序保存能力减小,从而使得整个砂体向上层内夹层的厚度和个数减少,稳定性和分隔性减弱。图3是由两期超短期下降半旋回形成的一个基准面下降短期旋回的席状砂沉积,在每期内砂体的物性呈向上变好的特征,而且整体上也呈向上物性变好的特征。

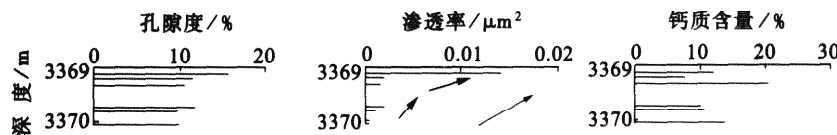


图3 短期基准面下降期席状砂层内非均质模式

Fig.3 The property pattern for sheet-like sand in the falling semi-cycle of short term base level

2.2 中、长期基准面旋回控制砂体层间非均质性

2.2.1 砂体厚度

砂体的厚度和有效厚度受控于砂体形成时所处的基准面位置,垂向厚度的分布受控于中、长期基准面的升降特征。在基准面处于最低位置处时,砂体具有最大的厚度和有效厚度,而在基准面处于较高位置处,则砂体的厚度和有效厚度较小。在基准面下降期,单砂体的厚度和有效厚度逐渐增大;而在基准面上升期,单砂体的厚度和有效厚度逐渐减小。

在A旋回内,由A1至A4基准面上升,砂体的厚度和有效厚度减小。在B旋回内两者也是基本上由

下而上减小,与基准面上升相一致。在C旋回内,由C1至C7的基准面都是下降的,而砂体也显出微向上变厚的趋势。D基准面内,由D1至D5变厚,D5至D6变薄,E、F基准面则在E2、F3基准面处于最低位置处其厚度与有效厚度较大[图4(a)]。

从整个长期旋回看,C7附近砂体整体上厚度和有效厚度较大,与长期基准面低位相一致。

2.2.2 孔隙度与渗透率分布特征

砂体的孔隙度和渗透率与砂体在基准面旋回内的位置密切相关。具有较高的孔隙度和渗透率的层位与中(长)期基准面的低点相一致,而低孔隙度、低渗透率

层位则往往位于中(长)期基准面处于较高的位置处。造成这一物性分布格局的原因是,在中(长)期基准面变化过程中,伴随着基准面的升降,可容纳空间与沉积物供给(A/S)比值产生规律性的变化。在长期基准面下降期,随着基准面的下降,A/S 值逐渐减小,即新产生的可容纳空间小于沉积物供给所消耗的可容纳空间,沉积物不断向湖心推进,造成在同一地理位置处,

后期的中期旋回内沉积物的粒度较前期的粗,细粒成分含量较前期的少,分选性较前期的好,从而使得后期的砂体物性比前期要好。在基准面下降至最低位置处时,A/S 值达到最小,沉积物粒度最粗,分选性最好,物性最好[图 4(b)、(c)]。

在长期基准面上升旋回内,随着基准面上升,沉积物供给减小,可容纳空间增加较沉积物堆积填充的快,使得 A/S 值增大。而这使得在沉积物沉积过程中,后期的中期旋回沉积时总比前期沉积时所处的水深要深,A/S 值较前期的为大,砂体不断退积。因此,在同一地理位置处,便产生了后期的中期旋回较前期的中期旋回粒度细、细粒含量成分高、分选性较前期差的沉积特征和孔隙度、渗透率较前期沉积小的物性分布格局。在基准面下降至最低位置处时,沉积物的粒度最细,细粒含量最高,分选性最差,物性最差。

2.2.3 层间隔层的分布特征

层间隔层由前期中、短期旋回上升期顶部的细粒沉积和后期中、短期旋回下降期底部细粒沉积所组成。在中、短期基准面处于较低处置处时,A/S 值较小,沉积物向湖推进较深,使得大量的粗粒沉积搬至湖中并沉积下来,形成沉积物具有以粗粒为主、细粒沉积较薄且连续性较差的特征,即夹层厚度较小、分布较为局限、连续性较差的特征。在长期基准面处于较低位置处时,A/S 值较大,沉积物向湖心推进较浅,沉积物以细粒为主,粗粒沉积发育较差,从而使得隔层厚度较大,连续性较好。从图 5 可见,中期基准面上升与下降的转换位置处,A4、B4、D6、E1 等处是中期旋回内夹层最厚的位置,而 F2、C6 等基准面下降与上升的转换位置则与夹层最小值位置相一致。在长期基准面下降与

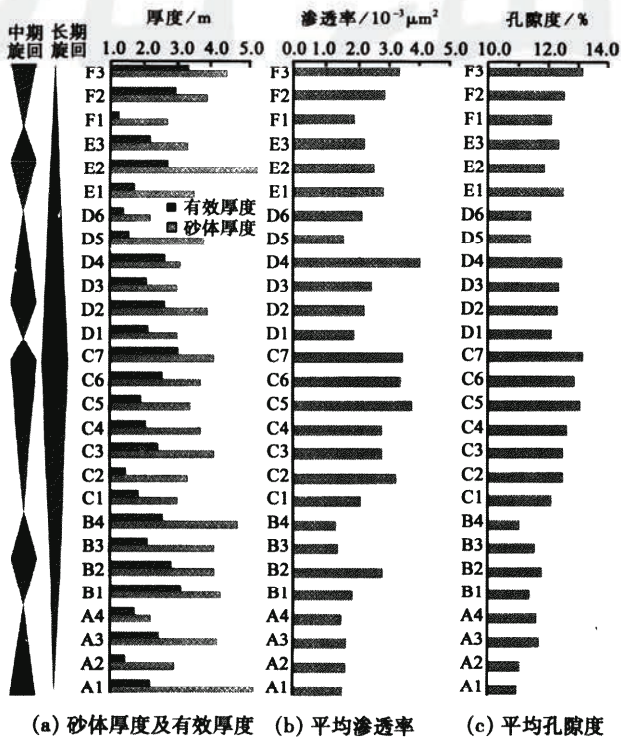


图 4 中、长期基准面旋回内砂体的非均质性
Fig.4 The characteristics of thickness and net thickness(a), average permeability(b) and porosity(c) in the frame of base level

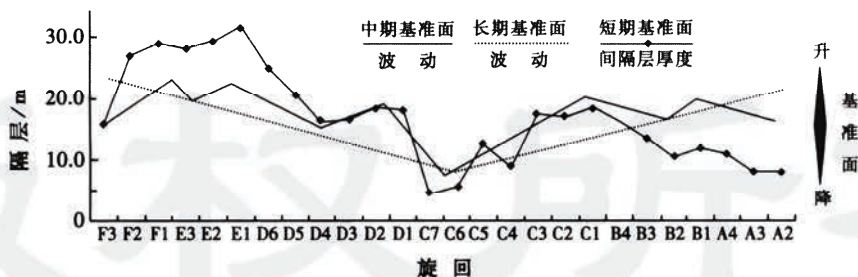


图 5 基准面旋回内的隔层分布特征
Fig.5 The thickness of barriers in the frame of base level

上升的转换处即 C6 处,也是夹层最薄的位置。

2.3 长期基准面位置控制储层的平面非均质性特征

长期基准面对储层平面非均质性的控制特征是:在不同基准面位置处砂体展布面积不同,有效砂岩展

布面积不同,砂体结构不同。

长期基准面旋回对砂体面积的控制。在长期基准面上升期,随着 A/S 值的增大,剥蚀作用减小,沉积物供给减少。同时,向岸方向可容空间增大,砂体向湖

岸线退积,砂体面积和含油面积减小,储层的连续性变差。当长期基准面上升达到最高位置时,砂体的展布面积达到最小,基本上呈孤立状分布。在长期基准面下降期,随着 A/S 值的减小及剥蚀作用的加强,沉积物供给量增大,超过新增的可容空间,从而使砂体向湖心推进,使得后期沉积的砂体展布面积大于前期砂体的展布面积,含油面积也比前期增大,储层的连续性增强。

在不同基准面旋回位置处,砂体平面连续性和连通性也不同。在中期旋回的高部位,砂体的钻遇率较低,大多在 50% 以下,因而砂体的平面连续性和连通性较差,多呈现出孤立分布。在中期基准面旋回的低部位,砂体的钻遇率一般较高,多在 70% 左右,最高达 90% 以上。砂体大多连续分布,其连续性和连通性均较好。如 C7 旋回位于 C 旋回的低位处,其钻遇率达 95%,基本全区分布,连续性和连通性极好。而位于 C 旋回高位的 C1 旋回,其钻遇率仅为 50%,分布于研究区东南隅,砂体之间相互隔开,连续性和连通性较差。

在不同的基准面位置处,砂体的平面相组成不同。在基准面处于较低位置处时,砂体推进较强,沟道延伸远、规模大,平面相组成以沟道相为主,并夹部分的沟道间沉积;而在基准面处于较高位置处,砂体推进较差,沟道宽度小、延伸短,平面微相组成主要以席状薄砂体为主。在中期基准面处于最低位处的 A1、B2、C7、D2、E2、F3 处,沟道的钻遇率较大,一般都在 40% 以下,而位于中期基准面高位附近的 F1、D6、D1、B4、A4 旋回中沟道的钻遇率多在 30% 以下(表 1)。

表 1 不同基准面位置处砂体的钻遇率

Table.1 The occurrences of facies on the different location of middle-term base level cycles

旋回位置	旋回名称	沟道/%	席状砂/%
中期旋回 低部位	F3	60	33
	E2	44	44
	D2	40	50
	C7	44	41
	B2	49	36
	A1	49	48
中期旋回 高部位	F1	13	77
	D6	15	73
	D1	26	65
	B4	32	52
	A4	21	65

2.4 基准面旋回内不同地理位置处形成的非均质特征不同

在不同的沉积地理位置,沉积时的古地理不同,沉

积水动力条件不同,形成的沉积砂体类型及其非均质特性也不同。研究区位于水下扇的扇中前部至扇缘部位,本文仅对扇中中部、扇缘根部及扇缘前端进行一些简单的讨论。在扇中部位,辫状沟道活跃,形成以沟道为主的储层结构样式。沟道带来的大量较粗颗粒主要以辫状沟道砂体和沟道间砂体沉积下来,砂体厚度较大、物性较好。由于沟道侧向运移,造成平面上沟道相互切割叠置,砂体间的连续性和侧向连通性均较好(垂向上短期旋回间切割不明显,不同短期旋回间大多不连通);向湖心,在扇缘根部,水动力减弱,沟道影响能力减小,沟道规模一般较小,大多为独立分布。同时其侧向上一般不能相互切割,而在沟道之间的部位,随沟道而至的较细粒碎屑大量沉积,形成席状展布砂体,因而形成以席状砂为主、中夹小型沟道的砂体分布结构样式。再向湖心,在水下扇前缘前部,沟道基本难于达到,主要由随沟道而至的细粒沉积物扩散沉积而成的席状砂体及偶而在特大洪水期沟道推进而成的小型沟道和滑塌而成的滑塌体组成。同时由于各沟道的相互分隔,形成的砂体的连续性也很差;而近湖心的沉积区内,由沟道携带的砂级及粉砂级颗粒无法到达,从而形成以湖泥为主的沉积,偶有前缘砂体滑塌至此,形成滑塌的孤立砂岩透镜体。

3 结束语

基准面旋回格架内储层非均匀质性研究表明,沉积期基准面旋回决定了储层的非均质性特征。具体体现在短期基准面旋回控制储层层内非均质性、中长期基准面旋回及其位置决定层间和平面非均质性,而基准面旋回格架内的地理位置决定了不同剖面的非均质特性。因而基于基准面旋回分析,不仅可对储层的非均质性得以认知,还可从成因上加以把握,使得对储层的非均质性分析纳入到一个宏观格架内,可将其系统地、有机地联系起来,使得对储层的非均质性认识不仅仅局限于某一层或一点,不是作为独立的各个现象来认识,而是一种整体上的把握。而这种整体把握及局部的细化,正为石油地质学家和油藏工程师正确认识油藏、管理油藏奠定了坚实的基础。

参 考 文 献

- [1] Cross T A. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[A]. In: Eschard R, Doligez B.

(下转第 83 页)

参 考 文 献

- [1] 吕晓光,赵翰卿,付志国,等.河流相储层平面连续性精细描述[J].石油学报,1997,18(4):66-71.
- [2] 裘怿楠.储层地质模型[J].石油学报,1991,12(4):55-62.
- [3] 裘怿楠,薛叔浩.油气储层评价技术[M].北京:石油工业出版社,1994:243-250.
- [4] 裘怿楠,陈子琪.油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1996:326-335.
- [5] 裘怿楠.石油开发地质方法论(一)[J].石油勘探与开发,1997,23(2):43-47.
- [6] Blane G, Guérillot D, Rahon D, et al. Building geostatistical models constrained by dynamic data-a posteriori constraints[C]. SPE 35478, 1996:19-33.
- [7] Lamy P, Rowbothan P, Dubrule D, et al. From seismic to reservoir properties with geostatistical inversion[J]. SPE 1999, 2(4):334-340.
- [8] Wang J, MacDonald A. Modeling channel architecture in a densely drilled oilfield in east China[C]. SPE 38678, 1997:365-372.
- [9] 王家华,张团峰.油气储层随机建模[M].北京:石油工业出版社,2001:98-118.

(收稿日期 2002-12-04 改回日期 2003-02-10 编辑 孟伟铭)

(上接第78页)

- Reservoir characterization from outcrop investigations: Proceedings of the 7th exploration and production research conference[C], Paris: Techniq, 1993:11-33.
- [2] 邓宏文.美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J].石油与天然气地质,1995,16(2):90-97.
- [3] 郑荣才,彭军,吴朝容.陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J].沉积学报,2001,19(2):249-255.
- [4] 邓宏文,王洪亮,李熙喆.层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J].石油与天然气地质,1996,17(3):177-184.
- [5] 曾大乾,李中超,宋国英,等.濮城油田沙三上地层基准面旋回及储层流动单元[J].石油学报,2002,23(3):39-42.
- [6] 樊太亮.沉积基准面变化分析技术及应用[J].石油与天然气地质,1997,18(2):120-127.
- [7] 尹太举,张昌民,赵红静.依据高分辨率层序地层学进行剩余油分布预测[J].石油勘探与开发,2001,28(4):79-82.
- [8] 郑鸿稳.东濮凹陷下第三系层序地层学模式[J].石油学报,2002,23(4):24-28.

(收稿日期 2002-11-11 改回日期 2003-01-12 编辑 孟伟铭)

柴达木盆地油气管道运输初具规模

随着西部大开发重点工程涩—宁—兰输气管道的建设投运,柴达木盆地目前已建成总里程为1755km的4条输气干线,初步形成了产、输、配、销配套的天然气管网系统,并为青海油田加入“西气东输”的行列打下了坚实的基础。

据中国石油青海油田分公司天然气开发利用部介绍,柴达木盆地天然气品质好、储量丰,公司自1996年开始致力于天然气开发,逐渐确立了一套适用于柴达木盆地地质特征的开采工艺,盆地目前拥有2504亿m³探明天然气地质储量,形成年产天然气65亿m³的生产规模,一举跻身全国四大气区行列。

为把柴达木盆地的天然气资源优势更好地转化为市场优势和效益优势,青海油田公司加大了天然气管道建设力度。涩—格、仙—敦、南—南、涩—宁—兰天然气管道相继建成后,油田三大基地间形成了天然气联供的新格局。同时为天然气下游市场开拓了广阔空间。

在柴达木盆地天然气管道建设初具规模的同时,青海油田输油管道改建工程开始启动。今年3月青海油田花土沟至格尔木市的输油管道开始扩建,工程总投资7亿元,将改扩建439km的输油管道、5座输油泵站和1座调度控制中心,还将新铺设格尔木至甘森110kV供电线路267km。工程竣工后,花格管道年输油量将达到300万t。

摘自《石油综合信息》