

山东牛庄地区沙三段前三角洲 斜坡重力流沉积

冯有良* 何立琨 郑和荣* 王宁 姜秀芳

(胜利油田地质科学研究所)

山东省牛庄地区渐新世沙河街组三段前三角洲斜坡,由滑塌带、近源缓坡带、末端带三部分组成。滑塌带发育滑塌沉积和碎屑流沉积;缓坡带发育液化流、浊流沉积;末端带发育AD型、BD型、BE型和CDE型浊流组合。前三角洲斜坡发育重力流的主要控制因素是三角洲的快速进积作用和前三角洲斜坡自身存在的二元结构。油气富集的可利相区是近源缓坡带。

关键词 三角洲斜坡带 重力流沉积 油气聚集 沙河街组 牛庄洼陷

牛庄洼陷位于山东省济阳坳陷东营凹陷的南部,其中下第三系发育完整,厚度极大。渐新统沙河街组三段(简称沙三段)为三角洲的前缘和前三角洲沉积。其中前三角洲斜坡内发育的重力流沉积物是很好的储集层。

一、沉积特征

牛庄地区沙三段中亚段,主要由深灰色泥岩夹中细粒岩屑长石砂岩及杂砂岩组成(图版I-1, 2, 3),并含有菱铁矿条带(呈上多下少的趋势)。该段厚度稳定,约450 m左右。

牛庄地区各钻井剖面上的沙三段中亚段,可划分出三个砂岩集中发育带,从下向上由细粒变为中粒,呈微弱反粒序结构。而单个砂组则又表现为正粒序结构。

沉积构造主要发育两种类型:其一为砂岩、泥岩互层层理,波状层理,透镜状层理(图版I-4),小型槽状交错层理及砂球,砂枕和生物扰动构造(图版I-5),波痕等,反映以三角洲沉积作用为主的沉积构造组合。其二为滑塌构造(图版I-6)组合,包括包卷层理(图版I-7)、滑褶构造(图版I-6)、滑动面;泄水构造(图版I-8)组合包括砂墙、泄水管;砂岩泥岩混杂构造(图版I-9),即砂岩呈不规则角砾状分布于泥岩之中,或泥质团块,砂质团块杂乱堆积;撕裂碎屑构造(图版I-10)即泥砾屑呈纺锤状大致顺层分布于砂岩之中。此外还有泥岩的流纹构造、塑性流动构造、火焰构造(图版I-11)及块状层理、递变层理(图版I-12),沟模等。这些沉积构造集中发育于沙三段的中下部,反映重力流沉积作用的特点^[1-4]。

本文1989年11月29日收到。

* 为本文执笔者。

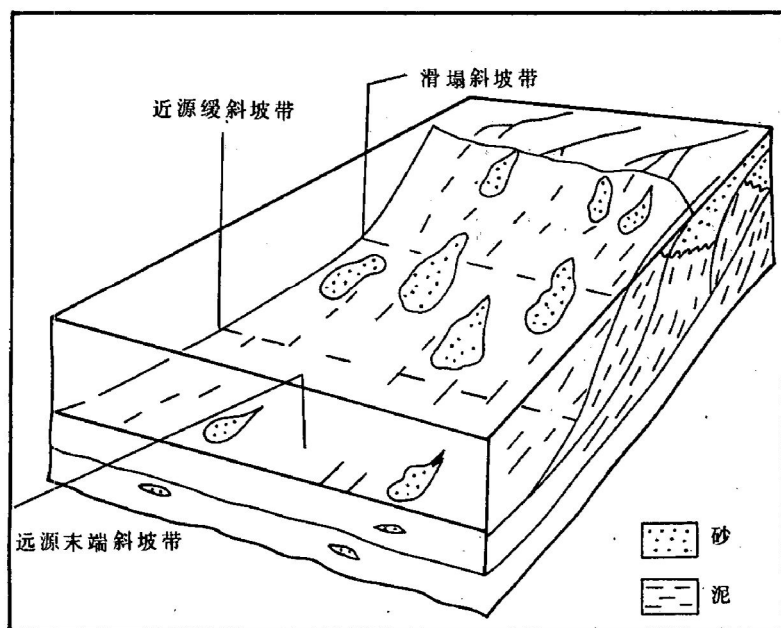


图1 前三角洲斜坡(前三角洲)沉积环境臆想图

m左右,呈东厚西薄趋势。可分为两种不同类型的组合带:

(1) 牵引流沉积构造组合带

以发育于该带顶部的波痕、前积层、波状层理、小型槽状交错层理、平行层理、砂球、砂枕、生物扰动构造为代表。

(2) 重力流沉积构造组合带

以发育于该带底部的滑塌构造、塑性变形、塑性流动,砂泥岩混杂构造,流纹构造等为代表。

该带发育浅水底栖类: *Haubeinia huidongensis*, *Haubeinia chinesis*, *Haubeinia unispinata*, *Valvata applanata* 化石组合及高能带特有的 *Skolithos-chondrites* 组合。

根据构成该带的沉积特征,可建立两种沉积组合类型。

(1) 滑塌沉积组合(图2):主要为砂岩、砂泥岩互层。下部发育似流纹构造、变形构造、滑塌、滑动构造及砂块、泥块的混杂堆积。向上变为未经滑动破坏或只有较轻微变形的三角洲沉积物。

(2) 碎屑流沉积组合(图3,4):以沉积物的塑性变形,塑性流动为特征,主要为砂岩团块分布于具有流动构造的泥岩中。发育滑褶构造、似流纹构造、混杂构造,局部见撕裂碎屑。有时顶部发育具有轻微变形的砂泥互层平行层理。

生物在该段以原地底栖类与异地底栖类同时发育为特征。研究表明:沙三段中亚段上部为浅水高能底栖类及 *skolithos* 遗迹化石组合,中部发育较深水底栖类与浅水底栖类混杂组合,同时发育 *Chondrites* sp. 遗迹化石;底部深水底栖类、鲱科鱼与浅水及较深水底栖类混杂,发育遗迹化石。

三角洲斜坡分为三部分(图1)。

1. 滑塌斜坡带

该带岩性为浅灰色泥岩和浅灰色泥岩夹中细砂岩,属沙三段中亚段的上部,厚度250

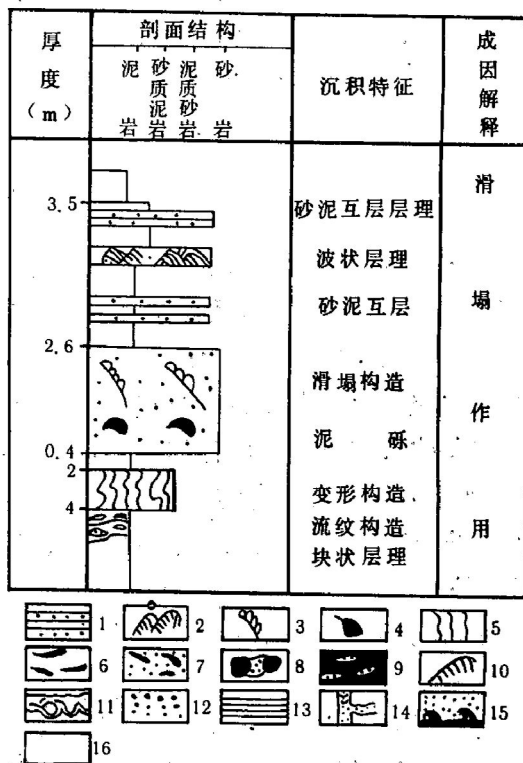


图2 滑塌沉积物沉积剖面结构图

1—砂泥互层,2—波状层理,3—滑塌构造,4—泥砾,5—塑性变形构造,6—流纹构造,7—撕裂屑构造,8—砂岩泥岩混杂构造,9—塑性流动构造,10—前积构造,11—包卷层理,12—正递变层理,13—平行层理,14—泄水构造,15—火焰构造,16—块状构造

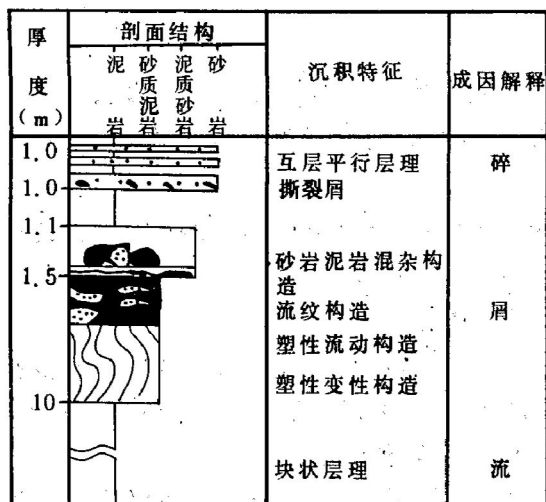
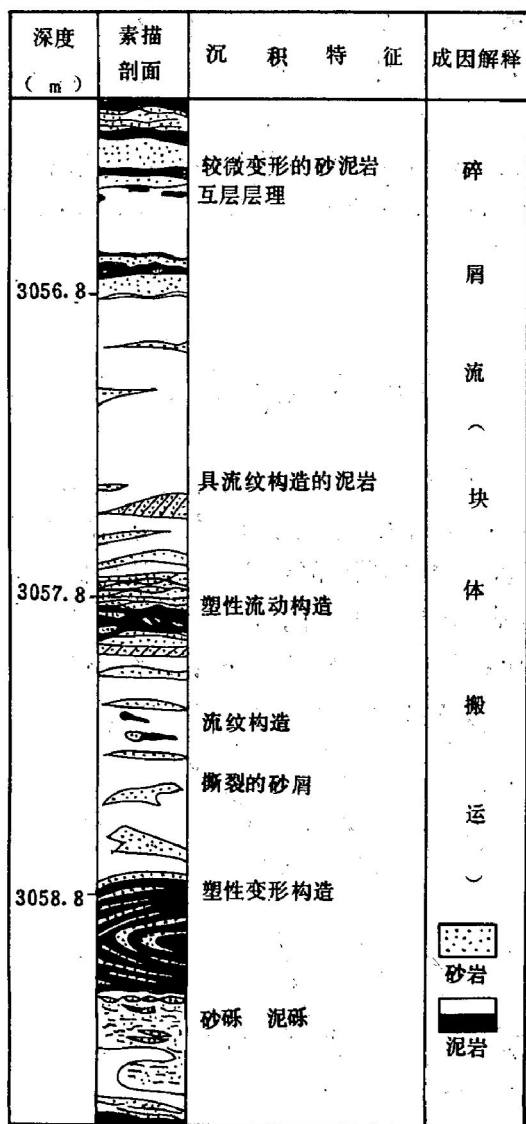


图3 碎屑流沉积结构剖面 (图例与图2同)

图4 牛38井典型碎屑流沉积
层序素描剖面

2. 近源缓坡带

该带为大段块状泥岩夹厚层中细粒岩屑长石砂岩, 细粒岩屑长石砂岩及杂砂岩和粉砂岩, 层位属沙三段中亚段的中部, 厚度150 m左右, 在研究区内厚度变化较大, 东厚西薄。

砂岩以杂砂岩为主, 结构成熟度和成分成熟度均低, 反映了密度流迅速搬运和快速沉积的特点^[5] (图版 I-1, 2, 3)。根据萨胡环境判别式计算得 y 值小于 9.8433, 属浊流沉积^[5,6]。另外, 上部薄层细砂岩、粉砂岩中杂基少, 分选好, 说明密度流被稀释后, 牵引流作用加强^[4]。

沉积构造主要有块状层理、泥砾、撕裂碎屑 (图版 I-10)、泄水管 (图版 I-8)、正粒序层理、平行层理、波状层理、包卷层理和沟模。砂岩内大量炭屑平行层面分布。

按岩性组合、沉积构造组合可分为两个沉积组合段 (图5):

(1) 液化流段: 以中细-细粒岩屑长石杂砂岩为主, 发育火焰构造、块状层理、泄水构造 (泄水管、砂墙等)、撕裂碎屑构造、包卷层理和平行

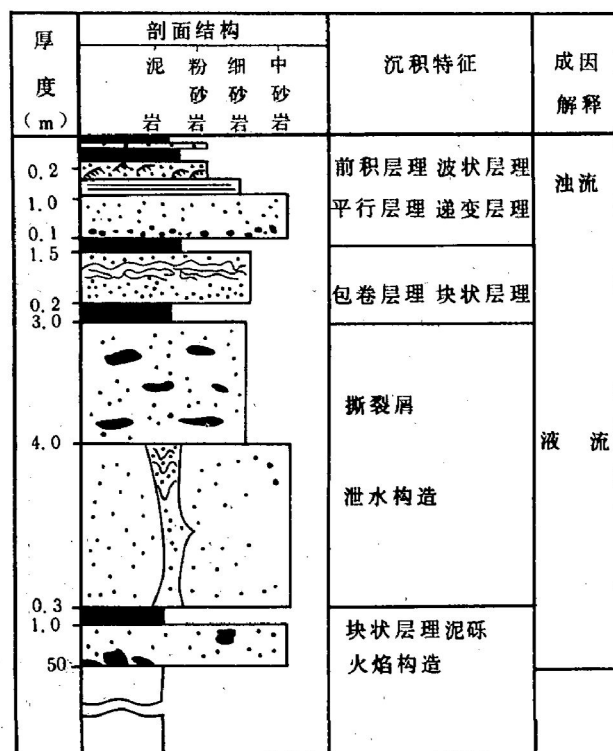


图5 近源缓坡带沉积物剖面结构

于层面分布的炭屑纹层。

(2) 浊流段：以细粒岩屑长石砂岩、杂砂岩和少量中细粒岩屑长石杂砂岩为主，发育正粒序层理、平行层理、前积纹层、波状层理等。常出现鲍玛层序的 ABCD 段和 AB 段组合（图 5）。

该带的生物化石组合以发育较深水底栖类 *Candon* sp. *Limnocythere* sp. 与浅水高能底栖类 *Haubeinia chinensis* 混合发育为特征，同时发育 *Chondrites* sp. 遗迹化石。

厚度 (m)	剖面结构		沉积特征	成因解释
	泥岩	粉砂岩		
1.0	E	D	泥岩平行层理	浊
0.6	D	C	块状层理	
0.4	E	D	前积层理	
1.0	E	D	平行层理	
1.4	D	B	块状层理	
0.8	D	B	平行层理	流
1.5	D	B	块状层理	
0.6	D	A	块状层理	
3.0			平行纹层	

图 6 末端斜坡带沉积物剖面结构

3. 末端斜坡带

该带主要发育泥岩夹薄层细粒岩屑长石杂砂岩及粉砂岩（图版 1-2, 3）属沙三段中亚段的下部，厚 50 m 左右，在研究区分布稳定。

岩石组合主要以薄层砂岩与厚层泥岩的互层韵律为特征。构成鲍玛序列的 AD、BD、BE 和 CDE 型组合（图 6）。砂岩的结构成熟度及成分成熟度均低，沉积构造主要为块状层理、水平层理和微显正粒序的层理（图版 1-3）。

该带大量发育深水型浮游类与浅水及较深水底栖类的混杂生物 *Haubeinia chinensis*, *Candon* sp., *Valvata applanata* 等。

二、前三三角洲斜坡重力流沉积体系的特点及模式

前三三角洲斜坡重力流体系的研究较少，据美国俄勒冈州西南部 Tyee 组海相三角洲水下斜坡扇的成果，使三角洲沉积物在陆棚斜坡上发生大量滑塌的主要控制因素是三角洲的快速前积作用^[7]。J. N. Suhayda 和 D. D. Prior 等人对现代密西西比河三角洲前缘碎屑流的研究，认为前三三角洲斜坡表层泥质在堆积时所含水份高达 75%，并含有极高的有机组份，往往造成过高的孔隙压力，降低了沉积物的强度。由于压实作用，在 20 m 深处泥质的含水量突然减少，剪切强度增到 150 g/cm² 以上。所以前三三角洲泥质物质从力学角度看是两层结构的斜坡，其表层之下存在一个可视为刚性的基底^[8]。

我们在对牛庄地区进行分层研究后发现，三角洲向湖推进速度最快的第六亚三角洲期（Z₆），第四亚三角洲期（Z₄）和第二亚三角洲期（Z₂）（图 7），前三三角洲斜坡发育了大量浊积体，以近源缓坡带为最，末端斜坡次之（图 8）。

这就是说三角洲向湖推进速度和前三三角洲斜坡自身存在的二元结构，是控制滑

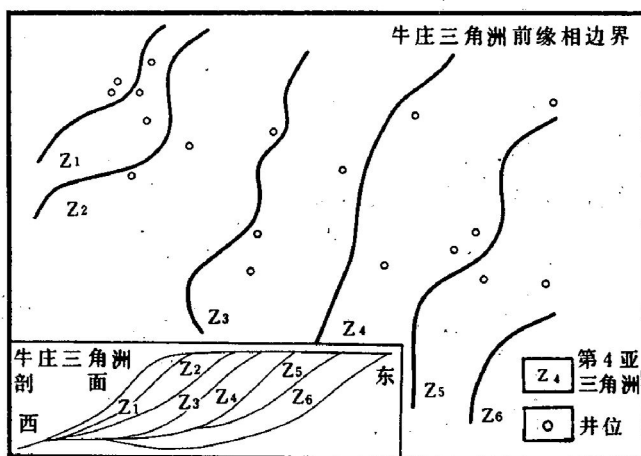


图 7 牛庄三角洲前缘相边界线及剖面图

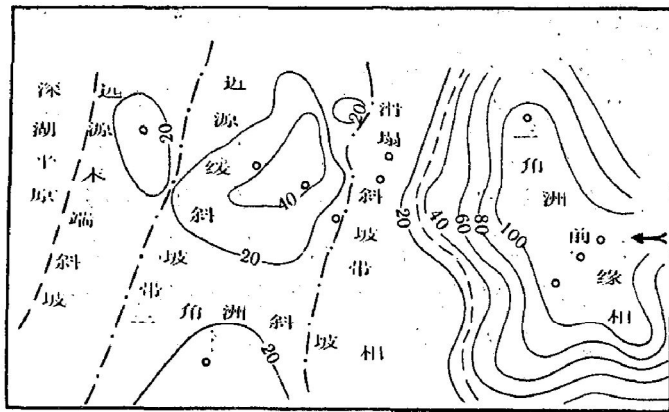


图8 牛庄三角洲第四亚三角洲(亚层序Z4)
砂岩厚度与相展布图

则在惯性作用下再度下滑进入较平坦的末端斜坡带形成薄层浊积砂。

区内前三三角洲斜坡重力流体系不存在砂体在厚度、粒度上向上急剧变粗、变厚层序,不发育冲刷-充填构造,是一种无供水道的发散型滑塌浊积体系^[7,9]。

归纳重力流沉积模式如下(图9)。

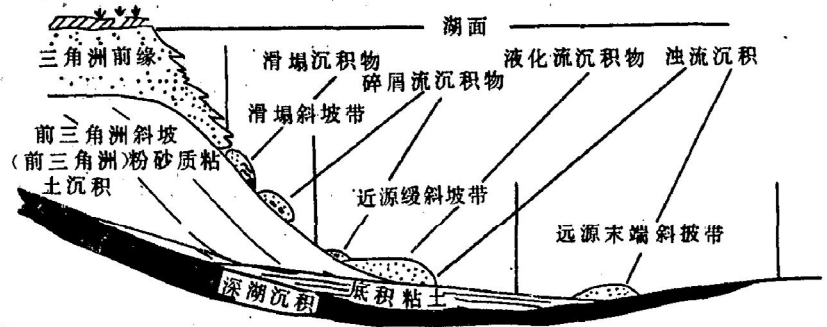


图9 牛庄前三三角洲斜坡重力流沉积模式图

三、沉积微相与有机质成熟度及储层物性的关系

据对研究区钻井剖面的分析表明:储层物性、有机质成熟度及含油性具有明显的分带性,其分带特征与上述微相带基本一致。

滑塌斜坡带:砂岩孔隙度6—12.7%,渗透率在 $0.07-1.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,氯仿沥青含量0.3—0.5%,总烃/有机碳比值在10—25之间,热解分析氧指数值40—65,干酪根以Ⅲ型(腐殖型)、Ⅱ₂型(混合型以腐殖型为主)为特征。这些指标说明滑塌斜坡带储层物性极差,有机质成熟度低不利于生成烃类,同时储层条件决定了该带不可能是较好的储层发育带,不利于生油和储油。

近源缓斜坡带:砂层较厚,砂岩孔隙度最大达21.6%,最小9.3%,均值16.0%,渗透率最大 $12.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小 $0.57 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值 $4.45 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,氯仿沥青0.01—0.02%,总烃/有机碳值25—50,热解氧指数在15—30之间,干酪根以Ⅰ型、Ⅱ₁型、Ⅱ₂型为主。说明近源缓坡带浊积砂作为储层物性较好,泥岩有利于生油。浊积砂体物性变好的原因主要在于长石颗粒和碳酸盐胶结物溶解形成的次生溶孔较为发育。有机酸对砂体溶蚀及岩性油藏形成的外部条件是(1)砂岩处于生油岩的包围之中,以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型干酪根的共同存

在为最佳; (2) 有能使流体流动的通道和孔隙; (3) 有机质的成熟度较高能产生大量有机酸。研究区近源缓坡带砂体基本具备了以上条件, 从而形成工业油藏。

末端斜坡带: 砂岩和粉砂岩孔隙度最大 10.3%, 最小 3.3%, 均值 6.2%, 渗透率最大 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最小 $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值 $0.14 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该带氯仿沥青含量为 0.02—0.05%, 总烃/有机碳值在 60—90 之间, 热解氧指数 10—15, 干酪根以 I 型和 II 型为主。该带处于深湖环境, 有机质成熟度高利于生油, 但该带储层物性较差, 不利于储油, 这是因为末端斜坡带内, 一则砂体薄, 二则砂岩均经历了较强的压实作用、胶结作用及重结晶作用*, 原生孔隙基本破坏。又由于厚层泥岩的阻隔, 流体运移不畅次生孔隙发育不佳。因此末端斜坡带仅在个别层段可形成薄油层。

结 论

1. 研究区沙河街组中晚期三角洲沉积, 在前三角洲斜坡上发育了大量重力流。其特点是阵发性, 发散型片状滑塌, 无固定水道。

2. 前三角洲斜坡由滑塌斜坡带、近源缓斜坡带和末端斜坡带组成。各带具有不同的沉积特征。

3. 在前三角洲斜坡形成重力流的主要控制因素是三角洲的快速进积和前三角洲斜坡自身存在的二元结构。

4. 油气有利的聚集相区是近源缓坡带。

本文为国家“七·五”重点攻关项目《牛庄油藏描述技术》内容之一。参加这项工作的还有刘书会同志。崔文超高级工程师参加了牛 38 井的岩心观察, 王春芳同志清绘了全部图件。本文在撰写过程中得到了徐寿根高级工程师的支持和帮助。成文后蒙成都地质学院曾允孚教授和张锦泉副教授审阅, 并提出了宝贵意见, 谨表感谢!

参 考 文 献

- [1] H. G. 里丁, 1985, 沉积环境和相。周明鉴、陈昌明等译, 科学出版社。
- [2] 梅志超、李文厚, 1986, 沉积学报, 第 4 卷, 第 1 期, 34—40 页。
- [3] 吴崇筠等编译, 1987, 国外浊积岩和扇三角洲研究, 石油工业出版社。
- [4] 刘宝珪、张锦泉、叶红专, 1987, 沉积学报, 第 5 卷, 第 2 期, 1—13 页。
- [5] 刘宝珪, 1980, 沉积岩石学, 地质出版社。
- [6] 刘宝珪、曾允孚, 1985, 岩相古地理基础与工作方法, 地质出版社。
- [7] Heller, P. and Dickinson, W., 1985, Bull. AAPG, V. 69, No. 6, P. 960—976.
- [8] 王德坪、刘守义, 1987, 沉积学报, 第 5 卷, 第 4 期, 14—18 页。
- [9] Surlyk, F., 1987, Bull. AAPG, V. 71, No. 4, P. 464—475.

* 郑和荣, 1988, 牛庄地区沙三中砂岩储层的基本特征。

GRAVITY FLOW DEPOSITS OF PRODELTA SLOPE FROM 3RD MEMBER OF SHAHEJIE FORMATION, NIUZHUANG REGION, SHANDONG

Feng Youliang He Likun Zheng Herong

Wang Ning Jiang Xiufang

(Research Institute of Geology, Shengli Oilfield)

Abstract

The prodelta slope of the third member of the Oligocene Shahejie Formation in Niuzhuang region, Shandong, is composed of slump slope, proximal gentle slope and distal slope. The slump and the debris flow sediments are well developed on slump slope; the liquefied-flow and the turbidity current sediments developed on gentle slope and the incomplete turbidity assemblage developed on distal slope. The controlling factors for the development of gravity-flow deposits on prodelta slope are deltaic progradation and the double-layer structure of the slope. Favourable regions for hydrocarbon enrichment are gentle slope.

海上油气资源评价方法研究取得新进展

海洋石油勘探开发研究中心在“七五”规划期间,以海上早期油气资源评价为基础,开展了建立资源评价计算机系统的研究。经过四年多的努力,现已取得了以方法研究为主的重要成果,研制出了海洋盆地模拟系统和油气资源评价人工智能专家系统。两个系统分别从盆地发育机理和专家直接评价的不同侧面,以数值模拟和专家系统两项技术,有机地构成了用于海上石油勘探的油气资源评价系统。

海洋盆地模拟系统(简称HYBSS)吸收了国内外关于盆地数值模拟的先进技术原理,针对拉张型盆地,模拟盆地自沉积开始到现今的埋藏史、各埋藏时期的温度史和有机质成熟史,最终计算出具有生油条件的地层在不同时期生成的油量和气量,再根据压实过程中孔隙体积变化,可计算所排出的油量和气量。

HYBSS系统在古地温恢复、地层抬升剥蚀处理、成熟度计算及生排烃计算等方面有其特点。在我国渤海、东海和南海各个沉积盆地的应用中,为综合评价油气勘探前景提出了重要依据。

为了加强对天然气的研究与评价,最近又研制出OGES盆地模拟方法。它可同时评价泥质生油岩、煤、煤系泥岩的生烃能力,并分别计算出各类生油岩任一时期所产天然气、轻质烃、重质烃的数量,天然气的数量中还包含有进入生油门限后各演化阶段的液态裂解气量。目前此方法也已投入实际应用阶段。

油气资源评价人工智能专家系统(简称PRES)采用了最新发展起来的专家系统技术,将石油地质专家在油气资源评价方面的推理分析制成推理机,将所用到的专家知识形成知识库,用计算机给出近于专家水平的评价结果。

PRES共包括凹陷评价、油气运聚评价和局部圈闭综合评价三大功能。系统运行结果可自动绘出凹陷内各层生油岩丰度平面图、有机质类型分布图、生油岩综合评价图、储层综合评价图、油气二次运移方向图、运移规模与构造发育的时空配置图等12种图形和不精确推理后带有可信度的评价结果。系统采用LISP语言和FORTRAN语言编制,可在IBMPC微机和VAX计算机上运行,系统内的知识库共装有1200多条知识。通过在东海盆地的实际应用,证明该系统是一个在石油地质领域内很有发展前景的新方法。它与盆地模拟系统相结合,既能使盆地发育史再现,又有油气如何运移和聚集的评价,为今后海上石油勘探提供了一套科学的研究方法。

(王伟元)