

文章编号: 0253-2697(2004)06-0044-04

## 济阳坳陷碳酸盐岩潜山油气藏勘探技术综述

马立驰<sup>1,2</sup>

(1. 石油大学 山东东营 257061; 2. 胜利油田有限公司地质科学研究院 山东东营 257001)

**摘要:** 针对碳酸盐岩潜山油气藏勘探这一公认的难题,介绍了济阳坳陷在近几年勘探实践中所形成的碳酸盐岩潜山勘探配套技术系列,如用重、震联合反演,三维叠前深度偏移和连片处理技术提高目标选区和圈闭描述的精度;采用井点储层分析描述技术和井间储层横向预测技术提高储层预测能力;运用油气运聚模拟和模式识别技术,为勘探决策提供直接和间接的证据;应用多项钻井工艺技术和酸化压裂改造技术有效地保护和改善储层性能。这些技术的成功应用,有效地提高了济阳坳陷碳酸盐岩潜山勘探水平,勘探成效显著。

**关键词:** 碳酸盐岩潜山油气藏; 圈闭描述; 储层预测; 油气判识; 井筒工艺; 济阳坳陷

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

### Overview of exploration techniques for carbonate buried-hill reservoirs in Jiyang Depression

MA Li-chi<sup>1,2</sup>

(1. University of Petroleum, Dongying 257061, China; 2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oil Field, Dongying 257001, China)

**Abstract:** A series of exploration techniques for carbonate buried-hill reservoirs applied in Shengli Oil Field were introduced. The application of joint inversion of gravity and seismic data, 3D pre-stack depth migration and 3D seismic jointing processing techniques gave high-quality data and improved the precisions of target selection and description of traps. The techniques of reservoir analysis, well bore description and the cross-hole reservoir lateral prediction could enhance the accuracy of well deployment. The application of pattern recognition and simulation technique for oil and gas transportation and accumulation provided a direct or indirect evidence for exploration decision-making oil and gas. A lot of drilling techniques, acid stimulation and compressive fracturing techniques effectively protected and stimulated the performance of reservoir. The use of these techniques improved the exploration level in carbonate buried-hill of Jiyang Depression.

**Key words:** carbonate buried-hill reservoirs; trap description; reservoir prediction; hydrocarbon recognition; wellbore technique; Jiyang Depression

济阳坳陷碳酸盐岩潜山油气藏勘探始于 20 世纪 60 年代,在寒武系和奥陶系 12 个组的地层中都发现了油气流或油气显示,累计探明石油地质储量 1 亿多吨。除传统的不整合型油藏外,还发现了潜山内幕型油藏<sup>[1]</sup>。经过 40 余年的勘探开发后,相对简单的、埋藏浅的、易于发现及易于勘探的潜山已钻探完毕,下古生界油气藏勘探遇到了新的问题:一是难于找到新的潜山;二是新找到的潜山埋藏比较深(大于 3500m),地质情况复杂。经过不断攻关研究,胜利油田形成了一套碳酸盐岩潜山油气藏勘探配套技术系列,并发现了富台油田和桩海亿吨级潜山含油目标区,突破了渤南

深层潜山油藏。笔者系统总结了近几年下古生界碳酸盐岩潜山油气藏勘探各个环节中应用比较成功的关键技术,以期能更好地指导下步勘探和供其他同类油田借鉴。

### 1 地质概况

济阳坳陷为渤海湾盆地西南部的一个次级构造单元。东以郯城-庐江断裂的中段(沂沭断裂)与鲁东隆起相隔,西部和北部以埕宁隆起和渤南凸起与黄骣坳陷、渤中坳陷相邻,南部以齐河-广饶断裂与鲁西隆起分界,西南部与临清坳陷相连。

基金项目:中国石油化工集团公司“九五”重点科技攻关项目(D99049)资助。

作者简介:马立驰,男,1973 年 12 月生,1998 年毕业于石油大学地球科学系,现为石油大学在读博士研究生,胜利油田有限公司地质科学研究院工程师,长期从事油气勘探研究工作。E-mail:dzymc@slof.com

济阳拗陷下古生界油气藏为寒武系、奥陶系的海相碳酸盐岩潜山油气藏,地层厚约1500m,缺失上奥陶统。下古生界地层经历了三叠纪褶皱隆升阶段、侏罗纪—白垩纪断块切割抬升阶段和第三纪掀斜翘升改造及覆盖掩埋阶段,其油气藏形成了现今类型多、分布广、储层非均质性强、成藏控制因素复杂和埋藏深的特点<sup>[2]</sup>。

## 2 目标选区与圈闭描述技术

### 2.1 重力、地震联合反演技术

该技术是在重力差值趋势面场源分离的基础上,以分布独立的断裂系统为构造单元,提取地震剖面目标层界面深度及其对应的重力异常信息,建立重力二元复合逆函数,从而实现重力、地震平面统计推断联合反演,得到目标层位构造图。2002年,胜利油田在沾车地区开展了1:50000高精度重力测量,在孤北地区加密到1:25000,资料面积达4538km<sup>2</sup>。通过对新、老重力资料的精细处理,落实了车镇北带、东营凹陷北斜坡及桩海地区潜山构造。在埕南断裂带下降盘共落实10个潜山山头(包括已钻探山头3个,重新落实山头4个,新发现山头3个),这10个山头沿埕南断层呈整带断续分布,有利圈闭面积为90km<sup>2</sup>。

### 2.2 连片处理技术

济阳拗陷下古生界地层在中生界沉积之前是一个稳定的整体,具有相同的沉积和构造演化特点。从构造演化的角度对盆地进行分析,有利于更好地认识潜山分布规律,从而进一步预测有利区带。但是,由于受勘探部署阶段性的影响,济阳拗陷内的三维地震资料都是不同时期、不同地表条件(海、陆及海陆过渡带)、不同观测系统、不同采集参数下采集的小块三维地震资料。三维工区近180块,前后跨越30年。

为了解决勘探中的实际问题,采用了三维地震资料连片处理技术,实现了三维资料的拼接。根据各区块三维地震资料的频率、相位、时差、信噪比等的特殊性和差异性,采用叠前能量一致性、相位一致性和振幅一致性处理方法,对能量、振幅、相位等有效地进行一致性补偿和校正。使各区块资料在保持原有品质的前提下,不仅提高了信噪比和分辨率,又保证了资料整体拼接的一致性<sup>[3]</sup>。目前,济阳拗陷先后在东营、桩海、河口-陈家庄、大王-邵家、车西、垦东6个区块进行了连片处理,单块最大面积约1500km<sup>2</sup>,总面积达7000km<sup>2</sup>。

### 2.3 基于辛几何算法的三维叠前深度偏移技术

随着地球物理技术的发展,叠前深度成像技术越

来越受到重视。对于复杂地质体,叠前深度偏移能够同时实现共反射点的叠加和绕射点的归位,是一种真正的全三维叠前成像技术。济阳拗陷北部陡坡带不同潜山所保留的地层存在较大差异,其上又覆盖了多期巨厚的砂砾岩体。针对该区的复杂地质情况,胜利油田与中国科学院杨长春等同志合作,借鉴人工合成孔径技术和地震波场费涅尔带相干理论,研制并开发了基于辛几何算法的三维叠前深度偏移技术,取得了较好的效果。偏移后的剖面信噪比明显提高;波组特征突出,地质现象清楚;剖面归位准确,断点干脆清晰。该高精度资料为后续的地震解释和储层预测提供了可靠的资料基础。

## 3 储层描述预测技术

### 3.1 井点储层分析描述技术

(1) 岩心观察描述技术 岩心是地下地质体最直观、最可靠的第一手资料。细致的岩心观察,有利于对储层的认识。通过各种储集空间的变化关系,可以判断构造演化史。通过取心,为室内储层微观分析奠定了基础,为储层敏感性预测和储层酸化压裂改造提供了资料。

(2) 储层微观分析技术 随着实验室技术的发展,各种微观技术逐渐地应用到了储层研究中。除传统的薄片和铸体薄片分析技术外,荧光薄片、扫描电镜、阴极发光、层析、包裹体和储层物性等分析技术均在碳酸盐岩储层研究中得到了广泛的应用。这些技术可以有效地进行储集空间类型识别与成因判断、成岩作用种类识别、成岩史和孔隙演化历史恢复、储集性能受控因素分析和储集空间分布规律研究<sup>[4]</sup>。将这些资料与地震、测井等宏观资料相结合,对储层宏观分布规律研究具有重要的作用。

(3) 测井解释技术 测井技术的发展,给碳酸盐岩测井解释提供了多种手段。近几年出现的成像测井技术能较好地识别储层的溶蚀孔隙和裂缝发育情况。由于不同类型的地质体在测井图像上可能有相同的显示,要有效地解释测井图像,须将测井图像与岩心和常规测井资料对比。通过研究有关地质特征在图像中的显示,形成一套综合解释技术,这将对正确认识潜山内部结构及储集体起到重要作用。

### 3.2 井间储层横向预测方法

碳酸盐岩储层以非均质性强而著称,即使是今天,复杂地区的储层横向分布预测依然是难点问题。正因为如此,有关碳酸盐岩储层分布预测的方法很多。归

纳起来,可以大致分为以下3类<sup>[2,5-7]</sup>:

(1) 地震属性参数法 通过正演模型和已钻井数据研究各种地震属性与储层的关系,可以有效地预测储层的分布。目前,常用的地震属性有振幅、振幅横向变化率、吸收系数、地震相等。一般来讲,储层发育部位反射波能量变弱,系数变化大。当潜山风化壳变厚时,顶面反射波同相轴增多,为多个弱反射;无风化壳或风化壳不发育时为单个强反射。潜山内幕储集层表现为低频、杂乱反射特征,同相轴连续性差<sup>[5]</sup>。

(2) 地震、测井联合反演法 地震反演是一项有效的储层预测方法。即:将测井资料与钻井资料纵向分辨率高、横向稀疏的特点与地震资料纵向粗略、横向密集的特点有机地结合,从而较准确地描述储层的厚度和几何形态。现在的反演软件提供了测井约束反演、合成声波反演和随机反演等多种反演方法,可以根据不同的地质情况、资料情况选择不同的算法。地震、测井联合反演在济阳坳陷广饶潜山、埕岛潜山等地区储层预测中起到了重要的作用,大大地提高了反演的精度,为探井部署提供了可靠依据。

(3) 半定量数学算法 在储层预测过程中,发展了如曲率法、构造应力场模拟法、断层应力强度因子计算法、非线性大变形预测、相干性等基于数学运算的半定量储层预测方法。目前,这些算法在埕岛、桩西等构造活动强烈的地区都得到了广泛应用,提高了钻井成功率。

## 4 油气判识技术

### 4.1 油气运聚模拟技术

油气运聚模拟是从石油地质的物理化学机理出发,在时空概念下由计算机定量模拟含油气盆地中烃类的运移与聚集。该技术为石油地质家提供一个快速、定量、综合的研究手段,揭示盆地油气分布规律,为勘探决策提供直接或间接的依据。引进的德国 IES PetroMod 二维运聚模拟软件,在沾化、车镇、东营洼陷得到成功应用,目前已成为油气勘探日常分析的必备技术。

### 4.2 模式识别预测含油气性

模式识别可以综合利用反映反射波特征的各种信息,准确地描述储层的特性、横向变化及含油气性。在富台油田的勘探中,利用模式识别技术对八陡-上马家沟组、治里亮甲山-凤山组两套高产层系进行了油气判识。通过样本参数试验和窗口参数试验,八陡-上马家沟组采用 60ms 处理时窗长度,特征参数选用自相关函数组加傅立叶谱参数系列;治里亮甲山-凤山组试验

时窗的起始点为 T<sub>gll</sub>(治里亮甲山和凤山组的分界)层位上移 20ms,处理时窗长度为 90ms,特征参数为傅立叶谱加前、后向预测误差参数。该方法对探井部署起到了一定的指导作用,与实际钻探效果吻合较好。

## 5 井筒工艺技术

### 5.1 钻井工艺技术

钻井是地质、物探、测井等资料综合分析结果的实现过程,其工艺水平的高低直接影响勘探的成效,甚至决定勘探工作的成败。济阳坳陷通过优选高效能钻头和优质钻井液,应用近欠平衡钻井技术,有效地保护了油层,提高了钻井速度,缩短了钻井周期,节约了勘探成本。

(1) PDC 钻头 通过对金刚石钻头和地层岩性的相关性研究,研制并开发了 11 种 PDC 钻头。实践证明,该钻头最大进尺可达到 268m,为同类井段牙轮钻头的 2.75 倍。

(2) 近欠平衡压力钻井技术 近欠平衡压力钻井技术可有效地提高钻井机械速度,解决井漏、井涌等复杂井眼问题,保护油气层。胜利油田通过油层有关参数分析,确定泥浆密度一般为 1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>,并已在 9 口探井采用了该技术,效果显著。

(3) 钻井液、完井液体系 近年来,随着储层损害机理研究的不断深入,碳酸盐岩钻井液、完井液体系研究也取得了长足的进展。聚合醇无(低)固相钻井液、海水无(低)固相钻井液等油层保护钻井液配合无(低)固相完井液体系已成功地应用到碳酸盐岩潜山钻探中<sup>[8]</sup>。

在埕岛油田勘探开发中,在使用欠平衡压力钻井的同时,使用海水低固相不分散钻井液、完井液,效果非常显著。CB30B-1 井钻杆测试表明,表皮系数为 -2.9,说明油层得到了较好的保护。目前 CB30A-1 井、CB30B-1 井、CB30B-2 井均已试油完毕并获高产, CB30A-1 井 10mm 油嘴产油量为 236 m<sup>3</sup>/d, CB30B-1 井 8mm 油嘴产油量为 169m<sup>3</sup>/d, CB30B-2 井 10mm 油嘴产油量为 264 m<sup>3</sup>/d。

### 5.2 酸化压裂改造技术

济阳坳陷碳酸盐岩潜山油气藏具有以下特点:埋藏深,油管摩阻高;地层温度高,酸液须具有高温条件下良好的缓蚀、缓速性能;基质渗透率低,破裂压力高;非均质性强,易形成酸蚀溶孔,酸液溶蚀严重;地层闭合压力高,影响酸化有效期;酸化压裂后残酸返排困难。根据这些特点,采用了多级交替注入胶凝酸酸压+闭合酸化工艺并混注液氮来进行大型酸压改造,

成功地降低了酸岩反应速度和酸液漏失,获得了较长酸蚀裂缝和较高导流能力,取得了较好效果<sup>[9]</sup>(表 1)。

表 1 富台油田酸压前后产量变化

Table 1 Statistical results of fore-and-aft acid stimulation and compressive fracture of Futai Oil Field

井号	层位	井段/m	酸压前 日产油/t	酸压后 日产油/t
车古 201	O	3910~4080	27.0	110
车古 202	O	4174~4195	0.71	27.9
车古 203	O	4096~4150	0.77	8.73
车古 204	O	4337~4407	2.6	123

济阳拗陷碳酸盐岩潜山勘探体系与流程如图 1 所示,多种关键技术的配套应用,是碳酸盐岩潜山勘探取得成功的保证。

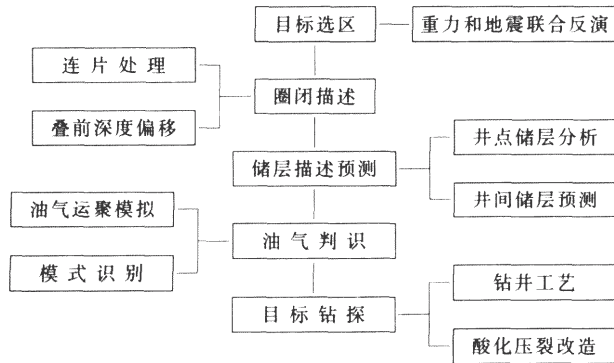


图 1 济阳拗陷碳酸盐岩潜山油气藏勘探技术流程

Fig. 1 Exploration technique flow chart of Jiyang Depression carbonate buried-hill reservoirs

## 6 结束语

碳酸盐岩潜山油气成藏条件极为复杂,勘探难度非常大,勘探技术的发展直接关系到能否在较短时间内实现大突破、大发现,保障油气资源可持续发展。济阳拗陷在原有技术的基础上,通过不断摸索,技术上取得了一定的突破,勘探上取得了一定的成功。但实际

上,碳酸盐岩潜山油气藏勘探还存在许多制约因素。特别是随着勘探的不断深入,还会遇到新的问题。须根据具体情况进行分析研究,运用新的方法和技术实现新的突破。同时,必须认识到油气藏勘探是一个系统工程,单一技术对地下客体的认识比较局限,只有将各项技术相互融合、相互渗透、协同研究,才能准确掌握地下情况,提高勘探效益。

## 参 考 文 献

- [1] 马立驰. 济阳拗陷下古生界内幕型储层成因探讨[J]. 特种油气藏, 2003, 10(3): 13-14.
- [2] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 多样性潜山成因、成藏与勘探—以济阳拗陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 85-193.
- [3] 赵志萍, 徐辉, 王惠玲. 三维地震资料连片的一致性处理技术[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(4): 35-39.
- [4] 张守鹏, 谢忠怀, 郝运轻, 等. 灰岩潜山微观分析技术[A]. 见: 李干生. 胜利油田勘探技术论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 152-162.
- [5] 王军, 阎昭岷, 乔玉雷, 等. 济阳拗陷潜山油气藏综合评价方法[A]. 见: 李干生. 胜利油田勘探技术论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 72-77.
- [6] 宋国奇, 徐春华, 王世虎, 等. 胜利油区古生界地质特征及勘探潜力[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000: 112-121.
- [7] 李丕龙, 张善文, 王永诗, 等. 断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究—以济阳拗陷为例[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 28-31.
- [8] 乔军. 油层保护钻井液技术[A]. 见: 李干生. 胜利油田勘探技术论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 234-240.
- [9] 张太斌. 车西古潜山碳酸盐岩储层酸压改造技术[J]. 钻采工艺, 2003, 6(2): 24-28.

(收稿日期 2004-02-27 改回日期 2004-06-06)

(编辑 张占峰 王 秀)

(上接第 43 页)

- [14] Duddy I R, Green P F, Bray R J, et al. Recognition of the thermal effects of fluid flow in sedimentary basins[A]. In: Parnell J. Geofluids: origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins[C]. London: Geological Society Special Publication No. 78, 1994: 325-345.
- [15] Hao Fang, Li Sitian, Gong Zaisheng, et al. Thermal regime, inter-reservoir compositional heterogeneities, and reservoir-filling history of the Dongfang Gas Field, Yinggehai Basin, South China Sea: Evidence for episodic fluid injections in

overpressured basins[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(5): 607-626.

- [16] Thompson K F M. Fractionated aromatic petroleum and the generation of gas-condensates[J]. Organic Geochemistry, 1987, 11(4): 573-590.
- [17] Whelan J K, Kennicutt II M C, Brooks J M, et al. Organic geochemical indicators of dynamic fluid flow process in petroleum basins[J]. Organic Geochemistry, 1998, 22(4): 587-615.

(收稿日期 2004-04-12 改回日期 2004-06-29)

(编辑 张占峰 王 秀)