

## 冀中坳陷霸县凹陷文安斜坡潜山 油气成藏模式与勘探发现

王建瑞,刘趁花,郭永军,朱洁琼,金涛

(中国石油华北油田公司勘探开发研究院)

**摘要** 利用已钻井资料及高精度叠前时间偏移三维地震资料,对冀中坳陷文安斜坡基岩结构特征、潜山内幕反射结构和已钻井分析表明,斜坡南段潜山内幕寒武系发育有多套储盖组合,油源来自霸县洼槽下第三系沙河街组 and 孔店组,大断层面、不整合面和渗透层构成油气运移通道。构建了“坡腹层状古储古堵古盖油气藏”潜山内幕成藏新模式,并发现落实了一批潜山内幕圈闭,优选钻探文古3井,于下寒武统府君山组获得高产工业油气流。回顾了构建潜山成藏新模式和文古3潜山油藏的勘探发现历程,并描述了该油藏的基本特征。

**关键词** 霸县凹陷;文安斜坡;油气勘探;古潜山油气藏;油气成藏模式;油气藏特征

**中图分类号**:TE112.36;TE122.3

**文献标识码**:A

### 1 概述

潜山构造一直是文安斜坡油气勘探的重要领域,自20世纪70年代在华北冀中坳陷进行油气勘探以来,以“新生古储新堵潜山成藏”模式为指导,发现了以任丘油田为代表的一大批“凹中古隆起型”古潜山油气田,实现了华北油田古潜山勘探的重大突破;80年代,以“混生古储中堵块状油气成藏”模式为指导,又发现了霸县凹陷文安斜坡北段以苏桥油气田为代表的“斜坡型”古潜山油气田,再一次实现了古潜山勘探的突破。但是随着勘探程度的提高,这两种典型模式的古潜山块状油气藏已无新发现,古潜山勘探又渐入低谷。因此,不断寻求探索新的潜山油气成藏模式就具有非常现实的价值和意义。

文安斜坡位于冀中坳陷霸县凹陷东部,属牛驼镇背斜东翼。这里是一个油气资源富集、由不同层系、不同类型油气藏组成的复合型油气聚集区。自1977年在文安斜坡钻到潜山以来,至今钻达潜山的探井共有47口。1977年第一口钻达潜山的文3井在文安斜坡中段(位置见图1),钻达目的层奥陶系后未发现油气显示。1982年在文安斜坡北段构建了潜山“混生古储

中堵块状油气成藏”模式(即新生界暗色泥岩与石炭系—二叠系煤系地层为烃源岩,古生界奥陶系石灰岩为储集层,中生界泥岩为封堵层),钻探的苏1井在奥陶系获得高产油气流,由此发现了苏桥潜山凝析气藏。到1986年,又相继发现了信安镇潜山(苏4)、苏桥潜山带南(苏6)、苏桥潜山带西(苏16)奥陶系凝析气藏(井位见图1)。在随后的十几年里,潜山勘探没有取得新的进展,文安斜坡进入了以第三系油气藏为主的勘探期<sup>[1-7]</sup>。20世纪90年代中后期,利用三维地震资料积极勘探和落实深、小潜山,于1998年在苏桥断裂潜山带北部发现埋深达4800m的信安镇北奥陶系潜山,钻探的苏49井获得高产油气流。2001年在苏桥断裂潜山带西部又发现埋深达4700m的苏60井奥陶系潜山气藏(位置见图1)。近几年,对深潜山及潜山内幕领域进一步地深化研究,构建潜山内幕层状油气藏模式,利用新处理的叠前时间偏移地震资料发现落实了一批潜山内幕圈闭,2008年3月在文安斜坡南段优选钻探了文古3井(位置见图1),于古生界下寒武统府君山组获得高产工业油气流,由此又开辟了潜山勘探的新领域。文古3府君山组油气藏是在文安斜坡发现的第一个内幕型下古生界碳酸盐岩潜山油气藏。

收稿日期:2011-09-15;改回日期:2011-10-21

王建瑞:1960年生,高级工程师。1982年华东石油学院地球物理勘探专业毕业。主要从事油气勘探综合研究工作。通讯地址:062552 河北省任丘市华北油田勘探开发研究院;电话:(0317)2725347

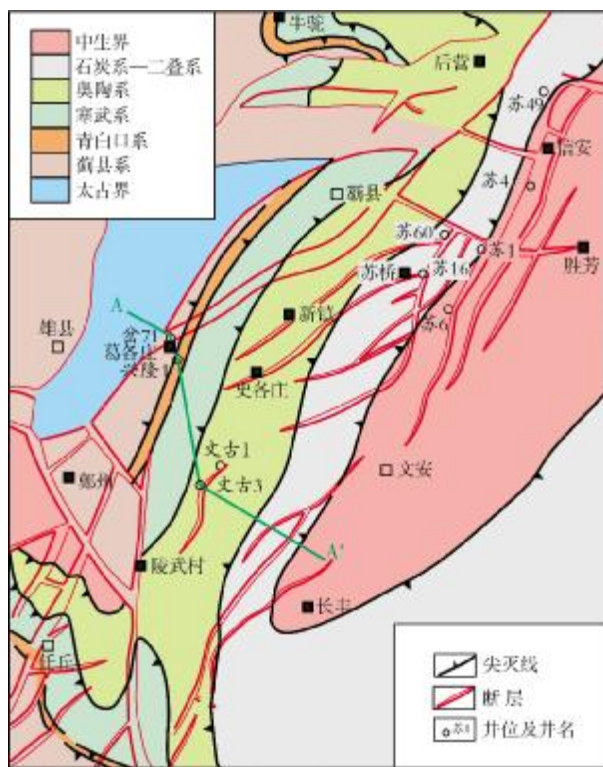


图1 霸县凹陷前第三系地质图

A—A'剖面见图2

## 2 构建潜山油气成藏新模式与勘探发现历程

### 2.1 地质综合分析,明确有利勘探区带

文安斜坡是一个第三纪前东倾的古斜坡,由于

在喜马拉雅期之前长期遭受剥蚀,造成基岩地层自东而西由新变老,依次出露中生界、石炭系—二叠系、奥陶系、寒武系、新元古界青白口系、中元古界蓟县系<sup>[8]</sup>(图1)。早第三纪,在区域性沉降的作用下,古斜坡发生西降东翘的构造反转,晚第三纪构造活动减弱,定型成“坡上内幕山”。第三系自西而东厚度减薄,下第三系超覆于古斜坡之上,表现出文安斜坡是早第三纪沉积的斜坡(图2)。

文安斜坡南北基底结构存在着差异性。斜坡中北段苏桥—信安潜山带发育有相互切割的NNE和NW向两组张性断裂,控山断层断距大,形成高垒深沟和垒堑间互的构造格局,造成断块式潜山成带分布,从而形成了以奥陶系为储层,以第三系、石炭系—二叠系、中生界为封盖层的碳酸盐岩潜山圈闭(在此发现了苏桥、信安镇、信安镇北等一批奥陶系潜山凝析气藏)。而文安斜坡南段为低垒浅槽结构特征,缺乏规模大的反向断层,难于形成较大型常规的潜山圈闭,仅局部地区发育有相互斜交的NNE和NEE向两组张性断裂,控山断层断距较小(一般小于300m),主要形成小幅度断块、断鼻潜山构造(图2)。

分析发现,文安斜坡潜山勘探存在两个方面的不均衡性。一是已发现潜山油藏全部分布在中北段,而中南段尚无油气发现,勘探程度低;二是已发现潜山油藏以奥陶系顶块状油气藏为主,寒武系及其以下潜山内幕勘探程度很低。进一步研究认为,文安斜坡内带,尤其是中南段前第三系出露寒武系,埋深不太大,青白口系—寒武系碳酸盐岩与泥岩不等厚互

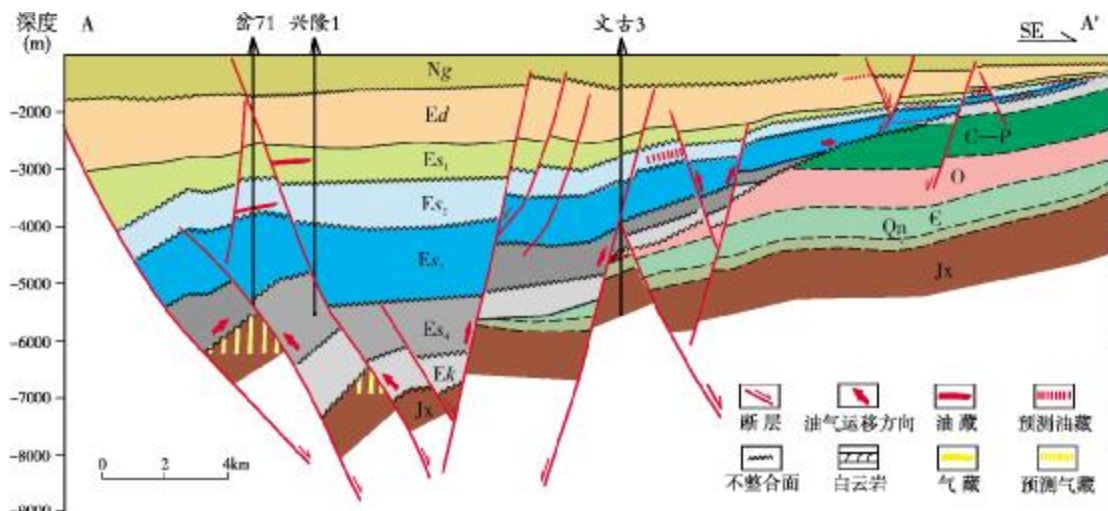


图2 文安斜坡南部地质结构剖面图

Jx 蓟县系; Qn 青白口系; Ek 孔店组; Es 沙河街组; Ed 东营组; Ng 馆陶组。A—A'剖面位置见图1

层,并存在多套储盖组合<sup>[9]</sup>(图3),它们与控山小断层配置,具备形成潜山内幕圈闭和油气藏的条件,是深化潜山及内幕勘探的有利方向。

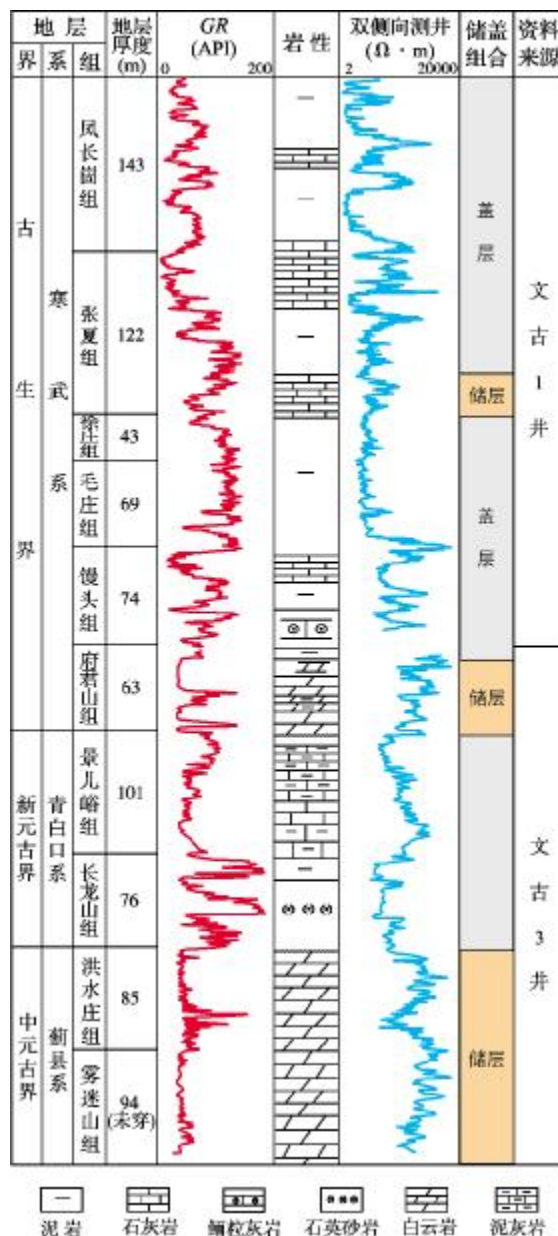


图3 文安潜山内幕储盖组合图

## 2.2 老井重新分析,发现有利线索

文古1井是1987年利用二维地震资料设计钻探的一口老井,它位于文安斜坡南段文安潜山带(位置见图1),进潜山层位为寒武系,钻穿寒武系、青白口系进入蓟县系雾迷山组完钻。该井在寒武系、青白口系见多层气测异常,并发现1层6m的9~15级荧光显

示,在钻井过程中曾发生井漏(漏失泥浆569.35 m<sup>3</sup>),测井解释寒武系Ⅱ类储层计35.2 m。地层测试的结果产水,取样器中有天然气。

经三维地震资料落实,文古1井潜山顶面不存在构造圈闭,按照潜山顶块状油气藏模式,文古1井潜山出水就顺理成章了。但经深入分析后发现,文古1井潜山上部地层为青白口系—寒武系碳酸盐岩与泥岩不等厚互层,存在多套储盖组合,发现多套气测异常,呈现层状成藏特征,而且从叠前三维时间偏移地震资料来看,寒武系内幕反射特征清楚,潜山顶面不整合面与潜山内幕地层面呈角度不整合关系<sup>[10]</sup>(图4),潜山顶面构造与潜山内幕构造明显不一致,为此我们开展了潜山内幕构造精细解释工作。

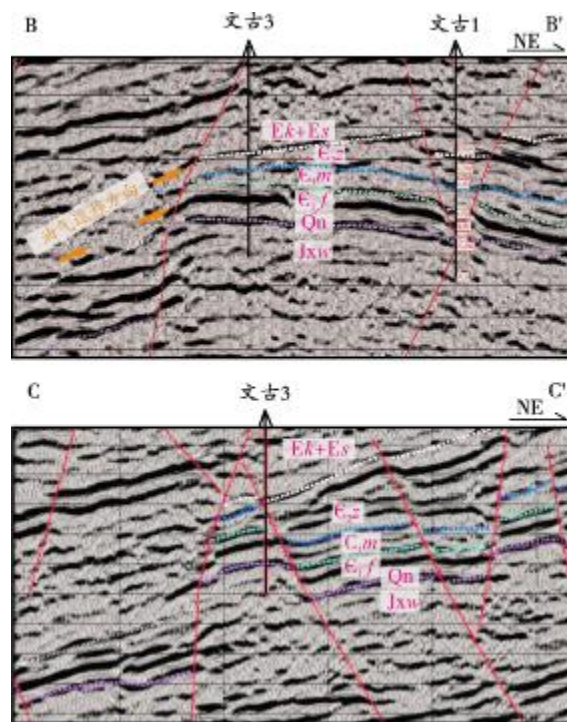


图4 文古1潜山地震剖面

Jxw 蓟县系雾迷山组; Qn 青白口系; E<sub>2f</sub> 府君山组; E<sub>2m</sub> 馒头组; E<sub>2z</sub> 张夏组; Ek 孔店组; Es 沙河街组。

B—B'和C—C'剖面位置见图5

## 2.3 精细构造解释,发现潜山内幕圈闭

利用文古1合成记录确定了潜山顶面及潜山内幕寒武系张夏组、府君山组、雾迷山组等各层的反射界面,编制了各层系构造图。从新编的下寒武统府君山组顶面构造图(图5)可看出,文安潜山带潜山顶面总体为一东抬西倾的单斜,但潜山内幕的构造与

潜山顶面有所不同,局部地层南抬,与北东向、南北向两组断层配置形成多个潜山内幕断块、断鼻构造。

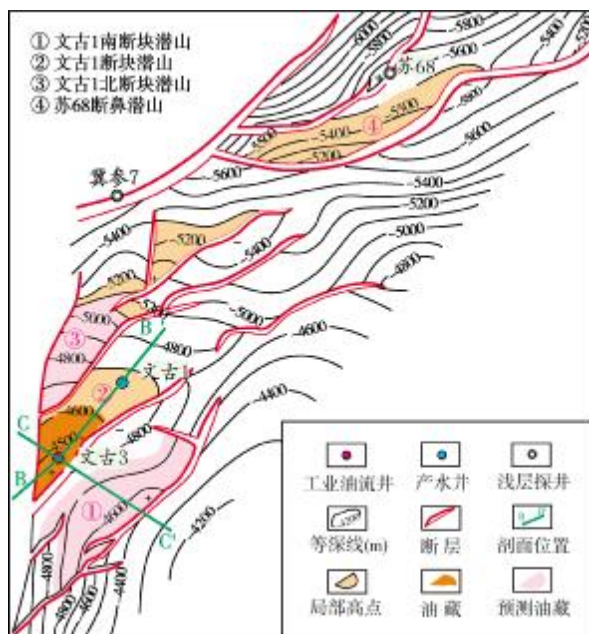


图5 文安潜山下寒武统府君山组顶面构造图

B—B'剖面见图4,C—C'剖面见图4和图6

在文安潜山带发现了四个潜山构造,分别是文古1断块潜山、文古1南断块潜山、文古1北断块潜山和苏68断鼻潜山(图5)。这4个潜山内幕的寒武系张夏组和府君山组、蓟县系雾迷山组等三个层系,圈闭面积共计49 km<sup>2</sup>。

## 2.4 构建坡腹层状油气藏模式,部署钻探文古3井取得突破

上述潜山内幕构造中,以文古1断块潜山最为落实,它是由南北向的文古1井西断层和北东向的文古1井南断层夹持形成的墙角式垒块。文古1井位于构造低部位。文古1井西断层是第三纪断层,断距较大;文古1井南断层是内幕老断层,第三纪活动微弱,断层两侧地层均为古生界,其封堵性是潜山成藏的关键。对文古1井钻遇的地层分析可知,断块高部位潜山地层主要为府君山组,是寒武系的主要储层发育段;在文古1井南断层下降盘与其对接的是寒武系张夏组、徐庄组、毛庄组和馒头组,其岩性为红色泥岩夹薄层灰岩,是良好的盖层和侧向封堵层<sup>[1]</sup>(图6)。因此,文古1断块潜山具备形成潜山斜坡坡腹层状古储古堵内幕油气藏成藏的条件。文古1井在构造低部

位已见到荧光显示和气测异常,其高部位成藏的可能性很大,为此,2008年在文古1潜山内幕高部位设计钻探了文古3井。

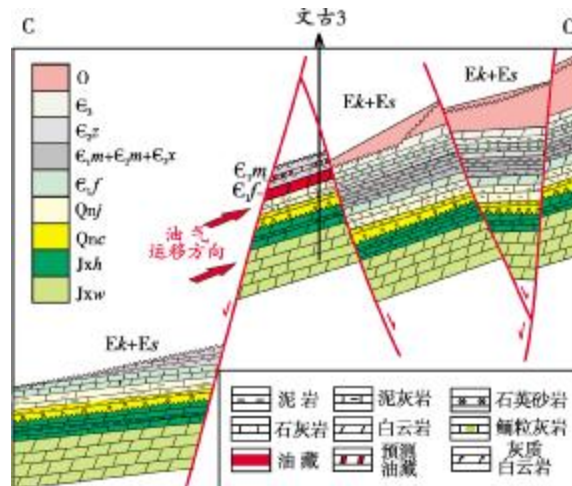


图6 文安斜坡坡腹层状内幕油藏模式图

Jxw 蓟县系雾迷山组; Jxh 蓟县系洪水组;

Qnc 青白口系长龙山组; Qnj 青白口系景儿峪组;

E<sub>1f</sub> 府君山组; E<sub>1m</sub> 馒头组; E<sub>2m</sub> 毛庄组; E<sub>2x</sub> 徐庄组;

E<sub>2z</sub> 张夏组; Ek 孔店组; Es 沙河街组。C—C'剖面见图5

文古3井于4359m钻遇潜山(层位为寒武系馒头组),于4461m进入寒武系府君山组,钻遇潜山的深度比文古1井深140m,潜山内幕府君山组比文古1井高220m。文古3井在府君山组发现油气显示,中途裸眼测试获高产油气流,折合日产油302.6 m<sup>3</sup>和天然气94 643 m<sup>3</sup>(13 mm油嘴)。

## 3 油气藏形成特征

### 3.1 白云岩储集体

文古3井寒武系府君山组储层岩石类型为白云岩,主要有泥晶白云岩(占40%)、粉晶白云岩(占40%)、细晶粉晶白云岩(占13.3%)和泥晶粉晶白云岩(占6.7%)四种(图7)。白云岩中的白云石含量达77%~100%,平均95.9%,主要为泥晶和粉晶结构(图7a—7c),少量细晶—粉晶和泥晶—粉晶结构(图7d,7c),部分岩石含粉砂级陆源碎屑达20%。

### 3.2 孔洞、裂缝两类储集空间

根据测井资料、井壁钻心及铸体薄片,文古3井寒武系府君山组白云岩储集空间有孔洞型、裂缝型

两类储集空间和晶间孔、溶孔、溶洞、构造缝等四种孔隙类型(图 7),有效孔隙度为 0.5%~9.3%、渗透率达 $(0.1\sim 216.5)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。测井解释有 I 类储层 2 层

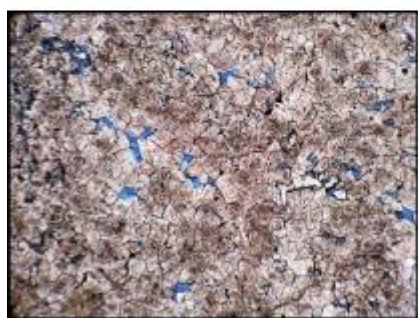
计 21.2m、II 类储层 2 层计 15m、III 类储层 2 层计 8m,占府君山组地层厚度的 72.5%。储层发育,储集性能良好<sup>[12]</sup>。



(a) 泥晶白云岩。岩石破碎,构造缝发育,见溶蚀孔洞。  
府君山组, 4502.4m。井壁取心



(b) 粉晶白云岩。构造缝发育,部分构造缝被方解石充填。  
府君山组, 4509m。井壁取心



(c) 粉晶白云岩。白云石晶间孔。府君山组,  
4515m。铸体薄片, (—),  $10\times 10$



(d) 细晶—粉晶白云岩。构造缝被方解石充填。  
府君山组, 4506m。岩石薄片, (—),  $10\times 10$



(e) 泥晶—粉晶白云岩。构造缝被白云石半充填。  
府君山组, 4474.5m。铸体薄片, (—),  $10\times 10$

图 7 文古 3 井白云岩储层特征

### 3.3 霸县洼槽深部烃源岩供油气

文古 3 井原油密度较低,为  $0.7712\text{ g/cm}^3$  (20℃ 时);热演化程度较高,  $20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})\text{C}_{29}$  为 45.36%,  $\beta\beta/\Sigma\text{C}_{29}$  为 43.08%,为处于生油高峰期烃源岩生成的原油。

烃源对比表明,文古 3 井油气来自霸县洼槽埋藏较深的下第三系沙河街组四段—孔店组烃源岩。

结合地质结构分析,文安潜山带有两种供烃方式。

一是大断层断面供烃。文安潜山通过其西翼的文古 1 西大断层与断层下降盘的霸县洼槽沙河街组四段—孔店组烃源岩对接,油气可穿过断面直接向文安潜山内幕碳酸盐岩储集层中运移聚集<sup>[13]</sup>,这是主要的供油方式。

二是沿不整合面和渗透层供烃。油气可通过潜山顶部不整合面和潜山渗透层向相邻断块潜山及内幕供油气。

### 3.4 坡腹层状内幕油气藏

文古 3 井府君山组油气藏地层压力为 42.2 MPa,地层压力系数为 0.985,地层温度为 151℃。原油密度  $0.7712\text{ g/cm}^3$  (20℃)、黏度  $1.303\text{ mPa}\cdot\text{s}$  (50℃)、凝固点 26℃、含硫 0.001%、含胶质+沥青质 1.09%、含蜡 23.84%。天然气组分:甲烷 72.09%、乙烷 14.99%、丙烷 4.85%、异丁烷 1.84%、正丁烷 1.35%。天然气甲烷含量较低,湿气含量较高,各组分碳同位素相对较重,为油型裂解气。

原油凝固点和含蜡量较高,气油比相对偏低,定性为挥发性轻质油气藏。

油气藏类型为斜坡坡腹层状内幕潜山油气藏。文古 3 井含油层不在潜山顶部风化壳,而在潜山内幕,而且文古 3 井潜山顶面低于文古 1 井 140m。文古 3 井潜山顶面为寒武系馒头组,为泥岩夹薄层灰岩,并作为府君山组油层的盖层。而府君山组中部的

泥岩、泥灰岩和青白口系景儿峪组的泥灰岩是油气藏的底板层和隔层。

#### 4 勘探启示

(1)转变思维、创新认识、开拓勘探新领域,是勘探程度区取得新突破的关键。霸县凹陷是冀中探区富油气凹陷之一,剩余资源量十分丰富<sup>[14]</sup>,但勘探程度高,要进一步取得新发现、新突破的难度也大。文古3潜山内幕油藏的发现,充分说明转变勘探思路,创新认识,不断开拓勘探新领域,勘探就可能有新突破和大发现。

(2)斜坡坡腹层状内幕潜山是文安斜坡今后勘探的重要领域。文古3井潜山内幕油气藏的发现表明,文安斜坡蓟县系—寒武系存在多套储盖组合,油气源充足,潜山内幕成藏条件优越,是深化老区勘探的一个重要领域。

#### 参考文献

- [1] 华北石油勘探开发设计研究院. 潜山油气藏[M]. 北京:石油工业出版社,1982:117-128.
- [2] 华北石油会战指挥部石油勘探开发研究院,渤海湾地区石油地质研究所. 渤海湾地区古潜山油、气田[M]. 北京:石油化学工业出版社,1978
- [3] 苏立萍,罗平,胡社荣,等. 苏桥潜山带奥陶系碳酸盐岩储集层研究[J]. 石油勘探与开发. 2003, 30(6):54-57.
- [4] 肖丽华,孟元林,李臣,等. 冀中拗陷文安斜坡古生界成藏史分析[J]. 石油勘探与开发. 2004, 31(2):43-45.
- [5] 郑亚斌,郑文兵,苑艳普,等. 古潜山内幕油藏勘探[J]. 中国科技信息,2005,(22):96-98.
- [6] 杜金虎,邹伟宏,费宝生,等. 冀中拗陷古潜山复式油气聚集区[M]. 北京:科学出版社,2002:457-474,601-603.
- [7] 费宝生,汪建红. 中国海相油气田勘探实例之三:渤海湾盆地任丘古潜山大油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质,2005, 10(3):42-50.
- [8] 邹伟宏,张放,崔占堂,等. 冀中油气区中元古—古生界及沉积环境[M]. 北京:石油工业出版社,2001:135-140.
- [9] 余家仁,陶洪兴,樊哲仁,等. 华北潜山油藏碳酸盐岩储集层研究[M]. 北京:石油工业出版社,1993:50-60.
- [10] 高现俊,史英龙,张志国,等. 叠前时间偏移特色配套处理技术研究及其在华北油田的应用[J]. 中国石油勘探,2008, 13(2):45-52
- [11] 赵贤正,金凤鸣,王余泉,等. 冀中拗陷长洋淀地区“古储古堵”潜山成藏模式[J]. 石油学报,2008, 4(2):489-493.
- [12] 高程军,陈科贵,卫扬安,等. 碳酸盐岩储层测井与录井评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,2007.
- [13] 卢学军,刘华,王建瑞,等. 渤海湾盆地霸县凹陷疏导体系与新近系油气运移特征[J]. 石油实验地质,2010, 32(2): 258-261.
- [14] 赵贤正,金凤鸣,王权,等. 中国东部超深超高温碳酸盐岩潜山油气藏的发现及关键技术——以渤海湾盆地冀中拗陷牛东1潜山油气藏为例[J]. 海相油气地质 2011,16(4): 1-10.

编辑:赵国宪

## A Hydrocarbon Accumulation Model and Petroleum Discovery of Cambrian Buried Hill Reservoirs in Wen'an Slope, Jizhong Depression

Wang Jianrui, Liu Chenhua, Guo Yongjun, Zhu Jieqiong, Jin Tao

**Abstract:** Based on the analysis of the textures and characteristics of the basement rock, the seismic reflection features of buried hills and drilling and logging data, it is known that three sets of source-reservoir-caprock assemblages develop from the top to the bottom in Cambrian inner buried hills of Wen'an Slope, Jizhong Depression. Hydrocarbon derives from Paleogene Shahejie and Kongdian source rocks and the permeable large fault planes and unconformable planes work as the pathways of hydrocarbon migration. After a new hydrocarbon accumulation model of inner buried-hills is recommended, a group of buried-hill traps were discovered in Wen'an slope. A risk prospecting well, Well Weng'an-3, was elected to drill and high-yielded commercial oil flow was obtained in the lower Cambrian Fujunshan buried-hill carbonate reservoir. The history how to set up the new model and to prospect and discover the Weng'an-3 reservoir is reviewed and the basic characteristics of the reservoir also depicted.

**Key words:** Buried hill reservoir; Model of hydrocarbon accumulation; Reservoir characteristics; Oil and gas exploration; Wen'an Slope; Jizhong Depression

Wang Jianrui; male, Senior Geologist. Add: Research institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei, 062552, China