

# 干扰试井技术在油藏描述和动态调整中的应用

杜鹃红

(大庆油田有限责任公司第五采油厂 黑龙江大庆 163513)

**摘要** 经对干扰试井技术的现场应用实例分析,证明干扰试井技术能够准确判断井间连通性,求取井间地层参数,加深地质认识,有效指导油田开发调整。通过现场应用,确定了干扰试井的现场应用条件。

**关键词** 干扰试井 压力恢复 激动井 反映井

## 前 言

随着油田开发调整的深入和测试工艺的改进,促进了干扰试井的应用范围。通过几年来干扰试井技术在大庆采油五厂地区的应用,进一步验证了干扰试井技术在砂体解剖、井组连通状况判断、构造断层识别、注采失衡原因分析、动静态资料验证等方面的实际应用效果。应用干扰试井资料可进一步修正静态认识、提高静态绘图精度。参照干扰试井结果进一步加深对井间或井组不同方向的连通状况、导流能力、渗透率等差异情况的认识,对动静不符、注采不均衡等油田开发矛盾做出客观判断,使注水调整更具针对性,并有效指导注水调整效果的动态变化特征预测,改善油田开发效果,提高油田开发效益。

## 干扰试井的应用

### 1. 加深地质认识

#### (1) 判断井间连通性,识别构造断层

太9-30井为2002年12月投产井,葡16层发育较好,砂体解剖的初步成果为:太9-30井与水井太10-30井、油井太10-29井同处一条河道内。太10-29井液量、含水均较高;而太9-30井与其处于同一河道,初步认为由于投产时间较晚,全井产液量低,含水低,只有38.6%(见表1)。为了提高低含水井太9-30井的产液量,2003年1月对水井太10-30井进行方案提水,但从油井的受效情况看,太10-29井产液量上升,含水上升;而太9-30井没有见到注水

效果,属于动静不符的情况。

表1 太10-30井组油水井基础数据表

类别	井号	砂岩/ 有效厚度 (m)	有效渗 透率 ( $\mu\text{m}^2$ )	油层中 部深度 (m)	产液 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	含水 (%)	流体 粘度 ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	孔隙度 (%)	综合压 缩系数 (1/MPa)	油水井 距离 (m)
激动 井	太10-30 (P16数据)	6.2/	0.164/	1120.8/ 1123	30	/	0.6	23.2/ 24.4	0.000846	/
		5.1	0.271	1087						
反应 井	太9-30	15.4/ 10.9	0.014/ 1.652	974.1/ 1134.6 1089	5	38.6	5.5	19.2/ 27.3	0.000846	200
		12.0/ 9.9	0.021/ 0.4	1077.4/ 1137.4 1076.8	63	94.4	5.5	23.8/ 23.8	0.000846	225

为此,2003年10月在该井组实施干扰试井,以水井太10-30井偏III层段葡16层为激动层,以油井太9-30井、太10-29井为反应井。经过16d的测试,得到了完整的脉冲试井资料,反应井太10-29井、太9-30井的脉冲曲线见图1、图2。

从反应井太10-29井的测试结果来看,该井压力随激动井的激动周期而呈现出周期性的波动,说明该井与激动井太10-30井的葡I6层连通性较好(见图1)。经过解释,得到了反应井的相关参数,反应井太10-29井与激动井的时滞为9.01h,压力反应幅度为0.0947MPa,流动系数为 $0.223\mu\text{m}^2\cdot\text{m}/(\text{mPa}\cdot\text{s})$ ,储能系数 $1.81\times 10^{-3}\text{m}/\text{MPa}$ ,导压系数 $2.47\mu\text{m}^2\cdot\text{MPa}/(\text{mPa}\cdot\text{s})$ 。

从反应井太9-30井的测试结果看,该井在整个测试过程中压力曲线恢复平稳,未受到激动井的干扰。解释结果为激动井太10-30井的葡I6层和反应井太9-30井连通性差或不连通(见图2)。

根据以往的认识,大面积成片发育的河道砂应有较好的连通关系,而试井结果却不然。为此,基于单井测井曲线,重新利用临井的对应关系,逐井逐层进行对比,发现太9-30井在葡15号层处断失,而临井均

在嫩I、嫩II段断失,并且该井与原构造的断层距离较远。结合干扰试井结果,判断在该井处有新的断层发现,而且该断层具有较好的封隔作用。因此,2003年11月对水井太10-30井进行方案调整,将偏III层段葡I6层停注,减缓了油井太10-29井的含水上升。截止到目前,累计节约注水 $2.0130 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

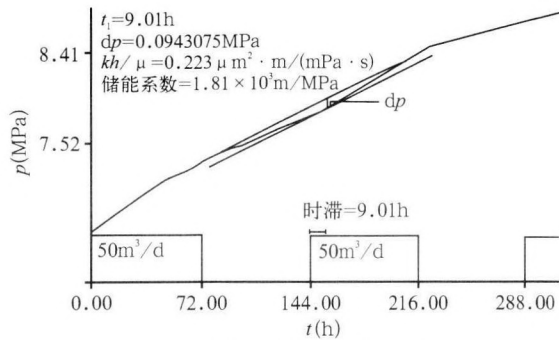


图1 太10-29井脉冲曲线

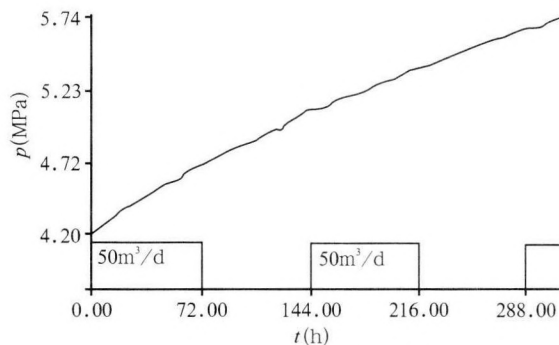


图2 太9-30井脉冲曲线

(2)修正砂体精细解剖成果,加深地质认识

高37-31井于1999年7月投产,投产初期日产液46 t,日产油3 t,含水93.5%,流压1.82 MPa。加密调整后对高台子油田全面进行了精细地质解剖。从精细地质研究的结果看,高37-31井与高38-31井葡I6层是不连通的。但通过近两年的开发调整分析,葡I6层为同一砂体。高38-31井于1999年9月进行注水方案调整,葡I6层及以上由 $50 \text{ m}^3$ 调整为 $20 \text{ m}^3$ ,2000年9月又进行了注水方案调整,葡I6层及以上由 $20 \text{ m}^3$ 减少到 $10 \text{ m}^3$ 。高37-31井产液量从1999年11月开始逐渐下降,到2002年7日产液13 t,日产油2 t,含水86.7%,流压1.70 MPa。与投产初期相比,日产液下降了35 t,日产油1 t,含水下降了6.8%,流压下降0.12 MPa。分析认为,高37-31井与高38-31井葡I6号层连通。

从两口井的测井曲线对比情况看,葡I6层曲线形态相似,但由于该区河道砂体发育规模较小,井网

密度较低,因此最初在砂体精细解剖时没有足够的信息对河道砂的平面展布进行准确的预测。

2002年8月通过干扰试井试验,以水井高38-31井为激动井,油井高37-31井为反应井进行测试,得到了反应井高37-31井的脉冲曲线(见图3)。

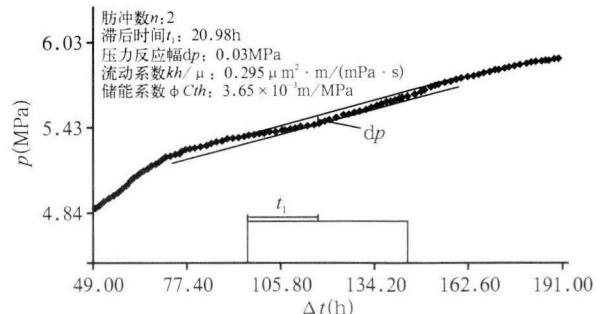


图3 高37-31井脉冲解释成果图

从试井结果分析,反应井高37-31井的压力值随着激动井高38-31井的激动周期而周期地变化,因此判断高37-31井与高38-31井在葡I6层连通。

根据干扰试井结果,对原来的砂体预测图进行了修改。为了进一步验证试井资料,利用2004年高台子油田开展多学科油藏研究的有利时机,在相控地质建模和历史拟合过程中,分别利用修改前后的沉积相带图进行拟合。从拟合结果对比看,利用试井资料修改连通关系后提高了拟合精度(见图4、图5)。

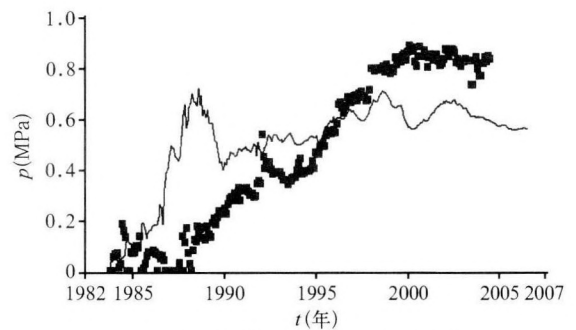


图4 高37-31井修改前拟合结果

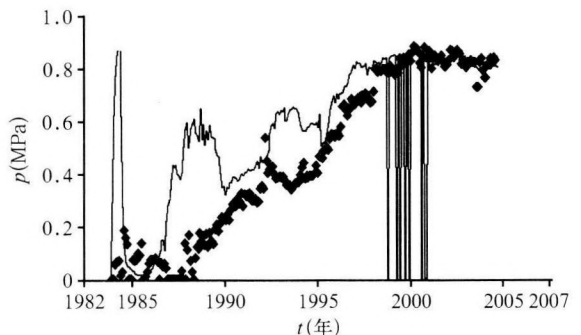


图5 高37-31井修改后拟合结果

根据验证结论,对高 38-31 井进行了注水方案调整,实注水量由 21 m<sup>3</sup>/d 提高到 38 m<sup>3</sup>/d,对应油井高 37-31 井日产液量由调整前的 14 t 上升到 25 t,日产油量由 1 t 上升到 2 t,含水由 89.4% 到 90.5%,累计增油 651 t。

## 2. 指导油田开发调整

X12-5-W37 井与 X12-5-B36 井、X12-5-B353 井在葡 I<sub>2b</sub> 单元处于同一河道,在 X5-W37 井注水方案变动过程中(偏 II),两口油井都存在受效响应,由于两口油井均处于水井的同一方向,无法用常规分析方法来解释。

2003 年 10 月 14 日~11 月 23 日通过干扰试井,以 X12-5-W37 井为激动井,以 X12-5-B353 井为反应井(X12-5-B36 井为非偏心井口,无法下入压力计),进一步验证了该井组的油水井在该单元的连通情况(见表 2)。

表 2 X12-5-W37 井组注采井基本情况统计表

类别	井号	砂岩/有效厚度 (m)	有效渗透率 (μm <sup>2</sup> )	油层中部深度 (m)	产液 (m <sup>3</sup> /d)	含水 (%)	流体粘度 (mPa·s)	孔隙度 (%)	综合压缩系数 (1/MPa)	油水井距离 (m)
激动井	X12-5-W37 (PI11-I22 层)	5.1/3.7	0.07/0.13	1042	62	/	0.6	23.5	0.000887	/
	X12-5-B353	42.5/23.7	0.078/0.308	1036	32	72.1	6.76	23.5	0.000887	572.34
反应井	X12-5-B36	31.9/22.4	0.03/0.44	1038.2	48	85.1	6.76	23.5	0.000887	392.6

从反应井 X12-5-B353 井的测试结果来看,该井压力随着激动井周期而呈现出周期性的波动。说明该井在葡 I<sub>2b</sub> 单元与水井 X12-5-W37 井连通。与激动井的时滞为 40.82 h,压力反应幅度为 0.117276 MPa,流动系数为 0.255 μm<sup>2</sup>·m/(mPa·s),储能系数为 1.26 × 10<sup>-3</sup> m/MPa。

测试结果证实,该单元砂体精细解剖成果准确无误,而方案调整的动态反映进一步说明,油井虽然处于二线受效部位,其受效程度还受到截流井砂体发育、平面所处部位的影响,本井组油井 X12-5-B36 井虽处于截流井位,但由于该井全井射孔层位层间差异较大,易形成层间干扰,加之该井在此单元又处于河道砂体的边部,使得截流作用减弱,而使处于二线受效部位的油井 X12-5-B353 井见到比较明显的方案调整效果。从垂向上看,X12-5-B353 井与水井 X12-5-W37 井的层位高低相当,而油井 X12-5-B36 井与水井 X12-5-W37 井发育层位高低存在差异,属于“搭桥式”接触关系,也可能使截流作用减弱。

## 现场应用情况

通过干扰试井资料,可以方便的用于判断井间

连通性、求取井间地层参数,加深地质认识程度,有效指导油田开发调整,但也存在一定的局限性。例如在 X13-D5-27 井组。为了确定油井 X13-D5-27 井与周围四口水井的连通情况,判断主要来水方向,拟定以油井 X13-D5-27 井为激动井,周围 3 口水井为反映井,进行干扰试井测试。油水井基本参数见表 3。

表 3 X13-D5-27 井组注采井基本情况统计表

类别	井号	砂岩/有效厚度 (m)	有效渗透率 (μm <sup>2</sup> )	油层中部深度 (m)	产液 (m <sup>3</sup> /d)	含水 (%)	流体粘度 (mPa·s)	孔隙度 (%)	综合压缩系数 (1/MPa)	油水井距离 (m)
激动井	X13-D5-27	11.3/0	/	1059.35	13	74.4	6.76	23.5	0.000887	/
	X13-D5-25	7.9/3.3	0.031/0.389	1082.50	56	/	0.60	23.5	0.000887	340
反应井	X13-D5-129	13.4/2.7	0.026/0.383	1044.00	42	/	0.60	23.5	0.000887	285
	X13-55-27	18.4/3.3	0.049/0.384	1065.45	51	/	0.60	23.5	0.000887	300

由现场测试过程可知,激动井以定产量开关井,脉冲周期为 16 d,每 8 d 开关一次。但从周围水井的反映情况看,并没有接收到脉冲变化。分析认为,由于油井的产液量比较低,油层条件很差,只射开表外厚度 11.3 m,无有效厚度。井距较大,与水井的连通状况较差,因此造成水井的反映不明显。

再如 X12-5-W37 井组,从反映井的脉冲曲线看,压力响应的周期性不是特别有规律。由于激动井与反映井的井距较大,脉冲周期较长。分析认为,在干扰试井期间,由于连通的水井 X13-10-236 井重配作业,工作制度发生了变化,因此对油井造成了一定程度的干扰,对压力曲线产生影响。

## 结 论

1. 应用干扰试井技术,能够直接判断井间连通性,求取井间地层参数。
2. 应用干扰试井技术,可以进一步修正和完善砂体精细解剖成果,加深地质认识。
3. 应用干扰试井技术可以有效地指导油田开发调整,提高油田开采效益。
4. 干扰试井技术必须具备一定的现场应用条件。

## 参 考 文 献

- 1 《试井手册》编写组. 试井手册(下). 北京:石油工业出版社,1992
- 2 钟松定. 试井分析. 北京:石油工业出版社,1991
- 3 张同义,等. 不等时脉冲试井割线法理论研究. 油气井测试,1997,6(1)