

测井资料在油气田开发中的应用

谭廷栋 等编



石油工业出版社

出版者的话

随着我国东部地区各油田开发进入中、后期，储层中的含水量也达到中、高期。怎样用测井资料评价油田开发中、后期的油气藏，准确评价储层中剩余油饱和度及其分布，这是摆在我国测井界面前的重要课题。

为了解决上述问题，中国石油学会测井委员会在西安召开以油气田开发期的测井资料评价为主题的学术年会。年会上，交换了各单位在油田开发期测井评价的新理论、新方法和新技术，促进各油田开发期测井评价的发展。

为了在大范围内推广这些理论、方法和技术，更好地为油田开发服务，从 100 多篇论文中选择了 25 篇编辑出版了本文集。本文集包括：RFT 测试资料的应用研究、水淹层的机理研究、碳氧比测井资料的应用、地层倾角测井资料的应用研究、放射性同位素示踪技术、水泥胶结质量评价等方面内容。这些论文均来自于生产、科研第一线，具有一定的深度和广度，因此，基本上反映了现阶段我国开发测井的水平。

本文集在收集和编写过程中，西安石油勘探仪器总厂、长庆石油勘探局给予了大力的帮助和支持；石油勘探开发科学研究院的谭廷栋高级工程师和中国石油学会测井委员会的张春生同志做了大量的组织、收集和审查工作，在此表示感谢！

目 录

一、重复式地层测试器在中原油田开发中的应用	(1)
二、RFT 测试资料的应用研究	(14)
三、涠 10-3 油田压力系统分析	(26)
四、RFT、FMT 测井解释系统软件的研制	(38)
五、重复式地层测试器在四川碳酸盐岩地层的应用研究	(45)
六、用双饱和度法评价油田开发期的淡水水淹油层	(56)
七、利用碳氧比测井资料识别气层	(69)
八、模糊聚类分析综合判别气水层的方法	(78)
九、喇嘛甸油田气顶监测	(91)
十、低孔隙、低渗透性气层解释方法	(103)
十一、碳酸盐岩储层含水饱和度评价技术	(112)
十二、低渗透砂岩气层的气测判别方法	(120)
十三、江汉新沟嘴组中、低孔隙地层测井解释方法研究	(129)
十四、低渗透率油田测井综合解释系统 (PWES) 研究	(137)
十五、声阻抗在砂、泥岩剖面解释中的应用	(150)
十六、地层倾角测井在辽河油田开发中的应用	(154)
十七、同位素示踪技术在注水井剖面调整中的应用	(166)
十八、同位素吸水剖面测井沾污的控制与校正方法	(175)
十九、长源距声波和 RFT 测井资料在钻井中的应用	(188)
二十、单发双收声波的井眼补偿技术	(195)
二十一、不同条件下声波测井水泥固井质量评价研究	(207)
二十二、研究沉积层理的新技术——LSPR	(227)
二十三、计算机模拟声压曲线在声波测井中的应用	(234)
二十四、核测井在工程地质中的应用	(246)
二十五、多参数储层综合评价自动分析系统在不同油气藏中的应用	(255)

一、重复式地层测试器在中原油田开发中的应用

李宗信 李幼琼

(中原石油勘探局)

摘要 本文论述了重复式地层测试器(RFT)在中原油田开发中的应用;分析了RFT应用的显著地质效果。并指出,RFT是油田开发不可缺少的测试工具,具有宝贵的使用价值。

引言

中原油田自1983年引进RFT以来,取得了大量的测试资料。截止1989年12月,测井309井次共2431个深度点。对于存在多套油水组合、低渗、低孔以及不同的压力系统的小断块油气藏,应用重复式地层测试器来协助进行地层对比、断层、断块研究、油藏评价等已成为测井工作的一项重要手段。尤其在已开发的复杂小断块油田中广泛用来监测储层,以便不断深入地认识油藏。

本文主要以几个典型实例说明RFT在油气田开发中的应用情况。

RFT在文明寨油田开发调整中的应用

文明寨油田是一个由走向北东东、倾向相反的两组断层所夹持的极复杂小断块油田。油田含油层系多,油藏埋藏浅,储量集中,主力油层物性较好,原油性质中等,是一个小而肥的油田。

文明寨油田开发中的主要矛盾是断层多,断块多,构造十分复杂。最破碎的明6区块每平方公里33个小断块。上下断块重叠交错,注水开发难度很大。开发文明寨油田的最大问题是如何充分动用其储量?如何提高水驱储量?如何在较高的开发速度下保持稳产?我们在边开发边认识中不断摸索出了解决这些问题的途径。

为了提高水驱储量,1986年对文明寨油田进行了一次全面调整。调整重点是注采系统很不完善的明6断块区和其它区块的构造最破碎部位。调整时决定对加密井全部进行RFT测试。实践证明RFT测试技术对油层多、断块多、油水系统多的已开发油田的地质认识和动态分析都有很高的使用价值;对极复杂的文明寨油田达到了充分动用储量和提高水驱储量的目的。取得了明显的经济效益。

在油田全面开发的三年里,1986年在全油田共测的47井次中,有25井次压力低于10MPa,压力系数已低到0.5;有些井的压力仅3MPa。况且,压力较高的井多为新井、新层位投产所测的压力。真正由于注水受益而保持压力的井很少。根据RFT测井资料估计的压力系数低于0.5的井占三分之二。地下亏空严重,层间矛盾、块间矛盾突出。因此,为了使油田保持稳产,必须对油田进行全面的调整。调整的原则是充分动用地下石油资源,进一

步完善注采系统，提高水驱储量，改善开发效果。

全油田共部署调整井 45 口，其中进行 RFT 压力测量的有 36 口井，每口井最少测 5 个压力点，最多测 25 个点。各断块、各油层由于出油量和注水量的不同，压力值、压力系数有了明显的差异。因此，每口井 RFT 测量的压力剖面资料都反映出各断块、各油层储量动用的状况，储层的连通状况等。利用该资料我们可以加深对地层、构造的认识，较准确地认识地下油水运动规律、储量动用情况。

1.利用 RFT 资料确定未动用层段和该井与注水井、生产井的连通层段

完井后紧接着进行 RFT 测试。在 RFT 资料中低压段反映的是邻井生产层位，并且是注水未控制的层段；高压段反映两种情况，一种是未动用层段，另一种是与注水井连通层段。因此，在加密井中，如果作为生产井则一般是投产高压段，产量会较高；如果是注水井则射开低压段，必定有与之连通的生产井。

例 1：明 215 井的 RFT 资料反映有三个压力段，第一段沙二上平均压力 7.22MPa，压力系数为 0.92；第二段沙二下平均压力 7.22MPa，压力系数 0.45；第三段沙三上平均压力 8.08MPa，压力系数为 0.45。根据各种静态资料分析，沙二下和沙三上都有与它相连通的生产井，由于注水不够造成低压段。沙二上被一条 36m 落差的小断层隔开而自成系统，属于未动用小断块，RFT 资料恰好证实了静态的认识。将该井沙二上作为产层射孔后，初产油 61.9t/d（图 1）。

例 2：明 188 井 RFT 测压数据分析表（见表 1）。

表 1 明 188 井 RFT 测压数据分析表

测点井段 (m)	点数	层位	断点深度 / 落差 (m)	RFT 压力平均数 (MPa)	压力系数	压力变化原因分析
1459.2-1599.01	9	沙二上	1615 / 56	12.49	0.83	距 650m 的 175 井为 生产层位
1647.0-1754.4	7	沙二下	1787 / 53	4.8 (油)	0.29	距 60m 的明 176 井为 生产层位
				9.5 (水)	0.56	生产层位
1892.69-	1	沙三上	1910 / 11	17.82	0.96	
1972.0-2090.4	6	沙三中	1933 / 16	12.14 (油)	0.60	距 250m 的明 156 井为 生产层位
			2029 / 80	16.79 (水)	0.85	生产层位
2126.0	1	沙三下		18.42	0.88	

从压力分析表中可以看出由于注水跟不上，各小断块压力都下降，但下降程度不同。明 188 井穿过五个断点，六个断块，三个含油断块的压力系数都下降，分别为 0.83、0.29、0.60。其下降程度与邻井生产时间、产量和井距有关。

2.利用 RFT 资料进一步认识构造

对于极复杂断块区，由于断层密集，二维地震资料已无能为力，主要靠钻井电测资料反

复进行地层对比来确定断点，再进行断点组合，分析出各条断层走向和倾向，从而，确定断层。在 300~400m 井距条件下，通过分析可以搞清较大的断层，次级断层太多太乱很难全部清理。RFT 资料证实了这点。

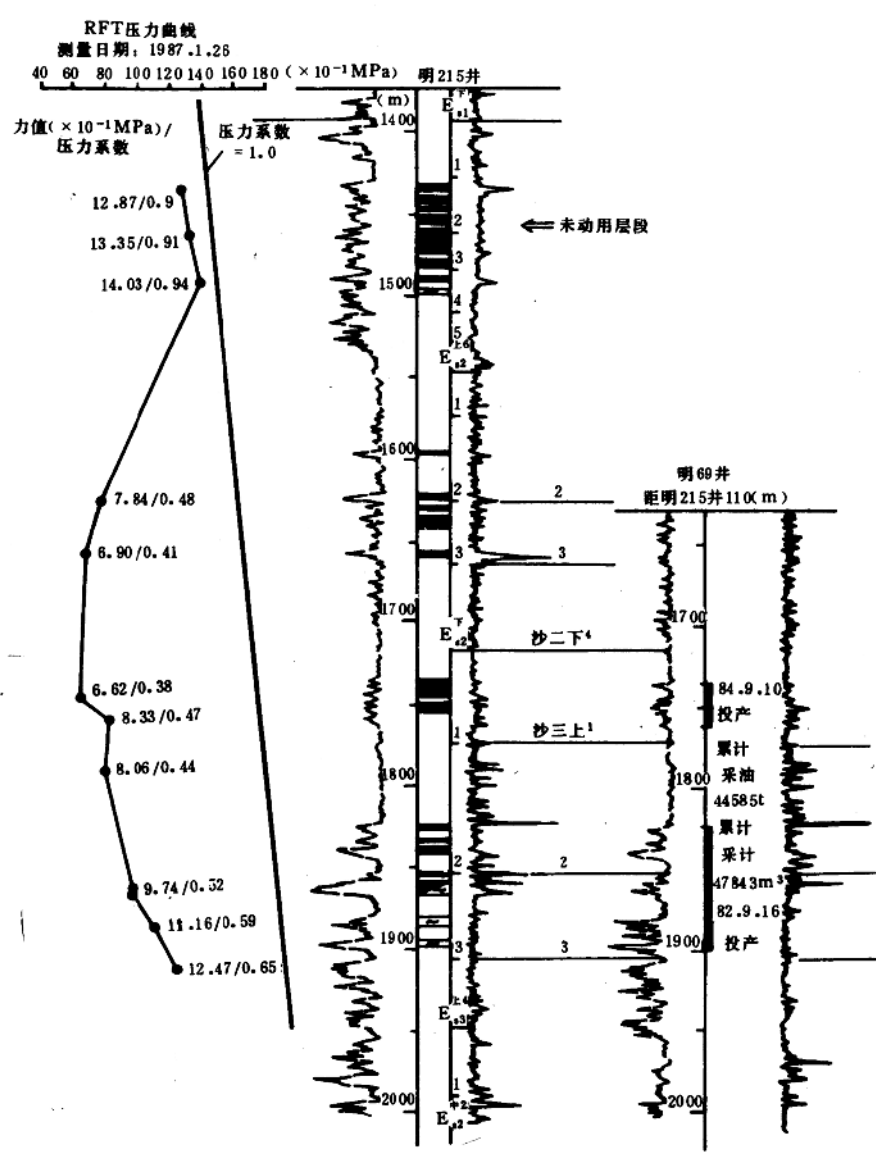


图 1 明 215 井组 RFT 压力分析图

例如：明 213 井位于明 6 断块区南部，在明 114、卫 13、明 52 三口井之间，与这三口井井距分别为 230m，350m 和 240m，大致成等腰三角形。在明 52 井注水后，明 114 和卫

13 都不受益。明 213 井距两口生产井的井距是 120m 和 150m, 卫 13 井 1986 年测压为 11MPa。1986 年底累计产油 28525t。明 114 井从 1983 年投产以来累计产油 46038t。然而, 在明 213 井 RFT 测得所有层位的压力几乎保持了原始压力 (见表 2)。

表 2 明 213 井 RFT 测压数据分析

测点深度 (m)	层位	断点深度 / 落差 (m)	RFT 压力值 (MPa)	压力系数	原因分析
1780.3	沙二下		17.59	1.008	原始地层压力
1857.9	沙三上	1902.0 / 50	18.37	1.009	未动用断块
1909.0		1953.4 / 163	17.39	0.929	
1981.1	沙三中	2030 / 22	17.67	0.910	未动用断块
2002.9			17.36	0.986	
2014.3		2077 / 24	17.36	0.930	
2053.7			17.83	0.886	
2072.3			17.62	0.868	
2107.0	沙三下		22.23	1.076	未动用断块
2160.3			19.97	0.943	

经过反复地层对比后可知: 明 213 井在含油井段中有 4 个断点, 即 213 井穿过 5 个含油断块。结合 RFT 资料与邻井生产情况考虑, 再根据地质规律来认识组合这些断层, 认为明 213 井所穿过的小断块大部分是与周围井不连通的极小断块, 或者与邻井同块但不同层位。因此卫 13 井和明 114 井生产对它都毫无影响, 明 52 井注水对它也不起作用。后来新钻的明 229 井的 RFT 资料 (图 2) 证明该区块在一组东北向大断层之间又发育一组近于南北向的小断层而将断块切得很小, 只有在井距为 100m 左右时才能形成有效的注采效应 (见表 3)。

表 3 明 229 井 RFT 测压数据分析

测点深度 (m)	层位	断点深度 / 落差 (m)	RFT 压力值 (MPa)	压力系数	原因分析
1929.51	沙三上	1994 / 126	26.6	1.38	异常高压是由于 距 140m 的明 52 井注水封闭在小 块中, 而无受益 井造成
1971.51			24.3	1.23	
1979.10			25.0	1.26	
1990.71			25.4	1.28	
2011.01	沙三中	2019 / 18	19.9	0.99	复杂小断块造成 差异
2021.5			24.8	1.23	
2033.11		2077 / 36	14.6	0.72	
2046.0			13.4	0.65	
2098.18			17.2	0.82	

从明 229 井 RFT 压力分析可以看出, 沙三上压力系数升高到 1.23~1.38。这是由于明 52 井从 1984 年 10 月就开始注水, 已注水 11815m³。转注前该井已产油 10000t 左右, 填补亏空后就很难注进水 (后停注)。当时, 相距 300~400m 的生产井明 50、明 114 和卫 13 都不受益。明 6 断块区有很多这样的情况。RFT 资料为认识这一区块极复杂断层的组合起了很大的作用。为分析各条断层要素增加了充分依据。

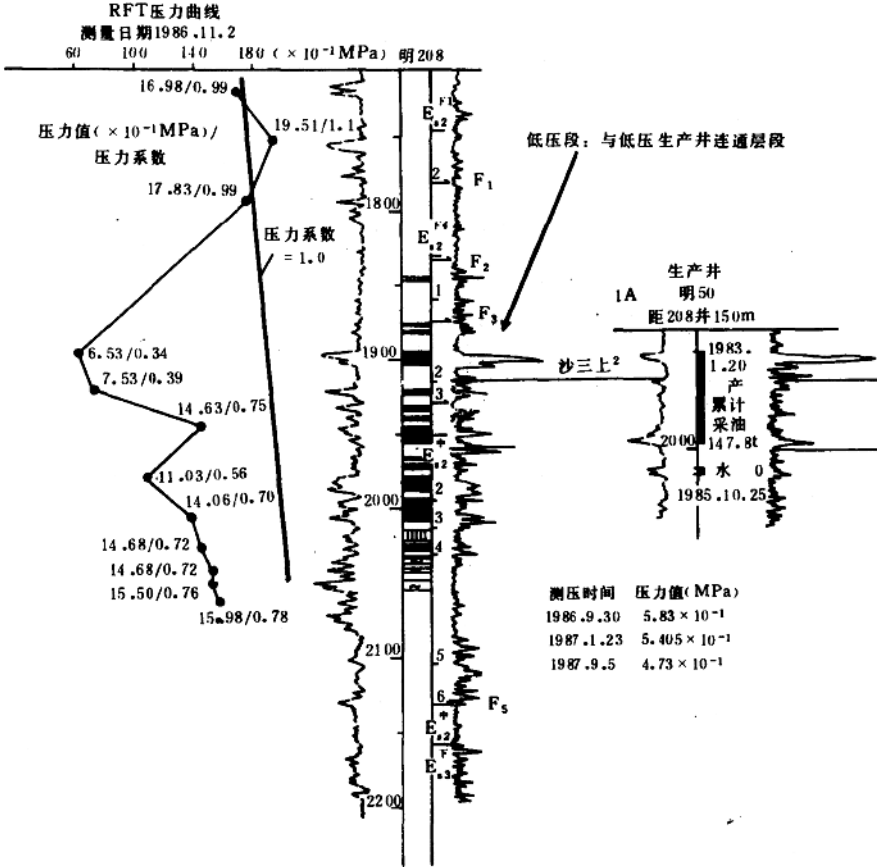


图 2 明 208 井组 RFT 压力分析图

3. 地层对比中 RFT 资料的应用

文明寨油田各段地层都有它的特殊性, 由于沉积条件的变化在电性上都有其不同的特征, 并且各段地层都有几组较稳定的标志。在构造不太复杂的区块, 地层极好对比。但是, 在明 6 断块区, 因为标志层常常大部分被断掉, 断点离得太近, 地层的电性特征常常变形, 再加上岩性本身变化, 使地层对比很困难。

我们可以借助于有 RFT 资料的加密井分析分层压力的变化规律。先将地层大致划分为几段, 然后对各段进行细致对比。这样可以缩短对比时间。同时对一些多解性层段提供参

考。如在明 208 井 (见图 3) 共测了 12 个点, 压力大致可分为三段:

第一段: 沙二下地层压力系数平均 1.03。

第二段: 沙三上地层压力系数平均 0.37。

第三段: 沙三中地层压力系数平均 0.72。

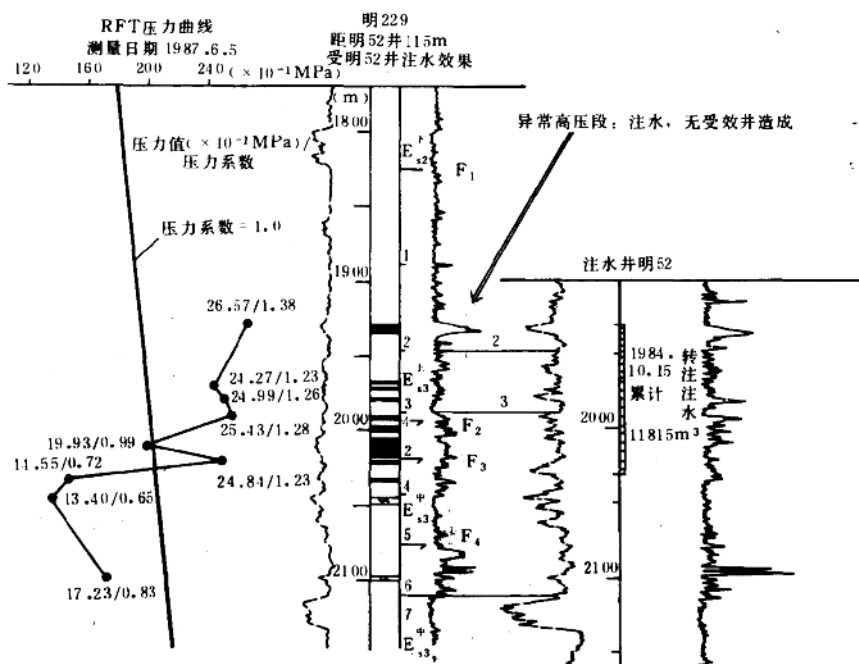


图 3 明 229 井组 RFT 压力分析图

其中沙三上有一个单油层, 在对比中即可能为沙三上, 也可能为沙三中油层。而 RFT 资料表明: 该层压力值为 7.5MPa, 压力系数为 0.39。当时邻井只有沙三上油层的生产时间最长, 出油最多, 压力才可能是这样低的水平。这样在对比中立即排除了多解性, 该砂层应为沙三上地层。将断点 F_4 (见图 3) 确定在该砂层下部泥岩中。砂三上和中之间的标志层和部分地层断失。

4. 结合其它资料确定注采对应关系

为了搞清地下层的基本形态, 确定注采对应关系, 在分析各种静态资料时, 必须参考 RFT 资料。明 6 断块区加密井较多, 整体调整后注采对应井的井距多为 150~200m, 借助 RFT 资料可以减少盲目性, 从而较准地确定注采对应层位。对低压块增加注水井点, 高压块增加生产井点。

例如: 明 205 井含油层为沙三上和沙三中两个层位, 压力系数分别为 0.47、0.34、0.68、0.75。通过各种资料分析该井主要受明 112 井影响。明 112 井在 1988 年 6 月底已累计产油 32767t。该井投产初期日产油 50 多 t, 到 1988 年 6 月日产油已降到 1~2t, 含水 40%。明 205 井与明 112 井处于相同的构造位置, 沙三上油层连通, 穿过断层的沙三中大部

分层也连通, 因此明 205 井 RFT 资料准确地反映出这个断层的压力水平。1988 年 7 月 10 日开始对明 205 井注水, 相隔 20 天后明 112 井产量由日产 1.4t 升到 27.4t, 含水从 40% 降到 18%, 动液面由 1472m 回升到 1405m。

5. 应用效果分析

(1) 增加了实际动用储量

在有些加密井中发现了新的小断块, 使原来未动用的储量得到了动用。如明 195 井, 发现了明 6 断块区一个较丰富的沙三中垒块油藏, 在同块的加密井明 208、明 206 井中的 RFT 资料确定了这块的范围和合理的注水井, 使其开发效果很好 (见表 4)。

表 4 明 6 断块区注采调整后实际效果

注水井	转注时间	生产井注水井 井 距	生产井	生产井受效 时 间	日产量 t/d		动液面 (m)	
					前	后	前	后
明 208	87.6	125M	明 195	87.9	28	44.9	1014	1088
		250	明 206	87.9	7	14.7	1486	1373
明 33	84.12	200	明 203	87.6	20.3	21.3	1238	682
		160	明 201	87.7	23.2	25.6	945	836
明 23	87.5	280	明 200	87.9	油 12.1	25.9	596	704
		230	明 124	87.7	水 20.7 1.9	42.8 12.8	1383	1255
明 24	87.7	170	明 194	87.7	14.3	17.6	1108	822
		130	明 113	87.7	28.1	36.1		
明 114	87.6	170	明 84	87.8	10.8	16.1	575	401
明 52		100	明 229	87.7	17.0	22.9	829	井口
明 128	87.6	280	明 217	87.7	油 15.4 水 0	16.5 30	827	733
明 170	87.7	140	明 207	87.8	10.9	24.5	1403	672
		120	明 81	87.9	油 8.6	25.0		
		80	明 125	87.7	水 41.3 油 4.3 水 1.3	94.8 6.2 15.7	1457	1358

(2) 调整了注采对应, 增加了水驱储量

调整前, 全油田注水井 40 口, 生产井 145 口。其中 55 口井见到注水效果。调整后, 注水井 67 口, 生产井 162 口, 明显见效井 110 口。

调整前, 明 6 断块区有 6 口注水井, 见效井仅 4 口。调整后见效井数增加, 地层压力回升, 见效井地层压力由调整前的 6.48MPa 上升到 11.07MPa, 回升 4.79MPa。调整后采油

速度提高,调整前为 1.64%,到 1988 年底采油速度为 2.14%,提高 0.5%。含水上升率下降,调整前 7.95%,调整后为 5.33%,水驱控制储量增加约 27~37%。

经过调整后,注采对应较好,生产井很快见到注水效果。

RFT 在文 23 气田开发方案中的应用

文 23 气田是中原油田发现最早的干气藏。1977 年文 4 井钻穿沙三下岩盐层后,钻遇了高压气层发生井喷事故。1977 年底钻成了该气田第一口天然气生产井——文 23 井。

该气藏位于文留构造的高点,是一个向南倾没的鼻状构造圈闭,发育了多条断层,含气层位为沙河街组第四段。

要编制该气藏的开发方案,首先应搞清气藏的类型,同时要认识含气砂岩在横向和纵向的连通状况,泥岩隔层分布的稳定性。这些问题的认识对开发层系的划分、井网密度的确定有着重要意义。陆相沉积地层中,尤其是砂、泥分异不好的扇三角沉积的低渗透粉砂岩,认识上述问题是很困难的。在编制开发方案时井距大于 1km,在岩性变化大,泥岩隔层不稳定的情况下,靠测井曲线对比来认识砂岩层的分布和隔层的分布,其可信程度是很低的。

如何认识砂岩储层的连通性、泥岩隔层的封隔作用、气藏在开发中的压力传导等情况?通过对文 109 井的 RFT 测试资料的分析,我们得到了启示。

文 109 井是该气藏的密闭取心资料井、测井项目较齐全。其中 RFT 的测试结果引起了我们的注意。

文 109 井距文 31 井 500m,有小断层分隔,文 31 井生产层位为 S_6^{4-7} ,1979 年 5 月至 1985 年 10 月累积产气 40.7239Mm^3 ,地层压力由 38.4 降到 35.3MPa,压降为 3.1MPa。文 109 井距文 23 井约 2km,有小断层分隔,生产层位为 S_4^{1-5} ,射孔 34 层 102.3m。1978 年 12 月至 1985 年 12 月累积产气 $1.26 \times 10^8\text{m}^3$,地层压力由 38.2MPa,降到 35.8MPa,压降 2.4MPa。

文 109 井 RFT 所测压力剖面,在主要含气层段 S_4^{3-6} 的分层压力非常接近,比原始地层压力低 1MPa 左右(见表 5)。砂层不发育的 S_4^{1-2} 和下部 S_7^4 水层则保持着原始地层压力。 S_4^{3-6} 是砂岩发育层段,泥岩隔层厚度一般为 2m 左右,而且多为粉砂质泥岩等过渡岩性,分布不稳定。对油藏来讲,这样的隔层是起封隔作用的。但根据文 109 井测得结果可知, S_4^{3-6} 属于同一压力系统,压力很接近。为了得到正确的结论我们要求在新布署的五口井中全部测 RFT,以了解气藏不同部位的气层连通状况及气藏类型。

在文 109 井之后,于含气区主断块又测了文 23-1、23-2、23-3、23-4 五口井和一口在含气区西块的文 69-1。从表中可以看出文 69-1 井保持着原始地层压力,证实了分割主块和西块的主断层是具有分隔作用的。

通过上述六口井的 RFT 测试资料,我们对文 23 气藏有了如下认识:

1) 主要断层具有较强的分隔性,文 69-1 证实了这点,而较小的断层则只有一定程度的遮挡作用,也有一定开启性。

2) 主断块 S_4^{3-6} 为一个压力系统,具有块状气藏的性质,在开发中可以以大断块为开发单元,用一套层系进行开发。

3) RFT 资料说明,各个气层随着试采的进行,压力下降较均衡,气储量动用情况是好的。

4) 整个气藏在纵向上可分为两部分。 S_4^{1+2} 与 S_4^{3-6} 之间有稳定的泥岩隔层。 S_4^{1+2} 段砂岩不发育, 所以保持着原始压力状态。而 S_4^{3-6} 段泥岩层不稳定, 在纵向上砂层以不同的方式串通, 压力均衡下降, 层系划分的依据就很清楚了。

5) 气水界面以下的含水砂层均保持着原始地层压力。说明在这样的低渗透砂岩中水的侵入量不会大, 这对气井的稳产, 提高气藏采收率都是有利的。

表 5 文 23 气田 RFT 测试压力成果表

井号 砂组	文 109		文 23-1		文 23-2		文 23-3		文 23-4		文 69-1	
	深度 (m)	压力 (MPa)	深度 (m)	压力 (MPa)	深度 (m)	压力 (MPa)	深度 (m)	压力 (MPa)	深度 (m)	压力 (MPa)	深度 (m)	压力 (MPa)
1+2	2776.5	38.3						2802.0 2856.5	38.1 36.8			
3	2814.4 2839.3	38.3 37.4	2851.8 2872.4	37.1 37.2	2901.5 2912.0	36.7	2890.6	36.2	2872.9	36.9		
4	2854.5 2866.0 2886.1	37.4 37.4 37.4	2882.8 2900.0 2924.6	37.1 37.1 37.2	2928.0 2944.4 2957.0	36.4 36.3 36.3			2916.0	37.1	2937.0 2952.5	38.5 38.6
5	2927.2 2954.0	37.5 37.5	2960.0 2990.0	37.2 37.1	2967.5 2974.0 3004.0 3007.3	36.3 36.4 37.3 36.5	2930.4 2961.2	36.5 36.5	2932.3 2958.2	36.7 37.2	2979.6 2991.3 2998.5 3007.2 3011.2	38.4 38.3 38.5 38.5 38.7
6	2989.3 3007.5	37.5 37.7	3021.0 3035.1	37.2 37.1	3050.7	38.4	2986.6	36.6	2986.3 3009.0	37.1 37.3	3026.5	38.6
7	3024.0 3046.5 3066.4	37.2 38.4 38.8					3040.9	37.5	3022.9			
8							3074.9	39.0				
测量日期	85.4.16		88.1		87.11.21		87.8.14		87.11.23		86.7.1	

6) 在井距 800m 左右的情况下, 井间砂层连通状况较好, 而且生产上无明显干扰, 虽然井间有断层分隔, 但小断层有一定的开启性, 因此不必再缩小井距。

RFT 资料在中原其它油田滚动勘探开发中的应用

中原油田多属复杂断块油田, 复杂程度不一。在十年开发经验中总结出: 必须采用滚动

勘探开发的方法。在新构造上见工业油流后,开发地质人员就必须进行勘探开发整体设想,勘探和开发准备同时进行,然后逐步转入以开发为主。下面我们就谈谈 RFT 资料在该方法中的应用。

确定原始压力系统

用“RFT”测井可以得到评价钻遇的目的层的每个单层压力,建立单井压力剖面。再结合普通测井资料分析该油藏可能存在几套油、气、水系统?是层状油藏还是块状油藏?是常压还是异常压力系统?

马寨地区的卫 62 井 RFT 的压力曲线显示为多油水系统的特点。RFT 资料解释至少存在三套油水系统,压力系数稍有差别,但都属于常压油藏。压力系数为 0.99~1.02。当时该地区只有三口见油井卫 95、96 和 62,通过三口井的各种资料综合分析,掌握了该油藏的基本地质情况。用较少的评价井,探明了较多地质储量,在这个基础上当即编制了滚动勘探开发初步方案。

文南地区的文 185 井和文东地地区的文 13-65 井都显示为高压异常压力油藏。压力系数分别在 1.4 和 1.7 左右。同样为编制开发方案提供了重要资料。

初步评价储层性质

渗透性是反映储层好坏的参数之一。预测室的压力降和压力恢复所需要的时间均为地层渗透率的函数。为此可以分别用压力降法和压力恢复法估算渗透率 K_d 及 K_b 。由于前者探测范围远小于后者,因此后者具有更好的代表性。在侵入影响不很严重的情况下,可以定性地指示储层的好坏。一般在油田初期评价阶段,没有取心资料或取心资料很少的情况下,它可以作为评价油藏时的一个较理想的参数。

卫 79 井位于东濮凹陷中央隆起带文、卫、濮构造的结合部位。该井为这三个构造结合部的第一口探井,完井后在沙三段见到了油层, RFT 共测试 7 个点。但除了在 3356.8m 和 3361.8m 这两个测试点获得了地层压力外(压力系数为 1.5),其余五点均未获得地层压力,说明储层岩性相当致密。所测得两个压力点,只有其中一点估算出 $K_d=0.37 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。RFT 资料说明该井所处断块为低渗高压油藏,在试油时采取了压裂的方式,以 4mm 油嘴自喷,日产油 21.5t。为滚动勘探开发方案的编制提供了重要依据。

马厂油田 1988 年制定了初步开发方案。包括五个断块区:马 12 区、马 10 区、马 11 区、马 19 区、马 9 区。截止 1990 年 7 月马厂油田共测 25 口井 176 个测点。在初步方案实施和编制注采方案中 RFT 资料主要用于以下几个方面。

1. 了解各断块、各层系原始地层压力和目前压力水平

通过分散在各断块区的代表井测试结果表明:该油田原始压力一般为 28.0~29.0MPa,压力系数为 1.0~1.08,属正常压力系统。在投产一年以后所测压力表明主力块主力油层沙三下²⁺³层系,压力已下降近 10MPa,压力系数一般为 0.6~0.8 左右。而复杂区块各层系和主力区块的沙三中、沙三下¹⁺⁴和沙 4 层位基本上保持原始压力,说明大部分未动用。生产上的不均衡在编制注采方案时必须采取相应的措施。RFT 资料反映各时期的压力状况非常具体、准确,为生产措施的选择提供了可靠依据。

2. 计算弹性产率

由于产量任务比较紧,新油田的试采井投产初期测得一个压力资料后,生产过程中一般很少停产测压。这样在编制注采方案时要了解油田的生产能力弹性产率就比较困难。然而 RFT 可以弥补这点。

试采井马 10 井在 1983 年 1 月试油测得压力值为 28.15MPa, 压力系数为 10.3。日产量 30t 左右。1987 年 11 月投产后, 生产一直很正常。为了计算该块弹性产率, 借用了同块邻井马 11-35 井资料。与马 10 井相距 300m 的马 11-35 井, 1988 年 1 月完井测得 RFT 资料, 与马 10 井生产层沙三下² 相通的油层有两个压力点分别降至 22.54 和 20.86MPa。压力系数分别为 0.85 和 0.78, 平均压力系数为 0.815。折算到马 10 井压力: 马 10 井油层中部深度为 2733.4m, 压力系数为 0.815 时, 地层压力为 222.8atm (21.83MPa)。这一阶段马 10 井压力降为 28.15-21.83=6.32MPa。阶段弹性产率为 268.26MPa。每米弹性产率为 13.28t / (MPa · m) (表 6)。

马厂油田在编制注采方案时, 统计了五口井的弹性产率, 其中两口井用了邻井 (马 10 井和马 11-28 井) 的 RFT 资料, 其计算值与其它三口井靠本井两次测压所计算的值比较, 更接近平均值。说明 RFT 资料可用于此计算。

由表中可看出: 马厂油田弹性产率比较低, 压力下降快。平均每月压力下降 2.35MPa。说明该油田断块小、能量不足, 必须尽早注水保持和恢复能量才能达到稳产、高产。

表 6 马厂油田弹性产率统计表

井号	层位	井段(m) (油层中部深度)	厚度 米 / 层	测压 时期	压力 (MPa)	压力 系数	压降 (MPa)	累 积 产 油 (t)	阶段单性产率 t / MPa	每米弹性产率 t / (MPa · m)
马 11	S ₃ ^F 1-2	2802.4-2843.8 (2822.1)	13.4 / 2	87.3.24 87.920	24.70 19.53	0.87 0.69	5.17	673.2	130.2	8.45
马 10 (11-35)	S ₃ ^F 1-2	2694.4-2772.4 (2733.4)	20.2 / 7	83.1 88.1	28.15 22.83	1.03 0.815	6.32	1695.4	268.26	13.28
马 11-17	S ₃ ^F 2-7	2993.0-3095.2 (3044.1)	26.2 / 7	87.9.26 87.11.24	31.22 25.26	1.02 0.83	5.96	1643.97	326.2	12.45
马 11-23	S ₃ ^F 2	2875.9-2886.6 (2881.0)	6.5 / 3	87.9 88.1	29.94 19.06	1.04 0.66	10.88	2397.6	220.4	33.91
马 11-28 (11-106)	S ₃ ^F 2	2919.8-2957.4 (2938.6)	12.6 / 6	87.9.26 88.1	28.34 19.69	0.96 0.67	8.65	2397.6	275.1	21.83

3.修改构造图

一般来说, 同块同层位油层的压力系数应该是统一的。如果同块有生产井, 压力是要下降的。生产时间愈长, 累积产量愈多则压力下降愈多。如果未动用区块压力明显下降, 则断层可能不封闭或者断裂系统的组合有问题。因此压力资料可以从某一角度来检验并修改构造图。

例如: 在原构造图上, 马 11-116 井和马 11-86 井之间有一条断层, 马 11-86 井属于独立块。1989 年 11 月, 在马 11-86 井的同侧完钻马 1-86 井, 并进行了 RFT 测井, 由 RFT

资料可知,与马 11-116 井相当的层位其压力值为 21.6MPa,压力系数为 0.7。1988 年 2 月,在马 11-116 井测得的压力值为 19.4MPa,压力系数为 0.68,其压力值和压力系数与马 1-86 井相当接近(稍小的原因是距马 11-116 井 200m 的老试采油井马 11-12 井造成的)。这说明马 11-116 和 11-86 之间不存在断层,其地层是连通的。再通过与其它资料综合分析研究,最后去掉了中间断层。

4. 注水后检验压力恢复情况

马 11-12 断块是一个由两条倾向相反的断层构造的一个狭窄垒块,油层较厚,内部连通性较好。这是投产和注水都较早的断块。1987 年投产三口井 11-12、14、16,单井累积产量(截止 1990 年 6 月)分别为 48840、17644、41626t(见表 7)。投产测压为 29.8-31.2MPa,压力系数为 0.60~0.68。说明在 1988 年 4 月压力已降为 11~13MPa。在 1988 年 9 月至 1989 年 9 月陆续转注三口井。转注后,生产井陆续见到效果。今年 6 月完钻的 11-129 井加测 RFT,反映出压力值已达 28.1MPa。压力系数为 1,说明该块压力已恢复到接近原始压力。说明注水效果是好的。

表 7 马 11-12 断块 S_3^{T2+3} 注水后压力恢复情况

井号	井别	投产时间	转注时间	累积产量 (t)	测压情况		
					时间	压力值(MPa)	压力系数
11-12	生产井	87.9.28		48840.0	87.9.2	29.8	1.03
					89.2.17	18.2	0.64
11-14	生产井	87.9.28		17644.0	87.9.26	31.2	1.08
11-16	生-注	87.10.8	89.9	41626.0			
11-106	生-注	88.4.1	89.3	4074.0	88.2	18.9 ^①	0.67
11-116	注水井	88.4.20	88.9.12	1098.7	88.2	19.4 ^①	0.68
11-109	生产井	88.4.28		31600.8	88.12	16.8	0.60
11-129	生产井	90.7			90.6	28.1 ^①	1.0

①为 RFT 测试压力值

以上情况为全面注水和注水调整提供了依据。

结 束 语

RFT 测试技术由于是裸眼测试,所以它不受油、水井射开层位的限制,可以了解到所有钻开层的压力而不影响油、水井正常的生产。对未开发油气藏的压力系统、油气藏类型、油气藏的高度、流体性质、油气、油水界面的确定,储量评价都有很重要的使用价值。对已开发油田,除我们已用来确定注采关系,提高水驱储量外,还有很多有待我们进一步开发的功能。如①在尚未注水的油藏中所测的单井压力剖面,实际上是油藏在某一部位的累积出油

剖面。这一资料比在生产中测得的瞬时出油剖面可能有更高的价值；②在已注水的油藏中，如果和其他测井资料一起应用，可了解到与地下油水运动状况有关的很多问题。层间矛盾、层内矛盾一目了然。

RFT 测井在经济上也是可行的，应该说在某种条件下是很经济的。文明寨 34 口井 330 个压力点共用 259 万元，获得一个压力点花费 7789 元。这是由斯仑贝谢队测试的费用，如果由我们自己测井队来测试，花费还要少得多。如果用试油方式测压，一般情况下其花费要高出 RFT10 倍，并且不可能射开所有的油水层。RFT 测试技术能按地质要求取得大量分层压力资料，而一般试油方法不可能做到这一点。因此实际的经济效果差别很大。

在中原油田比较广泛地应用了 RFT 资料。为了使该项技术取得更大的经济效益，必须进一步研究该项技术的使用价值，扩大使用范围。

*

*

*

作者对给与合作提供资料的符仲金、张文明、刘运昭、马改正、刘荣法、刘传喜、张奇男、马新华、付阳朝、刘洪占、谷维成等同志表示衷心的感谢。

二、RFT 测试资料的应用研究

符 仲 金

(中原石油勘探局测井公司)

摘要 重复式地层测试器 (RFT) 是斯仑贝谢测井公司 70 年代投入商业服务的一种新型仪器。中原油田自应用该仪器以来, 在油田勘探和开发中取得了明显的地质效果。本文从中原油田的实际地质情况出发, 详细分析了 RFT 资料在复杂断块型油气藏中的应用效果。从而得出结论: RFT 为了解断块型油气藏特征和储层性质又提供了一条新的有效途径。

测试压力的可信度分析

RFT 一次下井可进行多次压力测量, 从而获得各个目的层的压力资料。在其它条件合理的情况下, RFT 获得的压力资料是否反映了地层真实的压力? 其可信程度如何? 为此, 我们对 RFT 资料的可信度进行了分析。

用套管井测试压力分析

为了分析 RFT 资料的可信度, 我们分析了 20 口井 (25 层) 中的试油压力资料和 RFT 压力资料; 其关系见图 1。用数学方法对两种压力资料进行回归分析, 其回归方程为式 (1)。由图 1 和式 (1) 可知: RFT 压力基本上接近 (稍高于) 试油压力。由于试油压力是在储层射开, 放喷求产再关井恢复后的测试压力, 因此它稍低于 RFT 测试压力。可见 RFT 的压力资料是可信的。

$$P_{\text{试油}} = 0.932931P_{\text{RFT}} + 0.84629 \quad (1)$$

$$R = 0.993$$

$$\text{相对误差} = 0.6 \sim 10.4\%$$

$$\text{平均相对误差} = 4.8\%$$

时间推移测试

在不同的时间对同一口井的同一层位进行 RFT 测试, 然后对两次的测试压力进行回归分析, 其回归方程为式 (2)。图 2 是两次测试的关系图。从图中可以看出两次测试的压力值基本相等。由此可见仪器的一致性和重复较好。

$$P_{\text{RFT1}} = 1.01834P_{\text{RFT2}} - 0.28081 \quad (2)$$

$$R = 0.999$$

$$\text{相对误差} = 0 \sim 1.6\%$$

$$\text{平均相对误差} = 0.45\%$$