

# 在线液面连续监测在油水井动态分析中的应用

黄米娜,王 幼,谷海亮,李桂云,刘洪源

(中国石化 西北油田分公司 采油三厂,新疆 轮台 841600)

**摘要:**塔河油田主力油藏为碳酸盐岩缝洞型油藏,辖区油井分布广且井间距离大,前期主要是依靠人工井口测试获取液面数据;受到人员及监测仪器设备数量及运行情况的影响,测试工作量大、监测数据存在滞后,人工监测不能实时全面反映油井能量变化、机采井异常等情况。针对油田生产中动液面无法连续测量的问题,开展了液面远程在线监测,实现液面的连续监测和远程采集。通过液面远程在线连续监测,为油水井动态分析提供完整液面数据,可及时判断油井生产状况、调整优化机采工作制度,保证油井处于高效、安全的生产状态,达到节能降耗和油井效益最大化的目的。

**关键词:**连续监测;在线液面;能量评判;动态分析;注水时机;塔河油田

中图分类号:TE35

文献标识码:A

## Application of continuous on-line monitoring of liquid level to dynamic analysis in wells

Huang Mina, Wang You, Gu Hailiang, Li Guiyun, Liu Hongyuan

(No.3 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841600, China)

**Abstract:** The main oil reservoirs in the Tahe oil field are carbonate fractured-vuggy reservoirs. The distance between wells is very wide. In the early production period, artificial wellhead tests were used to obtain liquid level data. Affected by equipment number and operation, the test workload was large and the monitoring data processing was lagging behind. Artificial monitoring could not fully reflect the energy changes in well and the abnormalities of pumping wells in real time. Continuous on-line monitoring of liquid level was carried out, realizing the continuous monitoring and remote collection of liquid surface data. It provided full level data for the dynamic analysis of wells, determined production condition in time, adjusted working system, ensured efficient and safe production of wells, and achieved the goal of reducing energy consumption and maximizing the efficiency of wells.

**Key words:** continuous monitoring; on-line liquid level; energy evaluation; dynamic analysis; water injection timing; Tahe oil field

油井液面监测在油田开发、生产中有着广泛的应用。无论是采油、试油、注水还是修井作业,液面的监测都是一项重要的工作。针对塔河油田工区原有的液面测试技术存在工作量大、手段复杂、资料滞后困难等问题,引进应用液面无线自动监测技术,实现液面的连续监测和远程采集。塔河油田主要储渗空间为碳酸盐岩的岩溶缝-洞复合体,非均质性极强,多数井间不连通,孤立、定容油井普遍存在,这类油井的能量(液面)不同于常规油藏的连续平稳变化,可能出现短时间的突变,尤其是在注水替油开发阶段,对于此类需要人工补充能量的油井,更是需要通过对井下液面的连续监测,了解油井的供液能力、注水井的能量恢复情况,同时还可以推算出井下压力的恢复状况,分析能量衰减的异

常原因,科学合理地制定出油井工作制度,提高油井的管理效率。

## 1 在线液面监测原理

### 1.1 区域现状

西北油田分公司采油三厂现管辖塔河八区、十区南、十一区、托甫台区和试采区块共5个区块,油藏探明储量面积845.6 km<sup>2</sup>,探明石油地质储量43 125×10<sup>4</sup> t,标定采收率14.6%,以缝洞型碳酸盐岩油藏为主。管辖区内交织穿插的沙漠、戈壁、河流、田野以及乡镇和村庄等造成地理环境复杂,致使油井管理任务繁重,工作量大。其中以机抽井管理难度最大,现有机采井343口,占总井数的70%,每日液面监测工作量40余井次,占用人工量6~8人,

工作效率低,且不能为生产提供较为及时的动态数据支持。

### 1.2 液面监测系统设计原理

目前国内较先进的技术是远传液面监测仪,该仪器基本原理是声呐系统的回声定位法:利用声波在环形空间的传播速度和测得的反射时间计算液面位置这一原理,结合自动控制技术,实现声波的定时发射,数据采集、分析、信号处理、数据上传等技术,完成在线液面的自动监测。远传液面监测系统设计具有以下几个原则<sup>[1-2]</sup>。

(1)实用、高效性原则。远传液面监测装置要便于拆装,不妨碍井口其他作业;读取数据直观、方便、快捷,数据能准确反映油井的真实生产情况;可辨识液面波段数据,实时传输、可视化网络平台查询、统计与应用。

(2)普遍适应性原则。不同区块油井产状及井况差异性大、供液能力不同,要求远传液面监测系统对不同供液能力的油井具有一定的普适性;应消除油井环形空间气体对液面监测结果的影响。

(3)安全性原则。仪器安装充分考虑抗硫、抗腐蚀性,确保仪器防爆安全平稳运行。

### 1.3 现场应用实验原则

(1)试验选井原则。根据远传液面监测系统设计原则,结合油井实际生产情况,主要从以下 2 个方面排查选井:①油井正常生产,供液充足,动液面较稳定;②动液面变化大,供液能力差的油井,便于评价仪器的普适性。

目前全厂 490 口井,其中机采井 343 口,占总井数的 70%。通过试验选井原则分 2 个阶段共筛选出 31 口油井安装油井液面远传监测仪,针对不同油井现场监测的液面数据与人工实测数据进行对比分析,综合评价仪器的工况、液面数据的准确性、稳定性、及时性等性能参数。

(2)评价方法。将在线监测仪器安装在井口位置,将远传系统上读取数据与对应时间的实测液面数据进行对比,分析两者误差以及影响因素,进而评价试验效果。

(3)技术目标。同一时间范围内,仪器监测值与人工实测数据平均误差的绝对值小于等于 3%。

## 2 现场实验应用效果

由于在线液面监测系统采集的方式与传统人工采集和计算方式有所区别,为保证远传数据的准确性,我们采用了声速修正和回音表校验的方式来实现远传采集液面数据的准确性。

### 2.1 声速修正

根据数据显示,在声速为 350 m/s 时,与实测仪器声速相同,所测液面与实测液面误差值大部分在 150~300 m 左右,远传液面与实测液面误差率为 7.3%。调整声速为 380 m/s 后,远传液面与实测液面误差值大部分在 100 m 以下,远传液面与实测液面误差率为 2.9%。

根据上述数据对比可以看出,调整声速对远传液面影响较大,在线液面监测系统在调整确定合适的声速可以增大远传液面数据的准确性。

### 2.2 回音标井进行对比调试

为校验远传液面设备数据准确性,安排同时用实测仪器与远传设备在 A 井进行回音标深度较验。结果显示:在同一口单井、套压确定的情况下,远传设备调整声速后测试液面相差较大;A 井套压 2.61 MPa,增益调为 10,在声速为 370 m/s 时,所测液面较为准确。具体参数下测试情况对比见表 1。

远传液面监测仪声速调整为 370 m/s 后,对远传液面和实测液面进行同期取值对比。共计安装 31 口井,通过实测对比其中 19 口,平均误差 17 m,误差率 1.43%。利用井下回音标定远传液面监测

表 1 塔河油田 A 井回音标校验参数情况

Table 1 Checking parameter of echo mark of well A in the Tahe oil field

实测液面数据			远传液面数据(增益 10 不变)		
参数设置	回音标值/m	液面值/m	参数设置	回音标值/m	液面值/m
声波 350 m/s	2 018	2 670	声波 380 m/s	2 060	2 711
	2 003	2 670		2 061	2 711
高频 1.5 Hz,低频 1.5 Hz	2 100	2 670	声波 350 m/s	2 060	2 710
	2 036	2 580		1 893	
声波 350 m/s	2 043	2 580	声波 375 m/s	2 032	2 673
	2 082	2 580	2 032	2 673	
高频 1.8 Hz,低频 1.9 Hz	2 091	2 580	声波 370 m/s	2 005	2 638
	3 127	2 580	2 004	2 637	

注:标准井下音标 2 000 m 测试效验对比;A 井套压 2.61 MPa。

设备,最大误差仅 2 m。对比得出结论:远传液面监测设备准确度较高,满足现场分析应用要求<sup>[3]</sup>。

### 3 生产应用评价分析

#### 3.1 精准把控注水时机,确定合理机采工作制度,发挥油井产能

塔河油田钻遇缝—洞体的油井在生产初期产能较高,储集体与外部基本不连通,开发中得不到有效能量补给,短时间内产量递减快。针对特殊的地质情况,塔河油田提出了缝—洞单元定容体油井单井注水替油技术,并取得了喜人的效果<sup>[4]</sup>。

这种生产方式具有明显的周期性(注水周期、采油周期),如何选择合理的注水时机、不同的生产阶段采用什么样的工作制度以及如何选择合理的关井置换时间等,成为影响“注水替油”效果的主要因素。

而连续液面监测为此提供了有效的解决方案。上述参数的确定都依据油井能量的变化情况:当液面接近泵挂(小于 100 m)就应当安排注水;当液面持续稳定时就可以逐级放大工作制度提高油井产能;而当液面快速下降时则需要调小工作制度;注水后当液面不再恢复则表明油水置换结束,可以开井生产<sup>[5]</sup>。

例如 B 井:2014 年 5 月常规完井投产,累计漏失泥浆 1 106.75 m<sup>3</sup>;自喷生产期间压力、产液快速下降,2014 年 12 月转抽漏失 143 m<sup>3</sup> 压井液,开井后不含水生产;2015 年 2 月因供液不足实施注水替油,注水后液面恢复、不含水生产,油水置换效果好。2015 年 4 月安装在线液面监测仪,实现远传液面连续监测,根

据连续液面监测数据,计算注水生产期间单位压降产液 75 t/hm,注水替油生产期间能量指示曲线显示油井生产健康。2015 年 8 月远传液面连续监测显示液面较稳定,工作制度由 4.2×2.5 ↑ 5×2.5 ↑ 5×3 提液生产,日产油 14.5 ↑ 23.3 t,增油效果明显,实现注水高效开发。TK1112CH 井注水替油能量指示曲线及日度生产曲线见图 1 和图 2。

在线连续监测液面在注水替油井应用:①在线液面监测,优化人员及车辆,降低成本;②连续监测液面,及时发现异常,精准把控注水时机;③及时指导工作制度优化,实现注水替油井高效开发。

#### 3.2 针对水体有限、能量相对井,构建生产平衡

C 井底水上升,机抽高含水生产,静态资料显示发育多套储集体、产剖资料显示存在多段产出,且酸压显示沟通溶洞型储集体,储集体规模大。能量指示曲线显示多轮次注水后地层能量明显恢复,

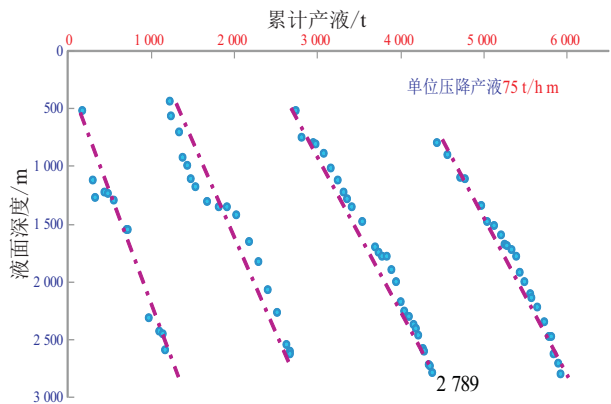


图 1 塔河油田 B 井机抽能量指示曲线  
Fig.1 Machine pump energy indicating curve of well B in Tahe oil field

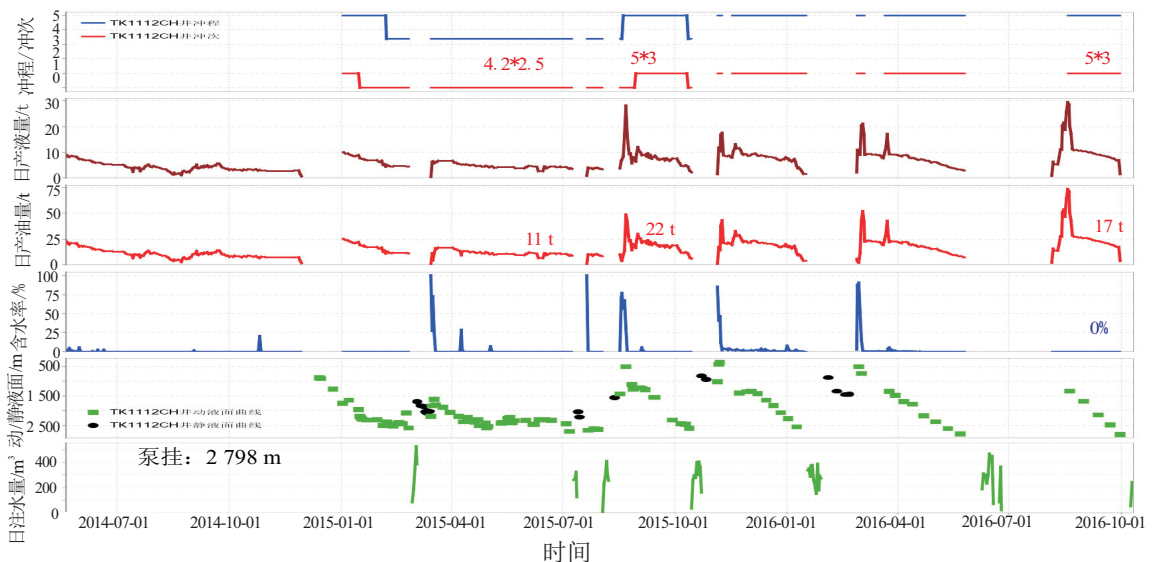


图 2 塔河油田 B 井注水替油生产曲线  
Fig.2 Production curve of replacing oil by water in well B, Tahe oil field



结合生产特征分析本井生产效果与压差密切相关。多轮次注水后近井地带压力高,远端弱勢储集体能量下降后易被近井地带水体封堵难以采出;油体能量不断下降,近井驱替程度高,需不断加大注水排量扩大横向波及体积提高驱油面积<sup>[6]</sup>。

根据连续监测动液面与含水变化规律显示:前期液面由700 ↓ 1 100 m 左右时含水下降趋势(80% ↓ 50%),此时增大生产压差  $\Delta P = 1.1 \times 10 \times (1\ 100 - 700) / 1\ 000 = 4.4\ \text{MPa}$ ,液面在 1 100 m 以上时含水较高;目前水体能量 =  $1.1 \times (5\ 724 - 165) / 100 = 61.1\ \text{MPa}$ ,油体能量 =  $1.1 \times (5\ 724 - 650) / 100 = 55.8\ \text{MPa}$ ,需要放大生产压差  $\Delta P = 61.1 - 55.8 = 5.3\ \text{MPa}$ 。分析底水能量一般,水体屏蔽压差仅 5.3 MPa,通过上调工作制

度提液可突破水体屏蔽。C 井储集体模型及日度生产曲线分别见图 3 和图 4。

在线连续监测液面在高含水井能量评判:①通过提液前后液面计算判断油体与水体能量;②能量计算水体屏蔽压差,实现定量化提液突破水体屏蔽释放油体能量。

### 3.3 单元注水井及受效井进行能量评判、实施精细注水,实现机采指标平稳运行

针对高效单元注水井组全面开展在线液面监测,分析油水井动态能量关系,精准把握注水时机,实施注水井精细注水、生产受效井合理开采,实现注水井组高效开采。目前已在托甫台区 D 机采示范单元重点主采井组开展在线液面监测分析,通过

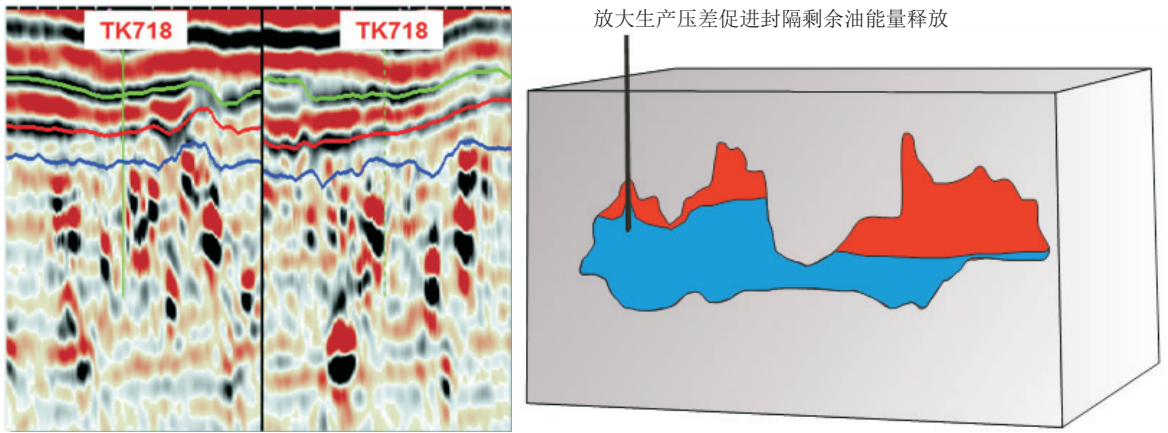


图 3 塔河油田 C 井地震剖面及油水分布模型

Fig.3 Seismic profile and oil-water distribution model of well C, Tahe oil field

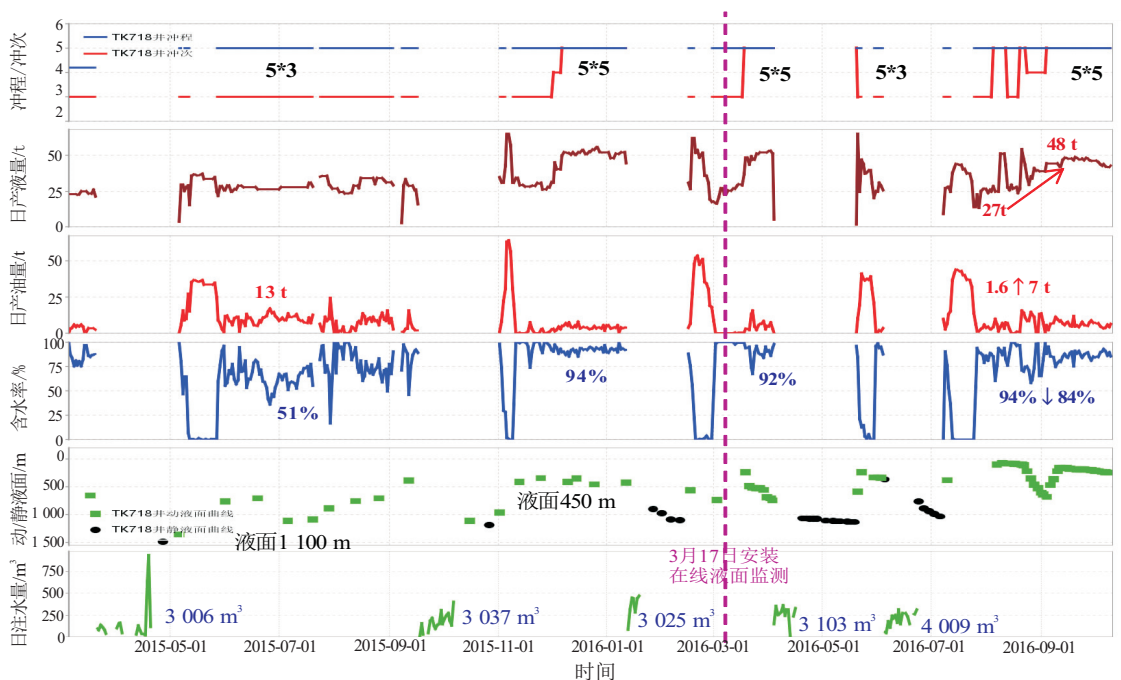


图 4 塔河油田 C 井生产曲线

Fig.4 Production curve of well C, Tahe oil field

提能量、优参数、控状态等举措,实现 D 机采示范单元各项机采指标平稳运行,在其他单元注水受效井组开展在线液面监测分析,具有进一步推广应用的意义。

## 4 结论

(1)在线液面监测数据准确性高、误差小,适用范围广、应用效果良好。

(2)对重点机采井安装在线液面监测系统,对连续采集的液面数据及时分析总结,提升工况诊断及及时率。

(3)在线液面连续监测实现精准把控注水替油井注水时机,以及确定单元受效井合理机采工作制度。

(4)实现水体有限、能量相对井构建能量平衡。

(5)在线液面连续监测实现机采指标平稳运行,具有进一步推广意义。

### 参考文献:

[1] 徐凯,李小荣,李加伟,等.影响回声仪监测动液面的因素分析及解决对策[J].石化技术,2016,23(4):126-127.  
 [2] 徐爱钧.抽油井环空液面深度自动监测与实现[J].石油天然气学报,2011,33(9):150-152.  
 [3] 王伟东,张向阳,戎卫林,等.机采井功图液面自动监测技术的研究与应用[J].新疆石油天然气,2008,4(1):79-82.  
 [4] 任爱军.塔河油田托甫台区块缝洞型碳酸盐岩油藏开发技术研究[J].石油天然气学报,2011,33(6):304-306.  
 [5] 王连雨.连续监测液面确定合理间抽周期[J].内蒙古石油化工,2015(增刊1):47-49.  
 [6] 闫贵堂.动液面连续监测技术在间抽油井上的应用[J].石油工程建设,2012,38(5):61-62.

(编辑 徐文明)

(上接第 69 页)

止井筒胶质沥青质析出影响生产时效;(3)开展注气井伴水加表面活性剂复合工艺,提升注气替油效率。

## 5 结论及认识

(1)溢出口与油水界面的匹配关系是注气后油井见水快慢的重要因素。

(2)合理利用天然底水实现高效水驱,准确把握注气时机可实现采收率提升。

(3)合理的注气速度可有效降低气窜风险,避免形成黏性指进现象。

(4)优化气水比,可提高气水混注置换率,提升注气有效率。

### 参考文献:

[1] 康玉柱.中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M].北

京:地质出版社,1996.

[2] 肖玉茹,何峰煜,孙义海.古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究:以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J].石油与天然气地质,2003,24(1):75-80.  
 [3] 秦积舜,李爱芬.油层物理[M].北京:石油大学出版社,2003:71-72.  
 [4] Mohan,Hitesh,ICF Resources Inc.Evaluating waterflooding potential in a Morrow sandstone reservoir[J].Society of Petroleum Engineers,1996,4:21-24.  
 [5] 黄秀俊.碳酸盐岩缝洞型油藏注气替油工艺参数优化设计研究[D].武汉:长江大学,2014.  
 [6] 胡蓉蓉,姚军.塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏注气驱油提高采收率机理研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2015,30(2):49-53.

(编辑 叶德燎)