

我国油气开发监测技术进展

张向林¹, 刘新茹², 李健¹, 卢涛¹

(1. 中海油服技术中心机电研究所, 燕郊 101149; 2. 大港油田测井公司, 天津 300280)

摘要 文章介绍了油气开发中主要关心的油气藏、井场设备及套管的监测技术和运用效果, 油气藏监测主要是剩余油和油藏储藏物性的监测, 套损直接影响油、水井的使用寿命、油、气产量和注水效果, 井场设备运行的好坏直接关系到油、气产量和注水效果, 输油(注水)管道泄漏造成资源的浪费、人身伤害和环境污染事故. 通过地球物理、地球化学及油气藏工程等检测和监测技术认识油气藏流体分布、性质、运动状态, 评价套管、管线及井场设备的健康状况, 为油田优化开发方案的制定、管理及实施提供依据.

关键词 油气开发, 油气藏, 管道, 套管, 抽油机, 监测

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)04-1360-04

Progress in oil productive monitoring technology in China

ZHANG Xiang-lin¹, LIU Xin-ru², LI Jian¹, LU Tao¹

(1. *Electromechanical Research Institute of Technical Center of China Oilfield Services Limited, Beijing 101149, China;*

2. DaGang Oilfield Logging Company, Tianjin 300280, China)

Abstract Monitoring technique and application of reservoir, case and wellsite facilities which oilfield development mainly concerns are introduced. Reservoir monitoring is to know residual oil and reservoir properties. Casing damage and facilities running direct influences oil life, output and injecting effectiveness. Pipes leakage causes resource loss, bodily injury and environment pollution. To know fluid configuration, properties, movement condition of reservoir and to evaluate physical properties of cases, pipes and facilities provide foundation of drawing up, controlling and operating oil field development plan by geophysical geochemistry and engineering.

Keywords oil production, reservoir, pipe, case, pump, monitor

0 引言

我国大多数油田已进入了高含水开采阶段, 地下剩余油分散、油水关系复杂^[1], 且随着油田输油管道的增多和管龄的增长, 输油管道腐蚀、穿孔、断裂, 加之不法分子在输油管上打眼偷油的破坏等原因, 使的原油泄露造成资源浪费和环境污染. 采油主要动力抽油机由于不法分子的破坏、供电系统的故障等经常干抽、卡杆或停抽造成电机的烧毁、油井停产或注水井停注影响生产, 而国内的长输管线及井场主要靠人工巡视难以及时发现. 随着我国油田的“老龄化”, 开采难度越来越大, 开发工程师在制定油田开发方案时必须弄清油田开发期的水淹状况、剩余油分布、油藏动态变化、注采情况、套管损坏情况、

油井的出砂或出水等情况、轴油管线健康状况、采油设备抽油机及电机运转状况、地面储油罐及污水处理罐油水界面等.

1 油气开发监测技术

1.1 油气藏

油气藏监测是油藏工程师研究和认识油气藏流体分布、性质、运动状态的主要手段^[1], 制定油气田开发方案的依据. 油气藏监测主要是剩余油和油藏储藏物性监测, 在油、气田开发过程中, 随着温度、压力等的变化引起储层岩石孔隙度、渗透率、流体饱和度的变化^[1,2], 随着油田进入高含水的中、后开发期, 地下油水分布发生了巨大的变化, 剩余油的空间分布复杂, 给油田开发方案的制定带来困难, 迫切需

收稿日期 2007-03-10; 修回日期 2007-06-20.

作者简介 张向林, 男, 1993 毕业江汉石油学院测井专业, 2002 年获石油大学(北京)测井硕士学位, 2006 年获中国石油大学(北京)测井博士学位, 主要从事测井方法和仪器的研发. (E-mail: zxl1111@163.com)

要了解单井、区域上储层的剩余油分布,同时对许多老井储层性质进行重新认识.通过在套管井中测量和监测储层岩石孔隙度、渗透率、流体饱和度、压力、电阻率、岩性等参数评价储层性质和性能、增加原油产量,降低出水量.油藏监测技术有地球物理、地球化学、油气藏工程等,地球物理监测方法主要有测井、试井、地震、井下永久性监测系统等,测井方法有生产测井(产出剖面测井、注入剖面测井)、工程测井、核磁测井、超声波测井、C/O 测井、井间电磁测井、硼中子测井、中子寿命测井、脉冲中子测井及过套管电阻率测井等.地震有井间地震、多波多分量地震、时延地震^[3]及 VSP.井下永久性监测系统有毛细管动态监测、压力、温度监测、微地震监测及井下永久光纤^[4]温度、压力、地震、持水率等传感器.地球化学监测方法主要有地化测井、井间示踪监测、烃指纹分析等及油气藏工程有取心分析、流体样品分析及示踪剂分析等.

目前,在套管井中评价纵向剩余油分布,主要依靠中子寿命、碳氧比能谱测井、过套管地层电阻率测井及井间示踪、地震等,其中碳氧比能谱测井只适用于高孔隙度地层^[5]($\geq 15\%$),中子寿命测井只适用于地层水矿化度较高的情况^[6],通过记录宏观俘获截面、近/远计数率、自然伽马判别水淹级别、定量计算储层饱和度参数、划分油、水层及油水界面、确定天然气层及依据套管或油管的高放射性积垢判断孔隙度的变化情况,或利用“测-注-测”工艺将易溶于水的硼酸注入射孔层,利用注硼前后测井曲线的差异评价地层的可动水含量和剩余油的分布状况,或利用脉冲中子衰减能谱测井同时测量俘获衰减伽马射线和非弹性散射伽马射线确定动用层、非动用层、剩余油分布、流体界面及岩石孔隙度;井间电磁成像测井^[7]采用 10 Hz~10 kHz 的频率直接测量井间岩石的导电特性,研究井间油藏的构造形态、储层展布和裂缝的发育方向及井间的流体分布,指示水(或蒸汽、聚合物)驱的波及前沿和方向,分析井间剩余油分布,监测油田的开发动态.不仅能直接测量井间地层导电特性,同时将发射器与接收器组合在同一口井中,测量井筒周围深处的电阻率,并实现过金属套管测量地层电阻率并成像;电位法井间监测^[8]技术是测量电极分布在以被测井为圆心且有一定的距离呈放射状对应的测量环上,通过测量注入到目的层的高电离能量的工作液所引起的地面电场形态变化来确定注水井注水推进方位、波及范围、人工压裂裂缝方位和几何形状及剩余油分布范围;井

间地震、多波多分量地震能够给出地层纵横波速度,可评价气层屏障和裂缝发育状况.时延地震^[3]可了解油藏动态开发变化状况.光纤井下地震检波器^[4]系统能提供整个油井寿命期间永久高分辨率四维油藏图像,不仅能提供近井眼图像,而且能提供井眼周围地层图像.微地震^[9]先将注水井停注 10 小时以上后再注水,注水会引起流动压力前缘移动和孔隙流体压力的变化并产生微震波,可判断地下油井裂缝分布状况;油井分层测压、分层产量测试、脉冲试井等技术可研究油层压力、分析储层物性、探测油藏边界、计算动态储量;注入剖面或产出剖面可了解产层动态参数变化、研究剩余油分布,直接得到出水层、产油层、流体性质等,为卡堵水、采液速度或注水措施等提供依据;长源距声波测井根据地层纵横波速度以及地层密度确定的水淹层压缩系数探测水淹层剩余油饱和度;随着油田不断地开发,地层中的自然伽马放射性物质不断被搬运、堆积,使油井水淹层、注水井的注水层位、套管外串槽等处呈现放射性异常,伽马曲线可判断水淹程度、地层孔隙度及渗透率;利用玻璃钢套管^[10]不屏蔽电磁场的特性,定期对其进行感应测井和 C/O 测井来监测剩余油饱和度的变化情况;井间试井估算地层压力分布、地层渗透率和孔隙度等、油(气)层边界及井间连通情况;同位素示踪井间监测技术^[11]是在一口或几口注水井中同时或分批注入一种或几种不同类型的放射性同位素示踪剂,在注水井周围的采油井监测同位素示踪剂的到达时刻、剂量和持续时间求出生产井与注水井之间高渗透小层的有关地层参数;核磁共振测井 T2 截止值的大小直接反映了地层束缚流体的多少,能直接测定和区分岩石束缚水和可动流体相对体积,其中 T2 谱分布形态相似压汞曲线可代替压汞曲线研究岩石的孔隙结构^[12];过套管地层电阻率仪^[13]电流电极和套管内壁接触,一部分电流沿套管流动,另一部分流入地层.测量泄漏到地层中的电流造成的电压降和套管上电压降总和及套管电阻率造成的电压损失,可以用于寻找未动用油气、跟踪油藏流体饱和度的变化以及油藏流体界面的运移情况.同时通过与裸眼井电阻率对比,利用衰竭指数定性评价油层水淹程度;毛细管动态压力监测是将高压氮气通过井口注气阀注氮使氮气压力与井下压力平衡压力经毛细管作用传到地面压力传感器.

1.2 套管健康及油管射孔状况

由于套管受到外力、化学腐蚀等因素的作用而引起套管变形、破损、断裂等,直接影响油、水井的使

使用寿命、油、气产量和注水效果。随着油田开发进入高含水的中、后开发期,套损井数逐年增多,套管损坏状况检查及预防已成为油田开发过程中的重点工作。油管射孔位置及质量直接关系油田产量、油井的使用寿命、注水情况及储层的开发效果等。套损及油管射孔位置与质量检测与监测有工程测井(包括井下电视、井径、硼中子寿命测井等)、产出剖面测井、吸水剖面测井、井间示踪追踪监测、井间地震监测、井间电磁监测及井间试井等。多臂井径测井仪主要用于测量套管内径变化,提供套管变径、壁厚、套管外径变化、椭圆等评价资料及射孔层位;井壁超声成像测井可提供直观、全面的套损状况、射孔质量、层位,井下视频监控摄像机在套管井可检测井内落物的位置、套管和油管的漏失点、锈斑及射孔质量、层位等;噪声测井用于判断已经形成的管漏和窜槽、方位系列用于确定套管变形及损坏的方位角度;磁测井系列检查管套变形、错断、内壁或外壁腐蚀及射孔质量;产出或吸水剖面可评价套管漏失和层间窜槽等情况;电磁探伤测井可检测油、水井各层管柱的壁厚变化及损坏情况;或将放射性示踪剂加到管内流体中随流体一起流动,在井中测量释放放射物质前后两次伽马曲线对比,确定管道的破损、串槽、射孔等部位;井间示踪、地震及电位能确定套管状况、层间窜槽及射孔层位与质量等。

1.3 井场设备

有关的采油井场设备包括抽油机、电机、高压线路、输油管线或储油罐及采油树,注水井设备有注水管线及井口设备。抽油机是我国油田开发的主要动力,80%的油井本身自举能量不足,需要外部的抽油机提供采油驱动能量,抽油机健康的好坏直接关系油田开发状况。停电、电机的被盗、不法分子的偷电或抽油机传动皮带打滑或断裂、抽油机杆弯曲、曲柄销子断裂及干抽等故障,随时可能造成电机烧毁、停抽或临时停产。采油树出现问题可能使得原油或天然气体泄漏,有可能发生爆炸或硫化物氢中毒事故,及时获取抽油机或抽油泵、电机的工作健康状况对油田开发生产极为重要。随着油田油气输送管道的增多和管龄的增长,输油管道由于腐蚀、冰堵、外力破坏及不法分子钻眼偷油破坏等,输油管道穿孔跑油发生泄漏,造成资源的浪费和环境污染。而注水管线内为高压水流,一旦当管线出现泄漏时可能伤害人身或污染当地环境。当前,国内油气田的油气输送管线主要靠人工沿管线巡视,难以及时发现泄漏,因此,管线泄漏检测及监测对油田生产具有重要意义。

我国采油、气井场分布广域,有的处于居民区、边远地区、沙漠地带等,井场的管理靠岗位工人巡井或专人看守,不仅难以及时了解意外故障的发生,而且成本较高。抽油机、电机及高压线路监测方法有温度及振动传感器监测,当抽油机出现异常、电机超负载运转或停机故障,温度升高、振动出现异常。采油树和管道检测及监测方法有电磁、超声波、示踪剂追踪、振动、温度、压力、流量、热红外、电缆漏磁及噪声监测等。电磁检测^[7,14,15]向地下管道发送出1 kHz的电磁波信号,根据当探头与磁力线地平面垂直相切时,收到的信号最小的原理来测定管道的走向。当地下管道防腐层被腐蚀后,在漏点处形成电流回路,将产生漏点的信号迅速向地面辐射,并且在管道漏点上方辐射信号最强烈;当管道发生泄漏时,管内的压力骤降产生噪声,沿管道安装的超声波传感器、噪声传感器可检测到上述噪声。同时管道泄漏处使流体的正常流动发生紊乱并与管道相互作用,在管壁上产生高频压力波引起管道振动,通过振动传感器监测管道泄漏。安装在管道出、入口、管中的流量/压力传感器测量流量、压力的变化,利用负压波传到两传感器的时间差和传播速度确定泄漏位置^[14,15];加热的稠油、原油输送管道的泄漏会引起周围环境温度的变化,分布式光纤温度传感器可连续测量沿管道的温度分布情况或利用热红外成像技术与卫星记录管道周围环境温度场的变化确定管道泄漏;油、气管道的放射性示踪剂追踪^[14,15]是将放射性示踪剂加到管内流体中随流体一起流动,在管道的泄漏处,放射性示踪剂泄漏到管道外面,示踪剂检漏仪对管壁进行监测,确定管道的泄漏部位;与管道平行铺设的电缆、光纤,当泄漏的油气渗入电缆会引起电缆特性的变化,或泄漏的油气渗入光纤包层引起折射率变化,从而检测到管道的泄漏;或利用微波在管道泄漏处产生波的反射和散射监测油气泄漏。

1.4 油水界面

油田开发中含油废水、污水处理中的油、水再次分离回收以减少污染环境,储油罐和运输车油罐的油水界面确定、油水界面的检测与监测控制尤为重要。油水的密度、持水率、光纤折射率、介电常数及电阻差别较大,通过持率计、电磁波、光纤传感器、密度计及电阻率等可以确定油水界面。

2 应用

Vaquero 能源公司在美国加利福尼亚的 Kern 县的 Edison 油田 San Luis Obispo 型石油液面控制

器上安装了边际井的无线监控系统^[16],它可使原油单井产量增加 3%~10%,耗电量降低 10%,延长泵的使用寿命 10%左右,减少井的维修费用约 \$2000/m. Weatherford 公司的由 6 个传感器组成的光纤 VSP 系统安装在 Izaute 的 102 号井中^[17],5 个传感器悬挂在油气藏上方采集地震成像资料,第 6 个传感器距油气藏数百米处用于微地震监测,实现了 3 分量监测加速度. DTS^[18] 在油井的整个生产寿命期间沿着整个油藏段进行连续测试或监测,可确认井下流入层段和整个油藏中的油层分布情况. 目前,国外 300 余口蒸汽驱油井中安装了光纤温度测控系统. 1999 年 7 月,在枣一联至孔大站的 26.8 km 输油管线安装管线监测^[15] 系统,1 年内共发生报警 50 多次,抓获盗油车辆 3 台并缴获了部分作案工具,摘除盗油卡子 6 个. 英国石油公司在 Wytch Farm 油田 M-17 号采油井中安装光纤传感器^[19],自 1999 年该井投产以来,一直在进行温度监测,2000 年 3 月整个生产油层的温度剖面,从水平井筒底部到顶部超过 10 °C 的温降表征了在水平井筒顶部冷海水突破带来的影响,4 月 30 日该井停产时,温度响应发生变化证实了存在着从水平井段底部向中间射孔段的窜流.

3 结束语

监测在油田开发工作中的作用十分重要,并随着油田开发难度的进一步增大作用会更加明显. 应根据需要,不同时期、不同油田及不同区块应有不同的监测方式. 国内油田监测技术还没有得到足够重视,技术较落后,一方面要重视动态监测,提出新方法、开发新技术,另一方面应学习国外动态监测新技术、新方法及新经验.

总之,我们要抓住机遇,明确目标,发挥我们的特长,把我国的油气开发监测技术水平上一个台阶.

参 考 文 献 (References):

[1] 张向林,陶果,刘新茹. 油气物探技术进展[J]. 地球物理学进展,2006,21(1):143~151.

- [2] 王新红. 弹性波阻抗反演在稠油热采地震监测中的应用[J]. 地球物理学进展,2007,22(1):186~191.
- [3] 石玉梅,姚逢昌,谢桂生,刘雯林. 时移地震监测水驱前沿的方法和应用程序[J]. 地球物理学报,2006,49(4):1198~1205.
- [4] 张向林,陶果. 油气井生产测井中的光纤传感技术[J]. 地球物理学进展,2005,20(3):796~800.
- [5] 文淑敏,李凤清,董文华. 碳氧比能谱测井技术在高含水后期寻找剩余油方面的应用[J]. 国外油田工程,2005,21(7):38~41.
- [6] 刘登明,周家驹,等. 硼中子寿命测井的研究及应用[J]. 西南石油学院学报,2002,24(3):31~33.
- [7] 曾文冲,陈序三,赵文杰. 井间电磁成像测井的应用研究与现场试验[J]. 测井技术,2000,24(5):355~367.
- [8] 赵立文,常栋梁. 电位法井间测试技术在稠油蒸汽驱中的应用[J]. 特种油气藏,2005,12(5):46~48.
- [9] 刘建中,王春耘,刘继民,等. 用微地震法监测油田生产动态[J]. 石油勘探与开发,2004,31(2):71~73.
- [10] 刘树明,郑华,李国庆. 玻璃钢套管井在羊三木油田稠油油藏开发监测中的应用[J]. 特种油气藏,1999,6(1):32~35.
- [11] 刘志云,宋晓峰,林成岭,等. 井间示踪法在储层剩余油分布研究中的应用[J]. 江汉石油学院学报,1999,21(4):76~78.
- [12] 毛志强,高楚桥. 孔隙结构与含油岩石电阻率性质理论模拟研究[J]. 石油勘探与开发,1999,27(2):87~89.
- [13] 刘胜建. 过套管电阻率测井在垦东六断块油藏动态监测中的应用[J]. 测井技术,2003,27(2):162~165.
- [14] 陈春刚,王毅,杨振坤. 长输油气管道泄漏检测技术综述[J]. 石油与天然气化工,2002,31(1):52~54.
- [15] 王振堂,赵志勇,周世刚,等. 几种长输管道泄漏监测技术的分析对比[J]. 油气田地面工程,2003,22(10):58.
- [16] Cameron J R, Thomson W T, Scetal B. Vibration and current monitoring for detecting air gap eccentricity in large induction motors[J]. IEE Proc, 1986, 133(3):155~163.
- [17] Kersey A D. Optical fiber sensors for permanent downwell monitoring applications in the oil and gas industry[J]. IEICE Trans. Electron. 2000,83(3):400~404.
- [18] Mohamad A A, George B, Charlie C. Fiberoptic temperature monitoring optimizes water injection [J]. well production World Oil, 2003, 224(11):39~42.
- [19] Brown G. A, Kennedy B, Meling T. Using fiber optic distributed temperature measurements to provide real-time reservoir surveillance data on wytych farm field horizontal extended reach wells[J]. 2000 SPE Annual Technical Conference and exhibition, Dallas, SPE 62952.