

# 套管井工程检测技术及其应用

钟兴福<sup>1</sup>, 吴应湘<sup>1</sup>, 李东晖<sup>1</sup>, 李强<sup>2</sup>, 周柳燕<sup>3</sup>, 张运斋<sup>4</sup>

(1.中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2.中国石油集团测井有限公司长庆事业部; 3.吉林省通化市广播电视大学, 吉林 通化; 4.中国人民解放军总参干部培训基地, 北京)

## 摘 要

油田开发中的套管井工程检测技术, 主要是采用多种可行的电、磁、声、核、机械等技术方法, 有效地检查套管井井身状况, 提供如井眼斜度及方位、套管程序、套管损坏程度、水泥环胶结状态等井身状况参数, 最后通过这些检测参数对井身状况做出评价, 以便指导修井、作业等方案的设计制定, 为油水井的安全生产提供技术参数。本文主要介绍这些套管井工程检测技术及其在油田中的应用状况, 并通过实例说明工程检测技术在套管井井身状况检查方面的重要作用。

**关 键 词:** 套管井; 套损; 固井质量; 工程测井

## 1 引 言

油、水井是油田生产最重要的基础设施, 许多油田经过一段时间的开发后, 均不同程度地出现层间窜槽、漏失、套管损坏等现象。这些现象不仅影响受损井的正常生产, 而且也影响到邻井乃至区块的正常开发, 对整个油田的安全生产构成威胁。套管井工程检测技术是油(气)、水井井内技术状况检测的重要方法, 它可以及时地为修井措施、施工步骤、工具选择、完井方式等提供可靠的依据; 也可以分析套损机理, 为制定套损预防方案、延长油井寿命等提供技术依据。因此, 套损井井身状况的普查、检测对及时恢复油水井的正常生产有着重要的技术经济价值。

套管井工程检测技术, 主要是采用多种可行的技术方法, 有效地检查套管井井身状况, 提供如钻孔斜度及方位、套管程序、套管损坏程度、水泥环胶结状态等等井身状况参数, 最后通过这些检测参数对井身状况做出评价。目前的工程检测方法是从多个方面反映井身状况的, 比如井径测量系列是油、水井井身状况常规的检测手段, 可提供套管内径的变化情况; 声波测井系列主要包括三个方面: 即井壁超声成像、声波固井质量和噪声测井。井壁超声成像测井可提供直观、全面的套损状况, 声波固井质量测井用于评价套管外水泥胶结状态, 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; 磁测井系列检查套管变形、错断、内外壁腐蚀及射孔质量; 作为辅助的井温和注、产剖面系列用于评价套管漏失和层间窜槽情况。

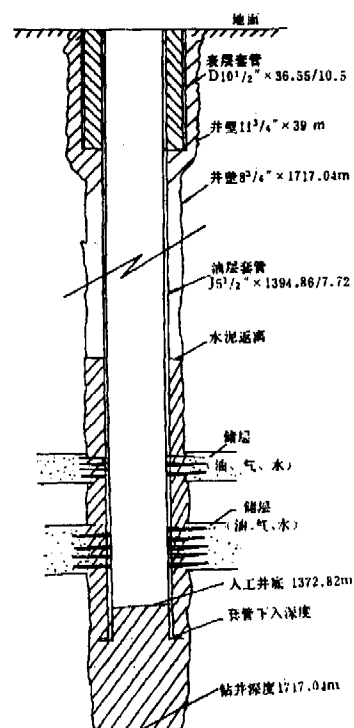


图 1 井眼结构示意图

本文主要介绍这些工程检测技术及其在油田中的应用情况,通过部分实例说明工程检测技术在套管井井身状况检查方面的重要作用。

## 2 工程检测技术简介

套管井工程检测技术,主要是采用多种可行的电、磁、声、核、机械等技术方法,有效地检查套管井井身状况及其可能出现的问题。按其检测的对象,可划分为油套管工程测井技术、水泥环工程测井技术和动用层工程测井技术。

油套管工程测井技术以机械、声波、磁性等方法,主要测量油套管的井径、壁厚、方位、井斜等参数,确定油、套管管柱排序、工具深度、套管变形(弯曲、椭变等)、损坏(破裂、腐蚀、孔洞、断裂等)的状况。水泥环工程测井技术是以声波、核源等为主要的技术方法,主要测量声波幅度、时差、水泥环密度、抗压强度、声阻抗等参数,确定水泥环与套管(I界面)和水泥环与岩层(II界面)之间的胶结情况。动用层工程测井技术是以流量、温度、示踪、磁性等技术方法,主要测量流量、径向温差、放射性强度、井径、漏磁通、涡流等参数,依据射(补)孔、压裂、酸化等工艺实施效果。

### 2.1 井径系列仪器(接触式)

井径测井仪器是接触式测量仪,它通过井径测量臂与油、套管内壁接触,将套管内壁的变化转为井径测量臂的径向位移,再通过井径仪内部的机械装置将测量臂的径向位移转变为推杆的垂直位移,推杆带动线性电位器的滑动键产生电信号。通过仪器刻度建立井径与输出电信号(电位差或频率)的关系,最终将电信号转换为具有物理意义的井径信息,最终以电信号(电位差、频率)输出。表1列出了目前常用的井径系列仪器。

表1 检查套管内径的井径系列仪器

仪器名称	外径 (mm)	耐温 (℃)	耐压 (MPa)	测量半径 (个数)	主要技术特点
X-y 井径仪	50	80	30	4	以半径为测量对象,测量给出多条内径曲线以及最小和最大内径值。可用于检查套管内径变化,初步确定套管变形、剩余壁厚、错断、弯曲、内壁腐蚀以及射孔状况等等。
八臂井径仪	80	80	20	8	
十二臂井径仪	50	125	30	12	
二十四臂井径仪	43	175	125	24	
三十六臂井径仪	46	175	125	36	
四十臂井径仪	89	149	68	40	
六十臂井径仪	89	175	125	60	

### 2.2 声波测井系列仪器

波是指介质中传播的压强、应力、体积元变形、质点位移、质点速度等的变化或几种变化的综合,介质中有声波传播的区域称为声场。声波的反射和折射是在两种介质分界面上发生的物理现象,发生反射和折射时,声波的传播方向发生改变,而且声场的能量分配也发生改变。声波测井是利用声波的传播特性和井壁(或套管内壁)、水泥环等对声波的反射特性来研究井身剖面的。比如水泥环胶结越好,其声阻抗就越大,套管波的衰减就越大,接收到的套管波的幅度就越小,由此可以判断套管外水泥环的胶结状态。表2列出了常用的套管井声波测井系列仪器。

### 2.3 井斜—方位测井系列仪器

主要测量井斜和方位。用罗盘确定仪器的初始方位后,直接测量陀螺(框架陀螺、挠性陀螺)转动的相对角度,就可以得到方位信息。用两个相互垂直安装的重力加速度计,测量两个重力加速度分

量, 通过电子线路转换处理, 得到井身斜度信息。表 3 列出了目前检查套管井斜及方位的系列仪器。连续井斜—方位测井仪器, 主要用于测量裸眼井、套管井的井身斜度和倾斜方位, 测量套管大段弯曲的斜度和弯曲方向, 检查正在钻进的定向井的定向方位和斜度, 还可以在地磁场异常地区对井斜和方位进行测量。

表 2 检查套管井声波测井系列仪器

仪器名称	外径 (mm)	耐温 (°C)	耐压 (Mpa)	主要用途
井壁超声成像 测井仪	90	125	60	检查套管变形、错断、 内外、壁腐蚀及射孔质量
声波水泥胶结 测井仪	90	125	40	评价油、水井固井质量
扇区水泥胶结 测井仪	43	150	120	评价油、水井固井质量、 检测水泥环周向局部窜槽
水泥环密度—套管 壁厚测井仪	70	175	137	评价油、水井固井质量、 检测水泥环周向局部窜槽
自然噪声测井仪	110	120	60	检测水泥环密度和套管壁厚及套管偏心
	43	149	69	判断管漏和窜槽部分

表 3 检查套管井斜以及方位的系列仪器

仪器名称	外径 (mm)	耐温 (°C)	耐压 (MPa)	主要用途
井斜—方位测井仪	54	70	40	确定井斜角以及方位角
方位井径测井仪	54	125	30	确定套管变形及内壁损坏方位
方位—成像测井仪	90	125	60	确定套管变形及内外壁损坏方位

## 2.4 磁测井系列仪器

磁测井的理论基础是电磁感应原理。在均匀套管中, 由磁源产生的磁通将均匀地通过套管壁, 磁通不会发生畸变。如果在套管上存在腐蚀、裂缝或孔眼等, 就会产生漏磁现象, 还在损伤部位产生涡流。漏磁通量和涡流量在接收线圈中产生随时间变化的感生电动势, 感生电动势随管柱壁厚、磁导率、电导率、管柱外径等变化而改变。当套管(或油管)厚度变化或存在缺陷时, 感生电动势将发生变化, 由此可判断各层管柱的裂缝(纵缝、横缝)、孔洞、腐蚀等, 得到内层和外层管柱的壁厚和损伤情况。磁法测量技术就是通过测量涡流量和漏磁通量, 获得油、套管内外壁腐蚀、穿孔、破裂等信息的一种套管检测方法。表4列出了磁测井系列仪器, 主要用于检查套管的损伤。

## 2.5 井温和注、产剖面系列仪器

井眼及其附近的单相流体或多相流体通过阻流位置时将产生压力降, 流体的动能在阻流部位转换成两种形式的能量——热能和声能, 因此在阻流位置附近可探测到声音, 这种声音称为噪声。通过对噪声的幅度和频率的分析就可判断流体的流动位置以及流体类型, 再通过组合流量等参数估计漏失量。

噪声、井温组合测井仪用于探测井下异常情况, 可以探测井筒及其周围一定范围内的声音。井的不同状态下的井温测井曲线能很好地反映井筒内状况, 在井温测井曲线的异常处采用点测噪声测井, 可以综合分析井内流体的流动情况。按照井的工作状况是否符合地质设计要求把流体的流动归为两

类,一种是流体的正常流动,指的是油井的正常产出、水井的正常注入;一种是流体的异常流动,如非射孔层处流体漏失、套管外流体窜槽等。流体的正常流动及异常流动均会产生声音,但流动状态不同其产生的噪声的频率和幅度不同,通过作图综合分析,即可判断流体的异常流动。表5列出了不同流体噪声频谱范围。通过测量噪声的幅度和频率的分析,可以判断出流体的流动位置及类型。

表4 检查套管的磁测井系列仪器

仪器名称	外径 (mm)	耐温 (℃)	耐压 (Mpa)	主要用途
磁性定位器	30	125	80	起定位作用
管子分析仪	111	175	140	探测套管内壁及厚度变化
射孔孔眼检查仪	102	125	60	确定射孔部位、检查孔眼数量
斯伦贝谢公司 PAT	111	175	140	可检查套管内/外壁的腐蚀、裂缝、空洞
斯伦贝谢 ETT-D	89	175	140	能定量给出套管壁厚的变化
哈里伯顿 PIT	89	175	140	可检查套管内壁的腐蚀
多层管柱电磁探伤成像仪 MID-K	42	150	120	在油管内探测油、套管的厚度、腐蚀,可准确指示井下管柱结构、工具位置,并能探测套管以外的铁磁性物质(如套管扶正器、表层套管等)

表5 不同流体的噪声范围

流体类型	水	油	气	油水	油气	油气水
频谱分布 (KHz)	0.3~1.01	1.2~2.4	2.4~4.0	0.5~3.0	1.7~3.5	0.4~4.0

### 3 套管井工程检测技术的应用

多种工程检测方法组合可以从不同侧面反映套管井井身状况,根据工程检测资料所反映的井下套管或地层的信息(如井径变化、井温变化、套管壁厚的变化、声波能量的衰减程度等),分析和判断油水井的套管质量、水泥胶结质量、射孔质量等,可为及时地采取有效的防范或修井措施(如施工步骤、工具选择、完井方式等)提供依据。

#### 3.1 用声波法检测套管的破损和孔洞

A井是一口注水井,对该井采取调整注水方案时,在油顶以上下了一级封隔器,但该井在释放封隔器时发现套管内有很多水,而且向套管内注水可达 $28\text{m}^3/\text{d}$ 。这表明该井套管存在异常。为查明原因,对该井进行超声成像检测。测试成果如图2所示。测试结果表明:该井在958.7m-959.7m井段套管破

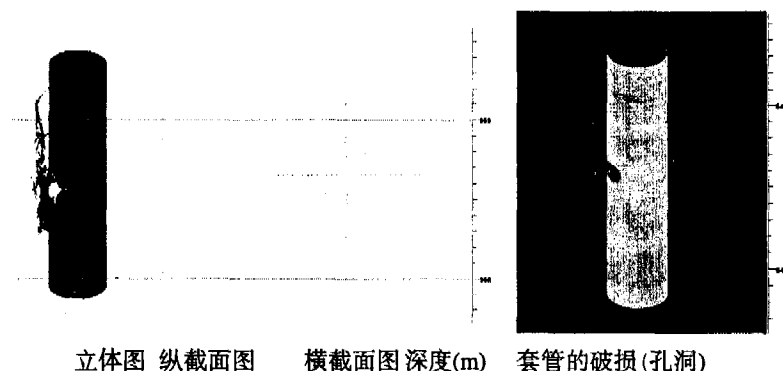


图2 A井测试成果图显示套管井的破损和孔洞

裂,且有一纵向裂缝,在642.3m-642.4m处套管有一孔洞,从而合理地解释了该井前期的异常现象。根据彩色成像资料,用户将对该井600m上下采用两级封隔器封上,并对960m处的一个射孔层及其上下串通部位采用封隔器封上,即对该层实行停注,而只对其下部射孔层段进行正常注水。

### 3.2 用井温、噪声注、产剖面系列仪器检测窜槽和漏失

B井是采用井温、噪声、连续流量组合测井找漏、找窜的一口井。如图3所示,从测井综合图上可以看出井温曲线、噪声曲线、流量曲线在磁性定位曲线上对应13m的接箍处都有异常显示,得出该井在离井口13m接箍处有漏。

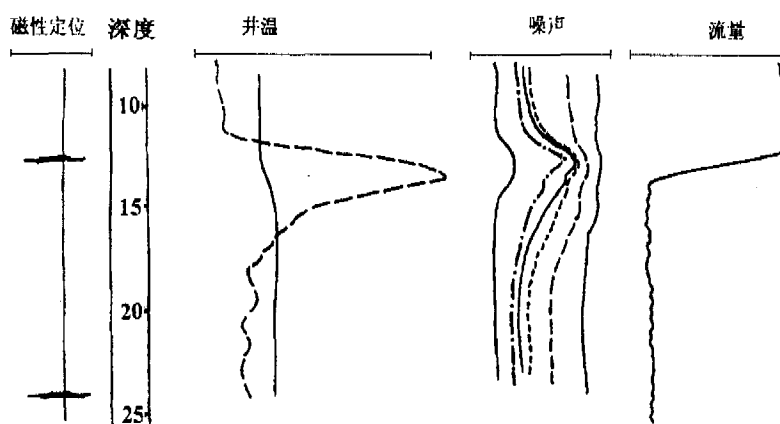


图3 B井井温/噪声、流量测井曲线综合图

### 3.3 用电磁技术测量油、套管柱结构以及损伤情况

俄罗斯MID-K多层管柱电磁探伤成像仪是目前国内外唯一能在油管内检测油管、套管及表层套管,也可以在套管内检测套管和表层套管的损伤情况,给出各层管柱的壁厚变化、腐蚀及破损情况,且测量结果不受套管壁上石蜡或者水泥块的影响。该仪器还有一个温度测量探头,用来确定油、水井的漏失段和管外窜槽,一个伽马探头用来把测量结果同地层联系起来。图4是MID-K在模拟井标准实验管测量的结果。该模拟井深47m,有两层管,外层管0-9.5m是 $\phi 219$ 的套管,壁厚7mm;从9.5m-17m是壁厚8mm导向管靴脚;内层管0-47m是 $\phi 89$ mm的油管,壁厚6.5mm,在油管上人为做了2条焊缝(6m和7m),8个接箍(3.5m, 15.9m, 18.5m, 21.8m, 27.5m, 30.3m, 33.5m, 40.5m),4条不同尺寸的细槽(17.5m, 19.8m, 22.3m, 24m),射孔孔眼 $\phi 16$ (25.5m-26.5m),2条垂直损伤缝(29m, 32m),2条水平损伤缝(35.4m, 37m),一条同井轴成 $45^\circ$ 的斜损伤缝(38.5m)。图中测量结果表明,特征信号和管柱上的槽、缝、孔眼都一一对应。

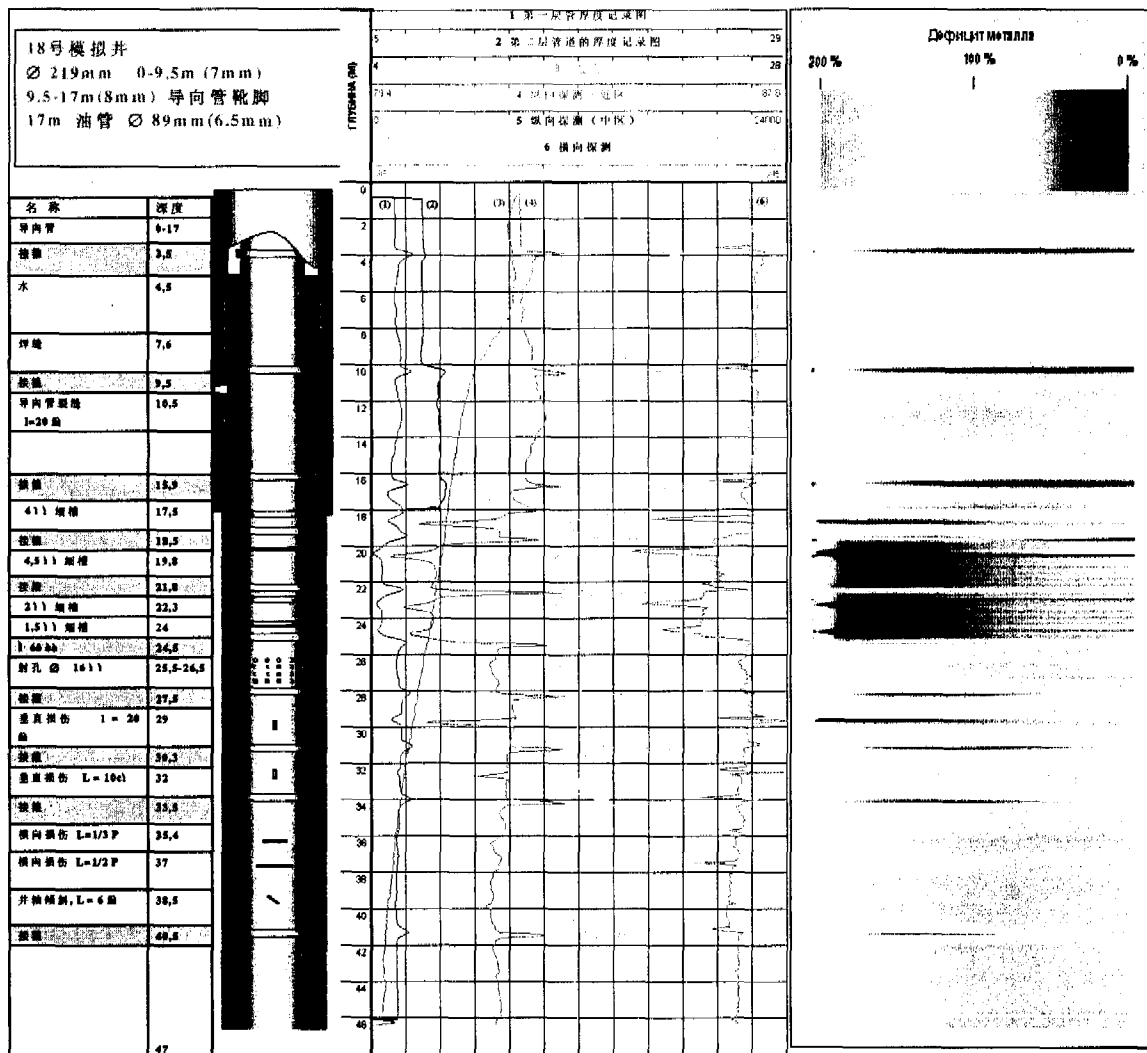


图4 多层管柱探伤仪在模拟井标准实验管测量的结果

C井用多层管柱电磁探伤成像测井仪测量的多层管柱结构。从图5显然可见, 仪器在油管内可以清晰地检测出油管、技术套管和表层套管的管柱结构。

3.4 用套管井工程检测技术组合检查套油、管漏点

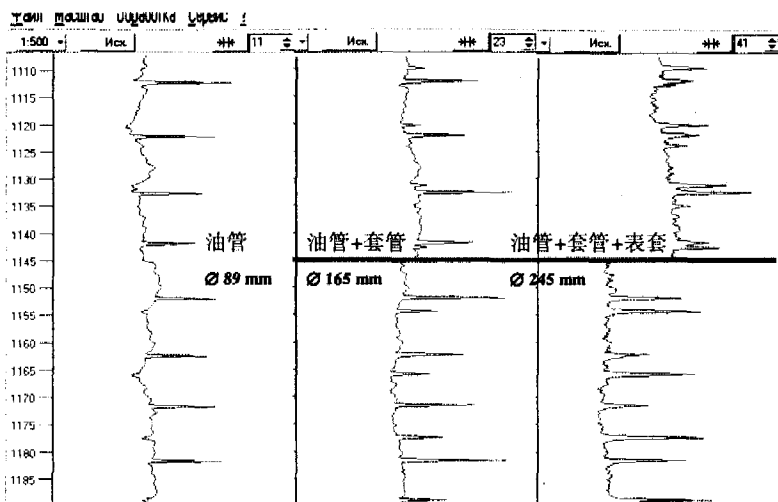


图5 用多层管柱电磁探伤成像测井仪测量的多层管柱结构

C 井是一口注水井, 如图 6 所示, 注入量为  $300\text{m}^3/\text{d}$ 。长期注水, 邻近不受效, 厂家怀疑井内有漏点, 对该井进行工程检测, 项目有多臂井径、管子分析仪、电磁厚度仪、井温、流量组合仪。测量结果发现, 在深度 290m-300m 之间的 M、N 两处的多臂井径、管子分析仪、电磁厚度仪指示套管腐蚀穿孔, 其中 A、B、C、D 处为套管接箍显示, 经井温、流量组合测量验证, 注入该井的 98% 的水从这两处漏失。

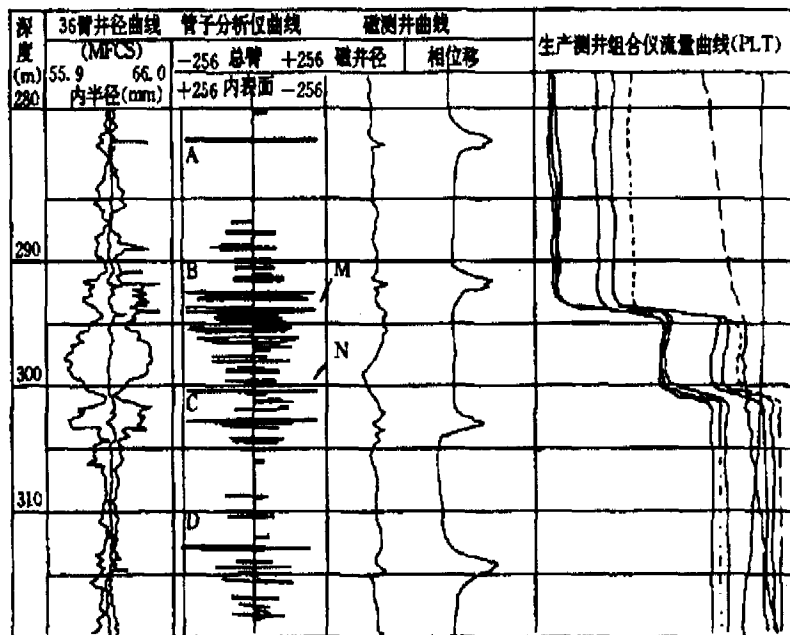


图 6 用组合测量检查套管井漏失问题 (M、N 处为套管腐蚀穿孔)

## 4 结 论

油田开发中的套管井工程检测技术, 采用多种可行的电、磁、声、核、机械等技术方法, 可以从不同侧面反映套管井井身状况。根据工程检测资料所反映的井下油、套管或地层的信息, 如井径变化、井温变化、套管壁厚的变化、声波能量的衰减程度等, 提供如井眼斜度及方位、套管程序、套管损坏程度、水泥环胶结状态等井身状况参数, 分析和判断套管井的油套管质量、水泥胶结质量、射孔质量等, 通过这些检测参数对井身状况做出评价, 可为及时地采取有效的防范或修井措施, 为修井、作业等方案的制定以及安全生产提供技术参数。因此, 利用工程检测技术对套损井井身状况进行普查、检测, 对及时恢复油水井的正常生产, 延长生产井寿命有着重要的意义。

## 参 考 文 献

- 1 测井学编写组. 测井学[M].北京: 石油工业出版社,1998.
- 2 乔贺堂. 生产测井原理及资料解释[M]. 北京: 石油工业出版社,1992.

## Engineering Inspection Technique and Its Applications in Casing Well

ZHONG Xing-fu<sup>1</sup>, WU Ying-xiang<sup>1</sup>, LI Dong-hui<sup>1</sup> LI Qiang<sup>2</sup>, ZHOU Liu-yan<sup>3</sup>, ZHANG Yun-zhai<sup>4</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Changqing Business Division, China Petroleum Logging Co. Ltd. China;

3. Tonghua Radio and Television University, Tonghua, China; 4. The Training School of the Headquarters of the General Staff, PLA, Beijing, China)

### Abstract

Engineering inspection technique (EIT) in casing well is widely adopted in oil field developments. The purpose of EIT is casing well inspection and evaluation. EIT involves electronic method, magnetic method, sonic method, nuclear method, mechanical method etc. Using these technique methods, well incline, azimuth, structure, corrosion, cementation etc will be inspected, and tubing, casing, cement annulus potential problems will be identified and located. According to analyzing the inspection information, we can supply what and how to do in casing well repair and safety production. This paper mainly introduces EIT and its applications in the oil field, and shows the important signification of EIT in casing well.

**Key words:** casing well; casing damage; cement quality; engineering well logging