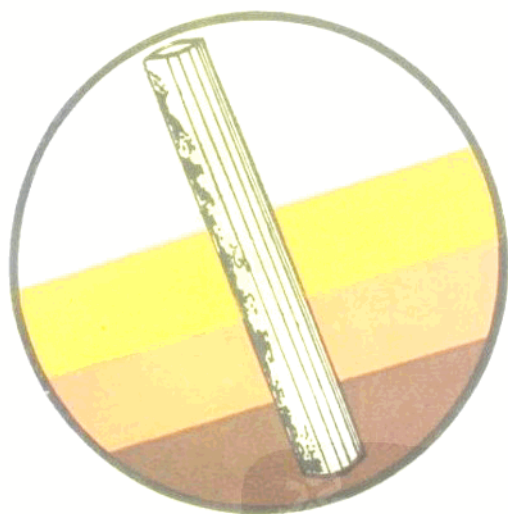


生产测井培训丛书

腐蚀监测



石油工业出版社

054913



生产测井培训丛书

腐蚀监测

生产测井培训丛书编译组 编译



200456559

72.985

001



石油工业出版社

内 容 提 要

本书较详细地介绍了套管腐蚀的机理和腐蚀类型、腐蚀监测仪器的类型以及用ETT仪器对腐蚀情况进行时间推移监测,并和测井实例作了对比。书中还介绍了管子分析仪(PAT)、PAL和ETT组合测井的定量评价方法、AST及CET声波井径仪监测腐蚀的方法。

本书可作为生产测井数控仪器的操作与维修人员,资料解释与技术管理人员的培训教材,也可供大专院校测井专业的师生参考。

DP43 / -2

生产测井培训丛书

腐 蚀 监 测

生产测井培训丛书编译组 编译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京海淀吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 $3\frac{1}{2}$ 印张 78 千字 印1—2,000

1991年8月北京第1版 1991年8月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0496-8/TE·475

定价: 1.70 元

内 部 发 行

前 言

为了做到在引进国外生产测井仪器的同时,能更好的消化、吸收和掌握国外先进的生产测井技术,提高我国石油测井技术人员的技术水平,我们组织有关人员根据斯仑贝谢公司的CSU-D数控生产测井仪器的培训教材编译了《生产测井培训丛书》。包括有:

《现场操作手册》卷1(上册)安全及系统操作

《现场操作手册》卷1(下册)计算

《现场操作手册》卷2 仪器-I

《现场操作手册》卷3 仪器-II

《PLT生产测井仪》

《TDT-M热中子衰减时间测井仪》

《腐蚀监测》

《深度控制》

《生产测井培训丛书》全面而系统的介绍了斯仑贝谢公司使用的生产测井仪器的测量原理、测量技术、仪器结构及电子线路基本框图,以及仪器的技术特性、操作方法、刻度和深度控制等。因此,该丛书可做生产测井数控仪器的操作与维修人员,资料解释与技术管理人员的培训教材,也可作为生产测井技术人员及大专院校测井专业师生的参考书。

在《生产测井培训丛书》的编辑过程中,石油工业出版社、中国石油天然气总公司情报研究所对本丛书的编译工作给予了热情的帮助,尚作源、冯启宁、沈志成、李希文等同志对译文进行了校对,在此一并表示感谢。

参加本丛书编译的工作人员有(按姓氏笔划):

马贵福	王金钟	乔贺堂	孙学龙	刘景学	吴世旗	张淑英
张达雄	李家富	李剑浩	陈志湘	陈发平	胡 澍	郑雪祥
周履康	贾修信	倪昌新	徐晓伟	曹瑜玲	谢晓峰	彭玉辉
鲜于德清						

大庆石油管理局生产测井研究所

目 录

第一章 腐蚀监测的目的与腐蚀机理的类型.....	(1)
一、电化(或两种金属之间)腐蚀.....	(1)
二、缝隙腐蚀(通气浓差电池).....	(1)
三、点孔腐蚀.....	(1)
四、应力腐蚀.....	(2)
五、磨蚀(摩擦腐蚀).....	(2)
六、硫化氢腐蚀(酸腐蚀).....	(2)
七、氢腐蚀.....	(2)
八、晶间腐蚀.....	(3)
第二章 腐蚀测量仪器的类型.....	(4)
一、管子分析测井仪 (PAT)	(4)
二、多臂井径仪 (MFC)	(5)
三、套管电位剖面测井仪 (CPP)	(5)
四、电磁测厚仪 (ETT)	(5)
五、声波井径仪 (CET、AST)	(5)
第三章 精确的电磁测厚仪 (ETT) 时间推移腐蚀监测.....	(6)
一、电磁测厚仪 (ETT)	(6)
二、测井曲线的标准化和时间推移测井.....	(13)
三、腐蚀作用.....	(17)
四、典型实例.....	(19)
五、结论.....	(22)
第四章 管子分析测井 (PAT)	(28)
一、管子分析仪 (PAT-B) 的原理.....	(28)
二、极板结构.....	(30)
三、上下极板间的重叠.....	(30)
四、工作原理.....	(30)
五、涡流测试.....	(31)
六、典型实例.....	(31)
第五章 PAL和ETT组合定量分析.....	(43)
一、前言.....	(43)
二、目的.....	(43)
三、方法.....	(45)
第六章 声波井径仪.....	(46)
一、水泥评价下井仪 (CET)	(46)
二、声波扫描下井仪 (AST)	(49)
附录 石油测井中常用的许用单位与非许用单位换算表.....	(50)

第一章 腐蚀监测的目的与腐蚀机理的类型

腐蚀监测的目的是:

- ① 金属损耗的定量评价;
- ② 腐蚀速率的计算;
- ③ 防腐方法的效果;
- ④ 修井方案的最佳选择;
- ⑤ 生产异常的确定;
- A 套管漏失;
- B 套管外的串槽。

金属腐蚀的机理是多种多样的, 通常根据腐蚀的现象区分其类型, 有化学的、电的、电化学的。在石油工业中通常把腐蚀划分成八种不同的类别, 有些类型是单一的, 而多数是互相有关连的。

一、电化(或两种金属之间)腐蚀

当把两种不同的金属浸在电解液(盐水)中时, 它们之间就产生电位差。这种腐蚀的机理类型是一种电化学的, 它是形成电化腐蚀的基础。根据两种材料在腐蚀电位序中的相对位置确定正极和负极, 抗腐蚀性差的材料为阴极, 如果两种材料接触在一起, 则有电流流动。与其正常腐蚀速率相比, 其结果是: 阳极腐蚀速率增加, 而阴极腐蚀速率减少。

电池原理也可用在一口井的阴极保护装置上, 它由安装在地面的牺牲阳极和作为阴极的套管组成, 由阳极供直流电保证电流向套管流动。

二、缝隙腐蚀(通气浓差电池)

油田中很多腐蚀引起的金属损失都是由这种腐蚀类型造成的。强烈地局部电化学腐蚀发生在缝隙内和其它金属表面上, 它们经常遭受变化的条件的影晌或暴露在不同浓度的腐蚀流体中。当套管下入含有不同性质流体的地层时, 钢材的表面与不同浓度的腐蚀流体接触。这些金属被氧化, 相对邻近地区来说成为阳极, 并迅速地被腐蚀。水泥胶结作业差也会造成套管不同程度地暴露在这种类似状态地层流体中。

近期研究已经更清楚地揭示了缝隙腐蚀的机理, 对金属M作用的全部化学反应由下面两个公式描述:



经过一段时间之后, 由于对流受到限制, 缝隙被氧化, 由于金属(M^{+})的溶解, 产生了纯的正电荷, 这些电荷被游离进裂缝中的氯离子(Cl^{-})所平衡。 Cl^{-} 和 H^{+} 的作用就是使金属溶解速率加快的催化剂。

三、点孔腐蚀

点孔腐蚀是由孔洞引起的严重局部化学腐蚀。其机理非常类似缝隙腐蚀[公式(1-1), (1-2)], 但是引起点孔腐蚀作用的环境可能不同, 腐蚀孔是阳极反应的一种独特的类型, 该孔

内的腐蚀过程产生一个加速腐蚀的自催化环境。在某种意义上，点孔腐蚀对其周围的金属却起到阴极保护的作用。

一个点开始腐蚀可能是金属的小表面处发生的瞬态金属溶解造成的，这样就使氯离子 (Cl^-) 向那点和含 H^+ 离子的地层移动。金属的局部严重溶解可能是由一条划痕、一个小锯齿口，表面不纯或任何一个小的缺陷引起的。点孔腐蚀与不流动液相联系，因为，流动的流体柱有助于消减局部存在的 Cl^- 离子和 H^+ 离子的浓度。

四、应力腐蚀

在管子的连接处，由于应力及腐蚀环境的双重作用，会引起应力腐蚀。如果金属材料有一个小的变形，这会引起局部应力集中而加速腐蚀。在接箍附近存在的腐蚀经常是直接产生的应力腐蚀。

虽然这种应力腐蚀是很重要的，并且也是一个普遍存在的问题，但实际上其机理并不是很清楚的。大多数有关数据是从经验性的实验中得到的。水泥胶结良好可以支撑套管，并且可以减少其自身的重量的应力，因而可以减少腐蚀。在井眼和地层之间绝对压力差高，对油管将同样也可加速其腐蚀速率。

五、磨蚀（摩擦腐蚀）

当多数金属材料暴露在氧气中时，就会形成一个薄的氧化物膜，这个薄膜隔绝了其暴露的表面并且减少腐蚀。一种高速的流体经过这里时产生涡流，机械运动破坏了这层薄膜，这样化学和电化学反应的腐蚀速率会加快。在油田上普遍使用防腐剂来构成耐机械磨蚀的保护层。

在高流量的井中能直接产生机械磨蚀。在新套管中，这种情况特别明显。粗糙井壁处的高速涡流清除了其上面的金属固体，并且溶解金属离子。定向磨蚀是这种腐蚀形式的特点。在流动状态下，这种机械磨蚀可使套管比其开始使用时损失金属达5%。固体粒子被流动的流体冲走后，使其表面更加平滑。

六、硫化氢腐蚀（酸腐蚀）

当盐水和硫化氢气存在时，会产生这种类型的腐蚀。在存在水的情况下，硫化氢与铁作用可产生硫化铁和水。如式(1-3)



在套管壁上形成硫化铁的鳞状薄膜。由于相对于硫化铁鳞状薄膜来讲，套管是阳极，因此电化腐蚀继续在硫化铁鳞状薄膜下面进行。氢原子扩散进入金属颗粒的界面中，并且和氢原子本身相互作用形成更大的氢分子。这些更大的氢分子封闭在金属颗粒的骨架内并且产生裂纹，降低了韧性和屈服强度。

七、氢腐蚀

氢腐蚀可以分成四种不同类型：

- ① 氢泡（麻点）；
- ② 氢脆化；
- ③ 脱碳；
- ④ 氢浸蚀。

氢的原子相对的讲是很小的，它可以扩散到钢和其它金属材料中。这些氢原子是化学和电化学反应的产物。在高温高压的情况下生成的氢原子数量更多而且稳定。在这四种情况

中，脆化是最常见的。多数理论是根据溶解氢的滑动干扰提出来的。这种干扰可能是在微空隙和金属缺陷区域中由氢原子造成的。因此确切的机理仍不清楚。

八、晶间腐蚀

通常当一种均匀腐蚀发生时，颗粒边界处的抗腐蚀力或多或少地低于骨架的抗腐蚀力。

然而，有时在一定的条件下，颗粒的界面处很容易发生反应和导致晶间腐蚀。这表明腐蚀发生在晶粒边界附近，实际上并非是晶粒受到腐蚀。可能的原因是在这些界面上有杂质存在和在晶粒界面富集（或缺乏）某种合金元素。结构的不连续性不能产生微电池反应和出现高的腐蚀速率。

第二章 腐蚀测量仪的类型

管子分析测井仪 (PAT) 可测量

- 1) 涡流 用一个高频电磁信号探测套管内表面的裂痕;
- 2) 磁流 磁通量是绕过套管内、外壁缺陷周围的磁力线的畸变。

多臂井径仪 (MFC):

它是由一组 (60个) 弹簧支撑探测臂来探测套管的最大半径和最小半径。

套管电位剖面测井仪 (CPP):

它是用测量两个相距25英尺的电极之间的电位差来探测套管外的腐蚀状况。

电磁测厚仪 (ETT):

它在套管中产生一个磁场, 并由接收线圈接收信号。相位的改变反映出套管的平均厚度。

声波井径仪 (CET、AST和BHTV):

它是用超声波测量套管内径或套管内的井眼电视图象 (BHTV)。

腐蚀测量:

为了防止套管的漏失、串流以及有时管柱的全部破坏, 对套管、衬管和油管的腐蚀进行监测是很重要的。防腐测量的另外的目的是评价应用防腐措施 (防腐剂、阴极保护等) 的效果, 在大多数情况下, 这些防腐措施的安装和维护是相当昂贵的。一般在开始作业之前, 对井下腐蚀和套管损坏的情况要有一个详细的分析, 以便可以直接对损坏的井段进行修井作业, 这样做始终是经济的。

为了计算总的损失和腐蚀速率, 需要一种精确的技术。当油田明显的老龄化和存在着较高的腐蚀速率时, 对这种技术的需求就变得更加尖锐和必要 (特别在盐水中, 由于防护物的异常现象, 腐蚀速率可能随着含水率、注入水穿透和油水接触面的移动而增加)。除了应用防腐蚀措施之外, 腐蚀速率是与时间成指数关系的。

目前, 很多腐蚀监测测井方法已被用于石油工业中。由于很多可变的因素影响每种仪器测量结果, 所以其测量结果一般用来作定性分析。

一、管子分析测井仪 (PAT)

该仪器有上、下两组极板, 每组六个极板, 上、下两组极板在相位上有某种程度的重叠。它可进行两种测量:

涡流——它是一种探测套管内表面裂痕的高频电磁信号。套管内表的损坏使得感应磁场的正常分布发生畸变, 这种畸变表现为探测线圈中感应电流的变化。其探测的深度为1毫米。记录的信号是该组六个极板中最大的一个数值。

磁通量漏失——一个电磁铁产生一个磁场, 它与套管的藕合方式与ETT相似。在套管缺陷的附近产生磁力线的畸变, 在缺陷部位的上部和下部产生一个垂直于套管壁的磁通分量。这样在磁漏失线圈中产生一个与正常磁通随深度变化率有关的感应电流。这个信号也是该极板组内六个线圈中最大的。此测量的信号表示的是套管内侧和外侧的缺陷。

从物理意义上讲，两种方法是测量套管中的金属突变引起的磁力线的畸变。如果腐蚀是均匀的并且是平缓的，那么仪器测的正常的磁力线的变化就不能反映腐蚀的确切数值。

二、多臂井径仪（MFC）

该仪器是由一组（60个）弹簧支撑的、径向互相有一定间隔的探测臂组成，探测臂沿套管内壁运动，探测臂的运动随套管内壁变化而变化，测井曲线记录的是该深度点上的最大和最小半径。

三、套管电位剖面测井仪（CPP）

该仪器测量的是与套管内侧接触的两个相距25英尺的电极之间的电位差。电压读数的极性表示的是电流流动的方向。井中必须是不导电的流体，防止在套管与电极之间异金属引起的不稳定电压的产生。

这种技术的明显限制是井内需放入柴油并且测井成果只能示出套管后面的腐蚀强度。还存在另外的可能性是流体变化和井眼中的仪器将会使电磁场发生畸变。

一种为了克服异金属作用使用的新工艺电极和新设想的CPP仪器正在研制中。

四、电磁测厚仪（ETT）

发射线圈的交频电流产生一个交频磁场，通过套管耦合到接收线圈。接收信号的相位滞后于发射电流，其值正比于两个线圈之间的套管平均厚度。在所有的测量腐蚀的仪器中，在对测量的物理量的影响方面，该仪器是最简单的。然而，由于对压力、温度、时间和长期的应力和应变对套管磁性的影响缺乏了解，这就会常常妨碍解释的正确性。这些方面在以下的部分将较详细的讨论。

五、声波井径仪（CET、AST）

水泥评价下井仪和声波扫描下井仪两种仪器都利用超声技术来测量套管内径。换能器发射一个可以从套管壁反射回来的脉冲。测量此脉冲往返传播所用的时间，距反射器某一精确距离处放置一个参考换能器，提供原处的流体速度。知道了该速度后，可以计算出精确的内径，并能监视期望值的偏差。

目前使用的这类测井仪有局限性，仅仅是套管覆盖率的40%左右。

这种类型的仪器的最终类型是井下电视。它使用超声波，旨在对井壁成像。

第三章 精确的电磁测厚仪 (ETT)

时间推移腐蚀监测

一、电磁测厚仪 (ETT)

1. 原理

经验和实践都已证明, ETT仪器可以定量提供评价腐蚀的最佳测量值。测量原理和仪器说明在许多提供的出版物中已介绍过。此处不详细说明。

就其简单的发射与接收结构来论, 决定该仪器测量的公式是:

$$\phi_{a,b} = 2\pi D \sqrt{\frac{\mu F}{R 10^8}} \quad (3-1)$$

将绝对相位移定为

$$\phi_{a,b} = \phi_{100} + (360 - \phi_{a,b}) \quad (3-2)$$

其中 ϕ ——由ETT测出的相位移;

D ——套管厚度 (英寸);

μ ——套管磁导率 HM^{-1} (亨利/米);

R ——套管电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$ (欧姆米);

F ——仪器测量的磁通频率, Hz (赫兹)。

2. 测井曲线的特征

ETT相位移对于每一个接合点给出一个单值的测井特征值。它可使任何局部异常, 如制造允许的间隙, 金属不纯, 应力变形, 剩余应力等等, 突出的表示出来。图3-1、3-2、3-3是用该仪器在中东套管井中记录的测井实例。

了解单根套管的测井曲线特征是重要的。这种情况和一个人的指纹一样, 一个人的指纹有它自己的特征, 年龄增长可以改变其大小, 但其指纹特征仍一样。同样单根套管的测井曲线特征随着套管老化 (温度、压力和时间的变化) 只能改变使其绝对值, 但其特有的轮廓不变。当腐蚀产生时, 腐蚀处的测井曲线首先出现明显的变化。经验确切证明, 图形变化则有腐蚀存在, 这对确定腐蚀提供了一个好的快速直观解释。

测井图实例1 (图3-1):

① 这是一个普通类型的测井图, 说明该单根管子的中部有一个大的倾斜。假定下管柱、固井方法、套管柱的拉伸和压缩是一种控制因素, 这种类型可能是机加公差和热处理时温度差的产物。

② 这是一条平直的曲线, 是一种例外情况, 而不是一节最新管子的标准。

③ 曲线说明该节管子的底部有一异常。

④ 观察到一个普通的斜面型的图象, 此处的相位移随深度变化。可能的原因是由于剩余应力, 以及可能是由于冷却过程中温差造成的制造异常。

⑤ 斜面图形特征与④相似, 其响应曲线的相位移随深度而增加。这种响应曲线的类型

可能是管柱在阻止固井时的应力造成的。

⑥ 制造异常：上部分显示出具有不同的重量（不同的厚度D）。

⑦ 在此测井图上清楚地示出了刮管器和扶正器的影响。

⑧ 接箍附近的大的异常。这是观察到的普遍现象，可能是机械加工和应力变形引起的。管子连接处的接箍附近先开始腐蚀，这是相当普遍的现象，因为管子的连接处是管子的薄弱部分。

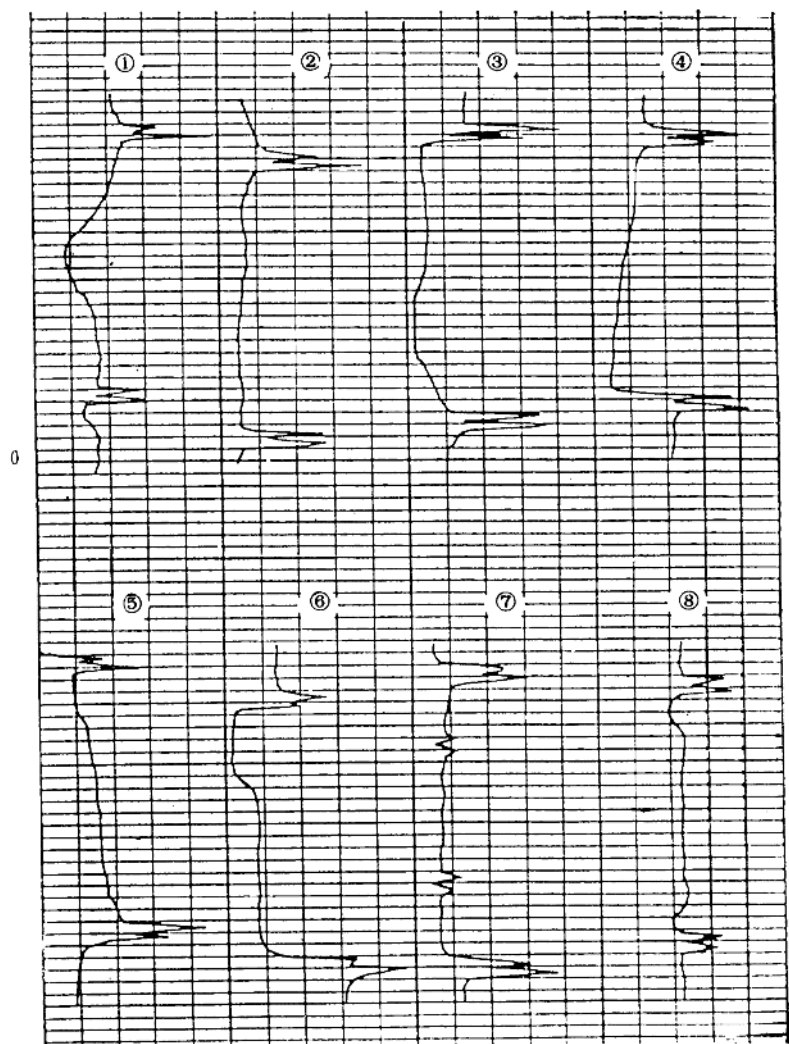


图3-1

套管内测井图实例2（图3-2）：

① ETT-X（电磁测厚仪）在7英寸套管中记录的曲线（见图3-2中A）。该套管的测

井图示出了高的噪声强度，这就再次确切地说明这种仪器对局部缺陷具有相当高的灵敏度。这种测井图的微小细节在更多的单根曲线上重复出现，测井图上这些细小变化可能反映了某种机械加工或制造工艺的方式。

② 它是ETT-X（电磁测厚仪）在7英寸和9 5/8英寸的双层管柱中测出的曲线（见图3-2中③）。从测井图上可清楚地看到内、外两层套管的接箍。ETT是一种探测深度大的仪

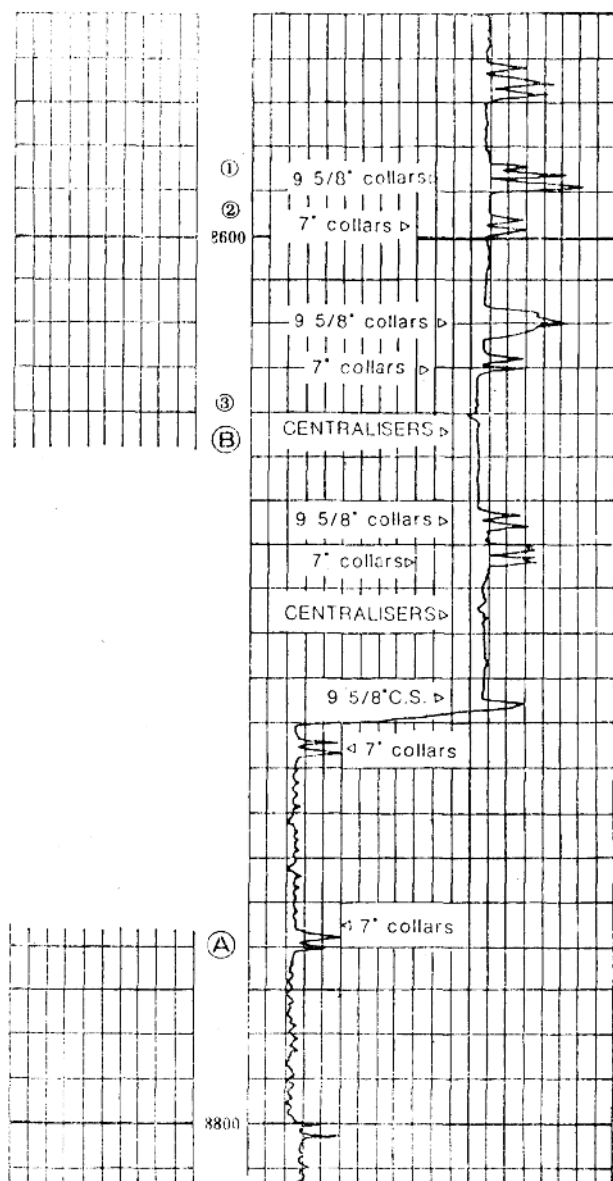


图3-2 套管柱图例

① 9 5/8英寸套管接箍；② 7英寸套管接箍；③ 套管扶正器

器并且在双层管柱中其读数是可靠的。

套管内的测井图实例3（图3-3）：

该图是用放大的比例尺显示出的连续ETT测井曲线。注意，该节管子测井曲线的形状和范围都有大的变化。同样显示的第二次ETT测井图是在原测井曲线一年以后测的。预期无腐蚀，并且这两条测井曲线的重复性相当好。对第二次测得的ETT测井曲线做了标准化（后面详述）。

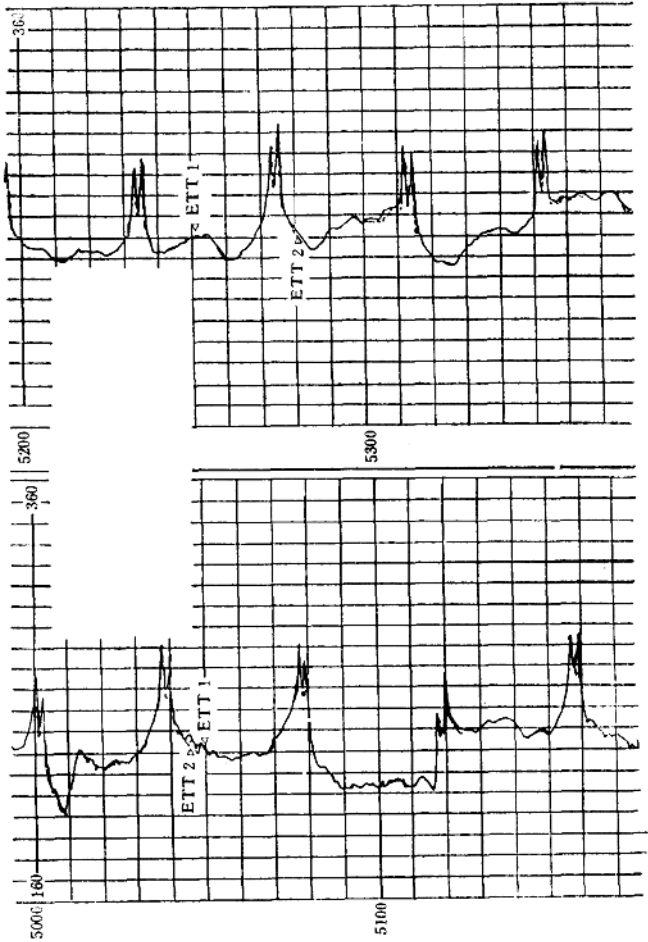


图3-3 套管柱图例

3. 压力、温度和时间对相位移测量的影响

确定压力与温度对相位移 ϕ ，存在着一些影响。可以认为使 μ 发生变化，而使R的变化较小些。据观察，如果套管经受高温和高压，那么就会发生一些位移和弯曲，这样也会对 μ 和R值有一些影响。

图3-4是在同一口井中相隔两年的两次ETT测出的实例。有一个明显的趋势，即相位移

随深度增加而增加。图3-5示出了这些测井曲线的相位移随深度变化的情况。

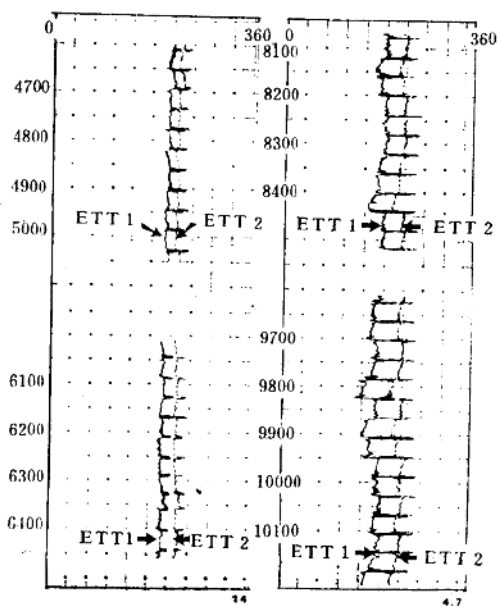


图3-4

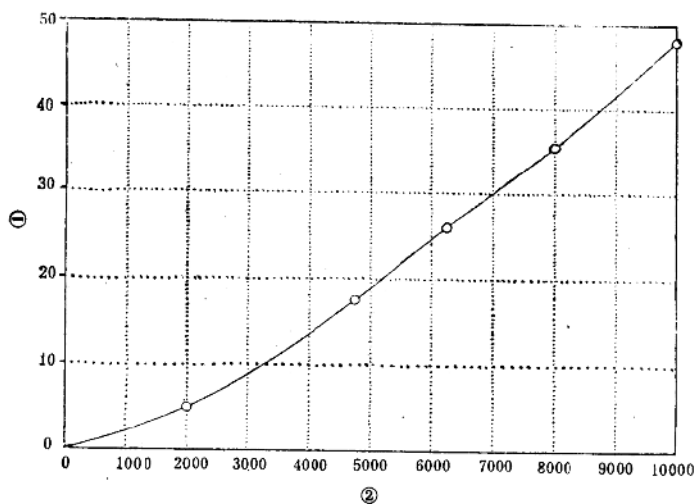


图3-5 深度对相位移测量的影响实例

①相位移的变化；②深度(ft)

(1) 压力和温度对 $\Delta\phi$ 的影响

$\Delta\phi$ 随深度变化的绝对变化率是下列变易的函数(图3-6)。

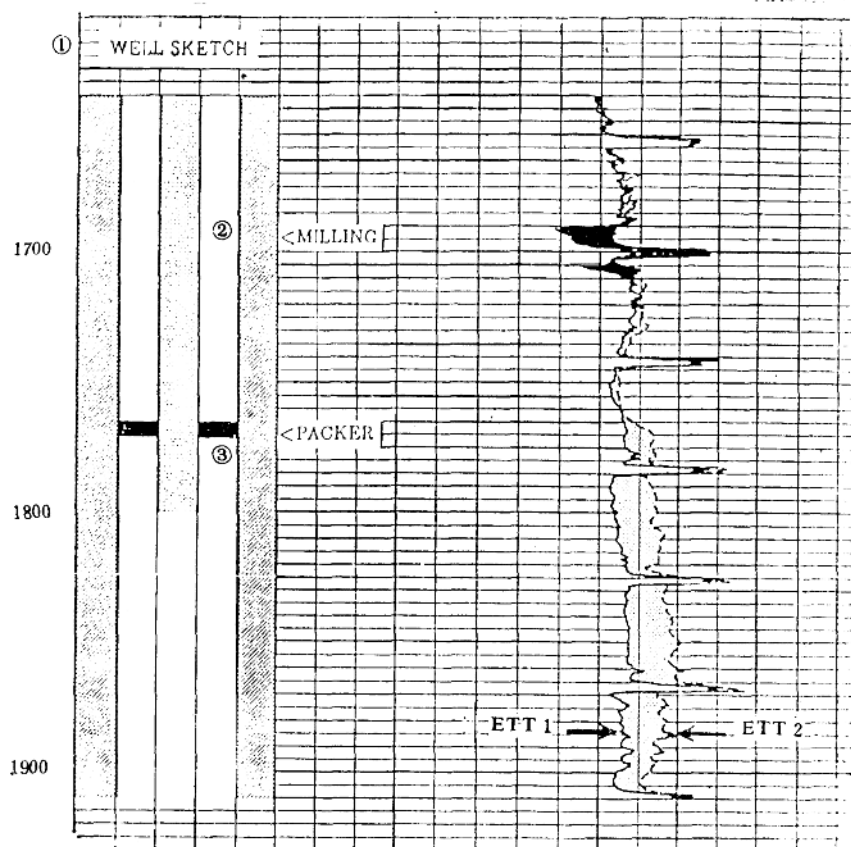


图3-6 压力对磁相位移 ϕ 的影响

①管柱结构；②焊口；③封隔器

1) $\Delta\phi$ 随压力增加而增加 图3-6示出的是相隔7个月的两次ETT测井曲线。由于试验期间和在测ETT2之前，在1700英尺以下增加了大约5000磅/英寸²的超压，与最初的ETT1曲线相比，ETT2曲线的相位移增加。这仅仅是由于压力增加而引起的。在1710~1690英尺之间探测出了金属损失。这种金属损失，是在进行ETT2测井之前，由于在这些部位进行磨铣性作业造成的。

2) $\Delta\phi$ 随温度增加而增加 还没有单独测量来证明这种假设。我们假定，既然温度随深度增加，而温度的增加将导致产生附加的应力，那么随深度增加的 $\Delta\phi$ 部分就是由于温度和压力的增加引起的。

(2) $\Delta\phi$ 随绝对值变化

① 对同样的温度压力来讲， $\Delta\phi$ 的数值与相位移 $\phi_{\text{测}}$ 的绝对值成反比。(图3-7)。

② $\Delta\phi$ 同样也受时间的影响：如果将同样的温度和压力保持一个长时间， $\Delta\phi_{\text{测}}$ 就会发生变化。据观察在新套管中 $\Delta\phi$ 的变化最高。

(3) 应力对ETT的影响

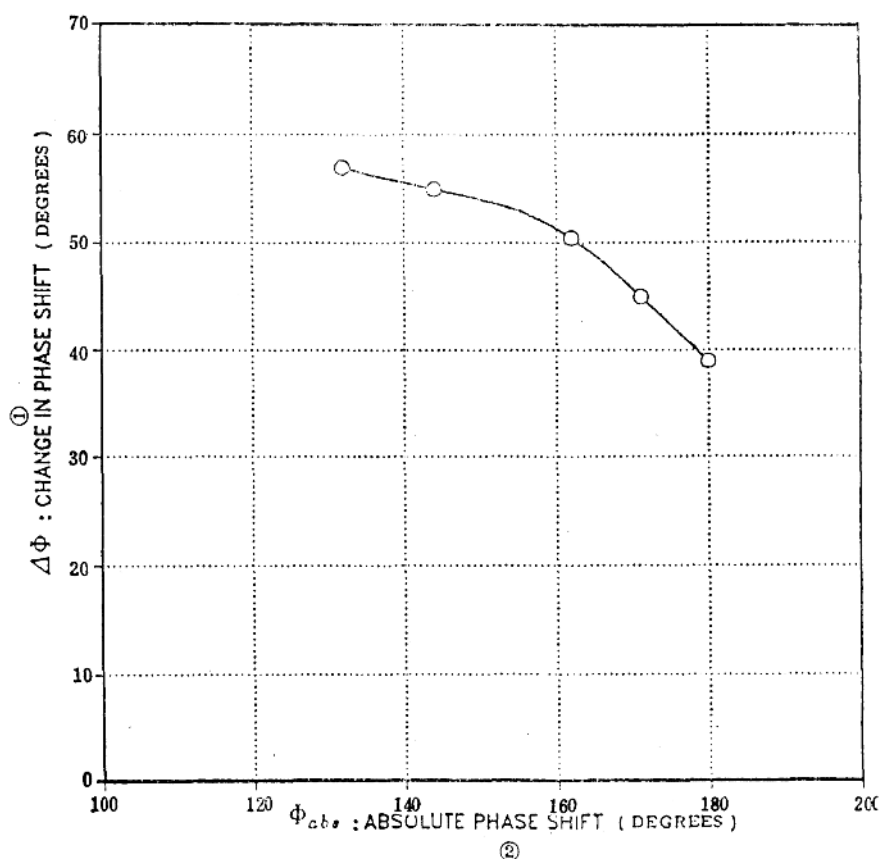


图3-7 相位移的变化与相位移绝对值的函数关系

①相位移的变化 $\Delta\phi$ (度); ②绝对相位移 ϕ_{abs} (度)

$\Delta\phi$ 的有效值是上述提到的所有变量的累加值。由产量和注入量的变化引起的温度和压力变化的过程,将会产生影响。由于涉及到大量的变量,不可能从理论上预测这个 $\Delta\phi$ 值。这就迫使人们使用时间推移测井和经验的近似值来校正由所有这些变量造成的 $\Delta\phi$ 值。

图3-8是一张应力对相位移影响的图(应力2>应力1)。

(4) 磁滞分析

前面所讨论的 $\Delta\phi$ 的变化。可以可用磁滞回线做出最好地说明(图3-9)。在公式(3-1)中使用的磁导率由下式给出:

$$\mu = \frac{dB}{dH} \quad (3-3)$$

式中 H ——磁场强度, A/m (安培/米);

B ——磁感应强度, T (特斯拉)。

B 轴上的截距代表剩磁, H 轴上的截距代表矫顽力, 该矫顽力是将剩磁降为零所需要的能量。外加的应力等于注入磁性减少所用的矫顽力。减少的量相当于磁滞回线从高能回线