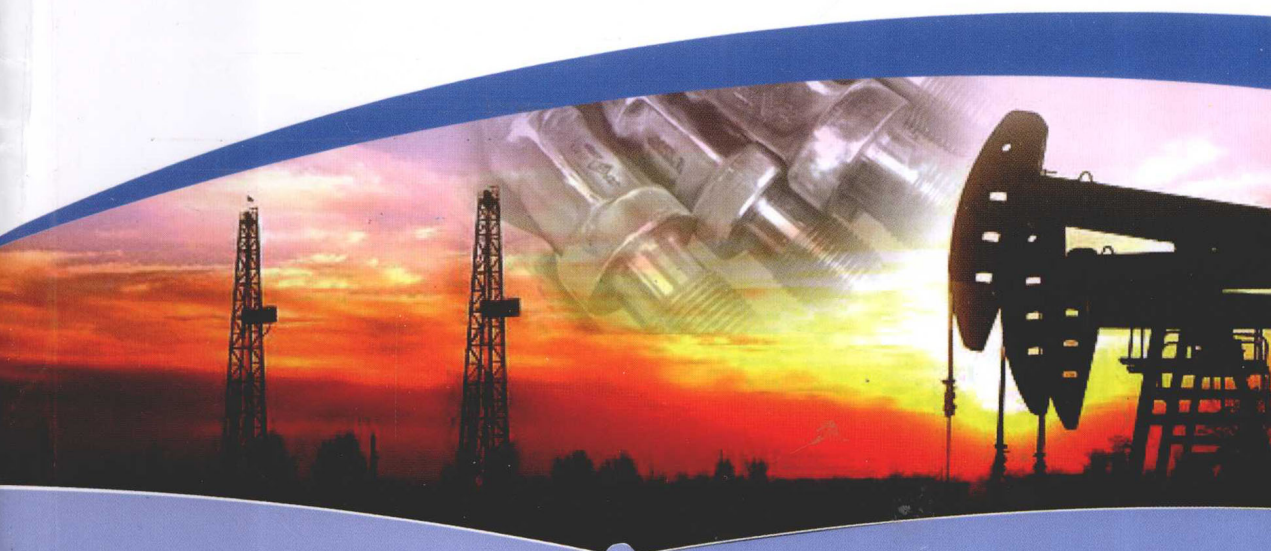


抽油井杆管防偏磨

理论研究与技术实践

杨海滨 李汉周 刘松林 马建杰 著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

抽油井杆管防偏磨 理论研究与技术实践

杨海滨 李汉周 刘松林 马建杰 著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书在分析总结已有防偏磨理论和技术措施的基础上,提出通过降低管杆正压力和减少摩擦副之间的摩擦系数来解决偏磨问题的技术思路,突出了有杆抽油杆系统的力学检测与力学分析,提出了一种基于实际井眼轨迹条件下的防偏磨技术设计方法,提供了一套针对复杂井眼抽油系统的防偏磨工艺。本书可供从事采油工程的技术人员、管理人员、科研人员以及相关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

抽油井杆管防偏磨理论研究与技术实践/杨海滨等著.—北京:中国石化出版社,2012.2

ISBN 978-7-5114-1403-8

I. ①抽… II. ①杨… III. ①抽油杆—研究 IV. ①TE933

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第013744号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本8.75印张131千字

2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷

定价:30.00元

序

有杆抽油系统杆管偏磨问题长期困扰着石油开采行业,也是油田生产和科研人员一直关注的课题。有杆抽油技术诞生以来,尤其是 20 世纪 50 年代末以后,国内外专家学者做了大量的研究工作,取得了令人瞩目的研究成果,一定程度上解决了生产实际问题,对推动采油技术的发展做出了重要贡献。

我的学生把《抽油井杆管防偏磨理论研究与技术实践》这本书的样稿交给我,请我提一些建议,他跟我读博士的时候就是研究这个课题。我认真翻阅了这本书,感到有不少新的内容,值得向从事采油工艺工作的同行推荐。

这本书比较系统地介绍了抽油杆管防偏磨技术内容,提出了抽油杆管防偏磨的一些新技术。

该书较详细地分析了抽油杆管偏磨的原因,较全面地论述了抽油杆管偏磨的理论研究成果,对他们设计的井下抽油杆力学检测仪器也做了较为详细的介绍,最后是抽油杆管防偏磨治理方法和应用效果,全书内容全面、系统、具体、深入浅出。

在理论研究方面,该书提出了用井下实测抽油杆受力数据标定理论模型,并用标定后的理论模型计算同类型井的抽油杆受力,计算结果更加准确,满足了现场技术措施的需要;另外,在中和点的计算方法上也提出了与众不同的观点,并通过实际验证计算精度更高;为了得到抽油杆井下受力数据,他们开发了抽油杆井下力学检测仪,无论是检测精度还是井下工作时间都有了质的飞跃;在防偏磨技术措施方面,他们利用标

定后模型计算结果,从减少摩擦力的两个因素着手,提出了防偏磨接箍、传重式加重杆等专利技术,取得了较显著的应用效果。

正如抽油杆防偏磨技术需要不断发展和创新一样,这本书还有许多需要完善之处。尽管如此,它仍然是我国在抽油杆管防偏磨技术研究与实践领域不可多得的一本好书,相信会对关注抽油杆管防偏磨技术进展的现场工程师、研究院所的科技人员和大专院校师生有所帮助。

李乃庚

前 言

有杆泵采油是石油工业传统的采油方式之一,也是迄今为止在采油工程中一直占主导地位的人工举升方式。在有杆泵采油系统中,抽油杆和油管的偏磨不仅降低抽油杆的强度,造成抽油杆磨损、甚至断裂,还会磨穿油管,造成油管漏失,影响油井正常生产。随着定向井、侧钻井、水平井等复杂结构井的不断增加,油田开采中后期含水的不断上升,抽油井杆管偏磨问题更加突出,因偏磨而造成的油井检泵周期降低和作业费用增加已经成为采油工程一个不可忽视的问题。根据油田的现状采取有针对性的措施,有效治理杆管偏磨已成为各油田降低作业成本、提高开采效益的重要途径。

本书在分析总结已有的防偏磨理论和技术措施的基础上,提出了通过降低管杆正压力和减少摩擦副之间的摩擦系数来解决偏磨问题的技术思路,突出了有杆抽油杆系统的力学检测与力学分析,提出了一种基于实际井眼轨迹条件下的防偏磨技术设计方法,提供了一套针对复杂井眼抽油系统的防偏磨工艺。

本书共分五章,第一章分析了抽油杆、管偏磨的影响因素;第二章介绍了国内抽油系统的防偏磨技术理论,重点阐述了三维井眼抽油系统防偏磨技术理论;第三章主要介绍了抽油杆井下力学参数测量仪器的原理和功能;第四章分析了现有的各种抽油杆管防偏磨工艺,重点介绍了针对复杂井眼抽油系统的防偏磨工艺;第五章主要介绍复杂井眼抽油系统防偏磨技术的应用情况。

本书可供从事采油工程的技术人员、管理人员、科研人员以及大专

院校师生参考。

随着工作的展开和研究的深入,相信会有新的理论、新的技术不断出现,抽油杆管防偏磨技术推陈出新、百花齐放,正是我们所期待的。我们谨以本书抛砖引玉,与专家同行们互相交流,期望得到更多的批评与建议。

本书在编写过程中得到了中国石油大学(华东)张琪教授的指导和帮助,燕山大学李子丰教授提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢!同时,江苏油田试采一厂、试采二厂、安徽采油厂、南通市华业石油机械有限公司、南京能杰数字有限公司、上海大学力学研究所、天津市通业防腐技术有限公司等单位为本书提供了技术资料,在此一并表示感谢!

著 者

2011年 10 月

目 录

第一章 抽油井杆管偏磨影响因素分析	(1)
1 井眼轨迹对杆管偏磨的影响	(1)
1.1 井眼轨迹参数	(1)
1.2 井斜角大小对偏磨的影响	(2)
1.3 井斜角变化率对偏磨的影响	(3)
1.4 全角变化率对偏磨的影响	(4)
2 抽油杆柱失稳弯曲对杆管偏磨的影响	(5)
3 井筒工作环境对杆管偏磨的影响	(7)
3.1 腐蚀的影响	(7)
3.1.1 腐蚀磨损的原理	(7)
3.1.2 腐蚀磨损的主要因素	(8)
3.1.3 腐蚀磨损的主要形式	(9)
3.2 沉没度的影响	(11)
3.3 聚合物驱采出液的影响	(12)
4 其他因素对杆管偏磨的影响	(13)
4.1 生产参数(冲程、冲次)的影响	(13)
4.2 封隔器座封的影响	(14)
4.3 抽油杆和油管接箍部位不规则形状的影响	(14)
4.4 摩擦副及摩擦介质的影响	(14)
参考文献	(15)
第二章 抽油杆管防偏磨技术理论研究	(17)
1 抽油杆管防偏磨技术理论简介	(17)
1.1 抽油杆柱 API 设计标准	(17)

1.2 国内抽油杆柱力学与防偏磨理论研究摘述	(18)
1.2.1 赵洪激等人的研究	(18)
1.2.2 付志远等人的研究	(20)
1.2.3 张纲等人的研究	(22)
1.2.4 孙爱军、李士瑞等人的研究	(23)
1.2.5 丛蕊、董世民的研究	(25)
1.2.6 朱杰、洪详珍等人的研究	(27)
1.2.7 孔令泉、李振军的研究	(30)
2 抽油杆柱中和点的计算方法研究	(32)
2.1 国内抽油杆柱中和点计算方法简述	(33)
2.2 中和点修正模型计算方法	(35)
2.2.1 受力分析	(35)
2.2.2 模型建立	(37)
2.2.3 模型修正	(38)
2.2.4 新旧模型对比	(39)
3 三维井眼中抽油杆柱力学分析	(40)
3.1 三维井眼的几何描述	(41)
3.2 三维井眼中抽油杆柱的形态描述	(43)
3.3 三维井眼中抽油杆柱受力分析	(46)
3.3.1 三维井眼中抽油杆柱微元体受力分析	(46)
3.3.2 三维弯曲井眼中抽油杆柱端面受力分析	(47)
3.4 描述三维井眼中抽油杆柱动态基本方程	(48)
3.4.1 抽油杆柱本构方程	(48)
3.4.2 动量定理和动量矩定理	(48)
3.4.3 抽油杆柱运动平衡方程	(49)
3.4.4 三维井眼中抽油杆柱系统动力学微分方程	(49)
3.4.5 微分方程的数值模型	(50)
3.5 等效阻力修正系数	(51)

3.5.1 等效阻力修正系数的概念	(51)
3.5.2 等效阻力修正系数的确定方法	(51)
3.5.3 等效阻力修正系数的拟合实例	(52)
3.6 三维井眼轨迹对抽油杆受力变形的影响	(54)
参考文献	(57)
 第三章 抽油杆力学参数检测仪	(58)
1 抽油杆力学参数测量技术的发展	(58)
2 储存式抽油杆力学参数检测仪的研制	(61)
2.1 储存式抽油杆力学参数检测仪原理与构成	(61)
2.2 储存式抽油杆力学参数检测仪设计	(61)
2.2.1 主要技术指标的确定	(61)
2.2.2 集成电路板的设计	(62)
2.2.3 主要元器件的选择	(63)
2.2.4 负荷传感器结构设计	(63)
2.2.5 储存式抽油杆力学参数检测仪的检验	(71)
2.3 储存式抽油杆力学参数检测仪的应用	(73)
2.3.1 泵筒压力分析——以 Z123 井为例	(73)
2.3.2 井下功图分析——以 Y21-3 井为例	(74)
2.3.3 功图分析与应用	(75)
参考文献	(77)
 第四章 防偏磨工艺措施	(78)
1 常规防偏磨措施	(78)
1.1 扶正类防偏磨工艺	(78)
1.1.1 抽油杆滚轮式扶正器	(78)
1.1.2 抽油杆固定式扶正器	(79)
1.1.3 卡装式抽油杆扶正器	(79)

1.1.4 弹力支撑式油井防偏磨扶正杆	(80)
1.1.5 抽油杆旋转刮蜡扶正器	(80)
1.1.6 热固塑尼龙扶正抽油杆	(81)
1.2 抗磨类防偏磨工艺	(82)
1.2.1 防偏磨副	(82)
1.2.2 双向保护接箍	(82)
1.3 加重类防偏磨工艺	(83)
1.4 转动类防偏磨工艺	(83)
1.4.1 旋转井口装置	(83)
1.4.2 旋转抽油杆装置	(83)
1.5 锚定类防偏磨工艺	(83)
1.6 防腐垢类防偏磨工艺	(84)
1.6.1 井口加缓蚀剂技术	(84)
1.6.2 牺牲阳极防腐技术	(84)
1.6.3 固体缓蚀器(剂)	(84)
1.6.4 耐磨防腐内衬油管	(84)
1.6.5 具有抗腐蚀能力的抽油杆	(85)
1.7 其他防偏磨工艺	(85)
2 复杂井眼抽油井防偏磨措施	(86)
2.1 复杂井眼抽油井防偏磨措施的思路	(86)
2.2 超高分子量聚乙烯防偏磨材料	(87)
2.2.1 耐磨损性能	(87)
2.2.2 自润滑性能	(88)
2.2.3 吸水率	(88)
2.2.4 物理、机械性能和热性能	(88)
2.2.5 耐化学药品性能	(89)
2.2.6 不黏附性	(89)
2.2.7 耐低温性等	(89)

2.3 抽油杆防磨脱接箍	(89)
2.4 抽油杆万向防偏磨接箍	(90)
2.5 抽油杆旋转耐磨短接	(91)
2.6 内衬复合油管	(91)
2.7 合金耐磨接头	(91)
2.8 油管防磨垫圈	(92)
2.9 管式加重杆	(92)
2.10 传重式加重杆	(93)
2.11 过泵加重抽油装置	(94)
2.12 往复式摩擦磨损试验机	(94)
3 复杂井眼抽油井防偏磨工艺设计规范及工具的施工要求	(95)
3.1 设计前的准备工作	(95)
3.2 防偏磨工艺设计规范	(95)
3.2.1 油井井下力学检测工艺设计	(95)
3.2.2 等效阻力修正系数的确定	(95)
3.2.3 偏磨点及中和点的确定	(96)
3.2.4 加重杆设计	(96)
3.2.5 防磨内衬油管设计	(96)
3.2.6 抽油杆防磨脱接箍、旋转耐磨短接和万向防偏磨接箍设计	(96)
3.3 防偏磨工具的施工要求	(96)
3.3.1 井下力学检测装置	(96)
3.3.2 传重式加重杆	(97)
3.3.3 抽油杆防磨脱接箍与万向防偏磨接箍	(97)
参考文献	(97)

第五章 复杂井眼防偏磨工艺现场应用 (98)

1 井下储存式抽油杆力学参数检测仪的应用 (98)

1.1 Z133 井应用实例 (98)

1.2 仪器测试数据分析	(100)
1.3 部分井测试数据分析	(104)
1.3.1 S20-10 井	(104)
1.3.2 S19-17 井	(107)
2 三维井眼抽油杆柱应力分析及预测软件应用	(110)
2.1 C54 井	(110)
2.2 Z194 井	(112)
2.3 Z195 井	(113)
2.4 C2-14 井	(114)
2.5 Y25-6 井	(117)
3 复杂井眼抽油井防偏磨技术的应用效果	(119)
3.1 频繁检泵井防偏磨技术应用	(120)
3.2 腐蚀结垢井防偏磨技术应用	(125)
3.3 大斜度井防偏磨技术应用	(126)
3.4 小套管井防偏磨技术应用	(128)
4 结束语	(128)

第一章 抽油杆管偏磨影响因素分析

有杆抽油井抽油杆管偏磨涉及多种影响因素,研究认为,其主要因素有抽油井的井眼轨迹、抽油杆杆柱失稳弯曲、井筒工作环境、工作制度等。就某一口井而言,导致抽油杆管偏磨有可能是单因素或以单因素为主的,然而,在大多数情况下都是多因素并存,准确把握抽油杆管偏磨的主要因素是采取相应技术措施的基础。

1 井眼轨迹对杆管偏磨的影响

井眼轨迹也叫井眼轴线。由于地面环境、地层、钻井井下工具组合、钻井参数等多因素的影响,实际完井的井身轨迹基本上不是一条直线,而是一条三维空间轨迹线。即使设计的是一口直井,并且在钻井过程中采取了防斜措施,完井后的井眼轨迹也不会是一条铅垂线,甚至会出现所谓“狗腿”。油层套管和油管都会受到井眼轨迹的约束,它们的轨迹基本与井眼轨迹相同。抽油杆下入油管采油过程中,也会因为井眼轨迹问题使抽油杆与油管接触产生摩擦,造成杆、管偏磨。随着定向井、水平井、侧钻井等复杂结构井的增多,油井的井眼轨迹更加复杂,杆、管偏磨现象更加严重。

1.1 井眼轨迹参数

井眼轨迹是一条三维空间曲线,描述井眼轨迹的基本参数主要是井深、井斜角和方位角,这3个基本参数主要反映某一点在空间曲线中的位置。井深是指井眼轨迹上任一点到井口的井眼长度,也称为“测量井深”;井眼轨迹上任一点到井口水平面的垂直距离称为该点垂深;一口完成井的井底井深称为该井的完井井深,相应有完井垂深。井眼轨迹上任一点的井眼方向线与通过该点的铅垂线之间的夹角称为该点处的井斜角。在以井眼轨迹上任一点为原点的平面直角坐标系中,以通过该点的正北方向线为始边,以按照顺时针方向旋转至

该点处井眼方向线在水平面上的投影线为终边,其所旋转的角度称为该点的方位角。

描述轨迹变化程度的参数有井斜变化率、方位角变化率和全角变化率,这3个参数主要反映某一段井眼轨迹的变化趋势。井斜变化率是指单位长度井段内井斜角的变化值,通常是以两测点间井斜角的变化量与两测点间的井段长度的比值来表示,常用单位是 $(^{\circ})/10\text{m}$ 、 $(^{\circ})/25\text{m}$ 、 $(^{\circ})/100\text{m}$ 。单位长度井段内方位角的变化值称为方位角变化率,同样是以两测点的方位角变化值与两测点间的井段长度的比值来表示,常用单位是 $(^{\circ})/10\text{m}$ 、 $(^{\circ})/25\text{m}$ 、 $(^{\circ})/100\text{m}$ 。“全角变化率”、“狗腿严重度”、“井眼曲率”都具有同一含义,指的是在单位井段内井眼前进方向在三维空间内的角度变化,其单位是 $(^{\circ})/25\text{m}$ 。钻井实践表明,在地层软硬交错层段容易产生“狗腿”,亦即全角变化率突增的现象。

根据井眼轨迹剖面,油井的井眼轨迹还可分为直井段(即铅直井段,该井段井眼基本上与井口水平面垂直)、增斜段(该井段井斜角随井深增加)、降斜段(该井段井斜角随井深降低)、稳斜段(该井段井斜角随井深保持不变)等形式。

抽油杆和油管在井筒中的空间位置是受套管限制的。为了研究钻井井眼轨迹与下过油层套管后井眼轨迹的变化情况,我们利用陀螺仪随机测量了6口井的数据并进行分析。结果显示,陀螺仪测量结果与电测测量结果基本一致,下过油层套管后,井眼轨迹的井斜变化率仅有微小变化,呈现了所谓“挂直”现象,但是两组测量数据是基本一致的,可以利用钻井裸眼井身轨迹数据代替下过油层套管后的油井井身轨迹数据。由于井眼轨迹的约束,油层套管会随着油井的三维空间轨迹线呈现螺旋弯曲或不规则弯曲的状态,而油管在井筒中的空间状态又受到油层套管限制,抽油杆在井筒中的空间状态又受油管的限制,因此油管与抽油杆在井筒中的空间位置同样也受到井眼轨迹的影响。油井的井眼轨迹参数与形状从一定程度上影响了抽油井的偏磨程度。

1.2 井斜角大小对偏磨的影响

对江苏油田195口检泵作业井按不同井斜角范围进行统计,并计算不同井斜角范围内因偏磨原因而造成检泵的井次占该井斜角范围内总检泵井次的比例,并绘出相应的图形,如图1-1所示。图中显示随着井斜角的增加,因偏磨而检泵的井次占该井斜角范围内总检泵井次的比例也逐步增加,说明随着井斜角

的增大油井发生偏磨的几率逐步增加。分析其原因,主要是随着井斜角的增大,由于受抽油杆重力的影响在抽油杆法线上的分力增大,造成抽油杆与油管的正压力增大,尤其是上冲程影响更大,在同样的摩擦系数下,摩擦力增大,因而偏磨也相对严重。

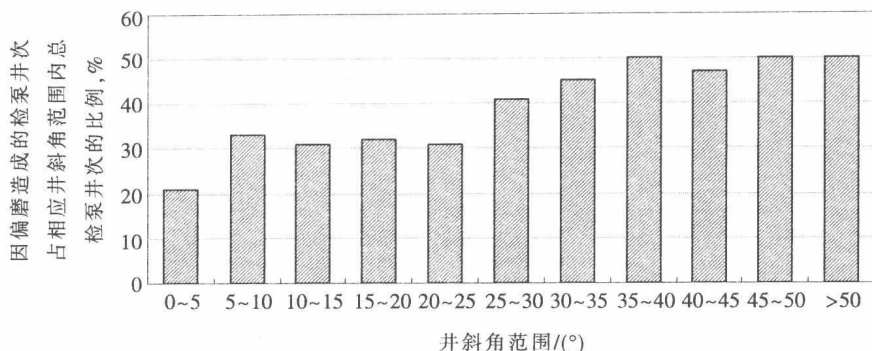


图 1-1 不同井斜角范围内偏磨检泵井次与该井斜角范围总检泵井次的比例

1.3 井斜角变化率对偏磨的影响

随机抽取 75 口检泵井,分析这些井的偏磨位置发现:偏磨段出现在直井段的井占总井数的 8%,偏磨段出现在稳斜段的井占总井数的 26.6%,偏磨段出现在增斜段和降斜段的井占总井数的 65.4%,说明定向井的增斜段、降斜段容易引起杆管偏磨。反映增斜与降斜程度的参数主要是井斜角变化率,所以井斜角变化率越大,油井杆管偏磨越严重。随后我们对其他一些检泵井也进行了相应的分析,规律基本一致,可以认为井斜角变化率是产生抽油杆管偏磨的重要因素之一。

在油井的直井段,井眼相对光滑、曲率和挠率值较小,由于受到井眼轨迹的限制,再加上油管、抽油杆本身具有弹性和刚性,作用在抽油杆柱上的支反力相对较小,这时杆管的偏磨现象也比较轻。油井处于稳斜段时,由于油井已经具有一定的井斜角,抽油杆重力在抽油杆法线上的分力也增大,造成抽油杆与油管的正压力增大,在同样的摩阻系数下,摩擦力增大,因而偏磨的几率相对较高。对于增斜段和降斜段,其井斜角变化率一般较大,井眼曲率变化较大,正压力也较大,所以杆管偏磨更加严重。

CM21 井的情况较好地反映了油井井眼轨迹与杆管偏磨的关系(见表 1-1)。

CM21 井身轨迹数据显示:该井 1075~1225m 为增斜段,井斜角从 1.58°增加到 39.59°;1225~1325m 为降斜段,井斜角从 39.59°降到 35.27°,也是井斜角变化率最大的井段。该井下泵深度为 1301m,历次作业起出的杆管偏磨段为 1120~1280m,正好处在增斜与降斜比较明显的井段。

表 1-1 CM21 井井身轨迹数据

序 号	斜深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	井斜角变化率/[(°)/25m]	全角变化率/[(°)/25m]	偏磨情况
1	0	0	0	0	0	不偏磨
2	300	0.01	0.01	0	0	不偏磨
3	600	0.01	0.01	0	0	不偏磨
4	1075	1.58	0.01	0.083	0.083	不偏磨
5	1100	2.72	89.93	1.14	3.14	不偏磨
6	1125	3.47	191.44	0.75	4.82	偏 磨
7	1150	11.57	267.71	8.1	11.26	偏 磨
8	1175	23.47	275.06	11.9	12.08	偏 磨
9	1200	36.74	275.78	13.27	13.28	偏 磨
10	1225	39.59	277.08	2.85	2.96	偏 磨
11	1250	38.17	277.14	1.42	1.42	偏 磨
12	1275	37.47	269.78	4.565	4.57	偏 磨
13	1300	36.46	267.19	1.855	1.86	偏 磨
14	1325	35.27	270.00	2.03	2.03	

1.4 全角变化率对偏磨的影响

通过分析,75 口检泵井中有 39 口井在全角变化率较大的区域出现偏磨现象,占总井数的 52%,说明全角变化率是影响油井偏磨的一个重要参数。

W15-16 井下泵深度为 1401m,中和点的位置在 1124m,而该井的偏磨位置在 550~750m,正好为全角变化率最大的井段,全角变化率为 $(2.24^{\circ}\sim 4.17^{\circ})/25\text{m}$ (见图 1-2)。C2-16 井下泵深度为 1503m,抽油杆加重前的中和点位置在 1269m,后采用 30m 长的 $\phi 40\text{mm}$ 加重杆加重,油井仍然在 1200~1503m 处偏磨(见图 1-3)。分析发现偏磨段的全角变化率较高,数值在 $(1.45^{\circ}\sim 23.35^{\circ})/25\text{m}$,平均为 $10.7^{\circ}/25\text{m}$ 。

随着油田勘探开发的不断深入,油区地面条件更趋复杂,环境保护要求越来越高,油井地面井位的选择受到了更多的限制;同时,地下油藏条件不断发生变化,对于有多套含油层系,且富集性好、产能高的复式断块油气田,大都采用多目标井,从而使井眼轨迹设计难度进一步加大。在定向井、水平井数量逐年增