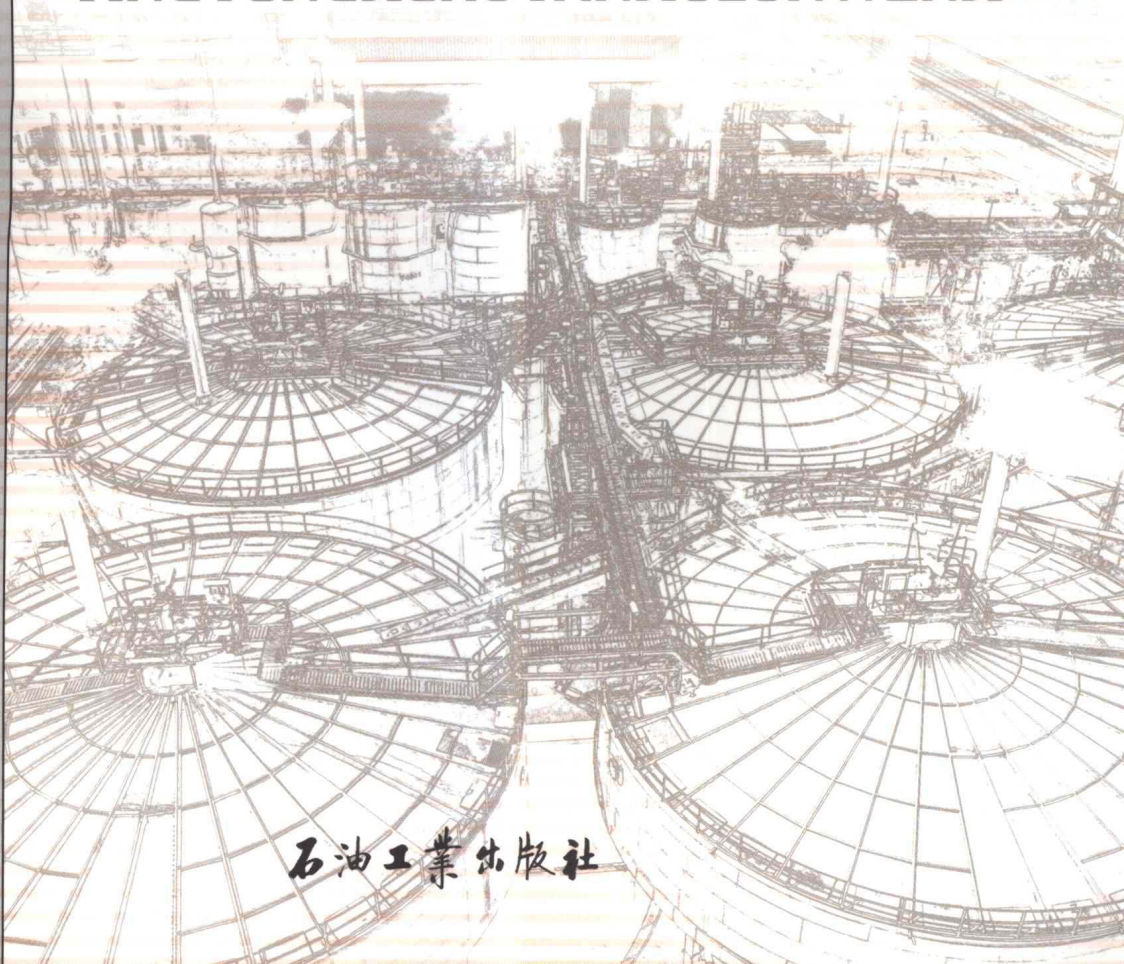


石油管工程 应用基础研究

(2006年) 论文集

中国石油天然气集团公司管材研究所 编
石油管力学和环境行为重点实验室

SHIYOUGUANGONGCHENG
YINGYONGJICHUYANJIULUNWENJI



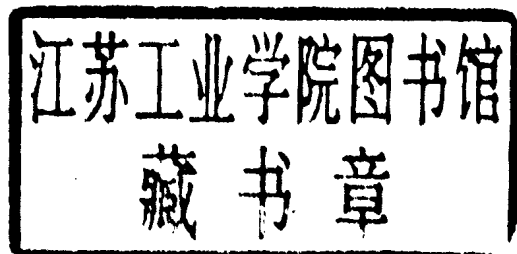
石油工业出版社

石油管工程应用基础论文集

(2006 年)

中国石油天然气集团公司管材研究所
石油管力学和环境行为重点实验室

编



石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集收集了中国石油天然气集团公司石油管力学和环境行为重点实验室、中国石油天然气集团公司管材研究所科技人员在 2006 年正式发表和在国际、国内有关石油工业大型会议上宣读的相关研究论文,内容涉及油井管与管柱力学、油气输送管与管线力学、腐蚀与防护、失效分析预测及预防等诸方面。论文集内容丰富、数据完整,工程性及专业性均较强,对研究和从事石油管工程的技术人员和大专院校相关专业师生具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

石油管工程应用基础研究论文集. 2006 年/中国石油天然气集团公司
管材研究所石油管力学和环境行为重点实验室编.

北京:石油工业出版社,2008. 7

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6678 - 6

I. 石…

II. 中…

III. 石油管道 - 管道工程 - 文集

IV. TE 973 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 103297 号

石油管工程应用基础研究论文集(2006 年)

中国石油天然气集团公司管材研究所

石油管力学和环境行为重点实验室 编

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. cn

编辑部:(010)64523536 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:38. 25

字数:979 千字 印数:1—1000 册

定价:150. 00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

中国石油天然气集团公司石油管力学和环境行为重点实验室(以下简称“实验室”)成立于1999年12月6日,是中国石油天然气集团公司所属10个重点实验室之一,是中国石油天然气集团公司石油管工程的科技创新基地。实验室依托中国石油天然气集团公司管材研究所,主实验室下设3个研究室;另有3个研究室分别挂靠在石油大学(北京)、西南石油大学及中国石油工程设计有限公司西南分公司。

实验室按照“开放、流动、竞争、联合”的运行管理机制,围绕石油管的力学行为、石油管的环境行为和石油管失效诊断及预测预防等几个方面开展研究工作。近期研究重点包括:(1)中国西部油田深井、超深井勘探开发过程中的钻柱和油、套管柱的力学行为研究,油田套管损坏机理及预防措施;(2)中国油气输送管线工程大口径、高性能输气钢管国产化技术及高压输气管线的断裂控制技术;(3)油井管和油气输送管的腐蚀与防护技术;(4)在役管线、储油罐、压力容器的安全和风险评估技术。

石油管力学和环境行为重点实验室自正式成立以来,在石油管的力学行为、石油管的环境行为和石油管失效诊断及预测预防3个方面均取得了较大的进展。

现实验室在研项目包括国家“863”和“973”项目,国家自然科学基金项目,国家发改委项目,中国石油天然气集团公司应用基础研究项目、技术开发项目等各种项目数十项。2006年,是“十一五”规划实施的开端之年,实验室广大科技人员经过努力也打开了一个崭新的局面,有两项研究成果通过中国石油天然气集团公司验收,3项成果获得省部级以上科技奖励。全年出版专著6部,在国际国内重要刊物和学术会议上发表论文80余篇,申报国家专利9项。实验室各项工作在2006年均取得了较大进展,为实验室开创了快速发展的有利局面。实验室正逐步成为石油管力学和环境行为的科技创新基地、人才培养基地和学术交流基地,并力争在提高石油管服役的安全可靠性,延长使用寿命,最大限度地避免或减少失效事故,提高中国石油天然气集团公司的整体效益方面取得更大的成就。

本论文集收集了中国石油天然气集团公司石油管力学和环境行为重点实验室、中国石油天然气集团公司管材研究所科技人员在2006年正式发表和在国际、国内有关石油工业大型会议上宣读的相关研究论文,包括油井管与管柱力学、油气输送管与管线力学、腐蚀与防护、失效分析预测及预防等诸方面,从一个侧面反映了实验室近期所取得的研究成果,内容相当丰富,希望对从事油气储运工程、钻井工程、炼化工程、材料科学与工程等方面研究

的工程技术人员、研究人员和管理人员有所帮助。希望各方面的读者都能继续关心和支持实验室的工作,愿中国石油天然气集团公司石油管力学和环境行为重点实验室得到更大的发展,取得更大、更多的成果,为石油工业做出更大的贡献。

由于我们水平有限,经验不足,加之时间仓促,错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2006年5月

目 录

综 述

油气田生产开发期套管的损坏原因分析	李平全(3)
钢丝绳无损检测技术进展	陈 辉 王新虎 冯耀荣等(13)
力学和环境服役条件及其对油、套管的要求	李平全(20)
油井管发展动向及若干热点问题(下)	李鹤林(26)
管道钢及管道钢管的研究进展与发展方向(下)	冯耀荣 李鹤林(34)
中国石油钢管的发展前景展望	李鹤林 吉玲康 谢丽华(42)
中国油井管标准化发展战略探讨	秦长毅(50)
中国石油钢管的发展现状分析	李鹤林 吉玲康 谢丽华(59)
钻井钢丝绳安全评定方法	陈 辉 王新虎 王 磊等(65)

腐蚀与防护

镍合金 Inconel 718 与抗硫油套管钢在模拟气田地层水中的电偶腐蚀	魏 斌 严密林 白真权等(73)
钻柱失效原因及预防措施	万里平 孟英峰 杨 龙等(79)
四羟甲基季磷盐:一种新型多功能油田化学助剂	魏 斌 严密林 白真权等(84)
在高 CO ₂ 和 Cl ⁻ 环境中硫脲的缓蚀行为及其对复配缓蚀剂性能的影响	尹成先 兰新哲 冯耀荣等(90)
一种新型固体缓蚀剂的合成及性能	尹成先 冯耀荣 兰新哲等(94)
牙哈 YH301 井腐蚀失效的初步分析	林冠发 田 伟 白真权等(99)
压平变形和退火对 J55 套管不同取样试样力学性能的影响	林冠发 白真权(104)
稀土铅基板栅材料的性能研究	全明信 林冠发(110)
Wear Resistance of CO ₂ Corrosion Product Scale Formed at High Temperature	Lin Guanfa Zheng Maosheng Bai Zhenquan et. al. (115)
Structure Characteristics and Wear Property of CO ₂ Corrosion Product Scale Formed under High Temperature and High Pressure	Lin Guanfa Zheng Maosheng Bai Zhenquan et. al. (123)
长庆油田油井井筒腐蚀机理与防护措施	万里平 唐猷峰 孟英峰(133)
两种油套管钢在两相流中的腐蚀磨损特性研究	林冠发 全明信 白真权等(138)

抗高温 CO ₂ 腐蚀固体缓蚀剂的研究	尹成先 阮林华 丁万成等(143)
输气管线与高速公路交叉段采用复合材料补强的可行性研究	田 伟 白真权 赵新伟等(148)
高温高压下 P110 钢 CO ₂ 腐蚀电化学行为研究	苗 健 白真权 严 文等(154)
304L 不锈钢钝化膜的半导体性能研究	李党国 白真权 冯耀荣等(160)
高酸性气田钻井中钻具的选材评价	万里平 孟英峰 杨 龙(166)
高含硫气田钻具腐蚀研究进展	万里平 孟英峰 杨 龙等(172)
腐蚀管道剩余寿命预测方法	罗金恒 赵新伟 张 华等(178)
Existence and Multiplicity of Solutions of Second – order Hamiltonian Systems	Wan Liping Tang Chunlei(183)
磁场对石油污水管线钢的腐蚀行为研究	谢发勤 吴向清 白真权等(189)
柴油机尾气欠平衡钻井中压缩机阀片失效机理	万里平 孟英峰 李永杰等(194)
不同 CO ₂ /H ₂ S 分压下油管钢腐蚀速率预测模型	张 清 李 萍 白真权(199)
变形和热处理对 J55 套管钢力学性能的影响	全明信 林冠发(203)
N80 钢在高温高压下的抗 CO ₂ 腐蚀性能	陈 尧 白真权 熊 惠(209)
Effect of Cerium on Gas Evolution Behavior of Pb – Ca – Sn Alloy	Lin Guanfa Zhou Genshu Li Dangguo et. al. (213)
Effect of Temperature & Pressure on Morphology of CO ₂ Corrosion Scales	Lin Guanfa Zheng Maosheng Bai Zhenquan et. al. (222)
80SS 抗硫钢在高温高压环境中的 H ₂ S/ CO ₂ 腐蚀行为	卢长安 严 文 白真权等(230)
09Cr2AlMoRE 稀土合金钢的 CO ₂ 腐蚀行为研究	王 静 白真权 林冠发等(236)
柴油机尾气负压钻井中的腐蚀行为研究	万里平 孟英峰 李永杰等(241)
N80 油管钢 CO ₂ /H ₂ S 腐蚀的阴极过程 EIS 分析	张 清 李全安 文九巴等(245)

输送管与安全评价

油气管道完整性管理技术及其进展	赵新伟 李鹤林 罗金恒等(251)
Analyses for the Valve Rupture of the Natural Gas Pipeline by 3D Finite Element	Zhang Hua Luo Jinheng Zhang Guangli et. al. (260)
Analysis for Toughness of 2205 Duplex Stainless Steel Pipe Welds	Li Weiwei Liu Yinglai Xiong Qingren(265)
弥散型腐蚀损伤管道剩余寿命预测方法	赵新伟 罗金恒 郑茂盛等(270)
Estimation of Hazardous Gas Release Rate from a Hole on High-pressure Pipelines	Luo Jinheng Zhao Xinwei Xiong Qingren et. al. (278)

Full-scale Fatigue Test on X60 Spiral Pipeline

..... Zhuang Chuanjing Huo Chunyong Feng Yaorong(288)

The HAZ Toughness of X80 HSAW Pipe

..... Xiong Qingren Gao Huilin Feng Yaorong et. al. (297)

The Micro Structural Characteristic Parameters of High Grade Pipeline Steel and its Mechanical

Properties Zhang Xiaoli Zhuang Chuanjing Ji Linggang et. al. (306)

地质灾害下悬空管道的应力分析及计算 罗金恒 赵新伟 王峰会等(317)

高钢级管线管试样形状对拉伸试验结果的影响 吉玲康 谢丽华 杨 肃等(322)

22Cr 双相不锈钢天然气集输管道的焊接 李为卫 马开阳 朱力挥等(329)

X80 管线钢焊接热影响区的韧性分析 李为卫 刘亚旭 高惠临等(334)

Remarks on Failure Assessment Diagrams

..... Luo Jinheng Dong Baosheng Zheng Maosheng et. al. (339)

Status of Fitness-for-service Assessment of Defected Pipeline in China

..... Zhao Xinwei Luo Jinsheng Li Helin et. al. (344)

2205 双相不锈钢的焊接性及焊接技术 李为卫 宫少涛 熊庆人等(356)

螺旋缝埋弧焊管残余应力的测试与控制 熊庆人 冯耀荣 霍春勇(360)

YH23-1-18 气井采油树立管失效分析 陈志昕 栾翠红 谢明政等(366)

间隙对栓钉穿透焊过程的影响及其对策 池 强 张建勋(371)

高钢级管线钢的组织特征和强韧性 张小立 庄传晶 吉玲康等(376)

电子背散射衍射分析技术在钢铁及管线钢研究领域中的应用

..... 张小立 庄传晶 吉玲康等(380)

高钢级管线钢的特征参量及其与强韧性的关系 张小立 庄传晶 吉玲康等(386)

2205 双相不锈钢临界点蚀温度的测定 宫少涛 李为卫 赵新伟等(393)

Effect of Pre-deformation on Fatigue Crack Propagation Life of X60 Pipeline Steel

..... Zhao Xinwei Luo Jinheng Wang Rong et. al. (397)

Study on the Difference of DWTT Test Temperature between Plate(Coil) and Line Pipe of

High Grade Pipeline Steel Ji Linggang Xie Lihua Huo Chunyong et. al. (407)

Study on the Mismatched Girth Welds of X80 Line Pipes

..... Zhuang Chuanjing Feng Yaorong Huo Chunyong(416)

油井管与管柱力学

天然气长输管道氮气隔离法投产置换工艺研究 薛继军 曾学军 张鹏云(427)

底部钻具力学分析与钻铤疲劳——长庆油田钻铤断裂原因综合分析

..... 王新虎 吕栓录 宋顺平(433)

基于典型流型的水平管油水两相流压降实验研究	刘文红	郭烈锦	白博峰等(438)
某油井 $\phi 127\text{mm} \times 9.19\text{mm}$ S135 钻杆管体断裂失效分析	王建军	林 凯	薛志军等(448)
管内高黏液体两相流流动特性	刘文红	郭烈锦	张西民等(453)
输气管道投产置换过程中的气体混合规律研究	薛继军	杨 龙	王新虎(464)
一起少见的钻杆接头变形失效事故分析	王新虎	王 磊	谢居良等(470)
$\phi 177.8\text{mm} \times 9.19\text{mm}$ P110 高抗挤套管的抗挤强度	丁学光	史交齐	申昭熙(475)
城镇燃气管网优化设计与实现	薛继军	杨 龙	王新虎(479)
油、套管化学爆炸与物理爆破特征分析	吕拴录	王 林	赵克枫等(486)
纯外压下套管弹塑性抗挤强度的计算	王建东	林 凯	史交齐等(491)
低液量水平管气液分层流摩阻压降的计算	肖荣鸽	郭雄昂	张 蕾等(497)
蠕变地层套管外载计算的位移反分析法	闫相祯	杨秀娟	冯耀荣等(503)
三种套管接头抗压缩性能研究	林 凯	吕国志	白登相等(510)
失效的预测与预防	李鹤林	张广利	(514)
水平及微倾斜管内油气水三相流流型特性	刘文红	郭烈锦	程开河等(519)
套管钻井用套管外表面磨损后剩余强度分析	宋生印	刘永刚	王 力等(527)
用可靠性理论分析传统套管设计中存在的问题	高进伟	闫相祯	杨秀娟等(533)
游车大钩断裂原因分析及预防措施	骆发前	吕拴录	李鹤林等(540)
含裂纹注汽管道的硫化氢应力腐蚀试验研究	王建军	杨秀娟	闫相祯(545)
一种新型钻杆加厚过渡带结构及其力学分析	冯少波	林元华	施太和等(549)
玻璃钢管道在四川气田的应用	张 昆	夏永波	练章华等(554)
非均匀地应力下套管受力影响因素研究	曾德智	林元华	张 莉等(559)
非均匀载荷下磨损套管抗挤强度研究	林元华	曾德智	施太和等(564)
海流涡激效应对钻井隔水导管疲劳强度的影响	龚龙祥	付建红	林元华等(570)
连续油管疲劳寿命预测	宋生印	王英杰	林元华等(574)
膨胀管壁厚计算研究	房 舟	林元华	张建兵等(579)
膨胀套管膨胀力的理论计算	龚龙祥	付建红	林元华等(583)
弯外壳螺杆钻具在套管内通过能力的有限元分析	刘永辉	付建红	林元华等(587)
钻杆加厚过渡带几何结构对应力集中的影响	冯少波	林元华	施太和等(591)
钻铤内螺纹接头改进设计的有限元分析	陈 勇	练章华	林元华等(595)
钻柱疲劳寿命预测研究	张德平	骆发前	林元华等(598)

综 述

油气田生产开发期套管的损坏原因分析

李平全

[中国石油天然气集团公司管材研究所]

摘 要 本文简要介绍了套管损坏调查情况,分析了不合理高压注水、欠注开发、断层附近井的注水开发油田,盐岩层(含膏岩层)塑性流动及疏松砂岩油层出砂油田、注蒸汽单井吞吐热采稠油油田生产开发期套管损坏的特点、原因及机理,并简要分析油气田生产开发期套管腐蚀失效情况及机制,为套损的综合防治提供了依据。

关键词 套管 套管失效或损坏 不合理注水开发 盐岩层塑性流动 疏松砂岩油层出砂 注蒸汽单井吞吐 腐蚀

1 套管失效或套管损坏

套管处于下述3种状态之一时即称之为套管失效或套管损伤:

- (1)套管完全不能工作;
- (2)套管虽仍可以工作,但已不能满意地实现预期功能(如工具不能顺利通过);
- (3)套管受到严重损伤不能可靠而安全地工作,必须从下井管柱中排除。

生产开发期管柱的失效或损伤主要表现为前两者,而在套管下井前或钻井、下套管、固井、完井、测试作业的建井期的失效或损伤,则这3种形态都有可能出现或发生。

套管的失效或损坏的分析由于无法直接取样,一般比较困难。建井期套管的失效分析一般是对下井前检验发现缺陷或下井过程中损坏或发生事故的套管的分析,或对钻井作业中在已下套管井段由于钻柱遇卡、磨损间接发现的套管损伤的分析,或完井试压稳不住压通过套管柱的分析。生产开发期套管失效都是以井下隐蔽形式出现,危害大且更难以进行分析。非生产条件下,常采用打铅印、超声波井下电视测井仪、多臂井径测定仪、噪声测试等测量方法检查或证实其失效或损坏;生产条件下,则采用振动测试、源距声波地应力场监测等方法检查或证实。

以下将分别介绍生产开发期和建井期这两方面的失效分析。为弄清全国套管失效或损坏的情况,中国石油天然气集团公司曾组织进行过大范围的调查。调查表明套管失效损失是触目惊心的,必须加以重视,采取积极的防治措施。

2 套管损坏情况调查

2.1 套管损坏严重且套损增速加快

从1977年至1983年底,据大庆、吉林、胜利、大港、玉门、新疆、青海、河南、辽河、长庆等油

田的调查,油层套管损坏已达 3688 口井以上,华北、中原、四川等油气田也有不同程度的损坏。据统计 1980 年底以前全国套管每年损坏约 400 口井,到 1982 年底则上升到 560 口井。

大庆油田套损井数逐年增加,第二次套损高峰居高不下,已持续 5 年之久,2001 年月均套损井数创新高,累计套损井数已达到 8312 口井,占投产油水井总数的 16.72%。

长庆油田地处鄂尔多斯盆地,主要产油层为中生界下侏罗统延安组及上三叠统延长组,油层埋藏深度 1500 ~ 1700m。陇东地区的马岭、城壕、华池、元城、樊家川、上里原 6 个油田及庆阳井组由于腐蚀发生套损自 1973 年以来逐年增加,套损井已达 447 口井,占有油水井的 20% 以上。

辽河油田 5 个稠油区块 3860 口热采井,套损的有 489 口,占 12.64%。有的主力区块套损程度还更严重,锦 45 区块套损井 63 口,损坏率 14.72%;高 3 区块套损井 69 口,占 24.21%;杜 84 区块套损井 25 口,占 13.89%;齐 40 区块套损井 71 口,占 29.58%;欢 127 区块套损井 75 口,占 31.64%。近年以来辽河油田套损有越来越严重的趋势,小洼油田 1990 年开始打井,到 1999 年损坏率占 40%,特稠油杜 229 区块至 2000 年套损率已达 65%。

胜利油田从 1972 年起套损逐年增多,1983 年以后增速剧增,1972—1992 年总损坏井数为 1659 口,占总井数的 10%,至 2002 年套损总井数估计不小于 3000 口井。其中胜坨油田至 1995 年,套损井 643 口,占当时总井数的 24%,到 2001 年 10 月总损坏井数为 1112 口,占总井数的 1/3。

中原油田属复杂的断块油气田,油气埋藏深,一般井深在 3000m 以上。截至 2001 年底,全油田 46 个区块套损井 1672 口。其中文南油田 33 区块、卫城油田 10 区块、文中油田文 10 区块套损井分别占总井数的 43.6%、53.6% 和 46.7%。

新疆油田稀油井套损数量较少,但稠油区块套损较为严重。截至 2002 年 6 月,百重 7 井区共投产 640 口井,有 70 口井套损,占总井数的 11%。

塔里木油田自 1989 年以来已发现 42 个含油气构造,探明了 24 个油气田,形成 4 个油田群和两个天然气富集区。截至 2002 年 6 月已钻井 780 口,尽管油气田开发时间不长,但也出现套管变形、套管偏磨和油、套管腐蚀问题。从 1996 年至 2002 年 6 月共报废油管 40×10^4 m。

冀东油田至 2000 年底,套损井共 125 口,占总井数的 20.4%,其中水井套损 43 口,占水井总数的 44.3%。

2.2 套管寿命短

有的油田的套管寿命很短。江汉油田 1975 年至 1985 年期间,大部分井开发仅 5 年,套管损坏率为 19.4%。据 69 口套损井统计,寿命 1 ~ 2 年的占 31.9%,3 ~ 4 年的占 21.7%,5 ~ 7 年的占 31.9%。套管损坏寿命在 6 年以内的占 85%。

长庆油田油水井油层套管的平均寿命为 9 年 7 个月,其中油井为 9 年 8 个月,水井为 9 年两个月。长庆马岭油田截至 1980 年的统计,套管损坏速度惊人,寿命在 5 年以内的占 34 口损坏井的 79%,最长的为 9 年,最短的仅 1 年 4 个月。胜利孤岛油田从 1971 年 11 月投产至 1976 年不到 4 年就有 8.6% 的油层套管损坏。到 1979 年套损井上升至占总井数的 15.5%,寿命最长为 7 年 7 个月。

辽河油田注蒸汽单井吞吐热采井一口井平均单井吞吐 3 ~ 4 次套管就损坏,有的井 1 ~ 2 次就坏套管。

中原油田 969 口套损井的统计表明全油田套管平均寿命 6.92 年(油井 6.06 年,水井 7.26

年)。不同的油田、区块套管寿命有较大差异,如濮城东区 S2 上套管平均寿命 11 年,而文 72 块平均使用寿命仅 4.2 年。

2.3 套管损坏后果严重

经济损失严重,以大庆油田为例,套损的年直接经济损失就达 10 亿元,而且每年要增打大量更新井,增加大量投资。

套管损坏速度和损坏累积井数达到一定数量后就会给油田的开发带来难以弥补的损失:

(1)导致注采井网层系布局的破坏。套损井除了使一大部分已控制的储量重新损失,还破坏了注采网,造成注采失衡,制约了增产、增注措施的实施,加大了层间矛盾和自然递减,增加了油田稳产的难度。虽然许多套损井尚能带病工作,但往往因井况变差,通径变小,难以进行增产、增注措施,不能分层作业,分注井要改合注井,甚至有的井被迫放弃下层,改采、改注上层,这种不能满意地实现预期功能的井数越多,就会导致剖面上注采对应关系布局的不合理甚至破坏。每年要打大批更新井来替补套损井,但更新井数不可能完全补上套损井,使注采网逐渐出现空白点。当注水井套损后,还导致注入水进入非目的层,诱发泥岩膨胀、盐岩溶蚀,断层滑移,推动了层间滑移失稳,加速了套损。

(2)导致原油产量下降,套管损坏影响油田生产。油水井套损不能使用关井停产,或套损后虽仍能工作,但不能实现预定功能,不能增采、增注,不能分层注水,影响油田生产。

3 生产开发期油层套管损坏类型及损坏原因

套管在生产开发期的失效或损坏情况十分严重,失效或损坏形式多样,原因十分复杂,它涉及油气藏特性、地层地质、油气水介质、管柱构件质量、管柱设计、钻井固井作业、完井方式与测试作业、油气开发工艺、增产稳产措施等多方面自然因素和工程因素。

3.1 注水开发油田的套管损坏

3.1.1 注水开发油田套损形式

不合理注水(注水压力超过注层上覆岩层压力)或欠注性开发(采得多,注得少,油层孔隙压力下降严重)造成套损,表现为:

(1)随着注水压力和注水量的提高或注采比下降(油层采出液量超过注入油层水量,地层亏空程度加大)套管损坏率增高;套管变形段集中在油田平面的构造顶部、轴部、翼部地层倾角较大区域、断层附近;套管变形呈条带状分布,一般与裂缝发育带方向及动态水流方向一致,但当损坏井增加,平面分布变为无规。注水井比油井套损更多;套管多损坏在油田剖面的具有吸水性强、与砂岩油层相邻或互层的塑性泥岩井段,在泥岩夹层中有渗透性强或层理、裂缝(或微裂缝)发育的部位,套管多损坏在与油层相邻地层接口泥岩破碎带,套管损坏在油层顶部、底部的砂泥岩接口处,油层段垂向和斜向裂缝发育部位。

Y 油田 1970 年起注水量逐年增大,注水压力增大,其套损与注水压力有明显相关性,1974—1980 年注水压力和套管损坏率见表 1。套损在 BC 层棕红色泥岩部位以上 2~3m 的占 83%,少数套损在 BC 层上、中部。BC 层部位(隔层渗透性地层与 BC 层接口)套损井中变形占 60%,错断占 16.2%,破裂占 23%。

表 1 Y 油田注水压力与套损率关系

年 份	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
注水压力, MPa	16. 87	18. 04	19. 10	18. 35	18. 21	18. 27	18. 82
套管损坏井/总井数, %	2. 27	4. 66	6. 06	5. 61	4. 07	4. 1	6. 0

D 油田由于不合理高压注水,套损井段发生在泥岩加粉砂质泥岩,约占套损的 70% (泥岩套损井占 57.7%),表 2 是套损形式与地层岩性关系。

表 2 D 油田套管损坏形式与地层岩性关系

岩 性	套管损坏形式						合 计	
	变 形		错 断		破 裂			
	井数	占岩性套损井 %	井数	占岩性套损井 %	井数	占岩性套损井 %	井数	占岩性套损井 %
泥岩	104	61.5	13	37.1	10	62	127	57.7
粉砂质泥岩	19	11.2	4	11.4	4	25.0	27	12.3
泥质粉砂岩	15	8.9	5	14.3	—	—	20	9.1
砂岩	31	31	13	37.1	2	12.5	46	20.9

(2)至 1995 年为止,S 油田由于欠注开采,套管损坏占总井数 24%,损坏部位大部分在油层顶部,损坏时间大部分在下大泵提液以后。其套损形式见表 3。

表 3 S 油田套损形式

套 损 形 式	变 形		错 断	破、漏
	缩 径	弯 曲		
套损井数	302	113	74	154
占套损总井数, %	47	17. 5	11. 5	24

(3)P 油田某区块,在 3.2km²的含油面积内,发育着 20 多条东北—东南和东—西走向断层。由于存在大量复杂断层,导致层间压力不平衡和岩层间发生水窜,区块内共出现套损井 33 口,占生产总井数的 28.2%。这种由于断层层间压力不平衡和层间发生水窜的套损情况与欠注水开发油田的套损情况类似。断层附近油水井套管损坏形式主要是变形损坏。钻遇断层的 59 口井发现套损井 19 口(套损段距断层距离小于 100m),占 32.2%。该油田其他 5 个区块断层附近共有套损井 234 口,占套损总井数的 28.1%,其中 3 个区块断层的套损井数分别占各区块套损总井数的 80.4%、54.8% 和 37.8%。

3.1.2 注水开发油田套损原因

注水开发油田套损原因主要有:

(1)不合理高压注水开发使注入层压力超过该层上覆岩层压力,油砂注入层的骨架会胀大上升;泥岩层接触到注入水时,会吸水膨胀,软化、甚至滑移。高压注入水使油层骨架膨胀,使油层接口上升,这时水泥环第二接口(与地层接口)易于窜漏,油层顶部附近的 API 套管接箍会受到复杂载荷作用易于泄漏。一旦高压注水因水泥环第二接口窜漏、接箍泄漏水量足够大,被泥岩层吸收,泥岩层会在相当大的范围内软化滑移,甚至被超高压注水浮托起来,形成浸

水域。通过浸水域的套管柱会发生拉伸及外压力下缩径、弯曲、错切(变形或断裂)等损坏。

(2)欠注性开发由于多采少注,造成纵向上压力不平衡及区块两邻端注采压力不一致造成横向压力不平衡。由于多采少注,油层亏空,油层渗透压力下降,油层骨架收缩,油层顶部向下沉陷。水井套管柱在欠注油层顶部受到复杂载荷作用,接箍易于泄漏,漏出的注入水被泥岩层吸收产生局部范围的膨胀,软化和滑移引起水井套管柱局部缩径,弯曲、错切变形。同时由于油层孔隙压力下降,油井套管内液面下降,区块两端注采压力不平衡,使套管承受的有效挤压载荷加大,从而使油井套管缩径和挤毁变形,油层套管抗挤强度低时,更易出现这种情况。因此,在欠注性开发油田发生的套损形态,主要为缩径和挤毁变形,其次为弯曲和错断。

(3)位于断层附近井的套管柱,由于断层间的压力不平衡及岩层之间的水窜,导致套管变形损坏,与欠注性开发的套损原因有类似之处。

3.1.3 注水开发油田(不合理高压注水开发、欠注性开发、断层附近井的注水开发)套损机理

由于不合理高压注水开发使注入层压力超过该层上覆岩层压力,油砂注入层的骨架会胀大上升;泥岩层接触到注入水时,会吸水膨胀,软化、甚至滑移;或由于欠注性开发的多采少注,油层亏空,油层渗透压力下降,油层骨架收缩,油层顶部向下沉陷;或断层附近井因注水导致层间压力不平衡和岩层间发生水窜等都会使套管柱周围地层纵向、横向上压力不平衡,注水开发井区块两邻端注采压力不一致也会使套管柱周围地层横向压力不平衡。地层纵向和横向压力的不平衡,使套管纵向、横向外应力的等效合外挤力超过套管(包括射孔井段套管)的抗挤毁压力,使套管发生局部屈曲或整体屈曲,致使套管接头泄漏,管体缩径变形、弯曲、错断、破裂。

3.2 盐岩层(含膏岩层)塑性流动及疏松砂岩油层出砂挤坏套管

3.2.1 盐岩层及膏岩层的特点、套管挤毁的调查及原因

盐岩层及膏岩层的特点、套管挤毁的原因主要有:

(1)Z油田下第三系潜江组地层中沉积了巨厚的盐岩地层,潜一段至潜四段上部所钻穿的盐岩层最大单层厚度 84m,位于井深 1742.5 ~ 1826.5m(王 31 井),累计盐岩层厚度最大 1032m75 层(王 52 井),盐岩埋深在 1170 ~ 3478m 之间。

(2)F油田如家 4 井存在大段盐岩、石膏岩及油叶岩。

(3)Z油田等 3 个区块油藏在第三系沙河街组为盐湖相沉积,发育有 4 层盐膏层。套管损坏与膏盐层的倾角、盐层厚度、盐层的溶解、蠕动、滑移有直接关系。盐岩随着温度、压力的增大,由刚性流动变为塑性流动,形成不均匀外挤力,这种效应使套管更易挤坏。倾角增大、盐岩层变厚,其外挤力和最大应力增大;倾角达到 12°时,P110 钢级套管最大外挤应力可超过其屈服强度下限值。

(4)T油田有些地区在目的层的上邻有 200 ~ 300m 厚的盐膏层和软泥岩层(深度 4900 ~ 5250m),如已开发气田的主力气层上部有 200 ~ 300m 盐膏层,深度约为 3400 ~ 3700m。盐膏层或软泥岩层在套管上产生不均匀分布外挤力,盐层段挤毁技术套管时有发生。套管损坏主要表现为破裂与变形。

盐岩具有较大的可塑性,当其埋深达到一定深度,上覆地层重力载荷压力与盐层压力差就会使其产生塑性流动。在墨西哥湾沿岸盆地,发现一裸眼井,钻遇盐层深度大于 914m 时,如不能尽快用水泥封固、封好,裸眼井的岩盐段就会自动闭合。据 E 油田 62 口套损井的统计盐

岩未封或封固不好井眼变化大于 30cm 的井有 48 口,占套管变形井的 70.6%。纯盐在地面的模拟试验表明:盐岩在常温下,压力在 100kg/cm²时开始变形,相当于在井深 450 ~ 500m 时就可以产生流动。在盐岩埋深 2700 ~ 3000m,地层温度 100℃ 时,加在盐岩的载荷压力可达 600kg/cm²,盐岩势必产生塑性流动并出现大的滑移。在盐岩层均匀载荷下套管外压力可增至与覆盖层产生的压力相等,当这种压力大于盐岩层位套管抗外挤强度时就会出现局部挤毁、弯曲变形、破裂,甚至最后错断等损坏。

3.2.2 除地层条件外,造成挤毁的设计和作业方面的原因

造成挤毁的设计和作业方面的原因主要有:

- (1)套管柱设计时,对盐岩的特性认识不清,如不均匀性外挤力未加考虑,只按正常地层条件静水柱压力或泥浆柱压力设计抗挤要求;
- (2)对大段盐岩层没有采用适当壁厚或高抗挤的技术套管及时封固;
- (3)钻开盐岩层时未采取或未采取防止盐层溶解的措施,导致盐岩层井眼扩大严重,不能保证封固质量良好;
- (4)为了提高试油效率和降低对油层的回压,在试油射孔前把管内液面降低,再射孔,液面如低于岩盐段顶部,会加大套管的有效外挤力。

3.2.3 疏松砂岩油层出砂特点及套管挤毁原因

中国东部几个稠油疏松砂岩油藏油层由胶结力很差的细粉砂组成,随着出油过程,砂子大量流入井内。油层大量出砂的结果造成油层部位砂岩井段与套管之间形成空洞,改变了出砂部位套管的受力状态,同时由于空洞的渗透压力下降可造成砂岩层的流动和上部地层沉陷。空洞往往为套管纵向弯曲创造了条件,最后造成管外井壁垮塌挤套管而造成套损。由于砂岩油层出砂,油层骨架会发生垮塌性破坏,更多的砂随油水流入井筒。此过程可随着时间的延长而加剧。如果井筒周围有充分的防砂措施(如防砂筛管、滤管完井)则大部分流砂被截留在井筒周围,小部分细少粉砂流入套管或被抽出井口或沉积于井筒袋内,则可使上述过程减轻,套管缩径挤毁率较低。如果采用射孔完井,没有防砂措施或防砂措施不力,则套管损坏率会显著增加。在大量砂粉流入套管的同时还会造成带砂粒油水流体冲刷磨损射孔井段及管壁。由于砂岩油层塌陷和上部地层的沉降,在井筒周围将发生复杂的岩层位移,这种情况使套管柱受到挤压、弯曲变形甚至错断破裂。如果套管射孔已发生开裂,则套损会加重,造成射孔套管挤破或挤成碎片。

表 4 是 S 油田 g 区块套损与出砂量关系。模拟砂岩出砂过程中岩石变形随井深变化,约在 1210m 深度时岩石轴向压应力和轴向位移最大。实际套损位置时间与岩石轴向应力、轴向位移有关,模拟计算套损时间位置(井深)较吻合。

表 4 S 油田 g 区块套损与出砂量关系

年 份	1973 年以前	1974	1975	1976	1977	1978	1979
月均套损井数	0	0	0.25	0.92	2.33	4.33	5.22
出砂量,m ³ /10 ⁴ t(油)	1.3				4.3		7.14

疏松砂岩出砂挤毁套管作业原因主要有:

- (1)完井时没采取有效的防砂措施,开发时没有注意有效采油控制 and 操作措施,如普遍采用 5½ 油层套管射孔完形方法。出砂严重井仍采取频繁冲砂措施,大排量井没有及时调整