

CORROSION AND PROTECTION
OF OIL & GAS FIELDS

油气田腐蚀与防护

王凤平 陈家坚 臧晗宇 著



科学出版社

本书由

大连市人民政府资助出版

油气田腐蚀与防护

王凤平 陈家坚 臧晗宇 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者长期从事油气田腐蚀与防护的现场研究工作与实验室研究工作的全面总结,同时参考了国内外油气田设备腐蚀与防护的最新研究成果,全面、系统地阐述了油气田开采、集输、处理、储运等过程中出现的设备腐蚀问题与防护技术。本书的主要研究背景均为国内油气田的腐蚀与防护,内容包括:绪论,油气田 CO_2 腐蚀,油气田 H_2S 腐蚀,油气田 CO_2 腐蚀预测模型,油气田系统腐蚀监/检测,油气田腐蚀的控制,共 6 章。

本书可供从事油气田开发的各类人员阅读,也可作为高等院校相关专业有关课程的教学参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

油气田腐蚀与防护/王凤平,陈家坚,臧晗宇著. —北京:科学出版社, 2016.6

ISBN 978-7-03-049248-7

I. ①油… II. ①王… ②陈… ③臧… III. ①油气田-石油机械-腐蚀
②油气田-石油机械-防腐 IV. ①TE98

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 144264 号

责任编辑:顾英利 孙静惠/责任校对:贾娜娜
责任印制:张 伟/封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 16 1/2

字数: 332 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

金属腐蚀问题是石油工业、化学工业和天然气工业等部门面临的一个十分重要的难题。油气田所处环境复杂，钢材使用数量多，导致油气井乃至油气集输系统都存在不同程度的腐蚀，影响油气田正常生产。所以，油气田腐蚀与防护一直是石油工业的重要课题。

我国是一个油气资源非常丰富的国家，迄今为止，我国先后在 82 个主要大中型沉积盆地开展了油气勘探，发现油田 500 多个。我国主要的陆上石油产地有：大庆油田、胜利油田、辽河油田、克拉玛依油田、四川油田、华北油田、大港油田、中原油田、吉林油田、河南油田、长庆油田、江汉油田、江苏油田、青海油田、塔里木油田、塔河油田、吐哈油田、玉门油田。另外，还有丰富的海洋油气资源，例如，近来在渤海湾地区发现的数个亿吨级海上油田，其成为我国油气增长的主体。

然而，在油气田大力开采的同时，一些油气田也发生了严重或非常严重的腐蚀问题，而且由腐蚀问题导致的事故也时有发生。以大庆、胜利、辽河等油田为代表的东部油田是我国的老油田基地，据 20 世纪 90 年代腐蚀调查统计，仅注水系统由于腐蚀而造成的经济损失当时就达每年 2 亿元以上。尽管采取一些措施加以控制，但经历了 60 余年的勘探开发，东部主力油田都已经进入了高含水开采阶段，加之设备长期处在高负荷下运行，部分油管/套管、储罐、地面/地下集输管网没有得到及时更换，腐蚀问题仍然存在，尤其以地面集输系统的腐蚀问题最为突出。以塔里木油田、塔河油田等为代表的西部油田尽管在 20 世纪 90 年代才开始勘探开发，但是，西部油气田多为深井，环境条件恶劣，油井产出水具有“四高一低”的特点，即高矿化度、高氯离子含量、高 CO_2 、高 H_2S 、低 pH 等，近年来使得西部油气田的腐蚀问题比较突出。其中中国石油化工集团公司西北石油局（简称西北局）塔河油田主要以 H_2S 、 CO_2 、高矿化度水腐蚀为主；塔里木油田的塔中、轮古区块同样以 H_2S 、 CO_2 、高矿化度水腐蚀为主；西北局的雅克拉区块、塔里木油田的牙哈、吉拉克等凝析气田主要以 CO_2 、高矿化度水腐蚀为主，同时伴随着冲刷腐蚀，腐蚀伴随着整个油气田生产系统各个环节。 H_2S 、 CO_2 分压造成油气井井下套管的腐蚀；地面集输系统主要表现为管底水相腐蚀穿孔，最短使用 13 个月就出现了穿孔，点蚀速率在 4~6mm/a。据西部某油田的统计，由穿孔导致的经济损失最大值高达 8.82 万元/次，管线穿孔导致的平均经济损失为 3.18 万元/次。据

现场腐蚀状况调查,部分油管腐蚀断裂,地面管线腐蚀穿孔频繁,造成原油外漏,产生环境污染。随着油田的不断开发,综合含水不断上升,腐蚀不断加剧,已经严重影响了油田的正常生产。

腐蚀破坏引起突发的恶性事故,往往造成巨大的经济损失和严重的社会后果。据美国国家运输安全局对 1969~1978 年发生的管道事故报告的统计结果,管道失效原因中腐蚀占 43.6%。作为油气勘探开发的油井管(油管、套管、钻杆等)和油气水输送的管线管(长距离油气输送管、出油管、油田油气水集输管及注水注气、注 CO₂、注聚合物管等),其失效主要表现为腐蚀失效,主要的腐蚀介质有 H₂S、CO₂、O₂ 和硫酸盐还原菌(sulfate-reducing bacteria, SRB)等。腐蚀破坏导致的损失巨大,例如 1975 年,挪威艾柯基斯克油田阿尔法平台 API X52 高温立管,由于原油中含有 1.5%~3%的 CO₂ 及 6%~8%的 Cl⁻,同时由于浪花飞溅区的腐蚀,投产仅两个月,立管就被腐蚀得薄如纸张,导致了严重的爆炸、燃烧和人身伤亡事故;1988 年,英国帕尔波·阿尔法平台油管因 CO₂ 腐蚀疲劳造成断裂引发突然爆炸燃烧,死亡 166 人,使英国北海油田原油产量减少 12%;1977 年完工的美国阿拉斯加一条长约 1287km、管径 1219.2mm 的原油输送管道,一半埋地一半外露,每天输送原油约 $2.31 \times 10^6 \text{ m}^3$,造价 80 亿美元,由于对腐蚀研究不充分和施工时采取的防腐蚀措施不当,12 年后发生腐蚀穿孔达 826 处之多,仅修复费用一项就耗资 15 亿美元。尤其是 1988 年英国北海油田的帕尔波·阿尔法平台沉船事故,以及 1989 年美国埃克森石油公司的瓦尔德斯号(Exxon Valdez)油轮漏油引起的海洋污染事故,震惊了世界。因此开展油气田腐蚀与防护工作迫在眉睫。

本书把现有的金属腐蚀理论与防护技术和我国部分油气田发生的严重腐蚀情况密切地结合起来,在解决油气田腐蚀的问题中揭示油气田腐蚀与防护的规律,并对其总结、整理、分析和得出结论,从而力求将油气田腐蚀与防护的一些基本规律上升到一个新层次。

本书在内容上先是结合最新的研究成果及参考文献,深入浅出地论述西部油气田腐蚀的理论及机理,如油气田设备在高温、高压、高矿化度、高含硫化氢和二氧化碳的体系中腐蚀的基本理论,油气田设备既包括地面集输管线,也包括地下采油油井。在弥补同类书某些缺憾的同时,本书更注重论述油气田几种常见的防护技术,如缓蚀剂、保护性覆盖层等等。

油气田在线腐蚀实时监测是油气田腐蚀与防护进展很快的一个研究领域,本书作者在油气田现场腐蚀监测研究中发明了自喷井井下腐蚀挂片技术,在油气田腐蚀监测历史上第一次将腐蚀挂片下潜到油井下 3000m 的深度;现在正在研究机采井的深井挂片技术;同时作者在实验室模拟油气田条件下的电化学噪声技术,实现了油井设备局部腐蚀的监测,该技术不久也将应用于油气田在线腐蚀实时监测。作者将油气田的在线腐蚀实时监测的最新技术作为重要的一章进行论述,这

是本书作者长期从事的研究工作之一，也是其他油气田腐蚀与防护专著没有涉及或未加重视的一个方面。

本书是作者长期从事油气田腐蚀与防护的现场研究工作与实验室研究工作的全面总结，同时参考了国内外油气田设备腐蚀与防护的最新研究成果，全面、系统地阐述油气田开采、集输、处理、储运等过程中出现的设备腐蚀问题与防护技术。主要内容包括：绪论，油气田 CO_2 腐蚀，油气田 H_2S 腐蚀，油气田 CO_2 腐蚀预测模型，油气田系统腐蚀监/检测，油气田腐蚀的控制，共 6 章。

由于本书的主要研究背景均为国内油田气的腐蚀与防护，所以，本书对我国油气田的腐蚀与防护具有重要的指导意义。本书可作为从事油气田系统生产、开发的各级各类人员的参考书，也可作为高等院校与油气开采、集输、储运等相关专业相关的研究生和本科生的教学参考书。

对本书做出贡献的专家学者有：辽宁师范大学化学化工学院王凤平教授，中国科学院金属研究所陈家坚研究员、臧晗宇工程师；中国科学院金属研究所王福会研究员在百忙中为本书提出了许多宝贵的意见和建议。与此同时，作者还参考了国内外大量的专著、文献，一并列在参考文献中。研究生蒋新瑜、王晓丹等承担本书部分文字的录入和图表绘制，为此作者向这些同仁表示衷心的感谢。全书最后由王凤平润色和定稿。

本书由大连市人民政府资助出版，同时在科学出版社有关人员的辛勤工作下，本书得以高标准和高质量问世，作者对大连市人民政府及科学出版社表示衷心的感谢。

由于著者水平有限，书中不妥之处在所难免，如蒙指正，不胜感激。

著者

2016 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 油气工业的腐蚀现状与腐蚀控制的重要性	1
1.2 油气田系统腐蚀与控制的特点	7
1.2.1 油气田系统腐蚀的复杂性	7
1.2.2 油气田系统腐蚀形式的多样性	9
1.2.3 油气田腐蚀及其控制是一个系统工程	20
1.3 油气田的腐蚀因素	21
1.3.1 溶解氧腐蚀	21
1.3.2 二氧化碳腐蚀	23
1.3.3 硫化氢腐蚀	23
1.3.4 细菌腐蚀	24
1.4 油气田设备腐蚀速率指标	26
1.5 我国主要油气田的分布及腐蚀特征	28
1.5.1 大庆油田	28
1.5.2 胜利油田	29
1.5.3 辽河油田	30
1.5.4 克拉玛依油田	31
1.5.5 西南油气田	32
1.5.6 华北油田	33
1.5.7 大港油田	33
1.5.8 中原油田	34
1.5.9 吉林油田	35
1.5.10 河南油田	35
1.5.11 长庆油田	36
1.5.12 江汉油田	37
1.5.13 江苏油田	37
1.5.14 塔里木油田	38
1.5.15 吐哈油田	39

1.5.16 塔河油田·····	39
1.5.17 玉门油田·····	41
1.5.18 青海油田·····	42
1.5.19 海洋油气田·····	42
参考文献·····	43
第2章 油气田 CO₂ 腐蚀 ·····	45
2.1 CO ₂ 的一般性质·····	45
2.2 油气田 CO ₂ 的来源·····	45
2.3 油气田 CO ₂ 腐蚀危害、研究历史及评价·····	46
2.4 油气田 CO ₂ 腐蚀机理·····	48
2.4.1 CO ₂ 全面腐蚀机理·····	48
2.4.2 CO ₂ 局部腐蚀机理·····	50
2.5 影响 CO ₂ 腐蚀的因素·····	53
2.5.1 温度的影响·····	53
2.5.2 CO ₂ 分压的影响·····	56
2.5.3 介质流速的影响·····	58
2.5.4 腐蚀产物膜的影响·····	62
2.5.5 pH 的影响·····	64
2.5.6 Cl ⁻ 的影响·····	65
2.5.7 细菌的影响·····	66
2.5.8 H ₂ S 的影响·····	69
2.5.9 氧含量的影响·····	70
2.5.10 合金元素的影响·····	70
2.5.11 结垢的影响·····	71
2.5.12 其他影响因素·····	72
参考文献·····	72
第3章 油气田 H₂S 腐蚀 ·····	77
3.1 油气田中 H ₂ S 的来源、分布及性质·····	77
3.1.1 油气田中 H ₂ S 的来源及分布·····	77
3.1.2 H ₂ S 的一般性质·····	79
3.2 H ₂ S 监测与人身安全防护·····	81
3.3 H ₂ S 腐蚀物理化学机理·····	82
3.3.1 阳极反应机理·····	82
3.3.2 阴极反应机理·····	84
3.3.3 氢脆机理·····	85

3.4 油气腐蚀性判据	92
3.5 H_2S 腐蚀的影响因素	94
3.5.1 天然气中含水的影响	94
3.5.2 H_2S 浓度 (分压) 的影响	94
3.5.3 温度的影响	96
3.5.4 pH 的影响	97
3.5.5 腐蚀时间的影响	99
3.5.6 流速的影响	99
3.5.7 Cl^- 的影响	99
3.5.8 冶金因素的影响	100
3.6 H_2S/CO_2 共存的腐蚀行为	100
3.7 H_2S/CO_2 共存条件下的腐蚀判据	102
参考文献	103
第 4 章 油气田 CO_2 腐蚀预测模型	106
4.1 腐蚀预测模型的来源	106
4.1.1 SHELL 模型	106
4.1.2 Tulsa 模型	106
4.1.3 CORMED 模型	107
4.1.4 LIPUCOR 模型	107
4.1.5 Norsok 模型	108
4.1.6 Predict TM 模型	108
4.1.7 Ohio 模型	109
4.1.8 Cassandra 模型	109
4.1.9 Hydrocor 模型	109
4.1.10 SweetCor 模型	110
4.1.11 CNPC 模型	110
4.2 影响腐蚀预测模型的主要因素	111
4.3 SHELL 模型	114
4.3.1 SHELL95 半经验模型原理	114
4.3.2 数据拟合方法	116
4.3.3 预测结果的相关性	116
4.4 模型的局限性	123
参考文献	123
第 5 章 油气田系统腐蚀监/检测	126
5.1 概述	126

5.1.1	油气田系统腐蚀监/检测的必要性	126
5.1.2	腐蚀监/检测方法分类	128
5.1.3	腐蚀监/检测研究机构	130
5.2	挂片失重法	132
5.2.1	挂片失重法原理	132
5.2.2	油气田管道腐蚀在线挂片监测	133
5.2.3	油气井腐蚀在线监/检测挂片技术	134
5.3	电阻探针法	140
5.3.1	基本原理	140
5.3.2	电阻探针测试系统	141
5.3.3	电阻探针法在油气田腐蚀监测中的应用	144
5.4	电感探针法	144
5.4.1	电感探针法原理	144
5.4.2	电感探针监测系统的基本构成	145
5.4.3	电感探针监测技术在石油、化工领域中的应用	146
5.5	线性极化电阻法	148
5.5.1	基本原理	148
5.5.2	LPR 监测系统的基本构成	151
5.5.3	LPR 技术在油气田腐蚀监测中的应用	152
5.6	氢探针法	152
5.6.1	氢监/检测的目的	152
5.6.2	氢监/检测仪的基本原理	153
5.6.3	氢探针的研究进展及应用现状	156
5.7	场指纹法	159
5.7.1	场指纹法概述	159
5.7.2	场指纹法的基本原理	160
5.7.3	影响 FSM 检测精度和灵敏度的因素	161
5.7.4	技术特点分析	163
5.7.5	FSM 的局限性	164
5.7.6	FSM 系统及安装	165
5.7.7	FSM 腐蚀监/检测技术在油气田中的应用	166
5.8	电化学噪声监/检测技术	168
5.8.1	电化学噪声概述	168
5.8.2	电化学噪声的历史演变	169
5.8.3	电化学噪声监/检测原理	169

5.8.4 电化学噪声的测量方法及影响因素	170
5.8.5 电化学噪声在油气田局部腐蚀监/检测中的应用	172
5.9 油气田腐蚀监/检测点遵循的原则	173
5.10 油气田系统腐蚀监/检测的几点说明	174
5.11 油气田系统腐蚀监/检测的应用实例	175
参考文献	178
第 6 章 油气田腐蚀的控制	184
6.1 缓蚀剂	184
6.1.1 缓蚀剂的定义、特点	184
6.1.2 缓蚀剂分类	184
6.1.3 缓蚀机理	186
6.1.4 油气田常用缓蚀剂	188
6.1.5 油气田缓蚀剂的不同状态	195
6.1.6 油气田缓蚀剂的近期发展	197
6.1.7 油气田缓蚀剂的选用	197
6.1.8 油气田缓蚀剂的评价与筛选	209
6.1.9 缓蚀率	213
6.1.10 实验室内缓蚀率的测试	213
6.1.11 影响缓蚀率的因素	220
6.1.12 油气田缓蚀剂的加注工艺	223
6.1.13 缓蚀剂进展与展望	226
6.1.14 利用分子设计开发缓蚀剂	228
6.2 控制油气田腐蚀材料优选	229
6.2.1 金属材料的优选	229
6.2.2 非金属材料的选用	234
6.3 采用保护性覆盖层	238
6.3.1 非金属防护层	238
6.3.2 金属防护层	244
6.4 电化学保护	245
参考文献	246

第1章 绪 论

1.1 油气工业的腐蚀现状与腐蚀控制的重要性

金属腐蚀问题普遍存在于国民经济和国防建设各个部门，但较严重的腐蚀主要集中在石油工业、化学工业与天然气工业等部门。石油、天然气工业钢材使用数量多、油田所处环境复杂，导致油气井乃至油气集输整个生产、储运系统都存在不同程度的腐蚀。腐蚀破坏引发生产事故，造成经济损失，严重影响油气田正常生产和制约经济效益的提高。所以，油气田腐蚀与防护工作一直是石油工业的重要任务。

石油工业自诞生之日起，就存在着设备及管道的腐蚀问题。一方面，油气田生产涉及的环节较多，既有地下生产系统，如油井（油井结构如图 1-1 所示）等，也有地面生产系统，包括单井管线、集输干线、处理厂站、长输管线、水源站等。油气田整个生产过程如图 1-2 所示^[1]。储藏在地下的原油需要经过石油勘探、钻井、开发、采油、集输、油气处理、储运、石油炼制等多个过程才能得到成品油。油田地面系统中的每一环节都存在设备及管道的腐蚀问题。例如，在油气田生产过程中，金属机械和设备常与强腐蚀性介质（如酸、酸性气体、高矿化度介质、细菌及其他物质等）接触，使地面或井下的生产设备及管道（如集输管线或油套管）发生腐蚀，导致油气田每年都要更换大量的生产设备及管道。油气田生产过程中井下和地面设备的常见腐蚀部位如图 1-3 所示^[1]。另一方面，油气田生产是一个庞大而系统的产业，工艺复杂，生产条件苛刻，具有高温、高压以及生产介质的高矿化度、高二氧化碳和/或高硫化氢，使油气田系统的腐蚀因素具有复杂性和多样性。由于腐蚀因素的复杂性，油气田生产过程设备发生腐蚀的概率较高，有时腐蚀失效一旦发生，可能引发更大的次生破坏。由腐蚀而引发的重大事故在我国一些主力油田均有出现，井下油套管的早期损坏就是一个典型实例，图 1-4 是我国某油田油井套管在含 CO_2 的水蒸气作用下发生的腐蚀穿孔和开裂的照片。油井套管的腐蚀不仅损坏了油井本身，无法将高压的海下井口可靠地固定在海底岩层上，而且还会使原油的分层开采和分层注水的增产技术措施无法实现，导致地层中水层与油层之间互相串通，从而封闭一些油层。结果可能会使这些油层中的原油再也难以采出，大大降低储油构造的原油采收率，造成更大的经济损失。由此可见，油气田设备的腐蚀控制对油气田

生产过程具有十分重要的意义。

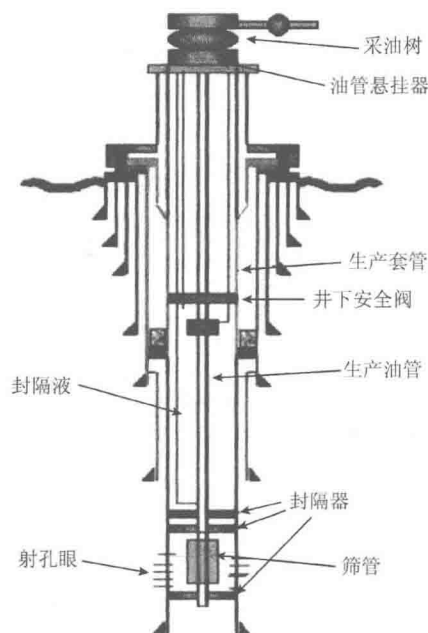


图 1-1 油井结构示意图

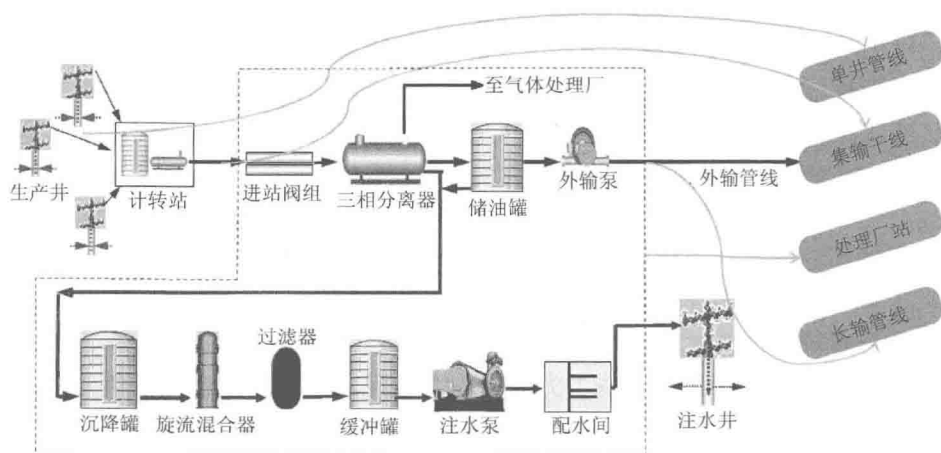


图 1-2 油气田复杂的生产过程

油气田生产的腐蚀是全球性的。20 世纪 60 年初，苏联在开发克拉斯诺尔油田中，由于 CO_2 腐蚀介质，油田设备严重腐蚀，腐蚀速率高达 $5 \sim 8 \text{ mm/a}^{[2]}$ ；美国的 Little Creek 油田实施 CO_2 驱油试验期间，在未采取任何防护措施的情况下，不

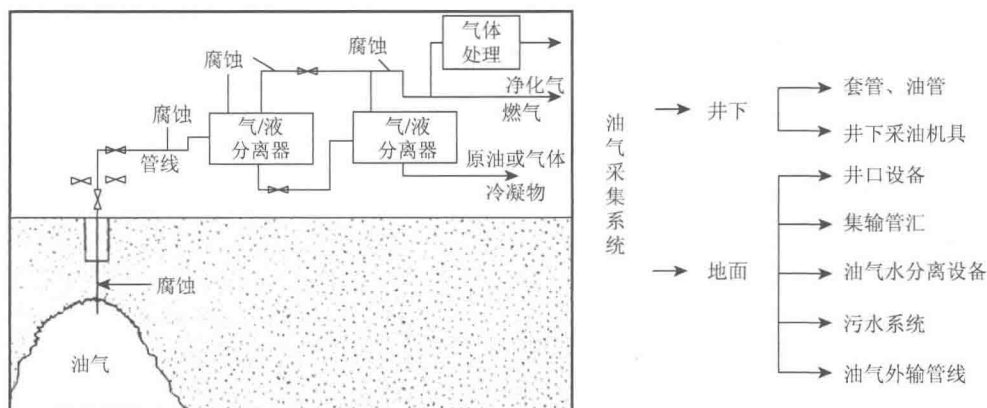


图 1-3 油气田生产过程的井下设备和地面设备的腐蚀部位

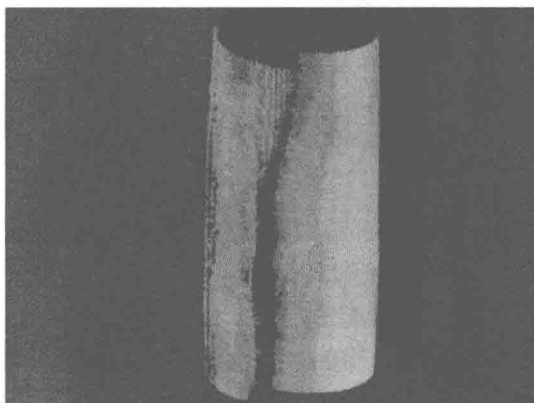


图 1-4 油井套管被腐蚀后的照片

到 5 个月时间，采油井油管管壁即腐蚀穿孔，腐蚀速率达到 $12.7\text{mm/a}^{[3]}$ ；世界著名的法国拉克高含硫气田，从发现到投入生产用了 15 年的时间，其原因是含硫气田腐蚀引起设备的低应力脆性断裂——硫化物应力腐蚀开裂，腐蚀问题解决之后该气田才正式投入开发^[4]；1980 年北海油田挪威的亚历山大·基兰德号海洋平台在腐蚀性很强的海洋环境下，由于腐蚀疲劳裂纹的失稳扩展而迅速倒塌，死亡 123 人^[5]；1988 年北海油田英国帕尔波·阿尔法海洋平台，因管线腐蚀事故，突然爆炸起火，死亡 166 人，经济损失 34 亿美元，并使英国北海原油产量锐减 12%^[6]。

我国是一个油气资源非常丰富的国家，自 20 世纪 50 年代初期以来，我国先后在 82 个主要的大中型沉积盆地开展了油气勘探，截至 2012 年，发现油田 500 多个^[1]。石油资源集中分布在渤海湾、松辽、塔里木、鄂尔多斯、准噶尔、珠江口、柴达木和东海陆架八大盆地，其可采资源量 172 亿 t，占全国的 81.13%^[7]。

我国主要的陆上石油产地有：大庆油田、胜利油田、辽河油田、克拉玛依油田、四川油田、华北油田、大港油田、中原油田、吉林油田、河南油田、长庆油田、江汉油田、江苏油田、青海油田、塔里木油田、塔河油田、吐哈油田、玉门油田。除陆地石油资源外，我国的海洋油气资源也十分丰富，海上油气勘探主要集中于渤海、黄海、东海及南海北部大陆架。截至 2014 年 9 月，我国在鄂尔多斯、塔里木和渤海湾盆地连续发现 8 个亿吨级油田，其中渤海中部的蓬莱 19-3 油田是迄今为止中国最大的海上油田，又是中国目前第二大整装油田，探明储量达 6 亿 t，仅次于大庆油田，成为中国油气增长的主体^[8]。东海大陆架可能是世界上最丰富的油田之一，钓鱼岛附近水域可以成为“第二个中东”。而天然气资源则集中分布在塔里木、四川、鄂尔多斯、东海陆架、柴达木、松辽、莺歌海、琼东南和渤海湾九大盆地，其可采资源量达 18.4 万亿 m^3 ，占全国的 83.64%。

然而，在油气田大力开采的同时，一些油气田也发生了严重或非常严重的腐蚀问题，而且由腐蚀问题导致的事故也时有发生。从历史上看，1966 年，在某含硫天然气井的井场上，由于进口的“抗硫”防喷管突然破裂，25MPa 的天然气从高压气井中冲出，引起石头碰撞产生火花，天然气点火燃烧，呼啸的火柱从一个山头冲到了另一个山头，并把一个山头的山顶烧黑，不仅造成了人员伤亡，也使原来可日产百万立方米的高产气井报废^[9]。

图 1-5 是我国某油田油管在含硫天然气介质中使用了仅 1.5 年后取出的油管实物照片^[9]。井下油管不仅被腐蚀得形若筛孔，而且油管断裂跌落到井底，破坏了油气田的正常生产。重新更换报废的油管，必须用泥浆压井。即使更换了油管，泥浆压井的残留物对油气采出通道的堵塞也会使油气井大大减产。这些都会造成巨大的经济损失。

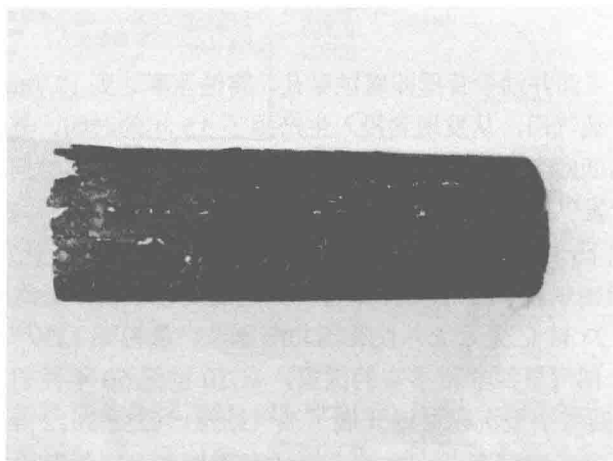


图 1-5 某油田使用了 1.5 年后取出的油管照片

处于强腐蚀性的海洋环境下的海洋采油平台是海上油田的关键性基础设施。其不仅建设投资巨大,而且它的可靠性直接关系油田和工作人员的安危。我国某海洋采油平台,仅使用十年,就因严重腐蚀而不得不封井报废。图 1-6 显示了这一平台关键部位——管节点腐蚀穿孔和腐蚀开裂的情景^[9]。即使下海才使用 4~5 年的新的海洋采油平台,在阴极保护条件下,平台的管节点也普遍发生明显的小孔腐蚀和腐蚀开裂。这些腐蚀破坏的失稳扩展,就会造成巨大的经济损失和严重的社会后果。

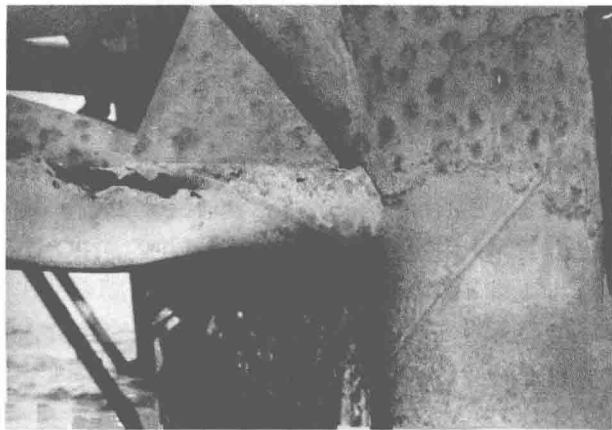


图 1-6 海洋平台管节点的腐蚀穿孔和腐蚀开裂

2013 年 11 月 22 日,中国石油化工集团公司(简称中国石化或中石化)东黄输油管道泄漏爆炸。爆炸事故的直接原因是输油管线与排水暗渠交汇处的管线腐蚀变薄破裂,引起原油泄漏,流入暗渠,挥发的油气与暗渠中的空气混合形成易燃易爆气体,在相对封闭的空间内集聚,救援处置中违规操作触发了爆炸。事故共造成 62 人死亡,136 人受伤,直接经济损失达 7.5 亿元。

尽管油气田的开发与生产都存在着腐蚀问题,但是由于地质条件的差异,腐蚀的程度与特点各不相同。以大庆油田、胜利油田、辽河油田为代表的东部油田是我国的老油田基地,腐蚀问题时有发生,据 2003 年我国对油气田腐蚀的调查统计^[10],2000 年油田因腐蚀而造成的经济损失当时高达每年 21 亿元以上;我国石油工业所耗费的石油管材,每年价值 100 亿元左右^[6]。尽管采取一些措施加以控制,但经历了 50 余年的勘探开发,东部主力油田都已经进入了高含水开采阶段,加之设备长期处在高负荷下运行,部分油管/套管、储罐、地面/地下集输管网没有得到及时更换,腐蚀问题仍然存在,尤其以地面集输系统的腐蚀问题最为突出。据我国中原油田 1999 年不完全统计,全油田管道腐蚀穿孔达 1888 例^[10]。因此,从油、气管道安全生产角度看,油气田腐蚀无疑是一个重大的现实问题。

以塔里木油田、塔河油田等为代表的西部油田尽管在 20 世纪 90 年代才开始勘探开发,但是,西部油气田多为深井,环境条件恶劣,油井产出水具有“四高一低”的特点,即高矿化度、高 Cl^- 含量、高 CO_2 、高 H_2S 、低 pH 等,这些特点使得西部油气田的腐蚀问题在近年来越来越突出。其中塔河油田主要以 H_2S 、 CO_2 、高矿化度水腐蚀为主;塔里木油田的塔中、轮古区块同样以 H_2S 、 CO_2 、高矿化度水腐蚀为主;西北局的雅克拉区块、塔里木油田的牙哈、吉拉克等凝析气田主要以 CO_2 、高矿化度水腐蚀为主,同时伴随着多相流腐蚀,腐蚀普遍存在于整个油田生产系统各个环节。 H_2S 、 CO_2 造成油气井井下套管的腐蚀;地面集输系统主要表现为管底水相腐蚀穿孔,最短使用 13 个月就出现了穿孔,折算点腐蚀速率在 $4\sim 6\text{mm/a}$,且主要以内腐蚀为主。据西部某油田的统计,由穿孔导致的经济损失高达 8.82 万元/次,管线穿孔导致的平均经济损失为 3.18 万元/次^[6]。联合站处理系统主要表现为地层产出水腐蚀,集中表现为联合站油、气处理系统三相分离器和高含水油罐罐底、水出口管线,污水处理系统以及注水系统通常是腐蚀的重灾区。据现场腐蚀状况调查,部分油管腐蚀断裂,地面管线腐蚀穿孔频繁,造成原油外漏,环境污染,如图 1-7 所示。随着油田的不断开发,综合含水的不断上升,腐蚀将不断加剧,已严重影响了油田的正常生产。这种腐蚀破坏,必须尽力设法避免。



图 1-7 2011 年西部某油田输油管线腐蚀导致原油外漏

以上事例表明,油气田生产过程中的腐蚀引起突发的恶性破坏事故,不仅会带来巨大的经济损失,而且往往会引发燃烧、爆炸、人身伤亡和灾难性的环境污染等灾祸,造成严重的社会后果。因此,开展油气田防腐是长期而艰巨的任务。