



材料延寿与可持续发展

油气工业的 腐蚀与控制

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
路民旭 张雷 杜艳霞 等编著



化学工业出版社



材料延寿与可持续发展

油气工业的 腐蚀与控制

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
路民旭 张雷 杜艳霞 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《油气工业的腐蚀与控制》是《材料延寿与可持续发展》丛书之一。国内外大量的实例表明,石油开采和运输过程中的设备腐蚀失效,不但影响了石油企业生产效率和效益,而且往往产生巨大的安全隐患和环境破坏。《油气工业的腐蚀与控制》主要针对油气开采、集输、净化和储运等工程,以油气管道腐蚀防护为主要讨论对象,深入阐述设备腐蚀环境特点和失效的原因,从选材、设计、施工等方面介绍必要的腐蚀控制方法,从综合防治的角度提出油气腐蚀控制的综合思路。

本书可供从事石油天然气工业的工程建设设计、施工和维护等工作的技术人员阅读,也可供高等院校材料专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气工业的腐蚀与控制/路民旭等编著. —北京:
化学工业出版社, 2015. 1
(材料延寿与可持续发展)
ISBN 978-7-122-22459-0

I. ①油… II. ①路… III. ①石油与天然气储运-
机械设备-防腐 IV. ①TE988

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 285651 号

责任编辑: 段志兵 王清颖

文字编辑: 林 媛

责任校对: 李 爽

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 15¼ 字数 277 千字 2015 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究

《材料延寿与可持续发展》丛书顾问委员会

主任委员：师昌绪

副主任委员：严东生 王淀佐 干 勇 肖纪美

委 员（按姓名拼音排序）：

安桂华	白忠泉	才鸿年	才 让	陈光章	陈蕴博
戴圣龙	俸培宗	干 勇	高万振	葛昌纯	侯保荣
柯 伟	李晓红	李正邦	刘翔声	师昌绪	屠海令
王淀佐	王国栋	王亚军	吴荫顺	肖纪美	徐滨士
严东生	颜鸣皋	钟志华	周 廉		

《材料延寿与可持续发展》丛书总编辑委员会

名誉主任（名誉总主编）：

干 勇

主 任（总主编）：

李金桂 张启富

副 主 任（副总主编）：

许淳淳 高克玮 顾宝珊 张 炼 朱文德 李晓刚

编 委（按姓名拼音排序）：

白新德	蔡健平	陈建敏	程瑞珍	窦照英	杜存山
杜 楠	干 勇	高克玮	高万振	高玉魁	葛红花
顾宝珊	韩恩厚	韩雅芳	何玉怀	胡少伟	胡业锋
纪晓春	李金桂	李晓刚	李兴无	林 翠	刘世参
卢凤贤	路民旭	吕龙云	马鸣图	沈卫平	孙 辉
陶春虎	王 钧	王一建	武兵书	熊金平	许淳淳
许立坤	许维钧	杨卯生	杨文忠	袁训华	张 津
张 炼	张启富	张晓云	赵 晴	周国庆	周师岳
周伟斌	朱文德				

办 公 室：袁训华 张雪华

《材料延寿与可持续发展》丛书指导单位

中国工程院

中国科学技术协会

《材料延寿与可持续发展》丛书合作单位

中国腐蚀与防护学会

中国钢研科技集团有限公司

中航工业北京航空材料研究院

化学工业出版社

I 总序言 I

在远古人类处于采猎时代，依赖自然，听天由命；公元前一万年开始，人类经历了漫长的石器时代，五千多年前进入青铜器时代，三千多年前进入铁器时代，出现了农业文明，他们砍伐森林、种植稻麦、驯养猪狗，改造自然，进入农牧经济时代。18世纪，发明蒸汽机车、轮船、汽车、飞机，先进的人类追求奢侈的生活、贪婪地挖掘地球、疯狂地掠夺资源、严重地污染环境，美其名曰人类征服自然，而实际是破坏自然，从地区性的伤害发展到全球性的灾难，人类发现在无休止、不理智、不文明地追求享受的同时在给自己挖掘坟墓。

人类终于惊醒了，1987年世界环境及发展委员会发表的《布特兰报告书》确定人类应该保护环境、善待自然，提出了“可持续发展战略”，表达了人类应该清醒地、理智地、文明地处理好人与自然关系的大问题，指出“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”，称之为可持续发展。其核心思想是“人类应协调人口、资源、环境与发展之间的相互关系，在不损害他人和后代利益的前提下追求发展。”

这实际上是涉及我们人类所赖以生存的地球如何既满足人类不断发展的需求，又不被破坏、不被毁灭这样的大问题；涉及人口的不断增长、生活水平的不断提高、资源的不断消耗、环境的不断恶化；涉及矿产资源的不断耗竭、不可再生能源资源的不断耗费、水力资源的污染、土地资源的破坏、空气质量的不断恶化等重大问题。

在“可持续发展”战略中，材料是关键，材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的标志和里程碑，是社会不断进步的先导、是可持续发展的支柱。如果不断发现新矿藏，不断研究出新材料，不断延长材料的使用寿命，不断实施材料的再制造、再循环、再利用，那么这根支柱是牢靠的、坚强的、是能够维护人类可持续发展的！

在我国，已经积累了许许多多预防和控制材料提前失效（其因素主要是腐蚀、摩擦磨损磨蚀、疲劳与腐蚀疲劳）的理论、原则、技术和措施，需要汇总和提供应用，《材料延寿与可持续发展》丛书以多个专题力求解决这一课题项目。有一部分专题阐述了材料失效原理和过程，另一部分涉及工程领域，结合我国已积累的材料失

效的案例和经验，更深入系统地阐述预防和控制材料提前失效的理论、原则、技术和措施。丛书总编辑委员会前后花费五年的时间，将分散在全国各个研究院所、工厂、院校的研究成果经过精心分析研究、汇聚成一套系列丛书，这是一项研究成果、是一套高级科普丛书、是一套继续教育实用教材。希望对我国各个工业部门的设计、制造、使用、维护、维修和管理人员会有所启示、有所参考、有所贡献；希望对提高全民素质有所裨益、对国家各级公务员有所参考。

我国正处于高速发展阶段，制造业由大变强，材料的合理选择和使用，以达到装备的高精度、长寿命、低成本的目的，这一趋势应该受到广泛的关注。

中国科学院院士
中国工程院院士

洪昌绪

I 总前言 I

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的标志和里程碑，是社会不断进步的先导，是国家实现可持续发展的支柱。然而，地球上的矿藏是有限的，而且需要投入大量的能源，进行复杂的提炼、处理，产生大量污染，才能生产成为人类有用的材料，所以，材料是宝贵的，需要科学利用和认真保护。

半个多世纪特别是改革开放三十多年来，我国材料的研究、开发、应用有了快速的发展，水泥、钢铁、有色金属、稀土材料、织物等许多材料的产量多年居世界第一。我国已经成为世界上材料的生产、销售和消费大国。“中国材料”伴随着“中国制造”的产品，遍布全球；伴随着“中国建造”的工程项目，遍布全国乃至世界上很多国家。材料支撑我国国民经济连续 30 多年 GDP 年均 10% 左右的高速发展，使我国成为全球第二大经济体。但是，我国还不是材料强国，还存在诸多问题需要改进。例如，在制造环境、运行环境和自然环境的作用下，出现过早腐蚀、老化、磨损、断裂（疲劳），材料及其制品在使用可靠性、安全性、经济性和耐久性（简称“四性”）方面都还有大量的工作要做。

“材料延寿”是指对材料及其制品在服役环境作用下出现腐蚀、老化、磨损和断裂而导致的过早失效进行预防与控制，以尽可能地提高其“四性”，也就是提高水平，提高质量，延长寿命。目标是节约资源、能源，减少对环境的污染，支持国家可持续发展。

材料及制品的“四性”实质上是材料及制品水平高低和质量好坏的最终表征和判断标准。追求“四性”，就是追求全寿命周期使用的高水平、高质量，追求“质量第一”，追求“质量立国”，追求“材料强国”、“制造强国”、“民富、国强、美丽国家”。

我国在“材料延寿与可持续发展”方面，做过大量的研究，取得了显著的成绩，积累了丰富的实践经验，凝练出了一系列在材料全寿命周期中提高“四性”的重要理论、原则、技术和措施，可以总结，服务于社会。

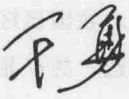
“材料延寿与可持续发展”丛书的目的就在于：总结过去，总结已有的系统控制材料提前损伤、破坏和失效的因素，即腐蚀、老化、磨损和断裂（主要是疲劳与腐蚀疲劳）的理论、原则、技术和措施，使各行业产品设计师，制造、使用和管理工程师有所启示、有所参考、有所作为、有所贡献，以尽可能地提高产品的“四性”，

延长使用寿命。丛书的目的还在于：面对未来、研究未来，推进材料的优质化、高性能化、高强度、长寿命化，多品质、多规格化、标准化，传统材料的综合优化，材料的不断创新，并为国家长远发展，提出成套成熟可靠的理论、原则、政策和建议，推进国家“节约资源、节能减排”、“可持续发展”和“保卫地球”、“科学、和谐”发展战略的实施，加速创建我国“材料强国”、“制造强国”。

在中国科协和中国工程院的领导与支持下，一批材料科学工作者不懈努力，不断地编写和出版系列图书。衷心希望通过我们的努力，既能对设计师，制造、使用和管理工程师“材料延寿与可持续发展”的创新有所帮助，又能为国家成功实施“可持续发展”、“材料强国”、“制造强国”的发展战略有所贡献。

中国工程院院士

中国工程院副院长



I 前言 I

腐蚀是国民经济各个行业安全生产面临的最为主要的天敌之一。石油和天然气是国民经济的主要能源类型之一，是国家的重要战略资源。石油和天然气的开发和生产对于国民经济至关重要。但是石油和天然气的生产从钻井固井、井下开采、地面集输、油气地面处理、净化厂处理、长输管道运输、油气储备，一直到炼油以及将天然气输送到千家万户，无不面临着设备内部和外部环境的腐蚀作用，轻则导致腐蚀穿孔泄漏，重则导致腐蚀爆炸等恶性安全事故。近年来油气生产又面临三个突出的特点：一是向着深井超深井的方向发展，导致高温、高二氧化碳和硫化氢分压、高氯离子等强腐蚀环境的出现，对于材料服役特性要求提高；二是向着深海超深海的方向发展，人们将面临深海特定环境下进行设施内部和外部腐蚀控制的技术难题；三是油气管道、输电线路、高速铁路和城市地铁等基础设施高速发展带来许多交流和直流干扰的难题。这些都为我们从事石油天然气生产腐蚀控制的研究者和工程师提出了更高的要求。

本书正是基于油气工业的上述发展背景，在我们团队近年来部分研究工作的基础上写作而成。各个章节的有关内容既有我们学校研究团队各位老师的辛勤劳动，也有石油和钢铁企业合作单位的重要贡献。其中主要作者张雷老师在撰写腐蚀机理和腐蚀管理等章节过程中付出了大量劳动，主要作者杜艳霞老师在撰写阴极保护和交直流干扰等内容过程中倾注了大量心血。除主要作者外，郭少强博士和李大朋博士也参与了有关章节的撰写工作，柳伟老师在冲刷腐蚀方面、许立宁老师在涂层及腐蚀监测、检测技术方面的有关工作给本书提供了部分素材。

此外，十余位博士和硕士研究生的有关工作也为本书的各有关章节贡献了丰富素材。关于 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 腐蚀的部分素材来源于张国安、孙建波、杨建炜的博士论文工作，关于应力腐蚀开裂的部分素材来源于丁金慧的博士论文工作，关于缓蚀剂的部分素材来源于杜海燕、柴成文的博士论文工作，阴极保护及交直流干扰方面的部分素材来源于董亮、姜子涛的博士论文工作，关于顶部腐蚀和腐蚀预测的部分素材来源于郭少强的博士论文工作，关于材料腐蚀选材的部分素材来源于王晶、李大朋的博士论文工作，关于管道内腐蚀类型、元素硫腐蚀、垢下腐蚀、细菌腐蚀以及腐蚀评估等部分素材来源于胡丽华博士及博士后论文工作及文质斌、崔伟、钟文、杨萍

等数位硕士论文工作。对于为本书做出贡献的上述先生和女士，在此一并表示感谢。

《材料延寿与可持续发展》丛书的总主编李金桂先生在本书的编写过程中给予了很多有益的讨论，责任编辑也对本书编写提出了建设性意见，在此表示诚挚的感谢。

本书涉及的研究成果先后得到了国家自然科学基金“显微组织对 CO_2 局部腐蚀行为影响的本征机制研究 (50571014)”、“ $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 共存条件下腐蚀产物膜形成机制及其对氢渗透的影响研究 (50701007)”、“腐蚀产物膜对高含硫气田元素硫局部腐蚀机制的影响研究 (50971017)”、“高含 H_2S 湿天然气管道冷凝液膜环境下的氢渗透机制 (51171022)”、“交流干扰与阴极保护在管/地界面上的叠加效应研究 (51101015)”、“深水及阴极保护下双相不锈钢氢致应力开裂的氢行为与临界电位研究 (51271025)”、“油套管丝扣塑性变形促进腐蚀加速机理和控制措施研究 (51371034)”，及国家科技重大专项子课题“荔湾 3-1 气田设施内腐蚀控制及选材设计” (2011ZX05056-001-08) 等项目的支持，在此对有关资助机构表示感谢。

油气工业的腐蚀与控制是一个很宽的领域，发展迅速，由于笔者知之有限，加上撰写时间较紧，书中可能有许多疏漏之处，还望读者批评指正。

路民旭

欢迎订阅化学工业出版社专业图书

●表面处理与防腐蚀技术常备书目

ISBN	书 名	主要作者	定价
9787122126900	表面保护层设计与加工指南	李金桂	58
9787122053251	表面工程技术手册（上）	徐滨士	130
9787122053244	表面工程技术手册（下）	徐滨士	130
9787122171597	表面及特种表面加工	冯拉俊	48
9787122081643	典型零件热处理技术	王忠诚	98
9787122113948	电厂防腐蚀及实例精选	窦照英	60
9787122094544	电镀层均匀性和镀液稳定性——问题与对策	张三元	36
9787122110596	电镀工程师手册	谢无极	188
9787122149213	电镀故障精解（第二版）	谢无极	68
9787122161154	电镀故障手册	谢无极	188
9787122165145	电镀化学分析手册	戴永盛	198
9787122113597	电镀实践 1000 例	郑瑞庭	68
9787122041142	电镀添加剂技术问答	刘仁志	28
9787122136589	电镀专利：解析·申请·利用	刘仁志	48
9787122178398	电镀装挂操作问答	郑瑞庭	38
9787122143563	电化学保护简明手册	王强	128
9787122113313	镀铬技术问答	王尚义	36
9787122075635	镀镍技术丛书——镀镍故障处理及实例	陈天玉	29
9787122036919	镀镍技术丛书——复合镀镍和特种镀镍	陈天玉	46
9787122185693	防腐蚀涂装工程手册（第二版）	金晓鸿	88
9787122138293	非金属电镀与精饰：技术与实践（第二版）	刘仁志	58
9787122131072	腐蚀监测技术	[美] 杨列太	128
9787122046086	腐蚀控制系统工程学概论	李金桂	69
9787122034991	腐蚀失效分析案例	赵志农	78
9787502590291	腐蚀与防护手册——腐蚀理论、试验及监测（第1卷）（二版）	组织编写	98
9787122032577	腐蚀与防护手册——工业生产装置的腐蚀与控制（第4卷）（二版）	组织编写	89

续表

ISBN	书 名	主要作者	定价
9787122027368	腐蚀与防护手册——耐蚀非金属材料及防腐施工（第3卷）（二版）	组织编写	98
9787502592646	腐蚀与防护手册——耐蚀金属材料及防蚀技术（第2卷）（二版）	组织编写	98
9787122152428	钢材热镀锌技术问答	苗立贤	39
9787122074232	钢带连续涂镀和退火疑难对策	许秀飞	58
9787122117403	工业清洗及实例精选	窦照英	48
9787122106568	工艺品表面处理技术	郭文显	38
9787122083739	滚镀工艺技术与应用	侯进	58
9787122077325	金属表面防腐蚀工艺	陈克忠	29. 8
9787122065919	金属表面粉末涂装	李正仁	48
9787122186003	金属的大气腐蚀及其实验方法	万晔	58
9787122156389	金属清洗与防锈	王恒	78
9787122131942	金属文物保护——全程技术方案	许淳淳	58
9787122126726	铝合金表面处理膜层性能及测试	朱祖芳	68
9787122185662	铝合金表面氧化问答	郑瑞庭	39
9787122133656	铝合金防腐蚀技术问答	方志刚	59
9787122069856	铝合金阳极氧化与表面处理技术（二版）	朱祖芳	68
9787122113306	桥梁钢筋混凝土结构防腐蚀——耐腐蚀钢筋及阴极保护	葛燕	48
9787122038715	热处理工必读	马永杰	22
9787122128829	实用电镀技术丛书（2）——化学镀实用技术（二版）	李宁	68
9787122122018	涂层失效分析	[美] 德怀特 G. 韦尔登	58
9787122099662	涂料及检测技术	陈卫星	29
9787122157584	涂装车间设计手册（第二版）	王锡春	150
9787122164483	涂装工艺与设备	冯立明	98
9787122146861	涂装系统分析与质量控制	齐祥安	68
9787122078728	现代电镀手册	刘仁志	158
9787122061812	现代涂装手册	陈治良	148
9787122106957	暂时防锈手册	张康夫	128

● 《材料延寿与可持续发展》系列

序 号	书 号	书 名	主 要 作 者	定价/元
1	978-7-122-20672-5	材料环境适应性工程	蔡健平	69.0
2	978-7-122-20626-8	现代表面工程技术与应用	李金桂	78.0
3	978-7-122-20452-3	表面完整性理论与应用	高玉魁	56.0
4	978-7-122-20532-2	表面耐磨损与摩擦学材料设计	高万振	49.0
5	22380	再制造技术与应用	徐滨士	36.0
6	22714	特种合金钢选用与设计	干 勇	59.0
7	978-7-122-20717-3	钛合金选用与设计	林 翠	39.0
8	978-7-122-20714-2	涂镀钢铁选用与设计	顾宝珊	89.0
9	978-7-122-20718-0	现代橡胶选用设计	熊金平	46.0
10	21540	工程结构损伤和耐久性	胡少伟	59.0
11	978-7-122-20286-4	管道工程保护技术	张炼	46.0
12	21434	煤矿工程设备防护	程瑞珍	50.0
13	978-7-122-20716-6	可再生能源工程材料失效及预防	葛红花	39.0
14	21255	核电材料老化与延寿	许维钧	49.0
15	22358	火力发电工程材料失效与控制	葛红花	58.0
16	978-7-122-20265-9	铁道装备防护	杜存山	32.0
17	978-7-122-20655-8	农业机械材料失效与控制	吕龙云	30.0
18	978-7-122-20462-2	海洋工程的材料失效与防护	许立坤	69.0
19	22459	油气工业的腐蚀与控制	路民旭	46.0

以上图书由化学工业出版社出版。如要以上图书的内容简介和详细目录,或要更多的科技图书信息,请登录 www.cip.com.cn。

邮购地址: (100011) 北京市东城区青年湖南街13号化学工业出版社;

邮购电话: 010-64518888, 64518800。

也可以通过当当网、京东商城、亚马逊、化学工业出版社天猫旗舰店等网络书店咨询购买。

如要出版新著,请与编辑联系: 010-64519271 Email: dzb@cip.com.cn

I 目录 I

第1章 概述

- 1.1 油气工业的生产流程 /002
- 1.2 油气设施腐蚀失效形式 /003
- 1.3 油气设施腐蚀控制措施 /003
- 参考文献 /006

第2章 油气生产和输送管材的腐蚀环境与特点

- 2.1 油气管材所处的内外腐蚀环境介质特点 /007
 - 2.1.1 内腐蚀环境介质特点 /007
 - 2.1.2 外腐蚀环境介质特点 /010
- 2.2 油气管材腐蚀的复杂性和不同层次 /012
 - 2.2.1 从腐蚀发生的部位认识油气管材的腐蚀失效 /013
 - 2.2.2 从腐蚀的宏观后果认识油气管材的腐蚀失效 /013
 - 2.2.3 从腐蚀发生的局部环境认识油气管材的腐蚀失效 /014
 - 2.2.4 从导致腐蚀的直接原因和机理认识油气管材的腐蚀失效 /014
 - 2.2.5 从实际工况的综合层面认识油气管材的腐蚀失效 /015

参考文献 /015

第3章 油气管材的腐蚀类型与机理

- 3.1 典型腐蚀介质导致的腐蚀类型 /017
 - 3.1.1 CO_2 腐蚀 /017
 - 3.1.2 H_2S 腐蚀和 $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 腐蚀 /034
 - 3.1.3 溶解氧腐蚀 /041
 - 3.1.4 元素硫腐蚀 /044
 - 3.1.5 微生物腐蚀 /047
- 3.2 典型局部环境导致的腐蚀类型 /050
 - 3.2.1 多相流和冲刷腐蚀 /051
 - 3.2.2 沉积物垢下腐蚀 /055
 - 3.2.3 湿气顶部腐蚀 /058
- 3.3 典型电偶环境导致的腐蚀类型 /065
 - 3.3.1 电偶腐蚀 /065
 - 3.3.2 管道焊缝腐蚀 /065

- 3.3.3 土壤宏电池腐蚀 /067
- 3.4 典型的环境敏感断裂类型 /068
 - 3.4.1 氯化物应力腐蚀开裂 /068
 - 3.4.2 H_2S 引起的环境敏感断裂 /070
 - 3.4.3 土壤应力腐蚀开裂 /079
 - 3.4.4 阴极保护引起的环境断裂 /081

参考文献 /084

第4章 油气设施中金属材料的选用

- 4.1 油气设施服役环境要求 /102
 - 4.1.1 油气开采设施服役环境 /102
 - 4.1.2 油气输送设施服役环境 /103
- 4.2 油气设施使用材料类型 /104
 - 4.2.1 油气设施用碳钢和低合金钢 /104
 - 4.2.2 油气设施用不锈钢 /104
 - 4.2.3 油气设施用耐蚀合金 /112
- 4.3 油气设施选材的腐蚀风险 /113
- 4.4 油气设施选材规则 /116
 - 4.4.1 CO_2 腐蚀环境下油气设施选材 /116
 - 4.4.2 酸性腐蚀环境下油气设施选材 /117

参考文献 /119

第5章 油气工业中缓蚀剂的应用

- 5.1 缓蚀剂的分类 /121
- 5.2 油气工业常用缓蚀剂 /123
 - 5.2.1 咪唑啉及其生物类 /124
 - 5.2.2 气相缓蚀剂 /124
 - 5.2.3 复配型缓蚀剂 /125
- 5.3 缓蚀剂应用过程中的问题 /125
- 5.4 缓蚀剂的选用原则 /127
- 5.5 缓蚀剂的评价方法 /128

参考文献 /130

第6章 油气设施的阴极保护

- 6.1 阴极保护的原理及方法 /131
- 6.2 阴极保护效果的判断准则 /132
- 6.3 某长输管道的阴极保护设计及运行效果 /133
- 6.4 阴极保护数值模拟计算技术研究 /134

- 6.5 区域阴极保护技术 /136
- 6.6 阴极保护测试探头和数据远程监控技术 /138
- 参考文献 /139

第7章 油气设施直流和交流干扰的排除

- 7.1 油气设施直流干扰 /141
 - 7.1.1 油气管道直流干扰原理及类型 /141
 - 7.1.2 油气管道直流干扰判别标准 /144
 - 7.1.3 油气管道直流干扰检测技术 /147
 - 7.1.4 油气管道直流干扰防护工程 /153
 - 7.1.5 直流干扰防护措施 /155
- 7.2 油气设施交流干扰 /159
 - 7.2.1 油气管道交流干扰原理及类型 /160
 - 7.2.2 油气管道交流干扰判别标准 /164
 - 7.2.3 油气管道交流干扰检测技术 /170
 - 7.2.4 交流干扰缓解设计 /175
 - 7.2.5 交流干扰缓解措施 /177
 - 7.2.6 交流排流装置 /179

参考文献 /181

第8章 油气工业腐蚀控制的保护性覆盖层

- 8.1 管材内涂镀层 /185
- 8.2 管材非金属内衬层 /186
- 8.3 管材金属内衬层和堆焊层 /188
- 8.4 管材的外防腐层 /190
 - 8.4.1 有机防腐蚀涂层的作用 /190
 - 8.4.2 有机防腐蚀涂层的性能 /192
 - 8.4.3 有机防腐蚀涂层的种类 /193

参考文献 /199

第9章 油气工业腐蚀管理

- 9.1 腐蚀状况评估 /201
 - 9.1.1 内腐蚀直接评估 /202
 - 9.1.2 外腐蚀直接评估 /204
 - 9.1.3 应力腐蚀开裂直接评估 /206
- 9.2 腐蚀发展预测 /206
- 9.3 腐蚀寿命预测 /209
- 9.4 腐蚀监测技术 /212