

材料延寿与可持续发展

管道工程 保护技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
张炼 冯洪臣 编 著



化学工业出版社



材料延寿与可持续发展

管道工程 保护技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
张炼 冯洪臣 编 著

 化学工业出版社

本书是《材料延寿与可持续发展》丛书分册之一，是针对我国管道工程建设的实用性比较强的图书。管道的防护必须从设计、选材、制造、施工、监理、验收、维护和运行管理各个环节把关，做到防腐层和阴极保护同时达标、同时投产，长期检查维护，使管道的防护工作达到安全、可靠、经济、耐久。本书从管道防腐蚀技术人员的需要出发，分上下两篇，分别就管道防腐涂层和阴极保护技术进行介绍。

本书可为上述各环节的设计师、工程师、管理人提供决策参考，也可为工科院校学生提供管道防腐入门知识。

图书在版编目 (CIP) 数据

管道工程保护技术/张炼, 冯洪臣编著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 6
(材料延寿与可持续发展)
ISBN 978-7-122-20286-4

I. ①管… II. ①张… ②冯… III. ①管道防腐-
研究 IV. ①U177

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 068949 号

责任编辑: 段志兵 王清颢

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 宋 玮

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 16 字数 288 千字 2014 年 8 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（按姓氏拼音排序）：

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（按姓氏拼音排序）：

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

丨 总序言 丨

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。”

这实际上是涉及到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；涉及到人口的不断增长、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、摩擦磨损腐蚀、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

Handwritten signature in black ink, reading '师昌绪' (Shi Changju).

丨 总前言 丨

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。

“材料寿命”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

管道运输是当代物流行业的一个重要组成部分，油、气、水的输送直接关系到人们的生产和生活。

管道建成后，管道的腐蚀将成为重要的问题。管道的腐蚀与管道的材质、管道所处的环境、管道内所输送的介质及其温度、压力、流速有关。腐蚀的发生是一个渐变过程，经过一段时间，腐蚀严重后，才会出现管道穿孔、漏油、漏水、漏气，相继产生污染、着火、爆炸等现象，后果是伤人、损物，造成直接和间接的重大经济损失。2006年3月美国普拉德霍海湾地区输油管线腐蚀漏油，污染了大面积的苔原地带，严重影响了该地区生态环境。管道的内壁腐蚀也会引起重大事故，据美国交通部管道安全办公室数据，在过去几年天然气管道事故中，约15%的事故是由内部腐蚀所引起的，每年平均造成的财产损失高达300万美元以上。

为了保障管道的安全运行，延长管道的使用寿命，提高管道运输的经济效益，重视管道的腐蚀防护是非常必要的。管道的防护必须从设计、选材、制造、施工、监理、验收、维护和运行管理各个环节把关，做到防腐层和电化学保护同时达标、同时投产，长期检查维护，使管道的运行达到安全、可靠、经济、耐久。

目前对管道防腐层尚无统一的评价方法，本书的内容大部分来自两位编著者的工作实践，是以国内外防腐层和电化学保护的现有技术、现有的规范和国际、国内通用的技术标准为依据，经整理、归纳编写而成。希望能为上述各环节的设计师、工程师、管理人员提供决策参考，也为工科院校学生提供管道防腐入门知识。

本书共分为上、下两篇，上篇为防腐层，由张炼编写；下篇为电化学保护（阴极保护），由冯洪臣编写。全书由李金桂研究员主审。

尽管编著者竭力而为，但由于专业水平所限，疏漏及不完善之处在所难免，恳请读者谅解并批评指正。

编著者

2014年2月

欢迎订阅化学工业出版社专业图书

● 常备书目

ISBN 号	书 名	作者	单价
978712200400	管道安装施工技术	于培旺	58
9787122004758	管道工程施工与监理	张胜华	36
9787122008206	煤气输配管道及设备	田永淑	11
9787122036391	实用长输管道焊接技术	李颂宏	45
9787122058898	塑料管道施工技术	张金和	75
9787122065452	市政管道施工技术(二版)	孔进	48
9787122080752	管道工长速查	曲德仁	28
9787122095572	管道工程设计施工常见病例及防治—给排水、供热供燃气及石化管道	张金和	38
9787122121042	中高压管道带压堵漏工程	胡忆洸	38
9787122126849	实用管道工程程序技术	熊大远	69
9787122128461	管道工程作流程与禁忌	夏怡	16
9787122152626	压力管道设计及工程实例(二版)	宋岢岢	148
9787122158031	天然气管道安全	柴建设	50
9787122176417	流体、流经阀门、管件和管道的流体计算	组织编写	98
9787122192479	管道漏磁内检测技术	杨理践	18
9787502554286	长输管道安全	郑津洋	38
9787502557201	工业管道工程	于宗保	32
9787502575533	输气管道设计与管理	王树立	35
9787502576967	工艺管道 ASME B31.3 实用指南	[美]查尔斯·贝赫特	45
9787502590048	管道工操作技术 800 问	温传舟	39
9787502597832	石油化工压力管道设计手册	于浦义	125

● 《材料延寿与可持续发展》系列

序号	书 号	书名	主要作者	定价
1	-20672	材料环境适应性工程	蔡健平	69
2	-20626	现代表面工程技术与应用	李金桂	78
3	-20452	表面完整性理论与应用	高玉魁	56
4	-20532	表面耐磨损与摩擦学材料设计	高万振	49
5		再制造技术与应用	徐滨士	

续表

序号	书号	书名	主要作者	定价
6		特种合金钢选用与设计	干勇	
7	-20717	钛合金选用与设计	林翠	39
8	-20714	涂镀钢铁选用与设计	顾宝珊	89
9	-20718	现代橡胶选用设计	熊金平	46
10		工程结构损伤和耐久性	胡少伟	
11	-20286	管道工程保护技术	张炼	46
12		煤矿工程设备防护	程瑞珍	
13	-20716	可再生能源工程材料失效及预防	葛红花	39
14		核电材料老化与延寿	许维钧	
15		火力发电工程材料失效与控制	葛红花	
16	-20265	铁道装备防护	杜存山	32
17	-20655	农业机械材料失效与控制	吕龙云	30
18	-20462	海洋工程的材料失效与防护	许立坤	69
19		油气工业的腐蚀与控制	路民旭	

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: dzp@cip.com.cn

I 目录 I

上篇 管道防腐层

第1章 管道及防腐层发展史

参考文献 /005

第2章 管道材质分类

- 2.1 钢质管道 /006
- 2.2 铸铁管道 /006
- 2.3 混凝土管道 /007
- 2.4 合成材料管道 /007
- 2.5 保温管道 /008
- 2.6 其他类型管道 /008

第3章 钢质管道外壁腐蚀及防腐层

- 3.1 埋地管道 /010
 - 3.1.1 外腐蚀环境 /010
 - 3.1.2 外腐蚀等级 /013
 - 3.1.3 外防腐层要求 /013
 - 3.1.4 外防腐层种类 /019
 - 3.1.5 外防腐层的选择与设计 /020
- 3.2 架空管道 /022
 - 3.2.1 架空管道腐蚀环境 /022
 - 3.2.2 架空管道外腐蚀等级 /022
 - 3.2.3 架空管道外防腐层要求 /023
 - 3.2.4 架空管道外防腐层结构 /024
- 3.3 地沟敷设管道 /025
 - 3.3.1 地沟敷设外腐蚀环境 /025
 - 3.3.2 地沟敷设外腐蚀等级及结构 /025
- 3.4 水下管道 /026
 - 3.4.1 水下腐蚀环境 /026
 - 3.4.2 水下腐蚀等级 /026

- 3.4.3 水下防腐层要求 /027
- 3.4.4 水下防腐层种类与标准 /027

参考文献 /027

第4章 钢质管道内壁腐蚀与防腐层

- 4.1 常温普通水管道内防腐层 /028
 - 4.1.1 内腐蚀环境 /028
 - 4.1.2 内腐蚀等级 /028
 - 4.1.3 内防腐层要求 /029
 - 4.1.4 内防腐层的种类与标准 /029

4.2 含油热水管道内防腐层 /034

参考文献 /035

第5章 铸铁管道内外腐蚀与防腐层

- 5.1 铸铁管道外腐蚀环境 /036
- 5.2 铸铁管道外腐蚀等级 /036
- 5.3 铸铁管道外防腐层要求 /037
- 5.4 铸铁管道外防腐层种类及标准 /037
- 5.5 铸铁管道外防腐层等级及结构 /037
- 5.6 铸铁管道内壁腐蚀与防腐层 /038

第6章 混凝土管道内外腐蚀与防腐层

- 6.1 内外腐蚀环境 /039
- 6.2 钢筋混凝土管内外腐蚀等级 /041
- 6.3 内外防腐层要求 /042
- 6.4 内外防腐层种类与标准 /042
 - 6.4.1 内外防腐层种类 /042
 - 6.4.2 内外防腐层等级和结构 /044

第7章 管道防腐层施工技术与标准

- 7.1 表面处理 /047
- 7.2 石油沥青防腐层 /048
 - 7.2.1 施工工艺流程图及说明 /049
 - 7.2.2 防腐层等级及结构 /049
 - 7.2.3 防腐层原材料 /050
 - 7.2.4 防腐层施工工艺及控制要点 /052
 - 7.2.5 质量检查 /054
 - 7.2.6 防腐层补伤、补口 /055
 - 7.2.7 防腐层评价 /056
 - 7.2.8 小结 /057

- 7.3 煤沥青防腐层 /058
 - 7.3.1 施工工艺流程图及说明 /058
 - 7.3.2 防腐层等级及结构 /059
 - 7.3.3 防腐层原材料 /060
 - 7.3.4 防腐层施工工艺及控制要点 /062
 - 7.3.5 质量检查 /064
 - 7.3.6 防腐层补伤、补口 /065
 - 7.3.7 防腐层评价 /065
- 7.4 挤压聚乙烯防腐层 /066
 - 7.4.1 施工工艺流程图及说明 /066
 - 7.4.2 防腐层等级及结构 /067
 - 7.4.3 防腐层原材料 /067
 - 7.4.4 防腐层施工工艺及控制要点 /070
 - 7.4.5 质量检查 /071
 - 7.4.6 防腐层性能 /072
 - 7.4.7 防腐层补伤、补口 /072
 - 7.4.8 防腐层评价 /076
- 7.5 环氧煤沥青防腐层 /076
 - 7.5.1 施工工艺流程图及说明 /077
 - 7.5.2 防腐层等级及结构 /078
 - 7.5.3 防腐层原材料 /079
 - 7.5.4 防腐层施工工艺及控制要点 /081
 - 7.5.5 质量检查 /082
 - 7.5.6 防腐层补伤、补口 /083
 - 7.5.7 防腐层评价 /083
- 7.6 环氧煤沥青冷缠带防腐层 /086
 - 7.6.1 防腐层原材料 /087
 - 7.6.2 防腐层施工工艺 /088
 - 7.6.3 防腐层施工控制要点 /089
 - 7.6.4 防腐层补伤、补口 /089
 - 7.6.5 防腐层评价 /089
- 7.7 聚氨酯涂料防腐层 /090
 - 7.7.1 施工工艺流程图及说明 /091
 - 7.7.2 防腐层厚度 /091
 - 7.7.3 涂料和防腐层性能 /092
 - 7.7.4 防腐层施工工艺及控制要点 /092
 - 7.7.5 防腐层质量检查 /092

- 7.7.6 防腐层补伤、补口 /094
- 7.7.7 防腐层评价 /094
- 7.8 熔结环氧粉末防腐层 /095
 - 7.8.1 施工工艺流程图及说明 /095
 - 7.8.2 防腐层等级及结构 /096
 - 7.8.3 防腐层原材料 /096
 - 7.8.4 防腐层施工工艺及控制要点 /100
 - 7.8.5 质量检查 /101
 - 7.8.6 防腐层补伤、补口 /101
 - 7.8.7 防腐层评价 /101
- 7.9 聚乙烯胶黏带防腐层 /102
 - 7.9.1 施工工艺流程及说明 /102
 - 7.9.2 防腐层等级及结构 /103
 - 7.9.3 防腐层原材料 /103
 - 7.9.4 防腐层施工工艺及控制要点 /105
 - 7.9.5 质量检查 /105
 - 7.9.6 防腐层补伤、补口 /106
 - 7.9.7 防腐层评价 /106
- 7.10 液体环氧涂料防腐层 /107
 - 7.10.1 防腐层的涂料体系 /109
 - 7.10.2 施工工艺流程图及说明 /116
 - 7.10.3 防腐层等级与标准 /118
 - 7.10.4 防腐层施工控制要点 /118
 - 7.10.5 质量检查 /118
 - 7.10.6 防腐层补伤、补口 /119
 - 7.10.7 小结 /119
- 7.11 管道内补口施工技术 /119
 - 7.11.1 半机械化补口 /120
 - 7.11.2 自动补口机补口 /120
- 参考文献 /122
- 附录 上篇所引用的相关标准目录 /123

下篇 管道阴极保护

第8章 阴极保护原理

- 8.1 阴极保护发展历史 /126

- 8.2 电化学腐蚀电池 /127
 - 8.2.1 金属的电极电位 /127
 - 8.2.2 电化学腐蚀电池的组成 /128
 - 8.2.3 活性极化和浓度极化 /128
 - 8.2.4 电流的流动方向 /129
- 8.3 阳极电化学反应 /130
 - 8.3.1 阳极电化学反应 /130
 - 8.3.2 阴极电化学反应 /131
- 8.4 法拉第定律 /131
- 8.5 影响阴极保护效果的因素 /132
- 参考文献 /134

第9章 牺牲阳极阴极保护

- 9.1 牺牲阳极阴极保护原理 /135
- 9.2 牺牲阳极阴极保护应用 /135
 - 9.2.1 牺牲阳极阴极保护的应用场合 /135
 - 9.2.2 使用牺牲阳极注意事项 /136
- 9.3 镁牺牲阳极 /137
 - 9.3.1 镁阳极的应用 /137
 - 9.3.2 镁阳极消耗量计算 /139
- 9.4 锌牺牲阳极 /139
 - 9.4.1 锌阳极的应用 /139
 - 9.4.2 锌阳极消耗量计算 /141
- 9.5 铝牺牲阳极 /141
 - 9.5.1 铝阳极的应用 /141
 - 9.5.2 铝阳极用量计算 /143
 - 9.5.3 铝阳极电容量与表面电流密度的关系 /143
 - 9.5.4 牺牲阳极与电解液的电阻 /144
- 9.6 带状阳极 /144
- 9.7 回填料 /146

第10章 外加电流阴极保护

- 10.1 外加电流阴极保护 /147
- 10.2 外加电流阴极保护系统特点 /147
 - 10.2.1 优点 /147
 - 10.2.2 缺点 /148
- 10.3 外加电流阴极保护电源 /148