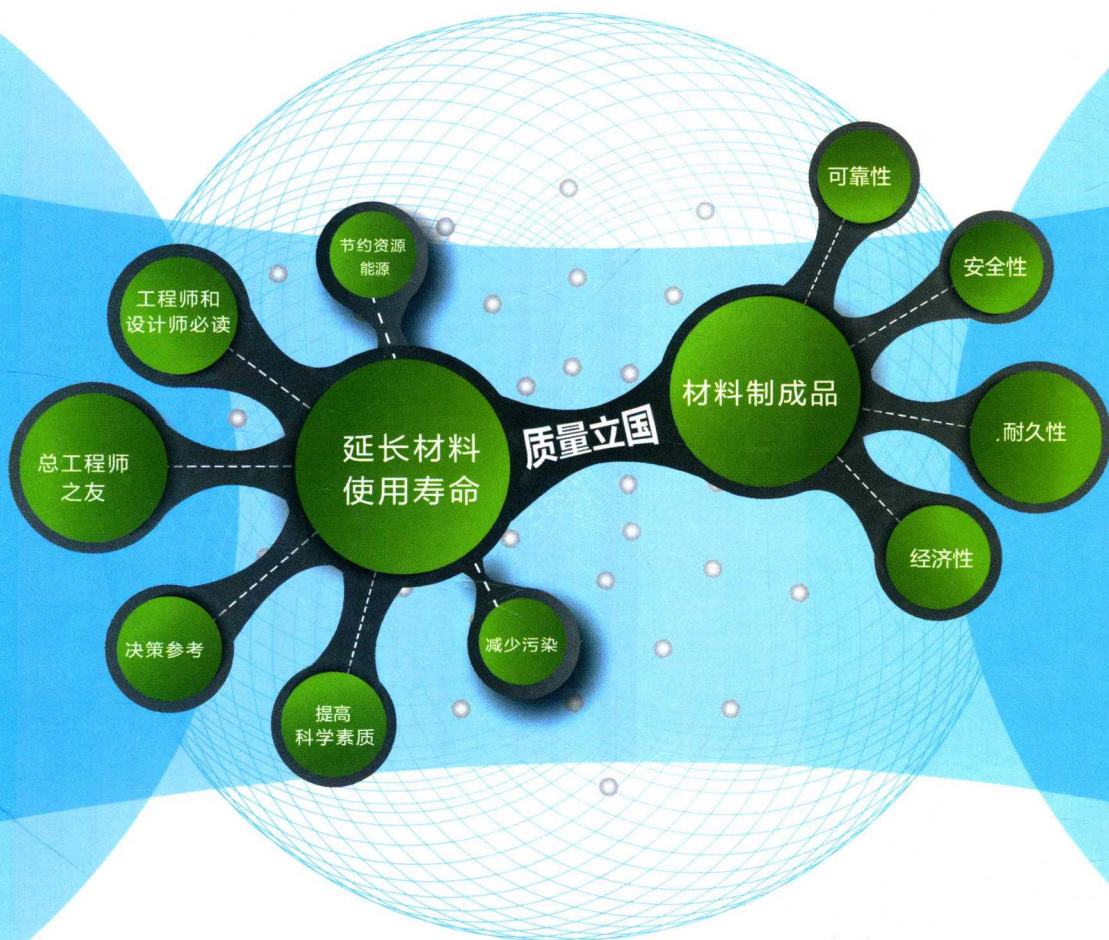


中国工程院咨询研究项目

材料延寿与可持续发展 战略研究

“材料延寿与可持续发展战略研究”重大咨询项目组
干勇 等编著



化学工业出版社

中国工程院咨询研究项目

材料延寿与可持续发展 战略研究

“材料延寿与可持续发展战略研究”重大咨询项目组
干勇 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

《材料延寿与可持续发展战略研究》是中国工程院“材料延寿与可持续发展战略研究”重大咨询项目的研究成果。该项目由中国工程院干勇、周廉、师昌绪三位院士担任项目组组长，共有近二百位专家参与研究。

全书由七个部分组成，包括材料延寿与可持续发展战略研究综合报告，以及六个有代表性的应用领域的专题报告，即制造工程、能源与电力、现代交通、化工与石化、基础设施和农业机械。报告分别就六个领域材料的应用现状、材料发展中存在的问题和材料延寿面临的挑战、材料延寿技术发展现状和差距等，进行了深入的阐述，提出了相应的观点和建议。

本书可供我国材料研究和应用的政府部门、科技界、企业界和教育界，从事腐蚀与防护、疲劳和断裂及摩擦磨损等材料失效领域研究的专家、高校师生及关心材料及制品使用安全性、可靠性、经济性和耐久性的其他社会各界人士参考。



图书在版编目 (CIP) 数据

材料延寿与可持续发展战略研究/“材料延寿与可持续发展战略研究”重大咨询项目组干勇等编著. —北京：化学工业出版社，2015.9

ISBN 978-7-122-24827-5

I. ①材… II. ①材…②干… III. ①工程材料-寿命-研究 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 179517 号

责任编辑：段志兵	文字编辑：颜克俭
责任校对：边 涛	装帧设计：韩 飞
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：三河市胜利装订厂	
787mm×1092mm 1/16 印张 47¼ 字数 1267 千字 2016 年 2 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。	

材料延寿与可持续发展战略研究

项目组成员名单

项目组组长：千 勇 周 廉 师昌绪

总体组组长：千 勇

成 员：才鸿年 才 让 陈蕴博 戴圣龙 柯 伟 侯保荣 李正邦
李金桂 师昌绪 孙传尧 屠海令 翁宇庆 王国栋 谢友柏
徐滨士 周 廉 钟志华 赵振业 张启富

第一部分 材料延寿与可持续发展战略研究综合报告

课题组顾问：才鸿年 才 让 陈蕴博 戴圣龙 屠海令 柯 伟 师昌绪
翁宇庆 孙传尧 徐滨士 周 廉

组 长：千 勇

副 组 长：李金桂 张启富

成 员：安桂华 陈建敏 杜 楠 顾宝珊 高万振 高玉魁 韩恩厚
韩雅芳 李晓刚 李树君 潘 邻 陶春虎 王光雍 王一建
魏世丞 徐昌学 应光伟 袁训华 曾凡昌 张劲泉 张 斌

项目办公室：杨 骥 袁训华 肖丽俊

第二部分 材料延寿与可持续发展战略研究专题报告

专题一 制造工程材料延寿与可持续发展战略研究

课题组顾问：千 勇 周 廉 陈蕴博 王国栋 李正邦 翁宇庆 谢友柏
才 让

组 长：顾宝珊

成 员：张启富 杨卯生 冯泽舟 王森辉 谭 锋 李维荣 张 杰
吴素云 葛学元 袁训华 肖丽俊

专题二 能源与电力工程材料延寿与可持续发展战略研究

课题组顾问：千 勇 陈蕴博 屠海令 才 让

组 长：应光伟

副 组 长：郭延军

成 员：黄学文 陈长风 张锦文 王 磊 郁祖盛 钟天宇 葛红花
陈 新 白 佳 崔立山 马 光 白新德

专题三 现代交通工程材料延寿与可持续发展战略研究

课题组顾问：才鸿年 周 廉 钟志华 赵振业 戴圣龙
组 长：陶春虎
副 组 长：张 斌
成 员：刘昌奎 陈学群 马鸣图 周清跃 那荣庆 陈 锦 尹湘荣
杜存山 韩克岑

专题四 化工与石化工程材料延寿与可持续发展战略研究

课题组顾问：王国栋 柯 伟 孙传尧
组 长：徐昌学
副 组 长：张 鹏
成 员：左 禹 帅 健 陈家庆 胡士信 陈 旭 王晓霖 张文伟
张 鹏 陶勇寅 冯 斌 单慕晓 孙 晶 陈敬和 秦晓钟

专题五 基础设施材料和结构延寿与可持续发展战略研究

课题组顾问：侯保荣 李正邦
组 长：张劲泉
副 组 长：傅宇方 徐 剑 胡少伟
成 员：刘清泉 王东林 何 鸣 牛荻涛 窦铁生 雷爱中 吕小彬
李森林

专题六 农业机械工程材料延寿与可持续发展战略研究

组 长：李树君
副 组 长：方宪法
成 员：杨炳南 张振军 关成君 宋正河 汪瑞军 吕龙云 马小斌
罗 敏 凌 刚 刘守荣 张 悦

注：第一部分对应本书第一篇；第二部分专题一～专题六，对应本书第二篇～第七篇。

序 言

在国民经济发展和社会进步的过程中,材料无疑是重要的物质基础,有时甚至是关键性因素。在过去很长一段时间内,人们往往更聚焦于材料的制造和研发,相对而言,忽视了材料的合理使用、有效利用和延寿。根据2010年之前的调查,我国材料腐蚀(含老化)造成的损失达到全国GDP的5%,磨损造成的损失约为GDP的4.5%。如此惊人的损失,应该引起各界人士、学者的高度重视。特别是在面临资源、能源约束和绿色发展的今天,材料延寿和可持续发展问题凸显出来了,实在是一个十分重要、十分紧迫的命题。

由中国工程院干勇院士领衔研究的“材料延寿与可持续发展”课题,是中国工程院立项的重大咨询项目。该咨询项目组织了材料学、材料制品设计、制造、使用、维护维修、管理等方面包括16名院士、61名教授或研究员在内的科研团队,调查和研究我国装备制造、能源电力、现代交通、化工与石化、基础设施和农业机械等6大领域的工程材料使用过程中因腐蚀、摩擦磨损和疲劳断裂造成的损失和预防措施。对我国传统工程材料的应用现状、使用寿命和环境影响有了更客观、更清晰的认识。

该研究课题从战略研究的高度上提出了“材料环境适应性”、“从设计开始的系统控制”、“全寿命周期管理”等材料合理使用和延寿思路以及一系列极具针对性的对策建议,对于今后提高材料及其制品的使用可靠性、安全性、耐久性和经济性,具有重要的经济价值和社会价值,也为科技创新驱动绿色发展提供了一条新的路径。

材料及其制品在服役、使用过程中会发生失效是一种自然现象,似乎是不可避免的,但也是可以预防 and 控制的。有研究指出,正确应用腐蚀学、摩擦学、断裂力学等方面的知识,采取得当的措施,有可能减少约1/3的失效损失。在此咨询项目中,也明确指出了我国在材料的质量稳定性、均一性方面还有许多工作要做,在材料的标准化、规范化方面有待进一步强化,材料的检测和评估体系尚欠完善,材料使用指导手册方面的工作应该进一步加强普及,材料生命周期的协同跟踪研究明显不足,材料选择、应用方面的咨询也缺位等,这些见解都具有鲜明的时代性和针对性。

材料及其制品具有可靠性、安全性、耐久性和经济性应是其质量的重要表征,在商业上甚至具有品牌效应。为了预防材料及其制品的失效、促进其延寿,需要相关各界人士共同努力,从材料设计、材料选择、材料生产与加工、材料合理使用、材料及其制品的维护、材料循环利用等方面开展工作,不断追求新的目标、新的境界。从这层意义上看,“材料延寿与可持续发展”还有必要以不同形式持续深化和扩展,例如通过“服务型制造业”,建立材料与设备服役状态大数据库,实现对服役状态的即时检测和维护等;应该看到,通过这些创新途径和技术手段,可以进一步推动材料延寿的技术进步、学术研究并不断拓展其应用领域,为相关企业产业升级、结构调整开拓新的路径。

本书系统地介绍了“材料延寿与可持续发展战略研究”的成果,内容丰富,针对性强,理论联系实际,值得有关企业、高等院校、科研、设计、咨询单位和政府有关部门参考和研究。

中国工程院院士 殷卫红
2015年11月

前言

几十年来,我国的金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料的研究和生产有了巨大的发展,成为世界材料生产、销售和消费大国。多年来我国的钢铁、有色金属、水泥、布匹等 137 项材料产量位居世界第一,支撑“中国制造”的产品遍布全球,“中国建造”的工程项目遍布全国乃至世界上许多国家,支撑了我国经济建设连续 30 多年 GDP 的高速发展,支撑我国发展成为世界上第二大经济体。

但发展也带来了新问题,一个是高速发展带来的能源、资源的巨大消耗和环境的严重污染,另一个是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,引发中国制造的产品或工程项目过早失效甚至引发事故。2010 年之前的调查表明,腐蚀(含老化)造成的损失达到我国 GDP 的 5%,磨损造成的损失达到 GDP 的 4.5%,疲劳断裂也有类似的损失,严重的损失影响国家的可持续发展。为了维持国家可持续发展,预防和控制材料及其制品的过早失效已经刻不容缓。

为此,中国工程院 2011 年批准了“材料延寿与可持续发展战略研究”重大咨询项目(编号 2011-ZD-20)。在干勇、周廉、师昌绪三位院士的领导下,项目组把 26 个行业的工程材料,归纳成六个课题:制造工程、能源和电力工程、现代交通工程、化工和石油化工工程、基础设施工程和农业机械工程等,相应地组建了六个课题组,分别依托钢铁研究总院、华电电力科学研究院、北京航空材料研究院、中国石油天然气管道科学研究院、交通运输部公路科学研究院、中国农业机械化科学研究院,项目总体组依托钢铁研究总院。

项目组邀请了材料、材料制品设计、制造、使用、维护维修、管理专家、学者 90 余人(其中院士 16 人,教授或研究员 61 人),于 2012 年 4 月启动,就材料延寿技术在经济建设中的成就、贡献、现状、差距、问题、措施和建议开展调查研究。各课题组按照“材料及其制品使用可靠性与耐久性的国内外现状和发展趋势、差距、紧迫感、发展思路、相关技术、结论和建议”内容的要求,提出了提高材料及制品使用可靠性、安全性、耐久性和经济性,提高使用寿命、减少资源消耗,减少环境污染措施的咨询建议,为国家建设“资源节约型”、“环境友好型”及和谐社会可持续发展战略服务。

项目研究工作至 2013 年 12 月底基本结束,撰写了研究报告。项目研究报告包括一份项目咨询总报告,即《材料延寿与可持续发展战略研究综合报告》(对应本书第一篇),以及六份课题专项咨询报告,即《制造工程材料延寿与可持续发展战略研究报告》、《能源与电力工程材料延寿与可持续发展战略研究报告》、《现代交通工程材料延寿与可持续发展战略研究报告》、《化工与石化工程材料延寿与可持续发展战略研究报告》、《基础设施材料和结构延寿与可持续发展战略研究报告》和《农业机械工程材料延寿与可持续发展战略研究报告》(分别对应本书第二篇~第七篇)。

同时,作为项目研究成果重要组成部分,“材料延寿与可持续发展”丛书(第一批 19 分册,近 700 万字)2013 年全面完稿,2014 年出齐。这套丛书邀请了 70 余位专家、教授组成总编委会和顾问委员会,深入、系统地阐述了材料延寿与可持续发展的基础理论、材料选择、应用领域等。

2014 年 8 月的中国工程院化工、冶金与材料学部验收会议肯定了项目的研究成果，建议材料延寿的研究继续进行，不断地推进我国可持续发展战略。

为了总结和推广应用重大咨询项目的研究成果，项目组决定将研究报告进行系统整理，出版这本《材料延寿与可持续发展战略研究》。希望“材料延寿”的概念在材料研发、材料应用的各个经济和工业领域深入人心，对材料及其制品在服役环境作用下出现腐蚀、老化、磨损和断裂而引发过早失效进行预防与控制，尽可能地提高材料及其制品的使用可靠性、安全性、经济性和耐久性，尽可能地延长其使用寿命，节约资源能源，减少环境污染，支持国家可持续发展。

材料延寿与可持续发展战略研究项目组

2015 年 6 月

目 录

第一篇 材料延寿与可持续发展战略研究综合报告

第 1 章 绪论

3

- 1.1 材料的作用与贡献 3
- 1.2 材料及其制件应该具有尽可能长的使用寿命 11
- 1.3 系统工程及其管理在国内外已经取得成效 13

第 2 章 中国材料发展的辉煌成就

16

- 2.1 中国已经成为世界材料生产、销售和消费大国 16
- 2.2 材料品种规格基本满足建设需求 16
- 2.3 环境适应性材料得到快速发展 16
- 2.4 材料检测技术得到相应提高 17
- 2.5 自然环境模拟试验网站已初具规模 17
- 2.6 电子电器产品环境试验取得相应进步 18
- 2.7 运行环境模拟实验取得长足进展 18
- 2.8 “材料延寿”工程已启动并积累丰富经验 18

第 3 章 材料发展的差距、问题及面临的挑战和机遇

21

- 3.1 材料发展的差距、问题及面临的挑战 21
- 3.2 材料延寿与可持续发展的机遇 25

第 4 章 世界性的课题及材料延寿工程技术

26

- 4.1 材料延寿是世界性的共同课题 26
- 4.2 材料延寿工程技术和措施 27

第 5 章 主要应用领域材料延寿现状、差距与建议

31

- 5.1 制造工程 31
- 5.2 能源和电力工程 33
- 5.3 现代交通工程 34
- 5.4 化工与石化工程 37
- 5.5 基础设施工程 39

5.6 农业机械工程 41

第6章 加速推进材料延寿与可持续发展战略的建议 **44**

6.1 开展基础件系统的耐久性、安全性、可靠性研究以满足各行业的需求 44

6.2 建立油气管网及材料失效预防实时监测系统 44

6.3 开展在役基础设施材料耐久性发展战略研究 45

6.4 开展国产农机降低事故率及提高可靠性战略研究 45

6.5 在工业领域大力推进材料失效预防和控制系统工程 45

6.6 加强材料加工及其相关技术的投入 45

6.7 建立国家级的材料延寿安全服役系统控制归口管理机构、技术创新平台和标准化体系 46

6.8 继续开展“材料安全服役系统控制与可持续发展战略研究” 46

6.9 继续编写《材料延寿与可持续发展》系列图书 46

参考文献 **48**

第二篇 制造工程材料延寿与可持续发展战略研究

第1章 概述 **53**

1.1 制造工程材料是我国制造业与装备制造业跃居世界前列的基础 ... 53

1.2 装备制造业的发展对制造工程材料提出更高要求 57

1.3 制造工程材料对装备制造业的影响 58

1.4 制造工程材料技术水平与发达国家的差距 60

1.5 制造工程材料及制品的延寿 62

1.6 基础制造工程材料的作用 64

第2章 齿轮轴承材料延寿 **67**

2.1 齿轮与轴承行业发展现状 67

2.2 齿轮轴承材料及其构件发展差距 70

2.3 轴承齿轮材料与构件失效及影响因素 75

2.4 材料磨损状态检测与控制 86

2.5 我国制造工程中齿轮轴承的发展设想、对策与建议 87

第3章 模具材料延寿 **90**

3.1 模具材料的现状及发展前景 90

3.2 我国模具材料的应用现状 95

3.3 模具材料性能要求与失效形式 101

3.4 模具寿命及其影响因素 111

3.5 模具材料延寿技术在制造工程领域的应用现状 115

3.6	模具材料未来的发展重点	117
-----	-------------------	-----

	第4章 机械密封和填料静密封材料延寿	119
---	---------------------------	------------

4.1	机械密封和填料静密封材料的发展现状及战略意义	119
4.2	机械密封和填料静密封材料的使用现状与差距	120
4.3	密封材料的失效形式及影响因素	123
4.4	延寿技术在密封材料领域的应用	128
4.5	密封材料延寿与持续发展对策	132

	第5章 橡塑密封材料延寿	134
---	---------------------	------------

5.1	橡塑密封材料的发展现状和发展趋势	134
5.2	橡塑密封材料的应用现状和发展需求	137
5.3	橡塑密封材料的失效形式与影响因素	139
5.4	橡塑密封材料的延寿设计与制造	142
5.5	表面工程在橡塑密封材料领域中的应用	144
5.6	橡塑密封材料延寿的系统工程	146
5.7	橡塑密封材料延寿的目标、设想和建议	148

	第6章 紧固件材料延寿	149
---	--------------------	------------

6.1	紧固件在制造业中的战略作用	149
6.2	我国紧固件现状	150
6.3	紧固件失效形式与影响因素	159
6.4	紧固件延寿设计与制造	160
6.5	表面工程在紧固件制造领域的应用	161
6.6	紧固件延寿系统工程	161
6.7	紧固件延寿的目标、设想和建议	162

	第7章 我国基础件材料延寿发展对策与建议	164
---	-----------------------------	------------

7.1	我国基础件材料延寿发展技术思考	164
7.2	我国基础件行业发展思考	166

	参考文献	169
---	-------------	------------

第三篇 能源与电力工程材料延寿与可持续发展战略研究

	第1章 能源与电力行业现状与展望	173
---	-------------------------	------------

1.1	煤炭行业	173
1.2	石油及天然气行业	174
1.3	燃煤发电行业	174
1.4	燃气发电行业	174

1.5	水力发电行业	175
1.6	核能发电行业	175
1.7	风力发电行业	175
1.8	太阳能发电行业	176
1.9	电网工程	176

第2章 关键设备与部件材料的应用现状 177

2.1	煤机行业	177
2.2	石油及天然气行业	178
2.3	燃煤发电行业	179
2.4	燃气发电行业	180
2.5	水力发电行业	180
2.6	核能发电行业	181
2.7	风力发电行业	181
2.8	太阳能发电行业	182
2.9	电网工程	183

第3章 关键设备与部件的材料失效 185

3.1	煤炭行业	185
3.2	石油及天然气行业	190
3.3	燃煤发电行业	195
3.4	燃气发电行业	204
3.5	水力发电行业	205
3.6	核能发电行业	217
3.7	风力发电行业	233
3.8	太阳能发电行业	239
3.9	电网工程	244

第4章 能源与电力行业的可持续发展对材料及材料延寿技术的要求 256

4.1	煤炭行业	256
4.2	石油及天然气行业	256
4.3	先进技术在燃煤发电行业材料延寿中的应用	264
4.4	燃气发电行业	266
4.5	水力发电行业	273
4.6	核能发电行业	284
4.7	风力发电行业	298
4.8	太阳能发电行业	305
4.9	电网工程	308

第5章 对策与建议 317

5.1	煤炭行业	317
-----	------------	-----

5.2 石油及天然气行业 318

5.3 燃煤发电行业 319

5.4 燃气发电行业 319

5.5 水力发电行业 320

5.6 核电发电行业 324

5.7 风力发电行业 325

5.8 太阳能发电行业 328

5.9 电网工程 329

参考文献 332

第四篇 现代交通领域材料延寿与可持续发展战略研究

第1章 概述 339

1.1 现代交通领域材料的现状与发展需求 339

1.2 现代交通领域材料与结构的损伤及危害 344

1.3 现代交通领域中材料延寿的作用与意义 344

第2章 我国现代交通领域材料应用现状 346

2.1 铁路 346

2.2 公路 354

2.3 船舶与海洋工程 360

2.4 航空航天 365

2.5 先进国家现状 369

2.6 我国与先进国家主要差距 375

第3章 我国现代交通领域材料提前失效形式 381

3.1 铁路 381

3.2 公路 382

3.3 船舶与海洋工程 385

3.4 航空航天 394

3.5 现代交通领域材料失效案例分析 399

第4章 我国现代交通领域材料提前失效的影响因素 407

4.1 材料选用的影响 407

4.2 设计的影响因素 409

4.3 生产过程的影响因素 411

4.4 服役环境的影响因素 412

4.5 维护与维修和管理的影响 413

→	第 5 章 材料延寿技术在现代交通领域的应用现状	415
	5.1 先进设计技术	415
	5.2 先进材料技术	417
	5.3 先进制造加工技术	420
	5.4 先进设备	421
	5.5 先进的维修技术	423
	5.6 材料服役行为预测与安全评估技术	424
	5.7 材料延寿的“末端治理”与“源头治理”	428
	5.8 现代交通领域材料延寿的典型实例	429
→	第 6 章 现代交通领域材料延寿的对策与建议	434
	6.1 材料研制和使用的全寿命管理和成本体系	434
	6.2 材料应用的规范化、标准化	436
	6.3 材料的科学使用体系	438
	6.4 材料延寿中的损伤与失效分析技术	440
	6.5 基础研究与应用研究相结合, 创新开发高性能结构材料	442
	6.6 狠抓装备使用管理与人的综合素质培养	442
	6.7 编制具有指导意义的各类手册	443
→	参考文献	444

第五篇 化工与石化工程材料延寿与可持续发展战略研究

→	第 1 章 石化工程材料延寿与可持续发展战略	447
	1.1 炼油工程专用设备典型材料、结构的延寿	447
	1.2 石化工程专用设备典型材料、结构的延寿	455
	1.3 石油化工典型通用设备及配件的材料、结构的延寿	462
→	第 2 章 化学工业材料延寿与可持续发展战略	465
	2.1 概述	465
	2.2 化学工业设备设施的应用现状及发展趋势	477
	2.3 工程成套及总承包设计能力国内外分析对比	478
	2.4 化工防腐蚀科技研究与工程材料延寿展望	479
→	第 3 章 油气储运工程材料延寿与可持续发展战略	481
	3.1 油气储运工程材料的发展现状	482
	3.2 管道延寿措施与可持续发展方向	493
	3.3 储罐延寿措施与可持续发展方向	496
	3.4 油气储运工程材料延寿的结论和建议	501

第 4 章 城市燃气工程材料延寿与可持续发展战略	503
4.1 城市燃气工程材料应用现状及发展趋势	503
4.2 城市燃气主要设备材料延寿的对策建议	532
4.3 城市燃气常用储存设施材料延寿的对策建议	543
4.4 城市燃气管网材料延寿的对策建议	546
参考文献	552

第六篇 基础设施材料和结构延寿与可持续发展战略研究

第 1 章 基础设施发展及材料应用现状	561
1.1 公路基础设施及材料应用现状	561
1.2 港口工程基础设施及材料应用现状	565
1.3 水利工程基础设施及材料应用现状	568
1.4 工民建基础设施及材料应用现状	570
第 2 章 主要材料、制品的寿命及基础设施的失效状况	574
2.1 道路基础设施	574
2.2 桥梁基础设施	576
2.3 港口工程基础设施	579
2.4 水利工程基础设施	580
2.5 工民建基础设施	591
第 3 章 基础设施材料与结构寿命的预测评估体系及方法	595
3.1 道路基础设施	595
3.2 桥梁基础设施	597
3.3 港口工程基础设施	599
3.4 水利工程基础设施	601
3.5 工民建基础设施	603
第 4 章 基础设施材料延寿技术现状及发展趋势	605
4.1 道路基础设施	605
4.2 桥梁基础设施	609
4.3 港口工程基础设施	610
4.4 水利工程基础设施	613
4.5 工民建基础设施	615
第 5 章 在役基础设施延寿技术现状及发展趋势	616
5.1 道路基础设施	616

5.2	桥梁基础设施	620
5.3	港口工程基础设施	620
5.4	水利工程基础设施	622
5.5	工民建基础设施	625
	第6章 基础设施材料与结构延寿及可持续发展的战略思考	627
6.1	道路基础设施	627
6.2	桥梁基础设施	629
6.3	港口工程基础设施	630
6.4	水利工程基础设施	631
6.5	工民建基础设施	633
	第7章 基础设施材料与结构延寿及可持续发展的对策建议	634
7.1	道路基础设施	634
7.2	桥梁基础设施	635
7.3	港口工程基础设施	636
7.4	水利工程基础设施	636
7.5	工民建基础设施	637
	第8章 总结	638
	参考文献	639

第七篇 农业机械工程材料延寿与可持续发展战略研究

	第1章 我国农机工业的发展历程、现状及趋势	643
1.1	我国农业机械化的发展水平	643
1.2	我国农机工业的发展历程	646
1.3	“十一五”以来农机工业的发展水平	648
1.4	农机工业存在的问题	649
1.5	农机工业的发展机遇与挑战	650
	第2章 我国农业机械的作业特点	652
2.1	农业机械种类	652
2.2	农业机械作业环境	652
2.3	农业机械作业要求	655
	第3章 我国农机工程材料及工艺的应用	656
3.1	我国农机工程材料及工艺现状	656

3.2 我国农机工程材料及工艺与先进国家的差距	663
-------------------------------	-----

 第4章 我国农机关键零部件失效分析	672
4.1 失效的主要形式	672
4.2 失效的影响因素	682
4.3 农机典型关键零部件失效案例	692
 第5章 表面工程技术在农机制造中的应用	699
5.1 堆焊技术	699
5.2 热喷涂技术	702
5.3 表面保护涂层技术	706
 第6章 农机工程材料延寿的系统工程	711
6.1 合理选材	711
6.2 全寿命周期设计	712
6.3 先进加工技术和设备	713
6.4 检测与质量控制	720
6.5 科学管理	722
6.6 节材、节能，环境友好与可持续发展	725
 第7章 农机工程材料延寿建议	728
 附录 建议开展的科研课题	730
 参考文献	731