



材料延寿与可持续发展

煤矿工程 设备防护

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
程瑞珍 袁训华 编 著



化学工业出版社



材料延寿与可持续发展

煤矿工程 设备防护

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
程瑞珍 袁训华 编 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统地介绍了煤矿的生产环境,煤矿设备的腐蚀、磨蚀、疲劳状况,浅显地阐述了腐蚀、磨蚀机理,分析了影响煤矿设备寿命的诸多因素,提出了煤矿设备的防护措施,以及近些年来材料失效防护技术在矿山工程中的应用施工实例。

本书可供从事矿山材料失效防护工作的广大工程技术人员及技术工人阅读使用,也可供从事军工、水电、水利、隧道、城建、管道输送等地下工程的有关人员参考、借鉴,以及大专院校有关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿工程设备防护/程瑞珍,袁训华编著. —北京:
化学工业出版社, 2014. 9
(材料延寿与可持续发展)
ISBN 978-7-122-21434-8

I. ①煤… II. ①程…②袁… III. ①煤矿-机电设备-防护 IV. ①TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 168137 号

责任编辑:王清颀 段志兵

文字编辑:杨一帆

责任校对:王素芹

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17³/₄ 字数332千字 2015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。

定 价: 50.00 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。从

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

师昌绪

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。

编写“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。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”发展战略有所贡献。

中国工程院副院长
中国工程院院士



I 前言 I

材料的腐蚀磨损和断裂失效是普遍存在而又非常严重的问题，涉及国民经济的各个领域和人民生活的方方面面，往往对国民经济发展产生巨大的影响。每年由于材料腐蚀磨损和断裂等造成的直接和间接损失是非常惊人的，由于防护措施不力，造成材料报废、设备短寿、更换频繁，尤其矿山、化工、冶金等行业的材料腐蚀、磨损和断裂情况更为严重。

经过多年的实践，采矿行业逐步认识到，虽然材料失效是不可避免的，但只要能采取得力的防护措施，就可以使煤矿装备材料延寿，就可以使设备提高服务年限，这对安全生产和提高经济效益都有明显效果，因此对煤矿装备失效系统控制工作的重视程度正在逐年提高。

受《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会的邀请，笔者编写了本书，以供从事矿山装备失效系统控制工作的广大工程技术人员使用，以及从事军工、水电、水利、城建等地下工程的有关人员参考、借鉴。

本书针对矿山井下环境及露天煤矿作业的实际情况，从简单的材料失效机理到各类防护工程的施工工艺、技术，做了比较全面且实用的介绍。内容力图简明扼要，实用正确，希望能够给予从事矿山和其他行业地下工程钢构件的防护工作者提供有益的帮助。

由于材料的腐蚀、磨损和断裂是一门综合性的学科，涉及的知识面很广，应用的技术、工艺、材料繁多，书中不妥之处，恳请广大读者和有关专家批评、指正。

本书编写过程中得到了中航工业北京航空材料研究院李金桂研究员的鼎力支持和悉心关照，不仅对编写大纲及资料收集给予了具体帮助，还为本书稿做了仔细地审查和修改，谨在此表示感谢。中国矿业大学的吕向前博士在本书编写过程中给予了很大的帮助，在此一并表示由衷感谢！

编著者

I 目录 I

第 1 章 绪言

- 1.1 煤炭产业的诞生和发展 /002
 - 1.1.1 煤炭产业的诞生 /002
 - 1.1.2 煤炭产业的发展 /002
 - 1.1.3 煤化工的出现 /002
- 1.2 煤炭产业的繁荣 /003
 - 1.2.1 煤钢时代的来临 /003
 - 1.2.2 煤炭产量的增加 /003
 - 1.2.3 煤化工的全面发展 /003
- 1.3 煤炭产业的萧条时期 /004
 - 1.3.1 煤炭统治地位丧失 /004
 - 1.3.2 传统煤矿衰落 /004
 - 1.3.3 煤化工行业萧条时期 /005
- 1.4 煤炭产业的再发展时期 /005
- 1.5 煤炭产业现代化技术应用 /006
- 1.6 世界煤炭的储量与发展现状 /008
- 1.7 我国煤炭行业发展现状与趋势 /009
 - 1.7.1 我国煤炭行业发展现状 /009
 - 1.7.2 我国煤炭行业的发展趋势 /012
- 1.8 煤炭在我国能源建设中作用与地位 /013
- 1.9 我国煤矿工程的特点 /014
 - 1.9.1 生产环境恶劣 /015
 - 1.9.2 矿井建设周期长 /016
 - 1.9.3 工作场地经常移动 /016
 - 1.9.4 需要大量井巷工程和金属材料 /017
- 1.10 煤炭工业分类 /017
 - 1.10.1 煤炭生产 /017
 - 1.10.2 煤炭加工 /018
 - 1.10.3 煤炭转化 /018
 - 1.10.4 煤炭化工 /018
- 参考文献 /019

第2章 煤矿生产设备及其服役状况

- 2.1 煤矿生产设备简介 /020
 - 2.1.1 露天装备 /020
 - 2.1.2 井工开采装备 /024
 - 2.1.3 洗选装备 /041
 - 2.1.4 采、掘、运设备 /045
 - 2.1.5 通风与排水 /046
 - 2.1.6 其他 /047
- 2.2 煤矿井下的环境特点 /047
 - 2.2.1 空气 /048
 - 2.2.2 矿井涌水 /048
 - 2.2.3 土壤 /049
 - 2.2.4 地温 /050

参考文献 /050

第3章 煤矿生产设备的腐蚀

- 3.1 煤矿生产设备的腐蚀状况 /051
 - 3.1.1 井筒装备腐蚀状况 /051
 - 3.1.2 煤矿井下托辊的腐蚀 /055
 - 3.1.3 液压支柱的腐蚀 /057
 - 3.1.4 煤矿洗选设备的腐蚀 /060
 - 3.1.5 其他金属设备的腐蚀 /064
- 3.2 煤矿生产设备的主要腐蚀类型 /066
 - 3.2.1 化学腐蚀 /066
 - 3.2.2 电化学腐蚀 /066
 - 3.2.3 大气腐蚀 /067
 - 3.2.4 矿井水腐蚀 /070
 - 3.2.5 冲刷腐蚀 /070
 - 3.2.6 土壤腐蚀 /070
 - 3.2.7 电偶腐蚀 /071
 - 3.2.8 应力腐蚀 /071
 - 3.2.9 缝隙腐蚀 /072
 - 3.2.10 孔腐蚀 /072
 - 3.2.11 接触腐蚀 /073
- 3.3 煤矿生产设备防腐蚀的措施 /073
 - 3.3.1 井筒装备的涂装防护 /073

- 3.3.2 煤矿钢结构的防腐蚀 /078
- 3.3.3 煤矿井下托辊防腐蚀的措施 /081
- 3.3.4 煤矿井下金属零件腐蚀的防护措施 /081
- 3.3.5 液压支柱的防腐蚀措施 /083
- 3.3.6 洗煤设备的腐蚀防护 /085

参考文献 /087

第4章 煤矿生产设备的磨损与磨蚀

- 4.1 煤矿设备的磨蚀状况 /092
 - 4.1.1 破碎机的磨损 /093
 - 4.1.2 球磨机磨损 /094
 - 4.1.3 刮板输送机磨损 /096
 - 4.1.4 采煤机磨损 /100
 - 4.1.5 掘进机磨损 /102
 - 4.1.6 提升机磨损 /102
 - 4.1.7 胶带输送机磨损 /104
 - 4.1.8 耙斗装载机磨损 /105
 - 4.1.9 矿车磨损 /106
 - 4.1.10 振动筛磨损 /106
 - 4.1.11 锚护设备关键零部件的磨损 /107
 - 4.1.12 履带式行走设备的履带板磨损失效 /108
 - 4.1.13 其他矿山机械设备的磨损 /108
- 4.2 煤矿机械磨损失效的主要类型 /109
 - 4.2.1 黏着磨损 /110
 - 4.2.2 磨料磨损 /112
 - 4.2.3 表面疲劳磨损 /117
 - 4.2.4 腐蚀磨损 /119
- 4.3 影响煤矿机械磨损的主要因素 /121
- 4.4 煤矿设备的磨蚀特性 /127
 - 4.4.1 煤水浆体浓度对煤矿设备磨蚀的影响 /127
 - 4.4.2 pH值对煤矿设备磨蚀的影响 /127
 - 4.4.3 煤炭的腐蚀磨损特性 /127
 - 4.4.4 煤矿设备的腐蚀—磨损的交互作用机制 /129
- 4.5 煤矿机械的磨损失效规律 /130
- 4.6 磨损过程和磨损的测量 /132
 - 4.6.1 磨损的过程 /132
 - 4.6.2 磨损的测量 /133

- 4.7 减少煤矿生产设备磨损和磨蚀的措施 /135
 - 4.7.1 重视摩擦学理论的应用 /135
 - 4.7.2 合理的结构设计 /136
 - 4.7.3 合适材料的选取 /136
 - 4.7.4 适当的表面设计 /137
 - 4.7.5 把握正确的磨损规律,降低磨损率 /138
 - 4.7.6 润滑技术设计 /138
 - 4.7.7 正确的使用、维修与保养 /139

参考文献 /140

第5章 煤矿生产设备的疲劳断裂

- 5.1 煤矿生产设备的疲劳断裂状况 /144
 - 5.1.1 截割机构的疲劳断裂 /144
 - 5.1.2 回转机构的疲劳断裂 /145
 - 5.1.3 煤矿机械传动齿轮的疲劳断裂 /146
- 5.2 煤矿生产设备疲劳断裂的主要类型 /150
 - 5.2.1 韧性断裂失效 /150
 - 5.2.2 脆性断裂失效 /152
 - 5.2.3 疲劳断裂失效 /154
- 5.3 煤矿生产设备疲劳断裂的影响因素 /156
 - 5.3.1 成分和夹杂物的影响 /156
 - 5.3.2 材料表面状态的影响 /157
 - 5.3.3 微观组织结构的影响 /157
 - 5.3.4 疲劳载荷的影响 /158
 - 5.3.5 外部环境的影响 /159
- 5.4 减少煤矿生产设备疲劳断裂的措施 /159

参考文献 /160

第6章 矿山井下设备的材料防护

- 6.1 材料的选择 /163
 - 6.1.1 矿用金属材料 /164
 - 6.1.2 矿用非金属材料 /166
- 6.2 防护涂装前的表面处理 /169
 - 6.2.1 表面处理与防腐效果的关系 /169
 - 6.2.2 除锈质量等级的划分 /170
 - 6.2.3 矿山设备常用的表面处理方法 /172
- 6.3 提高材料使用寿命的防腐保护层 /181

- 6.3.1 涂料保护层 /181
- 6.3.2 非金属保护层 /185
- 6.3.3 金属保护层 /186
- 6.3.4 搪瓷保护层 /188
- 6.4 减少材料磨损的表面强化层 /189
 - 6.4.1 表面淬火 /189
 - 6.4.2 化学热处理 /190
 - 6.4.3 表面镀覆 /192
 - 6.4.4 表面冶金强化层 /195

参考文献 /198

第7章 露天矿山设备的损伤与防护

- 7.1 露天煤矿 /199
 - 7.1.1 简介 /199
 - 7.1.2 矿岩预松碎过程 /200
 - 7.1.3 采装工艺 /200
 - 7.1.4 运输工艺 /200
 - 7.1.5 排卸工艺 /201
 - 7.1.6 辅助生产环节 /201
- 7.2 露天煤矿设备的腐蚀与磨蚀 /202
 - 7.2.1 露天煤矿的环境特点 /202
 - 7.2.2 露天矿山设备腐蚀磨蚀状况 /202
 - 7.2.3 露天矿山设备的主要腐蚀形态 /203
- 7.3 露天采矿设备的防护 /205
 - 7.3.1 材料的选择 /205
 - 7.3.2 涂层防护 /208
 - 7.3.3 金属电镀防护层 /210
 - 7.3.4 涂装前的表面处理 /210
 - 7.3.5 传动部件的防护 /211
 - 7.3.6 排水系统的防护 /212

参考文献 /213

第8章 防护技术在矿山工程中的应用实例

- 8.1 新建矿井井筒装备防腐施工 /214
 - 8.1.1 材料的选择 /215
 - 8.1.2 表面处理方法 /215
 - 8.1.3 表面保护涂层 /218

- 8.1.4 电化学保护 /222
- 8.1.5 玻璃钢复合材料 /223
- 8.2 矿用钢丝绳的防腐蚀 /224
 - 8.2.1 材料的选择 /224
 - 8.2.2 结构的选择 /225
 - 8.2.3 矿用钢丝绳的防护 /226
 - 8.2.4 钢丝绳贮存的日常管理 /228
- 8.3 矿车的防腐蚀、防黏结涂装 /228
- 8.4 提升容器（罐笼、箕斗）的防腐蚀 /229
 - 8.4.1 涂料防护 /230
 - 8.4.2 热喷铝防护 /230
 - 8.4.3 轻型耐蚀合金提升容器 /231
- 8.5 酸性水矿井排水系统防腐蚀 /231
 - 8.5.1 泵、阀的防腐蚀 /232
 - 8.5.2 弯头、三通等的防腐蚀方法 /232
 - 8.5.3 排水管道防腐蚀方法 /233
- 8.6 液压支架（柱）防护 /234
 - 8.6.1 液压支架活塞柱、缸体的防腐蚀 /234
 - 8.6.2 液压支架各种阀类防腐蚀 /237
 - 8.6.3 液压支架其他部位的防腐蚀涂装 /238
 - 8.6.4 单体液压支柱的防腐蚀 /239
 - 8.6.5 单体液压支柱的维修 /239
- 8.7 通风机防腐蚀 /239
- 8.8 矿用电气设备防腐蚀 /241
 - 8.8.1 矿用电器防腐涂料的特殊要求 /241
 - 8.8.2 防锈底漆 /241
 - 8.8.3 防护面漆 /241
 - 8.8.4 涂装前的表面处理 /242
 - 8.8.5 涂层涂装 /242
 - 8.8.6 漆膜的干燥条件和施工的时间间隔 /243
 - 8.8.7 涂料的配套使用 /243
- 8.9 矿山机械设备的防腐蚀涂装 /243
 - 8.9.1 井下机械设备的防腐蚀涂装 /244
 - 8.9.2 露天机械设备的防腐蚀涂装 /245
- 8.10 挖掘机斗齿磨损的防护 /246
- 8.11 生产矿井井筒装备的防腐蚀维护 /247

- 8.11.1 防腐蚀维护前的表面处理 /247
- 8.11.2 防腐涂料 /247
- 8.11.3 涂装施工 /248
- 8.12 大型地面钢构件的防腐蚀涂装 /248
 - 8.12.1 热浸镀锌防护层 /248
 - 8.12.2 热喷锌、热喷铝防护层 /249
 - 8.12.3 防护涂料 /249
- 8.13 洗选设备的防护方法 /250
 - 8.13.1 金属材料的选择 /251
 - 8.13.2 衬陶瓷 /251
 - 8.13.3 铺、衬铸石 /252
 - 8.13.4 衬橡胶 /252
 - 8.13.5 衬塑料 /252
- 8.14 煤气柜的防腐蚀施工 /253
- 参考文献 /255

索引