



中国腐蚀与防护学会  
著作出版基金

材料延寿与可持续发展

# 绿色清洗与防锈技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写  
李金桂 袁训华 编 著



化学工业出版社



中国腐蚀与防护学会  
著作出版基金

材料延寿与可持续发展

# 绿色清洗与防锈技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写  
李金桂 袁训华 编 著



化学工业出版社

· 北京 ·

金属产品的清洗除锈、金属设备的清洗防锈是腐蚀控制系统工程的重要环节。

本书全面介绍了多年来在我国形成的清洗剂、除锈剂、防锈剂及其所用的缓蚀剂，内容包括作用机理、选定原则、实施要点、注意事项等。结合绿色清洗与环保工艺，重点介绍了除锈、清洗和防锈工作中的关键技术，列举了部分典型的工艺配方。

本书可供金属产品的生产、机械设备的维修、专业清洗技术人员、工人、管理人员阅读参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

绿色清洗与防锈技术/李金桂, 袁训华编著. —北京: 化学工业出版社, 2017. 12

(材料延寿与可持续发展)

ISBN 978-7-122-30864-1

I. ①绿… II. ①李…②袁… III. ①除锈剂-无污染技术  
②防锈剂-无污染技术 IV. ①TG174.42②TQ047.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 263516 号

---

责任编辑: 刘丽宏 段志兵 卢萌萌

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 边涛

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: 三河市延风印装有限公司

装订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$  字数 296 千字 2017 年 12 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: 69.00 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

中国航发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

Handwritten signature in black ink, reading '邵昌钧' (Shao Changjun).

# 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



# | 前言 |

金属材料及其制品制造过程中需要清除污垢和锈蚀产物，进行工序间的防锈；制成成品之后，在交货、待命或使用过程中要防锈，进行清洗、除锈，再进行防锈。唯如此，才能达到延长制品使用寿命、减少维修、减少污染、节约经费的目的。

绿色清洗就是在圆满完成清洗任务的同时不危害环境，就是将物体表面受到的物理、化学或生物作用而形成的污染物或覆盖物（称为污染）去除干净，而使其恢复原表面状况的过程中符合环保要求。

清洗（污垢的去除）、除锈（锈蚀产物的清洗去除）、防锈（防锈材料的施加）的过程是一个复杂的物理、化学、电化学过程。清洗，需要彻底去除污垢和锈蚀产物，但又不能损伤金属零部件本身，要达到这个目的，需要研究清洗液和除锈剂，使其能清洗污垢去除锈蚀产物，遇到洁净的金属表面时这个化学或电化学过程就应该停止。办法就是在清洗剂或除锈剂中加入适量的缓蚀剂，根据清洗液或除锈剂的酸性或碱性，选用不同成分和用量的缓蚀剂。

清洗、除锈、防锈的环保既包括生产全过程的控制，又包括最终产品的控制，还包括清洗剂、除锈剂和防锈剂本身的绿色行动和“绿色工艺”的应用，排除重金属和挥发性物质的排放，以求实现清洗、除锈和防锈全过程“绿色行动”。

一百多年来，人们研究了成千上万种清洗污垢缓蚀剂、清洗除锈缓蚀剂，以及为了防止进一步生锈的防锈缓蚀剂，已经广泛应用的也达到了成百上千种。本书主要介绍多年来形成的这些清洗剂、除锈剂、防锈剂及其所用的缓蚀剂，其中许多还是目前行业标准所推荐的内容。

在清洗、除锈、防锈领域及其相应的缓蚀剂的研究中，许许多多科学家做出了巨大贡献，其中我国有华保定、彭道儒、叶康民、杨文治、司徒振民、曾兆民、肖怀斌、张康夫、郑家燊等。譬如彭道儒教授五十多年来研究成功了“02-钢铁酸蚀缓蚀剂”、“锅炉酸洗除垢剂”、“BY-2 电接触固体薄膜润滑剂（简称 BY-2）”、“DJB-823 电接触固体薄膜保护剂（简称 DJB-823）”、“PF 钢铁纳米防蚀剂”、“PF 钢铁防锈润滑剂”、“PDR-纳米抗磨剂”、“MA-铝合金防蚀剂”等，其中“BY-2”、“DJB-823”荣获国家发明二等奖，为国家多个五年计划推广的重点项目，为国家创造了百亿元计的经济效益，彭教授成为国内外著名的发明创新之星、全国政协委员、国务院突出贡献专家。借此机会，向防锈战线上为国家做出了贡献的著名专家和默默无闻的专家和科技工作者表示崇高的敬意！

本书主要内容曾于 2010 年 1 月以《清洗剂、除锈剂与防锈剂》出版，颇

受欢迎，2011年1月第二次印刷，仍供不应求。修订再版过程中，适逢我们正进行中国工程院《材料延寿与可持续发展战略研究》重大咨询项目的研究，课题组办公室主任袁训华博士在导师张启富教授的指导下，对涂镀层钢板工程化过程中钢板的清洗、除锈和防锈技术进行了深入的研究，并有许多的资料积累，欣然同意参加修订。为此补充了许多新的内容，以此敬献给对这个领域有兴趣、并愿使用这些知识延长材料及其制品使用寿命的读者。

在中国工程院和中国科协指导和帮助下，由中国腐蚀与防护学会、中国航发北京航空材料研究院、中国钢研科技集团有限公司和化学工业出版社联合组织了几十位科学家和工程技术人员共同编著《材料延寿与可持续发展》丛书，计划编著出版30册。作为国家出版基金项目，2014年出版了19册专著，其余部分拟近年出版，经商，将本书纳入该丛书。

由于编著者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请批评、指正。

李金桂

# I 目录 I

## 第1章 概论

1.1 腐蚀与防护 .....	1
1.2 溶液腐蚀及其缓蚀理论 .....	3
1.3 大气腐蚀及其缓蚀原理 .....	4
1.3.1 大气腐蚀 .....	4
1.3.2 大气腐蚀过程中的缓蚀原理 .....	7
1.4 清洗、除锈、防锈与缓蚀 .....	9
参考文献 .....	10

## 第2章 缓蚀剂

2.1 概述 .....	12
2.1.1 缓蚀剂的定义、特点和作用 .....	12
2.1.2 缓蚀剂的缓蚀作用机理 .....	15
2.1.3 缓蚀剂的选用原则 .....	15
2.2 酸性介质缓蚀剂 .....	21
2.2.1 酸性介质缓蚀剂的特征及使用 .....	22
2.2.2 酸性介质缓蚀剂的选定原则 .....	24
2.2.3 实际使用的酸性介质缓蚀剂 .....	24
2.2.4 酸性介质缓蚀剂的发展 .....	31
2.2.5 工业用酸性介质缓蚀剂配方 .....	32
2.3 中性介质缓蚀剂 .....	39
2.3.1 需要缓蚀剂的中性介质 .....	39
2.3.2 实际使用的中性介质缓蚀剂 .....	40
2.3.3 工业用中性缓蚀剂配方 .....	41
2.4 碱性介质缓蚀剂 .....	49
2.4.1 碱性介质缓蚀剂的应用范围 .....	49
2.4.2 工业用碱性缓蚀剂配方 .....	51
2.5 大气腐蚀缓蚀剂 .....	52
2.5.1 油溶性缓蚀剂 .....	53
2.5.2 水溶性缓蚀剂 .....	56
2.5.3 气相缓蚀剂 .....	56

2.5.4 工业用气相缓蚀剂配方 .....	57
参考文献 .....	58

### 第3章 清洗剂

3.1 概述 .....	60
3.1.1 表面清洗的使用范围 .....	60
3.1.2 清洗目的与意义 .....	61
3.2 制造过程中的表面清洁 .....	62
3.2.1 表面预处理的目的是与作用 .....	62
3.2.2 表面预处理的发展 .....	63
3.2.3 表面预处理的分类 .....	64
3.2.4 表面预处理方法的选用 .....	65
3.3 使用过程中的表面清洁 .....	66
3.3.1 需要清除的污垢类型 .....	66
3.3.2 工业污垢的清洗方法 .....	67
3.3.3 工业清洗剂的技术条件 .....	68
3.3.4 被清洗的材料 .....	68
3.4 表面清洗与清洗剂的分类 .....	72
3.5 表面清洁度 .....	73
3.5.1 表面清洁方法 .....	73
3.5.2 表面清洁度检测方法 .....	74
3.6 表面清洗 .....	75
3.6.1 表面清洗剂的作用原理 .....	75
3.6.2 碱液清洗 .....	77
3.6.3 酸性清洗 .....	79
3.6.4 酸洗缓蚀剂 .....	79
3.6.5 电化学清洗 .....	81
3.6.6 有机溶剂清洗 .....	82
3.6.7 水基清洗剂清洗 .....	82
3.7 工业用清洗剂配方 .....	84
3.7.1 金属清洗剂 .....	85
3.7.2 水基金属清洗剂 .....	87
3.7.3 水溶性金属清洗剂 .....	88
3.7.4 高渗透性金属清洗剂 .....	89
3.7.5 多功能除油除锈清洗剂 .....	89
3.7.6 黑色金属粉末油污清洗剂 .....	90

3.7.7	铝及铝合金清洗剂	90
3.7.8	热轧板清洗剂	91
3.7.9	不锈钢清洗剂	91
3.7.10	轴承专用清洗剂	92
3.7.11	冷轧镀锌前处理清洗剂	93
3.7.12	模具清洗剂	93
3.7.13	陶瓷过滤板清洗剂	94
3.7.14	循环冷却水清洗剂	94
3.7.15	锅炉酸洗除垢剂	95
3.7.16	输油管线清洗剂	95
3.7.17	铁路客车清洗剂	96
3.7.18	飞机清洗剂	96
3.7.19	飞机机身表面清洗剂	97
3.7.20	汽车水箱快速清洗剂	98
3.7.21	汽车空调清洗剂	99
3.7.22	高效汽车燃油系统积垢清洗剂	100
3.7.23	汽车燃料系统清洗剂	100
3.7.24	汽车发动机用清洗剂	101
3.7.25	电器清洗剂	102
3.7.26	集成电路芯片清洗剂	103
3.7.27	显像管专用清洗剂	104
3.7.28	电子工业清洗剂	104
3.7.29	船底清洗剂	105
3.7.30	空调水系统清洗剂	106
3.8	热镀锌钢板表面清洗技术	106
3.8.1	冷轧钢带污物类型及其存在形态	107
3.8.2	清洗剂组成	108
3.8.3	热镀锌钢带清洗的方式和原理	112
3.8.4	钢带清洗溶液的性能	116
3.8.5	热镀锌钢带表面液体和固体污物的清洗	123
3.8.6	热镀锌钢带的碱洗脱脂机理和清洗过程	127
3.8.7	热镀锌冷轧钢带清洗的主要型式	131
3.8.8	热镀锌基板冷轧钢带电解清洗工艺及设备	133
3.8.9	热镀锌钢带电解清洗工艺特点	136
3.8.10	清洗工艺对清洗质量的影响	138
	参考文献	138

## 第4章 除锈

4.1 概述 .....	140
4.1.1 不同金属锈蚀的特征 .....	140
4.1.2 不同金属锈蚀的鉴别 .....	141
4.2 不同金属腐蚀产物的去除 .....	143
4.2.1 机械方法除锈 .....	143
4.2.2 化学或电化学方法除锈 .....	147
参考文献 .....	157

## 第5章 防锈剂

5.1 概述 .....	159
5.2 水基防锈剂 .....	162
5.2.1 防锈水剂的特性 .....	162
5.2.2 防锈水剂的配制和使用 .....	163
5.2.3 工业用水基防锈剂配方 .....	164
5.3 防锈油与置换型防锈油 .....	175
5.3.1 防锈油的选择 .....	175
5.3.2 防锈油的使用方法 .....	176
5.3.3 使用防锈油应注意的事项 .....	177
5.3.4 置换型防锈油的配方、性能、用途 .....	177
5.3.5 工业用油性防锈剂配方 .....	178
5.4 溶剂稀释型防锈油 .....	183
5.4.1 硬膜油 .....	186
5.4.2 软膜油 .....	187
5.5 乳化型防锈油 .....	189
5.5.1 防锈润滑切削油 .....	189
5.5.2 防锈切削液 .....	191
5.5.3 工业用防锈切削液配方 .....	193
5.6 防锈润滑油脂 .....	194
5.7 防锈脂 .....	195
5.8 气相防锈剂 .....	196
5.8.1 气相防锈剂的特点 .....	197
5.8.2 气相防锈纸 .....	198
5.8.3 气相防锈薄膜和气相防锈油 .....	202
5.8.4 工业用气相防锈剂配方 .....	204
参考文献 .....	207

## 第6章 防锈包装

6.1 概述 .....	208
6.2 防锈包装的一般技术要求 .....	211
6.3 防锈包装方法实施要点 .....	211
6.3.1 清洗 .....	212
6.3.2 干燥 .....	212
6.3.3 防锈 .....	213
6.4 封存包装材料 .....	213
6.4.1 包装纸、膜 .....	213
6.4.2 包装容器 .....	215
6.4.3 衬垫材料 .....	215
6.4.4 黏胶材料 .....	216
6.4.5 干燥剂 .....	216
6.4.6 常用干燥剂——硅胶的用量计算 .....	217
6.5 对包装环境的要求 .....	220
6.6 国内相关的内包装材料标准 .....	221
参考文献 .....	222

## 附录

附录一 防锈领域名词术语 (GB 11327—89) .....	223
附录二 防锈油品的主要试验方法 .....	228
附录三 相关标准 .....	234



# 第1章 概 论

## 1.1 腐蚀与防护

起初,人们认识金属腐蚀是从腐蚀产物开始的,从棕黄色“铁锈” $[\text{FeO}(\text{OH})$ 或 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 及“铜锈” $[\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 分别地认识了铁和铜的腐蚀。1960年艾文思在他的专著《The Corrosion And Oxidation of Metals》中对腐蚀下的定义为:

“金属腐蚀是金属从元素态转变为化合态的化学变化及电化学变化。” (1-1)

中国国家科学技术委员会组建成立的“腐蚀科学”学科组1978年10月第一次学科组会议上,将“腐蚀”定义为:

“腐蚀是材料在环境作用下引起的破坏和变质。” (1-2)

腐蚀科学在发展,腐蚀科学的应用也在发展,到20世纪80年代,我国和世界先进国家一样,已进入到从设计开始,贯穿于生产制造、使用维护全过程、全员参与的效益管理的腐蚀控制系统工程新阶段,叫做“腐蚀科学”与工业建设紧密结合形成了“腐蚀控制系统工程学”之后的新阶段,按照“腐蚀控制系统工程学”的观点来认识这个定义似乎有不适应之感觉,因为:①单纯材料受环境的腐蚀只是腐蚀的一个方面,就大多数金属状态而言,需要强调的是加工成“制件”之后的材料,而不单是原材料的腐蚀;②是使用过程中的环境和制件周围环境的协同作用,而不只是材料周围环境引发的腐蚀破坏和变质;③材料制造成零件、装配成组合件、最终组合成产品过程中,也存在制造过程环境和周围环境协同作用所可能引发的腐蚀破坏和变质;④制成的产品,包括工作母机(冶炼炉、真气炉、机床、冲床等制造、装配零件的设备)、日用设备(电视机、家用电器、摩托车、汽车、轮船等日常所用设备)、军用装备(枪炮、坦克、装甲车、运输飞机、战斗飞机等保卫国防所用的设备)和工程项目(建筑物、钢结构桥梁、西气东输埋地管线、三峡水利枢纽、南水北调等大型工程所需的种种设施),我们将这些由材料制造的成品暂且统一称之为制件或制品,这些制品在储存、运输过程中受到环境的腐蚀破坏和变质;⑤最为重要的是上述制件都要使用、运行,它们将受到使用运行工况环境和周围自然