

“十三五”国家重点出版物出版规划项目



造纸及其装备科学技术丛书（中文版）

[第十六卷]

材料及其防腐和维护

Materials, Corrosion
Prevention and Maintenance

[芬兰] Jari Aromaa Anja Klarin 著

[中国] 周 耘 刘文波 李海平 黄 洁 译



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

中芬合著 造纸及其装备科学技术丛书(中文版)第十六卷

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

材料及其防腐和 维护

Materials, Corrosion Prevention and Maintenance

[芬兰] Jari Aromaa Anja Klarin 著

[中国] 周 耘 刘文波 李海平 黄 洁 译

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料及其防腐和维护/(芬)阿嘉睿(Jari Aromaa),
(芬)柯安嘉(Anja Klarin)著;周耘等译. —北京:中国
轻工业出版社,2017.6

(中芬合著造纸及其装备科学技术丛书;16)

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-5184-1355-3

I. ①材… II. ①阿… ②柯… ③周… III. ①造纸设
备-防腐 ②造纸设备-维修 IV. ①TS73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 070276 号

责任编辑:林媛

策划编辑:林媛

责任终审:滕炎福

封面设计:锋尚设计

版式设计:锋尚设计

责任校对:晋洁

责任监印:张可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印刷:三河市万龙印装有限公司

经销:各地新华书店

版次:2017年6月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17.75

字数:454千字

书号:ISBN 978-7-5184-1355-3 定价:110.00元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

141223K4X101ZBW

中芬合著:造纸及其装备科学技术丛书(中文版)编辑委员会

名誉主任:杨 波 杨志海 余贻骥

顾问:(特聘中国工程院院士)

陈克复 孙优贤 柳百成 陈蕴博 姚 穆

主任:步正发

副主任:钱桂敬

委员:(按姓氏拼音排序)

步正发	巴云平	才大颖	曹春昱	曹朴芳	曹振雷
陈鄂生	陈洪国	陈嘉川	陈克复	陈小康	陈永林
陈蕴博	程言君	崔棣章	杜荣荣	樊 燕	范 泽
房桂干	顾民达	郭海泉	郭永新	何维忠	侯庆喜
胡 楠	胡宗渊	黄孝全	黄运基	贾克勤	江化民
江曼霞	姜丰伟	邝仕均	李 平	李 耀	李朝旺
李发祥	李国都	李洪法	李洪信	李建国	李建华
李金良	李威灵	李祥凌	李有元	李志健	李忠正
林 媛	林美婵	林昭远	刘焕彬	刘铸红	柳百成
陆文荣	马明刚	马思一	马志明	牛 量	牛庆民
庞景方	彭葵生	戚永宜	钱桂敬	裘 峥	邵爱民
沈 滨	沈根莲	宋鸿林	孙润仓	孙树建	孙优贤
孙有根	谭国民	田立忠	童来明	王淼辉	王维俭
王永平	徐 林	徐正源	许本棋	许超峰	许连捷
杨 旭	杨延良	姚 穆	姚献平	于 宏	于学军
袁晓宇	张 辉	张 磊	张 亮	张 熙	张 茵
张国安	张美云	张新平	张战营	赵 伟	赵传山
赵志顺	詹怀宇	郑 晓	钟侠瑞	周景辉	朱根荣

主 编:胡 楠

副 主 编:姜丰伟 曹振雷 曹朴芳

序

芬兰造纸科学技术水平处于世界前列,近期修订出版了《造纸科学技术丛书》。该丛书共20卷,涵盖了产业经济、造纸资源、制浆造纸工艺、环境控制、生物质精炼等科学技术领域,引起了我们业内学者、企业家和科技工作者的关注。

姜丰伟、曹振雷、胡楠三人与芬兰学者马格努斯·丹森合著的该丛书第一卷“制浆造纸经济学”中文版将于2012年出版。该书在翻译原著的基础上加入中方的研究内容;遵循产学研相结合的原则,结合国情从造纸行业的实际问题出发,通过调查研究,以战略眼光去寻求解决问题的路径。

这种合著方式的实践使参与者和知情者得到启示,产生了把这一工作扩展到整个丛书的想法,并得到了造纸协会和学会的支持,也得到了芬兰造纸工程师协会的响应。经研究决定,从芬方购买丛书余下十九卷的版权,全部译成中文,并加入中方撰写的书稿,既可以按第一卷“同一本书”的合著方式出版,也可以部分卷书为芬方原著的翻译版,当然更可以中方独立撰写若干卷书,但从总体上来说,中文版的丛书是中芬合著。

该丛书为“中芬合著:造纸及其装备科学技术丛书(中文版)”,增加“及其装备”四字是因为芬方原著仅从制浆造纸工艺技术角度介绍了一些装备,而对装备的研究开发、制造和使用的系统理论、结构和方法等方面则写得很少,想借此机会“检阅”我们造纸及其装备行业的学习、消化吸收和自主创新能力,同时体现对国家“十二五”高端装备制造业这一战略性新兴产业的重视。因此,上述独立撰写的若干卷书主要是装备。初步估计,该“丛书”约30卷,随着合著工作的进展可能稍许调整和完善。

中芬合著“丛书”中文版的工作量大,也有较大的难度,但对造纸及其装备行业的意义是显而易见的:首先,能为业内众多企业家、科技工作者、教师和学生提供学习和借鉴的平台,体现知识对行业可持续发展的贡献;其次,对我们业内学者的学术成果是一次展示和评价,在学习国外先进科学技术的基础上,不断提升自主创新能力,推动行业的科技进步;第三,对我国造纸及其装备行业教科书的更新也有一定的促进作用。

显然,组织实施这一“丛书”的撰写、编辑和出版工作,是一个较大的系统工程,将在该产业的发展史上留下浓重的一笔,对轻工其他行业也有一定的借鉴作用。希望造纸及其装备行业的企业家和科技工作者积极参与,以严谨的学风精心

组织、翻译、撰写和编辑,以我们的艰辛努力服务于行业的可持续发展,做出应有的贡献。

中国轻工业联合会会长 李正发

2011 年 12 月

中芬合著:造纸及其装备科学技术丛书(中文版)的出版
得到了下列公司的支持,特在此一并表示感谢!



UPM

芬欧汇川集团



维美德集团



河南江河纸业有限责任公司



河南大指造纸装备集成工程有限公司



前 言

当我接到《中芬合著:造纸及其装备科学技术丛书(中文版)》编辑委员会的邀请,主持翻译由芬兰造纸工程师协会等出版的《造纸科学技术丛书》《材料及其防腐和维护》时,几位充满活力的年轻工程师积极参加翻译工作,他(她)们都是在广纸中工作成绩突出的一线工艺和设备工程师,有非常丰富的实践经验,可以促进该书的翻译进程。正是由于他(她)们的积极努力,从签订出版合同,用了不到9个月的时间就完成了书稿翻译工作。

本书的内容属于造纸学科与材料学科中的腐蚀科学的交叉学科。在我国造纸工业迅猛发展的十几年来,造纸新项目的设备如雨后春笋般地在中国大地生根发芽,这些设备的使用时间还较短,设备材料的腐蚀问题还没有得到造纸工作者的重视。但是腐蚀如同潜伏在阴暗角落中的恶魔,悄无声息地吞噬着造纸企业的设备资产,给企业带来了不可估量的损失。随着中国造纸行业的产能过剩,市场竞争激烈,企业要立足于精益管理,提高设备的寿命和利用率,才能事半功倍地创造效益。因此,寻求防腐之道,降低设备的腐蚀速率的意义重大。

以最小的成本获得最大的运行时间和最优的设备性能,预防性维护将成为流程化工业中一个关键因素,这就需要最大化开发利用设备的性能和人员的潜能。人们常常忽视,腐蚀现象造成生产中断和利润损失的过程。腐蚀和防腐蚀是直接影响生产、经济和安全的因素。没有任何管理者希望工厂停工,产品受污染,产品价值流失。腐蚀和防腐蚀是主要的经济问题。成本考虑通常决定材料的选择和防腐蚀的方法。正确地选择材料可以减少投资的成本,适当的防腐蚀措施及维护可以提高生产利润。当使用危险材料或在高温高压下进行操作时,必须考虑工艺设备的安全性和可靠性。在考虑材料的选择时,可靠性必须大于经济性。对于许多工程设备建筑,结构和部件的材料选择需综合机械和物理性能的多方面。其次才是耐腐蚀性。在保证工程性能时,兼顾耐腐蚀是个很重要的因素。

这本书概述了材料、环境,以及两者之间的相互作用:腐蚀。关于腐蚀的控制方式,监控,维护等,本书在一定程度上都有所罗列。本书并没有罗列问题的具体解决清单。由于材料和环境的不断变化,腐蚀也是不断变化的,具体地罗列问题的详细解决清单,无法全面完整地解决当前的腐蚀现象。这本书没有进行详细的细节描述。读者可以参考研究本系列书籍整体的其他资料。书中所提到的腐蚀形式,腐蚀性环境和防腐蚀的案例主要来源于纸浆和造纸行业。有效的防腐是一

门管理学问。掌握腐蚀与防腐蚀的原因远比处理机械故障要困难得多。

本书在第1章从材料学开始,介绍了材料学的抗腐蚀性质与腐蚀的基本原理;第2、3章介绍了腐蚀的原理与测试;第4、5章介绍了腐蚀在生产实践中的表现形态与种类,重点介绍在造纸行业中发生的腐蚀;第6、7、8、9章则将上述的理论与现象落到解决方法上来,为造纸工作者在生产实践中提供了解决思路。

本书由广州造纸集团有限公司周耘高级工程师主译,第1~4章由刘文波工程师翻译,第5章由黄洁工程师翻译,第6~9章由李海平工程师翻译。由于编译者的学识水平有限,翻译过程难免有不完善和差错之处,敬请读者批评指正。

周 耘
2015 年 6 月

目 录

CONTENTS

第①章 简介	1
1.1 腐蚀与防腐蚀	1
1.2 维护	3
第②章 制造材料	4
2.1 概述	5
2.1.1 合金的铸造	7
2.1.2 制造与加工	8
2.1.3 热处理	9
2.1.4 表面膜处理	10
2.2 碳钢与低合金钢	10
2.2.1 机械性质	11
2.2.2 抗腐蚀性与应用	13
2.3 不锈钢	14
2.3.1 不锈钢的种类	14
2.3.2 抗腐蚀性及其应用	17
2.4 镍合金	20
2.4.1 抗腐蚀性与应用	20
2.5 钛合金	22
2.5.1 抗腐蚀性与应用	23
2.6 焊接	24
2.6.1 焊接技术	25
2.6.2 焊接问题	26

2.7	塑料与橡胶	27
2.7.1	热塑性塑料	29
2.7.2	热固性塑料	30
2.7.3	弹性高分子物质	31
2.7.4	抗腐蚀性与应用	32
2.8	总结	34
	参考文献	34
第③章	金属腐蚀的电化学与腐蚀测试方法	36
3.1	电化学基本知识	36
3.1.1	电极极化	39
3.1.2	电极表面	42
3.2	腐蚀电池	43
3.3	钝化	45
3.4	腐蚀研究方法	47
3.4.1	物理测试因素	48
3.4.2	电化学方法	51
3.4.3	测试设备	62
3.4.4	样品的准备	66
3.5	现场测试	69
3.6	总结	69
	参考文献	70
第④章	腐蚀的形态	71
4.1	均匀腐蚀	72
4.2	电偶腐蚀	74
4.3	冲刷腐蚀	77
4.4	点蚀与缝隙腐蚀	80
4.5	晶间腐蚀	87
4.6	应力腐蚀开裂与腐蚀疲劳	89
4.7	选择性腐蚀	93
4.8	氢蚀	95
4.9	高温腐蚀	96

4.10 总结	100
参考文献	100
第⑤章 制浆造纸行业中的腐蚀	102
5.1 水溶液腐蚀	103
5.1.1 酸和碱类	103
5.1.2 氧化剂和还原剂类	106
5.1.3 溶解盐类	107
5.1.4 溶解气体类	108
5.1.5 硫和氯化学品	109
5.1.6 温度和流速	112
5.1.7 制浆中的腐蚀	112
5.1.8 硫酸盐法制浆	113
5.1.9 亚硫酸盐法制浆	116
5.1.10 机械法制浆	118
5.2 漂白工段中的腐蚀	119
5.3 纸机中的腐蚀	123
5.4 化学回收中的腐蚀	125
5.5 保温下的腐蚀	128
5.6 大气腐蚀	130
5.7 微生物腐蚀	132
5.7.1 生物膜的形成	133
5.7.2 微生物腐蚀的机理	134
5.7.3 微生物腐蚀的问题	135
5.8 高温腐蚀	136
5.8.1 混合气体	138
5.8.2 碱回收炉腐蚀	139
5.8.3 高温水中的腐蚀	141
5.9 总结	143
参考文献	143
第⑥章 腐蚀的防护	147
6.1 设计	147
6.1.1 容器	148
6.1.2 连接	150
6.1.3 管道	152

- 6.1.4 户外建设 153
- 6.2 材料选择 155
 - 6.2.1 碳钢 158
 - 6.2.2 不锈钢 160
 - 6.2.3 镍合金 163
 - 6.2.4 钛 165
- 6.3 调整环境 167
 - 6.3.1 除掉溶解空气 167
 - 6.3.2 缓蚀剂 168
 - 6.3.3 生物污损的控制 169
- 6.4 保护性涂层 170
 - 6.4.1 抗腐蚀漆 171
 - 6.4.2 涂料膜保护机理 179
 - 6.4.3 有机涂料 179
 - 6.4.4 金属镀层 182
 - 6.4.5 无机涂层 189
- 6.5 电化学保护 191
 - 6.5.1 阳极保护 191
 - 6.5.2 阴极保护 193
- 6.6 小结 197
- 参考文献 198

- 第⑦章 腐蚀的监控 202
 - 7.1 物理监控技术 203
 - 7.2 电化学方法 205
 - 7.2.1 电位监测 205
 - 7.2.2 线性偏振技术 206
 - 7.2.3 原电池电流测量 207
 - 7.2.4 塔菲尔方法 207
 - 7.2.5 电化学阻抗谱 208
 - 7.2.6 电化学噪声 209
 - 7.3 其他方法 209
 - 7.3.1 氢气流量监控 209
 - 7.3.2 化学分析 209
 - 7.4 数据收集和分析 210

参考文献	210
第⑧章 腐蚀管理	211
8.1 设计和材料选择	212
8.2 操作	213
8.3 检查	214
8.4 维护	216
参考文献	216
第⑨章 制浆造纸工业的维护概念	217
9.1 工业维护	217
9.2 维护的过去和今天	217
9.3 维护人员的管理	218
9.3.1 有效的保养计划	218
9.3.2 不同行业下的维护人力	219
9.3.3 维护成本考虑	221
9.4 可靠性和可维护性	222
9.4.1 可靠性和故障	223
9.4.2 可靠性维修工作	224
9.4.3 状态评估	226
9.5 设备的可用性和效率	227
9.5.1 时间损失分析	227
9.5.2 生产潜力	228
9.6 团队和多专业的进步	230
9.6.1 工艺的多样变化	231
9.6.2 所有者,经营者	231
9.6.3 工艺干扰的成本和收益	231
9.7 不同年代的发展趋势	232
9.7.1 制浆和造纸工业工厂规模和数量的主要趋势	232
9.8 Idhammar 的维护管理趋势	234
9.8.1 可靠性为中心的维修	238
9.8.2 通过生产和维护提高设备效率	238
9.8.3 电脑维护管理	239
9.8.4 废物维修	240

- 9.8.5 自主性维护 240
- 9.9 计划维修 242
 - 9.9.1 选择维护计划 243
- 9.10 维护管理的案例 244
 - 9.10.1 某国际造纸厂的维护 244
 - 9.10.2 挪威工厂的预防性维护 245
 - 9.10.3 瑞典的维修培训 247
- 9.11 国际维修回顾 248
 - 9.11.1 加拿大回顾 248
 - 9.11.2 北美调查 250
- 9.12 与其他成本相比的保养费用 256
 - 9.12.1 与纸浆产品成本相比的维修费用 256
 - 9.12.2 与投资成本相比维修费用 257
 - 9.12.3 与故障成本相比维修费用 258
- 9.13 设备供应商在保养的角色 258
 - 9.13.1 单一设备供应商 259
- 9.14 厂商的交钥匙工程 259
 - 9.14.1 制浆和造纸厂的行动计划 260
- 9.15 结论 260
- 参考文献 262
- 单位换算 264

第①章 简介

腐蚀是大部分建筑材料的自然分解过程。把这个过程经常联系起来的物质是金属,但腐蚀还包括塑料、混凝土、木材等。即使多数人在日常生活中熟悉腐蚀与防腐,但他们经常在大范围的操作中忽略这种现象。发达国家的一些关于腐蚀成本的研究表明,它能占到国民生产总值的 3% ~ 4%,而运用现有防腐技术与知识能做到 1/3 的止损。上述的腐蚀成本还未包括隐性损失,诸如全球范围内或环保方面的能量与原材料的损失:

① 1971 年, T. P. Hoar 撰写的防护腐蚀委员会的报告总结英国因腐蚀造成的代价相当于国民生产总值(GNP)的 3.5%。

② 巴特尔与北美特种钢工业估计 1996 年美国经济的年度金属腐蚀损失约 3000 亿美元,其中预计有 1/3 的损失(即 1000 亿美元)可以避免,方法是通过更广泛地应用防腐蚀材料,维护方面从设计上应用适当的抗腐蚀作业方法。这个估算部分来自于 Battelle 学者的成果的修正,巴特尔与标准和技术自然科学研究所主导了这个研究,研究的命题是“美国金属腐蚀的经济效应”。1978 年的原文使用了在 1975 年在美国金属腐蚀花费估算为 820 亿美元(占 4.9% 的国民生产总值)这个数据。通过使用可用的保护手段,大约 330 亿美元可以避免。

③ 在北欧浆纸工业,腐蚀的代价大约每一吨浆 25 ~ 30 美元,其中直接损失占了 40% 的上述总损失,诸如产量损失或质量不达标更难量化。

腐蚀损失并不总能避免。避免腐蚀有时也不都经济。腐蚀问题首先是经济问题。这需要腐蚀与防腐的代价之间的平衡。

腐蚀科学与技术是跨学科领域。主题是化学、电化学与材料科学。腐蚀学工程师必须懂得制造过程,及明白它们运作过程中的环境。运作过程的环境可以是化学过程或建设项目。腐蚀学工程师必须懂得其内部运作,以及不同的变化因素会有什么影响。腐蚀学工程师还必须有足够常识去决定哪种防腐措施最为经济,可使用常规方法计算出防腐投资的收益性。因为防腐蚀工程学不是一门精确的科学,所以在很多工程领域,随着时间积累的经验更有价值,成功的防腐蚀需要以下领域的知识:a. 设备设计与建造;b. 材料学;c. 化学;d. 工厂运行;e. 检测学。

1.1 腐蚀与防腐蚀

腐蚀是在金属与其环境之间的一种物理化学互相作用,结果使金属发生了不想要的变化。

变化可能导致金属、技术系统、环境与产品的负面影响。

现代腐蚀理论有两个基础部分:混合电位理论与表面膜的形成。大部分腐蚀过程属于电化学。不同的金属与溶液非均质性与几何因素会导致引起腐蚀的电位差。一些因素是不可避免的,但合适的制造与安装流程可以避免其他因素。

腐蚀是阴极降解反应的结果。阴极反应消耗了从阳极释放并转移到阴极的电子。腐蚀电池是一个闭合电路。这个电池电压是驱动力,电池电流强度符合欧姆定律。系统内电压更高与电阻更低可以得到更高的电流强度。另一个阴极或阳极能支持更多反应,但总的阴极电流强度必须等于总阳极电流强度。这种要求即是混合电位理论。腐蚀过程是从原子通过反应离开金属表面开始的。这些金属离子能与电解质中的物质(species)反应,形成反应物。在合适的条件下,这些反应物能在金属上形成表面膜。如果表面膜制止了进一步的腐蚀,则金属就会处于钝态,或金属自身是钝态的。

腐蚀形式是按它们对金属的破坏表现来进行分类的。虽然腐蚀的起因可能不清楚,但是目视检查能区分大部分腐蚀形式。既然很多腐蚀形式是不关联的,其术语也随时间不断变化,腐蚀形式也就没有一个统一被接受的分类列表。最基础的分类将腐蚀形式分成均匀腐蚀与局部腐蚀。在均匀腐蚀的情况下,大部分金属表面在腐蚀环境下其质量是均匀下降的。均匀腐蚀导致材料成吨损失,但局部腐蚀则存在更大隐患,它的一个问题是对钝态金属造成威胁。钝态表面膜本可保护大部分金属表面防止均匀腐蚀,但局部腐蚀往往发生在钝态表面膜相对脆弱的地方,或发生在腐蚀环境更严峻的地方。

在腐蚀环境中很多变化的数量是巨大的。例如,各种造纸过程是相似的,但每个工厂的腐蚀情况却有自己的特点,这个区别仅仅是温度或pH的一些小变化。工厂的操作参数经常随生产效率的变化、新化学品的引入或原材料的组成变化。大部分腐蚀现象在水溶液中发生。水的环境变化万千,从薄的水膜到本体溶液都可能,还包括自然环境与化学品。水溶液的腐蚀性取决于溶解气体、溶解盐、有机组分与微生物的存在。水溶液的表征参数有溶解质的浓度、pH、硬度、电导率等,影响腐蚀环境的因素是众多的,包括加速腐蚀与减缓腐蚀的因素。腐蚀问题的最好解决方案都是从研究溶液中的细微的化学变化而来的。

控制腐蚀的基本方法是良好的设计与选择合适的材料。腐蚀从图纸阶段开始就要做好防腐工作。从结构上防止腐蚀的原理很简单,但有时却很难做到。工序流程中的容器与设备的设计可能很复杂,必须符合政策法规。良好设计的目的是为了确保一个系统的寿命达到足够可靠的标准,且不用高估其材料的厚度。在特定的结构中可以接受的腐蚀伤害的类别、程度与速率,会因具体的应用而有所不同。人们可以获得一些针对防腐的普及的好的设计与设计细节。最基本的规则是防止异质性,但良好的设计中防腐小细节非常多。大部分工程材料是热力学上不稳定的。于是它们会腐蚀。很多因素会限制选材的可能性,但抗腐蚀方面却不会成为主要因素,经常在特定应用上只将材料的机械性质用来决定它是否合适。合铸与锻造过程给了一种金属其物理与机械的性质,用于得到必须产品的锻造与加工的方法也影响到金属性质。这些是金属的主要性质。抗腐蚀性取决于非常薄的表面膜。表面膜的稳定性取决于腐蚀表现。选材的重要性切不可低估。选择最优材料经常是解决腐蚀问题的最好方法,尤其当流程环境改变能导致产品降解时更是如此。

完全阻止腐蚀经常是不实际的。更好的目标是将腐蚀速率降到一个可以接受的程度。现存在一些防腐方法,最可行的解决方法由经济性因素决定。

腐蚀控制已经不只是解决类似管道泄露这种基本问题,而是包含了不会额外造成严重腐