

# 防锈油脂与气相 缓蚀技术

FANGXIU YOUZHI YU QIXIANG HUANSI JISHU

赵阔 谭胜 黄红军 编著



冶金工业出版社  
www.cnmp.com.cn

# 防锈油脂与气相缓蚀技术

赵阔 谭胜 黄红军 编著



北京  
冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书参考国内外相关资料和国家标准、国家军用标准及行业标准,结合作者研究成果与实际应用经验编写而成,简单介绍了金属表面处理与防护的基本知识、基本原理,对表面防护技术中大量应用的防锈油脂技术和气相缓蚀技术的防锈原理、常用的防锈油脂添加剂及气相缓蚀添加剂的种类和基本性质、防锈油脂封存工艺及气相缓蚀材料使用工艺等进行了详细阐述,并搜集整理了大量的相关标准,以方便读者查阅和对照。

本书可作为大中专院校金属表面处理与防护专业、材料学、材料科学与工程学等专业的教材和参考书,也可作为从事金属表面处理与防护技术研究人员、工程技术人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

防锈油脂与气相缓蚀技术/赵阔,谭胜,黄红军编著. —  
北京:冶金工业出版社,2017.9

ISBN 978-7-5024-7595-6

I. ①防… II. ①赵… ②谭… ③黄… III. ①金属—  
防锈油 ②金属—防锈脂 ③金属—气相缓蚀保护

IV. ①TG174.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 230027 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7595-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2017年9月第1版,2017年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;18.75印张;453千字;287页

58.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

# 前 言

众所周知，金属的腐蚀现象是十分普遍的。人类早在铁器时代就面临着金属腐蚀的问题，在人类进入 21 世纪的今天，金属材料的应用领域得到了极大的拓宽，各种各样的金属制品已经渗入到我们生活的方方面面，人类面临的腐蚀问题也越发严重。金属腐蚀是缓慢的，但是其造成的损失远远超过水灾、火灾、风灾和地震（平均值）等损失的总和。据 2009 年中国腐蚀与防护学会成立 30 周年庆典上公布的数据，我国每年金属腐蚀造成的损失在 3000 多亿人民币，如果考虑间接损失，因金属腐蚀造成的经济损失总和高达 5000 亿人民币。目前，全球每年因腐蚀造成的金属损失量高达全年金属产量的 20%~40%。因此，研究和了解金属防护技术具有重要的社会和经济意义。

目前，有史料记载最早的防锈技术可追溯到公元 250 年的中国后汉时期。当时人们就用石油作为车辆的润滑剂和铁的防锈剂。第二次世界大战期间，美国为了解决东南亚高温高湿环境对武器装备的腐蚀问题，在防锈技术上得到了极大的发展。20 世纪 60 年代，美军系统地对防锈材料订立了 P 系列标准，规定了防锈材料的质量标准和试验方法。到 1973 年，美军 P 系列已增加到 P-21。随后，日本在美军 P 系列标准基础上制定了自己国家的 NP 系列标准。英国相应制定了 TP 系列标准。1988 年，我国成立了全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会（CSBTS/TC57）防锈分委员会，统一规划和修订、制定标准。2000 年我国等效采用日本 JIS K2246—1994 标准，发布了防锈油脂产品系列行业标准（SH/T 0692—2000）。随着海洋运输的需要和人类环保意识的增强，发展出了多种类型的防锈方法，其中气相缓蚀技术从 20 世纪 80 年代后得到飞速发展，关于防锈添加剂的理论探讨、缓蚀剂的生产、防锈产品的评价方法开始进入新的研究阶段，这也使得防锈技术和防锈材料的种类不断完善，防锈技术领域基本上形成体系。本书主要是对市场上使用最为广泛的防锈油脂和气相缓蚀技术进行了梳理介绍。

本书结合编著者多年从事防锈油脂和气相缓蚀技术研究和应用的实践经

验,对两类技术的防锈原理、添加剂种类、评价方法、使用工艺等进行了系统阐述,有许多内容在本书中属首次完整公开,希望能够给从事相关研究的科技工作者提供一个批判的对象,促进金属防锈技术的深入研究。本书第1章是关于金属防锈技术的简要介绍;第2章简单介绍了金属腐蚀的分类和常见的防护方法;第3章~第5章分别详细介绍了常见的防锈油脂添加剂的基本理化性质、常见防锈油脂的种类、技术指标及应用场合,以及防锈油脂的封存工艺;第6章是关于防锈油脂性能评定的方法;第7章~第9章详细介绍了气相缓蚀剂的种类,常见组分的理化性质,常见气相防锈材料的类型、性质、应用场合,以及气相缓蚀技术的使用工艺等;第10章则详细列出了相关标准,包括国家标准、国家军用标准以及相关行业标准。关于金属腐蚀的方式、腐蚀产物的类型等内容,也是编著者研究过程中密切关注的内容,但是鉴于这些内容在许多专著中已有详细论述,本书不再赘述。

本书不仅可以作为工科高等院校从事高分子材料改性和金属腐蚀与防护的研究人员、相关专业研究生的教学参考书,也可供相关专业技术人员参考。

本书由陆军工程大学(原中国人民解放军军械工程学院)黄红军教授、陆军军械技术研究所谭胜高级工程师、赵阔工程师执笔编写,最后由黄红军教授对全书进行了审校。由于编著者的水平有限,加之金属腐蚀防护技术发展迅速,书中观点和内容肯定存在一些疏漏和不当之处,敬请读者不吝赐教。

著 者

2017年8月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 金属防护的重要意义 .....	1
1.2 防锈技术的发展历程 .....	2
1.3 我国防锈油脂的发展概况及发展趋势 .....	2
1.4 我国气相缓蚀技术的发展概况 .....	4
1.4.1 气相防锈产品的开发应用 .....	4
1.4.2 我国气相防锈技术的发展和应 用 .....	6
<b>2 金属腐蚀</b> .....	8
2.1 概述 .....	8
2.2 金属腐蚀的分类 .....	8
2.2.1 按作用机理分类 .....	8
2.2.2 按破坏形式分类 .....	9
2.2.3 按破坏环境分类 .....	11
2.3 常见金属的腐蚀特征 .....	12
2.4 常见金属防护方法 .....	13
2.4.1 合理选用金属材料 .....	13
2.4.2 电化学防护 .....	14
2.4.3 覆盖保护层防护 .....	14
2.4.4 缓蚀剂防护 .....	15
2.4.5 金属保护膜防护 .....	15
<b>3 防锈添加剂</b> .....	17
3.1 概述 .....	17
3.2 油溶性缓蚀剂的作用机理 .....	17
3.3 油溶性缓蚀剂的分类与选择 .....	19
3.3.1 油溶性缓蚀剂的分类 .....	19
3.3.2 油溶性缓蚀剂的选择 .....	23
3.4 常见的防锈添加剂 .....	24
3.4.1 石油磺酸钡 (T701) .....	24
3.4.2 石油磺酸钠 (T702) .....	26
3.4.3 十七烯基咪唑啉十二烯基丁二酸盐 (T703) .....	26

3.4.4	环烷酸锌 (T704)	27
3.4.5	二壬基萘磺酸钡 (T705)	28
3.4.6	苯骈三氮唑 (T706)	29
3.4.7	亚硝酸钠 (T707)	30
3.4.8	磷酸酯咪唑啉盐 (T708)	31
3.4.9	N-油酰肌氨酸十八胺盐 (T711)	31
3.4.10	氧化石油脂及其皂类 (T743)	32
3.4.11	十二烯基丁二酸 (T746)	33
3.4.12	硬脂酸铝	34
3.4.13	羊毛脂及其皂类	34
3.4.14	山梨糖醇酐单油酸酯	35
3.4.15	其他防锈添加剂	35
3.5	辅助添加剂	36
3.5.1	清净剂和分散剂 (T101、T102、T103、T109、T152、T154)	36
3.5.2	抗氧抗腐剂 (T202、T203、T204、T205、T206)	39
3.5.3	极压抗磨剂 (T301、T304、T305、T306、T321、T361)	41
3.5.4	抗氧剂及金属减活剂 (T501、T511、T512、T531、T534)	44
3.5.5	金属减活剂 (T551、T561)	46
3.5.6	黏度指数改进剂 (T601、T602、T603)	47
3.5.7	降凝剂 (T801、T803)	50
3.5.8	抗泡沫剂 (T901、T911、T912)	52
4	防锈油脂	53
4.1	防锈油脂的防锈原理	53
4.2	防锈油脂的组成	53
4.3	防锈油脂的分类与标准	54
4.3.1	国外防锈油脂的种类和规格	54
4.3.2	我国防锈油脂的分类和标准	61
4.4	常见的防锈油脂产品	63
4.4.1	1、2号防护油	63
4.4.2	3号防护油	65
4.4.3	JY 清洁润滑防护三用油	65
4.4.4	1号硬膜防锈油	66
4.4.5	2号软膜薄层防锈油	67
4.4.6	ZT 工序防锈油	68
4.4.7	JY-1 脂型防锈油	69
4.4.8	炮用润滑脂	70

<b>5 防锈油脂封存工艺</b> .....	71
5.1 防锈油脂的选择.....	71
5.2 金属表面预处理.....	71
5.2.1 溶剂清洗.....	72
5.2.2 碱液除油.....	72
5.2.3 机械清理.....	74
5.2.4 化学除锈.....	75
5.2.5 金属表面综合处理.....	76
5.3 干燥.....	76
5.4 油封.....	77
5.4.1 浸涂法.....	77
5.4.2 刷涂法.....	78
5.4.3 喷涂法.....	78
5.4.4 全浸法.....	78
5.4.5 注油法.....	78
5.5 包装.....	78
5.6 封存工艺实例.....	79
5.6.1 滚动轴承防锈封存工艺.....	79
5.6.2 量具及刀具制品防锈封存工艺.....	81
5.6.3 工程机械防锈封存工艺.....	82
5.7 防锈油脂使用注意事项.....	82
<b>6 防锈油脂性能评定</b> .....	84
6.1 防锈油脂基本性能评定.....	84
6.2 防锈油脂防锈性能评定.....	84
6.3 防锈试验准备与评定.....	84
6.3.1 试片的准备.....	84
6.3.2 试片锈蚀评定方法.....	87
6.4 主要防锈试验简介.....	88
6.4.1 防锈油脂湿热试验法.....	88
6.4.2 防锈油脂盐雾试验法.....	89
<b>7 气相缓蚀技术</b> .....	91
7.1 概述.....	91
7.2 气相缓蚀剂防锈原理.....	93
7.3 常见气相缓蚀剂.....	93
7.3.1 亚硝酸二环己胺.....	94



7.3.2	碳酸环己胺	95
7.3.3	乌洛托品	95
7.3.4	苜胺	97
7.3.5	肉桂酸钠	99
7.3.6	水杨酸钠	100
7.3.7	亚硝酸盐	102
7.3.8	钼酸盐	102
7.3.9	铬酸叔丁酯	103
7.3.10	苯骈三氮唑	103
7.3.11	甲基苯骈三氮唑	103
7.3.12	咪唑及其衍生物	104
7.3.13	噻唑	106
<b>8</b>	<b>气相防锈产品</b>	<b>108</b>
8.1	气相防锈母粒	108
8.1.1	产品简介	108
8.1.2	适用范围	108
8.1.3	技术指标	108
8.1.4	使用方法	109
8.2	通用型气相防锈膜	109
8.2.1	产品简介	109
8.2.2	适用范围	109
8.2.3	技术指标	109
8.2.4	使用方法	110
8.2.5	防锈期	110
8.3	气相防锈防静电膜	110
8.3.1	产品简介	110
8.3.2	适用范围	110
8.3.3	技术指标	110
8.3.4	使用方法	111
8.3.5	防锈期	111
8.4	通用型气相防锈粉	111
8.4.1	产品简介	111
8.4.2	适用范围	111
8.4.3	技术指标	111
8.4.4	使用方法	112
8.5	气相防锈干燥剂	112

8.5.1	产品简介	112
8.5.2	适用范围	112
8.5.3	技术指标	112
8.5.4	使用方法	113
8.6	气相防锈液	113
8.6.1	产品简介	113
8.6.2	适用范围	113
8.6.3	技术指标	113
8.6.4	使用方法	114
8.6.5	用量	114
8.7	可剥离气相防锈涂料	114
8.7.1	产品简介	114
8.7.2	应用范围	114
8.7.3	技术指标	114
8.7.4	使用方法	115
8.8	通用型气相防锈油	115
8.8.1	产品简介	115
8.8.2	适用范围	115
8.8.3	技术指标	115
8.8.4	使用方法	116
8.8.5	防锈期	116
8.9	快干型气相防锈油	116
8.9.1	产品简介	116
8.9.2	适用范围	116
8.9.3	技术指标	116
8.9.4	使用方法	117
8.10	气相防锈润滑油	117
8.10.1	产品简介	117
8.10.2	优越性	117
8.10.3	技术指标	117
8.10.4	使用方法	118
8.11	防锈复合剂	118
8.11.1	产品简介	118
8.11.2	适用范围	118
8.11.3	技术指标	118
8.11.4	使用方法	118

<b>9 气相防锈技术使用工艺</b> .....	119
9.1 气相防锈材料使用操作工艺 .....	119
9.2 气相防锈材料使用注意事项 .....	119
9.3 气相防锈材料用量要求 .....	120
<b>10 防锈试验方法</b> .....	121
10.1 GB/T 2361—1992 (2004) 防锈油脂湿热试验法 .....	121
10.2 GB/T 5096—1985 (2004) 石油产品铜片腐蚀试验法 .....	123
10.3 GB/T 10125—2012/ISO 9227: 2006 人造气氛腐蚀试验盐雾试验 .....	128
10.4 GB/T 11143—2008 加抑制剂矿物油在水存在下防锈性能试验法 .....	140
10.5 GB/T 26105—2010 防锈油防锈性能试验多电极电化学法 .....	148
10.6 SH/T 0025—1999 (2005) 防锈油盐水浸渍试验法 .....	155
10.7 SH/T 0036—1990 (2006) 防锈油水置换性试验法 .....	156
10.8 SH/T 0060—1991 (2006) 除锈脂吸氧测定法 .....	158
10.9 SH/T 0063—1991 (2006) 防锈油干燥性试验法 .....	163
10.10 SH/T 0080—1991 (2006) 防锈油脂腐蚀性试验法 .....	165
10.11 SH/T 0081—1991 (2006) 防锈油脂盐雾试验法 .....	167
10.12 SH/T 0082—1991 (2006) 防锈油脂流下点试验法 .....	170
10.13 SH/T 0083—1991 (2006) 防锈油耐候试验法 .....	172
10.14 SH/T 0105—1992 (2006) 溶剂稀释型防锈油油膜厚度测定法 .....	174
10.15 SH/T 0106—1992 (2006) 防锈油人汗防蚀性试验法 .....	176
10.16 SH/T 0107—1992 防锈油人汗洗净性试验法 .....	178
10.17 SH/T 0195—1992 (2007) 润滑油腐蚀试验法 .....	180
10.18 SH/T 0211—1998 (2004) 防锈油脂低温附着性试验法 .....	181
10.19 SH/T 0212—1998 (2004) 防锈油脂除膜性试验法 .....	183
10.20 SH/T 0214—1998 (2004) 防锈油脂分离安定性试验法 .....	185
10.21 SH/T 0215—1999 (2005) 防锈油脂沉淀值和磨损性测定法 .....	187
10.22 SH/T 0216—1999 (2005) 防锈油喷雾性试验法 .....	191
10.23 SH/T 0217—1998 (2004) 防锈油脂试验试片锈蚀度评定法 .....	192
10.24 SH/T 0218—1993 (2004) 防锈油脂试验用试片制备法 .....	193
10.25 SH/T 0533—1993 (2006) 防锈油脂防锈试验试片锈蚀评定方法 .....	199
10.26 SH/T 0584—1994 (2004) 防锈油脂包装贮存试验法 .....	200
10.27 SH/T 0660—1998 (2004) 气相防锈油试验方法 .....	203
10.28 JB/T 3206—1999 防锈油脂加速凝露腐蚀试验方法 .....	210
10.29 JB/T 4050.2—1999 气相防锈油试验方法 .....	213
10.30 JB/T 4051.2—1999 气相防锈纸试验方法 .....	217
10.31 JB/T 4216—1999 防锈油膜抗热流失性试验方法 .....	220

---

附录 相关标准 (节选)	223
附录 1 SH/T 0692—2000 防锈油	223
附录 2 GB/T 4879—2016 防锈包装	237
附录 3 GB 11372—1989 防锈术语	242
附录 4 GB/T 14165—2008 金属和合金大气腐蚀试验现场试验的一般要求	249
附录 5 GB/T 14188—2008 气相防锈包装材料选用通则	256
附录 6 GB/T 19532—2004 包装材料气相防锈塑料薄膜	262
附录 7 JB/T 4050.1—1999 气相防锈油技术条件	271
附录 8 JB/T 4051.1—1999 气相防锈纸技术条件	273
附录 9 JB/T 6067—1992 气相防锈塑料薄膜技术条件	275
附录 10 JB/T 6068—1992 气相防锈材料使用方法	279
参考文献	282

# 1 绪 论

## 1.1 金属防护的重要意义

众所周知，金属的腐蚀现象是十分普遍的。人类早在铁器时代就面临着金属腐蚀的问题，古希腊早在公元前便开始用锡来防止铁的锈蚀。经考古证实，我国从商代就已经开始用锡来加强铜的耐腐蚀性而出现了锡青铜。随着金属工具的广泛使用，特别是在工业革命以后，现代海洋、空间和原子能技术的出现，进一步加快了人类对金属腐蚀与防护的研究步伐。在人类进入 21 世纪的今天，金属材料的应用领域得到了极大的拓宽，各种各样的金属制品已经渗入到我们生活的方方面面。人类也比以往任何时期更加重视对金属防护的研究。

金属腐蚀的破坏不像地震、海啸、台风那样在瞬间造成巨大灾害，而是无时无刻不在静悄悄地吞噬金属，由此造成的年损失远远超过水灾、火灾、风灾和地震（平均值）等损失的总和。诸如，机械车间因锈蚀而返工，机器因锈蚀造成运转失灵，仪表因锈蚀致使指示偏差，储运及拆箱待用的精密器械、仪器与设备因锈蚀而退货报废，化工设备因腐蚀造成爆炸事故，桥梁、船舶等因腐蚀而造成损毁等。1981~1987 年，苏联的管道统计表明，苏联的输气管道，总长约 24 万千米的管线上曾发生事故 1210 次，其中因管道腐蚀造成的事故 546 次，占总事故的 45.12%。据美国国家输送安全局统计，美国 45% 的管道损坏是由外壁腐蚀引起的。并且输气干线和集气管线的泄漏事故中，有 74% 是由金属腐蚀造成的。每年因金属腐蚀造成的人员伤害各国均有发生。如 1967 年 12 月，美国西弗吉尼亚州与俄亥俄州之间的一座桥梁因钢结构腐蚀突然坍塌，导致 46 人死亡；1968 年我国威远至成都的输气管道因腐蚀造成泄漏爆炸，致使 20 人死亡；1982 年 9 月 17 日，一架日航 DC-8 喷气式客机在上海虹桥机场着陆时因飞机刹车系统高压气瓶应力腐蚀造成爆炸，对飞机和旅客造成了极大伤害。这都表明了金属腐蚀具有极大的危害性。

据资料显示，1997 年日本由金属腐蚀造成的损失达 39380 亿日元，占国民生产总值的 0.77%；1998 年美国由腐蚀造成的直接损失高达 1379 亿美元；1998 年我国由腐蚀造成的经济损失达到 2800 亿人民币。据 2009 年中国腐蚀与防护学会成立 30 周年庆典上公布的数据，我国每年金属腐蚀造成的损失在 3000 多亿人民币，如果考虑间接损失，由金属腐蚀造成的经济损失总和高达 5000 亿人民币。目前，全球每年由腐蚀造成的金属损失量高达全年金属产量的 20%~40%。世界上发达国家的调查统计，每年由金属腐蚀造成的直接损失占国民经济生产总值的 1.5%~4.2%。按照 2015 年中国国民生产总值（GDP）67.67 万亿人民币的 4% 损失量计算，我国每年将有近 27068 亿人民币的腐蚀损失。

综上所述，金属腐蚀不仅影响金属制品的固有性能，甚至造成安全事故，更会对国家的国民经济造成巨大损失。因此，研究和了解金属防护技术具有重要的社会和经济意义。

## 1.2 防锈技术的发展历程

目前,有史料记载最早的防锈技术可追溯到公元 250 年的中国后汉时期。当时人们就用石油作为车辆的润滑和铁的防锈。1450~1458 年,欧洲人用一种白苏子油涂纸后包针,这是防锈纸使用的开始。

随着工业革命的进行,大量的机械制品、精密仪器出现在人们的生活中,以及航海事业的兴起,世界性战争中武器的海洋运输和储藏,都大大地促进了金属防锈技术的发展。英国在 1943 年发布了包装标准 (BS1133),并且在 1944 年将其中金属防锈部分单独出版发行,由军用推广到民用。第二次世界大战期间,美国为了解决东南亚高温高湿环境对武器装备的腐蚀问题,在防锈技术上得到了极大的发展。20 世纪四五十年代,美国、日本、苏联各国大力开展防锈科研工作,期间大量的防锈报告及产品专利纷纷发表,为规范防锈材料达到系列化提供了大量依据。20 世纪 60 年代,美军系统地对防锈材料订立了 P 系列标准,规定了防锈材料的质量标准和试验方法。到 1973 年,美军 P 系列已增加到 P-21。随后,日本在美军 P 系列标准基础上制定了自己国家的 NP 系列标准。英国相应制定了 TP 系列标准。1988 年,我国成立了全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会 (CSBTS/TC57) 防锈分委员会,统一规划和修订、制定标准。2000 年我国等效采用日本 JIS K2246—1994 标准,发布了防锈油脂产品系列行业标准 (SH/T 0692—2000)。

随着防锈技术的发展,其他类型的防锈方法应运而生。气相缓蚀剂得到飞速发展,可剥性塑料和茧式包装也开始不断应用。关于防锈添加剂的理论探讨、缓蚀剂的生产、防锈产品的评价方法开始进入新的研究阶段,这也使得防锈技术和防锈材料的种类不断完善,防锈技术领域基本上形成体系。目前,防锈技术手段多种多样,防锈特点各具特色,本书主要是对市场上使用最为广泛的防锈油脂和气相防锈技术进行了梳理介绍。

## 1.3 我国防锈油脂的发展概况及发展趋势

防锈油脂是以矿物油为基础材料,加入油溶性缓蚀剂和其他辅助添加剂(如分散剂、抗氧剂、增黏剂、消泡剂等)调和而得的。由于矿物油来源丰富,价格低廉,以及其防锈效果好,操作简便,易清除等特点,防锈油脂依然是目前使用最为广泛的防锈材料之一。

国外防锈油脂的研究始于 20 世纪 20 年代初期,相对于国外发达国家,我国对防锈油脂的研究起步较晚。防锈油脂是随着油溶性缓蚀剂的发展而发展的。

20 世纪 50 年代,我国参照苏联标准研制了一些防锈油脂产品。但是由于油溶性缓蚀剂生产工艺落后,当时种类局限于羊毛脂、蜂蜡、硬脂酸及油酸的衍生物等。所调制出的防锈油脂的质量性能一般都不理想,防锈效果很差。

到了 20 世纪 60 年代初期,我国石油工业不断发展,石油产品炼制过程中的副产品不断增多,为油溶性缓蚀剂的生产提供了大量原材料,继而油溶性缓蚀剂的种类也大大增多,石油磺酸钡、环烷酸锌等高品质缓蚀剂开始进入市场。加之新型羊毛脂衍生物的出现及应用,如磺化羊毛脂钙、羊毛脂镁皂,防锈油脂的发展开始进入新的阶段。大量的防锈油品开始研制生产,如 204-1、沪石-201、F-23 及其浓缩油 FY-5 被广泛使用。

60 年代中期,相关研究部门的方向开始转向对合成缓蚀剂的开发。十二烯基丁二酸、

二壬基萘磺酸钡、氧化石油脂钡皂、烷基磷酸酯、咪唑啉及复合物等合成缓蚀剂相继研发成功并投入市场使用。苯骈三氮唑及其衍生物的广泛使用,使得防锈油脂对有色金属,特别是铜合金的防护得到了显著改进。至此,军工武器装备开始使用防锈油脂进行防护。我国也参照美军系列,研制生产了大量防锈产品,防锈油脂的质量性能和品种得到了进一步发展。

20世纪70年代以后,油溶性缓蚀剂品种发展缓慢,主要是对不同类型缓蚀剂合理配伍,加强各类型缓蚀剂的协同作用进行研究,不断提高防锈油脂的性能品质。

我国的防锈油产品已经形成规模,年产量已经超过2万吨。我国经过“六五”和“七五”国家科技攻关计划,以及近几年的不断研究,现在已经形成一批相当于美军P系列和日本NP系列的防锈材料,初步形成了我国自己的防锈材料系列。大部分工厂与企业,已制定了符合行业和各厂实际情况且行之有效的防锈工艺规程与防锈管理制度,有的还比较先进。有些企业自制或引进了一批清洗、防锈、包装生产线。已拥有一批防锈工艺装备的厂家和生产符合标准要求的检测仪器厂家。但是,我国在产品质量和品种方面,低、中档多,高档少,防锈油脂的发展不均衡,与国外的防锈产品存在着明显的差距。1989~1990年对全国73个油样进行评定,资料显示达到国家标准、行业标准的占75%,达到企业标准的占7.81%。国内防锈产品存在的主要问题是,在钢铁制品保存期间防锈油的抗蚀效果不理想,油层太厚,严重影响外观。

我国防锈行业仍然存在着发展不平衡的问题。首先,防锈技术发展不平衡,大中型厂防锈技术普遍偏高,地方小企业则技术水平偏低,产品生产储运过程无任何标准要求及消防措施。其次,行业发展不平衡,轴承、工量具、机床、汽车与重型机器行业防锈水平较高,并引进或研制了一批先进的防锈技术与管理方法;而农机,通用零配件,矿山机械与工程机械,大型板、圈、带材等行业的防锈技术还比较落后。大型成套设备防锈包装技术的开发研究,尚未引起足够的重视。防锈工艺装备与先进工业国家相比,差距比较大,主要体现在防锈包装自动化方面和材料质量控制自动化方面。目前在国内工序间防锈工艺方面,60%~70%为手动操作,30%~40%为半自动化,相当于先进国家20世纪60年代末至70年代初的水平。目前,美国、日本、德国等国已发展到封闭式电脑控制全自动线的防锈包装工艺与装备,有近90%采用单机清洗、干燥、防燥、防锈与包装。我国在产品防锈包装工艺装备方面,20%~30%采用单机清洗、除油,尚无全封闭式自动化生产线。轴承、工量具与汽车行业近几年虽安装使用了一些自动化生产线,如轴承的上料、退磁、清洗、烘干、涂油自动化线,但水平与先进国家相差较大。因此我国未来应加强自动化防锈工艺成套装备的开发与研制。

防锈油具有使用效果好、使用方便、成本低廉、易于施工、操作简便和易于去除等优点,已在国内外得到广泛的应用。随着防锈技术的不断发展,近年来防锈油的发展呈现如下趋势:

(1) 多功能性。随着市场要求的不断提高,近年来市场上出现了多种功能的防锈油,可以适应多种条件下金属制品的防护和使用需要。除了具有良好防锈功能外,还具备其他功能和作用,比如润滑、清洗、减振等功效。现已研制出的清洁润滑防护三用油被广泛运用于军工行业,可以不经除膜而直接使用,并且市场对于这类防锈油的需求也是越来越大。

(2) 超薄膜。普通油品的油膜厚度通常都在  $20\mu\text{m}$  以上, 使用时, 不仅油腻粘手, 而且影响油膜外观, 限制油品的使用范围。而超薄膜油膜厚度小于  $5\mu\text{m}$ , 防锈油品则可以将这些弊端降低到最低程度。这样不仅仅节约大量的防锈油, 降低使用成本, 而且起到降低其他损耗的作用。

(3) 利于环保。随着时代的进步, 人们更加注重对自身赖以生存的环境进行保护。这就对防锈油的组成及使用也提出相应的要求, 因而采用符合环保要求的防锈材料, 开发具有可生物降解性的防锈油品, 实施更为健康和有效的防腐包装工艺也将变得越来越重要。

(4) 重视包装。为节约用油, 方便使用, 满足不同用户的实际使用需要, 防锈油近年来出现了气溶胶罐、压力喷雾罐及普通瓶装等多种包装形式和容量规格, 并逐渐走上了超市的货架。相信其包装在“更美观、更安全、更科学、更实用”原则指导下, 今后将受到更多的重视和得到更快的发展。

## 1.4 我国气相缓蚀技术的发展概况

气相防锈技术也称 VCI 技术 (VCI 是英文气相缓蚀剂 Volatile Corrosion Inhibitor 的缩写), 它是利用气相缓蚀剂对金属进行防锈保护的一种技术。其原理是: 具有较低饱和蒸气压的气相缓蚀剂, 挥发出一种可溶于水的特殊气体, 附着在金属表面形成保护层, 从而切断电子从阳极向阴极的移动, 抑制了电化学反应的发生, 同时也阻挡了一些加速金属腐蚀的物质侵蚀金属表面。该技术的发展主要包括三个方面: 气相缓蚀剂合成及配方研制、各类气相防锈产品的开发应用及检测监测技术的研发。

与其他防锈方法相比较, 气相防锈技术主要具有以下优点:

(1) 防锈期长, 可根据用户的实际需要设定防锈期, 最长可达 10 年以上。

(2) 使用操作方便, 无须在被包装金属材料表面涂油, 启封后可直接投入使用, 显著缩短平战转换时间, 且材料可反复使用, 尤其适用于野战条件下的装备防护。

(3) 不受被包装物品几何形状和体积的限制, 气相防锈材料挥发出的气体可以到达被包装物品内部的任何空间, 对结构复杂、不易为其他防锈涂层涂敷到的构件最为适宜。

(4) 对武器装备的储存条件要求低, 占用和消耗资源少, 具有包装过程清洁、劳动强度低、综合成本低等特点。

(5) 无污染, 易处理, 对人体无害, 大部分材料可以回收利用。

### 1.4.1 气相防锈产品的开发应用

由于气相缓蚀剂的迅速发展及它在金属防锈方面所具有的优异效果, 近些年来, 气相防锈技术的应用越来越广, 产品的种类也越来越多。从气相防锈产品的应用形式来看, 目前国外主要有四种形式: 气相防锈粉 (包括片剂)、气相防锈纸、气相防锈油和气相防锈膜等。

(1) 气相防锈粉。气相防锈粉是使用历史最长的气相防锈产品。使用时一般将气相防锈粉散布于被防护物上, 或装入纱布袋、纸袋内, 或压成片剂分置于被防护物四周各处。使用量按不透气的包装一般为  $35\sim 525\text{g}/\text{m}^3$ , 有效作用距离主要取决于气相缓蚀剂的饱和蒸气压, 大致在  $10\sim 100\text{cm}$ 。



包装后,最好在较高的温度下预膜数小时,以利于气相缓蚀剂挥发并吸附于金属表面。目前,气相防锈粉主要作为其他气相防锈方法的辅助方法使用。

(2) 气相防锈纸。气相防锈纸是将气相缓蚀剂涂布(或浸)于牛皮纸或其他纸上,经干燥后,再分置于待包装物的周围,也可直接用来包装制件,再置于封闭包装内。

气相防锈纸所用的纸,可以是牛皮纸、在原纸上贴合一层塑料薄膜或铝箔的气相纸或沥青纸。纸上涂(或浸)气相缓蚀剂的用量为 $5\sim 60\text{g}/\text{m}^2$ ,一般在 $20\sim 40\text{g}/\text{m}^2$ ,视气相缓蚀剂种类和具体应用对象而定。有效作用距离比相应气相防锈粉要大一些,实际使用时,如果距离过宽,必须用气相缓蚀剂纸片或粉末,加在中间以弥补其不足。在包装时,纸与金属之间,不应夹杂有其他任何物质,特别是酸性的纸张和木材等。

(3) 气相防锈油。气相防锈油是将气相缓蚀剂溶入切削油、润滑油中使用,具有润滑和气相防锈双重作用,适用于发动机、齿轮箱、油压装置等。

气相防锈油是目前仍在大范围使用的气相防锈技术之一。

(4) 气相防锈膜。气相防锈膜最初的制备工艺是将气相缓蚀剂制成溶液,然后涂敷在塑料薄膜上,其典型组成形式为薄膜-薄膜形式,即将载体薄膜(常用聚乙烯醇缩丁醛和聚醋酸丁烯基树脂等,在此载体中内含气相缓蚀剂)用胶黏剂附着于基体薄膜(常用为聚乙烯、聚丙烯与玻璃纸等)上。但是由于技术上的问题,使用效果很差。国外近年已逐步发展成两层或三层的气相防锈膜,内层或中间层富含多组分气相缓蚀剂,外层透明、不透水、不透气。

美国 NTI 公司于 1980 年首先将 Zerust VCI (Zerust 气相缓蚀剂)合成于聚乙烯包装产品中,取代了防锈油及防锈粉等传统防锈处理工艺,使金属、机电产品在加工、运输、仓储过程中的防锈保护,达到了“干净、干燥、无腐蚀”的新境界,具有省时、省工、无污染、节约综合成本等显著优点。目前,气相防锈膜(简称 VCI 薄膜)已成为国外气相防锈技术的主流产品。使用时,将需要防锈的金属制品,直接用这种薄膜封装,就可以收到很好的防锈效果。

气相防锈膜的防锈时间可以达到 3~5 年,如果同时放入气相缓蚀剂,则可以延长至 10 年。气相防锈膜的应用已逐渐趋于成熟,各国分别制定了相应标准,如美国标准: MILF—22019B, 日本标准: JIS—Z—1901—63, 中国国家标准: GB/T 19532—2012。

气相防锈产品在工业领域的应用主要是有以下几个方面:

(1) 用于金属零件生产过程中的防锈。金属零件在各道加工工序之间,在加工成成品后进入装配阶段之前,或成品零件在进入包装工序之前,往往都要有一段停留时间,在此期间如不对金属零件采取防锈措施,金属零件很容易生锈。特别是那些不便采用涂油的零件更是如此。为此,许多企业采用气相防锈技术对成品和零件进行简易防护,如用气相防锈膜对零件进行包裹密封,对大型零件进行简易封存等,收到了很好的效果。

(2) 用于金属产品运输过程中的防锈。许多金属产品在一个工厂加工后,还要运到另一个工厂进行加工、组装(如汽车发动机),这个过程的运输期可能很长,远洋运输一般可达半年以上。在运输期间金属产品可能会经历许多恶劣的环境,像高温、潮湿、海洋中的高盐空气侵蚀等。为了避免运输过程的金属腐蚀以及由此造成的经济损失,目前许多企业使用气相防锈材料对金属进行防锈,效果非常好。

(3) 用于金属产品储存中的防锈金属产品从出厂到交付用户使用,一般要有一个时