

防 腐 蚀 工 程 师 必 读 丛 书

腐蚀试验方法 及监测技术

李久青 杜翠薇 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

内 容 提 要

《腐蚀试验方法及监测技术》为《防腐蚀工程师必读丛书》之一,由中国腐蚀与防护学会组织专家编写。全书共分为三篇。第1篇为腐蚀试验方法,主要介绍腐蚀试验方法的分类、试验设计与试验条件控制、常用的腐蚀评定方法、电化学测试方法、常规实验室腐蚀试验方法、局部腐蚀试验方法、加速腐蚀试验方法、自然环境中的腐蚀试验。第2篇为防腐蚀检测技术,介绍防腐蚀工程和产品的检测技术,包括阴极保护检测技术、涂料涂层检测技术及缓蚀剂测试评定方法。第3篇为腐蚀监控,包括腐蚀监控技术、腐蚀监控装置和方法选择以及腐蚀监控中的计算机应用。

本书可作为防腐蚀工程师技术资格认证培训教材,也可以作为高等院校相关专业教材和参考书,并可供从事防腐蚀领域的技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

腐蚀试验方法及监测技术/李久青,杜翠薇编著.
—北京:中国石化出版社,2007
(防腐蚀工程师必读丛书)
ISBN 978-7-80229-269-7
I. 腐… II. ①李… ②杜… III. ①腐蚀试验 ②防腐检验
IV. TB304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 032697 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

中国石化出版社图文中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 435 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

《防腐蚀工程师必读丛书》

编写委员会

名誉主任委员	柯 伟					
主 任 委 员	吴荫顺					
副主任委员	左 禹	高 瑾	米 琪	赵 怡		
委 员	左 禹	米 琪	李久青	李金桂	吴荫顺	
	杜翠薇	杨德钧	林玉珍	郑家桢	高 瑾	
	曹 备	熊金平				

序

金属材料在自然条件或工况条件下，由于与其所处环境介质发生化学或电化学反应而引起的退化和破坏，这种现象称为腐蚀，其中也包括上述因素与力学因素或生物因素的共同作用。某种物理作用(例如金属材料在某些液态金属中的物理溶解现象)也可以归入金属腐蚀范畴。

腐蚀问题遍及各个部门及行业，对国民经济发展、人类生活和社会环境产生了巨大危害。据统计，各国由于腐蚀破坏造成的年度经济损失约占当年国民经济生产总值的 1.5% ~ 4.2%，随各国不同的经济发达程度和腐蚀控制水平而异。根据《中国腐蚀调查报告》的资料，我国近年来的年腐蚀损失约为 5000 亿元(约占国民经济生产总值的 5%)，这是一个十分惊人的经济损失数字。除了腐蚀的经济性问题之外，腐蚀过程和结果实际上也是对地球上有限资源和能源的极大浪费，对自然环境的严重污染，对正常工业生产和人们生活的重大干扰，并给人们带来不可忽视的社会安全性问题。腐蚀问题还可成为阻碍高新技术发展和国民经济持续发展的重要制约因素。

腐蚀与防护是一个很重要的学科，它涉及许多对国民经济发展有着重要影响的行业。普遍地、正确地选用适当的腐蚀控制技术和方法，可以防止或减缓腐蚀破坏，最大程度地减轻可能由腐蚀造成的经济损失和社会危害。一般认为，只要充分利用现有的腐蚀控制技术，就可使腐蚀损失降低(挽回)25% ~ 30%。采用适当的腐蚀控制措施和预防对策，其能够达到的目标是：可以保障公共安全，防止工业设备损伤破坏，保护环境，节约资源能源，以及挽回数以百亿、千亿元的腐蚀损失。

腐蚀结果表现为多种不同的类型，在不同条件下引起金属腐蚀的原因不尽相同，而且影响因素也非常复杂。因此，根据不同的金属/介质体系和不同的工况条件，迄今已发展出多种有效的防腐蚀技术(腐蚀控制措施)，内容非常丰富。每一种防腐蚀技术都有其适用范围和条件，只要掌握了它们的原理、技术和工程应用条件，就可以获得令人满意的防腐蚀效果。对国民经济建设的贡献将是巨大的。

当前，随着国民经济的迅速发展，我国腐蚀科学和防腐蚀工程技术领域迎来了又一个春天。防腐蚀市场的发展和巨大需求，给腐蚀科学和防腐蚀工程业界的广大科研人员和工程技术人员带来了极大的机遇。为和腐蚀作斗争，满足国民经济的巨大需求，就需要拥有大量高水平的科技人才和一支很大的防腐蚀从业人员队伍。在开展腐蚀科学研究、发展和推广应用防腐蚀技术、精心实施防腐蚀工程项目的同时，我们还应高度重视防腐蚀教育工作，培养一大批合格的、能满足国民经济需要的各类人才。

中国腐蚀与防护学会经国家主管部门授权,试点开展防腐蚀工程师(系列)技术资格认证工作。同时,对需要提高腐蚀与防护专业知识水平的人员,中国腐蚀与防护学会将组织专业培训和考试。为此中国腐蚀与防护学会组织编写了《防腐蚀工程师技术资格认证考试指南》(中国石化出版社出版,2005年1月)。为了适应防腐蚀工程师(系列)技术资格认证工作的需求,以及满足腐蚀学科与防腐蚀行业的科研人员和工程技术人员进一步学习的需要,中国腐蚀与防护学会和中国石化出版社又共同组织编写了一套《防腐蚀工程师必读丛书》。这套丛书包括《腐蚀和腐蚀控制原理》(林玉珍、杨德钧)、《工程材料及其耐蚀性》(左禹、熊金平)、《表面工程技术和缓蚀剂》(李金桂、郑家荣)、《阴极保护和阳极保护——原理、技术及工程应用》(吴荫顺、曹备)、《防腐蚀涂料与涂装》(高瑾、米琪)、《腐蚀试验方法及监测技术》(李久青、杜翠薇)共6册。在编写过程中,力求理论联系实际,深入浅出,通俗易懂,便于自学,尽可能结合防腐蚀工程案例,使它们既可用作技术资格认证培训的教学参考书,也可作为广大科技工作者的科技参考书。

丛书编委会由中国腐蚀与防护学会邀请本学科、本行业的专家教授组成。由于时间短促和限于作者水平,书中缺点错误在所难免,敬请广大读者指正;当然,作者和编委会努力将缺点错误减至最少。我们期望这套丛书对感兴趣的读者有所裨益,对我国的国民经济建设能有所贡献。

《防腐蚀工程师必读丛书》

编写委员会

前 言

腐蚀试验、防腐蚀检测和工业腐蚀监控是从事腐蚀研究和防腐蚀工程不可或缺的方法和手段，是防腐蚀工程师完整知识结构中必要的组成部分。作为防腐蚀工程师必读丛书之一，出版本书的目的是配合防腐蚀工程师资格认证和培训，使读者对防腐蚀工程师必备的基本专业知识有一个全面的了解，为相关课程提供一本教学参考书。本书也可供从事腐蚀研究和防腐蚀工程的科技人员和大专院校相关专业的师生使用。

本书共分为三篇。第1篇为腐蚀试验方法，主要介绍腐蚀试验方法的分类、试验设计与试验条件控制、常用的腐蚀评定方法、电化学测试方法、常规实验室腐蚀试验方法、局部腐蚀试验方法、加速腐蚀试验方法、自然环境中的腐蚀试验。第2篇为防腐蚀检测技术，介绍防腐蚀工程和产品的检测技术，包括阴极保护检测技术、涂料涂层检测技术及缓蚀剂测试评定方法。第3篇为腐蚀监控，包括腐蚀监控技术、腐蚀监控装置和方法选择以及腐蚀监控中的计算机应用。

本书力图在现有知识范围内总结概括腐蚀试验方法、防腐蚀检测技术和工业腐蚀监控的现状，编写过程中作者参考引用了国内外一些腐蚀工作者著作中的有关内容，借此机会向这些作者致以衷心的感谢。本书中的许多内容也是作者及在北京科技大学腐蚀与防护中心工作的同事们多年来教学和科研工作的总结，是在《腐蚀试验方法与防腐蚀检测技术》一书的基础上完成的，吴荫顺教授在全书的结构和取材等方面都给予了很大帮助，李晓刚教授对本书的编写始终给予了大力支持，在此一并表示深深的谢意。

本书第1篇由李久青编写，第2、3篇由杜翠薇编写，组稿过程中李磊、刘智勇、张新、王炜等同志给予了大力协助。鉴于作者水平有限，编写时间仓促，书中疏漏和错误之处难免，殷切希望读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 篇 腐蚀试验方法

第 1 章 概论	(1)
1.1 腐蚀试验的任务与试验方法分类	(1)
1.1.1 腐蚀试验的任务	(1)
1.1.2 腐蚀试验方法的分类	(1)
1.2 腐蚀试验设计与试验条件控制	(3)
1.2.1 腐蚀试验设计	(3)
1.2.2 腐蚀试验条件控制	(4)
第 2 章 常用腐蚀评定方法	(10)
2.1 外观检查	(10)
2.1.1 宏观检查	(10)
2.1.2 微观检查	(10)
2.1.3 评定方法	(11)
2.2 质量法	(12)
2.2.1 质量增加法	(12)
2.2.2 质量损失法	(12)
2.2.3 质量法测量结果的评定	(17)
2.3 失厚测量与孔蚀深度测量	(18)
2.3.1 失厚测量	(18)
2.3.2 孔蚀深度测量	(18)
2.4 气体容量法	(19)
2.4.1 析氢测量	(19)
2.4.2 吸氧测量	(19)
2.5 电阻法	(20)
2.5.1 基本原理	(20)
2.5.2 测量技术	(21)
2.6 力学性能与腐蚀评定	(21)
2.6.1 用力学性能变化评定全面腐蚀	(21)
2.6.2 局部腐蚀对力学性能的影响	(22)
2.7 溶液分析与指示剂法	(22)
第 3 章 电化学测试技术	(25)
3.1 电极电位测量	(25)
3.2 极化曲线测量	(28)
3.2.1 极化曲线测量技术的分类	(28)

3.2.2 测量技术	(29)
3.3 线性极化技术	(31)
3.3.1 线性极化技术原理	(32)
3.3.2 线性极化测量技术	(35)
3.3.3 线性极化技术中的常数	(38)
3.4 弱极化区测量方法	(39)
3.4.1 Barnartt 三点法	(39)
3.4.2 两点法	(42)
3.5 测定腐蚀速度的极化曲线外延法	(43)
3.6 充电曲线法	(44)
3.6.1 恒电流充电曲线方程式	(44)
3.6.2 充电曲线方程式的解析方法	(45)
3.6.3 充电曲线的实验测定	(47)
3.7 暂态线性极化技术	(47)
3.8 恒电量法	(48)
3.8.1 恒电量法原理	(48)
3.8.2 恒电量法测试技术	(50)
3.9 交流阻抗技术	(51)
3.9.1 基本电路的交流阻抗谱	(51)
3.9.2 等效电路及电化学阻抗谱	(58)
3.9.3 交流阻抗测量与数据处理	(62)
3.10 电化学噪声研究方法	(65)
3.10.1 电化学噪声	(65)
3.10.2 电化学噪声的测定	(66)
3.10.3 电化学噪声的解析	(67)
第 4 章 常规实验室腐蚀试验方法	(72)
4.1 模拟浸泡试验	(72)
4.1.1 全浸试验	(72)
4.1.2 半浸试验	(73)
4.1.3 间浸试验	(74)
4.2 动态浸泡试验	(75)
4.2.1 一般流动溶液试验	(75)
4.2.2 循环流动溶液试验	(76)
4.2.3 高速流动溶液试验	(76)
4.2.4 转动金属试样的试验	(77)
4.3 控制温度的腐蚀试验	(78)
4.3.1 等温试验	(78)
4.3.2 传热面试验	(78)
4.3.3 温差腐蚀试验	(78)
4.3.4 高温高压釜试验	(78)

4.4 氧化试验	(80)
4.4.1 概述	(80)
4.4.2 质量法	(80)
4.4.3 容量法	(81)
4.4.4 压力计法	(82)
4.4.5 电阻法	(83)
4.4.6 水蒸气氧化试验	(83)
4.5 燃气腐蚀试验	(84)
4.5.1 概述	(84)
4.5.2 硫酸露点腐蚀试验	(85)
4.5.3 碱性硫酸盐熔融腐蚀试验	(86)
4.5.4 钒腐蚀试验方法	(88)
第5章 局部腐蚀试验方法	(90)
5.1 孔蚀试验	(90)
5.1.1 孔蚀研究目的及试验方法分类	(90)
5.1.2 孔蚀的化学浸泡试验方法	(90)
5.1.3 孔蚀的电化学试验方法	(94)
5.1.4 孔蚀现场试验	(99)
5.2 缝隙腐蚀试验	(100)
5.2.1 浸泡试验法	(100)
5.2.2 测定缝隙腐蚀敏感性的电化学方法	(102)
5.3 电偶腐蚀试验	(104)
5.3.1 实物部件试验	(104)
5.3.2 模拟试验方法	(104)
5.3.3 实验室试验	(105)
5.3.4 大气暴露试验	(107)
5.4 晶间腐蚀试验方法	(108)
5.4.1 评定晶间腐蚀倾向的化学浸泡方法	(109)
5.4.2 晶间腐蚀的电化学试验方法	(113)
5.4.3 其他检验与评定方法	(115)
5.5 应力腐蚀开裂试验方法	(116)
5.5.1 概述	(116)
5.5.2 应力腐蚀试验的试样	(117)
5.5.3 SCC 试验的加载方式	(129)
5.5.4 SCC 试验环境	(132)
5.5.5 试验与评定	(133)
5.6 腐蚀疲劳试验	(135)
5.6.1 腐蚀疲劳试验目的	(135)
5.6.2 腐蚀疲劳试验的分类	(135)
5.6.3 腐蚀疲劳试验的加载方法	(136)

5.6.4 腐蚀介质的引入方法	(136)
5.6.5 评定方法	(137)
5.7 磨蚀和空泡腐蚀试验方法	(137)
5.7.1 试验方法	(138)
5.7.2 试验数据的相关性	(140)
5.8 微动腐蚀试验方法	(140)
5.8.1 机械式微动腐蚀试验装置	(140)
5.8.2 电磁式微动腐蚀试验装置	(141)
第6章 加速腐蚀试验方法	(142)
6.1 盐雾试验	(142)
6.1.1 中性盐雾(NSS)试验	(142)
6.1.2 醋酸盐雾(ASS)试验	(142)
6.1.3 铜加速的醋酸盐雾(CASS)试验	(142)
6.1.4 其他标准试验方法	(142)
6.1.5 盐雾箱的结构	(143)
6.2 控制湿度的试验	(143)
6.3 腐蚀性气体试验	(144)
6.4 电解加速腐蚀试验	(145)
6.4.1 电解腐蚀试验(EC 试验)	(145)
6.4.2 阳极氧化铝的腐蚀试验方法	(145)
6.5 膏泥腐蚀试验(Corrodkote 试验)	(148)
第7章 自然环境中的腐蚀试验	(149)
7.1 大气暴露试验	(149)
7.1.1 试验场点选择	(149)
7.1.2 控制材料	(149)
7.1.3 大气暴露试验的试样	(149)
7.1.4 暴晒架与暴露试验	(151)
7.1.5 试验结果的评价	(151)
7.2 自然水中的腐蚀试验	(152)
7.2.1 海水腐蚀试验	(152)
7.2.2 淡水腐蚀试验	(155)
7.3 土壤腐蚀试验	(156)
7.3.1 土壤埋置试验	(156)
7.3.2 土壤特征参数的测量	(157)
参考文献	(159)

第2篇 防腐蚀检测技术

第8章 概论	(162)
8.1 防腐蚀检测的任务和意义	(162)
8.2 防腐蚀检测技术的发展和应	(162)

第9章 阴极保护检测技术..... (164)

9.1 引言 (164)

9.1.1 阴极保护检测的任务 (164)

9.1.2 阴极保护检测技术的基本要求 (164)

9.1.3 国内外现状和国内发展现状 (165)

9.2 管地电位测量技术 (166)

9.2.1 电位测量的一般原则 (166)

9.2.2 参比电极 (166)

9.2.3 测试探头 (168)

9.2.4 管地电位测试方法 (168)

9.2.5 电位测量中的 IR 降及其消除 (169)

9.3 牺牲阳极输出电流测试 (172)

9.3.1 直接测量法 (172)

9.3.2 双电流表法 (173)

9.3.3 标准电阻法 (173)

9.4 管内电流测试 (173)

9.4.1 电压降法 (173)

9.4.2 补偿法 (174)

9.4.3 保护电流密度的测定 (174)

9.5 绝缘法兰绝缘性能测试 (175)

9.5.1 兆欧表法 (175)

9.5.2 电位法 (175)

9.5.3 电压电流法 (176)

9.6 接地电阻测试 (177)

9.6.1 外加电流接地阳极的接地电阻测试 (177)

9.6.2 牺牲阳极接地电阻测试 (177)

9.7 土壤电阻率测试 (178)

9.7.1 原位测试法 (178)

9.7.2 土壤箱法 (178)

9.8 管道外防腐涂层漏电阻测试 (179)

9.8.1 外加电流法 (179)

9.8.2 间歇电流法 (180)

9.8.3 Pearson 法 (181)

9.8.4 CIPS 和 DCVG 联合检测法 (182)

9.8.5 电火花检漏 (182)

9.9 故障点确定 (183)

9.9.1 直流法 (183)

9.9.2 交流法 (184)

9.9.3 电化学暂态检测技术 (185)

9.9.4 DCVG 和 CIPS 综合检测技术 (185)

9.9.5 内部信号检测法	(185)
9.9.6 GPS(全球定位系统) 时间标签法	(186)
9.9.7 综合检测软件	(186)
第 10 章 涂料涂层检测技术	(187)
10.1 引言	(187)
10.1.1 涂料和涂层应用要求	(187)
10.1.2 涂料和涂层质量的检测与控制	(187)
10.2 涂料性能检测技术	(191)
10.2.1 液体涂料性能检测技术	(191)
10.2.2 粉末涂料性能检测技术	(195)
10.3 涂层性能检测技术	(197)
10.3.1 涂层基本性能检测技术	(197)
10.3.2 涂层应用性能检测技术	(203)
10.3.3 涂层性能的化学及电化学检测方法	(205)
10.3.4 涂层性能的物理检测方法	(209)
第 11 章 缓蚀剂测试评定方法	(214)
11.1 引言	(214)
11.1.1 缓蚀剂的性能与特点	(214)
11.1.2 缓蚀剂的缓蚀效率	(214)
11.2 缓蚀剂的性能测试评定	(215)
11.2.1 质量损失试验	(215)
11.2.2 电化学测试	(215)
11.2.3 其他分析技术	(218)
参考文献	(219)

第 3 篇 腐蚀监控

第 12 章 概论	(222)
12.1 腐蚀监控技术的发展及工业应用	(222)
12.2 腐蚀监控的任务	(224)
12.3 腐蚀监控系统	(225)
第 13 章 工业腐蚀监控技术	(227)
13.1 表观检查	(227)
13.2 挂片法	(228)
13.3 电阻探针	(229)
13.4 电位探针	(233)
13.5 线性极化探针	(235)
13.6 交流阻抗探针	(236)
13.7 氢探针	(238)
13.8 警戒孔监视(腐蚀裕量监测)	(240)
13.9 无损检测技术	(240)

13.9.1	超声检测	(240)
13.9.2	涡流技术	(242)
13.9.3	热像显示技术	(243)
13.9.4	射线照相术	(243)
13.9.5	声发射技术	(244)
13.10	电偶探针和电流探针	(245)
13.10.1	电偶探针	(245)
13.10.2	电流探针	(246)
13.11	离子选择探针(介质分析法)	(247)
13.12	其他方法	(248)
13.12.1	阳极激发技术	(248)
13.12.2	谐波分析方法(HA)	(249)
13.12.3	激光法测定氧化膜厚度	(249)
13.12.4	放射激活技术	(250)
13.12.5	渗透探伤法	(251)
13.12.6	化学分析法	(252)
13.12.7	漏磁法	(252)
第 14 章	腐蚀监控装置和方法选择	(254)
14.1	腐蚀监控装置	(254)
14.2	腐蚀监控方法的选择	(258)
14.3	腐蚀监测位置的确定	(259)
第 15 章	腐蚀监控中的计算机应用	(261)
15.1	计算机控制的腐蚀测量系统	(261)
15.2	计算机在自然环境和工厂设备腐蚀监控中的应用	(263)
参考文献		(267)

第 1 篇 腐蚀试验方法

第 1 章 概 论

1.1 腐蚀试验的任务与试验方法分类

1.1.1 腐蚀试验的任务

材料在环境介质的化学或电化学作用下所发生的变质和破坏,一般被称为腐蚀,其中也包括在化学/力学或化学/生物学因素共同作用下所造成的破坏。某些物理作用(例如合金在某些液态金属中的物理溶解)有时也可归入腐蚀的范畴。在上述定义中所说的“材料”既包括金属材料,也包括非金属材料,因此是一个涵盖面更宽、更为普遍适用的定义。但在很多情况下,人们往往依照传统,狭义地将“材料”限定于金属材料。

材料的耐蚀性(腐蚀稳定性)是决定系统和部件工作寿命的质量保证参数之一。在设计设备装置或构件时,通常不能仅仅考虑材料的机械性能、加工性能和经济因素,而且还应该顾及对材料耐蚀性的要求。然而材料的耐蚀性并不是材料的绝对特性,不像极限强度等参数那样是材料本身的固有特性,而是既取决于材料本身,又取决于介质特性、环境条件及其变化的相对性质。作为腐蚀试验的实际任务,在大多数情况下即是测定某种材料在特定条件下的耐蚀性,其试验结果应能给出该种材料在操作条件下所表现出的腐蚀行为方面的信息。腐蚀试验的任务可进一步细化为如下几个方面:

- ① 对确定的材料/介质体系,估计材料的使用寿命。
- ② 确定由于材料腐蚀对介质造成污染的可能性或污染程度。
- ③ 进行失效分析,追查发生腐蚀事故的原因,寻求解决问题的办法。
- ④ 选择有效的防腐措施,并估计其效果。
- ⑤ 选择适合在特定腐蚀环境中使用的材料。
- ⑥ 研制开发新型耐蚀材料。
- ⑦ 用作生产工艺管理、产品质量控制的检验性试验。
- ⑧ 对工厂设备的腐蚀状态进行监测。
- ⑨ 研究腐蚀规律和机理。

1.1.2 腐蚀试验方法的分类

鉴于研究任务的复杂性以及材料、腐蚀介质和环境条件的多样性和复杂性,因此企图建立一种适用于各种情况的通用腐蚀试验方法的想法是不切实际的,其必然结果是腐蚀试验方法也呈现多样性。通过对众多的腐蚀试验方法进行适当的分类,有助于人们对试验方法的性质和用途的认识。对于腐蚀试验方法的分类有多种方法,例如可以按材料、环境、腐蚀类型和工业部门等对其进行分类,也可按照试验方法的性质进行分类,还可以根据试验场所以及材料与环境间的相互关系对其进行分类。按照后者,可将腐蚀试验分为实验室试验、现场试

验和实物试验三大类(参见图 1-1)。

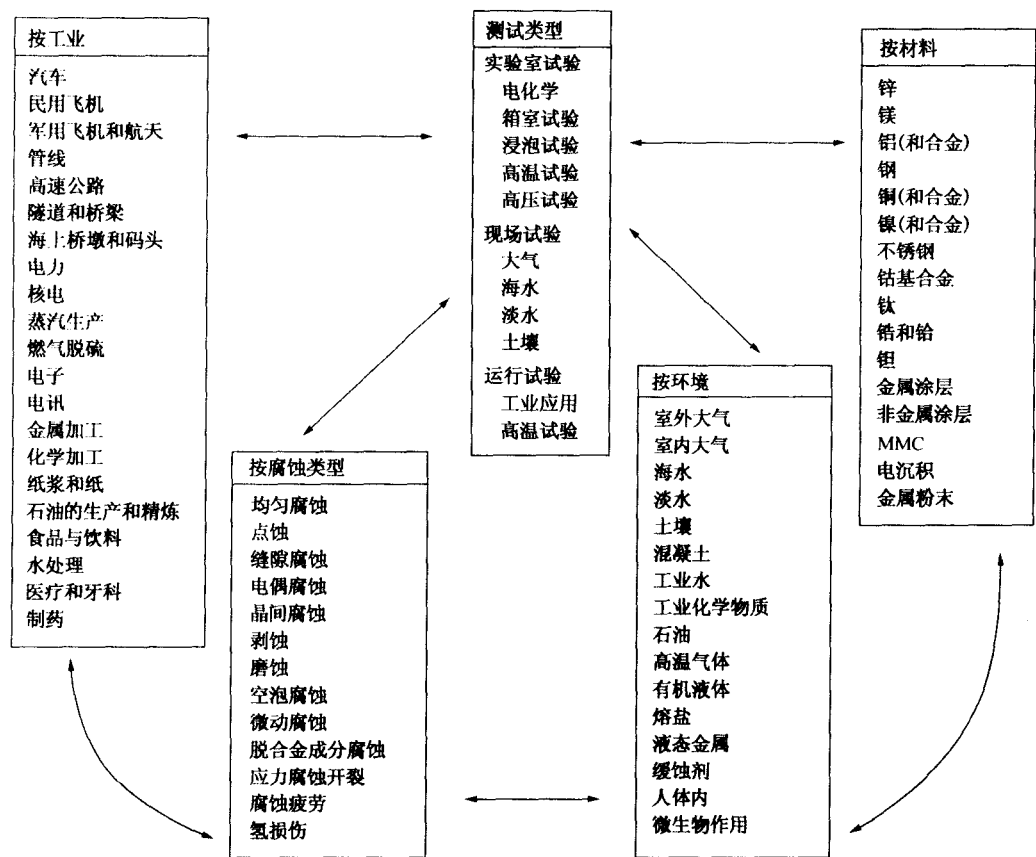


图 1-1 腐蚀试验方法的分类及检索途径^[1]

(1) 实验室试验

在实验室内，有目的地将专门制备的小型金属试样在人工配制的(或取自实际环境的)介质和受控制的环境中进行的腐蚀试验，称为实验室试验。其突出的优点是：①可以充分利用精确的测试仪器和控制设备；②试样形状和大小选择有较大的灵活性；③可以严格地控制有关影响因素；④可以灵活地规定试验时间，一般试验周期较短；⑤试验结果的重现性较好。

实验室试验一般又可分为模拟试验和加速试验两类。实验室模拟试验是一种不加速试验，即在实验室的小型模拟装置中，尽可能精确地人为模拟实际环境，或在专门规定的介质条件下进行试验。其试验结果的稳定性和重现性较好。在对实际条件下的腐蚀规律认识清楚并能严格控制主要影响因素的情况下，能够得到很好的试验结果。但是，在实验室条件下往往难以完全再现现场的环境条件；此外，模拟试验的周期较长，试验费用也较高。

加速试验是人为地强化一个或少数几个控制因素，从而可在较短的时间内确定金属发生某种腐蚀的倾向，或相对比较材料在指定条件下的相对耐蚀性的一种加速试验方法。加速试验方法一般只用于相对比较材料耐蚀性和检验产品质量的目的。除特殊试验外，试验中一般不应引入实际条件下并不存在的因素，也不能因为引入了加速因素而改变实际条件下的腐蚀机理。因此，设计和应用加速试验方法时，应大体了解实际条件下的腐蚀规律和机理、主要

影响因素及其对腐蚀规律和机理的影响。一种恰当的加速试验方法应具备足够的“侵蚀性”和良好的“鉴别性”。

实验室试验也有其固有的局限性，例如：①金属试样与实物之间存在状态(如冶金状态、焊接热应力和加工应力状态等)上的差别，很难实现完全一致；②试样与实物的面积存在差别，因此在极化、微电池和宏电池行为以及腐蚀几率等方面存在差异；③实验室试验的腐蚀介质和环境与实际情况存在差异，例如腐蚀介质在组成、杂质等方面，外部条件在温度、压力、流速等方面均可能存在差异，而且很难完全模拟。鉴于以上原因，一些重要的试验结果和结论，往往需要在实验室试验的基础上，进一步通过现场试验或实物试验来验证。

(2) 现场试验

把专门制备的金属试片置于现场实际应用的环境介质(如天然海水、土壤、大气或工业介质等)中进行腐蚀试验，称为现场试验。其最大的特点就是环境条件的真实性，解决了实验室试验很难模拟实际环境、介质的困难，因此试验结果比较可靠。现场试验的缺点是：①试验中环境因素无法严格控制，试验条件可能会有较大的变化，试验结果分散，重现性较差；②试验周期较长；③试片较易失落，腐蚀产物可能污染工业产品；④现场试验用的金属试片与实物状态之间仍存在很大差异，如实物构件中可能存在的应力状态、异金属接触状态、缝隙状态和焊接状态等，在小试片中是不可能完全模拟的。因此，现场试验结果如不能给出肯定结论，就须进一步做实物试验。

现场试验可用于筛选材料、评定材料的耐蚀性、预测材料的使用寿命、考核防蚀措施的有效性以及检验实验室试验结果的可靠性等。

(3) 实物试验

实物试验是将待试验的金属材料制成实物部件、设备或小型试验装置，在现场的实际应用条件下进行的腐蚀试验。这种试验比较如实地反映了实际使用的金属材料状态及环境介质状态，结果更为可靠。它一般是在材料的研制或设计基本完成之后用于考核长期使用效果的，为定型纳标所必需的试验阶段，其结果是所研制或所选定的金属材料的最终评定。但这类试验费用很大，试验周期冗长，且只能提供定性的评定考核。所以在进行实物试验以前，通常需要事先进行实验室试验和现场试验，取得足够数据之后才可考虑实物试验。

1.2 腐蚀试验设计与试验条件控制

1.2.1 腐蚀试验设计

金属腐蚀试验至少包含五个方面的内容，即研究目标的确定、试验方法的设计(或选择)、试验条件的控制、试验参数的测量及试验结果的解析。

如前所述，没有万能的腐蚀试验方法，因此在进行试验前确定研究目标和对象是非常重要的，由此决定了试验的用途和内容。对于工厂而言，目标和对象往往集中于经济和安全问题上，因此腐蚀往往是针对部件运行状况分析、失效风险评价和防护、检修策略的确定而进行的。除了经济和安全问题，腐蚀试验的目标还可能涉及法律和法规、健康及环境等问题。金属腐蚀研究的具体目标不同，采用的试验方法和测量技术就可能不同，试验条件的控制和结果的解析方法等也会有所不同。

确定了研究目标和对象以后，首当其冲的问题是设计(或选择)试验方法。设计腐蚀试验必须考虑许多因素，例如：

- 试验的目的是什么？要测定哪种类型的数据？

• 试验中包括哪些影响因素？哪些影响因素间存在有相互作用？哪些是影响材料腐蚀行为的控制因素？

• 现有多少试样，它们的生产方式如何？试样是否均匀？其代表性如何？

• 试验过程中要进行哪些控制？

• 试验能得到哪些信息？如何把这些信息与较早的试验或其他试验的结果结合起来？应该怎样解释试验结果？

• 设计时引入各种人为误差的可能性大小如何？

• 试验是破坏性的吗？

• 试验的费用如何？

面对如此众多的问题和五花八门的试验方法，使试验方案的设计变得复杂起来。把试验目标(即需求)与主要试验参数联系起来是简化试验方案设计的重要方法。

设计(或选用)腐蚀试验方法必须符合腐蚀机理的现代科学理论，按照不同的腐蚀机理和腐蚀类型确定具体的腐蚀试验方法和仪器装置。腐蚀试验设计还应反映数据分析的统计学基础。将统计方法用于腐蚀试验设计至少有以下优点：

• 节约时间和经费，利用较少的试验得到比较严格的结论。

• 简化数据处理，可将数据以容易再使用的形式分类。

• 建立较好的相关性，将变量与它们的作用分开。

• 提高试验结果的准确性。

但是试验设计比单纯应用统计方法更复杂，因为试验设计应能有效地提供所需的信息。试验设计应同时采用统计分析和经济分析方法。

对于各种金属-环境组合的评价方法的设计并不排除把某些试验和评价方法标准化。标准化的试验方法在许多相同或类似的条件下可以被直接选用，按统一规范进行试验后所收集到的信息更适合于相互比较和交流。标准化的试验方法还能为许多腐蚀试验的设计提供有益的借鉴。Baboian, R. 所编著的《腐蚀试验和标准》总结了腐蚀试验和评价领域的 400 多位专家的研究成果，对腐蚀试验设计(或选择)是非常有价值的信息来源^[2]。国际上一些重要的标准化组织，如国际标准组织(ISO)、美国试验与材料协会(ASTM)、法国标准协会(AFNOR)、英国标准学会(BSI)、德国标准学会(DIN)、腐蚀和时效防护联合体(USCAP)、美国腐蚀工程师协会(NACE)、国际电化学委员会(IEC)等，都制定有相应的腐蚀试验标准。

材料的腐蚀行为受到材料、介质和环境条件等多种因素的影响，有时这些因素间还存在着交互或协同作用。为此应力求找出其中的关键影响因素，并严格控制有关因素，以保证试验结果的可靠性和重现性。

任何试验方法中都有理论问题，应当正确地理解所用试验方法的原理、实验技术和限制条件，以便正确地测量试验参数。

经腐蚀试验所获取的试验数据通常还需要经过过去伪存真的逻辑分析和统计学处理，求取某些参数或将其转化为有用的信息。最简单的情况下，试验结果的解析可以采用极限简化法或解析法，配合适当的作图方式来计算某些参数。还可以利用计算机建立模型和模拟解析，或利用计算机进行最优化曲线拟合来求解某些参数。计算机在数据采集、加工、分析、检索和发布等方面均具有重要作用。

1.2.2 腐蚀试验条件控制

腐蚀试验的试样、试验介质、环境条件和试验周期等均会影响试验结果的可靠性、准确