



中国科协科技发展研究系列报告
中国科学技术协会 主编

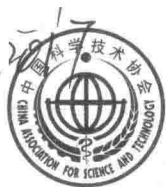
2016—2017

材料腐蚀 学科发展报告

中国腐蚀与防护学会 | 编著

REPORT ON ADVANCES IN
CORROSION SCIENCE AND ENGINEERING

科学技术出版社
SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



中国科协学科发展研究系列报告
中国科学技术协会 主编

2016—2017

材料腐蚀 学科发展报告

中国腐蚀与防护学会 | 编著

藏书章

REPORT ON ADVANCES IN
CORROSION SCIENCE AND ENGINEERING

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2016—2017 材料腐蚀学科发展报告 / 中国科学技术协会主编; 中国腐蚀与防护学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2018.3
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-7986-4

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 工程材料—腐蚀—学科发展—研究报告—中国—2016—2017 IV. ① TB304-12
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 055385 号

策划编辑	吕建华 许 慧
责任编辑	夏凤金
装帧设计	中文天地
责任校对	焦 宁
责任印制	马宇晨

出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	260千字
印 张	12.75
版 次	2018年3月第1版
印 次	2018年3月第1次印刷
印 刷	北京盛通印刷股份有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7986-4 / TB · 104
定 价	70.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)



2016—2017

材料腐蚀学科发展报告

首席科学家 李晓刚

专 家 组 (按姓氏笔画排序)

王 佳	王福会	左 禹	乔利杰	刘建华
刘智勇	孙明先	杜艳霞	杜翠薇	李 劲
李 瑛	李久青	李美栓	李晓刚	杨德钧
吴建华	张三平	张达威	张启富	张政军
张 盾	张统一	张鉴清	陈光章	陈国龙
陈振宇	林 安	林昌健	侯保荣	宫声凯
钱余海	郭兴蓬	黄运华	董泽华	蒋益明
程学群	路民旭			

学术秘书 (按姓氏笔画排序)

张 帆 靳婉平



党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央把科技创新摆在国家发展全局的核心位置，高度重视科技事业发展，我国科技事业取得举世瞩目的成就，科技创新水平加速迈向国际第一方阵。我国科技创新正在由跟跑为主转向更多领域并跑、领跑，成为全球瞩目的创新创业热土，新时代新征程对科技创新的战略需求前所未有。掌握学科发展态势和规律，明确学科发展的重点领域和方向，进一步优化科技资源配置，培育具有竞争新优势的战略支点和突破口，筹划学科布局，对我国创新体系建设具有重要意义。

2016年，中国科协组织了化学、昆虫学、心理学等30个全国学会，分别就其学科或领域的发展现状、国内外发展趋势、最新动态等进行了系统梳理，编写了30卷《学科发展报告（2016—2017）》，以及1卷《学科发展报告综合卷（2016—2017）》。从本次出版的学科发展报告可以看出，近两年来我国学科发展取得了长足的进步：我国在量子通信、天文学、超级计算机等领域处于并跑甚至领跑态势，生命科学、脑科学、物理学、数学、先进核能等诸多学科领域研究取得了丰硕成果，面向深海、深地、深空、深蓝领域的重大研究以“顶天立地”之态服务国家重大需求，医学、农业、计算机、电子信息、材料等诸多学科领域也取得长足的进步。

在这些喜人成绩的背后，仍然存在一些制约科技发展的问題，如学科发展前瞻性不强，学科在区域、机构、学科之间发展不平衡，学科平台建设重复、缺少统筹规划与监管，科技创新仍然面临体制机制障碍，学术和人才评价体系不够完善等。因此，迫切需要破除体制机制障碍、突出重大需求和问题导向、完善学科发展布局、加强人才队伍建设，以推动学科持续良性发展。

近年来，中国科协组织所属全国学会发挥各自优势，聚集全国高质量学术资源和优秀人才队伍，持续开展学科发展研究。从2006年开始，通过每两年对不同的学科（领域）分批次地开展学科发展研究，形成了具有重要学术价值和持久学术影响力的《中国科协学科发展研究系列报告》。截至2015年，中国科协已经先后组织110个全国学会，开展了220次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告220卷，有600余位中国科学院和中国工程院院士、约2万位专家学者参与学科发展研讨，8000余位专家执笔撰写学科发展报告，通过对学科整体发展态势、学术影响、国际合作、人才队伍建设、成果与动态等方面最新进展的梳理和分析，以及子学科领域国内外研究进展、子学科发展趋势与展望等的综述，提出了学科发展趋势和发展策略。因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，不仅吸引了国内外科学界的广泛关注，更得到了国家有关决策部门的高度重视，为国家规划科技创新战略布局、制定学科发展路线图提供了重要参考。

十余年来，中国科协学科发展研究及发布已形成规模和特色，逐步形成了稳定的研究、编撰和服务管理团队。2016—2017学科发展报告凝聚了2000位专家的潜心研究成果。在此我衷心感谢各相关学会的大力支持！衷心感谢各学科专家的积极参与！衷心感谢编写组、出版社、秘书处等全体人员的努力与付出！同时希望中国科协及其所属全国学会进一步加强学科发展研究，建立我国学科发展研究支撑体系，为我国科技创新提供有效的决策依据与智力支持！

当今全球科技环境正处于发展、变革和调整的关键时期，科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命，科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。我们要准确把握世界科技发展新趋势，树立创新自信，把握世界新一轮科技革命和产业变革大势，深入实施创新驱动发展战略，不断增强经济创新力和竞争力，加快建设创新型国家，为实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强有力的科技支撑，为建成全面小康社会和创新型国家做出更大的贡献，交出一份无愧于新时代新使命、无愧于党和广大科技工作者的合格答卷！



2018年3月



腐蚀是材料受环境介质作用而破坏的现象。腐蚀、疲劳与磨损是结构材料、部件与装备的三大失效方式。腐蚀也是各类功能材料的重要失效方式之一。据发达国家统计,每年因腐蚀造成的损失占国民经济总产值的2%~5%,大于水灾、风灾、地震等自然灾害总和的5倍以上。因此,各国无不对腐蚀研究与防蚀技术的开发和利用给予高度重视。产业与社会发展需求构成了腐蚀学科持续繁荣的强大动力;同时,物理、化学等基础学科的进步构成了腐蚀研究深入发展的科学支撑。

腐蚀学科作为一门应用科学,其目的主要在于三个方面。一是澄清不同材料/环境体系下的腐蚀规律与机制,服务于选材与材料开发、结构与工艺设计、优化、失效分析、可靠性评价与寿命预测;二是发展防护技术,有效控制材料腐蚀的过程;三是发展腐蚀检测理论与技术,以实现结构服役状况的评价。

腐蚀学科的基础理论框架是在20个世纪前半叶所确立的。以1929年埃文斯(Evans)建立的腐蚀金属极化图、1933年瓦格纳(Wagner)建立的氧化扩散理论和1938年普贝(Pourbaix)建立的电位-pH图等为重要基础内容。此后,针对多元与多层次的具体问题,以辐射方式多方向发展。由于材料与环境因素的复杂性,腐蚀研究与各基础学科相比,较多地体现出经验性特点,以阐明腐蚀规律和控制方法有效性为主要特征。

近年来,国际上腐蚀研究的主要趋势是:①在材料上趋于多元化。由传统材料为主向传统与功能材料并重方向发展。②在环境上,逐渐向特殊、苛刻条件发展,并考虑光声力热电磁及生物物质影响。③现代物理理论与实验技术基础上的微观与深度方向的发展。④新的表征与腐蚀控制技术不断涌现。环境保护、新

能源、资源节约、生物技术、电子信息技术、空间技术、国防技术的发展是腐蚀工作者日益关注的新领域，构成了广大的新增长点。

由于腐蚀学科的经验性与积累性，腐蚀研究在我国前途光明。国内腐蚀研究的进展大体上在于三个方面：一是，跟踪国际前沿热点，取得大量基础性研究结果。这方面的工作体系与实验方法新颖。虽然尚未形成强势的基础研究方向，但体现在大量的基础研究课题与论文发表上，研究非常活跃且有很好的学科研究显示度，并通过这些工作培养了大量研究生。二是，跟踪、理解性的研究取得较好成果。这方面的工作虽然在体系方法上重复国外已有工作，但是系统性好，水平较高，对整体水平提升发挥了重要作用。缺点是创新性不强。三是，各种防护技术与产品的引进消化，促进了技术进步，缩短了与国际先进水平的差别。同时，也出现数量较多的新方法的探索和具有自主知识产权的防护技术，这方面的工作表现得尚不成熟，但是成为广泛努力的一个重要方向。近年来，虽然以上总体特征没有发生质的变化，但我国腐蚀研究论文总数已经超过美国，位居世界第一位，高水平研究数量有所增加，基础研究水平有所提升，参与国际交流和合作明显活跃。

材料腐蚀与防护学科是一门融合多种学科的综合交叉学科，其理论与材料科学、化学、物理学、表面科学、力学、生物学、环境科学和医学等学科密切相关；其研究手段包括各种现代电化学测试分析设备（如微区电化学测量与分析系统）、先进的材料微观分析设备（如环境扫描电镜和原子力显微镜）、现代物理学的物相表征技术（如激光拉曼光谱）和先进的环境因素测量装备（如色谱仪等）；其防护技术应用范围涉及各种工业领域的介质环境，大气、土壤、水环境甚至太空环境等自然环境。

材料腐蚀与防护学科又是一门工程应用学科，目前，不仅一系列标准化、规范化的材料腐蚀与防护技术的观测、分析、表征、测试与评价研究方法和实验技术已经建立，而且大批相关标准与规范方法与技术正在发展过程中；材料腐蚀学还是一门依赖于基础数据的学科，无论是材料腐蚀基础理论和机理研究，还是发展防护技术和建立实验技术与方法，必须不断积累材料在各种环境中的腐蚀数据，这些数据才是构成本学科所有理论、技术和方法的基础。材料腐蚀数据积累必须采用标准化与规范化的方法采集获得，只有这样，这些数据才具有科学性与实用性。

1949年后，我国的材料腐蚀理论研究和防护技术的发展，一直得到高度重视，以张文奇、师昌绪、肖纪美、石声泰、曹楚南、左景伊和李铁藩等为代表的一代学者奠定了我国腐蚀与防护学科的基础，他们不仅是一代研究宗师，也是腐蚀与防护学科的教育大师，奠定了我国腐蚀与防护学科教育体系的基础，为我国经济和国防建设做出了巨大贡献。改革开放以后，随着经济的高速增长和工业体系的日渐完备，腐蚀学科理论和各种防护技术得到快速发展，这一时期我国有关腐蚀学科理论研究和各种防护技术工程学科的发展不仅可以解决自己面临的各種材料腐蚀问题，而且正逐渐成为世界上该学科的重要组成部分，且焕发出朝气蓬勃的活力，涌现出大批高水平的研究和工程人才。

近十年来，我国材料腐蚀学科的发展特点为：传统腐蚀理论迅速从金属材料扩展到陶

瓷、高分子材料、复合材料等所有的材料，从结构材料扩展到功能材料，学科呈现高度分化的趋势；理论研究特别是电化学理论研究日趋完善，并将重点转到局部腐蚀电化学理论研究上；宏观大尺度、微米尺度、分子尺度等各个层次的腐蚀规律研究全面展开；多种基础学科交叉的成果迅速渗透到材料腐蚀的理论研究中；多种现代测试技术用于腐蚀理论研究的表征，极大地推动了腐蚀理论研究；腐蚀防护技术规模日益扩大，不仅渗透到所有工业领域和民用领域以及军事领域，而且自身也形成了包含产业和服务业等的庞大行业，并且向标准化、规范化和大规模化方向发展。

近三年来，我国制造业规模稳居世界第一，质量也正在快速发展提升中，但腐蚀造成的经济损失也直线上升。据侯保荣院士的调查，我国 2014 年腐蚀总成本达到 2 万亿元以上，人均年损失 1555 元。这表明：腐蚀与防护学科建设仍然任重道远。同时，腐蚀与防护学科也得到迅速发展，在基础研究方法方面，在腐蚀电化学上，例如微区腐蚀电化学、薄液膜电化学、各尺度尤其是微纳米尺度的腐蚀机理等研究取得了较多原创性成果，2010 年国内发表的腐蚀科学相关 SCI 论文数约为 1995 年的 16 倍，表明我国腐蚀科学研究逐渐活跃。当时发表 SCI 论文最多的国家是美国，为 12467 篇，达到了 17.9%，表明美国作为全球最发达国家，对腐蚀科学的研究是领先的。中国 SCI 论文达到了 7803 篇，占总数的 11.2%，位居世界第二。2011 至 2015 年腐蚀科学蓬勃发展国际上发表的腐蚀科学相关 SCI 论文 32152 篇，中国取代美国成为发表 SCI 论文最多的国家，占到论文总数的 21.41%；美国滑落到第二，占 15.42%，日本和印度紧随其后。这说明随着我国经济的快速发展，我国的腐蚀学科基础研究也相应地步入了发展的快车道，不仅已经成为国际腐蚀与防护研究的重要部分，而且处于世界领先水平；在防护技术方面，我国各类传统和新型耐蚀材料、缓蚀剂、各类新型涂层与涂料和电化学保护新技术基本突破跟踪期，正在进入发展快车道的起点上，成为我国乃至世界腐蚀与防护学科发展的重要推动力；在腐蚀与防护产业和企业发展方面，发展速度更加惊人，除了各类大中型企业更加重视发展腐蚀与防护技术，超过万家的民营企业应运而生，并且正在做大做强，从业人员超过 300 万人，成为我国腐蚀与防护学科的重要生力军。另外，随着我国经济快速发展和经济活动范围的不断拓展，各种新设备和评价技术不断出现，前所未有地开拓了材料的服役环境（例如高原极端环境、深海、地球深层、核电、航空航天、高铁设备面临的海洋大气和污染环境）。此外，中国制造走向世界各地，在服役的过程中也会面临各种环境。这些都对我国腐蚀与防护学科提出了严峻的挑战。

挑战就是机遇。虽然我国已经在材料腐蚀研究与防护技术研发方面取得了不小的成就，但是我们的基础研究总体属于跟踪研究，尚未形成在基础理论研究方面能够牵引国际研究发展的强势研究方向；高端研究设备需要进口，尚未形成较多的重要原创性研究与评价技术与方法；微纳米尺度的腐蚀机理研究尚处入门阶段，导致耐蚀材料服役寿命明显低于国外产品；特殊极端和新型环境条件下腐蚀机理研究较少，例如人体环境腐蚀机理研究基本没有开展；防腐蚀技术整体水平较低，等等。本报告在回顾我国近年来腐蚀与防护学

科的重要研究成果和 2011 年学科研究报告的基础上，将国内外研究进行对比分析，试图给出我国腐蚀与防护学科的发展方向、趋势和不足之处。希望本报告能够见证我国由材料腐蚀研究与防护技术大国向材料腐蚀研究与防护技术强国转变的过程。

中国腐蚀与防护学会

2018 年 1 月



序 / 韩启德

前言 / 中国腐蚀与防护学会

综合报告

材料腐蚀学科研究进展与发展趋势 / 003

一、最新研究进展 / 003

二、学科国内外研究进展比较 / 036

三、学科发展趋势及展望 / 045

参考文献 / 049

专题报告

腐蚀电化学 / 055

局部腐蚀学 / 064

高温腐蚀与防护 / 074

高性能结构耐蚀钢 / 080

不锈钢局部腐蚀 / 091

非金属耐腐蚀研究 / 101

电化学保护 / 113

腐蚀检测监测技术 / 127

缓蚀剂 / 148

应力腐蚀行为与机理 / 159

ABSTRACTS

Comprehensive Report

Advances in Corrosion Science and Engineering / 173

Reports on Special Topics

Advances in Corrosion Electrochemistry / 180

Advances in Localized Corrosion / 180

Advances in High Temperature Corrosion and Protection / 181

Advances in High-performance and Corrosion Resistant Structural Steel / 182

Advances in Localized Corrosion / 183

Advances in Non-metallic Corrosion Protection / 183

Advances in Electrochemical Protection Technology / 184

Advances in Corrosion Detection and Monitor Technologies / 185

Advances in Corrosion Inhibitors Technologies / 185

Advances in Stress Corrosion Cracking Research / 186

索引 / 188



综合报告

材料腐蚀学科研究进展与发展趋势

一、最新研究进展

(一) 腐蚀电化学最新研究进展

腐蚀电化学是腐蚀与防护学科的理论灵魂,是腐蚀与防护学科的主体部分。我国从事腐蚀电化学研究的主要单位有浙江大学、中国科学院金属研究所、北京科技大学、厦门大学、武汉大学、天津大学、中国海洋大学、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学和华中科技大学所属的腐蚀研究团队。其中浙江大学曹楚南院士不仅是我国腐蚀电化学的奠基人,而且具有重要的国际影响。30年来,他的研究团队在腐蚀电化学研究上一直具有代表性,特别是提出的电化学阻抗谱的分析理论与数学模型为宏观腐蚀电化学做出了重要贡献。在腐蚀电化学研究方面,近年来的研究热点主要集中在具有空间分辨的微区腐蚀电化学、腐蚀电化学噪声解析与腐蚀行为关系、薄液膜腐蚀电化学、纳米尺度腐蚀电化学和新型、极端环境腐蚀电化学等五个方面。

在具有空间分辨的微区腐蚀电化学研究方面,主要集中应用各种不同扫描微探针技术研究腐蚀界面区局部腐蚀行为特征、空间离子分布和腐蚀反应动力学三个层面。厦门大学林昌键教授团队是国内较早开展这一方面工作的研究团队。课题组建立了扫描微电极/扫描隧道显微镜联用系统,研制了系列电化学扫描微探针,包括金属 Pt 电位探针、 Cl^- 选择性微探针、pH 选择性微探针和电位/形貌复合 Pt-Ir 合金微探针,可有效地应用于各种腐蚀体系关键性腐蚀参数的实际测量。运用所建立的扫描微电极/扫描隧道显微镜联用测量仪器,并基于隧道电流的可控制探针尖端与样品表面距离的强大功能,极大提高了金属表面腐蚀过程电位分布、 Cl^- 浓度分布及 pH 分布等测量的空间灵敏度和空间分辨率^[1],课题组开展的原位同步监测钢筋 Cl^- 和 pH 分布的复合微电极的工作也具有鲜明特色^[2]。北京科技大学李晓刚教授团队也一直应用微区技术,特别是扫描电化学显微镜,研究局部腐

蚀成像,如课题组近期在形状记忆合金自修复涂层的保护研究中,宏观电化学阻抗谱与微区扫描电化学显微镜的结果都显示形状记忆合金具有良好的修复性能,涂层中添加的巴西棕榈蜡微粒是重建阻挡层的关键^[3]。课题组还开展了应用扫描电化学显微镜研究 304 不锈钢表面 CrN 薄膜的微区腐蚀行为^[4]。浙江大学曹发和副教授也开展了应用扫描电化学显微镜研究镁合金微区腐蚀行为与析氢反应,获得随时间演化的原位微区形貌,以及侵蚀性阴离子浓度、pH 和外加电位等对析氢反应的影响^[5,6]。课题组近期还发展了一种 Pt/IrO₂ 电位型超微电极,用以研究不锈钢表面 pH 分布和演化^[7]。江苏师范大学的王超教授研究团队^[8]和上海大学的钟庆东教授研究团队^[9]都有相关的基于扫描微探针的腐蚀研究。因腐蚀反应的复杂性,应用微探针研究腐蚀电化学动力学仍在进展中。基于扫描超微探针的空间分辨腐蚀电化学是当前腐蚀基础研究的热点和难点,可控的探针制备、定量的数据分析和复合的实验模式将是下一步的研究重点。

在腐蚀电化学噪声解析研究方面,主要表现为在积累了较多的电化学噪声信号与腐蚀行为之间关系的基础上,开始较系统地探索其理论关系。例如北京航空材料研究院陆峰研究员团队与天津大学宋诗哲教授团队合作,采用电化学噪声技术和大气腐蚀便携式现场实时监测系统,对北京地区大气环境下铝合金腐蚀过程进行长期监测,探索了电化学噪声方法在铝合金腐蚀现场监测方面的应用及腐蚀速率表征参数。结果表明:该系统电化学噪声电阻 R_n 和电流噪声标准偏差 SI 可作为反映铝合金大气腐蚀速率的表征参数^[10]。南昌航空大学杜楠教授团队采用电化学噪声和电化学阻抗谱技术,研究 1Cr18Ni9Ti 不锈钢在 3.5%NaCl 溶液中的早期腐蚀行为。研究表明浸泡初期(0 ~ 48h),电化学电位和电流噪声在测量时间范围内漂移较小,电位噪声功率密度谱高频线性区的斜率几乎不变;电化学阻抗谱在低频下出现感抗特征,表明研究电极表面发生钝化膜破裂与修复的交替过程,即出现了亚稳态蚀点;浸泡中期(48 ~ 60h),电化学噪声出现尖峰波动,功率密度谱高频线性区的斜率产生突变,电化学阻抗谱的低频感抗特征消失,表明研究电极表面的亚稳态蚀点转化为稳定蚀点^[11]。华中科技大学郭兴蓬教授团队通过测量 16 锰钢在 0.1mol/L Cl⁻ + 0.5mol/L HCO₃⁻ 溶液中的电化学噪声,发现在点蚀诱导期,亚稳态蚀点的形核速率 λ 不到 0.002/s,噪声电流峰平均宽约 3 ~ 5s,而噪声电位峰却平均宽达 200s;在点蚀从亚稳态转变为稳态过程中, λ 急剧增加,且电流噪声峰宽度也开始增加,但电位峰宽度却开始减小。随着局部腐蚀进入稳定发展期,噪声中出现了大尺度的波动,且噪声电位峰与电流峰宽度基本相等,但 λ 却有所下降。宏观点蚀的出现导致噪声电阻 R_n 迅速下降,并在腐蚀进入稳定发展期后逐渐趋于稳定^[12]。哈尔滨工业大学李宁教授团队采用同电极体系,测量了电沉积镍、铜镀层以及铂片在 HCl 和 NaCl 溶液中的电化学噪声,研究发现:通过时域分析得到的噪声电阻是评价材料耐蚀性的重要指标,而点蚀指数反映了电极表面反应的不均匀程度;通过频域分析可知,功率密度谱高频段斜率可以用于评价镀层发生腐蚀的类型,而白噪声水平可作为判断材料耐蚀性的指标之一^[13]。浙江大学曹楚南院士、张鉴清

教授团队应用电化学噪声技术对航空铝合金结构材料 LC4、LY12 及纯铝在 NaCl 溶液中的腐蚀过程进行了研究,发现不同材料在发生点蚀时其电化学噪声的时域谱波形特征各不相同,电化学噪声功率密度谱曲线的三个特征参数:白噪声水平 W 、截止频率 f_c 和高频线性部分的斜率 K 均随浸泡时间的延长而变化,在发生点蚀时三者均趋于极值,但三者都不能单独正确地表征点蚀的强度和趋势,并基于因次分析法提出了新的参数 S_E 和 S_C [14]。实验结果同时表明:点蚀时从不同材料的功率密度谱曲线获得的点蚀参数 S_E 和 S_C 的数值具有一致性,且与未点蚀时的参数值存在着明显的区别, S_E 和 S_C 分别主要反映腐蚀过程的快步骤信息和慢步骤信息 [15]。同时,他们还创新性地采用基于小波变换的电化学噪声相对能量分布谱图实现了金属镀层结构和性能及金属腐蚀类型在线监测;开发了电化学噪声分析软件 ENAN,该软件可以分析实验室现有电化学工作站所采集的电化学噪声,得到功率密度谱和参数 S_E 和 S_C 。近期,他们还将混沌分析 [16] 引入到局部腐蚀行为的研究中,提出应用最大 Lyapunov 指数量化亚稳态点蚀,初步建立具有确定性的随机电化学噪声与局部腐蚀之间的内在联系。

在薄液膜腐蚀电化学研究方面,主要集中在稳态薄液膜和非稳态薄液膜腐蚀电化学上,尤其是薄液膜腐蚀电化学阻抗测试解析及对腐蚀机理的表征是其中的研究热点。在稳态薄液膜腐蚀电化学方面,浙江大学曹楚南院士、张鉴清教授团队设计了独特的试验装置,对镁合金、铝合金、纯铜和青铜合金开展了系统的研究。近期的镁合金研究表明镁合金在 NaCl 本体溶液和薄液膜下均表现为中高频两个容抗弧和低频感抗行为,且中高频的两个容抗弧存在部分重叠现象。中频容抗弧与电荷转移过程有关,而低频较为离散的感抗行为则与镁合金的高活性有关,薄液膜下腐蚀形式存在“未破坏区域”和严重的局部腐蚀区域。薄液膜下局部孔核形成受到抑制,而孔生长过程则被加速,并解析提出了一个简单腐蚀模型,表明薄液膜下阴阳极反应均受到抑制 [17, 18]。北京科技大学李晓刚教授团队也有类似的研究工作,对典型铝合金 7A04 在 0.6M 氯化钠和 1M 硫酸钠溶液 (pH 为 5) 不同厚度薄液膜下的电化学规律进行了系统研究,阴极极限电流密度都接近或高于其在本体溶液中的电流密度,表明阴极极化曲线没有受到电流密度分布不均匀的影响;薄液膜下的阴极极化曲线与标准的扩散控制阴极极化曲线存在偏离,表现为氧的还原电流在极限区随阴极过电位的增大而增大,薄液膜下的电化学阻抗谱测试过程中电流分布比较均匀,测试结果没有受到电流密度分布不均匀的影响。在腐蚀初期 (2 ~ 24h), 在 110 μ m 液膜厚度下的腐蚀速率最高;随浸泡时间的延长,不同液膜厚度下的腐蚀速率开始变化,浸泡后期腐蚀速率由大到小依次为:本体溶液 2000 μ m>500 μ m>170 μ m>235 μ m>110 μ m>60 μ m。铝合金 7A04 电极在 1M 硫酸钠溶液 (pH 为 5) 薄液膜下的阻抗谱结果表明:随腐蚀时间的延长,铝合金 7A04 的腐蚀速率增加;在腐蚀前期 (0 ~ 96h), 在 110 μ m 液膜厚度下腐蚀速率最大;腐蚀后期 (96 ~ 168h), 在 110 μ m 液膜厚度下电极的腐蚀速率趋于稳定,本体溶液中铝合金 7A04 腐蚀速率继续增大并达到最大 [19]。华中科技大学郭兴蓬教授课题