

主编：林昌健  
蔡文達

# 海峡两岸材料 腐蚀与防护研究进展

海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会论文集

(1998.10.25—28, 厦门)

世纪工程—海沧大桥



厦门大学出版社

## 海峡两岸材料腐蚀与防护研究进展

——海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会论文集

主编 林昌健  
蔡文達

\*

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

厦门新嘉莹彩色印刷有限公司印刷

(地址:厦门市莲前北路77号 邮编:361009)

开本 850×1168 1/16 42印张 2插页 120万字

1998年10月第1版 1998年10月第1次印刷

印数:1—600册

ISBN 7-5615-1411-5/O·88

定价:100.00元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

## 会议主办单位



厦门大学  
成功大学



## 会议学术委员会

田昭武(主席)	厦门大学, 厦门	陳光章	中船总公司 725 研究所, 青岛
左 禹	北京化工大学, 北京	陳讚立	力鋼工業股份有限公司, 臺北
肖纪美	北京科技大学, 北京	郭炳林	成功大學, 臺南
吳建國	海洋大學, 基隆	張德雄	永記造漆工業股份有限公司, 高雄
吳維安	中科院金属腐蚀与防护研究所, 沈阳	曹楚南	浙江大学, 杭州
宋诗哲	天津大学, 天津	蕭勝彥	臺灣鍍錳股份有限公司, 臺北
李汝桐	成功大學, 臺南	莊東漢	臺灣大學, 臺北
李枝河	立偉防蚀工程股份有限公司, 桃園	黃 峻	化工部化工机械研究院, 兰州
李金桂	北京航空材料研究所, 北京	万惠霖	厦门大学, 厦门
周绍民	厦门大学, 厦门	曾清銓	中華顧問工程公司, 臺北
林祖蔭	厦门大学, 厦门	楊 武	机械工业部上海材料研究所, 上海
施漢章	清華大學, 新竹	楊德均	北京科技大学, 北京
柯 伟	中科院金属腐蚀与防护研究所, 沈阳	程子萍	臺灣工研院工業材料研究所, 新竹
席时俊	铁道部科学研究院, 北京	褚武扬	北京科技大学, 北京
徐乃欣	中国科学院上海冶金研究所, 上海	賴玄金	臺灣工研院工業材料研究所, 新竹
陳文源	柏林股份有限公司, 高雄	魏豐義	中國鋼鐵股份有限公司, 高雄
陳立業	臺灣大學, 臺北	魏宝明	南京化工大学, 南京

## 会议组委会

主席:	林昌健	厦门大学, 厦门	孙世刚	厦门大学, 厦门
	蔡文達	成功大學, 臺南	孙冬柏	北京科技大学, 北京
秘书:	冯祖德	厦门大学, 厦门	苏方騰	中科院福建物构所二部, 厦门
	黃何雄	成功大學, 臺南	邱富榮	中科院福建物构所二部, 厦门
	杜榮归	厦门大学, 厦门	馬志忠	中船总公司 725 所厦门站, 厦门
	程 璇	厦门大学, 厦门	林志堅	中船总公司 725 所厦门站, 厦门
	周 花	厦门大学, 厦门	林瑞木	国家海洋局第三研究所, 厦门
成员:	田中群	厦门大学, 厦门	廖代伟	厦门大学, 厦门
	李健康	厦门大学, 厦门	戴李宗	厦门大学, 厦门

## 資助單位

国家自然科学基金委员会  
福建省人民政府  
厦门市人民政府  
厦门市科学技术委员会  
固体表面物理化学国家重点实验室  
成功大学材料腐蚀研究中心  
成功大学材料科学及工程学系  
中科院金属腐蚀与防护研究所

中国船舶总公司 725 研究所  
中科院福建物质结构研究所二部  
厦门市路桥建设投资总公司  
厦门市腐蚀与防护工程中心  
华胤(厦门)铜业有限公司  
美国 EG&G 公司中国代表处  
江苏省武进市凯星涂料厂  
厦门海峡两岸科技交流与合作协会

## 协办單位

国家自然科学基金委员会  
福建省科学技术委员会  
厦门市科学技术委员会  
固体表面物理化学国家重点实验室  
中科院金属腐蚀与防护研究所  
金属腐蚀与防护国家重点实验室  
北京科技大学腐蚀与防护咨询培训中心  
中科院福建物质结构研究所二部  
中国船舶总公司 725 研究所  
厦门市腐蚀与防护工程中心  
厦门市腐蚀与防护学会  
厦门市路桥建设投资总公司

臺灣清華大學  
臺灣大學  
臺灣海洋大學  
柏林股份有限公司  
臺灣鍍鋅股份有限公司  
永記造漆工業股份有限公司  
力鋼工業股份有限公司  
立偉防蝕工程股份有限公司  
匯茂實業有限公司  
中國鋼鐵股份有限公司  
中國石油股份有限公司  
臺灣工業技術研究院工業材料研究所

## 序

材料的腐蚀与防护是一门为经济建设服务的科学技术领域，这一科技领域的发展与经济发展密不可分。随着海峡两岸经济建设的发展，海峡两岸关于材料的腐蚀与防护的科学技术都有了重大进步，从事这一科技领域工作者的队伍日益壮大，工作的水平也不断提高。虽然过去在一些国际会议上，特别是在1991年于北京举行的第七届亚太腐蚀控制会议上，海峡两岸的学者进行过不少学术交流，但毕竟还只有少数学者能够出席这些国际会议。这次由厦门大学和成功大学联合组织的海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会，是海峡两岸腐蚀与防护领域的一次学术交流盛会，受到了海峡两岸从事材料腐蚀与防护科技领域工作者的重视与欢迎。这是因为，首先，这是第一次有海峡两岸的从事腐蚀与防护领域工作者广泛参加的学术交流会议，平时不易会面和交流的同行有这样的机会欢聚一堂，旧交进一步发展的友谊，新知得以相互认识，不仅在会议上交流心得，而且为今后学术上的联系奠定基础。其次，在这样的会议上，参加会议者可以用自己的母语相互沟通，不象在国际会议上必须用英语进行学术交流，论题可以更为广泛，讨论也可以更加深入。再有一点很重要的是，当前海峡两岸是世界上经济发展速度最快的地区，腐蚀与防护作为一门为经济建设服务的重要的科技领域，从事这一科技领域的同行们既有值得相互交流的经验与心得，也都面临着如何适应经济发展的需求而发展这门科技领域的相互类似的问题和挑战。作为比西方工业先进的国家起步比较晚的地区，海峡两岸的腐蚀与防护科技领域同行在如何更好地吸收世界各国在本领域以及相关的科技领域的知识的基础上，更快地提高海峡两岸的腐蚀与防护科技领域的水平，也有许多值得讨论和交流的问题。通过这种广泛的、自由的、友好的同行之间的讨论与交流，海峡两岸的同行都会获益，今后的进一步的学术交流与合作的道路将更为畅顺，两岸的同行之间的友谊和联系将更为密切。可以设想，这次会议只是海峡两岸的腐蚀与防护科技领域的同行之间的第一次研讨会，今后还会有更多的类似的学术交流会议和其他形式的学术交流。

作为会议的论文集，记载了这次会议上交流的论文。这是这次会议的主要成果。但我想，会议的成果决不仅限于这些论文的交流。

鞠楚尧

1998.10

中国腐蚀与防护学会理事长

《中国腐蚀与防护学报》编委会主任

浙江大学教授 中国科学院院士

# 目 录

序 .....	3
<b>特邀报告</b>	
K-01 环境断裂机理及控制措施 肖纪美, 栢武扬(北京科技大学) .....	1
K-02 White Rust Formation and Its Prevention on the Galvanized Steels in a Semitropical Climate of Taiwan H.C.Shih, S.C.Chung, C.C.Hsien (Tsing Hua University, Industrial Technology Research Institute) .....	7
K-03 环境断裂控制中的若干重要问题 柯伟, 李劲(中国科学院金属腐蚀与防护研究所) .....	18
K-04 Hydrogen Trapping Ability of Steels with Different Microstructures S.L.I. Chan (Taiwan University) .....	29
K-05 亚稳态孔蚀行为及其统计研究 左禹(北京化工大学) .....	43
K-06 镍合金在含硫代硫酸根离子之氯化钠水溶液中的孔蚀研究 李永發, 王廷玉, 蔡文達(成功大學) .....	47
K-07 混凝土中钢筋的腐蚀与防护 魏宝明, 储炜, 汪鹰(南京化工大学) .....	53
K-08 耐蚀低合金钢的发展 魏豐義(中國鋼鐵股份有限公司) .....	57
K-09 材料表面改性与涂覆技术的新进展 李金桂(北京航空材料研究院) .....	71
K-10 高性能混凝土梁海洋环境下腐蚀之研究 黃兆龍, 詹宜峰, 陳建成(臺灣科技大學, 四海工商專校) .....	78
K-11 海船保护发展现状 陈光章, 吴建华, 许立坤, 刘光洲, 陈凯(中国船舶总公司七二五所青岛分部) .....	83
K-12 地下管线腐蚀及检测问题的探讨 翁榮洲, 王瑞坤(臺灣工業研究院工業材料研究所) .....	86

K-13	化学工业中的设备腐蚀及防腐问题 黄 峻 (化工部化工机械研究所) .....	94
K-14	21世纪对腐蚀与防护技术的挑战与对策 陆柱 (华东理工大学) .....	96
K-15	金属局部腐蚀研究中空间分辨电化学技术 林吕健, 卓向东, 杜荣归, 田昭武 (厦门大学) .....	99
<b>A组</b>	<b>新技术, 钝性, 局部腐蚀, 环境破坏</b>	
A-0-01	环境断裂的位错层次研究 褚武扬, 高克玮 (北京科技大学) .....	104
A-0-02	合金元素及模拟热处理对2205双相不锈钢之孔蚀性质影响 劉宏義, 謝榮洲, 潘永村, 李汝桐, 蔡文達 (中國鋼鐵股份有限公司, 成功大學).....	109
A-0-03	恒电流条件下点蚀的产生和发展 黄业荣 (武汉材料保护研究所) .....	117
A-0-04	45号钢缝隙内溶液化学和阳极极化行为研究 陈卓, 杜翠薇, 曹备, 吴荫顺 (北京科技大学) .....	125
A-0-05	磁场对水溶液中不同电化学状态下铁电极过程的影响 吕占鹏, 陈俊明 (上海材料研究所) .....	130
A-0-06	IBAD技术在材料的腐蚀防护中的应用研究 马春来, 肖魏, 翁端, 杜鸿达, 李文治 (清华大学) .....	133
A-0-07	双相不锈钢于氯化钠溶液中之氢诱发破裂现象研究 周賢亮, 李汝桐, 蔡文達(成功大學).....	135
A-0-08	304奥氏体不锈钢低温马氏体相变与点蚀敏感性的相关性研究 王凤丽, 吴荫顺, S. Abubakir, 张嵘嵘, 张琳, 李兵 (北京科技大学) .....	141
A-0-09	关于含铜宫内节育器腐蚀的研究 徐乃欣, 张承典, 薛华实 (中国科学院上海冶金研究所) .....	145
A-0-10	钝性合金摩擦电学性质的影响因素 孙冬柏, 李滔, 俞宏英, 杨德钧 (北京科技大学) .....	150
A-0-11	电化学法评估Ti-6Al-4V合金表面氧化膜之特性 陳建仲, 高慶良, 王忠益, 薛文景 (臺北科技大學) .....	154

A-0-12	孔蚀阴极保护电位测试方法的研究 许淳淳, 刘幼平, 张晓波, 赵旭辉 (北京化工大学) .....	159
A-0-13	不锈钢中各相组织的点蚀敏感性研究 张小红, 李辉勤, 吴荫顺 (北京科技大学) .....	164
A-0-14	用充电曲线方法测取钝态金属的腐蚀速度 张远声, 龚敏 (四川轻化工学院) .....	168
A-0-15	环境对压力容器用A516碳钢焊件腐蚀破裂特性的影响 黄何雄, 李汝桐, 蔡文達 (成功大學) .....	171
A-0-16	Study on Electrochemical Sensors and Their Applications in Corrosion Inspection/Monitoring Y. L. Du (中国科学院金属腐蚀与防护研究所) .....	178
A-0-17	界面缓蚀剂的吸附稳定性 甘复兴, 汪的华, 邹津耘 (武汉大学) .....	184
A-0-18	Initiation and Propagation of Stress Corrosion Cracking of Type 304 Austenitic Stainless Steel in Sodium Chloride Solution S.Abubakir, Y.S.Wu, T.C.Zhang, J.Q.Li (北京科技大学) .....	187
A-0-19	304钢焊缝环境断裂行为的定量研究 王正, 徐向俊, 任晨星 (郑州工业大学) .....	195
A-0-20	不锈钢在氯化物溶液中的多种腐蚀类型交互作用之研究 吴荫顺, 谢建辉, 汪轩义, 方智, 曹备, 张琳 (北京科技大学) .....	202
A-0-21	析出硬化型铝基复合材料磨损行为之研究 邢立民, 陳立業(臺北科技大學, 臺灣大學).....	207
A-0-22	盐水泥浆中碳钢的腐蚀疲劳断裂 傅朝阳, 郑家桑, 姚安林, 李健 (华中理工大学, 西南石油学院).....	211
A-0-23	氢对310不锈钢钝化膜的影响 曾一民, 乔利杰, 林昌健, 毛秉伟, 褚武扬(北京科技大学, 厦门大学) .....	214
A-P-01	加载对低合金钢焊接接头不同热经历区相电化学行为的影响 吴荫顺, 刘德宇, 方智, 王凤丽, 曹备, 张琳, 汪轩义 (北京科技大学) .....	220
A-P-02	钛合金银脆裂纹的萌生与银原子的运输机制 刘道新, 刘双梅, 何家文 (西北工业大学) .....	225



A-P-03	The Effect of Temperature and Acidity on the Pitting Corrosion of Stainless Steel Type 304 in 3.5% NaCl Solution S.Abubakir, Y.S.Wu, T.C.Zhang, F.Li.Wang, J.Q.Li (北京科技大学) .....	229
A-P-04	Electrochemistry Property of Stainless Steel Type 316L in 3.5% NaCl Solution at different Temperatures and Different Acidity S.Abubakir, Y.S.Wu, T.C.Zhang, F.Li.Wang, J.Q.Li (北京科技大学) .....	235
A-P-05	Crack Initiation Mechanism and Phase Change Formation for Corrosion Fatigue of Type 304 Stainless Steel S.Abubakir, Y.S.Wu, T.C.Zhang, J.Q.Li, D.C.Wei (北京科技大学) .....	241
A-P-06	Electrochemistry Property of Ferritic Stainless Steel Type 430 in 3.5% NaCl Solution at Different Temperatures and Different Acidity S.Abubakir, Y.S.Wu, T.C.Zhang, F.Li.Wang, J.Q.Li (北京科技大学) .....	247
A-P-07	金属植入材料的微动磨损与腐蚀的交互作用研究 白志君, 吴荫顺, 张天成 (北京科技大学) .....	253
A-P-08	用电偶法评价不锈钢钝化膜在强酸介质中的自钝能力 胡肆福, 许川壁, 陈祖秋 (中国科学院福建物构所二部) .....	256
A-P-09	OCr17Ni4Cu3Mo2Nb 离心机转鼓炸裂分析 王正, 任晨星, 徐向俊 (郑州工业大学) .....	259
A-P-10	不同pH条件下几种铜缓蚀剂的比较研究 徐群杰, 周国定, 陆柱, T.Notoya (华东理工大学, 上海电力学院, 日本北海道大学) .....	266
A-P-11	护环钢的腐蚀疲劳裂纹扩展 张琼, 蔡传荣 (福州大学) .....	269
A-P-12	超声辐照下铁微电极的电化学腐蚀研究 张校刚, 贾殿赠, 郭源, 周万勇, 夏熙 (新疆大学) .....	272
A-P-13	磷酸盐-铬酸盐系牺牲性阳极涂层的防蚀性能和机理研究 赵全玺, 赵立 (成都天鹄多威漆有限公司) .....	275
A-P-14	微电极法研究不锈钢点腐蚀发生发展过程 林昌健, 杜荣归, 陈丽江, 冯祖德, 谭建光 (厦门大学) .....	278
A-P-15	不锈钢表面修饰TiO <sub>2</sub> 纳米晶膜表面形貌及耐蚀行为 褚道葆, 林昌健, 周幸福, 胡融刚, 陈国周, 谭建光 (安徽师范大学, 厦门大学) .....	281

A-P-16	氢的陷阱捕获对防止焊接头热影响区氢致开裂的作用 冯祖德, 周光祺, 杨志康 (厦门大学, 西安交通大学) .....	284
A-P-17	Corrosion Behavior of SiCp/2024 Al Metal Matrix Composites Z.D.Feng, C.J.Lin, R.G.Du (厦门大学) .....	290
A-P-18	青铜器文物腐蚀受损原因的研究 祝鸿范, 周浩 (上海博物馆) .....	296
A-P-19	XPS表征电化学改性不锈钢钝化膜 胡融融, 林吕健(厦门大学) .....	300
<b>B组 海洋腐蚀, 石化腐蚀</b>		
B-0-01	Study on Marine Corrosion and Protection in ICPM Y. L. Du (中国科学院金属腐蚀与防护研究所) .....	304
B-0-02	海洋构造物钢管(板) 牺牲阳极防蚀技术探讨 郑俊彦, 杜振宗, 丁金彪 (中华顾问工程司港澳部) .....	307
B-0-03	有色金属材料在海洋潮差区的腐蚀 黄桂桥 (青岛海洋腐蚀研究所) .....	316
B-0-04	钢管桩码头的外加电流阴极保护 黄永昌, 周泓仁 (上海交通大学, 上海市科协) .....	319
B-0-05	不锈钢12年大气暴露腐蚀研究 梁彩凤, 郁春娟, 侯文泰 (青岛海洋腐蚀研究所) .....	323
B-0-06	碳钢和双相钢在流动3.5% NaCl溶液中磨损腐蚀 林玉珍, 刘景军, 雍兴跃, 李焕文 (北京化工大学) .....	326
B-0-07	海底沉积物腐蚀研究方法 马上德, 侯保荣, 孙虎元 (中国科学院海洋研究所) .....	331
B-0-08	金属材料实海腐蚀图象的自动识别 苏润西, 孔德英, 王庆飞, 宋诗哲 (天津大学) .....	334
B-0-09	模拟生物膜方法研究钢在海水中的腐蚀行为 王庆飞, 隋静, 苏润西, 孔德英, 宋诗哲 (天津大学) .....	337

B-0-10	海水中阴极保护用金属氧化物阳极 许立坤, 董飒英, 高玉柱, 王延勇, 尤良谦, 陈光章 (中国船舶工业总公司七二五所青岛分部) .....	340
B-0-11	巴基斯坦卡西姆港EPTL化学码头牺牲阳极阴极保护 朱锡昶, 陈辉, 朱雅仙, 朱秀娟 (南京水利科学院) .....	344
B-0-12	土壤中钢板化电阻的无IR降测量 李成保 (中国科学院南京土壤研究所) .....	348
B-0-13	土壤中钢铁表面防护层缺陷的电化学检测 宋诗哲, 靳世久, 徐云海, 宋小平, 李健 (天津大学) .....	351
B-0-14	模型研究在阴极保护设计中的应用 翁永基, 李相怡 (中国石油大学) .....	354
B-0-15	炼制工场之去丁烷塔顶腐蚀防治研究 王逸萍, 张行, 何奇律, 利宗冠, 连文良, 汤顺雄, 萧富川, 黄荣村 (中国石油公司炼制研究所, 大林炼油厂).....	358
B-0-16	IMC系列缓蚀剂的研究及其在油田的应用 杨怀玉, 陈家坚, 曹殿珍, 祝英剑 (中国科学院金属腐蚀与防护研究所) .....	368
B-0-17	铜缓蚀剂苯并三唑二聚体合成和缓蚀作用研究 张大全, 陆柱 (华东理工大学) .....	372
B-0-18	石化设备之不锈钢应力腐蚀破裂分析 张行, 何奇律, 王逸萍 (中国石油公司炼制研究所).....	376
B-0-19	钛铝合金在硫酸溶液中形成的钝化膜研究 王光耀, 王浩 (北京化工大学) .....	382
B-0-20	材料的微生物腐蚀敏感性 刘宏芳, 徐智谋, 董泽华, 郑家桑, 许立铭 (华中理工大学) .....	386
B-0-21	腐蚀工程系统设计概论 张鹏 (四川轻化工学院) .....	389
B-0-22	十八烷基胺在高压釜中成膜研究 葛红花, 周国定, 廖强强 (上海电力学院) .....	392
B-0-23	次磷酸盐氧化生成亚磷酸盐的电极历程研究 金荣, 孙冬柏, 俞宏英, 黄锦滨, 杨德钧 (北京科技大学) .....	398

B-0-24	原油蒸馏装置环烷酸和硫化氢腐蚀体系的热力学分析 高延敏, 陈家坚, 高立群, 吴维笑(中国科学院金属腐蚀与防护研究所) .....	402
B-P-01	船用长寿命牺牲阳极阴极保护系统的研究 孙明先, 吴建华, 朱云龙, 刘光洲, 陈旭立(中国船舶工业总公司七二五所青岛分部)...	405
B-P-02	城市埋地III管线阴极保护技术的实践与应用 曹备, 冯军, 吴国荣, 吴荫顺(北京科技大学, 北京市天然气公司) .....	410
B-P-03	低温磷化工艺研究 陈淑澄, 蒙海英, 刘颖(大连理工大学) .....	414
B-P-04	HPAM对A3钢的缓蚀作用研究 李海玲, 许立铭, 董泽华, 范汉香(华中理工大学) .....	416
B-P-05	净化站管道的腐蚀研究 俞敦义, 罗喆媛, 罗逸, 彭芳明, 刘小武, 齐公台(华中理工大学) .....	419
B-P-06	电解精炼过程粗铜阳极的化学组成对其钝化行为的影响 程璇, 林吕健(厦门大学) .....	422
B-P-07	碳钢在宝浪油田土壤中腐蚀及影响因素的研究 楚喜丽, 郭稚孤, 齐公台, 李细兵, 孟厦兰, 金名惠(华中理工大学) .....	428
B-P-08	大连港钢栈桥腐蚀状况检测及防护对策研究 李淑英, 张振邦, 罗永林, 杨艳, 徐凯(大连理工大学) .....	432
B-P-09	深井阳极地床技术在实化行业区域性阴极保护中应用研究 武烈(中国船舶工业总公司七二五所青岛分部) .....	436
B-P-10	铜及其合金在流动海水中的腐蚀行为研究 王曰义, 姚萍, 刘玉梅(中国船舶工业总公司七二五所青岛分部) .....	439
B-P-11	防腐蚀施工导致的环境污染及其控制 曾荣昌(岳阳巴陵石化洞庭氮肥厂) .....	444
B-P-12	拉挤玻璃钢型材在化工防腐中的应用 张俊科(化工部化工机械研究院) .....	447
B-P-13	多重扫描电位极化技术在船舶涂层耐蚀性测试中的应用 周陈亮, 肖利秋, 窦贤飞, 卓向东, 陈新, 林吕健(舰船维修研究所, 厦门大学) .....	450

B-P-14	海滨大口径钢质管道内外壁防腐保护 马志忠, 林志坚(中国船舶工业总公司七二五所厦门分部) .....	454
<b>C组 钢筋混凝土腐蚀, 表面涂覆</b>		
C-0-01	表面化学处理对SiCp/2024Al金属基复合材料耐蚀性的影响 冯祖德, 林吕健, 杜荣归, 陈文生(厦门大学) .....	459
C-0-02	电镀梯度功能膜的研制 郭成言, 王延勇, 俞荣芬, 吴化(吉林工学院, 中国船舶总公司七二五所青岛分部) ...	464
C-0-03	高能脉冲电沉积ZrO <sub>2</sub> 和ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 涂层 何业东, 于维平, 张立娜, 王德仁(北京科技大学, 北京航空航天大学).....	467
C-0-04	高磷Ni-P合金耐蚀性镀层的研究 胡信国, 王凤丽, 马荷琴, 戴长松, 王殿龙(哈尔滨工业大学) .....	471
C-0-05	新型铝合金Ce-Mo基转化膜工艺 李国强, 李获, 郭宝兰, 谢伟杰(北京航空航天大学) .....	479
C-0-06	TiN膜上镀金工艺的研究 李辉勤, 熊毅(北京科技大学) .....	483
C-0-07	醇酸涂层下钢中夹杂物诱发腐蚀过程研究 苗中辉, 陈学群, 朱梅五, 陈德斌(武汉材料保护研究所) .....	486
C-0-08	纳米级氧化钡的制备及其组织结构 唐电, 邵艳群, 黄德叶(福州大学) .....	490
C-0-09	金属-陶瓷复合管及其耐蚀性和耐磨性 吴化, 严莉, 吴连波, 郭成言(吉林工学院) .....	493
C-0-10	化学电镀技术在石化行业中的现状及展望 吴浩, 颜卫星, 骆建平(金陵石化公司设备研究院) .....	496
C-0-11	钛的生产现状及其在腐蚀工程中的应用 魏寿庸, 何瑜(宝鸡有色金属加工厂) .....	499
C-0-12	合金钢抗高温氧化涂料(KYH-1)的研制 徐小连, 刘东, 廖相巍(鞍钢技术中心) .....	505
C-0-13	高性能混凝土抑制材料界面硫酸侵蚀之研究 王和源, 黄兆龙(高雄科学技術學院, 臺灣科技大學).....	509

C-0-14	混凝土中钢筋杂散电流腐蚀危险电压的确定 吴建华, 陈凯, 刘光洲, 于辉, 陈光章, 侯佩成(中国船舶工业总公司七二五所青岛分部).....	514
C-0-15	The Concrete Cover Layer Requirements for RC Structures of Marine Environment in Taiwan W. M. Lin, C. L. Huang, Y. N. Peng (臺灣港灣與海洋研究所, 臺灣科技大學, 交通大學).....	519
C-0-16	阴极保护电流中断后砼中钢筋的电位衰减行为 张艳成, 何积铨, 郑育新, 吴荫顺(北京科技大学) .....	532
C-0-17	钢筋混凝土桥之阴极防蚀技术 李枝河, 何建志, 许维庭(立伟防蚀工程股份有限公司) .....	535
C-0-18	钢筋混凝土阴极保护系统中阳极系统的研制与优化 郑育新, 何积铨, 张艳成, 杜浩, 胥泽奇(北京科技大学) .....	540
C-0-19	碳化混凝土再碱化的研究初探 朱雅仙, 洪定海(南京水科院) .....	544
C-0-20	碳钢在H <sub>2</sub> S盐水体系统中的腐蚀及保护 张颖, 郑家桑, 刘烈炜(华中理工大学) .....	548
C-0-21	稀土元素对Ni-Cu-P镀层耐腐蚀性能的影响 黄锦滨, 朱宝亮, 刘家浚, 孙冬柏, 俞宏英, 杨德钧(清华大学, 北京科技大学) .....	551
C-0-22	钢筋在混凝土的腐蚀行为及NaNO <sub>2</sub> 的缓蚀作用 杜荣归, 冯祖德, 胡融刚, 谭建光, 林昌健(厦门大学) .....	555
C-0-23	钢筋砼沉箱群阴极保护的研究与应用 邱富荣, 许世力, 郑忠立, 石小燕, 余兴增, 辜志俊(中国科学院物质结构所二部).....	559
C-0-24	导电高分子防腐涂料研究 孙祖信, 邹友思(中国船舶工业总公司七二五所厦门分部, 厦门大学).....	562
C-0-25	混凝土孔溶液中钢筋钝化膜组成与结构的光电化学研究 储炜, 陈旭光, 杨勇, 林祖康, 汪鹰, 史苑莎, 魏宝明(厦门大学, 南京化工大学).....	566
C-P-01	高分子缓蚀剂的合成及其在钢筋混凝土中的应用 林薇薇, 王胜先, 张鉴清, 成少安(浙江大学) .....	570
C-P-02	严重潮湿环境下应用的防腐涂料开发的技术关键 陈仲德, 梁化民(江苏省武进市凯星涂料厂) .....	576

C-P-03	YJ-250耐热耐酸涂料在高炉热风炉中的应用 范静英(冶金部建筑研究总院) .....	579
C-P-04	碳钢和非晶态Ni-P镀层在废钻井液处理中的腐蚀行为 徐智谋, 董泽华, 刘宏芳, 郑家森, 肖遥(华中理工大学) .....	583
C-P-05	一种方便、快捷的表面防蚀技术--电刷镀金属涂层 李灿权, 刘桂珍, 孙雅如, 姚思章, 张爱玲(沈阳工业学院) .....	586
C-P-06	Ni-P-金刚石复合镀层的组织和性能 李勇, 陈文哲, 郑逊昭(福州大学) .....	589
C-P-07	厦门海域环境因素对铝镁合金腐蚀敏感性影响的研究 林志坚, 宋文桑(中国船舶工业总公司七二五所厦门分部) .....	593
C-P-08	ZX-01镍磷合金化学镀工艺研究 沈启贤, 宋晶, 沈雁, 魏方, 卢枫(中国重型汽车集团公司) .....	598
C-P-09	Ni-W-P化学镀层的冲刷腐蚀性能研究 宋锦福, 郭凯明(福州大学) .....	603
C-P-10	综合防腐蚀效应初探—粘胶纤维工业生产设备的腐蚀与防护 王凤树, 李福伟, 赫荣彬, 张成军(丹东化学纤维工业(集团)总公司) .....	606
C-P-11	复合镀Ni-SiC工艺及其性能研究 王延勇, 陈光章, 郭成言, 于晓(中国船舶工业总公司七二五所青岛分部) .....	608
C-P-12	户外钢结构表面处理技术研究 吴洪根, 陈树深(上海石油化工股份有限公司) .....	612
C-P-13	化学镀镍封孔技术的研究及应用 颜卫星, 吴浩, 骆建平, 黄雪萍, 马万年(金陵石化公司设备研究院) .....	615
C-P-14	铝合金上锂盐转化层的制备及其性能 丁红波, 郑辅养, 马延椿, 温国谋(中国科学院物质结构所二部) .....	619
C-P-15	钢筋在混凝土试块中的电化学反应探讨 郑伟希, 邱富荣(中国科学院物质结构所二部) .....	622
C-P-16	钢筋混凝土界面Cl <sup>-</sup> 浓度的原位测量 孙海燕, 曾维清, 杜荣归, 谭建光, 林吕健(厦门大学) .....	625

C-P-17	双极性涂层的防蚀机理研究 王周成, 张瀛洲, 周绍民, 苏方腾(中国科学院福建物构所三部, 厦门大学) .....	629
C-P-18	阵列电极研究钢筋/混凝土界面腐蚀过程 胡荣宗, 林吕健, 周香, 谭建光(厦门大学) .....	634
C-P-19	化学氧化膜的组织结构与形成机制 陈上仁, 王惠乔, 方信贤(福州大学) .....	637
C-P-20	聚苯胺衍生物的合成、表征及其在防污涂层中应用的可行性探讨 戴李宗, 朱侃, 吴辉煌(厦门大学) .....	643
作者索引	.....	648
编后记	.....	653



# 环境断裂机理及控制措施

肖纪美 褚武扬

(北京科技大学材料物理系, 北京 100083)

**摘要** 依据作者所在集体的研究结果, 对材料环境断裂这种事故, 仿医学, 先简述“机理”, 然后从事例介绍“控制措施”, 这类类似于“病理”及“医治案例”。

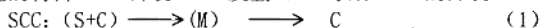
**关键词** 环境断裂 氢致开裂 应力腐蚀开裂机理 控制措施

## 1. 引言

化学环境, 特别是水介质, 引起的材料断裂现象, 简称为环境断裂; 断裂所需应力或是外加的、残余的, 或是化学变化、相变引起的。过去 20 年余年来, 我们研究集体在解决实际问题的基础上或启示下, 研究(材料—化学及力学环境)巨系统中的若干关键环节的机理, 寻求抑制措施。材料包括体心立方的结构钢、面心立方的奥氏体不锈钢、铝合金、Cu 黄铜、Ni-Cu 合金, 密排六方的 $\alpha$ 钛合金, 四方的硅片, 金属间化合物 Fe-Al、Ni-Al、Ti-Al 等合金系, 以及非晶态 Ni-P 等。研究结果已总结在国际会议的邀请报告<sup>[1~7]</sup>; 本文仿医学, 先“病理”(机理), 后“医治”(控制措施)。

## 2. 机理

顾名思义, 应力腐蚀开裂(SCC)及氢致开裂(HIC)分别是应力(S)及腐蚀(C)协同作用引起的材料(M)开裂(C)及氢(H)导致(I)的开裂(C):



在逻辑上, (SCC)及(HIC)这两个概念之间的关系是“交叉”的, 即它们的一部分内容是重合的。若 SCC 主要是腐蚀的阴极过程释氢引起的, 则这种 SCC 也是 HIC; 若 SCC 主要是阳极溶解过程引起的, 则这种 SCC 不是 HIC。

从方法论考虑, 我们强调从系统与环境的交互作用的整体去分析, 然后侧重关键环节的深入研究, 这分别属于“整体论”及“还原论”的范畴。

### 2.1 氢致开裂(HIC)

对于水溶液的金属腐蚀系统, 对于裂纹、缝隙、蚀坑内部的局部平衡热力学分析以及采用各种实验方法, 都已确定整体溶液为 3.5% NaCl 时钢、铝及钛合金的 pH 值分别为 4、3.5 及 2, 这就为阴极释氢提供了热力学条件。

如简化的图 1 (详图见文献[8]和[10])所示, 氢可“富集”在裂纹前方三向拉伸应力区、晶界、相界、位错、空位团等“陷阱”, 通过“物理”、“化学”和“力学”变化去理解和建立影响 HIC “推动力”或“阻力”的机理, 这就分别需要运用物理冶金、化学冶金和力学冶金的知识, 或更基础的固体物理、化学热力学和断裂力学的理论。

参考图 1, 对于不同的(材料—氢)系统, 可有如下三大类机理:

- (1) 增加推动力— $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 等的内压, 马氏体相变应力等。
- (2) 降低阻力—降低结合能、降低表面能、马氏体及氢化物脆性, 氢致塑性等。
- (3) 输运及陷阱—膜及陷阱的作用、氢的产生和输运的共轭、并联和串联等。

### 2.2 阳极溶解

图 2 示出应力腐蚀(SC)时力学因素及化学因素的交互作用对材料开裂(C)的影响, 人们依据起控制作用的过程来划分机理:

- (1) 若阳极溶解是断裂的控制过程, 则这些机理属于阳极溶解型;