

中国腐蚀状况及控制战略研究丛书
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

高稳定性高速电弧 喷涂腐蚀防护技术

(第二版)

徐滨士 魏世丞 梁秀兵 等 主编



科学出版社

中国腐蚀状况及控制战略研究丛书
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

高稳定性高速电弧 喷涂腐蚀防护技术

(第二版)

徐滨士 魏世丞 梁秀兵 等 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以高速电弧喷涂工艺和喷涂材料为主线,从喷涂设备的创新设计、工艺优化、材料选择、性能检测、防腐施工、质量控制、安全环保和工程应用等角度阐述了高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术。主要内容包括海洋钢结构设施的腐蚀失效分析及影响因素、高稳定性高速电弧喷涂技术、高速电弧喷涂防腐材料、高稳定性高速电弧喷涂工艺优化、喷涂层的质量控制和性能检测、喷涂的安全和环境保护及高速电弧喷涂防腐技术应用。

本书可供表面工程、海洋材料工程的技术人员、研究人员、高校师生及从事海洋、材料腐蚀与防护工作的人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术/徐滨士等主编. —2版. —北京:科学出版社, 2017.3

(中国腐蚀状况及控制战略研究丛书)

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-03-052271-9

I. ①高… II. ①徐… III. ①电弧喷涂-防腐 IV. ①TG174.442

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第053405号

责任编辑:李明楠 李丽娇/责任校对:彭珍珍

责任印制:张 伟/封面设计:铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年2月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017年3月第 二 版 印张:14 3/4

2017年3月第二次印刷 字数:295 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

“中国腐蚀状况及控制战略研究”丛书
顾问委员会

主任委员：徐匡迪 丁仲礼

委 员（按姓氏笔画排序）：

丁一汇	丁仲礼	王景全	李 阳	李鹤林	张 偲
金翔龙	周守为	周克崧	周 廉	郑皆连	孟 伟
郝吉明	胡正寰	柯 伟	侯立安	聂建国	徐匡迪
翁宇庆	高从堦	曹楚南	曾恒一	缪昌文	薛群基
魏复盛					

“中国腐蚀状况及控制战略研究”丛书
总编辑委员会

总 主 编：侯保荣

副总主编：徐滨士 张建云 徐惠彬 李晓刚

编 委（按姓氏笔画排序）：

马士德	马化雄	马秀敏	王福会	尹成先	朱锡昶
任小波	任振铎	刘小辉	刘建华	许立坤	孙虎元
孙明先	杜 敏	杜翠薇	李少香	李伟华	李言涛
李金桂	李济克	李晓刚	杨朝晖	张劲泉	张建云
张经磊	张 盾	张洪翔	陈卓元	欧 莉	岳清瑞
赵 君	胡少伟	段继周	侯保荣	宫声凯	桂泰江
徐玮辰	徐惠彬	徐滨士	高云虎	郭公玉	黄彦良
常 炜	葛红花	韩 冰	雷 波	魏世丞	

丛 书 序

腐蚀是材料表面或界面之间发生化学、电化学或其他反应造成材料本身损坏或恶化的现象,从而导致材料的破坏和设施功能的失效,会引起工程设施的结构损伤,缩短使用寿命,还可能导致油气等危险品泄漏,引发灾难性事故,污染环境,对人民生命财产安全造成重大威胁。

由于材料,特别是金属材料的广泛应用,腐蚀问题几乎涉及各行各业。因而腐蚀防护关系到一个国家或地区的众多行业和部门,如基础设施工程、传统及新兴能源设备、交通运输工具、工业装备和给排水系统等。各类设施的腐蚀安全问题直接关系到国家经济的发展,是共性问题,是公益性问题。有学者提出,腐蚀像地震、火灾、污染一样危害严重。腐蚀防护的安全责任重于泰山!

我国在腐蚀防护领域的发展水平总体上仍落后于发达国家,它不仅表现在防腐蚀技术方面,更表现在防腐蚀意识和有关的法律法规方面。例如,对于很多国外的房屋,政府主管部门依法要求业主定期维护,最简单的方法就是在房屋表面进行刷漆防蚀处理。既可以由房屋拥有者,也可以由业主出资委托专业维护人员进行防护工作。由于防护得当,许多使用上百年的房屋依然完好、美观。反观我国的现状,首先是人们的腐蚀防护意识淡薄,对腐蚀的危害认识不清,从设计到维护都缺乏对腐蚀安全问题的考虑;其次是国家和各地区缺乏与维护相关的法律与机制,缺少腐蚀防护方面的监督与投资。这些原因就导致了我国在腐蚀防护领域的发展总体上相对落后的局面。

中国工程院“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目工作的开展是当务之急,在我国经济快速发展的阶段显得尤为重要。借此机会,可以摸清我国腐蚀问题究竟造成了多少损失,我国的设计师、工程师和非专业人士对腐蚀防护了解多少,如何通过技术规程和相关法规来加强腐蚀防护意识。

项目组将提交完整的调查报告并公布科学的调查结果,提出切实可行的防腐方案和措施。这将有效地促进我国在腐蚀防护领域的发展,不仅有利于提高人们的腐蚀防护意识,也有利于防腐技术的进步,并从国家层面上把腐蚀防护工作的地位提升到一个新的高度。另外,中国工程院是我国最高的工程咨询机构,没有直属的科研单位,因此可以比较超脱和客观地对我国的工程技术问题进行评估。把这样一个项目交给中国工程院,是值得国家和民众信任的。

这套丛书的出版发行,是该重大咨询项目的一个重点。据我所知,国内很多领域的知名专家学者都参与到丛书的写作与出版工作中,因此这套丛书可以说涉及

了我国生产制造领域的各个方面,应该是针对我国腐蚀防护工作的一套非常全面的丛书。我相信它能够各领域的防腐蚀工作者提供参考,用理论和实例指导我国的腐蚀防护工作,同时我也希望腐蚀防护专业的研究生甚至本科生都可以阅读这套丛书,这是开阔视野的好机会,因为丛书中提供的案例是在教科书上难以学到的。因此,这套丛书的出版是利国利民、利于我国可持续发展的大事情,我衷心希望它能得到业内人士的认可,并为我国的腐蚀防护工作取得长足发展贡献力量。

徐匡迪

2015年9月

丛书前言

众所周知,腐蚀问题是世界各国共同面临的问题,凡是使用材料的地方,都不同程度地存在腐蚀问题。腐蚀过程主要是金属的氧化溶解,一旦发生便不可逆转。据统计估算,全世界每 90 秒钟就有一吨钢铁变成铁锈。腐蚀悄无声息地进行着破坏,不仅会缩短构筑物的使用寿命,还会增加维修和维护的成本,造成停工损失,甚至会引起建筑物结构坍塌、有毒介质泄漏或火灾、爆炸等重大事故。

腐蚀引起的损失是巨大的,对人力、物力和自然资源都会造成不必要的浪费,不利于经济的可持续发展。震惊世界的“11·22”黄岛中石化输油管道爆炸事故造成损失 7.5 亿元人民币,但是把防腐蚀工作做好可能只需要 100 万元,同时避免灾难的发生。针对腐蚀问题的危害性和普遍性,世界上很多国家都对各自的腐蚀问题做过调查,结果显示,腐蚀问题所造成的经济损失是触目惊心的,腐蚀每年造成损失远远大于自然灾害和其他各类事故造成损失的总和。我国腐蚀防护技术的发展起步较晚,目前迫切需要进行全面的腐蚀调查研究,摸清我国的腐蚀状况,掌握材料的腐蚀数据和有关规律,提出有效的腐蚀防护策略和建议。随着我国经济社会的快速发展和“一带一路”战略的实施,国家将加大对基础设施、交通运输、能源、生产制造及水资源利用等领域的投入,这更需要我们充分及时地了解材料的腐蚀状况,保证重大设施的耐久性和安全性,避免事故的发生。

为此,中国工程院设立“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目,这是一件利国利民的大事。该项目的开展,有助于提高人们的腐蚀防护意识,为中央、地方政府及企业提供可行的意见和建议,为国家制定相关的政策、法规,为行业制定相关标准及规范提供科学依据,为我国腐蚀防护技术和产业发展提供技术支持和理论指导。

这套丛书包括了公路桥梁、港口码头、水利工程、建筑、能源、火电、船舶、轨道交通、汽车、海上平台及装备、海底管道等多个行业腐蚀防护领域专家学者的研究工作经验、成果以及实地考察的经典案例,是全面总结与记录目前我国各领域腐蚀防护技术水平和发展现状的宝贵资料。这套丛书的出版是该项目的一个重点,也是向腐蚀防护领域的从业者推广项目成果的最佳方式。我相信,这套丛书能够积极地影响和指导我国的腐蚀防护工作和未来的人才培养,促进腐蚀与防护科研成果的产业化,通过腐蚀防护技术的进步,推动我国在能源、交通、制造业等支柱产业上的长足发展。我也希望广大读者能够通过这套丛书,进一步关注我国腐蚀防护技术的发展,更好地了解和认识我国各个行业存在的腐蚀问题和防腐策略。

在此,非常感谢中国工程院的立项支持以及中国科学院海洋研究所等各课题承担单位在各个方面的协作,也衷心地感谢这套丛书的所有作者的辛勤工作以及科学出版社领导和相关工作人员的共同努力,这套丛书的顺利出版离不开每一位参与者的贡献与支持。

侯保荣

2015年9月

第 二 版 序

陆地资源的过度开发造成了严重的环境和社会问题，世界各国纷纷将资源战略目标转向海洋。海洋资源开发带动海洋钢结构材料使用量与日俱增。但海洋环境具有高温、高湿、高盐雾等特点，是极为苛刻的自然腐蚀环境，尤其在浪花飞溅区，紫外线照射强烈，昼夜温度变化大，盐雾浓度高，服役其中的海洋钢结构长期处于干湿交替状态，腐蚀速度极快。若不及时采取相应的防护措施，将造成钢结构的快速腐蚀损坏，甚至酿成工程设施的坍塌等恶性后果。因此，海洋钢结构的腐蚀防护问题迫在眉睫。

高速电弧喷涂技术具有适用范围广、作业效率高及不受钢结构形状约束等特点，在海洋钢结构腐蚀防护方面具有广阔的应用前景。《高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术》的作者及其所在单位经过多年的理论和应用研究与丰富的工程实践，在高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护理论和腐蚀防护技术方面均取得了显著的成果，为国民经济、国防建设做出了巨大贡献。该书出版后，作者又将近几年在该领域取得的工作新成果梳理、总结，并修订了初版内容，编写第二版出版。

该书以高速电弧喷涂工艺和喷涂材料为主线，系统阐述了高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术的基础理论和技术途径，涉及喷涂设备的创新设计、工艺优化、材料选择、性能检测、防腐施工、质量控制、安全环保和工程应用等环节。该书学术见解独到，数据翔实，对从事科学研究的学者和工程实践的一线技术工人均具有很好的理论指导和借鉴作用。

相信该书的出版将会使人们对海洋环境腐蚀特点及高速电弧喷涂防腐技术有更为全面而深入的理解，并将有力推动高速电弧喷涂技术在海洋钢结构腐蚀防护领域的推广应用。

侯保荣

2017年2月

第二版前言

人类在开发海洋的过程中面临着腐蚀环境对海洋构筑物及设备的严重侵蚀，特别是随着世界各国海洋资源开发力度的不断增强，海洋钢结构材料使用量与日俱增，海洋钢结构的腐蚀问题已成为当今材料科学、表面工程等领域的重大课题。国内外专家、学者均在积极探索防腐蚀技术，研究金属在腐蚀环境中的失效规律，研制新的材料防护体系，从而延长海上构筑物的使用寿命，保障海洋设施的正常运行和安全使用。其中具有防腐性能好、效率高、成本低等特点的高速电弧喷涂技术得到了广泛的应用。

电弧喷涂技术自 20 世纪 20 年代提出构思以来，工艺体系一直在不断完善、发展。理论上，电弧喷涂技术在交叉学科的基础上逐步形成了高速电弧喷涂、自动化电弧喷涂、高稳定性高速电弧喷涂等具有鲜明特色的基础理论和技术理论；应用上，电弧喷涂技术已深入国民经济的方方面面，并将产生越来越大的经济效益和社会效益。为了与有关学者、工程技术人员共同推进表面工程的发展，我们于 2011 年编著了《高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术》一书。此次在中国工程院重大咨询项目“我国腐蚀状况及控制战略研究”的资助下，我们对 2011 版进行了修订。本书以高速电弧喷涂工艺和喷涂材料为主线，共分为绪论、海洋环境影响因素及金属材料的腐蚀失效行为、高稳定性高速电弧喷涂技术、海洋钢结构喷涂防腐材料、高稳定性高速电弧喷涂工艺、高速电弧喷涂涂层的质量控制和性能检测、高速电弧喷涂的安全和环境保护、高速电弧喷涂防腐应用实例 8 章内容。本修订版对第一版中的部分章节做了删减，并重点添加了近 5 年来海洋钢结构腐蚀防护领域中的新材料、新技术及新应用等方面的研究成果。

本书由徐滨士任主编，魏世丞、梁秀兵、王玉江任副主编。各章节编著人员为：第 1 章徐滨士，第 2 章魏世丞、刘燕、王玉江、刘毅，第 3 章梁秀兵、陈永雄、刘毅、梁义、童辉，第 4 章朱子新、魏世丞、梁秀兵、陈永雄、刘燕、程江波，第 5 章魏世丞、梁秀兵、陈永雄、梁义，第 6 章王玉江、陈永雄、刘毅、王博，第 7 章王玉江、刘毅、梁义、王博，第 8 章魏世丞、梁秀兵、陈永雄、刘燕。全书由徐滨士统稿。

本书可供表面工程、海洋材料工程技术人员、研究人员、高校师生及从事海洋、材料腐蚀与防护工作的人员阅读和参考。

本书的编写基础是“十一五”国家科技支撑计划“高稳定性高速电弧喷涂技

术及工程示范”、国家自然科学基金重点项目“再制造基础理论与关键技术”、国家自然科学基金优秀青年科学基金项目“表面技术与表面效应”、中国工程院咨询项目“绿色再制造工程在我国应用的前景”及中国工程院重大咨询项目“我国腐蚀状况及控制战略研究”。

借该书出版之际，向科技部、国家自然科学基金委、中国工程院等单位 and 部门表示衷心感谢。同时，向书中参考文献的作者致以敬意。

限于编著人员水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者指正并提出宝贵意见。

作 者

2017年2月

第一版前言

人类在开发海洋过程中面临着腐蚀环境对海洋构筑物及设备的严重侵蚀，海洋钢结构的腐蚀问题已成为当今材料科学、表面工程等领域的重大课题，国内外专家、学者均在积极探索防腐蚀技术、研究金属在腐蚀环境中的失效规律、研制新的材料防护体系，从而延长海上构筑物的使用寿命、保障海洋设施的正常运行和安全使用。目前，国内外均在采取积极的措施，其中具有防腐性能好、效率高、成本低等特点的高速电弧喷涂技术得到了广泛的应用。

电弧喷涂技术自 19 世纪 20 年代提出构思以来，一直在不断完善、发展自身的工艺体系。理论上，电弧喷涂技术在交叉学科的基础上逐步形成了高速电弧喷涂、自动化电弧喷涂、高稳定性电弧喷涂等具有鲜明特色的基础理论和技术理论；应用上，电弧喷涂技术已深入到国民经济的方方面面，并将产生越来越大的经济效益和社会效益。为了与有关学者、工程技术人员共同推进表面工程的发展，我们编著了《高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术》一书，全书以高速电弧喷涂工艺和喷涂材料为主线，共分为海洋钢结构设施的腐蚀失效分析及影响因素、高稳定性高速电弧喷涂技术、高速电弧喷涂防腐蚀材料、高稳定性高速电弧喷涂工艺优化、喷涂层的质量控制和性能检测、喷涂的安全和环境保护、高速电弧喷涂防腐蚀应用等 8 个章节。从喷涂设备的创新设计、工艺优化、材料选择、性能检测、防腐施工、质量控制、安全环保和工程应用等角度详细阐述高稳定性高速电弧喷涂腐蚀防护技术，并结合钢结构腐蚀失效分析，介绍高速电弧喷涂层的腐蚀防护原理、喷涂材料选择等基础科学问题，兼顾了理论性和实用性，突出了技术的应用性和可操作性，便于读者掌握技术的本质及要领。

本书由徐滨士任主编，魏世丞、梁秀兵任副主编。各章节编著人员为：第 1 章徐滨士，第 2 章魏世丞、刘燕、王玉江、刘毅，第 3 章梁秀兵、陈永雄、梁义，第 4 章朱子新、魏世丞、梁秀兵、陈永雄、刘燕，第 5 章魏世丞、梁秀兵、陈永雄，第 6 章王玉江、陈永雄、刘毅，第 7 章王玉江、刘毅，第 8 章魏世丞、梁秀兵、陈永雄、刘燕。全书由徐滨士统稿。

本书可供表面工程、海洋材料工程技术人员、研究人员、高校师生以及从事海洋、材料腐蚀与防护工作的人员阅读和参考。

本书的编写基础是“十一五”国家科技支撑计划“高稳定性高速电弧喷涂技术及工程示范”、国家自然科学基金重点项目“再制造基础理论与关键技术”、中

国工程院咨询项目“绿色再制造工程在我国应用的前景”，以及军队科研项目。

借该书出版之际，向科技部、国家自然科学基金委员会、中国工程院等单位
和部门表示衷心感谢。同时，向书中参考文献的作者致以敬意。限于编著人员水
平，书中不当之处，恳请读者指正并提出宝贵意见。

作 者

2010年3月

目 录

丛书序

丛书前言

第二版序

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构腐蚀防护的意义	1
1.2 海洋钢结构腐蚀防护的重要性	3
1.3 海洋环境各区域带的腐蚀特征	4
1.3.1 海洋大气区	5
1.3.2 浪花飞溅区	6
1.3.3 海水潮差区	7
1.3.4 海水全浸区	8
1.3.5 海泥区	9
1.4 高稳定性高速电弧喷涂技术的发展	9
1.5 高稳定性高速电弧喷涂技术与其他传统防腐技术的对比	11
1.5.1 与涂料涂装比较	11
1.5.2 与电镀、热浸镀比较	13
1.6 高稳定性高速电弧喷涂技术的发展趋势	14
第 2 章 海洋环境影响因素及金属材料的腐蚀失效行为	17
2.1 影响海洋钢结构腐蚀的环境因素	17
2.1.1 含盐量的影响	18
2.1.2 电导率的影响	19
2.1.3 溶解物质——氧、二氧化碳、碳酸盐的影响	19
2.1.4 温度、风浪和海域环境的影响	20
2.1.5 流速的影响	22
2.1.6 pH 的影响	23
2.1.7 海生物的影响	23
2.2 海洋金属结构的腐蚀类型	25

2.2.1 均匀腐蚀	25
2.2.2 点蚀	26
2.2.3 缝隙腐蚀	26
2.2.4 氧浓差电池腐蚀	27
2.2.5 选择性腐蚀	28
2.2.6 磨损腐蚀	28
2.2.7 电偶腐蚀	34
2.2.8 腐蚀疲劳	36
2.3 海洋钢结构腐蚀防护方法	37
2.3.1 海洋大气区	38
2.3.2 浪花飞溅区	38
2.3.3 潮差区	40
2.3.4 海水全浸区和海泥区	40
第3章 高稳定性高速电弧喷涂技术	41
3.1 电弧喷涂技术原理及特点	41
3.1.1 电弧喷涂技术基本原理与发展历程	41
3.1.2 电弧特性及熔化-雾化过程	42
3.1.3 电弧喷涂技术的主要特点	48
3.2 高稳定性高速电弧喷涂设备	49
3.2.1 喷涂电源	50
3.2.2 高速电弧喷涂枪	55
3.2.3 送丝机构	65
3.2.4 自动化高速电弧喷涂设备	67
3.2.5 喷涂路径规划及喷涂质量监控系统	72
第4章 海洋钢结构喷涂防腐蚀材料	79
4.1 锌及锌合金	79
4.1.1 锌涂层	79
4.1.2 电弧喷涂锌-铝合金涂层	80
4.1.3 与其他锌-铝合金涂镀层技术的比较	82
4.2 铝及铝合金	87
4.2.1 铝涂层	87
4.2.2 Al-Mg 合金涂层	88
4.2.3 Al-RE 合金涂层	88
4.3 粉芯丝材	90

4.4 海洋钢结构长效防腐 Zn-Al-Mg-RE 电弧喷涂材料	91
4.5 装备零部件抗高温冲蚀喷涂材料	92
4.5.1 材料需求特点	92
4.5.2 涂层组织与结构	93
4.5.3 抗高温冲蚀性能	94
4.6 海洋环境下装备零部件抗热腐蚀材料	95
4.6.1 材料需求特点	95
4.6.2 涂层组织与结构	95
4.6.3 抗高温氧化、氯化 and 硫化腐蚀性能	96
4.7 深海环境下装备防腐抗疲劳高速电弧喷涂技术应用	96
4.7.1 深海环境对金属腐蚀的影响	97
4.7.2 高速电弧喷涂技术防腐抗疲劳研究应用	97
4.7.3 Al-Ti-Si-RE 涂层在模拟深海环境下的腐蚀防护	99
4.8 新型非晶电弧喷涂材料	100
4.8.1 非晶合金的历史与发展	100
4.8.2 非晶合金设计思想的发展历程	103
4.8.3 非晶合金的结构特征及其形成机理	107
4.8.4 Fe 基非晶合金的研究	111
4.8.5 非晶纳米晶复合材料的研究	114
4.8.6 电弧喷涂抗冲蚀铁基非晶/纳米晶复合涂层	115
第 5 章 高稳定性高速电弧喷涂工艺	119
5.1 电弧喷涂工艺设计	119
5.1.1 工艺设计的基本要求	119
5.1.2 表面预处理工序的基本要求	120
5.1.3 电弧喷涂工序的基本要求	121
5.1.4 封闭或涂料涂装工序的基本要求	123
5.2 涂层的制备工序流程	123
5.3 工件预处理工艺	124
5.3.1 净化处理	125
5.3.2 喷砂粗化处理	126
5.4 电弧喷涂层制备工艺	131
5.4.1 高速电弧喷涂系统的使用规程	131
5.4.2 电弧喷涂工艺的特点	133
5.4.3 主要工艺参数	134

5.5 电弧喷涂层的后处理工艺	136
第6章 高速电弧喷涂涂层的质量控制和性能检测	139
6.1 高速电弧喷涂涂层的质量控制	140
6.1.1 质量控制的必要性	140
6.1.2 质量控制检验点	141
6.1.3 质量控制措施	144
6.2 高速电弧喷涂涂层性能检测的特点	145
6.3 高速电弧喷涂涂层的物理性能检测	146
6.3.1 涂层外观及显微结构分析	146
6.3.2 涂层厚度的测定	148
6.3.3 涂层密度和孔隙率的测定	151
6.4 高速电弧喷涂涂层力学性能检测	156
6.4.1 涂层硬度的测定	156
6.4.2 涂层结合强度的测定	159
6.4.3 涂层自身黏结强度的测定	163
6.5 高速电弧喷涂涂层耐蚀性能检测	164
6.5.1 耐腐蚀性的检测评定方法	165
6.5.2 大气暴露试验	165
6.5.3 全浸腐蚀试验	167
6.5.4 盐雾试验	168
6.5.5 SO ₂ 工业气体试验	169
6.5.6 湿热腐蚀试验	170
6.6 高速电弧喷涂涂层耐磨损性能检测	171
6.6.1 磨粒磨损试验	171
6.6.2 摩擦磨损试验	173
6.6.3 冲蚀磨损试验	174
6.7 高速电弧喷涂涂层的高温性能和热特性检测	175
6.7.1 抗高温氧化性能试验	175
6.7.2 热膨胀系数的测定	176
6.7.3 热导率的测定	176
6.7.4 热震试验	177
第7章 高速电弧喷涂的安全和环境保护	178
7.1 高速电弧喷涂过程中的安全 and 环境影响因素	178
7.1.1 高速电弧喷涂过程中的安全	178