

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

# 汽车腐蚀与防护工程

中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会 组编



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

# 汽车腐蚀与防护工程

中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会 组编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是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”汽车行业腐蚀调查报告的基础上编制而成,全面系统介绍了汽车腐蚀类型、腐蚀环境、防腐开发体系、金属及非金属材料、汽车各系统(车身、底盘、动力总成)腐蚀与防护、电化学防腐技术、涂装防腐技术、腐蚀老化试验、防锈包装储运、汽车维护保养等,内容贯穿了防腐设计、制造、试验、储运、使用、养护等整个汽车生命周期,是一本应用型工具书籍。

本书将有助于汽车行业相关人员全面了解汽车腐蚀及防腐技术。可作为汽车企业、零部件企业、材料企业、检测机构、科研院所、大专院校等汽车防腐蚀老化领域科技人员及管理人士的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车腐蚀与防护工程/中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会组编.  
—北京:科学出版社,2017.5

(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 978-7-03-052692-2

I. ①汽… II. ①中… III. ①汽车-防腐 IV. ①U472

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第099656号

责任编辑:李明楠 杨新改/责任校对:何艳萍

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.sciencep.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

\*

2017年5月第一版 开本:720×1000 B5

2017年5月第一次印刷 印张:23 3/4

字数:476 000

定价:128.00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	

# 《汽车腐蚀与防护工程》

## 编辑委员会

主 编：黄 平

副 主 编：范梅梅 官 璟

编辑委员会（按姓氏汉语拼音排序）：

陈新毅	戴毅刚	高伟峰	金 超	金喆民
李婷婷	刘朝斌	刘树文	罗恩洲	冉 浩
孙 超	谭其康	谭振洲	唐程光	汪 浩
王 华	王 俊	吴卫枫	张晓东	赵华坚
赵晓宏	赵艳亮			

## 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蚀方案和措施。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,腐蚀每年造成的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

## 序

当前，我国已是世界上最大的汽车生产国和销售国。据统计，2015年中国以2450.33万辆的汽车产量位居榜首，以实现2459.76万辆汽车销量成为唯一一个销量超过两千万辆的国家。对中国的汽车生产企业来说，出现了赶超世界一流汽车主机厂的重大机遇，同时也面临着核心技术自主创新、绿色节能汽车开发的严峻挑战。想要发展成为世界一流汽车企业，其关键一点是必须改变目前比较落后、污染大的防腐工艺技术，研究并应用环保防腐新技术，生产出环保绿色汽车，符合尽可能多的国家的相关法规，减轻对环境的危害。

汽车由各种金属零部件和非金属零部件组成，在其服役的各种环境中，无论是金属材料还是非金属材料都会遇到腐蚀问题或者耐候性、抗老化等耐久性问题。汽车腐蚀分为金属腐蚀和非金属老化。金属腐蚀是指金属与周围环境（介质）之间发生化学或电化学反应而引起的破坏或变质，如制动卡钳锈蚀、发动机托架锈蚀。非金属老化是非金属材料由于在环境介质的化学、机械和物理作用下，出现老化、龟裂、腐烂和破坏的现象，如安全警示按钮变色、车灯塑料罩黄化、密封胶条粉化开裂等，这是由于化学键在紫外作用下断裂而导致失效。所用材料和技术未来都应该继续向轻量化、高防腐、环保技术的方向发展。

随着中国汽车行业的蓬勃发展和顾客要求的不断提高，如何提高国产汽车车身防腐质量，降低整车防腐成本，提升产品竞争力，对中国汽车工业的发展有着重要的意义。为了全面科普汽车防腐相关知识，让大家较深入了解汽车防腐体系的现状及未来发展趋势，中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会组织15家单位25位专家编写了《汽车腐蚀与防护工程》。本书凝聚了诸多专家的心血，编著人员付出了辛勤的汗水，行业专家王锡春正高工、王振尧研究员、王玉江副研究员为本书重要技术内容提供了全面指导和把控。感谢中国科学院海洋研究所、北京航空航天大学对本书成稿给予的大力支持，感谢科学出版社为本书出版做的大量工作。在此一并致谢。

最后，希望本书能够对业界研究汽车产业防腐技术进步提供重要支撑，并产生积极的影响。我们相信中国汽车工业的实力也必将不断获得提升，为世界汽车产业的发展做出积极的贡献！

侯保荣

2017年4月

# 前 言

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基，汽车工业是我国发展成工业强国的核心支柱产业。我国已是世界上最大的汽车生产国和消费国，但距离汽车生产强国仍有很大差距，竞争力仍然薄弱。近年来，中国品牌汽车在设计、制造、验证等方面不断引进、创新技术，与跨国车企的技术势差逐渐缩小，取得了长足的进步。随着汽车工业的发展，各国追求的目标之一是提高汽车质量，延长汽车服役寿命。一般来说，除意外交通事故或部分零部件磨损外，汽车腐蚀是汽车损坏报废常见的重要原因，不仅直接影响汽车质量和使用寿命，还会导致环境污染和交通事故，给社会 and 经济发展造成巨大损失。随着中国品牌汽车的快速发展，以及汽车“三包”法规的实施，人们对汽车舒适性和耐久性的要求也日益提高，锈蚀问题也已成为影响企业形象、产品品质、产品成本、市场表现及用户感受的突出因素。近年来，因汽车腐蚀导致的召回事件也越来越多。

为全面摸清我国腐蚀及其控制状况，促进我国腐蚀防护产业的发展，提高我国腐蚀防护技术的水平，并为国家制定相关的政策、法规提供科学依据，2015年中国工程院启动了“我国腐蚀状况及控制战略研究”重大咨询项目。中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会承担了汽车行业腐蚀调查工作，于2016年牵头成立了由来自各大汽车企业、科研院所组成的汽车行业腐蚀调查专家组，在侯保荣院士、徐惠彬院士、张进华秘书长和刘建华教授的指导下，完成《汽车行业腐蚀调查研究报告》。在此基础上，编制完成《汽车腐蚀与防护工程》书籍。

本书是一部关于汽车腐蚀与防护的工具书，共14章。主要内容包括：绪论，汽车腐蚀环境与防腐开发体系概要，汽车常用金属材料，汽车常用非金属材料，车身腐蚀与防护，底盘腐蚀与防护，动力总成腐蚀与防护，电化学防护技术，零部件涂装防护技术，装饰性防护技术，零部件腐蚀老化试验，整车腐蚀老化试验，汽车防锈包装、储运，汽车维护、保养。本书由中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会组织编写，内容系统全面，具有一定的科学性、实用性和先进性。

全书共14章。黄平和范梅梅编写第1章，陈新毅和刘树文编写第2章，戴毅刚和赵艳亮编写第3章，王俊和张晓东编写第4章、第11章（11.2）和第12章（12.3），李婷婷和金超编写第5章，高伟峰和冉浩编写第6章，赵晓宏和孙超编写第7章，罗恩洲和谭其康编写第8章和第10章（10.3），王华编写第9章，金喆民编写第10章（10.1~10.2、10.4~10.7）和第12章（12.1~12.2、12.4），汪浩

和刘朝斌编写第 11 章 (11.1、11.3~11.4)，谭振洲和赵华坚编写第 13 章，吴卫枫和唐程光编写第 14 章。全书由黄平、范梅梅、官璟负责统稿和整理。

本书在编写过程中得到了中国汽车工程学会、重庆长安汽车股份有限公司、泛亚汽车技术中心有限公司、宝山钢铁股份有限公司、中国电器科学研究院有限公司、华晨汽车集团控股有限公司、长城汽车股份有限公司、浙江吉利汽车研究院有限公司、安美特(中国)化学有限公司、PPG 涂料(天津)有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、一汽-大众汽车有限公司、沈阳防锈包装材料有限责任公司、安徽江淮汽车集团股份有限公司、中国第一汽车股份有限公司技术中心各级领导和同事的支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

本书的出版得到中国工程院重大咨询项目“我国腐蚀状况及控制战略研究”的大力支持，特此致谢！

由于经验和水平所限，在编写过程中难免有遗漏或不妥之处，敬请各位专家、学者及广大读者批评指正。

编 者

2017 年 4 月

# 目 录

丛书序

丛书前言

序

前言

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 汽车腐蚀及危害 .....	1
1.1.1 汽车腐蚀概况 .....	1
1.1.2 汽车腐蚀的危害 .....	4
1.2 汽车腐蚀原因 .....	5
1.2.1 大气环境的影响 .....	5
1.2.2 道路环境的影响 .....	7
1.3 汽车腐蚀类型 .....	9
1.3.1 汽车腐蚀的分类方法 .....	9
1.3.2 全面腐蚀 .....	11
1.3.3 点腐蚀 .....	11
1.3.4 缝隙腐蚀 .....	12
1.3.5 电偶腐蚀 .....	13
1.3.6 晶间腐蚀 .....	13
1.3.7 应力腐蚀与腐蚀疲劳 .....	14
1.3.8 其他腐蚀形态 .....	14
1.4 汽车腐蚀与防护的发展概况及展望 .....	15
参考文献 .....	16
第 2 章 汽车腐蚀环境与防腐开发体系概要 .....	18
2.1 概述 .....	18
2.2 汽车腐蚀环境探测 .....	19
2.3 腐蚀测试方法开发 .....	20
2.4 腐蚀测试后评估 .....	21
2.5 防腐措施要求 .....	22
2.6 小结 .....	25

参考文献	25
<b>第3章 汽车常用金属材料</b>	<b>26</b>
3.1 基本情况(国内现状)	26
3.2 汽车通用金属材料	26
3.2.1 普冷碳钢	26
3.2.2 镀锌钢板	30
3.2.3 轻金属	37
3.3 汽车功能防腐金属材料	40
3.3.1 车身用功能型防腐金属材料	40
3.3.2 特殊部件用功能型防腐金属材料	43
3.4 发展趋势及展望	44
参考文献	45
<b>第4章 汽车常用非金属材料</b>	<b>47</b>
4.1 概述	47
4.2 汽车用塑料	47
4.2.1 聚氯乙烯	47
4.2.2 聚乙烯	48
4.2.3 聚苯乙烯	49
4.2.4 聚丙烯塑料	50
4.3 汽车用橡胶	50
4.3.1 天然橡胶	50
4.3.2 丁苯橡胶	51
4.3.3 顺丁橡胶	51
4.3.4 异戊橡胶	51
4.3.5 氯丁橡胶	51
4.3.6 丁基橡胶	51
4.3.7 丁腈橡胶	52
4.3.8 氢化丁腈橡胶	52
4.3.9 乙丙橡胶	52
4.3.10 聚氨酯橡胶	52
4.3.11 丙烯酸酯橡胶	53
4.3.12 氯化聚乙烯橡胶	53
4.4 汽车用涂料	53
4.4.1 汽车用涂料品种及其特性	54
4.4.2 汽车用特种涂料	56

4.4.3 汽车用环保型涂料	59
4.5 其他	61
4.5.1 纺织品	61
4.5.2 皮革	62
4.6 汽车非金属材料应用展望	63
4.6.1 单一化	63
4.6.2 无害化	64
4.6.3 易回收	64
参考文献	64
<b>第5章 车身腐蚀与防护</b>	<b>65</b>
5.1 概述	65
5.1.1 车身腐蚀状况概述	65
5.1.2 车身腐蚀数据调研分析	65
5.2 车身腐蚀环境区分与防护	69
5.2.1 车身腐蚀环境区分	69
5.2.2 车身不同部位的防护	71
5.3 车身防腐开发流程	74
5.3.1 防腐蚀目标	74
5.3.2 防腐蚀设计开发	75
5.3.3 防腐蚀性能验证与监控	76
5.4 车身防腐结构设计	77
5.4.1 车身表面造型	77
5.4.2 车身开孔设计	78
5.4.3 车身密封设计	90
5.5 车身防腐工艺设计	92
5.5.1 车身制造工艺流程介绍	92
5.5.2 冲压工艺	93
5.5.3 焊装工艺	94
5.5.4 涂装工艺	95
5.5.5 总装工艺设计	109
5.6 车身防腐材料应用	110
5.7 发展趋势及展望	112
参考文献	113
<b>第6章 底盘腐蚀与防护</b>	<b>114</b>
6.1 概述	114

6.2	底盘腐蚀现状	114
6.3	底盘腐蚀防护设计	116
6.3.1	底盘系统腐蚀区域	116
6.3.2	底盘系统腐蚀控制目标	117
6.3.3	目标达成验证方法	118
6.3.4	底盘表面处理选型思路	119
6.3.5	底盘表面处理选型建议	121
6.3.6	生产过程的补充控制措施	125
6.4	底盘腐蚀典型案例	127
6.4.1	底盘整体腐蚀现象	127
6.4.2	底盘边缘腐蚀现象	128
6.4.3	铝合金车轮的丝状腐蚀	129
6.4.4	车轮螺母锈蚀	130
6.4.5	标准件腐蚀	130
6.5	底盘防护技术发展趋势	130
6.5.1	超高防腐标准件	131
6.5.2	轻量化材料腐蚀防护	131
6.5.3	底盘电泳发展趋势	131
6.5.4	薄膜前处理	132
6.5.5	自泳漆	133
	参考文献	135
<b>第7章</b>	<b>动力总成腐蚀与防护</b>	<b>136</b>
7.1	概述	136
7.2	动力总成腐蚀影响因素	136
7.2.1	动力总成腐蚀环境	136
7.2.2	动力总成系统工况	136
7.2.3	其他因素	136
7.3	动力总成腐蚀防护设计	136
7.3.1	耐高温腐蚀工艺	137
7.3.2	复合特殊功能防护工艺	137
7.3.3	防护装饰性工艺	137
7.4	动力总成腐蚀典型案例	138
7.4.1	腐蚀现象	138
7.4.2	腐蚀原因分析	138
7.4.3	解决方案	142



7.5	动力总成零部件表面处理方式选型	143
7.6	发展趋势及展望	143
7.6.1	镁合金表面处理工艺	143
7.6.2	再制造发动机表面处理工艺	144
	参考文献	145
<b>第8章</b>	<b>电化学防护技术</b>	<b>146</b>
8.1	概述	146
8.1.1	电化学腐蚀	146
8.1.2	金属的电化学保护	146
8.1.3	电化学防腐材料的选择	147
8.2	电镀锌和锌合金	147
8.2.1	锌与锌合金镀层的特性与应用	147
8.2.2	电镀锌	150
8.2.3	电镀锌合金	152
8.2.4	电镀锌与锌合金的后处理	164
8.3	电镀硬铬	174
8.3.1	特点	174
8.3.2	工艺	175
8.3.3	电镀硬铬在汽车零部件中的典型应用	179
8.4	无铬锌铝(无铬达克罗)涂层	182
8.4.1	特点	182
8.4.2	锌铝涂层电化学抗腐蚀保护原理	184
8.4.3	锌铝涂层的工艺和结构	191
8.4.4	典型锌铝涂覆应用案例	195
8.5	紧固件腐蚀与防护	197
8.5.1	紧固件防腐的特殊性	197
8.5.2	紧固件防腐与摩擦系数	197
8.5.3	紧固件与对手件的电偶腐蚀(接触腐蚀)	200
8.5.4	紧固件的防氢脆处理	200
8.6	发展趋势及展望	201
8.6.1	能满足汽车行业防腐新要求的技术	201
8.6.2	电镀技术	202
8.6.3	锌铝涂层技术	202
	参考文献	202
<b>第9章</b>	<b>零部件涂装防护技术</b>	<b>204</b>