

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

非金属承压设备的 耐腐蚀性及应用

中国腐蚀与防护学会高分子管道和容器专业委员会 组织编写
郑伟义 陈国龙 高继轩 李茂东 等 编著



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

非金属承压设备的 耐腐蚀性及应用

中国腐蚀与防护学会高分子管道和容器专业委员会 组织编写

郑伟义 陈国龙 高继轩 李茂东 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据中国工程院关于促进我国防腐蚀产业的发展,提高我国防腐蚀技术水平的精神要求及最新行业标准编写而成。本书归纳了目前最新的非金属材料制的容器和管道的耐腐蚀性能,以及在新时期、新领域的应用,对当前针对金属腐蚀研究较多、对非金属尤其是承压设备领域的非金属研究较少的现状是重要的弥补。本书介绍了非金属承压设备,即非金属压力容器和压力管道的基本概况、标准体系、常用材料、设计、使用寿命及风险评估、常用检测方法等基本内容,重点介绍了四种压力容器(石墨、玻璃钢、塑料及衬里、搪玻璃)、两种压力管道(聚乙烯燃气管、其他非金属管道)的耐腐蚀性及应用。

本书适用于腐蚀防护领域,特别是从事非金属防护领域的科研人员、技术人员参考;也适用于高校腐蚀防护专业的本科生、研究生及教师学习参阅。

图书在版编目(CIP)数据

非金属承压设备的耐腐蚀性及应用 / 郑伟义等编著;中国腐蚀与防护学会高分子管道和容器专业委员会组织编写. —北京:科学出版社, 2017.2
(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 978-7-03-051779-1

I. ①非… II. ①郑… ②中… III. ①非金属材料—压力容器—防腐—研究 ②非金属材料—压力管道—防腐—研究 IV. ①TH49 ②U173.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 028916 号

责任编辑:李明楠 李丽娇 / 责任校对:贾娜娜

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>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 2 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 2 月第一次印刷 印张: 21 1/4

字数: 425 000

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	官声凯	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	

《非金属承压设备的耐腐蚀性及应用》

编写委员会

主	编：	郑伟义	陈国龙	高继轩	李茂东		
编	委：	马建萍	李俊	陈虎	毛烨	应仁爱	田力
		徐小华	辛明亮	林伟	周杰	李涛	卢丹亚
		张欣涛	王晓	罗保	陈招	郑汪萍	田博洋
		赵波	吕圣	刘昌财	黄建智	黄焕东	张伟雨
		王志渊	肖潇	吴波	赵炜	赵君	董长胜
		王新华	冯德富	刘兴有	肖玉刚	林华义	温原

《非金属承压设备的耐腐蚀性及应用》

技术支持单位

国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局

国家塑料制品质量监督检验中心（福州）

温州赵氟隆有限公司

广州特种承压设备检测研究院

西安塑龙熔接设备有限公司

四川理工学院

宁波市特种设备检验研究院

亚德化工设备（上海）有限公司

温州市质量技术监督检测院

长春特种设备检测研究院

广州市公用事业规划设计院

上海市特种设备监督检验技术研究院

承德市精密试验机有限公司

天华化工机械及自动化研究设计院有限公司

云南省第二安装工程公司

中国腐蚀与防护学会

浙江瑞美标准化技术服务有限公司

温州众创空间

佑利控股集团有限公司

浙江瑞堂塑料科技有限公司

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

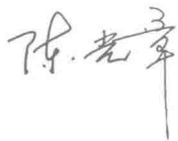
序

新材料的应用与发展是社会可持续发展的基础，也是人类社会进步的标志。设备的腐蚀会对国民经济造成巨大的损害。随着科技的发展与进步，塑料、搪玻璃、石墨等非金属材料在性能方面取得了长足的进步。由于非金属材料具有优良的耐蚀性能，非金属制承压设备在国民经济各个领域以容器、塔器、管道、阀门等形式的应用也越来越广泛。质量安全是人类赖以生存和发展的最重要的前提，关系到科学发展观的坚持和落实。非金属承压设备主要用于储存或传输具有易燃、易爆、腐蚀、有毒等特性的介质，可承受较高的压力，是具有潜在危险的危险源设备，一旦发生事故，将对人民的生命财产安全造成严重后果，影响社会公共安全。

当前，我国非金属制承压设备在自主创新能力、整体安全水平、制造质量、检测评价技术等方面与世界先进水平差距明显。在加快转变经济发展方式的背景下，《中国制造 2025》和《国家创新驱动发展战略纲要》的发布为非金属材料制造业提供了良好的发展契机。创新驱动、质量为先的发展理念必将对我国非金属材料产业产生深远影响。特别是借助于中国工程院重大咨询项目“我国腐蚀状况及控制战略研究”调研活动，对非金属材料在化工领域腐蚀成本数据及腐蚀控制策略等相关信息开展专项调研，必将对我国的腐蚀状况及对策产生深远的影响。

近年来，我国已形成了一批从事非金属承压设备设计、制造、质量检验、安全评估研究与工程实践的队伍，在推动石油、化工、电力等行业非金属承压设备质量安全提升方面发挥了重要作用。本书的作者都是多年来从事非金属承压设备制造、检验检测与失效分析的行业专业技术人员，具有扎实的理论基础和丰富的实践经验，为编撰本书奠定了很好的基础。该书重点介绍了近年来国内外常用的非金属承压设备耐蚀特性与应用情况，汇集了最新的研究应用成果与技术，是值得一读的非金属承压设备腐蚀控制方面理论与实践紧密结合的优秀读物。

该书不仅可满足高等院校非金属材料专业、防腐蚀专业及安全类专业的教学使用，而且可供广大非金属承压设备的安全管理人员、质量控制人员、安全性能检验检测人员及监察人员阅读参考。



2017年1月

前 言

腐蚀问题遍布国民经济和国防建设的各个领域，消耗大量的能源和资源。使用非金属耐蚀材料是防止材料腐蚀的主要措施之一。随着科技的不断发展、进步及新材料、新工艺的不断涌现，石墨、玻璃钢、塑料等材料制非金属承压设备在石油化工、能源、核工业、化纤、冶金、城市公用事业等领域的应用越来越广泛，且有向高参数、大容积方向发展的趋势。由于介质的复杂性和多样性，设备因腐蚀引发的破坏、泄漏等安全事故会造成严重的经济损失，给人民的生命财产造成严重威胁，影响社会公共安全。因此，研究非金属承压设备的耐腐蚀性是一个非常重要的课题。

2015年5月，中共中央国务院正式印发《中国制造2025》；2016年5月，中共中央国务院又正式印发《国家创新驱动发展战略纲要》，这都充分体现了国家对材料设备制造业发展与创新的高度重视。本书是中国腐蚀与防护学会高分子管道和容器专业委员会组织行业专家历时一年编写而成的。书中汇集了近年来国内外非金属承压设备设计、材料、制造、使用、失效模式、风险评估与检验评价方面最新的研究应用成果，重点介绍了不同类型设备的耐蚀特性与应用情况，目的是使广大读者（工业企业技术人员、大学与科研机构研究人员及防腐蚀设计人员等）通过阅读本书能够全面系统地了解非金属承压设备的耐蚀特性、使用现状、腐蚀破坏形式与机理等知识和信息，以期对实际工作提供理论支撑和实践指导。

本书将理论与实践相结合，所述内容适合我国国情，叙述简明、系统，结构合理、层次清晰，实用性、新颖性和针对性较强。

本书编写过程中得到了中国腐蚀与防护学会陈光章、张达威等专家指导和国内非金属承压设备行业专家的大力支持，还参考了国内外很多行业专家的论文、资料和研究成果。科学出版社对本书的出版付出了辛勤的努力并给予了真诚的指导。在此一并表示衷心的感谢！

由于编著者水平所限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2017年1月

目 录

丛书序

丛书前言

序

前言

第1章 非金属承压设备基本概况	1
1.1 概述	1
1.2 非金属承压设备的类型和形式	3
1.3 国内非金属承压设备概况	7
1.3.1 非金属压力容器	8
1.3.2 非金属压力管道	10
1.3.3 非金属承压设备相关法律法规	11
1.4 国外非金属承压设备概况	12
1.5 非金属承压设备的耐腐蚀性与应用概况	13
参考文献	14
第2章 非金属承压设备的标准体系	15
2.1 概述	15
2.1.1 基本概念	15
2.1.2 标准化	15
2.1.3 标准	17
2.1.4 标准体系	18
2.1.5 标准体系表的编制	19
2.2 国内非金属承压设备标准体系	20
2.2.1 概况	20
2.2.2 非金属承压设备国内标准体系结构图	22
2.2.3 参考材料及工艺不同编制的非金属承压设备相关国内标准明细表	23
2.3 国外非金属承压设备的标准体系	39
2.3.1 非金属承压设备相关国外标准组成	39
2.3.2 非金属承压设备相关国外标准体系表	39
参考文献	56

第3章 非金属承压设备的常用材料	57
3.1 概述.....	57
3.2 承压设备用有机非金属材料.....	57
3.2.1 承压设备用塑料类材料.....	57
3.2.2 承压设备用橡胶类材料.....	73
3.2.3 承压设备用涂料类材料.....	77
3.3 承压设备用无机非金属材料.....	80
3.3.1 承压设备用石墨类材料.....	80
3.3.2 承压设备用搪玻璃材料.....	85
3.4 材料的腐蚀机理.....	89
3.4.1 高分子材料的腐蚀特征.....	89
3.4.2 高分子材料与腐蚀介质的关系.....	92
参考文献.....	96
第4章 非金属承压设备的设计	97
4.1 概述.....	97
4.2 非金属承压设备的设计原则.....	97
4.2.1 设计条件.....	97
4.2.2 设计依据.....	98
4.2.3 设计总则.....	98
4.3 非金属承压设备的设计方法.....	100
4.3.1 塑料制压力容器.....	100
4.3.2 塑料衬里制压力容器.....	102
4.3.3 纤维增强塑料制压力容器.....	104
4.3.4 非金属压力管道.....	105
4.4 非金属承压设备设计典型案例.....	107
4.4.1 塑料及其衬里制压力容器设计.....	107
4.4.2 纤维增强塑料制压力容器设计.....	113
参考文献.....	117
第5章 石墨制压力容器的耐腐蚀性及应用	118
5.1 概述.....	118
5.2 石墨制设备、石墨制压力容器的耐腐蚀性.....	120
5.2.1 不透性石墨材料.....	120
5.2.2 石墨胶黏剂.....	135
5.3 石墨的腐蚀机理.....	141
5.4 石墨制化工设备、石墨制压力容器的应用.....	142

5.4.1 石墨换热器类	143
5.4.2 石墨降膜式吸收器	151
5.4.3 盐酸合成炉类	155
5.4.4 塔类设备	158
5.4.5 石墨衬里设备	160
5.4.6 泵类	160
5.4.7 管道、管件及零部件	160
5.4.8 调研情况	161
参考文献	165
第 6 章 玻璃钢制压力容器的耐腐蚀性及应用	166
6.1 概述	166
6.1.1 玻璃钢压力容器特性	166
6.1.2 玻璃钢压力容器相关标准	167
6.1.3 玻璃钢压力容器种类	168
6.1.4 国内玻璃钢生产情况	171
6.2 玻璃钢制压力容器的耐腐蚀性	171
6.3 玻璃钢制压力容器的腐蚀机理	172
6.4 玻璃钢制压力容器的应用	175
6.4.1 玻璃钢材料应用领域	175
6.4.2 玻璃钢设备常见质量问题	177
6.4.3 一些建议	182
参考文献	182
第 7 章 塑料及衬里制压力容器的耐腐蚀性及应用	183
7.1 概述	183
7.1.1 全塑压力容器	183
7.1.2 塑料衬里制压力容器	185
7.2 塑料及衬里制压力容器的耐腐蚀性	186
7.2.1 硬聚氯乙烯及衬里制压力容器的耐腐蚀性	186
7.2.2 聚乙烯及衬里制压力容器的耐腐蚀性	186
7.2.3 聚丙烯及衬里制压力容器的耐腐蚀性	187
7.2.4 ABS 树脂及衬里制压力容器的耐腐蚀性	187
7.2.5 氟塑料及衬里制压力容器的耐腐蚀性	187
7.2.6 氯化聚醚及衬里制压力容器的耐腐蚀性	187
7.2.7 聚苯硫醚及衬里制压力容器的耐腐蚀性	188
7.2.8 交联聚乙烯及衬里制压力容器的耐腐蚀性	188

7.3 塑料及衬里制压力容器的腐蚀机理	188
7.3.1 腐蚀机理	188
7.3.2 破坏形式	191
7.4 塑料及衬里制压力容器应用	194
7.4.1 全塑压力设备容器的应用	194
7.4.2 塑料衬里设备容器的应用	198
参考文献	201
第8章 搪玻璃压力容器的耐腐蚀性及应用	202
8.1 概述	202
8.1.1 定义	202
8.1.2 搪玻璃容器生产工艺流程	205
8.1.3 搪玻璃设备分类	205
8.1.4 搪玻璃压力容器的搪烧	208
8.2 搪玻璃压力容器的耐腐蚀性	215
8.3 搪玻璃压力容器的腐蚀机理	215
8.3.1 碱的腐蚀	215
8.3.2 酸的腐蚀	216
8.3.3 搪玻璃压力容器的破坏形式及原因	216
8.4 搪玻璃压力容器的应用	223
参考文献	234
第9章 非金属压力管道的耐腐蚀性及应用	235
9.1 概述	235
9.1.1 压力管道发展现状	235
9.1.2 非金属承压设备的类型、构造、形式	237
9.1.3 非金属压力管道存在的主要问题	239
9.2 几种典型非金属材料的耐腐蚀性能	240
9.3 非金属压力管道的腐蚀失效与腐蚀机理	242
9.3.1 腐蚀分类	242
9.3.2 腐蚀特点	245
9.3.3 腐蚀失效的影响因素	246
9.3.4 典型失效案例	247
9.4 非金属压力管道的应用	248
9.4.1 几种典型的非金属压力管道	248
9.4.2 非金属压力管道在气田上的应用	249
9.4.3 非金属压力管道腐蚀调研情况与建议	255

参考文献	258
第 10 章 典型塑料管道的耐腐蚀性及应用	259
10.1 概述	259
10.1.1 聚乙烯燃气管的发展概述	259
10.1.2 聚氯乙烯管道发展概述	260
10.1.3 玻璃钢管道发展概述	261
10.2 典型塑料管道的耐腐蚀性	261
10.3 典型塑料管道的腐蚀机理	263
10.3.1 聚乙烯燃气管的腐蚀机理及其破坏形式	263
10.3.2 聚氯乙烯管道的腐蚀机理及其破坏形式	264
10.3.3 玻璃钢管道的腐蚀机理及其破坏形式	264
10.3.4 典型塑料管道腐蚀破坏形式	264
10.4 典型塑料管道的应用	265
10.4.1 聚乙烯管道的应用	266
10.4.2 聚氯乙烯管道的应用	266
10.4.3 玻璃钢管道的应用	267
参考文献	267
第 11 章 非金属承压设备的使用寿命及风险评估	268
11.1 概述	268
11.2 非金属承压设备失效模式与机理	271
11.2.1 石墨制压力容器失效模式与机理	271
11.2.2 玻璃钢制压力容器失效模式与机理	272
11.2.3 塑料及衬里制压力容器失效模式与机理	272
11.2.4 搪玻璃压力容器失效模式与机理	273
11.2.5 非金属压力管道失效模式与机理	274
11.3 非金属承压设备寿命预测方法	275
11.3.1 线弹性断裂力学	275
11.3.2 标准外推法	276
11.3.3 弹塑性断裂力学法	277
11.3.4 银纹机理法	278
11.3.5 其他方法	278
11.4 非金属承压设备风险评估方法	279
11.4.1 故障树法	279
11.4.2 危险性预分析法	279
11.4.3 危险和可操作性研究 (HAZOP)	280