



中国腐蚀与防护学会
著作出版基金

材料延寿与可持续发展

房屋建筑耐久性 及保障技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
王东林 何 鸣 李 原 徐雪萍 编 著



化学工业出版社



中国腐蚀与防护学会
著作出版基金

材料延寿与可持续发展

房屋建筑耐久性 及保障技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
王东林 何 鸣 李 原 徐雪萍 编 著



化学工业出版社

· 北京 ·

房屋建筑长寿命对社会经济实现可持续发展有着重要的意义。无论是工业建筑、民用建筑还是农村建筑都必须把耐久性、安全性和可靠性放在重要位置,实施建筑全寿命周期诊断评价控制。

本书总结了作者 10 多年的研究工作及其成果,并对国内外近年来在房屋建筑耐久性保障技术的相关研究状况进行了分析,力求从建筑的设计、建筑材料、建筑结构、建筑施工管理、建筑结构腐蚀损伤、建筑维护加固技术等各个环节全面阐述实现房屋建筑安全耐久的各项控制技术。

本书可供建筑设计、建筑材料、材料腐蚀与防护领域的技术人员、研发人员阅读,也可供有关院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

房屋建筑耐久性保障技术/王东林等编著. —北京: 化学工业出版社, 2017. 12
(材料延寿与可持续发展)
ISBN 978-7-122-30839-9

I. ①房… II. ①王… III. ①房屋建筑学-耐用性-研究
IV. ①TU22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 258104 号

责任编辑: 刘丽宏 段志兵 王清颖
责任校对: 王素芹

文字编辑: 汲永臻
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 三河市延风印装有限公司

装订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 258 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

《材料延寿与可持续发展》丛书顾问委员会

主任委员：师昌绪

副主任委员：严东生 王淀佐 干 勇 肖纪美

委 员（按姓氏拼音排序）：

安桂华	白忠泉	才鸿年	才 让	陈光章	陈蕴博
戴圣龙	俸培宗	干 勇	高万振	葛昌纯	侯保荣
柯 伟	李晓红	李正邦	刘翔声	师昌绪	屠海令
王淀佐	王国栋	王亚军	吴荫顺	肖纪美	徐滨士
严东生	颜鸣皋	钟志华	周 廉		

《材料延寿与可持续发展》丛书总编辑委员会

名誉主任（名誉总主编）：

干 勇

主 任（总主编）：

李金桂 张启富

副 主 任（副总主编）：

许淳淳 高克玮 顾宝珊 张 炼 朱文德 李晓刚

编 委（按姓氏拼音排序）：

白新德	蔡健平	陈建敏	程瑞珍	窦照英	杜存山
杜 楠	干 勇	高克玮	高万振	高玉魁	葛红花
顾宝珊	韩恩厚	韩雅芳	何玉怀	胡少伟	胡业锋
纪晓春	李金桂	李晓刚	李兴无	林 翠	刘世参
卢凤贤	路民旭	吕龙云	马鸣图	沈卫平	孙 辉
陶春虎	王 钧	王一建	武兵书	熊金平	许淳淳
许立坤	许维钧	杨卯生	杨文忠	袁训华	张 津
张 炼	张启富	张晓云	赵 晴	周国庆	周师岳
周伟斌	朱文德				

办 公 室：袁训华 张雪华

《材料延寿与可持续发展》丛书指导单位

中国工程院

中国科学技术协会

《材料延寿与可持续发展》丛书合作单位

中国腐蚀与防护学会

中国钢研科技集团有限公司

中国航发北京航空材料研究院

化学工业出版社

丨 总序言 丨

在远古人类处于采猎时代，依赖自然，听天由命；公元前一万年开始，人类经历了漫长的石器时代，五千多年前进入青铜器时代，三千多年前进入铁器时代，出现了农业文明，他们砍伐森林、种植稻麦、驯养猪狗，改造自然，进入农牧经济时代。18世纪，发明蒸汽机车、轮船、汽车、飞机，先进的人类追求奢侈的生活、贪婪地挖掘地球、疯狂地掠夺资源、严重地污染环境，美其名曰人类征服自然，而实际是破坏自然，从地区性的伤害发展到全球性的灾难，人类发现在无休止、不理智、不文明地追求享受的同时在给自己挖掘坟墓。

人类终于惊醒了，1987年世界环境及发展委员会发表的《布特兰报告书》确定人类应该保护环境、善待自然，提出了“可持续发展战略”，表达了人类应该清醒地、理智地、文明地处理好人与自然关系的大问题，指出“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”，称之为可持续发展。其核心思想是“人类应协调人口、资源、环境与发展之间的相互关系，在不损害他人和后代利益的前提下追求发展”。

这实际上是涉及到我们人类所赖以生存的地球如何既满足人类不断发展的需求，又不被破坏、不被毁灭这样的大问题；涉及到人口的不断增长、生活水平的不断提高、资源的不断消耗、环境的不断恶化；涉及矿产资源的不断耗竭、不可再生能源资源的不断耗费、水力资源的污染、土地资源的破坏、空气质量的不断恶化等重大问题。

在“可持续发展”战略中，材料是关键，材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的标志和里程碑，是社会不断进步的先导、是可持续发展的支柱。如果不断发现新矿藏，不断研究出新材料，不断延长材料的使用寿命，不断实施材料的再制造、再循环、再利用，那么这根支柱是牢靠的、坚强的，是能够维护人类可持续发展的！

在我国，已经积累了许许多多预防和控制材料提前失效（其因素主要是腐蚀、摩擦磨损磨蚀、疲劳与腐蚀疲劳）的理论、原则、技术和措施，需要汇总和提供应用，《材料延寿与可持续发展》丛书以多个专题力求解决这一课题项目。有一部分专题阐述了材料失效原理和过程，另一部分涉及工程领域，结合我国已积累的材料失

效的案例和经验，更深入系统地阐述预防和控制材料提前失效的理论、原则、技术和措施。丛书总编辑委员会前后花费五年的时间，将分散在全国各个科研院所、工厂、院校的研究成果经过精心分析研究、汇聚成一套系列丛书，这是一项研究成果、是一套高级科普丛书、是一套继续教育实用教材。希望对我国各个工业部门的设计、制造、使用、维护、维修和管理人员会有所启示、有所参考、有所贡献；希望对提高全民素质有所裨益、对国家各级公务员有所参考。

我国正处于高速发展阶段，制造业由大变强，材料的合理选择和使用，以达到装备的高精度、长寿命、低成本的目的，这一趋势应该受到广泛的关注。

中国科学院院士
中国工程院院士

师昌绪

丨 总前言 丨

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，是人类社会进步的标志和里程碑，是社会不断进步的先导，是国家实现可持续发展的支柱。然而，地球上的矿藏是有限的，而且需要投入大量的能源，进行复杂的提炼、处理，产生大量污染，才能生产成为人类有用的材料，所以，材料是宝贵的，需要科学利用和认真保护。

半个多世纪特别是改革开放三十多年来，我国材料的研究、开发、应用有了快速的发展，水泥、钢铁、有色金属、稀土材料、织物等许多材料的产量多年居世界第一。我国已经成为世界上材料的生产、销售和消费大国。“中国材料”伴随着“中国制造”的产品，遍布全球；伴随着“中国建造”的工程项目，遍布全国乃至世界上很多国家。材料支撑我国国民经济连续 30 多年 GDP 年均 10% 左右的高速发展，使我国成为全球第二大经济体。但是，我国还不是材料强国，还存在诸多问题需要改进。例如，在制造环境、运行环境和自然环境的作用下，出现过早腐蚀、老化、磨损、断裂（疲劳），材料及其制品在使用可靠性、安全性、经济性和耐久性（简称“四性”）方面都还有大量的工作要做。

“材料延寿”是指对材料及其制品在服役环境作用下出现腐蚀、老化、磨损和断裂而导致的过早失效进行预防与控制，以尽可能地提高其“四性”，也就是提高水平，提高质量，延长寿命。目标是节约资源、能源，减少对环境的污染，支持国家可持续发展。

材料及制品的“四性”实质上是材料及制品水平高低和质量好坏的最终表征和判断标准。追求“四性”，就是追求全寿命周期使用的高水平、高质量，追求“质量第一”，追求“质量立国”，追求“材料强国”、“制造强国”、“民富、国强、美丽国家”。

我国在“材料延寿与可持续发展”方面，做过大量的研究，取得了显著的成绩，积累了丰富的实践经验，凝练出了一系列在材料全寿命周期中提高“四性”的重要理论、原则、技术和措施，可以总结，服务于社会。

“材料延寿与可持续发展”丛书的目的就在于：总结过去，总结已有的系统控制材料提前损伤、破坏和失效的因素，即腐蚀、老化、磨损和断裂（主要是疲劳与腐蚀疲劳）的理论、原则、技术和措施，使各行业产品设计师，制造、使用和管理工程师有所启示、有所参考、有所作为、有所贡献，以尽可能地提高产品的“四性”，

延长使用寿命。丛书的目的还在于：面对未来、研究未来，推进材料的优质化、高性能化、高强度化、长寿命化，多品质、多规格化、标准化，传统材料的综合优化，材料的不断创新，并为国家长远发展，提出成套成熟可靠的理论、原则、政策和建议，推进国家“节约资源、节能减排”、“可持续发展”和“保卫地球、科学、和谐”发展战略的实施，加速创建我国“材料强国”、“制造强国”。

在中国科协和中国工程院的领导与支持下，一批材料科学工作者不懈努力，不断地编写和出版系列图书。衷心希望通过我们的努力，既能对设计师，制造、使用和管理工程师“材料延寿与可持续发展”的创新有所帮助，又能为国家成功实施“可持续发展”、“材料强国”、“制造强国”的发展战略有所贡献。

中国工程院院士
中国工程院副院长



I 前言 I

房屋建筑是人类居住、开展公共活动及从事生产制作的空间。随着社会的发展，人类对房屋建筑结构及其功能的要求愈来愈高。房屋建筑的设计使用寿命一般为 50 年以上，房屋建筑长寿命对社会经济实现可持续发展有着重要的意义。本书总结了中冶建筑研究总院建筑腐蚀耐久性研发团队 10 多年的研究工作经验，并对国内外近年来在房屋建筑耐久性及其保障技术方面的相关研究进行了分析和阐述。

基于对房屋建筑耐久性及其保障技术的认识，无论是工业建筑、民用建筑还是农村建筑，都必须把耐久性、安全性和可靠性放在重要位置，实施建筑全生命周期诊断评价控制。从建筑的设计、建筑材料、建筑结构、建筑施工管理、建筑结构腐蚀损伤、建筑维护加固技术等各个环节进行控制，才能实现房屋建筑的安全耐久性。本书从实际工程应用的角度出发，通过调查分析大量的工程案例，阐述了国内房屋建筑存在的耐久性问题。重点对房屋建筑腐蚀损伤及其保障诊断技术进行了研究分析，建立房屋建筑腐蚀损伤诊断及评估方法。围绕耐久性影响因素，通过诊断多项性能指标，力图解决房屋建筑耐久性中的主要问题，同时对房屋建筑长寿命的研究发展进行了积极探索。

本书在整理编写过程中还得到腐蚀耐久性检测部门同仁的大力支持，在此特表示感谢。由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，欢迎批评指正。

编著者

目录

第1章 绪论

1.1 房屋建筑耐久性概念	1
1.1.1 房屋建筑分类	1
1.1.2 房屋建筑耐久性概念	2
1.1.3 房屋建筑耐久性级别	3
1.2 房屋建筑耐久性对社会和经济发展的意义	3
1.2.1 房屋建筑耐久性关系到人民生活	3
1.2.2 房屋建筑耐久性影响企业发展	4
1.2.3 保障房屋建筑耐久性有利于经济和社会的持续健康发展	4
1.2.4 研究房屋建筑耐久性技术促进工程结构和材料科学发展	5
1.3 房屋建筑耐久性技术发展	6
1.3.1 房屋建筑材料耐久性技术现状及发展趋势	6
1.3.2 既有房屋建筑耐久性技术现状及发展趋势	9
参考文献	12

第2章 房屋建筑结构材质特点

2.1 木结构	14
2.1.1 实木	14
2.1.2 结构用集成材	19
2.1.3 单板层积材	20
2.1.4 定向刨花板	21
2.2 砖混结构材料	22
2.2.1 砖	22
2.2.2 砌块	23
2.3 框架结构材料	25
2.3.1 水泥	25
2.3.2 骨料	27
2.3.3 矿物掺合料	28
2.3.4 外加剂	28

2.3.5 建筑砂浆	29
2.3.6 混凝土	32
2.3.7 钢筋	36
2.4 钢结构材料	38
2.4.1 钢结构特点	38
2.4.2 钢结构材料要求	39
2.5 钢-混凝土混合结构材料	40
2.5.1 钢骨混凝土结构	40
2.5.2 钢管混凝土结构	41
参考文献	42

第3章 房屋建筑耐久性的影响因素

3.1 房屋建筑耐久性系统影响因素	43
3.1.1 房屋建筑耐久性内因和外因的相互作用	43
3.1.2 房屋建筑耐久性宏观和微观的正确把握	47
3.1.3 房屋建筑耐久性结构和材料的系统关联	49
3.2 房屋建筑中的混凝土结构耐久性影响技术分析	51
3.2.1 房屋建筑耐久性设计技术分析	51
3.2.2 与混凝土材料有关的耐久性特征	53
3.2.3 与混凝土结构有关的耐久性特征	53
3.2.4 与混凝土施工有关的耐久性特征	54
参考文献	55

第4章 房屋建筑腐蚀损伤及诊断技术

4.1 影响房屋建筑耐久性的腐蚀环境	56
4.1.1 一般概念	56
4.1.2 环境腐蚀分类	56
4.2 自然腐蚀环境特征	57
4.2.1 大气腐蚀环境	57
4.2.2 土壤和水的腐蚀	62
4.3 工业介质划分腐蚀性	64
4.4 杂散电流腐蚀	67
4.5 环境腐蚀性评价	68
4.5.1 大气腐蚀评价	68

4.5.2	土壤和水腐蚀性评价	68
4.5.3	杂散电流腐蚀评价	69
4.6	腐蚀损伤诊断原理	70
4.6.1	电化学腐蚀诊断机理	70
4.6.2	钢筋腐蚀的电化学过程	76
4.7	混凝土中钢筋腐蚀实验室电化学综合诊断	78
4.7.1	实验室钢筋腐蚀综合诊断	78
4.7.2	电化学综合评定法	83
4.7.3	实验室电化学综合诊断方法的评估应用	86
4.8	现场钢筋混凝土结构无损诊断评估	89
4.8.1	钢筋锈蚀综合诊断	89
4.8.2	混凝土中钢筋腐蚀无损现场诊断	90
4.8.3	现场诊断实例	91
4.9	地下钢筋混凝土结构杂散电流腐蚀损伤诊断	92
4.9.1	钢筋混凝土结构杂散电流腐蚀的电化学诊断	92
4.9.2	杂散电流腐蚀非破坏性评估诊断	95
4.10	混凝土的裂缝诊断	98
4.10.1	混凝土结构垂直浅缝诊断	99
4.10.2	混凝土结构倾斜浅缝诊断	99
4.10.3	超声波测量混凝土裂缝深度诊断	100
4.10.4	混凝土构件内部的孔洞和不密实区的诊断	101
4.11	钢结构缺陷和损伤诊断	101
4.11.1	钢结构的缺损与分析	101
4.11.2	钢结构的诊断	103
4.11.3	焊接连接的诊断技术	104
4.11.4	螺栓连接诊断技术	113
4.11.5	构件变形诊断	116
4.12	构件缺陷、损伤的诊断	116
4.12.1	钢结构现场损伤的诊断方法	117
4.12.2	现场结构构件变形诊断	117
4.13	钢结构涂装的诊断	119
4.14	钢结构表面涂膜腐蚀诊断评估	120
	参考文献	126

第5章 既有房屋建筑腐蚀耐久性可靠度评定

5.1 概述	128
5.1.1 基本概念	128
5.1.2 既有房屋建筑结构可靠性鉴定的目的	128
5.1.3 可靠性鉴定思路	129
5.2 房屋结构可靠度的判定	130
5.2.1 结构可靠度的判定方法	130
5.2.2 可靠度计算的基本概念	131
5.2.3 结构可靠度的一般计算方法	132
参考文献	133

第6章 提高和保障房屋建筑耐久性措施

6.1 材料、设计、管理及技术在提高和保障房屋建筑耐久性的作用	134
6.1.1 提高结构材料的耐久性	134
6.1.2 重视耐久性设计, 加强施工质量管理	135
6.1.3 积极推动房屋建筑耐久性的技术发展	136
6.2 制度建设是提高房屋建筑耐久性的有力保障	137
6.2.1 建立使用阶段的结构安全检测制度	137
6.2.2 完善技术标准及其管理模式	138
6.3 既有房屋建筑工程保障修复材料及使用	138
6.4 既有建筑工程保障修复工法	148
6.4.1 粘贴钢板加固法	148
6.4.2 增大截面加固法	149
6.4.3 置换混凝土加固法	149
6.4.4 绕丝加固法	150
6.4.5 钢筋混凝土屋架修复法	150
6.4.6 聚合物砂浆修复法	151
6.4.7 混凝土及砌体裂缝修复法	152
6.4.8 植筋法	154
6.4.9 化学灌浆补强法	154
6.4.10 混凝土钢筋腐蚀修复方法	155
6.4.11 电化学渗透保护法	156
6.4.12 碱骨料反应的控制方法	156

6.4.13 冻融损伤修复	157
6.5 既有钢结构修复方法	157
参考文献	158

第7章 既有房屋建筑耐久性评估与保障工程实例

7.1 房屋建筑腐蚀调查	159
7.2 学校校舍房屋安全耐久性调查典型案例	160
7.3 民用建筑老旧楼房屋耐久性调查典型案例	163
7.4 住宅阳台腐蚀调查典型案例——北京市某小区住宅楼	166
7.5 建筑钢结构腐蚀耐久性调查典型案例	168
7.6 工业建筑钢结构腐蚀调查案例	170
7.6.1 某机场机库	170
7.6.2 某钢厂钢结构厂房腐蚀调查	179
7.7 地下建筑结构杂散电流腐蚀调查实例	181
7.8 工业建筑钢筋混凝土结构腐蚀调查及维修案例	184
7.8.1 某汽车厂房大体积混凝土基础耐久性调查	184
7.8.2 某企业混凝土结构厂房腐蚀调查	190
7.9 古建筑耐久性调查案例	200

参考文献

第1章

绪论

1.1 房屋建筑耐久性概念

1.1.1 房屋建筑分类

房屋是指按一定时间存在而设计、建成的建筑物，占用土地空间，通常有屋顶，多半完全用墙包围住，作为住宅、仓库、工厂或其他有功用的建筑物。

房屋建筑一般按使用性质分为两类。

(1) 民用建筑 民用建筑指供人们居住和进行公共活动的建筑的总称，是不论单位性质、投资规模和投资来源的居住建筑和公共建筑。包括：住宅及其配套设施、宾（旅）馆、招待所；学校教学楼及其附属设施；医疗用房及其附属设施；办公楼、科研楼、综合楼的非生产用房部分；商店；文化馆、影剧场（院）、体育场（馆）、图书馆、展览馆、文体活动中心；车站候车室、码头候船室、机场候机楼；商业仓库、民用车库；其他法律法规规定的建筑等。

(2) 工业建筑 工业建筑指从事各类工业生产及直接为生产服务的房屋，一般称为厂房。工业建筑生产工艺复杂多样，在设计、使用要求、室内采光、屋面排水及建筑构造等方面，具有如下特点。

① 厂房的建筑设计是在工艺设计人员提出的工艺设计图的基础上进行的，建筑设计应首先适应生产工艺要求。

② 厂房中的生产设备多，体量大，各部分生产联系密切，并有多种起重运输设备通行，厂房内部应有较大的通畅空间。

③ 厂房宽度一般较大，或为多跨厂房，为满足室内通风的需要，屋顶上往往设有天窗。

④ 厂房屋面防水、排水构造复杂，尤其是多跨厂房。

⑤ 单层厂房中，由于跨度大，屋顶及吊车荷载较重，多采用钢筋混凝土排架结构承重；在多层厂房中，由于荷载较大，广泛采用钢筋混凝土骨架结构承重；特别高大的厂房或地震烈度高的地区厂房宜采用钢骨架承重。

⑥ 厂房多采用预制构件装配而成，各种设备和管线安装施工复杂。

1.1.2 房屋建筑耐久性概念

一般讲，耐久性是材料抵抗自身和自然环境双重因素长期破坏作用的能力，即保证其经久耐用的能力。耐久性越好，材料的使用寿命越长。作为房屋来讲，耐久性不仅体现在建筑材料的耐久性上，更重要的是体现在建筑结构耐久性上。因此我们这样定义房屋建筑的耐久性：房屋建筑在正常维护的条件下，结构能在预计使用的年限内满足各项功能要求，以及建筑材料在使用过程中经受来自使用方面的破坏因素及来自环境方面的破坏因素的作用仍能保持其原有性能的能力。例如，房屋不因为混凝土的老化或钢筋的腐蚀等影响结构的使用寿命。材料被用于建筑物后，要长期受到来自使用方面的破坏因素及来自环境方面的破坏因素的作用。如在使用中，摩擦、载荷、废气、废液等破坏因素的作用；在环境中，阳光紫外线照射、空气和雨水侵蚀、气温变化、干湿交换、冻融循环、虫菌寄生等破坏因素的作用。这些破坏因素的作用又可归结为机械作用、物理作用、化学作用和生物作用。它们或单独、或交互、或同时综合地作用于材料，使材料逐渐变质、损毁而失去使用功能。由于房屋所处的自然条件和使用与维修状况的不同，损坏与病害的发展是不同的，因而房屋的结构耐久性和使用寿命也不同。与工业建筑相比，民用建筑的使用环境相对较好，一般可维持 50 年以上，这只是平均值，实际上房屋的承重结构、维护结构、各种设备部件的寿命是不同的，例如：钢筋混凝土构件可达 50 年，但室外阳台、雨篷等露天构件的使用寿命通常仅有 30~40 年；木地板 30 年，而木楼梯则仅 15 年；油毡屋面、内外墙油漆均不足 10 年；各种建筑设备部件的使用寿命在 10~30 年之间。通常住宅的耐久性能包括主体结构耐久性、防水性能、设备设施防腐性能等。

目前我国建筑设计规范要求一般民用建筑设计使用寿命为 50 年，重要建筑为 100 年。实践证明，在正常使用的前提下，一般混凝土结构或砖石结构的建筑，其结构本身还是很耐久的，国内外这样的百年建筑甚至更长寿命的建筑比比皆是。我国目前拆掉的大部分建筑并不是因为结构不安全，除规划变更引起的拆除外，大多是因为建筑本身的功能和设备设施落后了，不能满足使用的要求。设备设施不易更换，有些更换时甚至要破坏建筑结构。由于目前我国住宅的部品部件、设备设施还不配套，不能做到和建筑结构同寿命，我们应该尽量选择耐久性能强的部品和系统，因此在《住宅性能评定技术标准》中推荐一些一次性投资不大，但可大大提升住宅性能的指标，略高于我国现行建筑设计规范的要求。例如住宅的屋面防水工程，要求所有屋面防水的使用年限不低于 15 年，相当于 2 级防水。

提高建筑的耐久性和可维护性也是延长建筑寿命的必要对策。据估计，如果把建筑结构强度提高 20%，建筑寿命可以提高一倍以上，钢筋混凝土结构的保护层厚度每增加 1cm，约可提高结构寿命 10 年。设备管线的寿命通常只有 15