

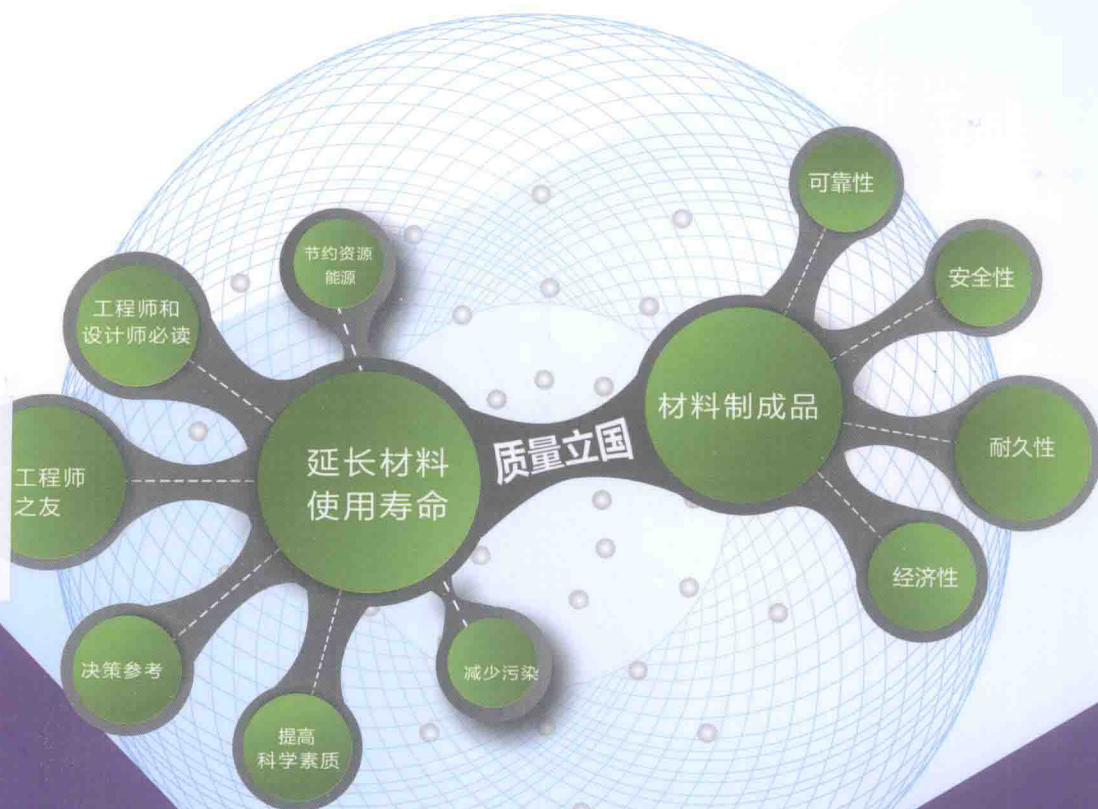


材料延寿与可持续发展

工程结构 损伤和耐久性

——原理、评估和应用技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
胡少伟 孙红尧 李森林 等编著



化学工业出版社



材料延寿与可持续发展

工程结构 损伤和耐久性

——原理、评估和应用技术

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
胡少伟 孙红尧 李森林 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《材料延寿与可持续发展》丛书分册之一,专门讨论工程结构损伤与耐久性——原理、评估和应用技术。本书共分7章:绪言,工程混凝土开裂与损伤,混凝土材料老化与结构病害,工程结构检测、监测与安全评估,混凝土工程结构修复和加固,提高工程寿命的新材料和新技术以及工程案例分析。

本书可供工程建设领域的设计、施工、维护维修和管理工程师参考,可供公务员决策参考,也可供工科学校本科生、研究生、博士生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构损伤和耐久性——原理、评估和应用技术/
胡少伟,孙红尧,李森林等编著. —北京:化学工业
出版社,2014.9

(材料延寿与可持续发展)

ISBN 978-7-122-21540-6

I. ①工… II. ①胡… ②孙… ③李… III. ①工程
结构-损伤(力学)-研究②工程结构-耐久性-研究
IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第176590号

责任编辑:王清颖 段志兵

责任校对:王素芹

文字编辑:闫敏

装帧设计:卫晓宇

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:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张20 $\frac{1}{4}$ 字数377千字 2015年2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:59.00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—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

中航工业北京航空材料研究院

化学工业出版社

《工程结构损伤和耐久性——原理、评估和应用技术》 编委会

主 任：胡少伟

委 员：胡少伟 孙红尧 李森林 陆 俊

I 总序言 I

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 年世界环境与发展委员会发表的《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，将分散在全国各个研究院所、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

I 总前言 I

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、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

2011年年初开始,笔者作为工作组专家,参与了中国工程院“材料延寿与可持续发展战略研究”重大咨询项目(编号2011-ZD-20),负责港工结构的材料延寿及其可持续发展战略报告的撰写工作。《材料延寿与可持续发展》丛书是上述重大咨询项目的重要基础支撑,2011年年底,受丛书总主编李金桂研究员的邀请,笔者又参加了这套著作的编写工作。我们南京水利科学研究院材料结构研究所相关专家学者,借鉴国内外在工程损伤与耐久性方面的研究成果,结合我们自己完成的科研成果,编著成《工程结构损伤和耐久性——原理、评估和应用技术》分册,作为丛书之一出版。

本书共分7章,包括:绪言(第1章),工程混凝土开裂与损伤(第2章),混凝土材料老化与结构病害(第3章),工程结构检测、监测与安全评估(第4章),混凝土工程结构修复和加固(第5章),提高工程寿命的新材料和新技术以及工程案例分(第6章、第7章)。全书由笔者统筹编写工作并完成编写大纲,其中笔者编写了第1章,笔者与陆俊博士共同编写了第2~4章并参编了第5章、第7章,李森林高工编写了第5章并参编了第4章、第7章,孙红尧教授编写了第6章,全书最后再由笔者完成定稿。本书中给出了我国工程建设中损伤断裂、材料失效的案例和修复经验,希望对我国工程设计、使用、维护维修和管理人员会有所启示、有所参考、有所帮助。

本书在确定编写方案与章节大纲时,得到了李金桂研究员与化学工业出版社责任编辑的悉心指导与诸多帮助。经过多次讨论,他们给出了本书编写的具体建议与详尽的书面指导意见,在此代表本书编委会表示衷心感谢。

另外,本书中的研究成果分别得到了水利公益性行业科研专项“混凝土坝裂缝性态诊断与危害性评定关键技术”(201201038)、国家自然科学基金项目“基于FEMOL水工混凝土损伤断裂动态全过程分析与试验研究”(51279111)、西部交通项目“桥梁结构表面防护耐久性材料的研究”(200631822302-02)、国家自然科学基金项目“混凝土表面保护用有机硅渗透剂的结合效率和耐久性能的研究”(51279110)、国家杰出青年基金“水工混凝土结构工程”(51325904)等科研项目资助,也在此一并致谢。

我们历时一年多,数易其稿,完成本书。限于编著者水平,不当之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

胡少伟
于南京虎踞关

目录

第1章 绪言

- 1.1 工程结构的意义 /001
- 1.2 工程结构耐久性面临的问题与挑战 /003
- 参考文献 /008

第2章 工程混凝土开裂与损伤

- 2.1 混凝土结构开裂 /009
 - 2.1.1 裂缝基本类型 /009
 - 2.1.2 混凝土断裂破坏的基本现象 /010
 - 2.1.3 混凝土断裂模型 /013
 - 2.1.4 应力强度因子和断裂韧度 /016
- 2.2 工程结构损伤 /016
 - 2.2.1 损伤力学的概况 /016
 - 2.2.2 损伤变量 /017
 - 2.2.3 损伤测量 /017
 - 2.2.4 混凝土损伤 /018
- 2.3 混凝土开裂损伤过程试验 /019
 - 2.3.1 混凝土三点弯曲梁断裂试验与理论研究 /019
 - 2.3.2 标准钢筋混凝土弯曲梁断裂特性试验与理论研究 /031
 - 2.3.3 非标准弯曲梁断裂特性试验与理论研究 /034
- 2.4 混凝土开裂损伤理论的工程应用 /040
 - 2.4.1 坝体混凝土开裂判据 /041
 - 2.4.2 改进后的扩展有限元法 /042
 - 2.4.3 裂缝模拟计算实例 /045
 - 2.4.4 工程应用实例 /066
- 参考文献 /073

第3章 混凝土材料老化与结构病害

- 3.1 混凝土老化病害特征 /076
- 3.2 混凝土老化病害过程与起因 /077
 - 3.2.1 混凝土裂缝 /077
 - 3.2.2 渗漏 /078

- 3.2.3 剥蚀 /079
- 3.2.4 混凝土碳化 /080
- 3.2.5 混凝土中钢筋的锈蚀 /082
- 3.2.6 混凝土的冻融破坏及机理 /083
- 3.2.7 氯离子的侵蚀 /084
- 3.3 混凝土老化病害对结构安全与耐久性影响 /084
 - 3.3.1 混凝土裂缝的危害 /084
 - 3.3.2 渗漏的危害性 /085
 - 3.3.3 碳化的危害 /085
 - 3.3.4 钢筋锈蚀的危害 /086
- 参考文献 /087

第4章 工程结构检测、监测与安全评估

- 4.1 工程结构检测和监测规程 /088
 - 4.1.1 工程结构检测规范 /088
 - 4.1.2 基础工程检测规范 /088
 - 4.1.3 工程结构监测规范 /089
- 4.2 工程结构病害检测方法 /089
 - 4.2.1 结构混凝土强度的检测 /089
 - 4.2.2 混凝土缺陷的检测 /090
 - 4.2.3 钢筋锈蚀测试 /094
 - 4.2.4 结构几何参数的检测 /095
 - 4.2.5 基础沉降观测 /095
 - 4.2.6 耐久性检测 /098
- 4.3 工程结构检测仪器设备 /102
 - 4.3.1 混凝土结构检测仪器 /102
 - 4.3.2 钢结构检测仪器 /103
 - 4.3.3 地基基础检测仪器 /103
 - 4.3.4 监测仪器 /104
- 4.4 工程结构监测技术 /105
 - 4.4.1 安全监测内容 /105
 - 4.4.2 监测项目分类 /105
 - 4.4.3 监测方法 /108
- 4.5 工程结构安全复核 /109
 - 4.5.1 现场调查工作内容 /109
 - 4.5.2 工程结构安全性复核评级 /110
- 4.6 工程结构抗震安全复核 /112

- 4.6.1 工程结构的抗震检测 /112
- 4.6.2 工程结构的抗震鉴定 /112
- 4.6.3 工程结构抗震性能的分析 /113
- 4.6.4 结构抗震能力的评定 /114

参考文献 /114

第5章 混凝土工程结构修复和加固

- 5.1 混凝土结构破损常规修复 /116
 - 5.1.1 修补材料的基本要求 /116
 - 5.1.2 麻面的处理 /116
 - 5.1.3 露筋的修复 /117
 - 5.1.4 裂缝的修复 /117
 - 5.1.5 钢筋锈蚀的修补处理 /120
 - 5.1.6 存在的主要问题及对策 /121
- 5.2 混凝土结构加固 /122
 - 5.2.1 增大截面加固法 /122
 - 5.2.2 置换混凝土加固法 /122
 - 5.2.3 外加预应力加固法 /123
 - 5.2.4 外粘型钢加固法 /123
 - 5.2.5 粘贴纤维复合材加固法 /124
 - 5.2.6 粘贴钢板加固法 /124
 - 5.2.7 增设支点加固法 /125
- 5.3 混凝土结构电化学修复 /125
 - 5.3.1 阴极保护技术 /125
 - 5.3.2 电化学脱盐防腐保护技术 /145
 - 5.3.3 电沉积修复混凝土裂缝技术 /157
 - 5.3.4 电迁移阻锈技术 /164

参考文献 /166

第6章 提高工程寿命的新材料和新技术

- 6.1 高性能混凝土延寿技术 /173
 - 6.1.1 高性能混凝土用原材料选用 /173
 - 6.1.2 高性能混凝土的配制和性能 /188
- 6.2 纤维增强水泥基复合材料抗裂技术 /197
 - 6.2.1 定义 /197
 - 6.2.2 纤维的种类和作用 /198
 - 6.2.3 纤维增强水泥基复合材料力学性能的主要特征 /201

- 6.2.4 纤维增强水泥基复合材料成型工艺的选用 /202
- 6.2.5 几种纤维增强混凝土的参考配合比 /205
- 6.2.6 几种纤维增强混凝土的性能 /206
- 6.2.7 几种纤维增强混凝土的用途 /208
- 6.3 环氧涂层钢筋 /208
 - 6.3.1 环氧涂层钢筋的概念 /208
 - 6.3.2 环氧涂层钢筋的涂装工艺 /209
 - 6.3.3 环氧涂层钢筋的性能 /211
 - 6.3.4 修补材料的性能 /215
 - 6.3.5 设计和施工要求 /216
 - 6.3.6 与其它保护措施联合 /217
- 6.4 聚合物树脂水泥砂浆技术 /217
 - 6.4.1 聚合物树脂改性水泥砂浆的基本原理 /218
 - 6.4.2 聚合物树脂水泥砂浆的国内研究概况 /219
 - 6.4.3 有关聚合物树脂水泥砂浆的标准情况 /221
 - 6.4.4 聚合物树脂水泥砂浆的性能 /223
 - 6.4.5 聚合物树脂水泥砂浆的施工 /225
 - 6.4.6 聚合物树脂水泥砂浆的应用 /227
- 6.5 有机硅憎水渗透剂 /229
 - 6.5.1 有机硅憎水渗透剂的概念和种类 /230
 - 6.5.2 有机硅憎水渗透剂的憎水防渗原理 /231
 - 6.5.3 有机硅憎水渗透剂的产品 /232
 - 6.5.4 有机硅憎水渗透剂的性能及其试验方法 /233
- 6.6 水泥基渗透结晶型防水材料 /239
 - 6.6.1 水泥基渗透结晶型防水材料的组成 /239
 - 6.6.2 水泥基渗透结晶型防水材料的机理 /242
 - 6.6.3 水泥基渗透结晶型防水材料的性能特点 /243
 - 6.6.4 水泥基渗透结晶型防水材料的设计和施工 /246
- 6.7 表面防腐蚀涂料 /248
 - 6.7.1 防腐蚀涂料的组成 /248
 - 6.7.2 防腐蚀涂料性能比较 /250
 - 6.7.3 防腐蚀涂料设计的一般要求 /250
 - 6.7.4 防腐蚀涂层配套及选择 /251
 - 6.7.5 几种新型防腐蚀涂料 /252
- 6.8 不同环境下提高结构耐久性措施的选用 /257
 - 6.8.1 混凝土结构耐久性设计的环境分类 /257

- 6.8.2 防腐蚀设计的环境分类 /259
- 6.8.3 不同环境下的混凝土结构的延寿措施 /261
- 参考文献 /263

第7章 工程案例分折

- 7.1 某节制闸检测与安全评估 /267
 - 7.1.1 工程概况 /267
 - 7.1.2 检测内容 /267
 - 7.1.3 结论和建议 /278
- 7.2 某大型引水工程隧道衬砌检测与评估 /279
 - 7.2.1 工程概况 /279
 - 7.2.2 检测内容 /280
 - 7.2.3 检测方法原理 /280
 - 7.2.4 现场检测 /282
 - 7.2.5 检测结论 /283
- 7.3 某大型泵站进水流道混凝土质量检测与评估 /283
 - 7.3.1 工程概况 /283
 - 7.3.2 检测过程 /283
 - 7.3.3 检测结果 /283
 - 7.3.4 结论 /285
- 7.4 外加电流阴极保护技术的应用实例 /286
 - 7.4.1 工程概况 /286
 - 7.4.2 外加电流阴极保护方案及技术要点 /286
 - 7.4.3 保护效果调研 /288
- 7.5 牺牲阳极阴极保护技术应用案例 /289
 - 7.5.1 工程概况 /289
 - 7.5.2 维修方案及牺牲阳极安装要点 /289
 - 7.5.3 保护效果调研 /290
- 7.6 电化学脱盐防腐蚀技术应用案例 /290
 - 7.6.1 工程概况 /290
 - 7.6.2 技术方案及技术要点 /291
 - 7.6.3 保护效果调研 /292
- 7.7 常规维修技术应用案例 /293
 - 7.7.1 码头结构修复 /293
 - 7.7.2 维修工艺及技术要求 /294
 - 7.7.3 保护效果调研 /295
- 参考文献 /296

索引

第1章 绪言

1.1 工程结构的意义

一个成功的工程（设计）必然是以选择一个经济合理的结构方案为基础，就是要选择一个切实可行的结构形式和结构体系；同时在各种可行的结构形式与新结构体系的比较中，又要能在特定的物质与技术条件下，具有尽可能好的结构性能、经济效果和建造速度。对于建筑物来说，一般都是针对某一具体建筑相对地突出某一方面或两方面来判别其合理性，例如特别重要的建筑物，结构性能的安全可靠是十分重要和突出的；而对于大量性的居住建筑，则要求具有尽可能好的经济效果和建造速度，当然其它方面也是需要认真对待的。结构方案的选择还必须有可靠的施工方法来保证，如果没有一个适宜的施工方法加以保证，结构方案的合理性和经济性均无从谈起，方案本身也难以成立。工程的建造者（设计者）如对结构知识有较深刻的了解，对于工程的成功建造至关重要^[1]。

在房屋、桥梁、铁路、公路、水工、港口等工程的建筑物、构筑物和设施中，以建筑材料制成的各种承重构件相互连接成一定形式的组合体的总称即为工程结构。其中房屋工程的结构一般称为建筑结构，其它工程的结构常指实体的承重骨架，是在一定力系作用下维持平衡的一个部分或几个部分的合成体，如桥梁结构、路基结构、贮仓结构、贮液池结构等。

构筑物又称结构物，是为某种工程目的而建造的、一般不直接在其内部进行生产和生活活动的某项工程实体和附属建筑设施。前者如纪念性结构物、道路、桥梁、堤坝、隧道、上下水道、矿井等，后者如烟囱、水塔、贮液池、储气罐、贮仓等。构筑物除满足使用功能和物质技术条件外，还必须注意建筑形象，以与周围环境相协调。

一个较复杂的土建工程，往往需要各专业工种互相配合完成。选择一个合理的结构形式，就意味着经济可行。工程结构即工程实体的承重骨架，是工程实体赖以存在的物质基础，它的选择、设计和施工质量的好坏，对于工程的可靠性和寿命具有决定性作用，对于生产和使用影响重大。结构耐久性是指在使用过程中，抵抗其自身和环境的长期破坏作用，保持其原有性能而不破坏、不变质和大

气稳定性的能力^[2]。

以混凝土为主制作的结构，是素混凝土结构、钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的总称，在工程结构中是最主要的结构形式。混凝土结构具有许多优点^[3~6]，除通常意义外，混凝土的耐久性还包括抗渗，抗冻，抗侵蚀、碳化、碱骨料（即碱集料）反应及混凝土中的钢筋锈蚀等。密实的、保护层厚度适当的混凝土，耐久性良好。若处于侵蚀性的环境时，只要选用适宜的水泥品种及外加剂，增大保护层厚度，也能满足工程耐久性的要求。因此，混凝土结构的维修较少，不像钢结构和木结构那样需要经常保养。

比起容易燃烧的木结构和导热快且抗高温性能较差的钢结构来讲，混凝土结构的耐火性相当高。因为混凝土是不良热导体，遭受火灾时，混凝土起隔热作用，使钢筋不致达到或不致很快达到降低其强度的温度。经验表明，虽然经受了较长时间的燃烧，混凝土常常只损伤表面。对承受高温作用的结构，还可应用耐热混凝土。在混凝土结构的组成材料中，用量最多的石子和砂等原料可以就地取材，有条件的地方还可以将工业废料制成人工骨料应用，这对材料的供应、运输和工程结构的造价都提供了有利的条件。钢筋混凝土结构合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能特长，在一般情况下可以代替钢结构，从而能节约钢材、降低造价。与砌体结构和木结构相比，性价比也较高。

可模性是指混凝土凝结硬化前可以浇筑成各种形状和尺寸的构件或结构物。因为新拌和未凝固的混凝土具有良好的塑性，可以按模板浇筑成建筑师所设计的各种形状和尺寸的构件，如曲线型的梁和拱、空间薄壳等形状复杂的结构^[7]。

整体浇筑或装配整体式的钢筋混凝土结构刚度较大，抗变形能力强，且整体性好，对抵抗地震、风载和爆炸冲击作用有良好性能。混凝土结构还可以用于防辐射的工作环境，如用于建造原子反应堆安全壳、防原子武器的工事等。

当然，混凝土结构同样也存在以下缺点：普通钢筋混凝土结构自重大；素混凝土和钢筋混凝土不利于建造大跨结构、高层建筑，而且构件运输和吊装也比较困难等。由于混凝土材料的抗拉强度较低，其抗裂性差，受拉和受弯构件在正常使用阶段往往带裂缝工作。过早开裂虽不影响承载力，但对要求防渗漏的结构，如容器、管道等，使用受到一定限制；现场浇筑的混凝土结构施工工序多，现场湿作业多，需要模板，费工费料，养护期长、工期长，并受施工环境和气候条件限制等；混凝土结构补强修复较困难，在一定条件下限制了混凝土结构的应用范围。不过随着人们对于混凝土结构这门学科研究认识的不断提高，近年来，上述一些缺点随着技术方面的革新以及材料、工艺和施工方面的改进，已经得到克服或改善^[8]。

混凝土结构的应用范围非常广泛，几乎任何工程都可用到。除了一般工业与民用建筑构件广泛采用钢筋混凝土结构外，其它如特种结构的高烟囱、贮液池、