

王东林 张 剑 主编 ●

基础设施 腐蚀

研究 及 防护技术

JICHU SHESHI FUSHI YANJIU JI FANGHU JISHU



化学工业出版社

王东林 张 剑 主编 ●

TU761.1
W153

基础设施腐蚀

研究及防护技术

JICHU SHESHI FUSHI YANJIU JI FANGHU JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

目前我国正处于大规模的基础设施建设时期,其中建筑工程起着重要作用,怎样延缓基础设施的腐蚀,提高结构安全耐久性,已引起人们的重视。该书从腐蚀与防护技术方面介绍了国内最新的科研成果包括钢筋混凝土腐蚀与耐久性研究,新设计规范,新材料及检测方法,以及一些基础设施防腐蚀的应用实例。内容翔实、实用。供广大工程技术人员,科研单位及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础设施腐蚀研究及防护技术/王东林,张剑主编.

北京:化学工业出版社,2009.9

ISBN 978-7-122-06668-8

I. 基… II. ①王…②张… III. ①基础设施-防腐
②基础设施-防护 IV. TU761.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第162703号

责任编辑:王苏平

文字编辑:向东

责任校对:王素芹

装帧设计:刘丽华

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:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张21 $\frac{3}{4}$ 字数454千字 2010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

“第七届全国建筑腐蚀与防护学术交流会”
会议技术委员会名单
(排名按拼音顺序)

包琦玮	陈友民	丁 威	杜荣归	付 智	顾建文
何积铨	何 鸣	纪国晋	雷 浩	李卫庆	李小瑞
刘光华	刘赞成	路新瀛	任海力	舒华明	宋东炜
王东林	王 逊	夏开全	谢永江	熊 威	徐名涛
严川伟	于无私	曾晓庄	张恒录	张 剑	张诗光
庄继勇	邹 新				

随着改革开放三十年的进程,我国各种基础设施建设规模和水平有了令世人瞩目的发展,其中作为用量最大的建筑结构腐蚀与防护技术受到人们的广泛关注。已无可替代地成为目前工程界研究领域最活跃、发展最迅速的前沿学科。据统计由于腐蚀造成的损失约占 GDP 的 5%,其中与建筑腐蚀有关的可占 40%。基础设施中建筑结构腐蚀与防护,已越来越引起政府部门、科研设计、大专院校、施工单位和厂矿企业的高度重视。

中国腐蚀与防护学会建筑工程专业委员会于 2009 年 11 月下旬在江西吉安市组织召开“第七届全国建筑腐蚀与防护学术交流会”,会议征集到多篇论文,我们从中选出 52 篇编辑,由化学工业出版社正式出版《基础设施腐蚀研究及防护技术》论文集。

全书共分五个部分:第一部分综述;第二部分防腐蚀设计及工程应用;第三部分防腐蚀技术研究;第四部分防腐蚀新材料;第五部分检测方法。本书内容丰富,而且涉及面广,特别是涵盖了近几年的最新成果、新技术、新材料、新规范等,反映了国内钢筋混凝土建筑和钢结构防腐蚀技术的理论与实践水平。

感谢众多论文作者的热忱支持,由于时间仓促,不妥之处在所难免,敬请见谅。

主办单位:中国腐蚀与防护学会建筑工程专业委员会

承办单位:中冶建筑研究总院有限公司

中冶工程材料有限公司

北京腐蚀与防护学会

2009 年 8 月 27 日

一、综述

001

- 建筑工程腐蚀与能源资源 洪乃丰 / 2
- 亚钙钢筋阻锈剂研究进展综述 仲朝明 等 / 10
- 混凝土结构表面应用迁移型阻锈剂新发展 屈文俊 等 / 15
- 钢筋混凝土结构腐蚀试验研究的最新进展 何鸣 / 25
- 架空送电线路铁塔腐蚀控制综述 刘思远 等 / 32
- 重防腐聚硅氧烷涂料概况 赵希娟 等 / 37
- 古建筑砖石立面修缮防护技术进展 戴仕炳 / 44

二、防腐蚀设计及工程应用

055

- 国标《工业建筑防腐蚀设计规范》修订简介 范迪恩 等 / 56
- 国家游泳中心（水立方）钢结构腐蚀防护技术 王东林 等 / 63
- 海水冷却系统钢筋混凝土结构的腐蚀和阴极保护 葛燕 等 / 67
- 有色湿法镍电解电积精炼钢结构厂房的防腐蚀设计与应用 张诗光 等 / 72
- 高压输电线路接地极对管道强电冲击的防护 黄留群 等 / 79
- 阴极保护在海洋混凝土结构中的应用 沈静文 等 / 85
- CM 型混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂的研制和工程应用 岳云德 / 91
- 北京地铁某工程冷轧钢板风管腐蚀分析及处理方案 徐雪萍 等 / 106
- 水性氟树脂涂料在桥梁钢结构上的应用 孙红尧 等 / 111
- 水玻璃类防腐工程中钾水玻璃的质量中氧化钾含量应有一定的数量规定
王仲贤 / 118
- 玻璃钢防腐在工程中的应用和施工技术要求 于法鑫 等 / 121
- 36 万立方米成品油储备库防腐施工技术初探 张 剑 等 / 131
- 氧化铝工业厂区建（构）筑物腐蚀分析及防护措施 宋东炜 等 / 139
- 移动式抛丸设备在油罐涂装钢板预处理中的应用 边宇 等 / 143

三、防腐蚀技术研究

147

- 扫描微电极法研究模拟混凝土孔隙液中钢筋局部腐蚀行为 杜荣归 等 / 148
- 碳化混凝土再碱化过程锂离子的传递研究 张羽 等 / 154
- 新型高强钢筋与普通 Q235 钢筋的电偶腐蚀 胡明磊 等 / 159

Mn-Cu 低合金钢在模拟海岸大气条件下的锈蚀演化规律	董俊华 等 / 163
氯离子对钢筋混凝土的腐蚀机理及防护措施研究	于青 等 / 170
钢筋阻锈剂的阻锈效果及机理研究	李遵云 等 / 178
羟基化合物在高含氯离子混凝土模拟液中对钢筋的缓蚀行为	冯丽娟 等 / 184
碳化混凝土再碱化后钢筋混凝土黏结性能研究	屈文俊 等 / 191
钢筋在混凝土模拟液中和混凝土中的 EIS 研究对比	刘洪群 等 / 198
钢筋混凝土牺牲阳极阴极保护的电化学研究	董 焱 等 / 203
聚脲材料耐老化性能研究及在水利水电工程中的应用	李敬玮 等 / 209
碳化混凝土结构再碱化的碱骨料反应试验研究	屈文俊 等 / 214
硅灰对混凝土开裂敏感性的影响	刘可心 等 / 220
架空输电线路导地线大气腐蚀研究	夏开全 等 / 228
化学剂冷却的热轧螺纹钢在含氯离子的混凝土中耐蚀性的评价	魏洁 等 / 233
Cl ⁻ 对纯锌在混凝土环境中腐蚀行为的影响	张建春 等 / 241

四、防腐蚀新材料

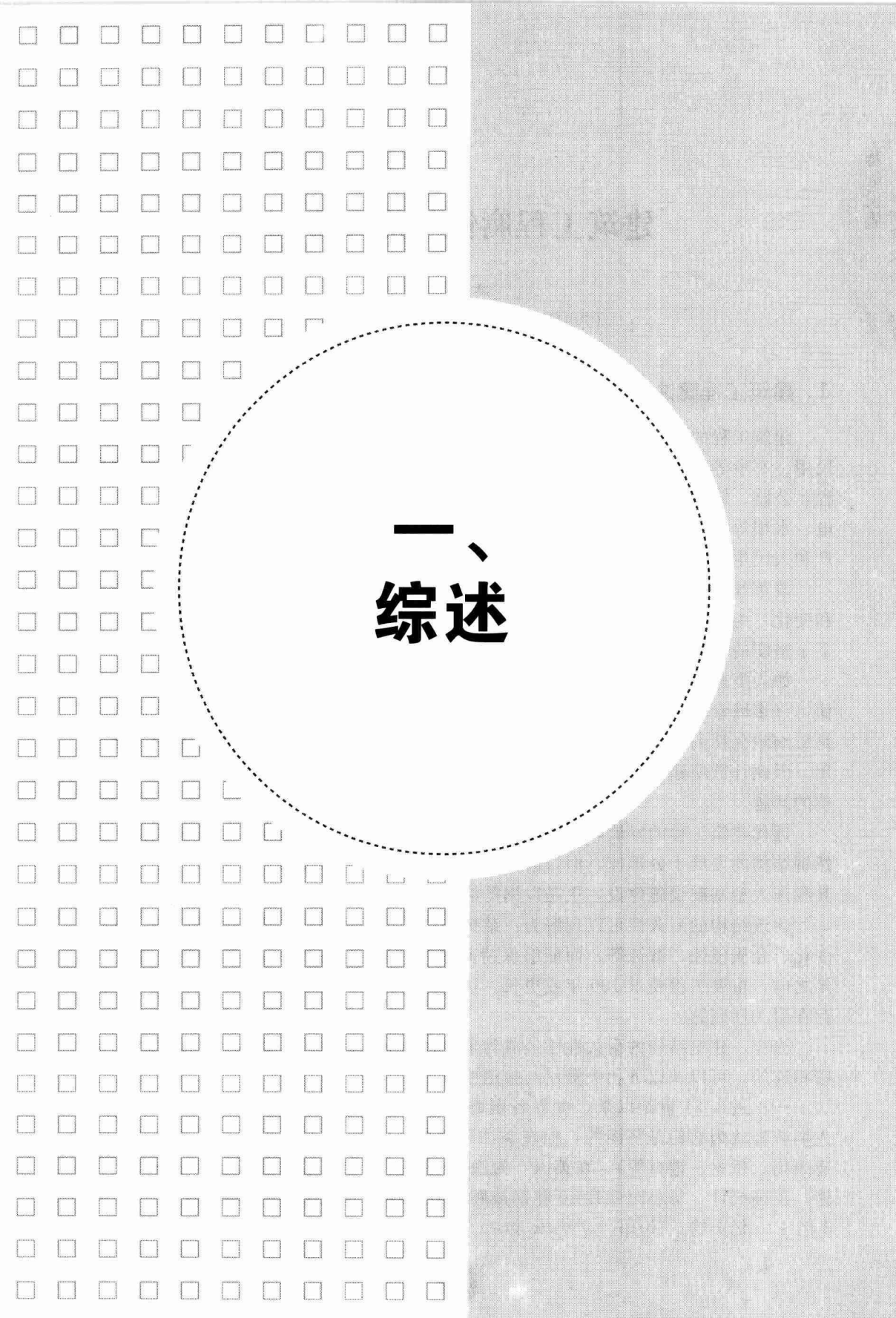
249

钢结构防护用水性无机富锌涂料	王炜 等 / 250
环保型呋喃树脂胶泥的研制	段春华 等 / 253
YJ-504 复合型防腐阻锈剂的研究与应用	邵正明 等 / 257
建筑用高强度彩色涂层钢板耐蚀性研究	涂元强 等 / 264
抗腐蚀水性环氧砂浆研究与实验	李小瑞 等 / 270
有机硅耐高温涂料	于钦萍 等 / 275
喷涂聚脲防腐涂料的开发	赵希娟 等 / 280
MnCu 耐候钢在循环加载条件下的腐蚀行为	王雷 等 / 286
复合缓蚀剂对模拟混凝土孔隙液中钢筋的阻锈作用	陈雯 等 / 294

五、检测方法

299

地铁杂散电流腐蚀危害及检测技术	刘会杰 等 / 300
某钢厂环形炉烟囱的检测分析	庄继勇 等 / 304
阻锈剂混凝土阻锈性能的试验方法探讨	邵正明 等 / 313
融雪剂对混凝土路面砖的腐蚀影响	程林 等 / 320
城市地下混凝土排污管道腐蚀原因分析及检测评定	王东林 等 / 327
某既有试验房屋面系统检测鉴定及加固措施	焦铁涛 等 / 335



一、 综述

建筑工程腐蚀与能源资源

洪乃丰

(中国腐蚀防护学会建筑工程专业委员会)

1. 建筑工程腐蚀与耐久性

建筑工程的范围很广泛,与通常所说的“土木工程”相近似,它可包括工业、民用、军事等建筑工程,也包括公共建筑与基础设施工程;又可分为房屋建筑工程,公路、铁路工程,桥梁工程,港口、码头工程,城市基础建设工程,乃至核电、水坝等。可以说,建筑工程是国民经济发展的标志和继续发展的依托,是与生产和人民生活息息相关的,是人类生产生活活动的基石之一。

改革开放 30 年来,我国进行了空前规模的基本建设工程,这是历史性的发展和变化,为提升我国国力、改善人们生活,发挥了巨大作用,并为未来的发展,打下了坚实的基础。

如人类期望长寿一样,建筑工程也需要长寿,通常有“百年大计”之说。然而,许多因素可使建筑工程“减寿”,或者说其“耐久性”存在问题。其中,腐蚀是影响耐久性的重要因素之一,在一定条件下,腐蚀对寿命的影响可能起到主导作用。因此,欲使建筑工程达到预期寿命,就不能不重视和认真解决腐蚀对耐久性影响的问题。

近代建筑工程的发展,使钢结构和钢筋混凝土结构,成为建筑工程的主体。虽然钢结构的发展十分迅速,但目前世界上仍依钢筋混凝土结构最为量大、面广。尤其我国大型基础设施建设,更是以钢筋混凝土结构为主。

建筑结构的耐久性可以理解为:结构在使用过程中经受外界环境的作用(气候变化、介质侵蚀、磨蚀等)而能够保持其使用功能的能力。一般工程寿命要求 50 年之内,重要工程要求 100 年或更长。达不到设计寿命要求者,称作耐久性不足或存在耐久性问题。

当今,建筑结构的耐久性已经成为世界性重大问题之一,而腐蚀与耐久性是紧密相连的,可以从以下相关资料与报道中得到印证与启示:

——进入 21 世纪以来,世界各国的建筑工程更大量的使用钢筋混凝土结构。人们曾经认为它们是坚固的,但在腐蚀环境中,20 年就破坏和需要修复(如一些建筑物、桥梁、港口等)。在英国,为修复钢筋混凝土桥梁的费用每年达 5.5 亿英镑;英国统计,每小时就有 40 吨钢被腐蚀破坏掉,为置换被腐蚀的钢,每年花费 5 亿~10 亿英镑。(http://www.gce-co.com/corrosion_en.htm)

——日本一些海滨桥 20~30 年就腐蚀破坏，修复费超过初建费；一些预应力桥可在数十年内破坏，甚至修复也难保证使用性能。（www.cnki.com.cn/Article/CJFD2002-ZJZU200203023.htm）

——美国的道路、桥梁、下水道、堤坝等，出现了崩溃性（crumbling）破坏，需要 16000 亿美元进行处理，前景是严酷的。（路透社 2005-3-9 讯）

——在美国，基础和公用设施的腐蚀损失，占全部腐蚀损失的 50% 以上。

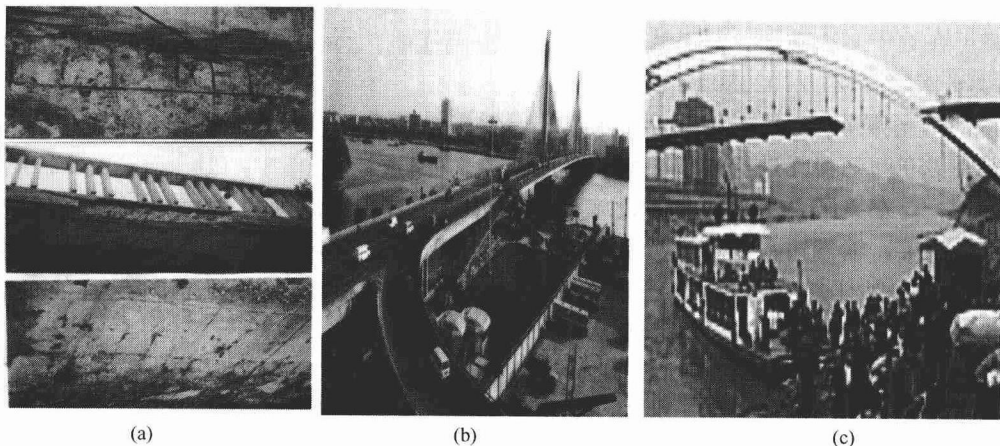


图1 我国部分桥梁腐蚀破坏情况

- (a) 北京原西直门桥（使用19年重建，与“撒盐”有关）；(b) 广州海印桥（桥在使用7年后发生了9号索腐蚀断裂事故，被迫进行全桥换索工程，耗资2000万元，工期半年）；(c) 宜宾南门桥（使用11年突然垮塌，查与腐蚀相关，损失重大）

复杂、腐蚀性环境广泛有关；另一方面，国人对腐蚀与耐久性关系的认识不足、重视不够。在腐蚀环境中，若要避免大规模建设之后出现大规模的工程修复，不能不从提高认识开始。

腐蚀与耐久性、使用寿命的内在联系，对于钢结构也不例外。乃至钢结构的耐久性，与腐蚀的关系更加密切。

众所周知，通常的建筑用钢，在一般环境下是不能裸露使用的，必须实施防腐蚀保护。近年来，我国高层、超高层标志性钢结构建筑和大跨度钢结构建筑发展迅猛，北京奥运会馆和上海世博会会场建设，大型跨江、跨海大桥的兴建等，都是前所未有的事例。然而，一定意义上说，钢结构的耐久性、使用寿命，是取决于其防腐蚀措施的有效性。

以“鸟巢”为例，其外部钢结构的钢材用量为4.2万吨，是目前世界上最大的钢结构工程。需要防护的“鸟巢”钢结构涂装面积达到28.4万平方米，总计涂料用量达1000多吨。然而，由于涂层本身的寿命所限，大约25年之后还要重新涂装。也就是说，要保证“鸟巢”百年寿命，期间还需要多次的涂装防护。

2. 建筑工程腐蚀、寿命与能源资源

腐蚀缩短建筑工程的使用寿命、影响安全、造成巨大经济损失，这在国内外已经逐步凸显出来，并逐渐引起重视。已往多用经济指标，来衡量和评判腐蚀对国民经济的影响（具体讲，各国腐蚀损失多用占GDP或GNP的比例来表示），以下是一组实例：

——2007年，美国年腐蚀损失为4220亿美元，占GDP 3.1%，其中建筑与公

共设施占总腐蚀损失的 50% 以上; (brown. senate. gov/imo/media/doc/OhioCorrosion. pdf.)

——1997 年日本年腐蚀损失为 3.9 万亿日元, 占 GNP 1.02%; (http://www.nims.go.jp/corrosion/Corrosion_Cost.htm)

——英国年腐蚀损失占 GDP 3.1%, 科威特年腐蚀损失占 GDP 5.2%; (<http://www.iom3.org/content/corrosion-committee>)

——2003 年统计, 中国年腐蚀损失占 GDP 6%, 其中建筑与基础设施是大头 (中国腐蚀调查报告)。

诚然, 腐蚀给国民经济带来巨大损失, 且建筑工程占大头。按照我国腐蚀损失的比例 (占 GDP 6%) 推算, 2008 年的腐蚀损失应是 1.8 万亿元 (30 万亿 $\times$ 6%); 建筑与基础设施若占 $1/3 \sim 1/2$, 应是 6000 亿 $\sim$ 9000 亿元。这确实是惊人的数字!

然而, 随着社会的发展和全球化的进程加快, 特别是近来世界性金融、经济危机的呈现, 使更多的人意识到, 上述单纯用 GDP 作为衡量、评判指标, 还是不够全面和深刻的。应该与能源、资源相结合, 以可持续发展的立场与观点来认识、评判, 即把能源、资源、经济损失等综合起来看, 才能更明确反映出建筑工程腐蚀与耐久性方面的现实与长远意义。

我们只有一个地球, 能源、资源已经成为世界性大问题。尤其对于高速发展中的我国, 能源、资源成为制约发展的“瓶颈”。我国属于能源、资源并不富有乃至缺乏的国家, 而建筑材料的生产、建筑施工、建筑物的使用与维护全过程, 均是国家能源、资源消耗最大的组成部分 (多属不可再生能源、资源)。

近几十年来, 我国建筑工程数量、规模居全球之冠。同时耐久性与建筑“短命”的问题, 也呈现在我们面前。我国腐蚀环境苛刻, 是耐久性的大敌。不少工程在使用仅 10 $\sim$ 20 年后 (甚至更短), 即需要维修乃至重建; 提前进行的修复工程, 又会进一步消耗能源、资源和人力、财力。如此“高能耗、低效能”的情况是不可以长久持续的。这不仅要算经济损失的账, 更要看到, 它可能造成国家能源、资源的巨大浪费, 以致影响我国的可持续发展!

当今世界半数以上的基本建设在中国大地上进行着, 这是机遇又是挑战。作为建筑材料主体的水泥和钢铁的产量和用量, 我国连续多年来均保持世界第一位。而水泥和钢铁, 也是资源、能源的消耗最大户, 同时还是环境污染的大户。

据《科技日报》报道 (2007 年 7 月 4 日): “水泥是生产消耗大量不可再生的资源和十分紧缺的能源, 并对环境造成很大的破坏: 现在我国水泥生产年耗电约 1000 亿千瓦时、消耗标煤约 1 亿多吨、年消耗石灰石 9 亿多吨, 排放 CO_2 7 亿多吨、排放 SO_2 等有害气体数百万吨。水泥工业急需改变资源和能源消耗量大、环境污染严重的状况”。

就钢铁而言, 建筑工程是我国用钢量第一大户 (主要是钢筋和钢结构)。据《科技日报》报道, 1996 年我国钢材生产超过 1 亿吨而成为世界第一钢材生产大

国,而到了2003年,钢材用量就超过了2亿吨。根据预测,2010年钢材产量将突破3.1亿吨。建筑业用钢占到钢材总量的53%。而钢铁生产所需要的资源、能源是巨大的(我国钢铁工业在全国能耗总量中的份额高达15%~18%),而造成的环境污染更是严重的;加之,我国铁矿石资源不足,尚需要大量进口。国际铁矿石价格上涨、不稳定,均对我国有不利影响。

作为建筑工程主要原材料的水泥、钢材,已经以很大的份额消耗了国家有限的能源、资源,在工程建造过程中,仍然要继续消耗能源、人力、财力,建筑工程的使用、维护维修过程,仍然需要能源、资源的持续支持(我国已有建筑耗能巨大,且单位能耗是一些国家的2~3倍),大量新建工程还要持续多年,将继续消耗国家有限的能源、资源。

显而易见,建筑工程空前巨大的消耗了和正在消耗着我国有限的能源、资源。如果这些工程能够耐久和长寿(至少达到设计寿命要求),应该说,这些能源、资源的消耗是值得的;但是,如果建筑工程不能耐久和长寿,无疑是对我国能源、资源的低效消耗,又将带来巨大浪费(有学者称是“最大浪费”)!

因此,最大限度地延长建筑工程的使用寿命,就是对资源、能源的最大节约,同时也为我国保护生态环境做出了贡献,这就是提高“耐久性”的更深层的意义。

值得注意的是,长期以来我国的能耗高、资源利用率低(与一些先进国家比较)。有报道说,我国建筑物平均寿命30年,而技术先进国家可达70~120年(如英国)。也就是说,我们消耗2~4倍的能源、资源,人力、财力,却只达到别国1份能源、资源的效能(同时还严重污染环境),这是很不合理、很不合算的,也是难以达到“可持续发展”目的的。

我国建筑工程寿命不长的原因是复杂和多方面的。通常可分为“人为因素影响”和“环境因素影响”两种情况。前者包括工程质量问题(如不合格工程、“豆腐渣”工程)、非合理使用问题(如超载)等。在我国,这方面的问题是大量存在的(它不应该属于“耐久性”问题);就环境影响和长远考虑,耐久性、腐蚀将起着主导作用。因为,任何工程、特别是基础设施,是否能够“长寿”,都需要考察其在长期使用中能否经受住环境的考验。但是,值得注意的是,以上两类因素的内在联系具有因果关系,那就是,凡是人为造成“先天不足”的建筑工程,一定难以经受环境的考验(尤其是严酷的腐蚀环境),必然是“短命”的。

3. 我国建筑工程、基础设施所面临的腐蚀环境

我国腐蚀环境是复杂和严酷的,在以下腐蚀环境中,建筑工程、基础设施的耐久性问题是严峻的,包括以下几个方面。

——海洋环境

我国有广阔的海域,海岸线很长,岛屿众多,而大规模的建设多集中在沿海。我国海工工程中与沿海建筑中,由于氯盐引起的钢筋锈蚀破坏是十分突出的。国内外经验教训表明,海水、海风、海雾中的氯盐腐蚀(包括不合理地使用海砂),是

造成建筑结构不能耐久的主要原因。在海洋环境下，对于结构物的使用寿命（包括

的问题（海砂中氯盐引起钢筋腐蚀）。

由以上有关腐蚀环境的简述可知，需要正视和认真对待我国腐蚀环境的严酷性、复杂性，否则，要使我们的建筑工程、基础设施“长寿”，是很难做到的。

4. 预防建筑工程腐蚀、提高耐久性的战略途径

笔者认为，应该从战略高度去认识和重视建筑工程腐蚀、耐久性与能源资源问题。一些国家的经验教训可以提供借鉴和吸取。比如，美国 20 世纪 50 年代之前，是大规模工程建设时期，而进入 70~80 年代后，出现了大规模基础设施的修复时期。美国 1991 年的调查统计表明，每年基础设施的修复费用，已经占据基础设施固定资产的 10%。美国学者曾作如下表述：“为什么基础设施腐蚀如此严重、甚至造成事故？一个主要原因就是轻视了腐蚀与防护工作……”。可见，对付工程腐蚀破坏的战略、策略，首先应该从“重视”开始。另有报道说，美国桥梁的修复费已经是当初建桥费的 4 倍！可以设想，如有些专家、学者提醒的那样，我们是否也有一个“大规模建设时期之后出现一个大规模修复时期”？如果有，那么我们的经济损失，能源、资源的巨大浪费，将是难以承受的，足以影响可持续发展。

看来，作为提高耐久性、延长建筑结构寿命，就腐蚀与防护而言，其战略途径至少应该由两个部分构成：其一是国家政策、策略、政令、法律、法规层面上，能够把建筑腐蚀、寿命、能源、资源统一“管”起来。其中“教育”是最重要的（提高全民意识）；另一个是技术层面上，包括完善相关规程规范、施工技术，科学管理，新技术新材料的研究、开发与应用，检测评价技术的发展与应用等。虽然两个方面都是重要的，但第一方面是全局性的，其战略意义更为突出。美国正是由于建筑工程、基础设施腐蚀所带来的巨大经济损失和能源资源消耗，才引起了美国朝野的注意，美国国务院曾发布“白皮书”，提出要与腐蚀危害作斗争，提高建筑结构的安全性和耐久性。在腐蚀环境下（包括撒盐）要求采取“以防为主”的战略，倡导先行、主动采取防护措施，以减少后来在修复中的高花费和能源资源的再消耗。有规定中还明确：“重大工程须有腐蚀工程师参加”。

对于建筑工程，寿命是最重要的要素，在保证寿命的基础上，进行“全寿命经济分析”，以避免“短期行为”和各种“非技术因素”的影响，同时可以选择最佳技术、经济方案，使国家长远效益最大化。

我国发布了《建设工程质量管理条例》（中华人民共和国国务院第 279 号令），对建筑工程、基础设施工程的耐久性、使用寿命提出了明确要求，其意义是重大而深远的。近几年，我国又对能源、资源、污染等进行了战略性规划，正在实施“绿色建筑”、“节能减排”等重要方针、政策。就建筑腐蚀防护而言，改革开放以来，也得到长足发展，我们已经积累了一定经验，这是有利的方面。但对于我国大量建筑工程、基础设施能否实现“百年大计”，我们还面临着挑战。这仍需要进一步制定战略、策略，更需要提高认识，全国、全民共同努力，促进我国有限能源、资源的合理使用，实现长久、可持续发展。

5. 简要结语

胡锦涛总书记曾说过：“如果不下决心扭转这种过度消耗资源、过度污染环境、经济粗放发展的局面，我们将‘无法向历史交代，无法向人民交代，也无法向子孙后代交代’”。

我国建筑工程规模空前宏大，消耗能源、资源空前之多（还要继续多年）。我国属于能源、资源不富有乃至缺乏的国家，对于高速发展中的我国，能源、资源成为制约发展的“瓶颈”。而建筑材料的生产、建筑施工、建筑物的使用与维护全过程，是国家能源、资源消耗最大的组成部分。建筑工程不能耐久，将会造成国家能源、资源的最大浪费。建筑工程的耐久性已经成为世界性问题，我国也不例外。就环境因素来说，腐蚀是影响耐久性的主因之一（在一定条件下是决定性因素）。国内外经验表明，建筑工程的腐蚀导致建筑结构耐久性不足、提前进行大规模修复工程，进一步消耗能源、资源和人力、财力（部分工程提前报废乃至造成安全事故），这一方面给国民经济造成巨大损失，更深层的意义是，显示了对能源、资源低效利用的非科学性。科学发展观要求我们，从国家可持续发展的战略高度对待处理好这个问题，这是关乎国家和人民长远大计、子孙后代生存发展的问题。

参考文献

- [1] Malhotra V M. “DURABILITY OF CONCRETE-FIFTY YEARS OF PROGRESS?” in Durability of Concrete. Second International Conference, 1991, Montreal Canada; American Concrete Institute, Detroit, MI, 1991, (1): 1-31 (ACI SP-126).
- [2] Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States, FHWA-RD-01-15.
- [3] President P E. Minimizing Infrastructure Deterioration. 119th Annual Conference Cambridge. September, 2000.
- [4] National Highway System designation Act: LCCA Requirements FHWA-HNG-40, 1996.
- [5] Concrete Durability-Development of Models to Predict and Extend the Service Life of Concrete Bridges, AP-R245/04.
- [6] 洪乃丰. 基础设施的腐蚀的全寿命经济分析. 建筑技术, 2002, (4).
- [7] 洪乃丰. 盐引起的钢筋锈蚀与耐久性设计考虑. 混凝土结构耐久性设计与施工指南. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [8] 洪乃丰. 基础设施腐蚀防护和耐久性问与答. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [9] 混凝土研究协会. 混凝土耐久性研究与工程应用手册. 北京: 中国科技文化出版社, 2005.

亚钙钢筋阻锈剂研究进展综述

仲朝明 邵正明 高汉青 仲晓林

(中冶工程材料有限公司)

摘 要 亚钙作为应用时间最长、效果最显著的一类混凝土钢筋阻锈剂，其在应用过程中，由于掺量不足引起的加速腐蚀问题以及环保问题一直备受争论。本文在具体试验研究及相关文献资料的基础上，对亚钙钢筋阻锈剂的应用问题进行了深入探讨，指出亚钙钢筋阻锈剂并不存在加速腐蚀的问题，而它的环保问题也并非人们通常所认为的那么严重。

关键词 亚硝酸钙 阻锈剂 加速腐蚀 环保

1. 前言

混凝土中的钢筋锈蚀，已经成为混凝土结构耐久性降低的主要原因之一。在一般大气环境中，碳化引起的混凝土碱度降低是混凝土中钢筋锈蚀的主要原因，但是因为使用海砂、氯盐防冻剂等氯离子含量较高的原材料，或者由于环境中的氯离子逐渐侵入混凝土，在钢筋表面达到一定浓度时，即使混凝土的碱度没有降低，钢筋也会发生锈蚀。

在新建钢筋混凝土结构中，如果通过优化混凝土配合比、增加保护层厚度等方法已无法满足混凝土耐久性设计要求，则需要采取附加措施来阻止或延缓钢筋锈蚀。附加的防腐蚀措施有很多种，包括混凝土表面涂层、环氧树脂涂层钢筋、不锈钢钢筋、钢筋阻锈剂、阴极保护等，其中掺入钢筋阻锈剂是最简单、经济而有效的方法。这里所说的钢筋阻锈剂是指能够直接作用于钢筋表面，阻止或延缓钢筋锈蚀的外加剂，而通过降低腐蚀介质向钢筋表面侵入速率来延缓钢筋锈蚀的物质则不属于阻锈剂范畴。

2. 亚硝酸盐类钢筋阻锈剂的阻锈效果

亚硝酸盐类钢筋阻锈剂是使用最早、用量最大、效果最明显的一类钢筋阻锈剂。20 世纪 70 年代，日本为了大量开发利用海砂而开始在混凝土中使用亚硝酸钙钢筋阻锈剂^[1]，后来因为亚硝酸钠对混凝土强度及工作性的影响，以及可能引起的碱集料反应而改用亚硝酸钙作为阻锈成分，并于 1982 年制定了基于亚硝酸盐阻锈成分的《钢筋混凝土用防锈剂》工业标准（JISA 6205），该标准的最新版本为 2003 版^[2]。美国对钢筋阻锈剂的研究和应用也始于 20 世纪 70 年代，经过大量的工程应用后，美国混凝土学会（ACI）肯定了亚硝酸盐钢筋阻锈剂的效果，并认为