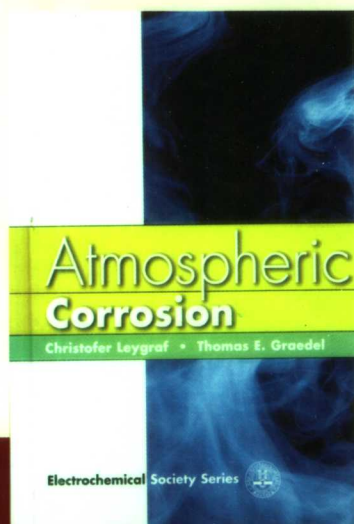


大气腐蚀

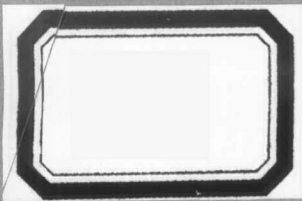
[瑞典] C. 莱格拉夫 [美国] T. 格雷德尔 著
韩恩厚 等译

Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心



54

图书在版编目(CIP)数据

大气腐蚀 / [瑞典] C. 莱格拉夫, [美国] T. 格雷德尔 著; 韩恩厚 等译. — 北京: 化学工业出版社, 2005.
ISBN 7-5025-6832-2

大气腐蚀

[瑞典] C. 莱格拉夫 [美国] T. 格雷德尔 著
韩恩厚 等译

北京市版权局版权合同登记号: 01-2002-8008



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

98a05/06

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

大气腐蚀/[瑞典]莱格拉夫(Leygraf, C.), [美国]格雷德尔(Graedel, T.)
著; 韩恩厚等译. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4
书名原文: Atmospheric Corrosion
ISBN 7-5025-6832-8

I. 大… II. ①莱…②格…③韩… III. 大气 IV. X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 023401 号

Atmospheric Corrosion/by Christofer Leygraf & Thomas Graedel
ISBN 0-471-37219-6

Copyright©2000 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by
John Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, NY10158-0012

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权化学工业出版社独家
出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2002-6068

大气腐蚀

[瑞典] C. 莱格拉夫

[美国] T. 格雷德尔 著

韩恩厚 等译

责任编辑: 段志兵 刘丽宏

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 字数 309 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6832-8/TQ·2182

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

中文版前言

铁在公元前 4000 年就被从其矿石中分离出来，而且从那时起腐蚀问题也随之而来。六千多年以来，各种纯金属都已被分离出来，由这些纯金属材料也制成了合金或复合材料，材料的加工方法多种多样，由此制得的材料产品也数不胜数，但材料的腐蚀问题也一直存在。

对全球大气腐蚀的损失已作出了大胆而不失准确的估计：每年的损失超过一亿美元。无论这个数字的准确性如何，很显然的是，大气腐蚀引起了大量的问题——电力与电子设备功能丧失、桥梁倒塌、雕塑等艺术品的复杂表面蚀平或破裂等。针对这些情况，我们能采取什么措施，什么时候采取措施呢？

近一个世纪以来，大气腐蚀一直是以经验方法进行工程试验研究的学科。科学家们已经逐渐涉及了一些研究领域，大量的难题（在本书中部分是试验和定义方面的困难）也促使他们开发研究出了许多工具和手段来解决这些问题。在 20 世纪 90 年代的十年里，终于可以模拟出可控制的现场环境并进行试验研究，以及对大气腐蚀过程进行计算机模拟研究。即使这样，进行大气腐蚀研究的人员对大气化学、历史及前景知之甚少。我们的方法主要是将各个领域的专家们的研究结合起来，其中一个作者（莱格拉夫）是腐蚀试验专家，而另一个（格雷德尔）是大气化学专家，这样可以提供比单一专家的研究更全面的观点。正是我们及其他研究者们近年来的研究结果，使得我们能够知道什么是大气腐蚀以及怎样才能最好地防止或减轻大气腐蚀。这些对腐蚀过程及其控制改进的科学研究观点都是本书的主要内容。

本书适合于物理或工程学科的本科或研究生，并适合作为一门单学期课程的教材。此外，我们期望能给腐蚀研究人员、腐蚀工程师、腐蚀防护人员以及其他相关研究者们提供有价值的参考。近来，对金属材料暴露在环境中从而引起消耗性腐蚀问题的关注也引起了环境科学家们的极大兴趣。本书前 5 章介绍了大气腐蚀及大气化学；第 6~9 章提出了各种实验室、户外以及室内环境下的腐蚀机制，目的是对这些环境下的腐蚀科学图景做一全面地描述；第 10~12 章讨论了一些更实际的问题，如各种典型材料在建筑和结构、电子、文化艺术品方面的应用，这些材料的防护方法，设计者们在以后的工作中选择材料时的考虑等；第 13 章试图对大气腐蚀会在哪里以什么样的方

式发生做出预测。

附录对特定的材料、试验技术及其他相关问题提供了更详细的信息，目的是在不干扰本书主体描述的概念性材料的情况下，提供可参考的材料信息。

在将本书译成中文的过程中，我们也考虑到了材料在新的环境下继续使用时本身的变化问题。对所有材料来说，暴露在中国的大气环境下所经受的腐蚀与其他国家的大气腐蚀相比或轻或重，重要的是中国的科学家和工程师们能够认识到将腐蚀科学知识在这个快速发展的时代进行应用的可能性，从而使这种发展长期维持下去。希望本书在这方面能起到特殊的作用。

本书中的许多工作是由位于斯德哥尔摩的瑞典皇家工学院和位于美国新泽西默里山的 AT&T 贝尔实验室完成的。莱格拉夫非常感激瑞典皇家工学院给予 9 个月的学术休假，感激华盛顿特区的富尔布赖特 (Fulbright) 基金项目并获得富尔布赖特奖，感激耶鲁大学在 1998 年秋接受他作访问学者。格雷德尔特别感谢 AT&T 贝尔实验室的 Robert Freund 和 Robert Laudise 的支持和鼓励。

此外，我们还特别感谢国内外的同行们在本书的撰写过程中给予的帮助和支持。感谢下列人员提供的未公开的资料、非常有用的注释以及对各章作出的评述：Jeffrey Braithwaite(美国)、Robert Commizzoli(美国)、James I. Drever(美国)、James Galloway(美国)、Jan Gullman(瑞典)、Beatrice Hannyoyer(法国)、Jan Henriksen(挪威)、Eva Johansson(瑞典)、Lars-Gunnar Johansson(瑞典)、John B. Johnson(英国)、Andreas Krätschmer(德国)、Vladimir Kucera(瑞典)、Richard Larson(美国)、Richard Livingston(美国)、Martin Mach(德国)、Einar Mattsson(瑞典)、Jos Olivier(荷兰)、Dan Persson(瑞典)、J. Douglas Sinclair(美国)、N. Robert Sorensen(美国)、Bruno Stöckle(德国)、Johan Tidblad(瑞典)、Inger Odnevall Wallinder(瑞典)、Charles Weschler(美国)。我们也感谢 Donna An 和 Inger Odnevall Wallinder 在图表准备方面的帮助。最后，我们也对那些一直关注本书的出版者们表示谢意。

C. 莱格拉夫 (Christofer Leygraf)，斯德哥尔摩

T. 格雷德尔 (Thomas E. Graedel)，新哈温

译者的话

腐蚀造成的损失巨大，各国都投入很大研究力量。我国对自然环境腐蚀非常重视，从“六·五”开始到现在，国家一直安排重大项目予以支持。二十多年来，在积累大量基本数据的同时，在材料大气腐蚀的基本规律与机理方面也取得了重要进展。虽然各国的自然环境条件有所不同，但许多基本规律和机理是一致的。国外特别是瑞典和美国在有关方面的研究结果得到了国际的广泛承认。特把这本书翻译出来供我国研究者参考。

本书内容丰富，特点鲜明：第一，把试验获得的信息与大气腐蚀的理论研究结合起来；第二，从大气腐蚀过程的基本原理出发，给出了试验时的注意点；第三，基于大气腐蚀原理和材料本身的特点，对于各种材料的腐蚀性进行了专门描述。因此，对于我国从事自然环境腐蚀的研究人员和工程技术人员，本书无疑是一本很有价值的参考书。

我们在翻译时，对原著的体例格式没有做改动；部分物理量和单位，可能不为我国读者熟悉，我们也在翻译时尽量予以注释。在这里需要对下面几个在全书中都出现的单位进行说明：ppmv, ppbv 和 pptv 都是表示气体的体积分数，分别相当于 10^{-6} , 10^{-9} , 10^{-12} 。

本书的第1章由左景辉翻译，第2章、第13章和附录C、附录K、术语表由韩恩厚翻译，均由董俊华校对。

第3章、第4章、第5章和附录G由张学元翻译，由韩恩厚校对。

第6章、第10章、第11章和附录H、附录I由王俭秋翻译，由王振尧校对。

第7章、第8章和附录B、附录D、附录F由董俊华翻译，由左景辉校对。

第9章、第12章和附录A、附录E、附录J由王振尧翻译，由王俭秋校对。

在翻译初步完成时，韩恩厚（对第1章、第3章～第6章、第10章、第11章和附录G、附录H、附录I）和张学元（对第2章、第7章～第9章、第12章、第13章和附录A～附录F、附录J、附录K）还分别审阅了译文。最后由韩恩厚审阅全部译文。

感谢本书作者 Christofer Leygraf, Thomas Graedel 和原出版社（Wiley-

Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., Publication) 给予这本著作的翻译与出版权。

在本书翻译付梓之际，作者非常郑重地撰写了中文版前言，表达了他们对中国腐蚀研究的关注，希望本书对中国的读者和中国的大气腐蚀研究起到作用。

感谢化学工业出版社的编辑，没有他们的努力工作和鼓励，此译著恐难以与读者见面。

虽然几经校对，但由于译者水平有限，文中错误之处在所难免，敬希读者多加指正。

译者

2005 年 3 月

目 录

1 大气腐蚀概论	1
1.1 沃能博士的贡献	1
1.2 大气腐蚀的概念及腐蚀后果	2
1.3 大气腐蚀学科的发展	3
1.4 可控制的实验室环境	4
1.5 无法控制的现场环境	4
1.6 大气腐蚀研究的新方法	5
1.7 本书的观点	5
2 大气腐蚀的过程	7
2.1 简介	7
2.2 大气腐蚀的初始阶段	7
2.3 大气腐蚀的中间阶段	10
2.4 大气腐蚀的最终阶段	16
进一步阅读资料	19
3 大气腐蚀化学的多层区域理解	21
3.1 潮湿液层化学简介	21
3.2 气体区域	22
3.3 界面区域	23
3.4 液体区域	25
3.5 沉积区域	26
3.6 电极区域	27
3.7 固体区域	28
3.8 多区域交叉前景	29
进一步阅读资料	30
4 大气中的气体及其在腐蚀中的作用	31
4.1 感兴趣的化学物质	31
4.2 大气中腐蚀性气体	32
4.3 大气中腐蚀性气体的浓度变化趋势	40
4.4 大气中的气体传输到材料表面后的损失	43

4.5	小结	43
	进一步阅读资料	44
5	大气中的粒子及其在腐蚀中的作用	45
5.1	简介	45
5.2	感兴趣的化学物质	48
5.3	大气气溶胶粒子的来源	48
5.4	气溶胶粒子的物理和化学特性	50
5.5	气溶胶颗粒对大气腐蚀的作用	52
	进一步阅读资料	54
6	实验室环境下的大气腐蚀	55
6.1	准确规定实验室的实验条件的必要性	55
6.2	特殊金属的考虑事项	55
6.3	设计要求	55
6.4	重要的实验室暴露实验实例	59
6.5	实验室实验能够合理地模拟现场的腐蚀过程吗?	62
6.6	铜和镍的二氧化硫诱使大气腐蚀的计算机模型研究	64
6.7	小结	70
	进一步阅读资料	70
7	室外暴露的大气腐蚀研究	73
7.1	暴露条件标准化的必要性	73
7.2	设计要求	73
7.3	暴晒参数的影响	76
7.4	ISO 分类系统	85
7.5	小结	86
	进一步阅读资料	86
8	室内暴露的大气腐蚀研究	89
8.1	室内环境的一般特征	89
8.2	污染物与腐蚀速率的关系	94
8.3	腐蚀速率	97
8.4	室内大气腐蚀产物	102
8.5	小结	103
	进一步阅读资料	104
9	大气腐蚀的最终阶段	105
9.1	简介	105

9.2	锌的大气腐蚀产物形成过程	105
9.3	铜的大气腐蚀产物形成过程	113
9.4	碳钢的大气腐蚀产物形成过程	121
9.5	小结	124
	进一步阅读资料	125
10	大气腐蚀的应用: 建筑和结构材料	127
10.1	建筑和结构材料	127
10.2	不同的室外腐蚀条件	127
10.3	耐候钢	128
10.4	建筑石材	131
10.5	金属屋顶和门	134
	进一步阅读资料	140
11	大气腐蚀的应用: 电子器件	142
11.1	简介	142
11.2	接触件和连接件的腐蚀诱使失效	143
11.3	集成电路的腐蚀失效	146
11.4	电子器件的加速实验	148
11.5	环境腐蚀性的分级	149
11.6	防护方法	151
	进一步阅读资料	153
12	大气腐蚀的应用: 文化艺术品	154
12.1	简介	154
12.2	室内金属文化艺术品	155
12.3	室外青铜像	163
12.4	室内大理石像	168
	进一步阅读资料	169
13	21 世纪的大气腐蚀情况	171
13.1	腐蚀及其原因	171
13.2	“剂量-响应”函数	171
13.3	UN/ECE 方案的“剂量-响应”函数	173
13.4	腐蚀性气体的排放和浓度	175
13.5	21 世纪大气腐蚀的发展前景	176
13.6	腐蚀速率增大的对策	181
	进一步阅读资料	182

附 录.....	184
附录 A 大气腐蚀实验技术	184
进一步阅读资料.....	192
附录 B 大气腐蚀的计算机模型	192
进一步阅读资料.....	200
附录 C 铝的大气腐蚀.....	201
附录 D 碳酸盐矿石的大气腐蚀.....	209
附录 E 铜的大气腐蚀.....	215
附录 F 铁和低合金钢的大气腐蚀	225
附录 G 铅的大气腐蚀.....	236
附录 H 镍的大气腐蚀	244
附录 I 银的大气腐蚀	252
附录 J 锌的大气腐蚀	260
附录 K 与大气腐蚀有关的矿物质的索引号	270
术语表.....	272

1 大气腐蚀概论

1.1 沃能博士的贡献

几千年前,人类费力地从地表下获得一些材料并把这些材料制成矛、简单的工具或装饰物品,但这些材料很快就会被腐蚀。科技的发展以及大气中越来越多的酸性气体使得腐蚀的速率也越来越快。每天,电子连接件、高架桥以及珍稀的雕像等都在遭受着腐蚀。腐蚀科学家以及工程师们一直在寻求解决办法,他们的工作必须也必然是一个预测、理解并进而战胜他们的“敌人”——腐蚀问题的过程。

暴露于空气中的材料所发生的腐蚀即大气腐蚀,这门学科的发展还不到一百年,20世纪20年代,英国的沃能博士(W. H. J. Vernon)开始系统地进行大气腐蚀的实验,他将金属试样清洗后,置于特定浓度的气体(如 SO_2 、 CO_2)或室外的自然环境中,然后再确定腐蚀速率和主要的腐蚀产物。现在除了研究仪器有了些许完善外,其他的都同那时没什么差别。

Vernon的工作大约在70年前。Werner Heisenberg也在那时提出了量子物理的不确定性原则,当时还没有发现中子,聚合物化学也几乎没有提到,大陆漂移学说还是个没有被验证的想法,DNA双螺旋也是30年后才被发现的。现在,量子物理已经是一门成熟的学科了,原子核的研究使得原子能的利用成为可能,聚合物已到处可见,板块构造学说使地球科学进一步发展,生物科学家们也正在对人类基因排序。其间,Vernon的实验也经常被腐蚀科学方面的文献所引用。是什么原因使大气腐蚀科学停滞不前而其他科学领域却遥遥领先呢?

一个原因是其他科学在概念上更简化也更专业化,而大气腐蚀是一门综合且多学科性的科学。理解量子物理只需要知道原子、原子核和电子,对于DNA只需要知道分子,尽管分子和原子都很复杂。而谈到大气腐蚀,需要理解固相的分解、薄液态膜或液态过渡相以及气相的变化——多种原因使我们没有能力在腐蚀发生的过程中完全监控同时发生的这一切。

第二个原因是许多腐蚀科学的应用研究都集中在一种特定大气环境下的特定金属的腐蚀速率上,在这些研究中,所形成的腐蚀产物都被一些化学剥

落作用带走了。然而，这种作用不但会通过带走腐蚀产物而影响腐蚀速率，而且也同时会带走一些隐藏在腐蚀产物中的信息，这些信息能够使我们了解腐蚀过程中发生的一些问题。

第三个原因是大气腐蚀一直以来并没有吸引科学家们进行一些基础性研究，相反，在过去的二三十年里，腐蚀科学的大量基本工作都致力于理解钝态膜的化学成分和原子结构上。大气腐蚀和钝性的研究都同样具有重要的经济效果，但对钝性方面的研究工作远远超过大气腐蚀，其中的原因很简单：建立一个实验室并设计完备的实验来进行钝性方面的研究工作要比进行大气腐蚀的研究工作容易得多，前者只需要两相，即形成保护膜的金属和液态环境，而后者需要三相，即固体材料、大气环境和二者之间的薄液态膜层，因而也就需要彻底地理解复杂且迅速变化的大气环境。

1.2 大气腐蚀的概念及腐蚀后果

大气腐蚀是一种材料（这种材料可以是一种金属的、石灰石的、玻璃的、聚合物或覆有涂层的材料）与其周围的大气环境相互作用的结果。和浸于液体中的材料腐蚀是不同的，无论是在非遮雨条件下的或遮雨条件下的室内/室外环境，大气腐蚀都会发生。多数情况下，大气腐蚀是由于潮湿的气体在物体表面形成一个薄的水膜而引起的。视环境的湿度不同，所形成的水膜也具有不同的厚度，因而也就发生各种不同形式的大气腐蚀。在干燥的大气腐蚀或干燥的氧化环境中，水膜实际不存在，干燥氧化环境中腐蚀的一个常见的例子就是铜或银的失去光泽，在有还原的硫化物存在时这个过程可以在完全干燥的条件下进行。而在潮湿的大气腐蚀过程中，水气和大气污染物可以形成一种几乎不可见的薄的水膜。湿的大气腐蚀需要有雨水或其他形式的较多量的水与大气污染物共同存在，这时会形成相对较厚（通常肉眼可见）的水膜。

腐蚀的后果是多种多样的，比如在美国，因各种腐蚀而引起的损失达平均每年人均 1000 美元，其中一大部分是由大气腐蚀引起的。腐蚀引起了各种设施（包括桥梁、高架公路、铁路以及地铁系统）的破坏，维修这些设施所需的费用的评估过程是很困难的，但有一定的准确性。要估计因电子元器件或设备腐蚀造成的直接或间接损失以及设备破坏对保安系统、飞机、汽车和工业过程的影响更加困难，而腐蚀对文化遗产造成的损失同样是无法估计的。雨、雪、雾、露所带来的酸性沉积物已非常明显，并且已造成了大量的艺术和历史文物（包括一些有历史价值的建筑物、雕像、纪念碑及其他一些

文化遗产)的破坏,因此,在近十年来,大气腐蚀问题已引起了世界的广泛关注。

1.3 大气腐蚀学科的发展

对大气腐蚀的理解与社会需要获得更多重要过程的信息密切相关。在20世纪的头10年里,英国和美国就已开始系统地研究大气暴露腐蚀问题了,当时通常是将金属尤其是钢、铜、锌、铝等暴露于污染较重的大气环境中使其遭受腐蚀,这些环境可以划分为乡村、海洋、城市及工业等几种类型,金属在这些环境中会表现出不同的腐蚀行为。在20世纪的20年代和30年代,Vernon进行了将这一学科从艺术变成科学的开拓性工作,他研究了在有 SO_2 存在时相对湿度的作用,发现在一定的相对湿度以上时腐蚀速率迅速增大。

近几十年里,许多著名的科学家都为腐蚀研究做出了重要的贡献,其中包括U. R. Evans、J. L. Rosenfeld和K. Barton等,他们阐述了电化学反应在大气腐蚀中的重要作用。W. Feitknecht将腐蚀研究工作又推进了一步,他考虑了腐蚀过程的固体产物的化学性质。因而,电化学技术成为了探讨腐蚀机制的常用手段之一。然而,由于在电解池中试样完全浸于水溶液中或被一层较厚水膜覆盖,因而创造实际的大气环境的困难显而易见,所以电化学的应用只是部分有效。

20世纪60年代和70年代,人们就已认识到大气腐蚀对电子元件和设备的破坏作用,其中之一的最早发现是在越南战争中,美国飞机的电子元件由于没有很好地保护而在高湿度和高浓度氯化物的热带环境中遭到了腐蚀。后来人们很快认识到,即使是很轻微的只有用高度敏感的分析技术才能探测到的腐蚀条件也会使电子器件遭到破坏。同时,人们发明了表面分析技术,如俄歇电子光镜、X射线光镜,这些技术能提供被腐蚀材料表面原子层厚度的化学成分等相关信息,因此,人们可以采用一系列新的技术来分析大气腐蚀的机制,这些技术和设备能提供更加详细的化学信息,因而是电化学技术的补充。

随着对各国对酸性沉积物的作用尤其是对文化遗产的破坏作用的备加关注,20世纪80年代和90年代实施了几个国家性的或世界范围的大气暴露腐蚀研究方案,这些方案的重点不仅是实际的腐蚀速率,还包括许多大气环境中污染物的特点。研究者们正试图将腐蚀作用与大气中各成分的含量建立起联系,但成果有限。一些腐蚀研究方案也拓宽了研究范围,不仅包括金

属，还包括非金属，同时涉及了室内和室外的腐蚀环境。

1.4 可控制的实验室环境

Vernon 和其他研究者将材料置于含有许多影响腐蚀行为的物质的大气环境中，很快发现将材料在实验室环境中初步露置就会发生腐蚀，这种实验室条件包含一些由特定成分组成的合成空气。在设计这种实验条件时，必须要有一些参数，比如：什么样的实验室条件才能真正模拟某一特定的实际条件；在两种类型的腐蚀环境中是否发生同样的腐蚀机制；实验室条件中的腐蚀速率与实际腐蚀速率比较哪个更大等。

实验室环境通常包括固定的相对湿度、温度以及一种或几种气态的腐蚀剂，考虑到实验的可重复性，通常将气体限制在 4 种以内。实验表明，实验室条件中包含的气体的量不应超过实际的太多，否则就会存在与实际不符的腐蚀机制。随着新的设备和仪器（如连续监测气体含量的装置以及可以少量连续产生气体的渗透管等）的不断出现，在实验室中也有可能创造出与实际环境具有几乎相同成分的腐蚀环境。

进一步的发展也使实验室技术能够监测原位条件下的情况，也就是在实验室里，在腐蚀的过程中发生在金属表面上的变化。在后面的阐述中将会看到，这种发展将会大大促进我们跟踪监测引起大气腐蚀的过程。

1.5 无法控制的现场环境

如果说实验室环境能为腐蚀研究提供最简单的实际的大气环境的组成形式，那么无法控制的室外现场环境绝对具有很高的复杂性。一种室内的环境通常包含相对稳定的湿度、温度和气体，还包括许多气态和颗粒组分，但多数都具有适度并相对稳定的含量，这些组成成分在室内和室外都能产生，如果来自室外，由于气体处理和通风设备壁的吸收，在从室外输送到室内时，气体的含量会减少。

目前，从室内环境的研究中获得的试验数据还很有限，但室内腐蚀的作用通常可以解释为许多低含量气体存在的作用而不是几种高含量的组分的作用。

从大气腐蚀的角度来说，室外环境通常是最复杂的环境，这个环境中的温度和相对湿度每天都在变化，有气体和颗粒物质的存在，气体流的变化，太阳辐射、温度以及雨、露、雾、雪的量都随季节变化。

在 20 世纪的大部分时间里实施了各种大气暴露腐蚀的研究方案，一个重要的结果是：除了湿度和温度等气候因素外，室外环境下的腐蚀速率主要受两种物质即 SO_2 和氯化物的影响。尽管已做了大量的努力，要预测一种材料在一种特定的条件下的腐蚀结果还远远不可能，这其中包括许多复杂的因素，如雨水遮盖的程度、空气流以及太阳辐射等。

一个很大的挑战是在可知的空气成分变化量的基础上预测腐蚀速率。尽管北美和欧洲许多城市地区的 SO_2 释放量已大大减少，但其他一些能引起腐蚀的污染物如 NO_2 和 O_3 等的含量仍然很高，在世界的其他地区（如亚洲、非洲、中美洲和南美洲等地区），许多气体组分的排放量仍在增加。

1.6 大气腐蚀研究的新方法

在过去的几十年里，用于固体表面的性质（如化学成分、氧化状态、形态）研究的分析技术越来越多，分析问题的能力以及灵敏度也都有了进一步的提高。大多数技术都是基于光子、电子、原子和离子等可测到的粒子。早期的表面探测技术在使用时需要很高的真空度，因而限制了它在表面的原位研究中的应用。近来的分析技术不仅有一定的表面灵敏度，而且还能够在原位条件下提供信息。从大气腐蚀的研究方面来说，最有前景的分析手段包括原子显微镜、石英晶体微天平、红外反射和吸收光谱仪以及开尔文探针等。可以预见，表面原位测量技术的数量和多样性都会继续提高。

从腐蚀表面获得原位信息的可能性越来越大，利用计算机模拟来描述大气腐蚀也越加可能。在最好的情况下，这些应包括所有重要的物理的、化学的和其他方面的过程。现在至少已开发出了两种模型，这两种模型可以描述将金属暴露于实验室环境中最初所发生的最重要的过程。

1.7 本书的观点

这本书的目的就是将试验获得的信息与大气腐蚀的理论研究结合起来，从而以一种对教学有益并准确的方式为读者提供一些新的知识。我们并没有试图回顾所有的相关工作，也不是要给出信息的概要，我们的意图是通过试验指导读者获得一个大气腐蚀过程的一致科学图景。

为了达到这个目的，我们首先勾画了理解大气腐蚀的框架，然后总述引起腐蚀的气体环境的种类，进而描述腐蚀的更高的阶段，给出腐蚀反应的次序，另外还讨论了腐蚀研究工作在电子及文化艺术制品中的特殊应用。本书

对以后的腐蚀环境进行了总体的规划设计，并列出了一系列描述各种材料及其易腐蚀性的附录。

由于大气腐蚀是个复杂的学科，而且环境时刻在变化，有关大气腐蚀过程的许多详细的知识还需要我们去学习，读者已了解了许多信息，因而本书余下的部分对腐蚀的相关问题进行选择性的叙述。