

张远声 编著

CORROSION FAILURE

腐蚀

CASE HISTORIES

破坏事故

100例

化学工业出版社

腐蚀破坏事故 100 例

张远声 编著

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

腐蚀破坏事故 100 例/张远声编著. —北京: 化学工业出版社, 2000.1

ISBN 7-5025-2726-5

I. 腐… II. 张… III. 腐蚀-事故-案例 N. TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 68165 号

腐蚀破坏事故 100 例

张远声 编著

责任编辑: 武志怡

责任校对: 李 丽 郑 捷

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 8 字数 171 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2726-5/TQ · 1198

定 价: 18.00 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

前 言

腐蚀问题首先是一个经济问题。腐蚀损失中有相当大一部分是可以避免的，即并非没有办法解决，而是没有解决，或没有很好解决。从报道的设备腐蚀破坏事故看，许多是由“人为原因”造成的，有相当多的有关人员对腐蚀及防护知识知之甚少，在设备的选材、设计、采购、制造等环节中又缺少与腐蚀技术人员的合作，造成了许多违反腐蚀基本常识的错误。另一个原因是，许多有效的防腐蚀技术缺乏交流和推广，即使在同行业中也往往互不了解。所以，提高设备防腐蚀技术和管理水平，将可避免的腐蚀损失减到最小，很重要的环节是宣传和教育。

腐蚀破坏事故分析是腐蚀科学技术中很重要的课题。只有通过认真的科学的分析，才能找准造成设备发生腐蚀破坏的真正原因，从而提出解决问题的有效措施，使类似腐蚀问题不再发生。坚持对每一次的腐蚀破坏事故进行分析，并做好技术总结，就能够使设备防腐蚀工作的技术水平得到不断提高。所谓失败是成功之母，只有善于对失败进行总结，从失败中吸取教训，才能把过去的失败变为将来的成功。

本书选择了一百多个腐蚀破坏事例，进行简要的评述。选择的重点是“人为因素”，主要按选材、设计、加工制造、运行维护的顺序安排，以说明这些环节对设备腐蚀控制的重要性。

作者对四川轻化工学院腐蚀工程研究所张鹏、龚敏、陈建

和中国化工装备总公司防腐部雍兴跃等同志在编写过程中的支持和帮助表示感谢。

张远声

1999年6月于四川轻化工学院

内 容 提 要

腐蚀问题首先是一个经济问题，腐蚀损失中有相当大一部分是可以避免的。只有通过认真的科学分析，才能找准造成设备发生腐蚀破坏的真正原因。

本书选择了100多个腐蚀破坏事例，进行简要的评述。选择的重点是“人为因素”，主要按选材、设计、加工制造、运行维护的顺序安排，以说明这些环节对设备腐蚀控制的重要性。适合于广大企事业单位的科研人员使用。

目 录

绪论.....	1
一、材料选择不当造成的腐蚀破坏事例.....	9
二、不正确的腐蚀试验导致的腐蚀破坏事故	59
三、结构设计不合理造成的腐蚀破坏事故	81
四、加工制造和维修质量不好导致的腐蚀破坏 事例.....	115
五、工艺操作和维护不良造成的腐蚀破坏事故.....	146
六、电偶腐蚀造成的设备破坏.....	184
七、不锈钢应力腐蚀破裂事故.....	209
八、其他.....	232

绪 论

工程材料的腐蚀破坏给国民经济和社会生活造成的严重危害已越来越为人们所认识。首先,腐蚀造成了巨大的经济损失,一般认为工业发达国家的腐蚀损失为国民经济总产值的 4% 左右。1995 年美国的最新统计数字为全年腐蚀损失 3000 亿美元,美全国腐蚀工程师协会 (NACE) 主席 Holtsbaum 称人均损失 1100 美元。据最新统计,1995 年我国的腐蚀损失为 1500 亿元,每天 4 亿元,人均约 120 元。腐蚀损失为洪水、火灾、飓风和地震等自然灾害综合损失的 6 倍,只不过除少数突发性重大破坏事故外,腐蚀损失是分散地、日积月累地、静悄悄地发生,一般人难以感知它的分量,不像地震洪水那样容易造成震撼人心的影响。

美国腐蚀学家尤利格第一个将腐蚀损失分为直接损失和间接损失两部分。直接损失是指采用各种防腐蚀材料和技术的费用,而间接损失指因停工减产、产品降级、效率降低等造成的经济损失。直接损失可以用调查方法统计出来,间接损失则难以精确统计,而且比直接损失大得多。这也不难理解,电厂锅炉炉管因腐蚀发生破裂,更换炉管的费用显然大大小于大面积停电造成的经济损失;大型尿素厂 (30 万吨/年合成氨规模) 如因设备腐蚀造成停工,一天将少产尿素 1600 多吨;在美国一座 60 万千瓦的核电站停产一天,损失约 50 万美元;如果汽车因腐蚀造成部件断裂出了车祸,生产厂信誉的损失则是难以估量的。

随着人们对可持续发展战略认识的深化,对保护自然资源、

能源和环境的呼声不断高涨，腐蚀的严重危害更加受到人们的关注。每年花费大量资源和能源生产的钢铁，有 40% 左右被腐蚀，而腐蚀后完全变成铁锈不能再利用的约占 10%，这一数字为腐蚀学界所认同。按此计算，我国每年腐蚀掉不能回收利用的钢铁达 1000 多万吨，大致相当于宝山钢铁厂一年的产量。想想宝钢的建设和发展过程，想想冶炼这 1000 多万吨钢所消耗的各种资源、能源和人力，腐蚀对钢铁的吞噬真是太惊人了！腐蚀对其他金属材料和非金属材料的破坏同样也是巨大的。

腐蚀对能源造成的过度消耗不仅在钢铁的损失，还有设备因腐蚀而使效率降低。例如美国的沸水核反应堆，1980~1991 年间容量利用率由于腐蚀问题每年平均减少 6%，1982 年最大达 18%。在我国，因为腐蚀使传热效率降低，每年多消耗 1750 万吨标准煤；排出的有害气体也大大增加。

虽然工业对环境的污染不仅仅是设备腐蚀造成的，但腐蚀确实占了很大的份额。设备和管道因腐蚀而泄漏，使有毒有害物料进入大气、土壤和水源，既污染了环境，又是生产物料的浪费。为了减轻腐蚀，保护设备，使用某些涂料和缓蚀剂（如水处理中使用的铬酸盐、聚磷酸盐）对环境也是有害的。

当腐蚀导致失火、爆炸、桥梁坍塌、飞机坠毁、核反应堆、泄漏等重大事故，其后果更是灾难性的。下面举几个例子：

- 1967 年 12 月，位于美国西弗吉尼亚州和俄亥俄州之间的俄亥俄桥突然塌入河中，死亡 46 人。事后检查，是由于钢梁因为应力腐蚀破裂和腐蚀疲劳而产生裂缝所致。

- 英国内普罗石油化工公司环己烷氧化装置的旁通管发生硝酸盐应力腐蚀破裂，引起环己烷蒸气管爆炸，死 28 人，伤 105 人，损失达 1 亿美元。

- 1965 年 3 月 4 日，美国路易安那州输气管线破裂着火，死

17 人，事后检查是由于管线产生应力腐蚀破裂。

- 1949 年 10 月，美国俄亥俄州煤气公司天然气贮罐腐蚀破裂，造成 128 人死亡。

- 1970 年，日本大阪地下铁道的管道因腐蚀破坏而折断，造成瓦斯爆炸，乘客当场死亡 75 人。

- 1985 年 8 月 12 日日本一架波音 747 客机由于发生应力腐蚀破裂而坠毁，一次死亡 500 多人。

- 1971 年 5 月和 1972 年 1 月，四川省某天然气输气管线因发生硫化氢应力腐蚀而两次爆炸，引起特大火灾，仅其中一次就死亡 24 人。

- 1979 年，我国某市液化石油气贮罐爆炸起火，死伤几十人。

.....

腐蚀的严重危害推动了腐蚀科学技术的发展，近半个世纪以来取得了许多重大成果，搞清了许多重要的腐蚀问题，研制了许多性能优异的耐蚀合金品种，开发了许多行之有效的防护技术。没有这些成果，现代工业、农业、交通、国防、空间技术要发展到今天的水平是不可想像的。

腐蚀是设备材料与服役环境之间的相互作用。由于影响腐蚀的因素众多，要材料完全不腐蚀是不可能的，或者是不经济的。所以普遍认同的腐蚀控制目标是：调节材料与环境之间的相互作用，将设备的腐蚀控制在比较合理、可以接受的水平，使设备在预期的服役寿命期间良好地运行，防止发生过早的腐蚀破坏。

英国腐蚀学家何尔在 1971 年提出的腐蚀调查报告中指出，1969 年英国的腐蚀损失 13.65 亿英镑中，如果有效使用已有的防护技术可以减少 3.1 亿英镑。美国国家标准局在 1976 年发表的腐蚀调查报告中使用了“可避免损失”和“不可避免损失”的

术语。前者指应用已有的防腐蚀技术可以减少的损失。一般认为，可避免的损失在总的腐蚀损失中占 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{4}$ 。尽管这个数字很难准确统计因而误差很大，但从这些数字的反面可以看出，由于没有很好地利用已被证明是行之有效的防腐蚀技术而造成的腐蚀损失是很大的。

腐蚀科学技术的目标是要降低腐蚀的危害，这要从几个方面努力。

(1) 发展腐蚀理论，研究各种腐蚀的规律和影响因素。在此基础上开发更为有效的防腐蚀技术，特别是要解决一些重大的设备腐蚀问题，使现在还属“不可避免”的一些腐蚀损失变为“可以避免的损失”，从而可以大大减少。显然，随着生产的发展，不断会有新的设备腐蚀问题产生，需要去研究和解决。

(2) 大力宣传推广已有的防腐蚀技术，使它们发挥更大的作用，将“可避免的腐蚀损失”大大降低。在腐蚀科学技术的发展过程中，已经开发了各种有效的防腐蚀技术，并取得了明显的经济效益和社会效益。但是由于种种原因，许多实践证明行之有效的防腐蚀技术缺乏交流和推广，即使在同行业中也往往互不了解。比如地下管道和其他设施采取涂料加阴极保护防腐蚀效果非常好，可大大延长使用寿命。可仍然有许多地下管道仅仅使用简单的沥青涂层。又如使用循环冷却水并进行水质处理，不仅可以大大减少水冷器的腐蚀和结垢，延长使用寿命，提高传热效率，而且可以大大减少水的消耗和水源污染。但仍有许多厂还在采用不经处理的直流冷却水。再比如碳钢在氢氧化钠溶液中可能发生应力腐蚀破裂（碱脆）是一个基本的腐蚀知识，经过大量的实验室研究和对生产使用经验的总结，早已发表了碳钢发生碱脆的氢氧化钠浓度和温度范围；但时至今日仍不断发生碳钢设备的碱脆破坏事故，而且环境条件明显地在

“破裂区”范围。

造成许多设备腐蚀破坏事故“重蹈覆辙”的一个原因，是发生破坏事故以后没有很好地对事故原因进行分析。往往为了急于恢复生产而简单地将损坏设备更换，或采取临时的补救措施。应该说，腐蚀破坏事故分析是腐蚀科学技术中很重要的课题。设备、结构发生了腐蚀破坏自然是坏事，因为它会造成前面讲到的各种危害。但另一方面，腐蚀破坏事故又为我们提供了研究实际腐蚀问题的难得机会，这种研究是实验室模拟试验不可能完成的。所以，每当发生了设备腐蚀破坏事故，都应当进行认真的科学的分析，找准造成设备发生腐蚀破坏的真正原因，从而提出解决问题的有效措施，使类似问题不再发生。坚持对每一次的腐蚀破坏事故进行分析，并做好技术总结，就能够使设备防腐蚀工作的技术水平得到不断提高。所谓失败乃成功之母，只有善于对失败进行总结，从失败中引出教训，才能把过去的失败变为将来的成功。同时，对腐蚀破坏事故的深入分析还能对丰富和发展腐蚀控制理论知识提供宝贵的论据。

所以，我们主张大大加强设备腐蚀破坏事故的分析工作，并将这些分析资料进行交流，让同行分享和借鉴，这对提高设备防腐蚀工作的整体技术水平，推广有效的防腐蚀技术，减少设备腐蚀破坏事故的发生，都是大有益处的。

设备的腐蚀控制是一个系统工程，绝不仅仅限于采用几项防护技术，更不仅仅是防腐蚀技术人员和防腐车间（班组）的事。人们越来越认识到，在腐蚀控制工作中人的因素是极其重要的。所有与设备有关的人员，从部门主管到设计、采购、制作、运行、维修等各个环节都影响到设备在服役中的腐蚀行为。有许多设备腐蚀破坏事故是人为因素造成的，其中一些过早破坏完全是由于无知。比如选用 18-8 型普通奥氏体不锈钢制作盐

水预热器, 结果寿命比碳钢预热器更短得多。又如某厂生产调度将一台装运盐酸的衬胶槽车调去运氯磺酸, 当氯磺酸装入, 衬里立即损坏, 50 吨氯磺酸报废^[1]。在后面的腐蚀事例中, 也有许多这类例子, 如用热浓盐酸去清洗钛制塔器; 用河水充入 18-8 型不锈钢换热器去演示换热器的性能, 等等。这些违反腐蚀基本常识的错误, 表明还有相当多的有关人员对腐蚀与防护知识知之甚少, 而在实际工作中又缺少与腐蚀工程技术人员的合作。

1984 年, 我国化工行业长期从事设备防腐蚀的部分专家提出了“全面腐蚀控制”(Total corrosion control) 的命题, 其指导思想就是将腐蚀控制技术与严格科学管理密切结合起来。一方面要大力推广经济有效的防腐蚀技术; 另一方面, 在工艺设计, 材料选择, 结构和强度设计, 设备制造、贮运和安装, 工艺运行和维护等各个环节都要考虑设备的腐蚀控制要求。这一新概念已得到越来越多的腐蚀工作者的认同和支持。

那种认为防腐蚀工作不过是刷刷油漆, 糊糊玻璃钢, 或者制作几台塑料设备的观念是十分陈旧的; 那种平时不考虑设备腐蚀问题, 发生了腐蚀破坏事故后才急急忙忙派腐蚀技术人员去“救火”的管理模式与现代工业是格格不入的。

在国外, 人们也越来越清楚地认识到, 随着现代工业向大型化、自动化的发展, 要求高级管理人员、部门经理和非生产技术人员都要关心了解设备腐蚀与防护问题。1996 年英国腐蚀学会调查其会刊《腐蚀管理》(Corrosion Management) 的读者工作性质, 主任和总经理(包括生产和技术部门)占 29.5%, 工程师(包括总工程师, 设计、生产和维修)占 21.5%, 技术顾问, 销售/市场人员各占 17.5%和 11.5%, 部门经理占 10%^[2]。这一调查结果也反映了对腐蚀控制认识的新潮流。

我们从国内外资料中选取了一百多个腐蚀破坏事例, 并做

了简要的分析。在选择事例时，我们将重点放在因“人”的错误而造成的腐蚀破坏。所选破坏事例的原因都很清楚明确，多数属于管理范畴，即这些破坏事故并不是现时的腐蚀科学技术水平还没有办法解决，而是在某个或某几个环节违背了腐蚀控制的基本原则，比如选材错误、试验方法不正确、设备结构不良、制造工艺不符合要求、设备维护不好，等等。也就是说，这些腐蚀破坏事故本来是可以避免的。对大多数事例也是按照这样的顺序来编排的，以说明这些环节对设备腐蚀控制的重要性。由于电偶腐蚀和奥氏体不锈钢的氯化物应力腐蚀破裂具有典型的意义，所以将它们单独列出。电偶腐蚀不仅普遍，而且在腐蚀教材中作为腐蚀电池的代表，用来讨论影响腐蚀的因素。但时至今日仍然发生许多电偶腐蚀破坏。奥氏体不锈钢是不锈钢中最多的一类，奥氏体不锈钢的氯化物应力腐蚀破裂又是最普遍的应力腐蚀，从这类腐蚀事故分析可以看到影响应力腐蚀的一些基本因素和防止应力腐蚀的主要途径。

通过这些腐蚀破坏事例，我们要强调，在设备防腐蚀工作中加强科学管理的极端重要性。为了使类似的破坏事故不再重演，就要通过腐蚀教育，普及腐蚀与防护知识，让各个环境的有关人员，从主管领导到普通工人，从技术人员到市场采购、营销人员都了解腐蚀控制的基本要求。正如美国著名腐蚀学家方坦纳所说，“为了减少腐蚀损失，我们当然需要进行更多的腐蚀研究；但是，更基本和更重要的问题是教育。不仅对腐蚀工程师，而且对所有与设备有关人员。我们已经有许多技术可以使用，但它们还没有被充分广泛地使用。重要的是我们如何把‘福音传播’给代理商、技术员、设计师、工厂操作员、管理人员、推销员、检查人员、制造商等等。”^[3]

已发生的腐蚀破坏事例是一面面镜子。只要我们既能认真

总结自己的经验教训,又善于借鉴别人的经验教训,在分析设备腐蚀破坏事故中努力加深对腐蚀科学知识的了解,对全面腐蚀控制管理模式的把握,对避免设备腐蚀破坏各种途径的运用,就能把设备防腐蚀工作提到一个新水平。

参 考 文 献

- 1 宋德芳等. 化工腐蚀与防护. 1985,13(2):1
- 2 俞健. 腐蚀与防护. 1997,18(1):5
- 3 M. G. Fontana. Materials Performance. 1980,19(1):47

一、材料选择不当造成的腐蚀破坏事例

1. 选材的基本考虑

为设备选择合适的耐蚀材料，在腐蚀控制的各个环节中占有第一重要的地位。对于用于腐蚀环境中的设备和结构，制造材料的耐蚀性能应当是首先要考虑的因素。但是，材料还必须具有良好的物理性能、机械性能和加工性能。很多时候经济因素也起着重要的作用。因此，选材是一件十分复杂而细致的工作。

为了作出正确的决策，首先要把有关情况搞清楚，掌握充分的数据资料。

- 设备的情况。包括设备的功能、加工要求和加工量，设备在整个装置中所占的地位以及各设备之间的相互影响，是否需要经常检查、修理或更换，生产工艺对材料的要求（如不会使催化剂中毒，不会污染产品等），以及计划的使用寿命。

- 环境条件。包括介质的种类、浓度、温度、压力、流速及流动状态、充气情况等，它们都能影响到环境的腐蚀性和可能发生的腐蚀种类及其强度。介质种类、浓度、温度构成了一个腐蚀环境的基本特征，许多腐蚀试验数据就是按照介质的浓度和温度分段给出的。应当注意的是金属的腐蚀速度随介质浓度和温度的变化并不一定是单调的。碳钢在硫酸中的腐蚀就是一个典型的例子。温度也是一个很重要的环境参数，各种材料都有其适宜的使用温度范围。特别要注意高温、低温、急冷、急热、温度梯度对材料腐蚀行为的影响。温度对许多局部腐蚀

(如不锈钢的孔蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀)的发生都有关键性的作用。较高的流速、气泡和固体悬浮物则可能导致磨损腐蚀。

一定要把环境条件搞清楚,任何时候都不能允许“可能”、“大概”。不仅是主要的环境条件,而且要注意环境条件的细节。比如原料和工艺水中的杂质,局部区域中环境条件的强化(如介质浓缩、杂质富集、局部过热或温度偏低),工艺参数的波动等。因为材料的耐蚀性并不是其固有的,而是和环境条件密不可分。环境条件不同,材料的耐蚀性也会不同。这些环境条件细节可能对生产工艺影响很小,但却可能对设备材料的腐蚀造成很大影响。微量杂质的作用就是典型的例子:干燥氯气对碳钢腐蚀很小,而含微量水的氯气会造成碳钢严重腐蚀。相反,有些杂质却能对金属起缓蚀作用,如醇类、苯酚中所含微量水。

●可能发生的腐蚀的类型和腐蚀破坏的后果。全面腐蚀还是局部腐蚀?全面腐蚀是均匀的还是不均匀的?如果可能发生局部腐蚀是什么类型?各种材料都有其优点和缺点,对于具有优良的耐全面腐蚀性能的材料,要特别注意可能发生的局部腐蚀问题。因为局部腐蚀是这些材料腐蚀破坏的主要原因,但却常常被人们所忽视。众所周知,局部腐蚀的危害比全面腐蚀大得多。如果为了降低全面腐蚀速度而导致发生局部腐蚀,其选材决策就是完全错误的,比如前面提到的用 18-8 型普通奥氏体不锈钢制作盐水预热器的例子。

各种金属和合金材料的物理、机械和加工性能可以查阅有关资料和手册,但需注意腐蚀对材料物理、机械和加工性能可能造成的影响。材料的价格和供货情况也容易得到。关键是获得材料在预定服役的环境中的耐蚀性能和可能发生的腐蚀方面的资料。虽然有腐蚀数据手册、图表(腐蚀图和选材图)可以查阅,有其他厂同类型装置的使用经验可以借鉴;这些手册、图