

不锈钢的损坏及其防护

—— 典型实例 ——

〔日〕须永寿夫 著

2.71

机械工业出版社

不锈钢的损坏及其防护

—— 典型实例 ——

〔日〕须永寿夫 著

耿文范 译

简光沂 校



机械工业出版社

ステンレス鋼の損傷とその防止

——事例を中心として——

須永寿夫 著

日刊工業新聞社

1978年（第二版）

* * *

不锈钢的损坏及其防护

——典型实例——

〔日〕须永寿夫 著

耿文范 译

简光沂 校

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $6 \frac{5}{8}$ · 字数 141 千字

1981年8月北京第一版·1981年8月北京第一次印刷

印数 00,001—6,400 · 定价 0.70 元

*

统一书号：15033·5158

译者的话

著者多年来对不锈钢设备和制品的损坏事故进行了调查研究，本书即是著者对于大量典型实例调研的结果，并进行了系统的整理和理论分析，提出了一系列有关不锈钢的防护措施和见解，是一本实践和理论密切结合的不锈钢材料方面的专业书。对于从事与不锈钢的使用和研究有关的技术人员、设计人员以及技术工人等都很有参考价值。

本书所涉及的不锈钢和合金的牌号较多，个别钢号不易查找，特别是日本工业标准（JIS）不锈钢钢号自从1972年改用新钢号以来，在个别书籍中仍使用旧钢号，本书也是如此，因而很容易使读者误解。为了便于读者查阅，译者在书末编入了《本书各章实例的新旧钢号对照及附注》，以供读者参考。

关于书中若干术语的译法，特别是腐蚀方面的术语，目前我国尚无统一的规定，譬如点腐蚀，与其同义的术语就有点蚀、坑蚀、孔蚀、小孔腐蚀以及劈钉腐蚀（pitting 音译）等，而均匀腐蚀一词则与一般腐蚀、全面腐蚀等同用，很不一致，现尽量采用目前较通用的译法。

我国在不锈钢使用方面的经验不多，尤其缺少对于不锈钢的使用和维护具有指导性的图书。今后不锈钢的使用必将日益增多，如何正确使用和延长不锈钢制品的使用寿命，本书内容为我们提供了宝贵的借鉴。

译者 1979年4月

前 言

本书的目的，在于解释用不锈钢制造的设备和机器，是怎样主要由于腐蚀而引起的损坏，以及为了避免这种损坏又应该采取怎样的措施。

书中介绍的大量实例，是希望在处理实际问题的时候用来作为判断的参考；书中的大量照片，也是为了这个目的而提供的。

书中未对每一个实例都作深入探讨，有不少场合也难以做到。在每个实例中，都尽量记载了成分和温度等环境条件，但是这些数据并不能决定腐蚀破坏发生的几率就一定高，从经验上来看倒是没有妨碍的情况占大多数。破坏事故，特别是引起腐蚀的主要因素十分复杂，只根据表面数据通常是难以预测的。

本书内容，是由曾经在“ステンレス”杂志中连载过的文章编写而成，日本不锈钢协会希望尽快以单行本出版。

本书中的实例，均系著者在本人工作单位——日本金属工业公司研究部所作的调查结果，发表后得到了各用户的善意帮助。

在执笔中，还得到我公司诸位同事的协助。

在出版这本书时，给日刊工业新闻社出版局的诸位先生添了很多麻烦。

由于上述多方面的协助，本书得以完成，在此深致谢忱。

须永寿夫 1977 年 11 月

书中有关照片的说明

放大倍数 例如 $\times 100$ ，表示放大 100 倍。

侵蚀 按美国试验及材料学会 (ASTM) E407-70 金属与合金材料微观侵蚀标准方法规定的侵蚀剂号码，列在放大倍数之前。侵蚀剂的号码和成分，以及侵蚀操作方法，列于下表。

号码	侵蚀剂成分	操作方法
13	草酸10克加水100毫升	在 6 伏电压下电解侵蚀10~60秒钟
31	过硫酸铵10克加水100毫升	在 6 伏电压下电解侵蚀数秒至 1 分钟
83	铬酸10克加水100毫升	在 6 伏电压下电解侵蚀 5 秒至 1 分钟
93	浓硝酸	在0.2安/厘米 ² 电流密度下电解侵蚀数秒钟
97	苛性钾45克加水 100 毫升	在2.5伏电压下电解侵蚀数秒钟
98	铁氰化钾10克、苛性钾或苛性钠10克加水 100 毫升	在热溶液中浸泡 2~20 分钟

目 录

第一章 腐蚀损坏的种类	1
1-1 湿腐蚀和干腐蚀等的区别	1
1-2 湿腐蚀	2
1-2-1 湿腐蚀的形式	2
1-2-2 湿腐蚀的形式与环境	2
1-3 干腐蚀	5
1-4 破损事故	6
第二章 应力腐蚀破裂	7
2-1 应力腐蚀破裂的实例	7
实例 1 热交换器管——冷却水——	7
实例 2 压热器内部冷却管——冷却水——	8
实例 3 翅片管——冷却水——	8
实例 4 冷却水套——冷却水——	9
实例 5 热交换器管——冷却水——	10
实例 6 管道——高温水——	12
实例 7 加热管——高温水——	12
实例 8 波纹管——水蒸汽冷凝——	13
实例 9 双重管的内管——水蒸汽冷凝——	14
实例10 调味料熬煮锅——氯化物溶液——	15
实例11 旋转式干燥机内管——粉末干燥工艺过程中 Cl^- 的浓缩——	16
实例12 管道——保温材料中的 Cl^- 浓缩——	17
实例13 加热管——点腐蚀成为应力腐蚀破裂的起 点——	17
实例14 输送管道——点腐蚀成为应力腐蚀破裂的起 点——	18

实例15 螺栓——应力集中——	20
实例16 贮槽——焊接区——	21
实例17 温度计保护管——磨削的影响——	21
实例18 加热盘管——苛性钠——	23
2-2 应力腐蚀破裂的原因及防护措施	24
2-2-1 对氯化物应力腐蚀破裂有影响的一些主要环境因素	25
2-2-2 防护措施	26
第三章 点腐蚀和缝隙腐蚀	30
3-1 点腐蚀和缝隙腐蚀的实例	30
实例 1 热交换器管——温泉水——	30
实例 2 波纹管——原油中的杂质 Cl^- ——	31
实例 3 热交换器管——附着物的影响——	31
实例 4 配管——表面带有氧化皮——	32
实例 5 加热釜——汽相区——	33
实例 6 冷凝器管——焊接区的缝隙——	34
实例 7 法兰——与密封垫圈的接触面——	35
3-2 点腐蚀和缝隙腐蚀的原因及其防止措施	36
3-2-1 影响点腐蚀的一些基本环境因素	36
3-2-2 防止措施	37
第四章 晶间腐蚀	40
4-1 奥氏体系不锈钢的晶间腐蚀	40
4-1-1 晶间腐蚀的实例	40
实例 1 热交换器管——由酸性溶液引起的事故例子较多——	40
实例 2 利用废气余热的空气预热装置——重油燃烧废气——	41
实例 3 配管——粉尘的堆积——	42
实例 4 槽子的放料口部位——也有呈现点腐蚀状的情况——	43

实例 5	槽——也有发生破裂的事例——	44
实例 6	搅拌桨——焊接热影响——	45
实例 7	压滤机的滤框——热处理时的冷却速度——	47
实例 8	槽子——L 级超低碳不锈钢也可能发生的腐蚀破坏——	47
实例 9	六角螺母——热成型制品——	48
实例 10	塔底板——复合钢板——	49
实例 11	阀杆——斯特莱特合金堆焊层部位——	50
实例 12	旋塞——高镍不锈钢——	51
4-1-2	晶间腐蚀的原因与防止措施	51
4-2	铁素体不锈钢的晶间腐蚀	57
实例 1	热风供暖设备	57
第五章 均匀腐蚀		60
5-1	均匀腐蚀实例	60
实例 1	蒸馏塔的塔盘——均匀腐蚀的形式——	60
实例 2	蒸发罐的接口——均匀腐蚀——	61
实例 3	热交换器管——均匀腐蚀——	61
实例 4	离心泵的叶轮——均匀腐蚀——	62
实例 5	热交换器管——硫酸——	65
实例 6	烟气脱硫装置的一个部位——重油燃烧废气——	67
实例 7	配管——磷酸生产工艺过程中的浆液——	68
实例 8	配管的焊接接头部位——醋酸——	69
实例 9	加热管——苛性钠——	70
实例 10	配管——液相部位与气相部位——	70
实例 11	蒸馏釜——液相部位与气相部位——	72
实例 12	挠性管——由于渗碳而引起的耐蚀性降低——	74
实例 13	卷成卷的薄不锈钢带——由于包装纸引起的 锈蚀——	74
实例 14	配管的焊接接头——焊缝腐蚀——	75

X

第六章 高温氧化和与其同时发生的渗硫等.....78

6-1 高温氧化的实例78

实例 1 离心机转筒——由于燃烧气体与空气引起的差异——78

实例 2 不锈钢丝——液化石油气燃烧废气——79

实例 3 外热式回转炉的一个部位——重油燃烧气体——80

实例 4 加热炉构件——重油燃烧气体——82

实例 5 竖筒型退火罐——重油燃烧气体——83

实例 6 管子——氮的渗入——86

实例 7 热交换器管——重油灰——86

实例 8 集尘器的一个部位——附着物——89

实例 9 波纹管——流速和粉尘——90

实例 10 热电偶保护管——Cr 元素的选择性氧化——90

6-2 高温氧化及其防止措施94

第七章 渗碳97

7-1 渗碳实例97

实例 1 铜合金粉末冶金制品烧结炉的炉管——保护气氛——97

实例 2 淬火热处理用马弗炉的内罩——熔损——97

实例 3 热电偶保护管——熔损——100

实例 4 热交换器管——渗碳层的裂纹——101

实例 5 弯管——碳质附着物——104

实例 6 渗碳炉的一个部位——煤灰堆积?——106

7-2 渗碳及其防护措施108

第八章 渗氮110

实例 1 反应装置的一个部位——氨气——110

实例 2 钢丝光亮退火用炉管——氨分解气体——111

第九章 由熔融金属引起的腐蚀115

实例 1	锌蒸发容器——锌——	115
实例 2	槽底板——锌——	117
实例 3	热水锅炉的一个部位——锌——	120
实例 4	配管——锡——	120
实例 5	焊锡槽的部件——焊锡——	123
实例 6	熔融铜的浇口塞——铜——	123
第十章 高温长时间加热引起的脆化		126
10-1 奥氏体不锈钢由于 σ 相析出等原因而引起的脆化		126
实例 1	反应管（铸造的弯管）	126
实例 2	反应容器	128
实例 3	气体冷却器的一个部位	130
实例 4	炉内配件	130
10-2 铁素体不锈钢由于晶粒粗化而引起的脆化		135
实例 1	反应管	135
第十一章 蠕变，高温疲劳		136
实例 1	热处理炉的输送机链条——蠕变破断——	136
实例 2	加热管——蠕变破断——	137
实例 3	气体重整反应管——蠕变破断——	139
实例 4	反应管——蠕变破断——	141
实例 5	炉管——沿晶氧化的影响——	141
实例 6	热处理炉内的推进装置——高温疲劳——	143
第十二章 热应力和热疲劳		146
实例 1	燃烧器喷嘴	146
实例 2	化学装置的一个部位	148
实例 3	反应炉的一个部位	148
实例 4	外热式回转窑的壳体部分	151
实例 5	输送机链条	152
实例 6	炉内隔板	154
实例 7	退火罐	156
实例 8	退火罐	157

Ⅱ

实例 9	热处理炉的炉底辊	158
第十三章	疲劳	161
实例 1	轴	161
实例 2	滚筒的轴	162
实例 3	搅拌轴	163
实例 4	波纹管	163
实例 5	搅拌槽的吹气管	166
实例 6	温度计保护管	167
实例 7	淤浆槽	168
实例 8	热交换器的板片	170
实例 9	制造塑料薄膜用的环行带	170
第十四章	咬合损伤、磨损、磨蚀	174
实例 1	螺栓与螺母——咬合损伤——	174
实例 2	贮槽的加热器保护管——由于振动引起的磨 损——	175
实例 3	搅拌叶片与配管——磨蚀——	176
实例 4	控制阀——磨蚀——	177
第十五章	结束语	180
15-1	调查时的情况	180
15-2	损坏原因	181
15-3	损坏及其防止	181
15-3-1	湿腐蚀环境	182
15-3-2	高温环境	183
15-3-3	疲劳破坏	184
15-3-4	熔融金属	184
15-3-5	材料上的差错	184
15-3-6	焊接	184
15-3-7	固溶热处理	185
15-3-8	消除应力热处理	185
15-3-9	其它	185
参考文献		186
附表: 本书各章实例的新旧钢号对照及附注		189

第一章 腐蚀损坏的种类

在使用不锈钢制造的设备和机器时，为了避免由于腐蚀等原因引起故障，回顾一下过去发生过的损坏事故实例作为参考，也是很有意义的。

本书是以日本金属工业公司研究部在 1964 年至 1973 年十年间所处理过的损坏事故实例作为素材，加以统计分析整理而编写成的。希望有助于用来判断甚么样的损坏事故容易发生，以便选择适当的防护措施。但在加工过程中发生的事故并不包括在内。作为本书内容，也包括了按日本工业标准 (JIS) 划分为耐热钢的 310 和 446 之类钢种，只限于有必要调查的实例，并且对于每一个实例的所有腐蚀形态、破坏形式以及环境条件等难以作出十分恰当的区分，在统计整理方面也不能说十分完善，但它可以满足于用来判断基本情况。

1-1 湿腐蚀和干腐蚀等的区别

图 1-1 示出了按湿腐蚀和干腐蚀等区分的损坏事故，在总数为 985 起损坏事故之中所占的比率。其中，属于其它领域的损伤和多种损伤形式复合的损坏事故有 24 件，所以是根据 1009 件损坏事故求出的各种事故所占的比例数。

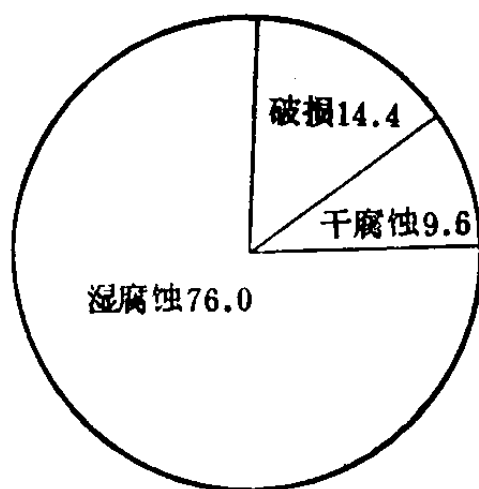


图1-1 湿腐蚀和干腐蚀在不锈钢制品损坏事故中所占的比率 (%)

很明显，湿腐蚀最多，占损坏事故总数的 76%。干腐蚀占 10%，说明在耐热方面使用也相当多。破损事故占 14%，比干腐蚀还多。在破损事故之中，不仅包括单纯由于机械应力造成的破坏，并且包括由于热影响（将在以后讲述）引起脆化而导致的破坏等。

1-2 湿 腐 蚀

1-2-1 湿腐蚀的形式

图 1-2 示出了湿腐蚀的各种形式，腐蚀破坏所占之比例。损坏事故实例的实际件数为 767 件，但其中有不少事故是几种腐蚀形式共同引起的，若将这些腐蚀形式分别加以计算，则在统计上共有 954 件。图 1-2 即各种形式腐蚀损坏在 954 件湿腐蚀损坏中所占之比率。

如图 1-2 所示，应力腐蚀最多，占 38%，而在实际 767 件损坏事故中所占比例却高达 47%，也就是说，对于不锈钢湿腐蚀损坏事故调查的结果，实际上其中约有一半是应力腐蚀破裂。

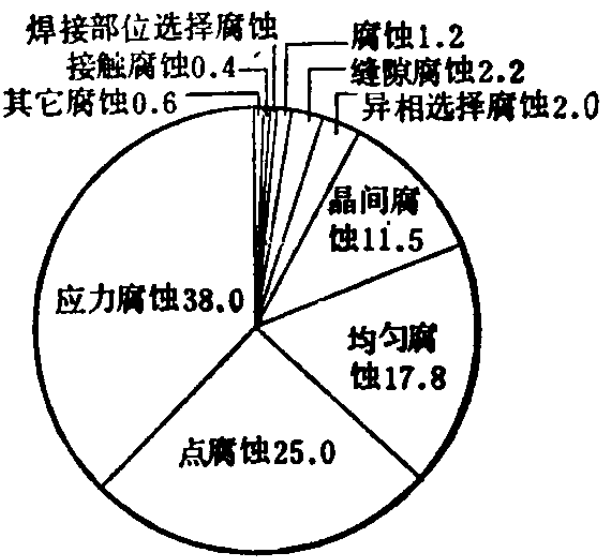


图1-2 湿腐蚀的各种形式
腐蚀损坏所占比率 (%)

1-2-2 湿腐蚀的形式与环境

表 1-1 所列是经查明由于环境所引起的 636 件湿腐蚀事故，湿腐蚀的形式与环境的关系。另外，图 1-3~图 1-6 是对表 1-1 的内容所作的图解。由图可知有许多场合往往按环

表1-1 湿腐蚀的形式与环境的关系

	水 工业 用水	水蒸汽 热 水	海 水	保温 材料	无 机 酸	无 机 化 物 (氯 除 外)	氯 化 物	有 机 酸	有机化含 物(有机 酸除外)	碱	煤 气	废水 废物	共 计
均匀腐蚀	0	4	2	1	32	18	2	36	26	9	14	3	147
锈蚀, 变色	2	1	1	0	2	0	1	0	5	0	2	0	14
应力腐蚀破裂	52	51	7	24	16	16	18	19	89	21	28	7	348
点腐蚀	18	17	30	7	17	24	12	18	52	5	16	1	217
缝隙腐蚀	2	1	5	0	0	3	1	0	2	0	1	0	15
晶间腐蚀	5	3	1	0	24	12	1	20	11	3	8	1	89
异相选择腐蚀	1	0	0	0	4	5	1	5	7	3	0	1	27
焊缝区选择腐蚀	0	0	0	0	5	0	1	1	0	0	0	0	7
接触腐蚀	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
磨蚀	0	1	0	0	2	0	0	3	3	0	1	0	10
其它形式的腐蚀	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	1	0	7
共 计	81	79	47	32	104	79	37	102	196	42	71	14	884

境难以区分，因此，分类并不严密。因为腐蚀形式和环境条件有的互相重复，所以对于 636 件湿腐蚀事故的组合总数便增加到 884 件。

按各个环境中的腐蚀情况来看，以有机化合物（有机酸除外）引起的腐蚀件数居多，占腐蚀总件数的 22%，若把有机酸引起的腐蚀也包括在内，则所占比率高达 34%。其次，则是由于水、工业用水、水蒸汽、热水等引起的腐蚀，占总件数的 18%。

如果按环境和腐蚀形式的组合情况来看，在有机化合物环境中发生的应力腐蚀和点腐蚀，以及由于水、工业用水、水蒸汽、热水引起的应力腐蚀都很显著。

（1）应力腐蚀(图 1-3) 即便 Cl^- 浓度极低也可能引起应力腐蚀破裂，所以有不少场合往往很难预测。因此，即使像冷却水之类引起的应力腐蚀破裂事故也经常发生，这样的情况明显表示在图 1-3 上。由于保温材料引起的应力腐蚀也相当多，即便原因和防护措施均已明确，也是不容易完全避免的一种腐蚀事故。

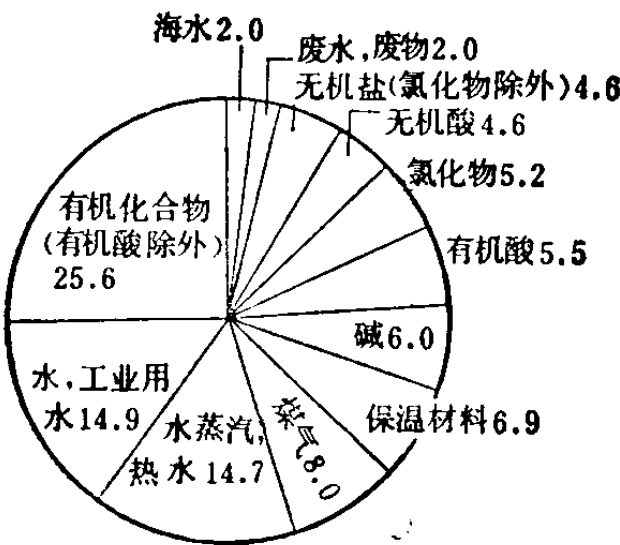


图1-3 不同环境引起应力腐蚀破裂的比率 (%)

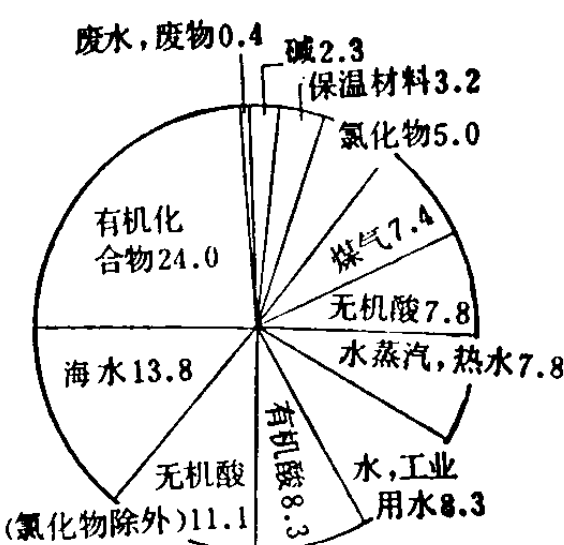


图1-4 各种环境引起点腐蚀的比率 (%)

(2) 点腐蚀(图 1-4) 点腐蚀很多是在以氯化物为主要成分的环境中发生的, 在其它环境中发生的点腐蚀事故也占有相当大的比率。应力腐蚀和点腐蚀在表 1-1 内作了区分, 说明在所有的环境中都产生这两种腐蚀。

(3) 均匀腐蚀(图 1-5) 以酸引起的均匀腐蚀最多, 约占均匀腐蚀事故总数的一半, 这与一般常识看法是一致的。其次则是有机化合物和无机盐类。

(4) 晶间腐蚀(图 1-6) 引起晶间腐蚀的环境, 主要是包括无机酸和有机酸在内的酸性溶液, 它与均匀腐蚀的情况具有相似的构成比率。

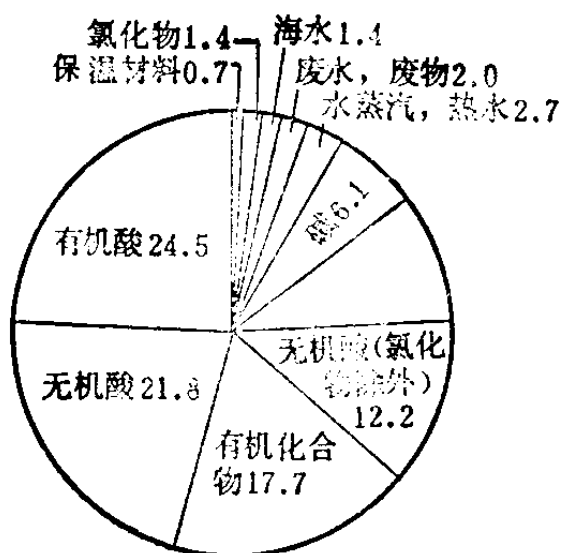


图1-5 不同环境引起均匀腐蚀所占的比率 (%)

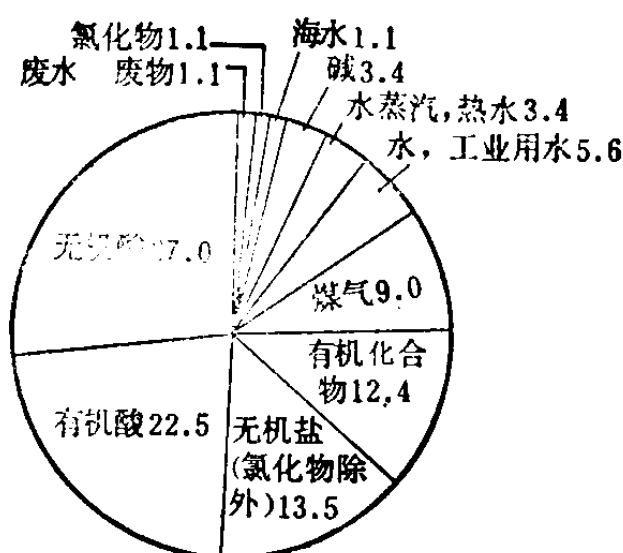


图1-6 不同环境引起晶间腐蚀的比率 (%)

1-3 干 腐 蚀

图 1-7 示出了干腐蚀的不同形式损伤所占的比率。实际干腐蚀事故是 97 件, 但多为复合形式的损伤, 故按照与构成图 1-2 相同的原则计算出总数为 121 件, 图 1-7 即按 121 件损伤事故所做成的比率图。全面氧化最多, 把沿晶氧化和内