

FUSHI SHIXIAO

FENXI ANLI

腐蚀失效 分析案例

赵志农 编著



化学工业出版社

FUSHI SHIXIAO

FENXI ANLI

腐蚀失效 分析案例

赵志农 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

腐蚀是石油、石化、化工、湿法冶金等领域中近乎永恒的课题,实施防护的重要性已为技术人员、管理人员所认识,但正确的防护方法来自对腐蚀的正确认识和对腐蚀现象的恰当分析。本书以作者几十年工作中积累的失效分析实例为基础,简要介绍了腐蚀失效分析的原则、设备、方法及应用,重点剖析包括锅炉与废热锅炉、复水器和凝汽器列管、湿硫化氢环境中金属设备及管线、石油化工动设备、液氨储罐、尿素系统高压设备、石油化工其他反应设备、换热器、高温炉管、不锈钢回路管道腐蚀失效案例,对技术人员进行金属腐蚀失效分析工作以及日常设备腐蚀与管理有一定的借鉴和帮助。

本书适合企业腐蚀与防护技术人员、材料失效分析人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

腐蚀失效分析案例/赵志农编著. —北京:化学工业出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-122-03499-1

I. 腐… II. 赵… III. 化工设备-腐蚀-失效分析
IV. TQ050.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 117926 号

责任编辑:段志兵

文字编辑:孙凤英

责任校对:李 林

装帧设计:王晓宇

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 装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张30 字数614千字 2009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:78.00元

版权所有 违者必究

前言

经过两年多的努力，这本《腐蚀失效分析案例》就要出版发行了。本书的各个案例是笔者在几十年的工作中，对所进行的腐蚀防护和失效分析项目整理而编写的。整理和编写的过程也是一个学习和提高的过程。

本书中的案例涉及面比较广，包括石油化工和化肥等装置中的许多设备和管线，有锅炉、反应塔器、换热器和转化炉及裂解炉炉管，动设备有透平压缩机、泵等。

在编写过程中，注意了把一些腐蚀失效分析的方法，包括样品的收集处理、常用的检测仪器设备、失效构件破坏的宏观和微观形态，以及腐蚀失效的基本原因和机理进行有机的联系和结合。

在此感谢天华化工机械及自动化研究设计院的同事们对我的帮助和支持。

赵志农

目 录

第一章 金属腐蚀失效分析 1

第一节 腐蚀失效分析的目的和意义	1
第二节 腐蚀环境与腐蚀失效类型间的关系	1
第三节 影响金属腐蚀失效破坏的主要因素	3
第四节 金属腐蚀失效分析的原则、程序和步骤	4
第五节 金属腐蚀失效分析的基本方法	6
第六节 金属的局部腐蚀	14
参考文献	28

第二章 锅炉与废热锅炉的腐蚀失效案例分析 29

第一节 合成氨 102-C 蒸汽过热器列管断裂	29
第二节 U 形管废热锅炉爆管	48
第三节 自备电站锅炉过热器爆管	57
第四节 101-CA 废热锅炉刺刀管破裂	60
第五节 外取热器爆管	69
第六节 蒸汽锅炉过热器爆管	76
第七节 热水锅炉的氧腐蚀	80
第八节 101-C 废热锅炉膨胀节开裂	87
参考文献	94

第三章 复水器和凝汽器列管的腐蚀失效案例分析 95

第一节 复水器泄漏	95
第二节 凝汽器铜管泄漏	107
参考文献	110

第四章 湿硫化氢环境中金属设备及管线的腐蚀失效案例分析 111

第一节 湿硫化氢环境下 18-8 型不锈钢管线的腐蚀	111
第二节 湿硫化氢环境中 16MnR 球罐失效	132
第三节 湿硫化氢环境中重沸器失效	140
参考文献	152

第五章 石油化工动设备的腐蚀失效案例分析 153

第一节	空气透平压缩机叶轮的破裂	153
第二节	橡胶挤出机螺棱堆焊层开裂	159
第三节	波纹管密封的失效	163
第四节	湿法磷酸生产中泵的腐蚀	172
第五节	CO ₂ 压缩机气垫阀的腐蚀疲劳断裂	186
第六节	甲铵泵弹簧断裂	190
第七节	42CrMo 齿轮轴断裂	196
第八节	铜冶炼蒸汽管式回转干燥机加热管破裂	199
第九节	蒸汽快开阀开裂	207
参考文献		212

第六章 液氨储罐的应力腐蚀开裂案例分析 213

第一节	400m ³ 液氨球罐裂纹检测和分析	213
第二节	120m ³ 液氨球罐检测和断裂力学分析	217
第三节	液氨储槽裂纹分析及缺陷评定	219
第四节	5200m ³ 液氨球罐应力腐蚀开裂及修复	227
第五节	液氨储罐应力腐蚀开裂的调查	229
参考文献		240

第七章 尿素系统高压设备的腐蚀失效案例分析 241

第一节	尿素系统高压设备腐蚀与防护	241
第二节	尿素合成塔的腐蚀	245
第三节	尿素高压设备管板及列管的腐蚀和修复	265
第四节	尿素高压设备气相区衬里腐蚀	282
第五节	尿素合成塔现场挂片的腐蚀形态观察	288
参考文献		306

第八章 石油化工其他反应设备的腐蚀失效案例分析 307

第一节	乙二醇装置开裂	307
第二节	母液罐开裂	322
第三节	齐聚器反应管穿孔	324
第四节	硝酸钠蒸发器破裂	335
第五节	蒸压釜筒体裂纹	340
第六节	热水饱和塔内壁开裂	347

第七节 加氢反应器裂纹	355
参考文献	362

第九章 换热器的腐蚀失效案例分析 363

第一节 H-601 氧化铝床预热器列管开裂	363
第二节 不锈钢换热器 U 形管破裂	368
第三节 CO ₂ 压缩机段间冷却器的应力腐蚀开裂	373
第四节 炼油装置大型板壳式换热器的腐蚀	377
参考文献	383

第十章 高温炉管的腐蚀失效案例分析 384

第一节 毫秒炉炉管爆裂	384
第二节 毫秒炉炉管外壁腐蚀	393
第三节 乙烯裂解炉弯管腐蚀	397
第四节 乙烯裂解炉管的渗碳	407
第五节 转化炉炉管破裂	415
第六节 热腐蚀引起的转化炉管破裂	423
第七节 甲醇转化炉炉管早期破坏	427
第八节 HK-40 转化管外伸段焊缝的应力腐蚀开裂	437
参考文献	443

第十一章 不锈钢回路管道破裂原因及扩展规律研究 444

第一章

金属腐蚀失效分析

第一节 腐蚀失效分析的目的和意义

凡机械设备、生产装置、桥梁、飞机、船舶及海洋设施等或其零部件在使用过程中，由于腐蚀的原因，使之达不到设计规定的功能，或者产生破断，或者不能安全可靠地进行运转和继续服役，均称之为腐蚀失效。

金属腐蚀是金属设备与构件破坏的重要形式之一，对因腐蚀而破坏的设备与构件进行分析称为腐蚀失效分析，其主要目的是：

- ① 寻找失效的原因，避免类似腐蚀失效事故的重演；
- ② 消除隐患，克服生产中的薄弱环节，提高设备的制造质量，保证安全运转和延长设备的使用寿命；
- ③ 改进设备结构设计和提高设备的性能，保证设备的先进性；
- ④ 制定合理的操作工艺和操作规程；
- ⑤ 发现与发展防腐蚀新理论、新材料和新技术，为生产服务。

第二节 腐蚀环境与腐蚀失效类型间的关系

环境对腐蚀失效有着直接的关系。表 1-2-1 列出了各类腐蚀失效在化工企业 767 件事故中所占比例。表 1-2-2 列出了工程中常见的金属腐蚀失效破坏类型的特征及产生的条件。

表 1-2-1 各类腐蚀失效事故在 767 件事故中的比例

腐蚀失效事故类型		所占比例/%
全面腐蚀		17.8
局部腐蚀		82.2
局 部 腐 蚀	应力腐蚀	38.0
	孔蚀	25.0
	缝隙腐蚀	3.2
	晶间腐蚀	11.5
	选择性腐蚀	2.4
	其他	2.1

2 腐蚀失效分析案例

表 1-2-2 工程中常见的金属腐蚀失效破坏类型的特征及产生的条件

失效类型	产生的主要条件	特 征	实 例
全面腐蚀	金属材料的表面状态、化学成分以及组织结构基本上是均匀的,不能形成局部的腐蚀电池而是构成了无数的微电池	腐蚀减薄均匀,面积大	暴露在大气中的碳钢和低合金钢,锌在稀硫酸中的溶解等
电偶腐蚀	在电解质溶液中,两种电位不同的金属相接触或通过结构中的导体构成回路形成宏观的腐蚀电池	在电位较低金属接触面周围出现沟槽和凹坑等局部腐蚀现象,而电位较高的金属受到保护无腐蚀	泵轴和阀杆与石墨密封相接触,金属轴杆被腐蚀
晶间腐蚀	由于晶界与晶内存在电位差而在晶界上产生选择性溶解而腐蚀	晶间腐蚀不引起金属外形尺寸变化,但强度及塑性下降,出现微裂纹。金相检查裂纹沿晶界扩展	奥氏体不锈钢敏化处理或焊接的热影响区在腐蚀溶液中均可发生
点腐蚀	金属表面的不均匀性如表面缺陷、夹杂和划痕等是点腐蚀的发源地,介质中的卤族元素和氧化剂同时存在有利于点腐蚀的形成和发展。点腐蚀易在介质滞留的区域发生	点腐蚀的孔径小,但向深度方向发展直至设备穿孔。介质中含有 Cl^- 时往往有自催化作用,多发生在沉积的垢下和腐蚀产物下	不锈钢和铝合金等材料在介质中含有 Cl^- 时容易产生点腐蚀。如换热器管的腐蚀穿孔等
缝隙腐蚀	设备构件金属之间或与非金属之间存在缝隙,范围在几十微米时形成了溶液即可进入又处于滞留状态,促使 Cl^- 等浓缩而导致金属活化-钝化腐蚀	缝隙内局部加速腐蚀形成麻坑的形式。缝隙外无腐蚀或腐蚀轻微	在法兰盘与垫圈的接触面上,换热器管板与列管连接处等易发生。漆膜下的丝状腐蚀也属于缝隙腐蚀
应力腐蚀	在拉应力作用下,金属材料在特定的介质中引起的腐蚀断裂,其中应力包括工作应力、热应力以及焊接和装配残余应力	脆性断裂裂纹可以是穿晶、沿晶和混合型裂纹,也容易由孔蚀或缝隙腐蚀引发	奥氏体不锈钢在有 Cl^- 的溶液中容易产生脆断,黄铜的氨脆等
腐蚀疲劳	在交变应力作用下,处于腐蚀介质中的金属材料产生的疲劳断裂。一般没有疲劳极限	疲劳裂纹一般无分支,断口表面多有腐蚀产物。脆性断口	石油钻杆、石化厂用的压缩机阀片和弹簧
氢脆	环境中的高氢压、腐蚀反应产生的原子氢渗透到金属内部在缺陷处聚集产生的氢致裂纹或断裂	脆性断口,有沿晶和穿晶型,断口表面上常带有鸡爪型花样和撕裂棱,还有韧窝状,往往大韧窝套小韧窝	易发生在高强度钢、铝合金和钛合金上。特别是在清洗和电镀后容易产生
氢腐蚀	高温高压临氢装置中氢进入金属与碳化物反应产生甲烷,导致碳钢和低合金钢发生脱碳和鼓包以及开裂现象,强度和塑性变坏	金属表面层脱碳,珠光体变为铁素体,材料强度降低和塑性变坏	高温高压临氢装置中的管道,化肥装置中的变换系统设备经常发生
选择性腐蚀	金属中不同的相组成由于化学成分的差异或相结构的差异在腐蚀介质中某一相被优先腐蚀掉,另一相被保留或随后脱落	黄铜脱锌主要有层状脱锌和栓状脱锌两种形式,黄铜变为紫铜,强度下降,组织疏松	电厂凝汽器黄铜列管的腐蚀,双相不锈钢也存在选择性腐蚀现象
石墨化腐蚀	灰口铸铁在腐蚀介质中失去金属元素,表面剩下一层石墨	组织疏松,强度下降	埋地铸铁管在潮湿地下缓慢发生这种腐蚀。组织疏松

第三节 影响金属腐蚀失效破坏的主要因素

(1) 环境因素

它主要是指环境介质的组分、浓度、温度、压力、酸度、导电性等物理、化学及电化学性能,这些参数与腐蚀过程息息相关,因此,在进行腐蚀失效分析时,首先必须弄清产生腐蚀的环境介质条件。

(2) 材质因素

腐蚀过程是环境介质在金属材料表面或界面上发生的化学或电化学反应过程,因此金属材料是腐蚀过程一个重要组成部分。从材质来看,主要有以下几个方面值得特别注意。

① 金属材料的冶炼质量。它主要是指金属材料的化学成分、非金属夹杂、浇注时的缩孔、偏析和夹渣等现象以及冷却过程中可能产生的白点等缺陷。

② 金属材料加工质量。它主要是指在轧制、锻造和挤压成材时,在加热过程中可能产生的沿晶氧化(过烧)、折叠、分层、带状组织和组织不均匀性等缺陷;在冷却过程中由于冷却速度过快可能产生的微裂纹以及焊接过程中出现的各种缺陷和热影响区的种种不利因素。

③ 热处理不当。它主要是指热处理加热过程中可能产生的过热或过烧引起的晶粒粗大、脱碳、增碳;冷却、淬火过程中淬裂、回火脆性和微观组织不合适以及不适当的敏化处理等导致的缺陷。

④ 材质的表面状态等因素。

(3) 设备的结构设计及加工制造因素

① 设计因素。在设备的结构设计上应尽量避免应力集中,遗留残余液体等不合理现象,在设备选材上应考虑材料与环境的一致性。

② 加工制造因素。在设备的加工制造过程中要注意由冷加工(如车、铣、刨和磨等)可能给设备表面造成的缺陷,也要注意由于设备部件的酸洗电镀可能带来的氢脆问题。特别要注意在焊接时可能造成的裂纹、咬边、焊条与母材不匹配等缺陷和焊接残余应力等因素。

③ 装配因素。由于装配工艺不合理可能造成应力集中或者配合过紧引起附加应力等缺陷。

(4) 操作因素

在运行过程中由于物料变化或者操作不当而引起的超温、超负荷运行都有可能

引起局部腐蚀破坏；同时由于设备保养不良、维修不及时等原因，也会导致设备产生腐蚀破坏而报废。

综上所述，影响腐蚀失效的因素很多，关系也极为复杂。因此在腐蚀失效分析中，必须全面考虑各方面的影响因素，才能得出正确的结论。

第四节 金属腐蚀失效分析的原则、程序和步骤

1. 金属腐蚀失效分析的基本原则

在失效分析过程中，特别是在重大腐蚀失效事故分析中，必须掌握失效分析的基本原则，进行系统的分析，才能去伪存真，找出真正的原因，提出切实可行的防止措施。

(1) 对体系进行完整的分析研究

在进行腐蚀失效分析时，必须从环境介质因素、材质因素、加工制造因素等逐一进行调研，特别是纵观它们之间的关系，进行系统的分析研究，提出比较完整的失效分析的方案。

(2) 调查研究的原则

对现场和周围环境以及产生腐蚀的背景进行调查研究是解决腐蚀失效的另一重要原则。根据需要，从产生腐蚀失效部位出发，对其环境介质条件和操作条件进行详细而周密的调查研究。

(3) 分析验证的原则

从调查研究中获得了大量的资料和数据，对它们必须进行从现象到本质的科学分析和试验验证工作。

2. 腐蚀失效分析的程序和步骤

(1) 腐蚀事故调查阶段

腐蚀事故发生后要注意保护现场，尽快记录下事故现场的各种情况，腐蚀事故发生后收集被腐蚀的构件是一件十分关键性的工作。有些构件可能破碎，可将残骸收集和拼凑起来并加以保护，特别要避免新的污染和互相碰撞而影响今后的进一步观察。通过观察与分析找出破坏源点。为今后的分析提供必要的线索。对产生腐蚀

失效的调查一般应包括下列内容。

- ① 对事故发生的时间、地点和产生的条件等有关过程的调查。
- ② 对产生事故的设备操作情况进行调查。查阅和整理相关的工艺操作记录和维修记录,弄清温度、压力、介质的成分及浓度的变化情况,包括工艺介质中有害成分的变化、pH 值的变化等。
- ③ 对设备或部件的结构及制造工艺进行调查。从可能产生腐蚀的角度出发调查设备的结构设计是否合理,有无可能导致应力集中和可能产生缝隙腐蚀的不合理结构。检查设备的焊接热影响区等的腐蚀情况以及由于酸洗可能带来的渗氢等问题。
- ④ 对制造设备所用材质的调查。在对设备制造有疑点的情况下,首先要核对制造设备或部件所用的材料,并应考虑材料的性能复验问题。
- ⑤ 有关文献的调研。文献调研的目的是为了找出过去国内外事故中有无类似或接近的情况。虽然文献中所叙述的事故情况与现实中的事实可能有所差异,但总有可以借鉴的地方。

(2) 实验室的分析研究阶段

本阶段的主要任务是对收集起来的腐蚀失效构件及其环境介质进行实验室的分析研究。对材质的化学成分、力学性能、物理性能和组织结构进行必要的分析和复验;腐蚀破坏的断口分析;腐蚀产物的分析,初步找出产生腐蚀失效破坏的可能原因。因此,实验室的分析研究是整个腐蚀失效分析的关键步骤。很多腐蚀失效通过实验室的分析研究就可以得到明确的结论,但也有一些腐蚀失效事件却还存在一些不确定的因素,需要进行模拟验证试验。

(3) 模拟验证试验阶段

在实验室和现场进行模拟性的验证试验,以便对这些初步结论在实践中获得进一步证实。只有这样,这些结论才能被认为是完全可靠的。

(4) 总结讨论

在现场调查研究和实验室分析研究及模拟验证阶段之后,对产生该腐蚀失效事故的原因已经得出了应有的结论。对此结论从各个方面进行分析讨论是十分必要的。

(5) 写出腐蚀失效分析报告

总结报告应主要包括:前言,事故的调查研究,腐蚀失效构件的分析研究,实验室及现场的模拟试验结果,产生腐蚀失效的原因分析以及防止类似事故重演的技术和管理措施。这个最终报告应该是既有试验数据和足够的证据,又有理论根据,应该是经得起推敲的。

6 腐蚀失效分析案例

综上所述,可以将有关腐蚀失效事故分析的程序和步骤通过图 1-4-1 中所列的方块图来说明。

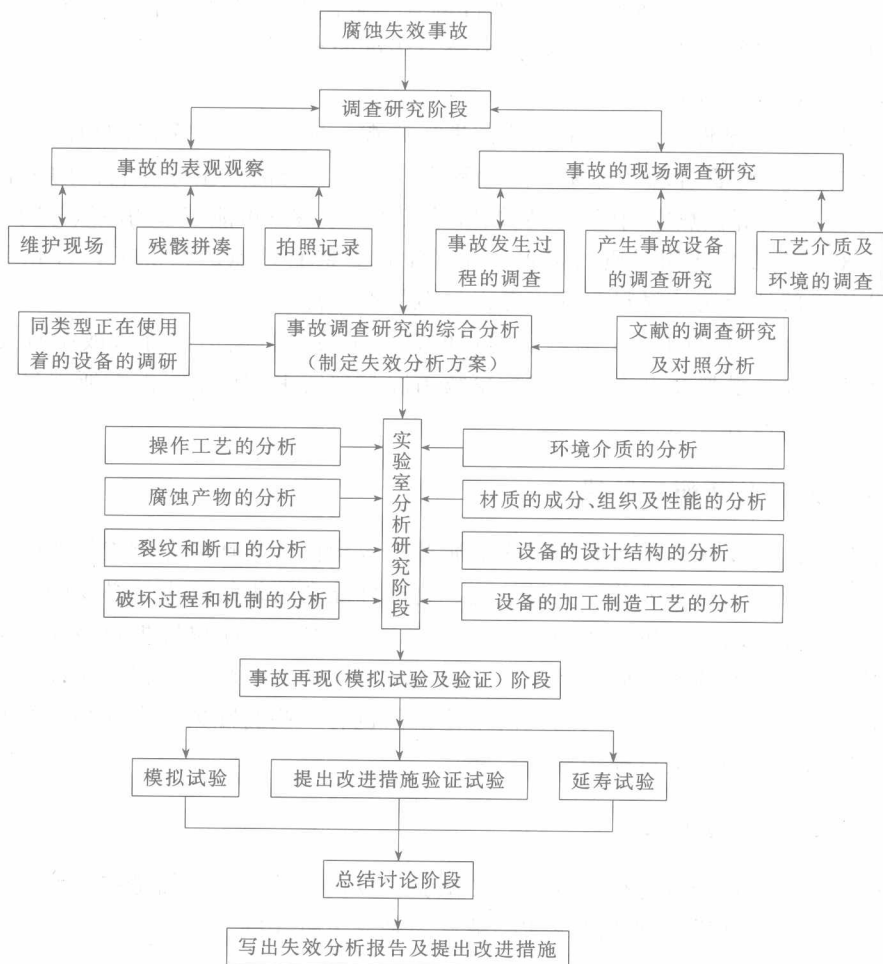


图 1-4-1 腐蚀失效事故分析的程序和步骤框图

第五节 金属腐蚀失效分析的基本方法

1. 试样制备

(1) 取样的原则

取样要有代表性,但也要兼顾普遍性。取样时首先要取那些可能是腐蚀破坏源

的部位及其邻近的部位。要记好方位及作好标记。这些样品既包括宏观及微观分析用的,也包括化学分析、力学性能复验以及进行其他试验用的。除了取一部分腐蚀破坏部位的样品外,还应选取一部分未破坏的部位作相关的力学性能试样和化学成分分析用。

(2) 取样方法

取样的部位确定之后,要采用正确的方法截取试样。主要是不应破损残骸的断口表面,特别是不能损害断口的形貌和影响所取试样原来的组织状态。在取样时,若使用火焰切割、电弧气刨或等离子切割等方法进行切割时,一定要防止因为加热而引起试样组织结构和腐蚀产物的变化。在用机械加工方法取样时,要注意避免由于冷却剂或油脂等物质污染试样断口表面。

(3) 断口的清洗

对进行腐蚀产物分析的断口,不需要清洗而直接先进行分析。对进行断口形貌观察的试样,可以根据断口的不同情况,采用不同的清洗方法。表 1-5-1 中列出了一些常见的清洗腐蚀产物的化学方法。

表 1-5-1 一些常见的清洗腐蚀产物的化学方法

材 料	溶 液 成 分	时间	温度	备 注
镁及镁合金	15%CrO ₃ , 1%Ag ₂ CrO ₄ 水溶液	15min	沸腾	
铝及铝合金	70%MNO ₃ 水溶液	2~3min	室温	用毛刷轻轻清洗
	2%CrO ₃ , 5%H ₃ PO ₄ 水溶液	10min	79~85℃	用毛刷轻轻清洗
铜及铜合金	15%~20%HCl 水溶液	2~3min	室温	用毛刷轻轻清洗
	5%~10%H ₂ SO ₄ 水溶液	2~3min	室温	用毛刷轻轻清洗
铁和铜	20%NaOH, 200g/L 锌粉	5min	沸腾	
	浓 HCl, 50g/LSnCl ₂ , 20g/LSbCl ₃	15min	冷	溶液应搅拌
	含有 0.15%(体积分数)有机缓蚀剂的 15%(体积分数)的浓 H ₃ PO ₄	除净为止	室温	可除去钢的氧化皮
	20%NaOH, 10%~15%KMnO ₄	除净为止	沸腾	适用于耐热钢不锈钢断口
镍及镍合金	15%~20%HCl 水溶液	除净为止	室温	
	10%H ₂ SO ₃	除净为止	室温	
铝及铝合金	1%醋酸水溶液	10min	沸腾	毛刷轻轻清洗
	5%醋酸铵水溶液	5min	热	
	80g/LNaOH, 50g/L 甘露糖醇, 0.62g/L 硫酸胍	除净为止		
锡及锡合金	15%Na ₃ PO ₄ 水溶液	10min	沸腾	用毛刷轻轻清洗
锌	10%NH ₄ Cl 水溶液	5min	室温	用毛刷轻轻清洗
	饱和的醋酸铵	除净为止	室温	用毛刷轻轻清洗
	5%CrO ₃ , 1%AgNO ₃ 溶液	20s	沸腾	用毛刷轻轻清洗

2. 宏观分析方法

宏观分析方法比较简单，但又十分重要，它将提供腐蚀破坏件的直观印象和资料，必须给予重视并做好有关记录。

宏观分析方法包括用肉眼观察、放大镜观察，也包括用各种测量工具对被腐蚀破坏的部位进行尺寸（厚度、腐蚀坑深度等）的测量。由此可以初步估算出腐蚀量或腐蚀类型。

宏观分析方法将为腐蚀失效分析提供如下的信息：

- ① 展示出拼凑起来的腐蚀破坏件的全貌，分析腐蚀破坏源的宏观位置及腐蚀的状况；
- ② 提供腐蚀破坏件破断面的腐蚀状态，据此可以初步判断出腐蚀类型；
- ③ 提供破坏件表面上腐蚀产物的情况，如腐蚀产物的颜色、厚度、致密状态等；
- ④ 提供破坏处的裂纹状况，包括裂纹长度和分布状况以及裂纹的扩展方向和断口的宏观形貌等；
- ⑤ 提供材料冶金质量的信息，如材料在腐蚀破断处的疏松情况，有无分层、白点、夹杂和氧化皮夹层等宏观缺陷。

3. 化学分析方法

在腐蚀失效分析中化学成分的分析是必不可少的，它主要包括下列几个方面。

(1) 材质成分的分析与复验

对材质成分有怀疑时，应当进行材质成分的分析与复验。还应指出，对因为腐蚀破坏的焊接件，特别要注意对焊缝材料的化学成分进行分析复验，以确定焊条使用是否恰当。

(2) 对产生腐蚀破坏的环境介质进行化学组成的分析

对其浓度进行分析并检验其 pH 值，在对介质的复验分析中必须对有害元素给予足够的重视。

(3) 腐蚀产物的成分分析

对腐蚀产物进行定性或定量的分析，确定腐蚀产物的性质对判断腐蚀失效的原因是至关重要的。

4. 力学性能试验方法

在腐蚀失效分析中应用力学试验方法的目的是检验所用材料质量是否合格以及

在设备的运行过程中,力学性能是否发生了变化。有些金属材料制造的设备在运转过程中,由于环境介质的作用,使材料的性能发生了变化。在腐蚀失效分析中常用的力学性能试验方法有以下几种。

(1) 硬度测定

硬度试验是最简便,也是最常用的力学性能试验方法,它能提供一些重要的参数。例如曾有人提出,把硬度 $HRC \leq 22$ 作为鉴别低合金钢是否抗 H_2S 和液氨应力腐蚀的标准。再如,硬度可以用来初步鉴定钢热处理制度和不同的加工方法。以普通低碳钢为例,退火态或热轧态的硬度较低,组织是铁素体及珠光体,而淬火态的硬度则较高,组织为马氏体。

硬度试验方法通常采用的有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度及显微硬度等。

(2) 拉伸试验

它是力学性能试验中最基本的经典试验方法。由于环境介质的作用,使材料的表面和内部可能产生了裂纹、微裂纹或组织状态的变化,从而使其力学性能也发生了相应的变化。因此,对材料进行拉伸试验可以在材料的腐蚀失效中提供重要的数据。

(3) 冲击试验

在腐蚀失效事故中,脆性破坏的概率很大,危害也最严重。在腐蚀失效分析中,复验材料在运转过程中韧性的变化也是极为重要的一环。所以,经常进行材料的冲击试验以验证材料是否有脆化现象。

(4) 断裂韧性试验

利用断裂力学的试验方法,在一定的环境介质中进行试验,即可得到金属材料抗应力腐蚀能力。这种试验在腐蚀失效分析中对判断材料抗应力腐蚀及氢脆的性能是十分重要的。

此外,其他一些力学试验方法,如弯曲试验方法、腐蚀疲劳试验方法等。在腐蚀失效分析中,也可根据腐蚀破坏的具体工况条件的要求进行试验。

5. 无损检验方法

腐蚀失效事故发生后,在不破坏构件的情况下,为了了解其中可能由于腐蚀而造成的材料内部的缺陷,或者事故构件中的缺陷(如孔洞、裂纹等),有时需要利用无损检测的方法进行分析。其中包括:射线探伤法、表面磁粉和渗透探伤法以及超声探伤法等。在腐蚀失效分析中要根据具体情况与需要,选用合适的无损检测方法。

6. 金属断裂的断口分析和光学显微分析技术

(1) 金属断裂的断口分析方法及分类

断口是金属构件破断后断裂面的外观形貌。断口形貌十分真实地记载了材料或部件的断裂过程。通过它可对裂纹的发生、扩展和断裂的过程做出一定的判断。因此,在腐蚀失效分析中,断口形貌的分析研究占有重要的地位。根据断口学的不断发展又可分为宏观断口学及微观断口学两类。

宏观断口学是利用肉眼或放大镜,通过分析断口的色泽、粗糙度、放射棱线的方向和宏观变形来确定裂纹源的位置、裂纹扩展方向、受力方向以及可能的环境介质条件,断口表面的腐蚀程度以及各种因素(如材料的强度水平或部件的几何形状、试验温度、工作环境和热加工工艺等)对断口形貌特征的影响。可初步判断断口的性质和可能导致断裂的原因。

微观断口学是利用光学显微镜、透射电镜和扫描电镜等显微分析技术来观察研究断口的形态特征,进一步判断形成机制和影响因素。

宏观和微观断口学两者的研究结果相辅相成互为补充,对断裂的全过程可能提供出全面和准确的信息,从而使人们对整个断裂过程获得全面深入的了解。

断口的分类方法很多,主要有两种。

① 按断裂的方式分类。按照断裂的方式分类,断口可以分为穿晶断口、沿晶断口和穿晶断+沿晶的混合型断口三大类。

穿晶断口是许多金属材料在常温下断裂的形态之一。例如,由微孔聚集而形成的韧窝断口、解理断口、准解理断口、撕裂断口及大多数疲劳断口等。

沿晶断口既包括脆性的回火脆性断口、某些氢脆断口、应力腐蚀断口、高温蠕变断口和液态金属脆化断口等,也包括由于过热沿原奥氏体晶界开裂的断口和某些沿柱状晶粒边界开裂的断口。此外有少数疲劳断口也是沿晶的。图 1-5-1 是穿晶断口和沿晶断口的示意图。

混合断口系指在以穿晶为主断口上有部分区域为沿晶断口或者以沿晶为主的断口上有部分穿晶断口,故称之为混合断口。

② 按断裂的性质分类。按断裂的性质分类可以分为脆性断口和韧性断口。主要注重破断件在破断的部位是否发现有宏观塑性变形。

韧性断口是指材料在断裂时有明显的塑性变形。在金属构件受到拉伸时,当应力超过材料的屈服强度后,构件开始塑性变形,材料内部的夹杂物、析出相、晶界、亚晶界或其他不连续的局部区域产生应力集中,开始形成显微孔洞并且不断增大,相互吞并,直到构件因为塑性变形使得承载截面变小,达到和超过材料的破断强度后,构件发生断裂。断口的宏观形貌为纤维状,颜色发暗,有明显的滑移现象,其微观特征是韧窝。