

金属手册

第八版 第十卷

失效分析与预防

[美]美国金属学会 主编

机械工业出版社

金属手册

第八版 第十卷

失效分析与预防

〔美〕美国金属学会 主编



机械工业出版社

美国金属学会主编的《金属手册》是一部大型综合性技术巨著，《失效分析与预防》是其中第十卷。本卷由245位作者合编，归纳了美国机械制造业几十年中出现的各种失效类型，采用343个案例加以说明，阐明如何分析设计、选材、制造及其他原因引起的失效，并以失效分析为向导，找出改进产品质量的正确途径。本卷对开展失效分析工作提供借鉴和启发。

METALS HANDBOOK
8th Edition Vol.10
FAILURE ANALYSIS AND PREVENTION
AMERICAN SOCIETY FOR METALS
1975

* * *
金 属 手 册
第八版 第十卷
失效分析与预防
〔美〕美国金属学会 主编

*
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 787×1092^{1/16}·印张 81·插页 2·字数 1899 千字
1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷
印数 0,001—2,510·定价 16.30 元

*
统一书号: 15033·5937

译 者 的 话

美国金属学会主编的《金属手册》是一部大型综合性技术巨著，前七版以单卷本出版。随着科学技术的飞速发展，单卷本已不能容纳金属材料各方面日以积累起来的研究成果，因此从第八版起改为多卷本，《失效分析与预防》是该手册第八版的第十卷。

机械产品制造者要想使产品具备效能高、能耗低、强度高、寿命长以及价格低廉等优点，就得首先在产品的设计、选材和制造工艺这三个环节上下功夫。生产任何一种新产品时，制造者不可能一开始就在这些环节上作到尽善尽美，而任何一种产品，从对它的性能和经济性的综合要求上，也无需使它具备无限的使用寿命。但在规定的使用期内，总有某些零构件发生早期失效。制造者只有经常深入到用户中，收集并试验研究发生失效的产品，根据失效原因确定改进措施，再将它反馈到上述三个环节中，使产品逐步得到改进和完善。只有以科学的态度认真地对失效产品进行有成效的分析工作，才有可能使产品逐步地达到设计合理、选材恰当、制造工艺先进，从而使产品得以不断地更新换代，在用户中享有信誉。从总的方面来说，失效分析是使机械产品由不完善到完善的必由之路。

《失效分析与预防》一书就是为了达到上述目的的一部由 245 位作者合编的著作。从书中提供的 343 个失效分析实例，可以看到美国整个机器制造业在几十年中出现的失效状况和各种失效类型，这些失效都是由于设计、选材、工艺上处理不当或其它原因造成的。同时，从书中还可以了解到如何以失效分析为向导，进而寻求改进产品质量的正确途径，这方面对国内同行尤有参考价值。读者将会从书中所叙述的大量分析资料中，为预防产品失效而获得一些借鉴和启发。这就是将此书译成中文并奉献给广大读者的主要目的。

参加本卷译校的同志如下：**失效的工程观点及失效分析**由周光焱译。**失效的各种机理和有关环境因素引起的失效**其中“失效类型的鉴别”、“韧性和脆性断裂”由杨先琇译；“疲劳失效”、“畸变失效”“磨损失效”、“微振磨蚀失效”、“液体冲蚀失效”由王仁智、王庆绥译；“腐蚀失效”、“应力腐蚀开裂”、“液体金属致脆”、“氢损伤失效”、“腐蚀疲劳失效”由张思九译；“高温失效”由吴世译、周光焱译。以上由王仁智总审。**服役失效的分析与预防：主要加工工艺过程的产品**其中“冷成形件的失效”由蔡华苏译孟繁杰校；“锻件的失效”由李承欧译蔡华苏校；“钢铁铸件的失效”由黄国靖译孟繁杰校；“焊接件的失效”由李汝升译李承欧校；“钎焊接缝的失效”由彭其凤译李承欧校。**服役失效的分析与预防：加工构件及装配件**其中“轴件的失效”由李凤照译孟繁杰、李承欧校；“滑动轴承的失效”由于家洪译孟繁杰校；“滚动轴承的失效”由霍宪义译蔡华苏校；“机械端面密封的失效”由孟繁杰译李承欧校；“流体动力缸的失效”由李承欧译蔡华苏校；“起重设备的失效”由孟繁杰译李承欧校；“机械紧固件的失效”由李承欧译蔡华苏校；“弹簧的失效”由何锡祥译李承欧校；“模具的失效”由彭其凤译李承欧校；“齿轮的失效”由刘大桑译李承欧校；“锅炉和有关火力发电厂设备的失效”由李承欧译蔡华苏校；“换热器的失效”由蔡华苏译孟繁杰校；“压力容器的失效”由蔡华苏、李承欧译李承欧、蔡华苏校；“金属矫形植入物的失效”由李承欧译蔡华苏校。以上由孟繁杰总审。英汉索引、缩写词及符号、实例索引由蔡华苏译孟繁杰、李承欧校。索引部分因其内容涉及学科广泛打印成册，由机械工业出版社负责组织征求意见进行名词术语的统一工

IV

作, 分别请刘民治、刘家骏、顾守仁、陈伯蠡、庾鹏、钟群鹏、付耆寿等同志参加审定, 并在机械工程学会材料学会组织的《失效分析丛书》编审会上进行讨论, 最后由王仁智、周光垓、蔡华苏、张绪江等同志负责全书名词术语的统一。

译校过程中得到各方面同志的大力协助, 在此一并致谢。

由于译审水平所限, 错误之处在所难免, 恳请读者批评指正。

译者 1983

绪 言

本卷是金属手册第八版第十卷，该书对第七版单卷本作了巨大的增补和扩充。

本卷书名是由美国金属学会手册编委会以及编者在早期规划时选定的。《失效分析与预防》一书不仅论及失效的分析，同时也论及改进产品性能和可靠性，防止失效的有效措施。与这部手册的其它各卷一样，本卷打算为读者提供一些最有用的、综合性的、可靠而又真实的技术资料，其中的许多资料以往均未公布过，并且在其它任何一卷中都未搜集如此广泛的资料。

本卷中所采用的技术术语，均以技术中常用的术语为依据。尤其是“失效”(failure)一词，一般认为它有许多含义，可能有数不清的意思，而其中大部分是非技术性的，包括由一般的到灾难性的范围。在本卷中，“失效”一词，同其它与失效有关的术语一样被用做技术术语。“失效”意味着丧失功能或效用。有许多原因可以导致失效，但“失效”一词并不意味着粗心大意或随心所欲所带来的结果。

《失效分析与预防》一书将在失效分析和预防失效的正确方法两方面提供一些基本知识，可从以下四篇对所讨论的范围和内容做进一步的了解。

失效的工程观点及失效分析 共分为四章，其中有116条解释和8个实例。该篇首先对金属零件失效的基本原因作了系统的评述，同时考虑了诸如设计上的缺点、选材上的缺点、材料中的缺陷、加工中存在的问题、装配中的失误以及不合理的服役条件(其中包括启动和停车时不正确的操作和不适当的维修)等各种主要影响因素。在失效分析的一般作法一章中，介绍了在进行研究和构件服役中失效分析所采用的一般作法、失效分析技术与预防，其中还包括附录，即适合于失效现场分析用的便携式金相试验室。

近年来引起冶金界很大关注的是综合性地解决“韧性断裂力学”和“韧-脆性断裂转变”中的问题。前一章深入地介绍了缺口韧性、断裂韧性以及断裂力学在零件设计和失效分析中的作用，同时还包括附录，即有关缺口韧性以及断裂韧性试验和评价。韧-脆性断裂转变一章评论了测定转变温度的各种方法，阐述了温度、冶金因素、成分和显微组织、同素异构转变以及其他变量对韧-脆性断裂转变的影响，同时对许多合金系统中的转变性质作了评述。

失效的各种机理和有关环境因素引起的失效 金属构件或零件的失效分析，通常需要辨别其失效的类型。失效类型的鉴别是综述，共分12节，叙述各种失效形式(增补后的该篇有615条解释以及105个失效零件和构件的实例)。其中有两章是关于断裂形式的论述——韧性和脆性断裂；由疲劳引起的失效。该篇的其余各章分别阐述下列失效机理和环境因素导致的失效：畸变失效、磨损失效、微振磨蚀失效、液体-冲蚀失效、腐蚀失效、应力-腐蚀开裂、液体-金属致脆、氢致损伤失效、腐蚀-疲劳失效以及高温失效等。每章均以真实的失效分析实例充实和丰富其内容，便于失效分析工作者，在确定尚不熟悉或熟悉而却需进一步加以证实的失效类型时，得以极大地简化其工作内容。

服役失效的分析与预防：主要加工工艺过程的产品 共分五个方面，291条解释和89个实例，把金属产品的失效类型、原因以及防止失效的技术措施和零件的加工工艺过程所导致

的失效或零件有关的特性联系起来加以阐述。讨论一些冷成形件、锻件、铸件、焊接和钎焊的产品。

零件的加工工艺过程对其性能和可靠性的影响，对设计和选材往往是很重要的。例如，在“冷成形件的失效”一文中指出，在确定的服役条件下，冷成形件的某些独特的性质，可能明显地增高或降低它对失效的敏感性。金属零件的冷成形会使晶粒发生变形，这种与使用因素有关的条件可能增高它对腐蚀和疲劳的损伤。与此相反，冷成形时在零件表面上形成的压应力，由于它能抵消残余拉应力而使疲劳破坏抗力得以提高。锻件由于初始钢锭或钢坯存在缺陷，或在锻造过程中使显微组织产生一些缺陷或不足，这些都会在服役期间引起许多问题。各种缺陷和与铸造过程有关的非连续性缺陷（其中包括冷隔、气泡和热撕裂），都能影响铁和钢铸件的服役寿命。焊接或钎焊引起的有益或有害的特性，也会影响产品性能和服役寿命。

服役失效的分析与预防：加工构件及装配件 本卷的最后部分是专门讨论特殊种类的加工构件及装配件的失效分析与预防，所以可能是经常要参考的内容。共包括14章、664条解释和140个失效分析实例。

这部分范围和内容是失效分析文献中未曾有过的，其中任何论述都能证实这一点。以“滑动轴承的失效”为例，它是经常遇到的机械零件中的一类。开头是基础性问题的论述（对于不是轴承专家的读者极为有用），其中包括滑动轴承的种类，轴承特征数的重要性，轴承的润滑，轴承材料选择的工程要求以及择优使用特殊的滑动轴承材料。然后进一步细致地确立分析轴承失效的程序，其中包括限制性试验、金相试验以及嵌入颗粒的研究与鉴别。其次，对引起滑动轴承失效的机理——疲劳、磨损、微振磨蚀、腐蚀、腐蚀疲劳和气穴——逐个的进行综合性论述。最后，介绍轴承损伤的各种原因：轴承与轴表面的外来颗粒，不充分或不适当的润滑；超出工作温度；过载；不适当的装配；表面和次表面上的非连续性以及轴或轴承的不合理设计。通过叙述读者可以在影响改善构件的机械性能、可靠性和长期服役寿命的设计、选材、装配、运转以及维修等预防措施方面，获得一个总的概念。

该篇目录中，对其他加工构件及装配件，包括轴、滚动轴承、提升设备、机械紧固件、弹簧、冲模、齿轮、锅炉、热交换器以及压力容器等，也给出与“滑动轴承失效”相似的论述。

收入《失效分析与预防》中的这些资料，如果能给从事现代技术工作的人们带来极大的便利的话，参加本卷编著的245位作者就算完成了他们的使命。作者们的共同经验和非凡的才干是本书准确性和权威性的基础。

目 录

失效的工程观点及失效分析

失效的主要来源	3
设计上的缺点	3
材料选择上的缺点	5
材料中的缺陷	8
加工中存在的问题	10
装配中的失误	11
不合理的服役条件	12
失效分析的一般作法	16
研究失效的目的	16
分析的各阶段	16
背景资料的收集和选择	16
失效零件的初步检验	18
无损检测	19
机械性能试验	20
断口的选择、保存和清理	21
断口的宏观显微镜检验	22
断裂表面的微观分析	23
金相试片的选择和准备	25
金相试片的检验和分析	26
断裂类型的测定	27
韧性断裂	27
穿晶脆性断裂	28
沿晶脆性断裂	29
疲劳断裂	29
应力腐蚀开裂	30
液体金属致脆	31
氢脆	32
蠕变和持久破坏	33
复杂失效	34
化学分析	34
断裂力学的应用	36
模拟试验	36
分析事实、得出结论并写成报告	36
附录 适合于现场失效分析用的便携式	

金相试验室	38
设备和操作	38
便携式试验室在失效分析中的应用	41
韧性 and 断裂力学	43
缺口韧性	43
影响缺口韧性的因素	44
断裂韧性	45
应力强度因子	46
断裂力学的应用	48
压力容器的寿命	49
疲劳裂纹扩展速率	49
应力腐蚀裂纹的扩展速率	50
附录 1 缺口-韧性试验及评定	54
夏氏和埃氏试验	54
落重试验	55
爆炸-杯突试验	55
海军撕裂试验	57
附录 2 断裂韧性试验和评定	58
平面应变断裂韧性试验	58
动态撕裂试验	59
R-曲线分析	61
脆-韧断裂转变	64
温度对转变过程的影响	64
转变温度的测定	65
冶金因素对转变的影响	68
晶体结构和变形方式	68
零件尺寸	69
晶粒尺寸	70
成分和显微组织	72
同素异构转变和显微组织	75
各向异性现象	77
应变速度对韧性的影响	77
铁磁性合金的转变	78
体心立方高熔点金属的转变	78
密排六方金属的转变	79

失效的各种机理和有关环境 因素引起的失效

失效类型的鉴别	85	应力集中系数	140
断裂的分类	85	疲劳缺口系数	140
韧性断裂	85	疲劳断裂的几个阶段	140
脆性断裂	86	断口特征的宏观显示	141
疲劳断裂	87	海滩标记	141
受环境影响的断裂	88	断口特征的微观显示	143
断裂类型的确定	90	疲劳开裂	143
韧性脆性断裂	91	裂纹萌生	143
断裂分类	91	裂纹的扩展	144
由韧性向脆性断裂的转变	92	加载方式与零件形状的影响	145
断裂源	92	单向弯曲	145
缺口效应	94	对称循环弯曲	145
断裂起点	95	旋转弯曲	145
材料缺陷引起的失效	98	扭转加载	146
加工不当引起的失效	98	过应力和应力集中的影响	147
成形	99	加载频率的影响	149
机加工	100	应力对疲劳强度的影响	149
熔焊和钎焊	104	应力集中对疲劳强度的影响	151
热处理不当引起的失效	107	设计对疲劳强度的影响	155
钢的淬火开裂	108	材料状态对疲劳强度的影响	160
电镀不当引起的失效	112	不连续性对疲劳强度的影响	161
残余应力引起的失效	113	表面不连续性	161
脆化引起的失效	114	亚表面不连续性	162
使用中损伤引起的失效	119	合金偏析	163
附录 韧性脆性断裂的特征	126	热处理对疲劳强度的影响	164
宏观断裂特征	126	制造方法对疲劳强度的影响	165
光滑试样的全塑性断裂	126	高温疲劳破坏	175
平面应变和平面应力	127	热疲劳	179
微观断裂特征	131	接触疲劳	179
微孔聚集引起的穿晶断裂	131	腐蚀疲劳	180
由解理引起的穿晶断裂	133	检验制度与技术	181
由准解理引起的穿晶断裂	135	疲劳损伤和寿命的测定	181
沿晶断裂	137	畸变失效	183
疲劳失效	138	过载	183
疲劳寿命预测	138	经典设计	183
与疲劳有关的概念	138	极限分析	183
S-N 曲线	139	不正确的规范	186
疲劳极限和疲劳强度	139	不符合规范的要求	188
		缺陷修补	191
		畸变失效的分析	191
		特殊形式的畸变失效	193
		磨损失效	195

磨损类型	195	金属抗损伤的能力	234
粘着磨损	195	腐蚀的影响	236
磨料磨损	195	液体冲蚀失效的分析	236
腐蚀磨损	196	冲蚀损伤的预防	239
摩擦在磨损中的作用	198	腐蚀失效	242
粘着磨损的机理	200	影响腐蚀失效的因素	242
磨料磨损	201	腐蚀失效的分析	242
磨料磨损的机理	201	失效零件的经历	243
润滑磨损	204	现场检验	243
润滑剂	206	现场取样	243
润滑剂失效导致磨损	207	实验室初步检验	243
润滑剂失效的防止	209	微观检验	244
无润滑磨损	210	分析鉴定	244
磨损失效的分析	210	腐蚀试验	245
磨损零件的实验室检验	211	腐蚀试验方法的来源	245
使用经历在失效分析中的重要性	213	腐蚀速率和腐蚀类型	246
材料性能对磨损的影响	214	不完善数据的分析	246
显微组织的影响	214	均匀腐蚀	247
综合磨损机理	216	点腐蚀	249
表面形貌	217	选择性沥取	251
表面疲劳麻点的评价	217	脱锌	252
剪应力	218	石墨腐蚀	254
接触应力	218	晶间腐蚀	254
接触应力对磨料磨损的影响	218	对夹杂物的选择腐蚀	258
摩擦系数	218	浓差电池腐蚀	259
环境的影响	219	缝隙腐蚀	260
磨损速率	219	温差电池	261
微振磨蚀失效	221	电偶腐蚀	261
微振磨蚀特征	221	海水中的电偶序列	261
微振磨蚀原理	221	相容金属的选择	262
微振磨蚀的识别	222	影响水中腐蚀的流速	268
微振磨蚀的预防	222	菌和生物结污腐蚀	271
振动的消除或减少	223	厌氧菌的影响	271
润滑	223	需氧菌的影响	272
引入残余应力	223	海洋有机体的结污(生物结污)	272
钢丝绳的微振磨蚀	223	埋地金属的腐蚀	273
滑动轴的微振磨蚀	224	大气腐蚀	275
微振磨蚀失效的实例	224	农业大气	276
液体冲蚀失效	231	工业大气	277
气穴现象	231	海洋大气	277
破灭压力	231	热带大气	279
液体冲击腐蚀	232	改进和预防措施	279
冲蚀损伤的特征	233		

改变合金、热处理或产品形式	279	化学分析	310
使用树脂基和无机涂层	280	金相分析	310
使用惰性润滑剂	281	模拟使用试验	310
使用电解或化学涂层及表面处理	281	变形碳钢和低合金钢	311
使用金属涂层	281	锅炉的碱性开裂	311
使用电偶作用防护方法	282	硝酸盐溶液中的开裂	311
改变设计以控制腐蚀	284	氨中开裂	314
使用阻蚀剂	284	奥氏体不锈钢	314
改变pH值和外加电位	286	铁素体不锈钢	315
变量的连续监控	286	马氏体和沉淀硬化不锈钢	316
碳钢和低合金钢	287	马氏体时效钢	317
全面腐蚀	287	铝合金	318
铸铁	287	铜及铜合金	320
不锈钢	288	镁合金	325
全面腐蚀的特点	288	镍及镍合金	325
耐热合金	291	钛及钛合金	325
铝及铝合金	291	液体金属致脆	328
铜及铜合金	292	与应力腐蚀开裂的区别	328
镍及Monel合金	292	机理	328
钛	293	各种金属的敏感性	329
应力腐蚀开裂	295	氢损伤失效	331
制造过程中产生的应力源	295	氢损伤的类型	331
使用过程中产生的应力源	296	充氢开裂	331
裂纹的产生与扩展	297	氢致鼓泡	332
应力腐蚀裂纹的一般特征	297	脱碳造成氢致开裂	333
应力腐蚀开裂理论	298	氢致低应变速率脆化开裂	333
应力腐蚀开裂独有的特性	298	静疲劳条件下的氢致开裂	334
金属对应力腐蚀开裂的敏感性	299	氢化物造成的开裂	334
应力腐蚀开裂的通道	300	分子氢造成的开裂	334
应力腐蚀开裂时应力的影响	300	硫化氢造成的开裂	335
环境影响	300	水和稀释的水溶液造成的开裂	335
特定离子和物质	301	碳钢和低合金钢	335
使用环境	302	不锈钢	336
大气环境	302	马氏体时效钢	338
加工流程和配料	305	耐热合金	338
被沥取物质	305	铝和铝合金	339
使用前的环境	307	钛和钛合金	339
制造环境	307	过渡和难熔金属与合金	340
装配环境	307	失效分析	340
失效分析的作法	307	失效的预防	342
断口表面特征的观察	308	腐蚀疲劳失效	345
宏观检验	308	循环应力的影响	345
微观检验	309		

频率的影响	345	平轧材及线材	411
应力波形的影响	346	与失效有关的异常特征	411
环境影响	346	失效的预防	412
对裂纹形成的影响	347	锻件的失效	420
环境化学活性的影响	349	来自铸锭的缺陷	420
腐蚀疲劳失效分析	349	锻造引起的各向异性	421
改进措施	356	锻造引起的机械性缺陷	422
高温失效	358	锻件失效的起因	422
蠕变	358	设计和失效的关系	422
持久	359	应力集中的作用	422
高温疲劳	361	各向异性的作用	424
热疲劳	362	与材料选择有关的失效	424
冶金不稳定性	362	与疲劳有关的失效	425
穿晶-沿晶断裂转变	362	与非金属夹杂物有关的失效	426
时效和过时效	362	与偏析有关的失效	430
金属间相的沉淀	363	与显微组织有关的失效	431
碳化物的反应	363	与锻造缺陷有关的失效	434
沉淀过程的交互作用	364	与锻后处理有关的失效	441
环境引起的失效	364	与热处理有关的失效	442
腐蚀和腐蚀-磨损	365	过烧	442
一般氧化	368	淬火裂纹	444
增碳	369	增碳与脱碳	445
碳-氮交互作用	371	与氢致损伤有关的失效	446
同熔融金属相接触的情况	372	与工作环境有关的失效	448
与熔盐相接触的情况	377	腐蚀	448
高温失效的分析技术	379	磨损	450
分析高温失效用设备和试验方法	379	微振磨蚀	452
早期失效的成因	384	冲蚀-腐蚀	453
燃气涡轮部件	386	与机械性损伤有关的失效	453
蒸汽涡轮部件	392	钢铁铸件的失效	456
内燃机阀门	394	钢铁铸件中可能产生的缺陷	456
石油加工部件	397	失效分析的作法	457
蒸汽重整炉部件	397	表面不连续性缺陷的影响	457
热处理炉的部件	400	内部不连续缺陷的影响	460
水泥厂设备	403	缩松	460
焚化设备	403	气孔疏松; 夹杂物	463
军械零件	404	显微组织的影响	463
铂和铂-铑部件	406	成分不正确的影响	468
热电偶	407	不正确热处理的影响	473
铂和铂-铑部件	406	应力集中的影响	475
热电偶	407	由于服役条件导致的失效	478
服役失效的分析与预防: 主要加工		焊接件的失效	484
工艺过程的产品			
冷成形件的失效	411		

分析作法	484	轴件的蠕变及持久断裂	557
电弧焊中的失效源	486	轴件常见的应力提升源	557
热裂纹; 冷裂纹	486	轴径变化的影响	558
打弧和火焰凿伤	487	压配合构件	561
低碳钢电弧焊中的失效	490	纵向沟槽	562
可硬化碳钢在电弧焊接中的失效	497	加工过程的影响	564
电弧焊接合金钢的失效	499	不适当的机械加工	564
电弧焊接不锈钢的失效	504	识别标记	566
电弧焊接耐热合金的失效	514	热处理	568
电弧焊接铝合金的失效	514	冶金因素的影响	571
钛及其合金在电弧焊接中的失效	519	内部的不连续性缺陷	571
电渣焊缝的失效源	522	表面的不连续性缺陷	573
气电焊焊缝中的失效源	523	韧性及转变温度	575
电阻焊缝中的失效	524	表面覆盖层的作用	576
电阻弧光压接焊缝中的失效源	526	滑动轴承的失效	581
电阻对接焊缝中的失效源	527	轴承特性数	581
摩擦焊缝中的失效源	529	轴承的润滑	582
电子束焊缝中的失效源	530	滑动轴承材料的性能	584
激光束焊缝中的失效源	533	滑动轴承材料	584
高频感应焊缝中的失效源	536	三金属轴承	585
钎焊接缝的失效	537	失效分析作法	586
夹杂物	537	失效机理	588
疏松	537	外来质点的影响	594
钎焊不完全	537	润滑对轴承失效的影响	595
过度合金化	537	工作温度的影响	597
界面腐蚀	537	热脆失效	597
实例	537	过载的影响	599
服役失效的分析与预防:		装配不当的影响	600
加工构件及装配件		亚表面不连续性缺陷的影响	602
轴件的失效	545	表面不连续性缺陷的影响	603
断裂源	545	轴的设计	603
失效轴件的检验	545	表面光洁度	603
作用在轴上的应力系	547	轴颈形状	603
疲劳失效	548	轴承套的设计	604
接触疲劳	553	薄壁型轴承	605
磨损	553	滚动轴承的失效	607
轴件的脆性断裂	556	轴承材料	607
轴件的韧性断裂	556	轴承的额定性能	608
轴件的变形	556	失效轴承的检验	608
轴件的腐蚀	556	失效形式	610
轴件的微振磨损	557	磨损失效	613
		微振磨损失效	616
		腐蚀失效	618

塑性变形失效	618	失效源	688
滚动接触疲劳失效	620	紧固件失效的起因	691
起源于表面的疲劳失效	620	螺纹紧固件中的疲劳	692
起源于亚表面的疲劳失效	623	微振磨蚀	696
整体失效	626	螺纹紧固件中的腐蚀	696
装配操作的影响	628	大气腐蚀	696
轴承构件的热处理及其硬度	631	裂隙腐蚀	696
滚动轴承的润滑	633	电化腐蚀	697
薄膜润滑	633	应力腐蚀开裂	697
有效的油和油脂润滑	635	氢致损伤	702
机械端面密封的失效	637	腐蚀的防护	704
密封设计	637	镀锌层	704
密封环材料	639	镀镉层	705
运行条件	639	镀铝层	705
常见的失效原因	640	高温下的紧固件性能	705
常见的失效形式	641	铆钉	706
密封件的腐蚀	643	铆钉失效的类型	707
机械损伤	645	封闭式紧固件	708
热损伤	650	销钉类紧固件	709
初步检查	652	半永久性销钉	709
详细失效分析	652	快速装拆销	711
失效的迹象	653	特殊用途的紧固件	714
流体动力缸的失效	655	弹簧的失效	715
与流体动力缸有关的装置	656	工作条件	715
动力缸失效的起因	656	一般失效机理	715
活塞杆的失效	656	弹簧失效的检查	715
系杆的失效	658	失效的一般起因	716
缸体和缸盖之间接头的失效	658	设计中差错引起的失效	716
缸体的失效	659	材料缺陷引起的失效	716
支座、接头和弹簧的失效	664	加工引起的失效	719
起重设备的失效	665	腐蚀引起的失效	727
起重设备的常用材料	666	工作条件引起的失效	729
钢丝绳	667	模具的失效	734
滑轮	667	设计对失效的影响	734
钢丝绳压力	668	热处理不良引起的失效	736
卷筒	669	奥氏体化温度的影响	739
链条	676	热处理之后操作引起的失效	740
吊钩	677	热作模具	743
C形吊钩设计	678	齿轮的失效	745
轴件	680	齿轮的类型	745
起重架及有关构件	683	轮齿的啮合	747
机械紧固件的失效	688	运转载荷	749

齿轮材料	750	腐蚀	802
齿轮失效的分类	750	裂隙腐蚀	804
齿轮的磨损和磨损失效	751	合金脱失	806
润滑和齿轮轮齿的磨损	751	冲击腐蚀	806
擦伤	753	应力腐蚀开裂	809
磨粒磨损	754	腐蚀疲劳	810
腐蚀磨损	754	设计的影响	811
表面疲劳失效	755	焊接工艺的影响	815
初始点蚀	756	高温的影响	816
剥落	758	压力容器的失效	819
表面疲劳和润滑	760	失效分析作法	819
塑性变形失效	760	使用不适宜合金的影响	819
折断失效	762	冶金不连续性缺陷的影响	821
疲劳折断	762	加工过程的影响	822
过载折断	767	复合材料制作的压力容器	826
关于齿轮失效类型和原因的统计资料	769	应力腐蚀和氢脆	828
锅炉和有关火力发电厂设备的失效	771	脆性断裂	833
失效分析的作法	771	韧性断裂	834
火电设备失效的特有起因	771	蠕变和持久断裂	835
涉及管件突然破裂的失效	773	疲劳	835
过热引起的破裂	774	金属矫形植入物的失效	837
脆化引起的破裂	781	失效报导	837
腐蚀或结垢引起的失效	783	植入物所处的环境介质	838
水侧腐蚀	783	矫形植入物常用合金	840
结垢	785	失效的机理	840
烟气侧腐蚀	786	失效机理之间的相互影响	844
煤灰腐蚀	786	失效源	845
油灰腐蚀	788	材料选择和制造	846
疲劳失效	789	植入和取出	847
冲蚀引起的失效	793	患者滥用	848
应力腐蚀开裂失效	794	失效分析方法	848
多形式失效	797	索引(英汉对照)	851
换热器的失效	799	本卷所用缩写词及符号	930
管系的特性	799	本卷失效分析实例索引	933
失效零件的检查	800	附录(主词条汉英对照)	938
换热器失效的起因	800		

失效的工程观点及失效分析

目 录

失效的主要来源	3	用的便携式金相实验室	38
失效分析的一般作法	16	韧性和断裂力学	43
附录 适合于现场失效分析		韧-脆断裂转变	64

