

石油管材与装备 失效分析案例集 (一)

主 编 李鹤林 冯耀荣
副主编 李平全 张平生 王新虎



石油工业出版社

石油管材与装备失效 分析案例集(一)

主 编 李鹤林 冯耀荣

副主编 李平全 张平生 王新虎

石油工业出版社

内 容 提 要

本案例集是从近几年管材研究等单位 1200 多个石油管材与装备失效分析报告精选出来的,对不同工况、不同材质和不同种类的石油管材及装备的失效原因进行了详尽的研究分析,并提出了相应的改进措施,收到了良好的效果。

本书可供相关专业的工程技术人员和管理人员阅读,也可作为石油高等院校教学的案例使用。

图书在版编目(CIP)数据

石油管材与装备失效分析案例集(一)/李鹤林、冯耀荣主编.

北京:石油工业出版社,2006.9

ISBN 7-5021-5647-X

I. 石…

II. ①李… ②冯…

III. ①石油工程-管材-失效分析

②石油工程-机械设备-失效分析

IV. TE9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 088227 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropuh.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:46.5

字数:1230 千字 印数:1—1000 册

定价:150.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

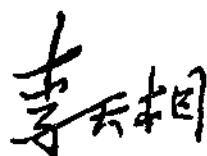
失效分析是判断机械零部件或器材的失效性质,分析失效原因,研究失效事故处理方法和预防措施的技术活动与管理活动。机械零部件或器材的失效分析和预防,是从失败入手着眼于成功和发展的科学,是从过去入手着眼于未来的科学。

在石油工业的发展进程中,许多重大工程技术问题的解决都与失效分析密切相关。例如:1966年,四川威远气田的开发,需建威远至成都输气管线。在威远气田内部集输干线建成后进行试压时,4天时间内连续爆裂3次。经失效分析及再现试验,确认爆裂是由于天然气所含硫化氢在含水条件下应力腐蚀造成的。根据这一结论,采取了相应的预防措施,使类似事故得到了抑制,这是我国石油工业运用失效分析解决重大工程技术问题的重要开端。又如:1977年,我国第一口7000m超深井——关基井7" P110套管柱上部发生断裂事故。经失效分析,木质碳酸盐钻井液在井底温度下产生热分解,析出 H_2S ,在上部常温区造成套管的硫化物应力腐蚀破裂。这项失效分析对深井超深井钻井液及高强度管材选用具有重要意义。同年,华北油田某井接连发生3起德国G105钻杆断裂事故,严重影响了正常的钻井生产,经失效分析确认,在处理卡钻事故时向井内注入盐酸解卡,但没有使用缓蚀剂是造成钻杆发生应力腐蚀失效的主要原因。根据这一结论,当时的石油化学工业部石油勘探开发组规定:在使用高强度钻杆时,应尽量避免注酸解卡,但在迫不得已时,注酸解卡必须加入有效的缓蚀剂。从此,很少发生类似事故。1985年,在进行钻杆失效事故调查时,发现70%的事故发生于内加厚过渡区,经失效分析,认为是由于内加厚过渡区结构不合理造成应力集中和腐蚀集中引起的早期腐蚀疲劳失效。在此基础上,采用有限元分析方法对内加厚过渡区结构进行了优化设计,使钻杆实际使用寿命提高2~3倍。上述事例说明,石油装备和器材的失效分析伴随着石油工业的发展而诞生,并随着石油工业的发展而得到了很大的发展。失效分析可以防止或减少重大失效事故的重复发生,减少经济损失和人员伤亡,提高石油装备和器材质量,促进科技进步。随着我国石油工业的进一步发展,失效分析在石油工业中的地位和作用也愈加重要。

石油管的失效分析与预防是石油装备及器材失效分析与预防工作的重要组成部分。《石油管材与装备失效分析案例集(一)》是中国石油管材研究所、石油管力学和环境行为重点实验室根据石油工业的实际需要,在长期从事石油管研究和失效分析实践的基础上汇编整理而成的。该案例集从管材研究所等单位1200

多个石油管材与装备失效分析报告中精选出了 107 篇。该案例集的出版,对于进一步普及石油管材失效分析知识,提高石油管材的失效分析水平,推动石油管材失效分析、预防及研究工作的进一步开展,确保管材和装备使用安全,具有重要的现实意义。

本案例集重视理论与实践的紧密结合,在失效分析的理论 and 实践两方面都有不少创新和发展,内容十分丰富。它适用于从事石油和地质钻井、石油管材失效分析及预防、石油管生产管理和使用的工程技术人员,也可作为石油院校高年级学生、研究生和教师的参考用书,希望各方面的读者都继续关心和支持这项工作并运用这项技术去解决自己所面临的实际问题。

A handwritten signature in black ink, reading '李天翔' (Li Tianxiang). The characters are stylized and fluid, with the first character '李' being the most prominent.

2005 年 9 月

前 言

失效分析是一门新兴学科。通过失效分析,找出造成机械零部件或器材失效的主要原因,并据此采取相应措施,防止同类或类似失效事故的重演,不但有很大的科学技术价值,而且有重大的经济意义和社会效益。

中国石油管材研究所是我国开展失效分析最早的机构之一。管材研究所的前身——宝鸡石油机械厂冶金研究所(中心试验室)早在 20 世纪 60 年代初即开始承担石油管材及石油机械零部件的失效分析任务。1981 年成立石油管材试验研究中心(石油管材研究所的前身)后,失效分析工作进一步加强,每年完成失效分析近百项,解决了一大批石油工程中的重大问题。迄今为止,管材研究所完成的石油管材与装备失效分析项目约 1200 项。应该说,每一个案例都是很宝贵的经验和财富,为此,我们从管材研究所及其前身历年的失效分析报告中精选出 105 篇,再加上石油行业最早的两篇失效分析报告——“威一成管线试压爆破原因分析”(1966 年)、“关基井 P110 7”套管断裂原因分析”(1978 年),共计 107 篇,结集出版《石油管材与装备失效分析案例集(一)》。

1996 年 10 月,在西安召开的全国石油管材与装备失效分析战略研讨会上,师昌绪、李鹤林、钟群鹏、孙振纯及 William R. Warke 等国内外专家做了失效分析方面高水平的学术报告。1992 年 12 月,李鹤林代表管材研究所在全国机电装备失效分析预测预防战略研讨会上做了大会特邀报告。1995 年 8 月,张平生代表管材研究所在全国第三次机电装备失效分析与预测预防战略研讨会上做了大会特邀报告。上述几篇报告对开展失效分析有重要的指导意义,这次也一并编入本书第一部分。

本书由李鹤林、冯耀荣任主编,李平全、张平生、王新虎任副主编。李鹤林长期主持中国石油管材研究所和宝鸡石油机械厂的失效分析工作。早期的许多失效分析报告是他逐篇修改和审定的。冯耀荣先后担任失效分析研究室主任工程师、所副总工程师、总工程师,是失效分析领域的学术带头人,1996 年以后的失效分析报告,主要由他负责审定。李平全和张平生先后担任失效分析研究室主任。李平全在担任副总工程师和副所长期间,对推动失效分析工作发挥了重要作用。管材研究所及其前身先后完成的 1200 篇失效分析报告,大都经过他们的手。选入本书的 107 篇失效分析报告再次由他们把关、审定。

本书由 6 部分组成。第一部分(综述)由李鹤林负责选编;第二部分(钻柱构件)由张国正、李金凤负责选编;第三部分(套管与油管)由吕拴录负责选编;第四

部分(油气输送管)由李平全负责选编;第五部分(钻井机械零部件及井下工具)由王新虎负责选编;第六部分(其他)由张国正负责选编。全书由王新虎等汇总,李鹤林、冯耀荣、李平全、张平生审定。

此外,邝献任、吉玲康、徐瑛等在本书编辑过程承担了校对、联络和图片制作等工作,在此表示感谢。

本书突出失效分析的思路和方法,有助于举一反三。鉴于失效事故的复杂性,对本书所列某些失效案例的分析结论可能有不同看法,这是正常的。希望读者遵循“百家争鸣”的方针,进行深入探讨,以推动失效分析工作的发展,为提高石油管材和装备的质量及安全可靠性做出贡献。

由于作者水平有限,经验不足,书中难免有错误和不妥之处,敬请批评指正。

编 者

2005 年 12 月

目 录

综 述

纵谈失效分析	师昌绪(3)
失效分析的任务、方法与展望	李鹤林(6)
机械失效模式、原因、机理的诊断思路和主要依据	钟群鹏 宋光雄 张 峥等(16)
石油管材失效分析与预防的回顾及展望	孙振纯(24)
石油矿场机械装备和器材的失效分析及预防	李鹤林 冯耀荣(31)
加强应用基础研究,提高石油管材失效分析预测预防水平	张平生 李鹤林(38)
油田材料及设备的失效分析	William R. Warke(46)

钻 柱 构 件

石油钻柱失效分析及预防措施	冯耀荣 李鹤林(55)
钻杆腐蚀疲劳失效及其预防	李平全(63)
钻杆加厚过渡带部位失效分析	李鹤林 宋 治 赵克枫等(76)
G105 钻杆断裂分析	李鹤林 郭 平(85)
S135 钻杆纵向开裂分析	李京川(90)
进口 G105 钻杆断裂分析	解仲英(95)
摩擦焊接钻杆断裂分析	冯耀荣(99)
$\phi 114.3\text{mm}$ 钻杆断裂失效分析	韩晓毅(102)
某油田内涂层钻杆管体断裂失效分析	刘迎来(108)
钻杆过载断裂失效分析	郭 平(111)
S135 钻杆刺穿失效分析	李金凤 冯耀荣(115)
G105 钻杆 CO_2 腐蚀及刺穿失效分析	帅亚民(123)
某油田 G105 钻杆腐蚀疲劳刺穿失效分析	李金凤(128)
某井 $\phi 127.0\text{mm}$ S135 钻杆刺穿失效分析	李金凤(135)
某井 $\phi 127\text{mm}$ S135 钻杆刺穿失效分析	帅亚民(140)
G105 钻杆接头纵向开裂分析	安丙尧(147)
钻杆内螺纹接头 90° 台肩裂纹分析	李金凤 王新虎(156)
加重钻杆断裂及刺穿分析	李金凤(162)
127mm 加重钻杆脆性断裂原因分析	王新虎(167)
钻杆内螺纹接头直角台肩开裂失效分析	帅亚民 王新虎(171)
某油田钻杆冲蚀失效分析	赵克枫(176)

钻铤外螺纹断裂事故分析及预防	韩 勇(180)
某油田 $\phi 177.8\text{mm}$ 钻铤内螺纹接头断裂失效分析	张国正(188)
某油田 $\phi 203\text{mm}$ 钻铤断裂失效分析	帅亚民(196)
某油田钻铤外螺纹接头断裂失效分析	刘迎东(201)
某油田 $\phi 120\text{mm}$ 钻铤内螺纹断裂失效分析	孙晓明 马福保(207)
某油田 $\phi 159\text{mm}$ 钻铤本体断裂分析	葛明君(210)
某井无磁钻铤纵裂原因分析	葛明君(214)
某油田 $\phi 177.8\text{mm}$ 钻铤外表面摩擦裂纹分析	吕拴录 王新虎(218)
某油田短钻铤断裂原因分析	解仲英(221)
$\phi 120.7\text{mm}$ 钻铤断裂原因分析	吕拴录(225)
某井钻铤密封面磨损失效分析	帅亚民(230)
钻杆接头和转换接头的断裂失效分析	冯耀荣 李鹤林(234)
某井 $\phi 127\text{mm}$ E75 钻杆外螺纹接头断裂原因分析	葛明君(238)
某井 $\phi 127\text{mm}$ 钻杆接头断裂失效分析	李金凤(242)
钻杆接头开裂原因分析	张国正(252)
钻杆内螺纹接头纵向开裂原因分析	吕拴录(256)
某井转换接头断裂分析	葛明君(265)
方钻杆保护接头断裂分析	冯耀荣(270)

套管与油管

某井 P110-7" 套管断裂原因分析	四川石油勘探规划设计院(277)
V150 套管破裂原因及超深井套管选材探讨	张国正 张平生 冯耀荣(280)
从报废井拔出套管拉伸试样断口分析	颜 峰 张 毅 郭 平(289)
$\phi 177.8\text{mm}$ V150 套管接箍纵裂分析	苏克玲 李平全(294)
J55 套管外螺纹疲劳失效分析	王新虎(300)
J55 套管射孔开裂分析	张 毅 吉玲康(305)
某井 $\phi 139.7\text{mm} \times 7.72\text{mm}$ N80 LCSG 套管脱扣原因分析	吕拴录 田育洲(311)
$\phi 139.7\text{mm} \times 7.72\text{mm}$ J55 LCSG 套管脱扣原因分析	吕拴录 韩 勇 张国正(319)
$\phi 244.5\text{mm} \times 11.99\text{mm}$ SM 110TT 高抗挤套管失稳变形开裂事故原因分析	吕拴录 韩 勇 李平全等(328)
$\phi 339.7\text{mm} \times 9.65\text{mm}$ J55 套管掉井原因分析	高智海 赵克枫 韩 勇(338)
$\phi 273.1\text{mm} \times 8.89\text{mm}$ J55 CSG 短圆螺纹套管脱扣原因分析	吕拴录(345)
N80 套管破裂失效分析及反馈	李鹤林 安丙尧 冯耀荣等(352)
套管的运输疲劳破坏	张国正 郭 平 冯耀荣等(366)
某井油管细菌腐蚀失效分析	陈志昕 郭生武(373)
某油田 N80 新油管断裂失效分析	李记科(380)
$\phi 73.0 \times 5.51\text{mm}$ N80 UP TBG 外加厚油管粘扣原因分析	吕拴录(386)

φ73.0mm×5.51mm N80 UP TBG 油管穿孔原因分析	吕拴录(390)
某井 N80 BTC 油管腐蚀原因分析	吕拴录 张国正 路民旭等(394)
φ73.0mm EU J55 油管短节断裂原因分析	吕拴录 张国正(401)

油气输送管

某管线试压爆破原因分析	于维华(409)
某油管线试压爆裂和泄漏原因分析	冯耀荣 韩 勇 吉玲康(421)
某天然气管线输气站爆炸事故分析	解仲英 张平生 李鹤林等(437)
某压气站管线环焊缝开裂分析	帅亚民(447)
某油田稠油热采蒸汽输送管爆裂事故分析	李记科 张平生(454)
热轧无缝钢管纵向开裂原因分析	苏克玲 刘迎来(465)
φ1016mm X70 钢管螺旋埋弧焊缝缺陷分析	张鸿博 卞献任 马秋荣等(474)
φ721mm 输送管线试压环焊缝开裂原因分析	韩晓毅 张平生(478)
φ1016mm 输气管线试压环焊缝开裂原因分析	张国正(483)
某气田集输干线管爆裂分析	帅亚民 张平生 李平全(491)
管道冲蚀失效事故分析	刘迎来 帅亚民 李平全(503)
某海底输油管道断裂分析	王新虎(513)
某输气管线用 UOE 管破裂失效分析	帅亚民 张平生(522)
某天然气管线弯管开裂原因分析及对策	刘迎来 李金凤 张平生等(529)
φ660mm X60 环焊缝附近母材内气孔缺陷分析	李金凤 樊治海 袁鹏斌等(536)
某高压注水管线试压爆裂原因分析	张 毅(542)
某甲醇厂混合气管线不锈钢管开裂分析	帅亚民 李平全(545)
某首站 φ720mm 弯头爆裂分析	王新虎 李平全(550)
压力容器与压力管道主要失效模式和典型失效案例	张平生(557)

钻井机械零部件及井下工具

论石油矿场机械的失效分析及反馈	李鹤林(569)
钻具稳定器断裂失效分析及改进措施	冯耀荣 葛明君 李鹤林(574)
随钻震击器断裂分析	冯耀荣 吕拴录 李鹤林(580)
石油钻机刹车鼓失效分析	李鹤林 杨丽萍(587)
某井 φ34.5mm 钢丝绳断裂原因分析	张国正(592)
某井测井电缆钢丝绳断裂原因分析	刘迎来 王新虎(599)
某井套铣筒失效分析	李记科 王新虎(604)
某井取心工具外筒胀大分析	苏克玲(611)
某井钻头巴掌断裂分析	解仲英 王新虎(617)
某井吊卡断裂分析	吕拴录(621)

某井钻头牙轮卡死原因分析 葛明君 王新虎(627)

某井 139.7mm 18°台肩牛头吊卡锁舌断裂原因分析 吕拴录(630)

某井游车大钩钩体断裂分析 吕拴录(637)

其 他

某石化厂余热锅炉蒸发管漏水原因再分析 李平全(645)

斯贝燃气轮机一级转子叶片和二级导向叶片失效分析 郭 平(653)

非金属油罐阻火器失效分析 葛明君(665)

某热电厂发电机组低压缸止逆阀铰制孔螺栓断裂失效分析 张国正 张平生(679)

锅炉管爆裂分析 王新虎(687)

径流式增压器涡轮破碎原因分析 冯耀荣 徐 强(698)

某热电厂阀门爆裂失效分析 帅亚民(705)

7206E 轴承失效分析..... 郭 平(712)

某甲醇厂 $\phi 325\text{mm}$ 弯管爆裂原因分析 张国正(722)

某助剂厂加氢装置仪表引压管线开裂失效分析 帅亚民(727)

综 述

纵谈失效分析*

师昌绪

(中国工程院 北京 100038)

摘 要:本文分析了失效分析的特点和对从事失效分析人员素质的要求,论述了失效分析的目的及效益,提出了失效分析的若干新领域。

关键词:失效分析 人员素质 新领域

国际机械和电子设备失效分析预测预防战略研讨会 1992 年 12 月在北京西郊宾馆召开,包含一百多万字的两本会议论文集的出版表明:在中国,机械和电子设备失效分析已引起了广泛重视并且做了很多工作。机器的精度、自动化程度、使用寿命和失效率代表一个国家的产品质量水平。提高机械和电子设备失效分析的能力是中国科技发展的重要环节。

1 失效分析的特点和对从事失效分析人员素质的要求

失效分析是一项复杂的工作。首先,它是包含材料科学、机械学、力学、腐蚀科学、摩擦学、生态学等多学科的科学。其次,它建立在科学技术和经验相结合的基础上。如果没有科学研究的基础以及没有实践经验,要想对失效做出正确的判断是很困难的。再者,失效分析是自然科学和社会科学(例如管理科学、心理学)的有机结合。虽然,从字面上讲,失效分析是一项技术性工作,但是,如果从事失效分析的人员受本部门或本公司某些人的影响不能站在一个正确的立场上,失效分析也不能成功。因此,从事失效分析工作的任何人不仅应在技术上有坚实的科学知识,而且还必须坚持真理,做到无私无畏。此外,作为一个整体性工作,如果没有全体人员的密切合作,失效分析也无法进行。所以除了制定一套系统的分析方法以外,人的素质也必须给予充分的重视,以保证失效分析工作的顺利进行。

2 失效分析的目的及效益分析

一个具体产品或系统的失效分析的顺利完成可以带来可观的效益。例如:它能提高产品质量,减少甚至杜绝同类失效事故的再次发生,在世界上建立信誉等。正确的失效分析可以帮助管理人员做出正确的决策,使管理体系更加科学。作为一种有用的验证方法,失效分析还可评价或验证科学技术理论的正确性。这已被如飞机场、原子能基地等很多大体系所证实,因为并非所有实验都能在实验室进行。

* 1996 年 10 月在全国石油管材与装备失效分析战略研讨会上的讲话整理,师昌绪院士时任中国工程院副院长、国家自然科学基金委员会副主任、中国科协失效分析与预防中心名誉主任,中国科学院院士、中国工程院院士。

失效分析在提高产品质量和阻止类似事故的发生方面起重要作用。正如中国民航开发公司董先生所讲,对航空工业上和失效有关材料而言,假如失效发生在设计阶段花费为1,在制造阶段的花费便为10,到试车时便为 10^2 ,进入市场就为 10^3 ,到改型时则为 10^4 ,如到发生灾难性事故时的花费可达 $10^5 \sim 10^6$ 。从这点上也可看出民航领域材料质量控制的重要性。除了技术要求以外,在选材时还要考虑经济性、可用性和必要性。实际上没有一种结构材料是十全十美的。在选材时要注意在工作条件下存在的缺陷是否就会变成裂缝,如果在产品设计寿命内此缺陷不会引起灾难性事故,那么可允许此种缺陷存在。为了估计允许缺陷的大小,人们做了很多基础性研究。在此基础上,考虑经济性、可用性和必要性,在选材时就能有一个适当的标准。因为有不同的用途,所以即使对同一种材料也有不同的质量标准,这同样适用于设备制造的过程。所有这些都是为了保证设备安全可靠地运行,以得到最大的利益,并且避免在设计服役期间内失效。为了达到上述目的,我们应该重视应用失效分析所积累的经验,提高设计水平。遵循“失效—提高—再失效—再提高”的模式,将使设备处于最佳状态。

3 失效分析的新领域

如前所述,机械和电子产品的失效分析在国民经济中起着重要作用。随着科学技术的发展,应积极开展下述领域的失效分析。

3.1 微电子器件的可靠性分析

在现代信息时代,大量的微电子器件已在世界范围得到使用。许多不可靠的器件经常引起设备甚至整个系统失灵。所以,对微电子器件的可靠性在国外已进行了很多工作(例如电子漂移、应力引发空位、氧化膜、激光二极管、焊管可靠性和封装等)。微电子器件具有超细、超薄和高集成度的特征。例如,一百多万电子单元可集成在 1cm^2 的一块芯片上,芯片导线长10m,在线宽小于 $0.5\mu\text{m}$ 时,可负荷电流为 $4 \times 10^5 \text{A}/\text{cm}^2$,而家电通常的负荷不大于 $10^2 \text{A}/\text{cm}^2$,芯片上的任何缺陷都可能引起器件失灵。所以为避免失效事故,需要非常精确和可靠的实验设备。作为一个发展中国家,我们必须尽早在高技术方面开始可靠性研究。

3.2 智能材料和智能系统的建立

机械和电子设备的很多失效事故是由于系统缺乏应变及自我修复的能力,现在,对智能材料和智能系统的研究已在国内外开展起来。

智能材料和智能系统正如它们的名字所提示的那样,能够对环境的变化做出及时灵敏的反应;它们本身就有感觉(神经单元)、控制(大脑)和执行能力。虽然这项技术还远不成熟,但将来智能技术一定会得到广泛应用。智能技术和很多学科如材料科学(记忆合金、压电陶瓷、光学纤维等)、物理、化学、力学、计算机及自动控制都有联系。按照从感应元件反馈回来的信息,智能材料和系统对它们能否正常运行能做出自我诊断和应变。在一些紧急情况下,还可以自行修复运行中的某些损伤。因此,凭借智能材料和智能系统,失效事故必将下降。

3.3 新材料功能的开发与失效形式的研究

随着高技术的来临,很多新材料应运而生。这些新材料的机械性能、化学性能和断裂特性与以往的金属材料不同,所以对这些新材料如陶瓷、塑料和复合材料在不同条件下的特性的研

究应尽早进行。除了材料开发和研究领域的科学家外,材料应用方面的工程技术人员和专业人员也应加强对材料的研究。

3.4 加强机械和电子系统的开发,减少灾难性失效事故

借助于计算机,我们可以优化设计、制造和实验过程以提高设计的合理性,产品的安全性和可靠性,降低失效率,这是机械工业的主要发展趋势。

总之,失效分析作为一个多学科的科学,要求从事失效分析人员具有坚实的理论基础和丰富的实践经验。此外,复杂事故的失效分析还需彼此间的合作。在各级政府、企业、科研单位和各大专院校的共同努力下,失效分析工作一定会取得更大的成就。

失效分析的任务、方法与展望*

李鹤林

摘 要:概述了失效与失效分析的概念,以及失效分析的意义、作用和任务;以防止失效为出发点,论述了失效分析的工作思路、程序和辩证方法;展望了失效分析的未来。

关键词:失效分析 失效分析反馈 失效预测预防

美国《金属手册》认为,机械产品的零件或部件处于下列三种状态之一时,就可定义为失效:(1)当它完全不能工作时;(2)仍然可以工作,但已不能令人满意地实现预期的功能时;(3)受到严重损伤不能可靠而安全地继续使用,必须立即从产品或装备上拆下来进行修理或更换时。

机械产品及零部件常见的失效类型包括变形失效、损伤失效和断裂失效三类。

机械产品及零部件的失效是一个由损伤(裂纹)萌生、扩展(积累)直至破坏的发展过程,不同失效类型其发展过程不同,过程的各个阶段发展速度也不相同。例如疲劳断裂过程一般较长,发展速度较慢,而解理断裂失效过程则很短,速度很快。

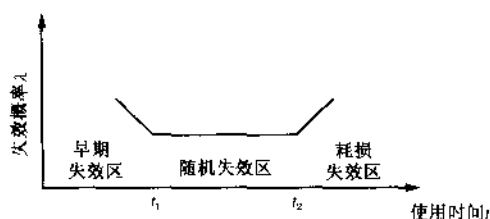


图1 失效浴盆曲线

机械产品及零部件在整个使用寿命期内失效发生的规律可用“寿命特性曲线”来说明,即用失效率(λ)——单位时间内发生失效的比率来描述失效的发展过程。那么在不进行预防性维修的情况下,失效率(λ)与其工作(使用)时间(t)之间具有图1所示的典型失效曲线,俗称“浴盆曲线”。按照“浴盆曲线”的形状,即按照机械产品使用的过程,可将失效分为三类。

(1)早期失效:是在使用初期,由于设计和制造上的缺陷而诱发的失效。因为使用初期,容易暴露上述缺陷而导致失效,因此失效率往往较高,但随着使用时间的延长,其失效率则很快下降。假若在产品出厂前即进行旨在剔除这类缺陷的过程,则在产品正式使用时,便可使失效率大体保持恒定值。

(2)随机失效:在理想的情况下,产品或装备发生损伤或老化之前,应是无“失效”的。但是由于环境的偶然变化、操作时的人为差错或者由于管理不善,仍可能产生随机失效或称偶然失效。偶然失效率是随机分布的,很低而且基本上是恒定的。这一时期是产品最佳工作时间。偶然失效率(λ)的倒数即为失效的平均时间。

* 1996年10月在全国石油管材与装备失效分析战略研讨会上的学术报告。作者李鹤林时任中国石油天然气总公司管材研究所所长、中国科协失效分析与预防中心副主任兼石油管材与装备分中心主任。