

文章编号: 1671-0711 (2006) 09-0057-03

可靠性和维修性 ——现代设计的关键因素(一)

Samo Ulaga, Marjan Brus, Joze Flasker (斯洛文尼亚)

摘要: 提高利润的压力迫使管理人员不得不改进技术以降低资产管理成本, 这改变了维修人员和维修操作的地位。日益复杂的技术系统、公众对产品质量的要求以及关于产品责任的新法律等也进一步推进了可靠性和维修性的发展。

本文描述了可靠性和维修性在总体设计中的地位以及其对寿命周期费用和总体设备效率的影响, 列举了一些实际可行的可靠性和维修性的评估方法, 并给出了一些实例。最后简单地介绍了一些系统方法在斯洛文尼亚“早期设备管理”领域的基本运用和早期成果。

关键词: 维修性; 可靠性; 寿命周期费用; 可靠性评估

中图分类号: TH12 **文献标识码:** B

1. 前言

维修性和可靠性是整体设计中非常重要的固有设计因素。遗憾的是由于缺乏简单有效的方法, 以及完成相应的分析所必须的足够信息, 在设计中常常不能对维修性和可靠性系统地进行考虑。

整个设计过程, 从方案的提出到具体的设计, 是非常复杂的。整个过程包括创造性的思考, 准确地计算分析和工程评价。没有一个“万能”的方法, 既包括了上述所有功能, 又能对可靠性和维修性进行评估和保证。

到可靠性和维修性在核工业、航空业和加工业以及其他一些失效会造成严重后果(失效常常造成人员的伤亡以及重大的经济损失)的行业, 其重要性是显而易见的。设计的可靠性和维修性分析, 早在产品的研制阶段就能识别关键的失效模式和潜在的事故原因和损失。

在整个产品的全部寿命中, 寿命周期的早期阶段通常是花费最小的阶段, 这一阶段也是制定、实施至关重要的可靠性和维修性政策的阶段。随着产品的使用, 其寿命周期不断向前推进, 关于可靠性和维修性的任何措施都变得越来越昂贵。一般说来, 在设计和研制阶段, 大概要花费整个寿命周期费用的 15%, 但却对 95% 的寿命周期费用起到了决定作用, 如图 1 所示。

机械设备有各种用途, 并且很容易产生疲劳、磨损以及其他形式的失效, 导致设备的老化。“机

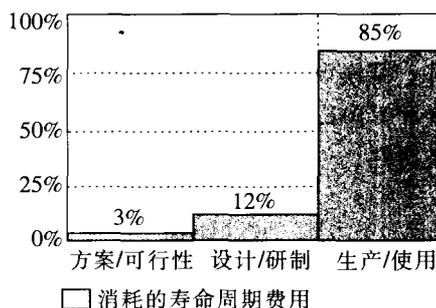


图 1 在设备的寿命周期内寿命周期费用的影响和消耗

械的可靠性是当一个部件、装置或系统被正确地使用时, 在规定的时间内、规定的环境中完成规定的功能而不出现失效的概率^[1]。对产品可靠性的估计需要掌握有关零部件的设计、生产以及使用条件的知识。目前, 已经发展了许多定量评估产品可靠性的方法, 并且已经采用。设计评估技术必须提供重要的故障模式、期望的设备性能、备件要求和资源再分配的信息。在进行可靠性分析时, 一般要对三种故障进行讨论: 早期故障, 偶然故障和耗损故障。可靠性预计方法在原则上可以分为以下几类。

□经验法 基于过去的经验结合使用条件进行建模^[2]。

□确定性的可靠性模型(应力-强度关系模型、动力模型、失效模型的物理机理)。

□基于部件失效率的定量方法(从类似文献^[3]的数据库或者是现场使用数据中获得)。

□分析法（故障树分析，故障模式、影响与危害性分析、故障模式列表……）。

一个实用的模型必须提供对设备的可靠性进行预计的能力，这可以通过考虑实际使用环境下预期的失效模式来实现。可靠性预计的过程是一个非常复杂的过程，因为机械装置往往是多个部件同时工作，载荷状态也经常处于变化之中，而且材料性能也各不相同。

“维修性定义为现场部件或系统在规定的条件下和规定的时间内，按照规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复其规定状态的能力^[4]”。目前有许多维修性预计程序被应用，这些程序的应用基于特定的设备类型，可获得信息的级别、期望的预计准确性级别以及产品的寿命周期时间等有关信息。根据文献^[5]，维修性分析有五个主要的目标。

- 建立能够提供预期维修性特征的设计标准。
- 能够适应设计上的改进。
- 对备件、维修设备、训练等进行定义。
- 为维修和保障提供策略性评价的工具。
- 根据维修性，可以对产品的改进设计提供方法。

下面是一些得到广泛认可的维修性分析方法。

- 设备停机时间分析。
- 故障模式影响分析。
- 人员因素分析。
- 故障树分析。

有多种方法和技术被用来预计工业系统的可靠性和维修性，每种方法都是为了特定的目的而设计，因此适用性受到限制。本文的目的是提出一些能在设备的设计以及适应使用阶段可用的有关可靠性和维修性的方法。

2. 典型的可靠性维修性预测方法

2.1 经验程序法

正如文献^[2]中提出的，要从零部件材料的特性、使用环境和关键的失效模式，来进行可靠性和维修性的设计。下面提出的关于工艺系统长期可靠性的实例，是建立在齿轮的失效率计算的基础上提出的。

齿轮的老化不仅影响传动系统，而且能够影响关联部件。齿轮通常是遵照不同的标准（ISO，DIN，AGMA，ETC.）来设计的。根据文献^[2]，齿

轮系统的失效率计算应该基于单个齿轮的失效率数据（由制造商提供或是从公认的数据库或者现场使用数据获得），然后再根据实际使用条件的不同利用权重系数进行适当的调整。失效率的计算公式如下。

$$\lambda_G = \lambda_{GB} \cdot C_{GS} \cdot C_{GP} \cdot C_{GA} \cdot C_{GL} \cdot C_{GT} \cdot C_{GV}$$

式中：

$\lambda_G =$	齿轮的失效率（每使用 10^6 小时的失效次数）
$\lambda_{GB} =$	失效率基础数据（制造商，现场使用数据，数据库，通常给定指定的速度，负荷，润滑和温度）
$C_{GS} =$	考虑速度偏差的倍加系数
$C_{GP} =$	考虑实际负荷的倍加系数
$C_{GA} =$	考虑轴线不重合度的倍加系数
$C_{GL} =$	考虑润滑误差的倍加系数
$C_{GT} =$	考虑使用温度的倍加系数
$C_{GV} =$	考虑 AGMA 保养因素的倍加系数

下面是一个正齿轮的例子：

$$\lambda_{GB} = 2, \quad \frac{V_o}{V_d} = 1.02, \quad \frac{L_o}{L_d} = 1.1, \quad A_E = 1.0^\circ, \quad \frac{V_o}{V_d} = 1.04,$$

$$\frac{T_o}{T_d} = 1.1, \quad C_{GV} = 1.25$$

预期的失效率：

$$\lambda_G = 2.0 \times 2.01 \times 40.36 \times 12.43 \times 1.02 \times 1.33 \times 1.25 = 3\ 420 \text{ 次失效}/10^6 \text{ 使用小时}$$

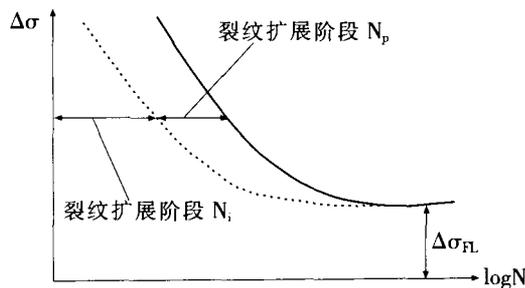


图2 裂纹产生、生产与负载和循环次数之间的关系

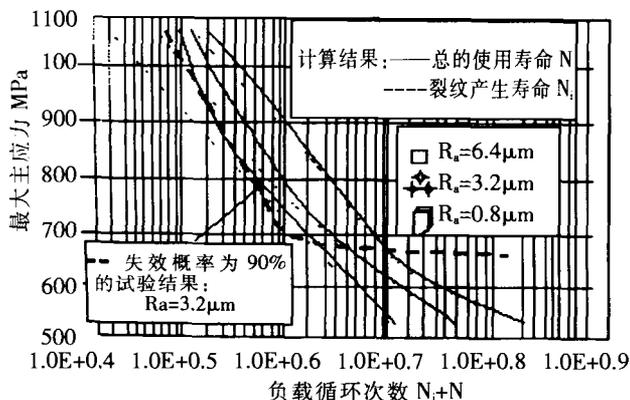


图3 预计的正齿轮的齿根使用寿命[6](经作者授权)

文章编号: 1671-0711 (2006) 09-0059-02

设备的修理 (续)

48. 压铸机 $JF=K_1\sqrt{P}+K_2S+K_3L$

设备技术参数	系数	
P—最大压力 MPa	K_1	0.8
S—动模板行程 mm	K_2	0.02
L—模板间最大距离 mm	K_3	0.001

49. 抛丸清理室 $JF=a(K_1L+K_2D+ZK_3d+K_4H)$

设备技术参数	系数		
L—清理室长 mm	K_1	0.001	a
D—回转直径 mm	K_2	0.0025	普通 1.0
d—抛丸器直径 mm	K_3	0.005	移动小车及输送链 1.25
H—提升高度 mm	K_4	0.001	
Z—抛丸器数量			

50. 抛砂机 $JF=a(K_1R+K_2L+K_3H)$

设备技术参数	系数		
R—抛砂头的作用半径 mm	K_1	0.0015	a
L—长臂和短臂输送器的总长度 mm	K_2	0.0005	静止式 1.0 移动式 1.3
H—提升机的高度 mm	K_3	0.0005	

2.2 确定性的可靠性模型

确定性模型一般是为了一些特定的物理现象而建模, 应用起来通常比较困难, 但他们常常可以准确地对机械部件的使用寿命进行预测。下面通过一个确定齿轮使用寿命的计算模型进行说明^[6]。

应用应力-寿命法对产生疲劳裂纹所需的负载周期进行了研究 (见图 2), 应用 Paris 定律对疲劳裂纹的生长进行了模拟。

图 3 中给出了一种典型齿轮 ($mn=4.5$, $z=39^\circ$, $a=24^\circ$, $x=0.06$, $b=28\text{mm}$, 42CrMo4) 以及三种经过不同程度表面加工的齿轮的分析结果。

(未完待续)

(装甲兵工程学院 杨宏伟, 王丽译)

51. 碾砂机 $JF=K_1N+K_2d+K_3D$

设备技术参数	系数	
N—按技术性能的功率 kW	K_1	0.15
d—碾辊直径 mm	K_2	0.005
D—碾盘直径 mm	K_3	0.001

52. 喷砂机 $JF=K_1D+K_2S+K_3L+K_4B+K_5d$

设备技术参数	系数	
D—混合室直径 mm	K_1	0.01
S—喷砂头或套筒行程 mm	K_2	0.005
L—工作台的长度 mm	K_3	0.001
B—工作台的宽度 mm	K_4	0.002
d—翻转混合滚筒的气缸直径 mm	K_5	0.03

53. 旋臂起重机 $JF=K_1Q+K_2L+C$

设备技术参数	系数	其他数值	
Q—起重量 t	K_1	0.18	C 值
L—旋臂伸出长 m	K_2	0.16	具有旋转柱的 1.0 机械驱动 2.0

54. 单梁桥式起重机 $JF=a(K_1Q+K_2B)+C$

设备技术参数	系数			其他数值	
Q—起重量 t	K_1	0.8	a	C=C ₁ +C ₂	
B—跨度 m	K_2	0.25	电动 1.2	C ₁	0.4x
X—减速器速度级数			手动 1.0	C ₂	位置在其他起重机下 1.0 其他情形 0

55. 电动双梁桥式起重机 $JF=a(K_1Q+K_2g+K_3B+K_4n)+C$

设备技术参数	系数				其他数值	
Q—主钩起重量 t	K_1	0.25	a		C=C ₁ +C ₂ +C ₃ +C ₄ +C ₅	
g—副钩起重量 t	K_2	0.2	Q≤10t	1.0	C ₁	0.8x
B—跨度 m	K_3	0.5	Q>10~50t	1.1	C ₂	1.5y
n—大车车轮数	K_4	0.75	Q≥75t	1.2		带回转桥架 1.0
x—减速器速度级数					C ₃	带磁力盘 0.5 带抓取器 0.6
					C ₄	小车下置有滚筒 0.8
					C ₅	双层桥架 1.7

注:y—小车速