

湖南师范大学

工程与设计学院

研究生作业

课程名称: 浅谈机械零件可靠性设计
教师姓名: 朱瑞林
研究生姓名: 高星
学 号: 201580180367
专业方向: 机械工程

2017 年 2 月 10 日

浅谈机械零件可靠性设计

摘要：机械零件可靠性设计是保证机械产品可靠性的基础和关键。首先介绍机械零件可靠性的特点及其可靠性参数、机械可靠性设计与传统机械设计之间的关系；结合可靠性理论对机械可靠性设计理论进行分析，阐明了可靠性优化设计、可靠性灵敏度设计、可靠性稳健设计、可靠性试验、传统设计方法与可靠性设计相结合等机械零件可靠性设计理论与方法的内涵，为机械零件可靠性设计提供方法。

关键词：机械零件；可靠性设计；可靠性优化设计；可靠性灵敏度设计；可靠性稳健设计

0 引言

现代机械零件质量是否合格的四大指标分别为：可靠性、安全性、经济性、性能，而可靠性是其最核心指标，并成为机械领域关注的焦点。随着科学技术的飞速发展，对机械产品可靠性要求也不断提高。要提高机械产品的可靠性，首先应从设计上提高机械产品的固有可靠性，然后在制造中加以保证。从某种意义上讲，从事机械零件与系统的可靠性预计、评价及可靠性设计是提高机械产品可靠性的有效途径。

所谓可靠性就是指在规定时间和条件下产品完成特定功能的能力，可分为：固有可靠性、使用可靠性和环境适应性。机械系统随着科技发展的脚步变得越来越精密、越来越复杂，研究机械的可靠性就成了急需解决的问题。

1 机械可靠性的特点

1.1 机械产品可靠性预计困难

由于机械产品的失效机理复杂多变，加之缺乏准确完整的数据，机械零部件的可靠性就很难预计；另外，由于机械产品可靠性模型难于建立，很多

依赖于系统可靠性模型的预计方法也很难应用于机械产品可靠性预计中。

1.2 机械产品的故障模式具有多样性和复杂性

机械产品的故障模式与其材料、具体结构、载荷性质和大小等有密切关系,故障模式之间还存在着相关性。实现同一功能要求,由于采用不同的结构形式,可以改变机械产品零部件的应力状态。失去规定的功能可以是损坏、失调、渗漏、堵塞、老化、松脱或它们的组合等多种表现形式。一个零部件可能有多种故障模式,同一故障模式可能发生在不同部位,增加了故障模式分析的难度和复杂性。

1.3 机械零部件通用化、标准化程度低

机械产品的大多数零部件都是非标准件,只有少数零部件如轴承、密封件、阀、泵等已实现标准化、通用化。大部分零部件由于功能、结构各异,只能将其特征参数(如齿轮模数、液压缸直径、螺纹直径等)标准化。设计人员在系统设计的同时,还要根据具体结构要求及载荷性质、几何尺寸进行零部件设计。而机械可靠性设计的难点之一是缺乏材料强度和载荷分布的数据,难以给出像电子元器件那样工程上实用的机械零部件故障率手册。

1.4 机械零部件的故障既有偶然性故障,又有耗损性故障

后者的故障机理大多与磨损、疲劳、腐蚀、老化等耗损过程密切相关,具有渐变性的特点,故障率是时间的函数,渐变性失效是通过极限状态准则(即耐久性准则)进行判断,这与电子元器件以偶然性故障为主的特点有所不同,用故障率为常数的数学模型描述也受到局限。所以机械产品的寿命问题是主要的,有必要引入耐久性。

2 机械产品的可靠性参数

机械可靠性的参数较多, 如可靠度、可靠寿命、失效率、平均寿命、平均故障间隔时间等。对于机械系统而言, 大部分系统是可修复的, 从设计的角度对机械产品不仅要求其具有先进的技术性能和良好的使用效果, 还要具有合理的经济性。选用哪些参数进行可靠性设计比较合适, 应根据各产品的具体情况和用户的要求。而对机械零件而言, 大多是不可修复的, 在维修时一般给予更换。所以在设计机械零件时, 不但要确保其可靠度, 更为重要的是使其设计寿命达到可靠性要求。无论对系统和零件而言, 可靠度都是设计时最为通用和重要的指标。

2.1 零件的可靠度

机械零部件设计的基本目标是在一定的可靠度下保证其危险断面上的最小强度不低于最大的应力。应力和强度都不是一个确定的值, 而是由若干随机变量组成的多元随机变量。由强度 S 的概率密度函数 $f(S)$ 和应力 s 的概率密度函数 $f(s)$ 可得零件的可靠度 R_i :

$$R_i = \int_{-\infty}^{+\infty} f(s) \left(\int_s^{\infty} f(S) dS \right) ds$$

2.2 平均寿命、平均故障间隔时间

平均寿命是产品寿命的平均值, 常用于评价一批产品的可靠性, 平均寿命对于不可修复和可修复产品, 含义分别为:

- 对于不可修复的产品, 其寿命是指它失效前的工作时间。因此, 平均寿命就是指该产品从开始使用到失效前的工作时间的平均值, 一般称为失效前平均时间, 记为 $MTTF$ 。
- 对可修复产品, 其平均寿命是指故障间隔时间的平均值, 记为

$MTBF$ 。

2.3 可靠寿命

任何机械系统均有设计寿命问题, 在设计寿命范围内, 并不是所有机械系统都能可靠工作, 为此需要用可靠寿命来度量设计寿命内可靠工作的能力。

可靠寿命是给定的可靠度对应的工作时间, 记为 $t(R)$ 。

2.4 失效率

失效率也是机械可靠性设计常用的参数, 其定义是工作到某时刻 t 时尚未失效的产品, 在该时刻 t 以后的下一个单位时间发生失效的概率。

3 传统设计和可靠性设计

3.1 传统设计

传统设计方法是以直觉设计、经验设计、静态设计、为基础的设计方法、在传统的机械设计方法进行设计时、不能预测零部件在运行中破坏的概率, 一是因为在设计中所采用的载荷、材料性能等数据, 是他们的平均值, 没有考虑到数据的分散性, 而是为了保证机械的可靠性, 往往对计算载荷、选用强度等分别乘以各种系数, 如载荷系数、尺寸系数、齿宽系数等, 对于实际的应力, 或者其他数值与理论推导不同时, 还要有各种修正系数; 最后, 还要考虑到安全系数, 这种传统方法是人们对这些因素的随机变化所做的经验估计, 并不等于因素的实际情况, 与此同时, 由于对这些随机变化的因素无法进行精确计算, 只好将尺寸、重量等作又不精确的放大。

1. 理论设计; 根据长期总结出来的设计理论或者实验数据所进行的设计, 称为理论设计。

2. 经验设计; 根据对某类零件已有的设计或使用实践而归纳出经验关系式, 或根据设计者本人的工作经验用类比的方法所进行的设计叫做经验设计, 这对那些使用要求变动不大结构形状已经典型化的零件, 是很有效的设计方法, 但是这种方法是经验设计, 精确度和可靠性无法量化的保证, 并且现在的机械系统越来越复杂, 技术含量越来越高, 经验设计的方法已经不能再满足市场需要。
3. 模型试验设计; 对于一些尺寸巨大而结构又很复杂的重要零件, 尤其是一些重型整体机械零件, 为了提高设计质量, 可以采用模型实验设计的方法, 即把初步设计的零件、部件或者机器制成小模型或小尺寸样机, 经过实验的手段对其各方面的性能进行检验, 根据实验结果对设计进行逐步修改达到完善, 但是这种方法费时、昂贵, 因此只用于特别重要的设计中。

3.2 可靠性设计

20 世纪初期把概率论及数理统计学应用于结构安全度分析, 已标志着结构可靠性理论研究的初步开始. 20 世纪 40 年代以来, 机械可靠性设计理论有了长足的发展, 目前为止已经相当成熟, 尤其是许多国家开始研究在结构设计规范中的应用, 使机械可靠性设计理论的应用进入一个新的时期.

对当前机械产品而言, 如何提高设计质量、完善设计理论、改进设计技术、缩短设计周期是最重要的, 而这些都与可靠性有着密切的联系. 可靠性技术已深入机械零部件结构设计、强度设计以及失效分析中, 这些研究标志着可靠性理论已经进入实用阶段. 机械零件可靠性理论研究工作已经成为机械工程中的研究热点, 目前有大量论文和专著, 已证实结构系统可靠性分析和计算方法相当成熟. 就目前的发展趋势看如下几方面应是工程机械结构可靠性理论研究的热点.

1. 可靠性优化设计; 可靠性优化设计是在可靠性基础上进行优化设计, 既

能定量地满足产品在运行中的可靠性,又能使产品的尺寸、成本、质量、体积和安全性等参数得到优化,从而保证结构的预测工作性能与实际工作性能更符合.该方法将可靠性分析理论与数学规划方法有机地结合在一起,在对各参数进行可靠性优化设计时,首先以机械零件的可靠度作为优化的目标函数,使零件的某些指标(成本、质量、体积或尺寸)最小化,再以强度、刚度、稳定性等设计要求为约束条件建立可靠性优化设计数学模型,根据模型的规模、性态、复杂程度等因素选择合适的优化方法,最后求出最优设计变量。

2. 可靠性灵敏度设计;可靠性灵敏度设计是在可靠性基础上进行灵敏度设计,充分反映各设计参数对机械产品失效影响的不同程度,便于找出哪些随机变量对机械零件可靠性设计的敏感性影响较大,并对此参数进行重分析和再设计.即通过估计设计变量变差和约束变差对质量性能指标影响的大小,改变设计参数中影响较大的参数以使产品对可控因素变差和不可控因素变差的影响失去灵敏性.可靠性灵敏度设计首先建立极限状态方程,然后对各设计参数求偏导数,得到可靠性的灵敏度计算公式,进而确定各设计参数的灵敏度,用灵敏度数值作为再设计时修改设计参数的依据,从而使得参数修改、再设计工作事半功倍。
3. 可靠性稳健设计;可靠性稳健设计是在可靠性设计、优化设计、灵敏度设计和稳健设计的基础上进行的;稳健设计能使产品的性能对在制造期间的变异或使用环境的变异不敏感,并使产品在其寿命周期内,不管其参数、结构发生漂移或老化(小范围内),都能持续可靠地工作的一种设计方法.可靠性稳健设计在设计阶段通过灵敏度分析,使产品在不消除、不减少不确定性因素的情况下,通过设计使不确定性因素对产品质量影响的敏感程度最小,从而提高产品质量、降低产品成本。
4. 可靠性试验;就目前来看可靠性理论研究可以说相当成熟,但是可靠性试验却不是很完善.可靠性试验是对产品的可靠性进行调研、分析和

评价的一种手段,其目的是发现产品在设计、材料和工艺方面的各种缺陷,为改善产品的战备完好性、提高任务成功率、减少维修费用及保障费用提供信息,确认是否符合可靠性定量要求。我们通过试验一方面要获取可靠性数据,另一方面要通过产品在试验中发生的各种故障,找出其原因并进行细致的分析和研究以提高产品的可靠性。但实际机械零件的设计方案如果有改变,就必须重新进行一次试验分析,这需要花费很大的人力、物力和财力,所以在可靠性试验前利用一些高性能的软件进行模拟分析能减少试验次数,节约时间和研究基金。

5. 传统设计与可靠性设计相结合;可靠性设计理论一方面缺少基础数据,另一方面,即使对一个简单的结构,其失效模式也可能多到难以计数,所以在一般产品的设计中推行可靠性概率的设计是十分困难的;传统安全系数法虽存在不足,但有直观、简单、设计工作量小等优点,并在许多情况下能保证机械零件的可靠性,尤其对不重要的情况或者因素非常复杂且难精确分析的情况,有丰富经验基础的安全系数法很有价值,因此还不能完全摒弃安全系数设计法。目前采用概率设计法的概念去完善和改进传统的安全系数,使可靠性和安全系数直接联系,广泛应用现有的各种设计方法对产品进行设计计算,并与采用可靠性概率设计方法得出的结果以及实物试验的结果进行比较,从而积累经验,收集和整理可靠性设计数据。

4 结束语

可靠性是产品的一种动态质量指标,在现代化生产中已经贯穿在产品的开发、设计、制造、试验、使用及维修保养的各个环节之中,所以可靠性设计技术是机械工程学科重要的研究方向之一,而就机械工程而言,其可靠性问题的解决总是理论与工程经验的结合,对于可靠性知识掌握越多,主观经验的运用就会越少,自然机械结构的设计也就越合理,这正是机械工程技术

研究追求的目标。本文首先介绍机械零件可靠性的特点及其可靠性参数、机械可靠性设计与传统机械设计之间的关系;结合可靠性理论对机械可靠性设计理论进行深入分析。

参考文献:

- [1] 张立博. 探讨机械工程的可靠性优化设计 [J]. 科协论坛: 下半月, 2012(03):38-39.
- [2] 班德利. 电器产品的可靠性设计 [J]. 城市建设理论研究,2013(22): 1-4.
- [3] 王志刚,戴柏林. 可靠性技术的发展与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社,2010.
- [4] 尹廷亭. 机械可靠性试验技术研究现状和展望 [J]. 科技创新导报, 2014(12):22-23.
- [5] 杨家铨, 等. 可靠性工程 [Z]. 广州: 电子工业质量与可靠性培训中心
- [6] 李良巧, 等. 机械可靠性设计与分析 [M]. 北京: 国防工业出版社