



JIXIE XITONG SHEJI GUOCHENG JI FANGFA TANJIU

机械系统设计过程 及方法探究

朱定见 著

中国原子能出版社

中国原子能出版社 2014年

ISBN 978-7-5022-4770-1

机械系统设计过程 及方法探究

朱定见 著

中国原子能出版社

www.cnea.com.cn
北京 223843 010-88421443

图书在版编目(CIP)数据

机械系统设计过程及方法探究 / 朱定见著. -- 北京 :
中国原子能出版社, 2019. 4

ISBN 978-7-5022-9770-1

I. ①机… II. ①朱… III. ①机械系统—系统设计—
方法研究 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 082488 号

内 容 简 介

本书从整体的角度和系统的观点出发,分析了机械系统的组成及其特点,阐述了机械系统的设计内容、设计过程和设计方法,主要内容包括:机械系统设计方法、机械系统的方案设计与总体设计、传动系统设计、执行系统设计、操纵系统设计、控制系统设计、机械系统实用设计技术、机械系统综合设计实践等。本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作。

机械系统设计过程及方法探究

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 张琳

责任校对 冯莲凤

印 刷 三河市铭浩彩色印装有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13

字 数 233 千字

版 次 2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-9770-1 定 价 60.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>

E-mail: atomep123@126.com

发行电话: 010-68452845

版权所有 侵权必究

前 言

随着科学技术的发展和社会的进步,人们对机械系统及装备的要求越来越高。机械系统及装备除了要实现基本的工作要求,还要具有美观、操作简便、维修容易、安全、节能、环保、智能、遥控等附加功能,因而越来越复杂,涉及的相关知识领域越来越多,如机械、电子、数学、力学、人机工程、人工智能、环境、材料等领域。传统的机械设计主要是以解决运动学和动力学的问题为主,即以实现基本工作要求为主,已不能满足现代机械系统及装备的设计要求。为了顺应时代发展,一些专家、学者提出了机械系统设计概念,有力地推动了机械系统设计的发展。

本书以现代制造业广泛使用的机械装备为典型机械系统,并兼顾其他一般机械系统,阐述机械系统设计过程及方法。本着在系统、科学的基础上,兼顾全面与重点的撰写原则,力争对机械系统设计所涉及的基本知识和基本技能综合进行全面介绍。本书不仅重点介绍机械系统的方案设计与总体设计,还介绍了机械系统设计中必不可少的重点内容,如动力与传动系统、支承系统、执行系统及操控系统等。全书共分为9章,主要内容如下:第1章机械系统与设计,第2章机械系统设计方法,第3章机械系统的方案设计与总体设计,第4章传动系统设计,第5章执行系统设计,第6章操纵系统设计,第7章控制系统设计,第8章机械系统实用设计技术,第9章机械系统综合设计实践。

本书写作的目的在于让读者了解机械系统的全貌,掌握具体的设计过程和方法。在此基础上,还要掌握相关机械设计与制造的新技术、新工艺、新材料的发展趋势,同时兼顾机械零件润滑、密封与冷却,以及机械系统安全与绿色设计的内容。在内容相对稳定的基础上,力求吸取最新科技成果,使其具有一定的前瞻性。本书在编排上突出科学性和应用性紧密结合的特点,书中阐述的机械系统设计规律和理论均强调实用性。

本书在撰写过程中参考了大量的书籍、专著和文献,在此向这些文献原作者一并表示诚挚的敬意和谢意。由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在一些不足之处,敬请广大读者和专家给予批评指正。

作 者

2018年11月

目 录

第 1 章 机械系统与设计	1
1.1 系统与机械系统	1
1.2 机械系统的基本特征	1
1.3 机械系统设计的任务和原则	2
1.4 机械系统设计的一般过程	3
1.5 机械系统的发展趋势和前沿技术	4
第 2 章 机械系统设计方法	6
2.1 创新设计方法	6
2.2 可靠性设计方法	8
2.3 有限元设计方法	13
2.4 优化设计方法	20
第 3 章 机械系统的方案设计与总体设计	25
3.1 设计任务的形成与确定	25
3.2 机械系统的功能分析及指标分解	27
3.3 机械系统的方案设计	29
3.4 机械系统方案的评价	30
3.5 机械系统总体设计思想	33
3.6 机械系统总体布置及主要技术参数的确定	34
3.7 机械系统总体设计实例	37
第 4 章 传动系统设计	45
4.1 传动系统概述	45
4.2 传动系统设计与分析	46
4.3 有级变速传动系统的运动设计	48
4.4 分级变速的特殊设计	54
4.5 无级变速传动系统的运动设计	57
4.6 传动系统设计实例	62
第 5 章 执行系统设计	68
5.1 执行系统概述	68

5.2	常用的典型执行机构及其主要性能特点	69
5.3	执行系统的设计	73
5.4	执行机构的创新设计	75
5.5	执行机构设计实例	88
第6章	操纵系统设计	91
6.1	操纵系统概述	91
6.2	单独和集中操纵机构	92
6.3	离合、制动系的操纵机构	94
6.4	操纵系统中的安全保护装置	100
6.5	机械系统设计中的人机工程学及造型设计	106
6.6	操纵系统设计实例	112
第7章	控制系统设计	121
7.1	控制系统概述	121
7.2	常用控制方式的原理及特性	122
7.3	控制电机和位置检测装置	127
7.4	控制系统设计	136
7.5	几种典型控制系统举例	138
7.6	控制系统设计实例	144
第8章	机械系统实用设计技术	156
8.1	机械结构系统的刚度	156
8.2	机械系统噪声控制	156
8.3	隔振装置	158
8.4	润滑、密封及冷却系统设计	164
8.5	安全设计	166
8.6	绿色设计	167
8.7	设计实例	168
第9章	机械系统综合设计实践	174
9.1	机械系统综合设计概述	174
9.2	齿轮减速器的设计	175
9.3	小型标牌雕刻机的设计	181
9.4	机械系统仿真设计实例	189
	参考文献	196

第1章 机械系统与设计

机械系统是机电一体化系统的最基本要素,主要用于执行机构、传动机构和支承部件,以完成规定的动作,传递功率、运动和信息,支承连接相关部件等。机械系统通常是微型计算机控制伺服系统的有机组成部分,因此在机械系统设计时,除考虑一般机械设计要求外,还必须考虑机械结构因素与整个伺服系统的性能参数、电气参数的匹配,以获得良好的伺服性能。

1.1 系统与机械系统

系统是指具有特定功能的,相互间具有有机联系的,由许多要素构成的一个整体。一般认为,由两个或两个以上的要素组成的具有一定结构和特定功能的整体,都可看作是一个系统。

由若干机械要素组成,彼此之间有机联系,并能完成特定功能的系统称为机械系统。

1.2 机械系统的基本特征

机械系统的基本特征如下:

(1) 整体性。

整体性是机械系统所具有的最重要和最基本的特性。系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素构成的统一体。虽然各要素具有各自不同的性能,但它们结合后必须服从整体功能的要求,相互间需协调和适应。

(2) 相关性。

组成系统的要素是相互联系、相互作用的,这就是系统的相关性。相关性就是系统各要素之间的特定关系,包括系统的输入与输出的关系、各要素间的层次关系、各要素的性能与系统整体之间的关系等。

(3) 层次性。

系统作为一个相互作用的诸要素的总体,它可以分解为一系列的子系

统,并存在一定的层次结构,这是系统空间结构的特定形式。

(4)目的性。

系统的价值体现在实现的功能上,完成特定的功能是系统存在的目的。系统的目的性是区别这一系统和那一系统的标志。

(5)环境适应性。

任何一个系统都存在于一定的物质世界的环境中。因此,它必然也要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换,外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间输出、输入的变化,从而会使系统的输入发生变化,甚至产生干扰引起系统功能的变化。不能适应外部环境变化的系统是没有生命力的,而能够经常与外部环境保持最优适应状态的系统,才是理想的系统。

1.3 机械系统设计的任务和原则

1.3.1 机械系统设计的任务

机械系统设计的任务是开发新的机械产品,改造老的机械产品。机械系统设计的最终目的是为市场提供优质高效、价廉物美的机械产品,在市场竞争中取得优势,赢得用户,并取得较好的经济效益。任何好的、先进的机械产品,只有通过设计并采用当代各种先进的技术成果,才能成为现实。因此,设计体现了时代性和创造性。

1.3.2 机械系统设计的基本原则

机械系统的基本设计原则主要有:

(1)需求原则。

所谓需求是指对产品功能的需求,若人们没有了需求,也就没有了设计所要解决的问题和约束条件,从而设计也就不存在了。所以,一切设计都是以满足客观需求为出发点。

(2)信息原则。

设计人员进行产品设计之前,必须进行各方面的调查研究,以获得大量的必要的信息。这些信息包括市场信息、设计所需的各种科学技术信息、制造过程中的各种工艺信息、测试信息及装配、调整信息等。

(3) 系统原则。

任何一个设计任务,都可以视为一个待定的技术系统,而这个待定技术系统的功能则是如何将此系统的输入量转化成所需要的输出量。这里的输入、输出量均包括物质流、能量流和信息流。在这三大流中,有系统需要的输入、输出量,也有系统不需要的输入、输出量,如机床在加工过程中,主轴带动工件(刀具)旋转及加工出合格的零件是需要的输入、输出量;而主轴的振动、发热、噪声等是不需要的输入、输出量。设计时,应将这些不需要的输入、输出量控制在允许值范围内,且越小越好。

(4) 优化、效益原则。

优化是设计人员在设计过程中必须关注的又一原则。这里的优化是广义的,包括原理优化、设计参数优化、总体方案优化、成本优化、价值优化、效率优化等。优化的目的是为了提高自己的技术经济效益及社会效益,所以,优化和效益两者应紧密地联系起来。

1.4 机械系统设计的一般过程

机械系统设计的一般过程包括:计划、外部系统设计(以下简称外部设计)、内部系统设计(以下简称内部设计)、制造、销售、产品使用和回收等阶段。各阶段的工作步骤和内容如下所述。

(1) 计划。

根据产品发展规划和市场需要提出设计任务书,或由上级主管部门下达计划任务书,明确设计目的和必须达到的功能要求。

(2) 外部设计。

① 调查研究。进行市场调查,占有技术情报和资料,掌握外部环境条件,预测市场趋势。

② 可行性研究。进行技术研究和费用预测,对市场前景、投资环境、生产条件及规模、生产组织、成本与效益分析,提出可行性研究报告。

③ 系统计划。明确设计任务、目的和要求,搞清外部环境的作用和影响,制作系统开发计划书。

(3) 内部设计。

① 初步设计。根据工作原理,制订设计总体方案,对可行的各方案进行分析比较后进行总体布置设计,关键性零部件的试验研究。

② 系统分解。将总体分解成子系统,绘制系统图,以便于分析和设计。

③ 系统分析。分析和确定该系统的目的和要求,进行模型化,优化与评

价,确定最佳的系统方案。

④技术设计。进行子系统的技术设计和总体系统的技术设计,计算并确定出主要尺寸,绘制部件装配图和总图,必要的关键性试验。

⑤工作图设计。绘制全部的零件工作图,编写各种技术文件和说明书。

⑥鉴定和评审。对设计进行全面的、技术、经济评价,分析内部系统对环境的作用和影响。

(4)制造和销售。

①样机试制。试制并做样机试验。

②样机鉴定和评审。对样机进行全面的鉴定和评审。

③改进设计。对不能满足系统要求的技术、经济指标进行分析,根据样机鉴定和评审意见修改设计。

④小批试制。对单件生产的产品,经修改、试验、调整后,投入运行考核,并在运行中不断改进与完善。对大量生产的产品,通过小批试制进一步考核设计的工艺性,并不断修改和完善设计,同时进行工艺装备的准备工作。

⑤定型设计。完善全部工作图、技术文件和工艺文件。

⑥销售。

(5)产品使用。

将产品投入到实际应用中,并且不断反馈产品信息、检验产品质量、改进产品性能。

(6)产品回收。

把退出应用领域的产品回收,实现资源的再利用,原因是人们对环境保护和废品再利用的认识不断提高。

1.5 机械系统设计的发展趋势和前沿技术

随着新工艺、新材料和新技术的不断涌现,机械系统的设计理论和方法的不断发展,机械系统设计已经从传统的半理论、半经验的静态设计,逐步转化为以计算机技术为基础的高质量、高性能的动态设计,并向信息化、快速化、网络化、虚拟化和智能化等方向发展,其前沿设计技术主要有模块化设计,协同设计、绿色设计、虚拟设计和动态设计等。

(1)模块化设计。

模块化设计是在产品功能分析的基础上,把产品分解成具有某种功能的一个或几个模块,通过选择和组合这些模块形成不同的机械产品。利用

模块化设计,可以在开发具有多功能的不同产品时,不必致力于对每种产品的单独设计,而是精心设计出多种模块,把这些模块经过不同方式的组合形成不同的产品,以解决产品品种、规格与设计制造周期、成本之间的矛盾。

(2) 协同设计。

协同设计是指在计算机支持的协同工作环境中,通过对复杂结构产品设计过程的重组、建模优化等建立产品协同开发流程,利用现代产品数据管理、CAD/CAM/CAPP、虚拟设计等集成技术与工具,进行系统化的协同设计工作模式。协同设计依赖于多学科知识的支持,具备资源共享能力,不同部门的设计人员可以参与技术交流,是一个集成多层技术的庞大的信息系统。

(3) 绿色设计。

绿色设计是在产品的整个生命周期内(策划、设计、制造、运输、运行、报废与回收等)着重考虑产品的环境属性(自然资源的利用、对环境 and 人的影响、可拆卸性、可回收性、可重复利用性等),并将其作为设计目标,在满足环境目标要求的同时,并行地考虑并保证产品应有的基本功能、使用寿命、经济性和质量等。

(4) 虚拟设计。

虚拟设计是指在虚拟现实环境中从事设计活动。虚拟设计是以虚拟现实技术为基础,以机械产品为对象的设计手段。虚拟设计系统支持多用户并行操作,不同领域的可以在同一个设计环境中对产品的虚拟原型从不同方面进行分析,避免了在传统产品开发模式下各部门对设计的孤立修改和交流困难问题。借助虚拟设计技术,可以对产品开发和工作的全过程进行计算机模拟,甚至可以在虚拟设计环境中进入产品模型的内部进行工作性能分析。

(5) 动态设计。

在各种可变载荷和复杂环境因素的作用下,机械系统不但要完成预定的功能,还要满足动态性能的要求。动态设计就是要解决机械系统设计中动态性能的问题。与传统的静态设计相比较,动态设计考虑的影响因素要复杂得多。

动态设计技术是机械系统现代设计中最重要技术之一,是结构设计的核心与关键部分。它将直接关系到机械产品的动态性能、工作性能,以及产品运行的可靠性和使用寿命等。

第2章 机械系统设计方法

机械系统设计方法是把涉及对象看作一个完整的技术系统,然后用系统工程方法对系统各要素进行分析与综合,使系统内部协调一致,并使系统与环境相互协调,以获得整体最优化设计。

2.1 创新设计方法

2.1.1 创新与设计

2.1.1.1 创新的含义

创新活动是一种社会活动,它不可能离开社会实践,更不可能不对社会产生一定影响。于是,根据创新活动对社会的影响效果,可将创新活动分为正向创新活动和负向创新活动两大类。凡是有利于(或者至少无害于)社会发展、符合社会公德的创新活动,可称为正向创新活动,如哥白尼日心说的创立、核电站的诞生、电视机的问世、拉链的出现等。相反,凡是不利于社会发展、违背社会公德的创新活动,则称为负向创新活动,如从事那些我国专利法中明文规定的“违反国家法律、社会公德或者妨害公共利益的发明创造”的活动以及互联网上各类“黑客”的活动等。应该指出,在某些情况下,就创新本身而言是难以明确判断其创新活动的正向性或负向性的,如原子弹及各类武器的发明等。甚至,有些内容完全相同的创新活动在不同时期、不同地点、不同社会背景之下,还可能具有正、负互相转化的趋势。因此,我们极力主张人们做有利于社会发展、造福于人类的“创新活动”。

2.1.1.2 创新与设计

创新是设计的本质属性,一个不包含任何新的技术要素的方案称不上是设计。按照创新的程度,设计可以分为三类:①开发型设计,是指在设计原理方案未知的情况下,根据功能要求和设计约束进行的全新的创造,如爱

迪生发明电灯泡；②适应型设计，是指在总的方案和原理不变的情况下，根据生产技术和使用要求的变化对产品的结构和性能进行更新改造，如上文所说的电熨斗的设计；③变参数型设计，是指在功能、原理、方案不变的情况下，只对结构设置和尺寸加以改变，如进行减速器的设计。

世界文明的发展已经充分证明，创新是人类文明进步的原动力，是技术进步、经济发展的源泉。创新是设计的本质，也是设计活动的最终目标，在现代设计方法中，强调创新设计是为了使设计者更充分地发挥创造力，更好地利用最新科技成果，设计出更具竞争力的新颖产品。创造性思维是创造发明的源泉和核心；创造原理是建立在创造性思维之上的人类从事创造活动的途径和方法的总结；创造技法则以创造原理为指导，是人们在实践的基础上总结出的从事发明创造的具体操作步骤和方法，是进行创造发明和创新设计的理论基础。为此，设计者需要对创造性思维的特点、形成过程及与其他类型思维的关系、创造原理与创造技法等有所掌握和认识。

2.1.2 创造技法

创新技法有几百种。其中不少的创新技法可在进行功能原理方案构思时加以采用，如智爆法、列举法、设问法、联想法、类比法、组合法等。创新技法是并行创造时的一些技巧和方法，掌握一些行之有效的创新技法，可以有助于创新者开动脑筋，打开思路，获得事半功倍的效果。

下面介绍几种常用的创新技法。

(1) 智爆法。

智爆法是以小组讨论某问题的形式，通过发散思维、思维激励，形成创见的方法。智爆原理是精神病理学的一个术语，指精神病人的胡思乱想，现在转为无限的自由联想和讨论，是抓住灵感意识流而得到的一些新想法的方法。这种集体联想方式可以创造知识互补、思维共振、相互激励、开拓思路。智爆法一般通过一种特殊的小型会议，使参加会议的人员围绕某一课题相互启发、激励，相互取长补短，引起创造性设想的连锁反应，产生众多的创造性成果。

智爆法是通过召开会议的办法产生创新的方案。智爆法讲求会议的环境和气氛，与会者人人平等，无压抑感，心情轻松，即使出现怪诞的构想也被尊重。

(2) 列举法。

借助对一具体的特定对象从逻辑上进行分析，并将其本质的内容全面地罗列的方法，如某一事物的特性、缺点、希望和设想等。

缺点列举法就是找出事物的缺点,选择最容易下手、最有价值的对象作创新主题,就是挑毛病,找出改进方案。

希望列举法是按设计者的意愿提出各种新的设想。人们希望能像鸟一样在天空中飞翔,于是发明了飞机,希望能在黑夜中视物而发明了红外线夜视装置,希望能与鱼一样在水中遨游,研制出了潜水艇。

特性列举法是将所需创新的机械特性进行分析,一一列出,并找出有效的创新方法,从中引出具有独特性的方案,再进行讨论和评价。

(3)组合法。

组合法是将现有的科学技术原理、现象、产品或方法进行组合,形成新的思想或新的产品。例如,航天飞机是飞机与火箭技术的组合。收录机是收音机和录音机的组合。CT扫描仪是X射线照相装置与电子计算机的组合。

(4)移植法。

移植法是将某一领域的科学原理、方法、成果应用到另一领域中去的一种方法。激光技术、电火花技术应用于机械加工,产生了激光切割机、电火花加工机。采用移植法可以进行功能原理方案突破性的创新。

(5)功能思考法。

功能思考法是以事物的功能要求为出发点,广泛进行思考,从而进行新的构思。任何机械产品都是为了满足某种需要而产生的。这样,从功能出发就可以做多种多样功能原理方案的设计。

以上五种创新技法,在我们进行机械系统设计时会产生很大的效用,对机械的创造发明很有实用价值。在进行某一机械系统设计时并不只用一种创新技法,而是根据实际情况,将多种创新技法同时应用。

2.2 可靠性设计方法

2.2.1 可靠性设计和可靠性工程

可靠性设计(Reliability Design)是建立在概率统计理论基础上的以实现产品的可靠性为目的的设计技术。它包括为实现产品的可靠性所必要的设计和全部计划项目,并使产品的可靠性得以保持的一系列设计程序。可靠性设计包括的内容非常广泛,它贯穿于产品的整个寿命周期。

可靠性工程作为可靠性学科的一个分支,它包括下面的一些内容:

- ①应用可靠性理论预测与评价产品。
- ②零件的可靠性预测或可靠性评价。
- ③应用于产品、零部件设计中的可靠性设计。
- ④综合各方面的因素,考虑设计最佳效果的可靠性分配和可靠性优化。
- ⑤考虑维修因素系统的可维修性与可利用性的估价与设计。
- ⑥做以上各分支基础的可靠性实验及其数据处理。

2.2.2 可靠性设计的理论基础——概率统计学

在产品的运行过程中,总会发生各种各样的偶然事件(故障)。也就是说,人们不知道这些事件是不是会发生,发生的可能性有多大,何时会发生,在什么条件下发生。这种偶然事件的内在规律很难找到,甚至是很难捉摸的。但是,偶然事件也不是完全没规律可循,如果从统计学的角度去观察,偶然事件也存在着某种必然规律。概率论就是一门研究偶然事件中必然规律的学科,这种规律一般反映在随机变量与随机变量发生的可能性之间的关系上。用来描述这种关系的数学模型很多,其中最典型的是正态模型

$$f(t) = \frac{1}{2.506628\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-u}{\sigma}\right)^2}$$

式中, t 为随机变量; u 为平均值; σ 为标准差。

随机变量 t 在某点以前发生的概率可按下式计算

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt$$

$F(t)$ 称为随机变量 t 的分布函数或称积分分布函数。

2.2.3 可靠性指标

2.2.3.1 可靠度

可靠度是产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率,一般记为 R 。它是时间的函数,故也记为 $R(t)$,称为可靠度函数。

如果用随机变量 T 表示产品从开始工作到发生失效或故障的时间,当 T 的概率密度 $f(t)$ 为已知时,若用 t 表示某一指定时刻,则产品在该时刻的可靠度为

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

当 T 的概率密度未知时,在可靠性试验中如有 N 个样本被试,其中有 $N_f(t)$ 个在 t 时刻以前产生故障, $N_a(t) = N - N_f(t)$ 个样本在继续工作,则 t 时刻的可靠度的观测值为

$$\hat{R}(t) = \frac{N_a(t)}{N} = \frac{N - N_f(t)}{N}$$

式中, $N_a(t)$ 称为未故障数(或残存数); $N_f(t)$ 称为故障数(失效数)。

可靠度 $R(t)$ 与时间 t 的关系曲线如图 2-1 所示。显然,任何产品的可靠度都是随着时间的增长而逐渐下降的。

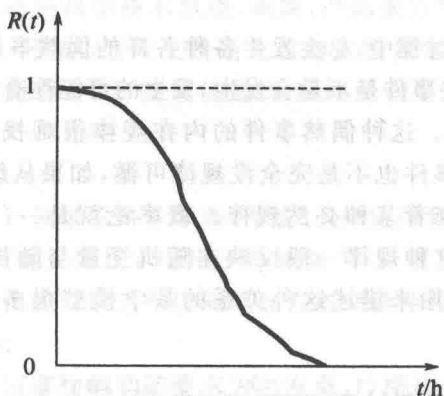


图 2-1 可靠度函数曲线

2.2.3.2 累积失效概率

累积失效概率是产品在规定条件下和规定时间内未完成规定功能(即发生故障或失效)的概率,它表现为 $[0, 1]$ 区间的某个数值。根据互补定理,系统从开始启动运行至不出现失效的概率,一般记为 F 或 $F(t)$ 。

$$F(t) = 1 - R(t)$$

当 T 的概率密度 $f(t)$ 为已知时,则 $F(t)$ 也可表示为

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt$$

当 T 的概率密度未知时,在可靠性试验中,如有 N 个样本被试,其中有 $N_f(t)$ 个在 t 时刻以前产生故障,则 t 时刻的 $F(t)$ 的观测值为

$$\hat{R}(t) = \frac{N_f(t)}{N} = 1 - R(t)$$

累积失效概率 $F(t)$ 与时间 t 的关系曲线如图 2-2 所示。显然,任何产品的累积失效概率都是随着时间的增长而逐渐增大的。

失效数是指工作到某时刻尚未失效的产品,在该时刻后单位时间内

发生失效的概率。一般记为 λ 或 $\lambda(t)$, 称为失效率函数, 有时也称为故障率函数。

按上述定义, 失效率是在时刻 t 尚未失效, 产品在 $t + \Delta t$ 的单位时间内发生失效的条件概率。若已知 T 的概率密度 $f(t)$, 即有

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t/T)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

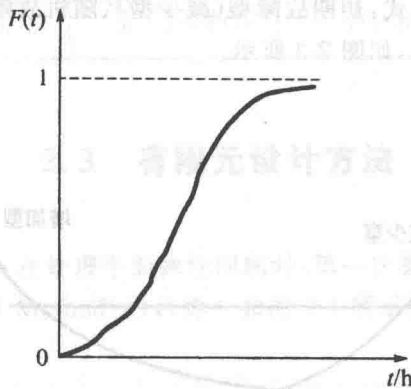


图 2-2 累积失效概率曲线

2.2.3.3 期望寿命

期望寿命即平均无故障工作时间, 可由下式计算

$$E(t) \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

平均无故障工作时间是个很重要的指标, 因为它是个比较直观的尺度。对于某些长寿命产品, 如电视机、冰箱、汽车等都用这一指标来规定其可靠性。平均无故障工作 t 时间有两种表达形式: 一种称为 MTTP (Mean Time To Failure), 它表示故障前运行时间的平均值; 另一种称为 MTBF (Mean Time Between Failure), 它表示故障间隔的平均时间。

2.2.3.4 失效率和失效率曲线

失效率是指工作到某时刻尚未失效的产品, 在该时刻后单位时间内发生失效的概率。一般记为 λ 或 $\lambda(t)$, 称为失效率函数, 有时也称为故障率函数。

按上述定义, 失效率是在时刻 t 尚未失效, 产品在 $t + \Delta t$ 的单位时间内发生失效的条件概率。若已知 T 的概率密度 $f(t)$, 即有

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t/T)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}$$