



现代机械设计

及其新技术研究

XIANDAI JIXIE SHEJI JIQI XINJISHU YANJIU

◎宗荣珍 / 著



四川大学出版社

现代机械设计

及其新技术研究

XIANDAI JIXIE SHEJI JIQI XINJISHU YANJIU

宗荣珍 / 著



四川大学出版社

责任编辑:唐 飞
责任校对:王 雪
封面设计:陈 勇
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计及其新技术研究 / 宗荣珍著. —成都:
四川大学出版社, 2018. 5
ISBN 978-7-5690-1785-4

I. ①现… II. ①宗… III. ①机械设计—研究
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 092223 号

书名 现代机械设计及其新技术研究

著 者	宗荣珍
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5690-1785-4
印 刷	四川盛图彩色印刷有限公司
成品尺寸	170 mm×240 mm
印 张	10.75
字 数	203 千字
版 次	2019 年 2 月第 1 版
印 次	2019 年 2 月第 1 次印刷
定 价	45.00 元



版权所有◆侵权必究

- ◆读者邮购本书, 请与本社发行科联系。
电话: (028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码: 610065
- ◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。
- ◆网址: <http://press.scu.edu.cn>

前 言

机械工业是科学技术物化为生产力的重要载体,在一次又一次工业革命中,机械工业与冶金、化工、电力、电子及信息产业等诸多领域科技成果的有机结合,为工业、农业、交通运输、国防建设和人们日常生活等方面不断地提供了先进的设备和器械。生产过程机械化与自动化的实现,极大地推动了技术创新与社会进步,充分体现了机械工业在国民经济中所起到的至关重要的作用。

机械设计是机械工业的基础技术,是生产机械必须进行的技术决策活动。在制造业中,设计是第一步。科技成果要转变为有竞争力的新产品,设计起着关键性的作用。机械产品的性能和技术水平主要是由设计水平保证的,产品成本的 70%~80%是在设计阶段决定的,约有 50%的产品质量事故是由于设计不当引起的。因此,设计工作的质量和水平,直接关系到产品质量、性能和技术经济效益。

本书共 5 章。第 1 章主要阐述机械、机械设计及其基本原则、机械设计的一般过程、机械零件设计、机械零件的疲劳强度等。第 2 章对总体方案设计进行了分析,主要内容为总体方案设计基础理论、总体方案设计要解决的问题、原动机选择、机械传动、执行机构、操纵与控制系统。第 3 章对机械产品的总体设计进行探究,具体内容有机械产品的功能确定、机械执行的方案设计、机械传动系统的方案设计。第 4 章为机械数字化设计新技术,主要对数字化建模、面向对象的产品数字化开发技术、数字化仿真技术等进行了阐述。第 5 章对其他机械设计新技术进行研究,主要内容为机械可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计、摩擦学设计。

在本书的撰写过程中,参考了国内外的大量教材、著作、文章等,在此谨对相关专家、学者表示深深的敬意和感谢。

由于时间和水平有限,书中难免有不当之处,敬请各位读者批评指正,不胜感激。

作者

2018 年 10 月

目 录

第 1 章 机械设计总论	1
1.1 机械	1
1.2 机械设计及其基本原则	7
1.3 机械设计的一般过程	11
1.4 机械零件设计	13
1.5 机械零件的疲劳强度	24
第 2 章 总体方案设计分析	29
2.1 总体方案设计概论	29
2.2 原动机选择	38
2.3 机械传动	48
2.4 执行机构	51
2.5 操纵与控制系统	58
第 3 章 机械产品的总体设计	62
3.1 机械产品的功能确定	62
3.2 机械执行的方案设计	65
3.3 机械传动系统的方案设计	67
第 4 章 机械数字化设计新技术	79
4.1 数字化建模	79
4.2 面向对象的产品数字化开发技术	88
4.3 数字化仿真技术	96

第 5 章 其他机械设计新技术研究	120
5.1 机械可靠性设计	120
5.2 优化设计	127
5.3 计算机辅助设计	137
5.4 摩擦学设计	150
参考文献	159

第 1 章 机械设计总论

机械设计是泛指机器及其零件的设计,或者单独一个部件、零件的设计。其目的是满足社会生产和人们的生活需求,应用新技术、新工艺、新方法开发适应社会需求的各种新的机械产品,以及对原有机机械进行改造,从而改变或提高原有机机械的性能。任何机械产品都始于设计,设计质量的高低直接关系到产品的功能和质量,以及产品的成本和价格,机械设计在产品开发中起着非常关键的作用。为此,要在设计中合理确定机械系统功能,增强可靠性,提高经济性,确保安全性。本章主要对机械、机械设计及其基本原则、机械设计的一般过程、机械零件设计、机械零件的疲劳强度等进行阐述。

1.1 机械

1.1.1 认识机械

机械是机器和机构的总称。机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料或信息,实现特定的功能。机器在我们工作和生活中比比皆是,如天上飞行的各类飞行器、海上航行的各类船舶、路上行驶的各种汽车,还有工业中使用的各类机床、起重机等,农业中使用的拖拉机、收割机等,以及家用的洗衣机、电风扇等。用来进行物料传递和变换的机器,通常称为器械、装置或设备,如锅炉、热交换器、分离设备等;用来进行信息传递和变换的机器,通常称为仪器,如测量仪、照相机、电视机等。

机器是人类进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要工具,使用机

器进行生产的水平是衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一^①。

手扶拖拉机是进行农田耕作和田间运输的中小型农业机械,在我国农村普及率较高。12 型手扶拖拉机具有结构紧凑、体积小、操作方便、可靠性高等多种功能,充分体现了机械设计的实用性、经济性、可靠性、安全性等原则。

图 1-1 为 12 型手扶拖拉机外形和总体布置图。该手扶拖拉机主要由柴油机、传动机构、操纵机构、驱动轮、旋耕机、耕耘尾轮、乘坐装置、照明装置和机架等组成。

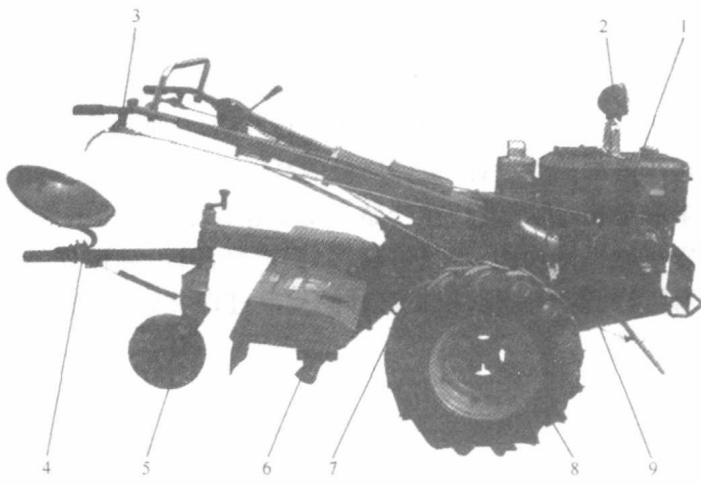


图 1-1 12 型手扶拖拉机外形和总体布置图

1—柴油机;2—照明装置;3—操纵机构;4—乘坐装置;5—耕耘尾轮;
6—旋耕机;7—传动机构;8—驱动轮;9—机架

图 1-2 为 12 型手扶拖拉机机械系统组成和动力传递路线图。图 1-3 为该手扶拖拉机传动系统示意图。柴油机作为原动机,其输出轴带动飞轮做旋转运动,主动皮带轮与飞轮做成整体,通过带传动将动力传至组合离合器的从动皮带轮。离合器输出轴连接链传动,从动链轮安装在变速箱的输入轴上,将动力传入变速箱。变速箱内,通过齿轮啮合的改变,进一步变换动力参数,动力分成两路:一路传递到两前置驱动轮;另一路可通过链传动输送至旋耕机,带动犁刀做旋转运动。

^① 机械优化设计[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/7b6fea196edb6f1aff001f6d.html>.

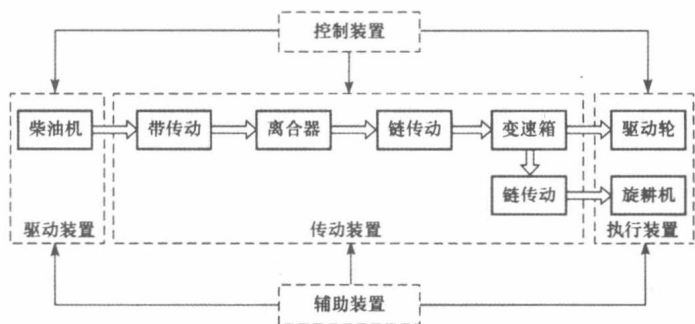


图 1-2 12 型手扶拖拉机机械系统组成和动力传递路线图

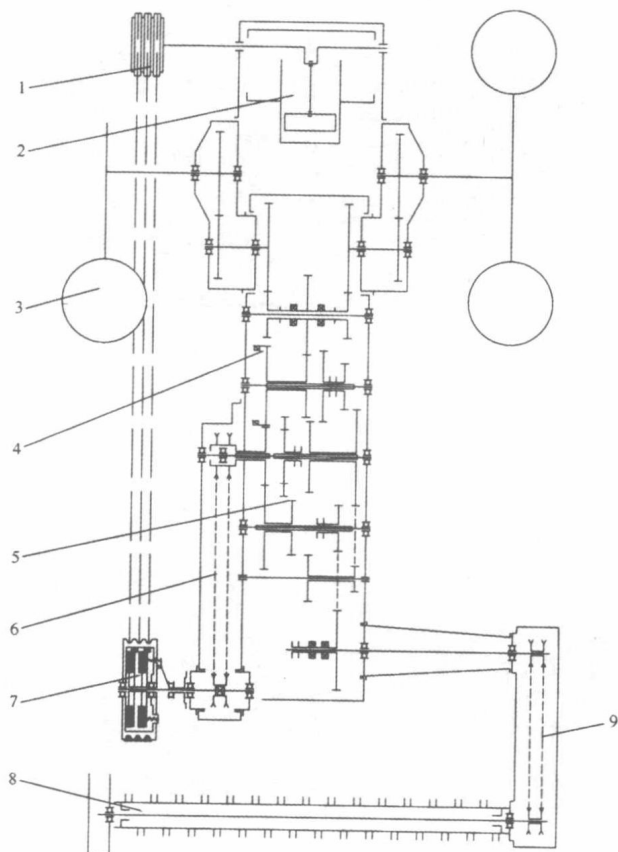


图 1-3 12 型手扶拖拉机传动系统示意图

1—带传动；2—柴油机；3—驱动轮；4—制动毂；5—变速箱；

6—前传动；7—离合器；8—旋耕机；9—链传动

柴油机是内燃机的一种,后者是常用运输机械的原动机。与汽油机相比,柴油机具有功率大、效率高等优点,常用于船舶、大中型车辆、农业机械等。手扶拖拉机一般以单缸柴油机为动力。图 1-4 为手扶拖拉机配套的 12 马力柴油机剖面图。因其为单缸,缸径为 95mm,故又通常被称为 195 型柴油机。

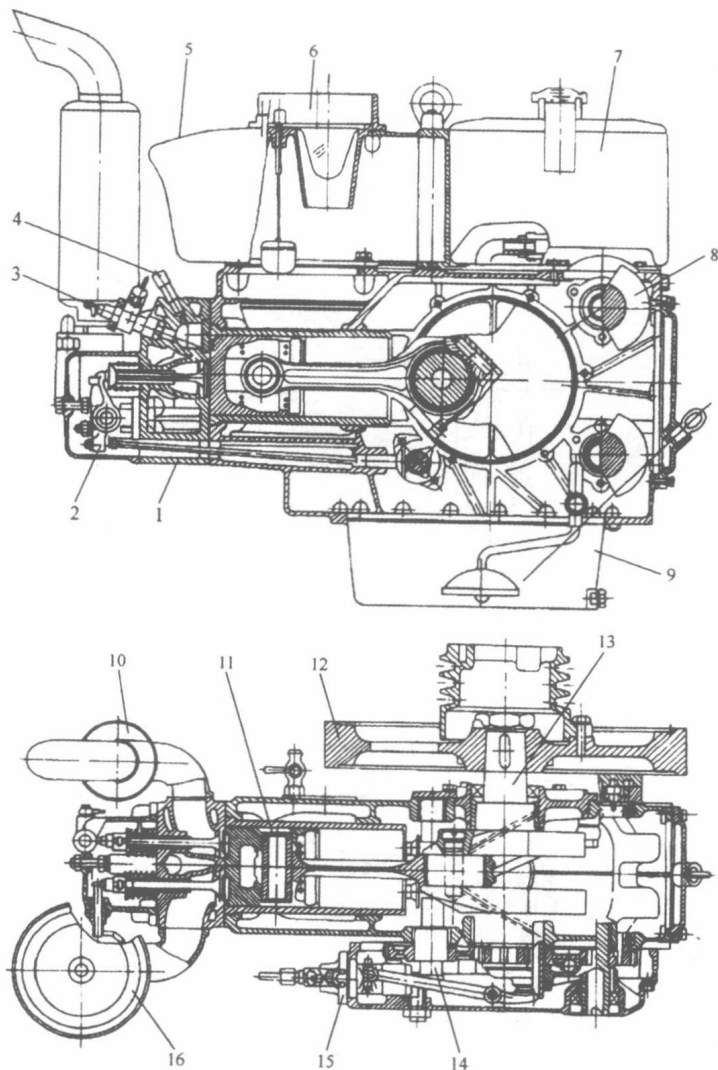


图 1-4 195 型柴油机剖面图

- 1—缸盖;2—摇臂;3—喷油器;4—螺栓;5—水箱;6—加水口;7—柴油箱;
8—平衡块;9—油底壳;10—排气管;11—活塞连杆组;12—飞轮;
13—曲轴;14—凸轮轴;15—喷油泵;16—空气滤清器

1.1.2 机器的构成及其功能结构

图 1-5 为一带式输送机结构图,其主要功能是传送物料。从结构上看,它由电动机、联轴器、减速器、齿轮、轴、输送带、机架等结构件组成。电动机 1(能量转换装置,是机器的动力源)输出能量,通过联轴器 2、减速器 3 等(机器的传动装置,用于能量的传递和分配),带动输送带 4(机器的工作装置),实现物料的传送。机架对上述零件起支承作用,保证它们能正常工作。运输机的开机和停车由人工控制。运输机的开机和停车由人工控制。从功能上看,它具有能量转换、能量传递、工作执行、控制、支承与连接、辅助(如照明等)等功能,其功能结构如图 1-6 所示^①。

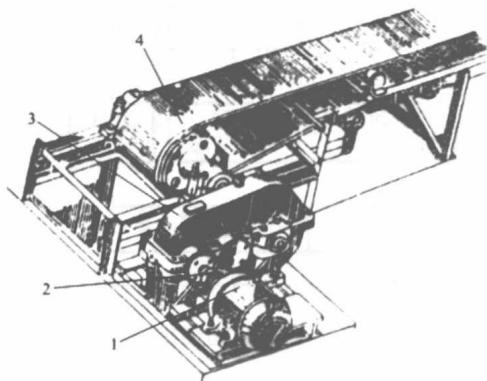


图 1-5 带式输送机结构图

1—电动机;2—联轴器;3—减速器;4—输送带

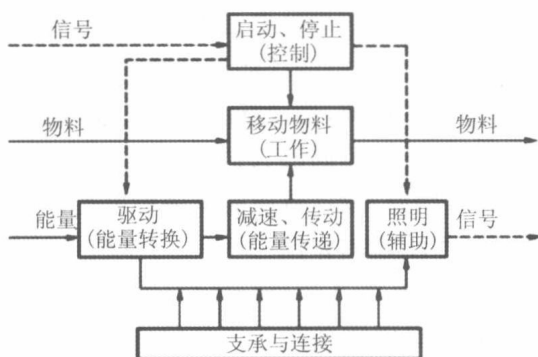


图 1-6 带式输送机功能结构图

^① 机械设计概述[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-285199377.html>.

自行车也是一种简单的机器,它的动力源是人力,通过踏板、链传动装置(用于能量转换)带动前、后车轮旋转,实现代步功能。其方向变换和制动由人的双手控制车把和车闸来实现,车架对车轮等零件起支承和连接的作用。此外,还有车灯用于照明,货架用于携带少量货物等。从功能结构上看,自行车可视为由驱动(能量转换)、传动(能量传递)、行走(工作)、转向或制动(控制)、照明(辅助)、支承和连接等功能件组成,其功能结构如图 1-7 所示。

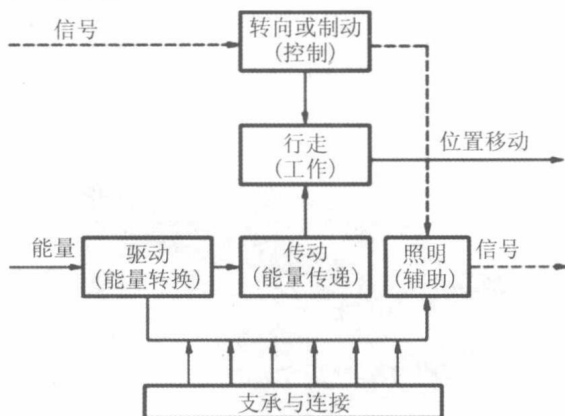


图 1-7 自行车功能结构图

从上面的实例可以得出以下结论:

(1) 机器一般可视为主要由原动机、传动装置、工作机构、控制系统、支承与连接、辅助装置等部分构成。

(2) 功能分析是机械设计的基本出发点。进行机械产品的设计,首先必须进行功能分析,明确功能要求,设计出机器的功能结构图,然后再进行各个阶段的设计。只有这样,才能不受现有结构的束缚,形成新的设计构思,提出创造性的设计方案。

(3) 不同机器的功能结构图是不同的,甚至即使总功能要求相同,也可以设计出不同方案的功能结构图。因此,设计者应能从多种可行方案中选出较优者,并以此为依据,进行机械系统各个阶段的设计^①。

① 机械设计概述[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-285199377.html>.

1.2 机械设计及其基本原则

1.2.1 机械设计的基本要求

1.2.1.1 实现预定的功能,满足运动和动力性能的要求

功能,即满足用户使用需要的特性与能力。它是机械设计最基本的出发点,是机械设计首先需要体现出来的一种特征。因此,在机械设计过程中,要对机械工作原理、拟定机械传动系统以及机构类型等方案进行正确地选择。其中,机构类型方案和拟定机械传动系统方案必须要满足运动和动力性能的要求。

1.2.1.2 可靠性和安全性的要求

机械的可靠性是指机械在规定的使用条件下,在规定的时间内完成规定功能的能力。安全可靠是机械的必备条件,为了满足这一要求,必须从机械系统的整体设计、零件的结构设计、材料及热处理的选择、加工工艺的制订等方面加以保证。

1.2.1.3 市场需要和经济性的要求

在产品设计中,自始至终都应把产品设计、销售及制造三方面作为一个整体考虑。只有设计与市场信息密切配合,在设计、市场、生产中寻求最佳关系,才能以最快的速度收回投资,获得满意的经济效益。

1.2.1.4 机械零件结构设计的要求

机械设计的最终结果都是以一定的结构形式表现出来的,且各种计算都要以一定的结构为基础。因此,在设计机械时,往往要事先选定某种结构形式,再通过各种计算得出结构尺寸,将这些结构尺寸和确定的几何形状绘制成零件工作图,最后按设计的工作图制造、装配成部件乃至整台机器,以满足机械的使用要求^①。

① 李元鹏,王威克. 机械设计的基本要求和构思方法[J]. 河南科技,2013(06).

1.2.1.5 操作使用方便的要求

机器的工作和人的操作密切相关。在设计机器时必须考虑操作要轻便省力、操作机构要适应人的生理条件、机器的噪音要小、有害介质的泄漏要少等。

1.2.1.6 工艺性及标准化、系列化、通用化的要求

首先,要考虑机械零件的加工精度、表面粗糙度以及制造难易度,确保机械及其零件具备良好的工艺性;其次,为了提高机械设计质量,降低制造的成本,需要保证零件的标准化、通用化、系列化,并且设计者要对关键零件的设计予以重视。

1.2.1.7 其他特殊要求

有些机械由于工作环境和要求的不同,会对设计提出某些特殊要求,如高级轿车的变速箱齿轮有低噪声的要求,机床有较长期保持精度的要求,食品、纺织机械有不得污染产品的要求等。

1.2.2 机械设计的主要内容

机械设计任务通常是根据生产发展需要而提出的,设计任务书要明确规定机械名称、功能、工作参数要求、可靠性要求、工作条件、生产批量、预期成本等,并提供设计该机械所必需的原始数据和资料。机械设计工作的主要内容有以下几个方面。

1.2.2.1 机械工作原理的选择

机械的工作原理是机械实现预期功能的基本依据,实现同一预期功能的机器可以选择不同的工作原理。例如,设计齿轮机床时,可以选用成型法加工齿轮,也可以选用范成法来加工齿轮。显然,工作原理不同,设计出的机床也不同,前者为普通铣床,后者则为滚齿机或插齿机。机械的工作原理是随着生产和科学技术的发展而不断发展的,研制新机械时,要刻苦钻研、不断探索、全面分析对比多种工作原理后,选择其中的最优方案。这主要属于专业机械设计的范畴。

1.2.2.2 机械的运动设计

工作原理选定后,即可根据工作原理的要求,确定机械执行部分所需的运动及动力条件,然后再结合预先选用的原动机类型及性能参数进行机械的运动设计,即

妥善选择与设计机械的传动部分,把原动机的运动转变为机械执行部分预期的机械运动。

1.2.2.3 机械的动力设计

初定了机械的执行部分和传动部分后,即可根据机器的运转特性、执行部分的工作阻力、工作速度和传动部分的总效率等,算出机械所需的驱动功率,并结合机器的具体情况,选定一台(或几台)适用的原动机进行驱动。

1.2.2.4 零件工作能力设计

对于一般机械,在选定了原动机后,即可根据功率、运转特性和各个零件的具体工作情况,计算出作用于任意一个零件上的载荷。然后,从机械的全局出发,考虑各个零件所需的工作能力(强度、刚度、寿命等)、体积、重量及技术经济性等一系列问题,设计或选择出各个零件。这些内容是机械零件课程的核心,以后将针对具体的零件分章进行讨论。

应该指出,机械设计过程实际上是一个分析矛盾和处理矛盾的过程。例如,要求机械的零件强度大、刚性好与体积小、重量轻的矛盾,加工、装配精度高与制造成本低的矛盾等。设计者一定要抓住主要矛盾,恰如其分地处理好各种次要矛盾,才能设计出高质量的机械。

1.2.3 机械设计的类型

机械设计是一项复杂、细致、科学、严谨的创造性劳动。随着科学技术的发展,对设计的理解也在不断地深化。机械设计按其目标和任务不同可以分成以下3种类型。

1.2.3.1 开发性设计

开发性设计是指在机械产品的工作原理和具体结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过实验证明是可行的新技术、新方法,规划和开发创造实现预期功能的新型机械产品的设计,这是一种全新的设计。

1.2.3.2 改进性设计

改进性设计也称适应性设计,是指在原有机机械的基础上的重新设计,即对原有机械产品的工作原理、设计方案保持不变的前提下重新设计,或仅做局部改造,或

增加附加功能,在结构上做相应调整,从而改变或提高原有机机械的使用性能,使产品更能满足使用要求。

1.2.3.3 系列化设计

机械产品的系列化设计也称变形性设计,是指在机械产品的工作原理和功能结构不变的情况下,为了适应工艺条件或使用要求,改变产品的具体参数和结构的设计。

1.2.4 机械设计的基本原则

1.2.4.1 创新原则

设计过程的重要特征就是创新。工程实践中的机械设计工作,首先应该追求创新思维方式下的新颖的设计结果。对于初学者来说,注意了解、继承前人的经验,学习优秀的设计作品,发挥主观能动性,勇于创新,是做好设计工作的前提;符合时代精神的、有特色的创新设计最具生命力,是社会和工业发展的要求和需要,是设计者追求的目标,也是评价一个设计结果成功与否的重要原则。

1.2.4.2 安全原则

产品能安全可靠地工作是对设计的基本要求。在机械设计中,为了保证机械设备的安全运行,必须在结构设计、材料性能、零件强度和刚度,以及摩擦性能、运动和动态稳定性等方面依照一定的设计理论和设计标准来完成设计。产品的安全性是相对的,在规定条件和时间内完成规定功能的能力,称为可靠性。可靠度作为衡量系统可靠性的指标之一,可以用来描述系统安全运行的随机性。可靠度越大,产品维持功能的能力越强,系统越可靠;反之,产品越不可靠。产品的安全性通常是指在某种工作条件下及可靠度水平上的安全性,是设计中必须满足的指标。

1.2.4.3 技术经济原则

产品的技术经济性是指产品本身的技术含量与经济含量之间的配比特性。在满足设计结果安全性的前提下,提高产品的技术价值,降低其成本消耗,缩短生产周期,可以获得具有高竞争力的产品。通常情况下,产品的技术效益、经济效益和社会效益的高低是决定其生命力的重要因素。现代工业产品的设计对设计周期、技术指标及成本消耗等方面的要求具体而明确,作为设计评价的基本原则之一,必

须引起设计者的充分重视。

1.2.4.4 工艺性原则

产品设计一般用图样完整表达后,进入生产阶段。产品机械零件的生产和装配工艺性问题,应是设计者在设计过程中解决的问题。通常情况下,加工、制造过程对产品安全性和经济性起着决定性的作用,同时也对产品在使用过程中的维护和维修产生影响,因此要力求改善零件的结构工艺性,使生产过程最简单,周期最短,成本最低。现代工艺技术的发展、传统机加工、高精度组合加工、光加工和电加工等为产品的生产制造提供了许多先进的加工手段,同时合理的设计能使产品不仅加工、装配易于实现,而且具有良好的经济性。

1.2.4.5 维护性和实用性原则

产品经流通领域到达最终用户后,其实用性和维护性就显得十分重要。平均无故障时间、最大检修时间通常是用户的基本维护指标,而这些指标显然取决于设计过程。过长的维护时间会使生产系统超时瘫痪,有时还会造成企业的极大浪费,甚至对生产过程和产品本身产生影响。良好的维护性和实用性,可以使产品较好地适应使用环境和生产节奏。事实上,维护性和实用性也具有潜在的社会效益和经济效益。

1.3 机械设计的一般过程

1.3.1 制订设计工作计划

根据社会、市场的需求,确定所设计机器的功能范围和性能指标;根据现有的技术、资料及研究成果评估其实现的可能性,明确设计中要解决的关键问题;拟定设计工作计划和任务书。

1.3.2 方案设计

按设计任务书的要求,了解并分析同类机器的设计、生产和使用情况以及制造厂的生产技术水平,研究实现机器功能的可能性,提出可能实现机器功能的多种方