



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

石油钻采设备系统设计

(第二版)

常玉连 姜民政 编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

石油钻采设备系统设计

(第二版)

常玉连 姜民政 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对机械产品设计的规律和特点,特别是针对石油钻采机械产品设计的方法与特点,重点介绍了机械产品系统功能原理设计、机械产品系统实用化设计以及机械采油系统设计。

本书可作为高等院校石油机械设计与制造专业的教材,也可作为石油工程类学生及机械制造工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

石油钻采设备系统设计/常玉连,姜民政编. —2 版.

北京:石油工业出版社,2011. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 978 - 7 - 5021 - 8136 - 9

I. 石…

II. ①常…②姜…

III. ①油气钻井-钻机-系统设计-高等学校-教材

②石油开采-采油设备:机械设备-系统设计-高等学校-教材

IV. TE9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 230561 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.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2011 年 2 月第 2 版 2011 年 2 月第 3 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:13.5

字数:346 千字

定价:22.00 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

目 录

1 机械产品系统设计概述	(1)
1.1 机械产品设计的历史与概念	(1)
1.2 机械产品系统组成	(3)
1.3 机械设计问题的不同类型	(5)
1.4 机械产品设计中设计需求问题的理解	(8)
1.5 机械产品寿命周期	(11)
1.6 机械产品系统设计方法	(12)
1.7 机械产品设计的基本过程与内容	(23)
2 石油钻采机械与产品系统	(25)
2.1 石油钻采机械分类	(25)
2.2 钻机与修井作业机	(28)
2.3 固井与压裂设备	(36)
2.4 人工举升设备	(37)
2.5 注入设备	(43)
3 机械产品系统功能原理设计	(46)
3.1 产品功能原理设计的主要内容	(46)
3.2 产品功能与功能结构	(47)
3.3 产品的功能关系抽象	(50)
3.4 产品功能类型及其设计求解思路	(52)
3.5 功能原理设计方法	(58)
3.6 功能载体的组合分析	(71)
3.7 产品功能原理方案综合	(74)
4 机械产品系统实用化设计	(77)
4.1 实用化设计的任务和程序	(77)
4.2 产品系统总体布置与参数设计	(77)
4.3 机械产品系统的总体结构设计	(86)
4.4 机械产品系统结构设计的一些问题	(118)
4.5 实用化设计中的设计技术问题	(136)
5 机械采油系统设计	(152)
5.1 机械采油系统的任务及组成	(152)

5.2 我国常用的机械采油系统 (153)

5.3 执行系统设计 (156)

5.4 传动系统(抽油机与抽油杆)设计 (164)

5.5 动力系统设计 (189)

5.6 控制系统设计 (204)

参考文献 (209)

1 机械产品系统设计概述

1.1 机械产品设计的历史与概念

1.1.1 机械产品设计的历史

1.1.1.1 古代的机械产品设计

原始人类为了满足自己和部落群体的生活和安全需要,经过漫长的岁月,从使用工具发展到制造工具。当原始人类开始制造原始的工具时,就有了机械产品设计的萌芽,如古埃及、希腊时代已经使用杠杆、绞盘等来提取和搬运重物。我国是文明古国,早在公元前 11 世纪就制造出重达 875kg、十分精美的司母戊大方鼎;公元 132 年左右,张衡设计制造了地动仪和以水力驱动、齿轮传动的浑天仪;三国时期魏国著名科学家马均设计制造了龙骨水车和指南车;南宋时已有 32 锭的水力大纺车,而英国科学史专家李约翰认为“我国在公元 3 世纪到公元 13 世纪之间保持着一个西方所望尘莫及的科学知识水平。”即使晚至明朝,我国的一些机械产品设计与制造的技术水平仍处于世界领先水平,如郑和下西洋(1405—1433 年)所用的大船长达 150m,有水密舱和减摇装置。而在石油机械产品方面,1840 年,在四川已打出了深度超过 1000m 的深井(俄国与美国分别于 1848 年及 1859 年开凿了仅几十米的油井),当时使用的钻机设计与制造所达到的水平,至今令人叹服。因此,可以认为,在西方工业革命以前,中国的机械设计已体现了古代机械设计的最高水平。

古代的机械设计一般有以下特点:设计与制造没有分开,对简单产品,设计者与制造者是同一人;当制造大型产品时,就不可能由一个人来完成,一般由设计者用小型实物模型或简单图形将准备制造的产品表示出来,但在制造过程中,设计者是一定要参与指挥的。

1.1.1.2 西方工业革命后的机械产品设计

西方文艺复兴后,以实验为基础的自然科学和文学艺术迅速发展起来。到了 18 世纪英国工业革命前,数学、物理学、化学、冶金学等自然科学已具雏形。工业革命后,各种机械产品大量涌现,大机器生产逐步取代了手工工场。蒸汽机、轮船、蒸汽机车、发电机、内燃机、汽车等都是这一时期发明的。

从西方文艺复兴后到 20 世纪以前,机械产品设计具有以下特点:首先是逐步形成了作为机械产品设计基础的力学、机械原理等学科,建立了机械设计最基本的计算公式,如直杆的强度、稳定以及功率计算等,同时还建立了一些设计参考图表和手册,通过类比、试凑模拟等方法来进行设计。但是,限于当时的科学技术水平,设计只能满足基本的要求,而且设计的零部件安全裕度较大。其次,在实验研究方面,只对原型样机进行试验,研究整机的综合性能,而对零部件性能的分析研究较少。因此,产品的开发周期较长,往往要经过多次的设计、试制、试验、修改等反复过程。

1.1.1.3 20 世纪中前期的机械产品设计

20 世纪中前期,机械设计的第一个特点是设计的基础理论(包括固体力学、工程流体力

学、工程热力学等)、机械设计理论、金属材料学,以及各种专业产品的设计理论得到了很大的发展,提高了产品设计的科学依据。其次是由于关键零部件的设计往往决定着整个产品设计的成败,人们加强了对关键零部件的试验研究,逐步采用各种模拟技术,建立专门的试验台,增设物理、化学、材料、工艺等试验研究部门,在产品的设计前就已掌握了关键零部件的基本设计要求,从而大幅度地提高了产品设计的速度和成功率。另外,为了保证产品质量,降低生产成本,缩短产品设计与制造周期,增加零部件的互换性,逐步推广和加强了产品的“三化”,即零件标准化、部件通用化、产品系列化。

1.1.2 机械设计与机械产品设计的概念

随着现代社会的发展,人们设计和制造并使用大量各种类型的机械产品,其中每一种机械产品都是为了满足人类某一方面的需求。一些机械产品的性能不断改进,新型机械产品不断出现。现代机械产品通常具有不同的使用功能,无论是简单的门把手、齿轮传动箱、热交换器、人造卫星、汽车,还是大型的发电机组和高速铁路运输系统,一个产品或产品系统包括许多功能各异、材料不同、加工要求不同的零部件和子系统,而且是由许多生产者,包括设计者、制造者和管理者在不同的时间、场所共同完成的。随着社会生产的复杂化和分工日益细化,产品的设计往往不是一个人完成的,而是由一个团队共同完成产品设计工作。其中,一些人专门研究产品的设计理论和方法,而且学校也设立专门专业培养设计师,这就使得从事机械设计工作的人不一定从事产品设计工作。本书提出机械设计与机械产品设计两个概念就是为了区分上面的差异。机械设计包含机械设计理论研究工作、设计师培养工作和机械产品设计两方面内容,机械产品设计是指一个产品的设计过程;机械产品设计本身包含从市场需求、产品功能理解和评价、概念设计、产品设计、产品加工、产品性能测试与评价、产品成本与市场设计及产品投产与服务等诸多环节。因此,机械产品设计是机械设计的主要内容。

为了保证生产出来的机械产品确实能满足人们某一方面的需要,确实是一种新型产品或是改进型产品,而且在市场上是成功的,人们还需要进行大量的工作。将市场需求产品设计制造并成功投放市场的工作称为机械产品设计。在此工作过程中,设计者应用各种科学技术、设计方法以及社会、经济方面的知识,进行构思、分析、计算,以确定机械产品的工作原理、结构、运行方式、力与能量的传递方式,以及每一个零件的尺寸、形状、材料、加工要求等,形成机械产品的设计图纸与文件。制造者根据设计图纸和设计文件编制制造工艺文件以制造机械零件,并组装调试完成产品的制造工作。从提出某一客观需要,到人们通过市场获得相应的机械产品以满足这一需要,中间有许多环节,包括机械产品设计、机械制造、销售以及售后服务等。其中,机械产品设计是最关键的环节。这是由于产品设计决定着机械产品的性能与质量、制造方法与制造装备、产品成本的绝大部分以及售后服务等。所以,机械设计是机械产品在市场竞争中成败的关键。根据优秀的机械设计所制造出来的机械产品必然是性能好、运转可靠、经济效益高的产品。在市场经济条件下,机械产品是一种商品,成功的机械设计,不仅要在技术上是成功的,而且依据该设计所制造出来的产品在市场上也必须是成功的。

不同的机械产品,由于其使用要求、工作任务不同,其设计特点也有所不同。由此而形成了各种产业的产品设计,如农业机械设计、纺织机械设计、汽车设计、船舶设计、飞机设计、内燃机设计、石油机械设计等。各种产业机械产品都是为相应的产业服务的,因此各种产业机械产品也必然依附于相应的产业技术。所有的机械产品设计都是建立在数学、物理、化学等基础理论,以及力学、机械设计理论、工程材料、金属工艺学等工程技术基础上

的。另外,各种机械产品的设计存在着相同的机械设计一般规律。机械产品设计就是要在上述的共同基础上,根据市场需求和产业适应领域特点,完成不同的机械产品设计以满足人们生产生活的需要。

1.2 机械产品系统组成

机械产品系统可分为一般机械产品系统和现代机电产品系统。

1.2.1 一般机械产品系统的组成

机械产品种类繁多,功能各异,但不论其大小简繁,功能如何,作为一个机械产品,都具有其共性。这种共性体现为各种机械产品一般都包含下列子系统,即执行系统、动力系统、传动系统以及操纵系统和控制系统等,如图 1.1 所示。除此之外,机械系统还可能包括润滑、计量等辅助子系统。

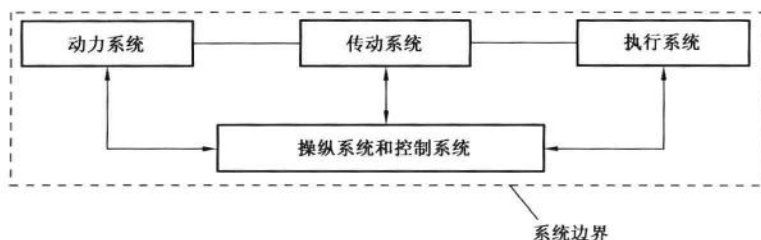


图 1.1 一般机械产品系统的组成

1.2.1.1 执行系统

执行系统也称工作系统,是指机械系统中进行工作以执行系统的特定任务,直接实现机械系统功能的子系统,也是区分各种机械的主要依据。执行系统通常处于整个系统的末端,直接与作业对象接触,用机械能来改变对象的形状、位置、性质或状态,或对作业对象进行检测、度量等,以进行生产或满足人们的其他需求。因此,执行系统的输出是机械系统最主要的输出,其工作性能的好坏直接影响整个系统的性能。一些大型复杂机械的执行系统还包括若干个子系统。例如,石油钻机的执行系统就包括起下井下工具的起升系统、旋转井下钻井工具以进行钻进的旋转系统、循环钻井液以带出井下岩屑的循环系统,以及防止井喷的井控系统等。

1.2.1.2 动力系统

为了使执行系统工作,必须供给执行系统一定的动力。人力是最早使用的动力源,后来有了畜力、水力等。现代机械一般采用动力机做动力源。动力机及其配套设备组成了动力系统。动力机可分为一次动力机和二次动力机。一次动力机是把自然界的能源(一次能源)转变为机械能的机械,如内燃机、汽轮机、水轮机、风力机等;二次动力机是把二次能源(把经一次动力机得到的能量再经转换后的能源,如电能、液能、气能等)转变为机械能的机械,如电动机、液压马达、气马达等。由于经济上的原因,动力机输出的运动通常为转动,而且转速较高。选择动力机时,应全面考虑执行系统的工作特点,以及整个机械系统的使用条件,以保证整个机械产品具有良好的使用性能和经济性。

1.2.1.3 传动系统

传动系统的任务是将机器中动力机的动力传给执行系统的中间装置。如果仅是这一任务,传动系统就可能很简单。例如,简单的电扇,风扇叶(执行系统)直接就装在电动机(动力系统)的轴上,传动系统几乎消失。但是传动系统还有另一个重要的任务,就是解决动力机特性与执行系统要求之间的矛盾。一些动力机转速较高,而且转速不可调,如异步电动机;另一些动力机不能改变转动方向,如内燃机、汽轮机等。还有一些动力机虽能变速,但变速范围达不到执行系统的要求。为此,就要求传动系统能根据执行系统的要求,及时变换动力机转来的动力特性,以保证执行系统的正常工作。归纳起来传动系统一般有以下功能:

(1)传递动力。

(2)减速或增速,以适应执行系统的需要。

(3)变速。当用动力机变速不经济或不能满足要求时,用传动系统进行变速,以适应执行系统的要求。

(4)改变运动规律或形式,即将动力机输出的均匀连续运动,根据执行系统的要求,转变为按某种规律变化的旋转或非旋转、连续或间歇、正向或反向的运动。

(5)分动或并车。当用一个动力机带动两个以上的执行系统时,传动系统应根据需要实现向各执行系统分配动力的任务。当一个动力机的动力满足不了执行系统的动力机需求,需要用两个以上的动力机带动同一个执行系统时,传动系统需实现并车任务。

1.2.1.4 操纵系统和控制系统

为了使执行系统、动力系统、传动系统等能按照人们的要求或按照一定的规律,彼此协调地运行,以准确可靠地实现整机功能,机械系统中必须有操纵和(或)控制系统。操纵系统一般是指通过人工操作,使各系统按照人的意志运行的子系统,通常包括启动、停机、离合、变速、制动、换向等装置;控制系统是指根据受控子系统反馈的,或外界环境传入的信息,对各子系统进行控制,使各子系统按预定的要求动作。它包括各种伺服机构、自动控制装置等。良好的自动控制机构具有自稳定性、自适应性等功能,并能自寻最优点。因此,该系统可以使整个机器运行稳定可靠,并处于最佳工作状态。

1.2.2 现代机电产品系统的组成

在20世纪之前,机械产品设计只需要机械零件和部件的知识,一般称为传统机械产品设计。20世纪之后,电子元件被引进到机械产品之中,机械产品经历了从纯机械向机电产品的转变,此产品也称为机电产品。但是,不管产品如何“电子”化,几乎所有的产品都需要有机械界面来面对用户。另外,所有的产品都需要由机械设备来进行加工、装配和机械零件来支撑和包容。

20世纪70年代,另一项技术被引进到机电产品设计中,即软件设计。现在,许多机电产品都有微处理器或单片机作为控制系统的组成部分。机电产品一般由机械本体结构、动力驱动系统、执行机构、测试传感系统、控制及信息处理系统五大组成要素有机结合而成。机械本体(结构组成要素)是系统所有功能要素的机械支持结构,一般包括机身、框架、支撑、连接等。动力驱动系统依据系统控制要求,为系统提供能量和动力以使系统正常运行。执行机构根据控制及信息处理部分发出的指令,完成规定的动作和功能。测试传感系统对产品的运行所需要的本身和外部环境的各种参数和状态进行检测,并变成可识别的信号,

传输给信息处理单元,经过分析、处理后产生相应的控制信息。控制及信息处理系统将测试传感系统所获得的信息及外部直接输入的指令进行集中、存储、分析、加工处理后,按照信息处理结果和规定的程序发出相应的指令,控制整个系统有目的的运行。

具有机械、电子和软件部分的机电产品称为智能机电产品,如照相机、办公复印机等。智能机电产品的特征如图 1.2 所示。

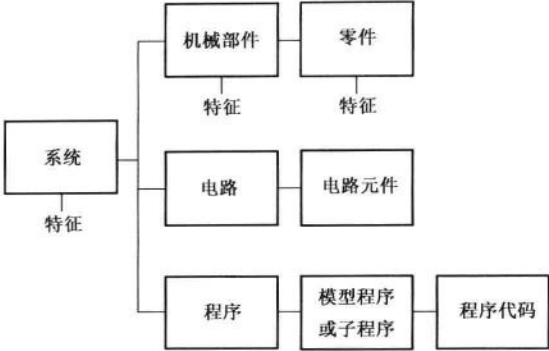


图 1.2 智能机电产品的特征

1.3 机械设计问题的不同类型

机械产品可以按照流体机械、热力机械、石油机械等类型划分,机械工程学科可以分为流体力学、热力学、机械学等,但在机械设计问题分类时,上述分类方法就不合适了。例如,分析一个简单的选择设计问题,从轴承目录中选择合适的轴承,为动力机械选择合适的风扇,或为一个加热或制冷过程选择合适的换热器等。尽管上述问题涉及学科与专业不同,但它们的设计过程基本是一致的。分析已有机械产品的设计问题,机械设计基本可以分为原创设计、参数设计、选择设计和再设计四类。但一个机械产品的设计问题往往是几种设计问题的复合,例如,设计一台利用新的机构完成抽油杆的往复运动,就有许多原创性设计工作要做。但随着设计进程的发展,发现有必要将问题分成几部分:提供给机构的动力装置需要进行选择设计,传动装置减速箱需要进行参数设计;更进一步,如果设计师经验丰富,或许可能在已有的产品基础上进行再设计,使之满足部分或全部的使用要求。由于设计问题复杂、产品多样,因此很难找到一个产品设计只包含一种设计问题的类型。

1.3.1 原创设计(开发性设计)

原创设计在国内教科书中一般称为开发性设计,即应用新的科学技术(新理论、新材料、新工艺)设计,创造出某一种过去没有的全新机械。简单地说,开发出从前没有过的过程、部件或零件,或者设计师无法得到可用信息的这种设计称为原创设计。原创设计一般从提出需求,到设计制造出原型机,再经过改进,最后形成产品,要经过相当长的时间,其间经历多次设计、试制、改进设计,以及再试制的反复过程,如最初的汽车设计,目前正在开发的磁悬浮列车的设计都属于这类设计。另外,有些已推出的新产品,由于专利保护等原因,没有可用的信息。在研制这种产品时所进行的设计,也属于原创设计,如我国自己研制的武器系统。

1.3.2 参数设计(适应性设计)

参数设计在国内教科书中一般称为适应性设计。虽然参数设计和适应性设计在概念上有所差异,但所包含的定义是在原机械产品的原理方案基本保持不变的前提下,改变确定表征产品特征的特征参数值。例如,设计一个体积为 V 的圆柱形容器,要求盛放 4m^3 的液体。容器的基本尺寸有半径 r 和长度 l ,则其体积大小为

$$V = \pi r^2 l$$

若体积为 4m^3 , 则

$$r^2 l = \frac{4}{\pi} = 1.273(\text{m}^3)$$

上式中有无数多组的半径和长度数值可满足此方程, 应该选择哪一组数值呢? 答案不明显。将概念进一步扩展, 设计问题可能不是一个简单的方程而是由一组方程和规则制约着的设计。例如, 抽油机制造商要对某类型的抽油机进行系列化设计, 涉及许多参数, 如载荷、冲程长度、冲次、抽油杆柱结构、抽油泵下泵深度、减速箱的特性参数等。这些参数表征了这一特定设计问题的特征。无论什么样的产品设计都需要根据市场需求和用户的要求确定产品特征参数进行设计, 只不过有时候根据给定参数对产品做局部设计, 如更改或增加某一(几)个部件参数, 以改进产品的适应性, 使产品能更好地满足使用要求, 如给汽车加装空调设备, 加长或更改卡车的车厢等。又如, 同一结构的减速箱改变其尺寸, 可以得出系列产品以满足在同一减速比条件下传递不同转矩的需要; 改变其传动轴部件的配置就可以得到一系列不同传动比的减速箱。

1.3.3 选择设计

选择设计是机械设计中最简单的设计类型。选择设计是在一个同类项目列表中选出一项或几项, 但是如果列出的项目较多且每项的特征又很不同, 选择设计就变得复杂。

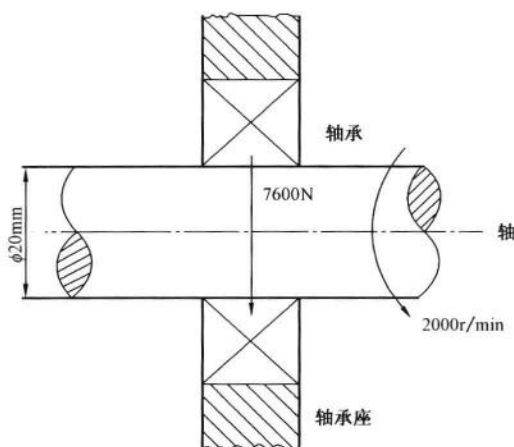


图 1.3 支承轴承的设计示意图

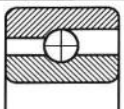
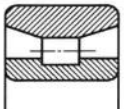
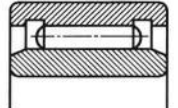
选择设计必须从一个明确的需求开始, 以便能够从设计手册和产品目录中得到可能的答案。而且必须根据特定的需求对可能的答案进行评价, 以获得正确的选择。例如, 在设计一个装置时, 选择支承轴承, 已知条件如图 1.3 所示: 轴的直径 20mm, 作用在轴上轴承处的径向力为 7600N, 轴的最高转速为 2000r/min。需要选择设计一个轴承来满足上述要求。设计手册轴承目录中给出轴的尺寸、最大径向载荷和最大转速的信息可以很快查到一些可能用的轴承(表 1.1)。这是一个比较简单的选择设计问题, 在四种可能的选择方案中, 还是没有足够的信息做最后的选择。即使得到一个很短的候选轴承列表,

假设为 42mm 深沟球轴承合 26mm 滚针轴承, 但如果没有更多的关于轴承的功能和对轴承的工程要求的了解, 也没有办法作出好的决定。

表 1.1 轴可能用的轴承

类型	外径, mm	宽度, mm	额定载荷, N	极限转速, r/min	代号
深沟球轴承	42	8	7900	16000	16004
	42	14	9380	16000	6004
	47	15	12800	14000	6204

续表

类型		外径,mm	宽度,mm	额定载荷,N	极限转速,r/min	代号
角接触球轴承		42	12	10500	14000	7004C
		42	12	10000	14000	7004AC
圆柱滚子轴承		42	12	25500	13000	NU1004
		47	14	26500	12000	NU 204E
滚针轴承		32	16	15200	9000	NKI 20/16
		26	20	19200	9000	NKI 20/20

1.3.4 再设计

假设一个液压缸生产厂家生产长度为 0.3m 的液压缸。如果客户需要长 0.5m 的液压缸,厂家就需要加长缸体和活塞杆的长度来满足这种特殊要求,这些改变可能需要参数的改变,也可能要有其他的改变。假如活塞杆材料不适应新长度的要求,或者由于增加长度使得缸体充液速度变慢达不到使用要求,这时候的设计工作问题就是再设计问题。通过改进设计使产品适应新要求的工作,基本属于再设计问题。

许多再设计问题是程序化的工作,设计师对所属设计领域非常了解,采用的设计数据和设计方法也可以在手册中表示为一系列的公式和规则供查阅。液压缸尺寸参数改变的设计情况,对制造商来说就可能是程序化设计。

尽管一些产品设计是成熟的设计,但随着产品的使用、技术的进步和社会的发展,成熟的产品设计也会发生变化。人们常用的产品自行车,在 19 世纪末已是成熟的设计,到了 20 世纪 30 年代自行车加上了变速器,到了 20 世纪 80 年代传统的自行车结构发生了较大的变化,自行车架可能不是菱形车架,车架的材料可能不是钢的,甚至骑行者的位置也不同。为什么成熟的产品设计会发生进化呢?首先,产品的使用者总是希望提高产品的性能;第二,科学技术的进步包括新材料的采用,新的制造工艺的发展及人的舒适性、安全性要求的提高;第三,产品大批量生产的要求和成本降低的要求;第四,使用者总是希望使用一些新的、令人兴奋的产品,即使产品的功能没有很多的提高。

不同的机械设计问题针对不同的对象和任务进行设计,其设计方法也有所不同。原创性设计一般包括较多的研究工作,特别是在原型机的设计阶段。参数设计根据其设计对象,有时可采用选择设计方法,即把已有的、已标准化的元件和部件,有机地优化组合成新的产品。当所需产品的性能在已有的两种产品之间时,可采用内插式设计方法进行变形设计。所需产品性能超出现有产品时,则可采用外推式设计方法。但这种设计由于已超出过去的生产经验,所以有一定的风险。对重要产品采用外推式设计方法进行设计时,需进行必要的实验研究工作。再设计是对成熟产品进行改进设计,有时也带有原创性设计的性质。另外,在参数设计中,对所改进或新增的部件可能也需要进行原创性设计。因此,虽然设计问题可分为四种类型,但在具体设计过程中,有时是难以截然区分的。

1.4 机械产品设计中设计需求问题的理解

1.4.1 正确理解机械产品的设计需求问题

产品的设计需求是指产品的设计说明或目标,包括功能与技术要求。一个新产品在设计过程中都有一个逐渐明确产品需求的过程,没有对所设计的产品设计需求的正确理解,将使产品的开发者更困难、更费钱。下面以水手四号阻滞器设计的实例来正确理解产品的技术要求是多么重要。卫星发射时,水手四号卫星被捆绑在火箭上,它的太阳能电池板折叠在两侧。发射后,卫星要旋转以使得太阳能电池板可以依靠离心力打开,并在完全打开位置锁紧。因为这些板非常大而且脆,所以人们担心:当它们碰到确定其最终位置的止动装置时会损坏。为了解决这个问题,拥有水手四号卫星的宇航公司签订了一个研制阻滞器合同,使电池板在到达最终位置时,能够轻缓地减低速度。阻滞器的设计要求非常苛刻:它们要工作在真空和寒冷的太空中,有很高的可靠性,不能有漏洞。研究这个阻滞器花费了数百万美元和大量的时间。然而,经过广泛的研究、试验和仿真,也没有得到一个可用的装置。随着时间的流逝,设计师在计算机上做了一个模拟,看看如果太阳能电池板完全被破坏了会发生什么。令设计者惊讶的是,仿真表明电池板没有任何阻尼也安全地展开了。最后,他们意识到根本不需要阻滞器,水手四号在没有阻滞器的情况下成功地飞向了火星。

上述实例说明,不能正确地提出产品的设计需求,将会耗费不必要的人力和金钱,并且延误产品推向市场的时间。提出产品正确的设计需求问题,有三个因素影响。首先,随着产品的设计进程,对产品有了更多的了解,可能增加了更多的特性;第二,在设计过程中,新技术和新产品被应用,会影响原来的设计需求,是配合使用(改变一些设计需求),还是重新开始(确定新的产品设计);第三,因为决定设计,任何设计需求上的变化都会引起对以前所有决定新的要求重新确定。甚至一个看似简单的设计需求变化,都会引起整个产品实质性的再设计。

因为所有设计问题都不是精确定义的,因此明确设计需求是产品设计开始阶段一个非常重要的工作。在分析理解设计需求或寻找设计需求的过程中,一般要遵循以下几个原则:

(1)设计需求需要有区别性。提出的设计需求应该具有区别性,以便在评价时能够区别它们。

(2)设计需求一般可以定量测定。理想情况下设计需求都可以量化测定,下一节将主要讨论这个问题。

(3)提出设计需求应具有正交性。每个需求都应该确定其唯一的特征以区别于其他需求,需求之间不能有交叉。

(4)重视产品一般意义上的设计需求。一般意义上的设计需求反映的是产品的总体特征,对于所有被提出的可能性特征是重要的。如果一个一般意义的设计需求,仅包含部分可选性特征,它就不是一个一般意义的设计需求。

(5)保证设计需求的外在性。

1.4.2 理解设计需求的几个主要问题

理解设计需求问题本质上是要明确产品的设计目标,或者是获得好的设计说明。其主要理解的问题包括产品用户是谁和用户想要什么。

1.4.2.1 产品用户是谁

理解设计需求在某种程度上是理解用户的需求,其目标是将用户的需求转化为设计内容的技术描述。为此,必须很好地确认谁是用户。对许多产品设计问题,用户不止一人,最重要的用户就是那些将要购买产品和将要告诉其他消费者产品质量的用户或顾客。用户或顾客是一个群体,不同的消费需求形成不同的消费群体。例如,常见的产品自行车,最主要的顾客是骑行者,他们往往既是购买者也是骑行者。通过分析骑行者的需求,可以分为两类:一类是单独在街道上骑行,作为在普通道路上或远途往返用的代步工具;一类是在郊外粗糙不平的路面或山地小路上骑行作为户外运动工具。针对这两类顾客,需要设计两种不同的自行车产品。

一些产品——航天飞机或油井钻头,虽然不是一般的消费品,但也有广泛的消费基础。例如,顾客、设计管理人员、制造商、销售者和售后服务者都可以被看作是顾客。另外,标准制定者也应该被看作是顾客,因为他们最可能对产品提出要求。除此以外,工厂的生产者、安装工人和运输人员也应被看作顾客,因为可制造性需求、可装配性需求和产品成本控制与他们有密切联系。所以产品的用户是谁必须认真研究。

1.4.2.2 用户想要什么

知道了用户是谁之后,下一个任务就是设计目标,即顾客需要什么。现仍以自行车产品为研究对象讨论不同的用户有不同的需求,自行车产品的三类用户(顾客)需要的是是什么。

对最终骑行者用户,典型的需求是顾客希望产品能够按预期正常工作,有较长使用寿命,容易维护,看起来有吸引力,具有最新的科技含量以及其他许多特点。

对制造厂家用户,希望产品容易生产(包括生产和装配),采用可获取的资源(人的技能、设备和原材料)和标准的制造工艺,能充分使用现有的设备生产。

对销售用户(市场/销售人员),一般希望产品能够满足其性质和顾客的需要;容易包装、储存和运输,有吸引力,容易陈列。

怎样从用户那里得到需求信息,常用的方法有观察、统计和中心小组法。

大部分新产品都是对现有产品的完善,因此许多需求可以通过观察顾客使用现有产品的情况获得。例如,汽车设计师到销售中心观察顾客将货物放入汽车的过程,从而了解对汽车车门的需求。

统计方法一般用于收集特定的信息或者征求顾客意见。统计采用经过精心设计的调查问卷,通过邮件、电话或者面对面的座谈进行。统计特别适用于对再设计或者新产品、熟知的产品范围内收集顾客需求信息。对于原创型产品设计,征求顾客意见则最好采用中心小组的方法。

中心小组法用于帮助设计师从潜在的消费群体获取顾客的需求。它的基本方式是首先确定7~10个潜在用户,并征询他们是否愿意参加新产品的讨论会。设计师中1人担任会议主持,再有一个助手做记录员。会议的目的在于找出需要设计的产品中还不具有的特性,因此需要顾客的想象力。会议的主要内容是询问已经设计好的有关产品功能、性能和刺激性需求。会议主持人的职责就是通过提问引导讨论进行,而不是控制它。小组讨论会需要主持人少量的干涉,因为与会者之间希望得到评论。会议进行中有有助于得到有用需求的一种技巧是请主持人不断问“为什么”,直到可用时间、成本和质量等形式表达出相关信息为止。要得到好的信息需要经验、训练和与不同的与会者的多次交谈。经常是第一小组提出的问题需要第二小组来解决。要得到可靠信息一般需要经过六次会议。

获取顾客需求不论采取哪种方法,应遵循下面的步骤:

第一步确定需要的信息,即将问题简化成一句描述需要信息的话,如果不能用一句话表达需要的信息,至少保证有一组收集的数据。

第二步确定采用的数据收集方式,即选择观察、统计或中心小组等方法。

第三步确定每个问题的内容,即从每个问题中期望得到答案的目标必须写出来。每个问题应该有一个独立的目标。

第四步设计问题,即每个问题都应该寻找没有偏见、不含糊、明确和简洁的信息。设计问题的关键点是:不要假设顾客具有很多知识;不要使用行话;不要引导顾客趋向你想要的答案;不要将两个问题混在一起;使用完整的句子。

通过各种方法获取顾客对产品的不同需求,经过整理可以得到以下不同的需求类型:

(1)功能类型需求:包括能量流、信息流、物质流、操作步骤和运行程序等;

(2)人机工程类型需求:包括产品外表形态、力和运动的控制、人操作的适应性、控制的难易程度和感觉状态;

(3)物理类型需求:包括物理性质有重量、密度和光、热和电的传导性能需求和可用的安装空间和操作空间;

(4)产品可靠性类型需求:包括产品失效平均时间、安全性和伤害评估;

(5)产品寿命周期类型需求:包括销售、运输、维护、安装性能,可检测性、可维修性、可清洁性性能,报废处理性能;

(6)资源类型需求:包括资金、时间、成本、设备、标准和环境;

(7)制造加工类型需求:包括材料、数量和加工能力。

1.4.2.3 如何满足用户需求

许多设计是针对已经存在的产品进行的,理解和研究同类具有竞争性产品如何满足用户需求的问题,也是理解设计需求的一个重要工作。研究已有产品的目的有两层:首先,它能让你知道什么是已经存在的;其次,它也能显示出一个对现有产品进行改进的机会。每一个进入市场的产品,不管是已有的产品或是正在设计的产品,都应该与顾客的需求相比较。对应顾客的每个需求,可以划分五个等级。

第一级:产品根本没有满足需求。

第二级:产品满足了一点需求。

第三级:产品某种程度上满足了大部分需求。

第四级:产品满足了大部分需求。

第五级:产品完全满足需求。

虽然这样的分级不是很细致,但它能显示出产品满足顾客需求的程度,同时也提供了一个对现有产品进行改进的一个机会。如果所有竞争者的产品对某一个需求的满足都在一个低值的范围,那么显然就是一个机会。反过来,一个顾客认为非常重要的需求,有一个竞争者的产品已经完全满足了这个需求,那么就需要对该产品和其中好的设计进行研究,特别需要注意其中的专利。认真分析其专利技术,将有助了解竞争者怎样满足设计需求,并提出改进的技术要求。

1.4.2.4 产品的需求与工程设计目标

研究产品设计需求的目的是提出一系列的工程设计要求。这些要求是用参数表达的设计问题,这些参数能够被测定,且可用数值或其他指标表示出来。设计师可以根据这些参数信息了解需要设计或完善的系统是否满足顾客的需求。

用数值或指标表示的参数告诉顾客的需求是否得到满足,这些参数是顾客需求的度量。

一些用户的需求是直接定量的,如要求一个装置的质量为 100kg,或者复印机纸张托盘的大小为 A4 型纸。另一些需求则是抽象的需求,如“容易连接”,就必须细化,便于测定。这个需求可以用连接需要步骤的数量;连接需要的时间;零件的数量;使用标准工具的数量来定量。如果一个工程参数的单位不能测定,则这个参数就是不可测定的,而且必须重新提出。每个工程参数都必须是可测定的,因此必须有度量单位。然而“连接需要时间”是一个不可靠的测定,因为它依赖于使用者的技巧和熟练程度,可以对顾客的技能水平进行定义或者去掉这个参数。确定设计指标的重点就是尽可能多地发现顾客需求的定量方法,如果没有找到一个可给顾客需求定量的工程参数,那就表明没有很好地理解顾客的需求。可能的解决办法就是将需求再细分成相互独立的部分,或者对特定的问题重新研究。

正确理解顾客需求除上述几个问题外,还需考虑不同顾客需求的相对重要性;工程设计指标之间的相互依赖和互相影响等问题,需要在实际操作过程中认真分析。

1.5 机械产品寿命周期

每一件产品都有其寿命周期,如图 1.4 所示。图中每一个圆圈代表产品生命历程中的一个阶段。产品的寿命周期分为四个阶段:第一阶段是产品开发阶段;第二阶段是产品生产和销售阶段;第三阶段是用户使用阶段;第四阶段是产品寿命终结阶段。尽管本书是讨论机械产品设计的,但作为一个设计师要开发出优质的产品(第一阶段),除主要做设计工作外,还可能参与其他三个阶段的工作,所以设计师必须对产品寿命周期的各个阶段工作有充分的了解。

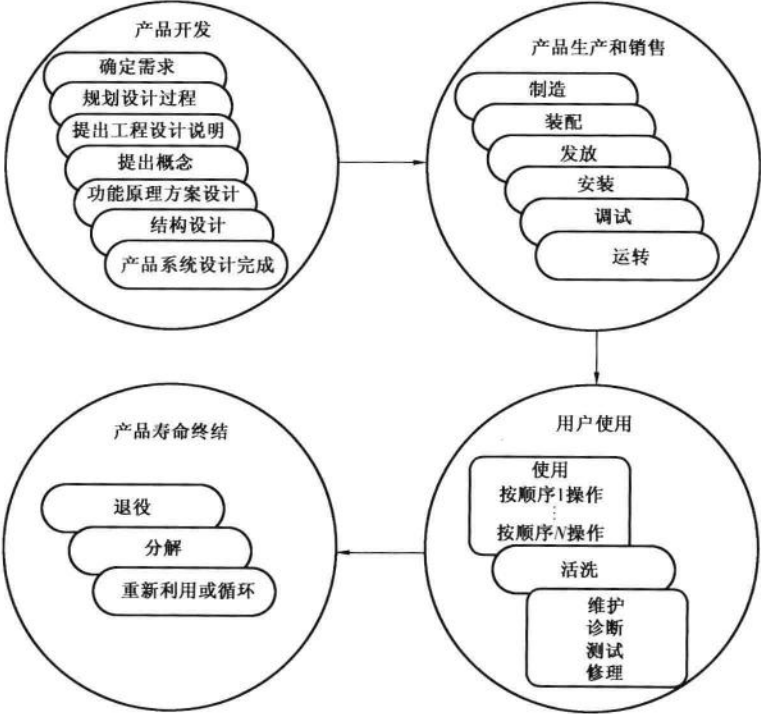


图 1.4 产品寿命周期图

第一个阶段主要是确定产品项目的分析论证和产品设计。确定产品项目的需求是一项十分重要和细致的工作,包括市场调研、产品功能需求分析、设计过程的计划和规划、提出概念、功能原理方案设计、技术实现分析、产品系统设计和结构设计等项内容。本书将在第二章和第三章详细讨论一个产品的概念设计、功能原理方案设计和结构设计方法。

第二阶段是生产和销售阶段。在这个阶段,有些产品只是将现有的零件进行组装,但对大多数产品来说,单个零件要从原材料通过机械加工成形而制成。设计工程师应该在设计过程中考虑制造过程中可能出现的问题,但因为他们不是制造专家,有时可能在结构设计过程中作出不十分合适的设计。因此,设计师应尽可能多地听取制造工程师的意见,最好在设计团队中有制造工程师加入。安装与调试对产品来说,有的在制造工厂进行,有的在用户的现场进行。产品的运输和安放是这个阶段的问题,问题看起来与设计师无关,但每一件产品都必须以安全与划算的方式交付到用户手中,而且设计要求中可能包含一些产品要装在规定好的容器或满足某种标准货架上的形状要求。在某些情况下,设计师可能会因为运输和安放而改变设计。

将产品销售到用户是实现产品价值的环节,设计师与用户应该有密切的联系。大多数公司都设有产品服务部,可以每天掌握用户和产品的信息,并将这些信息反馈给设计工程师。这些信息将直接让设计师了解产品是怎样使用的,及产品良好的性能和不好的性能,为开发新的产品提供新的依据。

第三阶段用户使用阶段。用户需要产品开发者提供安装规程、操作规程和维修保养规程。安装规程包括打开包装,动力源、支撑和环境控制做必要的连接和适配,以及第一次启动和测试。操作规程包括操作机械装置正常工作规程,如启动、待用,紧急情况操作和停止工作。所有的产品都需要维护,维护规程一般与操作规程合并。

第四阶段产品寿命终结阶段。当一个产品的使用寿命结束时,可能有三种处理方式,即处理掉、再利用和再生。设计师应该重视产品寿命终结后的环境影响,以适应社会成员、政府和用户的环保意识。

1.6 机械产品系统设计方法

1.6.1 机械产品系统与系统设计

从系统的观点来看,机械产品是一个系统,但它又处于一个更大的系统之中;从机械产品来看,机械产品是内部系统,其环境则是外部系统,也有的将两者合称为全系统。内部系统与外部系统之间有各种联系,即相互间有作用 and 影响。外部系统对内部系统的作用和影响,对外部系统来说是输出,而对内部系统来说则是输入;反之,内部系统对外部系统的作用和影响,对内部系统来说是输出,而对外部系统来说则是输入,如图 1.5 所示。外部系统包括机械产品所处的自然环境、社会环境和人。因此,有时也将此更大的系统称为人一机—环境系统。在机器与外部系统组成的大系统中,机械产品的功能是否优良,取决于其使用的自然和社会环境,而且是由使用的人来评价的。产品在市场上是否有竞争力,则是由市

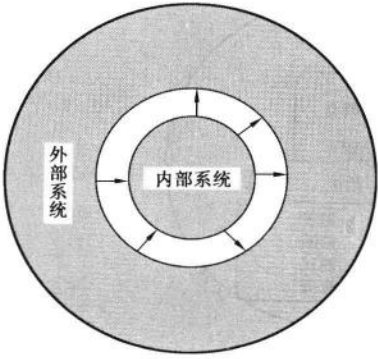


图 1.5 内部系统与外部系统