

产品设计理论与方法的发展趋向及产品的现代设计*

闻邦椿

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要:产品的设计是产品质量的“灵魂”,产品设计对产品质量有着十分重要的影响,除了对产品质量影响之外,对产品的制造成本、产品的生产周期、产品的环境,以及产品的售后服务等都会产生重要的影响。当今人类社会已进入知识经济时代,产品的设计理论与方法随着时代的发展也会发生相应的重大变化。目前,产品的设计已从传统设计模式转向现代设计模式,因此,假如产品的研究、开发及设计还采用传统的设计模式与方法,所设计出的产品自然是落后的,必然不能适应时代发展的需要。本研究介绍了产品的现代设计模式与方法。

关键词:产品设计理论与方法;传统设计模式与方法;现代设计模式与方法

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)03-0255-05

Development trend of product design theory and method and modern design of products

WEN Bang-chun

(School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Design of products is the “soul” of product quality and it can make very important influence on the quality of products. Besides this, it can also make the influence on the manufacturing cost, productive period, environment condition and service after sell of products. Human society has entered the “knowledge economic” age, product design theory and method have varied correspondingly according to change of the age, and the mode of product design has changed from traditional to modern, so that if the product research, development and design also used according to the traditional design mode, then the designed product will behind the times and could not be satisfied the requirement of the age. The modern design mode of products has been discussed.

Key words: product design theory and method; traditional design mode; modern design mode

0 引言

国内外许多科技工作者为了提高产品的设计质量,曾进行了大量的研究工作。对产品设计方法进行了深入的研究,取得了许多重要的成果,并在产品的研究、开发和设计中,取得了良好的效果,假如在这个基础上,将宏观研究与细观研究很好地结合起来,那么我国在设计理论与方法的研究上将会有更大的飞跃和突破。

本研究论述了产品设计理论与方法的发展趋向及

产品的现代设计。

1 产品设计方法的发展

就目前国内外的研究状况来看,产品的设计理论与方法正在向如图 1 所示的几个主导方向发展^[1-4]:①在科学发展观和自主创新思想指导下的设计理论与方法;②面向产品质量、成本或寿命的设计理论与方法;③为加快设计进度及实施设计智能化的设计理论与方法;④面向复杂系统和高难度(非线性、非稳态、高维、

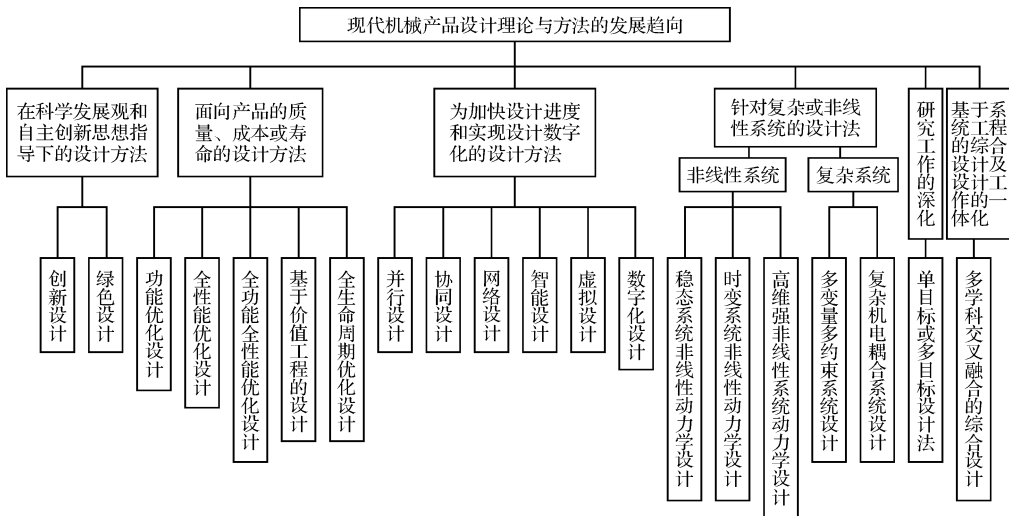
收稿日期:2010-11-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50975045)

作者简介:闻邦椿(1930-),男,浙江温州人,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要从事非线性动力学、振动利用工程、综合设计理论与方法等方面的研究。E-mail:bcwen1930@vip.sina.com

强耦合、不确定、多变量等)问题的设计理论与方法;
⑤面向产品广义质量的综合设计理论与方法。这些设计方法各有各的特点和适用范围。但是这些设计方法是以单一目标设计理论方法为基础,所以对单一目标设计方法研究工作的深化是搞好综合设计法的基础。在现有研究成果的基础上,所研究的设计理论与方法

应该更加突出地按照科学发展观的基本要求加以实施;设计方法应该更有效地提高产品质量、降低成本和保证使用寿命;应该考虑如何缩短设计和制造周期,更广泛采用信息化技术;应该针对更复杂机械系统和更高难度(如非线性系统等)的问题进行研究,应该在最大范围内来满足用户对产品广义质量的要求等。



1.1 在科学发展观和自主创新思想指导下的设计理论与方法

在科学发展观指导下的经济发展应该遵循协调、稳定、持续和高速发展的基本原则,在科学发展观指导下的产品设计理论与方法,也应遵循这一原则。环境的污染降低到最小程度;能源的消耗达到最少;而且所取得的功效达到最高,这样,人类与自然界始终处于协调与和谐的发展过程中,绿色设计是绿色制造的延伸,也是科学发展观中特别强调的研究方向。人类社会的发展过程必然会遇到人类与自然之间出现相互矛盾的情况,人口的不断增加、资源总量的相对局限性和短缺、生产过程对人类与环境所造成的污染,自然而然地出现人与自然之间的不协调性和矛盾。“绿色设计”是通过产品的设计来实现人类社会与自然界在发展过程中趋于协调与和谐,既要考虑保护自然环境和资源的合理利用,还要考虑保护社会环境、生产环境,更要考虑劳动者及使用者的身心健康。绿色设计可以在较大范围内实现上述目标,这可使资源获得合理和有效的利用。

创新设计也是在科学发展观指导下或新的设计思想和观念指导下的设计理论与方法,它不仅要贯穿在绿色设计的整个过程中,源源不断地给绿色设计增加活力,用创新设计的思想来完成绿色设计的全部内容,也要在其他各种设计方法中加以贯彻,创新设计的基

础是实践,必须大大加强包含实践环节在内的各种创新活动。

1.2 面向产品质量、成本或寿命的设计理论与方法

在这类设计法中有三次设计法、全性能优化设计法、功能质量展开的设计法(如 QFD 设计法等)、全生命周期优化设计法等。三次设计法包括系统设计、参数设计和容差设计,这里所指的是设计工作的三方面主要内容,在上世纪 70 年代提出的设计法应该说是最先进的;全性能优化设计法强调的是产品的性能,功能优化设计法所强调的是功能的优化,这种方法有它的优点;全生命周期优化设计法的主要目标是产品的寿命,但其他方面的要求还讲得不十分具体。以上这些方面各有其优点,实施的好坏取决于设计者的经验和能力。在参考这些方法的基础上,本研究提出了基于系统工程的全功能和全性能优化综合设计法。

1.3 为加快设计进度和实现设计智能化的设计理论与方法

并行设计、协同设计、网络设计及智能设计等设计理论与方法,对于加快设计进度,缩短设计周期具有重要的作用。在科学技术高速发展的今天,缩短产品的生产周期,提早产品的交货期,对于提高产品在国内外市场竞争中的地位具有十分重要的意义。

1.4 针对复杂机械系统和非线性问题的设计理论与方法

(1) 以复杂机械系统为研究对象的设计理论与方法。目前对复杂的机电耦合系统,还缺乏深入研究。从理论上来说对该类系统有进行深度研究的必要,对于强耦合复杂机械系统,多目标、多约束的机械系统,均需建立新的设计理论与计算方法。

(2) 以非线性动力学为基础的设计理论与方法。由于目前大型高速旋转机械屡屡发生毁机事故,这些事故的发生多数是由非线性因素引起的,因此,以提高产品结构性能为主要目标,使机械获得优良的动力学特性,防止严重事故的发生,对大型旋转机械非线性动力学问题的研究迫在眉睫。建立以非线性振动、非线性动力有限元和非线性多体系统动力学为基础的非线性动态设计理论与方法是十分必要的。

1.5 单一目标和多目标设计法研究工作的深化

除前面所述的研究方向外,由于产品设计的理论与方法很多,例如,从设计思想和观念方面来看,有概念设计、创新设计、绿色设计等;从设计的内容来看,有机构设计、结构设计、摩擦学设计、传动设计等;从设计方法来看,有优化设计、智能设计、网络设计、数字化设计等。这些方法对提高产品质量或加快设计进度等均会发挥其重要的作用。对这些单一目标或多目标设计法的研究,仍有其十分广阔的发展空间,对它们进行深入研究自然是十分必要的,也是一项重要而迫切的任务。这些方法研究的深化可为以这些方法为基础的综合设计法的应用与发展提供必要的理论基础。

1.6 面向产品广义质量或产品全部功能和性能的综合设计法

设计方法论正面向产品功能或性能的总体化方向发展,它是以产品的广义质量为目标,即在最大范围内来满足用户对产品广义质量的要求。总功能和全性能综合设计法是功能优化、动态优化、智能优化和可视优化为一体的广义优化的设计方法,由于单一方法通常只考虑产品质量或产品性能的某一方面或某些方面。因此,产品总功能和全性能优化综合设计法将几种设计法综合在一起,以便在较大范围内来满足用户对产品广义质量的要求。综合设计法具体包含以下几个方面的内容:

(1) 以满足产品功能为主要目标的功能优化设计。任何产品都有其功能要求,要根据产品的功能,即以改变产品几何形态、物理形态、化学组成、信息状况、生理机能等对产品进行功能优化设计,以便达到工效

的实用,在此基础上,对主要参数和工作过程进行智能控制和优化,使产品技术指标更加优越。

(2) 以提高产品结构性能为主要目标的动态优化设计。产品的结构性能包括工作安全可靠、结构紧凑、有足够的寿命、造型艺术、对环境无害、设计经济等方面,通过产品的静动态设计和可靠性设计,特别是对于大型高速旋转机械,还要考虑非线性动力学问题,这种动态优化设计:动态设计和可靠性设计都是保证产品结构性能的必要手段和措施。此外,还要考虑产品外形的造型艺术等。

(3) 以提高产品工作性能为主要目标的智能优化设计。以提高产品工作性能为主要目标,使产品获得良好的工作指标(或技术性能),即产品的工作稳定性、工效实用性、性能优越性和操作宜人性等。智能化设计是要设计出具有一定“智能”程度的产品,因而它不仅是手段,也是目标。这和一般书本中定义的智能化设计有所不同。具体内容包括工作状态的智能监测、参数的智能控制及优化、工作过程的智能控制及优化、故障的智能诊断等。智能优化设计通常是以非线性动力学理论和控制理论(包括非稳态过程、滞后过程)为基础,以广义优化为手段。

(4) 以提高产品工艺性能及广义质量为目标的可视优化设计。以提高产品性能为主要目标,即检验产品制造、装配和工作过程的可行性和合理性。通过装配可视化和工作过程可视化,可以对所设计产品的制造工艺性、零部件的规范性、设备可装配性和可维修性等进行检验,获得相应的反馈信息,进而对设计中不合理部分进行修改。

可视优化设计和虚拟设计有所不同,它不仅是一种手段,同时为提高产品设计质量发挥作用,因而也是一个追求的目标。它包括几何图形可视化、机器或机构运动过程可视化、机械系统动力学状态的可视化、机械及其系统的各种工作过程的可视化等。

2 现代设计与传统设计的比较

设计的思想和方法一方面不断地影响着人类的生活与生产,不断推动社会的进步,另一方面又受着社会发展的反馈作用,不断地发生变化和更新。为了反映设计思想和方法随社会的变化情况,人们通常采用“传统设计”和“现代设计”这两个术语予以区分,事实上,“传统设计”和“现代设计”只是一个相对的概念而已。

通常所说的传统设计可以定义为以经验为基础,运用长期设计实践和理论计算而积累的经验、公式、图

表、设计手册等,作为设计的依据,通过经验公式、修正系数或类比等方法进行设计^[5];而现代设计是指凭借计算机、网络或其他现代化设备,采用现代化的设计理念或方法,例如采用创新设计、绿色设计、数字化设计、优化设计、动态设计、综合设计、稳健设计、可靠性设计等,并采取并行或协同的模式来进行产品设计。现代设计是随着科学技术的不断发展以及人们对产品质量要求不断的提高,并且在不断吸收传统设计的经验的基础上而逐步发展起来的。

传统设计与现代设计的几个重要特征如图 2 所示。现分别说明如下:

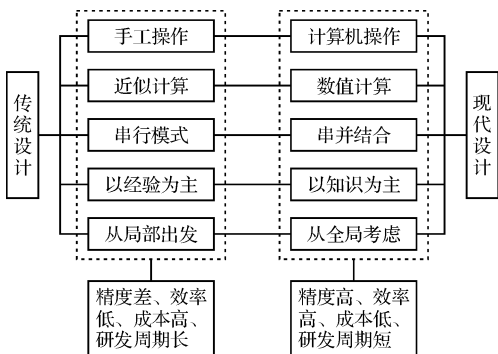


图 2 传统设计与现代设计的对比

(1) 在使用工具上的区别:传统设计主要是依靠手工操作来完成的,例如一些设计计算及绘图基本上要靠手工完成,这样不仅导致设计进度缓慢,也在很大程度上约束了人脑的设计思维进度。现代设计主要依靠计算机来完成,设计计算、绘图、分析甚至样机检验都可借助于计算机来实现。有了计算机,设计人员可以把精力重点放在产品创新上,而不是一些重复性的劳作,从而显著地提高了设计效率。

(2) 在计算方法上的区别:传统设计在设计计算中通常依赖于解析求解方法,由于工程实际问题的复杂性,使一些具体问题无法求得解析解,因此,为了求解不得不将问题简化而采用近似计算,导致设计的精度降低。现代设计在设计计算中通常采用数值算法,例如有限元方法,在充分考虑各种影响因素的前提下,利用计算机强大的计算能力来获得较精确的解。

(3) 在设计形式上的区别:传统机械设计主要采用“方案设计—图纸设计—样机制造及检测—设计改进—生产制造”这一串行模式。在传统设计中,往往只有在制造物理样机和产品使用过程中,才能发现设计上的缺陷,或对物理样机进行实际试验和使用时,才能获知设计质量的高低。这种设计模式不可能使设计过程获得较高的效率和使产品具有较高的质量,这与竞争十分激烈的市场环境不相适应。现代设计一般尽

量采用并行设计模式,由于计算机网络等先进通讯工具的出现,使得协同异地进行产品设计已成为可能。但是,这里需要说明的是在产品设计中完全采用并行设计模式是不可行的。例如按照综合设计理论方法体系,产品设计大致可以分为调研、规划、实施和检验 4 个阶段,在这 4 个阶段中仅仅在某些阶段可以考虑采用并行和协同的设计模式,即使在科学技术高速发展的年代,要想用并行模式全部代替串行设计模式也是不可能的。因此,在图 2 中笔者将现代产品的设计模式写为串并行相结合的模式更为科学和合理,以免出现矫枉过正的局面。

(4) 在知识运用上的区别:传统设计通常凭借设计者直接的或间接的经验,通过类比分析或经验公式来确定方案,由于方案的拟定很大程度上取决于设计人员的个人经验,即使同时拟定几个方案,也难于获得最优方案。现代设计从以经验为主过渡到以知识为主,设计者利用知识工程、人工智能等相关技术,可以科学地进行设计过程中的各种决策,从而促使设计效率、产品质量获得大幅度的提高。

(5) 局部或全局性的区别:传统设计通常只根据产品设计的各种需求,一对一地去解决设计中遇到的问题,缺乏整体的或全局的观念,而现代设计更加科学、更加全面、更加系统,因此,基于系统工程的综合设计理论与方法具体地贯彻了现代设计的思想。

从前面所述的传统设计与现代设计的 5 个方面的对比可以看出,传统设计已不适应时代的发展,必将被现代设计所取代。同时现代设计也必须从传统设计中吸取有益的经验而使其获得进一步的发展。为此,科研工作者应进一步研究与发展现代设计理论及方法,使其能够更好地为实际的产品设计工作服务。

基于系统工程的综合设计理论与方法^[6-7]是在科学发展观指导下的产品设计理论与方法,它采用了科学的方法对产品全部设计工作进行妥善的处理,对产品的整个设计工作能进行全面的规划,对产品设计各个子系统进行系统与协调的安排。

该系列著作中所阐述的综合设计法,就是为了避免给产品设计工作带来的许多不足(例如,设计中常常出现的片面性和随意性等),以便获得优越的产品质量、较低的制造成本、较短的生产周期、良好的环境保护,以及较少的售后服务工作量等。

因此,本系列著作提出的基于系统工程的综合设计理论是属于现代设计的范畴,它从宏观角度对产品设计工作进行全面的和系统的规划和安排,以使产品设计工作得以全面、协调和可持续地开展,同时,还在

具体的实施过程中有效地采用科技工作者提出的各种先进设计方法。

按照基于系统的综合设计理论与方法,产品设计应该按以下4个步骤进行:

(1) 在产品研究与开发及设计之先,应该进行详细和全面的3I调研,即了解用户需求、产品研究与开发的各类环境,以及可能出现的风险调查;

(2) 在调查研究的基础上做好产品设计的规划,即7D规划,针对设计指导思想、设计环境、设计过程、设计目标、设计内容、设计方法、设计质量检验与评估等方面进行全面的规划;

(3) 接着在产品设计的实施阶段,按照“1+3+X”的公式开展产品的设计工作,即以明确的目标、具体的内容和有效的方法开展功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计、可视优化设计和特殊性能的优化设计。在实施综合设计法的过程中,根据具体情况,要采用各种先进和有效的方法,如创新设计、绿色设计、概念设计、全功能设计、全功能全性能设计、动态设计、智能设计、虚拟设计、稳健设计、可靠性设计、数字化设计等。

(4) 最后通过3A的检验方法,即根据经验和理论方法、通过试验及用户的信息反馈等对产品设计质量进行检验与评估。

因此,应该对现代设计从两方面来理解:

(1) 从宏观角度,以科学发展观做指导,在产品研究开发之先进行全面的调查,在调查研究的基础上,对产品的设计工作进行全面规划,并严格地按系统工程的思想予以实施,还要严格地进行检验与评估。

(2) 从细观角度,即在具体实施过程中,采用各种单一的先进设计方法,如创新设计、概念设计、绿色设计、数字化设计、网络设计与平行设计等。

这应该是现代设计的完整概念,如果孤立地考虑某一先进的设计方法在设计过程中所起的积极作用,而忽略宏观方面的全面、系统、协调的规划与安排,这将是不完整的。综合设计法采用了功能优化设计、动态优化设计、智能优化设计、可视优化设计与特殊性能的优化设计;同时在这个过程中,还要采用其它先进的设计方法,如稳健设计、网络设计、协同设计、并行设计、可靠性设计、数字化设计等。这应该是一种理想的和比较完整的理论与方法。

3 与各类设计目标相适应的各种设计理论与方法的选用

产品设计理论与方法的种类繁多,如何选择相适

应的理论与方法来完成不同设计目标的设计任务,这是摆在产品设计师面前的一项十分重要的任务:

(1) 对功能与性能有全面要求的设计。产品设计方法的选择首先要依据所确定的设计目标,例如,对于新产品的的设计,一般考虑的问题比较多,所要求达到的目标也比较全面,因此,通常可以选择综合类设计方法,如采用基于系统的综合设计理论与方法。

(2) 要求有良好技术性能的设计。对于一些已经完成功能设计的产品,而对其性能(如工作耐久性及寿命等)有特殊的要求,如某些汽轮机,其功能设计已经完成或基本得以实现,对于这类机器,其设计主要内容为三大性能,如振动设计,以及工作稳定性、工作可靠性与疲劳强度等的设计等。

(3) 要求降低产品成本的设计。降低产品制造成本是产品设计始终要考虑的一个目标,但对于某些产品,产品制造成本作为设计的主要目标来考虑,在这种情况下,在设计时要从产品的各个方面,如材料、产品结构、制造工艺、采用智能化与自动化程度等,寻求降低产品制造成本的途径,以便设计出制造成本较低的产品。

(4) 要求缩短生产周期的设计。产品的生产周期会直接影响产品投放市场的时间,对于某些产品在市场上竞争力的强弱直接依赖于产品投入市场的早晚。因此,在这种情况下,从产品研究、开发、设计、制造到试验等全部过程采用快速的方法,即并行设计与制造、协同设计与制造、网络设计与制造的方式,来加快设计制造的进度。

(5) 要求改型升级的设计。产品总是要不断的更新,进行改型或升级,产品的改型或变型设计和快速反应设计是实现这一任务的重要手段之一。

(6) 要求进一步提高设备的自动化程度和技术含量的设计。机电一体化和智能化设计是提高产品自动化程度的一种有效的设计方法,当然还需要有其它设计方法的配合与协作来完成。

(7) 适应环境的设计。采用绿色设计与和谐设计可以更好地满足产品环保的要求。绿色设计主要针对环保与资源的合理利用;而和谐设计则除考虑上述要求外,否定学要考虑社会环境、技术环境、市场环境和资金环境等。

(8) 引进与消化国外产品的设计。如果从原理上对引进产品进行消化、吸收和再创新,那就和新产品的设计一样,要采用基于系统的设计理论与方法;如果只从某一方面进行改进,那就要根据具体内容采用相应的设计理论与方法。(下转第264页)

参考文献 (References) :

[1] ARAI M, TAKAYAMA T, HIROSE S. Development of “Souryu-III” Connected Crawler Vehicle for Inspection inside Narrow and Winding Spaces [C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Sendai: [s. n.], 2004.

[2] ARAI M, TANAKA Y, HIROSE S, et al. Development of ‘Souryu-IV’ and ‘Souryu-V’: serially connected crawler vehicles for in-Rubble searching operations [J]. **Journal of Field Robotics**, 2008, 25(1-2): 31-65.

[3] KIRYU I, TSUKAGOSHI H, KITAGAWA A. Grow-Hose-I: A Hose Type Rescue Robot Passing Smoothly through Narrow Rubble Spaces [C]//Proceeding of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power. Toyoma: [s. n.], 2008: 815-820.

[4] KITAGAWA A, TSUKAGOSHI H, IGARASHI M. Development of small diameter active hose-II for search and life-prolongation of victims under debris [J]. **Journal of Robotics and Mechatronics**, 2003, 15(5): 474-481.

[5] TSUKAGOSHI H, KITAGAWA A, SEGAWA M. Active Hose: an Artificial Elephant’s Nose with Maneuverability for

Rescue Operation [C]//Proceeding of 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2001: 2454-2459.

[6] HIRAYAMA A, LTO K. Development of rescue manipulator to search narrow space for victims [J]. **Artif Life Robotics**, 2008, 13(1): 331-335.

[7] PALLI G, MELCHIORRI C. Model and Control of Tendon-Sheath Transmission Systems [C]//IEEE ICRA2006, Orlando, Florida: [s. n.], 2006: 988-993.

[8] PHEE L, LOW S C, THANT Z M, et al. Robotic System for No-Scar Gastrointestinal Surgery [C]. IEEE ITAP, 2006.

[9] JONES B A, WALKER I D. Practical kinematics for real-time implementation of continuum robots [J]. **IEEE Transaction on Robotics**, 2006, 22(6): 1087-1099.

[10] CAMARILLO D B, MILNE C F, CARLSON C R, et al. Mechanics modeling of tendon-driven continuum manipulators [J]. **IEEE Transaction on Robotics**, 2008, 24(6): 1262-1273.

[11] YANG J Z, PITARCH E P, POTRATZ J, et al. Synthesis and analysis of a flexible elephant trunk robot [J]. **Advanced Robotics**, 2006, 20(6): 631-659.

[编辑:张翔]

(上接第 259 页)

(9) 仿照已有产品的设计。对于这类工作,通常采用仿型设计或反求设计等方法。目前已有专用的计算设备,用于产品零部件的仿型设计。

(10) 考虑产品维修及再制造的设计。有许多产品经过一定时间的运行以后,必须进行必要的维修,才能使产品继续工作,产品的维修与再制造,对于产品使用的经济性具有重要意义,这可使产品的有效利用时间大大延长,进而可以显著提高企业的经济效益与社会效益。所以在产品设计时,考虑产品的可维修性与再制造的方便性是十分重要的工作。

4 结束语

本研究讨论了下列几个问题:

- (1) 产品设计对产品质量、制造成本、生产周期、环境保护、售后服务等的影响;
- (2) 产品设计方法的发展趋向;
- (3) 产品的传统设计模式和现代设计模式;
- (4) 根据不同要求应该采用不同的产品设计方法。

由于产品目标存在多样性和复杂性,因而对于具体产品的设计应该结合具体情况开展,才能使产品的

研究与开发取得好的效果。

参考文献 (References) :

[1] 闻邦椿,韩清凯,姚红良.产品的结构性能及动态优化设计[M].北京:机械工业出版社,2008.

[2] 闻邦椿,周知承,韩清凯,等.现代机械产品设计在新产品开发中的重要作用—兼论面向产品总体质量的“动态优化、智能化和可视化”三化综合设计法[J].机械工程学报,2003,39(10):43-52.

[3] WEN Bang-chun, ZHANG Yi-min, HAN Qing-kai, et al. High-level design method of 1 + 3 + X for general quality of modern mechanical product [C]. Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics, Nanjing. Science Press and Science Press USA Inc., 2005.

[4] 闻邦椿.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,2010.

[5] 闻邦椿,刘树英,李小彭.产品的主辅功能及功能优化设计[M].北京:机械工业出版社,2008.

[6] 闻邦椿,张国忠,柳洪义.面向产品广义质量的综合设计理论与方法[M].北京:科学出版社,2006.

[7] 闻邦椿.产品全功能与全性能综合设计[M].北京:机械工业出版社,2008.

[编辑:张翔]