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

闻邦椿

(东北大学机械工程与自动化学院　沈阳　110004)

周知承　　韩清凯　　苏保群

(北京吉利大学)　　(东北大学)　　(北京吉利大学)

摘要：机械设备正在向高效化、精密化、智能化、集成化、数字化方向发展，对机械设备的设计质量提出了愈来愈高的要求，现代机械产品设计在新产品开发中起着头等重要的作用。讨论了产品广义质量所包含的内容，阐明了产品的设计对产品综合广义质量(包括结构性能、工作性能与制造性能)的重要影响。提出了一种基于动态优化设计、智能化设计与可视化设计(局部虚拟设计)的三化综合设计法，介绍了该法的主要内容和特点，所提出的这种方法可以在较大程度上满足用户对产品综合广义质量的要求。该法已在某些新产品开发中加以应用，取得了良好的效果。

关键词：产品设计　产品综合广义质量　动态优化设计　智能化设计　可视化设计　三化综合设计法

中图分类号：TH11

0　前言

机械设备在国内外市场中竞争力的强弱，在很大程度上取决于产品的质量(这里所指的是广义质量，即包括 Q、C、T、E、S 等用户对产品的各种要求)，而产品的质量又在很大程度上取决于产品的设计，产品的设计质量可赋予某种产品“先天性优劣”这种至关重要的本质特性。因此对绝大多数产品来说，产品的设计在保证产品质量的过程中起着头等重要的作用。

长期以来，科技工作者试图通过各种设计方法来满足用户对产品广义质量的要求，尽最大努力来提高所研制产品的质量。到目前为止，已提出了数十种设计方法，诸如概念设计、可靠性设计、动态设计、优化设计、智能设计、虚拟设计和绿色设计等，这些设计方法可以从不同角度来满足用户对产品广义综合质量的要求。但是在产品设计中全面采用所有这些设计方法是不现实的，只能选择对产品广义质量有重要影响的少数几种方法进行产品设计，而对其他设计方法所能实现的对产品质量的要求，只能在设计过程中进行适当的考虑，对产品质量影响不大的设计方法甚至不予考虑。据此，提出一种基于“动态优化设计、智能化设计和可视化设计”的三化综合设计法，试图应用这种综合设计法对产品进行设计，以便在较大程度上使产品获得良好的广义综合质量，进而满足用户对产品的各种要求。

要搞好产品设计，首先必须了解并尽可能在设计中反映当代机械科学技术发展的水平与趋向，以及国内外科技工作者提出的或在企业部门中获得应用的各种先进和有效的设计方法。为此，首先讨论现代机械发展的趋向，列举目前沿用的诸多设计方法，并对它们进行了分类；还扼要叙述最常用的几种设计方法的主要内容。

为了搞好设计，还应该全面了解产品广义综合质量的内涵及如何通过各种设计方法来实现用户对产品广义综合质量的要求。为此，对产品的广义综合质量进行了较详细的分析，将它划分为结构上的质量(即结构性能)、使用过程中的质量(即工作性能)和制造过程中的质量(即工艺性能)，提出的这三种性能基本上可以概括目前广泛采用的 Q(质量，狭义的)、C(价格或成本)、T(生产周期)、E(环境)、S(售后或售前服务)等产品总体质量或广义综合质量的基本内容。

* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。国家自然科学基金资助项目(19990510、50075015、50275024)。20030714 收到初稿，20030812 收到修改稿

为了搞好设计，应该了解现代机械产品设计方法与产品广义综合质量的相互关系，以及产品设计在新产品开发中的重要作用。合理地和有效地应用这些设计方法可以使产品获得优良的结构性能、优越的工作性能及良好的工艺性能，使所设计的产品具有良好的广义综合质量；产品设计在新产品开发、老产品改造及机械装备基地建设中均会发挥其重要的作用。

1 现代机械的发展方向及现代设计理论与方法的种类

1.1 现代机械的发展趋向与产品设计方法

机械设备正在向大型化(或微型化)、高速化、高效化、精密化、集成化、综合(指功能)化、模块化、自动化、智能化、数字化、网络化和绿色化方向(即大(或微)、高(1)、高(2)、精、集、综、模、自、智、数、网和绿等十二字方向)发展(图 1)，因此，对产品质量的要求也愈来愈高。高质量的产品是通过精心设计、精密的制造加工、严格的管理生产出来的，但最先的工作或核心的工作是设计，它对产品质量与档次起着“先天性”的本质影响。为了设计出高质量的机械产品，几 10 年来，科学技术工作者提出了各种各样的设计方法，下面从不同角度对这些方法进行了分类，如图 2 所示。

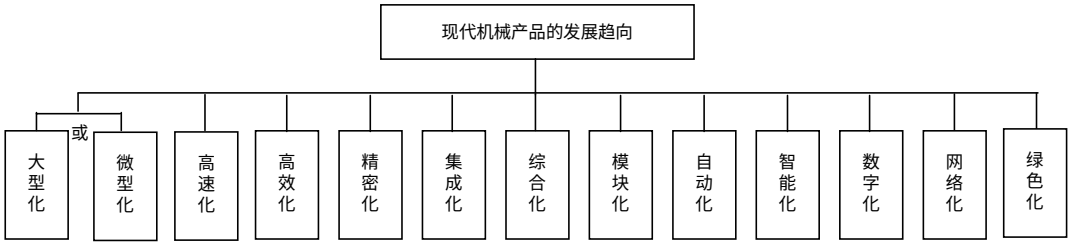


图 1 现代机械设备的发展趋向

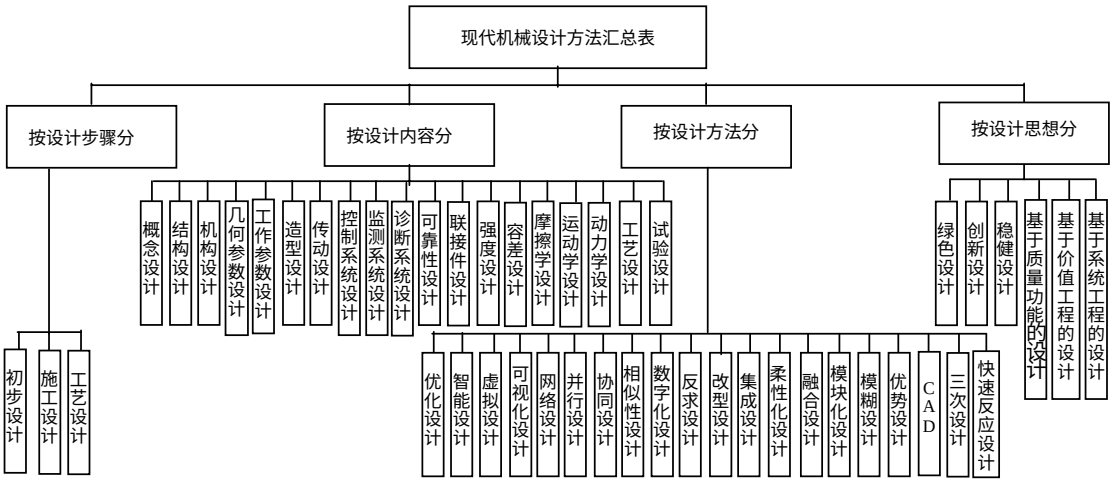


图 2 现代机械设计方法的种类

1.2 几种主要设计方法

在科学技术工作者提出的各种各样的设计方法中，较有代表性的方法[1~15]有：全生命周期优化设计[2,3]、虚拟设计[4,5]、并行设计[6,7]、面向产品质量的功能化设计(QFD)[8~10]、智能设计[11,16]、创新设计[12,13]和动态设计[14~18,20]等。这些设计方法一般只能考虑产品综合质量的某一个方面，或少数几个方面。

全生命周期优化设计：对产品的工作寿命的考虑，在理论上看来是比较全面、比较合理的，但实施起来比较困难。一是目标函数和约束条件太多，二是所需的原始数据很难准确的获取，因此难以获得十分精确的结果。此外，这种方法对机器的工作性能的好坏，如技术性能和使用性能等，未能得到明确的反映。

虚拟设计：美国已将虚拟设计与制造应用于 777 飞机的设计与制造过程中，这种方法对于某些产品来说，是具有重要意义的，是可以采用的。对于设备的工况予以现实模拟，使用户可以直接从外观上，或从它的功能上较全面了解所需设备的情况。但是对于一些特别复杂的机械设备，深层次的情况很难进行模拟。此外，虚拟技术如果没有充足的试验资料或良好的实践基础，这些虚拟技术也会

是不完全符合实际的。

创新设计：在即将到来的知识经济时代，创新在设计中显得十分重要，特别在概念设计过程中是不可缺少的。在创新设计中提倡的是设计的创造性，这是一种设计思想和设计观念。对哪些具体内容进行创新，这是不明确的，所有方面都要创新，也是不可能的，只能在一些主要方面进行创新。所以它的内涵不很明确，也不很具体，要依靠设计者本人具体地加以掌握。

网络设计和并行设计：利用这些方法可以加快产品的设计速度，加速各设计部门间的联系，缩短设计制造周期。它并不明确包含设计的那些具体内容。这些方法对保证与提高产品设计质量和缩短设计周期具有重要的意义。

基于质量功能展开的(QFD)设计：这种方法以用户的要求为出发点，从产品所要求实现的功能的角度，建立起表征产品质量的多个质量屋(HOQ)，然后对产品进行设计规划与优化，使产品质量具有较高的档次。这种方法对复杂机械来说，实施起来相当困难。

三次设计法：此方法是由日本的 Tagnchi 于 20 世纪 60 年代提出的，即包括系统设计、参数设计和容差设计，现在已发展为具有智能性质的三次设计法。提出这种方法的出发点是更加全面地考虑提高产品的质量，降低制造成本和缩短制造周期。

动态设计：不论是国内还是国外，动态设计都还处在初级阶段，许多高层次动态设计问题正在研究过程中。正因为如此，目前大型高速旋转机械屡屡发生毁机事故，由于这些事故多数是在强非线性、强耦合、非稳态的条件下发生的，因此，近来国内外科技工作者对这些机械的动态设计十分重视。动态设计已经从一般的动态设计向更高层次的方向发展，即向非稳态(慢变、参变、时滞等)、非线性、强耦合、高维、多参数的研究方向发展。这就要求设计者用更新和更高深的理论、方法与技术进行设计，这必然会给更高层次的动态设计带来较大的难度。

智能设计：它有两种不同的含义，一是用智能方法进行设计，二是对设计的对象实现智能化。这是国内外产品设计的主导方向，也是现代机械设备所应该体现的基本内容。对于智能设计，国内外都十分重视，因为产品的智能化会在较大程度上提高产品的性能和质量，提高产品在国际市场上的竞争力。文中所指的智能设计是对产品的性能参数及其工作过程进行智能控制与优化，使产品具有优良的工作性能，进而给产品带来经济效益和社会效益，甚至是重大的经济效益和社会效益，这是任何一种产品设计所不可缺少的，也是机器设计中首要考虑的问题。

可视化设计：可视化设计或局部范围内的虚拟设计，它对检查产品结构上合理性、可制造性或可装配性等具有重要意义。通过可视化检查可以了解产品在设计中存在的缺陷，并及早地进行修改，避免设计工作过程中时常出现的重新设计与返工，从而可以加快设计进度，缩短生产周期。此外，设计过程中对机器的工况或工作过程进行仿真也是可视化设计中的一项重要内容，对机器的工作参数和工作过程进行动态模拟或仿真，在某种程度上可以代替试验，减少试验的次数和时间，但新产品试制后的试验工作也是不可缺少的，通过试验，对机器合理的工况或不合理的工况进行反馈，从而肯定或否定原有的设计，或对原有的设计进行改进，使产品向更高的层次上发展。

前面列举的几种设计方法，可以从不同角度来达到产品综合设计质量的要求。

2　产品设计在保证产品质量过程中的重要作用

2.1　产品广义综合质量的基本内容

产品广义综合质量或总体质量应该包括哪些呢？从广义的角度来看，最主要的有以下 13 点，可以称它为 13 性：①系统可靠性。②人机安全性。③环境无害性。④工作耐久性。⑤造型艺术性。⑥运行稳定性。⑦工效实用性。⑧指标优越性。⑨操作宜人性。⑩制造工艺性。　结构和零部件的规范性。　生产周期性。　产品经济性(包括设计经济性、使用经济性和制造经济性)等(图 3)。

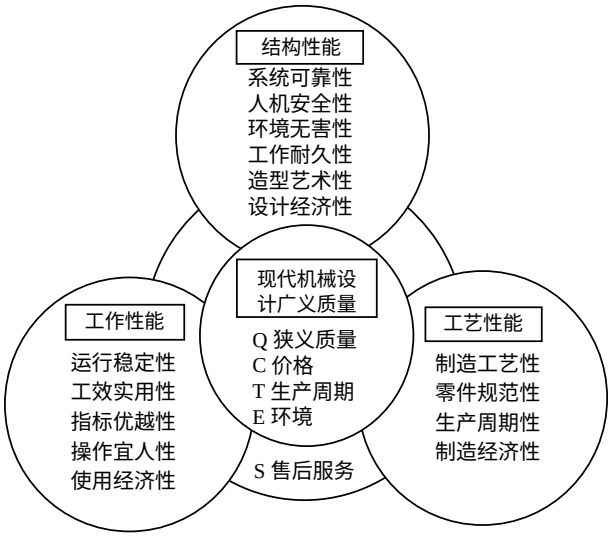


图 3　现代机械产品设计的广义质量

前面所提出的这些质量要求都十分重要，归纳起来大体可分为三个主要方面：①结构性能：安全、可靠、耐用、外形美观。②工作性能：有实际的工效、工作稳定、指标优越。③制造性能：较好的工艺性、较短的生产周期、较低的制造成本等。

如果在新产品开发中，充分考虑用户的需求，使产品具有良好的质量(Q)(这里所指的质量是狭义的，主要是指产品的结构性能(如工作可靠性)和工作性能(如技术性能等)、合适的价格(C)和较短的交货时间或生产周期(T) (可把两者作为制造性能来考虑)、优良的工作环境(E)及良好的售后服务(S)等)，满足上述三种性能的产品是优良的产品，它在市场中应该具有较强的竞争力，这是所有设计工作者所追求的目标。

50 多年来，我国制造业有了很大的发展，到现在我国已能自行设计和生产各种机械设备，如冶金设备、发电设备、化工设备和数控设备等诸多的工业装备，有的设备已达到国际先进水平，在国际市场中具有较强的竞争力。但还有许多设备的设计质量和制造质量与国外产品相比，有较大的差距。产生这些差距的主要原因是产品设计水平较低。如果能在下面一些问题上加以考虑，将会在较大程度上提高产品的设计质量。

机械设备的结构性能：即设备的工作可靠性、安全性与工作耐久性。

机械设备的工作可靠性和安全性是在机器的设计、生产和使用过程中必须考虑的头等重要的问题。目前不少机械设备在运行过程中出现过严重问题。无论是在国内还是在国外，汽轮发电机组常常发生毁机事故，造成巨大的经济损失。这些机械的严重事故通常是由于机器运转过程中的非线性动力学因素所引发的过大的振动而造成的。因此，为了保证这些机械，特别是大型、高速的旋转机械(如汽轮机、大型高速压缩机等)工作的可靠性和安全性，首先应通过合理的设计，特别是采用动态设计理论与方法进行设计，这里所指的动态设计是应用动力学的设计方法，特别是应用非线性动力学的设计方法选择机械设备较优的结构、较优的动力学参数和动力学状态，这样可以在较大范围内考虑机器工作过程中非线性因素的影响，使振动超标等有关动力学问题在机器运转过程中得以消除。

机械装备的工作性能：即有实际的工效、工作稳定、指标优越。

机械设备的智能化是目前世界各国制造业的主导方向，我国对产品智能化的工作也十分重视。

机械装备的技术性能及使用性能是体现现代机械设备质量的最重要内容之一。为了保证机械设备，特别是现代大型机械装备的技术性能及使用性能，以便获得良好的工艺指标和良好的操作性能，需要对机械设备进行智能化设计，即对机械产品的工作参数及其工作过程实现最优控制或次优控制，对现代机械的参数及工作过程实现优化，使机械设备具有良好的工作性能，能获得较高的功效。智能化设计是保证现代机械具有良好技术性能的必要手段。机械装备工作状态的实时监测是实现智能控制与优化的先决条件，是保证机械正常与有效运转的重要措施之一，也是现代机械智能设计的一项基本内容。据有关专家统计，状态监测与诊断设备的投入与产出比为 1∶10，可见其经济意义之重大。现代机械优良的技术性能和使用性能应该通过智能化的设计工作来获取。

现代机械的产品制造性能：即制造加工工艺性、产品生产周期和制造成本等。

机械设备的制造过程往往需要较长的时间、较高的成本。产品的制造工艺性与机器结构和零部件的规范性(包括标准化、通用化和系列化等)会直接影响产品的生产周期、产品制造的经济性及产品的总成本。因此，在产品设计过程中，必须仔细考虑产品的制造工艺性和零部件的标准化、通用化及系列化等有关问题。良好的产品设计一定会使所设计的产品具有良好的制造性能。

机械设备的设计工作可以充分体现产品的综合质量(我们称它为三性：即结构性能、技术性能和制造性能)，因此可以说，产品设计是产品质量的灵魂。机械产品的先进落后，很大程度上取决于设计质量。一般来说，产品设计的成本在整个机械产品成本中不到 30%，但它在很大程度上决定了产品的档次和水平，产品设计对产品质量的贡献率可以达到 70%。要使机械产品的质量上水平，首要的任务是保证产品的设计质量。我国要成为现代制造业的基地之一，最重要的任务是要集中力量用现代设计理论与方法来指导新产品的开发，使现代机械产品具有较高的工作可靠性和安全性、较优良的技术性能和使用性能、较短的生产周期、较高的经济性、足够的工作耐久性(工作寿命)等，使我国生产的机械设备具有较高档次与水平，在国内外的市场竞争中将能立于不败之地。

目前我国还有不少产品在国内外市场中缺乏竞争力、工作可靠性较差，技术性能较低，生产成本较高，多数是由于采用的产品设计的理论、方法和技术较落后、以及先进设计理论与方法的应用滞后于时代的发展等原因造成的。加入 WTO 后，我国

大中企业的各种产品要参与国际国内竞争，更需要先进的设计理论与方法作指导。例如在关键数控设备、大型高速旋转机械、航空发动机、工程和矿山机械等方面要保持领先，需要在设计理论与方法上进一步提高。

在装备制造业中，着重加强现代设计理论与方法的应用，同时结合诸如信息等高新技术的采用，从而提升装备制造业整体技术创新能力、市场竞争能力和经济效益，并推进我国先进装备制造基地的建设，巩固和深化几年来国企改革的成果，促进社会的稳定和发展。

2.2　产品设计在保证产品质量过程中的重要作用

为了研制与开发出工作安全可靠的、具有高技术性能的经济、耐用的产品，首先要搞好产品的设计工作。据有关专家统计，一种产品的质量，设计的贡献率可达 70%；有的专家认为：产品的设计是产品质量的灵魂。举一个简单的例子，如果一种新产品，它的设计是落后的，那么，在制造过程中，花了九牛二虎之力把它制造出来，这种产品还是落后的。所以产品设计质量是好是坏，可以赋予某种产品“先天特优”、“先天良好”、“先天一般”和“先天不足”等不同档次的“先天性”的本质特性，由此可见，产品设计在保证产品质量、提高产品在市场中的竞争力，即在新产品开发与老产品改造中，起着头等重要的作用。

日本曾对机械设备发生的故障进行过分析统计，发现因设计造成设备故障的比例占 50%，因元件、材料原因造成故障的比例为 37%，因制造不良造成设备故障的比例为 17%。而全产品成本水平的 70%~80%取决于产品的设计。因此，产品设计不仅能够提高产品的质量，还能缩短产品开发周期，降低设计与制造成本，可以满足用户多方面的需求。

前面提到的这么多的设计方法，如何来选择呢？每一种方法都会在实现机器的广义质量，即结构性能、工作性能和制造性能等三个方面，或 Q、C、T、E、S 等的一个方面或一些方面发挥它一定的作用。如果在设计中全面考虑与采用所有这些方法，需要花费很大的精力和较长的设计时间，也是很难做到的，因此，应该因不同产品的不同情况而侧重于不同的设计方法，这就是提出将三种主要设计方法有机结合在一起的所谓三化综合设计法的初衷。

3　三化综合设计方法

3.1　三化综合设计法的意义

三化综合设计法，即综合动态优化设计、智能控制系统设计和可视化设计三种设计方法为一体的设计法对产品进行设计，这可以在较大范围内考虑前面提出的对产品广义综合质量，或总体质量，(即包括机器的结构性能、工作性能和制造性能，也包括 Q、T、C、E、S 等)的基本要求(图 4)。

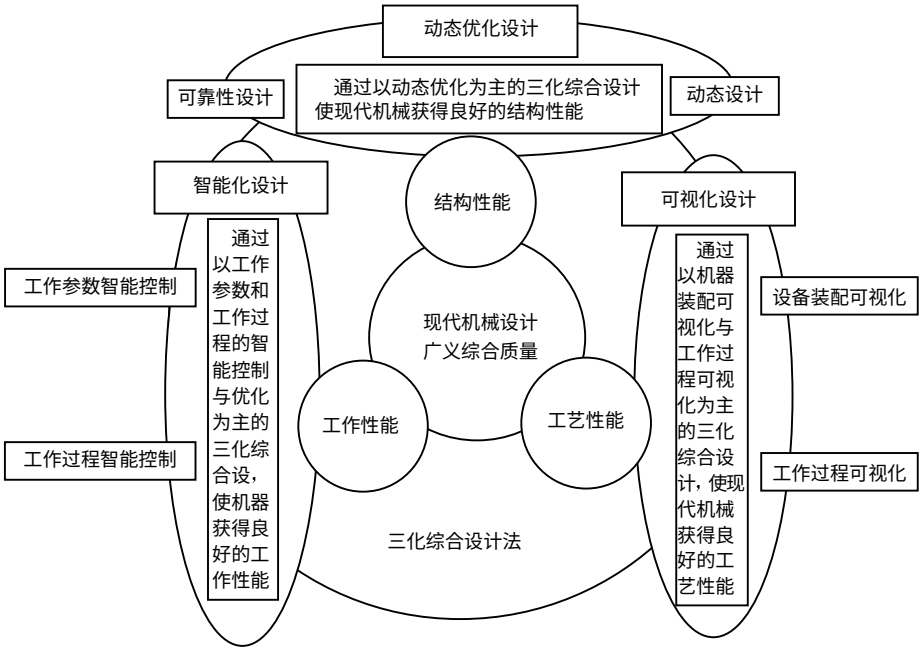


图 4　产品设计的广义质量与三化综合设计法的关系

由于目前机械设备的多样性与复杂性，以及各种设计方法目标与研究内容的局限性，要想用一种设计方法全部概括所有设计内容，全面地实现用户对产品的总体质量的要求，这是十分困难的。

综合设计法，可克服单一设计方法的局限性，在现有的一些主要方法中找出对产品总体质量，包括结构性能(可靠性、安全性与耐久性)、技术性能(实效性、稳定性与指标优越性)、制造性能(工艺性、制造成本与生产周期)等有决定性影响，或有重要影响的 3 种(根据所设计产品的情况，也可以是 2 种或 4 种)方法，在设计中加以综合地考虑与实施。将所提出的“动态优化、智能化和可视化”三种方法综合在一起的设计方法，称为三化综合设计法。这种综合设计法可以在较大范围内，考虑设计中应该考虑综合质量的几个主要问题，能相对较多地或较全面地反映用户对产品设计综合质量的要求。

3.2 三化综合设计理论与方法的具体内容

动态设计是机械设计内容中最重要和最具广泛性的问题。而在目前机械装备设计中，不少产品的设计还是以静态设计为主，或是采用传统的动态设计方法。这对大型机械装备，特别是大型旋转机械设备的设计来说是远远不能满足实际需要的。目前国内外对机械设备的动态设计十分重视，机械系统的非线性动力学问题是国际上研究的热点，许多原来认识不清的问题，现在可以用非线性动力学理论与方法来解决，因此，对重大机械装备进行高层次的动力学设计，引入与采用非线性动力学理论与方法，这是十分必需的。

设备可靠性设计是机电设备产品设计的主要内容之一。对现代机械设备除进行动态优化设计外，设备的可靠性设计也是广义动态设计的重要内容之一。可靠性设计起于 20 世纪 40 年代，源于军工电子设备。20 世纪 60 年代开始进入机电产品设计领域，使机电产品设计发生了深刻的变化，特别是近些年来，国内外一些有代表性的机电产品(如数控机床、汽车和仪表等)在设计上更加强调可靠性指标。进入 20 世纪 80 年代后，美国开始把可靠性工作放在与产品性能、成本和开发周期同等重要的位置，并颁布一系列管理措施，推动可靠性技术的研究与应用。日本进一步发展了可靠性技术，在民用电子产品的高可靠性方面已经取得了世界领先的地位，日本的汽车、家用电器和数控机床等产品，凭借高质量优势而在国际市场上占据较大的份额。当前，以可靠性为核心的全面质量管理和质量可靠性保证正在取代传统上以功能为核心的质量工程，产品设计也由单一追求功能的设计转变为使综合质量与成本费用在整个寿命周期内达到平衡优化的设计。可以说，可靠性工程与质量管理、环境工程、价值工程、人机工程学、运筹学以及计算机技术相结合，已成为工程设计、经营决策和维修管理中不可缺少的有力工具。

机械装备的智能化设计是我国既定的科技政策和主要方向。实现高水平的智能化，才能使机械产品的技术性能得到提高，才能实现过去不能实现的对产品高技术性能的要求。要有目的地完成一些真正对实际产品设计起决定作用的智能化技术，来完成产品设计。目前我国许多机械设备和国外的主要差距在于智能化水平太低。以挖掘机为例，正是由于这种差距使得我国的挖掘机在国内市场的占有率显著降低；目前在国外有些装载机已实现无人操作，并正在设法打入我国市场。采用上述智能控制方法，可以使我国的工程机械赶上和达到国际先进水平。

工作状态智能监测系统的设计是智能化设计的一项十分重要的工作。为了实现对机械设备工作过程的智能控制，必须首先对其工作状态进行智能监测。同时，为了实现现代机械高速化、高效化、自动化、大规模、连续性生产的要求和为了使机械装备在运转过程中具有高可靠性、高安全性和高经济性，应对设备的工况进行智能监测。此外，在对设备进行监测的基础上，建立设备的更先进、更科学的管理和检修制度，也是一项重要的工作。根据国内电力系统统计，全国每年在 100 MW、125 MW 和 200 MW 汽轮机组非计划停运和降出力责任原因的设备检修约占 30%～40%的比例，由此可见，该项制度的建立十分必要。设备状态的监测在国内外一直受到人们的重视，计算机技术和传感器技术的发展为设备状态监测技术的发展奠定了基础。20 年来，我国在这一方面获得了迅速的发展和全面的进步。当前，国外最新的方向就是以状态监测系统的数据来指导生产和计划检修，并且在备件采购、资金和物流等方面纳入企业的管理信息系统。

设备装配的可视化设计的基本内容是虚拟装配技术。虚拟设计制造(VDM)是信息时代设计制造技术发展的重要标志，它利用了在计算机上形成的虚拟模型和仿真环境。这里提出的装配可视化指仅是虚拟装配，是有限范围内的虚拟技术，是对产品的设计可行性、可制造性、可装配性等进行综合评价和检验。基于产品虚拟装配的装配模型是新兴的虚拟产品开发研究中的重要内容，近年来引起了人们的广泛关注。如美国波音公司的波音 777 客机的开发完全是在计算机上实现的，全部在虚拟的环境下进行。总的来看，我国虚拟设计制造技术的研究刚刚起步，多数是在原先的 CAD/CAM 及仿真技术的基础上进行，系统的、全面的虚拟制造技术的研究尚未开展，目前多数仍停留在国外理论的消化与国内环境的结合上。可以看出，以装配过程为核心的

产品数据管理技术、智能化装配与检验技术、综合分析与评价技术等，以及开发自主知识产权的软件，将是今后一段时间人们研究的热点和发展方向。设备主要工作过程的可视化设计可通过虚拟的实用性较强的虚拟设计平台来实现。该种技术除了可在虚拟的环境下，对产品的可制造性、可装配性等进行检验和评价，还可对设备工作过程的功能进行检验和评价。这项工作可以使新产品开发周期缩短、风险降低、投资减少、工效增大。基于产品虚拟技术的装配模型以及机器主要工作过程的模型是新兴的虚拟产品开发研究中的重要内容，近年来已成为人们研究的热点，工业发达国家，如美、英、德等国家率先成立了相应的研究机构或中心，推出了一些实用性较强的虚拟设计制造平台。我国在这方面的研究虽然起步较晚，但发展较快，我国有些研究部门已开发了数字化产品设计制造系统和分布式虚拟制造系统的框架体系。虽然国内在虚拟设计与制造领域取得了一些成果，但与工业发达国家相比尚有一定差距。

应用基于网络的虚拟设计与制造技术、以及以装配过程与重要工作过程为核心的产品三维建模等技术应是三化综合设计法的重要内容之一。

3.3　高层次的三化综合设计法应具有的特点

通过以动态优化设计为核心的三化综合设计，可以使产品获得良好的结构性能(安全、可靠、耐用等)，即在设计中全面考虑机械设备工作的可靠性、安全性及工作寿命等，这对产品综合质量的提高具有十分重要的意义。

通过以控制系统智能设计为核心的三化综合设计，对机械产品的参数和工作过程进行最优或次优控制，可以使机械设备获得良好的工作性能(有实际的工效、工作稳定、指标优越等)，即考虑机械设备具有较优良的技术性能和使用性能，这当然是产品设计中首先应该考虑的问题。

通过以可视化设计及仿真为核心(即有限范围的虚拟设计)的三化综合设计，可使机器有良好的制造性能(较好的工艺性、较短的生产周期、较低的制造成本等)。对产品的装配及工作过程实现可视化，可以检验产品制造与加工的工艺性，进而可以避免在设计中未能全面考虑工作过程中的问题和设计中存在的缺陷，使这些问题与缺陷能及早地发现和解决，因而可从某种程度上，缩短产品生产周期，提高产品的制造过程中的经济性，同时对提高产品的工作性能也有重要意义。

因此，这三种方法的综合，可以使产品的综合质量，即结构性能、工作性能和制造性能得到较全面的保证。不论在新产品的设计中，还是在老产品的改造中，采用这种三化综合设计法是十分必要的，而且是有效的，这对提高产品设计的综合质量具有重要的意义。

这里提出的三化综合设计法，不应该停留在以往一般动态优化设计、一般的智能优化设计及一般可视化设计的水平上，而是应该建立在现代科学技术高度发展的基础上的动态优化设计、智能优化设计、动态可视化设计，即高层次的三化综合设计法。高层次的三化综合设计法具有以下特点。

(1) 非稳态特性。包括慢变、突变、参变和滞后特性，即应考虑系统或工作过程中的非稳定工况下的动态特性，严格地说，几乎所有的机械设备都处在非稳态情况下运行(包括启动和停机)。

(2) 非线性特性。应考虑系统与工作过程中的非线性因素，不论是机械系统，或是控制系统，几乎都具有非线性的性质。在目前多数的设计中，常常忽略那些非线性因素，而使计算结果具有较大的误差，甚至会得出错误的结果。

(3) 高维与强耦合特性。多数机器设备的实际工作系统是高维和强耦合的，因此，应该真实地反映机器实际工作的情况，即应该考虑系统的耦合性和高维的特性。

(4) 多参数或多变量的特性。应考虑机器实际工作过程中的具有多参数和多变量等复杂的实际情况。

非线性动力学理论与方法、智能控制理论与技术和计算机技术的迅速发展，为上述问题的解决提供了有效的方法和实现的可能性。

目前我国不少产品的设计，还是以结构的静态设计(或考虑一些较为简单的动态问题)、线性系统的设计、非强耦合系统的设计为主，还没有进入较高层次的动态设计。因此，无论是对新产品开发或是老产品改造，应该在较高层次上进行三化综合设计，这样，能够在较高层次上和较大范围内实现对产品综合质量的要求。

所提出的三化综合设计法对于那些复杂的机械，特别是对于一些高速、大型、结构或系统复杂的机械，尤为重要。

4　三化综合设计法的理论意义及对我国制造业发展所起的作用

4.1　研究三化综合设计法的理论意义

(1) 综合设计法可以在较大范围内考虑产品设计总体质量，这是国内外科学技术工作者长期以来，试图实现的目标，即找出一种或几种较全面、较完

整的设计方法，解决产品设计总体质量问题。这里提出的三化综合设计法，可以在某种程度上实现上述要求与目标。这对于大型、高速、复杂的机械设备来说，尤为重要。

(2) 综合设计法，在设计理论与方法上不是停留在一般水平上的动态优化、智能化和可视化基础上，在理论、方法和技术上有较大的突破，使目前设计理论上深层次和高难度的几个问题能得到基本的解决和具体的实现，将提出一种基于非稳态(慢变、参变、时滞等)、强耦合、多参数的非线性动力学理论的动态优化设计、控制系统设计、可视化设计的理论与方法，这在理论上具有重要的意义。

(3) 建立一种较为完整的能用于新产品开发与老产品改造的基于产品总体设计质量的新体系。研究一种新的产品总体质量的设计软件平台。这里所指的综合设计法也可以是另外几种方法组合在一起的设计方法。科技工作者可根据各类产品的特点，提出另外几种设计方法的组合，并将这些方法的内在联系有机地结合在一起，建立起具有各自特色的综合设计方法。

4.2 实施三化综合设计法对提高产品的性能及行业技术水平的影响

(1) 通过动态设计，将会使大型旋转机械，如汽轮机、离心压缩机、大型风机等机械设备的动态性能得到改善与提高，克服一些现有设计的缺陷和不足。

可靠性设计技术的引入，使设备的工作可靠性、安全性和使用寿命得到提高；改善因产品故障造成的各种损失，进而提高产品在市场中的竞争力。

在保证和提高机械产品功能和质量的同时，可减少或消除机械产品在服役期中潜在的各种隐患，进而可实现机械设备经济地、合理地和安全可靠地运行。

(2) 大型机械装备的工作参数和工作过程的智能控制与优化，首先是完成多变量参数控制系统智能建模，进而建立智能控制的理论与方法，并对工作参数实现最优化。显然这会大幅度提高机械装备的工作性能和使用性能，进而获得更高的经济效益与社会效益，并会提高产品在国内外市场上的竞争能力。对本行业发展所起的促进作用具体体现在以下几个方面。

机械设备的信息化和智能化可以显著提高机械设备的技术性能和使用性能，对有些设备直至实现无人操作。目前我国生产的机械设备与国外的相比，主要差距表现在这一方面。采用智能控制方法，可以使我国的机械装备逐步达到国际先进水平。

产品工作参数和工作过程的优化可以大幅度提高整机的性能指标和生产率，多目标、多约束系统的智能控制和优化是解决这一问题的最佳途径。

机械设备控制系统通常是具有时滞的强非线性系统，有时难于实现自动控制，采用智能控制可以使机械设备具有良好的技术性能，从而获得较高的经济效益与社会效益。

智能控制的理论和方法可以用于大型旋转机械的主动和半主动控制，从而提高大型旋转机械的综合设计水平。

通过完善装备制造业领域的设备诊断工程，可提高设备连续运行的时间和设备完好率水平，进而提高企业的经济效益。

(3) 可视化设计及基于网络的设计图纸交流技术将显著提高产品的设计速度与设计水平，将真正有效地加速企业对先进三维 CAD/CAE/CAM 设计、分析、制造和虚拟装配技术的应用，可显著提高企业设计人员的技术水平和新产品开发的能力。

(4) 以最优的产品质量(Q)、最低的成本和价格(C)、最短的产品开发时间(T)、良好的环境保护(E)和最佳的服务(S)，即“QCTES”思想，去赢得用户和市场。对我国企业来说，新产品开发能力较弱，最主要表现在产品开发周期长、投资大、工作可靠性和安全性较差、技术性能达不到先进水平，其主要原因就是设计技术水平较低。

三化综合设计可以实现计算机化，有利于设计人员完成高效、高技术水平的设计。

应用综合设计方法对产品进行设计，将会提高企业自主产品开发能力，提高企业的竞争力。

4.3 实施三化综合设计法会给我国制造业带来显著的经济效益与社会效益

大型机电产品的设计与制造代表一个国家制造业的水平。因此，国内外的制造业都争取从不同角度来提高产品的档次和水平，研制出高质量、低成本的产品，缩短产品开发周期，提高产品在国际市场中的竞争力。

我国将成为重要的装备制造的生产基地之一，目前我国的装备制造业，特别是机床制造业正面临着一个自 1992 年以来最好的发展时期，企业的工业生产总值提高幅度呈两位数增长，市场需求旺盛，新一轮的产品供不应求的良好局面已初步形成。由于市场的急速扩胀，导致新产品的开发速度不断加快。为此，企业，特别是大型骨干机械装备

制造企业，应该尽最大努力确保产品的设计质量、设计水平和设计效率，进一步缩短制造周期，提升企业的社会影响力和行业的地位。

目前我们已在若干机械设备的设计中采用了三化综合设计法，并已取得初步的效果。

总之，采用综合设计法对现代机械进行设计，将会有效地加速企业对先进设计理论与方法的应用，会加速提高企业产品设计的技术水平，并进而提升我国装备制造业设计技术水平和企业在市场中的竞争能力，同时会显著提高企业的经济效益与社会效益。

5　结论

鉴于单一设计方法的局限性和全面采用各种设计方法存在的困难，提出了一种基于“动态优化设计、智能化设计和可视化设计”的三化综合设计法，较详细叙述三化综合设计法的内容和高层次三化综合设计法的特点，讨论了实施三化综合设计法的理论意义及可能获得的经济效益和社会效益，以及实施所提出的综合设计法对提升企业的设计技术水平和提高企业在国内外市场中竞争力所起的作用和影响。

参　考　文　献

1　路甬祥. 工程设计的发展趋势和未来. 机械工程学报，1997，33(1)：1~8

2　Arun Kanjur, Sundar Krishnamarty. A robust multi-criteria optimization approach. Mech. Mach. Theory, 1997, 32(7)：799~810

3　李林，张申生，刘敬军. 面向产品全生命周期的过程建模与工作流管理. 软件学报，1998，6(增刊)：207~210

4　Fan Dai. Virtual Reality for Industrial Application. Berlin: Springer-Verlag, 1998

5　施普尔，克劳舍. 虚拟产品开发技术. 宁汝新，等译. 北京：机械工业出版社，2000

6　Biren Prasad. Concurrent Engineering Fundamentals. Vol. 1. USA, 1996

7　孟明辰，韩向利. 并行设计. 北京：机械工业出版社，1999

8　Han S B, Chen S K, Ebrahimpour M, et al. A conceptual QFD planning model. Journal of Quality and Reliability Management, 2001, 18(8)：796~812

9　陈以增，任朝辉，唐加福，等. 基于 QFD 的多目标规划模型. 东北大学学报，2003，24(1)：46~49

10　韩之俊. 三次设计. 北京：机械工业出版社，1992

11　朱淼良. 自主式智能系统. 杭州：浙江大学出版社，1998

12　Yan H S. Creative Design of Mechanical Devices. Berlin: Springer-Verlag, 1996

13　王玉新. 数字化设计. 北京：机械工业出版社，2003

14　徐燕申. 机械动态设计. 北京：机械工业出版社，1992

15　闻邦椿，刘树英，何京力. 振动机械的理论与动态设计方法. 北京：机械工业出版社，2001

16　闻邦椿，赵春雨，苏东海，等. 机械系统的振动同步与控制同步. 北京：科学出版社，2003

17　闻邦椿，顾家柳，夏松波，等. 高等转子动力学. 北京：机械工业出版社，2000

18　闻邦椿，李以农，韩清凯. 非线性振动理论中解析方法及工程应用. 沈阳：东北大学出版社, 2001

19　闻邦椿. 现代机械的三化综合设计法. 中国科协年会论文集(摘要)，成都，2002：151

20　闻邦椿. 现代机械设备动态设计理论与方法综述. 中国科协年会论文集“工程技术与重大项目”，长春，2001：22~36

IMPORTANT ROLE OF PRODUCTS DESIGN OF MODERN MACHINERY IN THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS —— STUDY ON THE THREEFOLD SYNTHESIS METHOD “DYNAMIC DESIGN, INTELLIGENT DESIGN AND PARTIAL VIRTUAL DESIGN” FACE TO PRODUCTS GENERALIZATION QUALITY

Wen Bangchun
(*Northeastern University*)
Zhou Zhicheng
(*Beijing Geely University*)
Han Qingkai
(*Northeastern University*)
Su Baoqun
(*Beijing Geely University*)

Abstract: The machinery and equipments are developed toward high-efficiency, more precision, intelligent, integrated, and numerical directions now. It is strict more and more to the requirement of design quality of the machinery and equipment. The most important role of product design is paid in the research and development of modern machinery and equipments. The contents of generalization quality are discussed and the effect of products design on the synthesis quality of the products such as construction characteristics, working characteristics and manufacturing characteristics are explained. Three fold synthesis design method based on “dynamic design, intelligent design and

partial virtual design" is submitted and the contents and its characteristics are explained. These requirements to the synthesis generalization quality of the products in the wide range can be realized by means of this method. The method is used in the practice of several products design and the more efficient results are obtained.

Key words: Products design
Synthesis generalization quality of products
Dynamic design Intelligent design
Partial virtual design
Threefold synthesis design method

作者简介：闻邦椿，男，1930 年生，东北大学机械工程与自动化学院教授，兼北京吉利大学校长，中国科学院院士，中国振动工程学会理事长，《机械工程学报》编委。长期从事机械动力学及机械设计理论与方法的研究，曾撰写和主编 10 多部著作和论文集，发表学术论文 500 余篇。

精品图书介绍

*《机械设计手册（软件版）》R2.0 版 对《机械设计手册（软件版）》R1.0 进行了升级，增加了液压、减速器、搬运件、操作件、常用低压电器等方面的数据资料：所有标准、规范及资料都以国家最新颁布的国标、部标及行业标准为蓝本进行了更新、补充；增加了二维及三维标准件图库；对典型零件设计计算程序进行了完善；研制了工程计算器，能便捷地进行机械设计中的常用计算。

定价：580 元

*《机械加工工艺手册（软件版）》R1.0 版 分为两部分：第一部分（上篇）是数据查询模块，提供在工艺设计过程中可能需要查询的工艺数据资料，包括金属切削原理、材料及热处理、毛坯及余量、机械加工质量、机械加工工艺规程制定、车削、铣削、钻削、镗削、拉削、磨削、精密加工及超精密加工、特种加工、螺纹加工、齿轮加工、花键加工、难加工材料的切削加工和柔性自动化加工等，是目前国内机械加工工艺方面数据较为齐全的资料库软件；第二部分（下篇）为用户提供一个实用的计算机辅助工艺设计系统，该系统是一个经过企业实际生产检验而不断完善的实用、高效系统，在《机械加工工艺手册（软件版）》上只附有交互型 CAPP 系统，对变异型 CAPP 系统有兴趣者可与机械工业出版社电子出版物编辑室联系。

定价：680 元

《机械设计手册（软件版）》R2.0 版和《机械加工工艺手册（软件版）》R1.0 版一起，在机电产品设计、制造过程中配合 CAX 软件的使用，使人们从以书本形式查询各种规范、标准以及其他数据资料转变为利用软件联机查询，不仅提高了效率，而且能及时地得到资料更新（不定期在网站上提供软件更新数据包供用户下载），并与其他通用数据源的建设形成支持制造业信息化工程基础集成支撑环境之一。本手册可供机械设计人员及大专院校有关专业师生使用。

*《机械加工工艺师手册》 由中国科学院和工程院院士杨叔子教授主编，汇集了机械制造技术各个方面的主要内容，具体包括机械加工工艺基础、金属切削机床、机床夹具与刀具、切削加工、特种加工、加工过程自动化、检测与装配等。全手册共 8 篇 60 章。

本手册的特点是以工艺数据为基础，以工艺方法为主线，二者紧密结合；既论述大批量生产中加工和装配的质量、效率及成本问题，也介绍多品种、小批量生产的工艺特点，强调生产的柔性化、集成化和可快速重组的观念；简明、实用，注意反映现代制造技术的新进展；采用最新国家标准。

定价：158 元

购书款汇至：北京百万庄大街 22 号《机械工程学报》编辑部（100037）

附言中注明所购书名和册数，免邮寄费。