

第 14 篇 快速响应变型设计 和反求设计

主 编 钟廷修
金 烨
编写人 钟廷修
金 烨
杨洪柏
孙 莉

第 1 章 绪 论

1 快速响应工程及其含义

近十几年来,世界经济和技术的发展势头良好。由于社会生产力高度发达,市场上产品日趋丰富,消费者的选择余地日益扩大,所以对产品提出越来越高的要求,使用户需求呈现出差异而多变,这迫使企业跟随用户,采用多品种、小批量的生产方式,按定单组织生产。同时,面对瞬息万变的市场环境,更要求企业不断地迅速开发新产品,以吸引顾客,这样才能保证企业在竞争环境中立于不败之地。可见,在这种时代背景下,市场竞争的焦点就转移到速度上来,即凡能“领先一步”,快速提供更高性能/价格比产品的企业,将具有更强的综合竞争力。因此,我们提倡实施“快速响应工程”,以适应市场环境的变化和用户需求的转移。

实施“快速响应工程”,可以使企业具备从捕捉产品信息到及时投放市场的全面快速响应能力。其主要内容包括以下几个模块:

- 建立快速捕捉市场动态需求信息的决策机制;
- 实现产品的快速响应设计;
- 追求新产品的快速试制定型;
- 推行快速响应制造的生产体系。

为了提高快速响应能力,企业首先应能迅速捕捉复杂多变的市场动态信息,并及时作出正确的预测和决策,以决定新产品的功能特征和上市时间。明确了新产品的开发项目以后,实现快速响应设计就成为重要的一环。工程设计的重要性是不言而喻的。据统计,工程设计的费用虽然只占产品最终成本的一小部分(不到 10%),但往往决定了它的 80% 以上的制造成本,而且还决定性地影响产品的性能和交货期。现代机械产品由于用户的要求越来越高,产品结构日益复杂,科技含量愈来愈高,所以使得产品的开发周期日趋延长。如何解决好产品市场寿命缩短和新产品开发周期延长的尖锐矛盾,已经成为决定企业成败兴衰的生死攸关问题。产品开发周期包括设计、试制、试验和修改等一系列环节,除了设计以外的后几个环节可以统称为试制定型阶段。为了实现快速设计,人们提出了 CE(并行工程)、DFX(面向制造、装配、检验、质量、服务等的设计)、CSCW(计算机协同工作支持环境)和功能分解组合的设计思想,这将引起对现代设计方法和 CAD 发展的新探索。这些将在本篇的“并行设计”一章中有专门的论述。在此基础上,本章提出用变型设计实现快速

响应的策略。这种设计策略特别强调对企业产品信息的标准化、规范化重组,通过对企业现有成熟产品的变型再设计,使企业的宝贵信息资源得到尽可能多的重用,从而达到以快交货、高质量、低成本和重环保的快速响应竞争策略去赢得市场的目的。

加快产品的试制、试验和定型,以快速形成生产力,需要尽量利用制造自动化的各种新技术,如 FMS、RP(Rapid Prototyping,快速成形)和 VM(Virtual Manufacturing,虚拟制造)。快速成型堪称 20 年来制造技术最重大的进展之一,其特点是能以最快的速度将 CAD 模型转换为产品原型或直接制造零件,从而使产品开发可以进行快速测试、评价和改进,以完成设计定型,或快速形成精密铸件和模具等的批量生产能力。虚拟制造是先进制造技术的先导,它通过计算机仿真和多媒体技术全面模拟现实制造系统中的物流、信息流、能量流和资金流,可以做到在产品制出之前,就能由虚拟环境形成虚样品(Soft Prototype),以替代传统的实样品(Hard Prototype),进行试验和评价,从而大大缩短产品的开发周期。

推行产品的快速响应制造,必然导致企业从组织形式到技术路线的一系列变革。首先,在企业内部,应改变传统的以注重规模和成本为基础建立起来的生产管理系统和组织形式,按照快速响应制造的战略思想,探索一套全新的组织生产方式,例如将生产部门从以功能为基础的工序组合改变为以产品为对象的加工单元,并且尽量采用各种先进制造技术手段,等等。其次,从面向全局的视野出发,以产品为纽带,以效益为中心,不分企业内外、地域差异,实行动态联盟,有效地组织产品的设计、制造和营销。企业在确定产品目标后,可以只先进行总体设计,即功能设计、方案设计和经济分析,然后通过公共信息网络,寻找最佳的零部件供应商和制造商,进行跨地区、跨行业的合作,实行生产资源的优化组合,并由承包商按照快速响应的原则进行具体设计,即结构设计、详细设计和工艺设计,组织产品的快速响应制造,以保证产品及时上市,经由遍布各地的营销网络迅速抢占市场。

由此可知,实施快速响应工程,至少有如下优点:及时交货,争先抢占市场,因缩短制造时间和消除各种浪费而降低制造成本,因加快产品更新换代而向市场大量提供质量更高、价格更低的高性能产品。其结果就大大提高了企业的综合竞争力和持续发展的生命力。

2 快速响应设计是实施快速响应工程的重要一环

对企业生产活动的大量调查表明,产品设计制约着包括技术准备(试制、工艺、工装、采购)在内的产品生产周期。为了实现快速响应市场需求,进行快速响应产品设计是重要一环。实现快速响应设计的关键是有效开发和利用各种产品信息资源。利用现代化计算机技术、信息技术和通讯技术迅猛发展所提供的对信息资源的高度存储、传播和加工能力,人们主要采取三项基本策略,以达到对产品设计需求的快速响应。这三项策略,一是重用产品信息资源,进行变型设计;二是虚拟设计制造,利用数字技术加快设计过程;三是远程协同,分布设计。概括起来,就是信息资源化,产品数字化,设计网络化。本篇着重介绍对产品信息资源的重复利用。企业在长期的生产活动中积累和蕴藏了大量的极其宝贵的产品资料(图样、文件、数据、经验、标准、规范等),对这些信息进行重组使之资源化,再通过对成熟产品的变型设计,就足以支持能快速响应市场需求的产品设计。其重点是:1)重组企业工作流程,将开拓未来市场的“慢节奏”新型产品开发与面对当前需求的“快节奏”变型产品设计区别开来,用变型产品设计快速响应市场需求;2)重组企业产品信息,使企业在设计开发领域中积累的丰富技术资料,转变为有用和好用的宝贵信息资源,以期尽量利用已有的产品信息(尤其是机电产品中的成熟零部件)设计新产品,即用尽可能少的新设计零部件,配制成尽可能多的变型产品;3)利用信息技术的最新成就,以期通过产品结构的重组来支持快速变型设计。简而言之,就是业务过程重组、信息资源重组和产品结构重组。本章将详细阐述这项策略思想的体系结构、关键技术及其实现方法。

3 用变型设计实现快速响应的方法

机械产品的设计,通常可分为新颖性/新型设计和适应性/变型设计两大类。新型设计基于全新的工作原理,采用基本新颖的结构方案,设计出创新的机械产品。这类设计需要经过从确定设计要求到完成全部技术文件的整个设计工作进程。变型设计基于已有的工作原理,采用基本不变的结构方案,只按功能需求对具体结构进行局部调整,以产生适应性的变型产品。这类设计因工作原理不变,仅对局部结构或零件进行更新设计。无论是创新设计还是变型设计,均体现了设计人员的创造性思维,都能提供新的、具有社会价值的产品。

常用的创造性思维方法和创造性技法有:

(1) 直觉思维法

该方法充分利用直觉思维和灵感思维来得到问题新的解法或新的发现。其中又分智爆法、集智小组法和专家预测法。

(2) 推理思维法

推理思维法也是一种重要的创造性技法。它的特点有二:一是在逻辑推理、启发思考和强制联想的基础上扩展思路;二是在分析的基础上推理,即经过分析,把一个复杂问题细分为一些较为简单的小问题,再通过分析每个问题的各种影响因素,有针对性、有步骤地进行推理,寻求解法。较为典型的推理思维法有:奥斯本提问法、阿诺德提问法、参量提问法、反向探求法和系统搜索法。

(3) 联想创造法

通过启发、类比、联想、综合等技法,创造出新的设想,以解决问题。常用的有:相似类比法、抽象类比法、仿生法、借用法。

(4) 组合创新法

利用事物间的内在联系,用已有的知识和现有成果进行新的组合,从而产生新的方案。合理的组合也是一种创造。常用的组合创新法有:组合法和综摄法。

从企业的产品信息资源在设计活动中的可重用程度考察,新型设计涉及的可重用信息资源较少,它的实现过程需要耗用可观的企业资源(人力、物力、财力和时间等),以验证与完善产品结构;变型设计在原有产品的基础上,按市场需求进行结构重组,它的实现过程可以最大限度地重用企业已有的成熟产品资源,具有很强的灵活性和适应性。可见,变型设计可以在原有产品的基础上迅速推出能满足不同用户需求的新产品,占领市场,增强企业的竞争能力。

变型产品具有以下特点:

1) 灵活 根据市场需求,灵活地推出多种相应产品,要善于“变”。

2) 迅速 为适应市场竞争的需要,推出产品要快。

3) 低廉 在保证功能和质量的前提下成本要低,或确切地说性能价格比要低。

在变型产品的设计中应贯彻标准化、通用化和系列化的原则,以提高产品质量,降低成本,得到多品种多规格产品。

标准化指使用要求相同的零件、产品或工程,按照统一的标准进行设计。通用化是指在同一类型、不同规格或不同类型的产品中,提高部分零件或部件彼此相互通用的程度。系列化是指产品根据生产和使用的技术要求,经过技术和经济分析,适当加以归并和简化,将产品的主要参数和性能指标按一定的规律进行分档,合理地安排产品的品种规格以形成系列。标准化、通用化、系列化均属于标准化的工作范畴。标准化工作

是国家的一项重要经济政策。它对保证产品质量、缩短新产品研制和生产周期、便于使用维修、降低成本等各方面都有重大意义。标准化水平是衡量一个国家技术管理水平的尺度,也是现代化的一个重要标志。

变型产品设计的基本方法有相似设计和模块化设计。

相似设计是相似理论在设计中的应用。系统相似,尺寸与性能参数皆成一定比例关系的纵系列产品为相似系列产品。相似系列产品不是按单个产品设计的,而是首先选定某一中档的产品为基型,对它进行最佳方案的设计,确定其材料、参数和尺寸,然后再按系列设计原理,即通过相似理论求出系列中其他产品的参数和尺寸。前者称为基型产品,后者称为扩展型产品。

目前,产品的系列化设计成为广泛应用的设计方法之一。它的优点是:

1) 系列产品的不同规格仅仅是基于一种规格变化而形成的,这就大大节省了产品的开发周期和成本,提高了产品的性能可靠性。

2) 系列产品在满足用户需求的前提下,遵循适当的参数变化规律可以提高不同规格产品的生产批量,从而使产品质量稳定、成本下降,这对生产企业和用户都是有利的。

3) 对生产和销售企业来说,系列产品便于库存管理;对用户来说,系列产品的使用规定和方法相同,方便了使用。

在进行系列化设计时,首先要进行市场调查和用户访问,并在此基础上进行基型产品设计。基型产品的选择首先要注意它的代表性,它应是所有形式中最通用的,基型产品的典型结构应能很方便地用到同系列其他产品中。总之,基型产品设计是发展产品系列的基础,其设计过程应遵循科学的设计方法,并注意其扩展的可能性和方便性,注意提高其标准化、通用化的程度,注意尽可能提高其设计质量。有了基型产品后,便可确定相似种类和系列各参数或尺寸间的公比相似比。一般生产者希望产品规格少、批量大,即要求公比大;但使用者却希望规格多,能较好地符合使用要求,即要求公比小。因而确定相似比时需兼顾生产和使用的要求,并尽量选用标准公比和标准数列。在此基础上,便可确定系列中各扩展型的参数和尺寸,进而确定系列产品结构和尺寸。

模块化设计是近年来发达国家普遍采用的一种先进设计方法。它的核心思想是将系统按功能分解为若干模块,通过模块的不同组合,可以得到不同品种、不同规格的产品。从 50 年代欧美一些国家提出这一设计方法以来,它已扩展到很多行业,并与 CAD 技术、成组加工技术、柔性加工技术等先进技术密切联系起来,

应用到实际产品的设计与制造中。在机械产品中,所谓模块就是一组具有同一功能和结合要素,但性能和结构不同,却能互换的单元。

模块化设计是将产品上同一功能的单元设计成具有不同性能、可以互换的模块,选用不同模块,即可组成不同类型、不同规格的产品。模块化设计的原则是力求以少数模块组成尽可能多的产品,并在满足用户要求的基础上使产品精度高、性能稳定、结构简单、成本低廉。显然,为了保证模块的互换,必须提高其标准化、通用化、规格化的程度。模块化设计应首先用于系列产品设计中。

采用模块化设计产品有以下优点:

1) 产品更新换代较快 新产品的发展常是局部的改进,若将先进技术引入相应模块,比较容易实现。这就加快了产品的更新换代。

2) 可以缩短设计和制造周期 用户提出要求后,只需更换部分模块,或设计、制造个别模块即可获得所需产品。这样设计和制造周期就大大缩短了。

3) 可以降低成本 模块化后,同一模块可用于数种产品,增大了该模块的生产批量,便于采用先进工艺、成组技术等,还可缩短设计时间,从而降低产品成本,提高产品质量。

4) 维修方便 必要时可只更换模块。

5) 模块化设计对产品的功能划分及模块设计进行了精心研究,这就保证了它的性能,使产品性能稳定可靠。

当然,模块化设计也有其缺点:由于考虑模块的互换性和适应性,常使系统比较复杂,结构外形不够协调,各部分功能配合不是最佳等。

由此可见,模块化设计用于生产批量较小的系列产品是特别有效的。

在进行模块化设计时,应以用户的需要为根据,通过市场调查及技术经济可行性分析,确定产品的系列型谱。如何合理划分模块,是模块化产品设计中的关键问题。模块种类少,通用化程度高,加工批量大,对降低成本较有利。但从满足产品的各种功能和性能,提高整个模块化系统的柔性考虑,又希望模块种类多些。设计时必须从产品系统的整体出发,对功能、性能和成本各方面进行全面分析,才能合理确定模块的种类和数量。划分模块的出发点是功能分析。根据产品的总功能分解为分功能、功能元,再求解相应的功能载体——功能模块,然后再具体化为加工单元——生产模块。模块化产品的设计中还要考虑模块如何组合,组合产品的种类,以求用较少类型模块组合成更多不同功能和性能的变型产品。值得注意的是,先进的模块系统不但可采用计算机辅助设计,而且可用计算机进行管理,通过计

算机辅助管理能更好地体现模块化设计的优越性。

快速响应变型设计的目的是加快产品的上市时间(交货期),手段是企业信息资源的合理定义和高效处理。因此,凡能有效利用企业宝贵信息资源的设计方法,都能实现快速响应。从这个原则出发,除了上述的

系列化、模块化设计与方法之外,本篇将着重进行阐述的基于关系型产品模型的变型设计方法,也能实现快速响应。而且,这种具有一定智能化程度的设计方法,更能体现变型设计的通用化、过程化和产品个性化特点。

第2章 快速响应变型设计的体系结构

产品设计是企业生产活动的一个组成部分,它受企业的生产规模、活动模式和产品复杂程度等多种因素的影响。从考察企业的生产活动中可以看出,企业中往往是新型产品开发设计和老产品变型设计两者并存,以适应市场发展的不同要求。

在机械企业中,新型设计毕竟稀少,大量的总是变型设计。事实上,绝大多数人员的确也是经常使用变型设计去响应用户需要。但是,传统的、自发的变型设计并不能自动保证产品的快交货、高质量和低成本,有时甚至适得其反。主要表现在企业生产零件的多样性和缺乏可重用性,并导致新零件数目的失控。许多新的零件被源源不断地设计出来,紧接着而来的还需要动用过多的人力、物力、财力和时间,去支持后继的工艺、工装、试制和试验等一系列技术准备过程。引起这种失控现象的原因在于企业产品信息的无序状态和设计者的随意性,使大量的产品数据无法成为能有效支持快速变型设计的宝贵信息资源。因此,深入系统地研究一种能科学地重用企业的产品信息资源,有效支持快速响应设计的变型设计理论和方法及其实现手段,就很必要。

1 变型设计的过程

在传统的设计理论中,典型的设计过程是功能空间(Function Space)、行为空间(Behavior Space)和结构空间(Structural Space)之间的映射过程。其中,功能空间是设计需要描述的空间,行为空间是对设计方案的描述,而结构空间则是对具体属性的描述。这是一个逐步完善、反复迭代的过程,因为产品是复杂的,设计者的知识和经验是有限的,所以在三个空间之间的映射几乎不可能是一次性的,总是必须经过多次反复才能完成。图 14.2-1 表示传统的设计过程模型。图中,设计信息流动与设计过程步骤有机地结合起来,不仅反映出设计过程的顺序,也描述了其中的数据流动关系。

传统的设计过程模型总是从零开始进行产品设计,即从初始的功能设计到最后的详细设计,尽管可能需要多次反复,但总体上是从无到有(从抽象概念到具体形象)、自顶向下的,也就是 Top-Down 式。这比较适合于新型设计。而变型设计是从已有产品的原型出发,然后根据实际的功能需求进行局部改动,其设计的重要

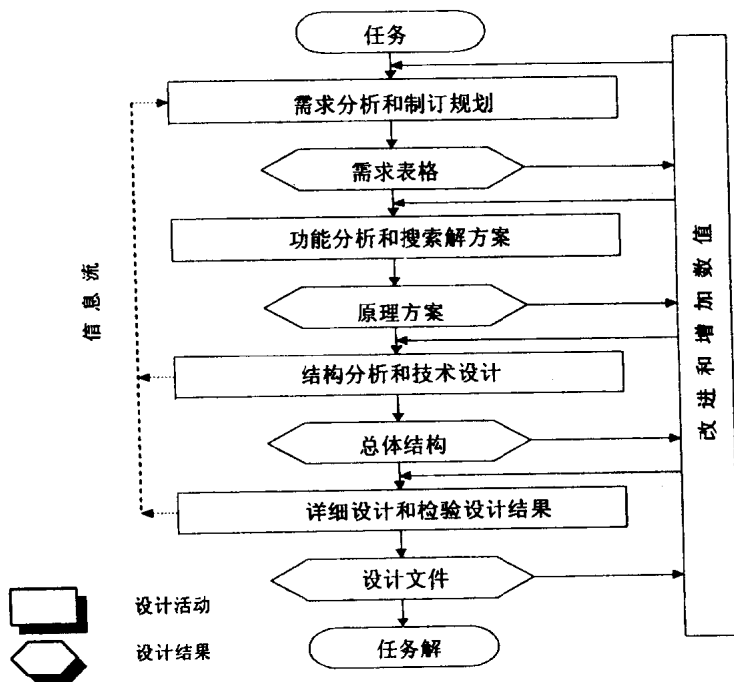


图 14.2-1 传统的设计过程模型

心在于搜索恰当的原型实例,然后通过分析比较,进行多层次的设计改动,因此其设计过程的信息流动和数据关系也与新型产品的设计过程有所区别,图14.2-2描述一般的变型设计过程。图中,变型设计一般从功能模型出发搜索设计原型,功能模型是分层次的,也就是总功能模型通常由许多分功能模块组成,因此设计原型也是分层次的,每一个设计原型对应一个或多个功能。设计师对设计原型的组成和结构进行选择、调整和

组合,有时直接从设计数据库中选择零部件,再通过结构重组使之符合设计要求,最终设计出新的变型产品。可见,对于变型设计产品来说,其设计过程模型往往是Top-Down式和Down-Top式的相结合,它在现有的产品资源的基础上分解产品结构,其功能空间、行为空间和结构空间都充满了空间元素——原型实例。所以,变型设计过程实际上是一个建立空间之间映射关系的过程。

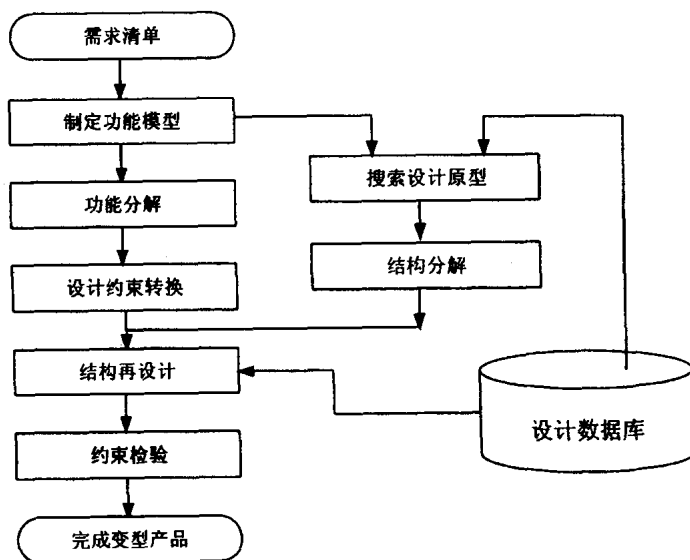


图 14.2-2 变型设计过程

2 变型设计的层次结构

上述在变型设计过程中,设计师往往将设计问题向已有的方案靠拢,再利用现有的知识来解决新的问题。对于比较复杂的设计问题,还采用“问题归约”的方法,即将复杂的问题分解为相对比较简单多个子问题进行处理,这种分解过程一直可以持续下去,直到所有的子问题都得到解决,也就是整个设计问题的完成。可见,变型设计过程具有如下特点:

● 设计方案的形成由抽象向具体的方向发展,其过程是动态的,具有反复性;

● 设计对象的演变按总体——局部——总体的顺序发展;

● 设计目标参数相互关联;

● 设计对象的各部分属性部分耦合;

● 设计对象的分解具有层次性、结构性。

根据传统设计理论,整个设计过程划分为功能、行为和结构三个空间,产品的设计就是这三个空间的参数映射过程。实际上这样的映射是在不同的层次之间进行,因此变型设计系统的层次结构正是反映变型设计的渐进过程。上节中已详细描述了变型设计过程,说

明在设计产品的过程中所包含的信息并不是同一抽象层次的。如方案设计描述的是系统的原理方案,具有相当高的抽象层次,例如柴油机的连杆组件的原理解是曲轴连杆机构,对连杆组件的设计主要从曲轴连杆的运动参数出发。相反的,对连杆零件的设计则属于底层的详细结构设计,涉及的问题是零件的材料、几何形状、精度和加工特征等。其抽象程度比较低,所考虑的都是现实物理问题。变型设计系统要集成各过程的抽象信息,必须建立能处理不同抽象层次的体系结构,按抽象程度分为方案设计、结构设计、详细设计三个层次。

方案设计层

方案设计层主要处理设计任务描述、原理解设计、方案设计、原型确定。这些过程以功能为源头,以结构为目标,建立连接关系。四个处理过程间的数据流如图14.2-3所示。

方案设计层有三个基本功能:任务描述,功能结构关系描述,实例检索,以整个产品作为考虑对象,从产品级的角度分析对象关系,寻求合适的设计原型方案。任务描述是将设计任务要求转化为设计参数。这些参数必须建立在核心的关系型产品模型的基础上,是受

企业资源约束的。功能结构关系描述是用设计参数描述产品的功能,在此基础上寻求合适的原理解。原理解表达一定的功能结构,负担这些功能的物理结构体构成了方案集。每一类方案集都包含一定数量的原型设

计库。实例检索则包括实例的组织、存储和查询。实例是变型设计的基础,一个好的实例是变型设计成功的基石。从总体上分析,方案设计层是构筑设计对象的功能结构,将功能结构分解和综合,通过实例分析寻求

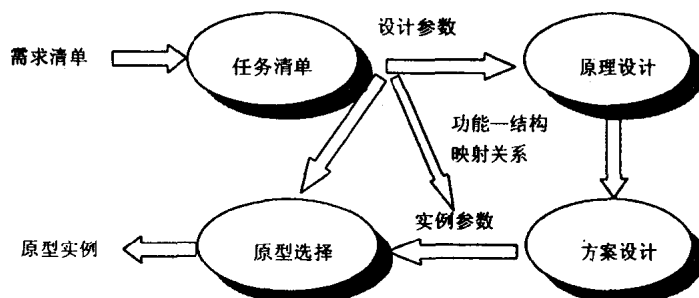


图 14.2-3 方案设计层数据流

合适的几何结构原型。

结构设计层

结构设计层的抽象层次要低一些,主要处理过程是结构变体分析、结构变体设计,其特点是结构——功能——结构。主要功能是结构功能描述、功能综合、结

构变体实现。结构设计层的数据操作是抽象、映射、具体化,而且操作对象是结构、功能。结构设计层是变型设计关键的一层,主要确定变型结构体,实现结构方案设计,确定变型产品的结构解,往往和装配模型有密切的联系,图 14.2-4 表示结构设计层的数据流。

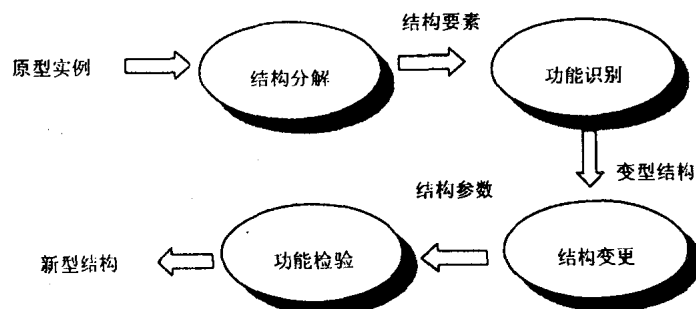


图 14.2-4 结构设计层数据流

结构功能描述是在原型结构分解的基础上,完整地描述整个系统每一部分的功能和结构的关系,产生功能——结构映射关系体。这种描述是基于关系型产品模型,整个系统的描述也是围绕产品内在的关系,功能综合根据关系和设计需求,断开部分需变动的结构,针对这些结构建立新的功能需求。结构变体实现根据这些功能需求,在产品资源库中搜索合适的资源,或者根据产品资源的规则建立新的产品资源,再由功能综合检验这些新的产品资源,看是否符合企业产品资源的规范和设计需求。

详细设计层

详细设计层是对新的产品资源和变动产品的具体参数进行确定,主要功能是资源参数确定、资源结构检验、资源特征检验。详细设计是对产品对象的具体属性

值的确定,从产品对象类中产生一个新的产品对象。通过在产品资源库中检索新产品资源的规则、参数范围、参数影响等,设计工程师选择或产生产品属性数据。每修改一个数据都进行特征和结构检验,避免发生干涉,如柴油机机体颜色采用绿色,对机体盖也必须采用绿色,另外如曲轴轴径改变,相应的支撑和轴承的相关尺寸也都应改变。

3 变型设计的系统框架

变型设计的系统框架如图 14.2-5 所示。整个变型产品设计系统主要包括三个部分:产品资源管理模块、产品设计管理模块、产品设计检验模块,支持部分包括数据库、通讯接口。

产品资源管理模块

前已所述,快速变型设计的目的是快速开发出合适的产品,所以变型设计系统需要大量的可重复使用的产品资源,包括标准化的零件库、规范化的设计知识等。产品资源管理模块包括产品资源分类机制、产品资源定义机制、产品资源搜索机制。

产品资源分类机制中,产品结构树作为一种通用的分类方法,以产品为分类主码,如在某柴油机生产企业中,可按柴油机种类划分企业资源,如135柴油机、114柴油机、180柴油机等。在135柴油机中又根据产品对象的不同而划分成不同的资源类,如G6135-000型、G6135-001Z型、7135-000型等。在每一产品对象下以部件、零件、特征单元等分类组织产品资源,同时,在不同产品资源下有许多零部件、特征单元是相同的,可采用指针方式进行连接。产品结构树作为产品结构的一个直观表达,在结构中反映产品资源情况甚为形象,而且与现有管理方法相似,容易为设计师所接受,但是这样的管理方式存在数据冗余,而且当指针连接过于复杂时,数据管理容易混乱,有时甚至发生指针循环指向的情况。本系统主要采用另一种分类方法,按功能和使用环境分类,即将产品资源划分成若干使用功能对象类,如曲轴类、齿轮传动类、飞轮类等。在每一类下分为几个小类,如齿轮传动下可分为圆柱齿轮传动、圆锥齿轮传动等这样分,直到最后的具体的某一个实例对象。这样分类数据管理方便,而且层次鲜明,在设计过程中设计师可以按需求查询快速检索到合适的产品对象,但是如此分类也有结构不直观的缺点。因此本系统采用两种方法混用的方式,用功能方式储存产品资源,而用结构树建立结构目录。

一个物理的产品构成(零件、部件或产品)是以一定的信息形式表达出来的。这种形式可以是2D的二维图,也可以是3D的实体模型,还可以由文本来描述。在变型设计阶段,它们的管理信息除了涉及这些模型化的表达外,还将有命名、识别号、项目号、结构配置、BOM表、设计者(及日期)、审批者(及日期)、更改标记(及责任者日期)等。这些信息,一方面是管理活动的需求,同时,也是其自身完备定义的需求。因此,将这些信息加以抽象、归类,就得到了产品资源的定义。

作为可重用的产品资源,完整的、独立的和唯一性的定义是必须的。在重用实例对象时,首先碰到的问题是检索。显然,每一个实例对象有如此多的属性定义,而每一个属性定义可以有很多的物理文档来表达,没有合适的检索策略的支持,就难以有效地检索需要的资源。每一产品资源都有其唯一的标识号,但标识号仅仅是机器内部的标识,不具有传统的隶属制下产品资源的定义(如图号),因此,直接使用标识号不仅仅是低效率,而且实际上也是行不通的。重用产品资源,一

方面,是指对一个产品资源对象类的实例对象的直接重用;另一方面,是指对它的属性定义的重用。因此,重用产品资源的检索过程也就是关于它的属性定义值的检索过程。系统建立产品资源对象及其属性字的检索目录,其中包括数据字典,它建立工程常用的术语与计算机化属性值的关系,通过检索目录可以快速检索到对象类的属性定义。产品资源的事物特性表中每一行记录是一个产品资源实例对象的属性值的描述,从表中直接可检索到它的事物特性记录、它的分类记录、它的视图定义、它的创建项目、它的重用记录、它的设计者等属性的值。

产品设计管理模块

产品设计管理模块规划设计任务,分解并分配设计任务给不同的设计人员,并协调他们之间的关系,解决发生的冲突,还将设计结果存入数据库和知识库。

根据设计过程的不同阶段,产品设计管理模块还分成概念建模、装配建模和详细建模三个子系统。在概念设计过程中,设计师根据用户的需求,利用企业的资源设计知识和个人经验完成概念设计,形成产品的概念设计模型。概念设计的结果包括:功能结构层次关系图,功能映射图,设计参数网络等。由它们形成概念设计模型,这是下层装配建模的基础。装配建模是概念建模的继续,它受概念设计模型的约束,同时加以拓展。装配设计的结果包括:装配层次关系图、装配结构关系图和设计参数约束网络等。由它们形成装配设计模型。在概念和装配设计模型的基础上,详细建模完成产品的详细几何设计和性能设计。

产品设计的核心是资源重用。所使用的推理方法有:规则推理(RBR)、实例推理(CBR)和约束满足技术(CSP)。

产品设计检验模块

产品设计检验模块包括需求检验、规范检验、合理性检验等。产品检验的第一要求是满足市场需求,具体表现在产品功能上,需求检验也是功能检验,这部分检验主要由设计师来进行,系统只是根据功能—结构关系来判断系统实现的功能。规范检验就比较具体,根据企业设计标准和规范,对设计师设计的产品进行检验,发现不符合规范的立即指出,并要求改正。如对于材料的选择,如果设计师任意选择材料,必然导致采购的困难和产品成本提高,所以必须在企业的合适的材料范围内选择,保证企业开发产品的低成本和高效率。合理性检验是对产品设计结果的检验,为保证快速的变型产品设计,必须符合一些合理化工程的哲理,如新零件数目的控制、结构的变化限制、产品可制造性等。

CAD系统

CAD系统完成产品设计的图形处理任务。用于变

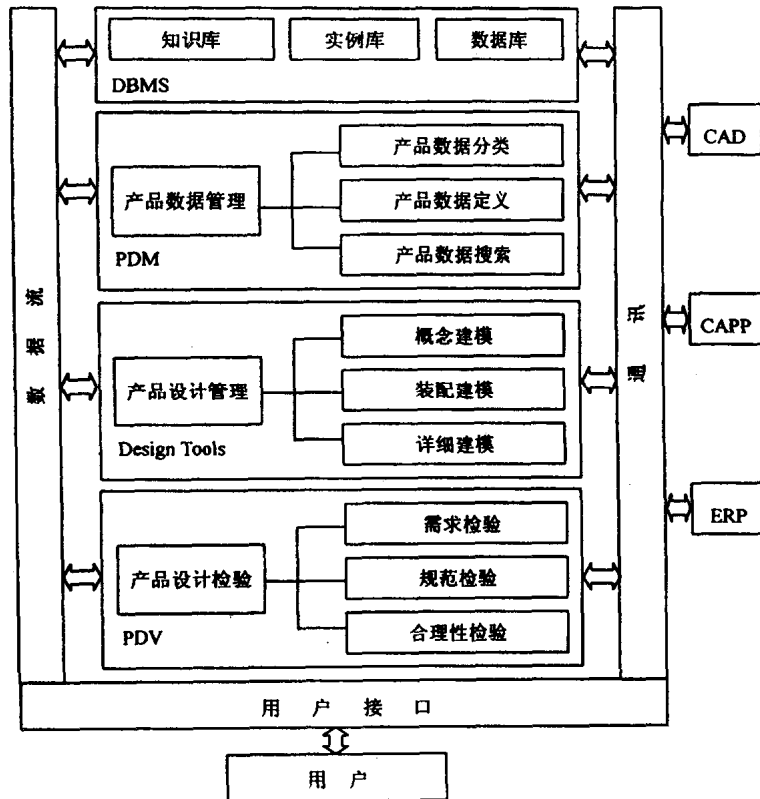


图 14.2-5 变型设计系统框架

型设计的 CAD 系统应具有一些与传统的 CAD 系统不同的特点。它以关系为核心,提供一系列工具来帮助设计师在设计对象之间建立和表达设计关系和设计约束,如图与图之间的关系、零件之间的运动联系、装配图的装配关系等。

知识库(KB)、实例库(CB)、数据库(DB)和数据管理系统(DBMS)

知识库存储设计规则、经验和设计知识(公理、定理、参数、图表等)。实例库存储设计参数约束、设计原型和实例对象。数据库中保存各种基础数据、标准件和产品设计过程的各种动态数据。数据库管理系统定义知识库、实例库和数据库的操作,是其他模块利用这些数据库的界面。

第3章 快速响应变型设计的关键技术

支持快速响应变型设计的关键技术包括:事物特性表管理、分类编码系统、产品资源管理和关系型CAD系统。

1 事物特性表管理

1.1 事物特性技术简介

在当今计算机化的信息社会,信息量日益增长,如何使纷繁的信息畅通无阻地流动,又如何及时得到所需要的有用信息,其中最关键的问题在于如何用一个统一的规范和格式来描述和记录这些信息。事物特性技术的运用,不仅可以描述对象的本质特性或者相关特性,还可以用于查询和管理对象及对象特性。

事物特性技术于70年代初产生于德国,德国利用事物特性技术建立国家级的信息流标准,并于1985年开始组织制订“事物特性表”系列标准。我国等效采用德国DIN标准,发布了国家标准GB10091.1《事物特性表定义和原理》及其系列标准GB10091.X。

事物特性技术适用于描述、限制和选择标准的和非标准的、物质的和非物质的、相似的事物对象或对象类。此外,事物特性表还支持文件中的数据归档、存贮和交换。在计算机化企业里,事物特性技术广泛应用于企业的各项活动,特别是在计算机辅助工程中,用来描述、存贮、查询和再现事物的特性信息。如在计算机辅助设计(CAD)领域,利用事物特性技术,描述原材料、零部件和产品的特性信息,并在设计开发过程中,查询、识别和比较有关材料和零部件的特性;在计算机辅助工艺编程(CAPP)中,利用对产品及零部件的特性描述,进行加工、装配和检验计划;在企业资源计划管理(ERP)中,对生产计划、能力计划、库存管理以及采购、销售和财务的各种特性信息进行描述和记录,以获得最佳生产、质量和成本控制;此外,也可用于其他系统的信息检索和处理,如图书、档案管理、商品市场信息、证券行情、电子数据交换(EDI)等。

1.2 事物特性

(1) 特性的概念

上述国家标准《事物特性表定义和原理》对特性(characteristic)的定义是:特性是从对象组中表征和区分一对象的决定性的性质。

任何事物的矛盾都有两个方面,即矛盾的特殊性

和一般性质,这种矛盾的特殊性质决定了一种事物区别于其他事物的特殊本质,这种事物的特殊性就是事物特性。对事物特性的认识,要经过从特殊到一般,从一般到特殊的反复循环,并要辩证地理解个性和共性的关系:事物的共性存在于一切过程的始终,共性存在于个性之中,无个性则无共性。那些描述和区分对象的信息,我们称之为特性。任何事物,无论是有形的,还是无形的,都可以用特性来表征和描述。

(2) 特性分类

特性分类的基本原则:

●科学性:按照不同的分类标准,可对特性进行不同的分类,特性分类的科学性主要在于分类标准的科学性。科学的分类标准,应能准确、合理地区分特性。

●实用性:特性的分类应满足不同的应用需求,具有一定的针对性。在不同的应用场合,具有有效性和适应性。

●相关性:相关性包括特性相关和特性描述对象相关。

根据上述特性分类的基本原则,可对特性作如图14.3-1所示的分类。

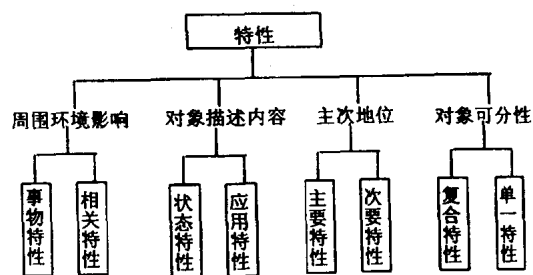


图 14.3-1 特性分类

全面而又准确地描述和识别一个对象(组),不仅要提取该对象(组)本身所固有的性质,还要对其生存空间中相关的特性进行描述。按是否受周围影响,可将特性分成事物特性(article characteristic)和关系特性(relation characteristic)。事物特性也称固有特性,是描述对象不受周围环境影响的特性。事物特性是决定一个对象的本质特性,是对象的固有性质,如人的性别、身高,苹果的大小、颜色,齿轮的齿数、模数等。如某一对象事物特性的特性值发生变化,则会导致该对象成为另一对象,而且任何一个事物特性的改变,都会引起对象的变化,如改变齿轮的齿数,则形成另一齿轮,改变棒形

半成品的截面,即形成另一半成品。关系特性是描述对象和周围环境的联系的特性。关系特性包括生产过程、起始值、生产费用、交货人、订购量、仓库地址、仓库存放费等。如苹果的成本、售价,调节弹簧的应用范围、装配高度、夹长、试验种类及文档标号等。关系特性的特性值的变化不导致所标识的对象的改变,比如苹果不管卖多少钱,还是这个苹果。某一对象的事物特性可能是另一对象的关系特性。如图 14.3-2 所示,对象 1 为齿轮,对象 2 为齿轮的市场情况,特性成本和售价在对象 1 中是关系特性,而在对象 2 中为事物特性。

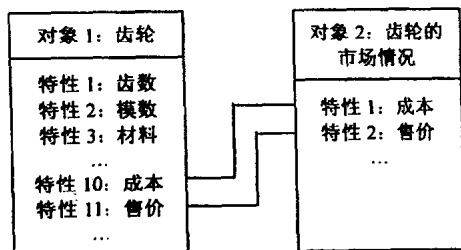


图 14.3-2 事物特性和相关特性的转换

按特性对对象描述的内容不同,可分为状态特性(characteristic of state)和应用特性(application characteristic)。状态特性是描述对象的状态的特性,如原材料、尺寸、表面状态、重量、苹果的大小、颜色、齿轮的齿数、模数,均属状态特性。应用特性是描述对象的功能和需要的特性,如连接尺寸、位置要求、能量要求、气候、耐热性、连接电流、容量。苹果的存储条件等均属应用特性。

按特性在对象中的地位,可分为主要特性(primary characteristic)和次要特性(secondary characteristic)。主要特性是对象描述中占主要地位的特性,一般说来主要特性基本决定了对象的性质。次要特性是在对象描述中占次要地位的特性,如齿轮的供应商和价格等。当检索一个对象时,一般先看主要特性,一旦主要特性不能满足需求,那么该对象就不是所要查找的对象。比如在采购齿轮时,如果齿轮的齿数和模数不符合要求,其价格再低,质量再好,也不能购买。特性的主次划分并没有明确的标准,它与对象的生存空间和应用场合有关。主要特性对次要特性具有支配作用,这种主从关系的数学描述如下

$$P_i = f(S_j)$$

式中 P_i ——主要特性的特性参数;

S_j ——次要特性的特性参数;

$f()$ ——主要特性对次要特性的控制函数。

按特性是否具有可分性,可将特性分为复合特性(complex characteristic)和单一特性(single characteristic)。复合特性是在共同概念下综合数个单一特性的特性,如绕组尺寸(绕组形式和直径)、电气设备和保护方法、应用等级、螺栓质量等级(尺寸准确度和表面粗糙度)、原材料(化合物、热处理、物理性能)。单一特性是不可分或不必要细分的特性。复合特性是由单一特性组成的,在对对象进行描述时,复合特性原则上应进一步分解成单一特性。如图 14.3-3,在对螺栓进行描述时,对螺栓的螺纹又作了一些描述,这样,对螺栓的描述更加完整。

代码	A	B	C	D	E
名称	螺栓	杆长	直径	头高	长
单位	-	mm	mm	mm	mm

A01	螺纹形式
A02	螺纹直径
A03	螺距
A04	

图 14.3-3 复合特性的分解

(3) 事物特性的表征相位

为了从不同的要求、角度和层次对特性对象进行定量、定性的描述,应定义事物特性的表征相位。相位是指人类考察、试验、描述、表征事物特性的某个特定涵义的方面,从不同的相位去考察、试验、描述和表征事物所具有的个别结构、性质、功能等,可全面地认识、判断和识别事物。

●意相位:指事物的概念、定义,包括语言、文字、

术语、代号和信号等,是对事物的总体表达。

●实体相位:指事物的客观形态、实体的一般性质及其长、宽、高、半径和面积等。

●质量相位:对事物本质进行表征的相位。

●功能相位:事物对客体产生的功能所呈现的特性。

●行为相位:对生产劳动与组织、社会经营行为中人与物、人与群体或群体之间的事务行为的描述。

其中,质量相位和功能相位是通过科学的方法取得的,称为方法相位。

(4)事物特性链

任何事物都不是单独存在的,事物间的相互依存和事物特性的相关性,形成了事物特性链。事物特性链是以不同形式的接口,将不同的事物特性连接起来描述事物间相结合关系的一种方法。按不同的接口形式,分为实物链、行为链和系统链。

●实物链:对实物等客观对象间结合关系的描述,其接口为客观实体的硬接口,如零件间的装配。

●行为链:对人与人、人与物的事务管理等抽象对象的行为关系的描述,其接口为管理行为等接口,如生产管理和计划中的各种关系链。

●系统链:系统链指系统间的结合关系。

特性接口是保证特性对象结合的技术条件。特性对象结合后,形成新的对象,具有新的事物特性。只有正确的特性接口,才能形成有效的事物特性链,组成新的组合对象。如波音 747 有 450 万个零部件,配套产品 2400 多项,技术标准和规范 2400 多项,如此庞大的系统工程,如果不保证事物特性的一致性和特性接口的正确性,其结果可想而知。

1.3 特性描述的对象

对象(object, article)是可用特性值描述的物质或非物质概念。对象可以是我们所接触到的每一实体,例如,汽车、人、计算机、零件、半成品、工具、书本等等。凡是我们可以接触到的事物都可以称之为对象。对象也可以是数据结构和概念模型,例如,数据结构中的队列、堆栈等;概念模型中的实数、矩阵以及国家、车间,社会活动中的组织、服务等。对象还可以是处理过程,例如,工业系统的控制过程、原材料的使用过程、化学物质的变化过程、股票价格的变化过程、企业生产管理

过程等都可称为对象。

从上述不同的对象可以看出,对象是现实世界中一类具有某些共同特性的事物的抽象,如汽车对象是各种各样汽车共性的抽象。对象包含许多信息,这些信息可以用特性进行标识和描述,如队列对象含有队列长度、队列指针、队尾指针等特性,苹果对象具有大小、颜色和味道等特性。

从对象的定义和描述可以看出:特性所描述的对象可以是事,如各种管理事项,也可以是物,如各种物资;可以是具体的物质,如各种产品、人等,也可以是抽象的概念,如有关政策、金融、海关等信息。对同一对象的描述可以因不同的目的而有所不同,如对盒式录音带,可以对机械性能、电磁性能和音响特性等进行描述,也可以对所录信息,如节目名称、演奏或演唱者、指挥者、录制日期、发行单位等进行描述。

对象是现实世界中一类具有某些共同特性的事物的抽象。复杂的对象可以由相对简单的对象以某种方式构成。对象可有多种状态,但状态间必须是可逆的。如已加工的零件和新的未加工件因不可逆就认为是两个不同的对象。根据这些对象的共性和个性,可将对象分成不同的层次。

1.4 事物特性表(Layouts of Article Characteristics)

事物特性表是组合和排列对象组(group of articles)的事物特性和关系特性的表,所谓对象组是指一定的同族对象的组合。换句话说,事物特性表是一种把事物的特性描述出来,并统一规定存录和显现模式的信息标准。它提供了对象信息的描述、存放、查询检索、显现的标准格式,不同信息处理系统均可对其进行操作,使得异地、异构的信息系统间可以进行信息交换和传输。由此可见,事物特性表可用于概括地描述、限制

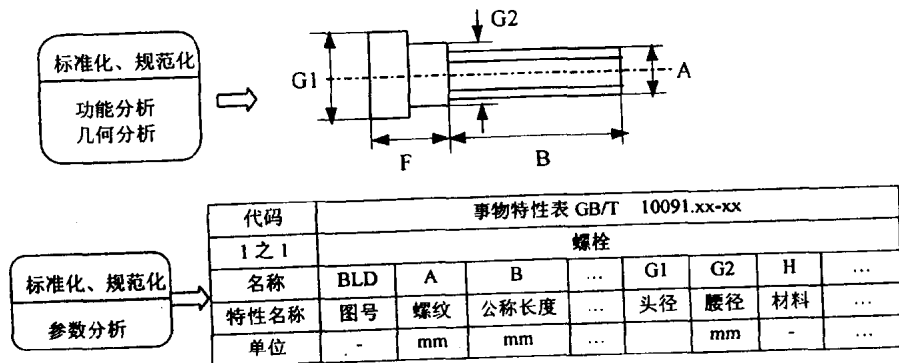


图 14.3-4 螺栓的事物特性表

和选择标准的、非标准的、物质的和非物质的以及相互近似的事物对象。将其用于CAD中,可规范化地支持CAD数据的归档、存储和交换。表的每一列表示相关的零部件的特性,表的每一行代表相关零部件类中的一个实例。图14.3-4是螺栓的事物特性表,GB10091对事物特性表的组成和结构作了规定。

一般说来,事物特性表描述原则有以下几点:

(1) 覆盖面尽量广

一个事物特性表所描述的事物对象的种类应尽可能多,覆盖面应尽量广。也就是说,一个事物特性表应尽可能表达出对象类中有相同或相似特性的对象。如德国DIN4000/23部分《半成品》所表示的“产品外形特性”,其中的“板材外形特性”既表示了钢板、铝板等金属板材,又表示了木板、塑料板、橡胶板及其他板材。

(2) 目的明确

对对象的描述应根据应用场合和目的对所描述的特性作不同的选择。如对零部件,设计人员主要关心它的技术性能;计划、供应和物资管理人员则主要关心它的货源情况、货源保证、合同和合同执行情况及价格等;而车间管理人员,除技术性能以外,还关心(对自制件)所用工装、模、卡、工、量具等,即一个事物特性表应根据不同的目的和要求,编成用多行或多分表表示出的具有综合内容的事物特性表。

(3) 力求简化

对一事物对象,应根据一定的需求只描述其必要的和充分的特性即可,不必描述出全部特性,即“简而充分”,所谓“简”就是给数据处理用户提供其必要的信息即可,避免对象描述过于繁琐和详细,所谓“充分”就是描述对象的特性应能分清两个不同的对象。

从事物特性表的应用范围,可看出事物特性表不仅描述的是事物特性,而且在有些应用场合将相关性描述出来也是必要的。如根据生产计划编制人员的需要,对产品的价格和货源进行描述。从变型设计的角度讲,事物特性分为零件特性和部件特性两类,特性种类主要分为:产品标准特性,主导特性,补充特性,功能特性,算法特性,分类特性,属性特性。事物特性表对企业产品资源的规范化、标准化具有重要的意义,DIN4000/4001对CAD设计中用到的所有标准件和企业通用件进行了描述,根据标准,标准件和企业通用件分成以下几组:事物特性标准(标准应用范围,支持企业标准);分标准(对象组);分表(组件族);分图(组件)。事物特性表管理包括创建、维护事物特性表,对象组、组件族、组件的检索和选取等功能,不仅管理简单件,并且用事物特性控制简单件连接,形成装配模型。

1.5 事物特性技术及其特点

事物特性技术是用事物特性和事物特性表的方法来描述和记录对象或对象类的技术。事物特性技术的运用,不仅可以描述对象的本质特性或者相关特性,还可以用于查询和管理对象及对象特性。归纳起来,事物特性技术具有以下几个特点:

(1) 抽象性

事物特性技术分析表达的并不是某一个具体的对象实体,而是对现实世界中一类实体或事物进行抽象的结果,也就是说事物特性技术是对对象或对象类的抽象描述。抽象既是一个过程,又是一个结果。客观世界纷繁复杂,抽象的过程可以从杂乱无章的事物中提取共同的信息,找到共同的运动规律;事物特性是对一类事物抽象过程的结果,当找到共同的信息和运动规律后,要对对象进行描述和定义,这个过程就可以用事物特性技术来完成。

(2) 继承性

继承性是面向对象技术的重要特性,与此相对应,事物特性技术也具有继承性。事物特性的描述对象可以按相似程度划分为不同的层次,相邻的对象类具有父子关系,子类继承了父类的属性。利用特性的继承性,可以帮助我们认识事物,并可用来区分具有相似特性的事物,也可以简化对象的描述。

(3) 可比性

事物特性技术的可比性包含两方面的内容,其一是利用事物特性技术可以使特性描述的对象具有可比性;另一方面,事物特性本身也具有可比性。利用事物特性技术,可以区分一组对象,比如在挑选苹果时,往往要考虑苹果的大小、成熟程度以及表面质量等因素,正是由于这些特性不同,才决定了苹果的优劣。在查找一个所需要的对象时,首先要在脑海中有这样一个概念,该对象属于哪一类,应该具有哪些特点,然后将这些特点与现有的对象的特性进行比较,找出特性相同或相似的对象。这样一个特性比较的过程,也是对对象的认知过程。

对信息的描述和表达是信息技术发展的关键问题。由于人们对自然语言可能有不同的理解,传统的自然语言描述方法就难以明确、清晰、无二义地描述特性对象,难以建立信息模型,因而给计算机对结构化自然语言的表达带来困难。近年来人们致力于形式化的描述方法的研究,但对过于形式化的语言,直接用户又难以接受。而事物特性技术是一种介于两者之间的信息描述方法,较好地解决了自然语言和形式语言的不足,是信息资源描述的重要手段和方法,它已经在产品类属模型的建模上得到了成功的应用。

2 分类编码系统

2.1 零件分类编码系统的基本原理和结构

影响一个编码系统性能优劣的主要因素之一是它所使用的代码的结构,这不仅影响到编码系统本身的功能,也对能否易于在计算机上实现产生影响。

从数据模型理论的观点看,编码系统的结构也对应着一定的数据模型。当今编码系统常用的结构有树式、链式和混合式结构。树式结构对应于层次模型,链式编码结构对应于线性有序的数据模型。

1) 树状编码结构:相邻两个码位间具有从属关系,每个码位(第一位除外)都进一步描述了前一码位所给出的信息,树状编码在系统码位数相同的条件下所包含的信息量大,但结构较复杂,必须对分类对象的本质有十分深刻的了解,常用于不太能变化的固定信息的描述。

2) 链式编码结构:其每个码位各不相干,仅包含其自身范围内的信息,它比较容易建立,而且随着要求的变化也易改变,一般用于描述信息变化较多的场合,易于在计算机上处理,但在相同码位数的情况下能包含的信息量较树式结构少。

3) 混合编码结构:其实质是将某些码位形成的树状编码串接在链式编码的排列中,兼有树状和链式结构的优点,因其具有灵活的表达方式而得到广泛应用。

如今为人们所熟悉的两大零件分类编码系统是刚性编码系统和柔性编码系统。

传统的零件编码系统一般都是刚性编码系统,如 OPITZ 系统和我国的 JCBM-1 系统等,码位长度总是固定的,无法根据需要取舍,特别在采用高项复盖低项的原则进行编码时,不能充分描述零件的各种信息,从而无法满足 GT-CAD/CAM 的要求。

柔性编码系统是当今才发展起来的,根据数据模型的原理,它突破了固定的框架结构,用多层来相当详尽地描述零件的特征信息,采用层层深入的方式,以满足不同场合、不同单位的需要。所谓柔性,一方面是指码位长度的不确定性,可以根据需要随意增减;另一方面是指信息在码位中的位置次序的随意性。

依据柔性编码系统的原则,我国开发了一个 SE/BYJ-CCS 柔性编码系统,它打破了传统的固定式结构,由主码(固定)、刚码(柔性)和辅助码(柔性)三层组成。

第一层主码(固定)主要用于描述零件的主体形状和主特征,具有固定码位长度。反映了零件的基本轮廓形状,以及主要工艺信息,能满足对零件分类要求,可以据此确定零件族类别和典型工艺路线。

第二层副码(柔性)详细反映零件的除主特征以外的其他特征要素,或是对零件的某些特征根据实际需要进行详细描述。柔性码中每两个字符代表零件一个特征信息,表现形式为一字符串,这就避免了传统编码系统中各种信息排列方式的限制和高项掩盖低项所造成的代码含义不清的缺点,当不具备这方面的特征时,可以略去。这层码为 CAPP 提供了较为详细的信息,据此可以确定零件工序的操作内容。

第三层辅助码(柔性)是对零件几何特征或特征之间位置信息的补充描述。之所以突出这一项,是便于 CAD 系统能输出 CAPP 系统在进行工艺设计时所必须的特征间的相互位置精度要求或特征的形状精度要求。如果 CAD 系统的输出已能满足上述要求,此码可以不设。

2.2 适用于快速响应设计的分类编码系统

为了进行产品信息交流,实现高层次上的技术管理的合理化,需要选择合适的分类标准。本文采用基于国标的面向事物特性的分类方法。要充分利用产品资源,就必须提供一套明确的零部件检索机制。分类除了使企业内部在完成任务过程中信息交换合理化外,其重要性还在于使设计人员能迅速和广泛地取得已经设计或作为库存件的现成或相似件的信息。在新型设计和变型设计时,这种重复件的应用,属于企业对设计人员最重要的设计要求之一。

自从 60 年代初,OPITZ 分类编码系统在德国诞生到现在,国内外提出了多种分类编码系统,但没有一种系统被普遍采用。OPITZ 分类方法的优点在于具有不同的抽象平面,特别适用于相似寻找,而缺点是信息损失量特别多和不灵活,这是由于把精确的信息描述减少到某个值域的边界上。

事物特性(DIN4000)补充了这种分类系统的不足,或者本身也是一种重要的辅助手段,以便存贮和重新找出对象物,例如标准件或公司专用的设计件、外协件、工具和生产设备等。同传统分类方法相反,它适用于明确的零件描述,因为它把握了精确的事物特性。但仅以事物特性为基础所组成的相似零件寻找系统,由于它的命名上的问题和缺少顺序系统化而不能作为机械制造应用的基础。

可见,分类系统和事物特性方法各有优缺点,对于分类系统的精确描述来说,它总难以避免信息损失,因为缺少对象的精确值。而事物特性方法则相反,虽然只允许一级分类,它却能够不受限制地实现精确描述。将这两种方案结合具有很大的优势,把分类系统的优点和事物特性方法的优点结合起来,来实现对象范围的分级和分级后对象的精确描述。采用这种方案,可建立