

基于 CBR 的全自动药品包装机的模块化设计

摘要

快速设计是以保证产品设计质量为基础，以缩短产品开发周期为目的的设计方法和技术。由于客户对产品的需求具有多样化、个性化、先进性和及时性的特点，因此，快速设计日益受到人们广泛的重视。而模块化设计作为快速设计的主要技术之一，其模块的功能互换性和功能组合性是产品快速设计的基础。本文以基于 CBR 的全自动药品包装机模块化设计为研究课题，深入分析了基于 CBR (Case-base reasoning) 的全自动药品包装机模块化设计的理论与方法，并在此研究的基础上开发了全自动药品包装机的设计软件。本课题得到了陕西省教育厅专项科研项目的资助（项目编号：07JK201）。

本文的主要研究内容如下：

(1) 结合产品族药品包装机系列产品的特点，按照功能的角度进行包装机的纵、横系列模块的划分与规划，考虑了产品的特点及模块再利用，引用了广义模块化设计原理进行模块划分与规划，模块的规划与设计为软件的开发打下基础。

(2) 根据企业拥有各自最擅长的产品设计技术的现状，提出以本单位系列产品模块为主，相关系列产品族模块为辅的设计思想，拓宽了设计的思路和保证了功能模块可行性，从而为新产品的开发提供了技术原理支持。

(3) 结合 CBR 原理的实例描述和实例检索的复杂性、机械产品功能模块的互换特性，提出建立三个模块库的思想，并分别详细的说明了库的检索步骤和库的相互关系，阐述了机械系列产品设计思路，为软件的实施提供理论支持。

(4) 软件的实施是按照模块功能进行模块的属性描述和库存，该软件的应用是调取需求功能模块，进行模块的组合，或者对需求模块的参数化、变形再设计，从而形成新的功能模块和产品。软件的搜索功能是按照主产品生产线的流程进行功能规划的，并且把树状结构布局和产品族同功能或相似功能并入同支脉，这样可获得更多可行的功能模块。

(5) 软件运用 C++ 语言编程；SQL 数据库库存和模块属性描述；

Pro/E 三维设计环境实现参数化设计。最后以包装机功能模块搜索再设计为例，验证了该机械系列产品设计软件是可实施的。

关键词：快速设计，模块化设计，广义模块，CBR，全自动包装机

CBR-BASED MODULAR DESIGN FOR FULL-AUTOMATIC DRUGS PACKAGING MACHINE

ABSTRACT

The fast design was the design method and technique which was on the foundation of product design quality, taking shortening the product development period as the purpose. With the demanding diverse, characteristic, forerunner and timeliness of the customer, the fast design was subjected to an extensive value of people increasingly. The modular design was as one of main techniques which realized fast design, the module function interchangeability, the module function combination of the modular design is the foundation of the product designs quickly. This thesis take the Department of Education of Shaanxi province particular item (serial number: 07JK201) which is the full-automatic drugs packer modular design based of the CBR as research topic, analyzed thoroughly the design theories and method of full-automatic drugs packer modular design based on the CBR (the Case-base reasoning), and on the foundation of this research, Programmed the implement of the full-automatic drugs packer design software.

The mainly contents of this thesis were as follows:

1 Combined with the characteristics of the product clan drugs packer series product, followed the function point of view, done the dividing and plan of vertical and horizontal series module the packer, considered the characteristics of product and the module reused, quoting the broad sense modular design principle to carry on the demarcation and programming of module, and the planning and design of module lay a solid foundation for the implement of the software design.

2 According to the present situation that business enterprises possess each product design technology which they are most skilled in, this paper puts forward design idea with the dominant role of series of product module and the subsidiary role of the related series product module, expanded train of design thought widely and reference of practical

feasible function module, and provided technique principle support for new product development.

3 Based on the complexity of CBR principle case description, case inspectional, combined interchangeability characteristic of the machine product function module, proposed constructed three module database and inspectional steps of the database, relationship of the database were illustrated respectively, explained the design solutions of machine series product design, which were provided the theories support for the implement of the software.

4 The implement of the software carries out property description and inventory of module by the module function. It is intended to obtain requirement function module and new combination of module, or redesign parameterize and deformation of the requirement module, thus forming new product and function module. The searching function of the software can carry on function planning according to process of main product line, and merges dendriform structure arrangement and same function or similar function of product series into the same branch range, thereby acquiring more feasible function module.

5 C++ language programming, SQL database stock, module attribute description, three dimension Pro/E design environment was applied to realize parametric design. The thesis took the further design of function module search in the packer for example, certificating that the software is feasible for designing the machine series product.

KEY WORDS: fast design, modular design, the broad sense mold piece, CBR, full-automatic packer

原创性声明和关于学位论文使用授权的声明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：郭文举 日期：2009年5月

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解陕西科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权陕西科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：郭文举 导师签名：郭甲红 日期：2009年5月

1 快速设计技术

1.1 快速设计技术提出的时代背景

当今机械产品正朝着多样性、个性化的方向发展，产品更新换代的周期越来越短。产品需求的多样化、复杂化，产品市场的全球化，迫切要求产品设计和制造以最快的速度、最好的品质、最低的成本和最好的服务来适应多变市场的需求，因此制造业的竞争也是围绕效率、质量、成本和服务的竞争。企业如何快速、高效的向用户提供满意的产品，如何应对动态多变的市场和提高竞争能力，已成为企业发展立足的关键因素。在这种形态的局势下，1996 年，美国 AUTOFACT 举办了主题为“快速设计与制造”的专题讨论^[1]，同时，各国纷纷掀起了“快速设计”理论、方法研究的热潮。以此发展了以缩短产品设计周期为目的的快速设计技术与方法。

1.2 快速设计的概念

快速设计（Rapid Design; RD）也称快速响应设计（Rapid Response Design; RRD）、敏捷设计（Agile Design）。快速设计技术是当前市场在对产品多样化、瞬变性等需求的形势下提出并发展起来的。快速设计技术与方法是基于现代设计理论和方法，同时应用微电子、信息、管理等现代科学技术，以缩短产品开发周期为目的的一切设计技术与方法的总称^[2]。该技术强调在企业已有的设计资源基础上通过对产品信息进行标准化、规范化重组，再通过对企业现有的成熟产品进行变型设计，使企业宝贵的信息资源得到重组和重用。产品快速设计的主要目的是缩短产品的设计周期，提高产品的设计质量，以及提高企业对市场的快速响应能力，产品快速设计并没有将其解决问题的范围扩大到企业的整个生产领域，而只是将重点放在缩短产品的设计开发周期，尤其是总体方案设计阶段，以提高产品一次开发成功和快速响应市场的能力^[3]。

1.3 快速设计研究的状况

当前国际市场需求快速变化的特点和二十一世纪更加个性化的市场趋势，促进了快速设计和制造技术的发展，1998 年，我国机械工程科学基金会开始对“快速设计”进行立项，一些大学与研究机构开始了对“快速设计”理论的研究。

目前所见的相关研究主要有：

马雅丽^[4]提出了以产品结构重组为组织基础，以信息集成工具(产品数据管理、产品零部件编码系统)为技术基础的产品敏捷化设计方法。

钟廷修^[5]提出了“快速响应工程”的概念，将其概括为快速捕捉市场需求信息、快速产品设计、快速产品试制定型和快速响应制造系统等四个环节，并提出了每个环节的

具体内容与实现方法,该文献认为,快速响应设计的关键是对产品信息资源的有效利用。

苟吉华^[6]等提出了基于 RPM/PDM 技术的集成快速设计与制造系统体系;齐尔麦等提出了基于多技术融合的快速设计技术体系。

汪应洛^[7]提出了支持快速产品创新的先进制造模式及其管理理论。

总体来说,我国机械产品快速设计技术的研究正在不断的深入,现代设计方法与理论正不断融入到快速设计技术中,其中模块化设计是实现快速设计的一种功能技术与理想途径之一。

1.4 产品快速设计技术相关理论

产品快速设计是先进制造技术发展的产物,属于现代设计技术的范畴,它涉及到并行工程(CE)技术、产品数据管理(PDM)技术、专家系统、集成建模、优化技术、网络技术以及价值工程和生产工程技术等^[8]。现代设计理论是快速设计技术与方法发展的基础,并行设计、变型设计、模块化设计理论、CAX 技术、基于知识工程、基于实例的智能化设计技术与方法等均已成为快速设计技术与方法的重要组成部分。模块化设计是实现快速设计的主要技术之一,模块的可互换性和可组合性是产品快速设计的基础。基于模块化的产品快速设计技术以模块化为主要实现手段,通过对产品功能结构的分解与映射,可以构建产品快速设计平台。

1.5 模块化技术与产品快速设计

1.5.1 模块化技术概述

模块化的概念一般指使用模块的概念对产品或系统进行规划和组织。模块概念的内涵一般指的是产品组成单元的抽象,是一种实体的概念,如把模块定义为一组同时具有相同功能和相同结合要素,具有不同性能或用途甚至不同结构特征,但能互换的单元。

模块化技术同参数化技术相比,它是在参数化技术基础上增加了功能、接口等特征。因此,模块化技术是对参数化技术的扩展。

模块化设计是产品快速设计的使能技术,通过综合利用模块化设计中的标准化特征、系列化特征,组合特征和面向产品族的设计方法可以加快产品设计周期,从而实现产品的快速设计。因此,模块化产品设计被认为是简化产品实现、减少开发成本和缩短制造周期的最有效方法和工程设计实践。现代模块化设计方法的研究已经广泛融合其他现代设计方法、制造和管理技术,如计算机辅助设计、价值工程、可靠性和优化设计、成组技术等。模块化设计技术的发展和运用,为现代制造业的产品设计与制造提供了一套有效的理论和技术方法。

1.5.2 满足产品快速设计的模块化技术

满足产品快速设计的系统及模块化技术应具有如下特点:

(1)企业根据市场变化和技术发展,更换系统中的模块库和相关的知识库,就可以适用于不同对象的设计,既可以针对企业定制,同时也利于原系统的更完善,使企业能够及时的重组改造。模块的划分和建模是模块化设计基础,对后续工作将产生很大影响

(2)基于模块化产品设计过程中,设计模型可根据用户需求进行快速响应,以最短时间向用户提交质量、成本具有竞争力的产品。

模块化设计是快速设计的核心,它用功能模块组成产品,模块的可互换性和可组合性是实现产品快速设计的基础。根据模块化思想,产品将由传统的产品—部件—零件的构成模式转变为以模块和模块单元组成产品的模式。

1.6 课题研究的背景及意义

现代产品设计的复杂性是任何部门或人员难于独立完成整个产品的设计过程,需将产品划分为子系统,从根本上降低设计的复杂性,加快产品的研究开发。同时,随着市场竞争的加剧,用户需求呈多样性、个性化趋势,而产品的生命周期却日益缩短,企业必须改变原有的大批量生产模式,转而采用与市场相适应的多品种、小批量生产模式,并将原有以产品为单位的设计模式,转变为模块化的设计模式。随着产品模块化设计的发展,制造企业与设计人员将出现分化,一部分企业与人员专门从事模块的设计与制造,而另一部分企业与人员将专门从事产品设计任务的分析及模块的组合与拼装。

工艺动作多而复杂是全自动包装机的显著特点,采用模块化技术有利于缩短产品的设计周期。据统计,在设计过程中利用模块化设计能节约 50%的时间,这体现在两个方面:一是在新产品开发时,由于系统中有很多通用的模块,使设计时间比一般的方法大为缩短,二是进行新产品设计时,可全部用已有的模块或增加少量专用模块来组成满足用户订货所要求的品种。模块化技术有利于提高产品的质量和加大新产品开发力度,增加企业对市场的快速应变能力。因为每个模块均为一个独立单元,可根据科学技术的发展,将已经进行过实验的新技术设计成模块,并对其做先行性实验研究,待结构可靠、性能稳定后,加到产品中去取代老的结构。这样既保证了产品的先进性和竞争性,又确保了产品性能的稳定和可靠,同时还可以加速产品更新换代;另外,有利于降低成本,增强产品的竞争能力。在模块化产品中,由于按模块组织生产,而不是按产品组织生产,使得大多数的零部件由单件、小批量生产转变为大批量生产,于是便于采用先进工艺和专用设备组织专业化生产。因此,在提高产品质量的同时,还有助于提高劳动生产率,降低制造成本和减小废品率。

目前,关于包装机模块化设计方面的研究仅限于传统的模块化设计理论。包装机要求完成的动作多而复杂,以全自动装盒机为例,需完成药板的传送、药品说明书的折叠与传送、纸盒成型与传送,将药板与说明书装入纸盒内并完成纸盒两端纸舌封装等工艺动作。其中的一些功能模块如药板的传送、药品说明书的折叠与传送等适合于模块化设

计；另一些模块如纸盒的成型、药板与说明书的推入、两端纸舌封装等要求机构精确的完成相应动作，适合采用基于 CBR 理论的模板实例设计来完成。本课题采用模块化设计与基于 CBR 的专家知识系统相结合的设计方法，来实现全自动包装机的快速设计。

2 模块化设计技术

2.1 模块化设计的形成发展及经济意义

模块化或模块化设计是现代设计中的一个热门术语，它的思想和概念自古就有，如 300 年前的欧洲城砖通过长、宽和高的不同组合可以构成各种尺寸或形状的城墙，因此，这种城砖就是一种构成城墙的基本模块。模块性是现实世界中客观的而且无处不在、无处不有，每种物体都有各自的组合规律。

我们对周围的事物和技术领域进行仔细的观察和思考，不难发现许多东西都能体现模块化的特征。比如：中文系统是由不同的基本模块汉字组成，汉字又有不同的偏旁部首组成，最基本的单元是横、竖、撇、捺等不同的笔画模块。活字印刷术就是一个很好的例子，固定模块组成不同的文章；有限个音符不同的组合和排列可以组成不同的悦耳动听的歌曲；从 0—9 不同的阿拉伯数字字符组成任意的数字等。

产品的模块化设计始于二十世纪初，首先在欧洲出现了模块化家具，德国的一个家具公司于 1900 年用模块化原理设计出所谓“理想书架”，该设计是将书架划分为顶板、架体和底座三种模块，其中架体具有不同的尺寸，不同的尺寸可以组成不同大小规格的理想书架。这种理想书架是已知最早的按模块化原理设计的产品之一。此后，这种原理逐渐为其他行业，特别是机床制造业所采用。1920 年左右，欧洲特别是德国的一些厂家首先把模块化原理应用于铣床和车床等机床的机械系统设计中，如德国的弗里公此尔纳公司设计的铣床，就是按功能将其划分成模块而进行设计和制造的，这些模块可供用户选择以便组合成所需的铣床。

上世纪 50 年代，欧美一些国家正式提出所谓“模块化设计”的概念，自此以后，模块化设计愈来愈受到重视。机械制造行业所使用的组合夹具是使用较早，也较成熟的模块化系统，用已有的夹具模块可组成所需的夹具，而不必单独设计与制造，用后再拆开，以便另行组合。瑞士肖布林(SCHAUBUN)公司在不断积累设计和制造经验的基础上，在 20 世纪 50 年代就已对仪表机床进行了模块化设计，从而使其产品具有精度高、功能多及互换性好等优点，具有很强的竞争能力。德国弗兰德(Flender)厂的模块化减速机系列，其输入轴齿轮有 5 种中心距，各有 5 种传动比，输出轴齿轮有 3 种中心距，各有 16 种传动比，另有锥齿轮 4 种锥距，各有 16 种传动比，由此组成 8 个系列具有各种功率及传动比的齿轮减速机。

20 世纪 70 年代末至 80 年代初，模块化设计开始在我国受到重视，并逐步得到广泛的应用。比如组合家具。我国的机床行业不少厂家应用模块化设计原理进行新产品的开发设计，取得不少的成果。如上海市机床研究所、上海仪表机床厂和上海十二机床厂联

合组成的“小型精密机床模块化技术研究”课题组，在调查研究的基础上进行了仪表车床的模块化设计。南京机床厂在 N-038 型高效自动车床系列设计中采用了模块化设计方法，共设计出 40 多个模块，可组成 8 种型式的不同的机床。等等除机床外，国内在某些机械产品上应用模块化原理已初有成效，并开始在其他机械产品开发上应用模块化设计原理。在减速器、变速器的系列设计产品开发中大量应用模块取得了显著的效果。

近年来，随着精益生产、敏捷制造及大批量生产，模块化设计研究和应用再次成为热点。如汉川机床集团有限公司承担的国家 863 数控铣床和加工中心结构模块化技术研究课题 2006 年 8 月 24 日通过国家专家组验收；2007 年的 4 月，国家 863 计划先进制造与自动化技术领域办公室在北京组织验收专家组，对太重集团公司承担的“重大技术装备模块化参数化智能化协同设计系统”课题进行了验收。

随着市场经济的不断发展，商品种类越来越丰富，人们的消费观念也日趋成熟，选购商品向高品质、实用化和个性化方向发展。人们不再追求千篇一律的产品，而是喜欢购买富有个性化的商品。客户需求的多样化和个性化已经逐渐成为世界的潮流，我国也不例外。因此，可以说，我们现在已经进入了“模块化”的大发展时期。材料科学等领域取得的突破，使我们能够比较容易地获得确定设计规则时所必需的深奥的产品知识。例如，工程师们现在知道：在汽车和机械的外形设计以及金属成型过程中，为了充分保证整体系统的协调而向金属加压时，金属对此会有何反应。此外，电脑能力的不断提高不仅戏剧性地降低了知识的搜集、加工、积累的成本，同样降低了设计、测试不同模块的成本。金融市场与新型合同方法的共同发展，为企业挖掘经营资源、结成实验联盟、开发新产品、实现模块的市场化等提供了很大的帮助。在电信电力行业，随着进一步放宽限制，企业也可以根据模块化的原理对市场进行自由的分割。此外，模块化设计在电子设备中也广泛应用，其中在计算机中的应用已经趋于成熟，国际化行业标准已使计算机模块可以自由互换、匹配。软件业也广泛应用模块化方法，随着 CORBA、组件技术的发展，提高了软件模块化程度。

作为汽车大批量定制生产的关键技术，汽车模块化设计正在成为汽车制造业的重要发展方向。它将进一步推进汽车工业的分工和改组，改变了传统的汽车零部件厂从属于整车厂的地位，有利于整车厂开发高水平的平台，形成以汽车为主导，以零部件为基础的新格局。另外，模块化在飞机、机器人、造船、工业汽轮机、家电等众多行业也得到了广泛的应用。不同的行业，虽然具体模块化实施方法和程度不同，取得成果有大有小，但作为工业界实现标准化、多样化的一种主要途径，模块化的研究和推广势在必行。

总之，在现阶段模块化和模块化设计的应用不在仅仅局限于最开始的机床设计，它已经扩展到了多种产品的设计、制造甚至企业的组织和经营等各个方面。所以研究模块化及模块化设计对新环境下的企业经营有着重要的意义。尤其模块化设计的思想已经深

入不同行业领域，与众多技术互相融合，使得各种技术取得前所未有的发展。

模块化设计在技术上和经济上都具有明显的优点，经理论分析和实践证明，其意义主要体现在下述几个方面^[9]：

(1) 便于产品更新换代，发展变型产品：根据用户需要，设计新的功能模块，组合成具有新功能的模块系统。用新技术设计性能好的模块，取代原有功能模块，发展性能好的变型产品。

(2) 便于维修：由于产品由相对独立的模块组成，因此，很便于维修，必要时可更换模块，而不致影响生产。

(3) 节约设计时间，缩短供货周期：采用模块化设计方法，企业产品系列中已有很多通用模块，在用户提出要求后，可用已有模块或设计制造少量专用模块便可组成用户所要求的产品。

(4) 提高产品质量，降低生产成本：模块精心设计，批量加工，有利于组织专业化生产，既提高质量又降低成本。模块化不仅是设计方法的改革，而且是推动整个工厂技术、生产、管理及组织体制的改革。

(5) 便于实现标准化功能模块：传统的标准化建立在零件级基础上，而模块化则是根据产品的不同建立在模块级上的标准化，是一种趋向于宏观的标准化。它具有两个特点：一是面向功能，而不是具体的形状、结构和制造上的标准化；二是注重结合面的标准化，从而把标准化管理部分地从细节中解脱出来，分层次、有侧重。

2.2 模块化的几个基本概念研究

2.2.1 模块化设计概念

模块化设计的设计理念是在生产部门希望快速响应市场，同时降低产品开发成本，缩短设计周期的要求下提出的。其基本思想是以现有的模块组成多样的产品，达到既要满足用户对产品的个性需求，又保证批量生产从而降低成本的目的。模块化是一种思想，也是产品设计和制造的一种技术。目前，对模块化还没有一个统一的定义，许多学者根据各自的研究，从不同的角度对其进行了表述：

文献^[10]认为：模块化设计是综合考虑系统对象，把系统按功能分解成不同用途和性能的模块，并使之接口标准化，选择不同的模块(必要时设计部分专用模块)以迅速组成各种要求的系统的一种方法。

文献^[11]认为：模块化设计是在对一定范围内的不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能模块，通过模块的选择和组合可以构成不同的产品，以满足市场不同需求的设计方法。

文献^[12]认为：模块是一组同时具有相同功能和相同结合要素，而具有不同性能或用途甚至不同结构特征，但能互换的单元，模块化设计是基于模块的思想，将一般产品设

设计任务设计成模块化产品方案的设计方法。它包括两方面内容：一是根据新设计要求进行功能分析，合理创建出一组模块—即模块创建；二是根据设计要求将一组存在的特定模块合理组合成模块化产品方案—即模块综合。它有两种设计形式：一是基型设计，另一是变型设计。基型设计明显包含上述两方面内容，而变型设计一般只包含第二方面内容，但当互换模块不存在时，也须包含第一方面的内容。

乌尔里克(Ulrich^[12])认为模块化与设计中的两个特点紧密相关：

- (1) 设计中功能域与物理结构域之间的对应程度影响模块化的程度。
- (2) 产品物理结构间相互影响程度的最小化。

这两点从设计学角度指出了影响模块化设计的基本因素，首先是在系统分析规划时，采用适当的方法对设计过程中各个部分，尤其是产品的功能域、结构域以及二者之间映射关系的合理分析，是模块化设计技术的关键影响因素。其次，要保证模块的功能、结构的相对独立性，即将模块之间相互影响的因素尽量减少。

舒赫(Suh^[13])从功能—设计参数映射的角度定义模块化设计：模块化设计是一种分析结果的产生，这种结果以产品、过程和系统的形式表现，并满足预定的需求，其方法是选择适当的设计参数，完成从功能需求域到设计参数域的映射。

保罗(Pahl)和贝兹(Beitz^[14])认为模块化设计是完成从功能需求域到模块功能域的映射，然后在考虑模块性能(如尺寸、重量等)基础上完成从模块功能域到模块结构域的映射，并将模块功能域的功能分为基本功能、附加功能、适应性功能、专用功能和用户定制功能五类，相应地将模块结构定义为基本模块、附加模块、适应性模块、专用模块和用户定制模块。

劳俊^[15]等人认为，模块化设计是综合考虑系统对象，把系统按功能分解成不同用途和性能的模块，并使之接口标准化，选择不同的模块(必要时设计部分专用模块)迅速组成各种要求的系统的一种方法。

童时中^[17]从系统论角度定义模块化为：为取得最佳效益，从系统观点出发，研究产品(或系统)的构成形式，用分解和组合的方法，建立模块系统，并运用模块组合成产品(或系统)的全过程。

施进发、梁锡昌^[18]认为，机床模块化设计是将机床上同一功能的单元设计成具有不同用途或性能的、可互换选用的模块，根据市场需要拼组成具有不同性能特点的机床。

胡维刚^[19]认为，模块是一组同时具有相同功能和相同结合要素，而具有不同性能或用途甚至不同结构特征但能互换的单元。并进一步指出模块化设计是基于模块的思想，将一般产品设计任务设计成模块化产品方案的设计方法。它包括两方面的内容：模块创建和模块综合。

70年代末，日本学者^[20]提出机床模块化就是“把具有一定用途和功能的部件结构标

准化,使其互相便于组合和拆开。选择所需要的部件进行组装,即可构成一台能发挥全部功能的机床或系统。80年代初,我国一机部机床设计工作研究班^[21-22],把机床模块化设计定义为:将机床上同一功能的单元,设计成具有不同用途或性能的、可以互换选用的模块,用以更好的满足用户需要的一种设计方法。童时中^[23]从系统论的角度研究了模块化设计,指出:从系统的观点出发,对模块化对象采用分解和组合方法,建立模块体系和运用模块组合成(产品)系统的全过程,叫模块化。同时认为模块化是标准化的高级形式,是一种思维的工具。

一般认为,截止目前为止,对模块化这个概念还没有形成统一的定义随着研究的进一步发展,人们对其本质的认识还将进一步深化。

2.2.2 模块

近年来,国外诸如模块(Module)和模块的(Modular)之类的词,在工业产品中已得到了广泛的应用,并作为产品的特征标志之一而加以强调。在我国模块这个词也已得到了普遍的应用。在国内外许多文献资料中,各学者从不同角度、不同程度上研究了模块的定义,目前为止还没有一个统一的定义。从模块化设计总体出发,通过对模块的研究^{[24] [25] [26] [27] [28] [29]}得出模块的特点,阐述如下:

(1) 具有功能独立性。模块虽是系统的组成部分,但它不是对系统的任意分割的产物,它具有明确的特定功能,这一功能不依附于其它功能而是相对独立的存在。

(2) 具有组合的特性。模块是系统分解的产物,用模块可以组合成新模块、新产品,也易于从系统中分离、拆卸、更换和变形,具有组合的特性。

(3) 具有接口的标准化。模块应具有能传递功能、组成系统的接口(输入、输出)结构。通过接口,模块可方便的组成系统,便于互换和维修。

(4) 具有标准化的结构单元。模块是通过同类产品的功能和结构的分析,可以运用统一的标准和方法得出典型的通用单元,因此必然具有标准化的特点,是标准化产品,可在不同产品中应用。

(5) 具有互换性。在一组模块中,均具有相同的安装位置、尺寸及结构参数,并保证换上其中的任一模块都不与其它部分发生干涉,有利于产品的模块组合和配置,因此模块必定具有互换性的特点。

(6) 具有层次性、可分性。模块可以不断的分层,直至基本的单元模块为止。

(7) 具有通用性。由于系列化模块一般只局限于某类产品,而为了降低成本,提高模块的通用性,模块必然具有通用化的特点。

(8) 具有系列化的特点。为了最大限度又经济合理地满足对某类模块化产品的要求,必须设计成相应的该类产品系列化模块,以便在产品族内普遍适用。

2.2.3 模块化

模块化是一种思想方法,在工业中的应用可以追溯到 20 世纪 30 年代。近几十年来,国内外专家对此做了很多研究工作,取得了很大进展。但是,这些研究在理论上不够系统和完善,目前,对模块化还没有一个公认的权威性定义。通过对模块化概念的研究^{[30][31][32][33][34]}得出模块化的特点,阐述如下:

(1)是标准化的高级形式。21 世纪制造业最为重要的生产模式是大批量定制^[35](Mass Customization, 简称 MC)生产模式,多样化、小批量生产是其主要特点,但是标准化与多样化是矛盾的,然而模块化却是应付多样化的有效手段。因此可以说,模块化为多样化时代的标准化工作开辟了一条新路。

(2)模块化的目标是建立模块系统和对象系统。模块化的目标有两个,即形成模块系统和模块化的产品系统。建立模块系统是实施模块化设计的前提,形成模块化产品系统则是模块化的最终归宿。没有明确的模块化产品系统这一目标,则模块系统的建立是盲目的,没有形成系列的模块体系,就没有模块化产品系统,则模块化是空谈。

(3)模块化的主要方法是系统的分解和组合。模块化的产品(系统)是由标准的模块组成的。系统(产品)分解和组合的技术和运用水平是模块化的核心问题。

(4)模块化的宗旨是效益。模块化是顺应时代发展潮流的产物,模块化的意图和最终目的,就是为了满足人们对多样化的需求和适应激烈的市场竞争,在多品种小批量的生产模式下,实现最佳的效益和质量。

(5)模块化是一个活动过程。模块化不是一个孤立的静止的事物,而是一个有目标有组织的活动过程。其中既有生产技术(设计和制造)过程,也有生产技术的管理(规划、

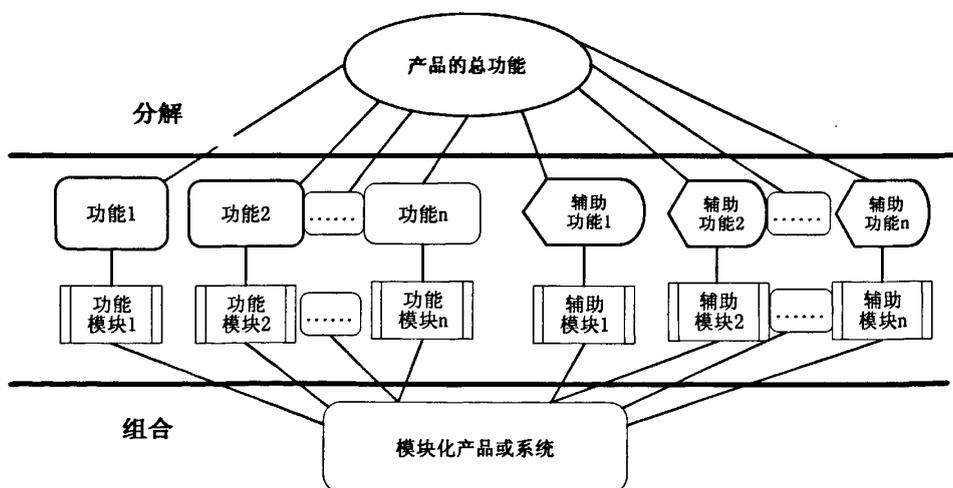


图 2-1 模块化的概念及特点示意图

Fig 2-1 Diagram for the concept and characteristic of modularization

计划、鉴定、实施、协调)过程。在模块化过程中还有模块化系统的形成、发展、完善、成熟和更新的过程。模块化系统还需要随着技术的发展和市场的变化而不断修改、更新。

(6) 实质是产品根据功能分解与重组模块, 实现相同功能不同结构或不同功能不同的结构新的模块。

描述模块化的概念及特点的描述如图 2-1 所示。

2.2.4 模块化设计

模块化设计(Modular Design)是近年来发达国家普遍采用的一种先进的设计方法。从 50 年代欧美一些国家提出这一设计方法以来, 它已经扩展到许多行业, 并与 CAD 技术、成组技术、柔性加工技术等先进技术密切联系起来, 应用到了实际产品的设计与制造之中。通过对模块化设计的研究^{[136]-[137]、[138]}本节对模块化设计的定义阐述如下:

模块化设计(Modular Design)是将模块化思想引入产品设计, 着重解决产品品种、规格与设计制造周期、成本之间的制约关系的现代设计方法, 其实质与模块化是相同的, 即是对一定范围内的不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上, 划分并设计出一系列功能模块, 通过

模块的选择和组合可以构成不同功能的新产品, 以满足市场不同需求的现代设计方法。它包括两方面的内容:

(1) 根据新设计要求进行功能分析, 合理创建出一组模块, 即模块创建, 是根据市场调查与分析, 以功能分解为基础, 设计结构模块, 形成结构模块系列, 为以后的设计及产品配置建立基础, 过程如图 2-2 所示。

(2) 根据设计要求将一组存在的特定模块合理组合成模块化产品方案, 即模块组合, 是单个产品的模块化设计, 需要根据用户的具体要求对模块进行选择 and 组合, 并加以必要的设计计算和校核计算, 本质上是模块选择及组合过程, 过程如图 2-3 所示。

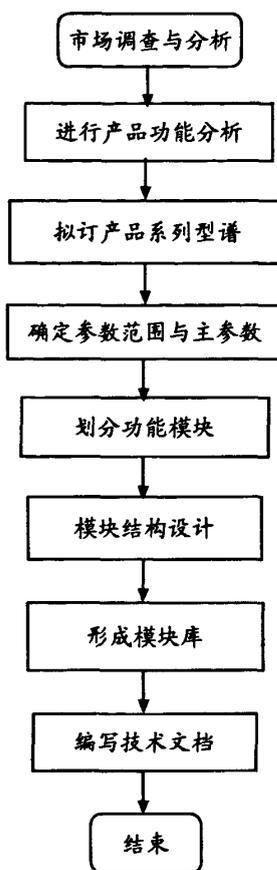


图 2-2 模块化的创建

Fig 2-2 Creation of the modularization

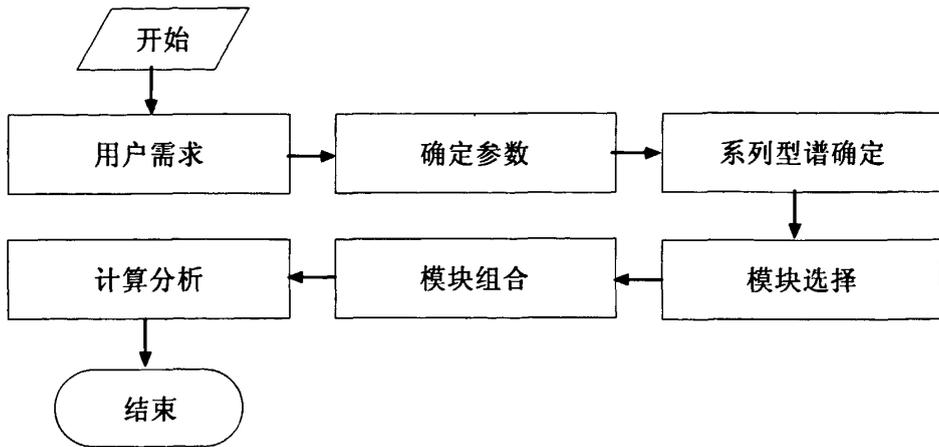


图 2-3 模块化的组合

Fig2-3Compages of the modularization

2.3 模块划分方法的研究

由模块化设计的概念，我们可知，模块划分是模块化设计中最基础也是十分重要的一步，模块划分结果的好坏将直接影响到模块化产品的功能、性能和成本^[99]，下面我们将从不同的方面来进行模块划分方法的研究。

2.3.1 模块划分的角度

产品设计者对产品进行模块划分时，往往会根据特定的意图从不同的角度进行考虑，由于考虑问题的侧重点不同，会得到不同的模块划分方案。尽管设计者进行模块划分的意图是千差万别的，但从产品开发设计制造出来的角度来看，这些不同的划分角度可以以新产品实现的几个特定阶段来划分^[100]。

把模块划分的角度归纳为如下几类^[101]：

(1) 面向设计的模块划分主要目的是为了更方便新产品的设计工作，加快新产品的开发速度。在进行模块划分时应重点考虑产品功能方面的问题，尽量把可能发生变化的功能需求所对应的部分独立出来，把关系密切的功能需求所对应的部分划分到同一模块中，从而获得模块在功能上的相对独立性。这样当用户需求发生变化时，只影响到产品的某个局部，设计者可以只对这个局部进行改进或新设计而不必改变产品的其它部分。这样，可以最大限度地利用以往的设计经验，加快新产品的开发速度。

(2) 面向制造的模块划分主要目的是为了更方便产品的加工，便于加工过程的调整。在进行模块划分时，应尽可能地把在加工中关系密切的部分划分到同一模块中，以便当一个模块的加工方式或过程发生变化时不会影响到其它模块的加工。这里所提到的加工关系密切的部分通常是指那些便于一组独立制造、要使用一项专门技术、要在同一时间加工的产品组成部分。

(3) 面向装配的模块划分主要目的是为了便于产品的装配,使装配过程尽量简单。在进行模块划分时应重点考虑装卸和接口方面的问题。因为在装配的过程中,模块化产品要体现的优势主要是使操作者能够快速方便地装卸产品的相关部分,而接口的简易程度和产品的装卸方便程度是直接相关的,所以要尽量把产品中那些经常被装卸的部分作为模块独立出来,并使这些模块具有尽可能简易的接口,从而方便模块的装配或更换。

然而无论从哪个角度出发,模块划分都应具备以下 5 个共同之处:

(1) 以功能为基础

开发一种新产品的最终目的就是为了实现一定的功能,因此功能是进行模块化设计时所应考虑的基本问题。模块划分作为模块化设计的基础,自然也应该以功能作为出发点。所以,在具体的模块划分中,必须要明确哪一模块完成哪一项或哪几项具体的功能。

(2) 以结构为载体

就一般的机械产品而言,其功能都是由一系列的物理实体通过一定的组合方式来实现的。因此,划分中得到的模块也最终体现为一定的物理实体,而结构所体现的则正是这些物理实体的组合方式。所以,可以把结构看作模块化产品的载体,模块划分方案就是通过产品的结构组织形式来表达的。

(3) 模块内部的强耦合性

从系统论的角度来看,产品是由若干个相互联系的子系统组成的,而模块划分的目的就是把关系密切的子系统划分到一个模块之中。尽管从不同的角度上看,产品各个子系统之间的相关程度是不同的,但是模块划分的结果至少应确保从划分者所处的角度上来看,模块内部的各子系统具有较为密切的联系,即模块内部各部分之间具有强耦合性。

(4) 模块之间的松耦合性

既然在划分过程中关系密切的各部分被划分到一个模块之中,那么模块之间应该只存在较弱的联系,即模块之间具有松耦合性。这样,在对整个产品进行系统分析时,可以暂时忽略模块内部的联系,把模块作为一个整体来考虑,从而简化了分析过程。

(5) 模块之间以接口进行连接

一个模块化产品要通过各个组成模块的协同工作才能完成最终的功能,各模块在工作过程中是相互关联的,这种关联是通过接口来实现的。因为产品中的任何一个模块在工作过程中都不是完全独立的,因此,任何一个模块都必须具有至少一个接口以便和外界进行联系。

虽然模块划分有不同的角度,然而设计者在对产品进行模块划分时,往往不是从单一的角度进行考虑,而常常是从多个角度进行综合考虑,权衡利弊才得到最终的划分结果。由于设计者从不同的角度进行模块划分时,往往会得到不同的划分方案,所以,从不同的角度进行模块划分得到的方案很有可能是相互冲突的,这就需要设计者为了某些

主要的目的而放弃一些次要的目的。即便是从单一角度进行模块划分，设计者需要考虑的问题通常也是多方面的。另外，无论从哪种角度对产品进行模块划分，模块的功能都是设计者所要考虑的一个基本问题，因为功能是所有模块划分的基础。

2.3.2 模块划分的层次

一般来说，模块划分可以从产品的任意层次上进行，从而得到不同级别的模块。模块划分具有层次性，这是由产品自身的特点所决定的。对于一般的产品，尤其是结构复杂的产品，无论是在功能上还是结构上都具有层次。从功能上看，产品的整体功能可以分解为一系列子功能，而每一种子功能又可分解为若干更低级别的子功能，从而表现为产品功能的金字塔形式。从结构上看，产品通常由一些大的部件组成，而这些部件又由零件或较小的部件组成，从而表现为产品结构的金字塔形式。因此，在以模块来描述产品组成时，也应体现出这种层次关系，如图 2-4 所示。

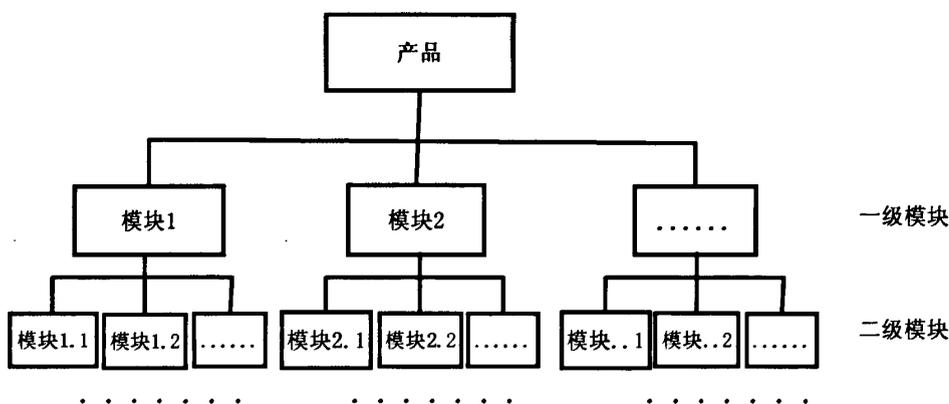


图 2-4 模块层次示意图

Fig2-4 Programming of the module's arrangement

图 2-4 中的产品由若干一级模块(如模块 1、模块 2 等)组合而成，而一个一级模块又可能由若干个二级模块组成(如模块 1 就是由模块 1.1、模块 1.2 等)组成。甚至会出现三级、四级模块，划分的层次，依次类推。也与设计者划分的角度有着很大的关系。

模块的层次和级别越多，模块数越多，模块就越简单，通用化程度就越高，有可能组成更多的产品品种。但随着模块数目的增加，产品的制造、装配和管理也越复杂。模块划分越简单，模块数越少，模块越复杂，模块本身的设计工作量就越大，导致模块组合生成产品的柔性降低。所以我们说模块划分最重要的问题是分解的层次与规模，从图 2-5 可以看出，在设计时应该避免模块

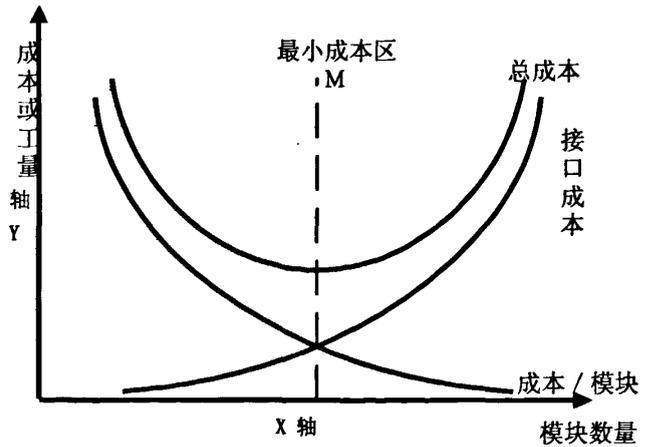


图 2-5 模块划分层次和成本的关系

Fig2-5 Module divides relations of level and cost

数量的不足或超量，要合理确定模块划分层次和减少接口复杂性，使设计总成本最小。对于系列化程度较高、生产批量较大的产品，往往这些产品组成结构也比较复杂，因此应使模块划分层次降低，以提高模块的通用程度，满足大批量定制的要求；对于非系列化或系列化程度较低的产品，其产品构成比较简单，且多为单件小批量生产，则应使模块划分层次提高，以降低系统管理成本。

在不同层次上进行模块划分时，考虑问题的角度往往不同。当划分较高层次的模块时，由于这些高层次模块往往是由用户直接进行选择和替换的，应侧重考虑模块功能上的独立性和接口的简易程度，即侧重从设计和使用的角度来进行模块划分。当进行较低层次的模块划分时，由于低层次模块与零件更为接近(有些低层次模块甚至可能就是一个零件)，所以应适当地考虑模块的加工和装配方面的问题，即从制造和装配角度进行模块划分。一些复杂的产品由成百上千个零部件组成，其内部结构关系非常复杂，以分级模块的方式来组织产品，可以把一些低级的关系隐藏在模块内部，从而使产品整体结构更加清晰，便于对产品的内部关系进行分析。

此外，模块的划分时应该考虑模块要便于管理，太多对管理和设计成本都不利，尤其管理，为后来软件的实施带来太多的属性描述，使得功能组合时功能搜索的准确性大大降低，太少又达不到快速设计的高效性和影响新功能开发速度。

2.3.3 模块划分的原则

一般来说，并没有完全统一的模块划分方法，研究对象不同，侧重点不同，划分的功能模块也不相同^[42]。在模块化设计中，必须结合产品的实际情况，从系统角度出发，应用系统分析方法，以功能分析、分解为基础进行划分，才能达到最好的效果。但是在

划分过程中需要注意几个原则:

(1) 结构独立原则。在功能独立的前提下, 模块结构应尽可能独立, 样为模块的设计、制造、产品的组装等都提供了方便。

(2) 功能独立原则。传统上部件和组件的划分注重结构的完整性, 而模块则更强调功能的独立性。功能独立的模块有利于产品的组合, 减少功能冗余。

(3) 粒度适中原则。模块分解的粒度太大, 模块与模块之间的耦合度必然增加, 模块化设计及制造并行开展的余地就减小; 模块分解的粒度太小, 则导致产品开发及生产制造的进度过于零碎, 可操作性差。

(4) 部件原则。以结构相对独立的部件作为模块单元是最常见的模块型, 便于模块的互换, 且模块的结构和性能直接取决于用户需求, 便于结构参数化。

(5) 基础件原则。基础件, 例如机架、车架等, 其材质大都为铸铁件焊接件, 需要做模型, 而且生产加工周期长, 会影响产品开发周期。因此整个系列模块设计只有采用同一类型的联接为基础, 建立基础件模块, 才有可能实现经济地派生出各式各样的产品。基础件模块化的目的是扩大产品的工作空间, 产品的规格和性能在保证刚度的前提下, 具有可变的可能性。

一般来说, 并没有完全统一的模块划分的原则, 研究对象不同, 侧重点不同, 划分的模块也不相同。在模块化设计中, 必须结合产品的实际情况, 从系统角度出发, 应用系统分析方法, 以功能分析、分解为基础进行划分, 才能达到最好的效果。

2.4 模块化产品系列规划的种类

根据模块化设计覆盖的产品范围, 以生产线产品规划和产品族模块化产品规划可以分为以下四种类型:

(1) 横系列模块化规划 (产品层的规划)

横系列模块化是指在同一规格的基础上, 在变型产品范围内进行模块化设计, 即在基型产品的基础上, 通过变更、增加或减少某些特定模块而形成变型产品。它的特点是不改变基型产品的主要参数如动力参数等, 变型产品中的变化主要体现在某些功能、结构、布局、控制系统或操纵方式等方面。横系列模块化是模块化设计中最易实现的一种, 应用也最为广泛。

(2) 纵系列模块化规划 (模块层的规划)

在同一类型中对不同规格的基型产品进行设计。主参数不同, 动力参数也往往不同, 导致结构形式和尺寸不同, 因此较横系列模块化设计复杂。在纵系列模块化设计中, 对与动力参数有关的模块进行设计时, 往往合理划分区段, 只在同一区段内模块通用, 而对于与动力或尺寸无关的模块, 则可在更大范围内通用。

(3) 跨系列与全系列模块化 (生产线的规划)

在横系列模块化的基础上兼顾纵系列，形成既有横系列又有纵系列的模块化设计方法称为跨系列模块化。当跨系列模块化覆盖了整个该类产品时，就称为全系列模块化设计，全系列模块化实际上就是在一类产品的全部横系列和纵系列范围内进行模块化设计，这是一种更为复杂的模块化设计方法。

(4) 跨类模块化（产品族系列产品的规划）

跨类模块化指将总体结构相差不大的不同类产品统一规划进行模块化设计的方法，一般是在基础件结构上选用不同模块构成跨类产品，或在基础件结构不同的跨类产品上，对具有同一功能的单元，选用相同的模块。

如图 2-6 所示：(1) (2) (3) 模块规划示意图。

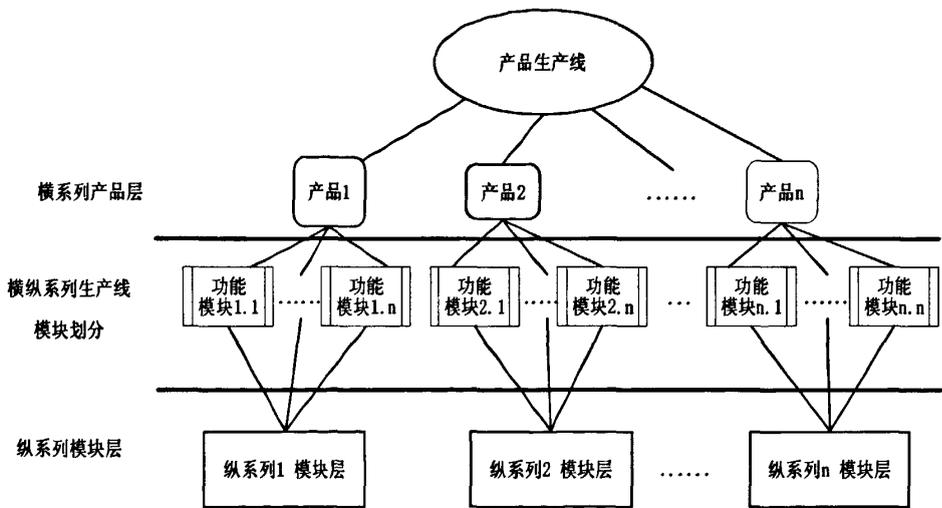


图 2-6 模块化产品系列的规划

Fig2-6 Programming for the Product catena of modularization

2.5 全自动药品包装机模块划分及规划

设计软件基于 CBR 的机械系列产品模块化设计可分为三大部分：一是产品的模块化设计，对已有的产品按照功能角度进行模块划分，并结合功能模块的再次利用性进行功能模块设计；二是进行模块的管理，对模块进行数据库属性描述分类分层管理（设计的产品模块储存于 SQL 数据库、进行属性描述，C++语言编程分层管理，为新产品的开发设计组合提供实用的、参数化的模型支持及参考）；三是新产品的开发再设计，根据库存模块进行功能模块调取，采用 CBR 技术对模块从新组合，组合成能实现一定功能的机构，或者组合成同一功能不同结构的产品，进而实现新的功能或新的结构的产品。其三者有着相辅相成的关系，第一步模块划分的深度、类别牵涉到二、三步能否顺利实施，能否

实现快速设计创新的目的。所以说第一步是基础设施、是软件实施的前提和根本；第二步制约着第三步搜索最理想模块的实现，简明快捷、强大搜索功能能否实现也取决于二步的属性描述和编程路径优劣；三步是一、二步的具体的实现，同时又为一步模块的划分与设计提供思路和参考。基于此第一步模块的划分、划分的层次、规划设计类别是本章阐述的重点。

机械产品可以分为产品层、模块层（按照功能的角度划分，能实现一定功能的机构单元）、零件层三个层次。作为包装机械成套设备，尽管各自应用领域不同，表现形式千差万别，种类和规格各式各样，但从某种意义上讲，任何包装成套设备之间都存在不同程度的共性，它们所实现的主要功能归纳起来不外乎：由自动包装机完成基本工艺过程，由各种辅助装置完成输送、储存等辅助过程，并由自动控制系统实现对整套设备的控制。系统中不同功能单元分工明确，各负其责。因此，包装机械成套系统比较适宜于用模块化思想来设计开发。

2.5.1 产品族的模块规划

模块化设计与传统设计方法的主要区别在于：模块化设计不是面向某一个产品，而是面向整个产品族进行设计。产品模块化的主要目的之一就是尽可能少的种类和数量之模块组合拼装成尽可能多的种类和规格的产品。进行产品的模块化设计之前，必须在市场调研的基础上合理规划产品族系列型谱，合理确定模块化设计所覆盖的产品种类和规格。

1) 模块化产品族的基本特点

所谓产品族是以产品平台为基础，通过添加不同的个性模块，以满足不同用户个性化需求的一组相关产品。模块化将产品划分为一系列的通用模块和专用模块，系统的使用这些模块组成多种多样的产品，可以认为模块化就是通过构建基于产品族框架的模块系统，并由这些模块的组合来实现产品族。对产品平台和产品族进行了如下定义：产品平台是产品族的基础，是能够被某一系列产品共享的、可重用的模块集合，一般具有相对稳定的结构，一个有效的产品平台是产品族的核心，是产品族内相关系列产品的的基础，它具有产品族内所有产品的共性特征。以产品平台为基础，并且能够满足不同用户对产品特殊特征和功能需求的相关系列产品集合构成一个产品族，通用化、模块化和标准化是产品族的核心。

2) 模块化产品族的开发模式的分类

根据产品的特点，模块化产品族可以分为两类：

(1) 产品结构尺寸以固定尺寸标准形成系列。对此类产品，按传统模块化设计方法规划出一组具有固定尺寸系列的模块结构即可满足组合设计的需求。此时产品族可这样定义：“它是这样一组产品，具有相同的内部接口，这些接口在设计各个领域(功能域、

技术域、物理域)中必须为标准接口,以使产品的部件能够完全互换。”

(2)当固定尺寸系列不能满足产品设计要求时,则应考虑以参数化的方法进行产品族设计。如一些大型机械产品,由于结构和用户使用特点限制而难以事先规划出具有固定参数系列的模块结构,必须根据实际设计和产品使用工况决定要采用的结构和具体参数。此时产品族可这样认为:“一组产品,它由一个参数化数据结构表达,当所有参数赋予某一确定值时,可以唯一确定一个产品。”这种模式下开发的产品族,其结构尺寸则可以根据不同用户要求和设计要求实时改变。合理的产品族系列规划是产品开发中十分关键的一个环节,它既影响到产品结构格局和对市场需求的适应程度,又影响到模块化设计的难易程度和发展新品种的潜力。

2.5.2 全自动包装机包装流程纵、横系列型谱分析及模块的规划

针对全自动包装机包装流程模块化设计,按照横系列方式划分为产品层,其产品层总体分为三大部分:铝塑包装机部分;自动装盒机部分;成品打包机部分;按照纵系列方式规划为属于产品层之一的模块层;纵横系列规划为生产流程的模块层。

1) 产品族全自动包装机的纵系列功能模块的规划

本节以 HDZ—120; HDZ—180; HDZ—65B 系列装盒机为例来说明纵系列模块的规划。HDZ—120, HDZ—180, HDZ—65B 外观布局如下三幅图 2-7, 2-8, 2-9 所示:

· HDZ120 多功能自动装盒机

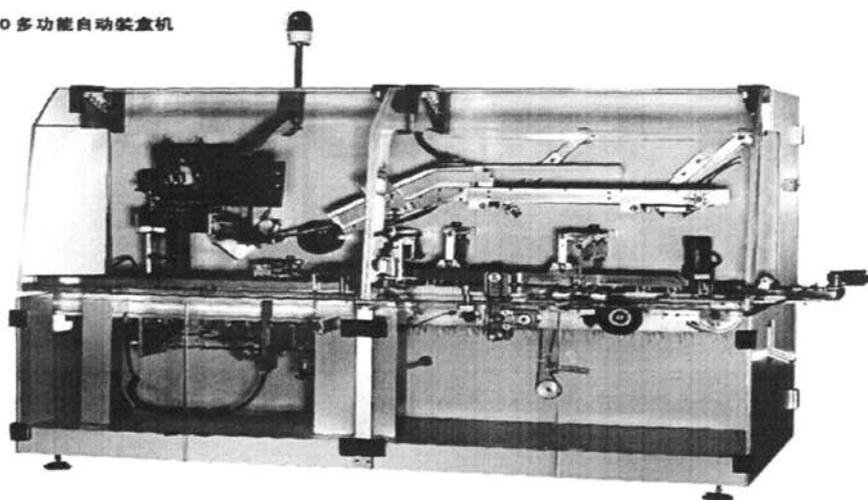


图 2-7 HDZ—120 多功能自动装盒机

Fig 2-7 The HDZ—120 Multi-functional automatic cartoning machine

· HDZ-180 多功能自动装盒机

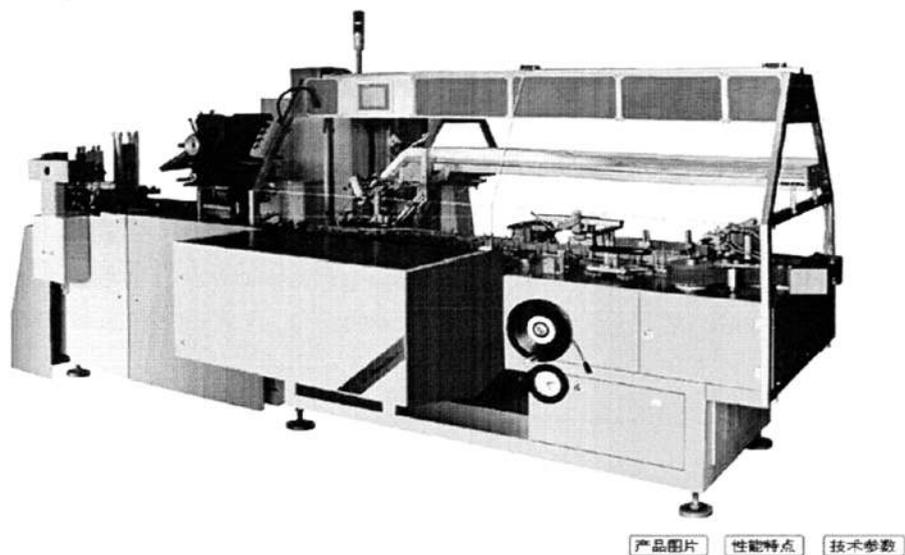


图 2-8 HDZ—180 多功能自动装盒机

Fig 2-8 The HDZ—180 Multi-functional automatic cartoning machine

HDZ-65B 多功能自动装盒机

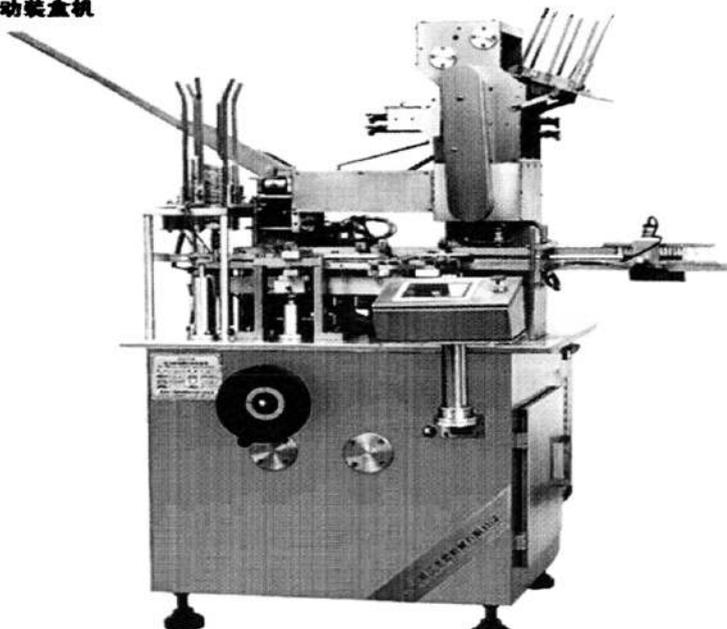


图 2-9 HDZ—65B 多功能自动装盒机

Fig 2-9 The HDZ—65B Multi-functional automatic cartoning machine

HDZ—120; HDZ—180; HDZ—65B 系列装盒机性能特点、技术参数分析比较如表 2-1 所示:

表 2-1 HDZ-120,HDZ-180,HDZ-65B 装盒机性能及技术参数的比较
Tab2-1 HDZ-120,HDZ-180,HDZ-65Bcartooningmachine Performance and technical parameters of comparison

产品系列	DHZ—120 多功能装盒机	DHZ—180 多功能装盒机	DHZ—65B 多功能装盒机
性能特点	<p>1、整机采用全伺服系统，同步带传动，无需任何润滑油。</p> <p>2、伺服电机推料装盒速度、行程任意可调；工作稳定可靠。</p> <p>3、单电机驱动、PLC 自动控制、触摸屏操作、中文和数字显示、自动记数和自动调速，操作简单，运行稳定。</p> <p>4、配置光电检测监视系统、实行过载保护、故障诊断中文提示、故障自动停机。</p> <p>5、在规定范围内实现多规格装盒调整且不更换备件，调整方便简单。</p>	<p>1、整机连续机械式推料装盒，各执行机构动作协调、稳定可靠。</p> <p>2、压板式推头配有产品进盒不到位报警停机系统，有效保证物品装盒质量及机构安全运行。</p> <p>3、连续运动的开盒系统和拉开式开盒机构更稳定更可靠。</p> <p>4、摇摆式分料供料机构稳定、可靠。气压及真空保护停机系统、门罩打开自动检测停机装置等确保操作机器的安全性。</p> <p>5、通过表盘手轮可进行非常简便、快捷的产品尺寸更换的调整。</p> <p>6、变频调速、PLC 自动控制、触摸屏操作、中文和数字显示、操作简单、系数运行稳定。</p> <p>7、主传动过载保护、故障诊断提示、故障自动停机。</p>	<p>1、主机采用凸轮、曲柄连杆机械传动，各功能构件动作协调稳定可靠。</p> <p>2、单电机驱动、变频调速、PLC 自动控制、触摸屏操作、中文和数字显示、自动计数、操作简单，运行稳定。</p> <p>3、配置光电检测监视系统、实行过载保护、故障诊断中文提示、故障自动停机。</p> <p>4、具有机器运行手动、自动选择功能。</p> <p>5、在规定范围内实现多规格装盒调整且不更换备件，调整方便简单</p>
主要功能	说明书自动折叠(1~4折)输送; 物料自动分料、供料; 纸盒自动展开、说明书、物料自动装盒、同步打印(三排)批号、纸盒自动封口、废品自动剔除。	说明书自动折叠(1~4折)输送; 物料自动分料、供料; 纸盒自动展开、说明书、物料自动装盒、同步打印(三排)批号、纸盒自动封口、废品自动剔除。	说明书自动折叠(1~4折)输送; 物料自动分料、供料; 纸盒自动展开、说明书、物料自动装盒、同步打印(三排)批号、纸盒自动封口、废品自动剔除。
适用对象	铝塑泡罩药板、针剂托盘、瓶类、软膏类及矩形或片状物品	铝塑泡罩药板、针剂托盘、瓶类、软膏类及矩形或片状物品	铝塑泡罩药板、针剂托盘、瓶类、软膏类及矩形或片状物品

生产能力	60~140 盒/分 (与装盒物品有关)	40~80 盒/分 (与装盒物品有关)	40~80 盒/分 (与装盒物品有关)
装盒成品率	≥99%	≥99%	≥99%
废品剔除率	100%	100%	100%
工作噪声	≤ 80dB(A)	≤ 80dB(A)	≤ 80dB(A)
包装尺寸	纸盒尺寸范围 (长×宽×高) (70~130) × (45~100) × (15~50) mm	纸盒尺寸范围 (长×宽×高) (70~125) × (40~78) × (15~30) mm	纸盒尺寸范围 (长×宽×高) (70~125) × (40~78) × (15~30) mm
包装材质	250~350g/m ²	250~350g/m ²	250~350g/m ²
说明书尺寸范围	(长×宽) 折前: (100~250) × (100~150)mm (长×宽) 折后: (100~150) × (20~40)mm	(长×宽) 折前: (100~250) × (100~150)mm (长×宽) 折后: (100~150) × (20~40)mm	(长×宽) 折前: (100~250) × (100~150)mm (长×宽) 折后: (100~150) × (20~40)mm
说明书材质	50~70g/m ²	50~70g/m ²	50~70g/m ²
使用要求	压力 0.5~0.8Mpa; 气耗 (压缩机) ≥0.2m ³ /min	压力 0.5~0.8Mpa; 气耗 (压缩机) ≥0.2m ³ /min	压力 0.5~0.8Mpa; 气耗 (压缩机) ≥0.2m ³ /min

多功能自动装盒机系列产品的性能特点和技术参数对比分析可得如下信息：

(1) 三种系列产品实现的主要功能相同，包装的对象相同，但是性能特点有着很大的不同。说明实现同一功能可以采用不同性能、不同规格的模块，可以采用不同的原理结构和不同的控制形式。其形式如机械式的、电动式的、气动式的等。但是，这些不同的形式和配件所需要的模块和成本有着很大的差别。由此我们可以根据用户的技术参数的要求和价格的承受能力，选择不同的模块配件和控制形式，组合成满足客户个性要求的新产品。上述产品利用机、光、电、气等技术优势进行功能组合、优化设置，采用先进控制，充分利用先进的机电一体化技术，使机器具有良好的性能和较高的可靠性、获得良好的经济效益。

(2) 废品剔除率高达 100%，这是靠光电检测系统控制的，在设计时的配置是相同的模块，由此可以把这个光电检测控制系统设计成刚性功能模块或控制系统规划布局标准化。成品装盒率都高达 99%，这与说明书的检测、纸盒的检测、药板的检测每种精确的检测密不可分的，已然属于光电检测控制，说明光电检测技术相当完善，可以对光电检测系统的规划设置成刚性模块。

(3) 说明书的材质相同，尺寸范围不同，可知其折纸的原理、材料、部件相同，只是采取的折纸栅板规格、数量的不同；因此可以把栅板设计成柔性的模块，或者改变栅板的数量来改变折纸的次数，从而改变说明书的尺寸规格。

(4) 包装盒尺寸不同，因为包装盒相对来说是个成品，在自动装盒机里只实现开盒的功能，开盒的机械手不受包装盒尺寸的影响，所以可以把提取纸盒的机械手设计成刚性模块；另外用于纸盒提供的架台也不受纸盒尺寸的约束，所以可以设计成尺寸相对大些的刚性模块。包装盒尺寸影响的只是开盒后实现输送的输送带槽宽度，至于带槽的宽度可以把输送带设计成宽度可调节的刚性输送带即可。

(5) 工作的噪声，气体的压力和气耗都是相同的，说明该系列产品具有相同的工作外部环境要求，产品部分功能的改变不受外界环境的影响。

(6) 装盒机模块规划流程图如图 2-10 所示：

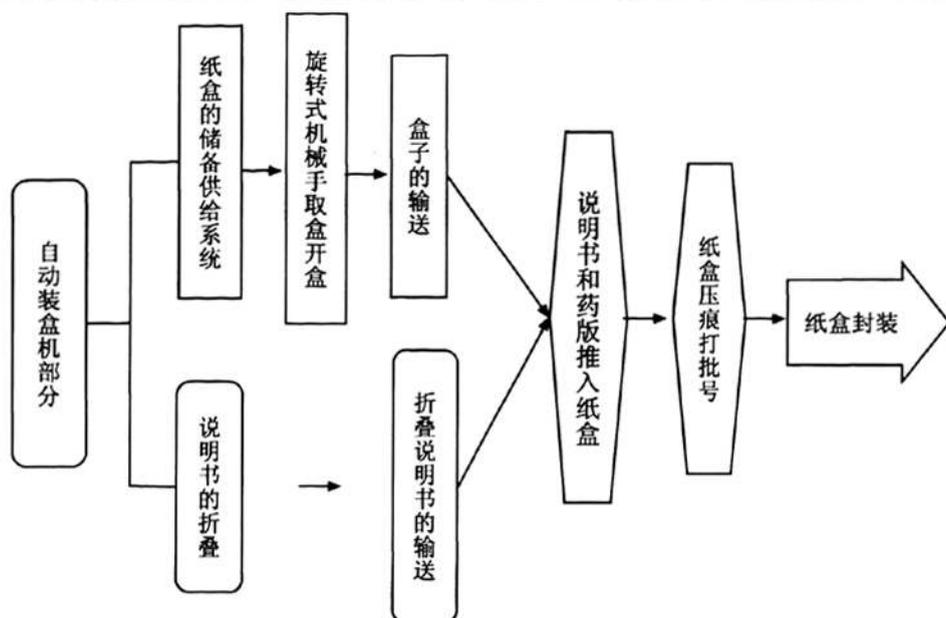


图 2-10 装盒机模块规划流程图

Fig2-10 moduler planning flow chart of Cartoning machine

2) 产品族全自动包装机的横系列功能模块的规划

全自动包装机系列产品以 DH120 型智能型高速药品包装流程为主, 来说明按照横系列方式对包装流程的模块的规划。

如图 2-11 是 DH120 型智能型高速药品包装流程整体组合外观图片。

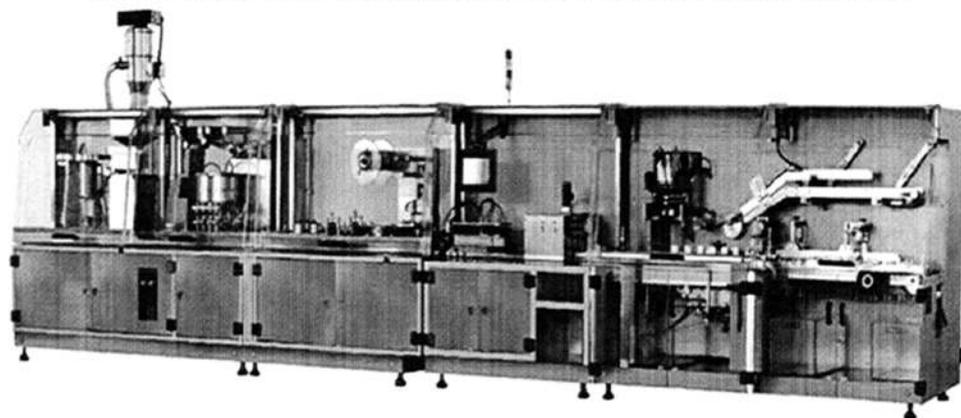
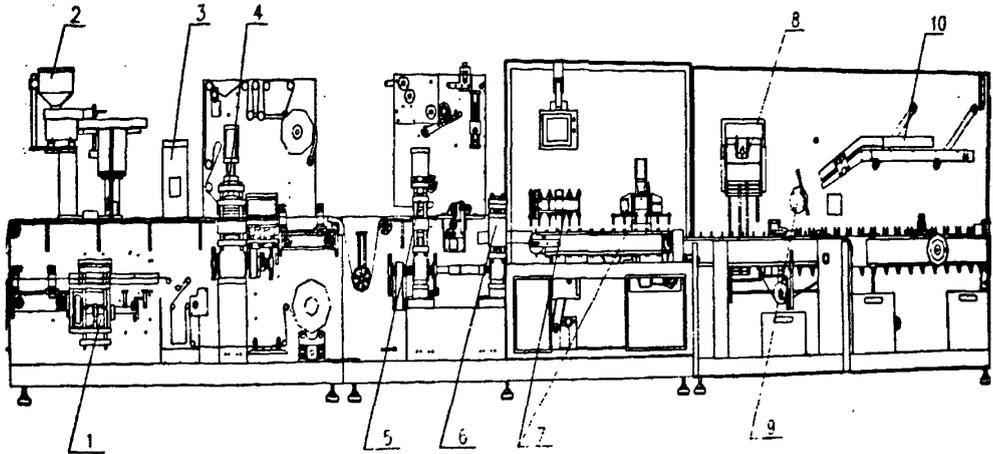


图 2-11 DH120 型智能型高速药品包装流程图片

Fig2-11 The packing flow chart of DH120 intelligence high speed drugs

如图2-12 是DH120型智能型高速药品包装流程整体组合简图。



- 1, PVC 成型模块 2, 加料系统装置 3, 摄像检测装置 4, 热封低温加热板模块
- 5, 压痕/打批号 6, 冲切药板装置 7, 不同形状的机械手有序排列药板
- 8, 说明书折纸输送装置 9, 旋转式机械手取盒开喝 10, 纸盒储备供给系统

图 2-12 全自动药品包装机包装流程简图

Fig2-12 The packing flow diagram of full automatic drugs packaging machine

如图 2-13 对 DH120 型智能型高速药品包装流程按照横系列划分如下：

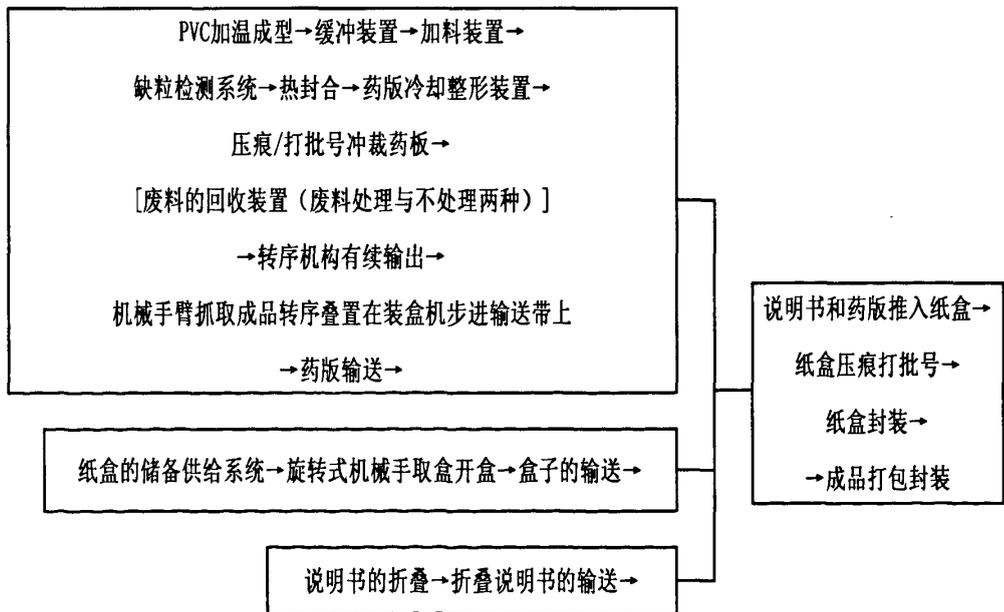


图 2-13 全自动包装机包装流程模块划分示意图

Fig2-13 The packing flow module division schematic drawing of full automatic packaging machine

3) 产品族全自动包装机的纵、横系列功能模块的规划

本节以DH120型智能型高速药品包装流程为例，来说明纵、横系列方式模块规划，如图2-14为全自动药品包装机包装流程图片。

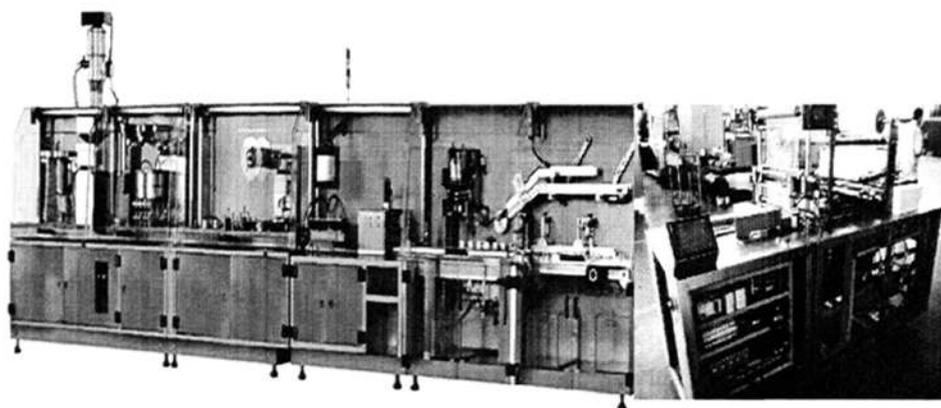


图 2-14 全自动药品包装机包装流程图片

Fig2-14 The packing flow diagram of full automatic drugs packaging machine

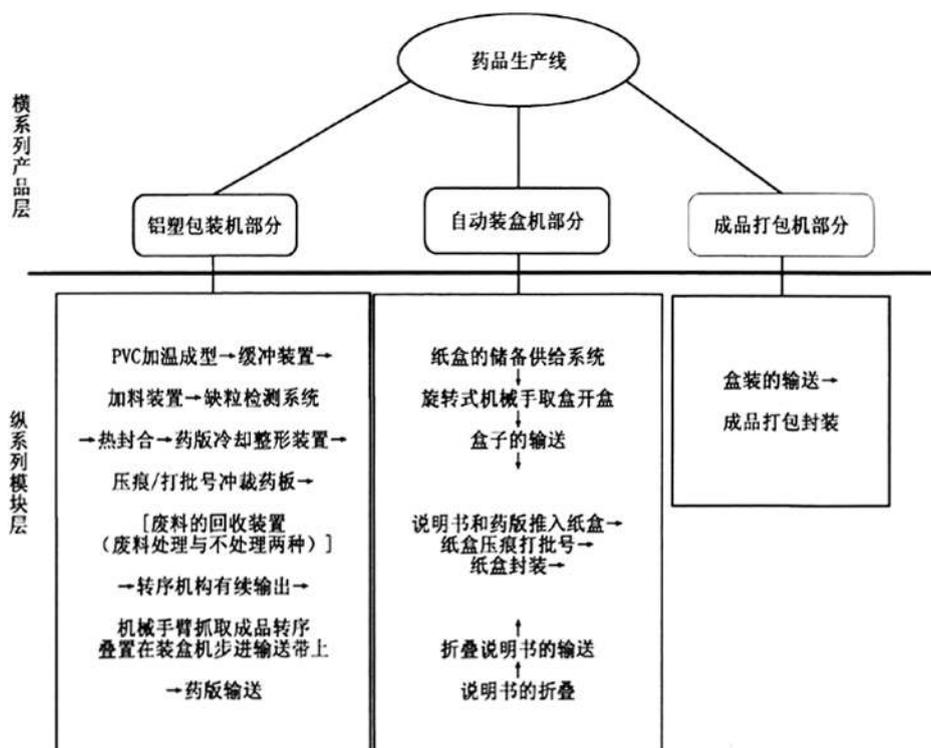


图 2-15 自动包装机包装流程按照纵、横方式划分图

Fig2-15 flow of automatic packing machine dividing by way of vertically and horizontally

结合前面所述的横系列和纵系列规划方式,充分利用二者的规划优势,可以把全自动药品包装机包装流程图划分如图 2-15 所示,这是划分模块的总体把握,对于包装流程,一目了然。为设计者提供总体把握的思路,统观全局,使得模块的划分具有宏观性,全局不至于偏离最终的功能要求。

2.6 模块化设计与传统设计方法的区别

模块化设计与通常的产品设计方法有着原则上的区别^[49]。

(1) 模块化设计是标准化设计:传统的产品设计中虽然也需要运用有关的标准化资料,甚至采用一些通用件、借用件等,但从总体上来说,它是专用性的特定设计,而模块化设计的对象则是通用性的,它需全面的理解并运用标准化理论,模块是部件级通用件。

(2) 模块化设计程序是由上而下:传统设计的程序,主要是根据产品功能要求设计各零部件,然后由这些部件构成整机,虽然在此过程中也有一些总体的方案及协调要求,但从实质上来看,它主要着眼于功能设计、详细设计,其基本特征是由下而上、或由细而总的。而模块化设计的程序则与此相反,它首先着眼于概要设计而不是详细设计。

(3) 模块化是组合化设计:传统产品的构成模式是整体式的,虽然其中也有部件的组合,但其部件及其组合方式是特定的。模块化产品的构成特点是组合式的,组合的基本单元——模块常作为独立商品而存在,设计中需充分考虑系统的协调性、互换性和组合性,设计难度大。

(4) 模块化设计面向产品系统:传统设计是针对某一专项任务,从产品的具体功能、具体结构入手进行设计,而模块化设计则是面向某一类产品系统以至有相似功能的相邻产品系统。例如美国 Intel 公司 OEM 系列模块,各种单板计算机、存储板、接口板等模块不仅是面向本公司的各类产品的系统,而且面向各个领域的计算机控制系统。

(5) 模块化设计需以一定的新理论为支撑:在传统设计中,只需凭扎实的专业知识和一定的设计经验就可设计出较好的产品来,而模块化设计仅有这些还不够,必须对系统工程原理和方法、标准化理论、模块化理论及设计方法等有相当的理解;

(6) 模块化设计有二个对象,传统设计的对象是产品,但模块化的产物既可以是产品,也可是模块。实际上常形成二个专业化的设计、制造体系,一部分工厂以设计、制造模块为主,部分工厂则是以设计制造产品(常称之为整机厂)为主。

2.7 模块化设计的优势

模块化设计与传统的设计方法相比,主要有以下几点优势:

(1) 减少产品开发时间。模块化设计综合运用了参数化设计、变形设计、快速设计等先进的技术,为新的功能组合新产品的开发极大的缩短了时间。

(2) 质量。模块化允许生产任务的同时进行。于是,在独立的元件集成为一个模块化产品之前,元件可以分立地进行生产和检测。这将有助于提高产品的质量。

(3) 顾客化和升级。模块化产品更换新的功能模块,和局部变形模块满足了不同顾客的需求。同时顾客的需求产生的新的功能模块,又保存起来为后来的再设计积累了的经验参考,使模块不断得到升级。

(4) 设计标准。模块化设计清楚地确立了元件的功能,减少了元件和产品其他部分的相互关系。这就使得设计标准确立比较容易。

(5) 成本效率。模块化元件可以应用于几个生产线,这就意味着它们的产量是非常高的。这将允许大量产品开发成本的分期偿还。

(6) 订购周期的缩短。模块化产品可以通过标准件或顾客性专用模块来获得。这将允许对标准元件进行目录清单的编制,并使顾客化集中在不同产品局部变形模块上。同时,标准元件结合起来也可形成模块化产品,也就是说,同样的标准件以不同的方式组合后可以形成不同的产品,满足不同的顾客要求。

2.8 模块化设计的发展趋势

从国内外发展情况看,模块化设计技术早已在制造业得到研究和应用,并已研制出许多模块化产品和模块化系统,尤其是国外先进制造业,已经进入了柔性化时代,基本上形成了产品从设计、工艺制造到经营一整套模块化管理体系。但是,目前仍然存在一些不足,归纳如下:

(1) 产品创造性设计能力差:目前的模块化产品,大多是在基型产品上发展或变化而来,通过更换或增加某一功能模块来实现,故不能有效进行创造性设计,实现“真正模块化”结构。

(2) 智能功能差:目前的模块化系统还缺乏综合能力和演绎决策能力,它要求用户具有较高的专业知识水平和较丰富的实践经验。

(3) 产品和制造环境适应能力差:针对特定产品类型或系列及特定制造环境开发,很难适应相似类型或不同类型产品,或不同的制造环境情形。缺乏灵活性,应用面窄,无综合系统能力。

上述这些不足,是今后需要重点解决的问题,而解决这些问题的过程就为今后的研究指明了方向^[44]。

(1) 综合运用模块化设计、设计方法学及分级模块化结构的理论和方法,研究模块化创造性设计模型和问题求解模式,建立一套完善的理论体系。

(2) 结合人工智能和专家系统技术,建立基于专家知识的模块化设计模型,使系统具有能进行问题推理、规划和演绎决策的能力。

(3) 研制开发模块化设计的通用工具软件系统,基于该工具软件,能够根据各企业

不同产品类型和制造环境，进一步研制适用于各企业的模块化设计专用软件系统。

2.9 小结

本章阐述了模块化设计发展的历程，模块化设计的实际意义，模块化划分的方法及原则，模块化设计应用广泛，本章着重从功能的角度来进行模块的研究，这与机械产品的特点和作用紧紧相关的。产品模块的划分设计不是最终的目的，模块的划分设计是为建立模块库，是为工程设计人员再次利用参考这些模块的功能为目的。所以模块的划分不宜过于细划，过细不便于库存，不便于属性描述和管理，同时也不利于设计搜索的准确性和高效性。但也不能过于粗略，过少体现不了模块库设计的优越参考价值、也达不到应有的高效性。本章以全自动药品包装机为例进行规划和划分的，设计一种基于 CBR 包装机设计软件，需要大量的模块，实现同一功能不同性能、一定范围内不同功能的模块，所以该设计软件需要同类产品的相关模块设计，因而提出机械系列产品模块化设计软件，比如药品包装机不同系列不同型号的包装机、药品、食品等行业的包装在一定程度上功能存在着很大的类似性，各自的功能模块、结构单元原理等可以互为参考再次利用，从而极大的提高了工程人员设计的效率和思路，为新产品的开发缩短了周期，适应了当前市场的激烈竞争、客户需求的多样化、紧迫性和先进性的局势。

3 广义模块化设计技术及方法的研究

模块化设计技术通过对产品结构进行模块划分并用模块组合来构造新产品, 实现用户化产品的批量化生产及大规模生产条件下的个性化, 以增强企业适应市场的竞争能力。模块化产品设计被称为简化产品实现、减少开发成本和缩短产品设计制造周期最有效的方法和工程设计实践, 已在机械、电工电子、船舶、建筑、电力等行业中得到广泛应用, 并且取得了显著的效益。

机械产品快速设计技术是以模块化设计为核心, 引入智能化设计手段和 CAx 技术的多技术融合的技术体系。随着对模块化研究的深入及传统模块化的不足, 广义的模块化设计被提出, 并在机械产品中得到深入的发展。

3.1 基本概念

广义的模块化设计最早由天津大学徐燕申教授提出^[45], 逐步被广泛引用发展, 其相关的基本概念定义如下:

广义模块化设计: 是以传统模块化设计基本理论为基础, 引入参数化设计和变量化分析方法, 通过对一系列产品进行功能分析并结合其在设计、制造、维护中的特点, 划分并构造具有更大适应性的广义模块和广义产品平台, 通过广义模块的组合或广义产品平台的衍生实现产品的快速设计。

广义模块: 广义模块是具有特定功能的结构体, 具有参数化的结构模型和接口特征^[46]。广义模块是功能、几何拓扑结构、结构参数、激励和响应等工程约束的函数, 可以表达为:

$$Mg = f(F, G, X, R) \quad (3-1)$$

式中:

F ——广义模块的功能;

G ——功能所对应的几何拓扑结构, 是广义模块功能的载体, 用参数化的结构模型来描述;

X ——广义模块结构的驱动参数, 即设计变量, 包括几何参数和材料特性参数, 广义模块结构参数的取值必须满足材料强度、结构刚度、制品精度要求等工程约束;

R ——载荷等物理参数。

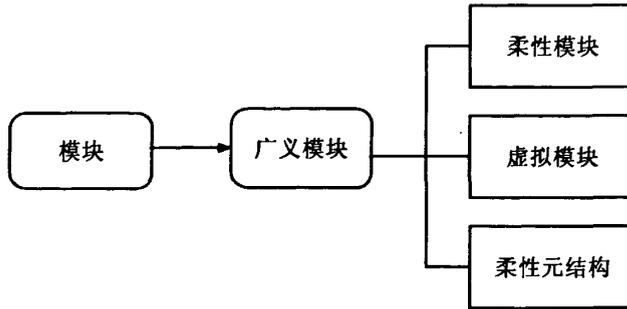


图 3-1 广义模块化设计概念的拓展
Fig3-1 The expansion of the broad modular design concept

3.2 广义模块的分类

广义模块是具有固定拓扑结构的参数化模块，包括柔性模块、虚拟柔性模块和柔性元结构。模块、广义模块、柔性模块、虚拟柔性模块及柔性元结构的关系如图 3-1 所示。模块是具有独立功能、独立结构的实体，模块间具有固定的接口。引入柔性模块使模块成为参数化结构，在一定范围可以变化结构大小；引入虚拟柔性模块使模块划分可在结构设计特征层进行，便于在 CAD 平台上进行结构的快速设计。

a 柔性模块

柔性模块：所谓柔性模块，是指产品结构用参数化和模块划分方法得到的一组具有典型模块结构的参数化模型，它具有特定的功能、结构拓扑关系和相对固定的接口特征^[7]。当柔性模块的所有约束参数根据设计要求给定后，即可生成一个具体的结构件，称为柔性模块实例；它是柔性模块的派生物。柔性模块的约束参数取值范围是根据模块结构参数化、变量化分析确定的。

柔性模块结构是功能、几何结构约束、工程约束的函数，模块结构信息可以表达为：

$$M_{ij} = f(g_i, p_j, h_k) \quad (I, J, K \in N) \quad (3-2)$$

其中：

M_{ij} ——结构模块；

g_i ——模块结构参数，描述该模块的结构集合参数约束；

p_j ——描述载荷、应力、应变等工程约束；

h_k ——描述结构的材料等特性参数。

而结构参数 g_i 又是 p_j 和 h_k 物理参数函数，即：

$$g_i = g(p_j, h_k)$$

b 虚拟柔性模块

虚拟柔性模块：当模块的结构特别复杂，在结构上已不能再分割，但为了在 CAD 平台上设计方便，按其各部分结构的子功能又可分为子模块，这种具有独立的子功能，但实际结构上不可分割的参数化子模块，称为虚拟柔性模块，或虚拟柔性子模块。输入设计约束参数后得到的虚拟柔性模块的实例称为虚拟模块，亦即虚拟模块是实例化的虚拟柔性模块。

c 柔性元结构

柔性元结构：从复杂结构上分离出来的，具有固定拓扑结构及接口形式的最简单的基本单元，称为元结构。若将此基本结构单元用参数化模型表达，能为不同尺寸系列的结构设计所选用，则称为柔性元结构。

参数化的元结构即为柔性元结构。柔性元结构是功能特征结构，是与预期功能相关的结构特征集合所构成的物理实体。柔性元结构具有如下特点：

- (1) 柔性元结构是一个基本的结构单元体，且不可再分；
- (2) 柔性元结构没有实际的工程意义，不存在结构独立性；
- (3) 柔性元结构是产品构成中零件、部件或产品在概念设计阶段的初始形态；
- (4) 优化的柔性元结构是为实现某一功能元而寻找的最优结构解，因而不具有任何接口信息；
- (5) 将柔性元结构组合拓展，使之带有固定的接口信息便可构成虚拟柔性模块。

3.3 柔性元结构、虚拟柔性模块及柔性模块之间的关系

首先，柔性元结构和虚拟柔性模块是从不同的角度对结构进行描述：前者强调结构的功能和拓扑关系，后者侧重于结构CAD图形构成；其次，对应每种柔性元结构存在着一种虚拟柔性模块，虚拟柔性模块可以由一个或几个柔性元结构构成。虚拟柔性模块是柔性模块结构的组成单元。柔性模块是可以独立存在和参数化的结构部件，而虚拟柔性模块是为了CAD设计方便而从柔性模块中划分出来

的下一层结构单元，它可以由多个柔性元结构构成，但不能单独制造和独立存在。

各部件模块之间的接口亦是参数化的拓扑结构，体现柔性模块间的装配关系；而虚拟柔性模块之间虽然也存在接口，但它们之间只是一种拓扑连接。

从上述概念的定义中不难看出：柔性元结构和虚拟柔性模块都属于广义模块化的设计范畴，在制造领域中没有任何意义。柔性模块定制后的实例模块可进行制造和生产管理，并组成产品。

3.4 广义模块的特征

广义模块化设计是传统模块化设计的拓展，二者的基本设计思想都是基于功能分析

对产品结构进行模块划分,通过模块的组合快速构造满足设计要求的产品。广义模块化设计与传统模块化设计的基本技术构成相同,如模块系统规划、模块划分和模块综合技术,但是由于广义模块在概念上的拓展,各技术环节的具体内容和方法需要进一步发展,使之适用于广义模块化设计的要求。

广义模块化设计以广义模块为设计单元,广义模块除具备一般模块的特征外,还拥有的一些新的特点:

(1) 广义模块具有模块的一般特点,如模块的独立性、标准化、系列化等。由于引入了虚拟模块的概念,广义模块的划分可以在结构特征域进行,即将结构实体的部分结构定义为广义模块,因此,在模块独立性方面,广义模块的独立性特点主要体现为功能独立性。

(2) 同传统模块化设计相比,广义模块化设计的引入,使模块化设计能够适用于更大范围的机械产品的模块化设计,是传统模块化设计的延伸和拓展。

(3) 广义模块的结构模型是具有一定几何拓扑结构的参数化模型。根据具体的设计要求,确定各结构参数的取值可生成具体的模块实例,这一过程称为广义模块的实例化。一个广义模块对应于一族模块实例,不同的模块实例是通过对广义模块的参数化结构模型在参数取值范围的约束下取不同的值生成。广义模块的柔性结构必然要求其具备柔性连接性,接口除了具有规范的形状、尺寸约束,同时还要用一组接口参数来定义其参数化结构。

(4) 由于柔性模块和虚拟模块概念的引入,实施广义模块化设计,需要用 CAD 手段来构造广义模块的结构模型,并开发计算机辅助模块化设计工具进行广义模块的数据管理及支持广义模块化设计过程。

(5) 柔性模块或虚拟柔性模块的结构模型是具有一定几何拓扑结构的参数化模型,根据不同客户的定制后,可以得到一族模块实例,不同的模块实例是通过对柔性模块或虚拟柔性模块的参数化结构模型在参数取值范围的约束下取不同数值而生成的,因而这些模块实例的主参数取值可以不受传统模块化设计标准系列取值的限制,使模块化设计更加客户化。

3.5 广义模块化设计基本设计过程

广义模块化设计是传统模块化概念的延伸,它具有模块化设计的所有基本特点,而由于在模块系统分析创建的过程中,它将工程设计参数作为模块划分、组合的主要依据之一,因此,它能够满足有结构优化要求的产品模块化设计的需要。广义模块化设计目的是使产品设计、制造能够快速响应市场,根据所提出的设计参数,选择或设计出最优的模块结构,并由此组成最优的产品结构。为达到此目的,在模块系统分析、模块划分时,应从以下几方面入手:

(1) 按照传统模块化设计的思路,对产品进行功能、结构分析,对模块进行功能属性描述,组成模块管理系统;

(2) 对于需要考虑工程设计参数进行结构优化设计的模块,在进行模块分析、划分时,按照广义模块化的思路对其模块结构进行参数化、变量化分析、划分;称这类模块为模块模板;

(3) 在以上工作基础上,整个产品的设计、制造、营销,按照模块化的方法进行管理。

图 3-2 所示为广义模块化设计的基本设计流程,其中模块模板数据库作为模块管理数据库的一部分,提供对模块进行结构优化设计,模块模板数据库以模块为单位,分别存储各个模块结构参数的优化信息。在具体设计时,通过给定的设计参数,选定合适的模块,通过参数选择将该模块模板实例化,从而输出满足设计要求的模块结构。

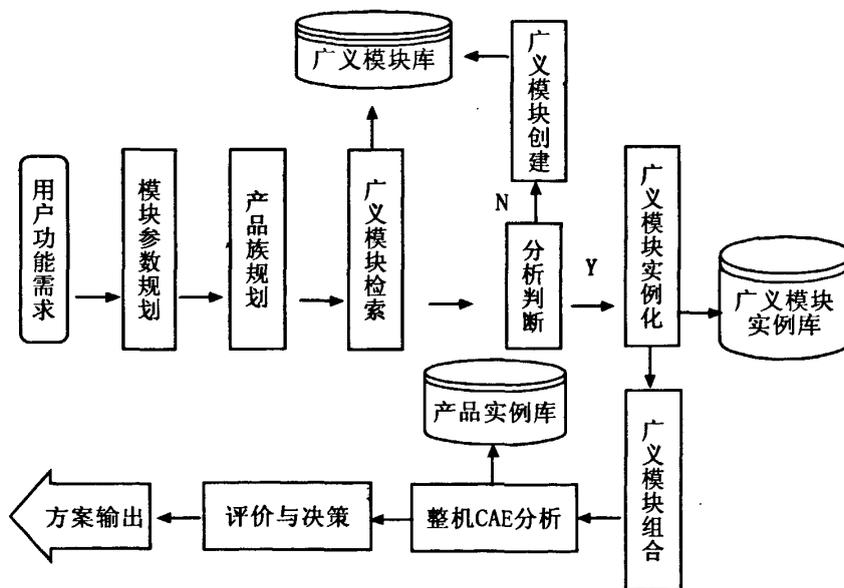


图3-2 广义模块化设计流程

Fig3-2 The process of the broad modular design concept

3.6 广义模块化与模板实例

广义模块化设计是对传统模块化设计的扩展,其核心思想是:考虑产品载荷特征、材料特性等对产品机械结构形式,进而对模块功能的影响,把产品的强度、刚度的要求作为结构设计的目标函数,通过结构特征把设计要求传递给块。

模板是模块的抽象,它不是一个具体的、可用的模块,而是一类模块的通用模型。模板的创建过程不同于一般模块实例的创建过程,它是从大量现有实例出发,综合其共同

的设计特点，提取其设计知识，经过专家的方案构思，并创建模板的参数化 CAD 模型得到的^[49]。创建过程如图 3-3 所示。首先对某一类现有产品机型进行归纳，提取结构特征以进行方案构思，提取设计知识以预留设计信息接口；然后得到初步的实例，对该实例进行抽象化、标准化，由此创建模板实例；该实例需经过合理性分析(包括专家评价，CAE 校验等)，如不合理则重新进行方案构思及后续过程；如合理，经参数化建模得到基于 CAD 平台的参数化模板模型。

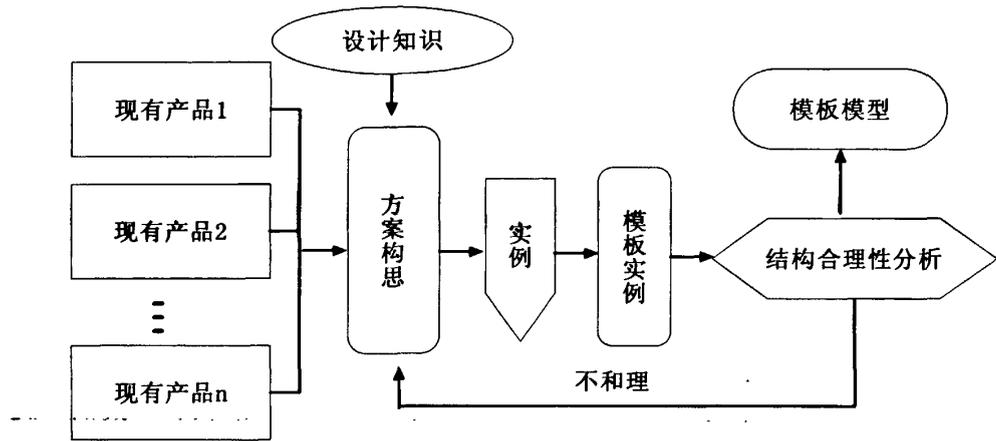


图 3-3 模板创建过程
Fig3-3 The process of the template creation

模板是广义模块化设计的基础，因此必须保证模板设计的合理性。一个合格的模板应集成大量设计知识，同时预留再设计的接口。这些接口应包括模板性属性信息、连接信息以及参数信息；改变各接口信息值就可以改变模板的特性。上述接口信息应该同设计知识库具有映射关系，其取值依照知识库的专家知识或设计标准确定。

3.7 设计对象、模板、模板实例（模块）的关系

模板实例根据模板生成，该过程称为模板实例化。在结构上，模板实例同模板具有本质上的差异。作为设计基础的模板把模型、模型参数、设计知识、接口知识等关联起来，从而形成一个信息集成的智能单元；模板实例(模块)用于构造产品，在结构上已收缩为简单的几何模型。它可应用于产品报价、结构合理性评价、CAPP 等后续工作。为了避免模型信息的冗余给存储、计算带来的负担，模型应尽量简化。并且由于设计知识已经体现在模型几何信息中，它不再保留设计参数及其同设计知识库的关联。

设计对象同模块可能存在结构上的差异，这是设计允许的。因为，模块最终是要完成一定功能，只要保证各模块间接口匹配，能够组成合理可靠的产品即可。不过，这对于模板设计提出严格要求，即接口的选取应合理；同时，模板实例化过程中，接口参数

的驱动应相互关联，这一点可以通过设置全局性的接口参数变量实现。

3.8 模块设计的应用

其模块的设计，以全自动药品包装机的几个典型的功能模块说明如下：

(1) PVC 加温成型装置，该装置针对不同的药品采取不同的成型模具型腔，例如药粒的形状、大小规格的不同、药品类型、包装药粒数量等的不同就要采取不同的成型模具型腔如单双排型、圆形、椭圆形等，如图 3-4 所示，那么这种成型模具模块就可以采取参数设计和变形设计相结合的形式，其成型模具型腔的接口不变，根据药粒形状大小规格数量采用参数设计成柔性模块以适应不同要求的包装，与成型模具型腔相连接的型腔板一般不发生变化可以设计成刚性接口即刚性模块。

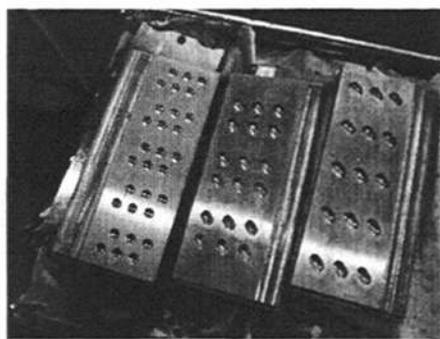


图 3-4 成型模的不同型腔
Fig 3-4 The different molding cavity of the shaped mold

(2) 加料系统，药粒装入装置针对不同的药粒和不同的药粒包装就要采取不同的装置，其之前的工序若不发生改变，就采取局部变形设计。变型设计是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，以产生适应性产品的设计技术，其实质就是在已有的产品(设计)的基础上，作特定的修改以产生一个和原产品相似的新产品。这种修改通常会保持原产品的基本结构特征，仅仅作一些原产品特定参数的修改或局部特征的增减，从而达到产品快速设计的目的。加料系统有瓶式加料和振动式加料两种形式。

(3) 摄像检测装置只为大小尺寸的改变，易于适用参数设计，或者不发生改变设计成刚性模块，其检测的接口位置不变。

(4) 铝箔的热封形式根据不同的包装形式，设计成两种封合方式，一种 PVC 瓶托与铝箔的封合，热封模采用上下低温加热板进行封合，封模设计为刚性模块；另一种是铝箔与铝箔的封合，药粒为逐个有序排出，热封模为双圆筒相对滚动封合，滚筒上的凹槽大小依据药粒的大小而设计成柔性的，滚筒直径根据包装速度等设计成柔性的模块。

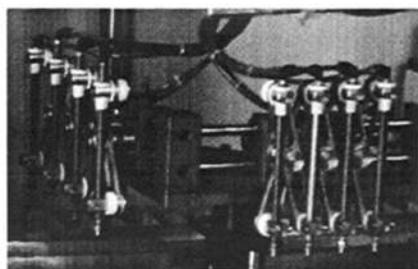


图 3-5 直角形的摇摆式手臂
Fig3-5 The rectangular-shaped swing arm

(5) 压痕与打批号小镶块设计成柔性的，其接口为刚性，压痕打批号小镶块模型更换就可以满足不同药品批号要求，与小镶

块结合的机构设计为刚性的机构接口。废料回收装置的设计根据用户需求设计成废料切碎处理与废料直接缠绕回收两种形式，适用局部变形设计。

(6) 用于转序工序的机械手臂可以设计不同形状的，根据包装机的空间摆设布局，可以设计成竖或横的单排往复型；并列几排往复型；直角转动型等结构形状，如图 3-5 所示为直角形摇摆式手臂，以此适应不同的空间布局 and 不同的转序速度。

(7) 旋转式的机械手可以设计成单个或者双个的，其速度可以成倍的增加或减少，如图 3-6 所示。步进输送带可以改变凹槽的深度宽度等以适应不同规格纸盒的输送，易于设计成柔性的模块。

3.9 小结

传统的模块化设计中模块划分是采用系列化标准中的优先数和优先系列方法进行的，用户购买的产品不是功能不足，就是功能冗余。这与用户个性化需求相矛盾。随着对模块化设计研究的深入，广义的模块化设计随之出现，并与机械产品特点相结合，使得模块化设计又迈入新的台阶，为以后的模块化设计指明了方向。

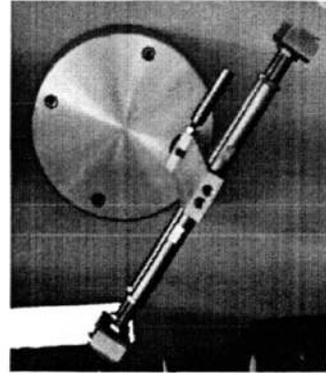


图 3-6 双头旋转机械手

Fig3-6 Rotating double-headed robot

4 基于实例推理 (CBR) 的基本理论

4.1 认知科学基础

基于实例的推理首先来源于认知科学，它也是整个 CBR (Case-base reasoning) 理论体系的逻辑起点。从认知科学的角度看，人类能够把感知到的信息传递给大脑，大脑则把这种信息存储和记忆起来。这种存储和记忆的信息为今后遇到相同或相似问题的求解提供了可以借鉴的经验和教训。基于实例的推理和学习 (即以前经历的实例所积累的经验 and 知识会影响以后在相同或相似的问题上所作的判断) ——是人类解决问题的一种常用方式，属于类比推理的一个子集，认知科学和心理学的研究成果已证明这个事实。正是这种认知科学领域的理论给人工智能领域的专家和学者以巨大的启示和信心!模仿人类的思维方式，直接借用以前积累的经验 and 知识解决现在的问题。

因此，从认知科学角度讲，CBR 系统的构建基于两个前提假设：

- (1) 相同或相似的情况有相同或相似的解决办法；
- (2) 相同或相似的情况会重复发生。

4.2 CBR 理论的形成

同人类的思维和处理问题模式一样，CBR 系统首先通过对比问题实例与先前实例的相似性，来决定选择以前的哪一个或哪一些实例，并修改或修正以前问题的解法。CBR 系统具有增量式的学习方法——新的解决问题的方法和问题事例一同被系统记录并存储起来，以备将来之用——系统的学习能力不断提高，知识和经验也不断增加。

因此，一个完整的 CBR 系统一般包括几个循环过程^[40]：检索 (Retrieve)、重用 (Reuse)、修改/修正 (Revise) 和保留 (Retain)。CBR 系统的一般工作过程如图 4-1 所示。

在基本问题取得共识的前提下，受实践需要的驱动，CBR 的研究一方面在继续向微观深入，从对 CBR 循环的具体环节 (实例检索、实例修正、实例保留等) 的研究深入到对每个环节的具体问题 (如搜索的匹配算法、特征值的抽取等) 的研究；另一方面走向复杂和综合，不断集成其他技术如数据库技术、模块

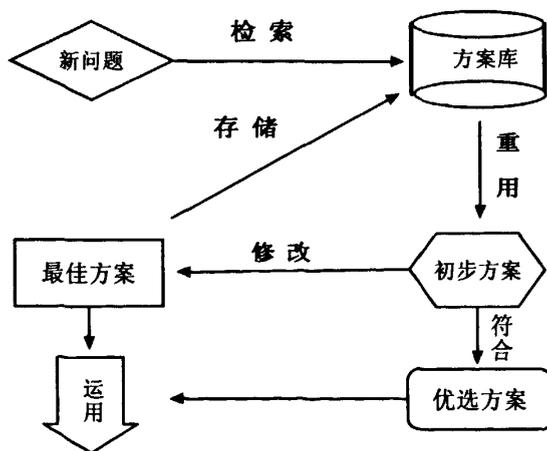


图 4-1 CBR 解决问题的一般流程
Fig4-1 The general process of CBR solving problems

化设计技术、软计算方法、数据挖掘技术、Agent技术、网络技术等。CBR 理论研究的这种纵向的深入和横向的综合，充分说明CBR作为一个动态发展和开放的理论体系，正不断借鉴人工智能、数据挖掘、思维科学、计算机科学等学科的理论知识，并付之以各种实践领域的应用，丰富和完善自己的内容，有着广阔的发展空间。

4.3 CBR 理论的逻辑体系结构

综合已有的研究，可以说，基于实例的推理（CBR）是一种采用增量式主动学习来解决问题的方法，同传统的人工智能理论和方法相比，CBR 的发展是人类借助计算机科学技术模拟人类的思维和推理方式，实现认识和改造世界的一次尝试和飞跃。它在认知科学那里取得了心理学上的证明，在人工智能、数据挖掘等计算机科学和信息技术那里取得了赖以实现的技术上的支持，在广泛的各种应用领域那里获得了丰富的实践内容。对 CBR 的现有研究进行逻辑上的梳理，有助于探寻事物的本质，把握研究的发展方向。该文给出了 CBR 理论的逻辑体系结构，如图 4-2 所示。

从图中可以看出，认知科学理论是整个 CBR 理论体系的支撑点和逻辑起点，也是 CBR 基本理论的一个重要方面；而对 CBR 的技术实现的研究是整个体系的核心要素，一方面在对技术实现的研究过程中可以不断发现新问题，提出新观点，补充和完善 CBR 的基本理论，另一方面，也促进 CBR 在各领域的应用，扩大 CBR 的应用范围；CBR 应用领域的研究反过来可以促进 CBR 基本理论和实现技术的发展。

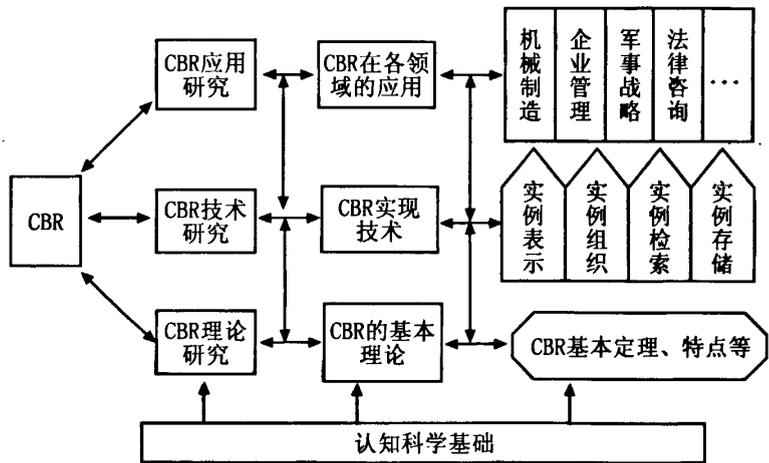


图 4-2 CBR 理论体系逻辑结构图

Fig4-2 The logical structure of the CBR theoretical system

目前关于 CBR 系统的实现技术一般都围绕 CBR 的几个关键步骤进行，如实例的表示、实例的组织与存储、实例的修改/修正、实例的保留等，本节简要说明各自的特点。

4.4 基于实例的推理系统（CBR）的关键技术

目前关于 CBR 系统的实现技术一般都围绕 CBR 的几个关键步骤进行，如实例的表示、实例的组织与存储、实例的修改/修正、实例的保留等，本节简要说明各自的特点。

4.4.1 实例的表示

实例的表示方法并不是新出现的技术。在 CBR 系统中，不是规则而是事例作为知识

片断存储在实例库中。因此,实例的表示是CBR求解问题的第一个步骤:输入的实例首先要以系统可以识别的方式进行描述,然后,才可以进行检索、修改等。

根据知识表示的方便性、有效性、可扩展性及应用的领域,可以借鉴人工智能领域的多种知识表示方法如:剧本表示法、框架表示法、谓词逻辑表示法、语义网络表示法、面向对象的表示方法等。

随着信息技术和计算机技术的不断发展,新的知识表示方法应运而生。图片、影像和声音等多媒体技术可以把以往难以编码化的存在于领域专家头脑中的隐性知识进行表示。CBR系统可以灵活地应用这些技术对实例进行描述,有着广阔和诱人的发展前景。

以机械产品模块化库存管理为例简要说明,模块化功能的描述,参数的描述等表示方法要紧跟模块的属性,便于功能搜索的高校性、准确性。

4.4.2 实例的组织与存储

一般而言, CBR 系统内部都有一个专门的实例库。因此实例的组织与存储是 CBR 系统的一个基本问题。当实例库中的实例数量达到一定程度时,只有好的检索算法是不够的。实例库的设计与组织的好坏,往往关系到信息检索的快慢和成功与否。

简单的线性组织结构例如列表,在信息检索时的效率是低下的。现在的大部分 CBR 系统都采用 Schank 的动态存储模型或 Porters 所设计完成的 PROTOS 中采用的以语义网为基础的存储模型或者是二者的变形^[50]。Schank 的动态存储模型和 PROTOS 的以语义网为基础的存储模型都是一种等级制的网状结构。他们的核心思想都是按一定的规则对实例进行分类并建立索引目录。

在对实例进行组织存储时,实例本身的表示结构也很重要。对于简单问题,一般每一个实例作为一个单元,大多数的系统采用这种方法。当问题复杂时,可以选择把实例分解成多个单元进行存储,综合多个实例进行联合求解。

在机械产品设计模块库中体现在对各种功能模块的管理,分布、规划、分类等各种方式,使得相同或相似的功能模块集中在同一区域,并有各自的差别,便于功能搜索,产品设计再利用。

4.4.3 实例的检索

实例的检索和选择是 CBR 系统的一个关键步骤,也是 CBR 系统技术实现研究的第一个热点问题^[51]。实例检索结果的优劣直接影响着实例的重用与修改以及系统的好坏。

CBR 系统对实例的检索,同网上的关键词检索有很大的不同。它要在给定的领域内通过一定标准对实例进行分类(抽取实例的特征属性),通过建立索引目录搜索所需的实例。因此实例特征的抽取是关键问题。在更复杂的多 Agent CBR 系统中,为使特征值的抽取更具有通用性,一些学者试图通过定义目录词汇表来解决这个问题^[52]。

一般说来,用来检索的特征应该具有可预见性;具有高度的区分性;具有可解释性;

具有自省性（能识别低效的检索路径，避免将来检索时再次使用）等特征。在检索的匹配算法方面，目前比较通用的有最相邻算法和归纳引导策略。

4.4.4 实例的修正

由于很难找到一种相对通用的实例的修正方法，只能具体问题具体分析，实例的修正问题构成了CBR系统实现技术研究中的一个难点和具有挑战性的课题。在实际应用中，多数采用基于规则的推理（RBR）和与人机结合的方式进行实例的修正。

作为继实例检索之后的又一个研究热点，实例的修正目前有许多改进的策略：如Hinrichs T.R.和Kolodner J.采用约束满意算法进行实例修正，Hanney 和Keaner使用归纳学习技术，通过实例之间的对比，学习实例修正的知识；Leaket al使用CBR和自省推理的方法进行实例的修正；而Purvish和Athalye 则认为，最先检索到的实例并不容易被修正，他们提出用遗传算法来提高旧实例解法的适应度。由于CBR系统本身的不确定性、不完整性和不精确性，模糊逻辑在实例的修改上面显示了其优越性。许多学者正试图应用模糊逻辑理论在实例的修改上面有所突破。

4.4.5 实例的保留

基于实例的推理（CBR）系统采用增量式的学习，能不断积累经验和知识，这来源于对新实例及解法的保留。但若无条件地对实例进行保留势必导致另一个问题产生，即无法控制实例库中实例数目的增长而使系统的运行效率下降，检索成本增加。为了解决这个问题，CBR系统采用主动学习而非被动学习（无选择地存储每一个观测到的样本）的策略。

实际应用的解决方法有^[91]：

（1）有选择地对新实例及解法进行保留，并适当地删除无效旧实例。是否对新实例进行保留，取决于原有实例的相似度与设定阈值的比较结果。如果相似度的取值在阈值与1之间，则认为很相似，信息量和知识含量不高，价值不大，不对实例进行存储；

（2）在实例的特征值的抽取上，结合限制表示策略，设定匹配实例的尺寸上限，优先抽取实例库中没有出现过的实例的特征值进行保留。

4.5 基于实例的推理（CBR）的实践应用

4.5.1 CBR系统特点

CBR系统的推理模式与人类的学习模式有一种天然亲和力，它有以下特点：

（1）CBR系统直接援引过去的知识和经验，避免一切问题从头再来的弊端。不仅可以进行正面的学习，还可以避免以前的错误，从而一开始就可以直指问题的核心；

（2）它可以方便地采用成本较低的原型系统进行开发，在以后的学习过程中不断增加新实例，修改旧实例，提高自己的判断推理能力；

（3）CBR系统具有自主学习的功能，是一种增量式学习方法。随着实例的增加，实

例库的覆盖度（求解问题的范围）逐渐提高；同时由于实例比规则获取容易，不需要完整的领域模型，通过实例的积累和经验的增加，使实例推理逐步实用化^[59]。

4.5.2 系统的适用范围

由于CBR的上述特点，使它的应用范围非常广。现有文字报道的CBR系统已有几百种，而在全世界，则有成百上千的CBR系统在实际应用领域发挥着重要的作用，如法律诉讼、机械设计、客户管理、电子商务、医疗诊断、机器组装、建筑设计、分子生物学、机器人控制、医药、企业管理、地质勘测、石油开采、语音识别等。甚至CBR系统在创造性问题的求解上也取得了新的进展，如SAXEX，被用于辅助谱曲。它通过特殊的模型对输入的声音文件进行解构，抽取大量的参数，这些参数和对参数的解释构成实例库中的主要内容。通过参数之间的相似度的比较和衡量，对输入的目标文件进行适当的参数修改，然后重构，变成新的更富感染力的声音文件输出。

总而言之，CBR系统适用于以下情况：

(1) 专家头脑中的领域知识和规则数目庞大。这时，如果构建RBR，很容易引起规则之间的组合爆炸，造成推理效率极其低下甚至发生错误。采用CBR系统则避免规则组合爆炸问题；

(2) 领域知识的规则不易提取，专家头脑中存在大量的隐性知识，而正是这些隐性知识决定了专家的判断和决策，例如建筑设计，医疗诊断等。采用CBR系统可以直接援引专家头脑中有价值的经验教训来解决问题；

(3) 领域知识不完备，通常是非结构化和难以模型化的知识。这主要针对复杂的社会经济、管理系统而言，例如企业危机预警、社会突发事件预案；

(4) 领域知识更新速度比较快，例如CRM、Call center系统中，客户的要求、偏好和兴趣随着时间和环境的变化不断在变，企业提供的服务也要随之而变。这时，采用增量式学习的CBR系统，既可避免先验知识的过时和残缺不全，又可避免陷入大量实例信息无穷无尽的搜索；

(5) 在知识管理领域的应用。知识管理的一个特点是重视隐性知识的重要作用。挖掘这些隐性知识，使之转化为易于传播的显性知识具有深远的意义。CBR系统中的事例是相对完整的知识片断，包含了难以提取的隐性知识，并体现在它的解决方法中；

(6) 在电子商务领域的应用。CBR在客户关系管理（CRM）、电子商务推荐系统等领域的应用已经取得了初步的进展，如惠普公司的客户服务系统等。

设计日益受到人们的重视，已成为学术界和工业界的研究热点。

4.6 CBR 与模块化设计

从设计的基本思想看，模块化设计同CBR技术有以下共性：

(1) 在设计思想上都是用过去的经验解决当前问题。模块化设计最重要的概念是模

块,而模块是典型的实例。它不仅是具有一定功能和一定结合要素的产品实体,而且是集成了一定设计思想、设计经验和专家知识的智能实体;

(2)具有相同的关键技术环节。实例检索和实例修正是CBR的核心环节在模块化设计中,模块的检索和修改同样是关键。实例检索过程是评价问题属性与实例属性的相似性的过程。在模块化设计中,某模块在新设计里是否可用,要看模块功能、尺寸能否满足要求。有时还要考虑机械性能方面的要求,应采取一定的策略以评价源实例与问题的匹配程度。当模块不能完全满足设计要求时,如何对它进行改进是系统开发时应重视的问题;

(3)系统具有学习功能。新的问题解决后,可以作为实例加入实例库,从而保留了设计经验。系统不断产生新模块或改进旧模块,从而补充、扩大了系统实例知识的广度和深度。基于以上共性, CBR 技术的理论和方法可应用于模块化设计。但在广义模块化设计里,以传统的模块实例为基础已不能满足需要,因此我们把实例概念扩展为模板实例。

4.7 小结

本章引用了 CBR 技术,对 CBR 技术的形成及发展,关键技术作了简单的阐述,并与模块化设计进行了比较,二者存在很大的共性,划分模块的目的是为了模块的再次利用,其利用的过程正和 CBR 技术相吻合,这给模块化设计提供了一种极好的方法思路。同时也为后来机械产品模块化设计软件的实施提供了一种解决的方法。

5 基于 CBR 的机械系列产品模块化设计

5.1 模块化设计在机械行业的应用

模块化设计已经在许多行业广泛采用,并针对各自产品的特点,形成了相应的模块化设计制造体系。就机械行业而言,机床结构模块化设计在国外应用十分普遍,已使企业从产品设计、工艺到制造形成一整套模块化管理体系。我国自 70 年代末也有不少机床厂开始了模块化设计的尝试,到目前也取得了可喜的成绩。可以说模块化设计在机床行业的研究发展比较深入。对于机械行业中一些大型机械产品,因其产品本身的特点,使其模块化设计的思路与传统模块化设计思路有所差异。

汉川机床集团有限公司承担的国家 863 数控铣床和加工中心结构模块化技术研究课题 06 年 8 月 24 日通过国家专家组验收。数控铣床、加工中心结构模块化技术的研究应用,大大提高了汉川公司规模、产业化水平,使数控机床产销量成倍增长,市场占有率经济效益明显提高。北京理工大学潘风文等人针对液压机本体开发了一个 CAD 专家系统,将机身结构及其设计知识组成液压机设计专家知识库,但作为一个独立的设计专家系统,它无法实现从系统角度规划产品总体设计。

5.2 机械产品模块化的特点

模块化后的机械产品主要具有以下几个特点:

(1) 互换性强,便于维修。

模块化机械产品是由一些具有互换特性的标准化集合而成的,可直接更换模块,大大简化产品的维修和修理,可提高产品的维修速度,节约修理费用,提高效率。

(2) 质量高、成本低,能够解决多品种、小批量大批量加工之间的矛盾。

在模块化产品中,模块是具有特定功能的标准化部件单元,可安排专人负责设计,并通过对所设计的模块进行实验研究,不断完善模块的性能和提高模块的质量,从而提高产品的质量。因为各种模块可集中在专门工厂进行专业化批量加工,可使单件小批量生产变为相当批量的规模生产,传统的以产品为单位组织生产的方式将变为以部件为单位组织生产,解决了多品种小批量和大批量加工之间的矛盾,而且还便于采用先进的加工设备、加工工艺及 CAD/CAM 等技术,提高生产效率,减少废品率。同时,由于模块化产品的设计周期较短,设计成本也大大降低。

(3) 有利于企业采用先进技术改造旧产品,开发新产品。

随着竞争的日益加剧,企业需要不断增强对市场需求的快速应变能力,靠传统的设计与制造方法显然是困难的。利用模块化设计制造方法,可以不断的采用新技术,革新那些在结构上或技术上已经陈旧的模块,并在不改变其他模块的基础上集成成先进的产

品,使产品不断保持先进性,从而增强企业对市场变化的适应能力。

(4)有利于缩短产品的设计、制造和供货期限。

不同用途的机械,是通过相应层次和功能的模块集合而成的,而非各个单一零件的组合装配,因此产品的更新周期短。这是因为:一是在产品的系列化设计时,因为系列中存在很多通用模块,设计周期较为传统方法短;二是当进行模块化设计后,便可采用全部现成模块或添加少量专用模块来集成用户所要求的品种;三是可以从基型模块化产品,派生出若干变型产品来;四是模块化设计的产品,是按照功能模块组织生产的,由于同一层次、同一功能的模块,其加工的木模、工艺流程及工艺装备都是定型的,故产品的制造周期比传统的制造周期缩短。因此,产品的短周期设计与制造,导致其供货周期缩短,从而满足市场的要求。

从模块化产品的特点可以看出:产品模块化设计具有缩短设计与试制周期、提高质量降低成本、产品更新及维护更加简便等诸多优越性,因此模块化设计是产品设计发展的趋势,是值得大力发展的一种产品设计方法。

5.3 机械产品模块化设计思路

目前,对于产品的模块化设计,不同的专家学者从不同的角度都进行了一定的研究。总的来说,可以归纳为两大类:一是侧重功能划分的模块化设计方法,这种模块化设计的方法,主要是从系统的观点出发,将整个产品系统划分为各个相对独立的功能单元,通过对模块的不同选择和组合来构成满足顾客需求的不同产品。在这种方法中,对于模块内部的结构没有作为重点来考虑。另外一种方法侧重于产品或零部件的形状结构分类。该方法侧重零部件形状结构的分析,对于产品构成简单,但某个零件形状结构较复杂的单件、小批量的产品,则显得比上面提到的以功能划分为主要的设计方法具有优势。

本文主要从功能的角度进行模块的划分与规划的,每个产品总有实现自己功能的目的,在这样大的功能下可以继续划分更小的功能,也就是子功能,子功能不同的组合又可以组合成新的模块和的产品。有的子功能甚至可以继续划分更小的功能模块。先划分再组合等不断的实验过程来验证模块划分是否合理,为后来的模块的运用打下基础。

5.4 机械系列产品的模块化设计

模块化系列机械产品的设计是工业发达国家近二十年来一直采用的一种先进的机械产品设计方法,它将系统根据功能分解为若干模块,通过模块的不同组合得到不同品种和不同规格的产品。在实际机械产品的设计与制造时,模块化系列机械产品的设计还应用了CAD技术、成组技术、柔性加工技术等先进技术,可将产品中同一功能的单元设计成具有不同性能、可以互换的模块,而选用不同模块,就可组成不同类型、不同规格的产品。由于采用了模块化系列机械产品的设计,因此产品的精度高、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、通用化和规格化的程度。

早在20世纪70年代，法国的Potain公司、瑞典的Linden公司以及德国的Liebherr公司等就将模块化设计的方法应用到塔机产品的开发过程中，用有限的模块组合成适用于各种具体施工需要的塔机。例如，瑞典的Linden公司采用61个标准模块和一些非模块零部件，经过选择理论上可组合成4万多种不同性能的回转塔机。美国Case公司将模块化设计方法应用于小型装载机产品上，在发动机功率为13.2~44.1kW的范围内，开发出30多种基型和变型的产品。近年来，我国的工程技术人员和专家学者也将机械系统的模块化应用于各种机械设计之中，齿轮减速器的模块化设计就是其中比较成功的例子。

5.5 基于实例推理（CBR）机械系列产品的模块化设计软件实施

5.5.1 机械系列产品模块化设计软件开发的背景

市场的激烈竞争，客户需求的多样化，紧迫性，先进性，以及随着机械产品的更新换代周期相对较短，在这样的环境条件下，使得设计单位团体朝着相对单一的，专门的，系列化的机械产品设计方向发展，从而使设计单位形成了产品设计以专门化为主，其它相关设计为辅的局面。也就是说设计单位都拥有各自擅长的技术领域，具有某种产品的设计核心技术和先进设计经验，在这样的局势下，为设计工程人员设计一种以本单位团体擅长的技术领域为主，相关技术为辅的设计软件势在必行，结合快速设计技术，模块化技术及CBR技术来叙述该软件设计的实施创建方法。同时又考虑到客户要求的多样性，这一点又使工程设计人员不可避免的遇到自己擅长领域里所没有的功能要求，基于这种情况特建立三个不同但又相关的模块库，基于一般寻找解决问题的方案，按照从小范围（某种系列产品的具体模块库）→局部（产品族广义柔性模块库）→全范围（机械产品模板库），逐步扩大领域的思想，来搜索模块进行设计。同时为了避免CBR技术实例检索的不足、属性描述的复杂性，相应的提出建立三个相对独立而又相关的模块库设计系统，针对每个库的特点作了详细的介绍，同时也为模块、模块库的创建提供了一种思路。

5.5.2 基于实例推理略述

CBR（case-base reasoning）起源于人类的认知科学，是近年来人工智能领域兴起的一个热点。其核心思想是利用过去的实例和经验来解决当前相同或相似的问题。一般包括四个过程：实例检索、实例重用、实例修改、实例存储。如图5-1所示为CBR解决问题一般流程。

当面临新问题时，首先转变为检索信息作为检索条件从已有实例库中进行检索，查找出与问题相同或相似的实例，若能解决新的问题就直接利用。一般情况下，实例与新问题会存在一定的差异，需要进行实例的修改，直至能解决新问题为止，并把修改后的实例作为新的实例存入相应的实例库中，以备后用。如果存在若干匹配的实例，还需要

进行实例综合评价、选出最佳的成功实例。

实例检索和实例修正是CBR的核心环节，目前对于实例检索还没有成熟完善的方法可以运用，是检索面临的一个难题。

5.5.3 模块化设计软件实施概述

a库的建立及说明

产品族是指共享公用技术，共享某些公共特征、组件或者子系统的，并服务于相关市场应用的一组产品。结合CBR技术难点之一，实例检索技术的不完善不成熟性，检索前期的属性描述复杂性，以及设计单位都拥有各自擅长的

技术领域，某种产品的设计核心技术和设计先进经验的优势，针对某种产品设计思想，从功能的角度来规划基于 CBR 机械产品模块化设计系统。基于一般寻找解决问题的方案，按照从小范围[模块库 (1)] → 局部[模块库 (2)] → 全范围[模块库 (3)] 这样逐步扩大领域的思想，来搜索模块进行设计，例如药品装箱机的设计可以由药品全自动包装机模块库 → 全自动包装机广义模块库 → 机械产品模板库，这样逐步扩大参考范围的思想设计。相应的就建立三个相对独立而又相关的模块库，目前模块按照功能的角度划分创建有着较成熟的理论和广泛的应用，所以三个模块库充分利用这一优势，每个库按照模块功能的角度进行划分、建立和库存，同时在搜索模块时，也是按照模块功能的方式进行搜索。

模块库 (1) 是某系列产品的具体模块库，库中是以该系列产品中具有典型代表的某种产品模块为主线，其模块按照功能的角度自上而下顺序划分建立起来的功能子功能模块，或者以生产流程顺序中所实现的功能划分的模块。把系列产品功能相同的模块置入同一库同一关系表中，便于编程和搜索。其搜索界面也是按照功能方式进行搜索，对应其产品功能划分或生产流程的顺序为依据而建立，功能按照树状形式建立界面，界面里描述的每种功能都存在相应的能实现该功能各种类型的机构模块简图，并且每种机构模块简图都附加相应的设计信息、专家知识经验，需要注意的设计条件，应用场合等信息，由模块简图可以进入 Pro/E 设计环境，用以参考模块实体及其在该三维环境下修改应用。以基于 CBR 药品全自动包装机包装流程为例展示搜索界面如图 5-2 所示，在搜索栏里搜索成型模具，点击成型模具，可以观看模具简图。该库中同时要附加上该典型产品中没有的，但该产品系列具有的功能模块。

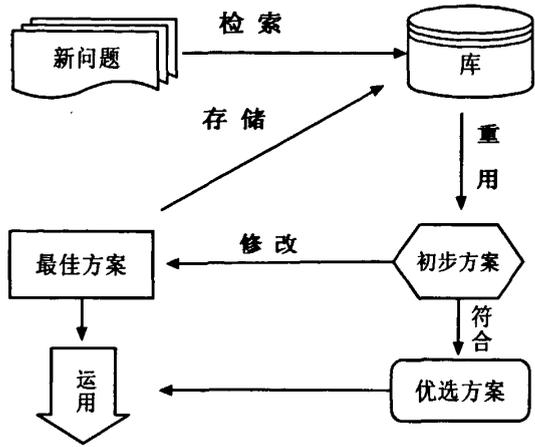


图 5-1 CBR 解决问题的一般流程

Fig5-1 The general process of CBR solving problems

库(2)是产品族以广义柔性模块为主,典型具体模块为辅的模块库。与库(1)的区别:库存的模块不同,是库(1)以外的同行业机械产品的功能广义模块,产品族中以具有典型代表的不同种类产品或不同种类生产流程为主要对象,进行功能划分,提取大部分共性功能建立广义柔性模块,不同种类之间以并列方式库存。各种产品又含有不同系列,每种系列又是按照库(1)的方式

进行建立,其搜索界面和设计过程也是按照上述过程建立进行的,与库(1)相比只是在产品种类数量上的扩大而已。

库(3)是机械产品模板库,由于机械产品过多,不可能面面俱到,所以库(3)是库(1)(2)没有涉及到的机械产品的模板库,由于模板是结合大量实例提取的共性功能,所以在每个模板中要附加 1-2 个典型的具体模块供工程设计人员参考,此库是完全按照功能的角度来建立的,所以是并列的关系居多。模板不是可以直接利用的模块,所以一般要进行修改再设计,主要为工程设计人员提供一种设计的思路,参考可实行的已有方案。库(3)是以模板为主,特殊的、少见的功能具体模块为辅的思路建立的。其搜索过程完全按照功能角度搜索,功能不象前者那样按照某种产品顺序或生产流程顺序排列,功能之间完全是并列对等关系。

b 软件实施的说明

上述设计过程采用设计软件来实现,该设计软件采用 C++ 语言编程、SQL 数据库



图 5-2 基于 CBR 药品全自动包装机设计功能搜索界面

Fig5-2 Search interface for function of drugs full-automatic packer design based on CBR

库存，Pro/E 三维设计环境来实现。库（1）（2）（3）中的模块又都与对应的 CAD 设计平台相连接，这样方便即时修改提高设计效率。每个库中都附加有相应的设计手册，设计说明，使用说明等相关信息。之所以建立这样的三个库为了避免一个库的过于庞大冗杂，减少一个库管理的不足和繁琐，同时这种逐步扩大范围搜索答案的思路，也是为了提高解决问题的效率，尽量避免搜索的繁琐和搜索重复性的盲目状态，可以避免建库属性描述过多重复性，便于 CBR 环节中实例检索的实施，建立三个库也是为了便于从功能的角度进行搜索，避免同一库中功能描述过多的重复性和搜索的重复性。这样的三个库同时又可以参考几乎涵盖所有机械行业产品的功能模块和设计经验。

C 库的补充说明

有的学者提出扩大到整个机械产品的模块怎么去实现，对于这个问题，可以把整个机械产品认为是相关的机械产品，具体的实施办法，可以这么解决：每个相关的单位都进行各自产品的模块化设计和库存，这样通过互连网可以远程得到相关的模块，并且每种企业拥有各自的产品模块，只要向外界介绍自己产品各模块的主要功能和其它相关的信息即可，若有其他单位设计者需要一些模块功能，那么这个企业就可以把自己做的模块转化为产品买卖的形式，进行技术转让。按照这样的方式，居域内整个机械系列产品的模块库就可以建立起来。

5.5.4 模块化设计软件在产品中的应用

产品的设计，首先把客户信息转化为产品功能，然后从该系列产品功能模块库（1）中，按照要实现的功能进行相应的界面功能搜索，由于库（1）都是具体的功能模块，搜索到的模块若符合要求，可以直接调出运用，若与要求有些差异可以适当修正再利用，新实例再存入库（1）中，以备后用。其过程如图5-3所示。若库（1）不存在符合功能要求的模块，就要进行库（2）产品族的功能搜索，其搜索过程与库（1）相同，只是调用的功能模块主要是没有确定性的具体应用领域模块，需要考虑的设计信息多，大部分是广义的柔性模块，保留有再设计接口，便于工程人员再设计，设计后的模块作为新实例模块存储库（1）中，以备后用。其过程如图5-3所示。

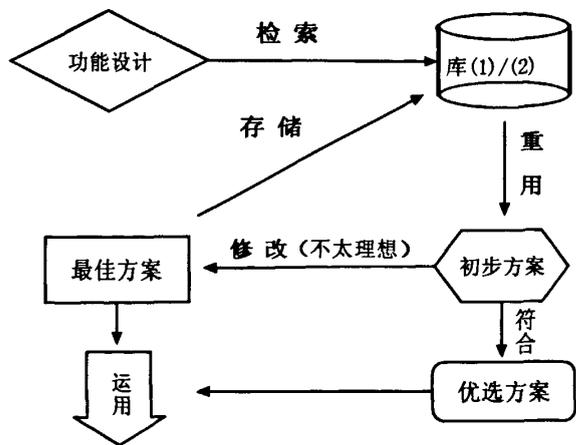


图 5-3 模块库（1）/（2）的检索过程

Fig5-3 the index process of the mold database（1）/（2）

在前两个库中，若依然达不到功能的要求，就要考虑借鉴其他的已有机械的功能，就是具有某种功能的模板图，其搜索过程与前相同，只是搜索到的只是在功能上满足的模板，其具体的结构、尺寸、应力等条件，需要结合具体的实

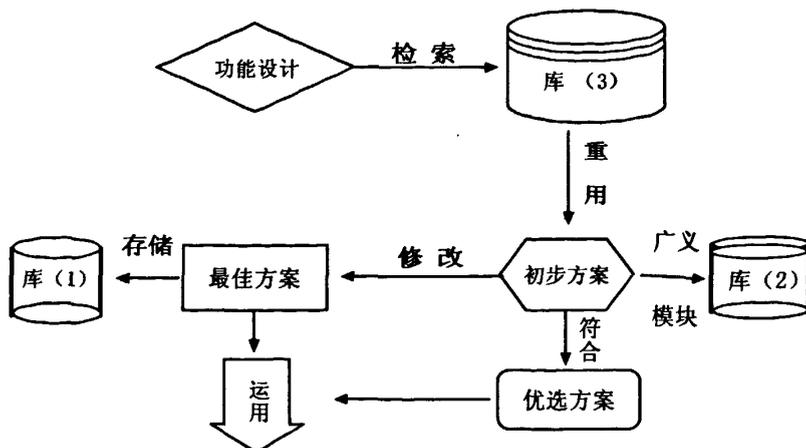


图 5-4 模块库 (3) 的检索过程

Fig5-4 the index process of the mold database(3)

际情况、具体的应用领域进行再设计，修正后的模块要存储库 (1) 中，以备后用。凭借设计经验，觉得这样的功能在以后的设计中会常见，就需要设计成广义柔性模块存储库 (2) 中，以备参考再利用。其过程如图5-4所示。

5.6 小结

模块化设计应用范围的广泛性实用性已有明显的优势，包含两个方面的思路，一是对已有产品的模块化研究，主要有模块的划分，模块的创建，模块的组合等方面的设计理论和方法；二是按照客户的需求及新功能的需要，创建模块库，利用已库存的模块进行选择组合形成新的产品功能。其中思路一是模块化设计的关键和前提，直接关系到思路二的应用成败和效率，但模块化设计理论已相对成熟，具体应用范围广，基于此本文着重对第二种思路模块组合成新功能、新产品进行论述，结合目前模块化设计技术、CBR 技术的发展现状，市场经济造成的目前局势特设置三个库进行设计系统的说明和应用。

6 基于 CBR 的药品包装机的成型模腔设计实施的验证

6.1 SQL 数据库库存简要说明

按照前面对全自动药品包装机系列产品模块的划分与规划，设计成相应的模块，刚性模块、广义模块、柔性模块、局部变形功能模块等，存于 SQL 数据库中，因为是药品包装机系列产品的模块，所以统一置于数据库（1）中，在库（1）中对每一个功能模块进行属性描述，在属性描述过程中，一定要注意以下几点：

（1）抓住该功能模块的主要功能，以实现的功能为主要属性描述，对每个模块，可以实现的功能描述必不可少，并且在搜索时以功能为主要参数。

（2）在满足功能的基础上，要附加上区别于相同功能模块具有小区域性特点的属性，并且在搜索界面进行设置该属性的查询。

（3）对于小区域性的属性，尽量多设置几个，便于设计者在搜索时的准确性和高效性；小区域性的属性在搜索时，可以输入一个或几个小区域性的属性参数，这样可以屏蔽不相关的小区域性的模块。

（4）为了搜索的高效性和及时性，尽量多设置些搜索界面，由一个搜索界面进入另一个界面，逐个输入相应的属性参数，使得搜索的范围越来越小。

（5）该数据库的属性描述，需要编程者具有专长的设计经验和相关渊博知识，这样才能抓住模块的主要属性和附加区别于小区域性的属性。

（6）搜索功能参数的设置尽量要与模块属性描述规划一致。设置过少，搜索的结果数量繁杂，不利于匹配模型的选择；但也不宜过多，过多给编程带来太多的工作量，同时考虑搜索界面布局问题也不宜过多，所以以模块的小区域属性设置最好。

6.2 成型模腔设计实现的验证

6.2.1 成型模腔模块的搜索

因为该软件的设计是按照功能的角度进行的，所以我们搜索模块时，要从客户需求的功能进行模块的查询，首先打开“基于 CBR 的全自动药品包装机模块化设计”设计软件，得到如图 6-1 所示系统设计总的界面。

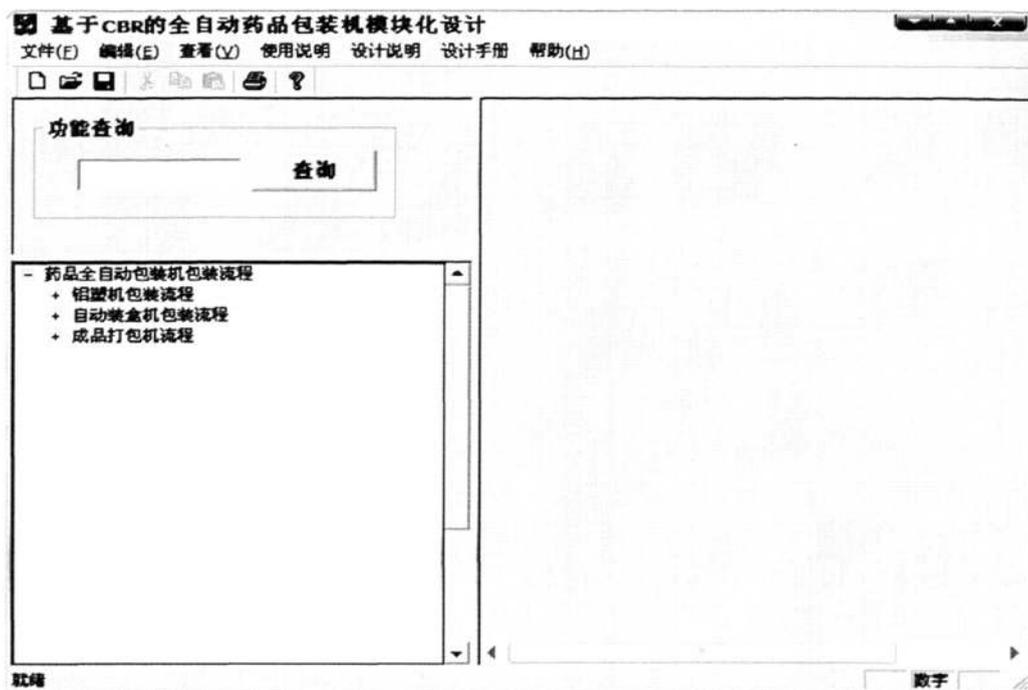


图 6-1 设计系统总界面

Fig6-1 Total interface of the design system

在系统总的界面，有使用说明、设计说明、设计手册等辅助设计信息。使用说明就是对该软件总的设计说明，总的功能，使用方法等信息的提供，为使用该软件设计工程人员提供软件相关信息，提高设计的质量和速度；设计说明，就是在进行模块调取、修改、新的模块库存属性描述要与该系统的一致等信息的提供和帮助；设计手册，是对包装机设计特点提供的说明和帮助，同时提供一般机械行业设计需要注意的事项等信息。该软件设计前提：模块的划分与规划是按照功能的角度进行的，所以这个软件再设计也是按照功能的角度进行搜索在设计的，总的界面就只有一个功能搜索框，这是设计的第一步，抓住需要的功能，逐步搜索相关的模块，本节以包装机成型模块的成型模腔为例来说明模块的调取和再设计的。

在功能查询处输入“成型模腔”，点击查询可以得到如图 6-2 界面。

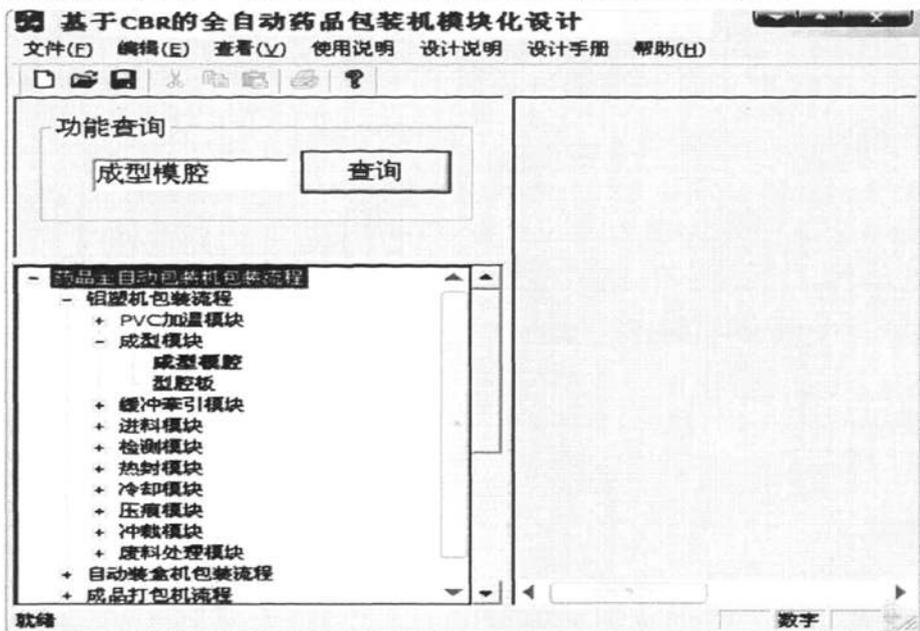


图 6-2 功能搜索界面

Fig6-2 Search interface for function

双击界面里的“成型模腔”，可得图 6-3 成型模腔选择界面。

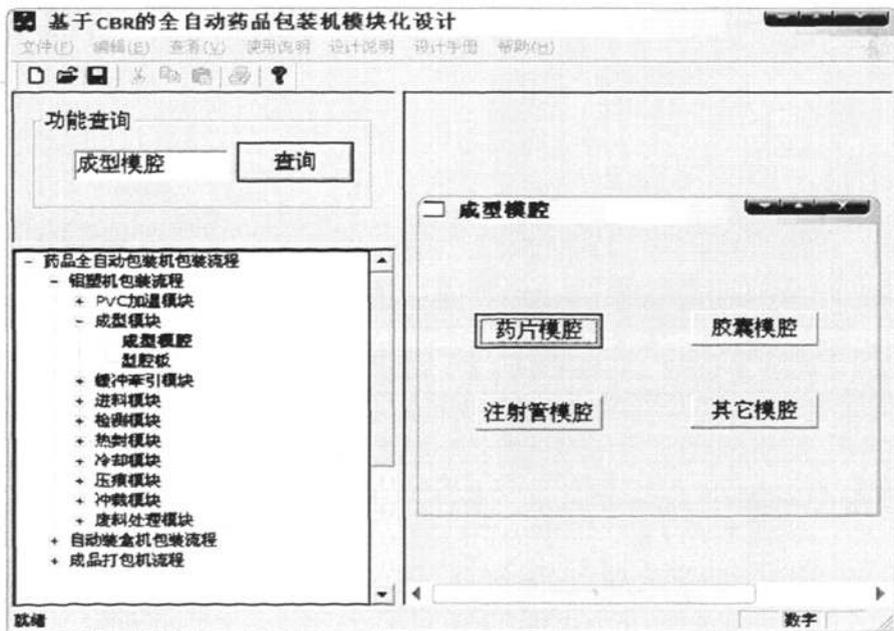


图 6-3 成型模腔选择界面

Fig6-3 choice for a mold chamber of molding

若选取“胶囊模腔”可得图 6-4 界面，胶囊模腔参数设置。输入相应的参数，选取椭圆形，并在“每板模腔的排列”部分，只输入行数，不输入列数，如图 6-4 所示。

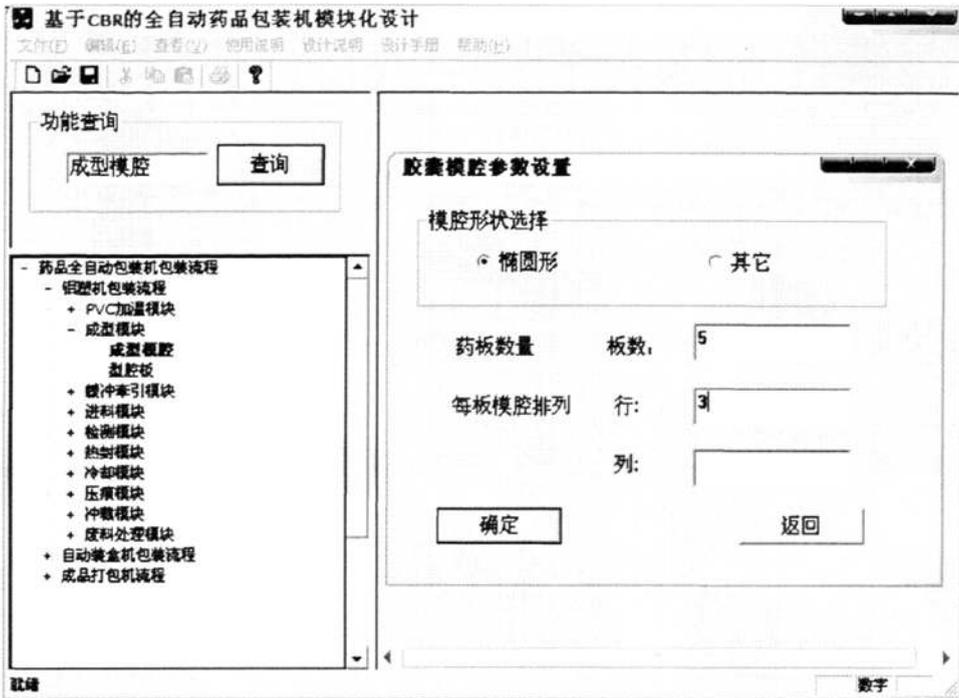


图 6-4 胶囊模腔参数设置

Fig-6-4 Parameter constitution of the capsule mold chamber

点击确定进入图 6-5 界面，由图 6-5 界面两个模腔比较可知，模腔形状、药板量、每板药粒行数都相同；每板药粒列数不同，每板的布局也不同。造成原因是在图 6-4 中没有输入列数，没有列数的约束，所以导致搜索的结果是每板列数不同；由图 6-4 搜索参数设置可知，搜索参数没有设置药板的布局，但是库中属性表达时却给出了描述，故造成药板布局不同的搜索结果。

给予的启示：

(1) 给予模块属性的描述尽量要多，搜索功能设置要与之相匹配，这样可以避免搜索结果数量庞大。模块属性的描述要抓住模块区别于其它模块的显著特点进行属性描述。

(2) 搜索功能参数的设置尽量要与模块属性描述规划一致。设置过少，搜索的结果数量冗余，但也不宜过多，过多给编程带来太多的工作量，同时考虑搜索界面布局问题也不宜过多，所以以模块的小区域属性设置最好。

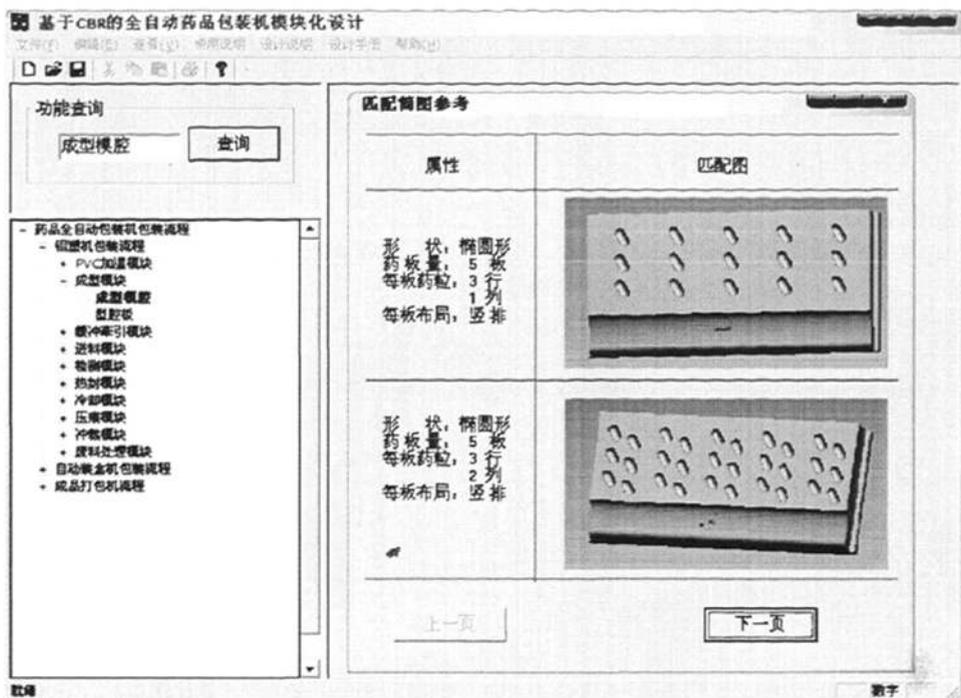


图 6-5 胶囊参数输入搜索结果界面

Fig6-5 The interface of search result of capsule parameter input

现在回头看图 6-3 界面，点击“药片模腔”获得如图 6-6 界面。

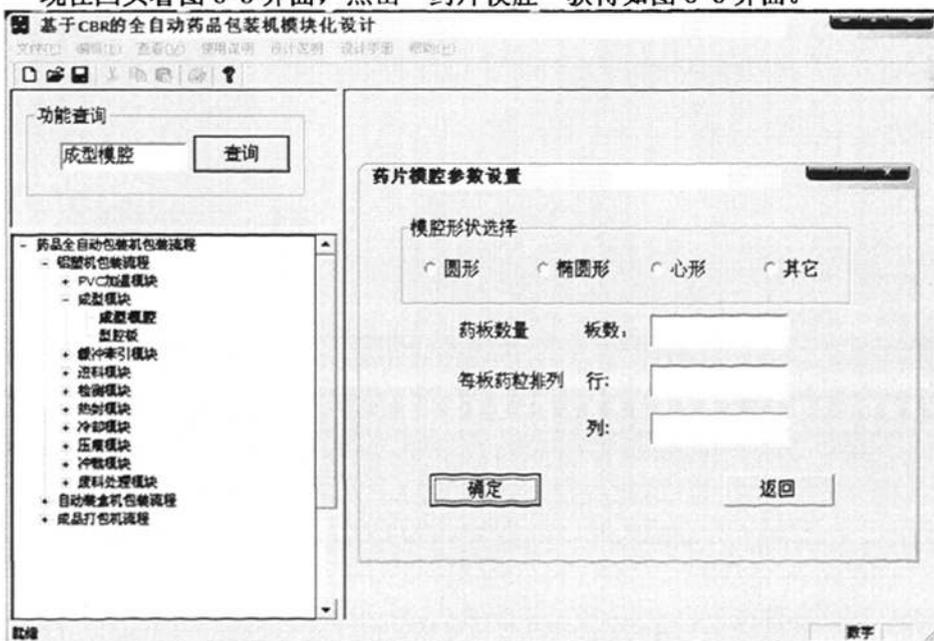


图 6-6 药片模腔参数设置界面

Fig6-6 The interface of pill cavity parameter establishment

在图 6-6 中进行参数输入，如图 6-7 所示，点击确定，进入图 6-8 界面。

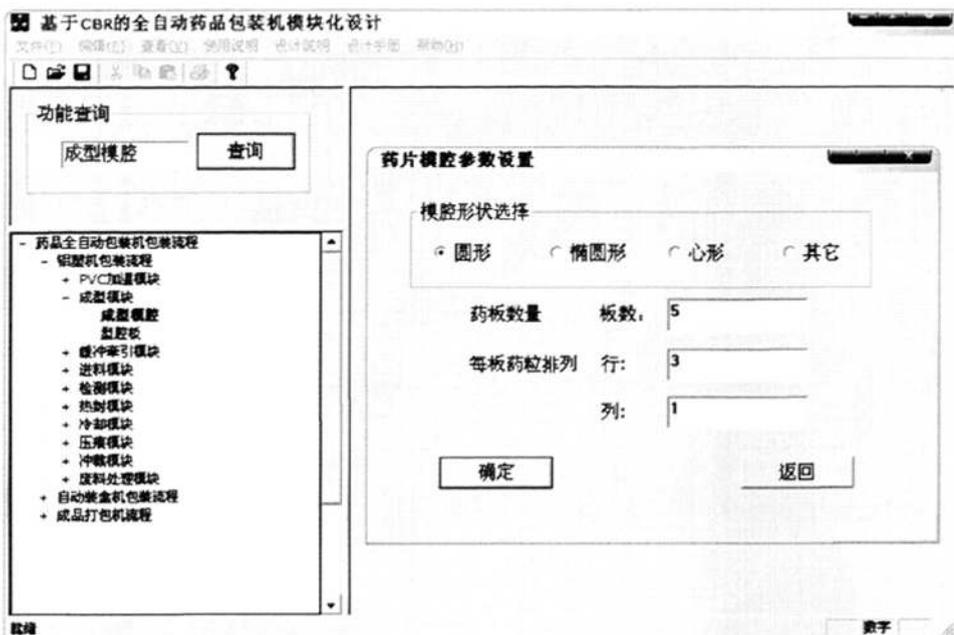


图 6-7 药片模腔参数设置输入参数

Fig6-7 The interface of pill cavity parameter establishment

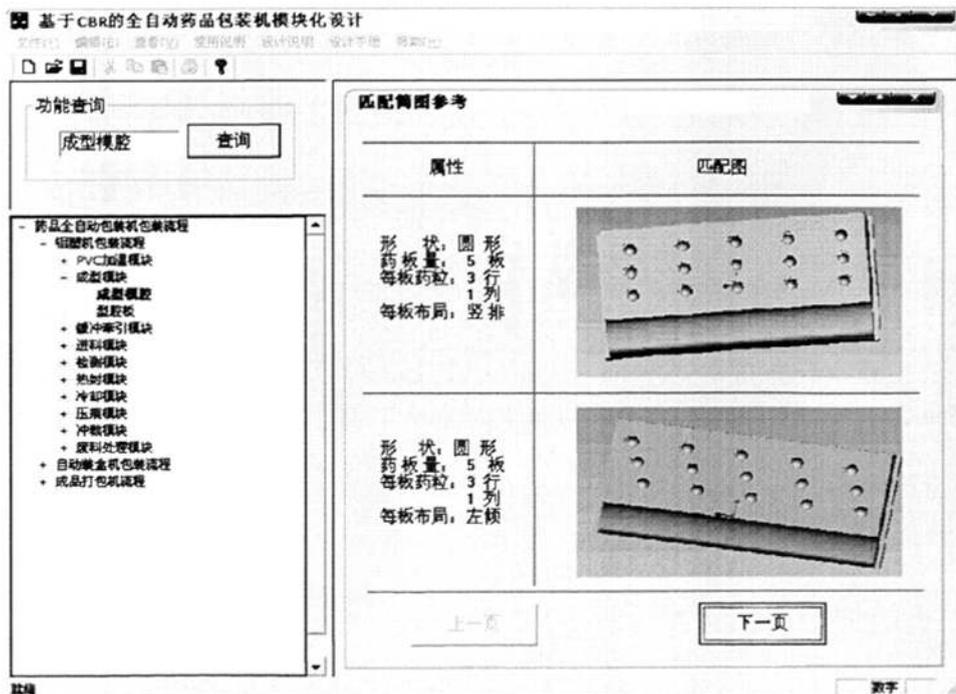


图 6-8 药片参数输入后搜索匹配图

Fig6-8 The chart of the match being searched ,after pill parameters are input

由图 6-8 两个模腔比较可知，二者的区别在于药板布局不同，其他都是相同的，在这里只是在搜索设计时没有布局这个参数项，但搜出的模块具有与参数输入的相同的参数，说明模块搜索优劣，不但与属性描述好坏有关，而且还于搜索设置参数优劣有关，所以在设计时，要充分考虑到二者的结合点，达到最好的搜索功能。以符合设计人员功能模块的需求和达到设计的高效性。

6.2.2 成型模腔模块的修正

在图 6-6 进行参数设置如图 6-9 所示。

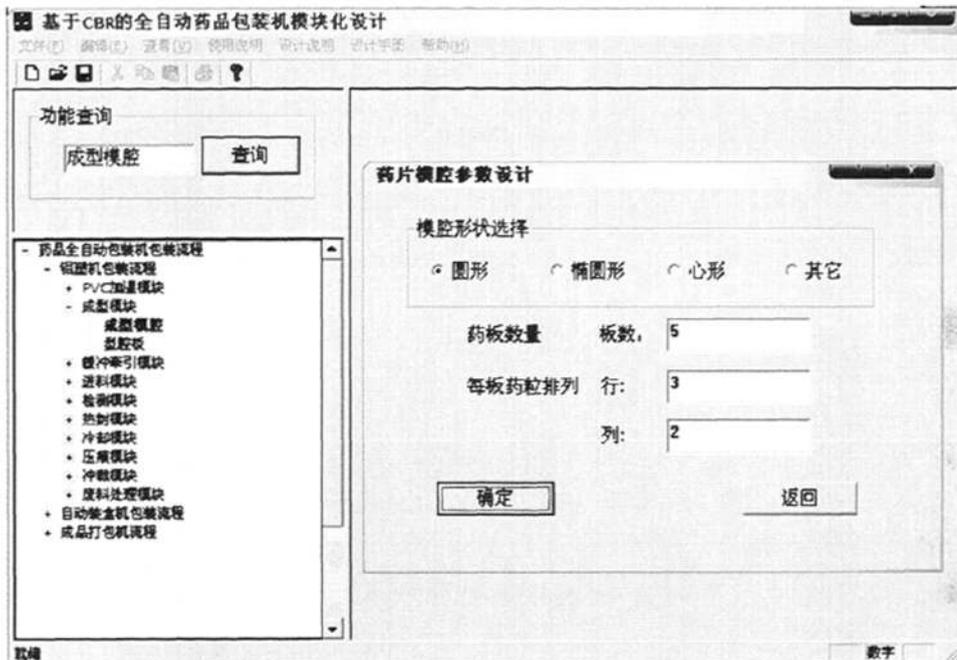


图 6-9 药片模腔参数输入界面

Fig6-9 The interface of pill cavity parameter input

如果搜索的结果没有 3 行 2 列的模腔，那么我们就可以参照功能相似的模腔如图 6-8 中的 5 板 3 行 1 列模腔进行修改，若需要的是左倾药板形的，直接双击图 6-8 中需要参考的模腔图片，也即双击图 6-8 第二幅图片，直接进入 PRO/E 环境，进行整体观察三维模块，看是否满足设计者的需要。如图 6-10 所示。

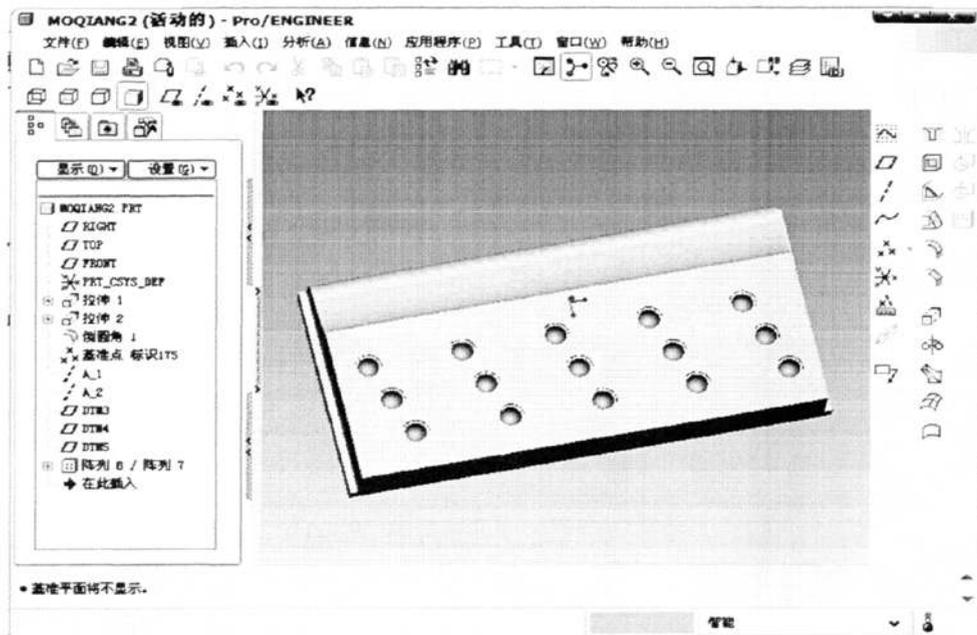


图 6-10 PRO/E 环境观察搜索模块

Fig6-10 PRO/E situational awareness search

在 PRO/E 环境下，可以利用 PRO/E 参数设计软件，进行局部的修改，修改结果如图 6-11 所示，进行属性描述并存储库（1）中，便于以后再次利用

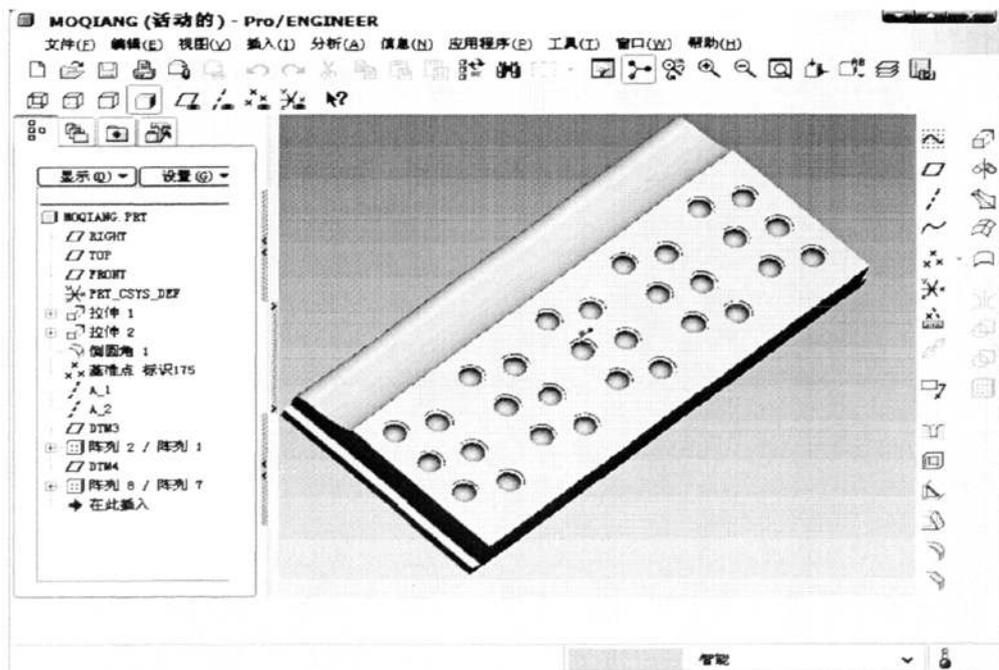


图 6-11 借助 PRO/E 参数设计修改后的模块

Fig6-11 The module after the PRO/E parameter design revising

6.3 小结

本章进行了模块搜索功能的尝试，总体上进行了两步，一是按照功能的角度对搜索出的模块进行对比，说明模块搜索优劣，不但与属性描述好坏有关，而且还于搜索设置参数优劣有关，所以在设计时，要充分考虑到二者的结合点，达到最好的搜索功能。以符合设计人员功能模块的需求和达到设计的高效性。二是进行模块的修改，当搜索的结果不是符合设计所需要的模块，但是搜索的模块与需要的模块有着很大的相似性，只需简单的修改就可以满足设计人员的需要，这时我们就直接双击搜索的三维参考图片，直接进入 PRO/E 环境，进行更加详细的观看模块，并进行局部的修改，达到设计人员需要的功能模块，并进行类似的属性描述，库存于对应的模块库中，为以后再次利用做储备。

从以上两步可以看出软件实施的三个难点：

(1) 模块划分的角度是否合理，划分的多少，功能相同模块区别多大等都影响到后来软件实施的优劣；

(2) 对模块进行属性描述是否全面，描述的多少才比较合适，模块之间的区别性是否明显等这些特点比较难以把握；

(3) 在进行搜索参数设置时是否与模块属性描述保持一致，二者的结合点如何，结合的程度也是一个难以把握的问题。

这些难点为以后模块化设计指明了方向，随着各项技术的发展和模块化设计研究的深入，这些问题会逐步得到解决的。

7 结论与展望

7.1 总结

模块化设计的设计理念是在生产部门希望快速响应市场，同时降低产品开发成本，缩短设计周期的要求下提出的。作为快速设计核心技术，模块化设计正走向各个领域，并与各个行业的先进技术相互融合，如与 CBR、参数设计、变形设计等先进技术结合，使得模块化设计技术获得前所未有的发展形式。

本文充分利用了模块化设计先进的思想和方法，并结合 CBR、变形设计、参数化设计等技术，按照功能的角度进行了全自动药品包装机模块的划分与规划。基于 CBR 的模块化设计的实施，需要分为三大步：(1)对已有产品的模块的划分和设计；(2)对模块的属性描述和库存也就是对模块的数据库管理；(3)从库中按照功能的方式提取功能模块进行模块再利用或再设计。这三步互相牵涉，互相影响，所以需要设计人员有着丰富的设计经验，统观全局的思想，和渊博的设计隐性知识。

第一步按照功能的角度对药品包装机进行了纵、横系列划分，在划分模块的同时，要充分考虑到模块设计生产的可行性、模块存储属性区别性，参数化模块再次利用易于修改等特性，为模块的实际应用打下良好的基础。

第二步对划分好的模块进行管理和库存、尤其对模块恰当的属性描述最为关键，因为这牵涉到后来模块再次利用提取的是否准确、是否达到设计者的要求，所以进行模块属性的描述是关键的一个环节。

第三步是对设计软件的应用，按照功能的角度进行模块的搜索，然后在按照模块的其他属性进行准确的定位，符合要求直接调取利用，不符和要进行参数修改或变形设计达到要求为止，并把新设计的功能模块进行属性描述和库存。该步的实施是以药品包装机成型模块为例进行功能搜索和 PRO/E 环境进行参数再设计进行验证的，具有实用价值。

7.2 展望

本课题前面的研究虽然取得了一些成果，但是由于时间和本人水平的限制，课题的研究还有许多不足之处，有待于进一步的完善和改进，说明如下几点：

(1) 进行模块的划分从功能的角度考虑的比较，但是从结构的角度考虑的过少，需要进一步考虑模块内部结构，内部结构偏重于形状特征，便于设计和加工，同时能更好的与变形设计技术相结合。所以在以后研究模块的划分和规划时要兼顾二者，使其形成优势互补；

(2) 对于模块的管理，进行模块属性的描述是最为关键也是难点的一步，因为属性描

述的好坏，直接关系到模块搜索的效率和准确性高低，所以在属性描述时一定要抓住模块的主要特征。本文只对少量的模块进行属性描述，在提取模块时效率和准确性都比较高，但是如果数量庞大的话，怎么去区分庞大的模块属性，怎么进行庞大的数据库语言编程，是进一步需要考虑的问题；

(3) 模块搜索优劣，不但与模块属性描述好坏有关，而且还于搜索设置参数的优劣有关，所以在软件设计时，要充分考虑到模块属性描述和界面搜索参数设置的结合点，但是这个结合点却是个比较难以把握的区域对象；

(4) 本课题的研究牵涉到整个机械产品的模块问题，具体的怎么解决有待于进一步的考证，同时模块数量的庞大，模块的规划和设计不是短期就能完成的，需要长期的多行业专业设计人员共同参与，才能实现机械系列产品的模块化设计；

(5) 关于模块的实例修改，在模块的设计时采用的是 PRO/E 环境进行的三维模块设计，提取的模块需要变形设计或需要修改的情况下，其完成修改方式是完全按照 PRO/E 软件提供的参数化设计功能实现的，所以 PRO/E 二次开发的性能对实例修改影响很大。随着技术的不断进步，各项技术的不断融合，实例的修改将会得到顺利的实施。

致 谢

本文是在恩师郑甲红教授的悉心指导下完成，在论文完成之际，回顾三年艰辛的学习生活，想到平时关心支持我的父母、老师和同学，由衷的感激之情溢于心间。

首先感谢我的导师郑甲红对我在选题、课题研究、理论实践过程的悉心指导和有力的支持，在生活上给予不时的关怀和帮助，在思想上不断的培养和教育。郑老师渊博的学识、严谨的治学作风、生活中和蔼可亲平易近人给我留下深刻的印象，并使我受益匪浅。在此以最真挚的祝福祝愿郑老师及家人身体健康、工作顺利、生活幸福美满。

衷心的感谢室友李健对我在编程中给予的无私帮助和指导，感谢同研究室一起工作的田振亚同学对我在研究中的鼓励和学术的指点，感谢材料成型研究室的贾娟娟同学对于我在模块建模方面给予无私的帮助和指导。祝愿他们在将来的工作中取得辉煌的成绩，生活美满幸福。

感谢浙江圣雷有限公司，为我在药品包装机上调研工作中给予大力支持和生活上无微不至照顾。

感谢我的父母在我学习期间给予我精神和物质上的支持。感谢我的哥哥姐姐给予我的鼓励和无私的帮助。

衷心感谢在百忙之中抽出时间对论文进行评审的各位专家和学者们

最后，谨向所有关心和帮助过我的人们致以最诚挚的谢意！

学生：郭文举

2009-3-29

参考文献

- [1] 方昀. 机械产品快速设计技术[J]. 计算机辅助设计与制造, 1999(5): 5-6.
- [2] 藤启, 王科社, 孙江宏等. 试论快速设计技术与方法[J]. 北京机械工业学院学报, 2000, 15(2): 15-18.
- [3] 齐尔麦. 机械产品快速设计原理、方法、关键技术和软件工具研究[D]. 天津, 天津大学, 2003.
- [4] 马雅丽. 产品敏捷化设计[J]. 机械科学与技术, 1997, 18(4): 662-664.
- [5] 钟廷修. 快速响应工程和快速产品设计策略[J]. 机械设计与研究, 1999(1): 9-12.
- [6] 苟吉华, 彭颖红, 阮雪榆. 基于 RPM/PDM 技术的集成快速设计与制造系统的研究[J]. 机械科学与技术, 2000, 19(2): 321-324.
- [7] 汪应洛. 支持快速产品创新的先进制造模式及其管理研究[J]. 中国机械工程, 2002, 11(2): 86—88.
- [8] 高广达. 虚拟模块化设计技术的研究及其在数控机床中的应用[D]. 天津: 天津大学, 2001.
- [9] 童时中. 模块化设计的技术经济价值[J]. 标准化报道, 1996, No. 3.
- [10] 劳俊, 伍世虔等. 模块化与现代制造技术[J]. 制造技术与机床, 1994, No. 9.
- [11] 贾延林. 模块化设计[M]. 机械工业出版社, 1993. 9.
- [12] 胡维刚. 机床模块化设计及其智能支持系统的研究与实践[D]. 武汉: 华中理工大学, 1993. 3.
- [13] Ulrich, k. and K, Tung. Fundamentals of product Modularity, Issues in Design/Manufacturing Integration. pp. 73-79, A, ASME, 1991
- [14] Suh, N. P. The Principle of Design. Oxford University Press. Oxford, U. K, 1990
- [15] Pahl G. and W Beitz. Engineering Design-a systematic approach. Springer-Verlag, London, U. K, 1996
- [16] 劳俊等. 模块化与现代制造技术[J]. 机床制造与自动化, 1994, 9: 40-42.
- [17] 童时中. 模块化设计的技术经济价值[J]. 机械制造与自动化, 1995, 6: 1-12.
- [18] 施进发, 梁锡昌. 机械模块学理论[M]. 中国机械工程, 1997, 6: 53-55.
- [19] 胡维刚. 机床模块化设计及其智能支持系统的研究与实践[D]. 武汉, 华中理工大学, 1993, 3.
- [20] [日]大川二著, 尹孟年译. 机床模式化设计[J]. 机床, 1979, No. 5.
- [21] 一机部机床设计工作研究班. 机床模块化设计(一), 机床, 1950, No. 10.
- [22] 一机部机床设计工作研究班. 机床模块化设计(二), 机床, 1980, No. 11.

- [23] 童时中. 模块化产品系统(总体)设计[J]. 江苏机械制造与自动化, 1994, No. 6.
- [24] 童时中. 模块化原理设计方法及应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [25] Thomas D. Miller, Per Elgard. Defining Modules, Modularity and Modularization[J]. Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, 1998.
- [26] 余俊. 中国机械设计大典[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2002.
- [27] 郭津津, 徐燕申, 朱世和, 董黎敏, 史津平. 变型产品数据管理技术及系统的实现方法[J]. 现代生产与管理技术, 2003.
- [28] 徐格宁, 王文红. 机械以 D 模块化技术仁[J]. 起重运输机械 2003, 7.
- [29] 青木昌彦. 模块时代:新产业结构的本质仁[M]. 上海远东出版社, 2003.
- [30] 杨淑梅. 论模块化设计与标准化[J]. CAD 热门, 1999.
- [31] 徐鲁君. 试论标准化在企业新产品开发中的应用[J]. 企业标准化, 2000.
- [32] 郭津津, 徐燕申, 朱世和, 董黎敏, 史津平. 产品快速设计系统中的模块划分及建模方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003, 9.
- [33] 钱平凡, 黄川川. 模块化:解决复杂系统问题的有效方法[R]. 国务院发展研究中心调查研究报告, 2003, 10.
- [34] 阮金元. 如何开展产品研制中的“三化”工作[J]. 机械设计, 2003, 20 (7): 12-14
- [35] 汪应洛. 支持快速产品创新的先进制造模式及其管理研究仁[J]. 中国机械工程, 2000, 11.
- [36] 郑硕均. 浅谈模块化设计中的模块划分和组合[J]. 1985(5) .
- [37] 高飞, 肖刚, 潘双夏等. 产品功能模块划分方法[J] . 机械工程学报, 2007, 43 (05): 29~35
- [38] 吴锡英. 论相似性思维与技术创新[J]. 制造业自动化, 2000, 5.
- [39] 杜陶钧, 黄鸿. 模块化设计中模块划分的分级、层次特性的讨论[J]. 机电产品开发与创新, 2003(2): 50-53.
- [40] Hunag Chunehe. Overview of modular Product development, Natl Sci CouncROC(A), 2002, 24(3):149-165.
- [41] 宗鸣摘, 蔡颖, 刘旭东等. 产品模块化设计中多角度、分级模块划分方法[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(5): 552-556.
- [42] 王鹏. 基于模块化的石材异型制品加工设备快速设计[D]. 山东: 山东大学, 2002.
- [43] 童时中. 模块化设计的技术经济价值[R]. 标准化报道, 1996, No. 3.
- [44] 杨小兰. 模块化设计技术探讨[J]. 河南机电高等专科学校学报, 1999, No. 1.
- [45] 徐燕申, 侯亮. 液压机广义模块化设计原理及其应用[J]. 机械设计, 2001, 7: 1-4.
- [46] 高卫国, 徐燕申, 陈永亮, 章青. 广义模块化设计原理及方法[J]. 机械工程学报,

2007, 43 (6): 48-54.

- [47] 钟伟宏. 面向产品族的液压机广义模块化快速设计技术[D]. 天津: 天津大学, 2004, 21
- [48] 徐燕申, 徐千里, 侯亮. 基于 CBR 的机械产品模块化设计方法的研究[J]. 机械科学与技术, 2002, 21 (5): 833-835.
- [49] Aamodt A, Plaza E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches[J]. AI Communications, 7(1):39-59.
- [50] Ramon lopez de Mtantaras. Case-based Reasoning[M]. Springer-Verlag Heidelberg, 2001
- [51] 张光前, 邓贵仕, 李朝晖. 基于事例推理的技术及其应用前景[J], 计算机工程与应用, 2002, 38 (20) : 52-55.
- [52] 李明. Multi-Agent的范例推理[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2001, 3(18): 57-59.
- [53] 郭艳红, 邓贵仕, 基于事例的推理(CBR)研究综述[J], 计算机工程与应用, 2004, 21: 1-5.
- [54] 赵卫东, 李旗号, 盛昭瀚. 基于案例推理的决策问题求解研究[J]. 管理科学学报, 2000, 4 (3) : 29-36.

攻读学位期间发表的学术论文目录

发表论文：

- [1]郑甲红, 郭文举, 李 健, 田振亚。基于 CBR 的机械系列产品模块化设计。机械设计与制造 2009.3: (256-258)
- [2]郭文举, 郑甲红。基于 CBR 全自动药品包装机的模块划分与规划, 机械设计与制造 2010.2 已录用。
- [3]田振亚, 高东强, 郭文举, 王海波。二维数控工作台设计。机械设计与制造 2009.2 : (179-180)