

模块化技术在航空数控机床设计中的应用研究

Application Research on Modularization Design of NC Machine Tool in Aviation Industry

北京航空制造工程研究所 杨 洁

[摘要] 介绍了机床产品的模块化设计方法,探讨了其在航空大型数控机床设计中的应用。

关键词: 航空数控机床 模块化设计 模块划分

[ABSTRACT] The modularization design of machine tools is introduced, and the application in design of NC machine Tool in aviation industry is discussed.

Keywords: Aviation industry NC machine tool
Modularization design Modular division

作为加工飞机零件的专用机床,航空大型数控机床的设计需要综合考虑结构、速度、扭矩、摆角、精度等多方面因素,设计和制造难度大,设计周期相对较长,造价相对较高。采用传统设计方法进行新产品的设计开发时,可借用的部件较少,有些部件即使采用已有的结构,但尺寸稍有改动就需要重新设计出图,导致设计周期的延长和成本的增加。特别是随着市场竞争的加剧,航空数控机床产品开发周期的缩短和成本的降低显得越来越重要。这就要求在机床设计方面采用新的先进的设计理念和方法作为指导,机床模块化设计正是适应这一发展要求而提出的一种现代设计方法。

1 模块化设计

1.1 模块化设计的概念

模块化设计是指在对一定范围内的不同功能或相同功能不同性能或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构成不同的产品,以满足不同市场的需要。

机床模块化设计就是将模块化技术应用于机床的设计开发中,在对用户需求进行综合分析的基础上,设计出一系列具有不同用途和结构而功能相同的可互换的功能单元(包括组件、部件、装置或系统等,然后通过模块的不同组合装配成满足客户要求的机床。

1.2 机床模块的划分原则

模块的合理划分是一项非常复杂而关键的工作。模块划分太细,会增加组合装配的工作量和难度;模块划分太粗,又可能导致产品不能涵盖所需的各种类型。因此,模块划分应遵循以下几条原则:

(1) 根据机床的结构类型和特性要求划分模块,力求典型化。

(2) 划分的模块在功能和结构上要具有一定的独立性和完整性,便于模块的重组和互换。

(3) 机床的基础大件是功能独立的单元,应作为单独的模块,考虑到基础件是整台机床的支撑并直接影响机床的性能,要预先对不同结构、不同尺寸模块的刚度、强度和承载能力进行有限元分析,以确定其使用范围。

(4) 对结构复杂的部件可以进行分层细化,划分为一级模块、二级模块、三级模块等。一级模块就是组成产品的基本模块,二级模块是在一级模块的基础上进一步划分,依此类推;

(5) 根据模块对机床的结构、性能、制造周期、成本等方面的影响,可以将模块分为重要模块和次要模块,突出重点,有利于提高模块组合后的效果。

(6) 模块单元应具备可扩充性,在模块中留有一定接口,以便增设新的模块,满足新技术的要求。

1.3 模块化设计的优点

(1) 缩短新产品的设计和制造周期。

采用模块化设计进行新产品的开发,部分设计可直接选用已有模块,在此基础上更新少数模块或重新设计个别模块即可,大大节省了设计出图的时间。机床部件实现模块化后,工艺流程和工艺装备都可定型,制造周期必然会缩短。

(2) 有利于产品的更新换代。

机床常用部件和基础部件实现模块化后,设计者可以将更多的精力投入到新结构、新技术的设计试验中,并将已试验的新技术应用于模块设计中,代替那些结构或技术上陈旧的模块,在其他模块不变的基础上,组成先进的产品。

(3) 提高机床的稳定性和可靠性。

模块化设计中,模块是功能和结构相对独立的单元,可以预先对模块进行试验研究,以确保其性能的稳定可靠。

(4) 降低成本。

模块化设计一方面减少了设计工作量,降低了设计成本;一方面有利于采用先进工艺和先进技术,降低废

品率,从而降低了制造成本。

(5)便于维修。

由于机床的大多数部件由模块组成,具有很高的互换性,因此便于维护和修理,必要时可更换模块。

1.4 机床模块化设计的研究现状

基于模块化设计的这些优点,早在 20 世纪 70 年代末模块化技术就传入中国,国内不少机床厂家和研究机构开始进行模块化机床的研究,其间取得不少成果,但主要集中于小型模块化机床。

从研究现状看,机床设计正朝着模块化方向发展,但大型工业级数控机床由于其自身结构的复杂性和一些关键技术不成熟等原因,离真正意义上的模块化机床还相差甚远。对于应用于航空航天领域的大型数控机床而言,其规格大、结构复杂、形式多样、生产批量小的特点对模块化技术的应用提出更大的挑战。

2 模块化设计的可行性

多年来,国内航空机床制造商在自主研发的基础上,采用与国外知名机床制造企业合作的方式,引进和吸收世界先进机床的设计和制造技术,逐步实现加工飞机零件所需的主要设备的国产化,如大型龙门铣床、桥式高速铣床、五轴联动加工中心等。随着技术的不断成熟和机床型号的不断完善,国产航空数控机床的设计由以前的初次设计演变为改进设计、变型设计,这为模块化设计的应用提供了前提和可能性。

此外,航空数控机床的结构特点为模块化设计的可行性提供了理论上的支持。

航空大型数控机床形式多样,以龙门式结构为例,根据坐标轴数、主轴数、机械主轴/电主轴、有/无刀库等不同,可以划分为不同类型,如图 1 所示。

按图 1 中分组进行不同的组合,共有 $2^4=16$ 种基本类型。虽然类型多样,但机床的构成一般包括床身(工作

按总体结构分	按主轴类型分	按联动轴数分	按主轴数分	按有/无刀库分
龙门式	机械主轴	三坐标	单主轴	有刀库
桥式	电主轴	五坐标	多主轴	无刀库

图1 航空大型数控机床的分类

Fig.1 Classification of NC machine tools in aviation industry

台)、立柱、横梁、横滑板、垂滑板、主轴箱/电主轴几大部件,这些部件具有相似的结构,通过部件的变型和功能的增减,可以实现机床的变型。

同一类型的机床可划分为基本相同的若干部件,通过参数的变化可形成同一系列不同规格的产品。以工作台为例,常用的长度规格有 5m、8m、10m、12m 等。在其他部件不变的前提下,通过改变工作台的长度规格从而形成一系列不同型号的机床。

不同种类的机床,某些基础大件如床身、工作台、立柱、横梁、横滑板等仍可采用相似或相同的结构。例如用于加工铝合金零件的桥式机床和龙门式机床,即可采用相似的横梁结构。

数控机床中有不少独立的部件单元,如进给箱、主轴箱、导轨副、丝杠副、齿轮齿条副、位置反馈装置、防护装置等,易形成标准化和系列化,这一特点使其适用于模块化设计方法。

3 模块化设计的实施方法

结合航空大型数控机床在设计生产中的特点,对模块化设计在航空大型机床中的应用作进一步的探讨和研究。

3.1 航空大型数控机床产品模块的划分

根据模块划分原则,航空大型数控机床大致可划分为以下模块,如图 2 所示:

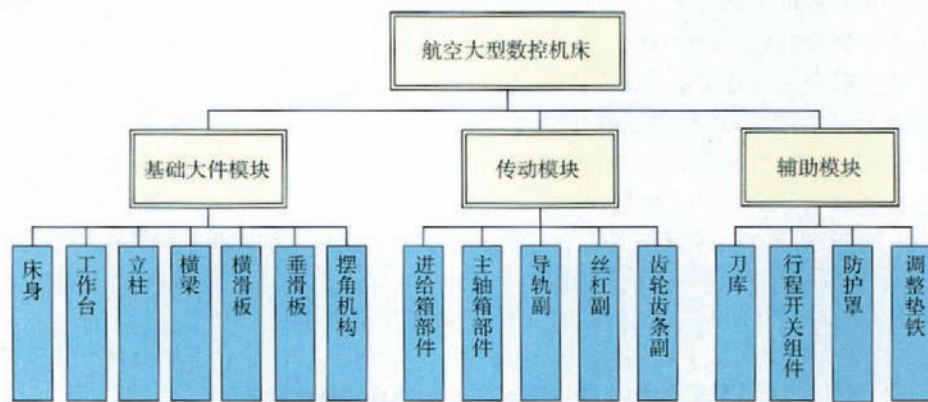


图2 航空大型数控机床的模块划分

Fig.2 Module division of large NC machine tools in aviation industry

其中,进给箱部件和主轴箱部件结构复杂,可以作为一级模块进行进一步细分。如主轴部件可划分的二级模块有:主轴组件、变速装置和主轴箱体。

模块的合理划分是模块化设计应用的基础和关键,并直接影响机床的性能、外观、成本和应变能力。应针对不同类型机床的结构特点,进行更加细致、准确的模块划分。

龙门式结构和桥式结构是航空大型机床常用的 2

种结构形式。下面分别对这两大类机床进行模块的划分,如表 1 所示。

表1 模块的划分

机床形式	加工范围	床身	工作台	立柱	横梁	横滑板	垂滑板	摆角机构	主轴箱	电主轴	进给箱
龙门式	钛合金	○	—	○	○	○	○	○	○	—	○
	铝合金	○	—	○	○	○	○	○	—	○	○
桥式	铝合金	○	○	—	○	○	○	○	—	○	○

注:表中○表示可单独划分出此模块;—表示不可单独划分此模块

于钛合金、铝合金材料的中高速大功率切削。加工钛合金零件一般选用机械主轴,提供低速大扭矩切削;加工铝合金零件时一般选用大功率电主轴,可提供较高的转速。移动龙门式机床的模块可划分为床身、立柱、横梁、横滑板、垂滑板、进给箱、摆角机构、主轴箱/电主轴几大部分。由于床身对机床的整体结构和其他部件影响较小,可作为优先模块化的部件。为保证力学性能并便于装配和运输,可以根据床身的不同宽度生成特定长度规格的模块。例如床身模块可定为 4 种工作台面的宽度规格:2m、2.5m、3m、3.5m,宽度为 2m、2.5m 的长度规格为 4.5m 和 6.5m,宽度为 3m、3.5m 的长度规格为 2.5m。每个床身模块在长度方向留有对接的接口,需要不同长度的床身时,只需将若干个床身模块对接即可。床身的宽度不同,横梁也要相应发生变化。横梁的跨距和截面尺寸对机床刚度影响较大,因此必须预先对横梁结构进行有限元分析,确定合理的跨距范围。

桥式机床是从龙门式机床发展而来的,采用工作台与导轨基座分离的结构,将立柱与床身固定在一起,仅横梁移动。这种结构降低了移动部件的惯性,使机床具有较好的动态性能。此类机床一般配置高速精密电主轴,用于铝合金零件的高速加工。桥式机床的模块可划分为底座、工作台、横梁、横滑板、垂滑板、进给箱、摆角机构、电主轴几大部分。桥式机床的底座和工作台结构都相对简单,可以形成不同宽度和长度的模块,通过模块的对接实现加工范围的扩大。决定桥式机床刚性的关键部件是横梁,其与龙门式机床的横梁结构相似,可以根据有限元分析的结果,确定不同截面尺寸和跨度的横梁模块所适用的范围。

此外,龙门式机床和桥式机床可以通过加装机械摆角机构或双摆角主轴头、增加主轴数、增加刀库等增减模块的方式实现机床的变型。

3.2 模块库的建立

模块化设计的产品不能按照常规的产品进行生产管理,而必须以模块为单元通过数据库进行管理。将各模块的模型和图纸都存于数据库中,生成模块库,模

龙门式机床多采用移动龙门,床身和工作台为一体式结构。龙门式结构刚性大、静态力学性能好,一般用

块库包括标准模块库和专用模块库。标准模块库中的模块具有通用特性,适用于不同类型机床,根据参数规格的不同形成一系列模块,如导轨副、丝杠副、齿轮齿条副、刀库等。专用模块库中的模块只适用于几种特定类型的机床,除确定主要规格尺寸以外,还包括刚度、强度、承载能力等力学性能参数。

设计人员进行新机床的设计时,首先根据客户需求进行功能和结构分析,然后在模块库中查找相应的模块,对无法直接利用的模块可在其基础上进行修改,形成新的模块。这样不仅能缩短设计周期,减少设计者工作量,还可以保证设计者将更多精力投入到关键部件的创新或改进设计中。

为便于模块库的数据存储和管理,使设计者能方便快速地查找模块,每个模块都要有唯一的代码以示区分。科学规范的编码不仅能清楚地描述零件模块的类型和规格,还能使复杂的零件分类简单化,便于记忆和应用。

(1) 标准模块库的编码方式。

标准模块库中的零件一般结构相对简单,有些是外购件或是批量生产的零件,代号编码比较简单,用零件的名称(首字母缩写)加主参数即可。以镶钢导轨为例,介绍标准模块的编码方式如图 3 所示。

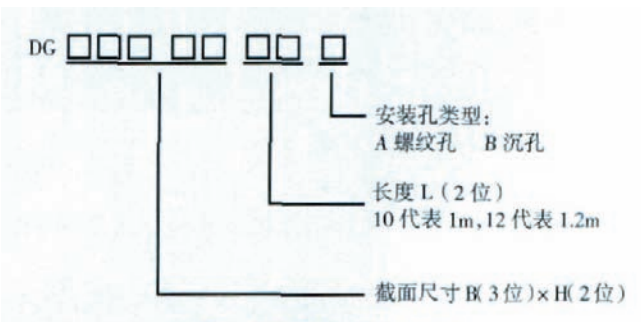


图3 镶钢导轨图样编码方式

Fig.3 Coding rule of rectangular guideways module

(2) 专用模块库的编码方式。

专用模块库中的模块结构复杂,主参数较多,模块的代码不仅要描述模块的名称、结构特征,还要描述接

口特征、次级模块与上级模块的关系等。如图4所示,一级模块的代码由3部分组成:模块名称(字母缩写)、结构特征和接口特征。

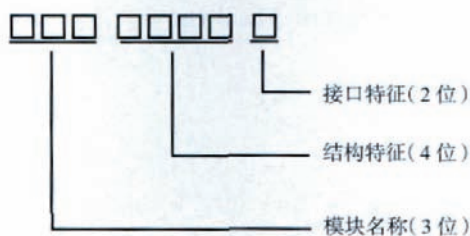


图4 一级模块编码方式
Fig.4 Coding rule of module level 1

二级模块的代码除了包括模块名称、结构特征和接口特征以外,还要表明它与上级模块的关系,它的编码方式是一级模块的代码加上二级模块的标识码(见图5),二级模块标识码的编码方式与一级模块相同。

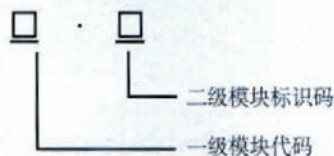


图5 二级模块的编码方式
Fig.5 Coding rule of module level 2

3.3 模块接口的标准化

由于模块需要通过多种组合方式装配在一起,设计时必须考虑到接口的匹配问题,即接口标准化。模块接口设计的不标准,会造成模块组合装配时的很大不便,局限模块化设计的应用范围。从机械层面上说,接口主要包括接口的尺寸配合、接口面的精度和形位公差是否匹配等。

3.4 新技术对机床设计模块化的推动

随着技术的不断发展,电主轴、直线电机、线性导轨、双电机消隙机构等新技术的应用越来越广泛。这些新技术取消了传统的变速传动机构,替代了镶钢导轨、双齿轮消隙减速器等难于制造的零部件,使机床结构极大简化,制造装配难度大为降低,更加便于机床模块的重组和扩展,使机床更适合模块化设计。因此,新技术的广泛应用必将推动机床设计的模块化进程。

4 模块化技术在机床设计中的应用实例

国内某机床厂采用模块化设计方法对龙门铣床进行系列化设计,将龙门铣床划分为30多个模块组,其中包括工作台模块组、立柱模块组、横梁模块组、铣头模块组、进给箱模块组、传动装置模块组、液压装置模块组、电气装置模块组等,通过不同模块组的变型和组合,可

以形成近千种不同型式和用途的机床。

通过改变铣头的结构布局,配置不同数目或不同性能的铣头,可以形成100多种基型产品。

通过基础件模块规格尺寸的变化可以形成基型产品的系列变型产品,以满足不同类型零件的加工要求,如工作台的加长型可适应狭长尺寸零件的加工,龙门架和工作台的加宽型可适应较宽尺寸零件的加工,龙门立柱的加高型和降低型可适应加工超高和扁形零件。基型产品的变型尺寸规格如表2所示。

表2 基型产品的变型规格

工作台长度/mm	3000、4000、5000、6000、7000、8000、9000、10000、12000
工作台宽度/mm	1600、2000、2500
立柱间距离/mm	2000、2400、2900、3200
铣头端面至工作台面最大距离/mm	1600、2000、2500

5 结束语

模块化设计是机床设计和生产发展的必然趋势,它可以缩短机床的设计周期,降低生产成本,加速产品的更新换代和新技术的诞生。在模块化设计的指导下,航空数控机床在规格尺寸、精度、性能等方面将具备更大的可扩展空间,以满足未来大飞机零部件的加工需要。

(责编 侧卫)

(上接第68页)

4 结束语

随着先进制造、知识经济的不断发展,为提高核心竞争力,制造企业在推动知识管理、协同制造方面的工作力度正不断加大,数控刀具作为最重要的一种生产制造资源,正需要借助深入开展刀具应用知识管理和刀具业务协同来实现数控增效、工艺优化,直接提升企业制造能力。在企业生产过程中,数控刀具管理业务目标明确,范围清楚,有足够的业务覆盖面又不是非常复杂、知识含量高,但缺乏足够的技术支持,直接与生产相关并影响生产绩效,这些特点使得围绕数控刀具业务开展知识管理和业务协同、推动数控刀具管理信息化更容易落到实处并取得实效,是很好的入手点。

参考文献

- [1] 田玉龙,彭艳萍. 实施千台数控机床增效工程,提升军工企业生产制造能力. 航空制造技术,2008(10):26-29.
- [2] 彭燕萍,彭光宇. 积极推进增效工程,全面提高加工效率. 航空制造技术,2008(13):54-65.
- [3] 马云富,张青. 数控机床增效实施途径. 兵工自动化,2008,27(2):1-3.

(责编 良辰)