

生长型设计中的功能公差设计理论*

杨波¹ 杨涛² 昃向博¹

(1. 济南大学机械工程学院 济南 250022; 2. 新加坡技术动力专用公司 新加坡 051627)

摘要: 在产品结构设计自动化技术基础上, 研究生长型设计中公差进化设计的策略与原则, 提出将产品功能要求转化成零部件之间的几何约束关系, 并最终表达为对功能尺寸约束的功能公差设计理论。建立成本—公差敏感函数的数学模型, 将产品设计、制造、使用以及技术折旧成本作为公差分配的控制约束, 并在其中引入产品使用磨损模型, 以经济学中的贴现率来表征技术折旧成本, 以成本最低为目标函数, 以合理的工艺能力指数、装配功能、装配质量作为约束条件, 实现基于功能与成本的面向产品全生命周期的尺寸公差分配。最后, 设计实例说明所提出的功能公差设计理论能够在生长型设计中成功应用。

关键词: 功能公差理论 生长型设计 功能结构设计 公差分配 产品全生命周期设计

中图分类号: TP391.72

0 前言

通过研究产品从无到有的设计过程, 笔者发现产品设计与生物生长具有结构上、过程上以及阶段重要性的相似; 同时就结构设计过程的本质而言, 设计初始阶段存在的部分设计信息随设计过程的逐步展开而逐渐丰富, 这种原始设计信息在产品设计过程中的传递与增加, 是对生物生长中遗传与进化现象形象地体现和直观地模拟, 因此可以借用生物生长机理指导产品的设计过程^[1-3]。设计过程中, 当建立了产品的功能模型后, 产品方案的功能、特征信息是完备的, 在此基础上即可进行从功能域到载体域的产品进化生长^[4], 实现从产品基因到具有一定参数化结构的产品的生长型设计。

通过研究产品及其公差设计过程, 可以发现公差设计的一般规律: 即紧随着结构的自顶向下、不断进化, 公差设计也是一种不断生长的过程, 整个产品约束分解为部件约束, 最后分解为单个零件特征的公差。公差是联系设计与制造的纽带, 为在生长型设计中实现公差的同步优化分配, 提出了功能公差设计理论, 在原有的基于功能表面分解重构的设计自动化理论基础^[5]上, 通过建立成本—公差敏感函数, 以成本最低为目标函数, 将使用磨损、技术折旧、加工方法的工艺能力、各种加工方法的误差分布、装配功能等功能约束条件, 引入到公差分配过程中, 以公差同步综合进化设计作为产品设计过程的推动因素, 实现公差的优化设计。

1 生长型设计过程模型

所谓生长型设计是模拟生物生长机制, 将生物细胞分裂、分化的生长发育过程运用在设计过程中, 在进化机制的引导下, 使设计对象在需求底层进行自适应设计, 从而使设计达到一定的自动化与智能化的设计模式。

生长型设计过程的实质为从产品功能原理出发, 在设计元知识的作用下寻求一条功能需求与物理结构之间的复杂映射过程, 其映射模式可表示为

$$F \xrightarrow{f_{F \rightarrow S}} S$$

式中, F 、 S 分别为设计对象的功能域和物理域; $f_{F \rightarrow S} = f_1 \otimes f_2$ 为功能域到物理域的双层映射函数, f_1 为功能域到概念产品的映射函数, f_2 为概念产品到具有实体结构的最终产品的映射函数。

生长型设计应主要包含以下三个阶段。

1.1 创成产品原型

设计过程中, 以输入被操作对象的静态序列集合作为产品的原始需求, 从需求分析出发, 完成被操作对象的静态状态集合向产品行为性能集合的映射, 从而提出产品的行为性能要求, 产品原型由此产生。产品原型的物理载体为功能表面, 并包括了产品的功能、结构、装配以及力学信息等设计需求信息及产品功能特性。

1.2 功能域到概念产品的映射 f_1

产品原型“分裂”, 自动“发育”成表征产品结构构成的概念结构。

如图 1 所示, 相当于生物体内细胞分裂、生长的

* 山东省自然科学基金(Y2005F26)和济南大学博士启动基金(B0538)资助项目。20051107 收到初稿, 20060428 收到修改稿

过程,这是基于产品原型分解的从功能要求出发产生产品概念结构的自动推理过程。概念结构的生长从产品原型中功能表面“分裂”为若干个功能包络面开始,根据力和运动功能传递的需求由产品原型中的功能表面“生长”出执行单元、传动单元、结构单元,同时在装配模型上将设计要求映射为设计约束,并将其分解并向其他环节传播,最终长成产品的概念设计方案,此时产品体现为由功能零件及不同功能零件功能表面间关联信息组成的功能链模型,它是产品性状或功能实现知识的载体,而每个功能零件由一些表面及其关联信息组成,形成了概念意义上的实体。

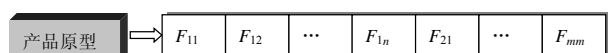


图1 产品原型——概念产品映射

这一映射过程 f_1 是一种基于系统粒度的产品进化。此过程中,产品概念结构随着系统模型的细化与复杂化,不断引入新的设计变量、动态完善,通过结构分解和约束离散实现设计目标。

1.3 概念产品到最终产品的映射 f_2

此阶段完成零件的进化,并产生具有工程实际意义的产品(图2)。

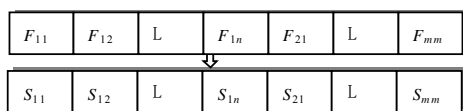


图2 概念产品——最终产品的映射

产品经过创成、进化两个阶段后,此时概念零件表现为不具备完整形状的功能表面集合体的简单单元,产品的概念设计方案表现为简单单元的复杂组合,概念产品到最终产品映射 f_2 阶段主要完成概念方案的几何结构的拓展,以及基于产品装配模型的零件之间全相关设计,并在此设计过程中,从产品以及零件的多方案设计中寻求最优设计路线。

2 生长型设计中的公差进化模型

在传统设计实践中,公差与构形设计是完全分离的,即先进行结构设计,再进行公差设计和分析;即使在并行思想流行的今天,结构与公差设计仍是按先后顺序分步进行,分别处理。

生长型设计过程中,产品结构是逐渐创成的,因此公差也是由原始精度需求随着结构的设计逐渐设计的,整个产品公差模型是一个逐渐进化、动态的过程。如图3所示,从需求分析开始,进行精度

需求分析,在结构分解重构进化设计的每一步进行敏感性分析,在考虑功能、装配、制造和成本等因素的基础上,公差也被分解成两项或多项公差要求,在已知精度需求或装配精度的情况下,输出各组成环的公差,将原始精度需求随着结构进化的步伐传递到每一级新的零件中。同时这些组成环的公差满足或保证上级被分解前的公差要求,使每一步设计后各个零件的公差以最优的分配来保证产品功能公差需求量。

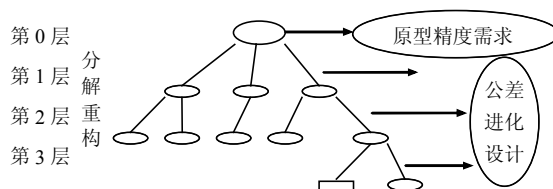


图3 结构创成与公差进化设计的关系

因此,对应于从产品原型→概念产品→最终产品的层次式信息模型,公差模型可分为单个公差项目模型、表面公差模型、零件公差模型和产品公差模型四级层次^[6]。

3 生长型设计中的功能公差设计理论

尺寸和公差分别确定了功能零部件的大小、位置、方向及其相对于理想实体的允差,因此产品结构的设计与其结构形状所允许的偏移量(即公差)是不可分的,两者一起定义了一组实际的产品结构。由于产品功能要求的实现在相当程度上依赖于组成该产品的各零件的几何精度,公差不仅是一些属性值信息,更具有内在的功能性含义。同时,作为联系产品结构和公差设计的中间环节,产品功能要求应转化成零部件之间的几何约束关系,并最终表达为对功能尺寸的约束。因此,提出了功能公差设计理论,以功能作为公差设计驱动因素,并以结构设计过程为基础进行公差的同步设计,以确保在满足原始功能需求前提下零件的互换性和加工的独立性,实现生长型设计中的公差并行设计。

定义 功能公差:生长型设计中,在功能域到概念产品的映射 f_1 过程中,对于任意功能零件 P , $\{G_i\}$ 为由 P 的边界 ∂P 分解而得到的子集——功能表面集,即 $UG_i = \partial P$, 当且仅当满足下列条件。

(1) 公差信息 $T = (S, \{G_i\})$ 。

(2) S 为公差控制项,且 $S = f_1 \cup f_2 \cup f_3 \cup f_4$,

其中 f_1, f_2, f_3, f_4 分别为装配质量、产品性能、加工方法以及使用寿命对公差的影响,则称 T 为功能零件 P 的功能公差。功能公差的设计模型如图4所示。

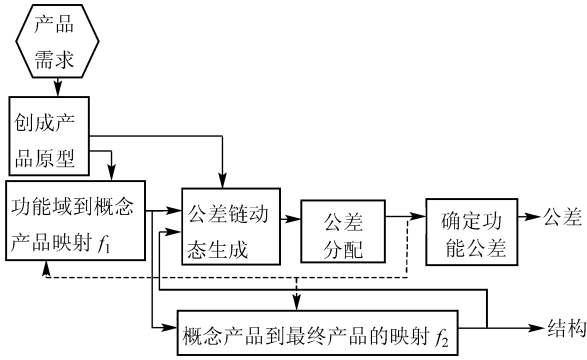


图4 功能公差设计模型

同时，规定功能公差具有如下设计策略。

- (1) 产品功能驱动产品结构设计，同时又约束和驱动尺寸及公差的设计。
- (2) 功能表面与尺寸及公差之间是约束与被约束的关系，二者之间又相辅相成。
- (3) 功能表面的类型和大小取决于产品功能参数。
- (4) 功能零件的功能取决于其功能表面类型、形状及其尺寸、公差。
- (5) 实际零件的功能取决于其功能表面类型、形状，实际零件功能的实现与否取决于其尺寸、公差是否在功能零件的允差范围之内。

传统公差理论是一种串联模型，而功能公差在公差进化设计时就对性能、加工方式进行综合考虑，避免了传统公差理论要经过多次反复才能使产品满足性能要求的困境，是一种并行模式。

4 功能公差的分配模型

4.1 公差链的动态生成

生长型设计中，尺寸链的生成是一个搜索、迭代过程。首先，从产品原型中取出装配体间的装配约束信息；然后，分析装配约束信息，得到具体装配的功能表面的信息；最后，根据不同的配合约束关系从创成的结构功能表面中取出不同的尺寸信息，并通过在敏感方向上首先宽度优先、然后深度优先的搜索算法，即可搜索出封闭的装配尺寸链。

4.2 功能公差的分配

公差方案不仅取决于装配性能需求，也要受到加工能力和产品成本的约束。

在产品生成过程中，设计与制造之间典型的利益冲突是质量和成本。设计者喜欢尽可能严格的工艺限制，并用规定最小的设计公差确保产品的正确功能；相反，制造人员则喜欢较宽的公差规定，以能在较大的制造性能范围内连续操作，减少废品数量。为合理地均衡这种利益冲突，并尽可能延长产品的使用寿命，将生长型设计中功能公差优化分配

策略建立在成本—公差敏感函数基础上，其目标函数主要由以下二部分组成。

(1) 加工成本—公差函数。通过该函数建立公差取值与具体加工方法之间的成本关联。

采用的加工成本—公差函数如式(1)所示，该函数建立在初等模型的基础上，同时又融入了制造环境的具体状况和历史统计数据^[7]。

$$M_c = \sum_{i=1}^n M_{ci} = \sum_{i=1}^n \left(A_i + \frac{B_i}{T_{d_i}^{p_i}} \right) \quad (1)$$

式中， A_i 为与加工方法无关的参数，如材料成本、加工调整成本等； B_i 为将单一尺寸的公差加工在指定范围 T_{d_i} 内时所产生的成本损耗； T_{d_i} 为某一尺寸公差值的大小；指数 p_i 则为特定加工环境下，制造成本对该公差变化的敏感系数； n 为某一尺寸链内组成环的数量。

(2) 基于多因素成本—公差模糊质量损失函数。通过该函数建立公差取值与功能约束(如使用磨损、技术折旧等模糊因素)之间的成本关联。

由于田口质量损失模型可以很好地描述质量特性偏离理想值时对产品使用所带来的质量损失，因此，可采用田口模型建立公差取值与装配质量间的成本关联，但田口质量损失模型是一种简单的对称二次型函数，存在以下缺陷。

(1) 该质量损失函数是对称分布的，但大多数情况下，实际特性的分布总是存在偏移，而且在不同偏移方向其损失值也不同，损失并不是对称的。

(2) 该模型中质量损失函数是无界的，这与现实不符。

(3) 因产品的运行、零件磨损的质量特性值随时间的变化在田口质量损失函数中并未体现出来。

(4) 质量损失还应包含由于新产品的出现而引发的旧产品的质量损失。

作为质量损失成本计算依据的田口模型，在实际应用中具有较大的局限性，同时由于产品质量的定义与评价总是存在着一定的模糊性，因此应用模糊理论对田口质量损失模型进行了扩展，将多种模糊因素引入其中，建立了模糊质量损失模型。

基本定义如下。

(1) 模糊事件 \bar{A} 当尺寸偏差不满足要求时，该零件的最大质量损失为 C_{\max} 。

(2) 隶属函数 用 $\mu_{\bar{A}}(x)$ 表示装配质量特性对事件 \bar{A} 的隶属函数。

基于公差的模糊装配质量损失 Q_c 为

$$Q_c = \mu_{\bar{A}}(x)C_{\max}$$

当尺寸误差随机变量 y_i 的概率密度函数 $f_i(x)$ 已知时, 可由式(2)得到基于质量因素 y_i 的模糊质量损失的数学期望

$$E(Q_C) = C \max \int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{\bar{A}_i}(x) f_i(x) dx \quad (2)$$

设组成环 i 的优化目标值为 T_{d_i} , 显然当 y_i 偏离其目标值时产生损失, 且偏差越大, 损失越大。

4.3 隶属函数的定义

根据“入体原则”, 隶属函数可定义如下。

(1) 当组成环为包容面(孔)的尺寸时, 取下偏差 $EI=0$, 上偏差 $ES=T_{d_i}$, 则隶属函数如图 5a 所示

$$\mu_{\bar{A}_i}(x) = \begin{cases} \frac{x}{T_{d_i}} & x \in [0, T_{d_i}] \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

(2) 当组成环为被包容面(轴)时, 取下偏差 $EI=-T_{d_i}$, 上偏差 $ES=0$, 则隶属函数如图 5b 所示

$$\mu_{\bar{A}_i}(x) = \begin{cases} -\frac{x}{T_{d_i}} & x \in [-T_{d_i}, 0] \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

(3) 当组成环为非轴、非孔的一般长度尺寸时, 取 $EI=-\frac{T_{d_i}}{2}$, 上偏差 $ES=\frac{T_{d_i}}{2}$, 如图 5c, 其隶属函数可表达为

$$\mu_{\bar{A}_i}(x) = \begin{cases} -\frac{2x}{T_{d_i}} & x \in \left[-\frac{T_{d_i}}{2}, 0\right] \\ \frac{2x}{T_{d_i}} & x \in \left[0, \frac{T_{d_i}}{2}\right] \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

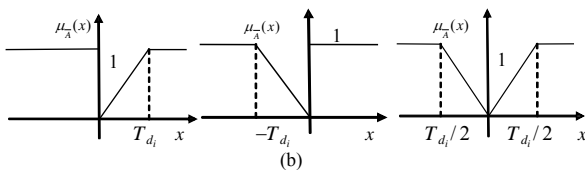


图 5 尺寸误差的隶属函数

4.4 模糊因素之一——零件使用磨损因素

式(2)描述了质量特性 y_i 偏离其目标值时产生的质量损失, 但在产品实际运行中, 由零件的使用而产生的磨损会对产品质量产生严重影响, 质量特性会越来越偏离其目标值, 因此质量特性 y_i 值的大小是时间 t 的函数, 相应的质量损失也与时间 t 成一定函数关系, 即 $E(Q_C)$ 可写作为 $E(Q_C(t))$ 。设产品的预期正常运行时间为 T , 则在该时间内由于质量特性 y_i 而产生的质量损失可表述为

$$L = \int_0^T E(Q_C(t)) dt \quad (6)$$

式中, 零件的磨损模型可以采用以下几种^[8]。

(1) 常方差磨损状态: 质量特性 y_i 的方差保持常量, 亦即

$$\forall t \geq 0 \quad \exists \sigma_{y_i}^2(t) = \sigma_{y_i}^2(0)$$

(2) 方差线性磨损状态: 质量特性 y_i 的方差以速率 c 磨损, 亦即

$$\forall t \geq 0 \quad \exists \sigma_{y_i}^2(t) = \sigma_{y_i}^2(0) + ct$$

(3) 常均值磨损状态: 质量特性 y_i 的均值保持不变, 亦即

$$\forall t \geq 0 \quad \exists \mu_{y_i}(t) = \mu_{y_i}(0)$$

(4) 均值线性磨损状态: 质量特性 y_i 的均值以速率 c 变换, 亦即

$$\forall t \geq 0 \quad \exists \mu_{y_i}(t) = \mu_{y_i}(0) + ct$$

(5) 均值平方磨损状态: 亦即

$$\forall t \geq 0 \quad \exists \mu_{y_i}(t) = \mu_{y_i}(0) + ct + at^2$$

4.5 模糊因素之二——技术折旧因素

由新产品的出现而引发的旧产品质量损失是产品设计中不可低估的一项重要因素。在此, 采用经济学中的贴现率 r 来体现产品在使用过程中的技术折旧因素。贴现率是现代经济学中的一个极重要的基本概念, 解决了未来经济活动在今天如何评价的问题。借用贴现率可很好地评估产品的技术折旧损失。由贴现率 r 来体现的质量损失一般呈以下指数模型。

$$L' = \int_0^T \exp(-rt) dt \quad (7)$$

综合考虑上述两种模糊因素, 得到 y_i 质量损失的数学期望为

$$L = \int_0^T E(Q_C(t)) \exp(-rt) dt \quad (8)$$

在此基础上, 即可建立公差分配的目标函数。公差设计要在质量和成本间取得平衡, 因此本文以包括各组成环 i , 当公差优化目标为 T_{d_i} 的加工成本及质量损失成本所产生的综合成本作为目标函数进行优化, 在上述模型的基础上建立以成本最低为设计目标的功能公差分配的目标函数

$$\min C = \sum_{i=1}^n \left[\left(A_i + \frac{B_i}{T_{d_i}^{p_i}} \right) + \int_0^T E(Q_C(t)) \exp(-rt) dt \right] \quad (9)$$

此外, 在公差设计中还应考虑技术要求对公差设计任务的约束, 需确定功能公差设计的边界条件。边界条件的选择主要考虑顾客对产品的需求、现有加工工艺、装配部门的要求等因素。本文则以具体加工环境的设备条件、加工方法的工艺能力、各种加工方法的误差分布、装配功能等为边界约束条件。

(1) 工艺能力约束。工艺能力是表示生产过程中一种工序固有实际加工能力的参数。为同时考虑产品的技术要求，采用工艺能力指数来衡量工艺能力。考虑到加工过程中某些系统性因素的影响，工艺能力指数常采用双侧规格界限无偏、双侧规格界限有偏、单侧规格界限等几种计算方法。在生长型设计过程中，由于产品的制造原始信息存在着一定的模糊性，因此工艺能力指数的计算采用理想加工状态，即双侧规格界限无偏模型。同时，由于工艺能力指数太大，因此工序成本增加，经济性不好；而工艺能力指数过低，则不可能可靠地保证工序质量，不合格率增大，造成经济损失，工艺能力指数最好取为 1.33~1.67 之间。

(2) 装配功能约束。通常采用下述三个边界来描述装配功能约束。

极值边界：各组成环的公差总和应不大于封闭环的公差 T_C ，即 $\sum_{i=1}^n |T_{d_i}| \leq T_C$ ，适用于顾客对产品有特殊要求，或者批量较小的精密产品中。

方和根边界：该边界说明各组成环的公差平方和应不大于封闭环公差的平方 $\sum_{i=1}^n T_{d_i}^2 \leq T_C^2$ 。该边界一般用于大批量生产、加工工艺较稳定、采用互换法装配的产品中。使用这种边界将产生 99.73% 的装配成功率。

装配成功率边界：装配成功率法表示的物理意义为，尺寸公差优化设计模型使尺寸链装配成功的概率，应大于所要求的装配成功率。这种边界适用于顾客规定产品装配的成功概率，并可定量分析装配成功概率的场合。

由于极值边界适用范围较小，而直接计算装配成功率是很困难的，因此装配功能约束采用方和根约束。

功能公差分配目标函数中的概率密度函数通常可采用下面两种方式确定。

(1) 工艺误差服从正态分布。影响加工质量的主要是随机误差。实践经验表明，当只存在随机误差的影响且生产过程稳定时，绝大多数产品的质量特性值服从正态分布和近似正态分布，其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (10)$$

(2) 一般情况。尺寸误差分布函数为正态分布这种假设并非总是有效。由于 β 分布可以通过对函数中参数的改变而得到不同分布函数，如正态分布、非正态分布、各种不对称分布等，当工艺过程处于

非稳定状态(如设备不能完全保证精度、系统误差、刀具磨损或者采用试切法进行单件小批量生产)时，可选用 β 分布来作为误差分布函数。单位 β 分布的概率密度函数可如下表示

$$f(u, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \mu^{\alpha-1} (1-u)^{\beta-1} & 0 \leq u \leq 1 \quad \alpha \geq 0 \quad \beta \geq 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

5 设计实例

下面以活塞精镗销孔夹具设计为例，说明在生长型设计过程中功能公差设计理论的应用。

待加工面销孔有多项技术要求，只讨论影响压缩比的尺寸 130 ± 0.0045 ，即自销孔轴线到活塞顶面的尺寸精度保证问题。设计过程如下。

(1) 创成产品原型。从工件上提取产品原型，如图 6；同时产生封闭环 $A \pm \Delta A$ 。一般情况下，夹具的精度要求取工件精度要求的 1/5~1/2，因此取 $A \pm \Delta A$ 为 130 ± 0.022 。

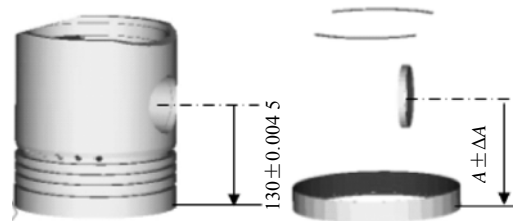


图 6 创成产品原型

(2) 创成定位盘。从产品原型上按照夹具功能结构的要求分解出短圆柱定位面和底面定位面，产生定位盘概念结构；同时产生尺寸链的组成环(图 7)，其中 $B_1 \pm \Delta B_1$ 是底面定位面 DF_2 到其敏感方向基准的尺寸及精度， $B_3 \pm \Delta B_3$ 是夹具体上使定面 JF_1 与定位销轴线的尺寸及精度， $0 \pm \Delta B_2$ 是定位面 DF_2 与使定面 JF_1 间的安装间隙。 $A \pm \Delta A$ 是必须保证的上层要求，即封闭环，通过公差分配可以得出组成环的公差。

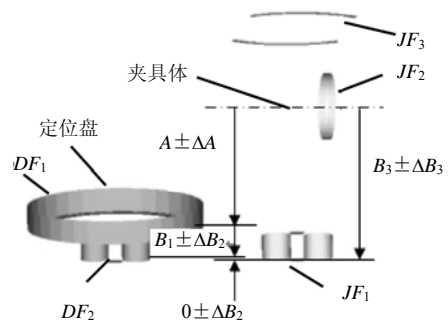


图 7 创成定位盘

(3) 创成底座。分解定位盘功能表面, 选用两柱面两端面模式重构成新零件——底座(图 8)。图 8 中 $B_3 \pm \Delta B_3$ 为封闭环, $C_1 \pm \Delta C_1$ 、 $C_3 \pm \Delta C_3$ 、 $C_2 \pm \Delta C_2$ 为组成环。

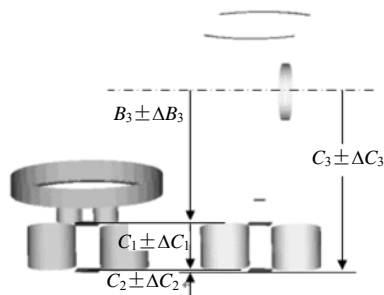


图 8 创成底座

设产品的使用期限为 8 年, 产品方差线性磨损率为 -0.008 , 贴现率设为 15% , 则设计结果为 $B_1 \pm \Delta B_1 = 20 \pm 0.020$, $C_1 \pm \Delta C_1 = 80 \pm 0.027$, $C_3 \pm \Delta C_3 = 230 \pm 0.042$ 。产品最终设计结果如图 9。

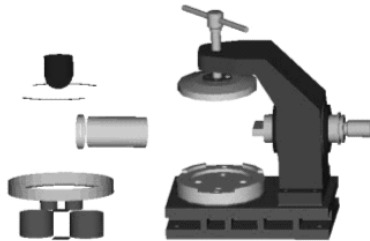


图 9 最终产品模型

6 结论

公差设计是产品设计的一个重要组成部分, 在生长型设计中公差设计也是一种自顶向下、不断生长的过程。鉴于目前公差设计中普遍存在的静态设计、异步设计的特点, 为实现公差生长的有序、优化, 作者将公差设计与产品设计结合起来, 提出了功能公差设计理论及公差进化理论模型, 该理论模型具有以下优点。

(1) 实现了公差与产品结构并行、综合进化设计。由于在产品阶段已经考虑了后续阶段如加工、装配等对公差设计的约束, 减少了由于在设计后期发现错误而导致的多次重复返工, 有利于实现面向制造和面向装配的产品设计。

(2) 实现了面向产品全生命周期的以装配性能保证为核心、以制造与使用成本为约束的公差分配。通过将使用磨损、技术折旧、加工方法的工艺能力、各种加工方法的误差分布、装配功能与装配质量等约束条件, 引入到公差分配过程中, 建立了功能与公差之间的成本关联, 从而通过对产品精度的控制, 在装配、制造和使用之间达到了成本平衡。

在基于功能公差设计理论数学模型的公差分配运算中, 作者采用牛顿二次插值算法, 实现了公差的优化分配。但由于设计过程极端复杂, 这种模型描述是很粗的, 而且存在着计算复杂性较大的问题, 这些均需要随着对设计、尤其对创造性设计本质认识的深入而逐步加以细化, 并逐渐使其可操作性加强, 最终实现真正意义上的设计自动化。

参 考 文 献

- [1] HUANG Kezheng, CHEN Hongwu, WANG Yandong, et al. Product genetic engineering[C]//Proceedings of the 14th International CIRP Design Seminar 2004. Waguih ElMaraghy (eds.) Cairo, Egypt, May 16-18, 2004.
- [2] 杨波, 昞向博, 黄克正, 等. 基于产品基因分解重构的生长型设计[J]. 中国机械工程, 2005, 16(9): 770-774.
- [3] 杨波, 黄克正, 王燕涛, 等. 基于零件基因模型的虚拟设计资源库建模[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(8): 927-930.
- [4] 李洪杰, 肖人彬. 基于功能构造的复杂产品进化设计基因模型[J]. 机械工程学报, 2003, 39(5): 41-48.
- [5] HUANG Kezheng, LIU Heshan, LI Jingshan, et al. Generic structural design by assemblability for mechanical products[C]// Proc. of Int. Conf. CAPE'98, Tokyo, 1998, 9: 107-112.
- [6] 杨志宏, 黄克正, 吕良敏. 产品概念结构设计中的公差进化模型和算法[J]. 中国机械工程, 2004, 15(8): 693-697.
- [7] CHASE K W, GREENWOOD W H, LOOSLI B G, et al. Least cost tolerance allocation for mechanical assemblies with automated process selection[J]. Manufacturing Review, ASME, 1989, 2(4): 49-59.
- [8] TERAN A, PRATT D B, CASE K E, et al. Present worth of external quality losses for symmetric nominal is better quality characteristics[J]. The Engineering Economist, 1996, 42(1): 39-52.

FUNCTION TOLERANCE THEORY IN INCREMENTAL GROWTH DESIGN

YANG Bo¹ YANG Tao² ZE Xiangbo¹

(1. School of Mechanical Engineering,
Jinan University, Jinan 250022;

2. Singapore Technologies Dynamics Pte Ltd.,
Singapore 051627)

Abstract: The evolutionary tolerance design strategy and its characteristics are studied based on the automation technology

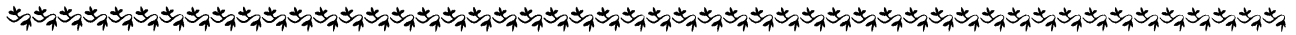
in the product structure design. And a function tolerance design theory in the process of the product growth design is put forward, to guarantee a successful transformation from the functional requirement to geometry constraints between parts, and to dimension constraints finally. A mathematical model with a correlated sensitivity function between the cost and the tolerance is built up, in which the design cost, the manufacturing cost, the usage cost, and the depreciation cost of the product are regarded as the control constraint of the tolerance allocation, and with the consideration of these costs, a multifactor-cost function to express the quality loss of the product is applied into the model. In the mathematical model, the minimum cost is used as the objective function, a reasonable process capability index, the assembly function, and the assembly quality, are taken as the constraints, while the depreciation cost in the ob-

jective function is expressed as the discount rate - terminology in the economics. Thus, the allocation of the dimension tolerance considering the function and the cost in the whole lifetime of the product is realized. Finally, a design example is used to demonstrate the successful application of the proposed function tolerance theory in the incremental growth design of the product.

Key words: Function tolerance theory
Incremental growth design
Functional structure design
Tolerance allocation Full life cycle design

作者简介: 杨波, 女, 1968 年出生, 博士, 副教授。主要研究方向为设计理论、并行设计、PDM 等。

E-mail: me_yangb@ujn.edu.cn



(上接第 72 页)

Abstract: According to the limit to the application of the traditional pump CAD software, the impeller meridian streamline is to be fitted by using Bezier curve. The dispersed points on pump blade are obtained according to the meridian streamline, distribution of blade angle and differential equation of blade. An NURBS surface iteration method is introduced, and the surface can be adjusted by adjusting the reference points of the meridian streamline and the distribution of the blade angle. The relation between the numerical model of pump blade and the pump design parameters is built, so the clipping drawing of the pump impeller is unnecessary when designing

the impeller, and the parameterized design of blade is achieved. The pump theory is further enriched. The example indicates that the numerical model of pump blade is rational, and it is of great value both in theory and in engineering practice.

Key words: CAD Iteration
Numerical model of pump blade
NURBS surface

作者简介: 张人会, 男, 1977 年出生, 硕士, 讲师。主要从事流体机械内部流场及性能研究, 发表论文 10 余篇。

E-mail: zhangrh@lut.cn