

支持变型设计的装配模型建模方法研究*

齐从谦 贾伟新

(同济大学机械工程学院 上海 200331)

摘要: 指出产品结构变型的两种基本形式: 纵向布局结构变化和横向布局结构变化。提出了支持变型设计的装配模型——“顶层基本骨架”的建模理论和方法。在装配模型层次化的基础上, 将“顶层基本骨架”作为自顶向下设计过程中信息传递的纽带, 并以 Pro/E 为技术平台, 通过具体设计实例, 展示了产品变型设计的过程。

关键词: 变型设计 顶层基本骨架 装配模型 产品建模

中图分类号: TP 391 TH 12

0 前言

在产品设计中, 对已有产品的变型设计占有相当大的比例, 尤其是在小批量、多品种制造模式中, 以企业的某一项主导产品为基型, 借助于变型设计获得各种满足用户个性化需求的系列产品, 是非常有意义的。这种变型设计可以大大提高设计的速度和质量, 同时又可以重用企业的已有资源, 使企业对市场变化作出快速地响应, 高效、高质量、低成本地开发新品种, 满足用户的需求。

产品结构的变型设计是在保持产品基本原理和总体结构基本不变的条件下, 为满足特定的功能要求或用户个性化需求, 对产品的某些局部结构形式、结构要素或尺寸进行调整、变更。在进行变型设计时, 要求当产品的某个零部件的参数和结构发生变化时, 应能使设计变更意图在产品整个设计过程中有效传递, 实现产品的相关性设计。因此产品建模过程实际上是对设计知识、关系、经验提取和表达的过程, 所获得的产品设计模型不仅是设计结果的描述, 更重要的是设计知识的描述。

提出一种支持快速变型设计的装配模型建模方法——TBS 模型, 该模型能够在一定的约束条件下快速地、自动地传递变更信息, 用以实现产品的变型设计。

1 TBS 模型——支持变型设计的建模理论与方法

一个装配体可以分解为若干不同层次的子装配体(部件), 子装配体又可以分解为若干更下层的子装配体和零件, 表现为

装配体、零件之间的这种层次关系可以直观地表示成一个装配层次结构^[1,2]。因此, 可以把产品结构的变型划分为两种基本形式: ① 横向布局结构变化, 这种变型在不改变产品主要功能参数和结构配置的条件下, 利用横向模块发展变型产品, 它是在原产品的基础上, 运用变更或添加模块的方法形成系列产品。② 纵向布局结构变化, 主要是指产品的主要功能参数也要发生变化, 随之产品的尺寸规格、局部结构也发生变更(见图 1)。

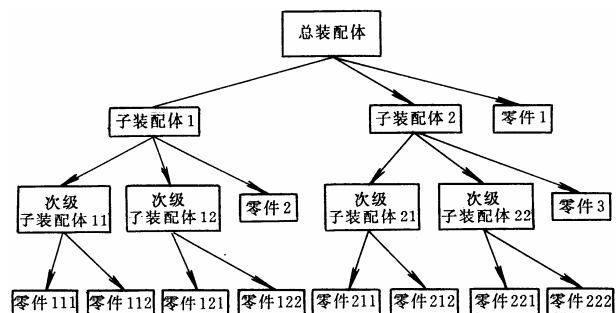


图 1 产品装配模型的层次关系

1.1 TBS 的概念及功能

参考文献[3, 4]提出了一个面向三维设计的“顶层基本骨架”(Top basic skeleton, TBS)概念。用以支持在三维设计环境下设计信息的动态传递。动态传递是指: 设计信息不仅能够自顶向下传递, 而且能够自下而上的传递; 不仅能够纵向传递, 而且能够横向传递; 还能够实现对设计信息的共享、控制和信息变更的传递。产品的“TBS”是一个具有多级抽象层次的装配级设计模型, 它能反应产品的功能需求和几何特征并能实现不同层次抽象信息的统一表达。从产品的空间结构上来看, 产品的 TBS 类似于该产品的三维装配布置图, 它能够代表产品模型的主要空间位置和空间形状, 能够基本反映构成产品的各个子模块之间的拓扑关系以及其主要运动功能, 是一个用 3DLayout 来驱动自顶向下设计的核

* 上海市科委科技发展基金资助项目 (024119032)。20030224 收到初稿, 20030908 收到修改稿

心。从其自身的不断发展以及它与后续设计的继承和相关关系上来看，它是整个产品自顶向下设计过程中的核心，是各个子装配之间相互联系的中间桥梁和纽带，从而实现对整个自顶向下设计过程的驱动。

TBS 概念的引入，为三维设计带来一种创新性的设计方法：在产品设计的最初阶段，按照该产品的最基本功能和要求，首先在设计顶层构筑一个“基本骨架”，即“顶层基本骨架”——TBS，然后将它传递到下层的各个子系统，随后的设计过程基本上都是在该 TBS 的基础上进行复制、修改、细化和完善，并最终完成整个设计的过程。在构筑产品 TBS 时，更注重在最初的产品总体布局中捕获和抽取各子装配和零件间的基本特征以及相互关联性和依赖性，这才是 TBS 的真正内涵。

TBS 可以结合参数化设计技术实现自顶向下的设计，它作为产品的各个模块的整体结构功能框架，以参考复制和设计变更的方式生成各个子模块(子装配)和具体零件的细节设计，然后将细节设计后的零件以坐标重合的方式装配在一起，摒弃了传统装配零件之间的互相贴合、定位或对齐的装配模式。TBS 支持变型设计，即通过对原有设计进行快速修改，以获得新的设计效果。

TBS 的主要功能如下。

(1) 管理。TBS 可以被用来管理大型的装配设计，允许设计者仅仅调出顶层装配的基本骨架到内存中，来控制整个产品的设计及更改。TBS 包含了重要的设计基准，如基准的方位、产品的外形、子装配、零件及设计参数(如最重要的尺寸所需要的空间要求)。可以在顶层对基本骨架进行更改，而这些更改将会被传递到其下的所有子系统中，这时的信息传递是自上而下的。

(2) 组织。TBS 可以增强零件在装配中的相互关联和依赖性。这些存在于实际装配之中的相互关联和依赖关系可以在最初总体布局中被捕获并抽取出来，构成 TBS，为子装配和零件所享用。

(3) 空间位置的布置。产品概念设计最重要的一步就是产品的各个部件和零件空间位置和大小分配与安置，它包括许多限制和基准，因此，就要在装配件的顶层建立起包含许多信息的 TBS 模型以约束其下层的子系统。

(4) 共享数据。一个有组织的装配骨架必须包含设计下游所需的关键信息，并且能够在不同层次间被传递，如果在某一层发生改变，那么和它相关联的装配和零件都能够获得这种最新的改变。这种好处是能够使团队合作成为可能。在这个团队中有

不同的子团体和个体，分别在进行不同的子装配设计和零件设计，这种数据的共享和在内存中存在的唯一性，使得一个复杂的装配设计在早期就可以分解成不同的、简单的子装配和零件，进而分配给不同的子团体和个人进行详细设计，从而体现出 TBS 模型对协同设计的支持。

(5) 变更的传递。可以用 TBS 来控制变更。一种变更是在装配的顶层通过对捕捉的设计意图进行更改，再通过参数设计的关联性将这种变更传递给下一级子装配或零件以及相应的模具，直至反映到 NC 加工的程序编制中。另一种变更是在零件设计中产生，即各个子团体和个人所设计的零件或子装配发生变更，这些组件或零件回代到产品总装配时，变更在产品的顶层实施。因此，这种信息的传递是自下而上的。

(6) 控制简单的运动。可以使用 TBS 来控制装配系统的运动与仿真。

1.2 TBS 模型的特征及建模方法

1.2.1 TBS 模型的主要特征

TBS 模型是基于特征和参数化的，并符合 STEP 标准^[5,6]。它所具有的几何特征、拓扑特征及装配特征能够供其下层的子系统享用，不仅可以控制子系统的位置和大小，还可以表达具有配合、约束关系的零部件间的几何信息和拓扑关系。

(1) TBS 模型的几何特征。在自顶向下设计中，TBS 作为产品总装配及各级子装配和各零件的统一几何基准。TBS 模型所描述的产品几何特征的装配基准可以理解为系统提供的坐标原点、默认的基准平面以及基准面的交线。它包括基准点、线、面；空间的点、线、面或者是产品的点、轮廓线、轮廓面等。通过生成与系统提供的默认基准有着约束关系的坐标系、基准面或者基准轴等几何元素作为 TBS 的要素，也可以将产品的轴线，产品外形控制线以及控制线上的控制点(中点、端点、切点)等作为产品的 TBS 来控制产品特征。

(2) TBS 的拓扑特征。在建立产品的装配模型中，确定具有装配关系的零部件在空间的位置尤为重要，产品建模过程中必须反映这些零部件的空间位置以及相互关系。建立产品 TBS 模型时，要充分考虑零部件的几何结构尺寸的定位及零部件之间的连接关系，这就是 TBS 的拓扑特征。在产品 TBS 模型中可以通过控制线及控制面将零部件定位，对这些控制线添加尺寸关系等约束条件，以描述零部件特征，表达零部件间的配合关系和各种拓扑关系。

例如图 2a 表示两个面的耦合关系，通过分型面 1、2 将产品 TBS 分成两个部分，形成有配合关系

的两个零件 A 和 B。通过对分型面添加约束, 可进行相关设计。当分型面的间隙为 0 时, 表示两个零件的表面互相接触; 当间隙不为 0 时, 表示两个表面相向平行且相距某一距离。其他如图 2b 定向、图 2c 对齐、图 2d 插入及图 2e 同轴等, 都分别表达了类似的拓扑关系。这里就不再一一解释。

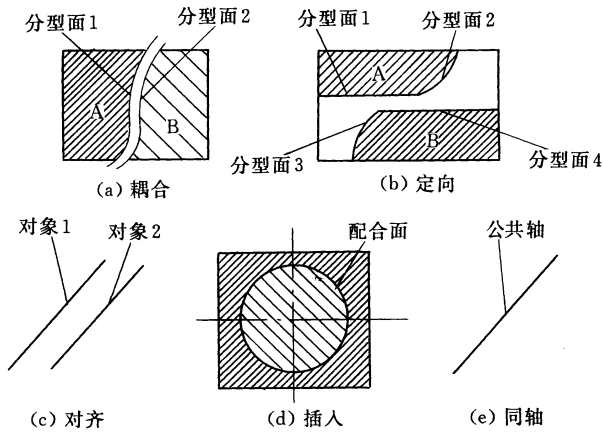


图 2 TBS 所描述的零部件拓扑关系

(3) TBS 模型的装配特征。产品的 TBS 模型是一个具有抽象层次概念的装配级设计模型, 它能反映产品的几何特征, 并能实现不同层次抽象信息的统一表达, 还能反映产品总装配与局部子装配之间的关系, 并控制子 TBS 在总 TBS 模型中的位置。在由 TBS 控制的产品模型中, 只要给定有配合关系的子装配之间、零件之间的 TBS 控制线、控制点和局部坐标, 就可以保证各个子装配的装配关系、配合关系以及约束关系。

1.2.2 TBS 的建模方法和步骤

(1) 构建“骨架模型”。在产品设计的最初阶段, 按照该产品的最基本功能和要求, 在顶层构筑一个 3DLayout 即三维骨架模型, 用来定义一个装配体的基本功能要求、基本结构和全局参数及参数之间的顺序依赖关系, 其零部件是一个概念上的三维参数草图, 然后建立参数、尺寸之间的关系和零部件自动定位所需的全局基准。

三维骨架模型是一个组件式的框架, 它定义各组件设计的框架、空间要求、界面及其他几何、物理属性, 是 TBS 的重要组成部分, 但骨架模型并不顾及组件的具体尺寸和细节。一个产品按其结构和功能可以分解为各级子装配体, 每个子装配体完成一定的功能, 零件是最基本的功能单元, 因此在构筑骨架模型时, 更注重在最初的产品总体布局中捕获和抽取各子装配和零件间的相互关联性和依赖性。在设计后期, 用一个个具有实际功能形状的复杂零部件来置换原始三维草图中的简单图形, 从而

实现自顶向下设计的全过程。

(2) 复制“几何参照”和“基准参照”。通过“复制”机制实现骨架模型在三维空间中的映射。复制的重点是: 基准点、线、面; 空间的点、线、面即对应与产品的点, 轮廓线, 轮廓面等。包括: ① 内部复制几何参照。对于主装配的 TBS 而言, 其几何参照的复制在系统内部产生。② 外部复制几何参照。对于子装配的 TBS, 其几何参照的复制在系统之间或零件之间产生。③ 基准参照的复制。构建 TBS 时, 点、线、面及坐标系等的复制。

(3) 最后, 通过输入零部件之间的配合关系, 建立装配体的几何约束。

以手提式音响为例, 按照以上各步骤, 在系统内部或系统之间复制几何参照, 建立其 TBS 模型(见图 3), 从而在整个装配或子装配内建立了一个统一的设计标准, 并为以后的详细设计过程中传递和变更信息提供一个便捷的通道。

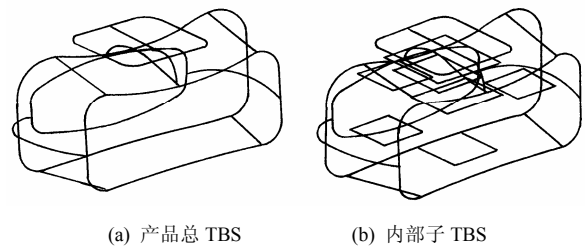


图 3 产品 TBS 模型

2 TBS 在产品装配模型建模中的应用

2.1 TBS 在纵向布局结构变型建模中的应用

产品总体结构可根据功能划分为若干个功能模块, 每个功能模块都可以独立地进行变型设计。在子模块建模过程中, 子模块可能包含了一系列的零件及其所继承的设计意图。首先建立产品的 TBS, 包括基准面、点、轴、坐标系及产品的轮廓面, 然后将产品的 TBS 与只含坐标系及基准面的一个组件装配在一起, 这时该子装配体和零件就包含一些从产品顶层继承的基准和骨架或者复制的几何参数, 而不包括任何本身的几何形状或具体特征; 使用该零件“参考复制”出与之配合的其他零件的雏形, 再和另外只含坐标系及基准面的零件装配在一起, 作为子装配体, 从而构造出次级子装配的 TBS; 对零件雏形根据设计意图进行具体设计, 将所得到的各个零件和子装配体以坐标重合的形式装配在一起; 最后, 在装配关系中对个别零件或装配体进行具体的细节设计或者修改, 得到最终的产品设计模型。

2.2 TBS 在横向布局结构变型建模中的应用

对于复杂的产品，产品的布局并非完全由纵向结构构成，有些模块可能是横向布置的，其次级的 TBS 之间是并列的关系。这些子模块的 TBS 之间的信息传递不能单纯的如纵向布局那样可以逐级复制，使得次级的 TBS 中仅含有上一层的信息，而应在各个横向子 TBS 之间建立起约束关系，把这些子 TBS 联系起来。具体做法是：首先通过关系矩阵建立各横向分布的子 TBS 与产品的总 TBS 之间的相互联系，然后经过关系矩阵的变换，获得各横向分布的子 TBS 和产品总 TBS 的相对位置；以产品总 TBS 为中介，建立各个子 TBS 之间的约束关系。在装配模型的建模过程中，假设产品 TBS 的坐标系 $CSO(x, y, z)$ 的原点 O ，次级子 TBS 的坐标系 $CSO_m(x_m, y_m, z_m)$ 的原点为 O_m 。设 n, O, a 分别为 x_m, y_m, z_m 的三个单位矢量，它们在产品坐标系中的方向余弦分别为

$$\begin{cases} n = (n_x, n_y, n_z)^T \\ O = (O_x, O_y, O_z)^T \\ a = (a_x, a_y, a_z)^T \end{cases} \quad (1)$$

O_m 相对于 O 的位置矢量用 P 表示，参考复制得次级子 TBS 的相对坐标可用矩阵 M_m 描述

$$M_m = \begin{bmatrix} n_x & O_x & a_x & p_x \\ n_y & O_y & a_y & p_y \\ n_z & O_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

最后得到次级子 TBS 相对坐标系的表达式为

$$CSO_m = CSO \times M_m \quad (3)$$

由于每个次级子 TBS 都是由产品模型的总 TBS 复制而来，因此每个次级子 TBS 都可以通过式(2)、(3)所描述的矩阵关系与其建立联系。这样每个子装配体就是一个和其他子装配有着装配约束的子模块，可以在自己的 TBS 的基础上按纵向布局建模中的步骤进行建模。当所有的子装配体完成后，按照坐标重合装配成产品模型。

3 基于 TBS 模型的产品变型设计实例

给出一个手提音响装配模型建模及参数变更和传递的完整实例(见图 4)，以说明 TBS 在产品变型设计中的应用。该例是在 Pro/E 设计平台上实现的。

在“自顶向下”的设计流程中，已通过概念设计和功能评价构建了手提音响产品的 TBS 模型，可在详细设计中使用该 TBS 模型控制各子装配外形和空间位置。首先将 TBS 和一个只含有基准(Datum)面 $DTM1$ 、 $DTM2$ 、 $DTM3$ ，以及坐标系 CSO 的“空零件”装配在一起，产生新的零件，作为外部次级子装配的 TBS，复制外部子 TBS 作为内部子 TBS 的雏形。然后对外部子 TBS 进行细节设计，添加控制各个装配组件的控制线(卡带、音箱面板、音箱、CD 座、卡带座等)及分型面等要素。将外部的次级 TBS 再次和含有基准面、坐标系的零件装配，同时生成音响前盖的原始模型，由该原始模型复制出其他零件(后盖、音箱面板、CD 盖等)的原始模型。同理，可以对内部子 TBS 继续进行细节设计，添加内部各个零件的控制线。再次将内部子 TBS 与只含有基准面以及坐标的“空零件”装配，生成内部零件 CD 座的原始模型。由 CD 座的原始模型复制拷贝生成其他内部组件(音箱、支架、卡带座等)的雏形，然后对各个零件进行具体设计。在产品的 TBS 中包含了具有装配关系的零部件的几何结构与装配信息，由 TBS 复制而来的其他零部件继承了 TBS 的这些信息，TBS 的变化会完全反映到零部件上。因此，以 TBS 作为传递产品设计信息的纽带，可以有效地支持产品的快速变型设计。当需要对产品进行改型时，只要在 TBS 中对部件或零件的控制线进行修改，就能使与其相关的零部件获得最新变化。如果某零件或部件的变更涉及到其他的子装配，可以在产品的总 TBS 中改变该子 TBS 的控制线，通过参数驱动，其他子 TBS 的形状会得到相应变更；如果只是子部件内的零件发生变化，只需在子 TBS 中改变该零件的控制线，与该零件有约束的相关零件的控制线会随之变化。从而大大简化设计工作。如在本例中，从美学要求出发，需要把位于顶部的 CD 盒由正方形改为“钟形”，仅需对 CD 座的一条控制线作出修改，这一变更将会自动地传递并控制该产品的 CD 座、CD 盖的形状，前、后盖，CD 座与箱体的相贯线等自动发生相应变更。又如，音响的前盖和音箱盖板开口形状也可由外部子 TBS 的控制线决定，将面板上音箱盖板开口控制线由方形改为椭圆形，通过对产品总装配模型的重建，可以实现音响前盖及音箱盖板等相关零件和装配体的变形，而不需要经过单个零件的逐一改动实现产品的变型设计。该例也体现出 TBS 模型所具有的双向信息传递功能。

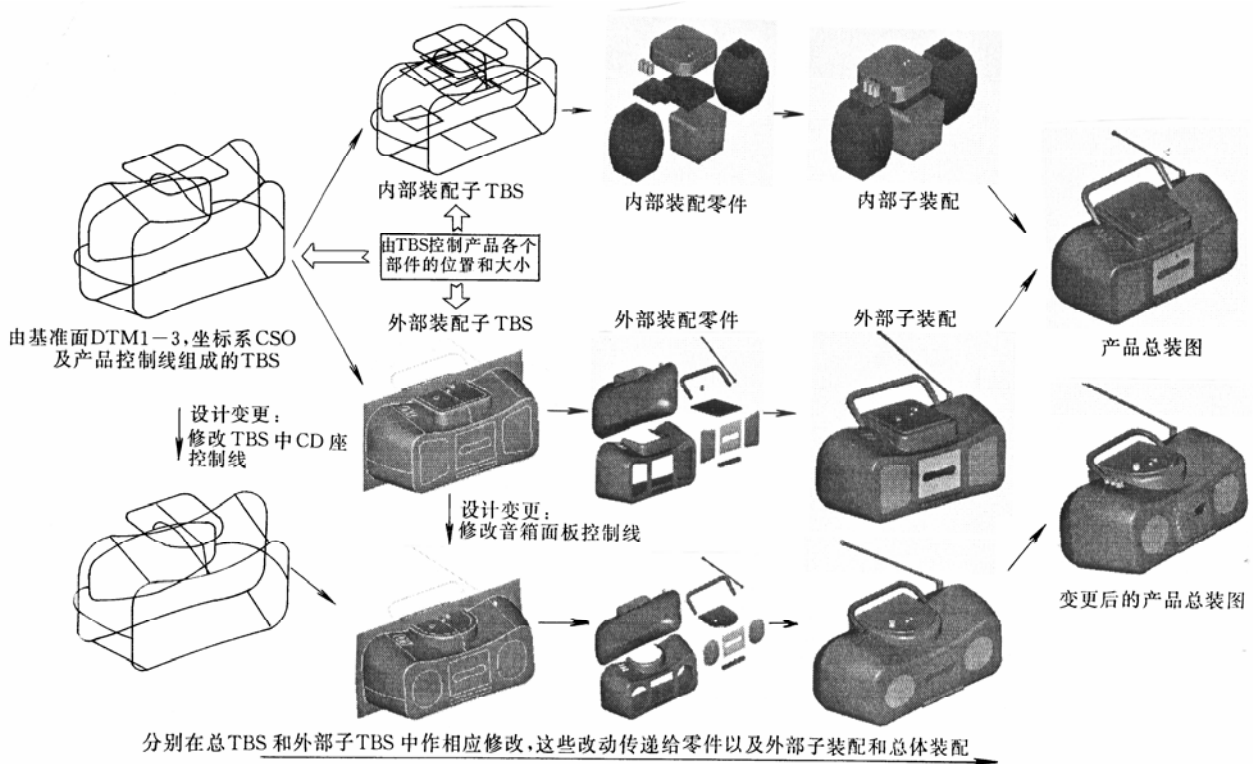


图4 以TBS为纽带的装配模型建模过程

4 结论

(1) 产品结构变型主要有两种基本模式: 纵向布局结构变化和横向布局结构变化。

(2) 利用建立在参数化技术基础上的TBS模型来控制装配体各零部件的空间位置和特征, 建立产品总体结构和子装配结构模型; 并通过建立具有横向关系的装配子部件在产品总体结构中的相对坐标系, 将TBS的设计理念扩展到次级子装配之中, 能够实现装配模型建模过程中产品设计信息的共享、继承、传递和变更。

(3) 该方法支持变型设计且适用于具有横向和纵向布局结构的复杂产品装配模型的建模, 摒弃了传统设计过程中通过面与面的耦合、对齐及同轴关系来组合子装配模块的习惯做法。

参 考 文 献

- 1 袁波, 周昀. 层次化单元装配模型. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(6): 450~454
- 2 朱大群, 赵良才, 张俊. 基于层次等级并联系模型的装配序列规划. 华东船舶工业学院学报, 2000, 14(2): 71~75
- 3 齐从谦, 崔琼瑶. 基于参数化技术的设计方法研究. 机械设计与研究, 2002 (5): 13~15

- 4 齐从谦. 制造业信息化导论. 北京: 中国宇航出版社, 2003
- 5 Han J H, Requicha A A G. Integration of feature based design and feature recognition. Computer -Aided Design, 1997, 29(5): 393~403
- 6 Krishnamurthy K, Law K H. Data management model for collaborative design in CAD environment. Engineering with Computers, 1997, 13(2): 65~86

RESEARCH ON ASSEMBLY MODELLING FOR PRODUCT VARIANT DESIGN

Qi Congqian Jia Weixin
(Tongji University)

Abstract: Two basic forms of the product structure's variant are proposed: horizontal and vertical layout. Based on the arrangement relations of an assembly model, a new approach for assembly modeling is put forward by taking *top basic skeleton* as bridge in the top-down design and Pro/E as a technical support, and shows the process of variant design by an example.

Key words: Variant design Top basic skeleton
Assembly model Product modelling

作者简介: 齐从谦, 1945年生, 同济大学机械学院教授, 博士研究生导师。主要研究方向为先进制造技术, 现代设计理论与方法。