

支持产品创新设计的重建模型表达及建模方法研究*

金涛 童水光

(浙江大学化工机械研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 本文提出了一种支持模型再设计的基于几何特征变量化的重建模型表达和重建方法。因为传统的采用参数曲面表达和曲面直接拟合的造型方法得到的三维重建模型, 不便于模型的修改和再设计, 而基于特征变量化表达重建模型, 能方便地对模型特征进行修改, 最终达到改变整个模型即产品外形结构的目的。实现上述表达的重建方法是基于几何特征及约束进行模型重建, 首先根据几何特征类型, 在对测量数据进行特征及约束识别的基础上, 进行特征数据分割; 然后建立特征约束模型, 通过求解模型得到满足约束关系的对数据点的最佳逼近特征, 实现对原形及原设计意图的还原; 最后再建立不同几何特征的协同变形关系, 使修改局部或单个特征时模型整体协同变形, 达到对重建模型进行再设计乃至创新设计的目的。

关键词: 逆向工程 模型重建 创新设计 基于特征 约束拟合

1. 引言

运用计算机辅助技术进行实物零件乃至整个实物的复制过程通常被称为逆向工程(Reverse engineering), 逆向工程的思想最初是来自从油泥模型到产品实物的设计过程, 目前逆向工程技术已成为消化吸收先进技术进行产品快速开发的重要手段。但在国内, 基于实物的逆向工程应用最广的还是进行产品复制和仿制, 尤其是外观设计产品, 因为不涉及到复杂的动力学分析、材料、加工热处理等技术反求难题, 相对容易实现。工作流程一般为: 基于 CAD/CAM 系统, 在进行数字化扫描、完成实物的 3D 重建后, 通过 NC 加工或快速成型快速地制造出模具, 最终注塑得到所需的产品。这个过程已成为我国沿海地区许多家用电器、玩具、摩托车等产品企业的产品开发及生产模式, 但在这些产品中鲜有自己的技术, 多数是复制(copy)和仿制国外的产品。尽管许多企业不具备创新设计能力, 更多的是学习和模仿, 但如果产品设计一味的停留在模仿和仿制上, 是没有任何出路的, 如果对方的产品是受专利保护的, 则这种仿制还是一种侵权的

行为。

战后日本通过先仿制美国及欧洲的产品，在采取各种手段获取先进的技术和引进技术的消化、吸收的基础上，建立了自己的产品创新设计体系，使经济迅速崛起，成为仅次于美国的制造大国。德国在 1998 年提出：“德国不能采用产品降价的办法来提高竞争力，而是要通过持续地创新出其他国家没有的产品来提高竞争力”。

实际上任何产品问世，不管是创新、改进还是仿制，都蕴涵着对已有科学、技术的继承和应用借鉴，逆向工程通过重构产品零件的 CAD 模型，可对原型进行修改和再设计，这为产品的再设计以及创新设计提供了数字原型，各种先进的计算机辅助技术手段也为此提供了强有力的支持。因此，通过逆向工程，在消化、吸收先进技术的基础上，建立和掌握自己的产品开发设计技术，进行产品的创新设计，即在 copy 的基础上进行改进进而创新，这是提升我国制造业的必由之路。

本文先对模型重建、参数化和变量化设计技术有关研究进行了回顾，提出了重建模型的表达和重建方法。

2 有关研究的回顾

当前应用于产品外形设计的逆向工程方法主要有两种方式：一是由设计师、美工师事先设计好产品的油泥或木制模型，由坐标测量机将模型的数据扫入，再建立计算机模型；另一种是针对已有的产品实物零件，经过数字化测量和模型重建，获得产品的数字模型，然后对这个数字模型进行修改、再设计，以获得一个与前面产品对象不同甚至完全不同的新的结构外形，最终达到产品设计创新之目的，基于逆向工程的产品创新设计的过程见图 1。

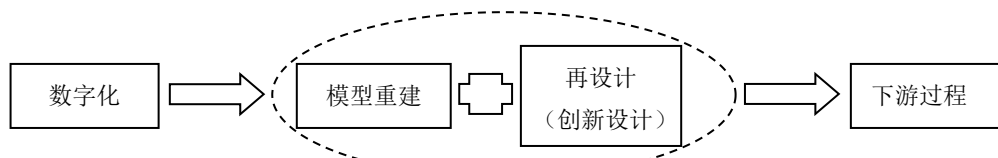


图 1 产品逆向创新设计过程

逆向工程的基本过程包括：数字化、数据处理及整合、数据分割、曲面拟合或插值、曲面片缝合成整体。

实物的数字化是通过特定的测量设备和测量方法获取零件表面离散点的几何坐标数据，目前的三维数字化方法，根据测量探头或传感器是否和实物接触，可分为接触式和非接触式两大类^[1]。

CAD 模型重建之前应进行数据预处理，过程工作包括数据平滑、排除噪声数据和异常数据、压缩和归并冗余数据、遗失点补齐、数据分割、多次测量数据及图象的数据定位对齐和对称零件的对称基准重建^[1,2]。

物体表面测量数据的分割方法一般分为两类，一是基于边界分割法，二是基于区域分割法。其中基于边界的分割法首先估计出测量点的法向矢量或曲率，然后根据将法向矢量或曲率的突变处判定为边界的位置，基于区域的分割法是将具有相似几何特征的空间点划为同一区域^[1,2]。

CAD 模型重建是逆向工程的关键，根据实物外形的数字化信息，可以将测量得到的数据点分成两类：有序点和无序点（散乱点），由不同的数据类型，形成了不同的模型重建技术。目前较成熟的方法是通过重构外形曲面来实现实物重建，常用的曲面模型有 Bezier、B-Spline、NURBS 和三角 Beizer 曲面，采用的方法是对测量数据点拟合得到实物的外形曲面。

曲面拟合可以分为插值和逼近两种方式。使用插值方法拟合曲面通过所有数据点，适合于测量设备精度高，数据点坐标比较精确的场合；使用逼近的方法所拟合的曲面不一定通过所有的数据点，适用于测量数据较多，测量数据含噪声较高的情况。国内外的研究大多都集中于孤立曲面片拟合方法的选择和算法的优化上^[1-6]。

上述的模型表达和曲面拟合方法已成为当前模型重建的主要技术方法，并已应用于商用逆向软件，但这种技术方法在机械产品逆向工程的应用上却受到一定限制，在模型表达上，如果曲面是多个曲面片组成的复合曲面，采用自由形状曲面表示时（如标准的 B-样条曲面），难以找到保证 C0 或更高阶连续的分割曲线，而且用一简单的 B-样条曲面拟合整个曲面不能反映曲面的分段特性。为解决这个问题，Pal Benko^[7]提出了用 B-Rep 来表达重建模型，它根据零件外形曲面的特征，按照组成曲面的类型（如平面、Sweep 曲面、Blend 曲面等）分别进行拟合，最终的模型还必须保证曲面之间的约束如连续、相切等关系。这 B-Rep 表达为基于特征和约束的模型重建方法提供了理论基础。

因为使用参数曲面片的方式表达零件的几何形状，不能表达零件对象更高层次的结构特征信息，同时由于在曲面拟合过程中没有考虑特征间的约束关系和模型的整体信息，重建得到的数据模型没有还原原形的几何特征，这种表达对只

要求提供零件的位置信息的下游应用，如零件数控仿形、直接生成模具等，是基本合适的，但涉及到产品改型、创新设计等，特别是自由曲面组成的外形，就存在编辑、修改的困难。

因为大多数机械零件产品都是按一定特征设计制造的，同时特征之间还具有确定的几何约束关系，在产品的模型重建过程中，仅还原特征而忽略几何约束，得到的产品模型是没有意义或是不准确的^[8-12]。因此基于特征及约束的模型重建方法就随之而提出，可以这么认为在机械领域，基于特征及约束的三维模型重建技术是逆向造型的一个发展方向。其关键技术有两点：一是特征识别和抽取，二是在特征恢复时考虑特征间的约束关系。目前面向逆向工程的特征建模研究刚刚展开，已进行的研究多集中在应用于数据分割的表面棱线、区域边界和部分规则表面（平面、柱面）特征的识别上^[9,10]，对自由曲面的重建，只是从曲面拟合的角度研究了旋转^[15]、扫成^[13,14]、放样^[16]曲面的重建问题，尚无完整的特征建模方法，对面向逆向工程的特征定义、分类、特征数据模型定义、基于特征的模型测量规划等则少有研究涉及。部分研究考虑了特征间的约束关系，提出了处理简单约束关系，主要是规则几何特征的位置约束的约束拟合方法^[11,17]。

基于特征及约束的模型重建具有能捕捉和还原原设计意图、准确表述零件的几何关系，CAD模型包含的几何特征信息有利于后续的CAPP/CAM过程的特征识别、易于实现测量数据和零件的定位和装配等优点。但目前的基于几何特征及约束的模型重建技术仍是以恢复和还原原形为目标，目前模型重建的主要方式还是先拟合曲面片，然后再建立产品的曲面整体模型以及实体模型，这样的建模方法对恢复原形是有效的，但如果我们要对CAD模型进行修改或再设计，操作起来就显得十分困难，这种模型孤立的曲面片表示及拟合就成为模型修改的瓶颈，因此，这样的建模方法和模型表示对创新设计是不适宜的，应寻求新的模型表达及建模方法。

3 支持创新设计的重建模型表达

3.1 CAD 造型技术回顾

从20世纪60年代开始，CAD造型技术由线框、自由曲面，发展到目前仍占据主流的基于约束的实体造型技术，主要有以PTC公司的Pro/E软件为代表的参数化造型理论

和以 EDS 公司的 I-DEAS 软件为代表的变量化造型理论两大技术流派。

参数化造型是由编程者预先设置一些几何图形约束，然后供设计者在造型时使用，与一个几何相关联的所有尺寸参数可以用来产生其它几何。采用参数化技术可以克服自由建模的无约束状态，几何形状均可通过尺寸的形式来控制。如零件形状需要修改时，只需改变尺寸的数值即可实现形状上的改变，尺寸驱动已经成为当今造型系统的基本功能。

变量化技术或称变量化设计 (Variational Design)，它保留了参数化技术基于特征、全数据相关、尺寸驱动设计修改的优点，但在约束定义方面做了根本性改变，它将参数化技术中所需定义的尺寸“参数”进一步区分为形状约束和尺寸约束，而不是象参数化技术那样只用尺寸来约束全部几何，这样就赋予了设计修改更大的自由度。

两种技术的根本区别在于是否要全约束以及以什么形式来施加约束。从应用上来说，参数化系统特别适用于那些技术已相当稳定成熟的零配件行业。这样的行业，零件的形状改变很少，经常只需采用类比设计，即形状基本固定，只需改变一些关键尺寸就可以得到新的系列化设计结果。再者就是由二维到三维的抄图式设计，图纸往往是绝对符合全约束条件的。而变量化系统除了一般的系列化零件设计，比较适用于新产品开发、老产品改形设计这类创新式设计。

逆向工程的模型重建技术离不开现有的 CAD 基础理论，从上面的分析可以看出，如果重建模型选择参数化或变量化表示，根据参数化和变量化技术的特点，它们都在一定程度上支持模型的修改设计，而且都具有方便的可操作性，满足支持创新设计的模型表达的要求。

3.2 基于参数化的重建模型表示

模型的外形几何表示为参数化形式，这样可以通过修改尺寸实现模型的修改，根据实物的外形几何特点，我们将模型分成两种类型，一是具有规则几何特征的外形，二是由自由曲面组成的复杂外形。对前者来说，较适宜采用参数化表示，而且也容易实现；对后者来说，由于自由曲面（曲线）从整体来说，较难表示为某种几何及尺寸约束，但对一些具有确定的解析计算公式表示的曲线或曲面，仍可选择参数化表示。

因为直接对三维模型建立参数化仍然存在困难，因此，目前的参数化造型都是先建立全尺寸约束二维草图，经过拉

伸、旋转、扫掠等几何造型形成三维模型的。为将重建模型表现为参数化模型，可将模型分解为由一系列特征和操作组合而成的三维形体，由于重建模型多选择曲面表示，因此参数化也主要针对曲面进行。图 2 给出了重建模型参数化结构。

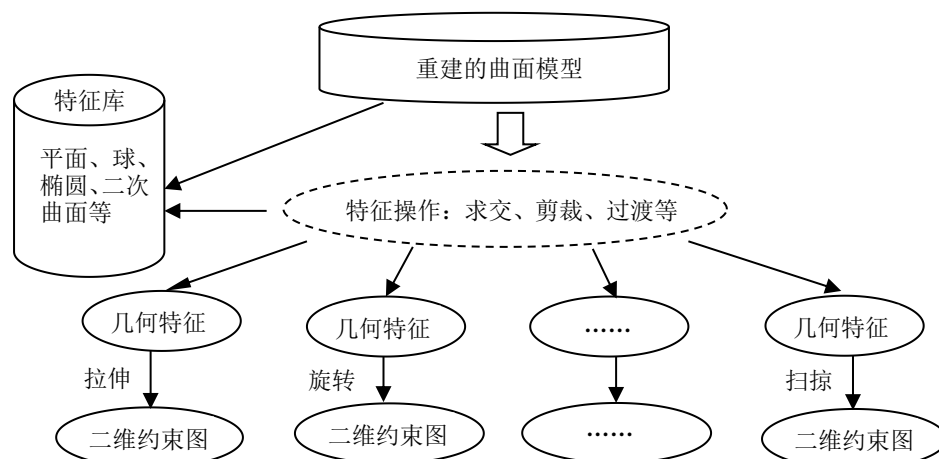


图 2 重建模型参数化表示

从图 1 看出，模型实现参数化表示的关键是特征分解和约束施加，即将组成模型的所有几何特征分解成二维特征约束图+特征操作，这样整个模型即实现尺寸驱动。

3.3 基于变量化的重建模型表示

变量化技术赋予了模型表示和修改更大的自由度，因此变量化表示既适合于规则外形和自由曲面组成的外形。基于变量化的逆向模型结构基本和参数化结构相同，只是二维几何图可以是欠约束的。

下面我们仅讨论基于特征参数化的支持创新设计的模型重建方法。

4. 支持创新的模型重建方法

在 CAD 造型技术中，实现参数化设计的方法主要有：编程参数化、交互参数化、离线参数化和三维参数化等。

编程参数化通过编程来进行参数化设计。交互参数化是通过交互的方法来进行参数化设计，其生成方法又包括多种：变动几何法、作图规则匹配、几何作图局部求解法、辅助线作图法、变量流技术和交互生成参数绘图命令等。离线参数化是将几何模型向参数化模型转换，它分成两个步骤：其一：在已有图形基础上通过标注尺寸建立约束关系，其二，

在已有图形和尺寸的基础上，通过尺寸框架的识别搜索建立约束关系。三维参数化的实现有两种途径：一是由二维参数化图形通过拉伸、旋转、扫掠等操作得到三维参数化图形，二维图形改变，三视图随之变化；二即是建立基于特征的三维参数化模型，特征模型中包含特征定位和特征间的关联信息，因而可以实现参数化。

根据逆向造型的特点和 CAD 造型实现参数化的几种方法，我们可以得出适合于逆向建模的参数化实现方法，即离线参数化和三维参数化。如图 8.13 所示，其处理过程为数据分割、特征约束识别、确定特征造型过程、特征的参数化建立。这里我们主要对特征约束识别和特征参数化方法展开讨论。

4.1 几何特征识别

实现图 1 过程的关键技术首先为特征约束识别，如果能将模型分解为不同特征的组合和确定特征间的约束关系，将为几何特征转换为参数化表示提供实现的基础。另外，为实现参数化需完整地给出特征的约束关系，不仅仅是用尺寸来建立图形元素约束的位置关系，因为无法通过尺寸标注来确定两图形元素相切的关系，尽管变量化方法不需要建立全约束关系，但对产品修改来说，如果产品具有装配关系，模型的变化是相互关联的，这时零部件之间整体协同变形的约束关系是必需的。约束关系建立或确定的难点在于模型数字化后，测量数据点几乎不包含几何特征的约束关系，应通过原形分析来判断推理，但这样获得约束关系不可避免地带有不完整性和不确定性。

1. 特征分类

对模型重建我们仅需考虑与造型相关的形状几何特征，而且主要是构成模型的低层几何体素及其构造特征，如点、线、面等。为方便后续的特征识别，根据几何特征的特点和识别方法的不同，我们将几何特征分成规则几何特征和造型特征，两类特征的组成见表 1、2。

表 1 规则几何特征 regular

点	线	面
测量点 (基准点) 顶点 圆心点	轮廓线 表面棱线 中心线等	平面(基准面) 二次曲面

表 2 造型特征

拉伸曲面	旋转曲面	扫略曲面	混合曲面	放样曲面	四边曲面
		等截面 扫略 变截面 扫略		等截面 放样 变截面 放样	

造型特征实际上是自由曲面特征，在几何造型时，组成零件外形的复杂曲面都是基于上述造型手段由曲面片组合而成，在模型重建时，如果能识别原形的造型方法，就为曲面还原提供了几何基础。

2. 特征模型

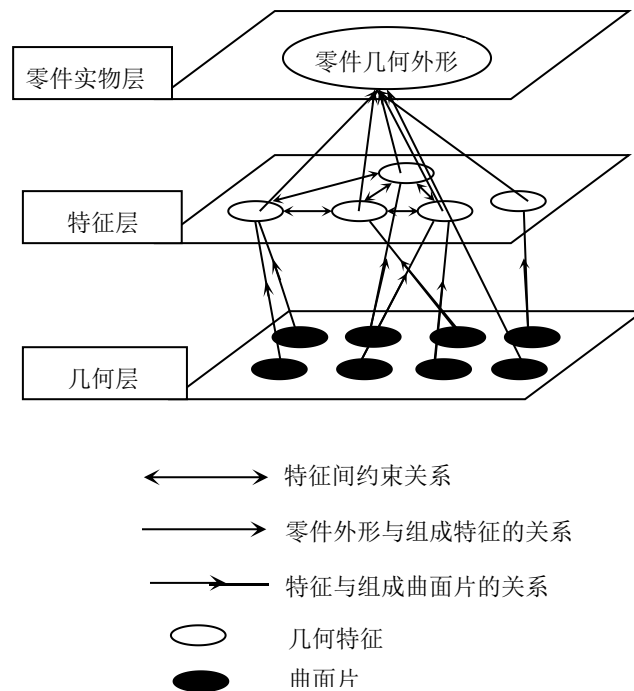


图 3 特征模型分层定义

根据零件外形组成、特征表达及特征间的约束关系，零件的特征模型被定义为一个三层结构，见图 3。第一层是零件几何外形层，包含零件实体和特征的几何尺寸参数；第二层是几何特征层，包含特征构造图和特征间的约束关系；第三层是几何信息层，包含构成特征的参数曲面片或 Bezier、NURBS 曲面片。

3. 特征识别

(1) 规则几何特征的识别

规则几何特征是构成零件外形的基本几何特征，对机械零件产品，在外形测量时即可由坐标测量机完成部分特征的识别和测量，如平面、直线、圆（弧）等。但对于一些具有复杂外形的产品覆盖件，一方面组成特征不明显，另外，由于曲面形状变化，使孔槽特征的轮廓线没有位于一个平面内，更由于制造误差使轮廓外形产生变形，特征识别就变得重要。

针对规则特征的特征匹配识别方法的步骤包括：

Step1: 建立匹配特征库；

Step2: 初步判定特征类型；

Step3: 确定匹配定位点；

Step4: 进行特征匹配；

Step5: 完成特征识别，提取已识别特征的几何参数，实施特征参数化。

特征类型的初步确定主要通过数据几何特征由人工判定。

特征的匹配定位点根据特征的不同，其定位方式主要分为点定位和点-轴定位。点定位主要用于圆、圆弧及球体的定位，可以通过计算测量数据点的重心得得到；点-轴定位主

要用于椭圆、抛物线（面）等二次曲线、面的定位，轴主要是特征的对称轴，对称轴的建立可由边界轮廓的相互镜像求出。

特征匹配过程需要处理待识别的特征轮廓线不处于一个平面内时，如曲面表面的孔槽、斜孔和由于测量误差使扫描截面线成为一空间曲线的情况，在匹配之前应将其对应的离散数据点投影在一个平面内。孔槽、斜孔的投影平面即为其草绘平面，可先重建轴线，再构建投影平面；扫描截面线的投影平面的建立较容易，即为测量时固定的坐标轴平面。

特征识别主要由选择的特征判据确定，特征技术中特征匹配识别采取的判据是特征线的重合率^[16]，方法是先从特征库中选取不同尺寸的一匹配特征，然后减小它们之间的距离，这样可以得到一最小距离内的最大数据包容量，最终特征可取二者的平均得到。这种方法不必进行曲线（面）拟合计算，在匹配识别的同时即可完成特征的重建，可有效用于大部分规则特征的识别，如直线、平面、圆（球）、椭圆、抛物线面等。

图 4 给出几种特征的匹配关系图。

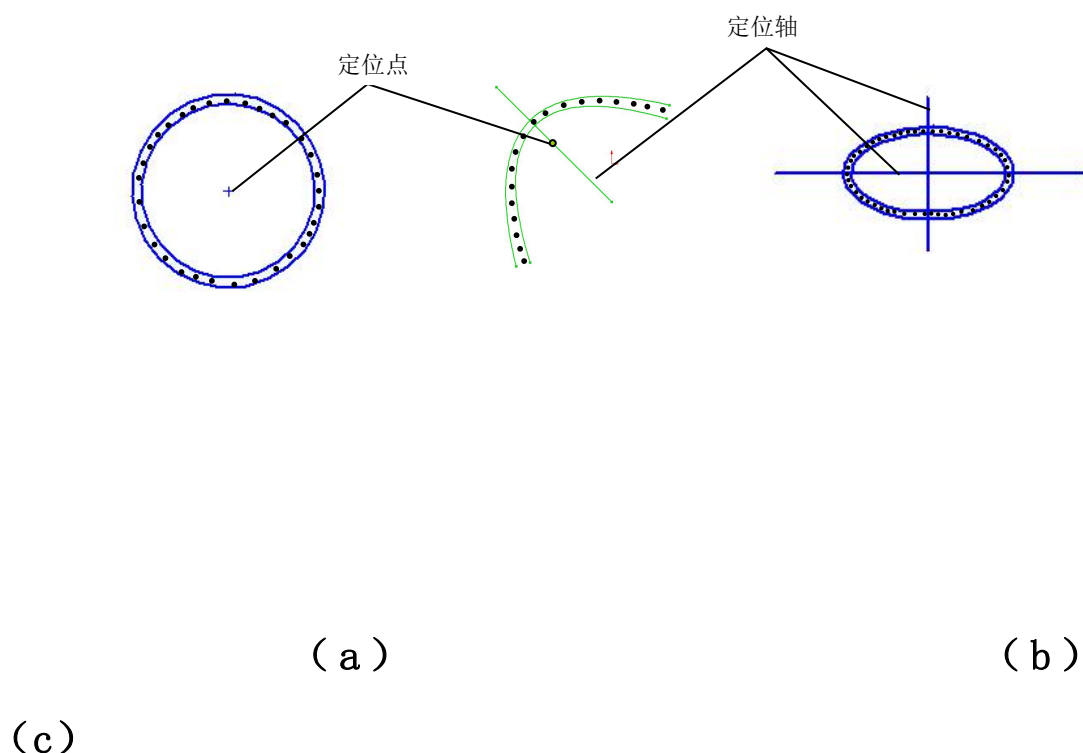


图 4 匹配特征及定位示意图(a. 圆 b. 抛物线 c. 椭圆)

(2) 造型特征识别

在本文中，我们将自由曲面特征定义为造型特征，因为对绝大多数设计产品来说，组成其外形的曲面都是由设计人员选择一定的造型方式，形成一简单的特征子曲面，再由简单子曲面组成高层次的复合特征曲面。因此我们可以采取和原曲面相同的构造方法来还原曲面。主要的曲面造型方法包括：拉伸、旋转、扫略、融合和放样等，对上述造型方法，其已知或要求的造型条件（信息）见表 3。

但曲面造型完成后，上述条件信息部分或全部隐含在曲面中，人工交互识别也只能测量出一近似的造型信息，这点和规则特征有所不同，如对于一个旋转曲面，由于其旋转轴不能准确建立，截面扫描测量得到的截面点以及生成的截面曲线只是原设计截面的一近似截面，用这个截面旋转得到的模型也是一近似模型，模型不能准确构建。

为解决上述造型特征问题，我们提出一种曲面特征识别方法，其原理步骤为：

Step1:人工标识测量路径和采样点，作为初始造型信息和模型匹配检验参考点；

Step2:截面拟合，产生一光滑参数或样条曲线，数据计算，得到旋转基准轴；

Step3:根据原形曲面外观特征，选择一匹配造型特征（造型方法）；

Step4:特征曲面造型；

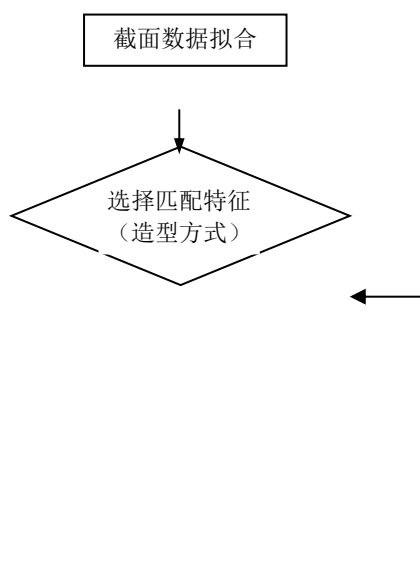
Step5:曲面匹配评价，通过计算曲面到参考点的距离；

Step6:如精度超出要求，将特征曲面对参考点作拟合；

Step7:得到一精度要求下的逼近曲面，再选择此逼近曲面的网格截面线和基准线（旋转轴、导引线）作为下一次特征曲面造型的特征信息，进行特征曲面造型；

Step8:重复（5）-（8）步骤，直到得到一最佳逼近曲面；

Step9:组成曲面的特征曲线参数化。其流程图见图 5。



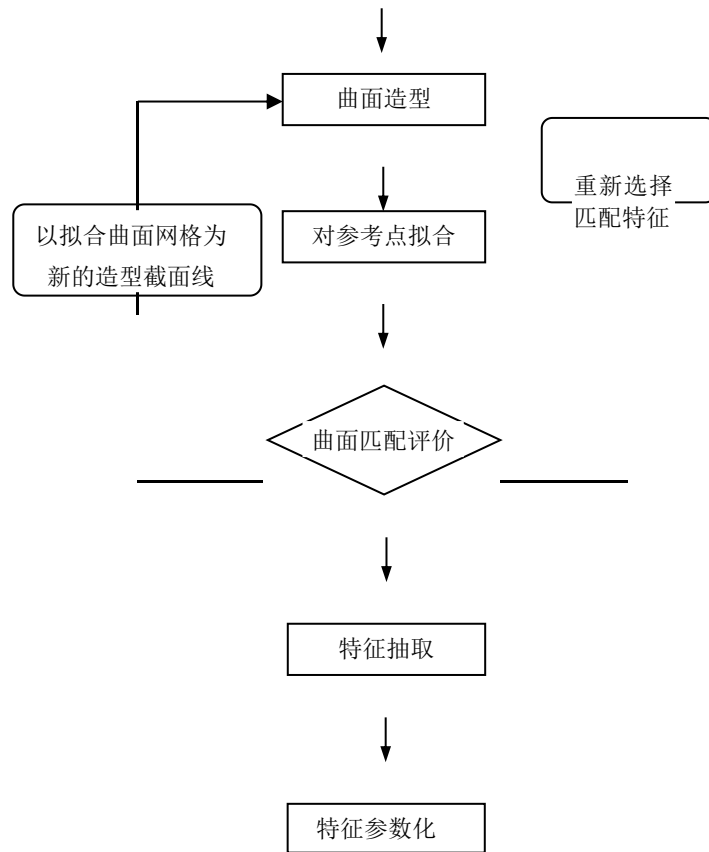


图 5. 曲面匹配造型流程

这样我们即通过造型方法，获得了测量数据点的一个最佳匹配自由曲面特征，即满足曲面的精度要求，也提供了一参数化的曲面特征，为曲面修改提供了几何基础。

表 3 曲面造型信息

曲面类型	拉伸曲面	旋转曲面	扫略曲面	混合曲面	放样曲面	四边曲面
已知信息	初始截面线	初始截面线 旋转轴	初始截面线 (中间截面线) 导引线	初始截面线 中间截面线 导引线	初始截面线 中间截面线	二边轮廓 四边轮廓

需注意的是，在选择初始匹配特征时，如果曲面造型的引导线能测量或识别确定，可选 Sweep 或 Blend 方法，否则选 Loft 方法；图 6 给出一 Sweep 曲面产生示意图。

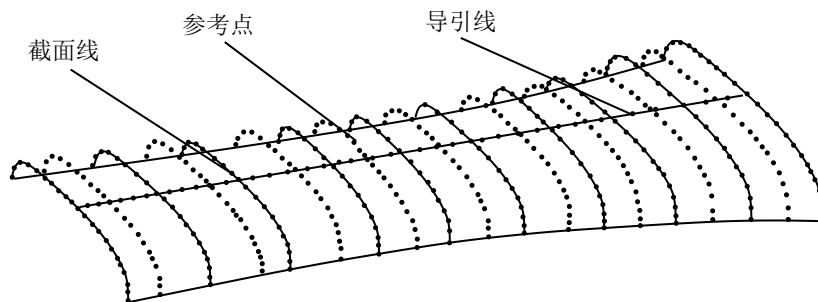


图 6. Sweep 曲面重建

4.2 约束识别

几何特征间的约束关系类型有：包容约束、位置约束、距离约束和装配约束等，由于测量点中没有包含约束信息，约束识别主要通过测量进行，即人工方式，通过测量机进行约束关系识别，能识别位置约束、距离约束和装配约束。

4.3 特征重建和特征参数化

采用上述特征识别方法，在识别的同时也完成了特征的构建，因此特征及模型重建阶段的主要工作是组合简单的特征以构成高层次的复合特征，组合方式包括延伸、剪裁、求交、倒角等，最终形成一完整的几何实体，提供后续的应用。应指出的是特征以及模型重建时应考虑特征的几何约束关系，否则最终的原形是不准确的。

对规则几何特征，根据前面的分析，可以将特征分解为组成特征的二维约束图，并建立基准绘图平面，这样可进行截面形状尺寸以及实现方式（如拉伸距离、旋转角）的参数化，实现尺寸驱动图形变化，达到变形设计的目的。

对造型特征，主要将组成曲面的截面几何曲线和实现方式（如 sweep 导引线等）进行参数化，这样改变曲面形状可以在控制点调控的基础上，增加尺寸驱动的方式。

4.4 建立特征变形协同关系

在完成特征识别和特征参数化后，即完成了实物零件的几何特征的重建和约束关系的恢复，但对一些复杂产品，其组成产品外形的几何特征有时是跨零件的，特征间的变形协同关系，对跨零件曲面以及整体协同变形曲面建立边界约束关系根据变形区域、变形方式和变形量确定约束类型和约束参数。

对规则几何特征，可建立特征造型的历史树，确立特征间的协同变形（父子关系）关系，以保证父特征改变时，子

特征也发生相应的变化，如不需要协同变形，也可以取消父子关系。

对造型特征（自由曲面特征），主要建立特征边界的协同变形关系，如一 **sweep** 曲面和一 **extrude** 曲面的边界约束关系，可以考虑两种情况，一是边界约束固定的，及边界不发生改变；另一种是边界自由的，这时一个曲面改变后，另一与之有边界连结的曲面也应发生相应的变化。

5. 实例

图 7-8 给出了一摩托车前大板的基于逆向工程的改形设计

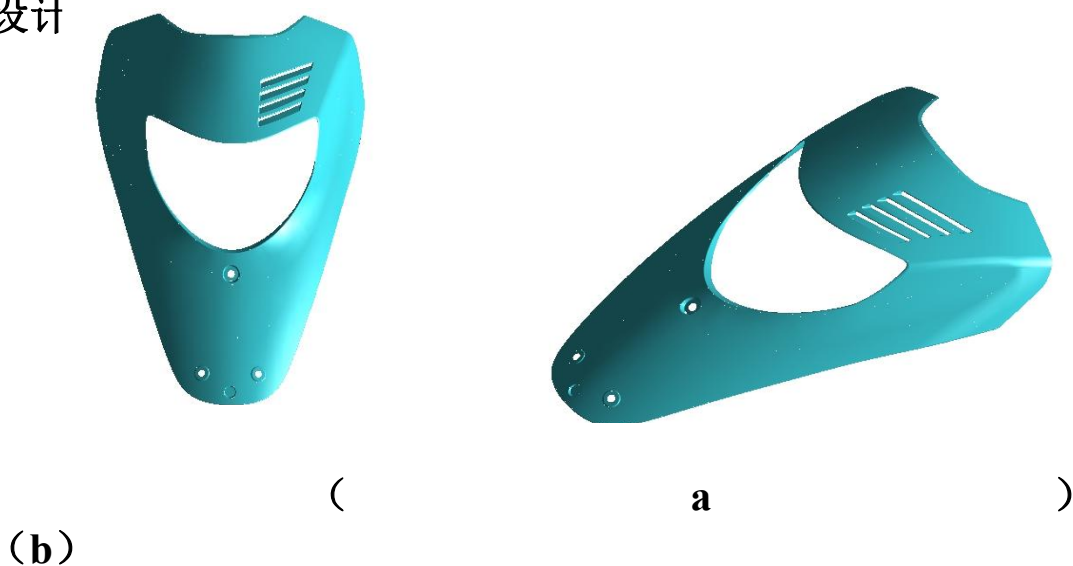


图 7. 某摩托车前大板三维模型（a.正视图 b.轴测图）

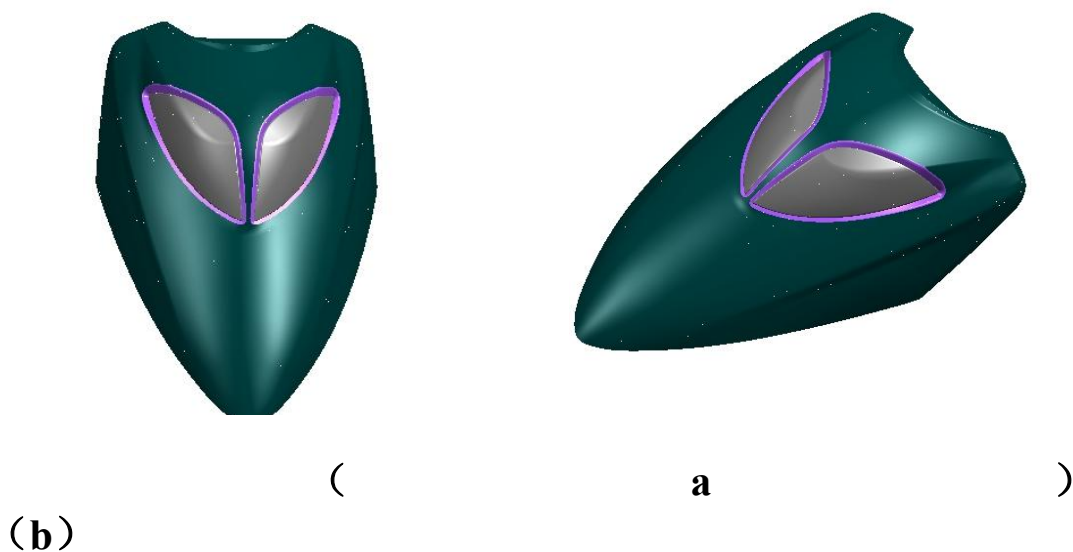


图 8. 基于逆向工程的改形（创新）设计图（a.正视图 b.轴测

图)

6. 总结

本文提出支持创新设计的概念、模型表达和实现方法，在现有 CAD 造型技术条件下，选择基于特征的参数化或变量化表达来描述重建模型，将便于对模型进行修改和再设计操作，达到改变产品外形，实现形状创新设计的目的。其技术关键在于重建原形的几何特征及约束关系，在此基础上，根据造型方法将几何特征分解为二维截面约束图，建立造型关系树，实现特征的参数化表达，最终通过尺寸驱动来改变形状。这种方法可以有效处理规则几何特征组成的产品零件，难点在于复杂组合特征的识别和重建，以及自由曲面特征之间的变形约束关系的构建，上述问题是今后的研究重点。

参 考 文 献

1. Tamas Varady, Ralph Martin, Jordan Cox. Reverse Engineering of Geometric Models—an introduction, Computer Aided Design, 1997, Vol.29:253~254
2. Leonardis A. Jaklic A. Solina F. Superquadrics for segmenting and modeling range data. IEEE PAMI 1997,19(1):1289-95
3. Eck M. Hoppe H.. Automatic reconstruction of B-spline surfaces of arbitrary topological type. Computer Graphics(SIGGRAPH. 96), vol.30,1996.
4. Ma W. and Kruth J P.. Parametrization of randomly measured points for least square fitting of B-spline curves and surface, Computer Aided Design,1995, 27(9):663~675
5. Yau Hong-Tzong, Chen Jenq-Shyong. reverse engineering of complex geometry using rational B-splines. International Journal of Advanced Manufacturing Technology,1997,13(8):548-555
6. 穆国旺. 逆向工程中 NURBS 曲面的重构. 北京航空航天大学大学博士学位论文, 北京, 2001.1
7. Pal Benko, Ralph R. Martin, Tamas Varady. Algorithms for reverse engineering boundary representation models. Computer Aided Design, 2001,33:839-851
8. Thompson William B., Owen Jonathan C., de St. Germain, H. James, etc.. Feature-based reverse engineering of

- mechanical parts. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1999, 15(1):57-66
9. 李江雄, 柯映林. 基于特征的复杂曲面反求建模技术研究. *机械工程学报*, 2000,36(5).18-22
 10. 阳道善, 陈吉红, 周济等. 测量数据云中规则表面的自动识别. *计算机工程*, 2001,27(5)22-24
 11. N.Werghi, R.Fisher, C. Robertson etc. Object reconstruction by incorporating feometric constraints in reverse engineering. *Computer Aided Design*,1999,31:363-399
 12. Thompson WB, Owen JC, St Germain HJD, Stark SR, Henderson TC. Feature-based reverse engineering of mechanical parts, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1999,15 (1): 57-66
 13. Ueng Wen-Der, Lai Jiing-Yih, Doong Ji-Liang. Surface reconstruction from 3D measured data using translational sweeping, *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers*, 1999, 20(3):191-200
 14. Wen-Der Ueng, Jiing-Yih Lai, Ji-Liang Doong. Sweep-surface reconstruction from three-dimensional measured data. *Computer Aided Design*, 1998, 30(10):791-805
 15. Jiing-Yih Lai , Wen-Der Ueng. Reconstruction of surfaces of revolution from measured points. *Computers in Industry*, 2000, 41:147-161
 16. Lin C.Y., Liou C.S., Lai J.Y.. Surface-lofting approach for smooth-surface reconstruction from 3D measurement data. *Computers in Industry*, 1997, 34(1):73-85
 17. Pal Benko, Geza Kos, Tamas Varady etc. Constraints fitting in reverse engineering. *Computer Aided Design*, 2002,19:173-205

**A representation model of 3D reconstruction object
supporting product redesign & innovative design and
reconstruction processes**

JIN Tao Tong Shui-guang

(Institute of Chemical Machinery, Zhejiang University,

Hangzhou, 310027, China)

Abstract: In this paper, an approach is proposed to solve the reconstructed object's redesign problem in reverse engineering, the conventional approach is to adopt simple analytical surface, B-splines surface, or NURBS directly fitting to measured points to reconstruct object, but this representation is difficulty if we are going to change object shape, in other words to make redesign and innovative design work. Therefore it is important to correctly represent the reconstructing solid model in which we can easily redesign and modify. Our approach is to adopt parameterization features to represent reconstructing model, reconstruction processes is composed of three steps. In the first step, geometric features are recognized and extracted based on a features matching algorithm, simultaneously constraints between these features also are detected. In the second step, these features are adjusted according to constraints relationship between features to obtain an optimal fitting to measured data points. Finally, the features are applied variational representation and a whole shape

cooperative change relationship is established. Thus the reconstructing model will be composed of geometric features, it can be randomly changed by change feature size (size drive), this model meets our requirement of making product shape redesign and innovative design to the extent. The proposed approach is illustrated by means of various examples.

Key words: reverse engineering; object reconstruction; innovative design; based on features; constraints fitting