

文章编号:1000-582X(2004)05-00107-04

# 多气门汽油机气道与燃烧室自由曲面的重构修正\*

黄琪<sup>1</sup>,张力<sup>2</sup>,李应权<sup>1</sup>,苏伟<sup>1</sup>,商宪锋<sup>2</sup>,徐宗俊<sup>2</sup>

(1. 中国嘉陵工业集团,重庆 400032; 2. 重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

**摘要:**气道与燃烧室结构直接影响汽油机的各项主要性能,逆向工程的方法和途径被应用于多气门汽油机气道与燃烧室结构的三维复杂自由曲面的几何重构。在通过非接触式激光扫描采集得到大量而离散的样件表面原始数据的基础上,经过数据处理、曲面生成、曲面检查、曲面重构、光顺性评估等手段,实现了四气门双球形燃烧室汽油机的气道与燃烧室结构的反求,为通过对原型产品局部结构型式和尺寸的变异进行仿造创新提供了必要条件。

**关键词:**曲面重构;进排气道;逆向工程;CAD/CAM

**中图分类号:**TK421.3

**文献标识码:**A

汽油机燃烧室及其进排气道的设计直接影响到充气效率、火焰传播速度及燃烧放热速率、散热损失、爆燃以及循环波动等,从而影响汽油机的各项主要性能。现代汽油机广泛采用蓬形燃烧室和多球形燃烧室,要求充分利用双进气道组织合理的缸内气流运动,因此进排气道与燃烧室结构具有典型复杂自由曲面的特征。通常气道与燃烧室结构的研制方法,具有较大的尝试性和随机性,研制过程反复、产品开发周期长、工作量大、成本高。有鉴于此,可采用逆向工程(Reverse Engineering),通过原型样件表面的测量和数据采集,在实物零件或原形样件的基础上直接求出气道与燃烧室结构的自由曲面,并通过原型产品局部结构型式和尺寸的变异进行产品仿造创新,实现新产品的快速开发。本文重点探索了逆向工程中,四气门双球形燃烧室汽油机气道与燃烧室结构的曲面重构及其修正。

## 1 实物样件的数据采集和曲面重构

逆向工程是以现有的实物样件为对象,通过尺寸分析或数据采集,创造出新对象的过程<sup>[1-2]</sup>。它首先需要理解原有模型的设计思想,在此基础上还要修复或克服原有模型上存在的缺陷。汽油机气道与燃烧室结构自由曲面的反求,包括:数据采集和处理、曲面重构和修正等过程。

实物样件的数据采集形式可以分为接触式和非接

触式。在非接触三维测量中,激光扫描法是应用最为广泛的方法,采集速度快、密度高、精度高,可以充分表示零件表面信息,较适合于对气道与燃烧室结构复杂自由曲面的测量<sup>[3]</sup>。

激光非接触扫描测量法不能测量零件的内部表面,所以先用硅胶材料对气道进行填充,然后将气缸盖破坏,取出复制了气道几何的硅胶模型,再用激光扫描法测量硅胶模型表面的三维坐标。由于四气门双球形燃烧室汽油机的气道形状的复杂,可以通过多次扫描和测量获得表征其结构的所需数据,因此需要移动或旋转模型进行测量,从而得到相对独立的点云数据,再将不同部位上测量的点云数据根据某些特殊的点信息进行拼接和准确对齐,即可得到描述气道燃烧室结构形状点坐标的大量且离散性的采集点云数据。

在此基础上,需要去除噪声点(即测量误差点),并对采集数据点(结合实物样件)进行观察和判断,根据基础曲面、衔接曲面和依附曲面的分类原则,规划如何创建曲面。鉴于气道与燃烧室结构的扫描采集数据点云的数量大,难以直接进行曲面的NURBS拟合,可将进排气道划分为两个支进气道和二个支排气道、二个主气道、以及主气道和支气道之间的连接曲面、以及燃烧室曲面等部分。再进行曲面拼接、拟合误差分析和曲面修改。完成的气道与燃烧室结构自由曲面的重构模型如图1。

\* 收稿日期:2003-12-01

基金项目:重庆市科技攻关重点项目(7823-2)

作者简介:黄琪(1974-),男,重庆人,中国嘉陵工业股份有限公司,工程师,主要研究方向为动力机械及工程。

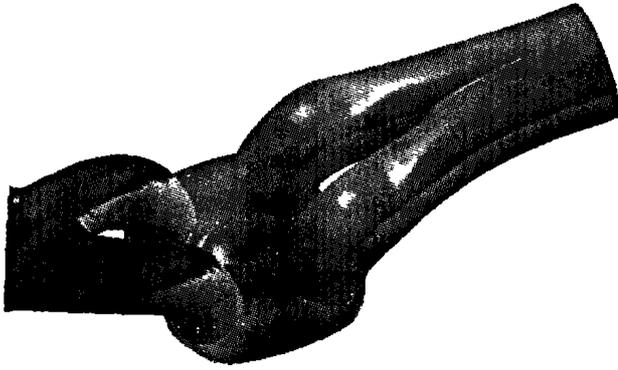


图 1 气道与燃烧室结构的曲面重构模型

### 2 重构模型的缺陷及修正要求

曲面重构后的模型可以用以进行快速原型样件的制造、模具设计与加工等,但其 CAD 平台下的三维模型有很大区别。三维重构平台下的模型着重处理大容量的点云数据,如:点云分块、点云稀疏、点云剖切、曲线曲面重构等,重构模型具有以下缺陷:没有特征的概念、没有实体的概念、没有相关性的概念、无法进行参数修改、数据具有离散性和缺乏整体性、精度可能无法满足 CAD 平台的要求、无法进行复杂的工程分析。因此,可以说重构模型仅仅是实物几何空间形状或三维数据的获得手段,无法直接从重构模型进行改型设计和尺寸修改<sup>[4]</sup>。图 1 所示的气道与燃烧室曲面模型就是由很多曲面片组成的表面壳体,由于该模型是非参数化模型,在进行曲面修改的过程中,当模型表面不满足要求时,则只能进行重构操作。

因此,重构修正就是要根据设计要求和意图在重构模型的基础之上赋予模型特征、实体、相关性和产品系统关联的概念,使其具有再设计能力。它是建立在对重构模型的校验和分析的基础上。

由于在观察光照图时无法分清相邻曲面片之间的边界,也无法看清楚单个曲面片的大小,为了便于模型的检查,故采用不同颜色对气道壳体进行着色处理,相邻曲面片用不同的颜色显示。着色后的气道与燃烧室曲面模型如图 2。

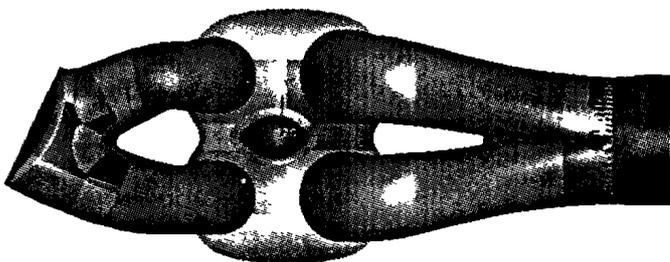


图 2 着色后的气道与燃烧室曲面模型

观察着色后的气道模型各片体边界、片体大小等构成情况,可以发现:两个进气支道内侧曲面在向主进气道过渡的部分相交,且超越了过渡边界;主进气道由两段环形面组成,该两段环形面有一部分互相重叠,边界线不重合;一个支排气道的两段环形面之间边界线不重合,连接处有一部分互相重叠,每段环形面由两个曲面片组成,共有两处重叠;燃烧室顶面的底缘并不在一个平面上,此平面应为气缸盖与气缸体的结合面,如图 3 所示。重构模型所存在的上述问题,原因在于非接触式激光扫描法在处理边界时存在技术困难<sup>[5]</sup>。

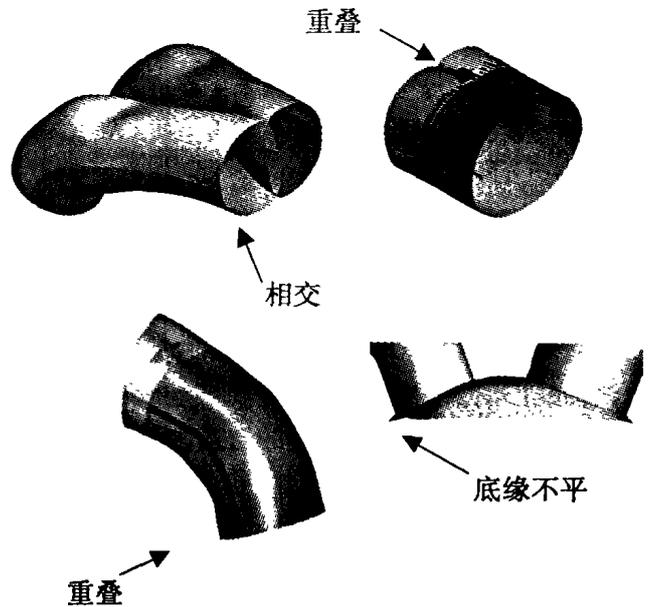


图 3 激光扫描法边界处理的缺陷

重构模型的另一类问题是细碎面过多。产生细碎面的原因通常可能是由于没有正确理解原型样件的几何特性和物理功能,细碎面过多会导致赋予模型特征、实体、相关性和产品系统关联以及下游应用领域的严重困难。在气道与燃烧室结构的重构模型中,两个支进气道向主进气道过渡连接部分的曲面过于细碎;四个支气道向燃烧室顶部过渡连接的环形曲面的组成面块太多,如图 4 所示。

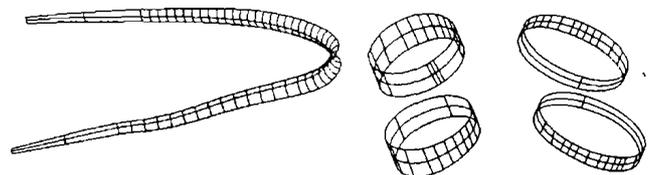


图 4 重构模型中不合理的细碎面

### 3 重构模型的曲面修正和光顺分析

由于重构的气道模型是非参数化的,对不满足要

求的曲面片只能进行重构。由于进气道过渡连接区域为自由曲面,因此先用抽取曲线功能抽取此部分曲面的边缘线,再将两侧的相邻边缘线结合成整条曲线,最后用编织曲面功能创建用来代替此过渡部分的自由曲面。创建曲面时要注意此曲面与周边曲面之间的约束方式,编织曲面功能提供了两种约束方式:斜率连续限制和曲率连续限制,两种限制分别对应一阶连续和二阶连续的性质<sup>[6]</sup>。在创建曲面时,选择斜率连续限制即可满足曲面片体间的光顺连接。创建后的支进气道向主进气道过渡连接部分曲面如图5所示。

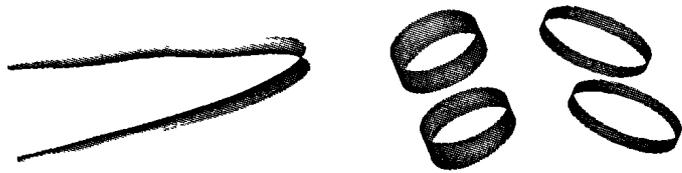


图5 细碎面的修正

气道向燃烧室顶部过渡连接的曲面,从物理功能上可认为是解析曲面(气缸盖上嵌入的气门座圈内表面)。因此先抽取原曲面的所有曲线,将两侧弧线删掉,只保留横越线和中间一条弧线;然后缝合所有一圈面,再抽取整个结合面的边缘曲线,即两侧边缘弧线;最后以三条弧线作为主要线,用编织曲面功能创建自由曲面。创建后的支气道向燃烧室顶部过渡连接的曲面如图5所示。

然后,通过曲面剪裁对重构模型的交叉面、重叠面进行修正,注意修剪边界的筛选和区域的保留或舍弃,用来修剪目标形体的图素可为边缘曲线或基准平面。在此基础上,通过曲面的重新拼接来实现相互间的连续性,注意避免在三角形区域用四边形参数域的NURBS曲面直接表示,在规则圆角过渡或光滑过渡区域,重点保证相邻曲面间的光滑过渡且可适当降低曲面与原云点的完全一致程度。其中,燃烧室曲面的底缘区域,以气缸盖与气缸体的结合面为基准面进行修剪。不满足要求的曲面片经修改和重建后,再同未作修改的部分缝合成单个的气道与燃烧室壳体,曲面修正后的气道与燃烧室结构的曲面模型如图6所示。



图6 曲面修正后的曲面模型

通过曲面修正得到的气道与燃烧室模型中,大部分为复杂的自由曲面,且是非参数化的。因此,曲面光

顺分析采取选用反射分析方法。只要曲面反射线没有明显的不规则扭曲,即就认为是满足光滑要求(曲面片的连接要求几何一阶连续)。光顺性分析中得到的气道与燃烧室曲面模型的反射线图如图7所示。观察气道与燃烧室模型的反射线图,反射线没有不规则的扭曲,据此认为修正后的气道与燃烧室模型满足光顺性的要求。

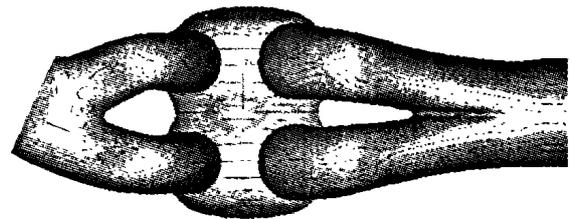


图7 气道与燃烧室模型的反射线图(黑线)

#### 4 重构模型的实体化

实体化可以赋予模型特征、实体、相关性和产品系统的关联。在分析重构修正模型是否存在数据残缺和模型是否封闭的基础上,将反映结构特点的特征线进行提取,构建具有实体性质的局部特征(包括参数化圆角、倒角等特征),融合封闭曲面生成相应实体,从而进一步提高曲面修正后重构模型的再设计能力。然后对实体模型进行误差检验和质量分析评估,充分考虑相关功能零件的干涉和零件之间的关联因素,使其满足下游应用领域的要求,在重构修正模型的基础上,形成的气道与燃烧室实体模型及其与相关零件的关联,如图8所示。在此基础上,通过寻求对原型产品局部结构型式和尺寸的变异,实现了汽油机产品开发中的仿造创新,明显提高了产品开发的进程。

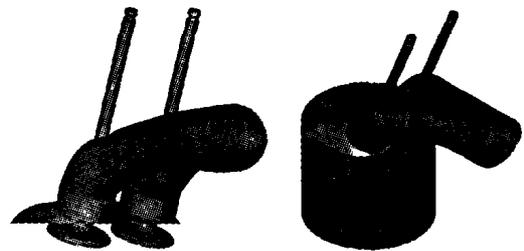


图8 重构修正模型与进气门和气缸的实体关联

#### 5 结论

1)以激光扫描法为基础的曲面重构是汽油机气道与燃烧室几何空间形状和三维数据的有效获得手段。

2)提出了重构修正的概念,根据设计要求和物理特性,通过曲面修正和实体化处理赋予重构模型特征、实体、相关性和产品系统关联的概念,使其满足下游应

用领域的要求和提高模型的再设计能力。

3)实现四气门双球形燃烧室汽油机气道与燃烧室结构的曲面重构及其修正,在此基础上,通过对原型产品局部结构型式和尺寸的变异进行仿造创新,实现汽油机新产品的快速开发。

#### 参考文献:

- [1] BOPAYA B, YASSER A. Reverse engineering and its relevance to industrial engineering: a critical review [J]. Computers Ind. Engng., 1994, 26 (2) : 343 - 348.
- [2] 黄小平, 杜晓明, 熊有伦. 逆向工程中的建模技术[J].

中国机械工程, 2001, 12 (5) : 539 - 542.

- [3] 王军杰, 严隽琪, 马登哲, 等. 汽车发动机进气道自由曲面的反求[J]. 中国机械工程, 2001, 12 (5) : 741 - 743.
- [4] 王诗杨, 郭钢, 刘保嘉, 等. 基于反求工程的CAID方法研究与实践[J]. 计算机辅助设计与制造, 2001, 10 (9) : 76 - 78.
- [5] 杜颖, 李真, 张国雄. 三维曲面的光学非接触测量技术[J]. 光学精密工程, 1999, 7(3) : 11 - 14.
- [6] 李江雄, 柯映林. 基于特征的复杂曲面反求建模技术研究[J]. 机械工程学报, 2000, 36(5) : 18 - 22.

## Surface Reconstruction and Modification of Port - Combustion Chamber Structure for a Gasoline Engine

HUANG Qi, ZHANG Li, LI Ying-quan, SU Wei, SHANG Xian-feng, XU Zong-jun

(1. China Jialing Industrial Co. Ltd., Chongqing 400032, China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Geometry of port-combustion chamber has an important effect on the performance of gasoline engines. Methods and approaches in reverse engineering are introduced into surface reconstruction and modification of a port-combustion chamber structure. Free-form surfaces of the port-combustion chamber structure for a gasoline engine with 4-valves and dual-ball type combustion chamber are successfully reconstructed in the reverse way through data processing, surface modeling, surface verifying, surface re-modeling and smooth evaluating etc., based on laser-scanned point cloud data of a sample work piece. It lays a foundation for imitation innovation of gasoline engine by changing the local structural characteristics and dimensions of a prototype model.

**Key words:** surfaces reconstruction; intake and exhaust port; reverse engineering; CAD/CAM

(编辑 张小强)