

# 三坐标测量技术在曲面测绘中的开发应用

马如军, 李学焕

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 扫描测量功能是三坐标测量机一项重要功能, 扫描测量方法效率高可以反映出零件表面自由形状的细部特征。因此, 就该功能开发适合发动机复杂型面零件测量的数控测量方案, 解决复杂空间自由曲面(线)精密测量问题进行了论述。介绍了如何识别不同的扫描数据格式, 对扫描数据根据生产实践需要进行旋转、镜像及平移等处理, 并将其转换为 CAD 曲线或曲面, 以便进一步进行数据分析或建立三维模型进行加工。

**关键词:** 数控测量; 空间自由型面; 扫描数据; 识别方法

**中图分类号:** V260.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2008) 05-0035-04

## Application of 3D coordinate measuring technology on curved surface surveying and mapping

Ma Rujun, Li Xuehuan

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Scanning and measuring are important functions of 3D coordinate measuring machine. The machine can give detailed features of parts with free-form surfaces. Therefore NC measurement scheme was developed based on this function for parts with complex profiles measuring of rocket engine. This paper introduces the methods for identification of different scanning data formats, rotation, mirroring and moving processing of the scanning data and CAD curve or curved surface transforming according to practical production requirements for further data analysis or 3D model-building.

**Key words:** NC measurement, space free-form profile, scanning data, identifying method

收稿日期: 2008-05-26; 修回日期: 2008-07-10。

作者简介: 马如军 (1971—), 男, 高级工程师, 研究领域为三坐标测量技术工程应用。

## 0 引言

航天发动机中有很多零部件具有复杂的自由曲面,例如:转子叶片、静子叶片、离心轮和壳体的复杂通道、诱导轮叶片、导向环和一、二级轮盘加工所用电极型面及加工用模具等。随着新产品开发,各种具有复杂型面的零件大量涌现,为配合新产品研发和生产,能否完成这些零部件的三维形貌检测,已成为计量部门的首要课题。

三维实体表面的 CNC 三座标测量技术是反向工程中的关键技术,而大量测量数据的 CAD 图形化处理方法是该技术研究的重点。零件三维形貌数据采集的质量好坏,直接关系到整个逆向工程的成功与否,因为测量数据是作为能否达到设计意图和加工精度的依据。采用 CNC 数控测量技术,即通过编程实现数控测量,可以解决上述难题。根据实物具体的形貌特征,不同的测量对象和测量目的,决定了测量过程和测量方法的不同。设计特殊的数控测量方案,不仅节约大量的时间,而且提高了测量数据的整体可靠性。

三维实体数控测量技术更重要的意义在于,它能快速、准确地将产品的立体信息转换为计算机能直接处理的数字信号,为实物数字化提供了一种手段。作为一种三维信息数字化装置,它在新产品研发方面得到了广泛应用。

## 1 数控测量技术方法设计

数控测量具有准确、快捷及高效的检测效率,是一个新的测量技术领域,也是其他传统测量手段无法替代的。数控测量机是逆向工程的数据源,它采用了数字控制技术、传感技术、计算机软件控制及数据处理技术。它以精密的机械主体为基础,运用软件控制和补偿技术,再配以高精度的位置传感器,采用坐标测量方法,可以实现很高的测量精度。在测量程序的驱动下可以准确采集产品零部件的几何尺寸、表面形状及相互位置数据,并且可以对采集的数据进行科学评价。不同形状的零件测量只需编制相应的测量程

序即可完成测量,数控测量机具有很高的柔性,区别于传统测量方法。

使用数控测量机,应掌握计算机编程技术、了解产品的结构和功能、影响产品功能的关键尺寸及加工方法;弄清楚设计基准和加工基准,选择好检测基准,尽量保证三者的统一,设计出完善的检测方法。否则,再先进的精密测量设备,也会因测量方法不当而引入测量方法误差,导致对产品合格性的误判,或为工艺分析、后续加工提供错误的数据,引起错误的工艺分析结论和零件加工的批量报废。

### 1.1 CNC 数控测量中,复杂轮廓型面边界点的确定

通过采用手动采点扫描,生成包容复杂轮廓边缘的两个边界数据点文件(NHX1.MEA 和 WHX1.MEA),通过用 C 语言开发出的 CAD 接口程序读入 CAD 中生成图形,对图形中的数据异常点、跳点进行修正、二次光顺,然后根据设计要求、工件空间扭曲情况及曲率半径变化等因素进行均分处理,再通过接口程序从 CAD 中读出均匀的数据点,生成两个 CAD 边界点数据文件(NHX1.TMP 和 WHX1.TMP)。

### 1.2 数控测量程序的设计

以意大利 DEA 三坐标测量机操作系统 WTUTOR 作为开发平台,利用 DEAPPL 编程语言,研究叶片等复杂曲面的特殊空间结构,选择合适的几何元素建立零件坐标系,开发出通用数控测量程序,实现复杂曲面的 CNC 数控测量。

以 NHX1.TMP 点数据和 WHX1.TMP 点数据文件为每一条扫描数据线提供起始点和结束点。从 NHX1.TMP 数据文件中顺次读出三个数据( $R_{x1}$ ,  $R_{y1}$ ,  $R_{z1}$ )赋值给第一条线的起始点,从 WHX1.TMP 数据文件中顺次读出三个数据( $R_{x2}$ ,  $R_{y2}$ ,  $R_{z2}$ )赋值给第一条线的结束点,以此类推。在程序中给定自动扫描的方向、步距、补偿类型、探测距离、坐标系存储位置及测头存储位置等;设置人机交互输入调整参数窗口,选择相关的执行项目、输入安全距离及输入自动测量线的编号等。

### 1.3 CNC 数控测量系统中测量路径的确定

利用已经过 CAD 优化生成的边界点,建立动态测量坐标系的方法,解决困扰 CNC 数控测

量系统中测量路径不好确定的难题。这样就避免了常规扫描测量中, 由于扫描路径问题, 空间不规则轮廓无法快速完成扫描测量的瓶颈。测量路径的自动生成, 是根据每一对扫描起始和结束点的连线建立坐标系第二轴, 这样可以方便地解决测量路径问题。

## 2 扫描数据格式的智能识别与 CAD 接口程序设计

数控三坐标测量机在工矿企业和科研机构得到了广泛的应用, 这些测量机来自于不同的国家, 不同类型三坐标的扫描数据在文件中的存储格式各异, 且大多数三坐标测量机没有 CAD 接口, 或者不能进行大批量数据文件转换, 效率很低。其中 DEA/COORD3/LEITZ 三种三坐标测量机, 系统操作软件均没有 CMM 测量数据和 CAD 软件的接口, 大量的扫描数据无法转换为 CAD 图形做进一步的分析或逆向, 这大大制约了测量机扫描功能的使用。而军品研制生产中很多都是具有复杂曲线(面)的零部件, 这就需要通过扫描的方式完成测量任务。因此, 自主开发 CAD 接口程序, 快速识别数据文件格式, 并将其转换为 CAD 曲线或曲面, 使用 CAD 或 UG 软件可以方便地进行数据分析或进一步的加工处理。解决 CMM 测量数据与 CAD 软件的数据通讯问题, 是逆向工程的重要环节。

虽然最新的三坐标测量机带有通用的数据转换处理器, 能将测量数据转换为 CAD/CAM 系统所能识别的 IGES 或 DXF 格式, 但此类数据转换程序仅仅适用于该类型的测量机, 转换功能单一, 往往需要逐个输入需转换的测量数据文件名, 转换完成的数据文件中所有空间点往往处于同一图层。空间点显示颜色单一, 给产品造型工作带来困难。目前我国企业使用的三坐标机大多未更新、换代, 为配合 CAD/CAM 的使用, 需要自己设计数据转换程序。

针对以上问题, 在分析多种测量机输出数据格式和各种 CAD/CAM 系统所识别的数据格式的基础上, 编制了一个将测量机数据文件转换为

CAD 所能识别格式文件的转换程序, 应用于产品的逆向工程, 实现了测量机与 CAD/CAM 系统的集成。该转换系统适用于各种接触式测量机系统, 并满足于数据格式的逆转换。

### 2.1 三坐标测量机扫描数据格式及识别方法

因为三坐标测量机的生产国、厂家及型号不同, 扫描数据文件格式也不尽相同, 以下是用 VB 语言编写的接口程序读出 DEA 三坐标测量机的扫描数据格式。

分析三种测量机数据文件格式, 观察使用 VB 语言读入时的格式, 可以找到一定的规律。VB 语言在读入数据文件时, 识别的分隔符为“,”, 并不认为空格为分隔符, 因此, 读入 DEA 三坐标扫描数据时为整行读入; 读入 LEITZ 和 COORD3 三坐标扫描数据时则以逗号分隔符读入。

### 2.2 数据格式的识别方法设计

从图 1 中 VB 语言读入 DEA 测量机的数据格式, 可以发现包含 X、Y、Z 坐标的有规律循环数据块, 在数据格式开始有一段无规律数据块。在包含坐标值(X、Y、Z)的行内, 其坐标值前后都可能都有字符, 采用七位识别码(ABCDEFGF)来描述扫描数据文件格式。

```
文件: C:\三坐标数据处理\DEA测量机\
\JZ1-1.MEA 的内容
# 1 POINT Ref. Sys 1
X -74.0580
Y -3.5436
Z -7.3386
# 2 POINT Ref. Sys 1
X -75.1949
Y -3.9459
Z -7.3387
```

图 1 DEA 三坐标测量机扫描数据

Fig.1 DEA CMM scanning data

其中, 规定 A 为数据格式开始无规律数据块的行数; B 为包含 X、Y、Z 坐标的有规律循环数据块的行数; C 为包含 X 坐标的行在第几行(有规律循环数据块内); …; G 为在包含坐标值的行, 其坐标值后的字符数(可以不计算空格字符)。

根据七位识别码的具体含义, 结合三种不同型号三坐标测量机扫描数据文件的规律, 给出三种不同型号三坐标测量机 CMM-CAD 转换的识别码。其中 DEA 三坐标的识别码为 0523410, 将该识别码数据存入 CAD 接口应用程序所在目录下

的数据文件 CMMYZ.DAT, 程序将根据识别码, 自动区分不同型号测量机的数据格式。

### 2.3 用 VB 语言编制 CMM-CAD 接口程序

在 VB 编程时, 成功链接到 CAD 后就可以编制数据文件转换为 CAD 图形子程序, 根据测量机数据的存储规律识别码, 程序自动选择只要在选择好曲线类别和数据文件名后, 点击“数据文件转换为 CAD 图形”键, 就可以将批量扫描数据文件转换为相应的三种 CAD 曲线。该 CAD 接口程序可以将任何类型的三坐标扫描数据文件转换为 CAD 曲线类型中的一种。

## 3 应用举例

使用 CMM-CAD 接口程序举例如下:

在三坐标测量机上测量复杂的叶片、模具型面及壳体特殊通道截面等, 根据三维实体的空间特征, 编制相应的数控扫描测量程序, 使用 CNC 扫描测量功能实现对空间曲线(面)的测绘。

测量叶片时测量程序自动生成 9 个扫描数据文件; 测量模具型面时测量程序自动生成 101 个扫描数据文件; 测量壳体特殊通道截面生成 8 个数据文件; 测量静子三个截面生成 3 个数据文件。数控测量完成后, 用 CMM-CAD 接口程序将所有的数据文件转换为 CAD 曲线。

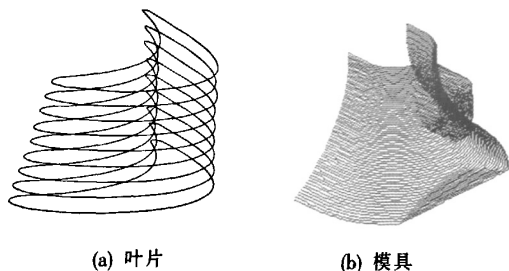


图 2 CAD 图形

Fig.2 CAD picture

如图 2 所示, 用三坐标测量机扫描测量的复杂曲线、曲面数据通过接口程序转换为 CAD 二、三维图形。叶片 9 条线(数据文件), 5 千多点; 模具 101 条线(数据文件), 6 万多点。使用本程

序只需几秒钟就可以转换为 CAD 图形, 进一步可以在 CAD 或 UG 软件中建立三维模型, 生成加工程序, 在数控加工中心上加工出产品。数控测量技术及 CAD 接口程序的应用, 加快了检测效率, 提升了对复杂轮廓零件的检测水平。

## 4 结束语

三坐标数控测量技术设计及数控测量程序和 CMM-CAD 接口程序的编制, 解决了大量复杂型面零部件的数控测量和大量扫描数据的图形化处理难题。数控测量程序是一个通用测量程序, 实践中只需给出具体零件的坐标系, 提供复杂轮廓型面的边界数据点文件, 就可以自动生成扫描路径, 快速完成扫描测量工作; CAD 接口程序可以自动识别三种以上数据文件格式, 而且一次可以大批量转换数据文件, 效率极高。

三坐标数控测量技术设计及数控测量程序和 CMM-CAD 接口程序组成了高效的数控测量系统, 成为解决叶片、模具等复杂曲面零件的主要测量方法。

### 参考文献:

- [1] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994.
- [2] 刘晓燕. 复杂曲面测量与重构成型的精度研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2005.
- [3] 马建明, 周长城. 数据采集与处理技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
- [4] 陶琦. 三坐标测量数据预处理系统 2.0 的研究与开发[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2005.
- [5] 季劲松. 逆向工程中三坐标测量数据处理的研究及系统开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [6] 戴静. 逆向工程数据处理关键技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2003.

(编辑: 马 杰)