

# 基于造型历史过程的零件三坐标测量信息获取\*

方忆湘<sup>1</sup> 杨铁男<sup>1</sup> 孙辉辉<sup>1</sup> 赵金才<sup>2</sup> 董晋峰<sup>2</sup>

(1 河北科技大学机械工程学院, 石家庄 050018; 2 天津农学院机电工程系, 天津 300384)

**摘要:** 针对零件三坐标测量所需检测信息的获取要求, 在通用三维 CAD 软件 Pro/E 环境下, 将生成三维零件模型的造型历史过程作为信息的提取顺序, 从零件模型特征元素树中提取出零件造型常用体素几何信息和由任意截面形状拉伸或旋转而成的复杂特征几何信息, 并从模型数据中提取出公差信息, 根据测量要求对属于同一特征的公差信息进行几何信息关联匹配。通过该方法所提取的零件检测信息, 可为零件三坐标测量规划提供数据基础。

**关键词:** Pro/E 软件; 测量信息; 信息提取; 特征元素树; 复杂特征

**中图分类号:** TP311.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671—3133(2014)04—0007—06

## Measurement information extraction of part model based on the modeling historical process

Fang Yixiang<sup>1</sup>, Yang Tienan<sup>1</sup>, Sun Huihui<sup>1</sup>, Zhao Jincai<sup>2</sup>, Dong Jinfeng<sup>2</sup>

(1 College of Mechanical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;

2 Department of Electromechanical Engineering, Tianjin Agriculture University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** According to the part measurement information required of coordinate measuring machine inspection, by the historical process modelling of Pro/E three-dimensional part model as information extraction sequence, the geometry information of common characteristics, some complex extrude characteristics and rotational characteristics created by the arbitrary shape section can be extracted through the feature element tree in the three-dimensional CAD software environment, the tolerance information can be extracted from the model, then the geometric feature information can be matched with the tolerance information based on the requirements, the parts detection information extracted based on the method can provide the data for the parts coordinate measuring machine measurement planning.

**Key words:** Pro/E; measurement information; information extraction; feature element tree; complex feature

## 0 引言

随着计算机集成制造系统与技术的发展, 三坐标测量机(Coordinate Measuring Machine, CMM)在各制造领域的质量控制中得到了广泛应用。同时, 现代制造业的发展对 CMM 数据处理能力和自动化程度提出了更高要求<sup>[1-2]</sup>, 零件检测信息的获取是实现三坐标测量技术智能化和自动化的前提条件, 所获取的零件检测信息不仅为后续的零件测量路径规划、碰撞检查和位姿识别等提供信息数据源, 而且为 CAD/CMM 集成提供了数据基础<sup>[3-5]</sup>。

在对零件检测信息获取技术研究中, 何章毅采用 CAD 中性文件 IGES 作为数据交换介质, 实现零件信

息的读入、转换, 并利用 OpenGL 完成零件模型的三维重构<sup>[6]</sup>。任明轩开发了基于 STEP 文件的特征识别系统, 为智能三坐标测量机提供了 STEP 图形文件接口支持<sup>[7]</sup>。赵金才利用通用三维 CAD 软件 Pro/E 二次开发包 Pro/TOOLKIT, 通过提取草绘截面相关信息来判断其所属特征体素的方法, 从 Pro/E 零件模型中提取几何信息, 其研究对象主要针对简单拉伸或旋转所生成的基本体素类型, 而对于扫描、混合等较复杂零件特征信息的识别与提取有待进一步研究<sup>[3]</sup>。

借鉴已有研究, 结合现行三维 CAD 软件的零件模型构建特点, 本文探讨在 Pro/E 环境下, 基于零件模型造型历史过程的信息提取方法, 即以零件模型造型历史过程为信息提取顺序, 根据零件模型特征生成顺序

\* 国家自然科学基金资助项目(51075119)

及其层次结构,从零件模型各特征元素树中提取所有构成零件模型的特征基础几何信息;然后通过提取标注在零件模型上的公差信息及其依附的特征信息,确定需要检测的几何特征及其与公差信息的匹配,并进一步提取所需检测特征的点、线和面等信息。采用该方法,可获取零件模型基本体素的几何信息及其匹配公差信息;基于该思路,可进一步研究由任意截面形状拉伸、旋转或扫描而成的复杂几何特征的检测信息获取。

## 1 零件模型检测信息的构成

Pro/E 软件基于特征的参数化造型方式,将基本

特征(体素)作为几何模型的基础构造元素,如圆柱体、圆锥体和长方体等;并支持任意草图截面通过拉伸、旋转或扫描造型,形成复杂拉伸体、复杂旋转体和复杂扫描体。通过特征间的集合运算(造型历史过程)可生成复杂的零件模型,因此,只需将零件各特征几何信息提取出来并通过与公差信息的关联匹配,即可得到所需零件模型的完整检测信息。零件模型检测信息的构成层次结构图如图 1 所示,包括几何特征信息和公差特征信息。以基本几何特征及其关联的公差信息为例,几何特征信息包括所定义的基本体素和构成基本体素所需的点、线和面等轮廓信息;公差特征信息包括尺寸公差和形位公差。

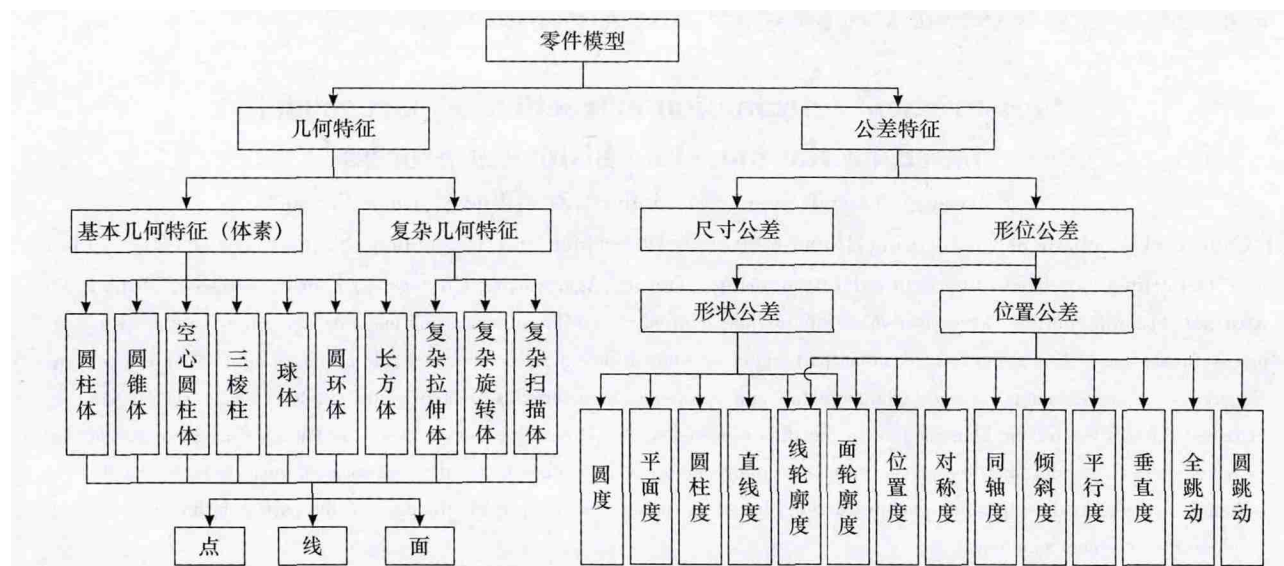


图 1 零件模型检测信息的构成层次结构图

**三坐标测量机通用测量软件**,如海克斯康公司的 PC-DMIS CAD++、天津大学的 POSCOM 等,可以实现对点、直线、平面、圆、球、圆柱和圆锥等基本几何元素及其拓展几何元素如空心圆柱体、圆环体和三棱柱等的测量。但需要提供检测所需的基本检测数据,如坐标、基准和方向等,通过检测规划确定相关检测特征的测量点采样策略、测量路径,并生成测量程序。

根据通用测量软件的测量数据要求,需要提取的几何信息包括:特征的体素类型、ID 值、正负属性、尺寸信息、基点坐标和方向向量等基础特征信息以及点、线和面等轮廓信息。对于由基本体素组合而成的特征信息和复杂几何特征信息的提取,将在信息获取实例中进行说明。例如长方体可以通过长、宽、高以及基本体素的空间位置和方向向量来定义,通过特征 ID 值可以将所提取的信息进行关联匹配;对

于复杂几何特征,如包含有自由曲线的截面图形,还需要提取其曲线控制点坐标等关联几何信息。

## 2 几何特征信息的提取

基于 Pro/E 零件模型造型历史过程,采用树形结构形式来描述和定义特征,这种结构形式称为特征元素树,零件特征元素树示意如图 2 所示。特征元素树记录了构建某类特征的全部信息,为特征信息的提取提供了依据<sup>[8-9]</sup>。

利用 Pro/E 软件的二次开发环境 Pro/TOOLKIT,依照零件模型生成过程依次进行特征信息提取,通过过滤掉不可见特征项及作图时的模型基准,获取模型可见特征项,逐步访问每个可见特征项的特征元素树,并根据特征元素树的层次逐步访问模型数据并获取相关值<sup>[10]</sup>。几何特征信息的提取流程如图 3 所示。

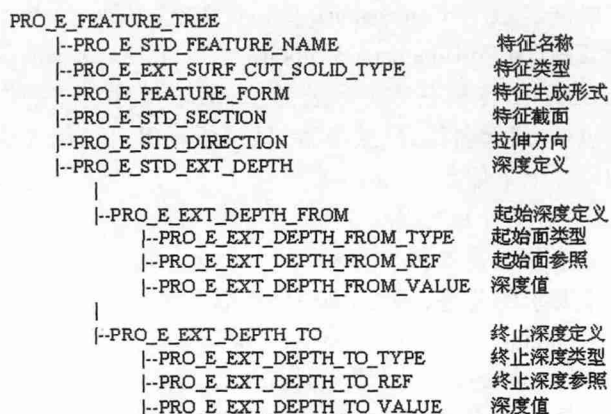


图2 零件特征元素树示意

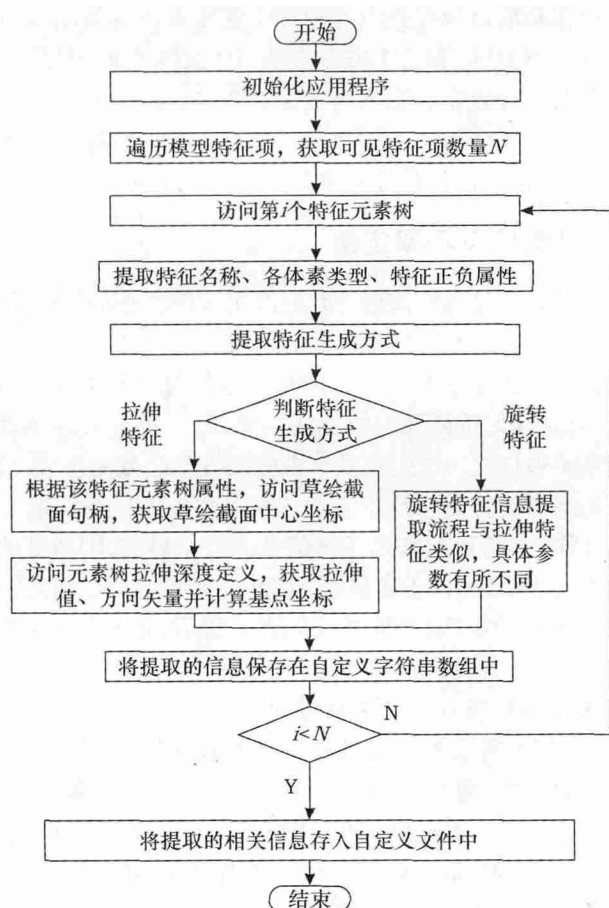


图3 几何特征信息的提取流程

## 2.1 拉伸特征信息提取

按照图3所示的几何特征信息的提取流程,首先利用库函数 ProSolidFeatVisit() 进行模型特征遍历,并利用访问动作函数 ProFeatureVisitAction() 及过滤函数 ProFeatureFilterAction() 进行相关特征信息的提取,获得可见特征项数目,所提取的几何信息均为可见特征项。其次访问模型各特征元素树,按照特征元素树

层次结构设置访问动作函数,进行信息的提取:获取各特征体素类型,利用函数 ProFeatureElemtree Create() 来创建特征元素树;特征元素树数值的提取需要根据其层次结构来逐步设定访问路径及访问内容:如获取各特征正负属性时,路径设置为 path\_items[0].type = PRO\_ELEM\_PATH\_ITEM\_TYPE\_ID, path\_items[0].Path\_item.elem\_id = PRO\_EFEATURE\_TYPE;通过利用元素树数据提取函数 ProElemtree ElementGet() 进行指定路径的元素信息提取。利用函数 ProElementValueGet()、ProValueDataGet() 来获取元素树元素数值,如果该值表示为 PRO\_FEAT\_PROTRUSION 则其属性为正;相反,如果该值表示为 PRO\_FEAT\_CUT 则其属性为负,其余元素树数据提取方式与此类似。对于特征生成方式的信息提取,根据元素树 PRO\_E\_FEATURE\_FORM 的值判断该特征生成方式,不同的特征生成方式其特征元素树结构不同,函数设置也不同,若元素数值表示为 PRO\_EXTRUDE 则按照拉伸特征提取流程进行信息提取;若元素数值表示为 PRO\_REVOLVE 则按照旋转特征提取流程进行信息提取。通过访问草绘截面来计算出草图中心坐标,并经过坐标变换后计算出体素基点坐标。最后访问拉伸方向及深度定义,拉伸深度类型分为 PRO\_EXT\_DEPTH\_TO\_BLIND、PRO\_EXT\_DEPTH\_TO\_NEXT 和 PRO\_EXT\_DEPTH\_TO\_ALL 等,需要预先设置拉伸深度访问路径,判断拉伸深度类型,其路径设置方法与上述特征正负属性的路径设置相似,并利用相关函数按指定路径获取拉伸深度值。

## 2.2 旋转特征信息提取

旋转特征信息提取流程与拉伸特征信息提取相似,依次提取出特征体素类型、特征正负属性、特征ID值和特征生成方式等;然后访问草绘截面信息,根据草图相关信息计算出体素基点坐标。旋转特征信息提取与拉伸特征提取的区别在于,前者需要提取出旋转轴、方向向量和旋转角度等信息,其中旋转初始角度的获取路径应为复合路径,路径设置如下:

```
path_items[0].type = PRO_ELEM_PATH_ITEM_TYPE_ID;
path_items[0].path_item.elem_id = PRO_E_REV_ANGLE;
path_items[1].type = PRO_ELEM_PATH_ITEM_TYPE_ID;
path_items[1].path_item.elem_id = PRO_E_REV_ANGLE_FROM;
path_items[2].type = PRO_ELEM_PATH_ITEM_TYPE_ID;
path_items[2].path_item.elem_id = PRO_E_REV_ANGLE_FROM_VAL;
```

旋转终止角度的获取路径设置如下:

```
path_items[0].type = PRO_ELEM_PATH_ITEM_TYPE_ID;
```

```

path_items[0].path_item.elem_id = PRO_E_REV_ANGLE;
path_items[1].type = PRO_ELEM_PATH_ITEM_TYPE_ID;
path_items[1].path_item.elem_id = PRO_E_REV_ANGLE_TO;
path_items[2].type = PRO_ELEM_PATH_ITEM_TYPE_ID;
path_items[2].path_item.elem_id = PRO_E_REV_ANGLE_TO_VAL

```

### 3 公差特征信息的提取

公差特征包括尺寸公差、形状公差和位置公差,对于涉及到基准要求的形位公差,在进行公差信息提取时要判断基准是否存在以及基准数目(本文基准数为3)。公差信息的提取流程如图4所示。

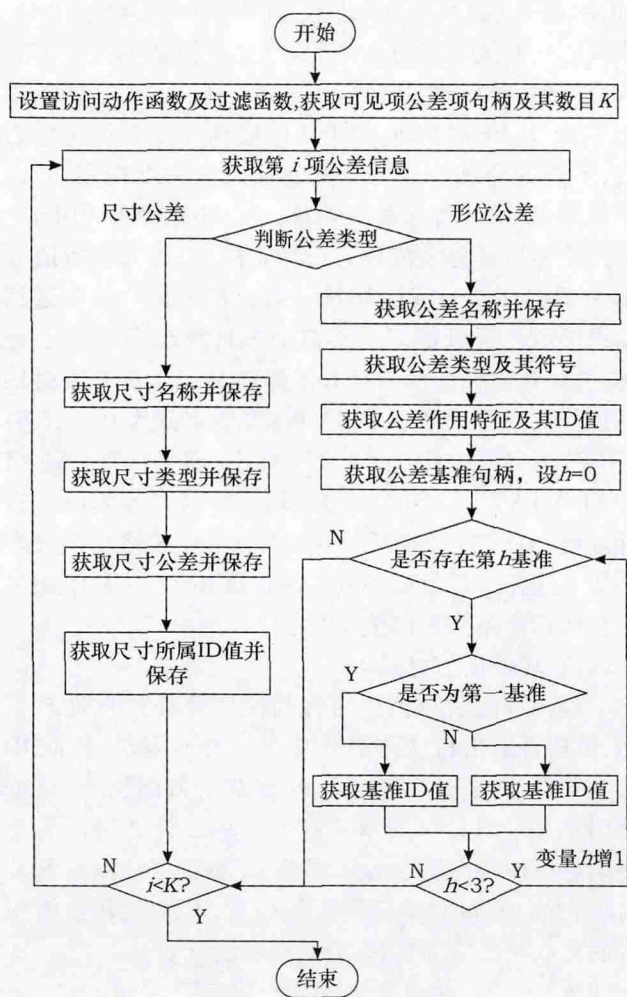


图4 公差信息的提取流程

#### 3.1 尺寸公差的提取

首先利用函数 `FeatDimensionsGet()` 和函数 `ProDimensionToleranceGet()` 获取尺寸项句柄及公差值,然后判断其是否为公差信息。如果所提取的尺寸上、下偏差值不都为0,则提取并保存信息;相反,则跳过该项,继续访问,直到遍历完所有尺寸项及公差项。然

后根据函数 `ProDimensionTypeGet()` 提取尺寸公差类型,最后用 `ProDimensionSymbolGet()`、`ProDimensionValueGet()` 等函数获取各项公差值;对于尺寸公差的提取包括:尺寸名称、尺寸类型、尺寸所属ID值、尺寸值和尺寸上下偏差。

#### 3.2 形位公差的提取

形位公差的提取方法与尺寸公差类似。对于无基准要求的公差,利用 `Pro/TOOLKIT` 所提供的库函数 `ProGtoldataTypeGet()`、`ProGtoldataValueGet()` 和 `ProGtoldataReferenceGet()` 等分别获取公差类型、公差值和公差依附元素等。对于有基准要求的形位公差,在进行基准信息的提取时,采用循环方式判断形位公差是否存在基准以及存在几个基准,在基准存在的情况下进行基准ID值和公差作用特征ID值的提取,最后将所提取的公差信息存入自定义文件中。

`Pro/TOOLKIT` 支持 Visual C++ 2008 程序开发工具,上述相关应用程序均采用该程序语言开发。

### 4 测量信息获取实例

依据信息提取流程开发的应用程序,完成了对实例零件的几何特征与公差特征的提取,实例零件的测量信息提取界面如图5所示。该复杂零件包含基本体素特征、复杂几何特征及三维标注信息,其中复杂拉伸体及复杂旋转体由包含圆弧及自由曲线等草绘截面生成,部分凹槽由长方体和圆柱体等基本体素类型组合而成。

图5a所示为基础几何信息的提取界面,即特征的体素类型、ID值、正负属性、基点坐标和特征生成的方向矢量等的提取,提取结果如表1所示,表1中基点坐标( $x$ ,  $y$ ,  $z$ )为几何体素中心点坐标,法矢  $I$ 、法矢  $J$ 、法矢  $K$  为该特征的位置矢量方向。

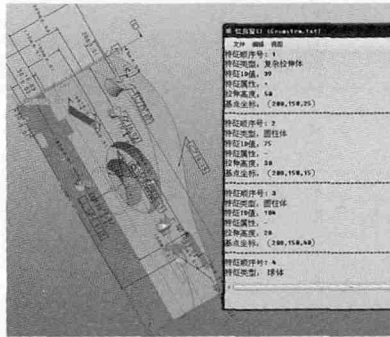
图5b所示为面信息的提取界面,提取结果如表2所示,构成了零件检测所需的平面、曲面等轮廓信息,表2中 `PRO_SRF_PLANE`、`PRO_SRF_TABCYL` 分别表示平面、曲面,  $uv\_min$ 、 $uv\_max$  均为曲面相关参数,即计算机图形学中曲面  $u$ 、 $v$  方向的起点和终点,也即最小值和最大值。法矢  $l$ 、法矢  $m$ 、法矢  $n$  分别表示面的法向矢量方向。

图5c所示为线和点信息的提取界面,提取结果如表3所示,包含了与零件检测相关的点、线等信息,共同构成了零件体素特征的外形轮廓信息,表3中 `PRO_ENT_ARC`、`PRO_ENT_LINE` 分别表示圆弧和直线。表1、表2和表3共同组成每个特征的体-面-边-点的层次结构,包含了一个零件特征检测所需的全部几何信息。

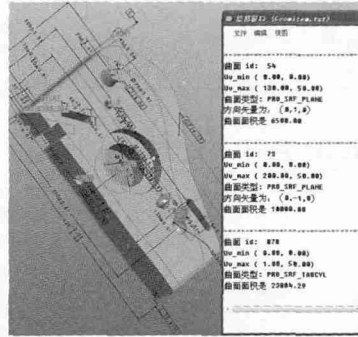


图5d、图5e所示分别为尺寸公差信息、形位公差信息提取界面。提取结果分别如表4和表5所示。在公差信息中包含有公差的所属特征ID值(如表4中39、291和75)以及基准特征ID值(如表5中42、89),

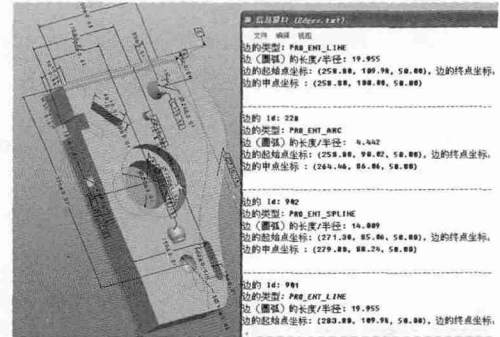
这两种ID值不是零件几何特征的ID值,而是为了利用ID值将公差与特征联系起来,为后续信息匹配提供依据。公差信息反映了零件检测约束或加工工艺所需的信息。



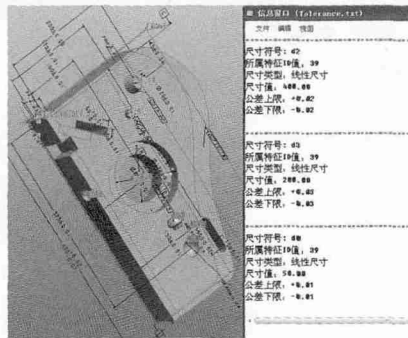
a) 基础几何信息的提取界面



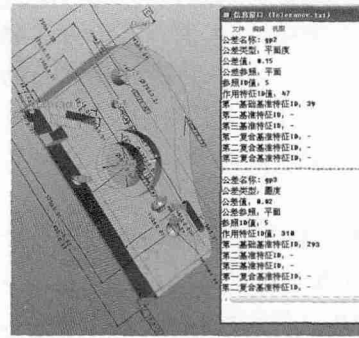
b) 面信息的提取界面



c) 线和点信息的提取界面



d) 尺寸公差信息的提取界面



e) 形位公差信息的提取界面

图5 实例零件的测量信息提取界面

表1 提取的零件基础几何信息(部分数据)

特征序号	体素类型	正负属性	ID 值	基点坐标( $x \ y \ z$ )	法矢 $I$	法矢 $J$	法矢 $K$	高度或直径
1	复杂拉伸体	+	39	(200.00 150.00 25.00)	0	0	1	50.00
2	圆柱体	-	75	(200.00 150.00 15.00)	0	0	1	30.00
3	圆柱体	-	104	(200.00 150.00 40.00)	0	0	1	20.00
4	球体	-	212	(320.00 100.00 50.00)	1	0	0	$\phi 30.00$
5	立方体	-	342	(61.50 61.50 25.00)	0	0	1	50.00

表2 提取的零件面信息(部分数据)

面的类型	曲面 ID	$w_{min}$	$w_{max}$	法矢 $l$	法矢 $m$	法矢 $n$
PRO_SRF_PLANE	42	(0.00 0.00)	(400.00 275.63)	0	0	-1
PRO_SRF_PLANE	47	(0.00 0.00)	(400.00 275.63)	0	0	1
PRO_SRF_PLANE	52	(0.00 0.00)	(400.00 50.00)	1	0	0
PRO_SRF_PLANE	54	(0.00 0.00)	(130.00 50.00)	0	1	0
PRO_SRF_PLANE	73	(0.00 0.00)	(200.00 50.00)	0	-1	0
PRO_SRF_TABCYL	878	(0.00 0.00)	(1.00 50.00)			

表3 提取的零件点、线信息(部分数据)

线的类型	线的 ID	起点坐标	中点坐标	终点坐标	长度或半径
PRO_ENT_ARC	90	(220.00 100.00 0.00)	(180.00 140.00 0.00)	(140.00 100.00 0.00)	R40.00
PRO_ENT_ARC	91	(140.00 100.00 0.00)	(180.00 60.00 0.00)	(220.00 100.00 0.00)	R40.00
PRO_ENT_LINE	363	(35.00 45.61 0.00)	(40.30 40.30 0.00)	(45.61 35.00 0.00)	15.00
PRO_ENT_LINE	366	(77.43 88.03 0.00)	(56.21 66.82 0.00)	(35.00 45.61 0.00)	60.00
PRO_ENT_LINE	365	(88.03 77.43 0.00)	(82.73 82.73 0.00)	(77.43 88.03 0.00)	15.00
PRO_ENT_LINE	364	(45.61 35.00 0.00)	(66.82 56.21 0.00)	(88.03 77.43 0.00)	60.00

表 4 提取的零件尺寸公差信息( 部分数据)

尺寸符号	尺寸类型	尺寸值	上偏差	下偏差	所属特征 ID 值
$d_1$	线性尺寸	130.00	+0.01	0.00	39
$d_2$	线性尺寸	400.00	+0.02	-0.02	39
$d_3$	线性尺寸	200.00	+0.03	-0.03	39
$d_0$	线性尺寸	50.00	+0.01	-0.01	39
$d_{31}$	线性尺寸	170.00	+0.01	-0.01	291
$d_6$	直径尺寸	80.00	+0.01	-0.01	75

表 5 提取的零件形位公差信息( 部分数据)

公差名称	公差类型	公差值	作用 特征 ID 值	所属 特征 ID 值	基准 特征 ID 值	第一复合 基准 ID 值	第二 基准 ID 值	第二复合 基准 ID 值	第三 基准 ID 值	第三复合 基准 ID 值
$gp2$	平面度	0.15	47	39	—	—	—	—	—	—
$gp3$	圆度	0.02	310	293	—	—	—	—	—	—
$gp4$	垂直度	0.01	813	635	42	—	—	—	—	—
$gp5$	面轮廓度	0.15	221	212	—	—	—	—	—	—
$gp6$	同轴度	0.01	118	75	89	—	—	—	—	—

将零件所有信息提取完成后,根据公差信息的要求与几何信息进行匹配,因零件每个特征具有唯一的 ID 值,具有相同 ID 值的信息属于同一特征,所以,可以将具有检测要求的特征信息通过 ID 值和与之对应的几何信息进行匹配。

以图 5a 中的复杂拉伸体特征为例,介绍特征信息的匹配:根据图 5a 中复杂拉伸体的 ID 值为 39,从表 4 中可得依附特征 ID 值为 39 的尺寸信息(如尺寸  $d_0$ 、 $d_1$ 、 $d_2$  等);从表 5 中查找所属特征 ID 值为 39 的形位公差信息(如形位公差  $gp2$ ,其作用特征 ID 值为 47,由表 2 可知该作用特征为面特征,属于复杂拉伸体的从属特征);从表 1 所示可知 ID 值为 39 的特征为复杂拉伸体,至此,完成了将公差信息与几何信息的关联匹配,从而使该特征具有检测意义,匹配后的检测信息如表 6 所示。

表 6 匹配后的检测信息( 部分数据)

特征 顺序号	形位公差 名称	尺寸符号	作用 特征 ID 值	所属 特征 ID 值
1	$gp2$	$d_0$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$	47	39
2	$gp6$	$d_6$	118	75

5 结语

本文利用三维 CAD 软件 Pro/E 二次开发包 Pro/TOOLKIT 提供的库函数,采用 Visual C++2008 程序开发工具,实现了从零件模型特征元素树中提取特征几何信息及公差信息的方法,该方法不仅能够实现零件的检测信息提取,并且能根据公差信息测量要求进行几何信息的筛选匹配,为实现 CAD/CMM 的集成和零件加工工艺规划提供了数据信息基础。

参考文献:

[1] 张国雄. 三坐标测量机[M]. 天津: 天津大学出版社,1999.

[2] 张国雄. 三坐标测量机的发展趋势[J]. 中国机械工程, 2000, 11(1-2): 222-226.

[3] 赵金才. 坐标测量系统零件信息提取与位姿自动识别的研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.

[4] 赵金才, 刘书桂. Pro/E 零件模型几何信息的自动提取[J]. 机床与液压, 2005(12): 118-142.

[5] Zhang S G, Ajmal A, Wootton J, et al. A feature-based inspection process planning system for coordinate measuring machine (CMM) [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000(107): 111-118.

[6] 何章毅. 智能化三坐标测量机软件关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.

[7] 任明轩. 基于 STEP 文件特征识别系统的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.

[8] Parametric Technology Corporation. Pro/ENGINEER Wildfire 5.0——Pro/TOOLKIT User's Guide [CP/DK]. US America: Parametric Technology Corporation, 2010.

[9] 吴立军, 陈波. Pro/ENGINEER 二次开发技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[10] 李世国. Pro/TOOLKIT 程序设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

作者简介: 方忆湘, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 数字化设计与制造。  
杨铁男, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 机械制造工艺与设备、CAD/CAM。  
孙辉辉, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字化设计与制造。  
赵金才, 博士, 副教授, 主要研究方向为测试与控制技术。  
董晋峰, 硕士, 讲师, 主要研究方向为控制理论、信号分析。

E-mail: fang\_yixiang@163.com  
收稿日期: 2013-02-19