

CAPP 中轴类零件工序图自动生成技术研究

李 娟, 王庆明*

(华东理工大学 机械与动力工程学院, 上海 200237)

摘要: 工序图是工艺设计结果的图形表达形式,其绘制的自动化程度低,是CAPP技术进步的主要瓶颈之一。针对运用AutoLISP二次开发工具以及数据库技术实现工序图自动绘制过程中,计算机对各个图元的自动识别、编辑和操作的要求,提出了一种轴类零件工序图自动生成的新方法,在参数化绘制预处理零件图的过程中,通过给各个图元重新命名完成了零件几何特征信息的存储,并将零件加工工艺信息代码化,采用逆序修改特征的方法实现了轴类零件工序图生成的自动化。研究表明,由计算机生成的一套工序图可以准确地反映出零件在从毛坯到成品的制造过程中,零件的形状和尺寸变化情况以及加工工序中的各个工艺要素,对其他类型零件的工序图自动生成也具有一定的参考价值。

关键词: 工序图自动生成技术; 轴类零件; CAPP; AutoLISP

中图分类号: TH162; TH164; TH133.2 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)09-0993-04

Automatic generation of process drawing for shaft parts in CAPP system

LI Juan, WANG Qing-ming

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Process drawing is the graphic expression of process design results. The low automation efficiency in process drawing generation is one of the main bottlenecks in computer aided process planning (CAPP) system. Aiming at realizing the automatic identification, editing and operation of each element by computer, by comprehensive utilizing the AutoLISP provided by AutoCAD and the data base technique, a new approach was proposed for producing the process drawing of shaft parts automatically. In the process of parametric drawing part sketch, store the geometry feature information through renaming the graphic elements. By coding the parts processing information, and modifying the characteristics in reverse order, the automatic generation of process drawing for shaft parts was realized. The results indicate that the process drawings generated by computer could accurately reflect the shape and size changes of the parts from blank to product in their manufacturing process. It also has a certain reference value to other kinds of parts.

Key words: automatic generation of process drawing; shaft parts; computer aided process planning(CAPP); AutoLISP

0 引 言

工序图的绘制是CAPP中的一个重要组成部分,它是工艺设计结果的图形表达形式^[1-2]。工序图自动生成技术的一个重要方面是在三维设计建模的基础上生成工序图的研究^[3-4],文献[5-6]采用基于零件特征的表述方法,运用Pro/E提供的二次开发工具Pro/Toolkit,实现了三维CAD/CAPP的集成;文献[7-9]通过对SolidWorks配置功能的使用,以配置对应工序的

方式实现了工序图的自动生成等。在三维设计建模基础上生成工序图符合CAD与CAM集成的发展趋势。当前的生产实际中,零件的设计与制造可能还不是都由制造厂家来承担,在面对“来图加工”模式的情况下,制造厂家往往根据外来的二维图纸直接编制工艺,一般不会由二维图纸再进行三维建模,在此基础上再编制工艺。因此,面向二维图纸的工序图自动生成技术研究仍具有实际应用价值,能适应目前的若干生产实际,仍是CAPP研究中的一个重要方面^[10-11]。

收稿日期: 2012-05-07

作者简介: 李 娟(1986-),女,新疆奎屯人,主要从事现代制造工程方面的研究. E-mail: lijuan86112@126.com

通信联系人: 王庆明,男,博士,教授,博士生导师. E-mail: wangqm@ecust.edu.cn

零件在从毛坯到成品的整个制造过程中,其形状和尺寸一直在不停地变化,各工序图之间有较大的差别,零件加工工艺的选择和排序对各工序图有着直接的影响。如果研究者运用逆序的工序图生成方式,可以充分利用零件图中的图形信息。研究者通过对零件图逆序进行一步一步的修改的方法,可得到各工序的工序图,但是如何实现让计算机自动识别、编辑和操作各个图元,是自动绘制工序图的最大难点。

AutoCAD 是我国工程设计领域普遍使用的计算机辅助设计软件,提供了丰富的编程接口,为用户在其基础上进行二次开发创造了便利条件^[12]。本研究在 AutoCAD2005 平台下,采用 AutoLISP 语言进行二次开发,可以方便地自由调用 AutoCAD 中所有命令,比较容易实现计算机对图元的独立自动操作。

1 轴类零件几何信息的存储

轴的几何结构可以分为轴段结构和附加结构两大类。轴段结构是指其几何外形可以单独构成轴的一段的结构,包括光轴段、齿轮轴段、花键轴段、螺纹轴段等。附加结构是指不能单独构成轴的一段,而只能附加在轴段上的结构,包括平键、键槽、倒角、退刀槽等。所以,任何一个轴类零件都可看作由多个轴段拼接而成。本研究把轴段作为叠加单元,给每类特征的每个图元定义一个独一无二的代码,结合轴类零件的结构特点和零件分类编码的方法,开发出一种适应本研究的二维零件图图元的命名编码规则:轴段作为轴类零件最大的拆分单元,将轴段序号定义为最高级 0 级,轴段序号是指此轴段是轴上从左开始的第几个轴段;轴段结构的主特征定义为 1 级,辅助特征为 2 级;为了方便记忆和区分,本研究把图元的形态也定义在名称中为 3 级。

具体轴类零件几何特征的图元命名编码规则如图 1 所示。

然后笔者通过参数化绘制预处理零件图的方法,在绘制特征图元的过程中,把每个图元的句柄与依照上述规则得出的图元新名称绑定,将绑定的二元表存放在名称为 name_list 的表变量中。在程序中,将图元新名称添加到名称列表的函数如下:

```
(defun addto_name_list(name_code / name_code_list en_data en_handle)
  (setq en_data(entget(entlast)));获取上一个绘制的图元信息
  (setq en_handle(cdr(assoc 5 en_data)));取出图元句柄
  (setq name_code_list(cons(strcat(itoa num)name_code)
    en_handle));将命名的图元名称与图元句柄绑定
  (setq name_list(cons name_code_list name_list));把绑定的二元表添加进 name_list 表中
)
```

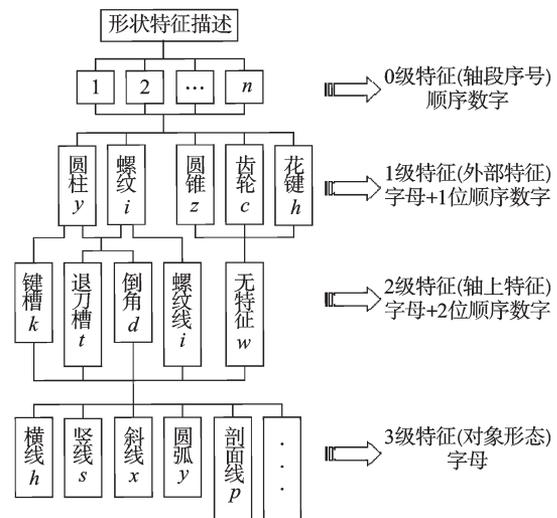


图 1 图元的命名编码规则

研究者在程序中每绘制一个图元,紧跟其后调用一次 addto_name_list 函数,相当于给当前新建的图元一个规范的新名称。AutoLISP 语言提供了方便实用的查找筛选语句,当完成了对零件图中所有图元的重新命名之后,在工序图自动生成阶段,计算机就可以准确地选择到零件图中的每个图元,实现对图元的独立操作。

2 轴类零件加工工艺信息的代码化

轴类零件的加工工艺包括车端面、磨端面、车外圆、磨外圆、车倒角、车退刀槽、车螺纹等等,还可以再进一步细分,如端面加工可细分为左端面加工和右端面加工。虽然端面的车削加工和磨削加工是两种完全不同的加工工艺,但在逆序生成工序图时,修改规则都是放大圆柱特征的长度,所以对生成工序图的特征修改来说,它们属于同一类别。同理,外圆面的车削加工和磨削加工也属于一类。所以,本研究把零件加工工艺信息重新归纳总结,可得到生成工序图时的特征修改分类如下:端面加工、外圆面加工、倒角加工、退刀槽加工、键槽加工、螺纹加工、齿轮加工等。

AutoLISP 语言对表结构有强大的处理功能,研究者充分利用它的这一优点,可把零件加工工序信息转化为 AutoLISP 程序专用的外部数据文件,即表结构文件。首先在 Excel 外部数据库中,研究者建立所有工序内容与对应计算机代码之间的查询表,当在外部数据库中完成了工艺编排的填写后,系统会依照查询表中的对应关系把工序内容转化为计算机可识别的代码,最后将转化结果人工输出保存。在这个数据文件中,一道工序对应一个表结构,称为工序表。每个工序表中包含多个二元表结构,分别对应工序序号、被加工的轴段号、工序类型、工序类型被细分的方式、加工参数等内容。各工序表之间由回车连接,方便(Read)函

数的数据读取。

工序表的结构如表1所示。其中,双元表的数量可根据不同特征的参数需求进行增加或删减。

表1 数据文件中工序表的结构

| 双元表序号 | 工艺信息 | 变量类型 | 双元表示例 |
|-------|--------------|------|----------------|
| 1 | 工序号 | 字符 | (1 . "8") |
| 2 | 被加工的轴段号 | 数字 | (2 . 1) |
| 3 | 工序类型 | 字符 | (3 . "facing") |
| 4 | 方式 | 字符 | (4 . "right") |
| 5 | 加工参数1(单位:mm) | 数字 | (5 . 0.5) |
| 6 | 加工参数2(单位:mm) | 数字 | (6 . 0.5) |
| ... | ... | ... | ... |

3 工序图的自动生成

工序图的生成实际上就是从预处理零件图逆向反推至毛坯图的过程,本研究中工序图自动生成的原理及过程如下:

(1) 采用人机交互的参数化绘图方式,循环绘制零件上的每一个轴段,将二维零件设计图转化为只包含几何特征图元的预处理零件图,完成零件几何信息的存储。

(2) 在外部数据库中,研究者将零件加工工艺信息代码化,得到由工序表构成的 AutoLISP 专用外部数据文件。再将外部文件中的工序表循环读入 AutoCAD,存储在名称为 data_list 的变量表中,在循环读入的过程中已将所有加工工序进行倒序,为零件图的逆序修改做准备。

(3) 在前两步工作的基础上进行工序图的生成:

首先从 data_list 中取出最后一道工序信息,工序表的变量名称为 data,再从工序表中取出的工序类型变量,语句为 (setq process_type(cdr(assoc 3 data))),根据 process_type 变量值用 cond 函数将程序分流,进入与工序类型相对应的特征修改子函数。例如端面加工的特征修改,只需要将端面线外移,再把上、下外圆线延长至端面线即可。在特征修改子函数中,首先将加工面图元加粗,再用 (command "saveas" ""(strcat 保存路径 文件名称 ".dwg")) 语句把图形以指定名称另存为指定路径下。然后将加粗图元还原,不断调用 (command "AutoCAD 命令"(handent(cdr(assoc(strcat(itoa 轴段序号)"图元代码")name_list))) 命令操作项) 语句,由计算机独立完成特征的修改。当前工序的工序图生成完成后,再重复同样的步骤,从 data_list 中取出下一道工序信息,生成该工序的工序图,直至完成所有工序的工序图绘制。

(4) 计算机自动生成的工序图中不包含尺寸和符

号的标注,需再进入工序图 DWG 文件中,进行基准面、定位加紧符号、粗糙度、工序尺寸等的标注。系统中建立了各类符号的块库,可以实现定位夹紧符号、定位夹紧元件及装置符号和粗糙度符号等的快速插入,提高了工作效率。

(5) 将标注完整的工序图插入工艺文件中。

系统大致可分为以下4个部分:① 外部数据库,主要任务是实现工艺信息的代码化;② 预处理零件图绘制模块,其任务是完成零件几何信息的存储;③ 工序图自动生成模块,对预处理零件图自动进行逆序修改和保存输出;④ 工序图快速标注模块。

各部分之间的关系以及系统整体流程如图2所示。

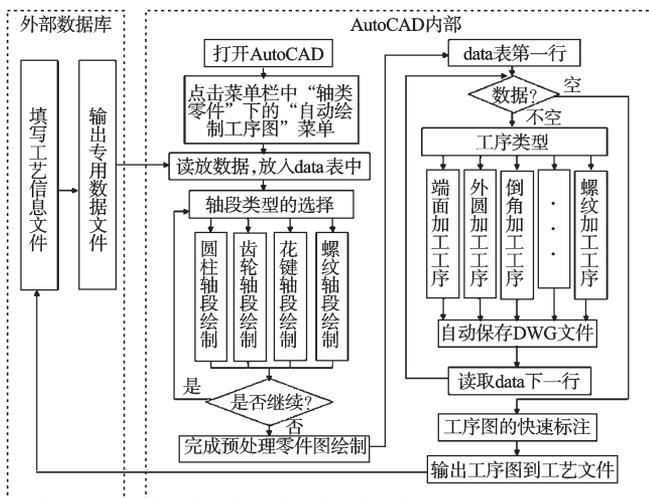


图2 系统结构及流程图

4 设计实例

本研究以某传动轴工艺规程中的工序图自动生成为例,零件加工工艺过程如表2所示。

首先,在外部数据库中生成 AutoLISP 专用数据文件,文件名称为 shaft01.txt,其部分内容如下:

```
((1 . 10)(2 . 4)(3 . facing)(4 . right)(5 . 1)...)((1 . 30)(2 . 2)
(3 . turning)(4 . lb)(5 . 0)...)((1 . 70)(2 . 1)(3 . slot)(4 . 0)(5 . 0)...)
((1 . 80)(2 . 1)(3 . chamfer)(4 . 0)(5 . 0)...)((1 . 160)(2 . 2)(3 . key-
way)(4 . 0)(5 . 0)...)((1 . 270)(2 . 4)(3 . turning)(4 . cc)(5 . 0.03))
```

然后进入 AutoCAD 中,该系统作为一个主菜单挂在 AutoCAD 的菜单栏中,界面如图3所示。点击“自动绘制工序图”下拉菜单,开始工序图的自动绘制。后台程序读入外部数据文件 shaft01.txt 中的内容,保存在



图3 轴类零件工序图绘制主菜单

表 2 传动轴加工工艺过程

| 工序号 | 工序名称 | 工序内容 | 设备 |
|------|------|---|------|
| I | 下料 | 切断,长195 | 卧式车床 |
| | 车 | (1) 车一端面,钻中心孔 (2) 车另一端面至长192,钻中心孔 | 卧式车床 |
| III | 车 | (1) 粗车一端面外圆分别至 $\phi 32 \times 104$ 、 $\phi 26 \times 27$ (2) 半精车该端面外圆分别至 $\phi 30.4_{-0.01}^0 \times 105$ 、 $\phi 24.4_{-0.01}^0 \times 28$ (3) 切槽 $\phi 23.4 \times 3$ (4) 倒角 C1.2 (5) 粗车另一端面外圆分别至 $\phi 24 \times 92$ 、 $\phi 22 \times 51$ (6) 半精车该端面外圆分别至 $\phi 22.4_{-0.01}^0 \times 93$ 、 $\phi 20.4_{-0.01}^0 \times 52$ (7) 切槽分别至 $\phi 21.4 \times 3$ 、 $\phi 19.4 \times 3$ (8) 倒角 C1.2 | 卧式车床 |
| IV | 铣 | 粗—精铣键槽分别至 $8_{-0.045}^0 \times 26.2_{-0.09}^0 \times 55$ 、 $6_{-0.040}^0 \times 16.7_{-0.07}^0 \times 45$ | 立式铣床 |
| V | 热 | 淬火回火 40 HRC~45 HRC | |
| VI | (钳) | 修研中心孔 | 钻床 |
| VII | 磨 | (1) 粗磨一端外圆分别至 $\phi 30.06_{-0.04}^0$ 、 $\phi 24.06_{-0.04}^0$ (2) 精磨该端外圆分别至 $\phi 30_{-0.014}^0$ 、 $\phi 24_{-0.02}^0$ (3) 粗磨另一端外圆分别至 $\phi 22.06_{-0.04}^0$ 、 $\phi 20.06_{-0.04}^0$ (4) 精磨该端外圆分别至 $\phi 22_{-0.04}^0$ 、 $\phi 20_{-0.014}^0$ | 外圆磨床 |
| VIII | 检 | 按图纸要求检验 | |

data表中,弹出“轴段序号”输入和“圆柱轴段”类型选择的对话框,做了相应的输入和选择后,系统弹出如图4所示的对话框以输入轴段参数。



图 4 圆柱轴段的参数设置窗口

轴段序号为2的圆柱轴段的参数输入界面如图4所示,界面中左轴段、中轴段、右轴段是指所绘制轴段的二维图形几何特征。若绘制的是轴径最大的轴段,则研究者选择中轴段,其几何特征是四边封闭的图形,否则就选左轴段或右轴段,左轴段是指位于中轴段左侧的各个轴段,几何特征是右端开口的图形,右轴段是指位于中轴段右侧的各个轴段,几何特征是左端开口的图形。图4界面中有“继续下一轴段”的选择按钮,可退回到“轴段序号”输入和“圆柱轴段”类型选择对话框,从而实现轴上多个轴段参数的循环输入,直至完成所有轴段的绘制,研究者点击“完成零件图

绘制”按钮,结束预处理零件图的绘制。

当研究者以人机交互的方式完成轴段参数输入之后,系统自动生成与该道工序对应的加工工序图,图中反映出该工序的加工表面、定位基准、工序尺寸、加工精度及表面粗糙度要求等。一个自动生成的工序图示例如图5所示,对应着表2中在立式铣床上的铣键槽加工工序。

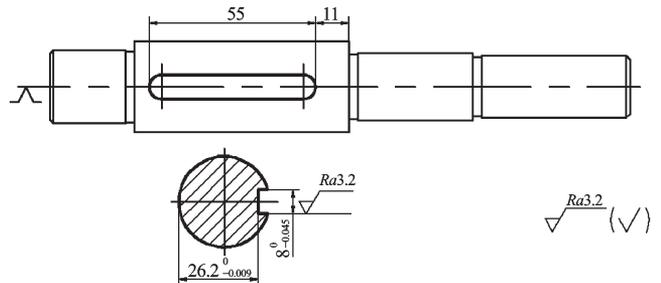


图 5 自动生成的粗-精铣键槽工序图

5 结束语

为了解决在CAPP中工序图绘制的自动化程度低的问题,本研究运用 AutoLISP 语言为开发工具,提出了基于 AutoCAD 环境下的工序图自动生成方法,在“来图加工”模式下,可提高面向客户二维图纸的CAPP工序图生成技术的自动化程度。

在生成预处理零件图的过程中,本研究将轴类零件的几何信息代码化,并利用外部数据库,把工艺信

(下转第 1006 页)

范围内的抗泄漏能力良好,并且比较稳定。温度在 25 °C~150 °C 之间变化时,随着温度载荷的增加,特殊螺纹接头的第二辅助密封台肩受热膨胀,但因为位移受到限制,此时的 Von-Mises 力只是慢慢增大,这为良好密封提供了保证,可减小泄漏情况的发生。

5 结束语

考察螺纹接头的防泄漏能力是特殊螺纹接头是否具备良好性能的一个重要指标,其泄漏情况直接反映在螺纹之间的受力大小上。本研究采用 ANSYS 对特殊螺纹接头的结构进行了理论分析,通过分析结果曲线得出了在上扣扭矩、有一定的载荷的两种工况情况下,特殊螺纹接头的接触应力分布呈现双“M”或“W”型的结论,指出了螺纹中间第 2 台肩合理承担受力分布的作用。此外,当温度在 25 °C~150 °C 区间变化时,新型特殊螺纹接头的接触应力变化相对值为 δ 负值,并且呈“W”型变化,符合防泄漏机理。

分析结果表明,本研究设计的特殊螺纹接头各扣牙的受力分布较为均匀,减小了泄漏情况的发生,具有一定的可行性,并能够延长螺纹接头的使用寿命,可为实际工程应用提供一定的理论指导。

参考文献(References):

- [1] 王 俐. 套管接头螺纹滑脱失效有限元模拟[J]. 北京科技大学学报,2001,32(2):137-139.
- [2] 龚伟安. 略论套管螺纹密封性能与紧扣扭矩和圈数的关

系[J]. 石油机械,1995,23(1):17-24.

- [3] 高连新. 优化套管螺纹载荷分布特性的方法[J]. 机械科学与技术,2003,22(7):28-30.
- [4] 周 星,高学仕,李文勇. 双级套管螺纹连接有限元分析[J]. 管道技术与设备,2009(5):31-32.
- [5] 白 鹤,何石磊,党 涛,等. 我国油套管特殊螺纹接头研究现状分析[J]. 焊管,2011,34(11):30-34.
- [6] 李瑞涛,杨美金,王耀峰,等. 特殊螺纹接头的研究现状分析[J]. 焊管,2009,32(1):11-20.
- [7] 王建东,冯耀荣,林 凯,等. 特殊螺纹接头密封结构对比分析[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(5):126-130.
- [8] 步玉环,孔 华,国安平,等. 特殊螺纹接头主密封优化研究[J]. 润滑与密封,2011,36(4):15-20.
- [9] 申昭熙,王 鹏,李 磊. 特殊螺纹接头密封可靠性数值分析[J]. 石油矿场机械,2012,41(1):10-13.
- [10] OGASAWARA M. 新日铁特殊螺纹接头的开发[J]. 吕栓录,译. 石油专用管,1991(3):1-14.
- [11] MATSUKI N. 特殊螺纹接头设计条件的评价[J]. 杨思明,译. 石油专用管,1991(3):26-45.
- [12] 高连新. 石油套管特殊螺纹接头的密封设计[J]. 机械工程学报,2005,41(3):216-219.
- [13] 张占国,方 文,孙灵丽,等. 油套管特殊螺纹接头的技术现状及结构形式[J]. 石油机械,2011,39(10):179-182
- [14] 孔 华,步玉环,马明新. 特殊螺纹接头锥面/锥面结构密封特性研究[J]. 石油机械,2011,39(4):14-17
- [15] 袁光杰. API 圆螺纹接头力学性能数值仿真与实验研究[D]. 上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2004.

[编辑:罗向阳]

(上接第 996 页)

息规整为方便 AutoLISP 语言处理的专用外部数据文件;工序图绘制过程中研究者只需进行选择与参数输入,操作方便;通过对预处理零件进行逆序修改自动保存输出而获得与各道工序对应的系列工序图;提供多种标注符号块库的快速插入,能较好地实现轴类零件工序图生成的自动化,对其他类型零件的工序图自动生成也具有一定的参考价值。

参考文献(References):

- [1] 范海涛,张树生,黄 瑞,等. 基于三维工序模型重建的基准获取技术[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(11):2351-2358.
- [2] 罗小燕,罗会铭. 回转类零件 CAD/I-CAPP 集成专家系统研究[J]. 机械设计与制造,2007(10):67-69.
- [3] 范晓斌,陈 桦. 基于特征的三维 CAD/CAPP 集成系统设计技术研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2009(12):86-89.
- [4] 吕俊林,江平宇. 智能三维 CAPP 的发展方向及核心技术

[J]. CAD/CAM 与制造业信息化,2009(11):93-95

- [5] 张雪荣. Pro/ENGINEER 环境下的三维 CAPP 系统研究与开发[D]. 武汉:武汉理工大学机电工程学院,2008.
- [6] 彭 志,徐世新,彭巧玲. 基于 Pro/E 二次开发的 CAPP 工序图生成系统[J]. 制造技术与机床,2005(3):17-20.
- [7] 李大磊,李瑞珍,陈松涛. 基于 SolidWorks 配置功能的工序图自动生成方法的研究[J]. 机床与液压,2010,38(22):13-15.
- [8] 屠 立,王建林. 基于参数式数据的 CAPP 系统设计和实现[J]. 机械制造,2008,46(4):60-63.
- [9] 李 斌. 基于 SolidWorks 机加工工艺规程的工序图自动生成研究[J]. 机械传动,2010,34(12):37-39.
- [10] 谢志俊,欧阳华兵. CAPP 中基于特征的加工工艺相似性研究[J]. 轻工机械,2010,28(4):99-102.
- [11] 于 明. 基于特征信息和推理机制的齿轮类零件 CAPP 系统设计[J]. 机械,2010,37(11):28-32.
- [12] 陈伯雄,冯 伟. Visual LISP 程序设计技巧与范例[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.

[编辑:罗向阳]