

doi: 10.7690/bgzd.2023.08.003

# 基于 AutoCAD 二次开发的转子轮槽半精铣刀波刃型线 参数化绘制方法研究

周伶俐

(四川工程职业技术学院电气信息工程系, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 为提高汽轮机转子轮槽半精铣刀在 AutoCAD 软件中绘制效率, 对手工绘制方法进行分析。应用 AutoLisp 软件设计出转子轮槽半精铣刀波刃型线铣刀基于 AutoCAD 的参数化绘图软件。结果表明: 刀具设计人员加载软件后仅需输入齿数、波长、波深 3 个参数便可自动完成刀具型线的绘制, 能大大缩短刀具设计和技术准备时间。

**关键词:** 转子轮槽半精铣刀; AutoLisp 软件; 参数化绘图

**中图分类号:** TP391.72 **文献标志码:** A

## Research on Parametric Drawing Method of Rotor Groove Semi-finishing Cutter Wave Edge Profile Based on AutoCAD Secondary Development

Zhou Lingli

(Department of Electrical Information Engineering, Sichuan Engineering Technical College, Deyang 618000, China)

**Abstract:** In order to improve the drawing efficiency of semi-finishing milling cutter for turbine rotor groove in AutoCAD software, the manual drawing method is analyzed. A parametric drawing software based on AutoCAD is designed by using AutoLisp software to design the wave edge profile milling cutter of rotor groove semi-finishing milling cutter. The results show that after loading the software, the cutter designer only needs to input three parameters, such as tooth number, wavelength and wave depth to automatically complete the drawing of cutter profile, which greatly shortens the time of cutter design and technical preparation.

**Keywords:** semi-finishing milling cutter for rotor groove; AutoLISP software; parametric drawing

### 0 引言

汽轮机主要由转子和静体 2 部分组成。转子是汽轮机的核心部件, 在高温高压的蒸汽介质中, 承受着离心力、弯矩和扭矩的作用, 工作条件非常恶劣; 因此, 汽轮机转子加工质量的好坏将直接影响整个汽轮机的性能, 而轮槽的加工又是转子加工中最为关键、最为困难的加工。百万级水泵汽轮机轮槽结构采用的是枞树型轮槽, 这种结构的轮槽增大了叶根与轮槽的接触面积, 使载荷分布更加均匀, 但其尺寸精度要求高, 加工制造困难<sup>[1]</sup>。为拥有良好的断屑性能, 出现了许多改善断屑效果的设备和方法, 而设置断屑槽是最经济、最简易的方法。设计优良的断屑槽可以控制切屑的流向、卷曲半径及断屑时间, 使工件加工质量、加工效率和精度得到保障, 还可以控制机床和工件振动、降低切削温度。3 维断屑槽形式丰富, 主要有双级槽形、波型刃等<sup>[2]</sup>。波型刃轮槽半精铣刀特点: 1) 切削平稳。 $100^\circ$ 前角,  $30^\circ\sim 100^\circ$ 的螺旋角, 使铣刀刃口各点具有较平稳的

切削条件。又因切削厚度的增大、减小刀刃在工件表面上的滑动现象, 从而提高了抑制颤振的能力。2) 提高切削用量。等螺旋角  $30^\circ\sim 100^\circ$ 的螺旋沟, 可实现斜角切削, 减少切削变形和能量消耗。齿形表面的正弦波形, 相邻两齿在轴向错开。能够减少切削变形, 从而减小切削力和切削热, 也有利于排屑, 大幅度提高每齿进给量。3) 错开排列的波形刃使切削刃长度短, 切削轻快, 断、排屑容易, 切削体积小, 处理方便。4) 切削效率高。由于刀具的减振性能好, 耐用度高, 允许采用大走刀量、大吃刀, 所以可替代粗铣刀、半精铣刀的加工, 合二为一, 生产效率成倍提高<sup>[3]</sup>。因为带波刃的半精铣刀具有这些优点, 很多厂家都在生产加工带波刃的半精铣刀, 由于轮槽铣刀齿形曲线复杂, 技术员在做技术准备时根据转子轮槽的要求(波深、波长、齿数)绘制型线, 在 AutoCAD 中绘制一种型线需要 4~6 h, 还不能保证型线完全正确。鉴于目前生产任务重, 半精铣刀需求量大, 迫切需要一款软件来解决半精

收稿日期: 2023-04-07; 修回日期: 2023-05-15

作者简介: 周伶俐(1975—), 女, 四川人。

铣刀型线自动绘制问题。

## 1 开发语言介绍<sup>[4]</sup>

Lisp (list process language) 是一种函数式的程序设计语言, 被广泛的应用在人工智能领域。AutoLisp 是把 Lisp 和 AutoCAD 相结合, 二次开发 AutoCAD 的内嵌式编程语言。AutoLisp 既有 Lisp 的人工智能特点, 又有 AutoCAD 的图形编辑特性。利用这种特点, 刀具设计人员可以编写 AutoLisp 程序, 自动计算分析图纸, 自动形成最终刀具设计图纸, 以减小刀具设计人员的劳动强度, 提高刀具设计的质量和工作效率。

## 2 转子轮槽型线铣刀参数化绘图软件设计

### 2.1 手工绘图方法

当波纹齿的齿数=4 时, 其手工操作步骤如下:

1) 绘制理论型线: 根据刀具设计图纸数据画出刀具理论型线, 如图 1 所示。

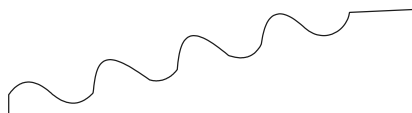


图 1 理论型线

2) 定距等分理论型线: 根据刀具设计要求, 设置刀具波刃的初始值, 以波距是 1.5, 齿数为 4 个齿 (即 4 条波线) 为例, 则波峰 (或者波谷) 节点之间的距离是  $1.5/4=0.375$  (每个波峰之间有 4 个节点)。将基线 (理论型线) 定距等分 (按节点距离 0.375)。

3) 连接多段线: 在 AutoCAD 中执行 “多线段命令” 将型线等分的各个节点连接成 1 条多段线。

4) 波深设置: 假设波深为 0.2, 以第 1 条多段线为基准, 在 AutoCAD 中执行 “偏移” 命令, 按 0.1 的偏移量偏移出第 2 条多段线, 再按 0.2 的偏移量偏移出第 3 条多段线。

5) 手动画圆弧, 得到初步波形: 齿数=4 时, 在 3 条型线上依次各选 1 点, 相连的 3 点分布在不同的型线上。在 AutoCAD 中执行 “圆弧” 命令, 用 3 点画圆弧的方法画出第 1 条波线, 如图 2 所示 (该图仅为其中的 1 段)。

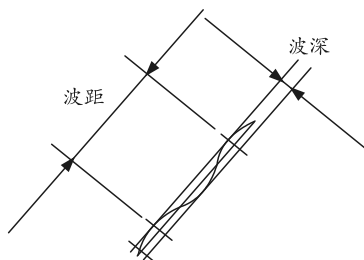


图 2 刀具波刃线

6) 手动处理波线: 分析波线, 去掉加工不到的地方的波线 (处于刀具实体内的波线), 用理论型线代替, 如图 3 所示。

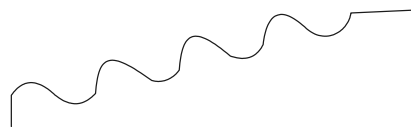


图 3 刀具刃口加工线

7) 当齿数=4 时, 将理论型线截去  $(1/4) \times$  波长, 重复步骤 2) — 6), 画出第 2 条波线, 如图 4 所示。



图 4 截去 1/4 波长型线

8) 当齿数=4 时, 将理论型线截去  $(2/4) \times$  波长, 重复步骤 2) — 6), 画出第 3 条波线, 如图 5 所示。

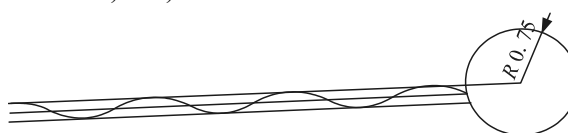


图 5 截去 2/4 波长型线

9) 当齿数=4 时, 将理论型线截去  $(3/4) \times$  波长, 重复步骤 2) — 6), 画出第 4 条波线, 如图 6 所示。

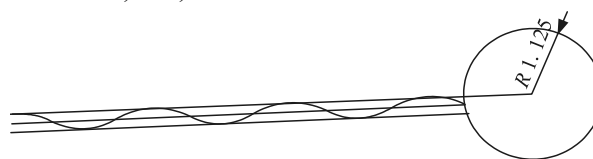


图 6 截去 3/4 波长型线

即当齿数=4 时, 每条波线的起点依次错开  $(1/4) \times$  波长、 $(2/4) \times$  波长、 $(3/4) \times$  波长。表现出 1 条波线完整的波形是由 3 条理论型线不同的点连接而成的, 其详细情况如图 7 所示。

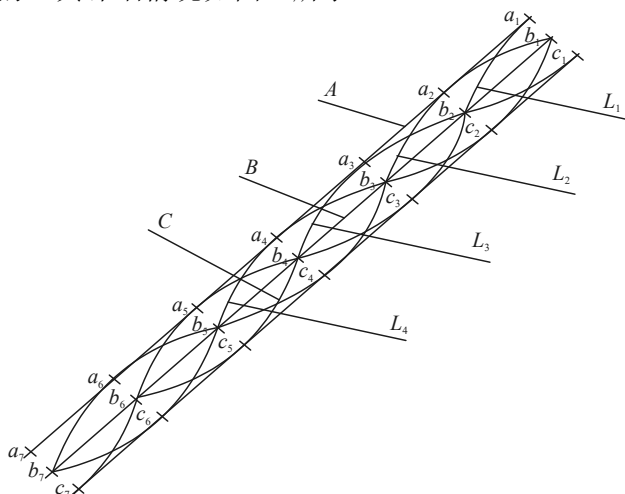


图 7 3 条波线拟合

10) 得到生产加工线: 将 4 条波线都按步骤 6)

的方法处理完，就得到生产用的 4 条波线。技术员用处理完的这 4 条波线来完成数据刀具磨床的数据程序设计。

### 2.2 软件总体设计思路

由于 AutoLisp 是一种函数式的编程语言，可以将程序设计为模块化结构，即一种功能对应一个功能函数。总体设计为 4 个模块：对刀具型线的基线按照距离等分；根据点表构成多线段；根据距离等分曲线；根据 3 点画圆弧。选中需要绘制的刀具型线，输入 4 个参数，选择刀具基本型线，便可自动绘制所需刀具波纹线。

#### 2.2.1 参数化设计思想

参数化设计的一个重要思想是在参数化设计系统中，设计人员通常根据几何关系和工程关系来指定设计要求。参数化模型中建立的各种约束关系，正是体现了设计人员的设计意图。参数化设计可以大大提高模型的生成和修改的速度，在产品的系列设计、相似设计及专用系统开发方面都具有较大的应用价值。参数化设计方法即是把模型中的定量信息进行参数化、变量化，使之成为可任意调整变化的参数。对于变量化参数赋予不同数值，就可得到不同形状和大小的零件模型<sup>[4]</sup>。参数化设计方法目前主要有图形交互设计和编程方法 2 种。图形交互设计方法是在现有参数化 CAD 环境下，通过交互操作完成产品参数化模型设计。编程方法是在现有 CAD 系统基础上，利用二次开发、高级开发语言和数据库等相关技术，实现对参数化模型的建立、管理和使用，是一种高级的参数化设计方法。

#### 2.2.2 程序流程

程序流程如图 8 所示。

#### 2.2.3 程序功能模块实现

Lisp 语言是一种计算机表处理语言。Lisp 就是表处理的意思，表处理正是 Lisp 所具有的特性<sup>[5]</sup>。

##### 1) 参数初始化及型线选择。

```
(defun c:test (/ halfPi wave-D wave-L wave-N selent)
  (setq halfPi (/ pi 2)); 直角
  (setq wave-D 0.1); 波深
  (setq wave-L 1.5); 波距
  (setq wave-N 4); 齿数
  (initget 0 "Set")
  (setq sel (entsel "\n 请选择型线[设置(S)]: "))
  (if (= sel "Set")
```

```
(progn
  (setq wave-D (getdist "\n 请输入波深
<0.1>:"))
  (if (null wave-D)
    (setq wave-D 0.1)
  )
  (setq wave-L (getdist "\n 请输入波距
<1.5>:"))
  (if (null wave-L)
    (setq wave-L 1.5)
  )
  (setq wave-N (getint "\n 请输入齿数
<4>:"))
  (if (null wave-N)
    (setq wave-N 4)
  )
  (setq sel (entsel "\n 请选择型线: "))
)
)
```

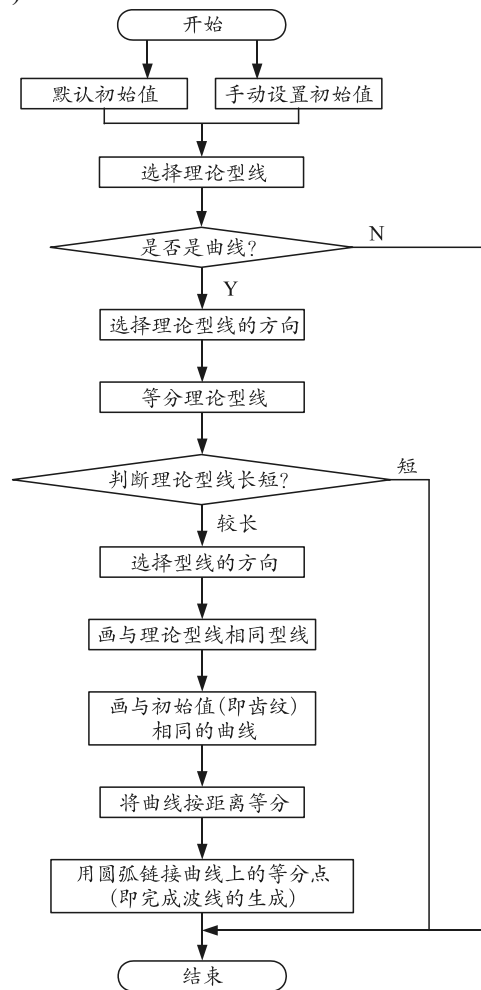


图 8 程序流程

##### 2) 刀具型线的基线按照距离实行定距等分。

```
(setq pts1 (divide-by-distance obj (/ wave-L
```

```

wave-N)))
  (if (< (length pts1) 3)
    (progn
      (alert "曲线长度太短!")
      (exit)
    )
  )
  (setq pts1 (reverse pts1))
  (setq obj1 (vlax-ename->vla-object
(CPolypts1)))
  (setq obj2 (vla-offset obj1 wave-D))
  (setq obj2 (vlax-variant-value obj2))
  (setq obj2 (car (vlax-safearray->list obj2)))
  (setq obj3 (vla-offset obj1 (* wave-D 2)))
  (setq obj3 (vlax-variant-value obj3))
  (setq obj3 (car (vlax-safearray->list obj3)))
3) 根据多线段成点表。
  利用 cons 函数(将表达式 1 的值加到表达式 2
  的值而构成 1 个新表)[4]。
  (defun GetPolyVectices (objpts / neaPtptlst)
    (foreachptpts
      (setqneaPt
(vlax-curve-getclosestpointtoobjpt)
      (setqptlst (cons neaptptlst))
    )
    (reverseptlst)
  )
  (defun GetPolyVectices1 (objpts / entlstptlst)
    (setqent (vlax-vla-object->enameobj))
    (setqlst (entgetent))
    (foreach n lst
      (if (= (car n) 10)
        (setqptlst (cons (cdr n) ptlst))
      )
    )
    (reverseptlst)
  )

```

#### 4) 根据距离等分曲线。

利用 LIST 函数(将所有表达式的值按原位置构
成表)<sup>[4]</sup>。

```

(defun divide-by-distance (objdist /
endpartolleniptlst number param point)
  (setqendpar (vlax-curve-getendparamobj))
  (setqtollen
(vlax-curve-getdistAtParamobjendpar))
  (setqi 0)
  (setqptlst nil)
  (setq number (/ tollendist))

```

```

(repeat (1+ (fix number))
  (setqparam (vlax-curve-getParamAtDistobj
(* idist)))
  (setq
point
(vlax-curve-getpointAtParamobjparam))
  (setq point (list (car point) (cadr point)))
  (setqptlst (cons point ptlst))
  (setqi (1+ i))
)
ptlst
)

```

#### 5) 根据 3 点画圆弧。

利用 APPEND 函数(将表中各元素串在一起按
原次序组成新表)和 GETPOINT 函数(执行该函数
时, 机器暂停, 等待用户输入 1 个点, 返回实型数
组成的表)。

```

(defun c:tt(/ pt1 pt2 pt3 cir)
  (setq pt1 (getpoint "\n 第 1 点: "))
  (setq pt2 (getpoint "\n 第 2 点: "))
  (setq pt3 (getpoint "\n 第 3 点: "))
  (setqcir (3p-circle pt1 pt2 pt3))
  (entmake
(list
  (cons 0 "CIRCLE")
  (cons 10 (append (car cir) (list 0)))
  (cons 40 (cadrcir))
)
)
)

```

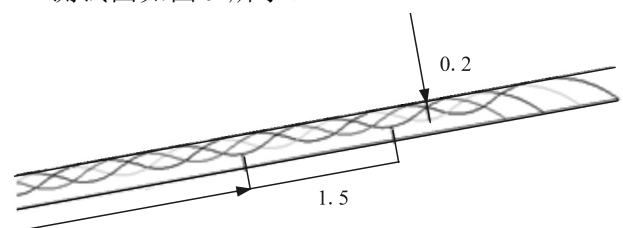
#### 2.2.4 程序测试

程序测试数据如表 1 所示。

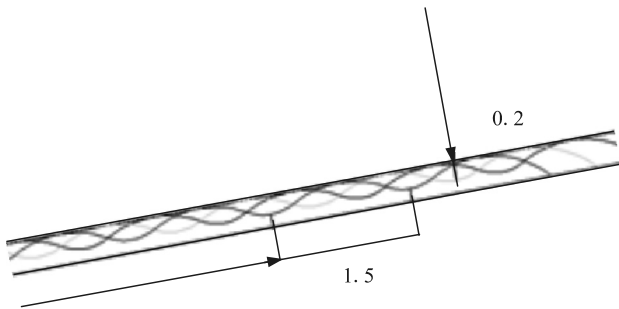
表 1 程序测试数据

序号	汽轮机转子轮槽 对应的刀具型线	3 个参数			测试图
		波长	波深	齿数	
1	2226-849 半精铣刀	1.5	0.2	4	1
2	2226-849 半精铣刀	1.5	0.2	3	2
3	2226-850 半精铣刀	1.5	0.2	4	3
4	2226-850 半精铣刀	1.5	0.2	3	4
5	2226-847 锥度刀	1.5	0.2	4	5
6	2226-847 锥度刀	1.5	0.2	3	6

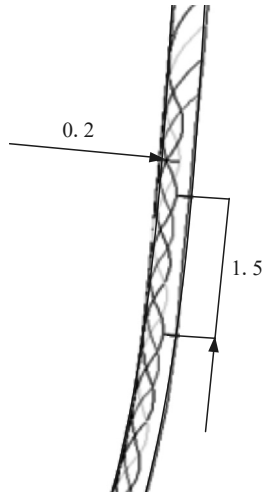
测试图如图 9 所示。



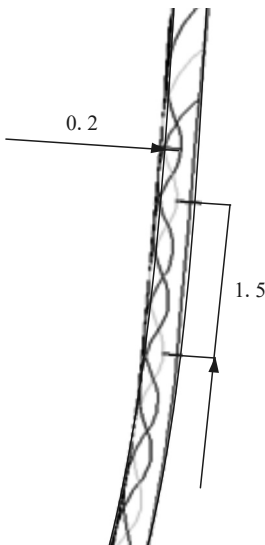
(a) 测试图 1(波长 1.5 mm, 波深 0.2 mm, 齿数 4)



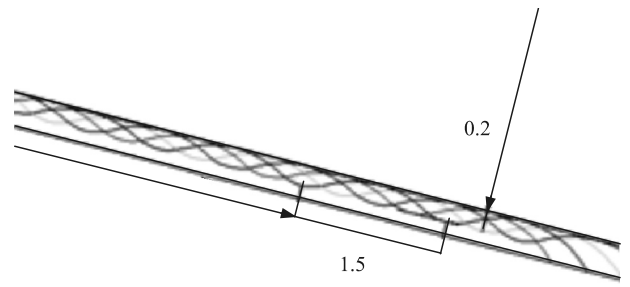
(b) 测试图 2(波长 1.5 mm, 波深 0.2 mm, 齿数 3)



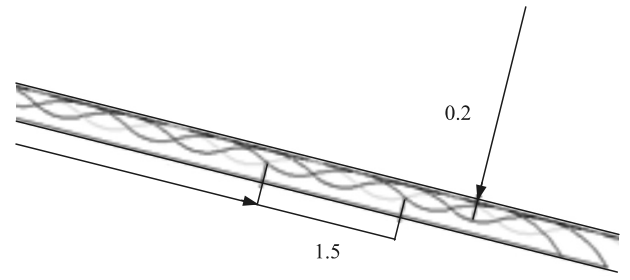
(c) 测试图 3(波长 1.5 mm, 波深 0.2 mm, 齿数 4)



(d) 测试图 4(波长 1.5 mm, 波深 0.2 mm, 齿数 3)



(e) 测试图 5(波长 1.5 mm, 波深 0.2 mm, 齿数 4)



(f) 测试图 6(波长 1.5 mm, 波深 0.2 mm, 齿数 3)

图 9 测试图

### 3 结束语

经多次对多种刀具型线进行测试, 程序自动绘制的轮槽半精铣刀波刃型线加工出的刀具经检测均满足设计要求。笔者将加工出的转子轮槽刀具用于转子轮槽的加工, 经多次检测, 转子轮槽型线亦满足转子设计要求。

### 参考文献:

- [1] 孟漪. 高效精密枞树型轮槽铣刀设计制备准则及其试验研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [2] 曹亮, 王福增, 廖通凯. 数控刀具断屑槽几何参数对断屑性能的影响研究[J]. 现代制造工程, 2019(5): 83-90.
- [3] 杜佩芳, 杜伟. 波形刃轮槽半精铣刀[J]. 机械工程师, 2009(7): 140.
- [4] 郭秀娟, 于全通, 范小鹏. AutoLISP 语言程序设计化学工业出版社[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 李斌. 基于 AutoLISP 的 AutoCAD 二次开发在钣金展开软件开发中的应用与研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.