

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.02.028

# 基于 SolidWorks 二次开发的铣齿刀盘参数化建模系统

张建坤,林晓川,洪荣晶,胡敏

(南京工业大学 机械与动力工程学院,江苏 南京 211816)

**摘要:**为缩短标准模块化零件制造工艺的设计时间,基于 VB.Net 对 SolidWorks 进行二次开发,建立铣齿刀盘的参数建模系统。以参数化设计原理为指导,分别对齿轮齿廓参数和铣齿刀盘结构参数进行分析;设置相应的功能操作来实现系统的自动建模目标;通过输入零件模型的具体参数,使用所开发的系统对其进行建模。结果表明:该系统能够完成齿轮及铣齿刀盘的参数化设计,生成的零件符合要求。

**关键词:**VB.Net;SolidWorks 二次开发;铣齿刀盘;参数化

**中图分类号:**TH122;TH132.41;TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)02-0134-05

## Parametric Modeling System of Gear Milling Cutter Head Based on Secondary Development of SolidWorks

ZHANG Jiankun, LIN Xiaochuan, HONG Rongjing, HU Min

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

**Abstract:** In order to shorten the manufacturing process design time of standard modular parts, this paper redevelops SolidWorks based on VB.Net and sets up the parameter modeling system of gear milling cutter head. Guided by the parametric design principle, the gear profile parameters and the milling cutter head structure parameters are analyzed respectively. The corresponding function operation is set to achieve the automatic modeling goal of the system. Through the inputting of the specific parameters of the part model, the developed system is used for its modeling. The results show that the system can complete the parametric design of gear and gear milling cutter head, and the generated parts meet the requirements.

**Keywords:** VB.Net; secondary development of SolidWorks; gear milling cutter head; parameterization

### 0 引言

随着三维 CAD 软件和各种开发语言的快速发展,三维 CAD 软件的二次开发已经越来越普遍了。SolidWorks 是一套基于 Windows 的三维 CAD 桌面集成开发软件,利用 SolidWorks 的开放性体系为基础的这一特性,运用高级语言编程可以实现三维模型的参数化、自动化设计<sup>[1]</sup>。因此,对于一些模块化的三维零件模型,以 SolidWorks 为平台进行二次开发,可以缩短产品零件的设计时间。

齿轮作为机械传动的重要组成零件之一,具有其他机械传动零件不可替代的优点,但是在齿轮的设计过程中,需要大量的手工运算,工作效率低且容易出现错误。所以在齿轮制造工程中急需一种计算机辅助设计的参数化建模系统,这样不但可以减少机械工程师在齿轮设计过程中的工作量,也能极大地提高机械产品的生产效率<sup>[2]</sup>。张湘等<sup>[3]</sup>根据渐开线齿廓的形成原理,详细论述了描点法、参数法和差值法 3 种齿轮建模的方法,并

比较了这 3 种方法的优缺点。焉兆超等<sup>[4]</sup>以 SolidWorks 为平台利用 VB 编程语言进行二次开发,实现了直齿外齿轮和斜齿轮的参数化设计,但没有对齿根进行圆角优化处理。CHOE T C 等<sup>[5]</sup>在笛卡儿坐标系下建立了渐开线斜齿轮接触线的表达式,得到了斜齿轮接触线的方程和一些参数,为斜齿轮的参数化设计提供理论公式。FENG G S 等<sup>[6]</sup>研究了渐开线斜齿轮传动的全齿面精确建模,通过修形后的几何设计方法对斜齿轮进行建模。王平等<sup>[7]</sup>以 Pro/E Wildfire4.0 为开发平台,对斜齿圆柱齿轮进行了参数化建模,并通过 Pro/E 的族表功能建立了斜齿轮参数化模型库。在齿轮参数化建模中,大部分学者都是单独地进行外齿轮的研究,对于内齿轮的研究却鲜有报道,而且国外对斜齿轮的研究也只是分析其齿廓的设计,并没有结合计算机辅助对其进行参数化建模。

在从齿轮设计到加工这一过程中,成形铣齿是齿轮加工方法常用的一种工艺,它利用与待加工齿廓形状完全相符的成形铣齿刀片切削齿形,

**第一作者简介:**张建坤(1998—),男,安徽亳州人,硕士研究生,研究方向为机械制造及其自动化,1410784364@qq.com。

铣齿刀片搭接在刀盘基体上,二者共同构成铣削刀具。李刚<sup>[8]</sup>利用 SolidWorks 和 VB 软件编写了盘形齿轮铣刀三维建模和齿形对比系统。朱柏林等<sup>[9]</sup>采用 UG 二次开发工具,在 VS 环境下,通过 C#语言开发了数控高速盘铣刀自动 CAD/CAM 系统,但没有具体盘铣刀模型的展示。陈善国等<sup>[10]</sup>利用 VB6.0 完成了对 SolidWorks 软件的二次开发并建立了盘形齿轮铣刀的三维参数化自动设计系统。王东海等<sup>[11]</sup>基于 UG NX 内部的表达式功能提出了齿轮和盘形铣刀的参数化设计方法,但可供齿轮和盘铣刀建模的约束条件太少且重建模型过程复杂。基于盘形铣刀方面的参数化研究可知,虽然铣齿刀盘的设计问题得到了解决,但可供设计人员进行铣齿刀盘模型规格的选择甚少,设计之后的铣齿刀盘类型单一,而且也没有建立二者的整体参数化设计界面,缺少齿轮和铣齿刀盘具体成果的展示,因此完善铣齿刀盘的参数化建模势在必行。

由上可知,针对齿轮和铣齿刀盘二次开发内容的研究,学者们进行了类型各异的先导工作,但关于齿轮参数化建模系统的研究,并没有考虑到外齿轮和内齿轮的共有参数设计,同时也缺少关于内直/斜齿轮建模的参数化设计,且对于铣齿刀盘的研究也没有结合齿轮齿廓的参数进行整体参数化建模系统的开发。因为铣齿刀盘是铣削加工齿轮的刀具,二者是不能脱离开的。因此本文以 SolidWorks 为平台,利用 VB.Net 编程语言对齿轮和铣齿刀盘进行二次开发,完成齿轮从设计到制造过程中的整体流程,实现齿轮和铣齿刀盘自动化建模的目标。

## 1 铣齿刀盘结构分析

在齿轮的加工制造过程中,成形铣齿可转位盘型刀具能从根本上解决滚削加工齿轮难度大和插削加工齿轮效率低的问题,其铣齿刀片全型搭接,能完成齿轮粗加工、半精加工和精加工的高效铣削,刀具寿命可提高 10 倍以上,极大地提高了生产效率,因而成为国内铣削加工齿轮的最为理想刀具<sup>[12]</sup>。

### 1.1 刀盘基体结构分析

图 1 为可转位成形铣齿刀盘基体的三维结构。

作为铣削加工齿轮的载体,在铣齿加工时会在刀片槽上开有一定规格的孔,成形铣齿刀片则

通过内六角螺钉的连接方式安装在刀盘基体上,通过装载刀片刀型的形式,可最终确定刀盘的规格及铣削方式。

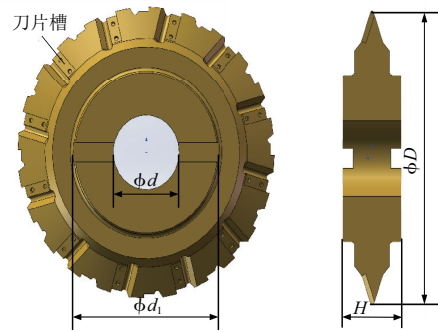


图 1 可转位成形铣齿刀盘基体

由于铣齿刀盘基体和成形铣齿刀片是成套供应的,即刀盘基体和铣齿刀片需分开进行设计。其作为模块化的刀具,刀盘基体结构参数通常具有一定的规格化,可供设计人员进行选择,所得信息汇总如表 1 所示。

表 1 刀盘基体结构参数信息

刀片数目 $N/\text{个}$	刀盘直径 $D/\text{mm}$	刀盘厚度 $H/\text{mm}$	刀盘安装孔直径 $d/\text{mm}$	刀盘侧面突起圆柱直径 $d_1/\text{mm}$
24	300	90	80	160
28	360	100	90	170
32	420	100	100	180

上述刀盘基体结构参数信息为加工模数 6 mm~22 mm 的圆柱齿轮刀具,因此在本文所开发的齿轮及铣齿刀盘参数化建模系统中,按照表 1 数据,共设置有 3 种不同规格的铣齿刀盘基体供设计人员进行选择。同时,在对铣齿刀盘基体三维模型分析之后可知,刀片槽的长度与齿数无关,所以在铣齿加工中通常会使用同一规格的盘型刀具来铣削模数相同而齿数相近的齿轮组,这样可节约刀片安装的时间。对刀片槽的宽度起约束作用的是刀片数目  $N$  的个数,若刀片数目  $N$  较多时,则刀片槽宽度短,反之则长,以保证铣削加工的刚度要求,一般取值范围是 10 mm~20 mm。

### 1.2 铣齿刀片结构分析

在铣齿刀盘基体的刀片槽内,错齿均匀分布着与刀盘规格相匹配的成形铣齿刀片,如图 2 所示。图 2(a)为左右两侧的刀片搭接示意图,图 2(b)为

两侧刀片的侧视结构图,图2(c)为刀片的主视图。左右两侧刀片共同搭接在刀片槽内进行铣削加工,因此刀盘基体对刀片起约束作用的是刀片槽的结构尺寸。当刀片由于铣削钝化后,可对换左右两侧的刀片,继续再使用一次,以保证刀片的合理利用。

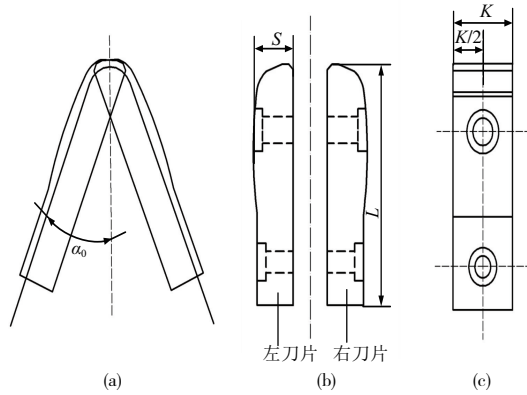


图2 铣齿刀片结构图

表2为与表1刀盘基体相配套的铣齿刀片结构参数信息。可见,随着齿轮模数的增加,刀片长度的变化程度比较明显,因为刀片的刃型长度要满足铣削加工的齿廓长度。当齿轮的模数和齿数确定之后,首先考虑的是刀盘基体规格的选择,设计人员选择本系统开发的3种刀盘规格的任意1种;其次通过被加工齿轮的模数可确定满足铣削要求的刀片类型(若模数发生变化,可通过选择合适的垫片来改变刀片铣削齿轮的刃长);最后完成刀片安装到刀盘基体上的工作。其中刀盘的齿形角 $\alpha_0$ 受齿轮压力角 $\alpha$ 的影响,在实际加工时,一般选择 $\alpha_0 = (1 \sim 1.2) \times \alpha$ 。

表2 铣齿刀片结构参数信息 单位:mm

模数 $M$	刀片长度 $L$	刀片厚度 $S$	刀片宽度 $K$
6	19.05	4.00	11.50
8	19.05	5.81	11.50
10	28.50	6.35	14.29
12	38.10	7.14	14.29
14	38.10	7.94	14.29
16	44.45	8.73	14.29
18	50.08	9.53	14.29
20	57.10	9.53	14.29
22	66.70	9.53	14.29

通过对铣齿刀盘结构参数的分析,可确定铣齿刀盘各参数变量与齿轮参数之间的约束关系,从而建立铣齿刀盘和齿轮参数之间的关系方程,以齿轮参数来确定铣齿刀盘的尺寸变量,以此来指导铣齿刀盘的参数化设计。

## 2 铣齿刀盘参数化建模系统的建立

参数化设计是将工程本身编写为函数的过程,通过修改初始条件值并经过计算机计算得到工程设计结果的设计过程,从而实现设计过程的自动化。

### 2.1 建模系统设计

#### 1) 界面设计

在对齿轮齿廓和铣齿刀盘进行分析之后,将二者参数化设计的系统融合在一个界面上,如图3所示,通过设置不同的按钮来实现类似SolidWorks软件内部操作的功能。在二者整体建模系统界面中,主要可分为参数输入区、刀片搭接形式区、三维模型建立区及其他区域。

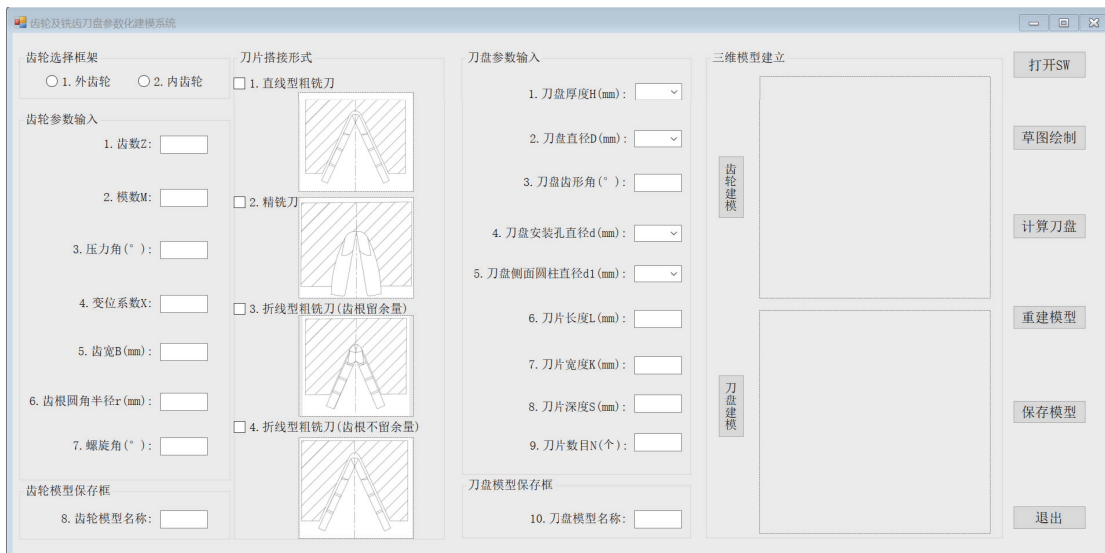


图3 铣齿刀盘参数化建模系统界面

参数输入区分为齿轮参数输入区和刀盘参数输入区。齿轮参数输入区中对应着齿轮选择框架中的 4 种齿轮形式,当需要进行斜齿轮的建模时,可在对应的标签下输入斜齿轮的螺旋角大小。输入螺旋角为正,则得到右旋斜齿轮;反之,则得到左旋斜齿轮。在刀盘参数输入信息框中,共设置有 3 种可供设计人员进行选择匹配的铣齿刀盘规格尺寸,分别是:刀盘直径  $D$  为 300 mm、360 mm、420 mm;刀盘安装孔直径  $d$  为 80 mm、90 mm、100 mm;刀盘侧面圆柱直径  $d_1$  为 160 mm、170 mm、180 mm;刀盘厚度  $H$  为 90 mm、100 mm。刀片槽数  $N$  按铣齿刀盘加工齿轮时的实际情况进行约束,当设计人员输入齿轮参数之后,刀盘齿形角  $\alpha_0$ 、刀片长度  $L$ 、宽度  $K$ 、厚度  $S$  通过“计算刀盘”按钮,即可显示配套的刀盘参数信息。

三维模型建立区是当齿轮参数信息和刀盘基体参数信息符合要求后,通过点击设定的模型建模按钮,即可在系统界面的三维模型区中得到对应参数自动设计的零件模型。刀片型线搭接区是按照实际铣削加工所设计的 4 种刀片型线搭接形式,在设计人员需要考虑齿轮的制造流程时,可选择对应的刀片搭接形式装配在自动生成的铣齿刀盘基体上。

本系统具有零件模型保存的功能,模拟使用 SolidWorks 软件本身保存所设计模型的功能,当设计人员完成目标零件的建模后,在对应的模型保存文本框下输入需要命名的零件名称,点击“保存模型”按钮,即可把模型保存在既定的文件夹中;若设计人员需要重建齿轮或刀盘基体模型,通过点击系统界面上的“重建模型”按钮,即可重新开始建模。

### 2) 系统实现

将铣齿刀盘结构参数和齿轮参数的约束方程以函数的形式编写在内部程序中,先获得被加工齿轮的齿廓参数信息,输入齿廓参数的信息为齿数  $Z$ 、模数  $M$ 、压力角  $\alpha$ 、变位系数  $X$ 、螺旋角  $\beta$ 、齿宽  $B$ 、齿根圆角半径  $r$ 。在界面上只需输入相应的齿轮参数,即可生成标准的零件模型。当设计人员确定输入的齿轮参数信息,选择需要进行铣削加工的刀片搭接方式后,点击“计算刀盘”按钮即可生成匹配齿轮加工的刀盘基体参数信息,再点击“基体生成”按钮即可生成目标模型,建立齿轮及铣齿刀盘建模系统的流程如图 4 所示。

在 VB 平台环境下,采用 VB.Net 的编程语言对齿轮进行建模,链接 SolidWorks API 接口的代码及其他代码如下:

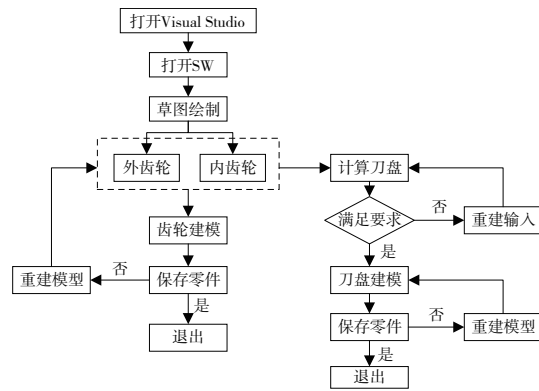


图 4 齿轮和铣齿刀盘设计流程图

```

Dim Swapp As SldWorks.SldWorks
'定义 SolidWorks 软件文档
Dim Part As SldWorks.ModelDoc2
'定义零件模型的文档
Dim Sketchmer As SldWorks.SketchManager
'定义草图管理器
.....
' 齿轮倒圆角代码
Dim Angle_qx2 As Double
Angle_qx2 = Pi / 2 - (Tan ( Acos ( Radius_f / Radius ) ) - Acos(Radius_f / Radius) + Pi / Z / 2) * 2 '
计算以光线照射选择齿根的角度偏移
Part.Extension.SelectByRay(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0.001, 1, False, 0, 0) ' 选择齿根倒角部分
Part.Extension.SelectByRay(0, 0, 0, Radius_f / 1000 * Cos(Angle_qx2), Radius_f / 1000 * Sin(Angle_qx2), 0, 0.001, 1, True, 0, 0) ' 选择齿根倒角部分
Dim myFeature3 As SldWorks.Feature
myFeature3= Part.FeatureManager.FeatureFillet3(195, r / 1000, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) '设置齿轮倒角的参数输入
Part.ClearSelection2( True) ' 倒角完成
.....
End Sub ' 建模完成
.....
' 铣齿刀盘建模代码
Part.Extension.SelectById2(" 切除 - 拉伸 6", " BODYFEATURE", 0, 0, 0, False, 4, Nothing, 0)
Part.Extension.SelectById2(" 切除 - 拉伸 7", " BODYFEATURE", 0, 0, 0, True, 4, Nothing, 0)
Part.Extension.SelectByRay(0.001, -0.001, 0, 0, 1, 0, 0.001, 2, True, 1, 0)
Dim myFeature11 As SldWorks.Feature
myFeature11 = Part.FeatureManager.FeatureCircularPattern5(N, 2 * Pi, False, " NULL", False, True, False,

```

```
False, False, False, 1, 2 * Pi, "NULL", False)
圆周阵列绘制的刀片槽,阵列个数为 N 个。
.....
End Sub '建模完成
.....
'重建模型代码
Swapp = CreateObject("Sldworks.Application")
Swapp.Visible = True
Swapp.FrameState = 1
Part = Swapp.NewDocument("C:\ProgramData\SolidWorks\SOLIDWORKS2017\templates\gb part.prt", 0, 0, 0)
Sketchmer = Part.SketchManager '草图绘制
End Sub
```

### 2.2 实例展示

按照图 4 的系统建模流程图,输入如表 3 所对应的外斜齿轮齿廓参数,通过相应的操作即可在系统内自动生成与齿轮模型相配套的刀盘结构参数信息,如表 4 所示。

表 3 齿轮齿廓参数信息

名称	外齿轮参数值
齿数 $Z$	60
模数 $M/\text{mm}$	12
压力角 $\alpha/(\text{°})$	20
变位系数 $X$	0
齿宽 $B/\text{mm}$	120
齿根圆角半径 $r/\text{mm}$	4.2
螺旋角 $\beta/(\text{°})$	15

表 4 铣齿刀盘参数信息

名称	刀盘参数值
刀盘厚度 $H/\text{mm}$	90
刀盘直径 $D/\text{mm}$	300
刀盘齿形角 $\alpha_0/(\text{°})$	20
刀盘安装孔直径 $d/\text{mm}$	80
侧面圆柱直径 $d_1/\text{mm}$	160
刀片长度 $L/\text{mm}$	38.10
刀片宽度 $K/\text{mm}$	14.29
刀片深度 $S/\text{mm}$	7.14
刀片数目 $N/\text{个}$	24

图 5 为齿轮参数和刀盘基体参数确定后,所得的参数化设计结果,其结果显示在本系统的三维模型建立区中。对于 SolidWorks 软件内部自动设计得到的目标零件三维图,对齿廓进行优化处理,设置齿根圆倒圆角的半径  $r$  为  $(0.3 \sim 0.38) \times M$ ,同时在独特的铣齿刀盘基体建模系统中添加了圆柱齿轮的参数化设计部分,使得齿轮在制造过程中的刀具模型得到展示,并且设置有 3 种规格的刀盘结构尺寸,分别是刀盘直径  $D$ 、刀盘安装孔直径  $d$ 、刀盘侧面突起圆柱直径  $d_1$  以及刀盘厚度  $H$ ,此 4 个参数在刀盘参数输入区中设为可供选择的刀盘基体尺寸,便于设计人员在刀盘基体装配时有更多的选择,丰富了铣齿的制造工艺。

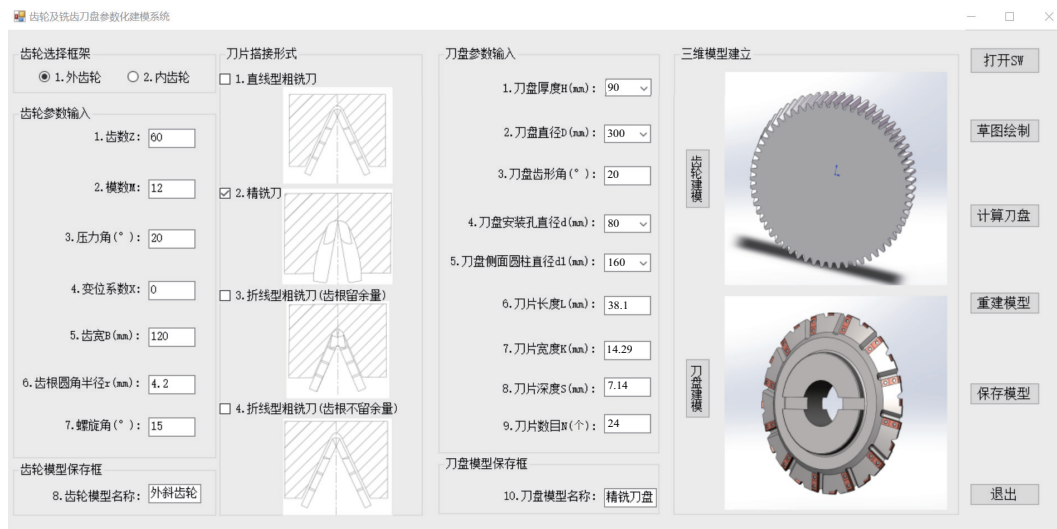


图 5 参数化设计结果

将风险管理与项目研制过程管理同步推进,将识别的风险在项目管理系统中进行标识,使风险管理信息化、可视化和透明化,收集风险管理的应对措施、案例和数据,不断提高风险管理的效率。

## 6 结语

随着形势发展的需要,重大型装备必然朝着复杂化、实战化的方向发展,研制的难度、风险也会越来越大,只有通过科学的、合理的风险管理方法,对装备研制风险进行有效地管理与控制,才能减少或消除风险对装备研制的影响,确保装备研制工作高效、顺利地完成<sup>[8]</sup>。

### 参考文献:

[1] 胡欣杰. 装备科研项目管理[M]. 北京:国防工业出版社,2019.

- [2] 吕建伟,陈霖,郭庆华. 武器装备研制的风险分析与风险管理[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [3] 周榜兰. 高度综合化航空电子信息系统项目风险管理研究及思考[J]. 项目管理技术,2020,18(1):110-115.
- [4] 曹涛. 航空型号研制项目风险管理探索与思考[J]. 航空科学技术,2016,27(6):67-70.
- [5] 吕惠文,张炜,王铭坤. 大型装备研制风险管理及对策[J]. 四川兵工学报,2014,35(12):52-55.
- [6] 张宏,林红斌,王晓剑. 对装备科研重点项目风险管理控制的思考[J]. 国防技术基础,2009(8):8-11.
- [7] 田丰. 装备研制进度风险管理研究[J]. 船舶,2006,17(5):51-53.
- [8] 张宁,杨芳菲. 新装备研制风险管理分析与方法[J]. 论证与研究,2006(2):18-22.

收稿日期:2023-08-11

(上接第138页)

## 3 结语

本文利用 VB.Net 编程语言,以 SolidWorks 软件为平台进行二次开发,分析了齿轮从设计到建模再到制造的参数化设计原理,并建立了铣齿刀盘的参数化设计系统。该系统能够实现渐开线齿轮的自动建模以及根据齿轮齿廓参数得到配套的铣齿加工刀具,从而缩短了设计人员设计齿轮及铣齿刀盘的时间。本文的主要贡献有:

1) 建立齿轮及铣齿刀盘的参数化建模系统,完善了齿轮从设计到建模再到制造的整体工艺,实现了标准模块化零件快速成形的设计目标,缩短了研发周期,并且有利于实现齿轮及刀盘生产的系列化和通用化;

2) 优化了对齿轮的处理工艺,本系统不仅可以自动生成圆柱外直/斜齿轮,还可生成圆柱内直/斜齿轮,对渐开线圆柱齿轮的参数化建模进行了统一,同时对齿根过渡曲线和圆角进行优化处理,设置有齿根圆角半径输入的操作功能;

3) 所开发的系统可以实现对不同参数的齿轮和不同规格的铣齿刀盘进行参数化建模的要求,不再局限于单一规格零件的设计,增加了设计人员在进行齿轮和刀盘建模时的选择性,丰富了铣齿的制造工艺。

### 参考文献:

[1] 陈毅. 基于 SolidWorks 二次开发的齿轮参数化系统设计

- 计[J]. 机械制造与自动化,2009,38(1):26-28.
- [2] 邓琨,赵霖,林建邦. 基于 SolidWorks 二次开发的渐开线齿轮参数建模系统[J]. 科技创新与应用,2018(10):10-13.
- [3] 张湘,郭坤州,夏宏玉,等. 基于 SolidWorks 的渐开线齿轮建模方法研究[J]. 现代机械,2008(4):37-39.
- [4] 焉兆超,管殿柱,何西阳,等. 基于 SolidWorks 的圆柱齿轮设计系统研究[J]. 青岛大学学报(工程技术版),2015,30(4):86-90.
- [5] CHOE T C, RI C N, JO M J, et al. Research on the engagement process and contact line of involute helical gears[J]. Mechanism and Machine Theory, 2022, 171: 104778.
- [6] FENG G S, XIE Z F, ZHOU M. Geometric design and analysis of face-gear drive with involute helical pinion[J]. Mechanism and Machine Theory, 2019, 134:169-196.
- [7] 王平,陈莲华,王星云,等. 基于 Pro/E Wildfire 4.0 斜齿圆柱齿轮参数化设计及二次开发模型库建立[J]. 机械与电子,2008(10):47-49.
- [8] 李刚. 齿轮粗加工用盘铣刀参数化建模与齿形对比[J]. 河北科技师范学院学报,2019,33(3):147-149.
- [9] 朱柏林,张剑. 盘铣刀参数化设计系统研究与开发[J]. 黑龙江科技信息,2013(22):6-8.
- [10] 陈善国,邱全奎,黄英茹. 盘形齿轮铣刀三维参数化自动设计系统[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2005,22(6):612-614.
- [11] 王东海,易为,袁美娟. 渐开线齿轮参数化建模及可转位盘形齿轮铣刀的设计[J]. 硬质合金,2018,35(3):212-218.
- [12] 彭岳奇. 盘型可转位齿轮铣刀设计[J]. 工具技术,2012,46(8):68-70.

收稿日期:2022-09-05