



基于相似理论的双螺杆磨浆机螺杆参数化设计

胡冬奎, 王平

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 在分析不同型号双螺杆的几何相似参数和相似度的基础上, 基于 60 mm 双螺杆的几何参数进行了双螺杆磨浆机螺杆参数化设计, 通过 UG 软件和 C++ 语言实现了螺杆元件和螺杆芯轴的参数化三维设计模块, 避免了重复性设计和计算, 缩短了产品的开发周期。

关键词: 双螺杆磨浆机; 双螺杆; 参数化设计; 相似理论

中图分类号: TS733+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2009)06-0050-04

Twin Screw's Parametric Design of Twin Screw Pulping Extruder Based on Similarity Theory

HU Dong-kui, WANG Ping

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: After analyzing the different types of screw's geometric similarity parameter values and metric values, twin screw's parametric design of twin screw pulping extruder based on geometric parameter of 60 mm twin screw was done. Parametric design of the screw element and mandrel were realized by means of UG software and C++ language. It can avoid repetitive works and reduces development period.

Keywords: twin screw pulping extruder; twin screw; parametric design; similarity theory

相似理论^[1-2]是描述物理现象相似条件和相似现象性质的学说。相似理论在工程中的应用包括几何相似、运动学相似和动力学相似等。几何相似主要应用在大型机械工程设备的开发设计中。

几何相似^[2-4]最早出现在几何学里的相似图形, 相似的几何参数成一定比例, 比例是精确的常数, 可用数学方法处理。在几何相似的基础上, 相似理论在挤出机设计中有比较成熟的应用和相关的科研论文, 并应用到实际的生产设备开发中。当螺杆直径大于 120 mm 时^[3]要在计算的基础上, 根据实验室小型实验台的实验数据, 进一步用相似理论进行验证, 而几何相似是其设计和理论分析的基础。

大型双螺杆磨浆机中螺杆结构的设计可以从几何相似出发, 用相似理论的方法进行分析和设计。本文基于相似理论, 采用 UG 三维建模方法进行 60 mm

双螺杆磨浆机螺杆元件的参数化建模研究, 为其他直径型号螺杆的三维建模提供一个平台, 避免了重复建模, 节省了设计时间。

1 螺杆几何相似的理论基础

根据零件的参数, 零件间相似参数, 相似参数的比例系数及相似参数的权重系数, 计算出相似参数值 $q(u_i)$ 。根据文献^[2]有如下结果:

$$\begin{cases} q(u_i)=1, & \text{表明相似单元零件等同} \\ 0 < q(u_i) < 1, & \text{数值大小反映相似程度大小} \\ q(u_i)=0, & \text{表明相似单元零件相异} \end{cases}$$

通过相似参数值和相似度可以分析相似单元的相似程度, 其中最重要的是参数的选择。

根据文献^[2]分析不同型号的双螺杆磨浆机螺杆

收稿日期: 2009-07-07; 修回日期: 2009-09-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675155)

作者简介: 胡冬奎(1981—), 男, 山西晋中人, 硕士研究生; 通信作者: 王平, 教授, wp2004@tust.edu.cn.

之间的相似程度. 设定每个特征对系统相似度影响的权重系数相同, 也就是平权^[1]. 磨浆机 A, B 及其螺杆的相似参数值 $q(u_i)$ 和相似度 Q 的计算公式如下^[2]:

$$q(u_i) = [m / (K + L - m)] \cdot \sum_{i=1}^m d_j r_{ij} \quad (1)$$

$$Q = [n / (E + F - n)] \cdot \sum_{i=1}^n h_i q(u_i) \quad (2)$$

式中: m 是螺杆 A 与螺杆 B 之间的相似参数的个数; K, L 分别是螺杆 A, B 的相似参数特征值个数; r_{ij} 是特征值比例系数; n 是磨浆机 A 与磨浆机 B 之间的相似参数的个数; E, F 分别是磨浆机 A, B 的系统参数; d_j 和 h_i 是权重系数.

选择螺杆外径为特征 1, 螺纹深度为特征 2, 螺距为特征 3, 螺旋角为特征 4, 螺棱顶宽为特征 5. 基于 3 种型号的螺杆进行相似性分析, 3 种螺杆的特征参数如表 1 所示.

表 1 螺杆的特征参数表
Tab.1 Parameter value of screw

螺杆编号	特征 1/ mm	特征 2/ mm	特征 3/ mm	特征 4/ (°)	特征 5/ mm
螺杆 1	60	7.5	28	9.82	7
螺杆 2	120	24	54	8.15	21
螺杆 3	240	42	120	13.76	38

把表 1 中特征参数数据及 $K=L=m=5, F=E=n=1, h_i=1, d_j=0.2$ 代入式 (1) 和式 (2) 中, 得相似参数值 $q(u_i)$ 和相似度值 Q_i 见表 2.

表 2 相似度计算结果
Tab.2 Calculation results of similarity metric

相似参数	特征 1	特征 2	特征 3	特征 4	特征 5	Q_i
$q(u_1)$	0.50	0.313	0.519	0.830	0.333	0.499
$q(u_2)$	0.25	0.179	0.233	0.714	0.184	0.312
$q(u_3)$	0.50	0.571	0.450	0.593	0.553	0.533

注: $q(u_1)$ 为螺杆 1 和螺杆 2 的相似参数值; $q(u_2)$ 为螺杆 1 和螺杆 3 的相似参数值; $q(u_3)$ 为螺杆 2 和螺杆 3 的相似参数值.

螺杆设计的参考量为螺杆外径, 螺杆 1 和螺杆 2 的外径比为 0.5, 计算得到的整体相似度为 0.499, 接近外径比. 两者约等于同一个常数, 说明其几何相似程度很大. 同理, 螺杆 2 和螺杆 3, 螺杆 1 和螺杆 3 同样存在着几何相似, 它们的相似度值 Q 都与外径比很接近^[5].

2 技术方案

几何相似是零件三维参数化设计的理论基础, 在保证强度要求的前提下, 可以通过几何的相似放大进

行零件设计, 对于螺杆也可以通过几何相似快速实现多种型号螺杆的几何建模.

参数化设计的基础是三维模型的建立, 有两种方法建立模型. 一种是表达式方法, 通过特征操作实现几何建模; 另一种是通过程序实现建模. 由此可以得出参数化设计的过程如图 1 所示.



图 1 参数化设计过程

Fig.1 Process of parametric designing

2.1 螺杆主要参数

螺杆外径 (D_b): 在一定程度上表示出双螺杆磨浆机的生产能力. 螺杆直径越大, 生产能力越大.

螺距 (p): 螺杆组装元件采用不同螺距, 各段之间要光滑过渡, 螺纹不断开. 这就要求较高的加工质量, 否则, 螺杆之间会发生干涉, 影响磨浆质量.

螺棱顶宽 (e): 螺棱顶宽越大, 理论流量越小. 实际螺棱顶宽应在保证螺纹强度的条件下, 对物料有较大的输送能力.

螺棱深度 (H): 增加螺棱深度, 螺槽容积增大, 能增加产量, 但螺杆芯轴直径减小, 影响螺杆的抗扭强度. 螺棱深度一般取值为 $(0.1 \sim 0.2) D_b$.

螺旋升角 (ψ): 螺旋升角与梯形斜角存在正比关系, 梯形斜角与流量有密切关系, 所以螺旋升角的选择要考虑梯形斜角的取值.

2.2 螺杆元件

2.2.1 正向螺杆元件

正向螺杆元件包括大螺距进料段和正常输送段, 一般为右旋螺纹. 正常输送段是螺纹参数设计计算的基础. 图 2 是由一个正常输送段和一个反向螺杆元件组装而成的一段螺杆.

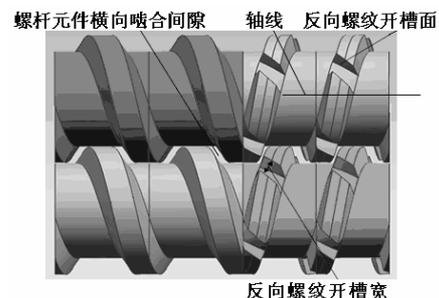


图 2 螺杆结构

Fig.2 Screw structure

在正向输送段, 螺棱顶宽是根据双螺杆几何学公式计算, 然后进行修正得到, 公式为

$$e = \frac{T}{2\pi} \left(\frac{\pi}{m} - 2 \arccos(C_L/D_b) \right) \cos \psi_b \quad (3)$$

式中: T 为螺纹导程; m 为螺纹头数; ψ_b 为螺杆外径螺旋升角; D_b 为螺杆的外径; C_L 为两螺杆的中心距。

2.2.2 反向螺杆元件

反向螺棱槽宽影响磨制浆料的纤维长度,应根据磨浆质量要求来确定。开槽的数量应与正常输送段螺纹法截面面积相匹配。

反向螺纹开槽角度是图 2 中轴线与其在螺纹开槽面上的投影所成的角度。开槽角度选取应该使留下来的“刀刃”尽可能接近 90° , 以保证有较好的耐磨性。

2.2.3 螺杆芯轴

螺杆芯轴是螺杆元件装配的基准,螺杆芯轴外表面的花键与螺杆元件的内花键配合,螺杆芯轴一端通过花键与传动箱连接。

2.3 螺旋槽的几何参数

螺杆元件的螺纹部分是通过螺纹法截面沿螺旋线扫描而成,根据文献[6-7]的简化理论,双螺杆螺纹法截面曲线如图 3 所示。

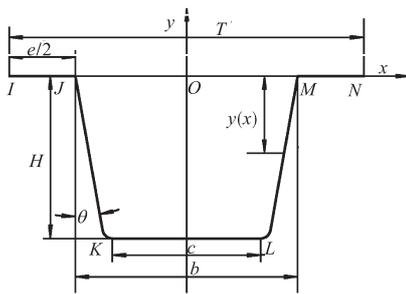


图 3 螺纹法截面示意图

Fig.3 Schematic of screw thread normal section

图 3 中, H 为螺棱深度, b 为螺槽宽度, e 为螺棱顶宽, c 为螺槽底宽, θ 为梯形斜角, T 为螺纹导程。法截面螺纹曲线的数学方程为

$$y(x) = \begin{cases} D_b - C_L; & 0 \leq x \leq c/2 \\ k(x - \frac{b}{2}); & c/2 < x \leq b/2 \end{cases} \quad (4)$$

平均螺旋升角为

$$\psi = \arctan \frac{T}{\pi C_L} \quad (5)$$

对于单头螺杆,螺旋升角与螺距和螺杆中心距有关。简化后螺槽底宽方程为

$$c = T - e_1 - 2H \tan \theta \quad (6)$$

式中, e_1 为实际螺棱顶宽。

梯形斜角 θ 的变化与螺旋升角有关,其变化范围

在一个有限的范围内,通过优化设计取得一个最优值,建模中 θ 取此最优值。螺旋升角 ψ 与螺距和螺杆中心距有关,但是螺杆中心距是固定值,所以通过控制螺距来控制螺旋角,详见文献[6]。

本文采用在圆柱体基础上增加螺纹部分的建模方法。参数化建模的数学基础是式(5)和式(6),通过其建立相关的表达关系,从而控制相应的参数。

芯轴的主体部分是标准件渐开线直齿花键,具体几何参数可以参考机械设计手册。

2.4 创建零件参数化实体

根据零件结构尺寸,采用关系表达式工具完成零件参数化实体的创建。螺杆元件的三维建模是采用表达式方法,通过草绘、旋转、扫描和实体拉伸等操作完成的,其中最重要的是表达式的准确和约束关系的建立,建模可视性强。

渐开线芯轴的三维建模,通过 UG/Open GRIP 语言编程实现。操作用到的主要命令有 `crvtrm`、`Solext`、`matrix` 等, `crvtrm` 命令用于利用实体边界修剪曲线; `Solext` 命令执行实体拉伸操作; `matrix` 命令进行平移、旋转、镜像、比例的变换操作。

2.5 菜单和交互界面的制作

菜单的制作是通过 UG/Open MenuScript 实现的,通过编辑 UG 菜单可以实现满足用户需求的专门菜单设置,图 4 所示是双螺杆参数化设计菜单。



图 4 双螺杆参数化设计菜单界面

Fig.4 Menu interface of twin screw's parametric design

交互界面的制作通过 UG/Open UIStyler 实现。在对话框的中主要是添加按钮、相关参数对话框和设置回调函数,最后生成用户交互界面如图 5 所示。



图 5 参数设置界面对话框

Fig.5 Interface dialog box of parameter setting

2.6 控件访问和 C++编译链接

在 C++ 中建立 UG NX V1 工程项目,生成 dll 文件. 在螺杆元件的参数化设计中控制 UG 模型中的表达式,通过回调与反回调实现参数的变化,从而实现模型的几何参数的变化. 表达式的控制,模型的更新等是通过 UG/Open API 实现的,主要用到的数据类型和函数如下:

UF_STYLER_item_value_type_p_t 数据类型,用于 ask 和 set 函数,完成数据信息与程序之间的交互.

UF_STYLER_ask_value() 函数,用于获取对话框中用户输入的数值.

UF_STYLER_set_value() 函数,用于设置模型中的参数,把程序处理的数据返回到模型中,为用户的输入提供响应.

UF_MODL_update() 函数,用于改变参数后实现模型的更新.

花键芯轴的参数化设计除了用到以上提到的 API 函数还主要应用了如下函数和 GRIP 语句;

UF_call_grip() 函数,实现对 GRIP 程序的调用,完成渐开线芯轴的参数化建模.

Ufargs() 函数,接收从 UG/Open API 传递过来的参数.

参数化设计方法详见文献[8-9].

3 实例

以 60 mm 双螺杆磨浆机为基础实现了螺杆的参数化设计. 启动 UG,新建文件. 通过图 4 所示菜单按钮打开图 5 参数化设计界面,在界面中输入设计参数. 程序自动生成芯轴和反向螺杆元件,如图 6 所示.

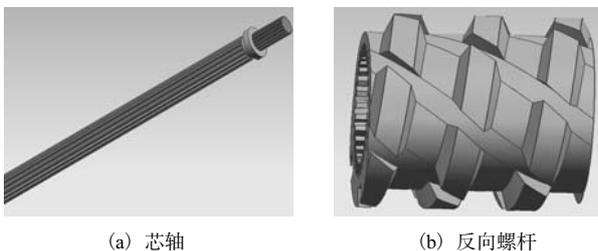


图 6 参数化设计的芯轴和反向螺杆元件

Fig.6 Reverse screw thread element and mandrel of parameter designing

4 结语

本文基于相似理论,对双螺杆磨浆机进行了几何相似分析,数据表明不同型号螺杆的相似度值与直径

比十分接近,说明了小型样机的螺杆几何参数可以应用到工程中的大型设备的几何参数确定. 采用 UG 和 C++ 软件实现了螺杆的参数化设计,通过对正反向螺杆元件的螺纹导程、螺棱深度、反向螺棱槽宽等对实际生产中磨浆效率、质量的影响较大的螺杆结构参数的独立控制,提高了螺杆的设计效率. 对于参数化设计形成的三维模型,还可以根据特殊需要进行修改,以达到更好的设计效果.

此参数化设计平台已经成功应用到 120 mm 和 240 mm 螺杆的几何建模中,经实际生产验证,效果良好. 理论上其可以应用到更大型号的双螺杆磨浆机中,但是在设备大型化后,与小型实验台相比,除了保证功耗、流量等是成比例的放大之外,更重要的是能否保证加工质量,随着直径的增大,其螺杆几何结构对机筒建压能力、物料输送能力等的影响变大,不能简单的成比例放大螺杆结构,某些局部结构参数和螺杆参数方程等需要更改和修正,从而改变螺杆几何结构,保证加工质量.

在参数化过程中,形成的螺纹大于要求的长度,需要进行修剪,这些有待于进一步完善.

参考文献:

- [1] 袁文忠. 相似理论与静力学模型实验[M]. 成都:西南交通大学出版社,1998.
- [2] 周美立. 相似工程学[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [3] 梁志刚,朱复华,金志明. 相似理论在螺杆设计上的应用[J]. 塑料挤出,2004(6):10-14.
- [4] Taesik Hong, Kunwoo Lee, Sungchan Kim. Similarity comparison of mechanical parts to reuse existing designs [J]. Computer Aided Design, 2006, 38: 973-984.
- [5] 吴炳胜,方涓,李瑞涛,等. 基于相似理论的虚拟样机有效性研究[J]. 中国机械工程,2002,13(12):1018-1021.
- [6] 王平,董建涛,沈晓阳. 双螺杆磨浆机螺纹参数设计与研究[J]. 中国造纸学报,2007,22(2):99-103.
- [7] Wang Ping, Bai Yu, Shen Xiaoyang. Study on design of twin screw refining mechanism and its computer simulation [C]// Proceedings of the 8th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing, Tianjin, 2008: 78-83.
- [8] 石彩花,杨铁牛. 挤出机新型螺杆的设计方法[J]. 机床与液压,2006(5):54-56.
- [9] 李富成. 螺杆压缩机性能参数相似设计计算[J]. 压缩机技术,2007(5):26-31.