

# 行星齿轮传动系统的参数化设计与仿真

陈逗逗,张明军

(江苏师范大学科文学院,江苏 徐州 221132)

**摘要:**行星齿轮传动系统的参数化设计包含外齿轮、内齿轮两种不同的齿轮类型,虚拟装配模型包含多对内啮合和多对外啮合配合关系。为提高行星齿轮传动系统的设计质量和设计效率,使用Creo软件参数化设计功能,建立外齿轮、内齿轮的参数化模型,进而完成行星齿轮传动系统的装配模型。最后通过对装配模型进行运动学仿真,验证设计的准确性和可靠性。

**关键词:**行星齿轮传动系统;参数化设计;仿真分析;运输绞车

**中图分类号:**TH132.425 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0153-03

## Parametric Design and Simulation of Planetary Gear Transmission System

CHEN Doudou, ZHANG Mingjun

(Jiangsu Normal University Kewen College, Xuzhou 221132, China)

**Abstract:** The parametric design of planetary gear transmission system includes two different gear types: external gear and internal gear, and the virtual assembly model embraces multiple internal meshing and multiple external meshing mating relations. In order to improve the design quality and efficiency of planetary gear transmission system, the parametric design function of Creo software is applied to establish the parametric models of external and internal gears and complete the assembly model of planetary gear transmission system. The accuracy and reliability of the design are verified by kinematics simulation of the assembly model.

**Keywords:** planetary gear transmission system; parametric design; simulation analysis; transport winch

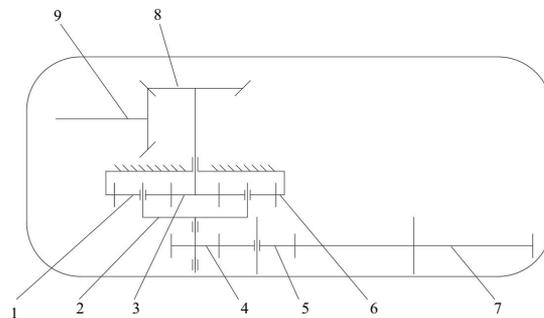
## 0 引言

行星齿轮传动具有结构紧凑、体积小、承载能力大、传动效率高、传动比较大、运动平稳、抗冲击和震动的能力较强等优点<sup>[1]</sup>,在煤矿机械中得到广泛的应用。JY型运输绞车适用于煤矿中大型综采设备的安装、拆卸及搬迁、各类机电设备的运输、工作面的回柱放顶、大吨位的物料运输和矿车调度等工作,也可用于煤矿井下各种临时性的牵引工作<sup>[2]</sup>。JY型运输绞车的传动机构如图1所示,由直齿锥齿轮传动—行星齿轮传动—直齿圆柱齿轮传动三级齿轮传动组成<sup>[3]</sup>。为实现JY型运输绞车的系列化、标准化设计,提高设计效率,采用Creo 5.0的参数化设计功能,可以实现产品的快速设计,只需要通过修改齿轮的设计参数,即可得到一系列结构相同,尺寸不同的模型。本文以JY型运输绞车传动系统中最复杂的行星齿轮传动作为研究对象,建立行星齿轮传动的参数化模型,并在此基础上对该模型进行运动学仿真,验证设计的准确性和可靠性,为下一步完成三级齿轮传动系统的参数化设计打下基础。

## 1 NGW型行星齿轮传动的结构

JY型运输绞车的第二级齿轮传动为NGW型行星齿轮传动,其结构如图1所示,主要由太阳轮、行星轮、内齿轮、行星架等四类零件组成,具有3对内啮合和3对外啮

合齿轮副。相较于其他类型的行星齿轮传动,NGW型行星齿轮传动效率高,体积小,质量小,结构简单,制造方便,广泛地应用于动力和辅助传动中。



1—行星轮;2—行星架;3—太阳轮;4—小直齿轮;5—过桥齿轮;6—内齿圈;7—大直齿轮;8—大锥齿轮;9—小锥齿轮。

图1 JY型运输绞车齿轮传动系统简图

## 2 行星齿轮传动的参数化设计

行星齿轮传动中的齿轮可分为外圆柱齿轮和内圆柱齿轮两类,所以需要建立两种齿轮模型。JY型运输绞车的各级齿轮均为标准渐开线齿轮,方便设计与加工制造。参数化和数字化是Creo的核心,为实现参数化建模,需要确定齿轮建模的“参数”以及参数之间的“关系”。在

Creo—“工具”—“参数”命令中,可以设置齿轮建模需要的参数,涉及到的主要参数包括齿数  $z$ 、模数  $m$ 、齿形角  $\alpha=20^\circ$ 、齿顶高系数  $h_a=1$ 、顶隙系数  $h_f=0.25$ 、变位系数  $x=0$ 、齿宽  $B$  等<sup>[4]</sup>。在 Creo—“工具”—“关系”命令中,可

以设置齿轮建模参数之间的关系,建模的主要关系见表 1。

在 Creo 中,创建渐开线曲线,可以使用“基准”—“曲线”—“来自方程的曲线”的方式来完成。 $0^\circ \sim 90^\circ$  范围内的外啮合直齿轮渐开线曲线表达如表 1 所示。

表 1 渐开线齿轮的参数关系及渐开线方程

渐开线齿轮的参数关系	渐开线曲线方程(程序输出)
齿顶圆直径 $d_a = mz + 2h_a m$	$r = db/2$
齿根圆直径 $d_f = mz - 2(h_a + h_f) m$	$\theta = t * 90$
分度圆直径 $d = mz$	$x = r * \cos(\theta) + r * \sin(\theta) * \theta * \pi / 180$
基圆直径 $d_b = d * \cos \alpha$	$y = r * \sin(\theta) - r * \cos(\theta) * \theta * \pi / 180$
	$z = 0$

在 Creo 的 Front 基准平面内使用“草绘”命令创建齿顶圆、分度圆、齿根圆、基圆后,采用“曲线”—“来自方程的曲线”命令创建渐开线曲线,如图 2 所示,使用“镜像”命令可以生成另一侧的渐开线曲线<sup>[5]</sup>。外圆柱齿轮可直接在齿顶圆内建立实体,内圆柱齿轮创建实体可参考图 2 所示的方法,右侧基准平面与左侧基准平面之间的距离为 2 倍的分度圆直径,这是因为内齿轮为向内生成轮齿,其齿顶圆、齿根圆的计算公式与外圆柱齿轮的计算相反。此后,使用“拉伸”命令创建第一个轮齿后,使用“阵列”命令生成完整齿轮,即可得到外圆柱齿轮和内圆柱齿轮,如图 3 和 4 所示。

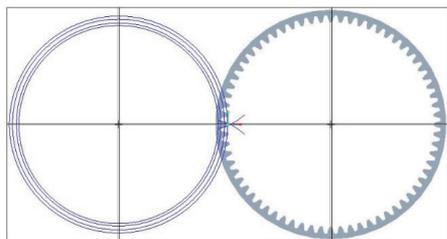


图 2 渐开线曲线绘制

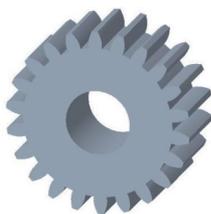


图 3 外圆柱齿轮

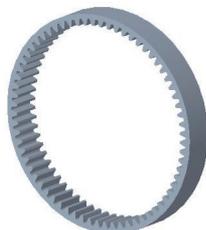


图 4 内圆柱齿轮

在创建参数化模型之后,可以在 Creo 中使用“工具”—“参数”命令通过修改齿轮参数,自动生成新的齿轮,大大提高绘图效率,生成的行星齿轮如图 5 所示。

行星架也可以按照参数化建模的方法创建参数化模型,如图 6 所示。



图 5 行星齿轮



图 6 行星架

### 3 行星齿轮传动的装配与运动学仿真

在 Creo 的装配功能里可以将零件和子装配以一定的装配关系放置在一起组成装配体。在装配模式下,行星齿轮传动的结构一目了然,这可以帮助设计人员检查各零件之间的装配关系以及判断是否存在干涉问题,从而可以在设计阶段对零件的结构进行优化设计<sup>[6]</sup>。在行星齿轮传动的装配过程中,每个零件均以“销”连接的约束方式进行连接,以“轴-轴”重合、“面-面”重合或指定距离的关系方式进行放置,直至对话框内出现“完成连接定义”的提示即可。在对齿轮副进行啮合时,可以借助“模型”—“拖动元件”—“约束”对话框中的“配对两个图元”方式,将齿轮副中对应的平面进行配对,如图 7 所示。在此处,进行平面匹配的多为基准面,可以分为两类。一类是通过轮齿或齿槽对称平面的基准面,一类是通过齿轮副啮合节点和中心轴线的基准面,这些基准面需要提前创建。在同一个齿轮上,这些基准面彼此相交  $120^\circ$ ,在进行匹配时,需要进行仔细观察,多次尝试,直至找到符合齿轮正确啮合条件的平面进行配对,并使用“快照”命令将此位置固定,一旦位置发生变动,即可通过“快照”对话框内的“显示选定快照”进行复位。

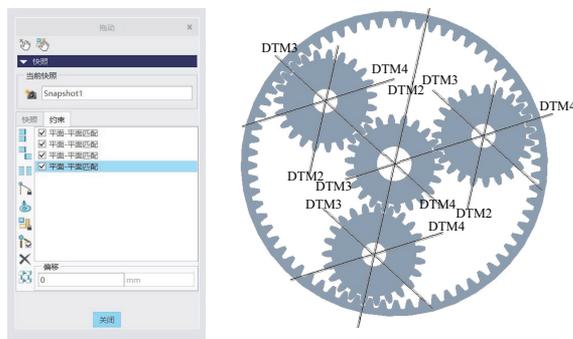


图 7 齿轮副啮合中的平面匹配

在 Creo 的机构功能中,可以实现行星齿轮传动装配模型的运动分析。对于齿轮传动,使用“机构”—“齿轮”—“齿轮副定义”命令,通过选取各啮合齿轮的“运动轴”,设置“节圆直径”等步骤,即可使啮合齿轮产生啮合关系,进而实现啮合传动,如图 8 所示。在齿轮副的定义过程中,需要保证外啮合齿轮的旋向相反,内啮合齿轮的旋向相同。由于在 NGW 型行星齿轮传动中,内齿轮保持

不动,所以在内啮合齿轮副的定义中,需将“主体”中的“小齿轮”和“托架”互换,意味着内齿轮为基础(ground),保持静止,如图 8(b)所示。对于旋转中心重合的太阳轮、内齿轮、行星架,其运动轴是重合的,在定义齿轮副的过程中,运动轴图标只显示一个,会导致选择困难。为解决此问题,在设置太阳轮和内齿轮的“销”连接时,可以将旋向设置为相反的两个方向,这样在定义齿轮副时,会出现两个运动轴图标。如果内齿轮的安装顺序在行星架之前,也可以在太阳轮和行星轮的齿轮副定义完成以后,将太阳轮“隐含”,这时太阳轮及其运动轴不显示,内齿轮的运动轴图标就会出现。



图 8 齿轮副的定义

在“机构”模块中,在太阳轮的运动轴上添加“伺服电动机”,并设置参数,使用“运动分析”命令可以实现行星齿轮传动的运动仿真,仿真模型如图 9 所示。

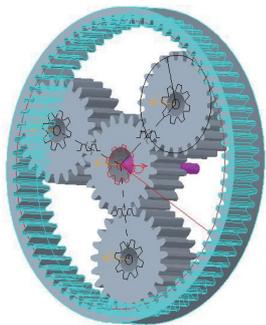


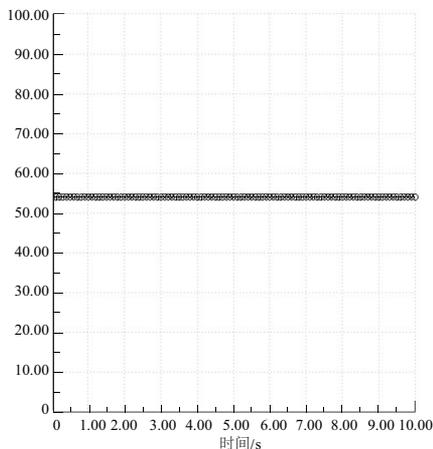
图 9 行星齿轮传动的运动仿真模型

使用“机构”—“测量”命令,可得运动学仿真结果如图 10 所示,经验证,行星齿轮传动的传动比与理论值误差较小。运动仿真的准确性可以验证前述参数化模型的建立方法是正确的。

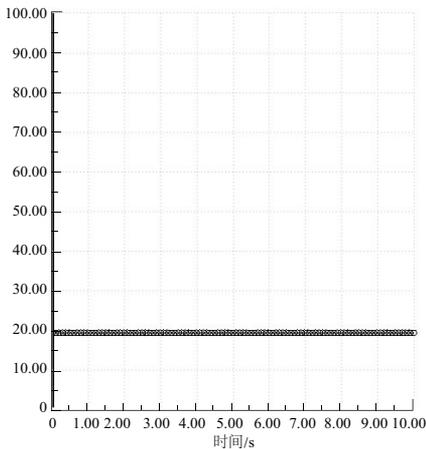
### 4 结语

JY 型运输绞车的齿轮传动系统较为复杂,采用了锥齿轮传动、行星齿轮传动、直齿轮传动等 3 种传动形式。本文为 JY 型运输绞车的齿轮传动系统仿真研究的阶段性

成果,为后续三级齿轮传动系统的参数化设计和动力学仿真研究打下坚实的基础。采用三维 CAD 软件参数化和数字化设计理念,可以提高产品质量和效率,有利于产品的系列化和标准化开发。同时参数化模型的建立,可以更加直观、形象地进行传动机构的运动学和动力学仿真,所建立的模型也可用于其他 CAE 软件进行有限元分析、优化设计等,或直接用于数控加工。



(a) 太阳轮测量结果



(b) 行星架测量结果

图 10 运动学仿真结果

### 参考文献:

- [1] 饶振纲. 行星齿轮传动设计[M].2 版. 北京:化学工业出版社,2014.
- [2] 闵付松,李炳文,王海燕. 新型运输绞车的设计[J]. 煤矿机械,2007,28(9):144-145.
- [3] 孙生. 新型运输绞车的动力学仿真[J]. 煤矿机械,2012,33(9):89-91.
- [4] 刘玲,朱海兵,许晶晶,等. 锥齿轮传动系统的参数化设计及仿真[J]. 现代制造技术与装备,2021,57(3):32-33.
- [5] 盛楠. 基于 Creo 2.0 的渐开线圆柱齿轮精确建模分析[J]. 机械工程师,2020(7):46-47,50.
- [6] 北京兆迪科技有限公司. UG NX 12.0 运动仿真与分析教程[M].4版. 北京:机械工业出版社,2019.

收稿日期:2022-01-27