

文章编号:1004-2539(2004)06-0048-04

环面蜗杆修型的实质

——兼论与渐开线齿轮修形的区别

(湘潭钢铁集团有限公司, 湖南 湘潭 411101) 周良墉

摘要 根据曲率修型原理对环面蜗杆修型的实质进行了深入的讨论,提出环面蜗杆修型的实质是使蜗杆具有合理的齿长方向的齿形,从而达到使环面蜗杆发挥最大能力的目的。并从多方面论述了环面蜗杆修型与渐开线齿轮修形的本质区别,以及研究方法和内容的差异。基于这一理论,新开发的曲率修型原理为环面蜗杆找到了一个合理的齿形——曲率半径变化曲线。

关键词 环面蜗杆 修型 实质

引言

环面蜗杆传动具有承载能力大、传动效率高、使用寿命长的优点。

环面蜗杆与普通圆柱蜗杆的不同之处在于从外形上看,普通圆柱蜗杆呈圆柱状,环面蜗杆呈中间小、两端大的马鞍状。从啮合关系来看,普通圆柱蜗杆象齿条与齿轮的啮合;环面蜗杆的齿却是沿着蜗轮的节圆“包围”着蜗轮。从成形原理来看,包络圆柱蜗杆的母元素(直线、曲线或曲面)沿着平行于蜗杆中心线的直线运动;环面蜗杆母元素的运动轨迹则是一个圆弧,因此,圆柱蜗杆的节圆面是一个圆柱面,环面蜗杆的节圆面是一个圆环面的一部分。

环面蜗杆的应用离不开修型,本文就环面蜗杆的修型的作用实质进行讨论。

1 环面蜗杆修型的由来

环面蜗杆的优异性能是在不断的探索中开发出来的。开发的关键技术就是修型。最初发明的环面蜗杆是典型的直线包络环面蜗杆,性能并不十分突出。它的蜗轮齿面工作区比较狭窄,中心部位有一条二类界限线,如图1所示。在使用中人们发现,经过跑合磨损的环面蜗杆副的性能不但没有降低,反而得到大幅度的提高;蜗轮齿面的工作区扩大了,承载能力也增加了。经检测,发现蜗杆的齿厚发生了不同程度的变化。为了加快跑合的速度,工程技术人员有意将蜗杆跑合量大的部分事先去掉一些,这样既加快了跑合速度,又提高了环面蜗杆的性能。最初,人们把环面蜗杆的这一方法与渐开线齿轮的修形看作一样,把环面蜗杆的

这一技术也称为“修形”。

“修形”就是有目的按照一定规律改变环面蜗杆的齿厚,以提高蜗杆副性能的技术。随着研究的深入,发现按一定的规律对蜗杆齿面全面“修形”,环面蜗杆的性能更好。于是出现了“全修形”——“抛物线修形”。在曲率修型出现之前,抛物线修形一直是公认的最佳修型规律。

长期以来,修型一直是环面蜗杆传动重要的研究方向和内容。由于理论和技术的限制,原有的“修形”理论把环面蜗杆的“修形”等同于渐开线齿轮的修形,混淆了二者本质的区别,制约了修型原理的发展。

研究渐开线齿轮有一个基准齿形——基准齿条,研究环面蜗杆也需要一个基准齿形,这个基准齿形称为“原始型环面蜗杆”。其齿形的特点是:在蜗杆的轴向截面内的齿廓为直线,在蜗轮分度圆的同心圆上的齿距、各齿齿厚相等。原始型环面蜗杆就是典型的直线包络环面蜗杆。其成形原理和齿形如图2所示。修型就是改变环面蜗杆的齿面,使它与原始型蜗杆有一定的差别。

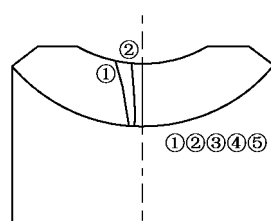


图1 原始型环面蜗杆的接触线

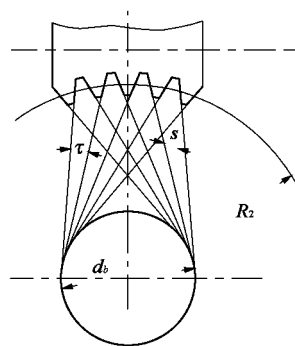


图2 原始型环面蜗杆的齿形

原始型环面蜗杆与一般典型传动环面蜗杆还有区别,一般典型传动环面蜗杆是传动参数在第一次包络过程中与第二次包络过程的一样,包络母元素不是轴截面内的直线,在蜗杆轴线截面内的齿廓也不是直线。

2 环面蜗杆的修型传动和修型量

对原始型环面蜗杆传动的研究已经证明,典型传动是二类界限线出现在蜗轮齿面的必要条件。在修型传动中,蜗杆副的传动条件与典型传动不一样,二次包络中不存在二类界限线产生的条件。同时,环面蜗杆副在二次包络中有“二次接触”现象,能使蜗杆副的性能大有提高。因此,通过合理的修型来改进环面蜗杆的性能是有可能的。从广义上来说,只要是蜗杆齿面与原始型环面蜗杆有差别,这样的环面蜗杆就是修型环面蜗杆,这就包括了除原始型环面蜗杆之外的所有环面蜗杆。根据这一定义,环面蜗杆修型原理的研究范围就包括了所有的环面蜗杆。环面蜗杆的修型分为齿高方向的修型和齿长方向的修型,由于其接触线近似于沿齿高分布,蜗杆和蜗轮的相对运动方向是沿螺旋线(齿长)方向,因此,齿长方向的修型对蜗杆副啮合性能的影响更大。环面蜗杆的修型原理主要研究蜗杆齿长方向的修型规律。

环面蜗杆的修型量是环面蜗杆修型的定量表示,是指蜗杆单侧齿厚与原始型环面蜗杆齿厚相比的变动量。定量的来说,就是在蜗杆的轴向截面内,沿蜗轮分度圆的同心圆上,修型环面蜗杆与原始型环面蜗杆齿廓的弧线距离。在图 3a 中,虚线 AB 是原始型环面蜗杆的齿廓, CD 是修型蜗杆的齿廓。如果要考察 M 点的修型量,则通过 M 点作蜗轮分度圆的同心圆,两个齿廓与圆弧的交点分别为 M 和 M' 。 MM' 之间的弧长就是 M 点的修型量。图 3b 是修型量的矢量表示。

由于修型方式的差别,不同圆上的修型量可能不相同。为了便于研究,我们将环面蜗杆沿齿高分成若干等分,当等分数趋向无穷大时,一段齿面就变成一条曲线。这样,对蜗杆齿面的研究就变成对一组环面螺旋线的研究。将蜗杆的修型量与对应的工作台转角画在直角坐标系中,得到的曲线就是修型曲线,如图 5 所示。

以往对环面蜗杆修型的研究,多根据实践和试验的结果。修型的机理是什么?为什么环面蜗杆跑合磨损后性能会提高,而渐开线齿轮却不能。如何才能最大程度发挥环面蜗杆的能力?随着环面蜗杆应用的扩

大和研究的深入,特别是如平面包络环面蜗杆的出现,原有的理论已经满足不了技术发展的需要,人们越来越感到从理论上论证修型原理的迫切性和重要性,这就促成了环面蜗杆新的修型原理的产生。

3 环面蜗杆修型的实质

随着环面蜗杆制造技术的不断进步,原有的“修形”理论已经不能适应环面蜗杆技术的发展。在新型环面蜗杆的研究中,如何在理论上来判断研究结果是否正确?环面蜗杆修型的实质和目的是什么?它与渐开线齿轮的修形有什么区别?这都关系到我们对环面蜗杆修型的认识,关系到环面蜗杆性能的重要问题。要明确环面蜗杆修型的实质和目的,就必须了解环面蜗杆修型与渐开线齿轮修形的区别。

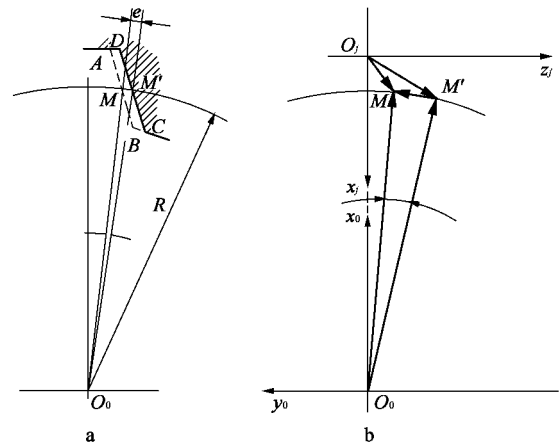


图 3 环面蜗杆的修型量

下面从几方面来分析环面蜗杆修型与渐开线齿轮修形的差别。

(1) 环面蜗杆修型的目的与渐开线齿轮“修形”的目的有着本质的区别。渐开线齿轮的基本齿形是渐开线,这个基本齿形不会因齿轮的具体情况而改变。修形的目的主要是为了改善齿轮传动的平稳性而对渐开线齿形进行修正。渐开线齿轮修形是针对具体的齿轮和具体的工作条件。环面蜗杆的修型目的是为了改善蜗杆副的啮合性能和承载能力,研究蜗杆齿长方向的合理基本齿形。这一基本齿形与齿轮的渐开线一样,是蜗杆基本性能的保证,不受蜗杆的制造条件和工作条件的影响。环面蜗杆的修型原理就是从成形原理出发,研究蜗杆和蜗轮的包络运动,以确定蜗杆的合理齿形。

(2) 从成形原理来看,渐开线齿轮的修形部分不是齿轮副的共轭曲面,在理论上是不参与啮合的。环

面蜗杆的修型齿面(特别是全修型)是蜗杆的工作齿面,也是蜗轮齿面的母面。在创成蜗轮齿面的过程中,由蜗杆的修型齿面包络产生蜗轮齿面。对刀具来说,齿轮滚刀是不用象齿轮一样修形的,而修型环面蜗杆副的滚刀却要象蜗杆一样修型,以保证蜗杆齿面与蜗轮齿面互为共轭曲面。

(3) 渐开线齿轮修形应用的范围是特定的,主要用于高速、重载、高质量的传动。环面蜗杆修型的应用却是普遍的,对任何环面蜗杆都适用。只有按照修型原理进行修型才能达到提高承载能力和传动效率的目的。

(4) 渐开线齿轮的修形是局部的或微量的;环面蜗杆的修型却是整体的和宏观的。同样,环面蜗杆为了传动平稳,也需对齿面进行“修形”,这时的“修形”是在修型基础之上进行的,在环面蜗杆的制造中称为“倒坡修缘”。“倒坡修缘”的作用与渐开线齿轮的修形一样,很显然,环面蜗杆修型的作用与本身的“倒坡修缘”是不同的。

(5) 在研究方法上,环面蜗杆修型的研究以理论研究为主、理论与实践相结合,将环面蜗杆修型抽象、升华到理论的高度,研究理论性的原理,其结论具有普遍性、预见性和科学性。渐开线齿轮修形更多的是考虑实际工作条件,如受力、温度、误差,多采用归纳的方法,它的特点是适应性、实用性。

综上所述,环面蜗杆修型的实质与渐开线齿轮修形的实质有本质的区别。环面蜗杆修型原理研究的对象是蜗杆齿长方向的齿形,修型的目的是为了使环面蜗杆具有合理的齿长方向(螺旋线方向)的齿形,与渐开线齿轮啮合原理中的齿形研究一样。渐开线齿轮通过啮合原理的研究,得到其齿形曲线是渐开线。修型后的环面蜗杆的齿长方向的齿形应具有什么形状最合理,正是修型原理研究的内容。为了与渐开线齿轮的“修形”相区别,笔者认为将环面蜗杆的“修形”称为“修型”更加合理。

4 环面蜗杆曲率修型原理

原始型环面蜗杆啮合性能不好,主要表现在蜗轮齿面工作区狭窄,齿面中央存在一条界限线。由于界限线的约束,大部分接触线都集中在界限线上,只有狭窄的工作区分布在界限线的一侧(见图1)。要改善环面蜗杆的啮合性能,必须要消除蜗轮齿面中央的界限线,扩大工作区,使接触线分布得合理。

对环面蜗杆传动的实践和理论研究已经证明,通过合理的修型来改进环面蜗杆的性能是可能的。环面蜗杆修型的可能性还不等于它的充分可行性。实际上修型也象一把双刃剑,不合理的修型反而会造成环面蜗杆性能的恶化,这是通过理论和实践证明了的。修型原理研究的目的是探索环面蜗杆修型的规律,寻求最佳的修型方法,曲率修型就是这一探索的结果。曲率修形原理的要点如下:

(1) 环面蜗杆修型规律与蜗杆齿面法曲率的变化规律密切相关。环面蜗杆原始修形是根据蜗杆跑合后性能改善,再用一条二次曲线去拟合跑合曲线,得到抛物线修形。跑合曲线的显著特点就是入口磨损量大,向出口逐渐减小。拟合的抛物线大部分与此相符。环面蜗杆齿面在入口处较平展,越往出口越弯曲。这说明环面蜗杆入口处的曲率半径较大,出口处的曲率半径较小。实践证明,啮合性能好的环面蜗杆(包括平面包络环面蜗杆)其修型规律都与此相符。修型规律与环面蜗杆齿面曲率半径变化规律的相似,不是偶然的,其中有着必然的联系。

经过严密的推导,笔者已从理论上证明了修型量与曲率半径的关系

$$de = d \quad (>0)$$

式中 de ——修型量的微分

d ——曲率半径的微分

——系数

通过理论论证和实践验证,建立起了环面蜗杆曲率修型原理,有关曲率修型的论证请见参考文献[1]。

(2) 要研究蜗杆齿面的曲率,就要先了解蜗杆齿面的变化规律,建立蜗杆齿面的数学表达式,并推导出环面蜗杆齿面相对运动方向法曲率半径的计算公式。经推导,环面蜗杆齿面相对运动方向的法曲率半径的计算公式如下

$$= \frac{G}{N}$$

式中 G ——蜗杆齿面的第一基本量之一

N ——蜗杆齿面的第二基本量之一

根据上式求出了原始型环面蜗杆的齿面曲率半径变化曲线。令人吃惊的是,环面蜗杆的跑合曲线与曲率半径变化曲线非常的相似,如图4所示。这更加证明了修型与蜗杆曲率半径有必然联系。

(3) 按照曲率修型原理进行修型,将会得到什么样的结果?是否能实现曲率修型原理原先的设想?

根据曲率修型原理推导出了按照曲率修型的直线

包络环面蜗杆副的蜗杆齿面、蜗轮齿面、接触线、修型曲线、诱导法曲率的计算公式。首次在修型理论指导下得到蜗杆副特性曲线图(见图 5a, 蜗轮齿面接触线上的数字为相对诱导法曲率半径), 蜗轮齿面工作区大, 蜗杆从入口到出口都参与接触, 胜过了原有蜗杆副, 完全达到了预期的目标, 实现了一种新型的先进的修型方式。

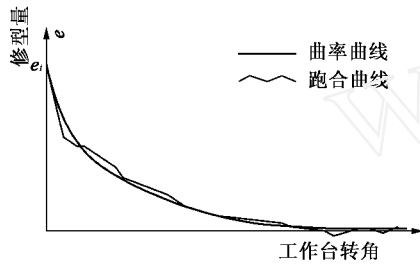
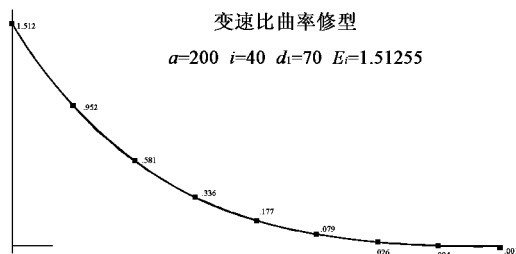


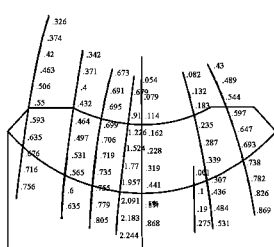
图 4 曲率曲线与跑合曲线的对比

曲率修型确定了环面蜗杆的修型曲线, 修型曲线又反映了指定位置蜗杆齿面的形状。修型曲线确定了, 环面蜗杆的齿面形状就确定了。

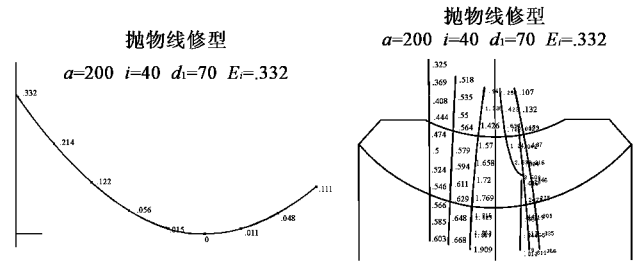
曲率修型原理揭示了环面蜗杆修型的本质。并为环面蜗杆找到了一种合理的齿长方向的齿形——曲率半径变化曲线。理论和实践都证明, 符合曲率修型规律的环面蜗杆其性能就好, 如大角(母平面倾角)的平面包络环面蜗杆, 其修型曲线与曲率曲线非常相似, 因此, 它的性能相当优异。当角较小时, 其修型曲线与曲率曲线相差较远, 因此性能就不好。图 5 是几种不同修型规律的直线包络环面蜗杆的修型曲线和接触线图, 对照图 4, 就可以理解修型规律对接触线的影响。



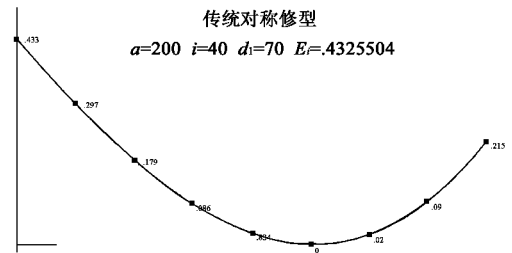
变速比曲率修型 $a=200 \quad i=40 \quad d_1=70 \quad E_1=1.51255$



(a) 曲率修型

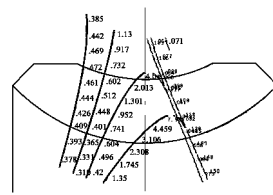


(b) 抛物线修型



传统对称修型

$a=200 \quad i=40 \quad d_1=70 \quad E_1=0.4325504$



(c) 传统对称修型

图 5 修型规律与接触线

5 结论

环面蜗杆的修型是为了使蜗杆具有合理的齿长方向的齿形, 这一结论正确地揭示了环面蜗杆修型的实质。正确认识环面蜗杆修型的实质有利于冲破原有修形理论的桎梏, 为环面蜗杆修型研究的发展开辟新的天地。有了正确的理论作指导, 环面蜗杆的制造技术, 必将从必然王国, 走向自由王国。环面蜗杆曲率修型原理也将成为指导环面蜗杆研究、设计、开发的有力工具。

参 考 文 献

- 1 周良墉. 环面蜗杆的曲率修形原理. 机械工程学报, 2002, 2(2): 112 ~ 115
- 2 胡松春等. 蜗杆传动设计(下). 北京: 机械工业出版社, 1987
- 3 沈蕴方等. 空间啮合原理及 SG-71 型蜗轮副. 北京: 冶金工业出版社, 1983

收稿日期: 20040209

作者简介: 周良墉(1948 -), 男, 重庆铜梁人, 研究员级高级工程师, 副总工程师

initial traction curve Maximum traction coefficient

Research of Involute Cylindrical Gear Modeling Technology Based on ANSYS Li Changyi , Lu Yaohui , Zhou Jiwei(25)

Abstract In order to calculate the gear - strength by using the FEA method , we have studied the principle and realization of 3D parameter - modeling about involute cylindrical gear based on ANSYS , and then studied the realization of the analyzing process about gear - strength. This paper presents the ending of the research.

Key words : Involute Interim - curve Gear - model Strength ANSYS FEA

Implementation of General - duty Optimization Program Based on MATLAB Zhou Zhifeng , Zhang Ming , Zhou Haiqing(29)

Abstract This paper briefly introduces MATLAB 's Optimization toolbox and the syntax of optimization functions , then proposes a method for programming general - duty program for solving optimization question , which is based on creating M - files timely. General - duty optimization program can effectively simplify the process of solving optimization questions , and save much time for us consequently.

Key words : Optimization design General - duty program MATLAB language

The Application of MATLAB to the TCA of Spiral Bevel Gears

..... Wu Rui , Yang Hongbin(33)

Abstract The application of MATLAB to the tooth contact analysis (TCA) is introduced briefly in this paper. With its power for maths calculation and graphic display , MATLAB can improve the operation precision of TCA of the spiral bevel gears.

Key words : Spiral bevel gears MATLAB TCA

The Inner Engagement Globoidal Cams Mechanism and its CAD

..... Zhang Gaofeng ,Feng Jianjun , Tan Yuanqiang(36)

Abstract The inner engagement globoidal cams mechanism is put forward in this paper. Based on the matrix transformation theory and the conjugate engagement theory of spatial mechanism ,the surface equation and pressure angle equation of the inner engagement globoidal cams mechanism are attained. The software of the three dimensional modeling of the inner engagement globoidal cams is programmed based on the UG/open module of UG software and verified through an example. The inner engagement globoidal cams mechanism can be used for the high efficiency and high torque speed reducer , and shows bright future in application.

Key words : Inner engagement globoidal cams Matrix transformation UG software CAD

Computer Acid Design About Center Gear Of Sliding Tooth ...

..... Xu Xiuhua , Sun Jialin(43)

Abstract This paper present the parameterization design of tooth profile of sliding tooth gear. Variable sliding tooth gears are designed by program and evaluated in this paper. The design establish the foundation of kinematic and dynamic analysis for sliding tooth , and promote the development and generalization of sliding - tooth drive.

Key words : Sliding tooth drive Center gear Parametric design Tooth trace Pro/ ENGINEER

The Steel Wire Rope Movement Analysis of the Continuous Conveyor of Disc - tube Assembly

..... Luan Lijun , Shi Shulin , Ren Liyi , Wen Bangchun(45)

Abstract The Aero - Mechanical Conveyor connected with the steel wire rope is droved by the drive wheel. When the drive wheel rotates , the gear is combined to the connection plate in turn , promoting the connection plate to move in succession. Turning the whirling torque of drive wheel into the straight - line traction force. When the steel wire rope is wound by the drive wheel some winded along the circumference , others winded along the straight line. This article mainly analyses the change of the velocity and the acceleration of the steel wire rope in the straight movement , and the regular in correspond , and determine the appropriate laying tooth and relational expression of driving gear.

Key words : The drive wheel Mesh cycle Velocity analysis Acceleration analysis Running resistance

The Essence of Tooth Modification of Toroidal Worm

..... Zhou Liangyong(48)

Abstract This paper discusses the essence of tooth modification of the toroidal worm according to the theory of curvature modification. It is pointed out that its essence is to make the reasonable shape along the teeth of the worm . So that the maximum ability of worm can be achieved. It also describes the essential differences between the toroidal worm 's modification and involute gear 's modification , and the difference in terms of the study methods and contents . Based on the new principle of curvature modification , the reasonable teeth shape — the curve of curvature radius is found out.

Key words : Toroidal worm Modification

Kinematics Analysis of the Shear Mechanism for The Crank Fly - Shear with Switch on - off

..... Wang Quanxian(52)

Abstract The kinematics mould of the shear mechanism for a crank fly shear with switch on - off are introduced. The movement track and velocity curve of shear blades have been obtained by the Matlab program. There is positive significance to understand shear process , to analysis function of the shear mechanism and to design same kind fly - shear.

Key words : Crank fly - shear Shear mechanism Kinematics mould

The Analysis and Application of Control Principle for Spinning Machine

..... Qian Zhiping(54)

Abstract The velocity change at the contact point between the plate and spindle , forming roller was analyzed. The principle of force feedback was applied in the design of an automatic synchronous control system. With which the synchronism is achieved at any time during the spinning process.

Key words : Spinning machine Force feedback Synchronous system

(下转第 73 页)