

重庆大学机械传动国家重点实验室开放基金资助

鼓形齿联轴器

易传云 肖来元 著

华中理工大学出版社

内 容 提 要

本书对鼓形齿联轴器的空间啮合理论、传动力学特性、参数优化设计、实验和制造技术进行了全面的阐述。书中对共轭齿面和非共轭齿面两种鼓形齿联轴器分别进行了空间啮合机理研究、力学特性分析；对共轭齿面鼓形齿联轴器的啮合重合度、齿面诱导法曲率、相对滑动率、润滑油膜形成角等传动特性参数进行了定量分析；提出了鼓形齿鼓度曲线及齿轮参数优化设计方案；介绍了几种鼓形齿联轴器的试验方法，着重介绍了多齿接触和齿间载荷分配实验；介绍了一种已开发出的简单实用的数控化改造普通滚齿机加工鼓形齿轮的技术，它经济有效，适合现阶段国内鼓形齿联轴器制造的要求，具有较高的推广应用价值。

本书在鼓形齿联轴器理论分析、设计和制造等诸方面作了较全面的介绍，内容丰富、系统，既有一定的理论深度，又有较强的实用性，可供从事鼓形齿联轴器设计、制造和应用的工程技术人员及研究人员使用，亦可供有关大专院校师生参考。

序 言

“每逢佳节倍思亲”。建国 50 周年大庆将临，中秋将近，喻园桂子又将飘香，在这江南天高气爽的大好季节，我读完了《鼓形齿联轴器》这一部专著，深有所感。这是一本献给建国 50 周年的专著，很值得有关科技工作者一读。

山不在高，水不在深。齿式联轴器虽不大，却是机械传动的重要基础部件，而鼓形齿联轴器是在直齿齿式联轴器的基础上为满足大倾角、变倾角、小尺寸和高可靠性等技术要求发展起来的。这种联轴器与直齿齿式联轴器相比较，能够补偿两轴间径向、轴向、角度及其综合位移，且传递转矩范围大，许用转速也较高，在冶金、采矿、化工、船舶、起重运输等各种机械设备中获得越来越广泛的应用。我国对该项技术的研究较晚，主要是通过消化吸收引进技术，采用测绘仿制的方法进行单件或小批量生产。其结果是：设计理论不够完备、设计资料不够齐全、制造技术也较落后，导致产品性能较差，目前国内一些重要机械设备上的鼓形齿联轴器仍依赖于进口。所以，进行鼓形齿联轴器的理论研究与技术开发，以形成具有国际先进水平的新型鼓形齿联轴器的系列产品，就有着重要的学术价值和社会经济效益。

《鼓形齿联轴器》是一本运用现代设计、制造的理论和方法，全面而系统地论述和研究鼓形齿联轴器的唯一专著。它从空间啮合理论、传动特性、参数优化设计、实验和制造技术等方面对鼓形齿联轴器进行了全面阐述。本书的特点是，集理论分析、实验研究、机械设计和制造技术于一体，内容全面，理论系统，实践性强，结论可靠，技术先进。

本书的两位作者长期从事机械设计与制造技术、机械工程与

结构工程计算方法的研究,鼓形齿联轴器是他们近年来的重要研究方面之一。他们在多年的研究工作中辛勤耕耘,开拓创新,积累了大量的实践经验,取得了丰硕的研究成果。《鼓形齿联轴器》一书的出版,填补了这一方面的空白,标志着我国在鼓形齿联轴器研究方面取得了重要进展。本书对于从事该方面和传动技术方面的工程技术人员、研究人员以及高等学校的教师和研究生来说,是一本很有价值的参考书。

我特别感到欣慰的是,两位作者,饮水思源,一再表示要感谢华中理工大学杨元山教授,他对作者的研究工作给予了悉心的指导,对本书的撰写提供了很好的构思,作为本书的主审,进行了认真细致的审阅。还要感谢武汉交通科技大学孙国正教授、崔可润教授,他们对本专著的撰写提出了许多宝贵的意见和建议,付出了很多心血。他们还一再表示,要感谢重庆大学机械传动国家重点实验室开放基金的有效资助和华中理工大学出版社的大力支持。受人之惠,终身不忘。这是我们中华民族的优良传统。

进入新世纪,走入新千年,社会主义现代化建设大潮滚滚向前,社会主义祖国学术大花园万紫千红。这本专著是这个大潮中的一个有力的浪花,是大花园中的一朵艳丽的鲜花,是50周年大庆的一份诚心献礼。我相信读者也会给予这本专著以关心,给予作者以帮助,使这一专著不断完善。

应作者之请,谨为之序,并祝作者展翅长空,不断取得新的进展。

中国科学院院士 杨 叔 子
华中理工大学教授

1999年9月于喻园

目 录

第 1 章 鼓形齿联轴器概述	(1)
1.1 鼓形齿联轴器的研究意义	(1)
1.2 鼓形齿联轴器的研究概况	(2)
1.2.1 设计理论	(2)
1.2.2 实验技术	(5)
1.2.3 加工方法	(6)
第 2 章 鼓形齿联轴器啮合分析	(9)
2.1 内外齿轮齿面方程的建立	(9)
2.1.1 共轭齿面方程	(9)
2.1.2 与内齿轮齿面非共轭的外齿轮齿面方程	(15)
2.2 鼓形齿联轴器啮合分析	(17)
2.2.1 共轭齿面鼓形齿联轴器啮合分析	(17)
2.2.2 非共轭齿面鼓形齿联轴器啮合分析	(20)
第 3 章 鼓形齿联轴器传动力学特性分析	(25)
3.1 鼓形齿联轴器传动静力学分析	(25)
3.2 鼓形齿联轴器传动动力学分析	(27)
3.2.1 自振运动微分方程与固有频率	(28)
3.2.2 共振问题	(31)
3.3 鼓形齿联轴器传动的强度分析	(32)
3.3.1 接触强度分析	(32)
3.3.2 弯曲强度分析	(37)

第 4 章 鼓形齿联轴器啮合传动特性分析	(47)
4.1 概述	(47)
4.2 齿面诱导法曲率及齿面曲率干涉校验	(47)
4.2.1 共轭齿面鼓形齿联轴器齿面曲率分析	(48)
4.2.2 非共轭齿面鼓形齿联轴器齿面曲率分析	(50)
4.3 共轭齿面鼓形齿联轴器相对滑动系数	(51)
4.4 共轭齿面鼓形齿联轴器啮合重合度	(55)
4.5 共轭齿面鼓形齿联轴器润滑油膜形成角	(59)
4.5.1 润滑油膜形成角计算公式	(59)
4.5.2 润滑油膜形成角数据计算及分析	(60)
第 5 章 鼓形齿联轴器参数优化	(62)
5.1 鼓形齿轮鼓度曲线的优化	(62)
5.1.1 共轭齿面鼓形齿轮齿面方程	(63)
5.1.2 非共轭齿面鼓形齿轮齿面方程	(63)
5.1.3 鼓形变位量 δ 的求解	(64)
5.1.4 运动分析	(65)
5.1.5 适应偏离设计轴间倾角工况的鼓度曲线	(66)
5.2 齿轮参数对鼓形齿联轴器传动特性的影响	(69)
5.2.1 模数和齿数	(69)
5.2.2 齿高系数	(69)
5.2.3 压力角	(70)
5.2.4 变位系数	(70)
5.2.5 齿宽系数	(71)
5.3 齿轮参数的优化	(71)
第 6 章 鼓形齿联轴器设计	(77)
6.1 概述	(77)
6.2 一般设计规范	(78)
6.2.1 中、低速鼓形齿联轴器	(78)

6.2.2	高速鼓形齿联轴器	(85)
6.3	共轭齿面鼓形齿联轴器设计	(91)
6.4	非共轭齿面鼓形齿联轴器设计	(92)
6.4.1	国内鼓形齿联轴器标准系列简介	(92)
6.4.2	短厚齿形鼓形齿联轴器	(94)
6.4.3	鼓度圆半径及齿廓侧向间隙	(99)
第7章	鼓形齿联轴器实验	(102)
7.1	概述	(102)
7.2	台架实验及工业实验	(102)
7.2.1	台架实验	(102)
7.2.2	工业实验	(105)
7.3	鼓形齿联轴器多齿啮合实验	(106)
7.3.1	电阻应变测量基本原理	(107)
7.3.2	鼓形齿联轴器多齿啮合测试方法	(108)
7.4	鼓形齿联轴器多齿啮合实验数据分析	(111)
第8章	鼓形齿联轴器的制造	(122)
8.1	概述	(122)
8.2	鼓形齿轮共轭加工方法	(123)
8.3	鼓形齿轮非共轭加工方法	(124)
8.3.1	铣齿法	(124)
8.3.2	仿形滚齿法	(125)
8.3.3	插齿法	(127)
8.4	鼓形齿轮数控加工方法	(127)
8.4.1	加工原理及总体设计方案	(128)
8.4.2	机床机械传动改造	(129)
8.4.3	数控计算机硬件配置	(135)
8.4.4	数控软件	(137)
8.4.5	系统特点	(143)
8.5	内齿轮的切向变位切齿加工方法	(144)
	参考文献	(149)

第 1 章 鼓形齿联轴器概述

1.1 鼓形齿联轴器的研究意义

鼓形齿联轴器(见图 1-1)是一种性能优良的可移式刚性联轴器,是机械传动的重要部件,它能够补偿两轴间径向、轴向、角度及其综合位移,传递扭矩范围广,许用转速也较高,在冶金、采矿、化工、起重、运输等各种机械设备中获得越来越广泛的应用。

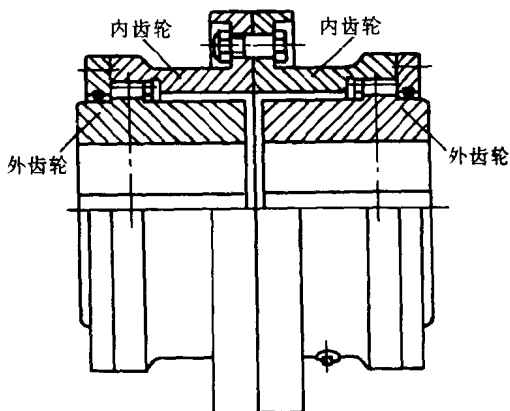


图 1-1 鼓形齿联轴器结构示意图

在国际上,工业发达国家早在 20 世纪 50 年代就使用了鼓形齿联轴器,如美国自 1950 年开始在轧钢机上就广泛使用鼓形齿联轴器;前苏联也是较早开始在轧钢机上使用鼓形齿联轴器的国家,而且发展较快,到 1972 年已由前苏联的电钢重型机械制造厂制定

出鼓形齿联轴器的标准,然后在前苏联普遍推广;日本也是积极引进和推广鼓形齿联轴器的国家,在型钢连轧机上已大部分使用鼓形齿联轴器;德国更是大力发展使用鼓形齿联轴器的国家,并提出第三代轧钢机的重要标志之一,就是使用鼓形齿联轴器。

我国在这方面的研究工作要晚一些,从 20 世纪 60 年代中期才开始鼓形齿联轴器方面的研制工作。近年来由于我国从国外引进的成套设备中,特别是引进的冶金设备中的齿式联轴器几乎都是鼓形齿联轴器,如仅武汉钢铁公司引进的一米七轧机系统中,鼓形齿联轴器的装机量达 2500 套以上,每年所需备件费用在 400 万元以上。其他如宝钢、太钢、首钢、鞍钢等也大量采用了该种联轴器。现在国内通过消化引进技术,已能小批量测绘仿制该产品,但未能对该传动件的运动机理进行深入研究,国内还尚未建立一套完整、合理的设计方法和程序,制造技术也落后,产品的技术性能与国外先进系列产品相比有较大差距,工作寿命一般仅为国外的 $1/2$ 至 $1/3$ 左右,一些重要的轧钢机主传动鼓形齿联轴器备件甚至仍要依赖进口,不仅每年耗费国家大量外汇,而且经常影响轧钢机生产的正常进行。因此,进行鼓形齿联轴器这一重要基础件的机理研究,开发具有国际先进水平的新型鼓形齿联轴器的系列产品已是十分迫切的重要研究课题。

1.2 鼓形齿联轴器的研究概况

1.2.1 设计理论

鼓形齿联轴器传动原理如图 1-2 所示。鼓形齿联轴器的内齿轮为一直齿内齿轮,外齿轮是齿顶面为一球面的鼓形齿轮。根据外齿轮齿面形成方式的不同,外齿轮又分为共轭齿面鼓形齿轮和非共轭齿面鼓形齿轮。由于鼓形齿轮加工工艺的关系,现使用的鼓形齿联轴器多为外齿轮是非共轭齿面鼓形齿轮的鼓形齿联轴器。共

内齿面的鼓形齿齿面由与内齿轮共轭的加工方式产生；非共轭齿面的鼓形齿齿面相当于由在不同端截面逐渐变位的一系列齿轮片相叠而成，其变位量与轴向坐标形成的曲线称为鼓度曲线。鼓度曲线是鼓形齿联

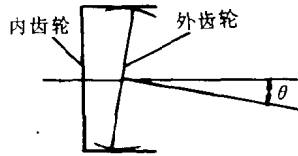


图 1-2 鼓形齿联轴器传动原理图

轴器特有的重要几何参数，现所用的多为一段圆弧，也有用三段圆弧的，这些圆称为鼓度圆。在圆弧鼓度曲线中，有鼓度圆中心在齿轮轴线上的，有不在轴线上的；有鼓度圆中心与齿顶球面中心重合的，也有不重合的，鼓度曲线的设计目前还无统一的理论方法，通常是以经验设计为主。究竟采用哪种曲线，有不同的考虑方法，总的选择要求是：(1)在轴间倾角处于最大时不出现棱边接触现象；(2)轮齿集中载荷越小越好，而齿面曲率与鼓度圆曲率成正比，因此鼓度圆半径应尽可能大。鼓度曲线曲率半径与内齿单侧减薄量成正比，即它与齿的啮合间隙有关，减薄量不足可能会造成干涉，减薄量过大则会削弱齿的强度，且会使侧隙太大。

鼓形齿联轴器的运动是复杂的空间运动，现有资料均把它简化为展开的平面运动，在有轴间倾角的状态下，将运动分为齿的摆动运动和翻转运动。这两种运动在啮合的半周中经历纯摆动—复合运动—纯翻转—复合运动—纯摆动的循环运动过程，如图 1-3 所示。纯摆动—纯翻转的相位差为 90° 。在非纯摆动和纯翻转运动过程中，内外齿的相对运动是摆动运动和翻转运动的复合运动。显然这种简化分析方法是很粗略的，无法确切地描述它们的空间啮合状态，但是对于分析齿向位移、棱边卡死现象及说明某一轮齿所处周向位置是有意义的。

在非共轭齿面鼓形齿联轴器具有轴间倾角的传动中，存在着非匀速转动。这种非匀速转动在高速时将产生很大的周向冲击，成为传动中的附加动载荷，这是不容忽视的。由于空间运动非常复

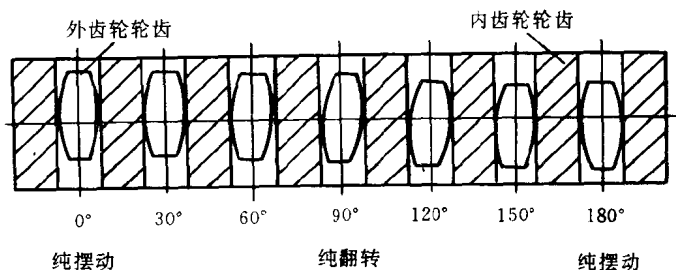


图 1-3 内外齿轮运动位置关系

杂,以往多数是以实验方法研究附加载荷的影响,主要是研究它的振动外特性,找出与此有关的一些因素,尤其是影响临界速度的最主要的因素。研究发现,附加载荷是谐波分布的,消除或者减小这一附加载荷,对于改善动态特性、提高临界转速都是非常有意义的,而这又与运动特性是密切相关的。

同其他齿轮传动一样,设计时要计算、校核齿面接触应力和齿根弯曲应力,由于对接触齿对数及载荷分布很少研究,这两项应力无法求出精确的值。在齿面接触应力的计算中,一般作无轴线偏移简化,按赫兹公式计算出齿面接触应力,用偏载系数予以修正。由于鼓形齿联轴器的工作条件与一般齿轮传动不同,许用应力难于取得合适的值。其许用接触应力在分析试验的基础上,参照国外所用的许用值,通常只能取一般齿轮传动的 $1/4 \sim 1/4.5$,大模数的尤其要打折扣,齿根应力一般以一半齿对平均受力进行强度校核,因此也是很粗略的。

还有许多影响齿式联轴器寿命的其他因素,如材料及热处理、整体重量、润滑条件、安装和运行环境等等。材料是重要的因素,一般采用合金钢表面氮化处理,可使联轴器具有高速、高承载能力、高传动效率和长寿命。联轴器整体重量越轻,作用在联轴器上的惯性和附加载荷则越小,很显然,联轴器的轻型化是有利于提高寿

命的。鼓形齿联轴器对润滑状态十分敏感,不良的润滑往往会使联轴器在短时间失效。虽然这些因素影响齿式联轴器寿命,但不是本书的研究重点,因此不加以详述。

由于鼓形齿联轴器的轮齿参数对传动特性的影响还有待于进一步研究,因此,国内外的联轴器标准均未给出轮齿的设计参数,如国内的 ZB J19 012—89、ZB J19 013—89、ZB J19 014—89,美国的 AGMA 516.01—78,日本的 JIS B 1453—84,俄国的 Г О C T 506—83E 等。

为了设计出具有更高承载能力和更长工作寿命的鼓形齿联轴器,需要对鼓形齿联轴器的运动和受力进行全面深入的分析,研究其啮合运动规律和特性。通过选择恰当的鼓度曲线和齿轮参数,优化化学特性,可增加接触齿对数,提高传动平稳性,降低传动的附加载荷,提高承载能力,延长工作寿命。

1.2.2 实验技术

以往对鼓形齿联轴器进行的试验主要是性能试验。四川资阳内燃机车厂进行过鼓形齿联轴器动载特性试验,在工况箱负荷试验台上测试在不同倾角状态由低速到高速的承载力矩。机械工业部兰州石油机械研究所进行了鼓形齿联轴器台架试验,测试齿根弯曲应力、承载能力和效率,但没有确定出现最大齿根弯曲应力的啮合位置。这个试验证明了,目前设计的鼓形齿联轴器已有足够的弯曲和接触强度,特别是弯曲强度很富裕,在转矩超载 1.2 至 2.3 倍时才出现齿面接触挤压破坏。西安重型机械研究所也进行了鼓形齿联轴器性能试验和工业性试验,通过测试在不同轴间倾角和不同转速下的承载能力、效率、温升,以及运行后的齿面磨损,得出鼓形齿联轴器性能明显优于直齿联轴器的结论。还有文献介绍了共轭鼓形齿联轴器齿面接触试验方法,但没有得出明显的啮合接触区域的试验结果,到目前为止还未见到有关多齿接触实验的报告。

1.2.3 加工方法

鼓形齿联轴器的加工质量直接影响它的运行特性。再好的理论设计,最终也要通过加工来实现,鼓形齿联轴器加工的核心是鼓形齿轮的加工。从工艺上来说,鼓形齿轮的加工最终要保证齿面在终了工序加工后有一定的精确度和粗糙度。对于硬齿面,最后可安排珩齿的工序(主要改善齿面粗糙度),在热处理之前应保证有较好的基本齿形,也就是说,鼓形齿轮齿形的成形加工是关键工序。在工业发达国家,用多坐标数控滚齿机进行鼓形齿轮加工并非难事。在普通机床上加工鼓形齿轮的方法,主要有插齿法、铣齿法和滚齿法。

1. 插齿法

插齿法是展成加工的方法,加工时,插刀作往复直线切削运动,同时与齿坯作展成运动,齿坯随同夹具作进退的直线运动,以使插刀的运动与该运动复合成为一鼓度曲线运动。切削过程中,由于切削运动方向在不断改变,因此,刀具的切削前角和后角也将不断变化,在大鼓度量情况下,此变化值很大。在刀具设计时,将不可避免地要以丧失一部分有利的切削角度和刀具强度为代价换取可加工性。采用插齿加工方法时还必须对相应的机床进行改装,以适应刀具与工件间的运动,此改装较为困难。但是由于插齿法加工出的齿形无理论误差,齿面齿形精度高,在国外有运用的例子。

2. 铣齿法

铣齿法是一种仿形加工方法,该方法对于加工一段圆弧鼓形齿比较方便。在加工时,只需在铣床上安装圆盘工作台和分度头即可,无须专用的工艺装置和对机床进行改装。但是,由于不同变位下齿形不同,而铣刀又不能适应这种变化,因此,必然存在齿形误差,齿的接触精度也将降低。分度精度直接影响齿轮的周节误差。

仿形铣齿加工时要逐个分度铣削齿槽,因此加工效率较低。此方法一般只适合于单件的精度要求不高的鼓形齿轮加工,对于非圆鼓度曲线鼓形齿轮的加工,仿形法同样存在机床改装复杂化问题。

3. 滚齿法

滚齿法是迄今最常用的加工方法。它具有加工效率高、机床改装较简单、适合于使用普通齿轮滚刀加工等特点。在滚切加工中,除要有与滚直齿轮相同的运动外,还要增加工作台的一个直线运动,该直线运动与滚刀刀架运动轨迹的复合即为鼓度曲线的轨迹。为使工作台的运动满足鼓度曲线的要求,通常要根据不同的鼓度曲线,设计不同的仿形装置,常见的有模板手动仿形装置、偏心凸轮式液压仿形装置、电-机靠模装置、电液伺服阀机构、微机控制的步进电机和以随动阀为控制执行机构的装置。用数控技术改造普通滚齿机来加工鼓形齿轮的方法越来越受到重视,成为鼓形齿轮加工的重要发展方向。

模板手动仿形加工是在机床工作台与立柱之间安装所需加工鼓形齿鼓度曲线的模板和百分表,由操作者根据百分表的指针偏摆,手动驱动工作台进行加工的。由于这种方法是用人工操作的,加工出的鼓形齿轮齿面较粗糙、鼓度曲线误差大,而且操作不便。对于不同的产品,需要不同的模板,这是一种较原始的加工方法。

偏心凸轮式液压仿形装置的工作原理是用齿轮齿条机构将滚刀架的直线运动转变为凸轮的转动,由凸轮推动随动阀控制液压油缸驱动工作台。由于采用偏心圆凸轮匀速转动,位移曲线是正弦曲线而不是圆弧,因此加工的鼓度曲线为正弦曲线。有关文献介绍的液压靠模式仿形技术,对于不同的鼓度曲线,采用相应的机械靠模,以液压随动机构进行驱动。这种加工方法,由于存在靠模制造误差,质量不易控制,而且难于加工其他鼓度曲线的鼓形齿轮。

电-机靠模和电液伺服机构与凸轮式不同之处在于它把靠模位移量变换为电信号传给执行机构,省去了机械传动装置,提高了

传动精度。

滚齿法加工存在齿面不对称误差。研究表明,滚齿加工出的鼓形,若以中截面为中间平面来看,则上下、左右齿面为反对称,即左右齿面不对称,齿面扭曲。对于大模数、大鼓度量鼓形齿轮,用多头或小直径滚刀加工时,该误差较严重,对小鼓度量鼓形齿轮进行加工时,一般其误差较小,可忽略。

在滚齿加工中还有一种配偶展成法。它的加工原理是依外齿轮与内齿轮有偏角状态下的啮合进行展成加工的。该方法采用一特殊工艺装置使鼓形齿坯作绕其中心的锥面运动,滚刀直线进给成为假想内齿轮齿面,包络加工出鼓形齿轮齿面。用这种方法加工出来的鼓形齿轮在轴间倾角为加工时的夹角时,内外齿轮齿面处于啮合线接触的共轭齿面啮合状态,传动比恒为1,不产生附加惯性转矩,无干涉。但这种方法所使用的工艺装置刚性较差,因此,对大尺寸的鼓形齿轮的加工较为困难。

采用多坐标数控滚齿机加工鼓形齿轮时,加工精度较高,但由于设备昂贵,加工成本太高,因此国内尚不多见。

用数控化技术改造普通滚齿机来加工鼓形齿轮具有广阔前景,它具有加工质量高、操作方便、产品适应性强、改造成本低、改造周期短等优点。有关文献介绍了两轴开环控制的数控化改造技术,但由于滚齿机结构的限制,这种方法对于滚刀刀架的驱动不易实现,而且存在较复杂的加工编程,操作较复杂。我们开发出的以单片机为控制核心的准二轴开环控制数控系统,已成功地运用于中型滚齿机改造,加工出了高质量的鼓形齿轮。

为了创造具有国际先进水平的新型鼓形齿联轴器系列产品,满足国内需求,以至打入国际市场,必须深入进行鼓形齿联轴器的机理研究和设计制造技术的研究。分析鼓形齿联轴器主要参数对啮合特性的影响,进行参数优化设计,研究出经济、合理、实用的普通滚齿机数控化改造加工鼓形齿轮的制造技术,这对于为我国成套机械设备提供性能优良的配套基础部件、节约国家资金和外汇、提高生产效率具有重大的现实意义和经济价值。

第 2 章 鼓形齿联轴器啮合分析

从由加工方法和运行状态所确定的内外齿轮齿面啮合的空间关系来看,鼓形齿联轴器可分为共轭齿面和非共轭齿面两种。用双分齿切齿法加工出的鼓形齿轮,与直齿内齿轮在设计轴间倾角下的啮合的传动就是共轭状态的鼓形齿联轴器传动,而与直齿内齿轮在不同于设计轴间倾角下啮合却是非共轭状态的。用内外齿轮非共轭切齿法加工出的鼓形齿轮,无论处于何种安装角度,内外齿轮齿面啮合都是非共轭状态的。

鼓形齿联轴器具有复杂的运动学机理,许多学者以往进行过这些方面的研究。本章将系统地对这一问题进行深入讨论。

2.1 内外齿轮齿面方程的建立

要进行共轭齿面和非共轭齿面鼓形齿联轴器的啮合分析,必须首先创建鼓形齿联轴器内外齿轮齿面的几何数学模型,也就是要建立内外齿轮齿面的方程。

2.1.1 共轭齿面方程

对于共轭齿面鼓形齿联轴器,直齿内齿轮齿面方程可直接给出,根据求解共轭齿面啮合的运动学法,可求解出与直齿内齿相共轭的外齿齿面方程。

1. 坐标系

坐标系如图 2-1 所示。

$S_1(o, x_1, y_1, z_1)$ 坐标系,为与外齿轮固连的动坐标系; z_1 轴与

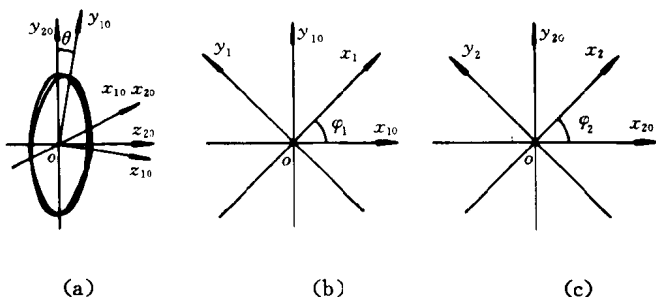


图 2-1 坐标系

(a) S_{10} 、 S_{20} 坐标系； (b) S_1 、 S_{10} 坐标系； (c) S_2 、 S_{20} 坐标系

外齿轮轴线重合。

$S_{10}(o, x_{10}, y_{10}, z_{10})$ 坐标系,为过渡坐标系; z_{10} 与 z_1 轴重合; x_{10} 与 x_1 夹角 φ_1 为某瞬时外齿轮转角。当 $\varphi_1=0$ 时, S_{10} 坐标系与 S_1 坐标系重合。

$S_2(o, x_2, y_2, z_2)$ 坐标系,为与内齿轮固连的动坐标系; x_2 为齿宽中截面上某一齿槽的中线; z_2 轴与内齿轮轴线重合。

$S_{20}(o, x_{20}, y_{20}, z_{20})$ 坐标系,为静坐标系; z_{20} 轴与 z_2 轴重合; x_{20} 轴与 x_2 轴夹角 φ_2 为某瞬时内齿轮转角, $\varphi_2=0$ 时, S_{20} 坐标系与 S_2 坐标系重合。

四个坐标系有共同的原点 o , x_{10} 与 x_{20} 轴线重合, z_{10} 与 z_{20} 轴线夹角为两齿轮轴线的轴交角 θ (y_{10} 与 y_{20} 轴线的夹角亦为 θ)。

2. 坐标转换关系

$$\begin{bmatrix} x_{10} \\ y_{10} \\ z_{10} \end{bmatrix} = M_{10,1} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}, \quad M_{10,1} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 & -\sin\varphi_1 & 0 \\ \sin\varphi_1 & \cos\varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_{20} \\ y_{20} \\ z_{20} \end{bmatrix} = M_{20,2} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}, \quad M_{20,2} = \begin{bmatrix} \cos\varphi_2 & -\sin\varphi_2 & 0 \\ \sin\varphi_2 & \cos\varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$