

谐波齿轮传动技术手册

范又功 曹炳和 编著

国防工业出版社

4-62

谐波齿轮传动技术手册

范又功 曹炳和 编著

国防工业出版社

·北京·

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

谐波齿轮传动技术手册/范又功,曹炳和编著. —北京:
国防工业出版社, 1995. 6
ISBN 7-118-01321-8

I. 谐… II. ①范… ②曹… III. 谐波传动-齿轮传动-
减速器-技术手册. IV. TH132. 4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 06294 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$ 456 千字
1995 年 6 月第 1 版 1995 年 6 月北京第 1 次印刷
印数: 1-3000 册 定价: 26.40 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

著者的话

在各种机械设备、测量仪器和自动拖动系统中采用齿轮机构和蜗轮副作为传动元件早已被人们所熟悉。但谐波齿轮作为上述机构中的传动元件,人们还是陌生的,本书试图使读者全面系统地了解、掌握谐波齿轮技术。

谐波齿轮传动具有一系列优点:体积小、重量小、噪声小、侧隙回差小;精度高、速比高、负载能力高、效率高,由于上述“四小”和“四高”的特色,使得谐波齿轮传动机构得以广泛采用。随着高新技术的迅速发展,在高精度的精密机械伺服传动系统中(机电机器人、机械手的关节部件,数控加工中心的精密微进给机构),谐波齿轮已成为必不可少的传动元部件。因此,迫使机电工程技术人员需要熟悉和掌握此项技术。目前国内外对此项技术的介绍书籍、资料,多半是理论和通俗的读物,而有实用价值的设计手册和有关制造方法的书籍较为欠缺。

为此,北方精密机械研究所的范、曹高级工程师根据本所在精密机械和精密量仪的研究和生产实践中的科研成果编著了此书,供阅读参考,并愿提供谐波齿轮传动的各种产品和有关技术服务。

值此《谐波齿轮传动技术手册》出版之际,我们谨对著写本书给予支持和帮助的各位专家:中国航空工业总公司精密机械研究所的司光晨、吴明根教授和北京农业工程大学的董学珠教授以及兵器工业部第六设计院的王锦玉高工表示衷心的感谢。

内 容 简 介

本书系统地论述了谐波齿轮传动的原理、设计、制造工艺和装配调试等有关问题。

本书以手册形式介绍有关各章内容,便于工程上直接采用,其中有关国内外通用谐波齿轮减速器的系列产品、谐波齿轮的几何尺寸和啮合参数的技术数据都是经过实践验证可行的,有使用价值。

本书为满足高精度伺服系统中所需要的谐波齿轮副,对设计与制造都进行了较详细的论述。

本书不仅可供从事谐波齿轮技术的工程技术人员和维修人员阅读参考,而且可供精密机械制造师、大专院校机电专业的师生阅读参考。

ISBN 7-118-01321-8/TH·92

定价:26.40 元

目 录

谐波齿轮传动技术发展简史	1
参考文献	3
第一章 概 论	
第一节 谐波齿轮传动的分类和柔轮的类型	4
第二节 谐波齿轮的常用材料和加工方法	6
第三节 谐波齿轮传动的技术要求、精度指标及测试方法	8
第四节 谐波齿轮传动基本构件的技术要求、精度指标和测试方法	17
第五节 谐波齿轮传动副三构件配合间隙的选择	20
第二章 谐波齿轮传动基本原理	
第一节 谐波齿轮传动平面啮合问题	22
第二节 谐波齿轮渐开线工作齿廓条件的校核与齿轮刀具参数的选择	44
第三节 谐波齿轮渐开线工作齿廓的计算实例	46
第四节 谐波齿轮渐开线花键齿啮输出	52
第五节 谐波齿轮渐开线啮合参数的几个基本问题	62
第三章 谐波齿轮传动装置设计	
第一节 柔轮的结构形式与几何尺寸	75
第二节 刚轮的结构形式与几何尺寸	88
第三节 波发生器的结构形式与几何参数	90
第四节 国内外通用谐波齿轮减速器系列产品	123
第五节 谐波齿轮传动装置的公差与配合、润滑与密封	151
第四章 谐波齿轮传动装置的制造	
第一节 柔轮的制造工艺	166
第二节 刚轮的制造工艺	205
第三节 凸轮与薄壁轴承的制造工艺	209
第五章 谐波齿轮刀具的制造	
第一节 谐波齿轮刀具原始齿廓与技术要求	217
第二节 谐波齿轮刀具的制造工艺	224
第六章 谐波齿轮传动装置的装配与调试	
第一节 装配前的准备工作	235

第二节 部件的组装	237
第三节 总装与调试	239

第七章 谐波齿轮传动效率、工作能力、频率特性

第一节 谐波齿轮传动效率	241
第二节 谐波齿轮传动的工作能力	253
第三节 谐波传动的频率特性	260

附 录

附录(一) 渐开线函数表	270
附录(二) 沿圆棒测量尺寸 M 值表	300
附表 1 原始齿廓压力角 $\alpha=20^\circ$	300
附表 2 原始齿廓压力角 $\alpha=25^\circ$	302
附表 3 原始齿廓压力角 $\alpha=30^\circ$	304
参考文献	306

谐波齿轮传动技术发展简史

谐波齿轮传动机构是齿轮机构的一种,由于它的独特优点而日渐应用广泛。它可以用来传递同轴的回转运动和直线位移运动;它还可与通常的齿轮任意组合完成平行轴、相交轴、相错轴之间任意速比的传动。因此目前在最新的一些机械和仪器设备中采用了谐波齿轮传动。

谐波齿轮传动机构是50年代末和60年代初问世的一种崭新的齿轮传动机构。早在1944年,俄国A. И. 摩察尤维金首先制造出了世界第一台电磁谐波发生器的摩擦谐波传动器。1955年美国C. W. 麦塞尔制成了世界第一台谐波齿轮减速器,1959年取得专利。1961年中国上海纺织科学研究所孙伟工程师,通过杂志将其专利开始介绍给我国读者。

由于谐波齿轮传动机构较一般圆柱齿轮、行星齿轮、摆线针齿轮传动机构的优点更多、更突出(体积小、噪声小、侧隙回差小、重量小和精度高、速比高、负载能力高、效率高),故在某些领域中正在取代原来传统的齿轮传动机构。谐波齿轮传动机构与其他齿轮传动机构不同的是,可向密闭空间传递运动,此一特点更令其独占鳌头。

目前,此项技术在国内外发展很快。60年代中期美国U. S. M公司首先将其转化为商品并完成了“HDU通用谐波减速器的系列”;前苏联在70年代完成了“全苏通用谐波减速器标准”,80年代中期我国原电子工业部完成了“中小功率通用谐波减速器部标草案”。

早期的谐波齿轮传动轮齿齿廓是由美国C. W. 麦塞尔通过测试柔轮一点的位移轨迹建立起来的,即所谓的 28.6° 直线三角齿廓。由于这样的齿廓是用直线替代了柔轮一点的轨迹曲线,而且忽略了柔轮齿实际上是随柔轮变形曲率的变化而偏转等因素。所以C. W. 麦塞尔为了避免,因此而引起的干涉,以加大齿槽减小齿厚来弥补其造形的误差。因此 28.6° 直线三角齿廓并非是谐波齿轮的理论齿廓。另外这样的齿廓给制造工艺和加工刀具的制造都带来了许多困难。从而促使机械制造师们不得不从事其齿廓的理论问题和加工制造问题的研究。

19世纪60年代末和70年初,前苏联的学者E. Г. 金茨勃格⁽¹⁾; M. H. 伊万诺夫⁽²⁾; C. A. 沙娃洛夫⁽³⁾; Г. И. 什维耶力娃⁽⁴⁾; B. H. 达吉什夫; Г. E. 涅包米什赫⁽⁵⁾; B. И. 沃洛赫诺夫; H. H. 柯拉斯欧什考夫⁽⁶⁾等人从不同角度和用不同的方法对谐波齿轮的啮合位置、接触点的速度关系进行了分析研究。无论是用级数方法;还是用齿廓的渐屈线瞬心法;或是用齿廓啮合位置作图法;还是用等速曲线法都只是用来阐明谐波齿廓相互作用的关系和对啮合质量的影响如何,并没有从谐波齿轮三构件运动副的机理研究其共轭齿形问题。

与此同时,60年代末70年代初,中国的一些谐波齿轮学者对其啮合原理和共轭齿形进行了大量研究工作。早在1969年前航空工业部精密机械研究所范又功、司光晨、张微元、林祖南四位学者着手于谐波齿轮平面啮合问题的研究。他们根据通常的平行轴齿轮的啮合原理和共轭齿形的生成原理而引伸到谐波齿轮传动的领域。1970年至1974年通过模拟模型,即用理想的真圆光滑刚环替代谐波的刚齿轮;用薄壁弹性的光滑柔性筒(或环)

替代柔齿轮;再用不同形式的谐波发生器三者构成谐波摩擦传动副的模型,进行了模拟试验研究,得出谐波齿轮传动的速比仅与刚轮、柔轮两构件作用的曲线周长差有关,而与波发生器的形式无关;从机理上得出谐波齿轮的平面啮合问题可以归结为两条相互作用的共轭曲线作等对应弧运动的结论。1975年,“关于谐波齿轮传动平面啮合问题”公开发表于前航空工业部三〇三所的科技情报杂志上⁽⁷⁾并选为我国1975年度郑州齿轮会议的论文。1978年上述四人编著了我国第一部谐波齿轮传动的专著,由国防工业出版社出版发行⁽⁸⁾。

此后,1978年我国原电子工业部北京广播器材厂代浩副博士根据前航空工业部三〇三所的“关于谐波齿轮平面啮合问题”的基本思想,并在高级工程师范又功等人 and 教授沈允文的具体指导和帮助下完成了“渐开线齿廓的谐波齿轮的计算方法”的电算程序和计算⁽⁹⁾,公开发表于国营北京广播器材厂的“广播与电视”的杂志上。此文代浩副博士为电子工业部“中小功率通用谐波减速器部标草案”的样机啮合参数的计算奠定了基础。

之后有关谐波齿轮传动的技术文献和书刊,在我国相继出版。如上述,1978年司光晨、范又功等四人编著的“谐波齿轮传动”一书,由国防工业出版社出版;1982年11月汪福敏等三人将原苏联 E. Г. 金茨勃格著的“Harmonic Gear Drives”一书译成中文出版⁽¹⁰⁾;1984年1月,中国北京机械工程学会传动分会组织人编写的“谐波传动”讲义印发⁽¹¹⁾;1984年谐波传动技术协作组编写了“谐波传动技术”⁽¹²⁾;1985年项其权等四人将 Д. П. 沃尔柯夫著的“Волные Зубчатые Передачи”一书译成中文出版⁽¹³⁾;1986年2月张展同志将 В. Н. 鲁坚科编著的“Планетарные и Волновые Передачи Альбом. Конструкций”译成中文出版⁽¹⁴⁾;1985年9月沈允文和叶庆泰编著的“谐波齿轮传动理论与设计”一书由机械工业出版社出版⁽¹⁵⁾。

谐波齿轮传动这一新技术和其它新技术一样都是由于生产实践的需要而产生。它由科学构思,再经过无数次的试验研究而完成样机,继而把此项技术逐渐转化为生产力变为商品。因此其相关的理论、结构设计技术和制造技术等相继形成,它们相互促进、相互制约向前发展,现已基本形成了一门专业科学技术。

谐波齿轮技术的发展趋势可以用“三性”(新颖性、先进性、经济性)概括如下:

谐波齿轮技术在保持第四代齿轮机构新颖性的同时,又在新创立的谐波齿轮理论基础,推出了三种原始齿廓压力角($\alpha=20^\circ, \alpha=25^\circ, \alpha=30^\circ$)渐开线工作齿廓,大大简化了工艺,并为创造新型齿形奠定了基础,优选柔轮变形系数以及相应的波发生器这一难题得以迎刃而解。

此后,谐波齿轮技术以其“四小”和“四高”的先进性正在迅速打入高新精尖的精密机械传动领域中,为适应高新技术的小型化和微型化的要求而朝着光机电一体化、高精度无侧隙工程控制元件方向发展,谐波齿轮技术的经济性应该是显而易见的(零件少、材料消耗小),但目前,谐波齿轮减速器产品要比同性能的普通齿轮减速器价格贵1~2倍,这也正是在我国推广此项技术中最大阻力之一。为此,人们必须努力降低成本。出路在于:

(1)改进结构设计,降低成本、降低零件设计精度和制造精度的要求。例如把波发生器设计成自动调心的;柔轮底部与输出轴设计成花键连结形式。

(2)采用先进工艺,降低材料的消耗和提高柔轮的寿命。例如,柔轮还用冷挤压或管材焊接等工艺;柔轮齿加工用冷轧或高速高效齿加工设备;表面用喷丸处理工艺。

最后要提出的是,通用谐波渐开线齿廓减速器,其齿廓是用具有渐开线原始齿廓的标准刀具,原始齿廓压力角 $\alpha=20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ 三种。问题之一,是如何选择原始齿廓位移系数、压力角 α 、柔轮变形系数,如何按啮合间隙工程技术要求进行较佳的组合与选择。这些都是机械师和专门从事谐波齿轮技术研究的工程技术人员关注的热门课题。近几年来,北方精密机械研究所曹炳和高级工程师和范又功高级工程师,在此方面进行了大量研究工作,并将通过计算机辅助设计与生产实践所取得的成果论文发表在杂志[16]、[17]、[18]、[19]、[20]上和写于本书有关章节中。与此同时,为适应此项技术的发展,开发出高精度、小回差数控伺服系统中的 BXBG 系列产品和普通经济性系列产品 BXBP。

参 考 文 献

- 1 Гинзбург Е Г. Harmonic Gear Drive. National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, 1974.
- 2 Иванов И Н. О кинематике волновых передач, Известия вузов. Машиностроение, 1968(8)
- 3 Швалов С А. д-р. Расчет относительного положения зубьев в волновой передаче. Известия вузов. Машиностроение, 1969(11)
- 4 Шевелев Г И. Метод степенных рядов в теории зубчатых зацеплений с точенным контактом. Машиноведение, 1969(4)
- 5 Непомнящих Г Е. Татищев В Н. Специальная геометрия зацепления для волновой зубчатой передач. Известия вузов. Машиностроение, 1971(2)
- 6 Волхнов В Е. д-р. О зацеплении волновых передач. Машиноведение, 1972(2)
- 7 航空工业部三〇三所. 关于谐波齿轮传动平面啮合问题. 科技与情报, 1975(1)
- 8 司光展等. 谐波齿轮传动. 北京: 国防工业出版社, 1978.
- 9 国营北京广播器材厂, 代浩. 渐开线齿廓的谐波齿轮传动计算方法. 广播与电视, 1978(2): 63~109 页
- 10 (苏) 金茨勃格 Е Г. 谐波齿轮传动. 汪福敏等译. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- 11 北京机械工程学会传动分会讲义, 谐波传动. 1984.
- 12 中国谐波传动技术协作组讲义, 谐波传动技术. 1984.
- 13 (苏) 瓦尔科夫 Д П. 克里涅夫 А Ф. 谐波齿轮传动. 项其权等译. 北京: 电子工业出版社, 1985.
- 14 (苏) 鲁坚科夫 В Н. 行星与谐波传动结构图册, 张展译. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- 15 沈允文, 叶庆泰. 谐波齿轮传动理论与设计. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- 16 范又功等. 谐波齿轮齿啮花键输出的啮合几何参数的选择. 机械传动, 1993.
- 17 范又功等. 加工高精度谐波齿轮副的途径. 机械工艺师, 1993(1)
- 18 范又功等. 谐波齿轮渐开线工作齿廓的位移系数的选择. 机床, 1993(5)
- 19 范又功等. 渐开线谐波齿轮副波发生器的互换性问题. 仪表技术与传感器, 1993(5)
- 20 范又功等. 高精度伺服系统中的谐波齿轮传动. 航空制造工程, 1993.

第一章 概 论

在仪器仪表和机电自动化设备中采用的谐波齿轮的模数大多小于 1mm,因此它属于小模数齿轮范畴。故在结构设计、加工制造、测量和装配中所涉及的问题大多与小模数齿轮问题类似,但它是由柔性齿轮、刚性齿轮、波发生器三个构件构成的齿啮副,显然它与普通两个刚性小模数齿轮构成的齿啮副不同;如传动原理、柔齿轮的特性等。下面将逐一讨论这些问题。

第一节 谐波齿轮传动的分类和柔轮的类型

一、谐波齿轮传动的分类

谐波齿轮传动的分类通常按传动形式进行分类。分为径向谐波齿轮传动、端面谐波齿轮传动、谐波螺旋传动三大类(图 1-1)。

(一) 径向谐波齿轮传动

径向谐波齿轮传动是应用最多最普遍的一种。它的设计和制造与装调都比其它两种简单容易,而且精度高。

(二) 端面谐波齿轮传动

端面谐波齿轮传动是应用在轴向尺寸特别有限的地方。特点是比径向谐波传动扭转刚度大,但设计和制造以及装调都较复杂。

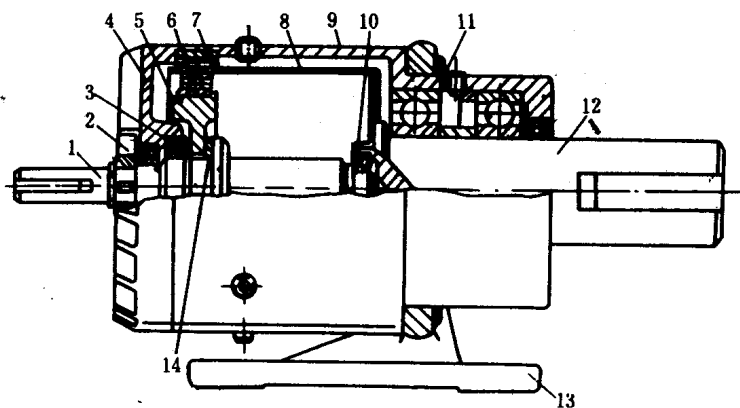


图 1-1(a) 径向谐波齿轮传动

1—输入轴;2—密封盖;3—轴承;4—端盖;5—波发生器;6—柔性轴承;7—刚轮;
8—柔轮;9—壳体;10—轴承;11—轴承;12—输出轴。

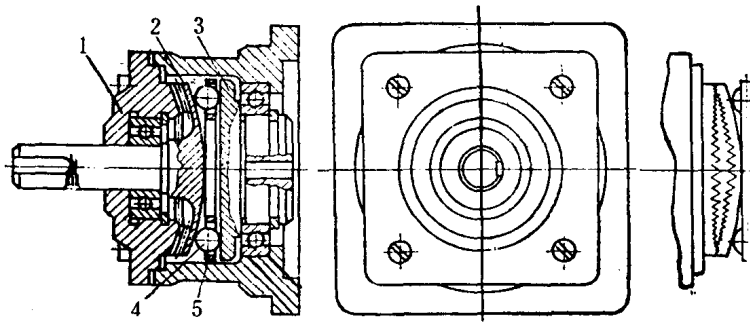


图 1-1(b) 端面谐波传动装置

1—刚轮；2—柔轮；3—圆盘；4—钢珠；5—保持器。

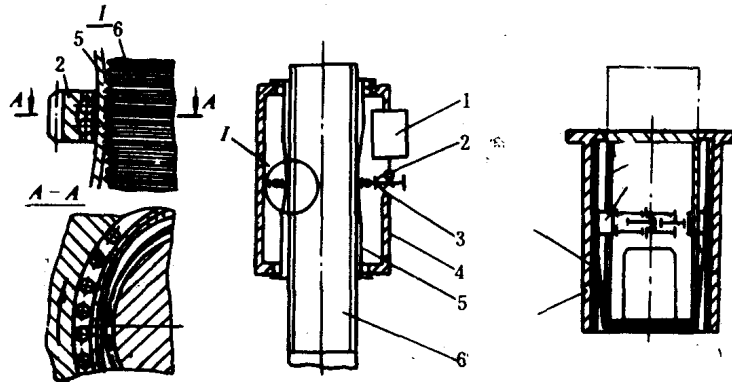


图 1-1(c) 谐波螺旋传动

1—挡块；2—波发生器；3—柔性轴承；4—壳体；5—柔性螺母；6—丝杠。

(三) 谐波螺旋传动

谐波螺旋传动是用于直线传递运动。

二、柔轮的类型

柔轮的类型有杯形、环形、圆片形、密封隔膜形、钟形和锥形等(图 1-2)。

(一) 杯形柔轮

杯形柔轮有带尾巴和不带尾巴两种。它的结构简单、扭转刚性较大、应用最普遍,适合于作伺服系统中的传动装置。

(二) 环形柔轮

环形柔轮有单联齿圈和双联齿圈两种。该结构轴向尺寸小而且可以组成复级谐波传动,其速比很大。

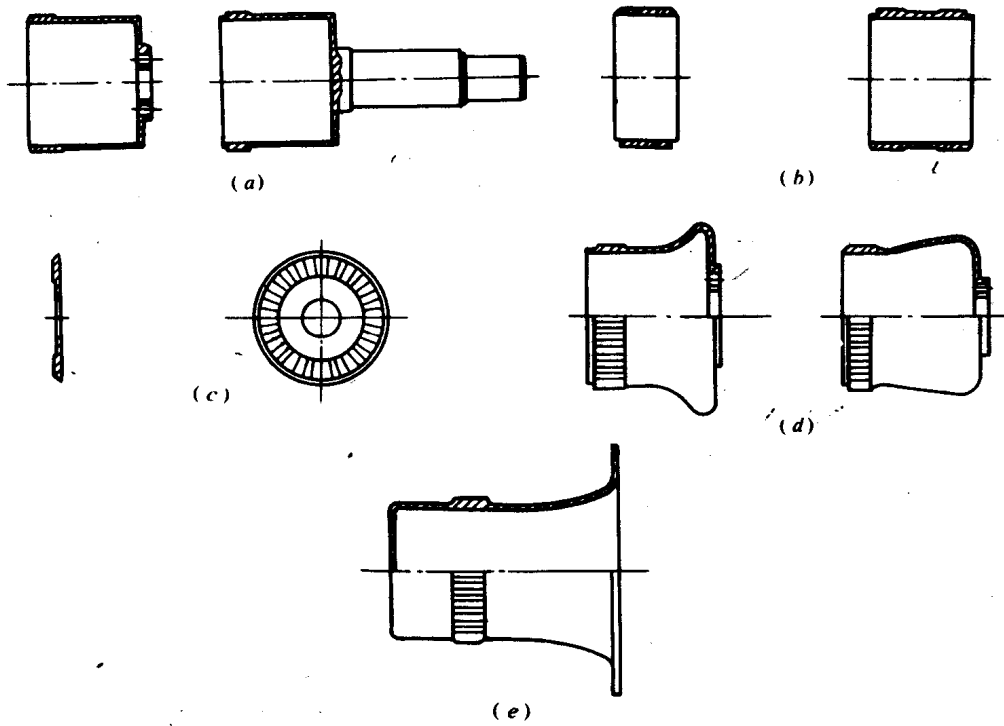


图 1-2 柔轮的类型
(a)杯形；(b)环形；(c)圆片形；(d)钟形和锥形；(e)密封隔膜形。

(三)圆片形柔轮

圆片形柔轮是用在轴向尺寸很小和扭转刚度大的端面谐波传动。

(四)钟形或锥形柔轮

钟形或锥形柔轮是用在要求精度特别高、扭转刚度大的精密谐波传动装置。

(五)密封隔膜柔轮

密封隔膜柔轮是用于密封谐波传动装置，它可以完成向密封空间和隔绝有害介质的多层空间传递运动。

第二节 谐波齿轮的常用材料和加工方法

一、常用材料

在谐波齿轮传动中，由于柔轮经常承受交变应力，因此柔轮材料应选用富有弹性、强度高的材料。刚轮与普通的小模数齿轮承受的应力差不多，因此可选普通的钢材。

(一)柔轮的常用材料

柔轮的常用材料见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 中的 30CrMnSiA 合金结构钢作为柔轮材料最普遍，机械性能较佳，而 12Cr2Ni4A 材料焊接性能好，因此焊接柔轮采用 12Cr2Ni4A 材料，即 12Cr2Ni4A 无缝钢管作筒体，12Cr2Ni4A 钢板作柔轮底焊接而成柔轮坯。

表 1-1 制造柔轮的合金结构钢的机械性能和热处理规范

材料牌号	淬火温度 (°C)	冷却 介质	回火温度 (°C)	机 械 性 能				
				硬 度 (HB)	抗拉强度 σ_B	抗压强度 σ_T	疲 劳 极 限	
							σ_{-1}	τ_{-1}
(MPa)								
40CrNi	800~840		500	280	1000	800	460	270
40CrNiMoA	830~850		610	≥302	1100	950	600	340
37CrNiA	810~840	油	552~573	321~387	1100	1000	550	320
36CrNiMoVA	850~860		590	≥331	1150	1000	—	—
30CrMnSiA	890~910		540	337~390	1100	850	480	280
30CrMoA	860~890		460	>320	1100	900	420	240
20CrNiA	820~840		500	>292	950	850	430	240
12Cr2Ni4A	780~855		180~200	≥320	1100	850	500	250

表 1-2 制造柔轮所用塑料的基本物理机械特性

材料牌号	密度 (g/ cm ³)	线膨胀 系数 (×10 ⁻⁵)	抗拉强度 σ_B	抗压强度 σ_T	断裂强度 σ_K	疲劳极限 σ_{-1} (10 ⁶ 循 环数)	拉伸弹 性模量 E	泊 松 比 μ	硬度 (HB)
卡普纶 V 6-0.5-988-66	1.16	9.8	1000~1100	1200~1250	1200~1500	300	20600~23100	0.44	20~25
卡普纶 SN	1.55	—	3500~4500	2500~3500	4000~5000	—	25000~30000	0.42	25~30
缩醛树脂 36-13-8-64	1.4	8.1	650~700	1300	900~1100	350	29000~35000	0.35	20~25
环氧酚醛清 漆合成物 6EI-60	1.21	7	550~650	1600~1700		180~190	38000~47000	0.35	HV 23~24

(二) 刚轮的常用材料

刚轮多半采用 45 钢和 40Cr 材料。

表 1-2 的工程塑料主要作为很小功率、噪声小的谐波齿轮的柔轮。

二、加工方法

谐波齿轮属于小模数齿轮范畴,故加工方法类同普通的小模数齿轮加工方法。分为切削和不切削两大类型。

(一) 切削加工方法

切削加工方法有铣齿、滚齿、插齿、冲齿等方法。

1. 铣齿法 是用相应的模数铣刀在通用的铣床设备上,通过分度装置逐齿把谐波齿轮的轮齿切削出来。该方法生产效率低,但对单件修复和没有专用设备的厂家,采用此方

法还是可取的。另外,在研制特殊和高精度谐波齿轮时采用此方法是行之有效的,这点往往被人忽视,岂不知此方法较其它方法传动链短,而可以采用高精度的分度装置保证了被加工轮齿周节的高精度。

2. 滚齿加工方法 是用齿轮滚刀在专用的滚齿机上,连续展成加工谐波齿轮的外齿。生产效率和加工精度都相当高,是目前采用最普遍的方法。

3. 插齿加工方法 是用齿轮插齿刀具在专用的插齿机床上,连续展成加工谐波齿轮的内齿和外齿。此方法可加工间距很小的双联齿轮齿圈。

4. 冲齿加工方法 是用与被加工齿轮齿数相同的推刀加工模数 0.1mm 以下齿轮的内齿。此方法是解决模数小于 0.1mm 的插齿刀难以制造的困难和少齿数齿轮内齿与刀具干涉的问题的好方法。

(二)不切削加工方法

不切削加工方法,常采用的方法有冷轧齿和注塑齿加工方法。

1. 冷轧法 是用具有齿轮的轧辊,将被加工的齿轮齿坯置于其轧辊(两个或三个)中间,进行轧压(轧压有强制和无强制的方法),在齿坯上轧压成形轮齿。此方法不仅效率高、材料消耗少,而且轧压出的齿面强度高,齿槽纤维无切断的优点。

2. 注塑法 是用压铸注射机和金属齿轮模具,把工程塑料熔融成流体,通过注射机注射到模具腔中完成被加工的齿轮。此方法具有效率高、成本低的特点,适合于大批量生产。

第三节 谐波齿轮传动的技术要求、精度指标及测试方法

一、谐波齿轮传动的技术要求和精度指标

由于谐波齿轮传动的用途不同,而对其要求也不同。例如精密位移的谐波齿轮传动,其技术要求是,传递速比准确;伺服系统中的谐波齿轮传动,其技术要求是,扭转刚性大、回差小、转动惯量小、起动力矩小;监视系统中的谐波齿轮传动,其技术要求是,传动平稳、噪声小;动力系统中的谐波齿轮传动,其技术要求是,负载能力大、效率高、寿命长。

(一)谐波齿轮传动的技术要求

总括谐波齿轮传动各种技术要求,可归纳如下几方面:

1. 运动精度 可度量谐波齿轮传动从动件(输出轴)与主动件(输入轴)之间运动传递的速比的准确度。换句话说,从动件在其一转范围内的任意两瞬时间隔所转过的实际角度与其理论相应的转角之差值的大小,称之为运动转角误差,它表征着谐波齿轮传动运动精度的高低。

2. 轴系的回转精度 可度量谐波齿轮传动的输入轴系或输出轴系在运动回转过程中的径向跳动和轴向跳动的大小。

3. 回差 可度量正反两个方向工作和变负载工作的谐波齿轮传动的空程的大小。

4. 起动力矩 可度量谐波齿轮传动的各运动副和啮合副的静摩擦力矩和惯性力矩大小。

5. 工作平稳性 可度量谐波齿轮传动运动瞬时速比传递变动的大小。

6. 扭转刚度 可度量谐波齿轮传动系统,在额定负载和输入轴被固定时,输出轴的扭转变形转角与额定负载之比。

7. 温升、效率 是度量谐波齿轮传动工作性能好坏的尺度。

(二) 谐波齿轮传动的精度指标(性能指标)

由于目前国内外尚无谐波齿轮传动精度(性能)的统一标准,因此,各厂家大多参考通常的减速器的精度指标和工作情况与要求制定了各厂家谐波齿轮产品的精度指标。

概括国内外商品化的谐波齿轮产品的精度指标,可划分三个精度等级:普通精度级(以下简写P级)、精密级(以下简写J级)、高精度级(以下简写G级)。

每个精度等级又按技术要求,归纳成五项精度指标。

1. 运动误差 是谐波齿轮传动在输出轴一转范围内,传动速比转角偏差的全部数值。
2. 轴系的径跳与端跳 是轴系在其一转范围内的径跳和端跳的全部误差数值。
3. 传动平稳性误差 是运动误差中多次重复的高频误差分量的数值。
4. 频率特性误差 是指回差、起动力矩、扭转刚度和回转件的飞轮转矩所造成谐波齿轮传动系统的输入与输出之间频响误差。
5. 工作性能 是指额定负载下的温升、效率、寿命。

二、谐波齿轮传动的测试方法

(一) 运动误差、平稳性误差和回差的测试

1. 运动误差的测试 有静态测试和动态测试两种方法。

(1) 静态测试(图 1-3) 是将两个角度传感器——一个是光学分度头(或光电角度编码器)与输入轴相连,另一个是精密多面棱体和自准光管组成的角度器与输出轴相连。角度传感器的精度应小于运动误差允许值的 $\frac{1}{3}$ 。测试采样点不应少于 6 点(输出轴间隔 60°)。具体测试步骤如下:

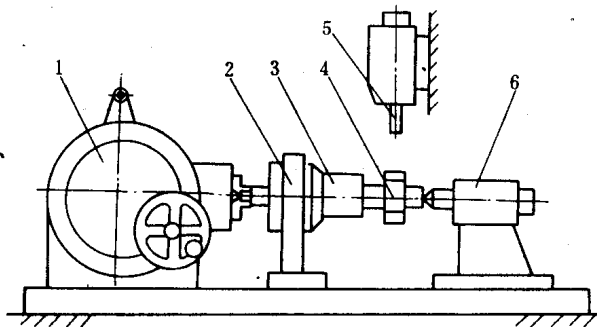


图 1-3 传动静态测试台

1—光学分度头;2—谐波齿轮装置支座;3—被测的谐波齿轮装置;
4—多面棱体;5—自准光管;6—尾顶座。

1) 初始值的调整 转动光学分度头 1 带动谐波齿轮装置 2 的输入轴,传递到输出轴上的多面棱体 4,使其一面对准自准光管 5,此刻光学分度头的示值和自准光管光靶位置线为初始值。

2) 采样点读取值 继续转动光学分度头,使多面棱体的第二个面对准自准光管,读取光学分度头的示值,接着依次读取采样点的值。

3) 数据处理 首先把输入轴的光学分度头的采样点的示值,按下式换算为输出轴应

转过的角度,作为输出轴的理论转角 φ_{cl}

$$\varphi_{cl} = \varphi_s / u \quad (1-1)$$

式中 φ_s ——输入轴采样点的读数

u ——被测谐波齿轮装置的速比

而输出轴的实际转角值 φ_{cs} 为

$$\varphi_{cs} = \frac{360}{N} \times n \quad (1-2)$$

式中 N ——多面体的面数

n ——采样点的顺序号($n=0, 1, 2, \dots, N$)

运动误差 $\Delta\varphi$ 等于出轴的实际转角 φ_{cs} 与理论转角 φ_{cl} 之差值中最大与最小值之差。

(2)动态测试(图 1-4) 是用传动链测试仪来检测被测谐波齿轮传动装置。谐波齿轮传动装置 5 的输入轴与光电角位移转换器 2 相连,输出轴与光电角位移转换器 1 相连,当电机 6 通过皮带轮副带动输入轴转动时,一路经精密联轴节 4 带动光电角位移转换器 2 把输入角位移转换成相应的脉冲频率,送到分频器(分频数为谐波齿轮装置速比的倒数),然后进到相位计;另一路经谐波齿轮装置到输出轴,输出轴上的精密联轴节 3 带动光电角位移转换器 1 把输出角位移转换成相应的脉冲频率,同时送到相位计,与另一路相比之差,通过记录仪输出其误差曲线,其误差的最大与最小值之差即为运动误差。

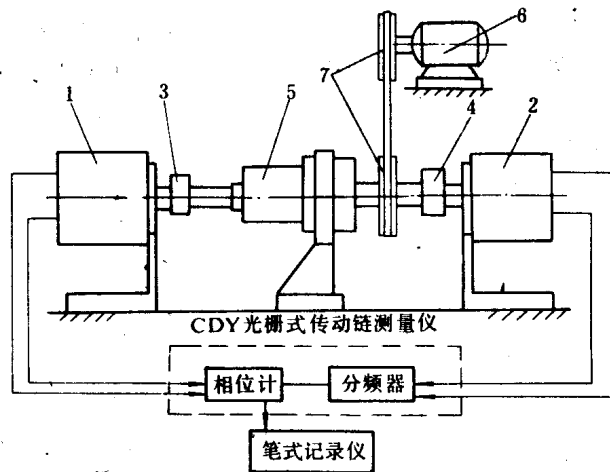


图 1-4 CDY 光栅式传动链测量仪

1, 2—光电角位移转换器; 3, 4—精密联轴节; 5—谐波齿轮装置; 6—电机; 7—传动轮。

2. 平稳性误差的测试 有静态和动态测试两种方法,测试手段同运动误差测试一样,它是运动误差中高频分量。因此,静态测试的采样点数要比运动误差采样点数足够多,一般静态测试平稳性误差,应该这样选择采样点数。

- 1) 分区 把输出轴一整转分成 6 个区;
- 2) 分段 把每个区划分成 3 个采样段;
- 3) 采样点 在每段范围内按齿距角间隔设置采样点。

评定其平稳性误差取其相邻采样点误差最大值。而动态测试时,应取误差记录曲线中挑选相邻高频误差最大值作为谐波齿轮传动平稳性误差。