



第2版

下册

齿轮手册

齿轮手册编委会 编



机械工业出版社
China Machine Press

第 27 篇 齿轮测量及量具量仪



主 编 谢华锬（成都工具研究所）
赵尔夫（北京量具刃具厂）

	编写人	审稿人
第 1 章	张兆龙（成都工具研究所）	第 1、4、6 章
第 2 章	赵尔夫 谢华锬	谢华锬
第 3 章	谢华锬	第 2、3、5 章
	李良鸿（北京 304 所）	石照耀
第 4 章	祝沪锦（成都工具研究所）	第 7 章
	张兆龙	石照耀 谢华锬
第 5 章	成熙治（哈尔滨工业大学）	
第 6 章	石照耀（成都工具研究所）	
第 7 章	彭东林（重庆大学）	

第 1 章 概 述

1 齿轮产品质量

齿轮产品质量首先决定于正确的设计。齿轮设计参数,如:几何形状、材料、热处理方法以及目标参数的选择都影响产品最终性能。本篇仅讨论齿轮轮齿几何精度的测试,即测量的实际几何形状与设计值的差异。这种差异由齿轮加工系统决定,该系统影响工件精度的因素有以下几组:

- 1) 刀具 几何精度、安装精度、材料及热处理与切削性能等。
- 2) 机床 几何精度(轴系跳动、导轨直线度、位置精度等)、传动链精度及动态性能(如刚度等)。
- 3) 切削条件 切削用量、冷却方式、环境因素(温度等)及操作者的技术水平。
- 4) 轮坯质量 几何精度(安装基准精度、加工余量)、材料及热处理。
- 5) 夹具精度。

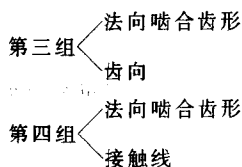
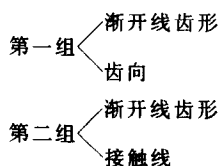
可以看出,影响齿轮轮齿几何精度的因素很多,它们各自对齿轮最终精度有独立的作用,又存在相互耦合的关系。因此,在具备误差源检验手段(如机床传动链和刀具检验)的同时,还需要成品检测手段。

2 齿轮的测量参数

齿轮是若干相同的曲面按某一特定的方式排列而形成的,任一片曲面都可由两族参数曲线来描述,在齿轮工程领域内,一般根据参数曲线实用性来选择,例如要考虑哪些曲线能反映刀具误差的作用、机床误差的影响和测量方便等因素,就渐开线螺旋面来说,目前有四种参数曲线广泛应用,它们是:

- 1) 端面渐开线。
- 2) 螺旋线(齿向)。
- 3) 接触线。
- 4) 法向啮合齿形。

可选用的曲线组如下:



一个齿轮完整的描述,除上述参数曲线外,还需确定各齿面之间的位置关系,如齿距等。

鉴于上述原因,各阶段的圆柱齿轮精度标准都将渐开线齿形、齿向、齿距三个参数作为基本检测项,由于我国发明了间齿蜗杆式整体误差测量仪,它能方便地测出法向啮合齿形,因此在国家标准 GB 10095-88 中,规定了可用法向啮合齿形考核产品质量。

根据公差与配合中基本原则——泰勒原则,齿形、齿向和齿距参数的测量仪测量单个参数,还应检验其配合性。齿轮中的配合性测量为单面或双面啮合测量,它们反映了各个单数的综合作用,在近期的齿轮精度标准中都增加了单啮与双啮误差项目,其中单啮误差还作为重要的检验项目之一。在滚刀标准中啮合线误差检验也属于这类配合性测量。

考虑到锥齿轮齿面形状的复杂性,目前国内锥齿轮标准 GB 11365-89 中主要参数项目为齿距误差,切向综合误差、接触斑点等,综合指标成为标准的主导项目,我国开发的弧齿锥齿轮整体误差测量仪可测出相对于标准锥齿轮的齿形和齿向误差,使锥齿轮测量技术大大前进了一步。

3 齿轮测试技术

齿轮测试技术中存在两种不同的思路,一种是纯几何概念,它基于曲面上点、线概念用仪器形成理论轨迹测量实际曲线上的偏差,如 VG450 及各类齿轮测量中心都基于这种思想;另一种思想是齿轮误差对性能的影响是通过传递运动反映出来,在加工中由展成运动形成,基于这种思想设计的仪器主要测量工件和测量元件间的啮合运动偏差,从运动偏差得出齿面几何误差信息,典型仪器有 CZ450 整体误差测量仪。前种思想引出的齿轮测量方法称之为点轨迹法,后种称之为啮合运动法。

采用点轨迹法的第一代齿轮仪器主要采用精密机械机构实现理论轨迹,由机械测微表测得误差,其第二代仪器是将第一代仪器改为光学读数定位和调整,由

电感等测微仪记录误差,典型的仪器有3201渐开线检查仪、德国Klingelnberg PWF250滚刀检查仪和瑞士MAGG生产的SP60齿轮测量仪等,这一代产品引进了计算机技术后可对测得的曲线进行分析,进入90年代,随着CNC技术的广泛应用,第三代产品CNC齿轮测量中心逐渐成为主导产品,它具有两种形式:

1) 坐标测量机形式,有德国蔡司公司生产的ZMC550型齿轮测量中心,它实质上是一台高精度三坐标测量机,增加了内藏式回转台、上顶尖坐和测量各种齿轮的软件程序,这种仪器保持原来的坐标测量机功能,如果把它为主要用于齿轮测量显然是功能浪费太多,成本过高。

2) 将传统的齿轮量仪的机械展成机构由电子展成来代替,加装CNC数控系统,数据处理系统和种种测量软件程序,它在技术上吸取了坐标测量机的一些成果,对于测量圆柱齿轮、齿轮刀具、锥齿轮、蜗轮副以及一些特殊的回转体来说,它更加方便,精度高,与第一种相比,它舍弃通用性而降了成本。主要产品有:德国Klingelnberg公司的PNC系列;美国M&M公司的3102, 3025系列;德国Hofler公司的EMZ和ZME二个不同档次的产品,除了小模数和特大规格齿轮外,大、中型CNC齿轮测量中心已成为系列产品,在国外正在取代第二代产品,国内已进口了相当数量的CNC齿轮测量中心,而国内正处于开发研制阶段。

采用啮合运动法的测试仪早期也采用精密机械机构形成理论单啮和双啮运动关系,这类单啮仪正被淘汰,而双啮仪目前仍在使用。随光电技术的发展,60年代就开发出了光栅式齿轮单啮仪,这类仪器可以测量圆柱齿轮、锥齿轮和蜗轮副的切向综合误差,并利用计算机可对测量结果进行付里叶分析,在锥齿轮测量领域内,该类仪器可在加载情况下测量,自动跟踪确定最佳中心距,与光栅式单啮仪发展的同时,还开发了磁栅式、惯性式单啮仪,但它们的产品较少,仅在传动链测试中有少量的应用。而双啮仪已发展成齿轮自动分选机,这种分选机具有自动装料、清洗、测量尺寸、双啮测量和分选功能,并运用计算机进行统计分析,它主要应用在汽车齿轮大批量生产线中。我国在60年代就对光栅式单啮仪进行了深入研究,首创了间齿蜗杆单面啮合测试技术,该技术突破了啮合运动法仅能测量综合误差的缺陷,能测得齿距、齿形等参数误差,使啮合运动法上了一个新台阶,在此基础上,将间齿技术深入发展,又提出了齿轮啮合分离测试技术,运用于锥齿轮测量,开发出能测量齿形、齿向、齿距和切向综合误差的锥齿轮整体误差测量机,并推广到圆柱齿轮、蜗轮副

测量仪上,形成了间齿式齿轮啮合检查仪系列产品。

4 齿轮测量仪器分类与应用

现有的齿轮测量仪器种类多,采用的方法也有差异,通常根据被测对象的特征来划分仪器种类:

(1) 根据被测齿轮的种类划分

- 1) 圆柱齿轮检查仪 (PNC65、CZ450等)。
- 2) 锥齿轮测量仪 (Gleason-513, CSZ500等)。
- 3) 滚刀检查仪 (CGW300, PWF300等)。
- 4) 蜗轮、蜗杆测量仪 (CWG800等)。
- 5) 摆线齿轮测量仪 (CQB700D等)。
- 6) 齿条测量仪 (CT800D等)。

这种划分针对专用仪器比较适合,但随着多功能测量中心的应用,这种分类存在一定的不足,而根据被测参数划分克服了这个不足。

(2) 根据被测参数划分

- 1) 单测数测量仪 齿形测量仪、齿向测量仪、齿距测量仪、基节仪和各种齿轮专用卡尺。
- 2) 多参数测量仪 机械式 (SP60, PH60……) 和CNC式 (PNC65, ……)。
- 3) 综合参数测量仪 单啮仪和双啮仪。
- 4) 整体误差测量仪 展成式 (3001B) 和啮合式 (CZ450, CZ150)。

(3) 根据齿轮尺寸划分

- 1) 大规格齿轮测量仪 (直径 $>800\text{mm}$)。
- 2) 中等规格齿校测量仪。
- 3) 小模数测量仪 (模数 $\leq 1.5\text{mm}$)。

(4) 根据工件和仪器的相对位置划分

- 1) 坐式测量仪
- 2) 上置式测量仪 (3280, ES430)。
- 3) 旁置式测量仪 (TPF40, MI10)。

(5) 根据仪器标准运动形成的方法分 可将现有的仪器分为:

- 1) 机械展成式。
- 2) 电子创展式。
- 3) 直角坐标式。

随着齿轮加工机床与刀具的发展,以及新型齿轮加工技术(如内珩工艺)的广泛运用,加工效率和精度大大提高,给测量提出了更高的要求,要求现代齿轮测量机必须具备以下特征:

- 1) 通用性强。
- 2) 获得的误差信息全面。
- 3) 检测过程自动化,操作简单,效率高。
- 4) 对环境要求低。

5) 自动评定测量结果。

6) 易集成于加工系统。

CNC 式齿轮测量中心和啮合运动法测试仪器(如 CZ450)都可以满足第3)、5)条要求,但它们还存在表 27.1-1 所列的特点。

表 27.1-1 CNC 式和啮合运行法测试
仪器的特点

啮合运动法	点轨迹法
测量运动偏差	测量几何特征
测量仪器简单成本低	测量仪器复杂
对环境要求低	对环境要求高
只测齿轮	可测齿轮及刀具
综合效率高	单项测量效率高
与加工、使用状态一致	测量精度高

此表说明点轨迹法测试仪器结构复杂,但具有很高的通用性和精度,对环境要求高而且成本高,因此这类仪器应定位于精密计量室作为高精度齿轮产品和刀具检验,若只检测齿轮或只检测刀具则必然产生仪器功能和精度的浪费,齿轮生产厂大量齿轮检验应有技术简单,环境要求低和成本低的仪器以保证直接在加工现场抽取较大的子样对产品进行质量控制,采用啮合运动法的测试仪器可以满足这种要求;齿轮刀具生产厂需要专门的刀具检查仪。

因此一种测量方式,一种仪器是难以满足不同规格的齿轮生产厂,不同的产品质量和加工工艺的检测要求,测试技术、仪器品种和规格必将呈现多样化、系列化的发展趋势。

5 新技术应用的发展

1. 齿轮整体误差技术的应用

齿轮工作齿面上所有误差的集合体被称为齿轮整体误差,整体误差技术包括整体误差测量方法,整体误差集合内各项误差大小、变化规律及相互关系,整体误差与传动质量关系以及与加工工艺的关系等多方面的研究。该技术在国内外得到越来越广泛的应用。

2. 新方法的探索

齿轮测量原理和方法的不断发展,已基本解决了中等模数及中等规格齿轮测量的需要,目前的研究在于简化现有仪器结构、降低成本、提高效率,如径向测

量齿形方法(PEC33, ZP350)就是降低仪器的性能价格比的仪器。

大齿轮生产量少,开发专门的大型齿轮测量仪需要大量资金及相关技术的支持,开发大型座式仪器是不经济的,新型测量方法的研究就是用简单经济的手段测量大规格齿轮,这类方法有上置式直角坐标法、在机展成或直角坐标法以及各种代渐开线法。

光电测试技术,如利用 CCD 测量齿轮误差的方法在小模数齿轮测量时有较好的应用前景;成都工具研究所开发的 CZ150 整体误差测量仪将间齿蜗杆测试新技术成功地应用于小模数齿轮测量。

现代精密测量技术,如激光干涉测量、全息技术、光纤传感技术等精密齿轮及特殊要求的齿轮测量中将会发挥应有的作用。

3. 计算机技术的应用

计算机技术的广泛应用给现代齿轮测试仪器带来了飞速的发展,首先使复杂的数据处理测量过程全部自动化,尤其是 CNC 系统的引入,大大简化了仪器机械结构并使自动化程度提高。其次,利用计算机存储与计算能力修正仪器误差,如光栅、导轨以及使用基准与测量基准不符等误差,大大提高了测量精度,降低了加工成本。目前,一些先进的测量仪器可以对工件进行质量统计分析,进一步发展,可以开发齿轮误差分析专家系统,不仅能分析产品质量,而且能对齿轮误差产生的原因进行诊断,可集成于齿轮加工系统,指导刀具刃磨、机床调整等。

4. 精密工程技术的应用

现代齿轮测量机摆脱了传统齿轮量仪的限制,新型高精度的长度测量(如光栅、激光)和圆分度测量技术(如圆光栅、多齿盘)、精密驱动机构(如:直接驱动电动机、滚珠丝杠副、摩擦驱动)、精密直线和回转运动副、优良的材料(如:天然或人造大理石等)和高精度三维测头的大量采用,使现代齿轮量仪具有很高的精度和可靠性。合理的布局结构和现代化的工业造型给仪器增加了美学效果,并为功能的进一步扩大(如安装机械手上下工件)提供了可能。

5. 通用坐标机功能的扩大

通用坐标测量机的发展,使之能测量各种齿轮及齿轮刀具误差,德国蔡氏公司推出坐标测量机是一个很好的典范,可以肯定,通用坐标机将会在齿轮测量领域起更大的作用。

第 2 章 渐开线圆柱齿轮的测量及量具量仪

本章主要根据渐开线圆柱齿轮精度标准 GB/ 齿轮的测量原理、测量方法, 以及相应的量具量仪。齿轮 T10095—1988 所规定的误差项目着重介绍渐开线圆柱 误差检验组的选择及推荐用量具量仪见表 27.2-1。

表 27.2-1 齿轮误差检验组的选择及所用量具量仪

序号	公差组			适用齿轮 精度等级	用 途	所 用 量 具 量 仪
	I	II	III			
1	$\Delta F_i'$	$\Delta f_i'$	ΔF_β	4~8	测量效率高, 但要测量元件。适用于成批生产齿轮的质量验收	1) 整体误差单啮仪 2) $\left\{ \begin{array}{l} \text{标准齿轮式单啮仪} \\ \text{齿向仪} \end{array} \right.$ 3) $\left\{ \begin{array}{l} \text{截面整体误差单啮仪} \\ \text{或标准蜗杆式单啮仪} \\ \text{齿向仪} \end{array} \right.$
					测量效率高, 但要测量元件。适用于成批生产直齿轮的质量验收	1) $\left\{ \begin{array}{l} \text{截面整体误差单啮仪} \\ \text{或标准蜗杆式单啮仪} \\ \text{平行度测量装置} \end{array} \right.$ 2) $\left\{ \begin{array}{l} \text{标准齿轮式单啮仪} \\ \text{平行度测量装置} \end{array} \right.$
					适用于较高精度齿轮的质量验收	$\left\{ \begin{array}{l} \text{万能齿轮测量机, 齿轮测量中心} \\ \text{平行度测量装置} \end{array} \right.$
2	$\Delta F_i'$	$\Delta f_i'$	ΔF_b (宽斜 齿轮加检 ΔF_{p_s})	4~8	测量效率高, 但要测量元件。适用于成批生产斜齿轮的质量验收	1) 整体误差单啮仪 2) $\left\{ \begin{array}{l} \text{标准齿轮式单啮仪} \\ \text{接触线检查仪} \end{array} \right.$ (轴向齿距仪——用于宽斜齿轮) 3) $\left\{ \begin{array}{l} \text{截面整体误差单啮仪} \\ \text{或标准蜗杆式单啮仪} \\ \text{接触线检查仪} \end{array} \right.$
3	$\Delta F_i'$ 与 ΔF_w	$\Delta f_i'$	ΔF_β	7~9 ^①	测量效率很高、仪器简单、使用方便, 但要测量元件。适用于成批、大量生产的汽车拖拉机齿轮生产现场的质量控制	$\left\{ \begin{array}{l} \text{双啮仪} \\ \text{公法线千分尺} \\ \text{平行度测量装置} \end{array} \right.$
4	ΔF_p	Δf_i 与 Δf_{pt} (宽斜 齿轮加检 $\Delta f_{j\beta}$)	ΔF_β	4~8	适用于齿轮的验收检测或工艺控制检测	1) $\left\{ \begin{array}{l} \text{万能齿轮测量机、齿轮测量中心} \\ \text{齿向仪} \end{array} \right.$ 或平行度测量装置 (测直齿轮) 2) $\left\{ \begin{array}{l} \text{截面整体误差单啮仪 (高精度齿距测量)} \\ \text{或自动齿距仪 (中、高精度齿距测量)} \\ \text{或万能测齿仪 (中、低精度齿距测量)} \\ \text{齿形仪} \\ \text{(波度仪——用于宽斜齿轮)} \\ \text{齿向仪} \end{array} \right.$ 或平行度测量装置 (测直齿轮)

(续)

序号	公差组			适用齿轮 精度等级	用 途	所用量具量仪
	I	II	III			
4	ΔF_p	Δf_f 与 Δf_{pb} (宽斜 齿轮加检 $\Delta f_{t\beta}$)	ΔF_{β}	5~8	测量效率高, 误差信息全, 但要测量元件, 适用于齿轮的验收检测或工艺控制检测。还特别适用于工艺分析	1) 整体误差单啮仪 2) - 截面整体误差单啮仪 - 齿向仪 - 或平行度测量装置 (测直齿轮)
5	ΔF_p	Δf_f 与 Δf_{pb} (宽斜 齿轮加检 $\Delta f_{t\beta}$)	ΔF_b (宽斜 齿轮加检 $\Delta F_{\beta r}$)	4~8	适用于斜齿轮的验收	- 万能齿轮测量机、齿轮测量中心 - 接触线检查仪 (轴向齿距仪——用于宽斜齿轮)
				5~8		1) 整体误差单啮仪 2) - 截面整体误差单啮仪 - 接触线检查仪 (轴向齿距仪——用于宽斜齿轮) 1) 上置式整体误差单啮仪 2) - 上置式截面整体误差单啮仪 (上置式波度仪——用于宽斜齿轮) - 上置式接触线检查仪 (上置式轴向齿距仪——用于宽斜齿轮) 3) - 上置式齿距仪 - 上置式齿形仪 (上置式波度仪——用于宽斜齿轮) - 上置式接触线检查仪 (上置式轴向齿距仪——用于宽斜齿轮)
6	ΔF_r 与 ΔF_w	Δf_f 与 Δf_{pb}	ΔF_{β}	7~8	适用于齿轮工艺控制的检测	1) - 万能测齿仪 - 齿形仪 - 齿向仪 - 或平行度测量装置 (测直齿轮) 2) - 齿圈径向跳动检查仪 - 公法线千分尺或公法线卡规 - 齿形仪 - 齿向仪 - 或平行度测量装置 (测直齿轮)
7	ΔF_p	Δf_{pb} 与 Δf_{pb}	ΔF_{β}	9~10	适用于精度不高的直齿轮的验收	1) - 万能测齿仪 - 平行度测量装置 2) - 齿距仪 - 基节仪 - 平行度测量装置
8	ΔF_r	Δf_{pb}	ΔF_{β}	10~12	适用于低精度直齿轮的验收	齿圈径向跳动检查仪 基节仪 平行度测量装置

① 本检验组对 7~8 级齿轮, 只允许在生产工艺保证齿形公差的情况下, 用于车间检验。

1 齿轮综合误差的测量

GB/T10095—1988 中规定齿轮的综合误差有 4 项:切向综合误差 $\Delta F'$ 、一齿切向综合误差 $\Delta f'$ 、径向综合误差 $\Delta F''$ 、一齿径向综合误差 $\Delta f''$ 。其中 $\Delta F'$ 、 $\Delta f'$ 的测量为单面啮合综合测量; $\Delta F''$ 、 $\Delta f''$ 的测量为双面啮合综合测量。

综合测量是通过被测齿轮与测量元件作连续啮合转动来实现的,因此综合测量更接近实际使用状态,能较全面地反映出齿轮的使用质量,测量效率高,易于实现机械化、自动化。

1.1 单面啮合综合测量

1.1.1 单面啮合综合测量法

齿轮的单面啮合综合测量是指被测齿轮与理想精确的测量齿轮(可用齿条、蜗杆等测量元件代替)于公称中心距下安装,作有侧隙的单面啮合转动时,测量被测齿轮的实际转角与仪器标准传动链所形成的理论转角的差值,通过记录器或其他显示装置,记录出误差曲线或显示出误差数值。所记录的误差曲线称为运动误差曲线或切向综合误差曲线。

要实现单面啮合综合测量,除应具备精确理想的测量元件(如齿轮、蜗杆、齿条等)外,还必须建立一个标准传动链与被测齿轮和测量元件之间的实际传动作连续比较。标准传动链可采用机械传动链,但更多采用光栅、磁分度和惯性测振等原理的标准发信链来实现。

单面啮合综合测量法的优点:

- 1) 测量状态与齿轮工作状态基本相同,能比较真实地反映被测齿轮实际工作时的传动质量,最适于做验收检测。
- 2) 此测量法为动态连续测量,测量效率高。
- 3) 单面啮合综合测量对环境条件要求不高,易于实现自动化。
- 4) 与双面啮合综合测量相比,单面啮合综合测量所测得的转角误差,既能反映几何偏心对齿轮误差的影响,又能反映运动偏心对齿轮误差的影响。
- 5) 采用齿轮作为测量元件的单啮仪,可进行齿轮副配对测量。

在单面啮合综合测量的基础上,采用特殊结构的测量元件和“单面啮合间齿测量法”,发展了整体误差单啮仪,可测出齿轮整体误差曲线(见本章第3节),其外包络线即为切向综合误差曲线。

1.1.2 单啮仪

单面啮合综合测量所用的仪器,称为单面啮合综

合测量仪(简称单啮仪)。

1. 单啮仪的种类

早期的单啮仪是机械式单啮仪随着光、电技术的发展,把光栅、磁分度及惯性测振等技术引进齿轮测试技术中,发展成多种原理的以标准发信链作为测量基准的单啮仪,如光栅式单啮仪、磁分度式单啮仪和惯性式单啮仪,使单啮仪的测量精度大为提高。而计算机的应用,使单啮仪的测量功能和数据处理能力大为增强。

根据所采用的精确测量元件不同,单啮仪又可分为:标准蜗杆式单啮仪、标准齿轮式单啮仪和标准齿条式单啮仪。

目前国内最常用的是蜗杆作为测量元件的光栅式单啮仪,国外最常用的则是以齿轮作为测量元件的光栅式单啮仪。

2. 单啮仪的测量原理及特点

(1) 光栅式单啮仪 光栅式单啮仪的基本原理见图 27.2-1。由主光栅盘、指示光栅及相应的光路系统和主光栅盘的精密轴系组成单啮仪的发信装置——光栅式角位移传感器(简称光栅头)。当光栅头主轴转动时,通过光电转换元件把主轴的角位移变为与回转角成正比的电信号,经放大整形成电脉冲。若把两个光栅头分别与被测齿轮和测量元件同轴安装,则两光栅头同时输出两列电脉冲。如果被测齿轮与测量元件齿数相等,两个主光栅盘的刻线数又相同,则两列电脉冲的频率相等。经比相后,其相位差的变化即反映被测齿轮的误差。可由记录器绘出误差曲线。

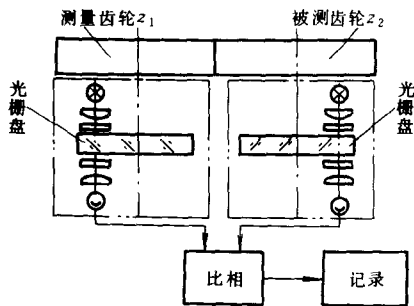


图 27.2-1 光栅式单啮仪基本原理图

被测齿轮和测量元件齿数不同时,两列电脉冲比相前应进行变频处理,使得变频后两列输出信号的理论频率相等,以适应不同齿数齿轮的测量。所以,应用不同的变频方法,采用不同的测量元件,便发展成不同测量原理的光栅式单啮仪。其中较典型的有:

- 1) CD320G-B 型光栅式单啮仪,是我国生产中应

用较广的单啮仪。仪器以测量蜗杆和被测齿轮啮合形式进行测量,采用两路分频方式进行变频。该仪器采用特殊结构的测量蜗杆时,可与被测齿轮进行全齿高啮合,成为整体误差单啮仪。仪器原理见图 27.2-2。

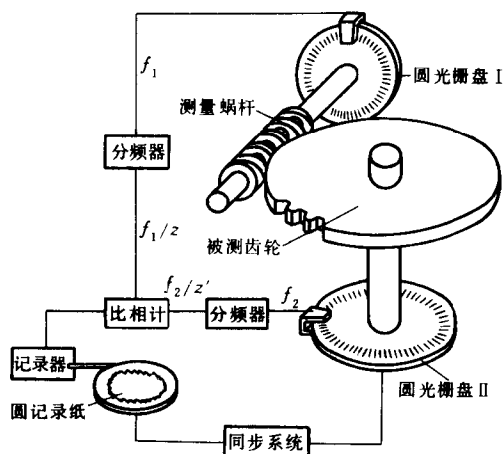


图 27.2-2 CD320G-B 型光栅式单啮仪原理图

2) CSF/2 (592) 型光栅式单啮仪, 是美国 Gleason-Goullder (原英国 Goullder-Mikron) 公司生产的。该仪器是以测量齿轮和被测齿轮相啮合的形式进行测量, 其变频方式为: 主动路采用锁相倍频器实现乘 z_1 的功能, 用数字式分频器实现除以 z_2 的功能。仪器原理见图 27.2-3。

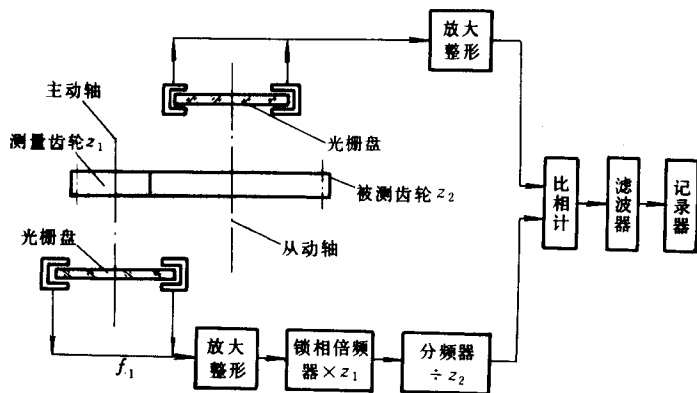


图 27.2-3 CSF/2 (592) 型光栅式单啮仪原理图

(2) 磁分度式单啮仪 磁分度式单啮仪与光栅式单啮仪的差别是以录有磁波的磁盘代替光栅盘, 用磁头代替指示光栅, 构成单啮仪的标准发信装置进行误差测量。

根据仪器对电磁感应信号的处理方法不同, 磁分度式单啮仪可分为分频式和差频式两种。

分频磁分度式单啮仪是用标准磁盘作为角度测量基准, 其测量原理与分频光栅式单啮仪基本相同。

差频磁分度式单啮仪是利用仪器本身的录磁系统, 根据被测齿轮齿数, 于测量前自行录磁, 并采用差频原理来消除录磁的分度误差。测量过程分为测量和录磁两步。

(3) 惯性式单啮仪 (又称地震仪式单啮仪) 惯性式单啮仪是利用惯性测振原理设计的。由主机、惯性式测振传感器、交流放大器及记录仪组成, 其测量原理见图 27.2-4。

被测齿轮 z_1 与测量齿轮 z_2 按理论中心距安装, 驱动系统使主轴 I 主动回转, 通过 z_1 与 z_2 啮合传动, 把轴 I 的运动传至轴 II。如果驱动装置的速度绝对稳定, 测量齿轮的误差也予以忽略, 则可由轴 II 上的惯性式测振传感器 D_2 直接测出被测齿轮误差。实际上驱动系统速度不可能绝对稳定, 造成轴 I 回转不均匀, 所以必须在轴 I 上安装传感器 D_1 。则 D_2 输出信号通过速比电位器乘以 $i \left(i = \frac{z_2}{z_1} \right)$, 再与 D_1 输出信号同时输入运算放大器进行求差, 即可获得齿轮运动误差曲线。

惯性式单啮仪的发信装置是惯性式测振传感器。它是借助一个有磁滞阻尼的单自由度扭转惯性系统, 将高频的 (高于自身固有频率的) 回转不均匀扭振形成惯性与主体的相对角位移, 然后转变成电信号输出的。

各类单啮仪的特点和适用范围见表 27.2-2。

3. 单啮仪的型号及主要技术指标 (见表 27.2-3)

4. 单啮仪的选择

由表 27.2-2 和表 27.2-3 可见, 光栅式单啮仪的优点较突出, 国内外均已正常生产, 并发展了多个品种规格。国产的光栅式单啮仪大多采用蜗杆作为测量元件, 仪器结构简单、操作方便、测量效率高、不要求恒温、测量精度不亚于国外同类产品, 除能进行 $\Delta F_i'$ 和 $\Delta f_i'$ 的测量外, 采用特殊结构的测量蜗杆和“单面啮合间齿测量法”, 可以进行齿轮整体误差曲线的测量, 从中可以读出多种误差项目。因此, 国产光栅式单啮仪既可作为验收检测, 又便于进行工艺误差分析和齿轮传动质量的分析, 实现了一机多用。

惯性式单啮仪主要用于齿轮副的测量。其传感器

拆下后,还可用于机床传动链的高频误差测量。国内也有产品提供。

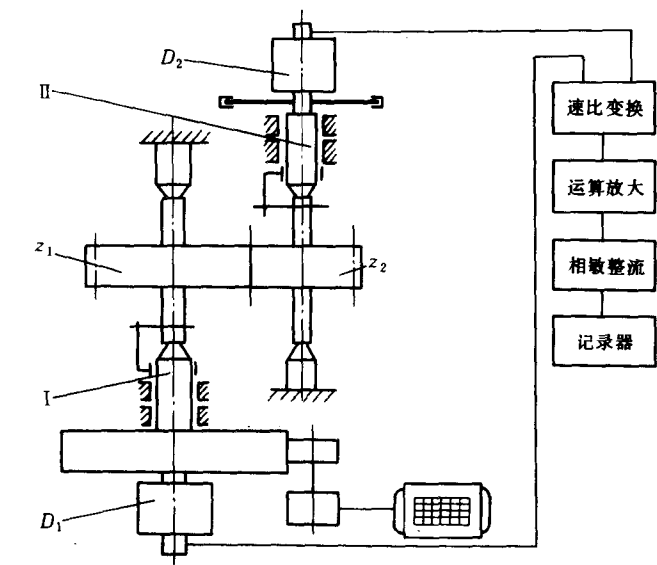


图 27.2-4 惯性式单啮仪原理图

5. 单啮仪的检定方法

以应用最广的光栅式单啮仪为例来说明。

单啮仪是一种动态测量仪器,其光栅头是仪器的高精度动态测角装置。由于目前尚无足够高精度的动态角度基准进行精度传递,所以一般以测量下列三项误差作为仪器考核的主要指标。

(1) 仪器的示值变动性 检定目的是测定仪器的稳定性。检定方法是将被测齿轮在同一次安装下,连续测量 5~10 周,其误差值的最大分散性即为仪器的示值变动性。

仪器的示值变动性可以反映出仪器的轴系晃动、电器部分工作不稳定的因素及环境对测量的影响等。

(2) 被测齿轮多次转位的不重复性(称齿轮轴转位误差) 检定目的是测定仪器齿轮轴分度系统的误差。检定方法是将被测齿轮相对光栅盘进行八次转位测量,求八次测出的最大差值,即为齿轮轴的转位误差。

表 27.2-2 各类单啮仪的特点和适用范围

类型	特 点	适用范围
机械式	优点: 操作容易、维护方便 缺点: 1) 精度低 2) 双节圆盘式、直尺圆盘式、中间齿轮式万能性差 3) 正弦尺式、双蜗轮副式、锥度滚子式的结构复杂、成本高	因精度低、使用不便而未能正常应用于生产
光栅式	优点: 1) 精度高 2) 万能性强 3) 结构较简单,使用维护较方便,体积小 4) 光栅盘无磨损,寿命长 5) 信号强,工作稳定可靠 6) 便于进行齿轮整体误差曲线的测量 缺点: 测量元件精度对测量精度影响较大	适用于车间或计量室,是目前国内外应用最广的单啮仪 可用精密蜗杆或精密齿轮作为测量元件
磁分度式	优点: 1) 精度高,万能性强 2) 分频式结构较简单;差频式不需要专用的精密录磁设备 3) 也可进行齿轮整体误差曲线的测量 缺点: 1) 信号弱,易受外界电磁场干扰,可靠性差 2) 分频式磁盘寿命低,易失磁;差频式仪器结构复杂、庞大 3) 测量元件精度对测量精度影响较大	目前使用很少
惯性式	优点: 1) 不需要高精度基准分度盘 2) 万能性强 3) 装调方便 4) 便于进行 Δf_i 的高精度测量 缺点: 1) 因惯性式传感器的固有频率不易降低,而不能测量低速运动机构的低频误差 2) 不宜采用蜗杆作为测量元件	适用于以齿轮作为测量元件的单啮仪,可进行齿轮配对测量。目前使用很少

表 27.2-3 单啮仪的型号和主要技术指标

序号	仪器型号、名称	生 产 厂	可测误差项目	主要技术指标	特 点
1	CD320G-B 型 光栅式齿轮单面啮合测量仪 (此外,还生产出了 CD320G-C 型)	北京量具刃具厂	采用单头测量蜗杆,可测得 $\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$ 采用特殊结构测量蜗杆,可测得截面整体误差曲线,从中主要可读取 $\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$ 、 ΔF_p 、 Δf_{pt} 、 Δf_{pb} 和 Δf_f	$m=0.5\sim 6\text{mm}$ $d_{\max}=320\text{mm}$ $\beta=0^\circ\sim\pm 45^\circ$ 精度:齿距误差 3 级 其他误差 5 级	1) 光栅式 2) 测量蜗杆、间齿测量 3) 分频、数字比相 4) 长、圆周步记录仪 (CD320G-C 型可绘制彩色误差曲线图,还可自动打印出六种误差数值)
2	CD320W 型 万能式齿轮单面啮合测量仪	北京量具刃具厂	采用单头测量蜗杆,可测得 $\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$ 采用特殊结构测量蜗杆,可测得全齿宽整体误差曲线,从中主要可读取 $\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$ 、 ΔF_p 、 Δf_{pt} 、 Δf_{pb} 、 Δf_f 、 ΔF_β 、 ΔF_h 和 ΔF_{px}	$m=0.5\sim 6\text{mm}$ $d_{\max}=320\text{mm}$ $\beta=0^\circ\sim\pm 45^\circ$ 精度:齿距类误差 3 级 齿形误差 5 级 齿向误差 5 级	是全齿宽整体误差单啮仪,与 CD320G-B 型的不同点是: 1) 以长圆光栅为基准,采用连续演算补偿附加转角的原理进行全齿宽整体误差曲线的测量 2) 可自动标定齿形误差曲线的起止点
3	CZ450 型单面啮合整体误差测量仪	成都工具研究所	采用单头测量蜗杆,可测得 $\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$ 采用特殊结构测量蜗杆,可测得全齿宽整体误差曲线,从中主要可读取 $\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$ 、 ΔF_p 、 Δf_{pt} 、 Δf_{pb} 、 Δf_f 、 ΔF_β 、 ΔF_h 和 ΔF_{px}	$m=0.5\sim 6\text{mm}$ $d_{\max}=450\text{mm}$ $\beta=0^\circ\sim\pm 45^\circ$ 精度:齿距误差 3 级; 其他误差 5 级	1) 光栅式 2) 测量蜗杆、间齿测量 3) 计算机数据处理,自动打印误差数值和绘制误差曲线 4) 可自动标定齿形误差曲线的起止点 5) 可用单测头单独测出齿向误差曲线
4	GCD300 型 惯性式单啮仪		$\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$	$m=1\sim 6\text{mm}$ $d_{\max}=200\text{mm}$	1) 齿轮作为测量元件 2) 便于 $\Delta f'_i$ 的高精度测量和成对齿轮的测量
5	GCD700 型 惯性式单啮仪			$m=1\sim 10\text{mm}$ $d_{\max}=300\text{mm}$	
6	CSF/2 (592) 型光栅式单啮仪	Gleason-Goulder (Goulder-Mikron)	$\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$	$d_{\max}=430\text{mm}$ $z_1=2\sim 300, z_2=10\sim 999$ 圆光栅精度 $\pm 2''$	1) 齿轮作为测量元件 2) 可测圆柱齿轮、锥齿轮
7	UFP100 (595) 型 万能小模数单啮仪			$d_{\max}=150\text{mm}$ $z_1=1\sim 270, z_2=1\sim 999$ $m=0.085\sim 1.5\text{mm}$	1) 可测圆柱齿轮、锥齿轮、蜗杆副 2) 光栅式
8	PSKE900 型光栅式单啮仪	德国 Klingenberg	$\Delta F'_i$ 、 $\Delta f'_i$	中心距 $=900\text{mm}$ 可测 $i=1\sim 999$ 光栅头精度 $\pm 1.5''$	1) 齿轮作为测量元件 2) 可测圆柱齿轮、锥齿轮
	ToslMo-200 磁分度式单啮仪	捷 克 TOS		中心距 $=200\sim 1100\text{mm}$ 可测 $i=20\sim 2000$	1) 磁分度式 2) 蜗杆作为测量元件
9	ToslMo-DK40 磁分度式单啮仪			中心距 $=62\sim 400\text{mm}$ 可测 $i=0.1\sim 10$	3) 可测圆柱齿轮及蜗杆副

(3) 测量蜗杆多次转位的不重复性 (称蜗杆轴的转位误差) 检定目的是测定仪器蜗杆轴分度系统的误差。检定方法是将测量蜗杆相对光栅盘进行四次转位测量,求四次测出的最大差值,即为蜗杆轴的转位误差。

6. 误差曲线分析

单啮仪有长、圆两种记录方式。图 27.2-5a、b 分别为长、圆记录的运动误差曲线 (或称切向综合误差曲线)。

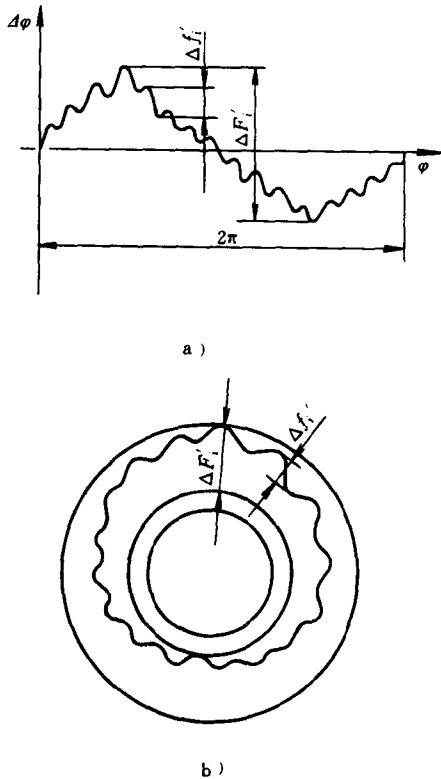


图 27.2-5 运动误差曲线图
a) 长记录 b) 圆记

在运动误差曲线上,被测齿轮一转范围内的最大转角误差,为切向综合误差 $\Delta F'$; 在被测齿轮一齿距角内,回转角误差的最大值,为一齿切向综合误差 $\Delta f'$ 。 $\Delta F'$ 直接反映齿轮传递运动的准确性; $\Delta f'$ 较直接反映齿轮传动的平稳性。

如图 27.2-6 所示,运动误差曲线是由不同频率的周期误差所组成的综合误差曲线。因此,采用谐波分析方法可将其分解成若干不同周期的谐波误差,根据误差的周期可以找出各次谐波误差的根源。

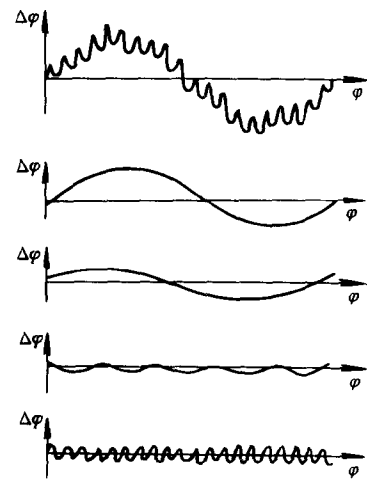


图 27.2-6 运动误差曲线的分解

1.1.3 测量元件

测量元件的种类决定着单啮仪的结构和性能。测量元件的制造精度对单面啮合综合测量的结果有直接影响。因此,测量元件的制造允差应控制在被测齿轮制造公差 1/4 以内,一般测量元件的精度应比被测齿轮精度高 2~3 级。

目前单面啮合综合测量所用的测量元件主要有二种:测量齿条、测量齿轮和测量蜗杆,其特点和适用范围见表 27.2-4。

表 27.2-4 各种测量元件的特点及适用范围

测量元件种类	特 点	适 用 范 围
测量齿条	1) 加工困难 2) 受结构限制,齿条尺寸不能太大,齿数不能太多,因此所测齿轮范围受到很大限制	很少应用,只在少数小模数单啮测量装置中应用
测量齿轮	1) 测量过程接近于工作过程,并可在全齿宽上测量。齿向误差,脏物、齿面损坏、毛刺等均能反映在测量结果中。所以更适合于齿轮的验收检测 2) 测量直齿轮时不产生轴向力。比用测量蜗杆测量薄片齿轮和软齿轮优越 3) 能进行双联齿轮和齿轮副的测量 4) 磨损小,使用寿命长 5) 测量齿轮的制造误差对被测齿轮 ΔF_p 的测量有直接影响 6) 万能性不如测量蜗杆	适于齿轮的验收检测;更适合于薄片齿轮和软齿轮的测量;是唯一能进行双联齿轮和齿轮副测量的元件

(续)

测量元件种类	特点	适用范围
测量蜗杆	1) 制造误差对被测齿轮 ΔF_p 的测量几乎没有影响 2) 可测到齿轮的渐开线长度较长, 并可通过改变中心距进行调整 3) 与被测齿轮啮合是点接触, 因此轮齿的局部损伤及齿向误差不会影响测量结果, 对脏物不敏感, 便于误差分析 4) 磨损大 5) 同一模数的直齿、斜齿圆柱齿轮可用同一测量蜗杆, 万能性强	应用最广 我国生产的单啮仪多数都采用测量蜗杆 是整体误差单啮仪较理想的测量元件

1.2 双面啮合综合测量

1.2.1 双面啮合综合测量法

齿轮的双面啮合综合测量是指被测齿轮与理想精确的测量齿轮作无侧隙的双面啮合转动时, 测量其中心距的变动量 (称为双啮中心距变动量), 由记录器绘出误差曲线或由指示表指示出误差数值。双啮中心距变动量是被测齿轮多种单项误差综合作用的结果。

双面啮合综合测量的优缺点:

1) 所用仪器简单、测量效率高、要求计量人员技术水平不高、对环境无严格要求 便于使用和维护。

2) 只能反映齿轮的径向误差 (包括毛刺和碰伤所引起的误差), 但由于径向误差往往是生产过程中最不稳定的因素 (如齿坯和刀具安装偏中心等), 所以在正常生产情况下, 当加工机床和刀具精度较高时, 对于中、低精度的齿轮, 双啮测量法仍能达到较好的控制齿轮质量的目的。

3) 测量状态与齿轮实际啮合状态不符, 测量结果是轮齿左、右齿面误差的综合反映。

总之, 双面啮合综合测量法仍是齿轮测量中用以综合反映使用质量的常用方法, 尤其适用于成批、大量生产时作为车间现场测量与工艺监控。

1.2.2 双啮仪

双面啮合综合测量所用的仪器, 称为双面啮合综合测量仪 (简称双啮仪)。

(1) 双啮仪的种类 双啮仪按其用途可分为三类:

1) 供实验室及小批生产使用, 其特点是附件多、万能性强, 可对不同尺寸及不同类型齿轮进行测量。大部分仪器配有记录装置, 不少还配有计算机, 用作测量

数据的处理和统计分析。

2) 生产车间使用的专用仪器或装置, 其特点是仪器结构简单、使用方便、有良好的稳定性和较高的测量效率。通常用指示表读取误差数值。

3) 用于齿轮生产线、自动线上的双啮自动测量仪, 其特点是被测齿轮由机械手送到测位, 检测分选结果可以进行数字显示和分选, 全部测量过程由计算机自动控制, 能实现对齿轮加工误差的诊断。

(2) 双啮仪的基本结构及工作原理如图 27.2-7 所示, 底座上装有可调滑座 (安装被测齿轮) 和测量滑座 (安装测量齿轮), 通过手轮、丝杠将可调滑座调至所需位置后固定, 测量滑座借助弹簧的作用保证被测齿轮与测量齿轮实现无侧隙啮合。由于被测齿轮综合误差的影响, 中心距 a 在不断变化, 用传感器可测出 a 的变化值, 由记录器可绘出如图 27.2-8 所示的双啮误差曲线, 或由指示表示出误差数值。

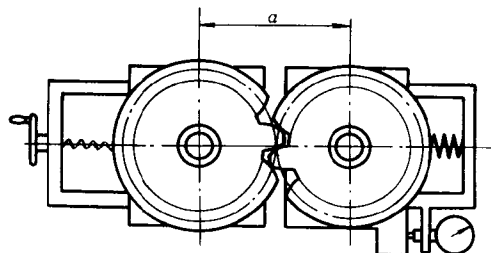


图 27.2-7 双啮仪的基本结构及工作原理图

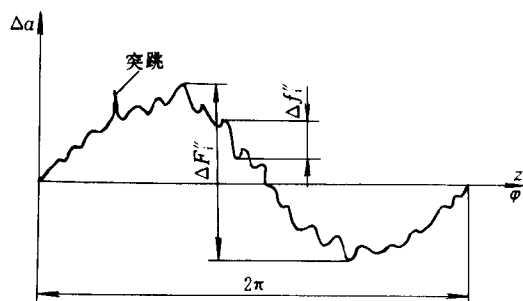


图 27.2-8 径向综合误差曲线图

(3) 双啮仪的型号和主要技术指标 其型号和技术指标见表 27.2-5。

(4) 双啮仪的选择 双啮仪测量效率高、结构简单、便于自制和使用维护, 对环境无严格要求, 但因它只能反映齿轮的径向误差, 所以主要用于成批生产的齿轮生产车间作为中等精度以下齿轮的验收检测。

我国主要量仪生产厂均有产品出售, 其性能和国外同类产品相当, 可满足用户需求。

表 27.2-5 双啮仪的型号和主要技术指标

序号	仪器名称、型号	生产厂	主要技术指标	特 点
1	3101 系列中模数 齿轮双啮仪	哈尔滨量具刀具厂	$m=1\sim 10\text{mm}$ $d_{\max}=200\text{mm}$ 中心距 $=50\sim 320\text{mm}$	1) 可测带孔、带轴圆柱齿轮, 并带有测锥 齿轮、蜗杆副和直齿轮测斜齿轮附件 2) 手动测量、指示表读数
2	SNY-1 型台式中 模数齿轮双啮仪	成都量具刀具厂	$m=1\sim 10\text{mm}$ 最大中心距 $=300\text{mm}$	除指示表读数外, 还带两种误差指示附 件: 专用记录器和光电信号色灯装置
3	SN-2 型座式中模 数齿轮双啮仪		$m=1\sim 10\text{mm}$ 最大中心距 $=400\text{mm}$	1) 机动测量 2) 机械记录器记录
4	CA300 型中模数 齿轮双啮仪	北京量具刀具厂	$m=1\sim 10\text{mm}$ 最大中心距 $=300\text{mm}$	1) 可测带孔、带轴圆柱齿轮, 并带有测锥 齿轮和蜗杆副附件 2) 手动测量、指示表读数
5	CA120 型小模数 齿轮双啮仪		$m=0.2\sim 1\text{mm}$ $d_{\max}=120\text{mm}$	1) 可测带孔、带轴圆柱齿轮, 并带有缩小 中心距和直齿轮测斜齿轮等附件 2) 机动测量, 指示表读数, 可配带电感测 头和通用记录仪
6	小模数齿轮双啮 仪	上海量具刀具厂	$m=0.1\sim 1\text{mm}$ $d_{\max}=120\text{mm}$	带有齿形误差测量附件
7	1R (580) 型双啮 仪	美 国 Gleason- Goulder (原英国 Goulder- Mikron)	$m=0.15\sim 1.5\text{mm}$ 最大中心距 $=100\text{mm}$ $d_{\max}=89\text{mm}$	1) 指示表读数, 可配带电感测头和记录 仪 2) 机动测量 3) 仪器附件较多
8	1RL (581) 型双 啮仪		$m=0.15\sim 1.5\text{mm}$ 最大中心距 $=150\text{mm}$ $d_{\max}=89\text{mm}$	
9	2R (583) 型双啮 仪		$m=0.6\sim 6.5\text{mm}$ 最大中心距 $=229\text{mm}$ $d_{\max}=300\text{mm}$	
10	3R (584) 型双啮 仪		$m=0.6\sim 8.5\text{mm}$ 最大中心距 $=406\text{mm}$ $d_{\max}=455\text{mm}$	
11	4R (596) 型双啮 仪		$m=1.5\sim 12\text{mm}$ 最大中心距 $=810\text{mm}$ $d_{\max}=505\text{mm}$	
12	2WM (586) 型双 啮仪		$m=1.27\sim 6.4\text{mm}$ 最大中心距 $=269\text{mm}$ $d_{\max}=191\text{mm}$	1) 手动测量 2) 结构简单, 适于生产车间使用
13	2WH (585) 型双 啮仪		$m=1.27\sim 6.4\text{mm}$ 最大中心距 $=269\text{mm}$ $d_{\max}=191\text{mm}$	1) 机动测量 2) 结构简单, 适于生产车间使用
14	896 型双啮仪	德 国 Carl-Mahr	中心距 $=1\sim 80\text{mm}$	1) 可用蜗杆、齿轮二种测量元件 2) 记录器记录
15	898 型双啮仪		中心距 $\begin{cases} \text{B 型}=15\sim 175\text{mm} \\ \text{C 型}=25\sim 300\text{mm} \\ \text{D 型}=25\sim 600\text{mm} \end{cases}$	1) 有回转测量台附件, 可同时安装 6 个 齿轮 2) 测 $\Delta f_i''$ 、 $\Delta F_i''$ 、 ΔF_r 、 ΔF_p 、 Δf_p 的附件

(续)

序号	仪器名称、型号	生产厂	主要技术指标	特 点
16	200ZW400 型 630 双啮仪	德国 Höfler	40~200mm 中心距=55~400mm 70~630mm	1) 机动测量 2) 记录器记录
17	DAS-2 型双啮仪	瑞 士 Maag	中心距=50~600mm	1) 机动测量 2) 记录器记录
18	GTR-20 型 双啮 仪	日本 大阪精密	中心距=20~200mm	1) 机动测量 2) 记录器记录
19	ITW2826 型 双啮 仪	美国 Illinois	中心距=83~196mm	有误差数显装置, 以便分选
20	160 M11-320型双啮仪 400	前苏联 Ч113	25~160mm 中心距=50~320mm 40~400mm	记录器记录
21	5B-5029 型双啮仪		中心距=150~630mm	

(5) 双啮仪的检定方法 双啮仪的示值误差和示值变动性的检定, 最好用标准齿轮啮合转动的方法进行; 也可用标准偏心圆盘接触滚动的方法进行。

(6) 误差曲线分析 图 27.2-8 为双面啮合综合测量时的误差曲线, 称径向综合误差曲线。在此误差曲线上, 在被测齿轮一转范围内, 双啮中心距的最大变动量为径向综合误差 ΔF_r^* ; 在被测齿轮一齿距角内, 各齿双啮中心距变动量的最大值为—齿径向综合误差 Δf_r^* 。

ΔF_r^* 主要反映齿圈中心对基准轴线的偏心引起的整个齿圈上左右齿廓径向位置的最大误差, 是影响齿轮运动精度的主要误差项目之一。

Δf_r^* 主要是由相邻两齿廓的径向位置误差和左右齿廓形状误差的径向分量造成, 是影响传动平稳性的代用误差项目。

从径向综合误差曲线上分析各种单项误差是很困难的。

近年来, SPC 技术在双啮仪中得到应用, 它适用于批量生产中齿轮质量的管理和加工工艺过程的监控。

1.2.3 测量元件

双面啮合综合测量所用的测量元件与单面啮合综合测量的基本相同 (见表 27.2-4), 只是齿厚较厚, 并有一定的尺寸要求, 以保证测量时的啮合角。

双啮测量中, 测量齿轮用得最多。

为了在双啮综合测量中, 测出度量中心距在一齿转角的最大变动, 常改变测量元件的齿形角或将其加工成变位齿轮, 以便使齿轮测量时的啮合角与加工时

的啮合角错开相当于周期误差 $1/4$ 周期的角度 $\Delta\alpha_{\text{啮}}$ (rad), 即

$$\Delta\alpha_{\text{啮}} = \frac{1}{4} \frac{2\pi z_1}{z_2} \quad (27.2-1)$$

式中 z_1 ——齿轮加工机床分度蜗杆头数;

z_2 ——齿轮加工机床分度蜗轮齿数;

$\alpha_{\text{啮}}$ ——测量时的啮合角。

2 齿轮单项误差的测量

齿轮单项误差的测量是指对齿轮的每一个由齿轮精度标准所规定的被测几何参数单独进行测量。

GB10095—88 中规定的齿轮单项误差有 12 项: ΔF_p (ΔF_{pk})、 ΔF_r 、 ΔF_w ; Δf_f 、 Δf_{pt} 、 Δf_{pb} 、 $\Delta f_{t\beta}$; ΔF_{β} 、 ΔF_b 、 $\Delta F_{p\tau}$; ΔE_s 和 ΔE_w 。其中 ΔF_p (ΔF_{pk}) 与 Δf_{pt} 、 ΔF_w 与 ΔE_w 的测量方法相同, 可同时测量, 并可在一次数据处理中获得, 故一并叙述。

齿轮单项误差的测量有二个用途: 一个是为查明产生误差的工艺原因, 然后予以修正; 另一个是用控制工艺误差来控制 and 评定齿轮精度。

2.1 齿距误差的测量

GB10095—88 中反映齿轮各轮齿间分度均匀程度的误差项目有齿距累积误差 ΔF_p (ΔF_{pk}) 和齿距偏差 Δf_{pt} , 统称齿距误差。

ΔF_p 是指分度圆上 (允许在齿高中部), 任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长的最大差值。 k 个齿距累积误差 ΔF_{pk} 是 k 个齿距间的实际弧长与公称弧长的最大差值。

Δf_{pt} 是指分度圆上 (允许在齿高中部), 实际齿距

与公称齿距之差。

国外某些齿轮精度标准中还规定有相邻齿距差 Δs_k 和任意齿距差 Δs 。

Δs_k 是指相邻两个齿距之差。

Δs 是指被测齿轮圆周上最大齿距和最小齿距之差。

从上述定义可知,各种齿距误差实际上只是各齿齿距偏差的不同处理结果而已,因此可在同一台仪器上测出。

齿距误差的测量方法一般分为两类:相对测量法和绝对测量法。

2.1.1 相对法测量齿距误差

1. 相对测量法

相对测量法用两个测量头,它是以齿轮上任一个齿距(或相邻几个齿距之和)为基准来调整仪器零位,依次测量其他齿距相对于基准齿距的差值,经数据处理,求得齿距偏差和齿距累积误差等。

根据测量时两个测头所跨的齿距数不同,相对测量法又分为单齿测量法和跨齿测量法。

相对测量法的特点是:采用两个测头,直接测出齿距不均匀性,而不追求齿距实际数值的大小;仪器结构简单,不必具备角度基准,容易实现大齿轮的上置式测量;但测量误差随齿数增多而增大。因此被测齿轮齿数多时,经常采用跨齿测量法来减小测量误差。

相对测量法的极限误差可按下式计算:

$$3\sigma = \pm \frac{\sqrt{z}}{2} (i+k) \quad \mu\text{m} \quad (27.2-2)$$

式中 z ——被测齿轮的齿数,对于跨齿测量,则为分组数;

i ——仪器的示值变动性 (μm);

k ——被测齿面的表面粗糙度和波度 (μm)。

2. 相对式齿距仪

相对式齿距仪通常包括手提式齿距仪、万能测齿仪和两种形式的自动齿距仪,见表 27.2-6。

表 27.2-6 相对式齿距仪的种类

序号	仪器种类	特 点
1	手提式齿距仪(或称上置式齿距仪)	1) 仪器结构简单,可进行大齿轮的上置式测量,但数据处理工作量大,测量误差随齿数增多而增大 2) 两个测头:一个为固定测头,一个为传感器测头 3) 以齿顶圆或齿槽底圆为定位基准,定位误差大,测量精度低

(续)

序号	仪器种类	特 点
2	万能测齿仪	1) 以内孔为定位基准,定位误差较小,测量精度较手提式齿距仪高 2) 两个测头:一个为固定测头,一个为传感器测头 3) 数据处理工作量大,测量误差随齿数增多而增大
3	被测齿轮连续回转状态下进行测量的自动齿距仪	1) 仪器结构简单,容易实现大齿轮的上置式测量 2) 以内孔为定位基准,定位误差小 3) 通常两个测头全是传感器测头 4) 采用计算机进行数据处理和控制测量过程自动化,大大提高了测量精度和测量效率;此类仪器目前国内外发展较快
4	被测齿轮停转时进行测量的自动齿距仪	1) 需要分度机构,仪器结构较复杂 2) 以内孔为定位基准,定位误差小 3) 通常两个测头全是传感器测头 4) 测量精度和测量效率较高

(1) 手提式齿距仪(上置式齿距仪) 手提式齿距仪的工作原理见图 27.2-9。仪器附有两个定位爪,可将定位爪置于齿顶圆上定位进行测量(见图 27.2-9b);也可把定位爪置于齿槽底部的圆周上定位,进行测量(见图 27.2-9a)。后一种定位方式更不准确,目前已基本不用。

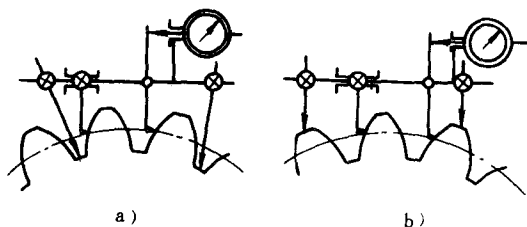


图 27.2-9 手提式齿距仪工作原理图

a) 以齿槽底圆定位 b) 以齿顶圆定位

(2) 万能测齿仪 在万能测齿仪上测量齿距误差,见图 27.2-10。测量时,为了使两个测头在被测齿轮分度圆附近与同名齿面接触,应调整仪器测量托架的径向位置及两个测头之间的距离。并在齿轮心轴上