

齿轮在线测量技术及应用设备

齿轮在线测量是指在齿轮的制造生产线上，对其加工质量(几何参数、精度参数指标、表面粗糙度等项目)进行检测的方法。它主要包括在机测量装置、分选设备、生产线上的各种检测仪器及器具。在线测量的根本目的有两点：调整机床的加工参数；大批量齿轮的筛选。针对不同的测量目的，使用的检测手段和方法各不相同。前者根据试件的检测结果，在短时间内完成对机床的各种加工参数优化调整工作。因此对其检测精度的要求比较高，广义上讲大多数的齿轮检测量仪、量具都可应用于此项目。而后者是对大批量加工完成后的齿轮质量进行判断，筛选出合格品。在保证测量精度的前提下，对检测效率提出更高要求。因此宜选用测量原理简单，检测装置相对不复杂，对生产现场环境要求不高，易于实现高效率、自动化的检测方法。下面重点介绍齿轮精度参数项目在线测量技术及仪器设备。

1 基于双面啮合的在线测量技术及设备

(1)测量原理

齿轮双面啮合的测量方法主要用于检验齿轮的径向综合偏差，其基本原理如图1所示，产品齿轮安装在固定轴上，测量齿轮装在浮动轴上，通过弹性装置使两个齿轮在径向紧密地啮合，转动产品齿轮一

周，中心距的最大变化量即为径向综合总偏差 F_i'' ，转过一个齿距角时中心距的变动量即为一齿径向综合偏差 f_i'' 。

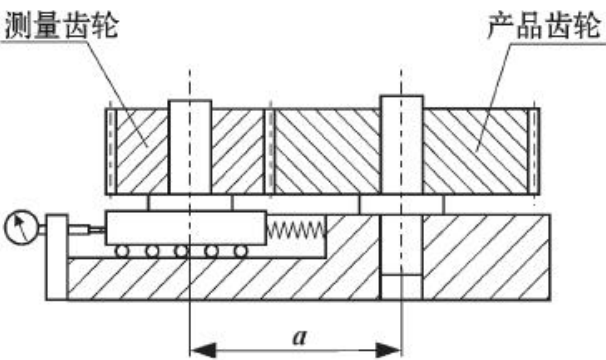


图 1 径向综合偏差测量原理图

径向综合偏差属于综合参数偏差(见图2)，可以看出曲线接近于正弦的形状，其幅值 f_e 为产品齿轮的偏心距， F_r'' 为由径向综合偏差所确定的径向跳动。此外，从图中还可揭示出齿廓偏差，较大的齿距偏差或损伤的轮齿。

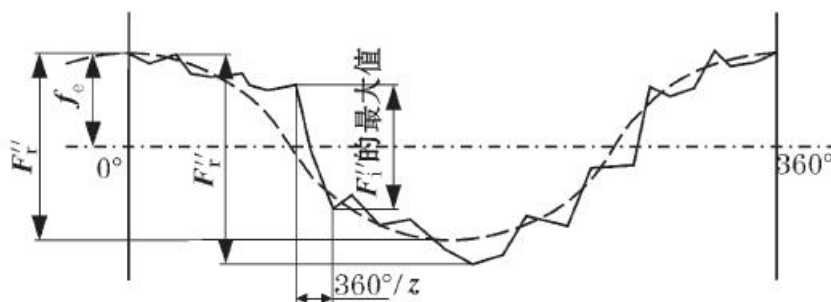


图2 径向综合偏差曲线图

(2)应用目的

双面啮合测量法可快速提供由于加工机床、工具或产品齿轮装夹等因素而产生的质量缺陷信息，

因此比较适合用于大批量生产的齿轮，以及细齿距(小模数)齿轮的检测。这些一维测量，测量装置简单测量效率高，便于实现自动化，可实现加工齿轮的100%检测，是常使用的在线测量法。

由于径向综合偏差包含了左、右侧齿面综合偏差的成分，因此，确定同侧齿面的单向偏差十分困难。测量齿轮的精度对检测结果的影响比较大，通常其精度应高于产品齿轮2个精度等级。

(3)主要仪器设备

采用双面啮合测量法的仪器主要是齿轮双面啮合综合测量仪(简称双啮仪)，按其数据输出方式的不同又可分为：纯机械式测量仪和智能型测量仪两种。

机械式测量仪测得的径向综合偏差值为指示表(或专用数显表)显示，根据其读数直接判断产品齿轮是否合格，但不能给出径向综合偏差曲线图和进行偏差分析。3101型齿轮双面啮合综合测量仪，其特点是：结构简单、手动操作方便、成本低，比较适合现场使用。

智能型双啮仪的测量过程是在计算机的控制下自动完成的，并可显示和打印输出径向综合偏差曲线图及径向跳动曲线图，还可自动判别并挑出齿面存在大毛刺的轮齿。3100A型智能齿轮双面啮合综合测量仪，其特点是：测量精度及自动化程度较高，比较适合需要给出检测报告的情况。

2径向跳动的在线测量技术及设备

(1)测量原理

齿轮径向跳动的测量原理如图3所示。用适当的测头(球形、圆柱形、砧形)，在齿轮转动的过程中相继地放置在每个齿槽中，相对于齿轮基准轴线的最大和最小径向位置之差即为径向跳动 F_r 。其值大体是偏心距 f_e 的2倍，再加上齿轮的齿距和齿廓偏差。图4是测量径向跳动的曲线图。

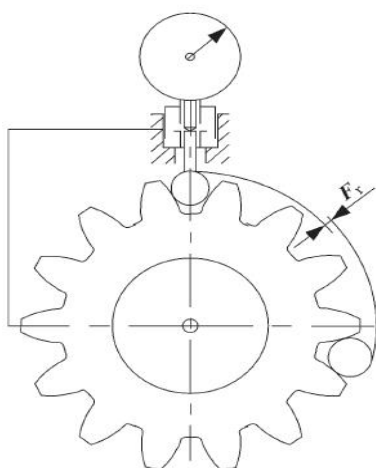


图3 径向跳动测量原理图

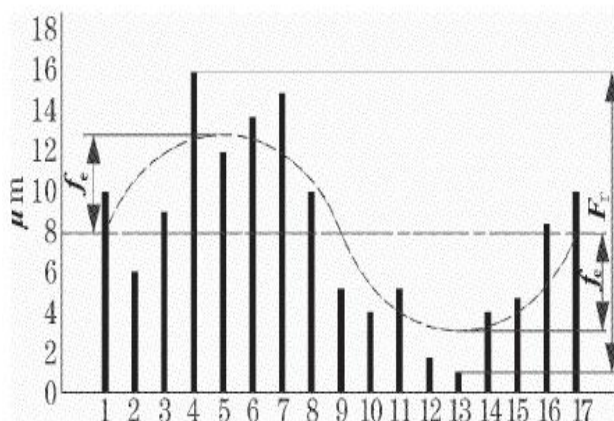


图4 径向跳动偏差曲线图

(2)应用目的

针对需要在最小侧隙下运行的齿轮及用于测量径向综合偏差的测量齿轮来说，控制径向跳动非常重要。同样，径向跳动反映的是双侧齿面的信息，单侧齿面偏差如齿距或齿廓偏差不能通过其获得。

虽然径向跳动的测量原理简单，实现方法众多，但在检测过程中需要有测头的进、退‘让齿’动作，因此其测量效率要低于双面啮合的测量方法，不适合大批量齿轮的在线检测。

(3)主要仪器设备

目前，径向跳动的检测仪器有纯机械式测量仪、自动测量仪和三坐标测量机等。

纯机械式测量仪的结构比较简单，手动操作，指示表显示，测量效率比较低，精度一般，如3602型齿轮径向跳动测量仪。自动测量仪是通过计算机控制实现测量过程，并能给出径向跳动偏差曲线图，测量效率和精度比较高。三坐标测量机的检测精度高，但成本高，效率低，对环境要求严格。因此，除三坐标测量机外，上述两类测量仪均可用于在线测量。

3 齿廓、螺旋线偏差在线测量技术及设备

(1)齿廓偏差测量原理

渐开线发生的原理是：一直线在圆周上作无滑动滚动时，直线上某一点所走的轨迹即为渐开线。

$$\widehat{AB} = AK$$

由图5可知，被测齿轮与基圆盘(其半径等于齿轮基圆半径)同轴，测头与直尺一起移动而且测头的工作点在直尺与基圆盘的切平面面上。测头在一定的工作压力下与被测齿轮齿面接触。当直尺与基圆盘作纯滚动时，测头相对于基圆盘(也就是相对于被测齿轮)走出了一条理论渐开线轨迹，它与被测齿轮的实际渐开线齿廓之偏差就能通过测头及其相联的指示系统显示出来。

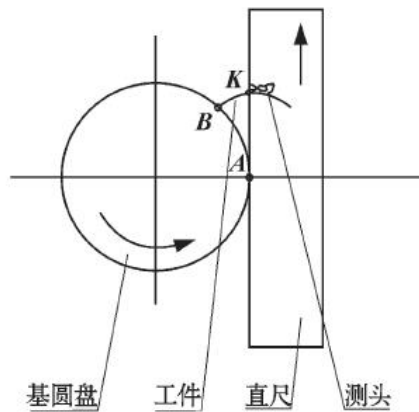


图5 渐开线齿廓偏差测量原理图

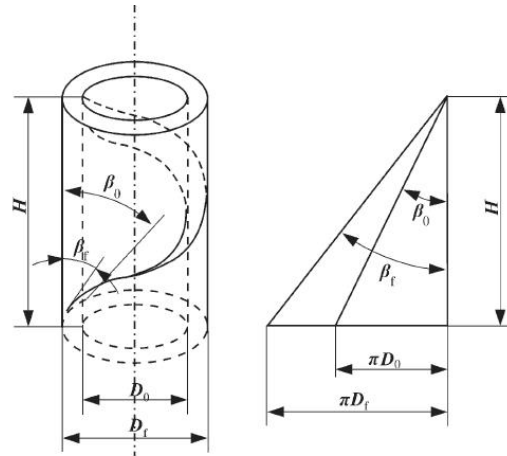


图6 螺旋线偏差测量原理

(2)螺旋线测量原理

螺旋线偏差测量的工作原理如图6所示。对于同一斜齿轮虽然螺旋角随着其半径不同而变化，但其导程是不变的，即

$$H = \frac{\pi D_0^2}{\tan \beta_0} = \frac{\pi D_f}{\tan \beta_f}$$

式中， h 为导程， D_0 为基圆直径， D_f 为分度圆直径， β_0 为基圆螺旋角， β_f 为分度圆螺旋角。

因此，只要使仪器根据上述关系形成一个标准螺旋线运动，其测头与被测工件的实际螺旋线表面接触。当测头走完一个行程(被测工件的齿宽)后，两者之差就能通过与它相联的指示系统显示出来。

(3)齿廓、螺旋线偏差在线测量的主要仪器设备3202G型高精度单盘渐开线检查仪，用于测量较高精度齿轮的渐开线齿廓偏差。由于该仪器结构为单盘纯机械式，结构简单，尺寸链短，工件装卡方便，性能稳定，所以能够达到很高的测量精度，被广泛应用于齿轮在线测量中。

3203 B型齿廓、螺旋线测量仪。它保留了单盘式仪器传动链短，结构简单、操作方便、精度高、性能稳定等特点。在一次装夹中即可测量渐开线齿廓偏差和螺旋线偏差。当被测齿轮基圆很小时，在直尺工作压力下，基圆轴容易变形。采用基圆盘辅助压紧机构，解决了小基圆工件测量时顶尖连线误差增大的问题。测头具有一定防撞功能，避免意外碰撞造成测头损坏的问题。该仪器采用微机控制，对齿廓、螺旋线运动采用自动测量，大大地减轻了操作人员的劳动强度。误差评值系统，可按国际新标准进行误差分离，微机对齿廓、螺旋线偏差随测随显，并自动处理测量结果。

上述两种仪器的共同特点是同为台式小型仪器，体积小、重量轻、安装、调整方便。由于需要通过更换基圆盘的方法来获得不同规格的理论渐开线，因此在测量某一工件的齿廓偏差时必须要有个与此对应的基圆盘。仪器主轴采用了“密植滚珠轴系”结构，转动灵活，没有问隙，刚性好。基圆盘、直尺及测量滑板导轨在同一水平面上，大大减少了直尺和基圆盘之间“打滑”现象，从而保证了测量精度。

4 结语

国外在线测量技术发展较快，尤其是工业发达的国家。以美国为例，据称相关的汽车齿轮生产厂全都装备有快速高精度齿轮检测仪器，对生产的齿轮进行在线100%的测量、监控与分选，以确保齿轮的质量。汽车齿轮检测仪器的自动化程度、功能、测量效率以及测量信息处理技术等，均处于领先地位；而目前国内齿轮生产厂大多采用传统的齿轮单项误差检测仪器，配以功能单一的传统双面啮合径向误差综合检查仪或齿廓、螺旋线测量仪对齿轮进行检测，水平较低。为提高产品质量和生产率，解决大批量成品齿轮的现场检测问题。本公司开发出3501型齿轮在线测量机。

3501型齿轮在线测量机是哈量集团与北京工业大学合作研制。针对传统的齿轮双面啮合测量技术，主要反映被测齿轮的径向偏差，很难获得轴向精度信息的问题。3501型齿轮在线测量机则克服了这方面的不足。该仪器采用齿轮双面啮合多维测量原理，在保持传统双啮测量优点的同时，能快速获得齿轮的轴向偏差信息，既解决了齿轮生产现场快速测量时对螺旋线测量的要求，也为传统的双啮测量技术开启了新的发展方向。