

# 高精度齿轮分度误差快速测量

顾 钟 秀

**摘要：**目前静态绝对法测量齿轮分度误差效率太低，特别对多齿数齿轮，往往由于测量时间过长，测试条件变化使测量难于成功。为了满足高精度、多齿数、中、小模数齿轮的测试需要，建立了一台高精度齿轮分度误差绝对法检测装置。其中着重研制了一种新型定位机构，使该装置测齿效率高，稳定性比较好和使用方便。本文概述了仪器组成部分并介绍了测试误差的试验、分析和计算。

测量齿轮分度误差的方法可分为动态测量和静态测量两种。动态测量的优点是效率高、操作方便。但是由于目前动态测量仪器如单啮仪、自动周节仪等又贵又少，精度还不一定高，因此很多场合静态测量还是比较主要的测量方法。静态测量分度误差，主要有绝对法和相对法二种。现有的相对测量法多半精度不够高，因为除与仪器精度及工件安装等有关外，还决定于被测齿轮的齿数。齿数越多，精度越低。其测量速度较快，数据处理较麻烦，因此应用上有一定限制。绝对测量法的精度取决于测角仪器的精度和测齿定位机构的精度，与被测齿数无关，数据处理又比较简便，因此，在高精度齿轮分度误差的测量中常选取此种方法。过去，我们实验室建立了经纬仪、回转台以及光学分度头等不同精度测角仪器，配上千分表或米尼表加杠杆测头定位，组成多种绝对法分度检测装置，以适应不同精度齿轮的测量。

在齿轮分度误差测量实践中，我们深感目前绝对法测齿分度误差效率太低，特别是对于多齿数齿轮，往往由于测量时间过长，引起测量条件的变化，而使测量难于成功。为了满足高精度、多齿数、中、小模数齿轮的测试需要，我们建立了一台高精度齿轮分度误差绝对法检测仪器（装置）。其中着重研制了一种新型的定位机构，使该装置测齿效率高、稳定性比较好，使用亦方便。

## 一、仪器组成

（一）基座和精密轴系 上顶尖与精密轴系为一体，连同下顶尖装在具有“T”型基座上的弓型架中。该装置采用了有5微米过盈量的密珠轴系。主轴下部凸台和轴套端面采用自制的滚珠上推轴承。圆周均布的四个弹簧，始终给主轴一个向上的推力，下顶尖可以升降，见图1。滚珠直径 $\phi 4.763$ 毫米，尺寸差控制在0.2微米。主轴下端的 $60^\circ$ 顶尖，是在与轴套、滚珠等组装后在平面磨床上磨制的，其顶尖部分对回转轴线的跳动为1微米左右。上下顶尖同心度调到5微米左右。

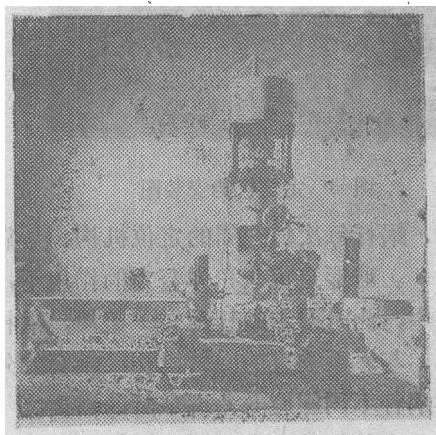


图 1 齿轮分度检查仪

(二) 光电传感器 角度数显仪及打印机：西德 OPTON 公司的 PAD05 型光电传感器借助专用装夹件并通过联轴节安装在主轴上端，光电传感器配用的角度数显仪及国产 LY4 型打印机组成自动读数系统。

(三) 测齿定位机构 这部份装在轴系右测的基座上，见图3。齿轮分度误差绝对法测试中，定位机构是个重要部份，它的结构与精度直接影响测齿效率和稳定性。如摆动式杠杆定位机构图4由于“分齿”与“定位”中齿轮有反转过程，致使效率很低。直线往复式定位机构，效率也不高。因此，我们在建立这套装置时，通过理论分析，自行设计研制了蜗杆、槽盘回转式定位机构。这机构有下列部份：

1. 装有蜗杆和槽盘的轴系：此轴系亦采用密珠结构，这轴的一头装蜗杆和槽盘，另一端部有手轮，手轮每转一周，蜗杆拨动齿轮转过一个牙齿。

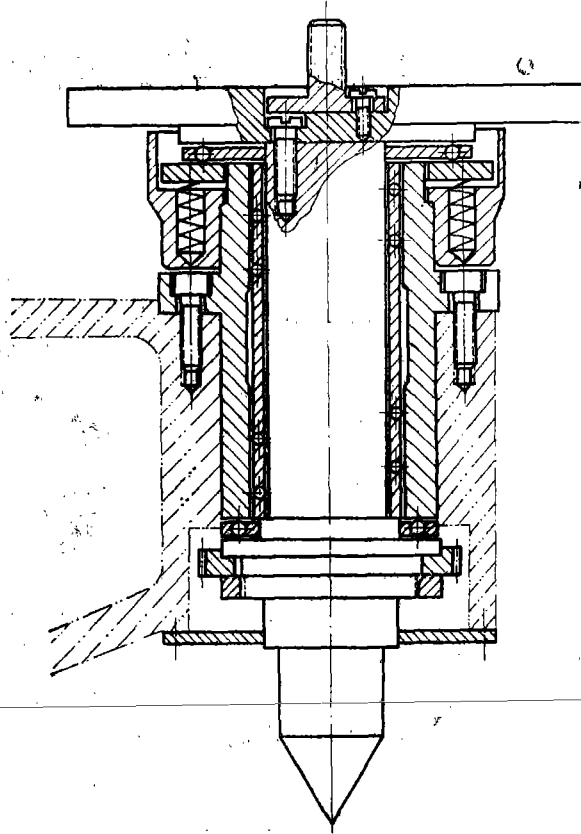


图 2 主轴结构示意图

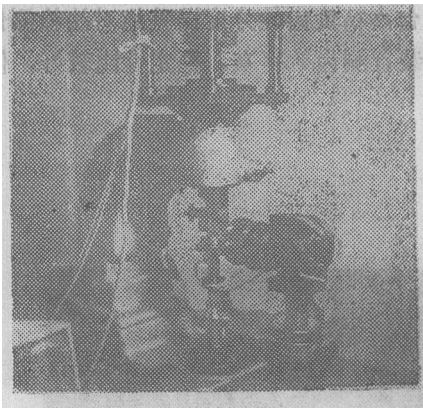


图 3 定位机构安装图

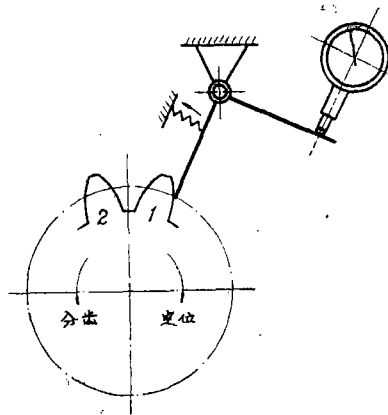


图 4 摆动杠杆定位机构示意图

2. 蜗杆每次转一周的定位机构：是靠同轴的槽盘和装有球形定位头的杠杆机构来实现的见图5。球形定位头在弹簧力的作用下，始终贴在槽盘外圆柱面上滑动，到  $90^\circ V$  型槽时则落入槽中，此时表示蜗杆运转一整周，蜗杆上渐开线螺旋面的固定点与齿轮齿面定好了位。

3. 与轴系垂直的回转机构：轴套的外壳体可以围绕垂直于轴系方向作小范围的转动，以适应蜗杆不同螺旋升角调整时的需要。

4. 定位架垂直和水平移动机构：以适应齿轮安装高度及直径变化的需要。使用这套定

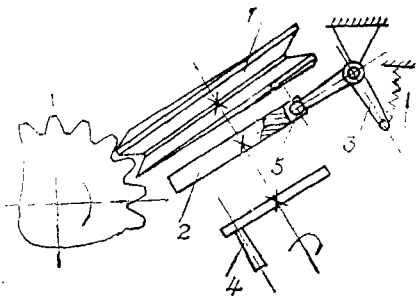


图 5 蜗杆槽盘回转定位机构示意图  
1蜗杆片 2槽盘 3杠杆机构 4手轮  
5球形定位头

位机构时，在齿轮轴上要附加一个固定的扭矩形成测量力，是用重块与滑轮来实现的。

蜗杆的安装位置应确保当滚子卡入V形槽中时，使蜗杆和被测齿轮的齿高中部附近接触，不允许有二对齿同时啮合。

测齿时，顺时针转手轮，当滚子卡入槽中，手放松，让它自由定位，记上显示器读数或按电扭打印记录。将手轮继续转动，滚子越出V形槽，即作第二齿的分齿与定位工作。此定位机构可比摆动杠杆式定位机构速度提高3—4倍，检验一个60牙齿轮仅需4分钟左右。这套装置比以前用经纬仪测角加摆动杠杆定位时提高测试速度10倍以上。

## 二、测试误差估算

以 $m = 0.5$ 、 $Z = 108$ 和 $m = 2$ 、 $Z = 60$ 二种齿轮为例，计算其测试误差。

光电传感器和连轴节一起的累积差为 $\pm 2''$ ，对齿轮累积差影响 $4''$ 。齿轮按装偏摆为1微米，对累积差影响1微米，对 $m = 0.5$ 、 $Z = 108$ 齿轮而言能产生 $7.64''$ 角误差，对 $m = 2$ 、 $Z = 60$ 齿轮而言能产生 $3.44''$ 角误差。传感器的小周期误差（传感器的最小读数值为 $0.5''$ ）由日常测试经验，估为累积差的一半，为 $4''/2 = 2''$ 。主要系统误差为以上诸项，其他如轴系，光电传感器的间隙，定位机构的弹性变形和灵敏阻滞、摩擦、测量力变化及环境影响等都可反映为测量方法的偶然误差。实验得出对 $m = 0.5$ 、 $Z = 108$ （ $d_f = 54$ 毫米）齿轮，测量方法分散性的极限误差为 $\pm 2''$ ；对 $m = 2$ 、 $Z = 60$ （ $d_f = 120$ 毫米）齿轮，测量方法分散性的极限误差为 $\pm 1''$ ，所以该装置测量周节累积误差和周节偏差的总误差为：

测 $m = 0.5$ 、 $Z = 108$ 齿轮时，

$$M_{\text{累积}} = \sqrt{4^2 + 7.64^2 + 2 \times 2^2} = \pm 9.1''$$

$$M_{\text{周节}} = \sqrt{2^2 + 2 \times 2^2} = \pm 3.5''$$

测 $m = 0.2$ 、 $Z = 60$ 齿轮时，

$$M_{\text{累积}} = \sqrt{4^2 + 3.44^2 + 2 \times 1^2} = \pm 5.5''$$

$$M_{\text{周节}} = \sqrt{2^2 + 2 \times 1^2} = \pm 2.5''$$

从理论计算得出： $m = 0.5$ 、 $Z = 108$ 齿轮的 $M_{\text{累积}} = \pm 9.1''$ ，即齿轮不同位置安装测量累积差，其差值可达的 $18.2''$ 。为了验证此值是否符合实际情况，将 $m = 0.3$ 、 $Z = 172$ 齿轮作8次不同安装位置的16次测量，所得各累积误差值中最大和最小的差值为 $13.5''$ ，满足在 $\pm 9.1''$ 内，验证了理论分析基本合理。对周节差的极限误差和日常测量数据比较也是合理的。

上述二种齿轮，其精度要求为西德DIN3962~3967中的2级，周节累积误差和周节偏差的公差值列入表1，测量误差所占比例（ $\eta = \frac{\text{极限误差}}{\text{制造公差}}$ ）亦列入表1中。由 $\eta$ 值可知，该装置基本能满足该二种齿轮的分度误差测试。亦即认为，该仪器基本上能满足 $d_f = 120$ 毫米左右以下的DIN3962~3967标准的2级精度圆柱直齿轮的分度误差测量。

表 1

	$m = 0.5$ $Z = 108$		$m = 2$ $Z = 60$	
	公差值	精度系数	公差值	精度系数
周节累积误差	$6\mu(46'')$	$\eta = \frac{9.1''}{46''} = 20\%$	$6\mu(21'')$	$\eta = \frac{5.5''}{21''} = 26\%$
周节偏差	$\pm 1.5\mu(\pm 11.5'')$	$\eta = \frac{3.5''}{11.5''} = 30\%$	$\pm 2\mu(\pm 6.8'')$	$\eta = \frac{2.5''}{6.8''} = 36\%$

## 结 语

为了研制高精度齿轮，建立了一台齿轮分度误差测量装置。装置主要由仪器基座、精密主轴轴系和新型快速定位机构组成，并配备有西德OPTON公司的PAD05型光电传感器、角度数显仪及上海电表厂的LY 4型数字打印机。该装置在实验室内经过实验与使用表明，测试效率高，稳定性好，使用方便。

仪器尚须人工操作，有待于发展成自动测量仪器。目前，存在操作技术要求高，测量力使用不当时，齿面上会留有磨痕等缺点，待改进。