

第10章 分度蜗轮副的修复技术

刘 弹 军

分度蜗轮副主要用于机床的分度机构、读数机构或类似的机构中,分度蜗轮副精度要求极高,且制造周期长、成本高,需用一系列专用高精度刀具和机床来制造,因此,蜗轮副的修复就显得格外重要。

第1节 分度蜗轮副的测量

(一) 分度蜗轮副的综合测量

1. 用试切样品齿轮来估计分度蜗轮副的运动精度

这种方法实质上是对机床分齿传动链的传动误差的鉴定。在机床分度传动链的误差中,蜗轮副的运动误差占很大比例。若在试切过程中尽力消除其他工艺因素(如刀具、夹具、轮坯的制造和安装误差等)对样品加工的质量影响,仍可按试切样品齿轮的误差规律来分析和估算切齿机床分度系统的运动误差。所以这种方法还广泛用于机床的修前预检和修后验收工作中。

样品齿轮选用什么检验组合,要视工厂具备的检验仪器类别和精度等级,按新齿标GB10095—88的规定,在每个公差组中选一个检验组来检定。

测得的样品齿轮的径向误差,主要是由齿坯的制造偏差及切齿时齿坯在机床上的安装几何偏心 e_j 造成的。几何偏心 e_j 与齿圈径向跳动 ΔF_r 的关系如下

$$\Delta F_r = 2e_j$$

所以,要严格控制齿坯的安装精度,使齿坯基准孔几何轴线与切齿机工作台旋转轴线近于绝对重合,以减小 ΔF_r 值。反之,提高安装精度后,切齿后仍有以一转为周期的 ΔF_r 存在时,则说明工作台旋转存在周期性摆动。

测得的样品齿轮的切向误差,主要是由切齿机床的分度蜗轮制造精度和它在工作台(或主轴)上的安装精度引起的。

因分度蜗轮不可避免地存在着齿距累积误差 ΔF_p ,在装配中存在着安装偏心误差。所以当它工作时在一转内角速度会发生变化,此时刀具的转速不变,因而破坏了原有的正常展成关系,这时便会引起被切齿轮公法线长度变动。这种因切齿机床运动链误差而引起的偏心被称为运动偏心 e_k 。

运动偏心不同于几何偏心,有运动偏心的齿轮,其基圆对它的基准孔并无偏心,只是公法线长度产生变动。故运动偏心只是说它相当于存在偏心,而不是一个实际的几何量,关于这个问题将在后面篇章中说明。

存在运动偏心的切齿机床在试切样件齿轮时,产生公法线长度变动 ΔF_w ,而不产生齿圈径向误差 ΔF_r 。运动偏心 e_k 与 ΔF_w 的关系式为:

$$\Delta F_w = 4e_k \sin \alpha_0$$

上述介绍说明选用 ΔF_r 和 ΔF_w 的检验组,不仅检测简便,其检测数据还较直接地反映了工艺因素和机床误差,建议优先选取。

测量公法线长度变动时,应严格地按图10-1-1将两个平行测量平面与齿轮左右齿廓相切,测量法

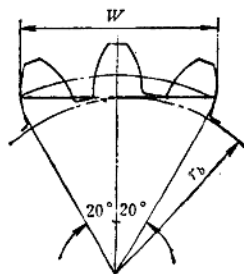


图10-1-1 齿轮公法线长度

线长度变动。若样品为 $\alpha = 20^\circ$ 的非变位直齿轮, 理论的跨越齿数应为 $z/9 + 0.5$, 否则不是增大就是缩小了公法线长度变动误差, 导致做出错误的判断。

样品齿轮的齿形误差不仅与机床的周期误差有关, 而且受切齿刀具等工艺因素的影响较大, 要辨别引起误差的原因及各因素的影响程度很不容易。

对于连续滚切的机床, 它的周期误差是指分度链中分度蜗杆在转一转内重复出现的误差, 即以分度蜗杆一转为周期性的转角误差。具有周期误差的机床, 在切制直齿齿轮时会引起波形齿形误差, 切斜齿轮时会引起螺旋面波形误差。为使样品齿轮能充分反映机床的周期误差, 宜选用直径较大的试切齿坯。

为了使滚齿机分度链的周期误差能充分反映到样品齿轮上去, 所选样品齿轮的齿数应与分度蜗轮的齿数成 2、2/3、2/5、2/7 等倍数。

滚齿机分度链的传动误差, 反映在样品齿轮上时, 一般产生以一转为周期的 (如正弦波) 切向误差, 它主要是由分度蜗轮的齿距累积误差造成的。若测得的样品齿轮累积误差曲线在 360° 范围内有周期为 2~4 次波时, 主要是由于工作台转动时定位不准 (如晃动) 造成的。

圆锥齿轮的检验通常采用综合测量及评定接触质量和噪音的方法, 有条件时, 也可做齿距累积误差和齿距偏差的检验。

插齿机切出的样品齿轮的 ΔF_w , 除受分度蜗轮的影响外, 还受插齿刀和插刀分齿蜗轮的齿距累积误差的影响。尽管在插齿时选用了合格的插齿刀及精确的装夹, 要区分样品齿轮的累积误差是由那个蜗轮引起的, 仍需在插齿时变动装夹位置及两蜗轮的相互位置, 做数次试切才能做到。

图 10-1-2 是插制四件样品齿轮时刀具和工作台相对位置互相变更的情况。a、b 图中的加工开始

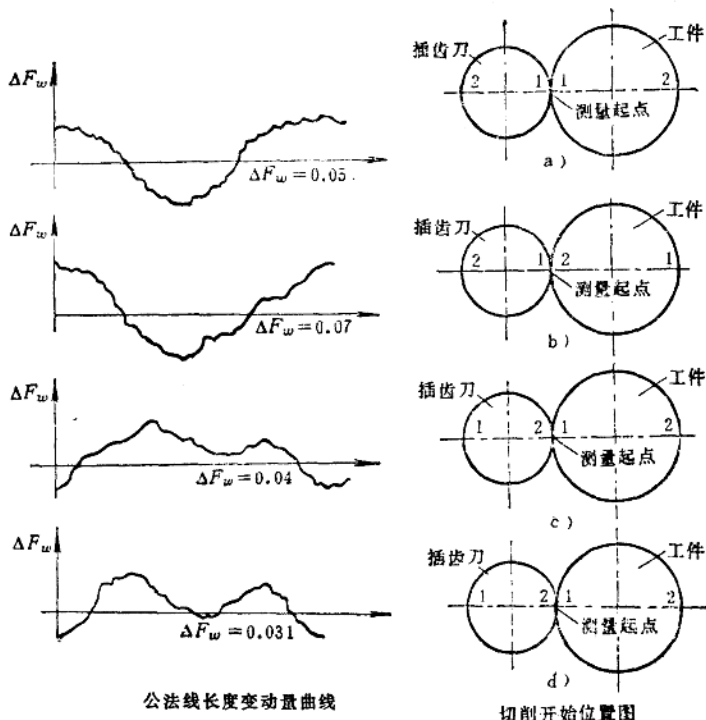


图 10-1-2 插齿误差分析图

点, 在工作台上的位置相差 180° ; a、c 图中的加工开始点, 在刀具上的位置相差 180° ; c、d 图的切削开始点完全相同。以刀具与工件的接触开始点为原点, 按同一方向逐齿量出样品齿轮的公法线长度变动量, 绘出左侧曲线图。

比较四条曲线可以看出: 在 a、b 图中虽然工作台位置相差 180° , 但误差曲线外形基本相似, 说明工作台蜗轮副对公法线长度变动量影响不大。比较 a、c 图外形, 由于刀具蜗轮起始位置相差 180° , 曲线外形便反过来了, 说明刀具蜗轮副的误差是影响公法线长度变动量的主要因素。故应将其当作机床修理的重点。比较 c、d 图可看出, 刀具及蜗轮副位置完全不变, 但曲线有波动, 说明刀轴刚性不好 (间隙超差)、让刀不稳, 也应列为修理项目。

为减小插齿刀安装径向偏心和插齿刀分齿蜗轮的运动偏心对试切样件公法线长度最大变动误差的影响, 应将插齿刀的齿数 z 尽量取大。最好在 $1 > z/z_0 > 1/5$ 范围内。

现将各主要工艺误差因素对齿轮误差的影响列入表 10-1-1, 供分析误差时参考。

表10-1-1 主要工艺误差因素对齿轮误差的影响

序 号	工 艺 误 差 因 素	齿 距 累积误差	基节偏差	齿形误差	齿向误差	齿厚偏差
机 床 方 面						
1	分度蜗轮运动偏心 and 分齿盘偏心	Δ				
2	分度蜗杆的周期误差		Δ	Δ		
3	分度链传动齿轮偏心		Δ	Δ		
4	工作台周期性游动	Δ				
5	工作台的工件安装心轴偏心	Δ				
6	插齿机进给凸轮形状误差	Δ	Δ	Δ		
7	刀架导轨倾斜、进给丝杠周期误差				Δ	
刀 具 方 面						
1	齿形误差			Δ		
2	基节偏差		Δ			
3	齿距偏差		Δ	Δ		
4	齿厚偏差	Δ				
5	磨具（砂轮）磨损	Δ				
安 装 方 面						
1	齿坯安装偏心	Δ				
2	齿坯安装倾斜	Δ			Δ	
3	刀具安装径向和轴向跳动			Δ		
4	分度挂轮误差		Δ	Δ		
5	滚动挂轮误差		Δ	Δ		
6	切深误差					Δ

从表10-1-1可以看出,用试切样品齿轮的方法虽不能确切的获得蜗轮副的运动误差,但这种方法能有效的鉴定齿轮机床的工作精度,显示出机床缺陷所在,克服修理工作中的盲目性。

因样品齿轮的直径一般不等于分齿蜗轮的直径,按样品齿轮的误差折算成分齿蜗轮的误差时,应将两者的直径比计入。

样品齿轮的齿坯一般经正火处理,以消除材质硬度不均的影响。

2. 蜗轮副分度精度的静态综合测量法

静态综合测量法是将蜗轮副装入机床部件,调整各部间隙及跳动符合技术条件后,用仪器测出蜗杆准确的旋转一整转,蜗轮所转过实际角度(或弦长)对理论值的偏差。量出蜗轮全部齿的偏差数

值后,通过计算得出蜗轮副的分度误差。

因测量时所用方法及所用计量仪器不同,误差计算分为相对法和绝对法两种。误差的计算方法与单个要素测量的算法完全相同。

综合测量所测得的偏差是蜗轮蜗杆在啮合状态下的传动精度和工作台(或主轴)旋转精度在某瞬间的综合值。除了包含蜗杆蜗轮本身的制造误差,还包含了工作台的精度、蜗轮蜗杆的安装精度及旋转精度。

这种测量方法,虽不能连续的反映出蜗轮副的运动误差,但比单个要素的测量更接近于蜗轮副的实际工作状态。在缺乏分度蜗轮副动态精度测量仪器的情况下,应用这种方法能简便地测出蜗轮副的综合静态分度误差,为蜗轮副的修前及修后检验。

估计它们的动态工作精度创造了条件。

蜗轮轮齿两面的分度精度应分别测量和计算。测量时为了不使非测量齿面参与啮合影响测量精度,应将蜗轮蜗杆调成单面啮合,并使啮合间隙略小于工作间隙,施加不大的旋转反力矩,保证被测齿面与蜗杆齿面密合。

图10-1-3所示为测量滚齿机工作台分度精度的示意图。左侧为输入转角定位部分,右侧为输出转角计量部分。

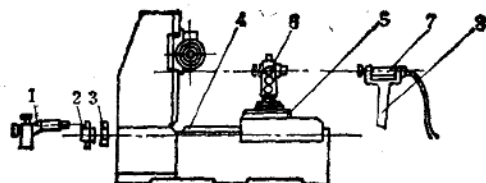


图10-1-3 静态综合测量示意图

1—读数显微镜 2—高精度度盘 3—微调蜗杆
4—蜗杆中心线 5—工作台 6—经纬仪
7—平行光管 8—支架

(1) 输入转角定位方法 蜗杆每次转角的准确性,可用多种办法达到。目前常用的有:

1) 刻度盘-读数显微镜定位法(参见图10-1-4) 使用时将度盘固定在分度蜗杆轴3上,用读数显微镜对准度盘进行找正,转动分度蜗杆 n 转的准确数值,便可从显微镜中读出。微动蜗杆1可带度盘4转动实现微调。

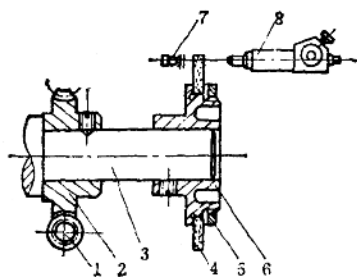


图10-1-4 刻度盘-读数显微镜定位法

1—微动蜗杆 2—蜗轮 3—分度蜗杆轴
4—高精度度盘 5—螺母 6—度盘支架
7—光源 8—读数显微镜

2) 光学准直仪-多面体(或一面体)定位法(参见图10-1-5) 测量时将多面体固定在分度蜗杆轴上,在侧面距轴心约1m处安放准直仪。转动蜗

杆轴,变动准直仪的安放位置,使准直仪发出的十字象能准确的返回目镜。每当蜗杆转动 $360/n$ (n ——多面体面数)转时,在准直仪目镜中十字象与目镜分划板刻线对中,便可控制蜗杆每次转角的一致性。

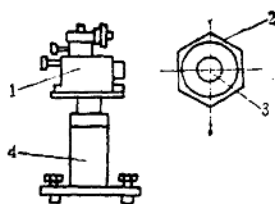


图10-1-5 光学准直仪-多面体定位法

1—准直仪 2—多面体 3—分度蜗杆轴 4—支架

3) 水平仪定位法(参见图10-1-6) 测量时使水平仪随蜗杆每转动一转后,水平仪水泡均停在同一位置上。

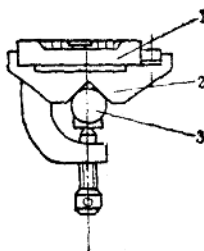


图10-1-6 水平仪定位法

1—水平仪 2—支架 3—分度蜗杆轴

除上述定位方法外,还可以采用千分表-杠杆定位和地震仪测头定位。

因综合测量时轮齿处于单面啮合状态,故定位瞬间转向只能是单方向的。如果过定位了(转多了),应退回一个适当的转角,再按原方向重新定位。为了减少过定位现象,在实际应用中,还需增添微调机构。

(2) 蜗轮转角的计量方法 蜗轮每次转角的准确性,代表了蜗轮的分度精度。因而需按所测精度,选取合适精度等级的计量仪器。常用的计量方法有:

1) 经纬仪计量法(参见图10-1-3) 用夹具把经纬仪固定在蜗轮的旋转中心,并使经纬仪的回转层中心严格与蜗轮回转中心重合(误差一般小于 $0.005 \sim 0.015\text{mm}$),回转层平面与蜗轮旋转平面平行(误差小于 $0.02/1000\text{mm}$)。

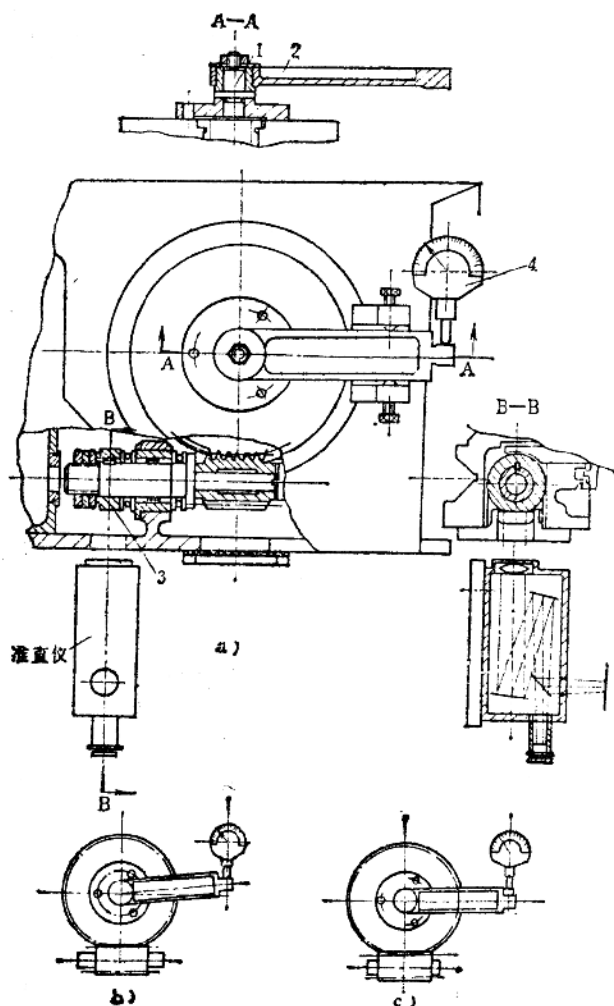


图10-1-7 比较仪计量法

经纬仪读数的定位基标, 最好用平行光管或光学准直仪, 也可在测量点适当远的地方 (约 30~100 m), 悬一根细金属丝作为定位基标。调整平行光管位置 (或金属丝) 和经纬仪焦距, 使平行光管发出的十字线在经纬仪望远镜分划板上成像并对中 (或使金属丝在望远镜分划板上成像并对中), 这时再将经纬仪水平度盘对准 0 位。测量时, 蜗杆转过 $\frac{1}{z_1}$ 转 (z_1 为蜗杆头数), 蜗轮便转过一个齿角, 经纬仪随之偏离基标。松开经纬仪垂直轴的锁紧手把, 转动经纬仪直至成像近似重合时锁紧, 调微调手轮直至成像图完全重合对中。摇动经纬仪光学千分尺手轮, 使正像与倒像刻度线完全重合, 在读数目镜中便可读出该位置的实际角度值。依次重复操

作, 直至全部齿测量完, 并记录全部实际角度值。

上述计量方法属于绝对测量法, 经纬仪上测出的角度值与理论角值之差就是分度误差。

2) 杠杆-比较仪计量法 (参见图 10-1-7) 芯轴 1 经严格找正后, 用螺钉固定在机床工作台中心, 测量杠杆 2 套在芯轴 1 上, 可绕轴心旋转。为提高测量精度, 它们的配合间隙要尽可能小。测量时先转动杠杆 2, 使其与固定在工作台外壳上的比较仪测头垂直, 对上 0 位后, 旋紧杠杆用螺帽将件 1、2 紧固成一体, 见图 10-1-7 b。蜗轮转 $\frac{1}{z_2}$ 转定位后 (z_2 为蜗轮齿数), 杠杆随工作台转过一个齿角。选用近似蜗轮弦齿厚的块规塞入杠杆与比较仪触头之间, 见图 10-1-7 c, 记下比较仪的读数。下一次测量前, 先松开杠杆 2 并反向转动, 使其与比较仪重新对 0 后紧固杠杆 2, 为下一次测量做好准备。依次重复操作, 直至测完全部齿。

这种计量方法量出的误差为相对值, 故应按相对法计算其相邻及累积误差。因杠杆 2 的长度不一定等于蜗轮的分度圆半径, 所得误差值应按比例折算。

除上述两种方法外, 也可用双准直仪来计量。

图 10-1-4 为用刻度盘-读数显微镜和经纬仪-平行光管组成的测量系统。图 10-1-8 为用水平仪-杠杆和双比较仪组成的测量系统。两个比较仪中一个用于定位, 另一个用来读数。使用时先将第一个齿角选为基准, 将一个比较仪转动前对 0, 另一个比较仪转过第一个齿角后也对 0。以后操作同上。但不需用块规来塞, 操作误差较小。

图 10-1-7 为用光学准直仪-单面体和杠杆-比较仪组成的测量系统。图 10-1-9 为用静态测量法来测量整台机床的运动误差的示意图。两者用分度盘-显微镜作为输入转角的定位机构, 用准直仪-经纬仪来计量蜗轮实际转角。当需测量机床的运动偏心时多用该法。

实践证明: 用准直仪作为经纬仪的定位基标

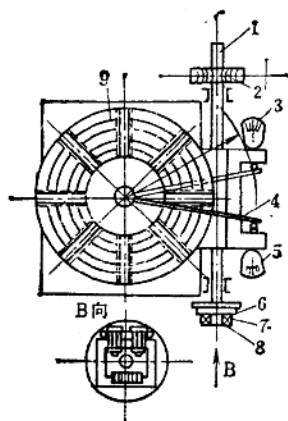


图10-1-8 分度精度精态测量法

1—分度蜗杆轴 2—微调机构 3—比较仪
4—杠杆 5—测微仪 6—水平仪 7—螺钉
8—压板 9—度盘

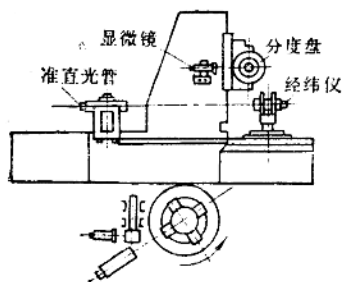


图10-1-9 用经纬仪测量机床的静态分度误差

时,所引起的测量误差较小。所用经纬仪的刻度盘分度值为1秒较好。

静态综合测量的缺点是间歇测量,不能连续地反映运动误差,因而改变输入转角起始点的相位时,几次测量结果可能不一致,同时也比较费工费时。在有条件的情况时,要尽量选用动态综合测量。

3. 蜗轮副分度精度的动态综合测量法

蜗轮副的动态测量可在各种单面啮合检查仪上进行。一对相配的蜗轮蜗杆在中心距一定的条件下进行单面啮合测量,是很接近使用情况的,而且能较真实地反映蜗轮副的运动误差、累积误差和周期误差三项综合指标。从而能较准确的反映蜗轮副制造精度,分析机床及各项工艺因素对制件的影响。

各种单面啮合检查仪不能适应大尺寸蜗轮副的检查,更不能用于装配好的蜗轮副的测量。

图10-1-10为动态综合测量蜗轮副运动误差的

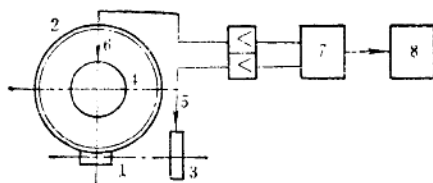


图10-1-10 磁分度检查仪原理图

磁分度检查仪原理图。

在蜗杆轴上接入连续旋转运动后,磁分度盘便连续分度。故可在机床运转过程中,测量蜗轮副的运动误差。

在蜗杆轴1上和工作台2上分别装上磁分度盘,其电磁波数的比值等于其传动比。由于磁头5、6拾取信号的相位差是不变的,运动中每一个不均匀的运动,都将使两个磁盘的比值发生变化。通过磁头记录下来并改变信号的相位,经过比相仪7以后,相位差用相位表示出来,由记录器8记录下来,从而可得到一个周期的误差曲线。

这种方法的优点在于:可在机床运动过程中测量出运动误差,测量精度高($\leq 1''$)。同时一个周期的测量可在很短的时间内完成。这种测量方法的缺点是对周期误差反映不灵感。因此,也可以用较灵感的地震仪测量它们的周期误差。

(二) 分度蜗轮单个要素的测量

当切齿机或分度机构经试切样品检查、静态或动态综合测量,发现其精度丧失,无法用调整方法恢复时,应将部件拆开(必要时一般不将蜗轮从工作台上拆下来),按精度规范对蜗轮作单个要素测量:即确定蜗轮某一项误差的大小及误差的分布规律。

由于大部分蜗轮的直径尺寸较大,无法进行单啮综合测量,在修理部门多用单个要素的测量代替综合测量。它虽不及综合测量能完整地反映蜗轮的质量,但能明确的反映出引起误差的工艺因素,因此这种方法应用广泛。

因蜗轮在齿宽方向呈圆弧形,齿形测量十分困难。在生产中常用检查刀具(或珩磨蜗杆)影响蜗轮齿形误差的因素如:齿距、齿形角等,以保证蜗轮的精度,最后用检验接触质量的方法来验证。

1. 蜗轮齿距偏差和齿距累积误差的测量及计算方法

齿距偏差(Δf_p)和齿距累积误差(ΔF_p)是

评定蜗轮精度的重要指标。前者影响运动平稳性,后者影响运动精度,测量方法大致与圆柱齿轮的测量相同。

对于模数1~10mm,直径不大于400mm的蜗轮可在万能周节仪上用相对法测量。对于600mm以内的蜗轮,可将周节仪用垫块垫高测量。直径更大的蜗轮,因其重量较大,不宜用周节仪测量。

用周节仪测量时,首先应将蜗轮孔及齿面用洗涤剂清洗干净,装在振摆小于 $2\mu\text{m}$ 的检验芯轴上,经恒温后装在顶尖上,并检验校准基面跳动合格后后方可检验。

大直径蜗轮可在滚齿机精滚齿后,借助夹具将周节仪架起来测量,即用两只千分表定位读数进行组合测量。测量时每次将一个千分表对零,另一表读数。也可将蜗轮放在大型精密平板上(图10-1-11),用测微计校准各检验基面后,用垫块将周节仪垫高,使测头过蜗轮中心平面。用上述方法测量时,所选用的测量定位基准和校准基面,均需预先经过精密加工,保证与蜗轮的回转中心严格同心、垂直。

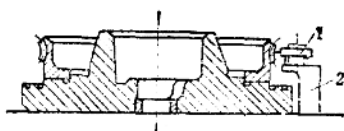


图10-1-11 在平板上用周节仪测量

1—周节仪 2—垫块

常用的测量定位基准如图10-1-12所示。图10-1-12 a 选用径向校准基准,图10-1-12 b 选用蜗轮的喉径外圆,图10-1-12 c 选用检验机的定位基准,图10-1-12 a、b 适用于在平板上测量大直径的蜗轮,图10-1-12 c 用于小直径的蜗轮。由于精密蜗轮常用剃削、珩磨来精加工,故齿根圆与旋转中心不同心,不宜将齿根圆选为基准。

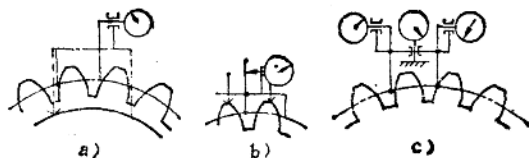


图10-1-12 用周节仪测量的基准

周节仪一般只用来检查各齿距是否一致,只在极少数情况下,才用来测量齿距值与理论值之差。

测量时先任选两个齿的同名齿面为“基准”,将读数表和定位表调整为零,依次测量比较其它各齿距的大小。这种测量方法称为相对测量法。按每次测量时跨越齿数多少,又分为单齿测量和跨齿测量两种方法。

利用一个测量头和分度装置直接测量齿距角的大小并与理论值相比较,来确定相邻齿距偏差和齿距累积误差的方法称为齿距的绝对测量法。

(1) 相对测量法及误差计算

1) 单齿相对量法 选定“基准”之后,将仪器调整为零,依次测量其余各齿对所选“基准”齿距的相对偏差 δ ,并将读数 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n, \delta_z$ 记录下来。误差计算程序如下:

① 计算全部齿的实测相对误差累积值 $\Sigma\delta$

$$\text{第一齿 } \Sigma\delta_1 = \delta_1$$

$$\text{第二齿 } \Sigma\delta_2 = \delta_1 + \delta_2$$

$$\text{第三齿 } \Sigma\delta_3 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$$

.....

$$\text{第 } n \text{ 齿 } \Sigma\delta_n = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n$$

$$\text{第 } z \text{ 齿 } \Sigma\delta_z = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n + \delta_z$$

② 计算实测累积误差平均值 K

$$K = \frac{1}{z} \Sigma\delta_z$$

③ 计算各齿的理论误差累积值

$$\frac{n}{z} \Sigma\delta_z = K \cdot \text{齿序号}$$

④ 计算各齿的齿距累积误差

$$\Delta F_p = \Sigma\delta_n - \frac{n}{z} \Sigma\delta_z = \Sigma\delta_n - K \cdot \text{齿序号}$$

(10-1-1)

⑤ 算出齿距最大累积误差 $\Delta F_{p, \max}$ 各个齿距累积误差中的最大正负绝对值之和即为它的最大累积误差。

计算举例:

将齿数为40的蜗轮用单齿相对量法测量,所得仪器读数 δ 列入表10-1-2第2栏。表中第3栏为第2栏中前后两读数的差值即任意两齿相邻齿距差,其中第35号齿差值为10,便是最大相邻周节差。表中第4栏是第2栏各值按序号的累积数。表中第5栏是序号与 K 的乘积。第6栏的值是同行第4栏值减去同行第5栏值而得。第7栏的两个数值是第6栏中的最大正值和最小负值。最大齿距累积误差列在表的下方。

表10-1-2 单齿相对量法的测量结果

(μm)

齿序号 z (1)	仪器的读数 δ (2)	相邻齿距误差 Δf_{pi} (3)	齿距相对 误差累积值 $\Sigma \delta_n$ (4)	理论误差累积值 $\frac{n}{z} \Sigma \delta_n$ (5)	齿距累积误差 ΔF_p (6)	齿距累积误差 中的极限值 (7)
1	0	0	0	- 1	+ 1	+25
2	+ 2	2	+ 2	- 2	+ 4	
3	+ 3	1	+ 5	- 3	+ 8	
4	+ 1	2	+ 6	- 4	+10	
5	+ 4	3	+10	- 5	+15	
6	0	4	+10	- 6	+16	
7	+ 5	5	+15	- 7	+22	
8	0	5	+15	- 8	+23	
9	- 2	2	+13	- 9	+22	
10	- 3	1	+10	-10	+20	
11	0	3	+10	-11	+21	
12	+ 3	3	+13	-12	+25	
13	- 1	4	+12	-13	+25	
14	- 2	1	+10	-14	+25	
15	- 5	3	+ 5	-15	+20	
16	- 2	3	+ 3	-16	+19	
17	- 3	1	0	-17	+17	
18	- 5	2	- 5	-18	+13	
19	- 4	1	- 9	-19	+10	
20	- 6	2	-15	-20	+ 5	
21	0	6	-15	-21	+ 6	
22	- 3	3	-18	-22	+ 4	
23	- 5	2	-23	-23	0	
24	- 5	0	-28	-24	- 4	
25	- 5	0	-33	-25	- 8	-32
26	0	5	-33	-26	- 7	
27	- 3	3	-36	-27	- 9	
28	- 5	2	-41	-28	-13	
29	- 5	0	-46	-29	-17	
30	- 5	0	-51	-30	-21	
31	- 2	3	-53	-31	-22	
32	- 3	1	-56	-32	-24	
33	- 5	2	-61	-33	-28	
34	- 6	0	-66	-34	-32	
35	+ 5	10	-61	-35	-26	
36	+ 7	2	-54	-36	-18	
37	+ 3	4	-51	-37	-14	
38	+ 4	1	-47	-38	- 9	
39	+ 6	2	-41	-39	- 2	
40	+ 1	5	-40	-40	- 0	
实测累积误差平均值 (μm):				最大齿距累积误差 (μm):		
$K = \frac{1}{z} \Sigma \delta_n = \frac{1}{40} (-40) = -1$				$\Delta F_{pmax} = +25 + -32 = 57$		

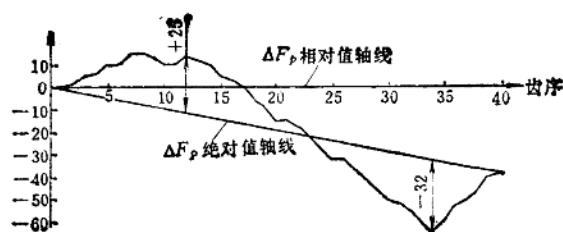


图10-1-13 齿距累积误差图解法

上述计算法较繁琐,不能反映出误差的分布状况,不便于分析误差产生的原因,在生产中习惯用图解法来求齿距累积误差。图10-1-13是上例的图解法。

根据仪器的读数,可把坐标点直接标在坐标纸上。其方法是以齿序号1的读数为0点,以后的齿序号均以上一齿序号为0点画出其坐标点,然后用直尺依次把各点连接起来,并将首末两点连一直线,即为齿距累积值的绝对值计算轴线。曲线上距轴线最远的上下两点(曲线上侧下侧各选一点)的坐标值的绝对值之和,便是所求的齿距最大累积误差。

用单齿测量时,存在着仪器示值误差。由仪器误差造成的测量误差 δ_z 的大小可按下式确定:

$$\delta_z = \frac{1}{2} \sqrt{z} \sigma$$

式中 σ —— 仪器精度;

z —— 被测齿数(测量次数)。

从上式可知,使用同样精度的仪器,减少测量次数,可提高测量精度。故跨齿(每次跨几个齿)测量已被逐渐广泛运用。

2) 跨齿测量法及误差计算

跨齿测量就是指用相对法测量齿距时,两测头间跨越的齿数不少于2,图10-1-14所示为跨齿测量的示意图。为此,应将被测齿数 z 分为 J 组,每组 Q 个齿,即

$$z = QJ$$

式中, Q 应为一个能整除 z 的正整数。若 z 为质数时,我们可以多测几个齿,即被测的总齿数超过 z ,以便获得一个整除数。设多测齿数为 y (其值应尽量小),则

$$J = (z + y) / Q$$

跨越齿数 Q 的选择,应该使测量误差 δ_z 最小,

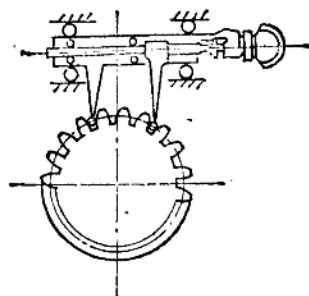


图10-1-14 跨齿测量法

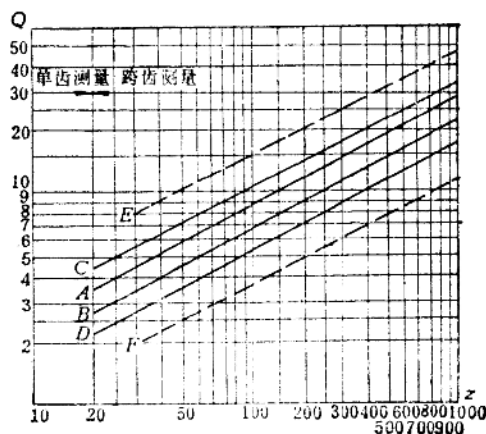
推荐 Q 的选取范围为:

$$0.5\sqrt{z} \leq Q \leq 1.0\sqrt{z} \quad (10-1-2)$$

如果在上式范围内存在能够整除 z 的正数,就可将其选为跨越齿数;如果在此范围内仍然不存在整除 z 的正数,还可将 Q 的范围扩大为

$$0.35\sqrt{z} \leq Q \leq 1.5\sqrt{z} \quad (10-1-3)$$

如图10-1-15中虚线所示。

图10-1-15 跨越齿数 Q 选取范围

根据齿数 z ,就可在图10-1-15上找出 Q 的范围。选取 A 、 B 直线间所包含的齿数为 Q 时,测量误差 δ_z 最小; C 、 D 间的 Q 值,测量误差增加10%以内; E 、 F 间的 Q 值,测量误差增加20%。

Q 的选取步骤如下:

- ① 分解出齿数 z 的因子。
- ② 列出所有能整除 z 的正数,并按大小排列;
- ③ 在能整除 z 的正数中,找出符合公式(10-1-2)或(10-1-3)条件的数。

举例: $z = 105$, 求 Q ?

① 分解齿数 z 的因子, $z = 105 = 3 \times 5 \times 7$;

② 所有能整除 z 的正数, 并按大小排列如下: 3、5、7、15、21、35;

③ 按公式 (10-1-2) 求得 Q 的选取范围为:
$$5.125 \leq Q \leq 10.25$$

若有几个数都符合条件, 最好优先选取图中 AB 两线间的数, 故本例中选取 7。

对于质数齿应按 $z + \gamma$ 之和来选取 Q 。

当选取跨越齿数 Q 时, 还应顾及到分组数 J 的大小, 使每次跨测角度 φ 时, 触头和齿廓不发生干涉。从图 10-1-16 可以看出, 欲使触头和齿廓表面不发生干涉, 其条件是跨测的半角 $\varphi/2$ 不大于分度圆处的压力角 α , 即

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{360^\circ}{2J} \leq \alpha$$

$$\therefore J \geq \frac{180^\circ}{\alpha}$$

当 $\alpha = 20^\circ$ 时, $J \geq 9$ 或 $z/Q \geq 9$

跨齿测量包括, 分组测量和单齿补点测量两部分。前者是按上述方法选取 Q 后, 每次测量时都跨

越齿数 Q , 其测量方法与单齿量法一样。单齿补点测量是将每组齿均做单齿测量, 测时把每组的第一个齿选为“基准”来测量其余的齿, 将分组及单齿补点测量所得的偏差, 经数学处理求得最大累积误差。

因数学处理很繁琐, 生产中常用图解法配合来确定补测组别及简化计算, 其步骤如下:

① 根据被测齿数 z 选取 Q 后, 校对 J 是否在允许范围内。

② 在被测轮上分组, 并编上组别号。

③ 将分组的第 1 组选为“基准”, 把仪器调整为零, 依次测量其余各组, 并记录仪器读数。

④ 将分组测量的结果用图解法绘制曲线。把曲线的最大正值和最小负值处的相邻组 (共 4 个组) 找出来, 选做补点测量组并做单齿补点测量。补测时把每组的第一个齿选为“基准”依次测量组内其余齿, 记录全部仪器读数。

⑤ 用算法或图解法求出最大累积误差。

计算举例: 被测件齿数为 40; $\alpha = 14^\circ 30'$, 按图 10-1-15 取 $Q = 5$, 共测 8 次, 所得读数列入表 10-1-3 中。

绘其曲线如图 10-1-17 实线所示。

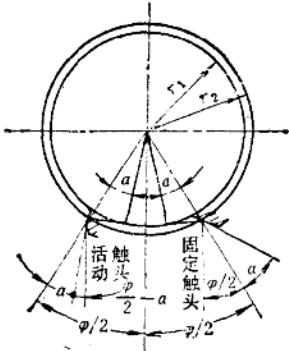


图 10-1-16 测头与齿廓的干涉情况

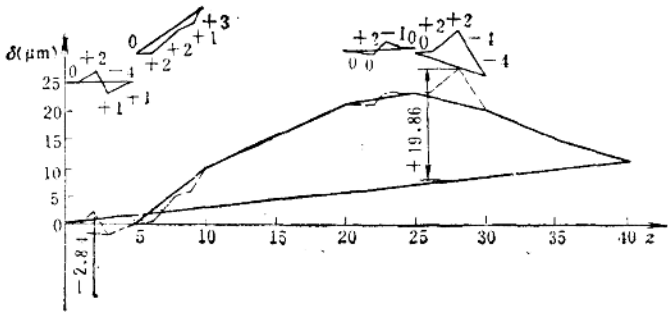


图 10-1-17

表 10-1-3 跨齿相对量法的测量结果

(μm)

组 序	仪 器 示 值	齿距相对误差累积值	理论误差累积值	齿距累积误差值
J	γ	$\Sigma \gamma_j$	$\frac{J}{N} \Sigma \gamma_N$	ΔF_p
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	0	0	+1.4	-1.4
2	+10	+10	+2.8	+7.2
3	+5	+15	+4.1	+10.9
4	+6	+21	+5.5	+15.5
5	+2	+23	+6.9	+16.5
6	-3	+20	+8.3	+11.7
7	-5	+15	+9.6	+5.4
8	-4	+11	+11	0

表10-1-4 跨齿相对置法的单齿补点测量结果

(μm)

组 序 J (1)	齿 序 号		仪器示值 δ (4)	齿距相对误差累积值		理论误差累积值 $\frac{n}{z}\Sigma\gamma_N$ (7)	齿距累积误差值 ΔF_p (8)
	补测组 K (2)	全齿轮 n (3)		$\Sigma\delta_K$ (5)	$\Sigma\gamma'_n$ (6)		
1	1	1	0	0	0	+0.28	-0.28
	2	2	+2	+2	+2	+0.56	+1.44
	3	3	-4	-2	-2	+0.84	-2.84
	4	4	+1	-1	-1	+1.12	-2.12
	5	5	+1	0	0	+1.4	-1.4
2	1	6	0	0	+0.4	+1.68	-1.28
	2	7	+2	+2	+2.8	+1.96	+0.84
	3	8	+2	+4	+5.2	+2.24	+2.96
	4	9	+1	+5	+6.6	+2.52	+4.08
	5	10	+3	+8	+10	+2.80	+7.20
5	1	21	0	0	+21.2	+5.78	+15.42
	2	22	0	0	+21.4	+6.06	+15.34
	3	23	+2	+2	+23.6	+6.34	+17.26
	4	24	-1	+1	+22.8	+6.62	+16.18
	5	25	0	+1	+23	+6.90	+16.10
6	1	26	0	0	+23.2	+7.18	+16.02
	2	27	+2	+2	+25.4	+7.46	+17.94
	3	28	+2	+4	+27.6	+7.74	+19.86
	4	29	-4	0	+23.2	+8.02	+15.18
	5	30	-4	-4	+20.0	+8.30	+11.70

从图中可看出：最大正值在第25齿处，最小负值在第5齿处，故应在第1、2和5、6组进行单齿补点测量，结果列于表10-1-4中。现分别用计算法及图解法求其最大累积误差。

① 用计算法求最大累积误差

a. 实测齿距相对误差累积值的计算 由单齿补点测量得出的误差累积值是将补测组中第一个齿距作为0测得的，但在跨齿测量时，这一点的误差累积值一般不是0（除同时是跨齿测量的起点外）。同时补测组的误差累积值（即该补测组末齿的误差累积值）和由跨齿测量得到的该组的误差值不一致，如表10-1-4中第5组第5齿的误差累积值为1，而跨齿测量时该组的误差值为2。所以计算各补测齿的误差累积值时，应计入两者之间的差值。

根据上述情况，可列出计算补测组各齿从跨齿测量起点开始计算的实测齿距相对误差累积值的公式：

$$\Sigma\gamma'_n = \Sigma\gamma_{J-1} + \Sigma\delta_K + \frac{K \times D}{Q} \quad (10-1-4)$$

式中 $\Sigma\gamma'_n$ ——齿轮第 n 个齿的实测齿距相对误差累积值；

$\Sigma\gamma_{J-1}$ ——补测组起点（即补测组前一组）的实测齿距相对误差累积值；

$\Sigma\delta_K$ ——单齿补测组内第 K 齿的实测齿距相对误差累积值；

Q ——跨测齿数；

D ——补测组 J 的齿距误差值（即仪器示值）与补测组末齿的误差累积值的差，即 $D = \gamma_J - \Sigma\delta_Q$ 。

b. 理论误差累积值的计算 单齿补测组各齿的理论误差累积值应根据跨齿测量时对整个齿轮所测得的结果来计算，即

$$\frac{n}{z}\Sigma\gamma_N = \frac{J-1}{N}\Sigma\gamma_N + \frac{K}{Q}\left(\frac{J}{N}\Sigma\gamma_N - \frac{J-1}{N}\right)\Sigma\gamma_N \quad (10-1-5)$$

式中 $\frac{n}{z}\Sigma\gamma_N$ ——齿轮第 n 个齿的理论误差累积值；

$\frac{J}{N} \Sigma \gamma_N$ ——补测组的理论误差累积值;

$\frac{J-1}{N} \Sigma \gamma_N$ ——补测组前一组的理论误差累积值。

按式(10-1-4)、(10-1-5)计算出 $\Sigma \gamma'_n$ 和 $\frac{n}{z} \Sigma \gamma_N$ 后,再按式(10-1-1)算出各补测齿的齿距最大累积误差。

对上例中第1和第2组及第5和第6组的实际误差累积值计算如下:

1~5齿:

$$\Sigma \gamma'_1 = 0 + 0 + \frac{1}{5}(0 - 0) = 0$$

$$\Sigma \gamma'_2 = 0 + 5 + \frac{2}{5}(0 - 0) = 2$$

$$\Sigma \gamma'_3 = 0 + (-2) + \frac{3}{5}(0 - 0) = -2$$

$$\Sigma \gamma'_4 = 0 + (-1) + \frac{4}{5}(0 - 0) = -1$$

$$\Sigma \gamma'_5 = 0 + 0 + \frac{5}{5}(0 - 0) = 0$$

6~10齿:

$$\Sigma \gamma'_6 = 0 + 0 + \frac{1}{5}(10 - 8) = 0.4$$

$$\Sigma \gamma'_7 = 0 + 2 + \frac{2}{5}(10 - 8) = 2.8$$

$$\Sigma \gamma'_8 = 0 + 4 + \frac{3}{5}(10 - 8) = 5.2$$

$$\Sigma \gamma'_9 = 0 + 5 + \frac{4}{5}(10 - 8) = 6.6$$

$$\Sigma \gamma'_{10} = 0 + 8 + \frac{5}{5}(10 - 8) = 10$$

21~25齿:

$$\Sigma \gamma'_{21} = 21 + 0 + \frac{1}{5}(2 - 1) = 21.2$$

$$\Sigma \gamma'_{22} = 21 + 0 + \frac{2}{5}(2 - 1) = 21.4$$

$$\Sigma \gamma'_{23} = 21 + 2 + \frac{3}{5}(2 - 1) = 23.6$$

$$\Sigma \gamma'_{24} = 21 + 1 + \frac{4}{5}(2 - 1) = 22.8$$

$$\Sigma \gamma'_{25} = 21 + 1 + \frac{5}{5}(2 - 1) = 23$$

26~30齿:

$$\Sigma \gamma'_{26} = 23 + 0 + \frac{1}{5}(-3 + 4) = 23.2$$

$$\Sigma \gamma'_{27} = 23 + 2 + \frac{2}{5}(-3 + 4) = 25.4$$

$$\Sigma \gamma'_{28} = 23 + 2 + \frac{3}{5}(-3 + 4) = 27.6$$

$$\Sigma \gamma'_{29} = 23 + 0 + \frac{4}{5}(-3 + 4) = 23.2$$

$$\Sigma \gamma'_{30} = 23 + (-4) + \frac{5}{5}(-3 + 4) = 20$$

对上例中第1、第2和第5、第6组的理论误差累积值计算如下:

1~5齿:

$$\frac{1}{z} \Sigma \gamma_1 = 0 + \frac{1}{5}(1.4 - 0) = 0.28$$

$$\frac{2}{z} \Sigma \gamma_2 = 0 + \frac{2}{5}(1.4 - 0) = 0.56$$

$$\frac{3}{z} \Sigma \gamma_3 = 0 + \frac{3}{5}(1.4 - 0) = 0.84$$

$$\frac{4}{z} \Sigma \gamma_4 = 0 + \frac{4}{5}(1.4 - 0) = 1.12$$

$$\frac{5}{z} \Sigma \gamma_5 = 0 + \frac{5}{5}(1.4 - 0) = 1.4$$

6~10齿:

$$\frac{6}{z} \Sigma \gamma_6 = 1.4 + \frac{1}{5}(2.8 - 1.4) = 1.68$$

$$\frac{7}{z} \Sigma \gamma_7 = 1.4 + \frac{2}{5}(2.8 - 1.4) = 1.96$$

$$\frac{8}{z} \Sigma \gamma_8 = 1.4 + \frac{3}{5}(2.8 - 1.4) = 2.24$$

$$\frac{9}{z} \Sigma \gamma_9 = 1.4 + \frac{4}{5}(2.8 - 1.4) = 2.52$$

$$\frac{10}{z} \Sigma \gamma_{10} = 1.4 + \frac{5}{5}(2.8 - 1.4) = 2.80$$

21~25齿:

$$\frac{21}{z} \Sigma \gamma_{21} = 5.5 + \frac{1}{5}(6.9 - 5.5) = 5.78$$

$$\frac{22}{z} \Sigma \gamma_{22} = 5.5 + \frac{2}{5}(6.9 - 5.5) = 6.06$$

$$\frac{23}{z} \Sigma \gamma_{23} = 5.5 + \frac{3}{5}(6.9 - 5.5) = 6.36$$

$$\frac{24}{z} \Sigma \gamma_{24} = 5.5 + \frac{4}{5}(6.9 - 5.5) = 6.9$$

$$\frac{25}{z} \Sigma \gamma_{25} = 5.5 + \frac{5}{5}(6.9 - 5.5) = 6.9$$

26~30齿:

$$\frac{26}{z} \Sigma \gamma_{26} = 6.9 + \frac{1}{5}(8.3 - 6.9) = 7.18$$

$$\frac{27}{z} \Sigma \gamma_{27} = 6.9 + \frac{2}{5}(8.3 - 6.9) = 7.46$$

$$\frac{28}{z} \Sigma \gamma_{28} = 6.9 + \frac{3}{5}(8.3 - 6.9) = 7.74$$

将第十组补测值绘成以 $C'D'$ 为绝对值计算轴线的误差曲线,然后将 $C'D'$ 误差曲线各齿号的坐标值,描绘到分组测量的误差曲线的 CD 段上,连接原点 O 和47齿的误差累积值点 E ,此 OE 直线即为该47齿蜗轮的齿距累积误差值的绝对值轴线。

按上例将2、3、6、8各补测组的误差补描在分组测量曲线上(虚线所示)。该蜗轮的齿距最大累积误差为

$$\Delta F_{pmax} = |+9.1| + |-9.5| = 18.6\mu m$$

(2) 绝对测量法及误差计算

绝对测量法是利用一个测头和分度装置直接测量齿距角的大小,来确定相邻齿距偏差和累积误差的方法,工作原理如图10-1-19所示。

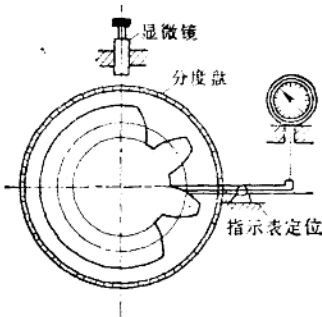


图10-1-19 绝对测量法原理

分度装置有万能显微镜分度盘、光学分度头和经纬仪等。

定位装置有机械定位装置(千分表、测微仪)、光学定位装置(显微镜)和光电定位装置(光电准直仪)等。

测量时利用分度装置,将蜗轮每次转过 $2\pi/z_1$ 角,然后用测量仪器测出角度值差(图10-1-20)。任意两个同名齿形间的实际距离与公称距离的最大误差,为其最大累积误差。

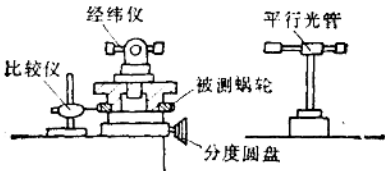


图10-1-20 绝对测量法

当得到的误差是角度值时,可按下式换算为线值(μm):

$$\Delta F_p = \Delta_{pE} \cdot r_2 / 206.265$$

式中 Δ_{pE} ——以角度值表示的齿距累积误差($''$);

r_2 ——蜗轮分度圆半径(mm)。

表10-1-7是以绝对法测量 $m = 1, z = 40$ 的蜗轮的齿距累积误差的结果,误差以角度值表示。第

表10-1-7 绝对法测量周节计算表

齿序	理论角距值	实际角距值	角距值的累积误差	角距值的相邻误差	相邻角距差
0	0°	0°	—	—	
1	9°	9°2'	+2'	+2'	
2	18°	18°2'	+2'	0	(2')
3	27°	27°2'	+2'	0	0
4	36°	36°3'	+3'	+1'	1
5	45°	45°3'	+3'	0	1
6	54°	54°2'	+2'	-1'	1
7	63°	63°2'	+2'	0	1
8	72°	72°4'	(+4')	+2'	2
9	81°	81°4'	+4'	0	2
10	90°	90°4'	+4'	0	0
11	99°	99°4'	+4'	0	0
12	108°	108°3'	+3'	-1'	1
13	117°	117°3'	+3'	0	1
14	126°	126°3'	+3'	0	0
15	135°	135°2'	+3'	0	0
16	144°	144°2'	+2'	-1'	1
17	153°	153°2'	+2'	0	1
18	162°	162°2'	+2'	0	0

(续)

齿 序	理论角距值	实际角距值	角距值的累积误差	角距值的相邻误差	相邻角距差
19	171°	171°	0	-2'	2
20	180°	180°	0	0	2
21	189°	189°	0	0	0
22	198°	198°	0	0	0
23	207°	206°59'	-1'	-1'	1
24	216°	215°59'	-1'	0	1
25	225°	224°59'	-1'	0	0
26	234°	223°58'	-2'	-1'	1
27	243°	242°58'	-2'	0	1
28	252°	251°57'	(-3')	-1'	1
29	261°	260°57'	-3'	0	1
30	270°	269°57'	-3'	0	0
31	279°	278°57'	-3'	0	0
32	288°	287°57'	-3'	0	0
33	297°	296°58'	-2'	+1'	1
34	306°	305°59'	-1'	+1'	0
35	315°	314°59'	-1'	0	0
36	324°	323°59'	-1'	0	0
37	333°	332°59'	-1'	0	0
38	342°	342°	0	+1'	1
39	351°	351°	0	0	1
40	360°	360°	0	0	0

二、三排为角距的理论值和实际值。二、三排相减得第四排误差值。

$$\Delta_{p2} = | +4' | - | -3' | = 7' = 420''$$

换算为线值：

$$\begin{aligned}\Delta F_p &= \Delta_{p2} r_2 / 206.265 = 420 \times 20 / 206.265 \\ &= 40.7 \mu\text{m}\end{aligned}$$

相邻齿距偏差：

$$\Delta F_{p1} = 2' = 120''$$

换算为线值误差：

$$\Delta F_{p1} = 120 \times 20 / 206.265 = 11.6 \mu\text{m}$$

用绝对法测量时，通常是逐齿测量一周，但也可用跨齿测量。如用跨齿测量时，补测齿的基准仍要以分组测量时的起始点的零位为基准，误差计算方法同上。

用分度盘等角度仪器计量时，随着被测蜗轮直径的增大，分度误差所引起的线值误差将增大，故应选用分度定位精度较高的仪器；同时被测蜗轮的安装中心也应该与分度旋转中心严格同心，蜗轮的安装平面亦应与分度盘回转平面平行，以减少安装偏心以及测量轴线与分度旋转中心不重合所造成的测量误差。

2. 蜗轮齿圈径向跳动的测量

齿圈径向跳动 ΔF_r ，影响蜗轮装配后的运动精度和啮合侧隙的一致性，是评定蜗轮质量的重要指标。

新蜗轮齿圈的径向跳动是由切齿加工时齿坯安装几何偏心，滚齿机工作台的径向跳动及其它局部径向误差引起的。

蜗轮装配后回转中心与分度圆不同心，以及蜗轮安装面有间隙(松动)，也会引起齿圈跳动。

切齿机床在运转中，因回转导轨(或轴颈)严重磨损，或因齿坯材质不好磨损不均以及蜗轮局部参与工作(如铣齿机摇台等)，同样会引起齿圈跳动。

在生产厂和修理部门一般都对蜗轮齿圈径向跳动进行检查。

小直径的蜗轮可用检验正齿轮的方法和仪器测量。较大尺寸的蜗轮可放在精密分度圆盘上测量。大型蜗轮可放在精密立车的工作台上测量(图10-1~21)，球形测头插入齿沟后，由立车工作台带动它绕 O' 轴旋转，当 $OA O'$ 处于同一直线上时，千分表上的读数最小，即为所测相对读数。依次测量所有

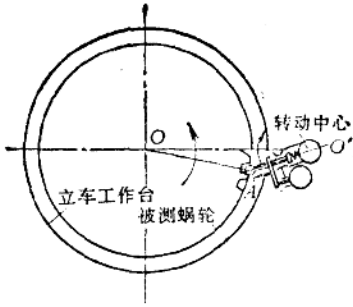


图10-1-21 在立车工作台上测量大型蜗轮的
齿圈径向跳动

齿沟并记录其数值。

径向跳动量以所测全部齿沟读数的最大变动量计算。为了较形象的反映出径向跳动规律，可绘制极坐标图。

图 10-1-22 所示为测量 $z = 32$ 齿的蜗轮齿圈径向跳动所绘极坐标图。用作曲线内接圆的方法可近似求得几何偏心率及其相位角，以供修理回转中心时参考。

测量蜗轮的 ΔF_r 时，应用球形测头。球形测头要接触在蜗轮中央平面上，不能沿齿长方向移动。为减少齿形误差对径向跳动的影响，球形测头直径可按直齿圆柱齿轮选取，即力求它能在齿的固定弦位置与齿廓接触，这时测头直径 d_p 为：

$$d_p = \frac{\pi m}{2} \cos \alpha + 2 \sin \alpha s_e$$

若 $\alpha = 20^\circ$ 时，

$$d_p = 1.476 m + 0.684 s_e$$

工厂中也有使球头在分度圆处与齿廓相接触，

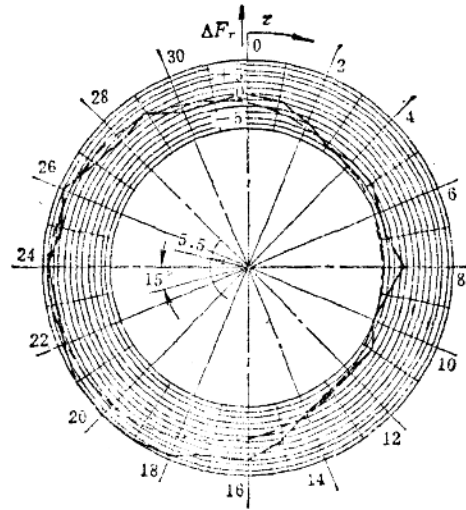


图10-1-22 齿圈径向跳动极坐标图

此时球头直径为：

$$d_p = \frac{\pi m}{2 \cos \alpha_f}$$

若 $\alpha_f = 20^\circ$ 时， $d_p = 1.68 m$

3. 接触斑点的检验

接触斑点是接触精度指标之一，分度蜗轮副均需做该项检验。

接触斑点是指安装好的蜗杆副中，在轻微力的制动下，蜗杆与蜗轮啮合运行后在蜗轮齿面上分布的接触痕迹。接触斑点以接触面积大小、形状和分布位置表示。

接触面积大小按接触痕迹的百分比计算，参见图10-1-23。

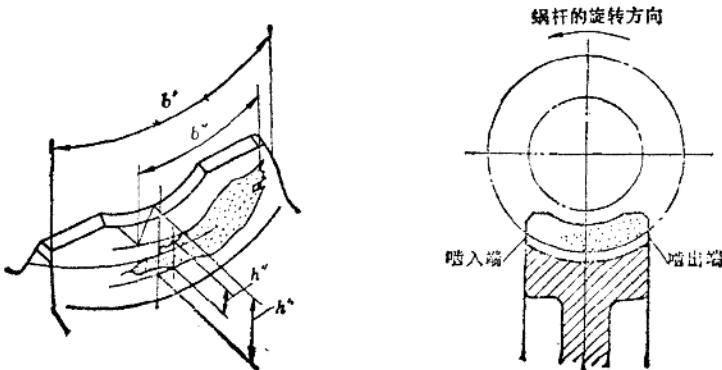


图10-1-23 接触斑点计算及位置图

沿齿长方向：接触痕迹的长度 b'' 与工作长度 b' 之比（在确定接触痕迹 b'' 时，应扣除超过模数值的断开部分），

$$\text{即 } b''/b' \times 100\%。$$

沿齿高方向：接触痕迹的平均高度 h'' 与工作高度 h' 之比，

$$\text{即 } h''/h' \times 100\%。$$

接触形状以齿面接触痕迹总的几何形状的状态确定。接触位置以接触痕迹距齿面啮入、啮出端或齿顶齿根的位置确定。

对于分度蜗轮来说，齿高方向的接触尤为重要，因为它影响蜗轮旋转的平稳性，影响运动精度。

从理论上分析，在轮齿高度和长度上都具有100%接触的可能性。但由于切齿刀具与蜗杆齿形的不一致，径向跳动，基节及螺旋线偏差，以及安装偏差等，均影响加工后齿面接触斑点的大小、连续性及位置变化。因而在加工修复过程中要仔细排除上述因素。

修理中，接触斑点的检验多在装配时进行。小尺寸及中等尺寸的蜗轮，可在齿轮检验机或蜗轮配对机上检验，见图10-1-24。

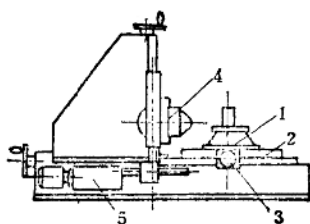


图10-1-24 配对机

1—夹具 2—工作台 3—施加阻力矩手轮

4—刀架 5—蜗杆驱动机构

检验前，应保证蜗杆中心线对蜗轮中央平面平行，对蜗轮中央平面偏移值尽量减少，以及中心距与加工中心距相等。在蜗杆齿面上涂一层很薄的显示剂，以利于分辨接触质量。

在检验接触质量的同时，要测量啮合侧隙。接触质量及啮合侧隙必须同时满足技术要求。

在修理中常用珩磨及刮研齿面的方法来提高接触质量。也可用配磨蜗杆齿形角来改善齿高方向的接触质量，用配磨齿厚的方法来改善齿长接触质量（可调中心距）及啮合侧隙。

4. 蜗轮齿厚的测量

小直径的蜗轮齿厚可用测量度量中心距极限偏差来代替。大直径蜗轮公称齿厚多用齿卡尺测量。

分度蜗轮副多是小批或成对制造的，不具有互换性。在生产中常用控制滚刀齿厚及加工中心距的方法加工，所以对齿厚并不做严格检查。当用标准齿厚的滚刀切向修正蜗轮齿厚时，可用控制轴向窜刀量的方法切齿厚至预定值。

（三）蜗杆的测量

蜗杆的精度检验项目，在GB10089—88中规定，对于单头蜗杆检验组为 Δf_A 、 Δf_{AL} ，多头蜗杆为 Δf_{px} 、 Δf_{AL} ，或 Δf_{px} 、 Δf_{px1} 、 Δf_{ro} 。

这些检验项目能综合反映蜗杆的轴向齿距偏差、螺旋线偏差和齿槽径向跳动，是评定传动精度比较合理和完善的指标。但需在万能显微镜（图10-1-25）或其它专用仪器上测量，如蜗杆导程仪（图10-1-26）、蜗杆滚刀检查仪、蜗杆螺旋线比较仪等。

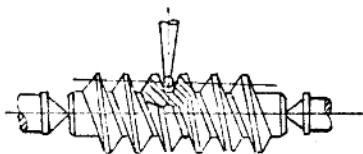


图10-1-25 用万能显微镜测量

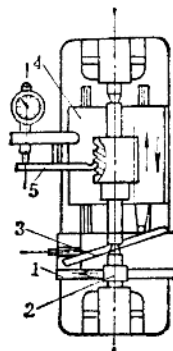


图10-1-26 用蜗杆导程仪测量

1—直尺 2—圆盘 3—正弦尺

4—滑板 5—杠杆

在万能显微镜上测量时，一般把被测蜗杆置于两顶尖之间，使测头触于齿面中部，对准双刻线，记下纵横坐标读数。退出测头后把分度头转过一给定