

小模数齿轮测量的原理和方法

陕西渭河工模具总厂 (岐山 722405) 王孝娟

一对齿轮传动要求其有固定的传动比和工作的平稳性。要达到此要求,就必须具有合理的齿形。而采用渐开线齿形就能够使齿轮间传动平稳,容易加工制造,且互换性良好。传动比 $i = r_{01}/r_{02} = z_1/z_2 = n_2/n_1$,只要两齿轮的基圆半径不变,任意瞬间的传动比 i 也不变。

一对渐开线齿轮正确的啮合条件为:①两轮模数相等。②两轮分度圆压力角必须相等,即 $\alpha_f = 20^\circ$,两轮的基圆齿距相等 ($t_{j1} = t_{j2}$)。

为保证齿轮传动机构的正常工作,对齿轮规定了四点基本技术要求:①运动精度。②工作平稳性。③接触精度。④一定的齿侧间隙。侧隙是指一对齿轮在传动中啮合齿非工作齿面间的法向间隙,用来贮存润滑油和补偿由于温度和弹性变形以及齿轮制造误差引起的侧隙变化,以防止齿轮出现“卡滞”现象。但是为了避免传动中回差过大,侧隙必须适当。标准圆柱齿轮及其传动的制造精度主要由精度等级和侧隙决定,对于反向传动齿轮,侧隙造成的死程直接影响齿轮的传动精度。测量侧隙的方法有四种:①测量固定弦齿厚 s 。②用圆棒测量尺寸 M 。③测量公法线平均长度 L 。④测量两轮中心距 A (一对齿轮)。

现对小模数齿轮的测量加以说明。实际测量工作中,通常都采用用圆棒测量尺寸 M 和测量公法线平均长度 L 的测量方法。仅在齿轮直径很大、斜齿轮的齿宽 $B < L_n \sin \beta_f$ (其中 L_n 为法向公法线长度, β_f 为分度圆螺旋角)、模数较大的情况下,才测量固定弦齿厚 s 。

1. 固定弦齿厚 s 的测量

对于任何齿数的齿轮,凡是原始齿形角和变位

系数相同,则在齿轮上固定弦齿厚的位置及长度都固定不变,即固定弦齿厚只与原始齿形角 α 、模数 m 和变位系数 ξ 有关。对于标准压力角 $\alpha_f = 20^\circ$,各种模数齿轮的固定弦齿高 h_f 和固定弦齿厚 s 都已标准化,可直接查表。小模数齿轮固定弦齿厚通常不能用光学齿厚卡尺或者游标齿厚卡尺来测量,因为它们的测量脚厚,放不到齿轮的测量部位。在万能显微镜或工具显微镜上测量 s 时,首先将齿轮的齿顶调整到与显微镜之水平网状线重合,并从横向显微镜中记下第一个读数,然后移动横向托架,使横向显微镜中移动一距离 h_f (见图1),这时再移动纵向托架,使目镜中的网状线先后与轮齿齿廓两侧相切,读出纵向显微镜中的读数,两次读数差即为固定弦齿厚 s 的实际尺寸,固定弦齿厚 s 的实际尺寸与理论尺寸之差即为固定弦齿厚偏差 Δs 。

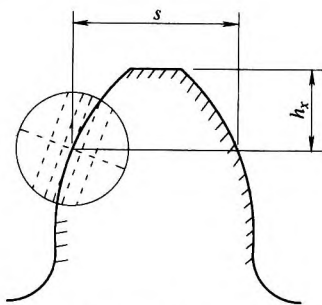


图1 在万能显微镜上测量圆柱齿轮的固定弦齿厚 s

2. 公法线平均长度 L 的测量

测量公法线长度的优点是:①测量不受基准限制,测量精度不受齿顶圆直径偏差及径向跳动的影响。②测量量具简单,可用公法线千分尺和带表公法线指示卡规、万能工具显微镜、万能测齿仪等仪器测量,可达到较高的测量精度。测量时不要求量具放在正中位置,允许有少许摇摆来增加其敏感性,

还能直接在机床上进行测量。③在测量过程中量具量脚接触在齿廓曲率半径较大的部位，接近于面接触，量具不易磨损。④适用于模数较大、齿数较多、螺旋角很小的齿轮，尤其是扇形齿轮的测量。在相隔 90° 的 4 个位置（或更多位置）上测量 L 值来确定齿轮公法线长度变动量 F_w ，用来判断机床的运动精度，以对机床等采取预防措施。测得的平均值即为公法线平均长度 L ，标准直齿圆柱齿轮的理论公法线平均长度 L 值可查表。切齿过程中背吃刀量的计算调整目的是为了获得需要的齿厚尺寸。在加工齿轮过程中，由于需要进行两次或多次进刀，当进行最后一次进刀前，根据被测得的公法线余量 ΔL 值，利用刻度盘或安装一个百分表进行补充调整背吃刀量 Δh （见图 2）。

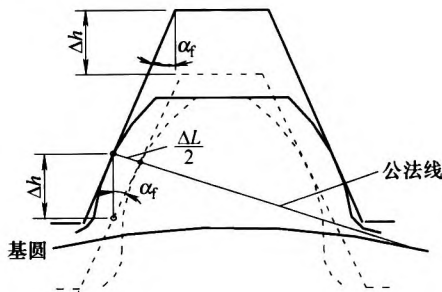


图 2

图 2 中虚线表示图样上要求的齿形位置，其中 ΔL 为齿厚余量（应考虑图样要求 L 值的上下偏差，即齿厚余量 ΔL 应等于实测的 L 值减去理论的 L 值及 L 值的上偏差）； Δh 表示背吃刀量，因为 $\sin \alpha_f = \Delta L / 2\Delta h$ ，所以 $\Delta h = \Delta L / 2\sin \alpha_f$ 。当 $\alpha_f = 20^\circ$ 时， $\Delta h = 1.462\Delta L$ 。

3. M 值的测量

用特制的精确圆棒或用螺纹三线测量 M 值，尤其是对于模数小于 0.5，齿数较少及螺旋角较大的齿轮，用测量公法线的方法不能实现时，一般都用 M 值的测量。其优点是：①测量结果精确，数值稳定，且不需要测量基准面，不受齿顶圆误差、孔径误差、齿圈径向跳动等的影响。②当采用恰当圆棒时（圆棒中心通过齿轮分度圆的圆棒）， $d_p = 1.476m$ （ m 为被测齿轮模数）， $\Delta M' = \Delta s' \cot \alpha_f$ 。当 $\alpha_f = 20^\circ$ 时， $\Delta M' = 2.7475\Delta s'$ （ $\Delta s'$ 为固定弦齿厚偏差， $\Delta M'$ 为用恰当圆棒测得 M' 的实际偏差），故与固定弦齿厚或公法线平均长度相比较，用这种方法反映齿厚偏差的

灵敏度高。③测量方便，不需要专用仪器。测量 M 值时将所选取的直径相同的两根圆棒自由地放在齿轮的相对两个齿槽内，对于奇数齿，两圆棒应放在中心距为最大弦长的两个齿槽内，用千分尺或各种测微仪、测长仪等计量器具测出两圆棒外侧最远点的 M 值尺寸，如图 3 所示。测得值与公称 M 值之差即为 M 值的偏差 ΔM 。将 ΔM 代入以下公式，即可求出分度圆弦齿厚偏差 Δs ：当齿数为偶数时， $\Delta s = \Delta M \sin \alpha_f / \cos \alpha_f$ ；当齿数为奇数时， $\Delta s = \Delta M \sin \alpha_f / \cos \alpha_f \cos (90^\circ / z)$ 。其中

$$\operatorname{inv} \alpha_x = \operatorname{inv} \alpha_f + d_p / m z \cos \alpha_f - \pi / 2z + 2\xi \tan \alpha_f / z$$

式中， α_f 是分度圆压力角； α_x 是圆棒中心所在圆压力角； z 是被测齿轮齿数； d_p 是圆棒直径， $d_p = (1.68 \sim 1.732)m$ ； ξ 是变位系数； m 是被测齿轮模数。

当 $\alpha_f = 20^\circ$ 时， $\operatorname{inv} \alpha_x = 0.014904 + 1.0642d_p / mz - \pi / 2z + 0.728\xi / z$

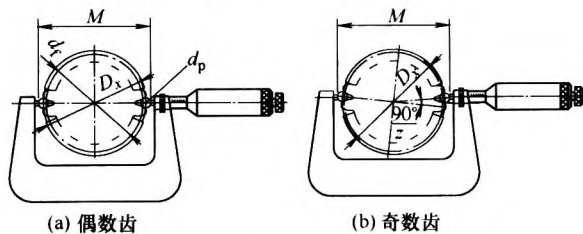


图 3 圆棒测量 M 尺寸

沿圆棒测量尺寸余量 ΔM 确定背吃刀量 Δh ，如图 4 所示，虚线表示图样要求的齿形位置， ΔM 为齿厚余量（应考虑图样要求的 M 值的上下偏差，即 M 值余量 ΔM 应等于实测的 M 值减去理论 M 值的上偏差）。由 $\Delta M / 2 = R + x$ ， $\Delta h = R + x$ 可得 $\Delta h = \Delta M / 2$ 。

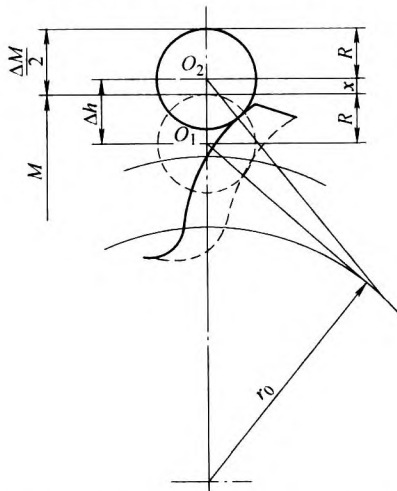


图 4 沿圆棒测量尺寸余量 ΔM 与背吃刀量 Δh 的关系

丝杠精度测量误差分析

齐重数控装备股份有限公司 (黑龙江 161005) 董新国

丝杠属于细长类制件,长度和直径之比一般在15~40左右。影响机床用丝杠精度测量误差的主要原因有以下几个方面。

1. 温度误差

例如钢制零件长度 $L = 1\,000\text{mm}$, 取碳钢的线膨胀系数 $\alpha_1 = 11.5 \times 10^{-6} \text{m}/^\circ\text{C}$ 时, 温度相差 1°C , 其全长上的尺寸变化达 $\Delta L = \alpha_1 L (t - t_1) = 11.5 \times 10^{-6} \times 10^6 \times 1 = 11.5 \mu\text{m}$, 这样就超过5级丝杠所规定的全长的累积误差。因此, 测量精密丝杠时要严格控制温度。

目前, 计量室的温度一般只能控制在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 但在测量时, 应考虑仪器、被测丝杠和室温三者的温度差不大于 0.2°C , 以及测量过程中温度的波动。因此, 每小时室温的允许变化不应超过 0.2°C 。即使被测丝杠与仪器、室温在平衡情况下, 还存在着仪器的光源和人体体温的热量辐射传导给仪器和被测丝杠, 使温度继续上升的情况。所以应采用先进测量仪器, 以便缩短测量时间和使操作人

员远离仪器, 同时可多采用动态测量方法以减小温度的影响。

2. 定位误差

丝杠测量的定位方法一般是顶在顶针间或放在V形支架上。这时定位误差有两方面: 一是两定位元件调整不精确造成的误差; 另一方面是定位基准违反基准统一原则造成的误差。

(1) 定位元件(两顶针或两V形支架)调整不精确, 使支撑的丝杠轴线在水平面和在垂直面上与测量方向不平行。

图1所示为测量方向与丝杠轴线在垂直面上倾角为 γ , 使测量头沿丝杠螺旋面向上或向下移动一个 Δ 值, 即在测量线方向上产生测量误差 δ :

$$\delta = \pm \Delta \tan \phi$$

$$\Delta = n P \tan \gamma$$

式中, ϕ 是丝杠螺纹升角。

图2所示为测量方向与丝杠轴线在水平面上倾角为 γ , 使测量头向外或向内移动一个 Δ 值, 即产生

按照算出的 Δh 值进行补充进刀, 得到的就是 M 值的上偏差, 用千分尺测得齿轮上相差 45° 的4个 M 值, 其平均值就是所测齿轮的实际 M 值尺寸。标准圆柱齿轮的 M 值可查表。搞清了 ΔM 与背吃刀量 Δh 的关系, 即可得出 ΔM 与 ΔL 的关系即 $\sin 20^\circ = \Delta L / \Delta M$ (见图5)。

搞清了齿厚偏差 Δs 、跨棒距偏差 ΔM 、公法线平均长度偏差 ΔL 之间的关系, 知道其中一个偏差, 就能计算出所有偏差值, 且与实际尺寸相符。例如对于小模数齿轮, 按公法线平均长度偏差 ΔL 加工尺寸合格, 按精度等级查出 ΔM 偏差, 测量 L 值是上偏

差的, M 值尺寸就偏大。按公法线平均长度偏差 ΔL 换算成跨棒距偏差 ΔM , 加工出的齿轮尺寸既在公法线长度范围内, 也在 M 值尺寸范围内, 是合格产品。

MW (收稿日期: 20130910)

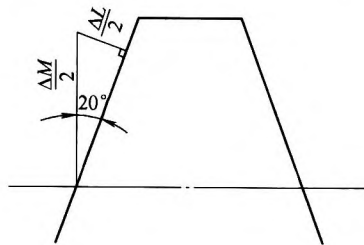


图 5