

影响调模机构旋合顺畅的主要原因分析

蔡良霄

(中化(福建)橡塑机械有限公司, 福建 三明 365000)

摘要: 在加工大型薄壁且材质不同的非标准梯形螺纹配套件时, 常常会遇到装配困难的情况, 进而需要进行返修, 这使得生产进度出现迟滞, 对企业的生产效益产生了不良影响。本文以此为例, 展开对其中诸多方面的因素展开论证。其中不同材料的不同受热变形是主要原因之一, 但从工艺措施方面解决是唯一办法。

关键词: 调模机构; 梯形螺纹; 热变形; 材料

中图分类号: TQ330.41

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)10-0030-05

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.10.007

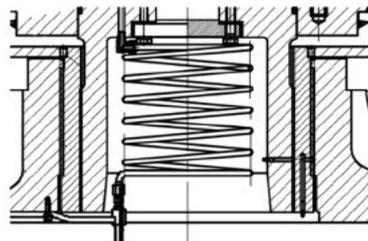
标准梯形螺纹在机械传动中的广泛应用是同行业所周知的, 但非标准梯形螺纹在橡胶机械中应用也不为少见, 如“浅牙”或“不等距”非标准梯形螺纹在部分热传动机械中的应用就是其中一例。

我们已熟悉在硫化机械设备中, 其调模机构结构如图 1 所示: 分别由以下零件组成: 上固定板, 调模螺母, 法兰螺柱等。该机构传动副中各组成零件就属于上述的典型非标准梯形螺纹。其中上固定板、法兰螺柱两种零件材料采用铸钢, 调模螺母材料采用铸铝青铜, 结合各零件材料性能特点和各尺寸公差分析, 各零件的选材和尺寸公差制定, 原则上已符合设计的性能要求, 能满足实际工况条件的使用要求。但在实际中却经常遇到: 经检验已认为符合图样公差要求范围的各套件, 在装配过程中, 总是出现有部分不能达到顺畅的螺旋传动, 有时甚至产生阻滞或“咬死”。为此从操作、检验甚至装配等的工艺同行已逐渐形成“适当超出极限偏差才能顺利装配”的思想意识。带着疑问我经常到车间现场观察, 综合考虑各种加工工艺、坯料性能及其几何特征, 并查阅了有关文献, 根据不同材料的热膨胀系数进行综合运算, 经过分析得出: 产生阻滞或“咬死”现象的主要因素有以下几点。

1 因切削热变形使实际螺距不等,

1.1 不同材料在热变形后的螺距累积误差不同

上述调模机构, 其螺旋副是由固定板件 1、调模螺母件 2 和法兰螺柱件 3 组成。其中调模螺母材料为铸造铝青铜, 件 1、件 3 都是铸钢。查阅相关资料,



1—上固定板; 2—调模螺母; 3—法兰螺柱

图 1 调模部件

使我进一步认识到: 工件受热变形将反映在其不同长度, 方向、材质及表面形状等。尤其对大件螺纹类的螺距, 会受热变长、冷缩短的复杂过程。上述调模螺母工件既是内外均有大螺距低浅牙螺纹、又是薄型的长套类大工件(见图 2), 从其形状特征看, 其螺距受热变长、冷后螺距缩短尤其明显。再加上, 此三件螺纹副除螺距 P 均为 24 mm 以外, 其他如齿槽、齿厚和齿高等都是按非标浅牙型制订。调模螺母内、外螺纹局部放大图(见图 3)。可见调模螺母在设计上是为增加调模螺母的齿厚强度, 齿厚是齿槽的 1.5 倍。即齿厚基本尺寸 $S_1=14.5$ mm, 轮廓尺寸为中 488×342。(对配的两铸钢齿厚基本尺寸 $S_2=9.5$ mm) 显然, 由于其总长度尺寸及齿厚都比较大, 再加上坯料为铸造铝青铜(ZCuAl10Fe₃), 热膨胀系数也大。查后悉知其材料热膨胀系数: 45 钢为 $(1/^\circ\text{C})$; 而铝青铜为 $(1/^\circ\text{C})$, 相当于钢的 1.52 倍。在车削加工工艺中, 加工上述两

作者简介: 蔡良霄 (1991—), 男, 本科, 机械设计工程师, 技术主管(机械), 主要从事橡胶机械的设计研究工作。

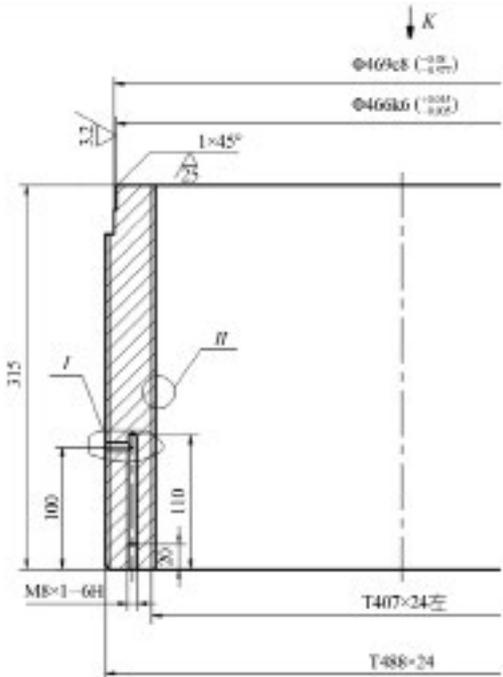


图2 调模螺母

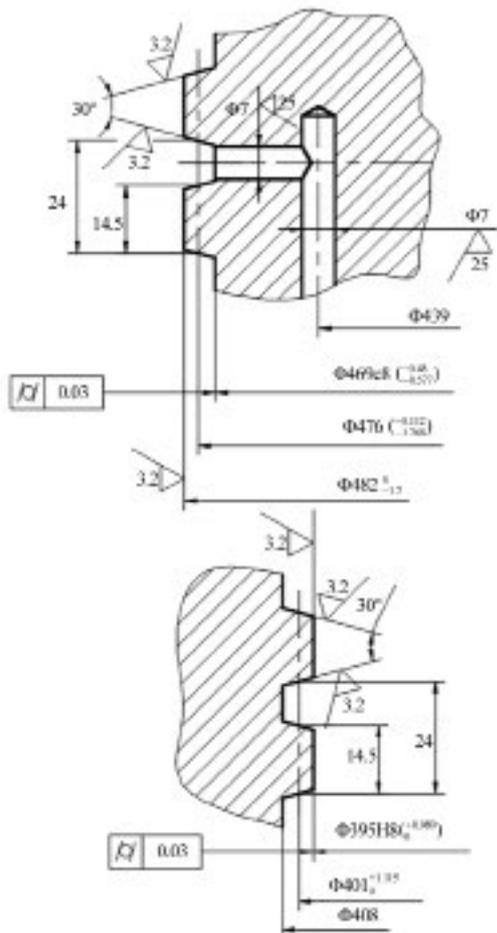


图3 调模螺母螺纹局部

种铸钢件螺纹时，宜采用低速精车，且充分浇注切削液，所以温升较小。而精车调模螺母时，由于其坯料是铸铝青铜宜采用中高速精车，且不宜浇注切削液，所以温升较大。因此，在加工过程中钢件和铜件产生的切削热升温及其热胀冷缩方面的条件恰恰是个极大反差，虽然理论螺距相同，但铜件的调模螺母实际螺距累积误差就必然要比两件钢件的法兰螺柱、上固定板累积误差明显加大。这样的话，是不是“调模螺母”的实际螺距更大呢？事实又恰恰相反。我们来看精车过程：车螺纹时的螺距精度，由车床丝杠及其传动链精度确定，在理论上同一台车床精车相同导程（螺距）螺纹时的瞬时导程（螺距）完全相等。再来分析两种零件受切削热的影响变化情况：首先铜件的螺距是在上述高温下瞬时获得，当铜件温度恢复至常温时螺距已经缩小。

缩小量 ΔP 可按公式： $\Delta P = aP\Delta t$ 计算。

式中： a —材料热膨胀系数；

P —工件螺距，mm；

Δt —工件升高的温度， $^\circ\text{C}$ ；

L —工件螺纹长度。

举例：假设调模螺母（铸造黄铜 ZCuAl10Fe3）长度 $L=340$ mm，精车时温度 60°C ，螺距 $P=24$ mm，当工件恢复到常温时（ 20°C ）螺距将会缩小多少 mm？总累积误差是多少？根据常用材料的线膨胀系数表查出，铝青铜的线膨胀系数 17.6×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$)。

解：(1) $\Delta P = aL\Delta t = 17.6 \times 10^{-6} \times 24 \times (20 - 60) = -0.017$ mm

(2) $\Delta L = \Delta PL/P = -0.017 \times 340/24 = -0.24$ mm

计算所得：螺距将会缩小 0.017 mm，总累积误差为 -0.24 mm。

上述仅从热变形影响进行计算，螺距就缩小了 0.017 mm，若再计入因采用中、高速精车时其牙形的误差影响，螺距误差还可能大于 -0.02 mm。假如要求螺纹量规（或配件）的可旋合性应为十个牙，此时轴向累积误差已达 0.2 mm，当然可旋入的牙数要少了许多。何况在（图 1）部件中的调模螺母还要求全部旋入。可见“调模螺母”只要升温 20°C ，全长的螺距累积误差 $\Delta L = 17.6 \times 10^{-6} \times 340 \times (-20) = -0.12$ mm。但实际升温将更大。

1.2 测量其螺距受热变长、冷后螺距缩短的近似值的方法

可将杠杆表夹于磁力表座，并置于车床刀架上，

使杠杆球头触于高速粗车后的右牙侧(开合螺母不要抬起)。然后用慢转使杠杆表紧跟原导程走全部或大部分螺纹长度。这时,若马上在高速粗车后随原导程测量,其表针走动的最终正、负值几乎是丝杠传动链的误差值。然后停车,退出杠杆表,使工件充分冷却。这时,仍用上述方法,即用同慢速、同导程,杠杆球头接触在同一右侧位置上走完相同长度,这时,其表针走动必然是正值(又称加表),然后将此值减去首次测得的丝杠传动链误差值就是冷缩后的螺距累积误差。还应当指出,按理在首次测得的“丝杠传动链误差值”已经包含了部分的冷缩累积误差,因为铜件的实际导程是在上述高温下瞬时获得,当工件停下测量时,其螺距已经开始缩小。所以,上述冷却后测得的螺距累积误差将会小于实际螺距累积误差。

1.3 作用中径计算

由于早期没有认真分析它,每当互配太紧,就只好将外螺纹的合格中径尺寸车小,直至能配入为止。其实,当车小的实际中径尺寸,就是受螺距累积误差影响的“作用中径”。那么作用中径的修正量 Δd_2 与螺距累积误差 ΔL 之间应如何进行换算?建议求 Δd_2 可用下式算得:

$$\Delta d_2 = \Delta L / \tan \alpha / 2 = 0.12 / \tan 15^\circ = 0.12 / 0.268 = 0.45 \text{ mm}$$

经计算说明,当螺距累积误差 $\Delta L=0.12 \text{ mm}$,作用中径尺寸就要比理想中径尺寸车小 0.45 mm 。

1.4 减少“调模螺母”螺纹热变形方法

上述分析,该螺纹副的旋合受阻,主要是因为其中的调模螺母材料和与之内、外相旋的两件螺旋副材料不同而产生热胀冷缩程度不同,以及精车速度的反差使螺距不等而造成的。但其中的调模螺母材料之所以选用铸造铝青铜,是因为铸造铝青铜是减少大螺旋副与钢件之间的磨损和预防胶合的特定材质,所以只能着手从车螺纹工艺过程中去减少切削热,降低精车时的切削温度及预防其他变形等方面解决。

1.4.1 减少螺纹精车余量以降低精车时的切削温度

车“调模螺母”的内、外螺纹时,应粗、精车分别进行,在粗车时留精车余量要尽可能小些。

1.4.2 正确选择控制余量的测量方法

为了把握余量的准确度就要正确选择控制余量的测量方法。要控制余量的测量方法很多:

- (1) 如用游标卡尺测量牙顶宽。
- (2) 用齿厚卡尺测量中径齿厚。

(3) 用单圆柱(单针)测量单条螺纹中径。

(4) 用三根圆柱(三针)测量螺纹中径等方法。

上述各种测量法各有各的应用特点:如测量牙顶宽(f)法,其精确度差,只能用于半精车之前对内、外螺纹的齿厚余量测量;用齿厚卡尺测量中径齿厚比单针法、三针法的测量精度低,但对螺纹的中径齿厚余量测量较为直观(尤其测量大直径“上固定板”的内螺纹余量更为方便);而用三圆柱(三针)测量虽然测量外螺纹精度高,但由于工件直径大、螺距大、测量跨距也大,使用大千分尺时,在双圆柱上还要加有垫块,测量就比较麻烦;相对而言,用单圆柱测量外螺纹的中径余量就较为精确、简便。并且它还能与最后的精车测量基准统一进行。

1.4.3 掌握控制余量换算法

由于上述螺纹的齿槽宽和齿顶高以及齿厚等都按非标准制订,其换算方法或公式、代号及其系数就有所不同。(见图4为例,因系非标梯牙,齿顶宽 f 采用锥度解法。)

(1) 齿顶宽 f 计算:

$$f = -\tan 15^\circ \times (482 - 476) = 14.5 - 1.61 = 12.89 \text{ mm}$$

(2) 关于单针测量计算:

$$\text{原公式为 } A = (M + A_0) / 2$$

先计算三针测量值 M :计算时若采用最佳钢针直径可简化为:

$$M = d_2 + 1.262 d_{D_{\text{佳}}}$$

$$d_{D_{\text{佳}}} = 0.518 p \quad (\text{此“非标梯牙”的 } P_{\text{非}} = 2S_{2\text{非}} = 2 \times 9.5 = 19 \text{ mm})$$

$$= 0.518 \times 19 = 9.842 \text{ mm};$$

$$M = d_2 + 1.262 d_{D_{\text{佳}}} = 476 + 1.262 \times 9.842$$

$$= 476 + 12.421 = 488.421 \text{ mm};$$

$$A = (M + A_0) / 2 \quad (\text{假设实际大径 } A_0 = 481.60 \text{ mm})$$

$$= (488.421 + 481.60) / 2 = 970.021 / 2 = 485.011 \text{ mm}$$

单针测量示意图(见图5),用单针测量时应注意, A 值极限偏差只能取用中径极限偏差的 $1/2$ 。则当三针测量读数 $M = 488.421_{-0.116}^{-0.058}$ 单针测量读数 $A = 488.421_{-0.634}^{-0.058}$

式中:

d —螺纹大径;

d_2 —螺纹中径;

$d_{D_{\text{佳}}}$ —最佳钢针直径;

$P_{\text{非}}$ —非标准梯形螺纹螺距。

(3) 计算齿厚极限偏差 $S_{\text{齿}}^{\text{ss}}$:

$$es = -0.116 \times 0.268 = -0.031$$

$$ei = -1.268 \times 0.268 = -0.34$$

则齿厚 $s = 14.5 \begin{smallmatrix} -0.031 \\ -0.340 \end{smallmatrix}$

(4) 与上述同理, 当测得实际中径 M 值余量 $d_{2余}$, 也可以换算为齿厚减薄量。设测得实际中径 M 值余量 $d_{2余} = 0.54$ mm, 实际齿厚余量 $S_{余}$ 有多少 mm? 则齿厚余量 $S_{余} = 0.54 \times \tan 15^\circ = 0.54 \times 0.268 = 0.145$ mm。

(5) 如要将齿厚余量 $S_{余}$ 反算为中径余量 $d_{2余}$,

则 $d_{2余} = S_{余} / \tan 15^\circ = 0.145 / 0.268 = 0.54$ mm。

1.4.4 充分利用冷却条件以减少切削热

因为“调模螺母”坯料为铸造铝青铜, 一般不用冷却液, 但由于切削速度又宜用较高速, 所以在精车之前应以慢速空转, 并在螺纹表面上浇注大量冷却液, 使它冷却至接近常温。精车时最好用(刷上)黏度较小的煤油冷却。

1.4.5 选择适当的精车切削速度

由于铸造铝青铜螺纹不宜用低速精车, 但为了防止温差扩大也不能采用过高的切削速度。对铸造铝青铜而言, 其质较脆, 不需要考虑积屑瘤的影响。

1.4.6 选择合理的刀具几何角度

梯形螺纹车刀一般分为粗车刀和精车刀两种, 但加工铸造铝青铜两种刀差别不大, 这里我仅针对适应铸造铜件材料, 并结合如何提高螺纹精度和减少切削热方面建议如下:

(1) 加工铸造青铜精车刀径向前角较小, 取 $\gamma_0 \approx 3^\circ \sim 5^\circ$ 。

(2) 车刀的前刀面应采用平面形, 平面的长度应大于或等于牙型高度的 1.5~2 倍, 并垂直于导程角, 以保证排屑流畅, 减少切削热。

(3) 两侧后角工作角度为 $4^\circ \sim 6^\circ$, 原则上应根据导程角而进行加、减计算, 但对此类大直径螺纹, 其导程角仅 1° 左右, 所以进刀后角应加 1° , 而背离进刀后角应减 1° 即可。

(4) 为了减少摩擦发热, 最好磨有双后角, 其工作后角自刀刃下方保留 1~1.5 mm, 第二后角为 $10^\circ \sim 12^\circ$ 。

(5) 车刀的两侧主刀刃要保持平直、锋利、光洁, 刀钝也容易发热。

(6) 该“调模螺母”内为左旋螺纹, 外为右旋螺纹, 在刃磨和安装车刀时, 必需区分旋向, 以免相反应而增加摩擦升温。

(7) 在螺纹精车后, 为防止其牙顶锐角在装配时

相互干涉和易伤手, 要用 45° 刀, 倒钝牙顶锐角, 以减少螺纹配合的不良因素。

2 工件在装夹中产生变形

2.1 工件的安装变形将随卡盘和装夹方法的不同而不同

工件在装夹中产生变形一般有直接变形和弹性复原两种形式。工件直接变形又分有在三爪卡盘上装夹变形和在四爪卡盘上装夹变形两类。如果工件是在四爪卡盘上装夹变形, 一般可通过测量其直径的对应点获知。但由于“螺母”内、外都是螺纹, 应有的变形检测常会因不便而被忽视。如果工件是在三爪一般就不能通过卡盘上装夹变形, 这种变形属于“等直径变形”, 测量其直径的对应点获知其变形情况, 它对螺纹副的旋合性等直径变形影响更不容忽视。

2.2 “调模螺母”在调头安装时, 还要预防变形

上述互配的三件非标梯形螺纹因各自的结构及材料差异, 两钢制零件变形的可能性较小, 主要还是“调模螺母”最容易受夹紧力的影响而变形, 因为它的内、外表面均为非标梯形螺纹, 且内外底径间壁较薄, 属于较典型的薄壁工件, 所以特别要注意夹紧力引起的变形。为了减少径向夹紧力变形, 应注意毛坯的工艺夹位不能过短, 以便在内、外螺纹加工完后直接切下。有了工艺夹位还应注意在调头安装时, 夹紧力不能过大, 以防止接近夹位处的一端产生等径变形, 而致使内螺纹的作用中径减小和外螺纹的作用中径增大, 再次影响配合质量。

2.3 “调模螺母”在搬运放置时, 还要预防变形

由于上述“调模螺母”工件既是内外均有大螺距低浅牙、又是铸造青铜的薄形大套类工件, 在刚性强度和材料比重方面比同类型的铸钢、铸铁更容易因横向放置而产生自重变形。所以横向放置时间不能太长, 最好应以端面水平放置, 起码要用 V 型木架横放。

3 结论

(1) 车削长、大螺纹, 尤其有色金属, 其热变形大, 应避免高速、高温精车, 否则过后螺距将会缩短而影响配套传动性能。

(2) 正确计算三针测量, 在计算公式中的 P , 对于非标螺纹即齿厚与齿槽不等, 则 $P_{非} = 2 \times$ 齿槽宽 (不

能直接应用图纸上的 P)。

(3) 计算单针测量 A 值的极限偏差只能取中径极限偏差的 $1/2$ 。

(4) 实际螺距缩短或被装夹变形, 都会使螺纹作用中径明显产生变化 (内螺纹作用中径变小; 外螺纹作用中径增大)。

Analysis of the main factors affecting the smooth rotation of the mold adjustment mechanism

Cai Liangxiao

(Sinochem (Fujian) Rubber and Plastic Machinery Co. LTD., Sanming 365000, Fujian, China)

Abstract: When machining large, thin-walled, and non-standard trapezoidal thread components made of different materials, assembly difficulties often arise, necessitating rework, which can delay production schedules and adversely affect the production efficiency of enterprises. This article takes this example to demonstrate various factors involved. Among them, the differential thermal deformation of different materials is one of the main reasons, but addressing it through process measures is the only solution.

Key words: mold adjustment mechanism; trapezoidal thread; thermal deformation; material

(R-03)

力压群雄! 玲珑轮胎荣获德国权威机构测试大奖

Outperforming the rest! Linglong Tire wins the test award from a German authoritative organization

日前, 玲珑轮胎在德国汽车俱乐部 AvD (Automobilclub von Deutschland) 2025 年全天候轮胎测试中斩获大奖, 产品“Sport Master 4S”在 205/45 R17 尺寸组别中以 4.1 分(满分 5 分)的优异成绩脱颖而出, 获评“GOOD”(优秀), 超越多个国际一线品牌, 向全球市场有力证明了其领先技术实力。

全天候轮胎是指全年各种季节、各种气候条件下均可使用的轮胎, 结合了夏季胎和冬季胎的优点, 特殊的胎面胶设计可以保证轮胎在四季不同的气候和路况条件下保持优异的抓地和排水性能; 同时, 全天候轮胎胎面花纹设计独特, 使轮胎自如应对于干、湿、冰、雪等各种不同路况。

作为玲珑全天候轮胎的代表, Sport Master 4S 在雪地、干地和湿滑路面均表现出优异性能, 实现了安全、舒适与经济的完美平衡。其采用定向 V 型胎面和 3D 刀槽花纹, 显著提升湿滑和积雪路面的抓地力; 宽大沟槽有效排水排泥, 减少打滑风险。通过特殊胶料配方和结构优化, 确保了干地环境下制动迅捷、操控稳定。创新硅胶材料还有效降低了滚动阻力、噪音和磨损, 延长了使用寿命, 全面提升驾乘品质。

依托遍布全球的研发机构与生产基地所构建的协同网络, 玲珑轮胎将前沿技术创新与智能制程深度融合, 致力于打造性能卓越的产品, 持续获得国际权威机构和市场认可。公司产品曾获德国《AutoBild》“最优评价”, 被《汽车与运动》誉为“突破技术壁垒, 达行业领先水平”; 2024 年, Sport Master 通过 ADAC、TCS 及 ÖAMTC 三大机构联合测试, 获“推荐”评级, 并在《Auto Bild》52 款夏季胎测试中跻身第四, 评语为“典范级均衡表现”; 2025 年, Radial R701 于 ADAC 测试中斩获全场第二, 玲珑首次亮相杂志封面, 被誉为“来自中国的惊喜”。

AVD 是德国历史最悠久、最大的汽车俱乐部之一, 拥有 140 多万车主会员, 在德国及欧洲汽车市场都有强大的影响力。此次问鼎 AVD 大奖, 是对玲珑产品卓越性能的国际认可, 中国轮胎在全球高端市场已逐渐实现从“技术追随”到“创新引领”的跨越。凭借持续的研发投入和严苛的品质管控, 玲珑轮胎将持续让用户的每一次出行, 都多一份安心与自信。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)