

拖拉机前驱动桥制造误差对装配精度的影响研究

陈 重 赵 阳

一拖（洛阳）车桥有限公司 河南 洛阳 471000

摘 要：本文深入剖析拖拉机前驱动桥制造误差对装配精度的影响。首先阐述拖拉机前驱动桥的结构与功能，接着详细剖析制造误差的主要来源，涵盖加工误差、测量误差、工装误差等。通过理论分析，阐述不同类型制造误差如何具体影响前驱动桥的装配精度，如齿轮啮合不良、轴承安装困难、轴线不平行等问题。

关键词：拖拉机前驱动桥；制造误差；装配精度；研究

1 引言

拖拉机作为农业生产的核心动力机械，其性能稳定性和可靠性直接关乎农业生产效率与质量。前驱动桥作为拖拉机传动系统的关键部分，承担着传递动力、改变传动方向和承受载荷等重要功能。前驱动桥的装配精度不仅影响自身使用性能，还对拖拉机行驶稳定性、传动效率和操纵性产生重大影响。在实际生产中，由于多种因素制约，前驱动桥零部件制造必然存在一定误差。若装配过程中这些误差未得到有效控制，将导致装配精度下降，引发零部件磨损加剧、传动效率降低、噪声增大等一系列问题，严重影响拖拉机使用寿命和工作性能。因此，深入研究拖拉机前驱动桥制造误差对装配精度的影响，并采取有效措施加以控制，具有重要理论和实际意义。

2 拖拉机前驱动桥的结构与功能

2.1 结构组成

拖拉机前驱动桥一般由主减速器、差速器、半轴、桥壳等主要部件构成。主减速器通常采用圆锥齿轮传动，其主动圆锥齿轮的模数一般在3-6mm之间，齿数通常为10-20齿，从动圆锥齿轮模数与主动齿轮相匹配，齿数相对较多，一般为30-50齿，用于降低转速、增大扭矩，并将动力传递方向改变90度。差速器主要由行星齿轮、半轴齿轮等组成，行星齿轮一般为4个，其模数在2-4mm左右，允许左右半轴以不同转速旋转，以适应拖拉机在转弯或行驶于不平路面时两侧车轮的不同运动需求。半轴将差速器传递的动力传至驱动轮，其直径一般在30-60mm之间，长度根据拖拉机型号和结构有所不同。桥壳则起到支撑和保护其他零部件的作用，其壁厚通常在8-15mm之间。

2.2 功能作用

前驱动桥的主要功能是将发动机输出的动力通过传动轴传递到前轮，实现拖拉机的前轮驱动。这种驱动方

式可提高拖拉机在松软、泥泞等复杂路况下的通过性，增强拖拉机的牵引力和爬坡能力^[1]。例如，在泥泞的稻田中作业时，前轮驱动能使拖拉机更好地克服地面阻力，提高作业效率。此外，前驱动桥还参与拖拉机的转向过程，通过差速器的调节，保证两侧车轮在转向时具有合理的转速差，使拖拉机能够平稳、灵活地转向。

3 拖拉机前驱动桥制造误差的主要来源

3.1 加工误差

齿轮加工误差：以圆锥齿轮为例，齿形误差是常见问题之一。正常情况下，齿形误差应控制在0.02-0.05mm以内，但实际加工中，由于机床传动链的间隙、刀具的安装误差等因素，齿形误差可能达到0.1-0.2mm。齿距误差一般要求在0.01-0.03mm范围内，然而刀具磨损、分度机构的误差等可能导致齿距误差增大至0.05-0.1mm。齿向误差应小于0.03-0.05mm，但加工过程中的热变形、夹具的定位偏差等会使齿向误差达到0.08-0.12mm。这些误差会影响齿轮的啮合性能，导致传动不平稳、噪声增大等问题。

轴类零件加工误差：轴的直径误差应控制在公差范围内，例如，对于直径为40mm的轴，其直径公差一般为 ± 0.02 - ± 0.05 mm。但加工过程中，机床主轴的径向跳动、刀具的径向进给误差等可能导致直径误差超出公差范围，达到 ± 0.1 - ± 0.15 mm。圆柱度误差要求在0.01-0.03mm以内，然而机床导轨的不平直度、工件的装夹变形等会使圆柱度误差增大至0.05-0.08mm。同轴度误差一般应小于0.02-0.04mm，但加工多段轴时，由于定位基准的转换误差、夹具的定位不准确等，同轴度误差可能达到0.06-0.1mm，影响轴与其他零部件的配合精度。

3.2 测量误差

测量仪器精度：以常用的游标卡尺为例，其测量精度一般为0.02mm或0.05mm。但对于一些高精度的零部件，如齿轮的齿形、齿距等参数的测量，游标卡尺的精

度远远不够。此时需要使用更高精度的测量仪器,如三坐标测量机,其测量精度可达0.001-0.005mm。然而,三坐标测量机在使用过程中,由于环境温度的变化、测量探头的磨损等因素,也会导致测量误差的产生。例如,环境温度每变化1℃,三坐标测量机的测量误差可能会增加0.001-0.002mm。

测量方法:不同的测量方法会产生不同的测量误差。例如,在测量轴的直径时,采用两点测量法可能会因轴的椭圆度而产生误差;而采用圆度仪进行测量,虽然精度较高,但测量过程相对复杂,且测量时间较长^[2]。此外,对于一些复杂形状的零部件,如桥壳的轮廓尺寸,采用传统的测量方法难以准确测量,需要借助计算机辅助测量(CAT)技术,但该技术的应用也需要专业的软件和操作人员,否则也会产生测量误差。

测量人员操作技能:测量人员的操作技能和经验对测量误差也有很大影响。例如,在使用三坐标测量机时,测量人员对测量程序的设置、测量点的选取等操作不当,都可能导致测量误差增大。据统计,由于测量人员操作不当导致的测量误差可达总测量误差的30%-50%。

3.3 工装误差

夹具定位误差:夹具的定位元件磨损或设计不合理,可能导致零部件在加工时定位不准确,产生尺寸和位置偏差。例如,对于齿轮的加工,如果夹具的定位销磨损,会使齿轮在夹具中的定位位置发生偏移,导致齿轮的齿形、齿距等参数出现误差。一般情况下,定位销的磨损量应控制在0.01-0.02mm以内,但实际使用中,由于加工频率高、工件材质硬等因素,定位销的磨损量可能达到0.05-0.1mm,从而使齿轮的加工误差增大。

工装制造误差:工装本身的制造精度也会影响零部件的加工和装配精度。例如,桥壳加工夹具的制造误差应控制在0.02-0.05mm以内,但如果夹具的加工精度不高,存在较大的尺寸误差和形状误差,会导致桥壳在加工过程中的定位不准确,使桥壳上轴承座的轴线出现不平行现象,轴线不平行度可能达到0.1-0.2mm,进而影响前驱动桥的装配精度。

3.4 材料与热处理误差

材料性能波动:不同批次或不同供应商提供的材料,其化学成分、力学性能等可能存在一定差异。例如,对于制造齿轮的合金钢,碳含量的波动范围应控制在 $\pm 0.02\%$ 以内,但实际生产中,由于原材料的质量控制不严格,碳含量的波动可能达到 $\pm 0.05\%$,这会影响齿轮的硬度和韧性,进而影响齿轮的加工性能和使用性能。

此外,材料的金相组织不均匀也会导致零部件在加工过程中产生变形,影响装配精度。

热处理工艺不稳定:热处理过程中,温度、时间、冷却速度等参数的控制不准确,会导致零部件的组织结构发生变化,从而影响其尺寸稳定性和硬度等性能,进而产生制造误差。例如,对于齿轮的淬火处理,淬火温度一般应控制在820-860℃之间,保温时间根据齿轮的尺寸和材质而定,一般为1-3小时。但如果淬火温度波动超过 $\pm 10^\circ\text{C}$,保温时间控制不准确,会导致齿轮的硬度不均匀,产生变形,变形量可能达到0.1-0.3mm,影响齿轮的啮合精度。

4 制造误差对拖拉机前驱动桥装配精度的影响

4.1 齿轮啮合不良

齿形误差影响:当齿轮的齿形误差较大时,齿轮在啮合过程中会出现接触不良的情况。正常情况下,齿轮啮合时接触斑点应均匀分布在齿面中部,接触面积应不小于齿面面积的60%。但如果齿形误差达到0.1-0.2mm,接触斑点会变得不均匀,局部应力集中,导致齿轮齿面磨损加剧^[3]。据实验数据表明,齿形误差每增大0.01mm,齿轮齿面的磨损率会增加5%-10%。同时,还会使齿轮的传动效率降低,一般情况下,齿轮的传动效率应在95%-98%之间,但齿形误差过大时,传动效率可能降低至90%-93%。

齿距误差影响:齿距误差过大会使齿轮在转动过程中出现周期性的冲击。例如,当齿距误差达到0.05-0.1mm时,齿轮每转动一圈,会产生10-20次冲击,产生较大的噪声,噪声级可能增加5-10dB(A),并且影响传动的平稳性。此外,还会加速齿轮的疲劳损坏,缩短齿轮的使用寿命,一般情况下,齿轮的设计使用寿命为5000-10000小时,但齿距误差过大时,使用寿命可能缩短至3000-6000小时。

齿向误差影响:齿向误差会导致齿轮在轴向方向上出现偏移,使齿轮啮合面不均匀。当齿向误差达到0.08-0.12mm时,齿轮在运转过程中会产生轴向力,轴向力的大小可能达到齿轮所受径向力的10%-20%,这不仅会引起齿轮的磨损和噪声问题,还会影响轴承的正常运转,加速轴承的损坏。

4.2 轴承安装困难

尺寸误差影响:如果轴承的内、外圈尺寸误差过大,或者轴承的圆度、圆柱度误差超标,会导致轴承在安装过程中与轴或轴承座配合过紧或过松。一般情况下,轴承与轴的配合公差为H7/k6,与轴承座的配合公差为J7/h6。但如果轴承的内圈直径误差达到 ± 0.05 -

$\pm 0.1\text{mm}$, 外圈直径误差达到 $\pm 0.03\text{--}\pm 0.06\text{mm}$, 配合过紧会增加安装难度, 安装力可能增大至正常安装力的2-3倍, 甚至可能导致轴承或轴、轴承座损坏; 配合过松则会使轴承在运行过程中产生晃动, 晃动量可能达到 $0.05\text{--}0.1\text{mm}$, 影响轴承的正常运转, 降低轴承的使用寿命, 一般情况下, 轴承的设计使用寿命为20000-30000小时, 但配合不良时, 使用寿命可能缩短至10000-15000小时。

游隙误差影响: 轴承的制造误差还可能导致轴承的游隙不符合要求。游隙过大或过小都会影响轴承的承载能力和旋转精度。例如, 对于深沟球轴承, 正常游隙应在 $0.01\text{--}0.03\text{mm}$ 之间, 但如果游隙过大, 达到 $0.05\text{--}0.08\text{mm}$, 会使轴承在承受载荷时产生较大的变形, 降低轴承的承载能力, 承载能力可能降低20%-30%; 游隙过小, 小于 0.005mm , 会使轴承在运转过程中产生过多的摩擦热, 导致轴承温度升高, 温度可能升高 $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$, 同时产生较大的噪声, 噪声级可能增加3-5dB(A), 影响前驱动桥的整体性能。

4.3 轴线不平行

对传动系统的影响: 轴线不平行会使与之配合的零部件在运转过程中产生附加的应力和磨损。例如, 当半轴的轴线与差速器壳的轴线不平行度达到 $0.1\text{--}0.2\text{mm}$ 时, 会使半轴在运转过程中受到弯曲应力的作用, 弯曲应力可能达到半轴材料屈服强度的10%-20%, 加速半轴的疲劳损坏^[4]。同时, 还会导致齿轮啮合不良, 产生噪声和振动, 噪声级可能增加8-12dB(A), 振动幅度可能增大 $0.05\text{--}0.1\text{mm}$, 影响传动的平稳性和效率, 传动效率可能降低3%-5%。

轴线不平行原因: 轴线不平行还可能是由于桥壳的加工误差或装配误差引起的。桥壳作为前驱动桥的基础支撑部件, 如果其加工精度不高或装配过程中定位不准确, 会导致桥壳上各轴承座的轴线不平行。例如, 桥壳上两个轴承座的轴线不平行度达到 $0.15\text{--}0.25\text{mm}$ 时, 会使安装在轴承座上的轴类零件产生轴线偏移, 进而影响整个前驱动桥的装配精度和使用性能。

4.4 密封不良

密封面误差影响: 正常情况下, 密封面的平面度误差应控制在 $0.01\text{--}0.02\text{mm}$ 以内, 粗糙度Ra值应小于 $3.2\mu\text{m}$ 。但如果密封面的平面度误差达到 $0.05\text{--}0.1\text{mm}$, 粗糙度Ra值大于 $6.3\mu\text{m}$, 会导致密封面之间的间隙增大, 使润滑油泄漏。据统计, 密封面平面度误差每增大 0.01mm , 润滑油泄漏量可能增加10%-15%。

密封件尺寸误差影响: 密封件的尺寸误差也会影响密封效果。例如, O形密封圈的截面直径误差应控制在 $\pm 0.02\text{--}\pm 0.05\text{mm}$ 以内, 但如果误差超出此范围, 会导致密封圈与密封槽之间的配合不良, 产生泄漏。一般情况下, 密封件尺寸误差每增大 0.01mm , 泄漏风险会增加5%-8%。密封不良不仅会造成润滑油的浪费, 还会使前驱动桥内部的零部件因缺乏润滑而加速磨损, 影响前驱动桥的正常运行。同时, 外界的灰尘、水分等杂质可能会进入前驱动桥内部, 进一步加剧零部件的磨损和腐蚀, 降低前驱动桥的使用寿命。

结语

拖拉机前驱动桥制造误差对装配精度有着重要的影响, 不同类型的制造误差会导致齿轮啮合不良、轴承安装困难、轴线不平行、密封不良等一系列问题, 进而影响前驱动桥的使用性能和拖拉机的整体可靠性。在未来的研究和生产实践中, 还需要不断探索和创新, 进一步完善制造误差的控制方法和装配工艺, 以适应拖拉机行业不断发展的需求, 推动我国农业机械化水平的不断提高。

参考文献

- [1] 谢太林. 重型拖拉机前驱动桥设计与应用[D]. 江苏大学, 2023.
- [2] 张茂健. 拖拉机终检关键技术优化及装配质量快速测试技术研究[D]. 吉林大学, 2024.
- [3] 赵静慧, 刘孟楠, 徐立友, 等. 四轮驱动拖拉机牵引性能预测模型建立与试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(09): 439-447.
- [4] 成起强. 拖拉机传动系统结构剖析[M]. 天津科学技术出版社: 202306. 130.