

中间轴双基准内插齿位置度 自检方法研究

支新妮, 王林, 刘文辉

陕西法士特齿轮有限责任公司 陕西西安 710119

摘要: 以一款矿用变速器中间轴轴端内插齿加工过程中双基准位置度检测为研究对象(难题), 提出一种适用于量产的高效自检方法。传统三坐标检测位置度受限于环境条件、检测效率、生产成本等原因, 难以满足批量生产需求。本研究基于双基准原理, 主要涉及基准的逆向应用将位置度检测转化为对称度检测, 设计专用检具实现快速测量。通过反基准测量思路与V形对齿头结构, 结合标准件对比法, 实现加工现场位置度误差的量化判定。实际应用表明, 该方法显著提升了检测效率, 降低了批量废品率, 对齿轮轴生产具有重要指导意义。

关键词: 位置度; 对称度; 双基准; 反基准测量; 检测方法; 检具设计

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.08.006

矿用车变速器中双中间轴一侧轴端内插齿加工对位置度精度要求严格($\leq 0.06\text{ mm}$), 传统上采用三坐标检测位置度, 测量精度虽然高, 但三坐标检测位置度对环境温度、湿度、工件的清洁度要求极高, 且测量精度随环境波动较大。因三坐标检测环境敏感度高、测量效率低下等原因, 该检测方法仅适用于少批量单件加工或试生产阶段, 无法适应批量生产需求。

批量生产中因工艺系统的波动导致的废品问题频发, 增加了企业生产成本, 亟需开发一种快速、稳定的现场自检方法。本文结合双基准定位原理, 提出反基准测量思路, 内插齿位置度检测转化为对称度检测方案。因产品结构局限性, 本文提出反基准(基准要

素与测量对象互换)思路, 并设计专用检具, 旨在解决加工过程中的实时质量监控难题。

产品结构与检测难点

1. 产品结构特征

双中间轴轴端内插齿Ⅲ工艺简图如图1所示。

工艺要求: 内齿Ⅲ—固定齿(“O”标记对应齿, 插齿时标记)相对于两端中心孔轴线及外齿I—固定齿槽(“O”标记对应齿, 滚齿时标记)中心线为双基准。确保内齿Ⅲ固定齿分度圆齿厚中心的位置度误差相对于双基准不超过 0.06 mm 。即内插齿齿Ⅲ固定齿

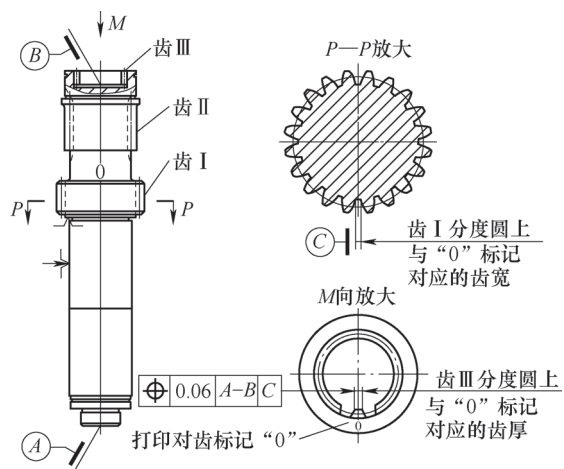


图1 双中间轴轴端内插齿Ⅲ工艺简图

的分度圆齿厚中心线相对于两中心孔及外齿Ⅰ固定齿分度圆上的齿槽中心线位置度在0.06mm以内，工艺要求精度高，位置度检测采用三坐标测量仪（见图2）。



图2 三坐标检测位置度

2.检测难点分析

- 1) 精度要求高。齿Ⅲ—固定齿位置度测量采用双基准（中间轴两端中心孔组成中心线；齿Ⅰ—固定分度圆齿槽中心线），位置度精度要求严格（≤0.06 mm），且中间轴轴端内插齿内径空间狭小，传统的测量检具设计困难。
- 2) 效率瓶颈。三坐标检测位置度虽准确度高，但企业三坐标资源有限，大量购置增加生产成本。另外，三坐标检测位置度测量时间长，对环境依赖性强，制约多机量产节奏。
- 3) 质量风险。生产中 人、机、料、法、环等工艺

系统任何一个方面发生波动，均易引发批量报废，增加企业生产成本。

位置度检测原理与转化

1.双基准测量原理

位置度检测目标为内插齿Ⅲ固定齿分度圆齿厚中心相对于双基准的偏移量。由于中间轴轴端内插齿内径空间狭小，通过反基准设计思路，以内插齿齿Ⅲ固定齿分度圆齿厚自身为基准，结合中心孔轴线与基准齿Ⅰ固定齿分度圆齿槽中心线，将位置度检测问题转化为对称度检测，对称度检具（见图3）中左端顶尖因工件结构及反基准思路需另行设计为专用顶尖。

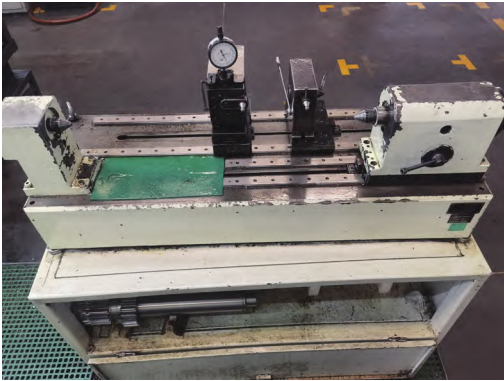


图3 对称度检具

2.位置度转化模型

位置度误差*T*可通过公式量化

$$T = 2 | T_2 - T_1 / 2 | \tag{1}$$

式中 *T*₂——被测工件千分表读数；
*T*₁——标准件位置度误差；
T——被测工件位置度误差。

位置度自检检具设计与实现

1.检具结构设计

- 专用顶尖设计：替换原对称度检具左侧顶尖，适配中心孔，如图4所示。
- V形对齿头：采用反基准后，设计专用V形对齿头，定位内插齿齿Ⅲ—固定齿分度圆齿厚，如图5所示。
- 测量球头：采用反基准后，设计专用测量球头来

匹配检测外齿Ⅰ—固定齿齿槽中心，如图6所示。

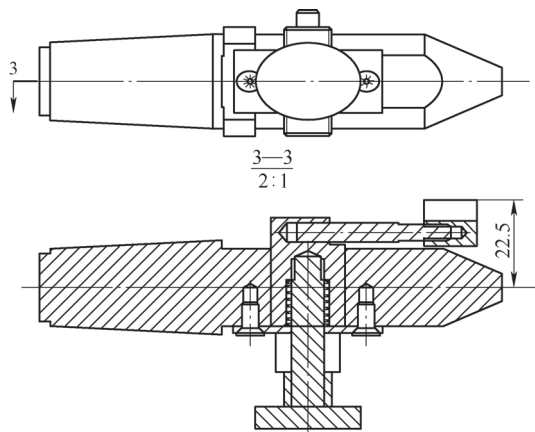


图4 专用顶尖

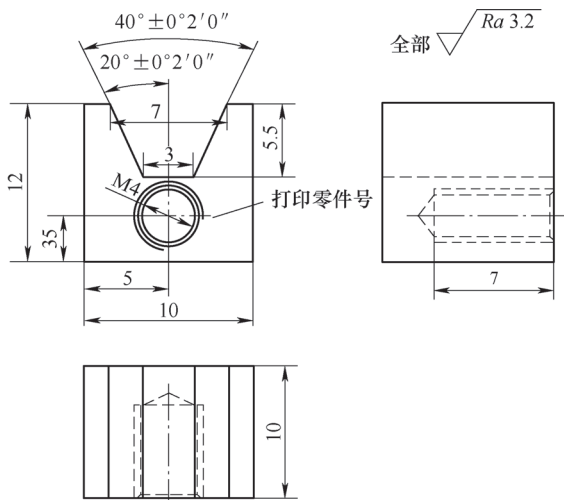


图5 V形对齿头

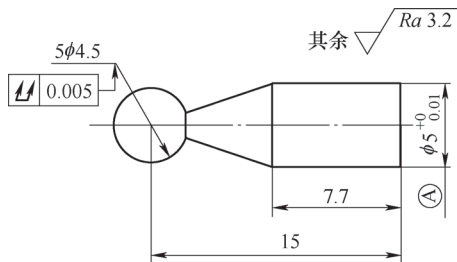


图6 测量球头

2.检测流程

1) 标准件标定。安装标准件，调整千分表归零。检测时先更换对称度检具左侧顶尖为专用顶尖，再装标准件，使专用顶尖顶入插齿一端中心孔内。V形测头顶入内齿Ⅲ固定齿分度圆齿厚作为定位基准，对称度

另一测量球头顶入外齿Ⅰ—固定齿分度圆齿槽，压表后调整千分表并使千分表归“0”，完成标准件标定。

2) 工件测量。替换被测件，读取千分表偏移值。使V形测头退出内齿Ⅲ固定齿，取下标准件。再装入被测工件，重复上一步骤。

3) 标准件标定动作，观测对称度千分表读数并记录 T_2 。

3.误差计算

通过公式计算位置度误差， $T \leq 0.06$ mm时，判定被测件位置度合格性。如：标准件 T_1 位置度为0.005mm，工件测量后千分表示值 T_2 为+0.014mm，则 $T=2|+0.014\text{mm} - (\pm 0.005\text{mm}/2)|=0.023\text{mm}$ 或0.033mm，则工件判定为合格。通过此种方法，可以满足量产时位置度快速自检，对生产具有现实指导意义。

4. 实际生产效果

- 1) 效率提升，单件检测时间缩短至原方法的30%。
- 2) 精度保障，误差控制稳定在0.06 mm以内。
- 3) 成本降低，废品率下降约45%，年节约成本超百万元。

结语

本文基于双基准对称度自检方法，提出反基准设计思路，通过计算与专用检具开发，有效解决了矿用变速器中间轴内插齿量产时位置度检测难题。该方法具有快速、稳定、低成本的优势，为类似复杂结构的精度控制提供了技术参考。未来可进一步探索自动化检测与数据实时反馈系统的集成应用。 **AUTO1950**