数字压力装配单元研究与应用

周强，马维鹏

陕西法士特齿轮有限责任公司　陕西宝鸡　722409

摘要：通过研究应用数字压力装配单元的控制策略，计算和验证最佳压力、压装速度及控制方法，实现输出压力、压装速度的精确控制。压装数据的实时显示与可追溯性，为装配的信息化、智能化做好了数据基础。

关键词：关键过盈件；数字压力装配单元；控制策略；信息化；智能化

目前变速器、发动机等汽车关键零部件行业中都应用到油封、轴承、齿轮的压力装配，然而油封漏油故障多发，轴承压装受力不均，转动过程中卡滞、异响、烧蚀等事故屡见不鲜，齿轮压装倾斜、错位及位置度超差时有发生。市场上有关齿轮、轴承与油封等关键过盈件的装配事故多发，造成了极大的工业浪费。为了有效提高此类过盈件的装配质量，需要弥补传统冲击装配、液压机和气液增压机压装的不足。

现有液压机、气液增压机不能精确调节输出压力，压装速度无法精确控制，无法存储压装数据，压装数据无法显示，更无法追溯。液压机、气液压机能源消耗大，运行噪声大、故障多，压装质量不易保证，因此提高油封、轴承及齿轮等过盈件的压装质量迫在眉睫。数字压力装配单元压装平稳、可控性良好，在兼顾效率的前提下，给齿轮、轴承及油封等关键过盈件的装配带来了极大的质量提升。

数字压力装配单元工作原理

数字压力装配单元又叫伺服压力装配单元。如图1所示，该系统由控制器、操作面板、编码器、交流伺服电动机、传动装置、力传感器（应变器）、滚珠丝杠、滚珠丝杠螺母、扭力保护单元、压装装置、工装连接装置及缸筒等重要部分组成，无易损件，设备免维修。通过内置的高速计算模块智能控制电动机的旋转，带动滚珠丝杠，从而驱动压装装置的伸缩，最终实现全自动化压装功能。

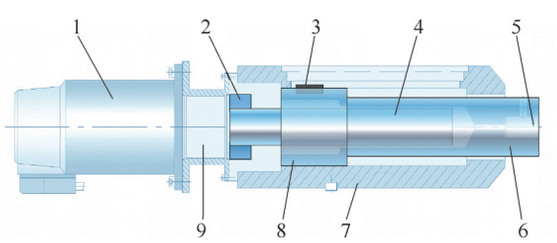

图1　伺服压力装配模块

1－伺服电动机　2－力传感器（应变计）　3－扭力保护单元
4－滚珠丝杠主轴　5－工装连接装置　6－压装装置
7－缸筒　8－滚珠丝杠螺母　9－传动装置

压装过程中有两个重要的评价维度：压装力和压装位移。压装力直接反应被压装件与配合件之间因过盈量、配合尺寸、材料以及粗糙度等影响的程度。压装位移，反应被压装件的高度以及压装件与相配件的配合深度。

通过试验验证并设定合理的压装力、压装位移、压装速度和保压时间，压装过程中实时记录压装装置的压装力和位移，通过系统数据分析拟合行程和力的压装曲线，控制系统进行识别分析压装曲线的轨迹，从而评价工件的压装质量。压装单元会报警提示超出控制策略的压装曲线，同时根据操控面板显示异常信息分析识别工件异常点，便于返修处理。

数字压力装配单元工艺优势以及控制策略

传统轴承、油封、齿轮等关键过盈件的装配依靠的是液压机和气液增压机压装，此种装配方式无压力和位移控制，压装压力即压装设备的满量程压力，以全负荷压装工件至工件无法产生位移为止，此种装配方式存在极大的质量隐患。没有压力控制会使某些零件无法承受压装设备的全负荷压力，导致工件的变形失效；没有位移控制，存在达到压装力要求，然而工件没有安装到位或者安装过度的风险，从而使工件报废，甚至流入市场影响产品质量。

数字压力装配单元采用伺服系统控制，有精准的力控精度≤0.5%和位移重复精度±0.01mm，压装过程平稳，能够参照不同工件设定不同的压装压力、位移和速度，可存储130多种程序，程序任意调用，柔性化好，可多品种共线生产；能够实现力、位移、时间数据的实时采集和分析，完整记录压装过程中的压力、位移，绘制整个过程的压力、位移曲线并保存（可扩展存储5000条记录）以供整体分析和数据追溯。如图2所示，通过数字压力装配单元的控制功能可以将轴承、油封、齿轮压装过程不合格的工件显示出来，阻止不合格工件的流转，适应于对压装工艺有严格要求的所有场合。

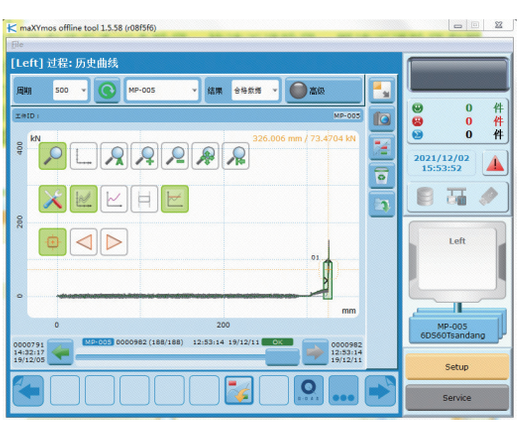

图2　数字压力装配单元的控制界面

控制策略主要包括压装力、位移、速度、时间和控制方式。

1）压装力（常见零件）计算：

$$F = 1.5\ I\ i_{max} \times 10^4 \qquad (1)$$

式中，I——配合宽度，单位为mm；

i_{max}——最大过盈量，单位为mm；

2）位移、速度以及时间共存，共分为三个阶段——快速工进阶段、慢速工进阶段以及慢速压装阶段（当慢速工进阶段取0无参数时，压装阶段位移必须高于工件高度），且三个阶段速度依次降低。

3）常采用压力控制位移监控和位移控制压力监控两种控制方式。数字压力装配单元具备23种监控和分析方式，如图3所示，常采用UNI-BOX窗口和包络线控制识别压装曲线。

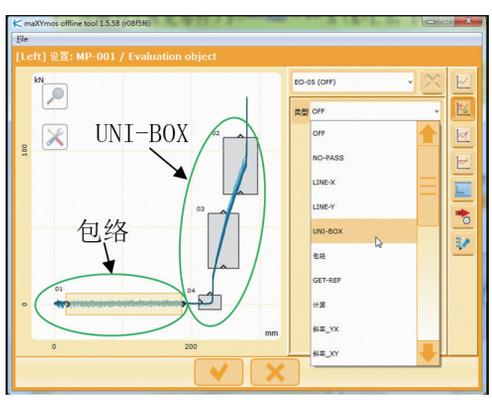

图3　数字压力装配单元中监控、分析方式示例

数字压力装配单元的压装方案

以齿轮压装为例，将齿轮压装在配合轴上，如图4所示，齿轮配合直径为$\phi_{齿轮}$=51.2（0/+0.025）mm，配合高度$H_{齿轮}$=23.2±0.1mm，相配件轴配合直径为$\phi_{轴}$=51.2（+0.045/+0.060）mm。

计算压装力$F = K\ I\ i_{max} \times 10^4$N=1.5×23.2×（0.060-0）×$10^4$N=20 880N，因此压装力大约为21kN。根据压装单元空行程和轴的压装高度计算得出齿轮的终点行程S=325mm（因采用压力控制位移监控压装方式，所以在行程的基础上需增加安全距离1～5mm，常取1.5mm，所以S=326.5mm），齿轮的压装行程$S_{压}$=23.2mm+10mm（安全距离）

图4　齿轮压装现场

=33.2mm，约取33mm，所以快速工进行程$S_{进}$=325mm－33mm=292mm；工进速度$V_{进}$=70mm/s（量程为0～400mm/s，工进速度推荐小于100mm/s）；压装速度$V_{压}$=5mm/s（推荐小于10mm/s），压装完成后回归起始位置，根据以上参数设置压装程序，如图5所示，启动程序实现功能。

图5　设置压装程序

压装方案的效果验证

工件压装完成后，检测压装质量（测量工件压装到位情况），齿轮和轴是否存在压装损伤等异常，在完全符合工艺要求的情况下，可进行数据的采集，压装足够数量（10～20组）工件后可初步形成参考曲线库。针对参考曲线拟合分析，设定UNI-BOX控制策略，通过 UNI-BOX实时限定压装过程，正常工件可完全通过UNI-BOX并呈现绿色标识，异常工件无法通过控制窗口，出现异常报警。

根据齿轮压装分析，正常曲线（见图6）和异常曲线（见图7）基本重合，异常曲线拐点以及拐点以后曲线整体向左移动，因此此种异常点为轴的配合位置尺寸整体加工向上变大70.35mm－68.55mm=1.8mm所致，经检测，与分析结果保持一致。

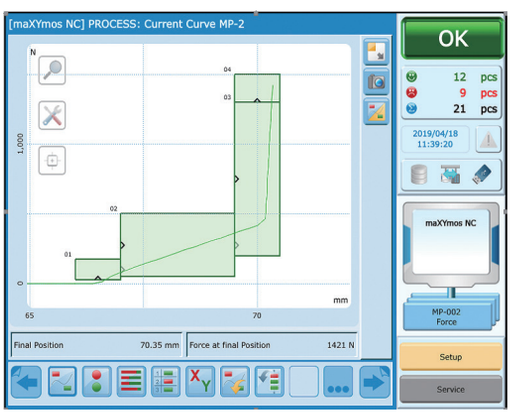

图6　正常工件齿轮压装曲线

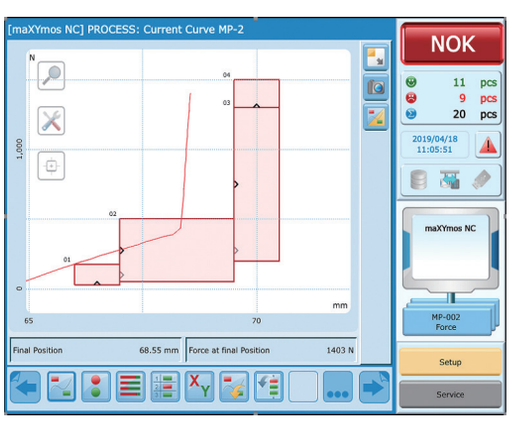

图7　异常工件齿轮压装曲线

结语

数字压力装配单元应用场景广泛，针对刚性接触的金属类工件常选择压力控制、位移监控的压装方式。反之油封等易变形类工件为避免压装过程中工件损伤，建议采用位移控制、压力监控的压装方式，根据压装质量设定合理的保压时间。

有效地利用数据控制分析功能，深入发掘拟合历史压装曲线，设定最佳控制方式，以实现降低成本、缩短节拍和提高生产质量的目标，并为数字化转型奠定基础。AUTO1950