

# 工业 4.0 时代的智能伺服感知

Tomer Goldenberg

Elmo Motion Control 首席技术营销工程师

---

## 摘要

在这场旨在促进工厂转型升级的工业革命（工业 4.0）中，人们较少谈及的运动控制技术可以帮助实现工业 4.0 的众多目标，推动工业 4.0 向前发展。智能、紧凑、高效通讯的伺服驱动器安装在机器内部，充当先进的遥测设备，可以感知、监控和反应。本文以取放（P&P）应用为例，展示创新运动控制为智能制造带来的无声冲击。“纯功率”控制，智能伺服技术，负载安装紧凑、坚固耐用且高度可靠的伺服驱动器，不仅能够实现工业 4.0 的目标，而且有助于打造更智能、更小巧、更轻盈、更安全、更环保、更高效、更具成本效益、更精益的机器。

---

Elmo Motion Control Ltd. 60 Amal St., P.O. Box 3078, Petach-Tikva 49516, Israel

Tomer Goldenberg : • 手机 : +972-5-06380720 • [tomerg@elmomc.com](mailto:tomerg@elmomc.com)\* [www.elmomc.com](http://www.elmomc.com)

## 工业 4.0 时代的运动控制

虽然在工业 4.0 时代不为人所熟知，但运动控制对于实现此次工业革命的一些主要目标可以起到非常关键的作用。下面我们对比一下两台表面贴装 (SMT) 取放机器的案例分析。两台机器都用于对产能和质量有严格要求的制造任务，都采用龙门结构，Z 方向贴装头负责元件拾取和旋转，二者都处理相同尺寸的元件，在 PCB 板上贴装类似高密度小元件。但是，二者的设计方式、运动方法和每小时处理元件数量 (CPH) 差异显著。机器 “A” 重量 2,000kg，体积 5.2m<sup>3</sup>，机器 “B” 重量仅 1,200kg，体积 3.9m<sup>3</sup> (小 33%)，并且整体 CPH 更高。为什么看起来更小、更轻、“配置” 更少的机器，其性能反而胜过 “重型” 机器呢？

### 什么是 “纯功率” ？

在智能伺服驱动系统中，大部分消耗的功率用于负载 ( “纯功率” )，这在工业 4.0 体系中是一个显著优势。伺服驱动器响应速度快，采用高分辨率反馈，可以精确感知、监控和分析机器的运动，控制部件和设备运行。实时感知力、扭矩、速度和位置，这些数据可以反馈机器运行状态，为机器维护提供预测性参数，最终减少故障，缩短停机时间。

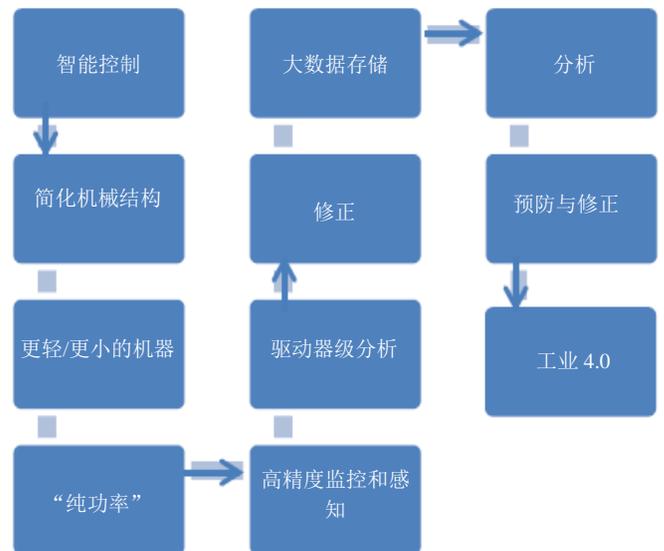


图 1：智能控制在工业 4.0 中的作用

### 如何实现 “纯功率” ？

#### 1. 独有的龙门控制

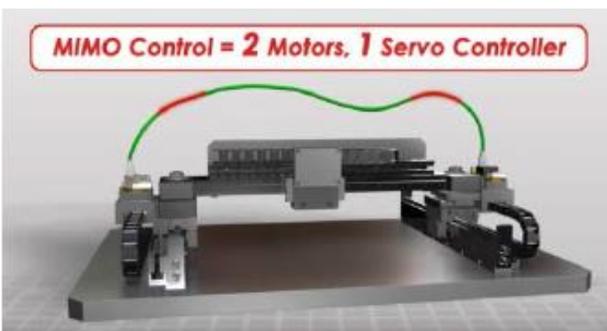


图 2：只有 2 个伺服驱动器的龙门操作

传统方法是采用一个主控制器控制两个驱动器实现龙门算法。除了具有物理意义上的复杂性，这种架构往往会加重计算和总线负载。机器“B”采用精益控制理念设计，仅通过两个伺服驱动器实现龙门算法。

由于不需要控制器实现龙门算法，驱动器安装在负载上，这可以显著减少开销。电缆、连接器、散热片和电缆导管减少了，或者完全去除了，实现了真正的“纯功率”运行。

## 2. 取放 - 核心在于贴装头

要使机器“B”更轻，还需要尽量缩小贴装头的体积。将超小型、轻盈、性能强大的伺服驱动器直接安装到移动 XY 轴上。这样，贴装部分消耗的功率更少，显著减少电缆、支架和连接器带来的额外功率损耗。负载更加轻盈，驱动更加灵敏。

“纯功率”可以帮助机器“B”解决众多难题，包括 0.3N 到 10N 范围内的精确“无传感器”力控制，电流环分辨率变比大于 2000:1，极快的响应速度，以及高带宽（高达 4 KHz）。



图 3: 16 个超紧凑高功率伺服驱动器

## 3. 智能运动与伺服控制

高性能和高吞吐对取放机器的控制水平要求很高。安装在机器内部的智能伺服驱动器可以实现高精度感知和分析，分辨率和灵敏度高，响应速度快。参看下图显示的机器“B”的运动效果，沿 XY 平面高速运动时，精确采样垂直贴装头（Z 轴）振荡波形，可以明显看到机械系统寄生振荡效应和系统非线性。

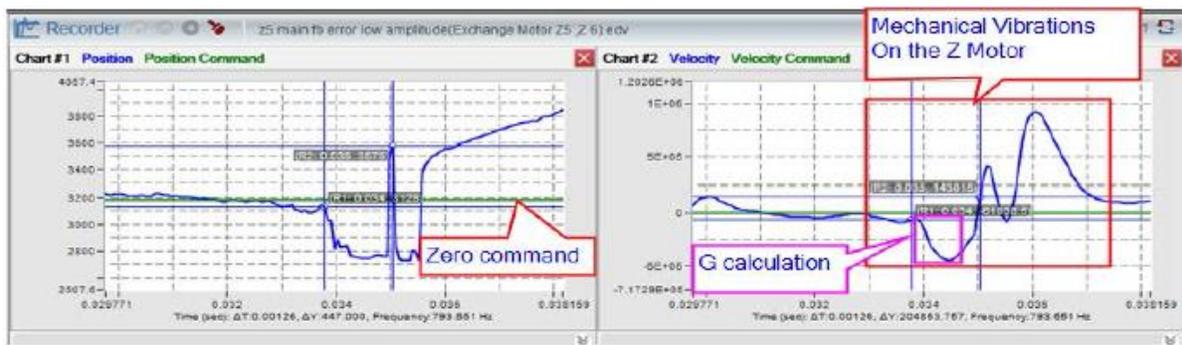


图 4：采样寄生振荡波形，通过智能控制克服

机器制造商经常求助于传统方法，来克服此类“不利”效应，通常采用沉重而庞大的机械来解决，最终需要更大的电池、齿轮和更高功率驱动器。这样极大地增加机器重量，降低灵活性，正如机器“A”一样，实现高运动能力和高吞吐的难度进一步增加。更好的办法是选择轻盈灵活机械，监控后续行为，通过智能运动和伺服控制功能，解决无法避免的寄生共振，如采用系统识别、位置分组增益、振荡抑制等。这种方法不仅比机械修复更经济，而且几乎不会在庞大机械上浪费功率，有助于增强系统内的“纯功率”。



图 5：超小型高功率伺服驱动器：80A 80V

## 利用“纯功率”

### 高精度（无传感器）力控制

在“纯功率”条件下，可以快速准确监测放置过程中的贴装力，监测贴装力的长期和短期误差，产生此类误差的原因，可能是机械磨损、机械组件故障，或者存在一定机械误差的不良批次组件。

可以采用两种方式处理力矩和响应：

- 实时：直接响应驱动器层的监测结果。驱动器可以采集、分析和反馈大量数据。
- 长期：将数据传输到更高层控制器、运动控制器或上层主机，通过专用算法分析“大数据”，发现任何误差或异常。

## 预测性能与运行

智能伺服驱动器还可以监测 XY 台的长短期负载稳定性、重复性和控制性能。可以监测并记录扭矩速度关系、负载、响应的“随时”变化或者“新”振荡的出现。可以实时分析累积的数据，检测未来故障、机械磨损和其他机械问题的风险。这样，驱动器就可以纠正和/或预防故障，避免工艺或组件损坏，或者机器停机。

“纯功率”是智能运动和伺服控制的“附带奖励”，目的是通过控制（而不是高成本机械设计）优化机器性能。由于 80-90% 的消耗功率为“纯功率”，因此可以实现高灵敏度高分辨率监控。

## 结论

我们已经证明，创新运动控制方法可以帮助取放机器实现智能工业 4.0 的功能。