

高速、低负荷应用的直线执行器

作者 Sandeep Cg

许多医疗应用环境中需要用到低负荷带下的高速驱动。为实现此目的，许多原始设备制造商使用气动执行器或螺线管；但是这些方法无法提供精确的定位。同时，尽管有更昂贵的技术可用，如同服气动定位系统，高速下的精确定位仍难以通过气动系统实现。

使用涡轮盘步进电机 (DMM) 技术的高速直线执行器，却可以为低负荷应用情况提供优秀的直线速度，如感应器的移动、定位激光光束、拾起和放置电子部件，XY 表的移动，以及其他应用情况。安静的操作和较低的操作和维护成本，使得电动 DMM 直线执行器成为了高速、低负荷应用情况的可行选择。

直线执行器

带有控制阀的气动气缸已成为自动化行业不可或缺的一部分，并仍将作为直线执行器继续发挥重要作用。气动气缸适合告诉或高负荷下的各种自动应用情况。

尽管有许多优点，气动气缸仍面临着一些基本的问题，从而让设计师和工程师开始探索备用解决方案。由于空气的可压缩性质（尤其是在高速下时），使得要在负荷下对气动执行器进行精确定位变得非常困难。此类系统的高操作成本则导致了压缩器空转时造成大量电力浪费，并在管道中发生泄漏。

另一方面，电气执行器尽管在负荷和速度方面表现不佳，但与空气气缸相比有着许多其他优点。大部分此类直线执行器使用螺钉-螺母机制，将旋转的力转为直线方向的力。

根据应用的负荷和速度要求，以及其他因数，而可使用各种电机作为原动力。本文检查了适合高速直线驱动的电机。由于其精确的定位能力，而仅讨论步进电机。

图 1 中的四个分块矩阵显示了基于各种速度下荷载能力的直线执行器广泛分类。超过 500 mm/s 的直线速度可被视为高速范围。永磁电机由于其可靠性和低成本效益，而被广泛作为低负荷/低速区间的直线执行器使用。

混合步进电机以其强于其他步进技术的荷载能力而出名，并且是高负荷/低速度应用下的最佳选择。剩余的低负荷/高速区间则是本文关注的重点。



图 1 - 此矩阵显示了基于各种速度下荷载能力的直线执行器广泛分类。

涡轮盘步进电机

涡轮盘步进电机，通常被称为涡轮盘电机，是高速低负荷应用的理想选择。顾名思义，DMM 使用一块较薄的磁盘以产生电机的扭矩输出。由于其旋转惯性较低，提供了给定扭矩的额外高加速，从而适合大部分的高速需求。

其优点不为人所知，从而经常被忽略。图 2a 和 2b 是直线执行器通过现有 DMM 设计的常见示例。该设计可以是图 2a 中所示的旋转螺钉或图 2b 中的旋转螺母。图 3 和 4 显示了各种导螺杆组合的 DMM 执行器表现。

这些执行器提供了 0 至 1200 mm/s 之间的低负荷区域速度选择范围，与相同尺寸的混合步进电机或永磁电机相比，其选择范围更广。



图 2 (a)



图 2 (b)

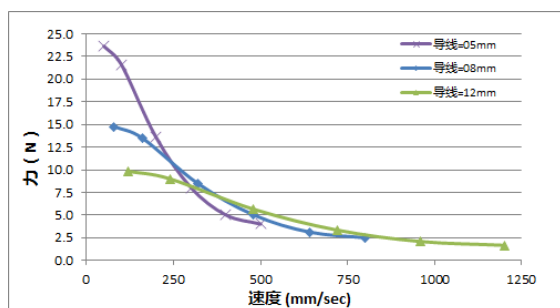


图 3 - 一般速度对比 DMM P430 负荷曲线：框架尺寸 = 39 × 39 mm，全步，双极电压驱动 @ 36 V。

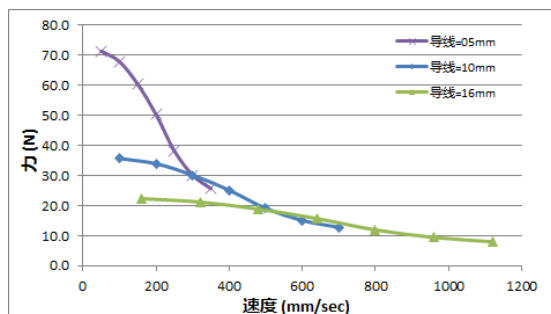


图 4 - 一般速度对比 DMM P532 负荷曲线：框架尺寸 = 52 × 52 mm，全步，双极电压驱动 @ 2A, 36 V。

确定高速下电机性能的关键参数包括动态扭矩、转子惯性、负荷与电机的惯性不匹配、铁损以及输出扭矩曲线的完美正弦图形。图 5a 和 5b 显示了混合电机的动态性能随着速度的增加而骤降，而 DMM 在较高速度下可保持其输出的稳定。输出扭矩的完美正弦波形提供了扭矩波形的最大振幅，以提高动态性能。铁损是输入频率的函数，意味着在高速下铁损较高。但由于磁路较短以及适当的磁通轨迹，DMM 显示出与混合电机相比较少的铁损和磁滞损耗。这些较低的损耗值和电气时间常数有助于 DMM 在较高的速度下运行。

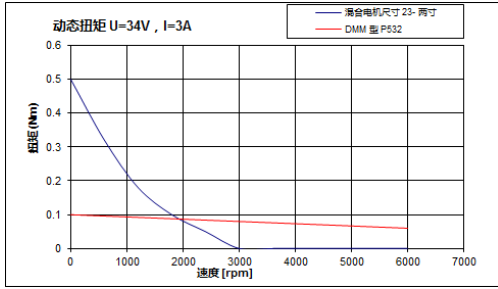


图 5 (a)

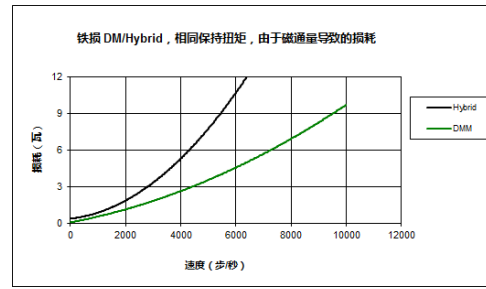


图 5 (b)

与涡轮盘步进电机相比的混合电机动态性能；扭矩 (nm) 对比速度 rpm (a) 和损耗 (W) 对比分级速度 (b)

如前文所述，DMM 的独有转子设计使其与混合步进电机相比具有较低的惯性。对于在 40 × 40 mm 的既定框架尺寸下，DMM 的转子惯性可低至 3 gram-cm²，该值比相同尺寸的混合电机惯性要低 15 倍。从而在给定的扭矩输出下，加速度则高出 15 倍。转子惯性不匹配也是高速驱动的重要选择标准。

下列示例说明了 DMM 电机是如何适用于负荷惯性不匹配的情况。通过 ∅6 × 80 mm 长，螺距长度 10 mm 的导螺杆将 250 g 负荷移动一段距离，我们如何计算出电机上所反映的负荷惯性？其中效能约为 40%，且导螺杆材料为不锈钢。电机所反映的总惯性 (J_{total}) = 负荷惯性 (J_l) + 导螺杆惯性 (J_{ls})。

J_l 和 J_{ls} 可通过下列方式计算：

$$J_l = \frac{m}{\eta} \times \left[\frac{1}{2 \times \pi \times P} \right]^2$$

$$J_{ls} = \frac{\pi \times L \times \rho \times r^4}{2}$$

m= 质量，以克为单位

L=导螺杆长度

r=导螺杆半径

P= 螺距，以毫米/圈为单位

μ = 效率

ρ = 密度，以 kg/m³ 表示

当前 $J_l = \frac{250}{0.4} \times \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 0.1} \right]^2 = 1584.75 \text{ g-mm}^2$

以及 $J_{ls} = \frac{\pi \times 80 \times 7480 \times 10^{-6} \times 3^4}{2} = 76.09 \text{ g-mm}^2$

电机所反映的总惯性， $J_{total} = 1660.8 \text{ g-mm}^2$

$$= 1.66 \times 10^{-6} \text{ kg-m}^2$$

为实现电机至输出负荷的顺利力传输，务必让转子惯性与反映的负荷惯性匹配，尤其是在高速驱动情况下。现在，通过查看 DMM 电机的标准转子惯性，P532 电机进一步接近此值，即 1.2 × 10⁻⁶ kg-m²。

结论

许多医疗应用环境中需要用到低负荷带下的高速驱动。使用 DMM 技术的高速直线执行器提供了关于气动执行器或螺线管的更好的替换方案，以实现低负荷医疗应用情况下的优秀直线速度。DMM 使用一块较薄的磁盘以产生电机的扭矩输出。其旋转惯性较低，提供了给定扭矩的额外高加速，从而适合大部分的高速需求。