

步进电机或伺服电机：  
应该选哪个？

**KOLLMORGEN**

每种技术都有自己的定位，选择步进还是伺服技术决定着成功几率，因此机器设计人员一定要考虑二者的技术优势和劣势，选择最适合具体应用的电机驱动系统。

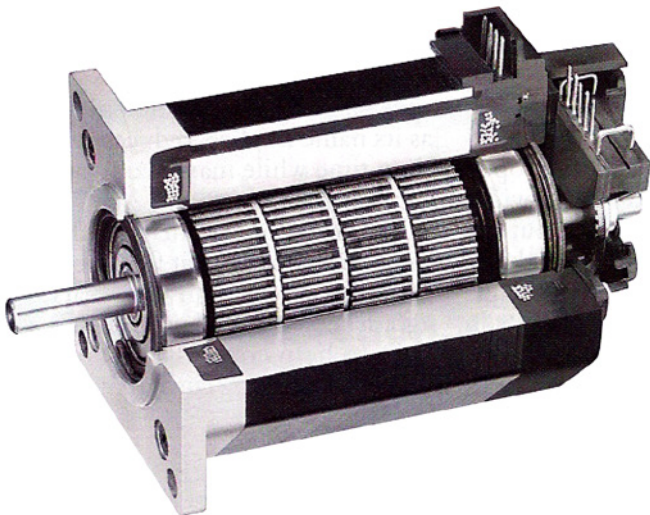
机器设计人员不应以固定思维或便捷性来限制步进或伺服的使用，而应了解每种技术怎样在控制特定机械和过程执行方面发挥出卓越效果。

现在的数字步进电机驱动器使用先进的集成电路和简化的编程技术，提供了增强的驱动器特性、选项灵活性和通信协议。伺服电机系统也是如此，而更高的转矩密度、改进的电子系统、先进的算法和更高的反馈分辨率提高了系统带宽能力，并降低了许多应用的初始和总体运营成本。

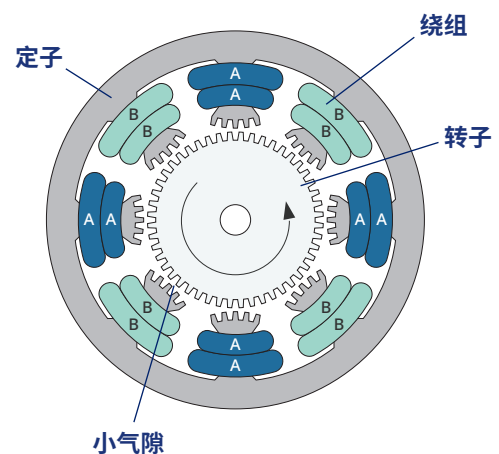
**本文概述了步进和伺服的能力，可作为两种技术的选择标准。深入理解这些技术有助于您实现卓越的机电设计，从而充分发挥机器的能力。**

## 步进电机系统概述

[步进电机](#)与伺服系统相比有几个主要优势。步进电机的成本通常更低，具有通用 NEMA 机架，可提供转矩更低的选项，布线成本更低，开环运动控制使机器集成和操作变得简单。



步进电机结构



## 转矩和速度考虑事项

在大多数情况下，使用步进还是伺服由应用决定。步进器的选型通常是连续要求的两倍，以获得额外的加速和减速扭矩能力或特定要求的峰值扭矩。

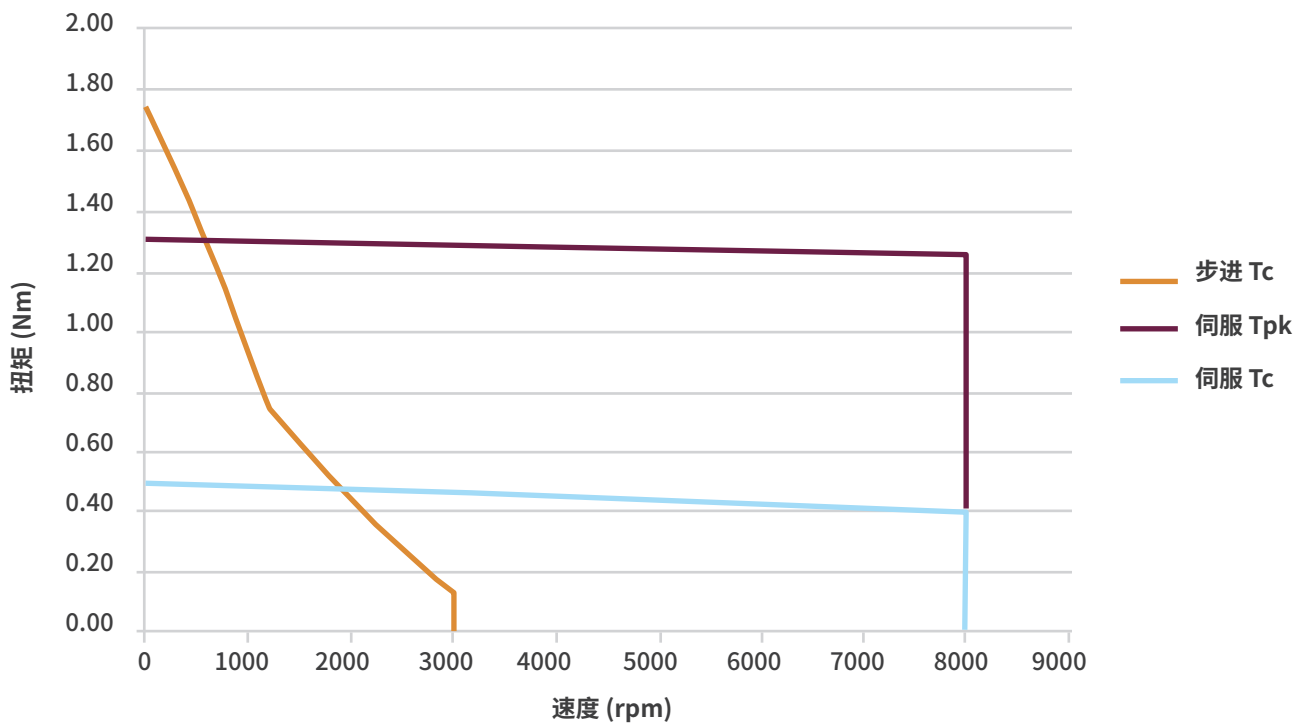
相比之下，伺服电机的选型一般取决于应用的特定速度和扭矩、最大间歇加速度/减速度、堵转转矩（如果适用）和整个运动轨迹上的等效 RMS 连续扭矩值。

一般来讲，如果一个应用需要高生产率、高速度和高带宽干扰校正能力，或需要高转速且轴之间紧密协调，伺服电机是很好的选择。如果点到点位置性能和转速要求适中，（根据工艺负载和预期干扰），则

选择步进电机可能更好。此外，如果负载在合理范围内，步进电机保持位置的能力（使用带功率的堵转转矩和不带功率的启动转矩）是一个优势。

速度-转矩曲线突出了步进电机与等体积交流永磁伺服电机的区别(图A)。与伺服电机相比，步进器通常在较低的转速下产生更高的连续扭矩。但是，伺服电机在相同的低速范围内可产生间歇峰值扭矩，并在更宽、更高的速度范围内产生峰值扭矩和连续转矩。

步进和伺服能力



图A：体积大致相同的性能曲线比较。

步进系统适用的示例应用是用于调整和设置的自动化机器轴和用于检测的视频轴。步进系统特别适用于这些类型的轴，因为它们往往更容易设计成控制系统，初始设置成本也更低。当用于给定设置的轴可物理锁定到位时，它们的操作成本更低（例如，可选开/关降低功耗模式）。此外，如果应用得当，步进电机也不容易发生故障，因为它们具有简单的开环控制，只需进行绕组到驱动匹配，无需进行闭环系统反馈电路所需的电机驱动到机械调谐。

## 步进驱动器

更新的设计技术已通过利用内置反馈改进了步进电机的性能；移动结束阻尼用于减少处理时间，同时最大限度地提高精度；软启动用于减少启动时的抖动；反谐振模式用于优化转矩、稳定性和噪声抑制（可闻噪声或其他）；无功电流用于减少静止状态下的电机发热；以及完整步进、半步进或微步进之间易于控制的操作模式。

尽管大多数合适尺寸的步进器在选择步进模式开环运行时都非常精确，但内置反馈提供了额外的精度，无需购买外部反馈装置。通过减小步进大小提高分辨率后，微步进技术可在低速和高速下实现更平稳的转矩和运动。

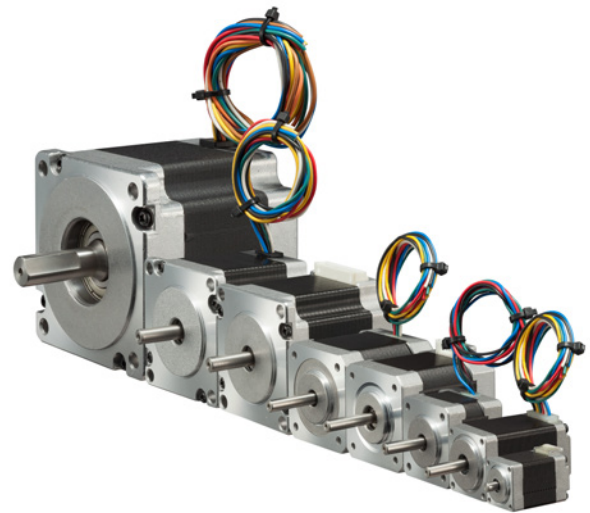
## 现代步进电机的发展

现代步进电机的额定功率大于前代步进电机。更新的设计技术减小了气隙，增强了磁铁，加大了磁铁尺寸，且转子超大。

增加转子的直径和惯性，同时保留步进电机相同的框架尺寸和绕组，在单位体积内产生更多的扭矩。当然，较大的转子惯量还会影响给定应用的加速和减速时间；但是这种方法通过有效地减小负载 ( $J_{load}$ ) 与电机转子 ( $J_m$ ) 惯量的比值，增加了给定步进框架尺寸的应用。一般来说，步进电机系统的  $J_{load}:J_m$  小于 30:1，但通过较慢的加速度和减速度以及先进的微步进操作，可以实现 200:1 的惯量比。

失速检测目前在现代步进驱动器中以电子方式进行处理，因此脉冲与轴同步通常不需要外部反馈。然而，可选的反馈设备可用于位置确认（开环）或由于组件未对齐、噪声或丢失脉冲（位置）信息导致的位置校正。基于步进驱动器，动态反馈的步进电机与开环等效步进电机相比，速度波动更小，功耗更低，在低速时的残留转矩比等效三相伺服电机高。

需要反馈的步进电机应用可能接近一个伺服系统的成本，在一个应用中可能是一个操作优势，而在另一个应用中可能是一个劣势。为了做出正确的选择，设计师必须仔细判断要进行的工作。通常情况下，闭环步进系统在技术上无法与价格较低的伺服电机系统竞争，因此应根据具体应用仔细考虑这两种系统的优缺点。

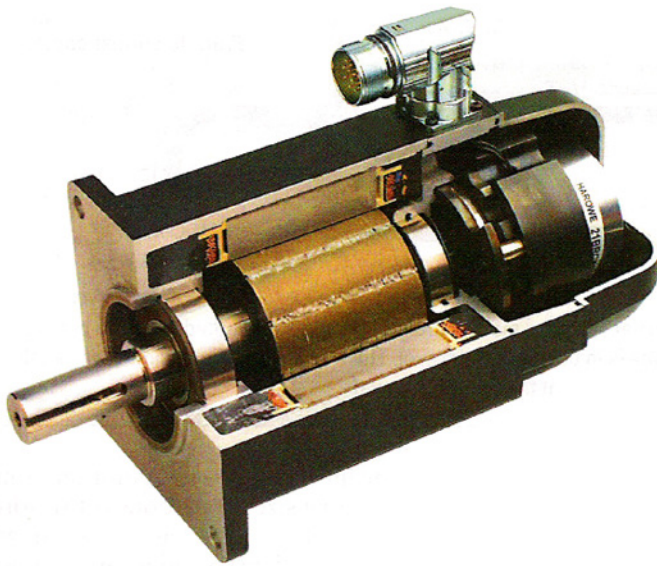


**PMX 步进电机**以高扭矩-成本组合提供了性能和设计灵活性。

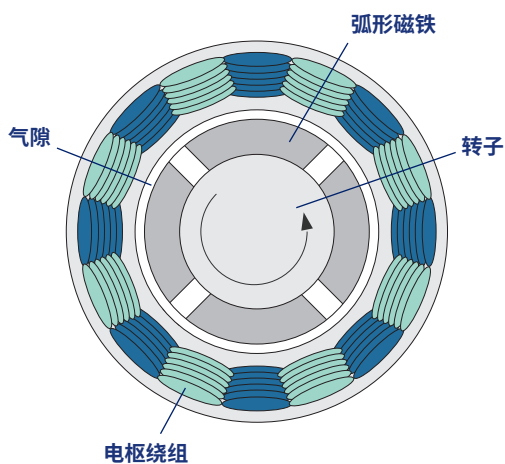


## 伺服电机系统概述

伺服电机与步进电机相比有几个独特的优势。它们可以根据需要在宽转速范围内产生高转矩，并具有更宽的转矩范围和更高的电压（高达 480 Vac）。它们以远大于其连续能力的转矩应对干扰，同时仅使用所需的功率来完成指令运动，且结构紧凑。



伺服电机结构



### 伺服驱动器

电机驱动补偿通常称为调节或补偿，曾经是伺服用户在设置过程中的痛点，但现在几乎已成历史。如今，最新的数字伺服驱动技术增强了软件和硬件能力以改善用户体验，并提供出色的补偿灵活性。事实上，一些伺服系统自动配置电机、驱动和反馈，并进行自我调节。自动进行调节的伺服驱动器适应给定的电机驱动结构，性能不会下降，也无需对控制回路进行进一步微调。

### 转矩和速度考虑事项

尽管伺服电机设计为高速运行，但在精确控制下也可在极低速度下准确运行，如果准备适当，甚至可低至 1 rpm 或更低。如使用得当，步进电机很准确，对于小于 1,000 rpm 的低速应用，通常是更经济的解决方案。但是，高于 1,000 rpm 时，由于磁路时间常数与磁芯损耗，步进电机的转矩开始下降。

相比之下，具有相同扭矩的伺服电机直到大约 2000 到 4000 转/分或更多时才开始下降(图B)。为高惯量负载供电的直接驱动伺服应用通常使用低于 1,000 rpm 的速度，而采用机械优势的传动系的典型伺服应用将使用电机工作能力范围内的任何速度。

当所需的速度范围在 1,000 至 3,000 rpm 之间时，卓越的电机技术可能取决于功率、峰值转速转矩、连续 RMS 转矩和重复性等应用要求。

在失速（低速 < 50 步/秒或 15 rpm）或保持负载不运动时，步进电机（特别是具有超大转子的步进电机）产生的转矩比给定框架尺寸的伺服电机更多，尽管更新的伺服电机设计正在迎头赶上。该转矩能力让步进电机产生极其精确且刚性的低速运行，而不需要变速箱或其他机械优势。

相比之下，具有较高极数和高分辨率反馈的[直接驱动伺服电机](#)通常用于工业过程应用，这类应用要求典型速度低于 1,000 rpm，且没有变速箱等机械优势。

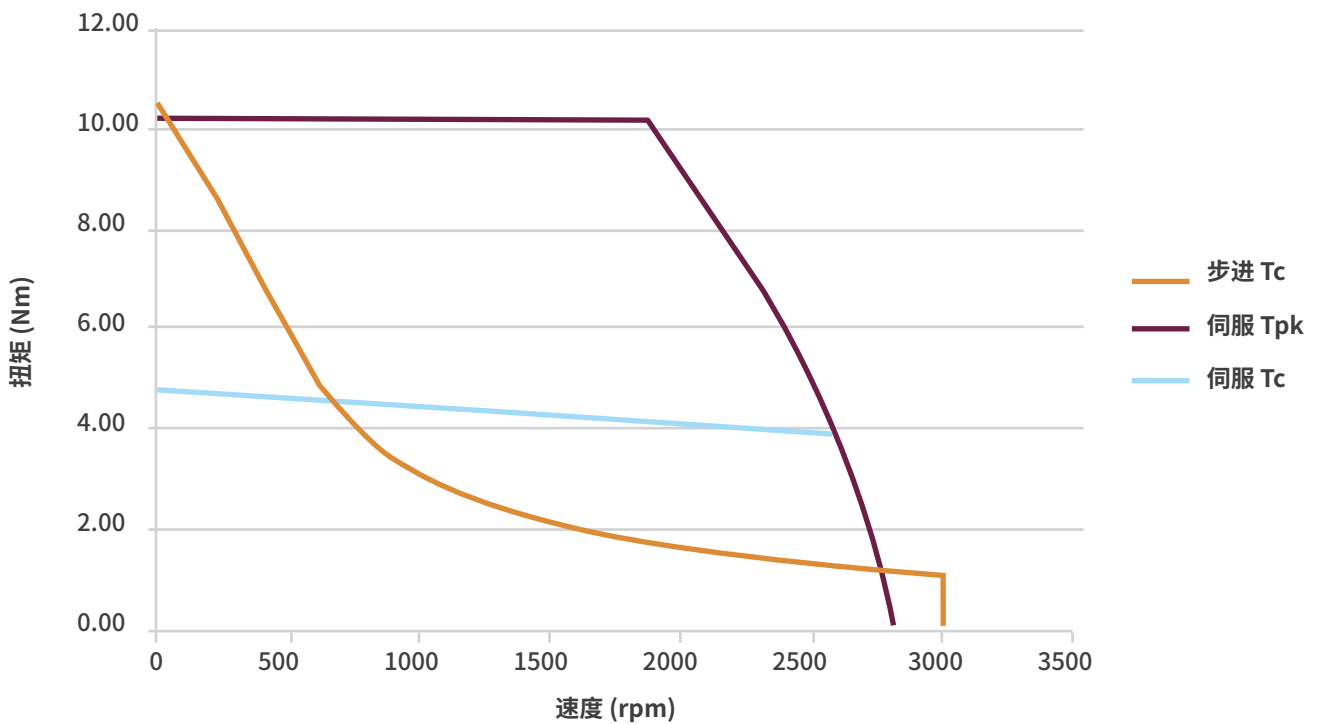
当步进电机静止时，它使用连续能量，除非过载，否则完全没有运动。当电机没有动力时，其在某些应用中的定位转矩能力可用于保持位置。

相比之下，由于恒定闭环误差校正，伺服电机在启用后永远不会处于静止状态，在此期间，只需使用所需的能量来维持其指定位置。不断变化的位置环误差导致伺服输出轴来回移动（虽然不应该很明显），同时不断寻找最小误差。

这种连续往复的执行器运动控制被称为“搜索”，类似于另一个术语“抖动”，即故意诱导的执行器运动控制——例如，在阀门驱动中不断克服潜在的粘滞问题。在搜索过程中的物理位移相对于总分辨率通常只涉及几个反馈计数。在大多数应用中不明显，在其他应用中可能不可接受。更高分辨率的反馈设备减少了典型的搜索增量，同时降低了轴不稳定的风险。

在重复性和分辨率成问题的传统伺服电机领域，现在可以考虑步进电机。步进电机系统的应用要求是负载必须是可预测的，或者只受很小的外力和干扰，不需要轴之间的紧密协调。与同类伺服解决方案相比，运行开环的步进电机可节约 20-30% 以上的初始成本。

步进和伺服能力



图B：类似体积和速度能力的性能曲线比较。

## 选择标准

### 转矩性能

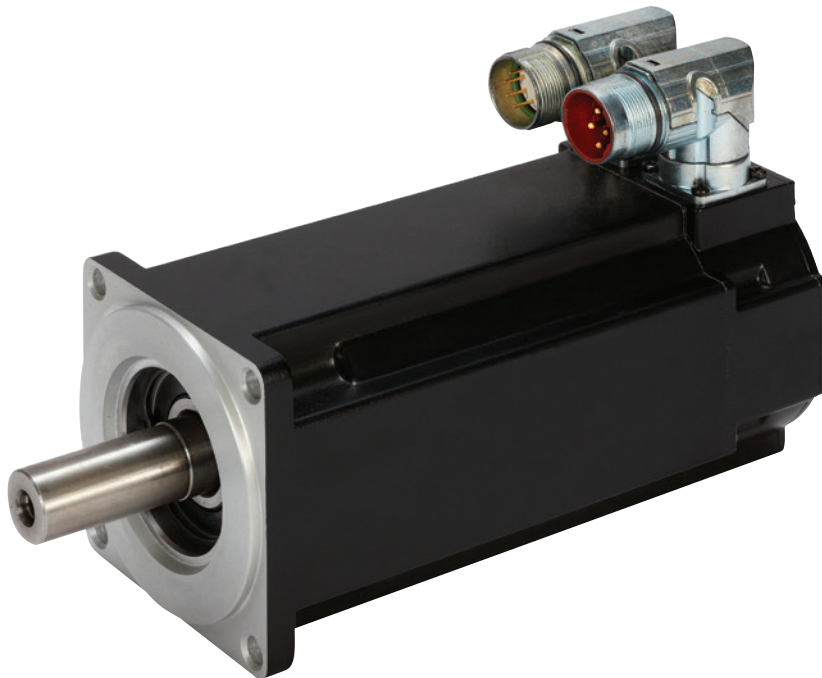
在评估相应的速度-转矩曲线时，设计人员应选择所需速度下提供更高扭矩的电机。如果价格相同，大多数设计人员更喜欢使用伺服电机。对于恒定或可变负载，伺服系统可以从过载状态中恢复，而步进系统则不能。步进电机在小封装中提供很大的转矩，低于 1,000 rpm，而伺服电机可处理低于和高于 1,000 rpm 的转矩要求。

### 惯量匹配

确定系统的负载惯量有助于对电机技术进行选择。根据经验，步进电机的负载惯量与电机惯量的比值通常不超过 30:1 ( $J_{load}:J_m$ )。相比之下，具有高分辨率反馈和无合规性（驱动钢除外）的直接驱动伺服系统可运行 200-300:1 及更高比值，并且响应时间相对于之前的反馈技术较快。

在过去，需要快速响应时间和高加速度或减速度的典型伺服电机系统所需的负载转子惯量比为 1:1 至 5:1，后来变成了 1:1 至 8-10:1。

如今，具有最高可用反馈分辨率以及最小合规性和齿隙的伺服系统对于许多应用可达到 1-20:1 及更高的惯量比。这些更高范围的比例可以在几乎没有额外风险的情况下提供卓越的[操作效率](#)。较高的惯量比越来越依赖于应用，不仅与所需的机器规格和性能有关，还与机械的合规性和齿隙有关。对于直接驱动系统，通常需要更大的轴和轴承才能达到所需的刚度，甚至需要保持电机的机器固定装置/机架的合规性。



**AKM™ 伺服电机**灵活性更强，设计人员可以更快地共同设计修改，以适应特定应用。AKM 有 8 种机架尺寸，超过 50 万种标准配置。

## 轴的协调

需要轴间协调的应用可以从伺服控制系统中受益，因为它们的紧密同步和高带宽能力允许对感测干扰和命令变化进行快速校正。选择开环步进电机系统将没有任何反馈保持同步，但仅限于点到点移动，且只可以在命令轴之间进行顺序或伪协调。

## 布线和电机驱动调整

为提高伺服系统的可靠性和维护性而做的一个变化是减少电源设备和反馈设备之间所需的[电缆数量](#)。

制造商不用再猜测闭环系统的调节（电机驱动机械补偿）以及系统维护时间安排。自动化或计算调优技术和内置诊断程序有助于简化用户的这些需求。此外，大多数伺服驱动器可使用多年来一直用于与步进电机接口的传统步进和方向输入。利用该能力的伺服处于操作位置模式，可消除命令电机步数的潜在丢失或增加。

这就给我们带来了步进电机系统在到达能力阈值时产生的最常见问题之一，即运动步进相对于指令步进数的丢失或增加。该问题在加速和减速时最为明显。步进的丢失通常是由于惯量太大影响了加速度，或高于预期的摩擦造成的。相比之下，步进的增加通常是由于噪音或惯量太大影响了减速度造成的。由于增加和丢失运动步进的累积，可能需要数小时才能超过一定制造公差。

尽管如此，步进电机仍然比较简单，连接的电线更少，只需进行少量的电机驱动调整就可以使系统启动并运行。

## 准确性和分辨率

步进系统的理论分辨率和实际分辨率有差异。例如，一个两相、完整步进、 $1.8^\circ$  步进角电机在一转 ( $360^\circ/1.8^\circ$ ) 中有 200 个位置，但能否实现实际上取决于电机的应用选型。半步进和微步进电机驱动模式也是如此。 $1.8^\circ$  微步进电机尽管指定为每个完整步进有 10 个微步进，但不一定能找到每个微步进的位置。

此外，在有足够的转矩累积来克服摩擦和负载惯量之前，可能需要几个指令微步进。在实际情况中，电机可以很容易地超过指令数字跳跃一个或多个微步数，并稳定在那里。当定位分辨率要求每转超过 200 步时，步进电机可以使用反馈编码器来达到 1000 步/转以上。只要准备合理，五相电机和微步进电机也可以提高每转步数。

伺服电机分辨率在理论上是无限的，但在闭环操作中，系统定位主要取决于反馈设备的分辨率，无论是正弦编码器、旋变还是数字 (TTL) 编码器。今天的高分辨率反馈设备可以接近  $2^{21}$ （即 2,097,152）至  $2^{28}$ （即 268,435,456）每电机转数，加上可选的多圈能力（通常高达 4,096 圈）。具有多圈能力的反馈设备可用于轴在机器通电时的绝对位置，从而消除每次机器通电时的复位循；但是，多圈选项会限制总的可用反馈分辨率。





## 重复性

伺服电机闭环运行，因此重复性高。但是步进电机在许多应用中是可重复的，特别是单向运行时。然而，在使用无功电流减少 (ICR) 模式或负载增加（例如，在方向反转期间）并超过步进电机的能力时，情况有变化。和齿轮箱必须承受反冲类似，步进电机也必须跟上系统指令。在新方向的第一次移动过程中，电机准确度受到影响，因为步进电机正在克服惯量和摩擦负载的影响。一旦发生这种情况，系统就会恢复指定的可重复性，但可能会失去或获得超过指令的实际位置步进。

## 输入电源

步进电机相当于一个电感与一个电阻串联，因此，产生转矩的电流需要时间上升。此时限制了给定电压的速度，因此在给定应用中增加电机速度可能需要更高的电压。

伺服系统的工作原理类似，但在其能力范围内工作，驱动器的控制回路将向伺服电机提供所需的电压和电流，以满足负载相对于其指令和反馈误差的要求。相反，当伺服电机系统被迫在其操作范围之外工作时，即使是一毫秒，它也不再受控制，因此无法作为伺服电机运行。

## 结论

步进和伺服技术在当今的机电一体化机器设计中都发挥着重要作用。然而，一旦清楚地了解了伺服和步进电机系统的优缺点，特别是相对于要执行的过程或工作，该为给定应用选择哪种技术就变得更加清楚。

假设所需的过程可以通过步进或伺服电机解决方案完成，具有重复性、准确性和灵活性要求，满足当前和未来的应用需求，那么剩下的就是考虑环境、预期寿命、操作噪音和能源利用。

如果特定需求允许使用任何一种技术，洞察力和预见性可指导最终选择，参考所考虑的工作过程或要执行的作业的具体知识、可能的未来需求，以及设计人员的机器经验。

## 步进与伺服应用属性对比

应用需求	步进	伺服
最高扭矩密度	✓	
最大扭矩和速度范围		✓
开环（典型）	✓	
低压 (<75 volts)	✓	✓
中压	可能性	✓
高压 (400-480+ volts)		✓
低速 (最高 1,000 rpm)	✓	✓
中速 (1,000 – 3,000 rpm)	可能性	✓
高速 (> 3,000 rpm)		✓
低速高扭矩 (< 1,000 rpm)	✓	✓
高带宽响应时间		✓
点到点（简易/适中）	✓	✓
点到点（坐标运动）	可能性	✓
轴之间的协调	伪	✓
最高加速/减速		✓
在无需“搜索”的情况下保持位置	✓	
定位转矩	✓	
负载惯量最高 30:1 (J <sub>load</sub> :J <sub>m</sub> )	✓	可能性
负载惯量最高 200:1 (J <sub>load</sub> :J <sub>m</sub> )	可能性	DD+(R/L)*
根据信号干扰和命令进行快速校正		✓
提供峰值扭矩 > 连续能力		✓
最高分辨率		✓
最高输入电压范围		✓
最简单集成	✓	
额定负载的理想选择	✓	
最高产量		✓
最高效率		✓

\*DD=直接驱动器，R= 旋转，L= 线性



### 关于作者

Hurley Gill 是弗吉尼亚州雷德福科尔摩根公司的高级应用/系统工程师。他 1978 年毕业于弗吉尼亚理工大学工程专业，1980 年以来一直从事运动控制行业。

### 关于科尔摩根

科尔摩根拥有超过 100 年的运动控制经验，凭借高性能、可靠的电机、驱动器、直线执行器、齿轮头、AGV 控制解决方案和自动化平台，深受行业认可。科尔摩根提供了具有优越性能、可靠性和易用性的突破性解决方案，为机器制造商带来了毋庸置疑的市场优势。

有关更多信息，请访问 [www.kollmorgen.cn](http://www.kollmorgen.cn)，  
发送电子邮件到 [sales.china@kollmorgen.com](mailto:sales.china@kollmorgen.com)，或拨打 400-668-2802