

# 揭秘无框电机的机器人领域应用



## 内容提要：无框电机在机器人领域的价值

为什么选择在机器人应用中使用无框电机，其原因类似于在其他应用中标准伺服电机无法胜任的制约因素。最常见的因素是紧凑的尺寸或环境方面的特殊需求，同时要求实现高功率和高转矩密度。

使用无框电机设计还有其他优势，比如提高效率，提高系统带宽，以及减少占地面积。当应用中需要尺寸小巧重量轻的伺服电机，并能够输出强大的功率和转矩时，无框电机便是理想的选择。

在本白皮书中，我们将努力消除无框电机选型的障碍，并帮助机器人工程师制定自己的规格要求，以便他们在与无框电机厂商开始交流时，更高效地对话。

例如，通过对尺寸、传动、发热和机械需求的全面了解，我们的团队可以快速地为您介绍现有的选项，无论是我们已经生产的电机，还是需要稍加调整的电机，或者可能是一个全新的设计。

了解这些技术选项的经济因素也很关键，以便我们的工程师们帮助您找到节省成本的具体领域，并最大限度减少对您设计的影响。

## 工程师：为何要阅读本文？

随着更多的组织和企业实施精益制造，以及在日常运营中进行机器人关节设计，无框电机成为整个行业创新解决方案的核心。

在应用中集成无框电机有很多优点，从更清洁的组件和更简化的维护到更高的效率和更少的停机时间。此外，无框电机比人们想象的更容易安装。无论您是否拥有 MathCAD 或类似的工具来计算扭矩和速度需求，或者您在该领域需要一些支持，拥有丰富应用经验和渊博知识的工程师都可以

帮助您优化除机械因素之外的因素，这对于获得进展是非常宝贵的。

如今，样机的快速研发通常是最重要的问题，因此与完全定制的设计相比，采用标准产品方案可以让您的时间轴缩短数周。理解时间与优化之间，以及速度和转矩与发热因素之间的权衡，可以帮助您在最快的时间获得最佳解决方案，并随着您的应用向前推进。

## 无框电机的优点

选择将直驱无框电机加入到您的设计中的原因有很多。直驱无框电机可以提供简洁的机械装配，并且比人们想象的更容易装配。由于没有需要张紧和调整的皮带，更不必说传动润滑要求和整体磨损，因此直驱无框电机的部件更少、维护更少。这一切也意味着更少的停机时间。

不仅如此，除了清洁性和维护方面的优点之外，直驱无框电机提供的性能改善也不容忽视。直驱无框电机无需惯量匹配即可确保稳定的性能。

此外，无框电机的运行噪声要比伺服电机的低，在 6,000 rpm 或更高转速运行时，噪声可以低至 20 分贝。因此，如果您担心采用无框电机是否值得，那么答案将毫无疑问是肯定的。

## 构建电机规格

从设计阶段开始电机选型。当您考虑机器人应用将要执行的工作时，您需要考虑实现应用所需的转速，转矩和电压。比如了解负载惯量，摩擦力，和加速度等因素，将有助于您确定转速和转矩。然而，对于如何考虑电机的尺寸和规格以处理这些因素并保持稳定高效的输出功率，您可以有一些选择。

在规划和设计您的项目时，不能低估外形因素的重要性。D2L 规则就是平衡考虑外形因素和影响整体性能的例子。

D2L 规则简单地说就是当您将电机电枢的轴向长度加倍时，转矩和功率也将增加。而且其增加量与电枢轴向长度的增加量成正比。基本上，如果您把长度翻倍，连续转矩也将翻倍。

然而，如果不是将长度翻倍，而是将转子力矩臂的直径翻倍，转矩将会成平方增加。您可以通过采用加倍的直径来使连续转矩容量提高四倍。



科尔摩根的性能曲线生成器可以帮助设计者优化整体系统。

诸如 D2L 规则等设计原则，正是要从设计早期阶段开始电机选型的原因，可以帮助您尽早优化电机的外形规格，实现更好的机器人设计。

多年来，我们创建了独特的工具来帮助客户根据其需求快速优化电机。例如，科尔摩根开发的性能曲线生成器 可用来优化整体系统，并试验不同的母线电压如何改变系统性能，或者理解不同的驱动器电流额定值如何影响电机性能。

性能曲线生成器甚至可以让设计工程师评估环境和最大电机绕组温度选项。使用 Liquid Cooling (液体冷却) 持续增强转矩也是建模可用选项的一部分。



MOTIONEERING Online 是来自科尔摩根的另一个重要工具，科尔摩根保持对其不断的更新，目前是过去 20 年中最受欢迎的应用选型程序之一。

MOTIONEERING 的工作过程首先是收集数据输入，然后将结果与电机系统的产品目录进行比较。如果您在填写应用配置文件问题时不确定您需要的转矩和转速是多少，这个工具可以帮助您找到答案，然后您即可使用相关的 3D 模型来完成模型验证。

许多客户有自己的工具和流程以确定转矩和转速要求。即便如此，您可直接将数字输入到这些工具中，以帮助选择满足您应用需求的合适电机。

无论这是您首次考虑电机和驱动器要求，还是您多年来一直从事这方面的工作，一份注意事项列表都会是一个有用的工具。在本文结尾，您将会找到一份应用配置问题列表，您或您的团队可以使用该列表来准备与支持工程师进行对话

您将会找到与机械外形、电机类型、工作与环境条件下的最低和最高温度、最大转速和转矩、运行转速和转矩，以及占空比相关的重要问题。

## 后续工作都有什么？

一旦您了解电机的性能需求，工程师和产品专家团队即可开始工作。工程师有三种方式可以与您合作来确定针对每种应用的完美无框电机。

例如，在科尔摩根，工程师会首先将您的要求与可能正好满足您需求的标准电机产品目录进行匹配。如果标准选项并不完全适合，下一步是参看简单的修改，比如更换绕组和进行其他机械定制。

此外，如果您的应用要求某些材料能够承受恶劣的环境条件，则可以将材料更改合并到现有设计中。无论采用哪种方式，您都可以从多种定制服务进行选择，包括更小或更大的直径、更改绕组、更改叠片长度等。

如果您的需求与标准选项不匹配，或者所需的修改超出了简单修改，最后的选项就是从头开始。即便如此，许多现有电机元件也可纳入，而定制部件的设计旨在满足独特的外形规格或不寻常的环境条件。

如果您已知外形规格、转矩和转速要求，另外一个选项就是使用科尔摩根的其他在线工具：直驱旋转电机选择器。虽然许多客户依赖产品目录，但是这个在线工具的使用效果很好。

您可以从转矩、转速和母线电压信息开始入手，将它们作为产品选择的最初输入，这将为您提供极具优势的起点。这实际上是返回性能曲线生成器的一个好时机，因为您可以用它来进一步优化您的产品选择。

一旦您通过选型工具生成一系列符合的产品，这也是与经验丰富的应用工程师互动的绝佳时机，他们可以指导您完成与使用性能曲线生成器相同的优化步骤。

您还将受益于我们的专业应用经验，高效地得到电机原型样机，以帮助您快速推进样机设计，该原型机可以提供应用所需的转矩和速度，即便该电机没有针对您的确切需求得到完全优化。

这些优化解决方案会需要一定时间才能完成，而标准设计可以在原型机上工作，以证明您的设计概念，同时保持性能需求的完整性。由于时间对于原型机在许多项目中的成功发挥着关键作用，因此通过随时可用的部件来节省时间会至关重要。

为了更深入地了解这一过程如何运作，让我们来看看科尔摩根产品如何对机器人应用发挥作用，特别是无框电机在协作机器人关节上的应用。

关节设计需要考虑很多因素。针对本报告，让我们更详细地研究以下因素：有效载荷容量、转速、

发热管理，以及减速机方面的注意事项。

机器人关节应用的有效载荷容量可通过系统性能设计来确定。通常，这种设计所反映的转矩负荷是在 CAD 中建模的，方便设计师更灵活地确定“假设”系统特性需如何反映电机要求。

如果需要多协作机械臂，会有一个由行业认可标准所设定的较小的有效载荷作为标准。根据“机械臂”的长度和所需的运动动态，可以从此类 CAD 模型确定 RMS 和峰值电机转矩。

有效载荷的速度，或者它每秒钟必须行进的距离，将由安全因素、控制器以及机械系统设计所决定。这些设计参数也将在基于 CAD 的模型中确定。

通常，机器人系统设计师有作为其“秘密配置”核心的独特安全或控制设计要素，或许他们的优势不在设计的机电部分。这正是科尔摩根的专业知识可以帮助您减少设计时间和迭代次数的地方。

设计对于发热管理的考虑需求来自多个不同的注意事项。由于机器人在工作单元中与人类的距离很近，因此有必要让机器人保持与人互动所需的“安全触碰”的表面温度。可以将热绝缘或隔层添加到机器人的设计中，但是重量和体积可能会限制其他性能或外观因素。

此外，其他系统器件附近的热量也可能存在限制，比如减速机、反馈装置和轴承。如果机器人设计师试图从电机供应商的标准产品目录中获得其电机绕组的最大额定温度值，他们会发现列表中写着 155°C，因为这反映了采用传统无框和有框伺服电机的行业的标准绝缘系统温度。

许多编码器反馈设备希望将光电组件的最大温度保持在 100°C - 120°C，而大多数减速机解决方案可能有 65°C 的温度限制。针对这种热限制的可能解决方案包括：

- 增加散热片，但需要权衡重量的增加会减少有效负载容量。
- 增加轴承、编码器或减速机装置的轴向距离，这也需要增加权衡重量并减少载荷容量。
- 降低无框电机设计的最大绕组温度限制，这也会降低电机的可用转矩。

如果使用的减速机的最高温度额定值为 65°C，且附近电机最高绕组温度仅能够高 15°C，这将要求 80°C 的最高绕组温度。这些信息随后将被用于电机选型过程，以便使用性能曲线生成器工具来评估实际电机能力。

机器人设计工程师可以使用性能曲线生成器来观察实际连续和峰值转矩与速度能力。系统 CAD 设计的电机性能所需数据现在可以轻松地与选定的电机进行比较。

由于协作机器人关节的转速要求相对较低，只要系统背隙可以保持为零，减速装置就非常实用。应变波减速机上所观察到的零背隙和中等刚性使得它们非常适合这些应用。



科尔摩根的 KBM 系列无框电机以小尺寸提供高性能

"确保将不同的减速机扭矩传递效率（通常介于 60% - 70%）纳入设计考量。

此外，请注意所使用的任何减速机类型所需的润滑材料的温度限制，因为齿轮与电机的相对距离较近，足以限制系统性能，将其保持在制造商建议的工作温度范围内。"

高传动比（通常约为 100: 1）的优势不仅体现在可以提高输出端的可用转矩，还体现在可显著降低电机的折算负载惯量。带动最大负重而完全伸展的机械臂的负载惯量会非常可观。

传动比的平方将会降低传递到电机端的负载惯量值。如果传动比为 100:1，电机的折算惯量是负载惯量的 1/10,000。机械效率、发热因素以及系统预期寿命都反映了在机器人关节应用中所选择的减速机类型和减速比。

由于有众多因素会影响机器人电机的运行和使用寿命，因此制造协作机器人的制造商需要灵活耐用的解决方案。TBM 系列是科尔摩根提供的一款创新直驱无框电机技术。



TBM (Torquer 无刷电机) 系列专门用于大功率密度，传动应用要求高的领域，比如机器人关节，医疗机器人，以及传感器万向节。

无框电机可以为机械和设备工程团队提供广泛的解决方案，用以实现拥有最佳灵活性、功率密度、动态性能和耐久性的应用。

除了所提供的技术优势外，科尔摩根的 KBM 和 TBM 平台还包括 17 种机框尺寸和许多预先设计的标准选项。对于机器人公司来说，从初创公司到正在成长和扩展到新市场的公司，科尔摩根可以为其提供从标准产品到联合研发定制的多方位服务。

## 应用和验证解决方案

毋庸置疑的是，当今市场的需求不会给错误留下很大的余地。无论您是否面临时间限制、追求更好的性能，或者已经在当前设备的制造过程中考虑了下一代设备，各种创新运动解决方案都可能成为新的挑战。

配备以高效和高质量的选型工具，工程师可以帮助您加速从设计到原型到批量生产，同时确保比如反馈、发热、轴承和减速机等因素均被考虑在内。

在使用了所有工具并且完成 3D 模型并加以测试之后，剩下的就是安装和验证电机系统的实际工作。好消息是，当您高性能无框电机集成到您的机器设计中时，您无需担忧。安装相对简单，因为与无框电机配合安装的轴的加工公差将会保证电机输出稳健性能。

## 结论

正确规划、选择和安装无框电机可以为创新解决方案打开大门。虽然在您为应用选择和优化无框

电机时要比选择标准伺服电机需要更多的工作量，但是结果非常值得。

从一开始就与专业的工程师团队合作，是防止出现问题和确保应用的任何方面都未被忽视的最佳方式。无论您正在尝试超越极限、尝试一些以往从未做过的事情，还是您只是想确保您的应用高效率运行，科尔摩根为您提供的工具和团队将让这一切成为可能。