

## 将无框电机融入 环保设计

**运动控制系统通常可部署在深海压力、高辐射和高真空条件、极端冲洗、危险环境等各种极端环境条件下。**

为保护部件并实现最大可靠性，可考虑将无刷电机直接嵌入您的应用设计中。无框伺服电机让工程师能创造出具有高紧凑性、精确性和环境适应性的机械设计。

### 紧凑应用

无框电机套件仅由定子和转子组成。传统伺服电机相关的其他所有组件 — 外壳、端盖、轴承、输出轴和连接器均融入了应用机械结构自身的设计中，在不影响性能的前提下，实现紧凑的占用空间。

### 性能精确

在很多应用中，这种定子和转子的紧集成可直接驱动负载，因此也无需使用易产生齿隙的复杂传动部件。对于需要提高几倍转矩和降低速度的应用，我们的无框电机还可与零背隙谐波（应变波）减速机或极低背隙的刚性行星或摆线减速机配合使用。

### 环境韧性强

本白皮书还重点介绍了无框电机可实现环保的运动控制设计。这其中有三个主要原因。首先，这种电机本身结构简单，没有转子轴承和轴封等有框电机的磨损点。

其次，很多无框电机可使用特殊材料制成，环境适应能力非常强，例如，可防止绝缘材料在高辐射环境中降解，以及最大限度地减少高真空环境中的放气问题。

第三，无框电机没有专属外壳，因此，应用工程师能根据需要设计各种保护运动控制部件的外壳特性，例如高压冲洗、深海浸泡或爆炸性环境。

## 环境挑战与解决方案

我们来进一步了解运动控制系统设计者必须面对的极端环境挑战，以及无框电机如何帮助解决这些问题。接下来，我们简单介绍将无框架电机成功用于特定应用的设计考量。

### 极端冲洗

在对食品、饮料和药品进行生产和包装时，始终保持良好的卫生环境至关重要。经常使用高酸性或高腐蚀性化学品进行高压冲洗，对于避免危险的病原体爆发、成本高昂的产品召回，以及难以修复的声誉损失至关重要。

传统上，执行此类冲洗时需要将所有机器停止，使其冷却，然后在各表面喷洒高压清洗剂。这些液体很快会损坏有框电机内的轴承和其他部件，因此，在冲洗过程中必须用防护罩或袋子保护这些电机，并用手进行单独清洗。这个过程即费时又费力，很可能无法正常执行，甚至完全无法执行。

为了避免成本高昂的停机，制造商越来越多地采用就地清洗 (CIP)。这种方法无需用保护袋套住电机、拆卸和重新安装电机防护罩、将工作站移至单独的清洗区，或甚至在某些情况下将其关闭。

无框架电机非常适合设计用于 CIP 的加工和包装设备。这些机器在制造过程中不会将任何易损部件暴露在产品或化学冲洗剂中。电机外壳是机器设计中的一个组成部分，因此可对其进行配置，为电机提供完整、无缝的保护，即使在机器运行中，也可能保证持续生产或便于清洁运动部件。



## 潜水器、水下和井下工具

遥控潜水器可执行各种重要的能源勘探和生产任务，例如，打开和关闭深海输油管道上的阀门。此外，遥控潜水器 (ROV) 还有许多其他应用：检查船体、维护海底基础设施、执行科学研究、检查燃料储罐等。所有这些应用都可避免人类潜水员从事具有潜在危险的工作。

然而，这些应用和其他一些应用 (如水下工具和井下油气工具) 需要特殊设计，才能防止电机、轴承、电子元件和其他部件在工作时受到液体侵蚀。例如，在深海遥控潜水器应用中，受盐水污染会导致电气系统短路，进而迅速损坏推进器和电动工具。在深海中，高达 30,000 psi 的压力可轻易地将密封件损坏，甚至压坏传统的有框电机。

用户可以使用科尔摩根生产的 [Goldline S 系列潜水伺服电机](#) 来避免上述情况的发生。该电机使用充油外壳，可承受最大 20,000 英尺深的外部压力。与空气不同，这些电机中使用的液压油不可压缩，因此即使在极端压力下，海水也无法穿透密封件或使电机外壳内爆。

然而，如果对紧凑性、直接驱动精度和能效的要求较高，无框电机可提供更为优秀的解决方案。例如，在设计推进器机构时，可采用充油的压力补偿外壳来保护无框定子和转子，并将转子与直接连接叶轮的驱动轴相连。

这使得潜水机构能采用十分紧凑的设计，而且不受高压海水影响，几乎不需要维护，效率也极高。这不仅是电池驱动型 ROV 的重要考量因素，也是高压系留系统的重要考量因素，因为在高压系留系统中，可用电流在通过超长电缆时会有明显衰减。

## 高真空环境

除了卫星和其他航天器外，很多地面应用也需要在部分真空条件下执行 - 例如，半导体晶片和芯片制造工艺、质谱仪、电子显微镜、X 射线衍射仪等。真空度的范围从人造的部分真空  $10E-5$  或更高，到深空应用中的  $10E-10$ 。

在所有这些环境中，某些材料 (例如传统电机中的绝缘、封装和磁铁材料) 极易在微观层面上发生分解。这会大幅缩短电机的使用寿命。然而，更令人担忧的是，这些材料的放气会在光学系统、精密电子设备、传感器设备和其他关键系统组件上凝结并造成污染。

无框电机通常很适用于上述应用，有以下两个原因。第一，无框电机让应用工程师能够自行选择轴承、密封件和所有其他部件中使用的理想抗排气材料，如果是有框电机，这些部件都是集成的，无法自行选择。

第二，由于电机本身只剩下定子和转子这两个基本部件，了解高真空运行挑战的电机制造商可提供改装版产品，用抗排气型材料取代标准材料。

例如，科尔摩根的 TBM、KBM 和 RBE 系列无框电机均可选配专用材料，这些材料在高真空条件下放气量很低，甚至几乎为零。还可对组装好的电机部件进行二次处理，以去除任何残留的挥发性化合物。

我们经济高效的改装产品符合 NASA-STD-6016A 放气标准，从早期载人和非载人太空探索起，我们就一直为客户提供航天发动机。从低轨道地球卫星到火星表面，科尔摩根电机每天都在证明其在太空中的可靠性。



## 高辐射环境

在很多环境中，例如，医学影像中心、核医学部门、铀矿和核电站，电离辐射水平会远超出正常水平。多种形式的电离辐射也是轨道卫星（特别是深空飞行器）面临的一个问题。

当传统电机暴露在高辐射水平下时，绝缘、封装、粘合材料及其他材料中的交联聚合物会迅速降解，进而造成电机故障。对于太空飞行器来说，分解的材料可能会漂浮在周围并污染其他系统，这与上文讨论的放气问题类似。

幸运的是，材料科学也可用来解决辐射问题。事实上，用于防止放气的很多材料和工艺也同样能用于防辐射电机，使其不管在地球上还是在太空中的辐射暴露应用中，都能长期、可靠地运行。

## 危险场所分类

科尔摩根可提供一系列有框防爆电机，用于各种危险场所，如矿山、油气生产和提炼作业、面粉厂、粮仓、纺织厂和工业喷漆房。然而，为了实现十分紧凑和强大的应用，可能需要指定无框架电机作为专用设计的核心运动控制部件，以达到您所需要的认证要求。

如果使用无框架电机，您可以设计并制造外壳，使用您喜欢的防护方法，并满足相关的 UL、ATEX、IECEX、CSA 或其他危险场所标准。科尔摩根可为您提供所需的文件，帮助您获得这些有关无框电机部件设计和结构的认证。

## 将无框电机集成至应用场景中

正如前文所述，无框电机套件仅由定子和转子组成。通常与有框伺服电机相关的其他所有组件都必须内置于应用机械结构中。以下是在设计该机械结构时需要优先考虑的一些因素。

### 外壳

不同于将安装法兰通过螺栓固定在机器上的有框电机，无框定子一般会与经过加工的圆筒腔体组件结合在一起，该组件将作为电机外壳。它会安装在机器内部靠近从动轴的位置，使设计变得极为紧凑。科尔摩根无框电机随附详细的安装手册，其中介绍了加工公差、粘合剂、装配顺序等其他考量。

为了确保结构完整性并提供足够的散热性能，外壳通常会采用厚度仅有 4–6 mm 的钢或铝制成。选用能够有效排走电机热量的外壳材料极为重要，因此这两种材料成为了首选。请注意：不锈钢的导热性较差，为应用场景实现理想的机器设计，应避免使用该材料或将其设计为超大尺寸。

科尔摩根提供了丰富的设计工具。客户可以使用我们的无框电机性能曲线生成器，深入详细地了解各种特定热条件下的可用电机转速和转矩。这可以使工程师为每一种应用场景设计合适的电机尺寸，此外还有助于理解定子外壳尺寸的设计要求以及紧密安装组件（例如轴承、齿轮传动和反馈设备）的散热注意事项。

除此之外，还要注意的，一些无框电机的设计会确保电机在绕组温度远低于其最高额定温度时发挥出色的运行效果。例如，在不高于 85°C 时，TBM2G 系列能够发挥出色性能，但也能在绕组温度高达 155°C 时持续发挥全部性能。



### 防爆外壳

对于在可能暴露于可燃气体、粉尘或纤维的危险场所使用的防爆设计，您需要确保电机外壳能够承受内部爆炸，包括防止任何内部火焰或火花到达外部环境的火道，以及表面温度永远不会高到足以点燃危险材料。

您的应用必须根据您所在地区和特定危险场所的所有适用标准，进行设计、测试和认证。有关这一话题的完整讨论超出了本白皮书的范围，但您可以联系科尔摩根的工程师，以获得相关资源的指导。

## 热传感器

在应用设计与原型机制造阶段，部署**线性热敏传感器**可以确保您的电机在不高于合理绕组温度的情况下提供所需的连续转矩。

请务必谨记，当电机在最高绕组温度下运行时(例如 155°C)，可能会对附近的敏感元件造成热损伤，例如轴承和齿轮传动的润滑剂以及热敏反馈设备电子元件。温升过高还可能会损坏应用场景正在处理的材料(如果其为热敏材料)。

线性热敏传感器(例如，广泛使用的 PT1000)可以为您提供所需信息，以便于将应用性能水平和电机实际所示的绕组温度联系起来。该数据还可以与应用场景中的其他热敏机器元件进行对比。您会发现，借助特定的电机选择方案，您可以安全地将机器提升到更高的性能水平，或者通过更小的电机实现所需的性能。

在最终设计阶段，加入一个 **PTC 或“Avalanche”型热敏传感器**会十分有利。正温度系数传感器是一种简易电阻装置，当温度超过设定点(例如，电机绕组的最高连续温度设计限值)时，它能够快速改变电阻值。大多数生产应用场景不需要用到线性热敏传感器的精细程度，除非有特殊功能需要。而在发生过热时，与驱动器相连的简易 PTC 装置能够支持各种纠正措施。

例如，如果电机开始出现过热并且工作强度过高，那么控制系统可以通过编程发出警告，并减少电流直到电机冷却，或执行减速/停止序列，以保障应用场景及其流程的健康运行和生产效率。PTC 传感器可在您的控制系统中提供一个易于实施、经济高效的保护元件。

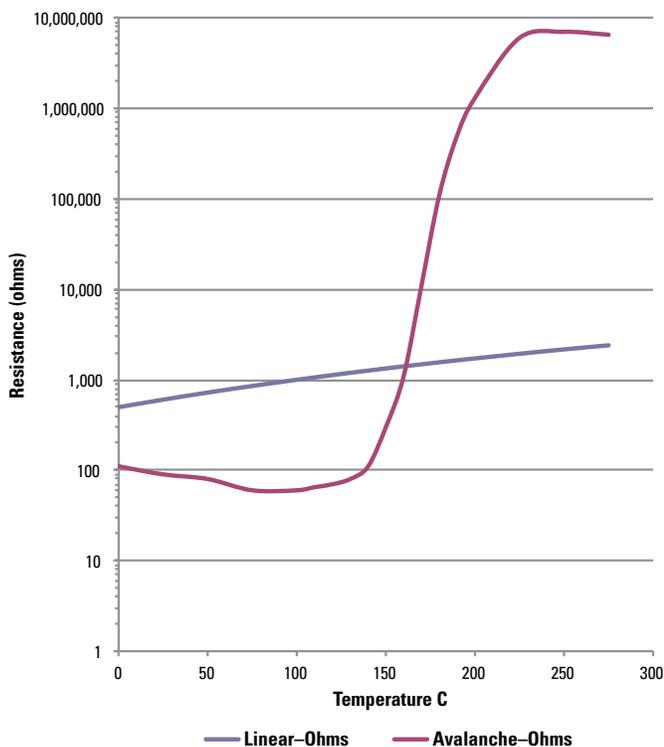
## 轴与轴承

传统的有框电机配有内部轴承，可以使转子自由旋转。这类轴承的用途并非支撑负载，因此必须在应用场景中在电机外部安装一组或多组额外的轴承来支撑负载。

无框电机套件不含轴或轴承。相反地，应用设计中包含了电机本身的输出轴。机器设计人员已经理解了机械结构的轴承负载要求，仅需在轴上找到安装转子的点位，然后根据转子的位置，设计机器中的外壳元件来支撑定子即可。

换句话说，您的设计会将执行特定任务所需的现有轴和轴承考虑在内，您仅需将转子和定子元件正确安装到该现有的轴上即可。请记住，转子的旋转不会在轴承上产生任何显著的轴向或径向载荷力。

这意味着，轴上的轴承的确支撑着负载和无框转子，但在确认轴承时不用将电机考虑在内。应根据机器轴在移动负载时将会遇到的轴向和径向力来选择轴承并调整尺寸。使用无框电机而非有框电机不会对您所选定的轴产生任何影响。



线性热敏传感器与 PTC (“Avalanche”) 热敏传感器响应曲线对比

## 反馈设备

就和各种无刷伺服电机系统一样，提供转子位置信息的反馈设备用于控制放大器的时间和顺序(放大器以电子方式控制电机功率)。在最简单的模式中，这种换向信号可以由一组磁传感器(被称为霍尔效应装置)提供，这类传感器可作为无框电机部件套组的标配选项。

另一个选项则使用具有霍尔效应输出轨道的增量编码器为闭环控制系统提供定位反馈信息。或者，对于可能有损光学编码器的高冲击恶劣环境，旋变则是一种坚固可靠的绝对位置反馈备选设备。例如，在潜水器和航天器等应用中，通常会用到旋变。然而，请注意旋变的分辨率较低，通常为 12-16 位。

广泛用于大多数无框电机场景的绝对式编码器一般是理想的解决方案，它提供了有超高精度要求的应用所需的 18 位或更高的分辨率。此外，使用绝对式编码器时，无需安装单独的霍尔效应装置，它使驱动器能够随时获取准确的转子位置，即使是在系统启动期间也不例外。

## 齿轮传动

无框电机是直驱应用场景的理想选择。当需要在降低转速的同时增加转矩时，无框电机还可与紧凑型零背隙谐波(应变波)减速机，以及摆线齿轮、正齿轮和行星齿轮搭配使用。这些齿轮组可以保持超高精度，并在紧凑的外形尺寸中产生高转矩倍增效果。

例如，使用减速比为常见的 100:1 的谐波驱动减速机时，反映在电机轴上的负载惯性按该比率的平方减少，即 10,000 倍，而几乎不会影响应用设计的整体尺寸。

例如，当您需获得转矩以立即加速大量负载，或者当您希望使用较小的电机实现特定的转矩量时，这些因素可能会十分重要。理解齿轮减速的影响对于电机选型至关重要。科尔摩根工程师将借助丰富的经验帮助您做出正确选择。



## 制动器

一些应用场景需要使用电磁或机械制动器。例如，在垂直应用场景中，重力属于负载的一部分，如果电机供电意外中断，可能会导致负载物下落或脱离其预期位置。

制动器的另一个用途是在电机被有意关闭后保持负载物位置。例如，UAV 传感器万向支架等稳定平台在制动器的帮助下，可防止飞行器在飞行过程中负载物发生移动，而无需使用传感器。

在许多有框电机中，制动器可作为其中一部分一并提供。但是，如果是无框电机，就需要将它们安装到机械结构的主从动轴上。

## 可制造性设计

要设计与制造符合您应用性能要求的原型机可能十分简单，但这也容易让人忽视工厂车间和市场对于强大性能的要求。为了充分降低风险并提高成功机会，您需要来源可靠的组件、简单的组装流程以及易于维修的设计。

在设计您的应用场景时，您需要思考制造流程、组装顺序和总成本。例如，由于有时会存在巨大的磁力，因此您必须考虑是否需要特殊设备，以便在机器组装过程中将永磁转子和轴安全地安装在定子外壳附近。

如果您预计应用场景会产生巨大的径向轴承负载，并且该负载可能会缩短机器轴承寿命，不妨采用便于更换轴承，同时可以充分降低无框电机集成成本和复杂性的拆卸方法。这些微妙的设计理念通常会涵盖在机器可持续性对话中，而这是您与科尔摩根工程师进行标准设计审核流程的一个环节。

在您的设计流程之初，通过将这些因素和其他各种因素考虑在内，您可以避免成本超支，确保制造流程能够满足需求，并显著提升您设备的市场接受度。

## 获取帮助并解决需求

设计与制造采用无框电机的设备时无需经历各种不确定性。当问题或设计难题出现时，您随时可以获得协助，我们可为您提供自助服务资源以及熟知如何将无框电机融入各种应用场景的工程师。

科尔摩根可提供多种工具来帮助您设计与制造高性能、可批量生产的设备：

- [无框电机决策树](#) 这款交互工具可以引导您回答多个问题，从而确定无框电机是否适合您的应用场景，随后帮助您找出具体的电机类型。此工具也有[可打印的 pdf 版本](#)。
- [无框电机性能曲线生成器](#) 调整电流、电压、环境温度和绕组因素，即可立即生成性能曲线并评估适合您应用要求的无框电机选择。

- [Motioneering](#) 使用这款在线指导选型工具，根据您的实际运动控制曲线需求，为您的项目选择理想的伺服运动控制组件并确定其尺寸，而且您可以通过一个机械项目类型（滚珠螺杆、齿条和齿轮、皮带传动、压辊、皮带和滑轮、直接传动）库以及由您的应用时间和性能要求所定义的负载明确该运动曲线需求。
- [其他设计工具](#) 利用这些强大的设计工具，您可以对比与选择运动控制产品、生成 3D 模型、配置电缆、计算安全制动时间等。

## 准备好向前迈进了吗？

[联系科尔摩根](#)，与科尔摩根的无框电机专家讨论您的需求和目标。

## 关于科尔摩根

作为 Regal Rexnord 旗下品牌，科尔摩根在运动控制领域拥有 100 多年的经验，致力于提供高性能且可靠的电机、驱动器、AGV 控制解决方案和自动化平台，享誉业界。我们提供的突破性解决方案在性能、可靠性和易用性方面更胜一筹，为机器制造商提供无可争议的市场优势。