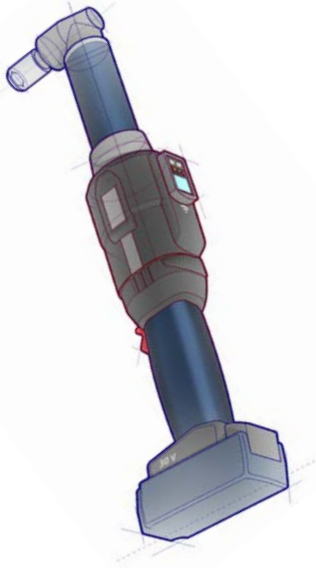


技术说明

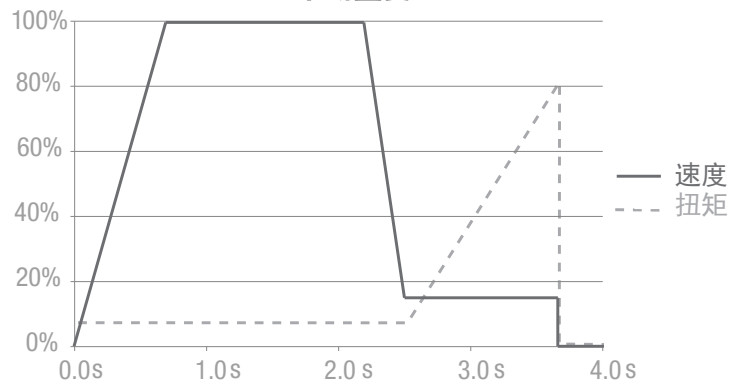
消除工业电动工具设计上的妥协

作者：Thomas Baile

工业电动工具（IPT）与其他电机驱动应用有大不相同的操作特性。一个典型的应用要求电机在整个运动过程中都输出扭矩。紧固、夹紧和切割应用都有特定的运动曲线，并可分为两个阶段，如下图所示：



工业电动工具的典型工作周期
不断重复



高速阶段

首先，当螺栓拧入或切割夹爪或夹紧工具接近工件时阻力很小。在此阶段，电机以较快的自由速度运行，可以节省时间和提高生产率。

大扭矩阶段

然后，当工具执行更需要力度的紧固、切割或夹紧阶段时，扭矩的大小则变得至关重要。具有高峰值扭矩的电机可以执行更大范围的繁重作业而不会出现过热状况。

苛刻的工业应用中必须不间断地重复这种周期性变化的速度和扭转。这些应用要求不同的速度、扭矩和时间，需要可以最大限度地减少损失而达到最佳解决方案的特殊设计电机。这对电池供电的设备而言更加关键，因为设备在低电压下工作并且可用的功率有限。

如何选择和优化最佳电机

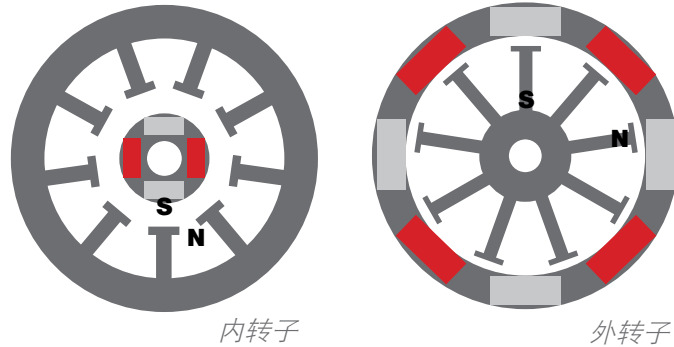
为了选择和优化最佳电机以用于手持式工业电动工具，我们首先需要审视电机技术。我们要考虑有刷和无刷直流电机作为我们的主要选择。

电池供电的工业电动工具一般在低电压（12-60 V）下运行。有刷直流电机通常是一个很好的经济选择，但电机的使用寿命将成为一个问题。电刷因电气（与扭矩相关的电流）和机械（与速度相关的摩擦）因素会产生磨损，从而在使用寿命内的循环次数受到限制。无刷直流电机是更可靠的电机解决方案。这种电机不易受到机械磨损（无电刷摩擦）的影响，且在拧紧阶段可承受较高的峰值电流（无电刷），从而使手持工具的使用寿命更长。无刷直流电机比有刷直流电机更适用于工业电动工具应用，因为这些应用需要高速和高峰值电流。

无刷直流电机可以设计成不同的结构：

- 在传统电机（也称为内转子）结构中，永磁体是转子的一部分，有三个定子绕组环绕转子。
- 在外转子（或外部转子）结构中，线圈和磁体之间的径向关系相反。定子线圈形成电机的中心（机芯），而永磁体在围绕机芯的悬式转子内旋转。

内/外转子设计电机截面图



由于惯性较小、重量较轻和损耗较低，内转子电机结构更适合手持式工业电动工具。由于长度更长，直径更小，轮廓形状更符合人体工程学，更容易集成到手持设备中。此外，较低的转子惯性可获得更好的拧紧和夹紧控制。

无刷直流绕组可以设计成不同的结构：



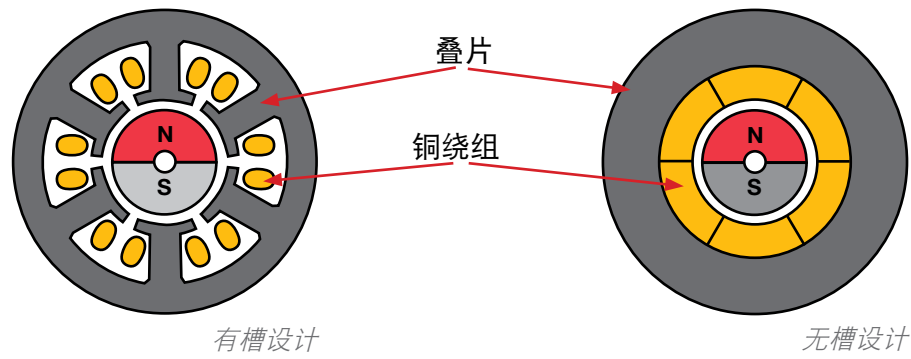
有槽电机线圈

- 有槽定子。线圈缠绕在定子周围的槽内。由于叠片（定子）和磁体之间的气隙很小，叠片中的磁感应很高。因此，我们可以使用较小的磁体直径。铜的体积受到槽口的限制，难以在槽口内缠绕。将线圈装在定子槽内可以减小线圈/定子组件的热阻。没有电流时，转子在叠片前面具有优选的磁位，从而可产生齿动或棘动扭矩。降低棘动扭矩的一种方法是使叠片倾斜。由于线圈插入叠片中，所以有槽电机非常坚固。



无槽电机线圈

- 无槽定子。在无槽电机中，线圈的绕线是脱离电机独立进行的，并且能够自我保持（见左图）。随后线圈在电机组装期间直接插入气隙中。在这种设计中，气隙增加而使得线圈中的磁感应减小。因此，我们通常对电机直径进行优化，使其具有理想的磁感应和最佳的铜体积。这种电机设计的磁感应通常比有槽无刷电机小得多。通常使用较大的磁体来补偿感应损耗，但可能影响转子的惯性。在功率密度方面，由于磁感与铜体积的优化（斜坡曲线），无槽电机具有良好的品质因数（ R/K^2 --该值表示在负载下可保持速度的能力，越低越好）。因为没有循环电流，转子可以输出连续磁导，因此无槽电机没有任何齿动或棘动扭矩。通过设计，无槽电机可在高速时大大降低铁损。



有槽设计（200 摄氏度）可以比无槽设计（150 摄氏度）耐受更高的温度，从而可以产生更大的扭矩。然而在大多数情况下，电动手持工具的限制因素是工具长时间工作所达到的最高温度（约最大 47 摄氏度），这是操作员较为舒适的水平。事实上，长时间发热可让握住工具的操作员不舒服。安全规定也要求最高温度保持较低。

无槽技术更适合大多数工业电动工具，这主要是叠片中较小的磁感不会产生铁损。

	有槽 BLDC	无槽 BLDC (Ultra EC™)
优点	<ul style="list-style-type: none"> • 小热阻（线圈/外壳） • 最大速度超过 100krpm • 完全可定制电机 • 高压绝缘（高达 2500V） • 扭矩 	<ul style="list-style-type: none"> • 运行平稳，没有齿动效应 • 高速铁损少：温度低，容易控制 • 低噪音和振动 • 绕组灵活
缺点	<ul style="list-style-type: none"> • 有齿动效应 • 无标准产品 	<ul style="list-style-type: none"> • 消毒选项不可用 • 高热阻

电机的电气性能由磁路确定。第一个组件（即磁体）可以有定值。但第二个组件（即铜绕组）可以很容易修改。通过改变线径和匝数，可以对扭矩常数“ k_t ”和电阻“R”进行微调。

微调扭矩常数 k_t 可以改变扭矩和速度

我们现在更详细地分析工业电动工具的工作特点以及电机绕组设计的挑战：

高速阶段：电机需要高速运行，阻力小：

$$\omega = (U - R * I) / k_t$$

ω （速度，单位为 rad.s^{-1} ）

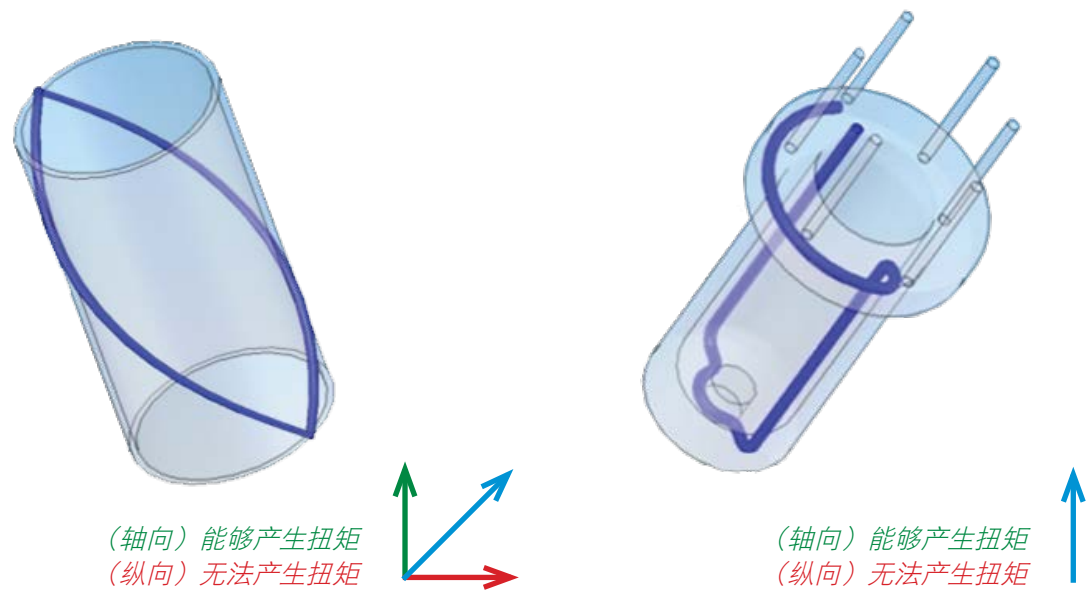
U（电压，单位为伏特）

R（电阻，单位为欧姆）

I（电流，单位为安培）

k_t （扭矩常数，单位为 Nm/A ）

由于扭矩常数在计算分母中，因此 k_t 越低，转速越高。这允许同一时间段内进行更多操作，提高生产力。



其次，通过设计，无槽电机可在高速时大大降低铁损。借助这种直线绕组，Ultra EC 电机与斜绕相比具有更短的转子长度，从而可降低转子惯性和铁损。

这种革命性的新设计可在紧凑的封装中优化速度和扭矩，适用于最具挑战性的诸多应用。紧固件、夹具和切割工具都将受益于这种更高的性能、更轻的重量和更高的能源效率。

特性

- 直绕线
- 内外头
- 特制输出，可防止电线松脱
- 轴向和径向成型

优势

- 铜筒效率更高，将能量损失降至最低
- 优化封装尺寸
- 最大化铜件的有效体积
- 线圈整合性更强
- 电机的完美整合设计
- 可获得范围广泛的扭矩常数

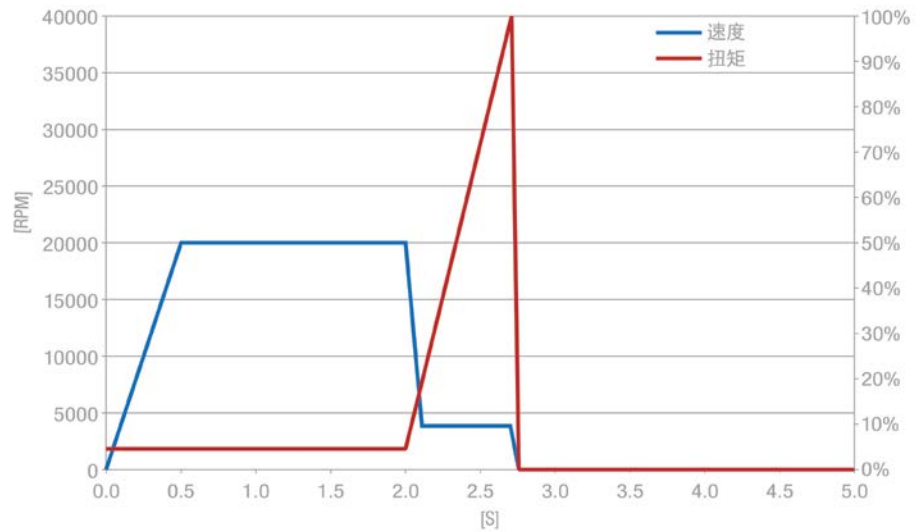
Ultra EC 绕组在 IPT 应用中的优势

在本段中，我们将回顾典型工业作业循环中 Ultra EC 对电机性能的影响。

工作环境：

平均工作周期：2 秒钟中速空转

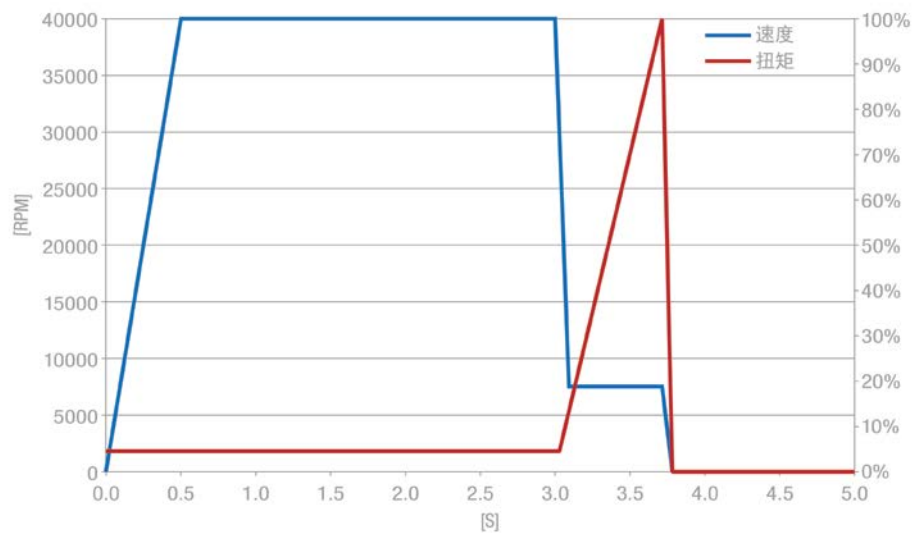
例如：剪枝剪、螺母扳手、夹具、订书器



速度: 20,000 rpm - 2s 扭矩 0.84Nm

重载工作周期: 3 秒钟高速空转

例如: 针对生产力进行优化的汽车螺母扳手

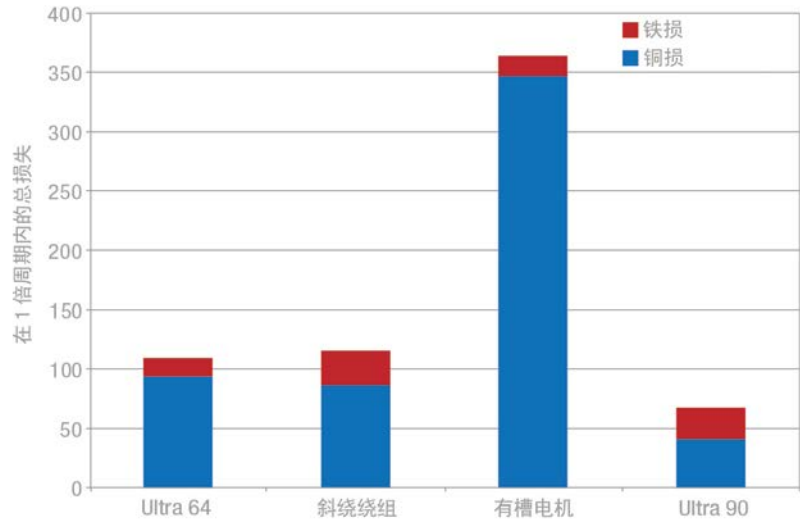


速度: 40,000 rpm - 3s 扭矩 0.69Nm

平均工作周期 - 电机比较

我们现在来比较平均工作周期的电机性能:

电机	Ultra 64	斜绕组	有槽电机	Ultra 90
尺寸 (直径 X 长度 (mm))	30 * 64	30 * 64	28.5 * 88.5	30 * 90
极数	4	4	4	4

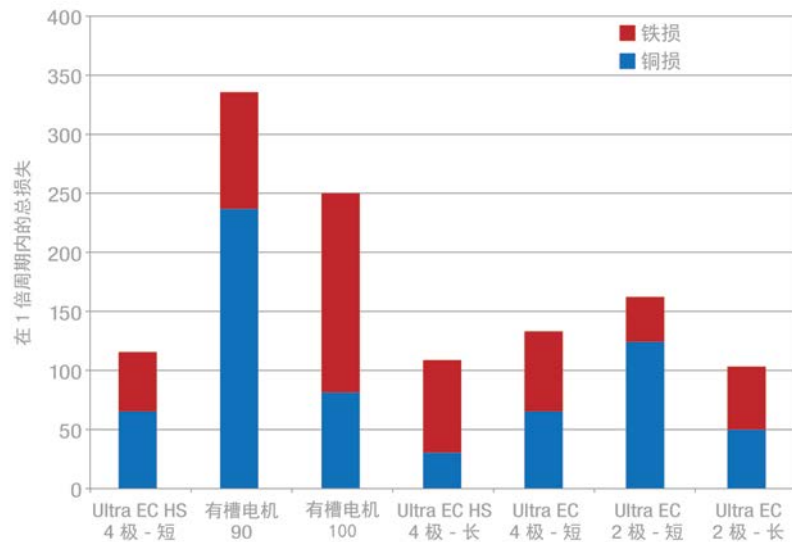


我们观察到直筒线圈 (Ultra) 与倾斜绕组或有槽电机相比效率更高 (损耗更少)。

重载工作周期 - 电机比较

我们现在来比较重载工作周期的电机性能：

电机	Ultra 64 HS	有槽电机 90	有槽电机 100	Ultra 90 HS	Ultra 64	Ultra Speed 60	Ultra Speed 80
尺寸 (直径 X 长度 (mm))	30 * 64	28.5 * 88.5	34 * 99	30 * 90	30 * 64	35 * 60	35 * 80
极数	4	4	4	4	4	2	2



我们观察到铁损较高，因为速度提高了一倍。直筒线圈 (Ultra) 与倾斜绕组或有槽电机相比效率更高 (损耗更少)。

结论

如果提高速度，铁损增加的速度比铜损更快。因此，绕组的设计应针对每个工作周期进行微调，以优化损耗。由于采用 Ultra 绕组技术，铁损和铜损大大降低，为设计人员提供了更大的灵活性。

关于 Portescap

超过 25 年以来，领先的制造商依靠 Portescap 的创新产品、专业技术和支持发展先进的有绳工具，并成功转换为电池驱动工具，同时提高质量控制、灵活性和防错性。Portescap 的创新实现了从气动工具向电动工具的转变，同时为工业电动工具设定了性能标准。2013 年，Portescap 获得第一个 Ultra EC™ 线圈专利，这是下一代电机的功率和性能。**P**

Thomas Baile
业务发展经理

Portescap

若需了解更多信息，请联系：

4th Floor, Building 9, No 518,
North Fuquan Road, Changning District
Shanghai, 200335
P.R. China
电话：+86 21 8028 1516
传真：+86 21 8028 1600
sales.asia@portescap.com
portescapmotor.cn

联系一位工程师：

www.portescap.com/contact-portescap