

# 十种主流电机拆解全解析： 含内部结构图

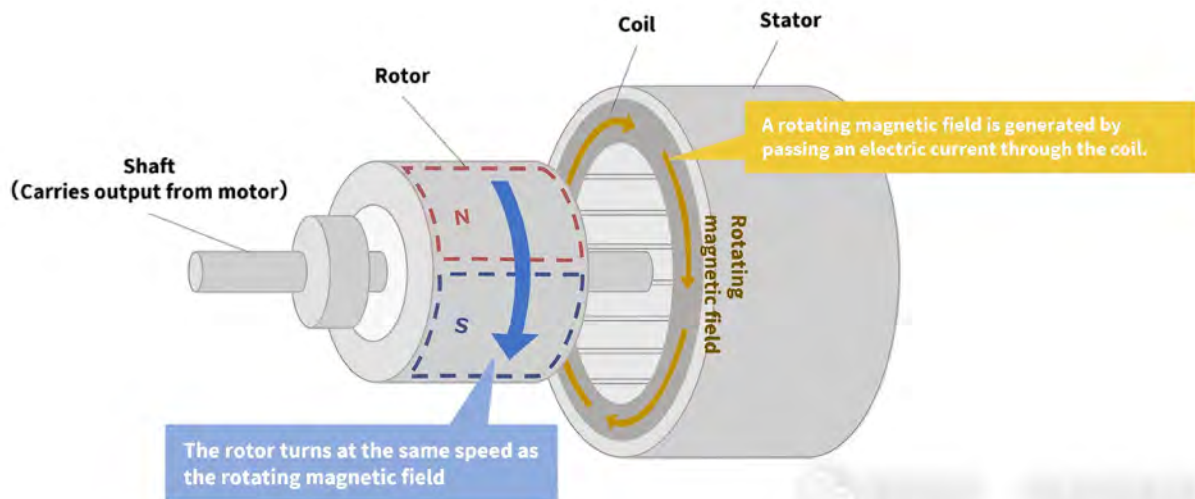
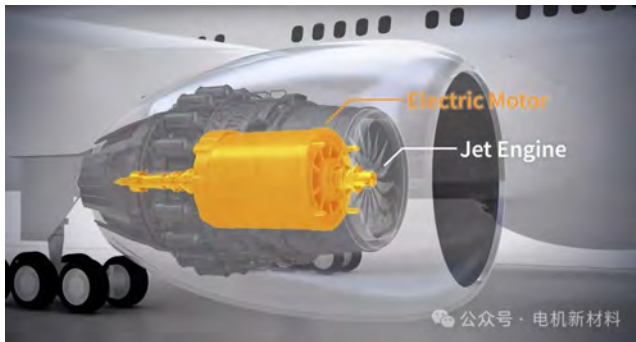
文 | 钛祺汽车、GAF 电驱动

## 超导电机

超导电机是一种利用超导材料作为绕组或转子元件的电机，相比传统电机，它具有更高的功率密度、更高的效率以及更低的损耗。

超导材料在低温下可以表现出零电阻和完全抗磁性（迈斯纳效应），使电机可以极大地减少铜损和铁损，提高能量转换效率。

超导电机可以同时实现轻量化小尺寸和高功率。



东芝超过 2700 马力的超导电机



### 感应电机

感应电动机又称异步电动机，是一种交流电动机。根据电源相数不同，可分为单相和三相。感应电动机的主要结构由定子和转子两部分组成。此外，还有端盖、轴承、电机架等部件。



鼠笼型异步电动机示意图

特斯拉第一款量产电动汽车是 Roadster，采用传统的三相交流感应电动机。

该电机类型为三相四极感应电机，额定电压为 375V，具有大功率和扭矩输出。Roadster 的感应电机峰值功率达 185kW，最高转速达 14000RPM；异步感应电机峰值功率达 215kW，最高转速达 13000RPM，最大扭矩达 430Nm，功率密度达 2.25kW/kg，这些参数共同赋予了

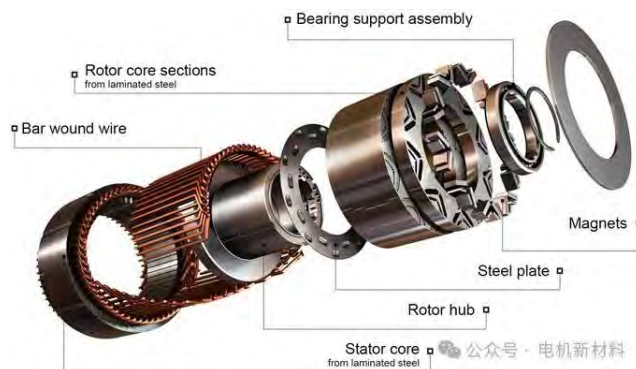
Roadster 优异的性能表现。



图片来源：特斯拉

### 永磁同步电机

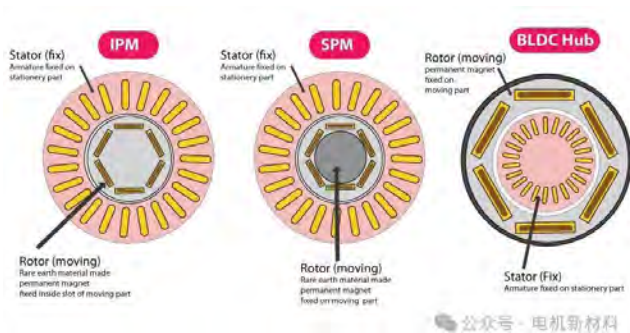
永磁同步电机是一种定子绕组与永磁转子同步旋转的交流电机，具有高功率密度、高效率和优异的动态响应特性，



被广泛应用于新能源汽车、工业自动化、航空航天、家用电器等领域。

## IPM 电机和 SPM 电机

### 两者之间的区别



**IPM 电机：**内置式永磁体 (IPM) 是一种交流电源电机，其中稀土材料制成的超级磁铁安装在转子槽内，线圈绕组 (电枢) 固定在定子上。与其他 IPM 电机相比，具有高效率、高可靠性、高扭矩和大功率密度。

**SPM 电机：**也是一种交流供电电机配置，其中超级磁铁安装在转子表面。SPM 电机还提供高扭矩、高效率和高可靠性。

与 IPM 电机一样，SPM 也是同步电机，但这里的永磁电机安装在转子表面上，而电枢固定在定子上。在 SPM 中，磁阻转矩最小，因此产生的转矩小于 IPM 电机。

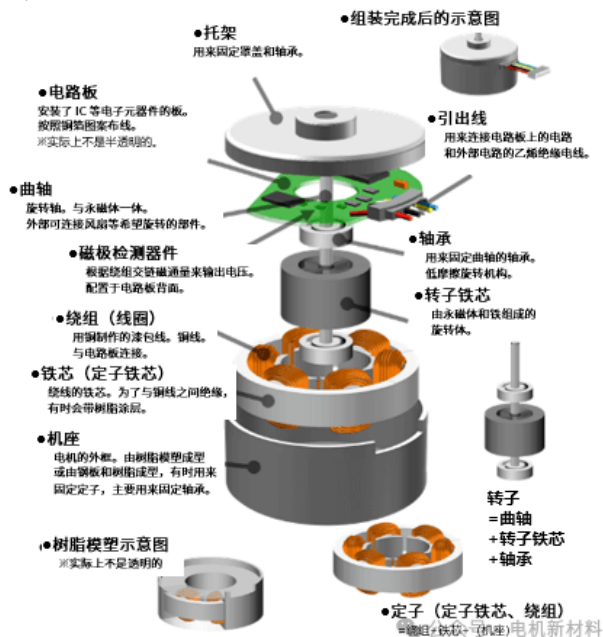
## 无刷直流电机

无刷直流电机是一种电子换向的直流电机，通过霍尔传感器或磁编码器检测转子位置，并由控制器 (电子驱动器) 调节电流，实现无刷运行。

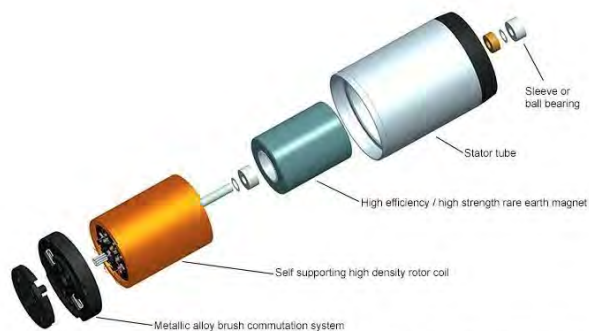
BLDC 电机与传统的有刷直流电机 (BDC) 相比，取消了机械换向器和电刷，从而具有更高效率、更长寿命、更低噪音和更少维护的优势，因此广泛应用于电动汽车、无人机、家电、工业自动化、医疗设备等领域。

## 有刷直流电机

有刷直流电机是一种通过机械换向器 (电刷和换向器) 实现换向的直流电机。它依靠碳刷与换向器接触，使电流方向不断变化，从而驱动转子旋转。



无刷直流电机 (图片来源: CSDN)



有刷直流电机

虽然有刷直流电机在某些应用上逐渐被无刷直流电机 (BLDC) 取代，但由于其成本低、控制简单、启动扭矩大，在许多工业和消费类设备中仍然有广泛应用。

图中的有刷直流电机技术源自一种基于无铁转子 (自支撑线圈) 的设计，结合了贵金属或碳铜换向系统和稀土或铝镍钴磁铁。

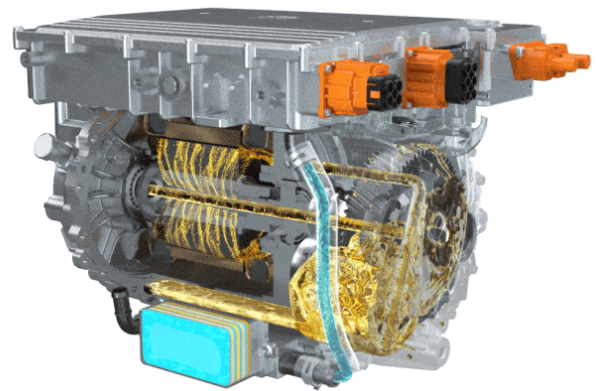
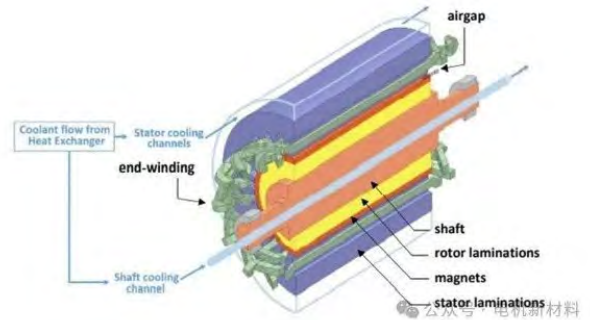
所有直流电机均由三个主要子组件组成: 定子、刷架端盖、转子。

### 液冷电机

液冷电机是一种采用液体冷却系统来控制电机温度的电机类型。相比传统的风冷电机，液冷电机具备更高的散热效率，能够在高功率、高负载工况下保持稳定运行。

液冷系统通常采用水冷（含乙二醇溶液）、油冷或其他冷却液，冷却方式包括冷却套管、内置冷却通道、转子或定子直接冷却等。

Lucid 汽车工程师认为绕组之间存在狭窄的磁性“死区”，可以在不影响磁通量的情况下在这些死区中切割出细长的冷却通道。这些通道允许冷却油从更靠近产生热量的地方（铜中）带走更多热量。油流通过针孔从这些狭窄的通道中流出，针孔将油喷洒到裸露的铜绕组上。



华为液冷电机  
智能油冷，精准散热、电机核心部件温度降低 15℃，承受极端条件的能力、超静音，AI 算法的系统级耦合仿真优化，行业领先 78dB NVH、图书馆级的安静舒适



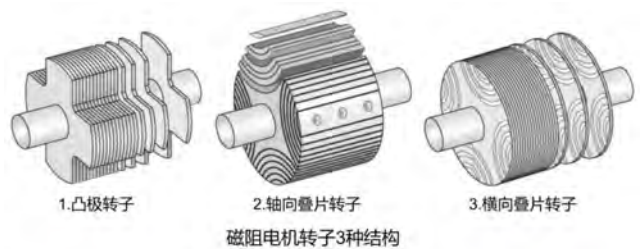
### 磁阻电机

磁阻电机是一种依靠磁阻特性来产生转矩的电机。结构简单，无需永磁体，适用于高温环境。高效、可靠，且成本较低。适用于要求高转矩密度和高能效的应用场景。

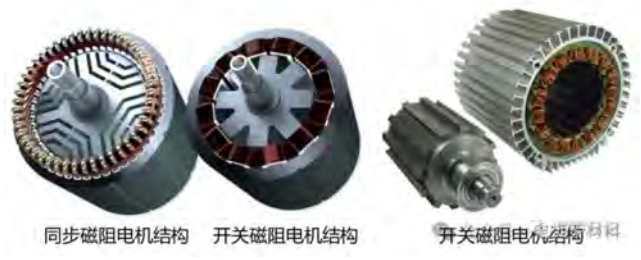
磁阻电机通常分为同步磁阻电机（SynRM）和开关磁阻电机（SRM）两类。



同步磁阻电机（图片来源：罗罗日记）



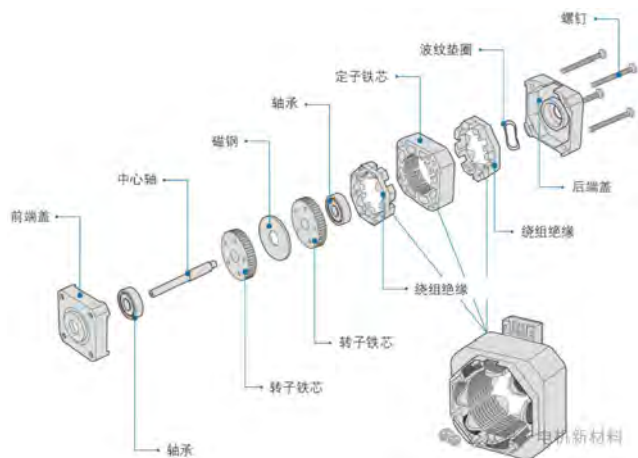
磁阻电机转子3种结构



开关磁阻电机

### 步进电机

步进电机是一种离散控制的电机，每输入一个电脉冲，转子便转动一个固定的角度（步距角），从而实现精确的位置控制。



### 步进电机的主要特点

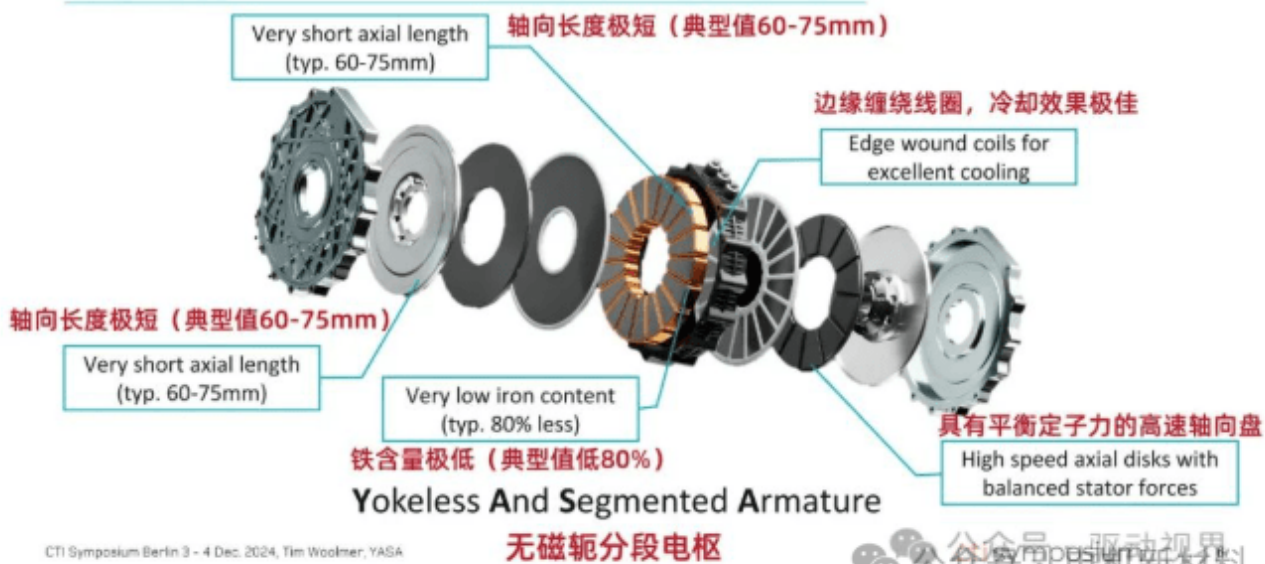
开环控制无需反馈系统即可精确定位。高转矩、低速稳定性好适用于需要精准控制的场合。结构简单、成本较低广泛用于工业自动化和消费电子领域。

常见的步进电机类型包括永磁步进电机（PM）、可变磁阻步进电机（VR）、混合式步进电机（HB）等。

### 轴向磁通电机

轴向磁通电机是一种特殊的电机拓扑，其磁通方向平行于电机轴，与传统的径向磁通电机（磁通垂直于轴）不同。图片来源：驱动视界轴向磁通电机的主要特点：功率密度高适用于对体积和重量敏感的应用，如电动汽车、航空航天。更短的磁路减少铁损，提高效率。扁平紧凑设计更适合集成到紧凑设备中。应用领域：新能源汽车（EV）、航空航天电动飞机推进系统、风力水力发电等。MFC

### YASA技术 The YASA topology



CTI Symposium Berlin 3 - 4 Dec. 2024, Tim Woolmer, YASA

