

大家好！我是西门子中国有限公司自动化与驱动集团运动控制部的工程师刘同，欢迎光临我们的课堂，现在由我向为大家介绍西门子的新型电机。

西门子可以提供从普通异步电机到伺服电机的一系列电机，能满足各种行业的传动需要。

具体到机床行业，由于机床是制造生产机械的设备，故对精度和动态性能都有较高的要求，所以机床上使用的电机主要是伺服电机，国内目前使用的西门子伺服电机主要有3种：即1FT5电机、1FK6电机、1FT6电机。1FT5电机与SIMODRIVE 611A配合构成模拟驱动系统，可连接具有模拟接口的数控系统，如西门子的SINUMERIK 810/850/880/840C等系统；

1FK6/1FT6电机与SIMODRIVE 611D/611U配合构成数字驱动系统，可连接具有数字接口的数控系统，如西门子的SINUMERIK 802D/810D/840D/840Di等系统。

2001年西门子又推出了一个新的伺服电机系列：1FK7电机。

1FK7电机是在1FK6电机的基础上开发的，机械接口完全与1FK6电机兼容，但性能上有所提高。下面我们来了解一下1FK7电机。

目前使用的1FK6伺服电机分为基本型和高动态性能型两类。

1FK7伺服电机推出时依然分为两类：即CT型和HD型。

CT是英文Compat的缩写，即紧凑型。

HD是英文High Dynamic的缩写，即高动态性能型。

CT型电机和HD型电机应用的场合是有所区别的：

CT型电机主要用于安装空间狭小的场合，适用于大多数的行业应用；HD型电机主要用于对动态性能有较高要求的生产机械。

如果按照轴高来分的话，1FK7电机有28mm、36mm、48mm、63mm、80mm和100mm共6种。

1FK6电机没有28mm轴高的电机。

西门子有多种驱动可与1FK7电机配合使用，包括：

810D内部的驱动器

SIMODRIVE 611D 伺服驱动器

SIMODRIVE 611U 伺服驱动器

MASTERDRIVE MC 工程型变频器

以及 POSMO 分布式驱动器

上位控制系统可以根据应用场合来选择，如果驱动系统用在机床上可以选择西门子的SINUMERIK数控系统（如802D、810D、840D）；如果驱动系统用在一般生产机械上则可以使用西门子的SIMATIC可编程逻辑控制器。

1FK7电机与现在使用的1FK6电机、1FT6电机在性能上有什么不同呢？

大家从这张图上可以看出：

首先看纵轴，纵轴反映的是电机的力矩波动，其中1FT6电机波动最小，其次是1FK7电机。

这是由于1FK7电机采用了新的定子绕组技术，所以力矩波动要比1FK6电机要小。

当然1FK7电机与1FT6电机相比在性能上还有一定差距，因此在选择电机的时候需要注意。

再看横轴，横轴反映的是电机的动态性能，可以很明显地看出1FK7的HD型电机的动态性能非常好，这得益于它自身很低的转动惯量。

1FK7电机是在1FK6电机的基础上开发的，但在技术上有所改变：

首先是改变了电机定子绕组技术，大家可以看到左边的图片是1FK6电机的定子绕组，右边的图片是1FK7电机的定子绕组，这种改变反映到外观上是电机长度的缩短，反映到性能上就是力矩的波动更小。

其次是1FK7电机增加了喷漆选项，喷漆的颜色同1FT6电机相同，这是1FK6电机没有的。

最后，1FK7电机使用了新型的功率和信号连接器，这种连接器在保留了1FK6电机连接器可在270度范围内旋转的基础上，提高了连接器的密封等级，并且在维修时更易更换。

这张表列出了目前使用的1FK6电机和具有新型绕组的1FK7电机在无负载时和输出M0力矩时力矩波动的平均值和最大值，可以看出1FK7电机的性能更好

由于1FK7电机和1FT6电机性能上有所不同，所以应用的场合也有所区别。

从这张对照表中可以看出

内置正余弦编码器的1FK7CT型电机可以应用在大多数机床上，这与1FT6电机基本相同，但是在精密磨削、抛光等对表面质量和精度要求较高的加工中，1FK7电机就无法胜任了，只有使用1FT6电机，因为1FT6电机的力矩波动小。

带旋转变压器的1FK7主要用于精度要求不高的场合，诸如木材加工，玻璃加工，石材加工。

而1FK7HD型电机主要用于对动态性能较高的机器人，搬运机械，包装机械等生产机械上。

1FK7紧凑型电机适用于大多数的应用，与1FK6电机基本型相比，1FK7系列增加了额定转速为每分钟4500转轴高为63mm和80mm的电机。增加了额定转速为每分钟6000转的1FK7042电机。也就是说1FK7电机比1FK6电机具有更多的型号。

由于采用了新的定子绕组技术，1FK7电机比1FK6电机短，在长度上最大相差25%

新的轴高28mm电机是西门子伺服电机中最小的一个，它的长度只有177mm，额定力矩是0.6Nm。

1FK7电机内装的编码器，可以选择使用正余弦增量编码器，绝对值编码器或者旋转变压器，这与1FK6电机相同。

1FK7电机内部集成的抱闸比1FK6电机使用的抱闸具有更高的保持力矩，比如轴高32mm的1FK6电机的抱闸保持力矩是1.1Nm，而同样轴高的1FK7电机的抱闸的保持力矩是1.3Nm。

从上述特点看，1FK7紧凑型电机可以替换1FK6标准型电机

1FK7电机内部集成的抱闸比1FK6电机使用的抱闸具有更高的保持力矩，比如轴高32mm的1FK6电机的抱闸保持力矩是1.1Nm，而同样轴高的1FK7电机的抱闸的保持力矩是1.3Nm。

从上述特点看，1FK7紧凑型电机可以替换1FK6标准型电机

相同轴高的1FK7和1FK6电机的力矩是相同的，但是由于1FK7的长度更短，所以其利用系数比1FK6电机要高。

1FK7HD型电机适用于对动态性能要求较高的纺织机械，包装机械等生产机械上，这是因为它的转子转动惯量很低，所以可以实现很高的加速度。

这张是1FT6电机，1FK7HD型电机、1FK7CT型电机的转子转动惯量曲线图。

其中绿色曲线代表1FT6电机；蓝色曲线代表1FK7CT型电机；黄色曲线代表1FK7HD型电机。

可以看出1FK7HD型电机的转子转动惯量明显小于另外两种电机。

举例来说, M0 转矩同为 5Nm 的 1FT6 电机的转子转动惯量为 8.5 公斤平方厘米; 1FK7CT 型电机的转子转动惯量为 7.95 公斤平方厘米; 而 1FK7HD 型电机的转子转动惯量仅为 3.4 公斤平方厘米。

- 1FK7HD 型电机使用的抱闸是新型的弹簧式抱闸。它有 3 个特点, 即:
1. 自身固有转动惯量低
 2. 允许更宽的电压误差范围即 $\pm 20\%$, 而原有的抱闸操作电压误差是 $\pm 10\%$
 3. 不易受环境影响, 更耐用。

最后我们看一下 1FK7 电机与 1FK6 电机的兼容性。
1FK7 电机的法兰, 轴和连接器都与 1FK6 电机, 1FT6 电机兼容。
1FK7CT 型电机与 1FK6 标准型电机的 Mo 力矩相同, 但是在电机极对数和感应磁阻等特性和变频器设定数据上是不同的。
1FK7HD 型电机与 1FK6HD 型电机具有同样的电气特性数据, 但 1FK7HD 型电机的抱闸具有更低的固有惯量, 并且电机尺寸更短

下面我们介绍的是西门子新型的主轴—Eco 电机主轴

首先, 先向大家介绍一下生产 Eco 主轴的公司即 WEISS 主轴技术股份有限公司。该公司是 1993 年从轴承制造厂 FAG 中分离出来的, 其技术目前在欧洲主轴制造领域居领先地位。2001 年西门子自动化与驱动(A&D)集团向 Weiss 股份有限公司投资使其成为了西门子的一个公司。

WEISS 公司可以提供多种主轴产品, 如车削主轴, 铣削主轴, 磨削主轴以及为用户定制的主轴。
下列这些指标反映了该公司制造主轴的技术水平:

- 电机功率最高达 120 kW
- 电机力矩最高达 900 Nm
- 轴转速最高达每分钟 120,000 转
- 旋转精度好于 0.1 μm

目前在中国市场推出的主轴产品是铣削专用主轴—Eco 主轴, Eco 主轴是一种电机主轴, 它将电机, 刀具系统, 冷却系统集成成为一个单元, 安装使用非常地方便, 因其内部选用的电机是每分钟 10000 转或 15000 转的高速电机, 所以 Eco 主轴可以满足高速加工的需求。

什么是 Eco 主轴呢? Eco 主轴是传统的皮带传动主轴, 齿轮箱传动主轴之外另一种主轴形式, 它可用于粗加工/精加工, 它的固定的轴径 (目前是 250mm) 简化了安装, 主轴前后两端使用的是油脂润滑的轴承, 允许每分钟 15000 转的最高转速, 最大力矩输出为 150Nm, 主轴锥孔可以选择以适应各地不同的刀柄。气动松刀避免了复杂的液压系统。多种选项可以使 Eco 主轴更好地满足用户需求。

这是 Eco 主轴的 po 面图, 我们可以清晰地看到 Eco 主轴的组成。首先是电机的定子和转子, Eco 主轴内部的电机可以选择 1FE1 同步电机, 也可以选择 1PH2 异步电机。密闭的冷却套可以很好的冷却电机, 以减少主轴发热对机械的影响。
主轴锥孔有 4 种选择
主轴前端的迷宫式密封可有效地防止异物进入主轴内部。
速度和位置反馈元件使用的是环形编码器
可选的刀具状态传感器可以输出刀具夹紧, 刀具放松和主轴无刀信号。
气动松刀系统避免了复杂的液压系统

这是目前提供的 Eco 主轴的技术数据, 表中列出了两种型号 2SP1253 和 2SP1255, 每个型号下有一种异步电机和两种同步电机。
异步电机的最高转速是 每分钟 10000 转, 力矩输出为 70Nm 或 140Nm; 同步电机的转速是每分钟 10000 转和每分钟 15000 转, 力矩输出为 80Nm 或 150Nm。
概括一下这张表就是 Eco 主轴有 2 种速度, 2 种力矩, 4 种刀具接口。

西门子可以向 Eco 主轴用户提供一整套系统, 包括控制器, 驱动器, 电机主轴。这样就简化了用户的调试工作, 同时这样的搭配可以很好的发挥 Eco 主轴的性能, 大家知道如果使用其它厂家的电机主轴配合我们的 SIMODRIVE 驱动系统, 就必须经过优化, 这将需要有经验的专家使用较长的时间才能完成。

这张图是 Eco 主轴的连接示意图, 我们来简单地看一下。
从上位机开始 CNC \rightarrow 然后是驱动系统 \rightarrow 驱动系统出来后通过功率电缆连接到 Eco 主轴上 \rightarrow 如果电机使用的是同步电机就需要在驱动和电机主轴间使用 VPM 模块 \rightarrow 电机的反馈信号返回到驱动系统上 \rightarrow 电机内部有温度传感器信号可连接到 PLC,
辅助系统有空气压缩机, 它提供主轴锥孔清洁, 主轴前端的气密封和松刀所需的压缩空气。
热交换单元用于带走 Eco 主轴运行时产生的热量。

下面介绍的是更具创新意义的直接驱动器, 即实现直线运动的直线电机和实现回转运动的力矩电机。

直接驱动是由西门子直线电机公司生产的, 他们的标准产品有 1FN1, 1FN3 直线电机和 1FW6 力矩电机, 以及 1FN4, 1FN5 等非标准电机。另外他们还可提供直线电机计算, 结构分析, 仿真, 机床设计咨询, 控制器优化等一系列的服务。

直线电机的出现很好地满足了现代加工的需要。
由于直线电机是无间隙地直接传动, 而且对加工中的干扰可以快速地做出响应, 因此实现的精度比传统的丝杠传动更高。
直线电机的高速度, 高加速度更加适应高速加工对驱动系统的要求, 从而大大提高了生产力。
直线电机的构成使得机械设计更加灵活, 这在后面的介绍中我们可以看到。
虽然使用直线电机时, 增加了冷却系统等辅助设备, 但是由于直线电机是无接触传动的, 抛弃了易磨损的电机部件和传动部件, 因此降低了使用时的维护强度

直线电机从原理上看如同是将同步伺服电机展开得到的, 直线电机的初级部件相当于原来的定子部分, 而次级部件相当于转子部分。
直线电机可以按照工作方式, 运动方式, 设计形式来分类。
直线电机可以是同步, 异步, 或是步进的工作方式, 西门子提供的 1FN1, 1FN3 都是永磁同步电机。
直线电机可以是初级部件运动即初级部件比次级部件短, 我们称之为短定子直线电机。如果是次级部件运动即初级部件比次级部件长, 我们称之为长定子直线电机。西门子提供的直线电机可以实现这两种运动方式。
从设计形式看, 直线电机有螺旋管设计, 单面设计和双面设计等几种形式。西门子的直线电机可以实现单面设计和双面设计。

直线电机在机床设计中可以有多种结构形式,
例如: 当移动的质量较轻时可以使用单电机驱动, 如图中的 1#, 2#结构。当移动的质量较重时, 可以使用并联结构, 如图中的 3#, 4#, 6#和 7#结构。
另外值得一提的是 3#结构, 即在同一级部件上, 使用 2 个初级部件, 各自运行。这种形式是传统的丝杠传动很难实现的。

这是 1FN 电机与西门子系统配合使用的框图,西门子提供的 simodrive611d, 611u 伺服控制其都可以控制直线电机

直线电机在机床上的应用抛弃了传统的丝杠, 连轴节等传动装置, 看似机械更加简单, 但直线电机的高速, 高加速度对机械设计又提出了新的要求, 如减少移动部件质量, 良好的电机, 机床设计实际量提高机床的固有频率等等。在选择作为速度和质量的测量元件光栅时, 能适应电机运行时的最高速度。在使用 1FN 电机时, 要保证切削和冷却液不会进入电机工作区域, 少量的微小颗粒不会影响 1FN 直线电机的性能。

直线电机的机床和应用旋转伺服电机+丝杠传动的机床在加工精度方面的对比。测试时, 系统使用了 LOOK AHEAD 功能, 机床同样以每分钟 4 米的速度加工直径 300 毫米的圆, 从结果可以看出, 同等条件下, 使用直线电机加工的精度更高。

电机工作时, 电子绕组必然产生大量热量, 旋转绕组靠近外壳, 散热面积大, 一般采用自然风冷; 而对于直线电机来说, 电机初级部件直接与机床的托板连接在一起, 因此电机产生的热量会传递到机械部分, 引起变形和机械变化, 即影响了机械的性能。因此, 西门子 1FN 初级部件内部安装了水冷却回路, 并作为主冷却回路带走大部分热量, 为进一步降低电机温升对机械的影响, 还可以使用精密冷却, 安装在初级部件与托板之间的冷却回路, 经过两级冷却, 电机与托板处的温升被控制在很小范围内。

西门子可以提供 1FN1, 1FN3 两种直线电机, 两者在外观和技术参数上有一定的区别, 下面分别介绍一下两种电机:

- 1FN1 电机采用了 Thermo-sandwich 热隔离技术, 可以保证电机与机床机械接口处的温升低于 2 度, 电机内部有力波动补偿器, 它中和了齿操效应, 可提供稳定的推力, 1FN1 最大推力与额定推力之比为 2.25, 即电机的过载能力很高, 同时因自身重量较轻, 电机可是想较高的加速度, 最大可达 20G。基于以上特点, 1FN1 电机主要用于高速铣削, 锥圆加工, 和超精加工。
- Thermo-sandwich 热隔离技术是 1FN3 电机的选件, 使用后可保证电机和机床连接处的温升低于 4 度, 1FN3 电机优化了初级部件内部绕组技术, 因而可提供稳定的推力, 1FN3 电机的最大推力与额定推力之比为 2.75, 但限于较高的加速度, 最大为 32G。1FN3 电机主要用于高动态柔性机床, 抓取和搬运机械等。
- 1FN3 电机采用模块化设计, 可根据机床需要选用精密冷却, 防护板及次级冷却部件。

更高的生产力, 更好的精度, 更长的寿命, 更少的维护等诸多优点, 使得 1FN3 电机为国外众多设备制造上所采用。

直线电机是实现直线运动的直接驱动装置, 实现回转运动的直接驱动装置即力矩电机, 其主要特点是低速大扭矩, 简化了机床的设计, 取消了连轴节, 齿轮等中间传动部件, 使机床的设计更加紧凑, 并具有更高的刚性, 和动态响应。由于这些驱动没有反向间隙, 以及对加工中干扰的快速响应, 使用力矩电机可达到更高的重复精度, 和轮廓精度。直线电机和力矩电机的共同应用于机床, 可实现所有轴的直接驱动, 为现在高精度加工提供了有利的技术基础。请参照力矩电机组成图。