



高速精密电主轴

济宁博特科技公司 (山东 272037) 李 鄞

济宁职业技术学院 (山东 272037) 郝敬恩

高速精密电主轴作为现代机床的标志性功能部件,几年来得到迅速的发展和完善,目前在车、铣、磨等各种加工机床都已有应用,在高档加工中心更是首选部件。电主轴作为高效、高速、高精度、低振动、低噪声、易安装、模块化机床部件,将在机床行业得到更广泛的应用。

1. 高速精密电主轴的组成

高速精密电主轴是将高频电机和精密主轴结合为一体,电机置于主轴内部,直接驱动主轴,实现电机对主轴的零间隙传动,其主要有以下部件及系统组成。

(1) 主轴驱动电机 主轴驱动电机是将电能转换成机械能的能量转换部件。现一般为高性能、高可靠性的异步电动机,现也开始研究为永磁同步电动机是电主轴的核心,驱动电机由定子和转子组成。

(2) 轴承支承系统 轴承支承系统的功能主要是支承主轴和保证主轴的刚性和精度,现一般采用高速精密角接触轴承,小功率的超高速的可采用气浮轴承,目前也有静压轴承及磁浮轴承用于电主轴。

(3) 润滑系统 良好的润滑是保证机械轴承可靠运行的必要条件,对于一般转速电机可采用油脂润滑,对大功率高速电主轴必须采用油雾或油气润滑。油雾及气润滑不但能给轴承提供适量的润滑剂,还可带走摩擦热量,降低轴承温升,又可保持轴承室内部压力,防止外界污物侵入,润滑系统由润滑装置和润滑路线组成。

(4) 冷却系统 主轴驱动电机的损耗及轴承摩擦都产生热量,为保证主轴精度和温度稳定,必须把电主轴产生的热量带走,目前电主轴采用水冷、油冷及风冷等多种方式。

(5) 夹刀方式及松拉刀机构 对铣用及加工中心电主轴,刀具装夹直接影响加工,目前电主轴在小功率普遍采用 ER 夹头装夹刀具,加工中心采用 7:24 刀柄,高速大功率目前采用较多的是 HSK 刀

柄夹刀,并配置气动及液压松拉刀机构。

(6) 电主轴控制系统 电主轴控制技术普遍采用中频变频器控制,对于要求控制高、低速性能好的一般采用矢量变频器进行控制,电主轴在低转速时有较大的输出转矩和稳定运行。

2. 电主轴的一些主要技术特性

电主轴的性能是通过一些技术特性参数来表示的,如下是电主轴的几个主要技术特性和指标。

(1) 电主轴的型号 电主轴的型号一般由电主轴的代号、安装尺寸及转速代码等组成。

(2) 转速 转速是电主轴一个重要技术指标,电主轴转速可在一定范围内通过变频器变频实现无级变速,电主轴转速和频率成正比关系。

$$\text{同步转速} \quad n = \frac{60f}{P}$$

f 为变频器输出频率, P 为驱动电机极对数,电主轴一般为异步电动机,其实际转速比同步转速稍低。选择电主轴时要注意实际工作转速不得高于最高转速。

(3) 输出功率 表示电主轴的做功能力,一般用 P 为表示。电主轴功率一般随频率电压变化而变化(恒功率调速时除外),电主轴铭牌标称功率为在标称电压、转速下的满载输出功率,电主轴的输出功率一般随转速的降低而降低,选择电主轴时要考虑。

(4) 输出转矩 表示电主轴输出力的大小,一般用 M 表示,电主轴的转矩指标有最大转矩和额定转矩,最大转矩表示电主轴的过载能力,额定转矩表示负载能力。如电主轴承担的转矩超过最大转矩,电主轴转速会发生陡降或停转,电主轴的最大转矩一般为额定转矩的 2 倍左右,在使用和选择电主轴时注意瞬间最大负载转矩不能超过电主轴最大转矩,工作转矩稍小于电主轴的额定转矩。

(5) 电主轴转矩和转速、功率的关系 电主轴的功率、转矩、转速的关系可由下式表示:

$$M = \frac{975 P \times 9.81}{N}$$

对恒功率电主轴，转矩和转速成反比，对恒转矩电主轴，功率和转速成正比。

(6) 恒转矩调速 是指主轴在一定转速范围内，在调整改变转速时，输出转矩不变的调速方式叫恒转矩调速，恒转矩调速时功率、转矩和转速的关系曲线见图 1。

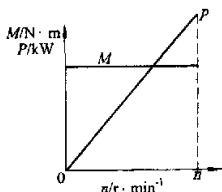


图 1

在恒转矩调速时电主轴功率与转速成正比，转矩保持恒定，调速时电压和频率变化曲线见图 2。一般的磨用电主轴及小型铣用电主轴都为恒转电主轴，这类电主轴注重考核高速时的性能，低速转矩比较小，给定的电机参数一般为额定转速的功率及相对应的电压和频率。在选用及应用时注意。如选用一台 4kW、2400r/min 电主轴，其电压为 350V、频率 400Hz，如用于 12000r/min，电主轴功率为 2kW，频率为 200Hz，电压为 178V。在使用普通变频器时，注意变频器基频频率，应设定为电主轴标称频率，输出电压设定为电主轴标称电压。

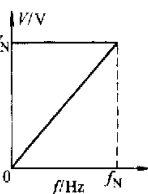


图 2

(7) 恒功率调速 许多机床设备要求有较广的加工范围，这就要求电主轴既有优良的低速性能，又要有高速加工性能，这样恒转矩电主轴主要以高速段为最佳设计点，不能很好地满足使用要求。恒功率电主轴在考虑用户高速要求的同时充分考虑其低速要求，有更广的适用性。恒功率电主轴是指在一定转速范围内，在调整改变转速下，输出功率可保持不变的调速方式叫恒功率调速。恒功率调速时功率、转矩和转速的关系曲线见图 3。

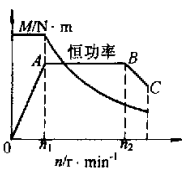


图 3

恒功率调速时功率、转矩和转速的关系曲线见图 3。

$n_1 \sim n_2$ 转速段为恒功率调速， $0 \sim n_1$ 转速段为恒转矩调速。恒功率调速时电主轴功率保持恒定，电主轴转矩随速度上升而下降。恒功率调速时，一般在起步及低速段采用恒转矩调速，而高速段采用恒功率调速，设计最佳点在 n_1 点，保证低

速有效大的输出转矩，满足低速大进给切削要求，在调整速段保持恒功率，可满足小切削量的高转速要求，一些低速要求高的电主轴，应采用高性能的矢量变频器控制。

(8) $d_m n$ 值 电主轴功率及转速是受电主轴体积及轴承限制的， $d_m n$ 值就是反映电主轴功率和转速的一个重要特性参数，其中 d_m 为轴承中径， n 为电主轴工作转速， $d_m n$ 值越大，其电主轴性能要求越高，一般电主轴的 $d_m n$ 值 $\leq 1 \times 10^6$ ，这类电主轴可采用油脂润滑， $d_m n \geq 1 \times 10^6$ 为高速或高速大功率电主轴，这类要求采用油气或油雾润滑， $d_m n \geq 2 \times 10^6$ 的电主轴必须采用气浮或磁浮轴承才能解决其支承问题，对相同 $d_m n$ 值的电主轴来讲， n 值大即 d_m 值小，功率小刚性差，选择电主轴时不要盲目追求高转速。

3. 电主轴的应用及发展趋势

电主轴作为高品质的机电产品，随着现代科技的进步和市场发展要求，其应用领域及发展趋势主要体现在如下：

(1) 电主轴向高档、高技术领域发展 随着高档数控机床的需要及电机控制技术、数控技术、刀具技术、轴承支承技术的发展和完善，电主轴运用现代最新技术向精度更高、速度更快、功率更大、扭矩更强、控制更准的方向发展，成为多项高技术产品的产物和高档数控机床的首选主要部件。

(2) 电主轴向系列化、标准化、规模化发展 电主轴结构简单、安装方便、可靠性高。电主轴的应用可简化机床结构，促进机床模块化生产，提高机床性能、降低机床制造成本和生产周期，适应机床市场多变性和多样化要求。因此在普通机床的应用领域有广阔的前景。目前电主轴在内圆磨床、高速钻铣、小型数控车床上都已初步形成系列化产品可供用户选用，并随着市场的开发和电主轴的不断发展，电主轴系列会不断完善，会有更多价格适宜的标准化产品供用户选择。

(3) 电主轴向专业化、个性化发展 电主轴在标准化和系列化的同时，也应注重用户需求的多样性和差异性，满足不同情况、安装方式、使用条件的电主轴会不断涌现，电主轴的应用也已扩展到航空、轻工、纺织、试验、研究行业，适用不同的用户需要。

(收稿日期：20030920)