



# 浅析变频调速电机逆变器类型 与电机参数之间的关系

文◎ 芦娜 (哈尔滨汽轮机厂有限责任公司)

**摘要:** 本文就变频调速异步电动机在变速运行时供电电源的非正弦的问题, 通过调整逆变器与电机参数的总体配合, 来获得整个调速系统的最佳技术经济指标。

**关键词:** 逆变器; 漏电抗; 电磁负荷; 气隙

传统的异步电动机是由恒频恒压的正弦波电源供电, 而变频调速的异步电动机则是由变频变压的变频器供电, 在供电电源中包含有大量的谐波, 变速运行时供电电源的非正弦, 是变频调速异步电动机设计中需要特殊考虑的两个问题。

在交-直-交变频调速系统中, 由于直流环节的基本功能及滤波方式不同, 逆变器可分为电压型和电流型两种基本类型, 脉宽调(PWM)型在本质上也可归结为电压型或电流型。

电压型逆变器的中间直流环节设置电容, 以维持中间直流电压恒定, 逆变器输出电压为矩形波或阶梯波。逆变器的输出电流波形由电压波形与电机的感应电动势之差决定, 其幅值和相位取决于电机负载。

电流型逆变器的特点是中间直流环节的能量由电感线圈传递。在这种系统中, 中间回路的电流近似恒定, 逆变器输出平直的矩形波电流, 逆变器的电压波形则取决于电机的感应电动势, 幅值与相位随负载而变。

由于电压型和电流型逆变器的结构和功能不同, 因而对电机参数的要求不同。在设计中需要考虑逆变器与电机参数的总体配合, 才能获得整个调速系统的最佳技术经济指标。

## 一、逆变器类型与电机漏电抗的关系

由电压型逆变器供电时, 谐波电流

$$I_v = \frac{U_1}{v^2(x_u + x_v)} \quad (1)$$

其中  $x_u$  和  $x_v$  分别为电机定子和转子绕组的漏电抗,  $U_1$  为基波电压有效值;  $v$  为谐波次数。可以看出谐波电流的大小与电机的转速无关, 与负载大小无关, 谐波电流的大小主要取决于电机的漏电抗。

为了减小电流谐波, 提高功率因数和改善换流性能, 在设计电压型逆变器供电的异步电动机时, 希望有较大的定、转子漏电抗。

对于电流型逆变器供电的电机, 情况则相反。为了减小最大换流时间, 限制换流时逆变器和电机上出现的过电压, 要求换流电路的总电感越小越好。由于电机绕组漏电感是换流回路电感的一部分, 故要求绕组的漏电感越小越好。从谐波等效电路也可看出, 漏电抗越小, 电流谐波产生的电压谐波也越小。因而从抑制电压谐波的角度出发, 也希望减小电机绕组的漏电抗。

由以上分析可知, 不同类型逆变器对电机参数的要求是不一致的, 而且是互相矛盾的, 因而应当区别对待。有人建议对于电压型逆变器供电的电机, 为了使总谐

波电流相对值小于 20%, 应使额定情况下的电抗标么值大于 0.25, 并要求励磁电流标么值小于 0.2。对于电流型逆变器供电的电机, 漏电抗标么值应小于 0.15, 励磁电流标么值大于 0.35。

## 二、电压、频率与极数选择

由于电压型逆变器供电的电机要求较大的漏电抗, 故应选取较高的额定电压。因为漏电抗与绕组匝数的平方成正比, 当电机额定功率一定时, 电压越高则电流越小, 绕组匝数越多, 绕组的漏电抗越大。反之, 对电流型逆变器供电的电机, 额定电压应选得低一些, 以减小电机的漏电抗。例如, 一台电力机车用 700kW 的电压型逆变器供电的异步电动机, 额定相电压选为 750V, 而一台地铁电动车用 80kW 电流型逆变器供电的异步电动机, 其额定相电压则选为  $250/\sqrt{3}$  V。

电机极数的多少与电机的基本尺寸和参数有关。功率大的电机一般取较多的极数, 极数少, 定子绕组端部增长, 漏电抗增大; 反之, 极数增多, 绕组端部较短, 漏电抗较小。显然, 对于电压型逆变器供电的电机适合选取较少的极数, 而对于电流型逆变器供电的电机则选择较多的极数。极数的多少会影响电机的主要尺寸。当电机转速相同时, 极数少的电机定子绕组端部长, 因此增加了电机的轴向长度。同时由于极数减小而使每极磁通增大, 相应的定子轭部高度增加, 因此使定子铁心外径增大。当然也不是极数越多越好。极数增多后, 为了达到所要求的电机转速, 就要增加电机的供电频率, 然而供电频率的增高不仅会增加逆变器功率元件的开关损耗, 而且也会增加电机的损耗。因此, 电机极数的选取应当综合多方面的要求, 不可过多, 也小宜太少。电机的极对数一般在  $P=2\sim 4$  范围内选取。

电机极数选取之后, 可由下式近似计算电机的供电频率:

$$f = \frac{pn}{60(1-S)} \approx \frac{pn}{60} \quad (2)$$

其中  $n$  为电机的转速(r/min)。由电机的额定转速和最高转速可计算出电机的额定频率和最高供电频率。求出的最高供电频率应在逆变器所允许的输频率范围之内。

## 三、电磁负荷与气隙的选择

由电机原理可知, 电机定、转子绕组漏电抗与电负荷  $A$  成正比而与磁负荷  $B \delta$  成反比。因此, 对于电压型逆变器供电的电机应取较大的电负荷和较小的磁负荷。而对于电流型逆变器供电的电机则应选取较小的电负荷和较大的磁负荷。然而需要注意的是, 电机的最大效率一般出现在电机的铜损耗和铁损耗相等或相近时, 在选择电、磁负荷时, 应当控制电负荷和磁负荷的比值, 因为这个比值过大或过小都将导致电机效率或功率因数的降低。

电机气隙的选择与励磁电流大小有关。

气隙越大励磁电抗越小, 励磁电流越大。如上所述, 对于电压型逆变器供电的电机, 为了减少谐波电流希望增大励磁电抗而减小励磁电流, 因而应当选取结构要求和生产工艺所允许的最小气隙。实际上, 这种所选择的最小气隙也应比同容量的普通电机气隙稍大一些, 因为调速电机可能承受比普通电机较大的转矩冲击和脉振, 电机的轴承要留有适当的轴向窜动量和径向间隙。如果气隙选得小, 在运行中可能发生定、转子铁心擦碰的所谓“扫膛”现象。对于电流型逆变器供电的电机, 则应选取较大的气隙, 以减小励磁电抗和增加励磁电流。

## 四、绕组与槽形设计

对于电压型逆变器供电的电机, 为了增加漏电抗, 通常把定子槽形设计成窄而深, 也可将轴向通沟放在槽口部分以增加槽深。还可采用磁性槽楔增加槽漏抗。相反, 对于电流型逆变器供电的电机, 为了减小槽漏抗, 常采用宽而浅的定子槽, 采用开口槽而不采用磁性槽楔。

为了减小基波和谐波电流的铜损耗, 无论电压型还是电流型逆变器供电的异步电动机, 都希望定绕组电阻越小越好, 并且尽可能地减小定子绕组的集肤效应, 例如采用扁平导体平放布置, 或采用多根互相绝缘的导体并联等。转子槽形设计情况比较复杂。从提高最大转矩的角度出发, 无论是电压型还是电流型逆变器供电的电机, 都希望减小基波漏电抗。对于电压型逆变器供电电机来说减小转子漏电抗对于限制高次谐波电流不利。实际上由于转子导条尺寸较大, 对高次谐波频率下的集肤效应影响较大, 不管转子基波漏电抗大小如何, 高次谐波漏电抗总是较小的。减小转子基波漏电抗的方法是采用半开口槽, 在转子齿磁通密度允许的条件下尽可能将转子槽形设计得浅而宽。如果在减小转子基波漏电抗的同时又要适当增加谐波漏电抗, 则可采用梯形槽。由于槽口部分磁导不受集肤效应的影响, 适当增加槽高和减小槽口宽度, 对提高转子谐波漏电抗抑制高次谐波有明显作用。

为了避免由于扭斜漏磁通产生的谐波损耗, 通常转子不采用斜槽, 由于采用变频起动, 可不必担心谐波转矩对起动的不利影响。同时, 由于变频调速电机的起动转矩较大而电流较小, 不需要采用加大转子电阻的办法限制起动电流和增大起动转矩。相反, 为了减小转子基波和谐波电流的铜损耗, 应尽可能地减小转子电阻。为此, 除了在转子齿磁通密度允许条件下尽可能加大转子电阻。因此, 除了在转子齿磁通密度允许条件下尽可能加大转子尺寸之外, 还可以选用电阻率较小的导条及端环材料。

## 参考文献:

- [1] 许大中 交流电机调速理论 浙江大学出版社 1991
- [2] 许实章 电机学 机械工业出版社 1981