笼型三相异步电动机调速和节能

文/德州恒力电机有限责任公司　陈金刚

讲述笼型三相异步电动机变极调速和变频调速的特性，变频调速电动机的设计特点和节能优势。重点对变极调速电动机恒功率和恒转矩调速的接法和特性，变频调速电动机设计特点，基频以下和基频以上调速时对应的恒转矩和恒功率调速特性进行阐述和分析，从而指出两种调速电动机的特点和发展趋势。

笼型调速电动机目前主要有两种调速方式：变极调速和变频调速。变极调速电动机通过改变电动机接法，来改变极对数，达到调速的目的，为有级调速，主要有YD与派生系列、YZ－H、JZ2－H及其派生系列的双速和三速起重电动机；变频调速电动机是利用变频器，通过改变电源频率来达到调速目的，为无级调速，主要是YVF及其派生系列电动机。随着变频调速技术的发展，通过变频器进行调速已成为交流电动机调速的主流，变频专用电动机通过变频器变频调速控制，在使用过程中具有调速和节能双重优势，应用领域越来越广。

变极调速电动机的接线特点

在电源频率恒定的情况下，一套定子绕组通过改变绕组的接线方法，来改变定子绕组的极对数，改变旋转磁场和转子的转速，从而得到两个不同的同步转速。改变定子极数时，转子极数也同时改变，因为笼型转子本身没有固定的极数，它的极数随定子极数而定。因此，变极对数调速方法仅适用于笼型异步电动机。一台变极调速电动机定子绕组可以安放一套或两套绕组，做成双速，三速或四速电动机。变极调速分为反向变极和换相变极两种变极方法。由于反向法变极仅在每相绕组内部改变所属线圈的连接方法来改变部分线圈中的电流方向，其电动机的出线数较少，双速电动机出6根线，三速电动机出9根线，四速电动机出12根线，从而简化变极开关设计，但变极后可能分布系数低，使电动机性能受到一定影响。换相法变极不仅改变部分线圈电流方向，而且改变部分槽内线圈的相属。用换相法获得的单绕组多速电动机方案，不同极数的分布系数可保持较高，但出线头较多，接线复杂，使用和控制不如反向法方便，一般场合很少使用。

单绕组变极双速电动机不同接法的运行特性

单绕组变极调速是变极调速中应用最广的方法。设计时通过对现有单速电动机进行绕组改绕设计，根据槽电流值和磁动势图，定性分析电动机的谐波磁场对电动机运行性能的影响，计算电动机磁路各部分磁通密度数值，由此确定电动机所选槽配合。通过将定子绕组分成两个“半相绕组”，利用改变联结，使其中一个“半相绕组”中的电流反向，极对数成倍改变时，须同时改变出线端的相序，使电动机双速相序一致。单绕组双速电动机的典型线路有恒功率△－YY和恒转矩Y－YY两种联结。单绕组双速电动机低速和高速按△－YY联结时，考虑到效率和功率因数的影响，低速功率为高速功率的75%，高速转矩约为低速的50%，电动机为恒功率调速；低速和高速按Y－YY联结时，考虑到效率和功率因数的影响，低速功率约为高速功率的35%，高速转矩高速与低速基本相同，电动机为恒转矩调速。

单绕组双速电动机的绕组大多具有不规则的绕组排列，从而产生比普通单速绕组更多的谐波，影响电动机的起动、振动、噪声和温升等性能。为消除偶次谐波和增加电动机多极数时的绕组分布系数，多采用多极数为全节距或接近全节距的绕组，同时为消弱谐波磁动势和选择合适的节距，一般选用双层叠绕组。绕组设计时要兼顾各转速下的性能，并根据电动机实际工作状态，选择恒功率或恒转矩来决定电动机绕组的型式、接法、节距、气隙磁密和匝数。

变频调速电动机的设计特点和节能优势

变频调速电动机的设计主要在适应变频电源调速运行和提高电动机本身效率两方面考虑。由于所用变频电源的特殊性，以及系统对高速或低速运转、转速动态响应等需求，对作为系统能源转换主体的变频调速电动机，在电磁、结构和绝缘各方面提出了更高的要求。①由于电动机的临界转差率反比于电源频率，变频电动机可以在临界转差率接近1时直接起动，因此，过载能力和启动性能不再需要过多考虑，而把设计重点集中在改善本身对非正弦波电源的适应能力，提高电动机不同负载率下的效率上。②电磁设计时尽可能地减小定子、转子电阻。为抑制电动机低速运转时电流中的高次谐波，适当增加电动机的电感。选用耐电晕性能好的电磁线，以满足电动机耐高频脉冲和局部放电的要求。一般使用聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合层、耐电晕、抗电晕和电磁漆包线。变频电动机的磁路一般设计成不饱和状态，一是因为低速运转时高次谐波会加深磁路饱和，二是因为电动机在低频时，为提高输出转矩可以适当提高变频器的输出电压。③结构设计时，主要考虑非正弦电源特性对变频电动机的绝缘结构、振动、噪声及冷却方式等方面的影响。为满足电动机的高速运转及抵抗变频器高频电流冲击对绝缘的破坏，采用高分子绝缘材料及真空压力浸漆制造工艺，以及采用特殊的绝缘结构，使电动机绕组匝间绝缘介电强度及抗拉、抗扭强度提高。④为避开与各次谐波产生的共振现象，充分考虑电动机构件及整体的刚性，尽力提高其固有频率，提高平衡质量，振动等级要求为R级（降振级），机械零部件加工准确度高，对需要高速运转的变频电动机，采用专用高准确度进口轴承。

变频电动机较普通电动机存在以下优点：①在0.1～130 Hz范围长期运行，适用于设备的各种调速场合，适应不同工况条件下的频繁变速。普通电动机可长期运行的频率范围较窄，根据极数不同可长期运行的频率范围见下表。②具备有自起动功能，采用电磁设计，减少了定子和转子的阻值，提高了电动机效率。③采用独立风机对电动机进行冷却，在各种转速下，均能良好地散热。④在出力不变的条件下，较普通三相异步电动机，其体积减少25%～30%，或电动机功率密度增加25%～30%，同时，在调速范围内平均运行效率提高3%，平均功率因数提高4%。基于上述特点，变频专用三相异步电动机应用范围大大扩展，在风机和水泵调速节能中得到广泛应用。

表　不同极数普通电动机可长期运行的频率范围

电动机极数	2	4	6	8
可长期运行的频率范围/Hz	20～65	25～75	30～85	35～100

变频控制的恒磁通和恒压调速特点

电动机变频器调速时有两种情况：基频（基准频率）以下（3或5～50 Hz）调速和基频以上（50～100 Hz）调速，其负载特性如下图所示。

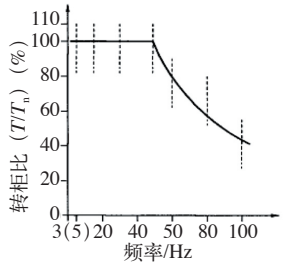

图　变频调速电机负载特性

两种情况下都要尽量保持电动机主磁通为额定值不变。如果磁通过弱（电压过低），电动机铁心磁通不能得到充分利用，电磁转矩变小，负载能力下降。如果磁通过强（电压过高），电动机处于过励磁状态，电动机因励磁电流过大而严重发热。

结束语

变极调速电动机的尺寸一般比同容量变频感应电动机略大，运行性能略差，电动机出线端较多，在仅需等级调速的场合使用，是一种较经济的方法。变频调速电动机的调速范围广，为无级调速，调速前后电动机的主要性能和节能效果都比较优越，但需要专门的变频电源。近年来，由于变频技术的发展，变频器的价格不断降低，性能逐步提高。随着变频技术的推广，变频调速电动机得到越来越广泛的应用。EA