

华中科技大学电气与电子工程学院

成果推介 | 高品质高可靠永磁电机关键技术与应用

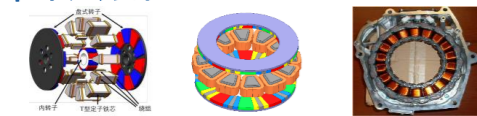
| 所属领域

电机及其系统 电子电子控制技术等

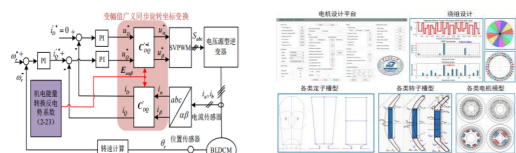
I 痛点问题

电机系统不仅是重要的能源动力装备，也是载运交通、电力装备、新能源汽车、智能电器等高端装备的关键基础部件，是国际核心竞争力重要体现。国家“十四五”和“2035中长期”规划提出聚焦高端装备产业升级，加快关键核心技术创新应用。电机用电占工业总用电量的60%以上，其能效提升对于我国能源节约、环境保护与资金节约，进而实现“双碳”战略目标，具有至关重要的意义。在“高端装备”与“双碳战略”国家重大需求牵引下，作为驱动核心部件，电机及其控制系统面临日益严苛的性能要求。国外西门子、ABB等公司投入巨资，自上世纪末研制高转矩品质高可靠永磁电机及驱动装置，满足了部分产业需求，垄断了国内市场，但仍存在以下缺陷：转矩密度未突破85Nm/L，转矩脉动未低于1%，无法满足用户多样化需求。多年来，高性能永磁电机及驱动装置的研制主要存在三大国际性难题：①电机多参数强耦合，动态行为复杂，采用单维径向磁路结构，磁通面积小，采用分布式重叠绕组，绕组利用率低，因此电机转矩密度提升难，驱动能力弱；②电机控制器死区及传感器等因素引入电流谐波，产生波动转矩，齿槽效应引发齿槽转矩，常规抑制方法影响输出能力，因此电机转矩脉动抑制难，控制精度低；③电/磁/热/力多场耦合，温升建模计算难，冷却结构优化机理不明，传热效率低，无法兼顾低温升与低功耗，因此电机散热能力增强难，电机故障率高，故障诊断识别精度低，可靠性差。电机系统及配套设备无法实现高转矩、低脉动、强散热，长时间大扭矩输出时可靠性差，严重掣肘产业发展与国防安全，亟待突破。

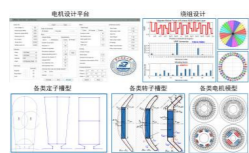
| 解决方案



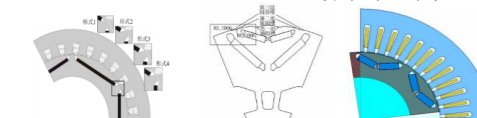
图一、创新本体设计



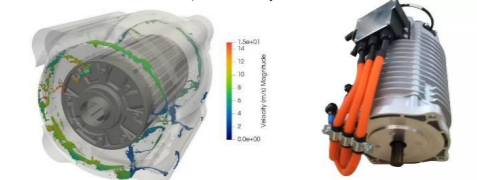
图二、变幅值广义矢量控制策略



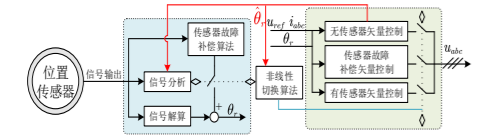
图三、一体化机电联合仿真分析设计平台



图四：磁导优化技术



图五、冷却结构



图六、故障分级位置传感器容错控制

为解决永磁电机在转矩密度、控制精度及可靠性方面长期存在的国际性难题，本项目研制了一套创新的设计与控制体系：

针对转矩密度低、驱动能力弱的难题：发明轴径向、阵列轴向等多维复合磁路拓扑以及“大小相带链式集中绕组”，提升了气隙磁密基波幅值与绕组利用率。建立非正弦反电势下的优化电流解析模型，提出变幅值广义矢量控制策略，实现转矩最大化。构建电机本体与控制一体化联合仿真平台，实现了多目标参数的自主寻优设计。

针对转矩密度低、驱动能力弱的难题：创建电磁转矩复系数计算模型，揭示转矩脉动产生机理，实现齿槽转矩与电流谐波解耦分析。发明融合箭形磁障、辅助槽等磁导优化技术，通过“削峰填谷”原理，降低齿槽转矩。首创自抗扰复系数滤波器谐波统一抑制方法，能精准抑制多频次、多相序的电流谐波，减少电流谐波失真。

针对故障率高、可靠性提升难的难题：发明内嵌式高效冷却结构，提出多目标优化冷却方案筛选方法，提升散热效率。首创故障分级位置传感器容错控制技术，实现故障状态下有/无传感器平滑切换。建立多耦合动态模型，发明多源信息融合故障诊断算法，构建故障诊断全流程诊断体系。

| 技术指标

☆项目研制的GZ系列永磁电机：

电机转矩密度达89.1Nm/L，相比1FW6高37.9%；过载倍数达1.8倍，优于1FW6的1.59倍；峰值扭矩密度达161.0Nm/L，相比1FW6高56.7%；电机转矩脉动为0.97%，优于1FW6的1.5%，降幅达33%；电机温升相比1FW6降低20K，降幅达20%；价格仅为进口产品的1/2到2/3，技术经济性优势明显。

☆项目研制的智能电器用永磁电机：

齿槽转矩仅为0.35Nm，噪音为42dB，相比韩国LG公司同类产品效率提高2.37%；齿槽转矩降低50%，噪音减小16%，价格降低10%，相比新西兰FPA公司同类产品效率提高2.04%，齿槽转矩降低14%，价格降低10%。

| 竞争优势

产品为解决高性能永磁同步电机研制的三大痛点而生，本项目研制的系列永磁电机，在关键性能指标上全面超越国际顶尖同类产品，同时具备显著的成本优势，实现了高性能与高经济性的统一。



| 产业化应用

项目多项成果已广泛应用于载运装备、能源战略、工程机械、精密制造、电力装备、智能电器等行业，填补了国产高转矩密度高可靠永磁电机及驱动装置的空白。



| 资质荣誉

成果获湖北省科技进步一等奖、中国电力科技进步一等奖、中国商业联合会科技进步特等奖、“磐登动力-先进直驱电机领跑者”获互联网+全国银奖。



| 知识产权

该成果已授权专利140余项，编制标准2项，出版专著12部，发表论文126篇。



| 技术成熟度

已有成熟产品，形成60个系列290个型号产品，销售至42个国家和地区，覆盖制造、能源、交通、电器等重点行业。



| 合作方式

业务合作、联合技术开发、技术服务等。

电话：13125907081

联系人：罗成

地址：湖北省武汉市洪山区珞喻路1037号

华中科技大学电气与电子工程学院