

2017 年高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）推荐 项目公示材料

项目名称：磁悬浮传动系统理论及应用

推荐奖种：技术发明奖

推荐单位(专家)：南京工程学院、江苏大学

项目简介：

传动系统是能源交通、高端制造、生物医学和国防军工等领域重大装备的关键和核心。目前广泛采用的机械支承的传动系统高速运行存在严重的磨擦、损耗、发热、振动、噪音等问题，效率低、寿命短、需要定期维护和润滑；气浮、液浮轴承支承需要匹配专门的气压、液压系统，结构复杂、体积庞大、效率和可靠性低。难以满足重大装备的高速、高精、高效率以及真空、洁净、无噪音等高性能要求。如何实现传动系统的体积、效率和可靠性等综合性能的显著提升，是传动领域的研究难点和关键。

本项目历时 15 年，在国家 863 计划、国家自然科学基金等 10 余项国家级项目资助下，突破传统电机仅产生电磁转矩而驱动转子旋转的固有机理，提出了以同时产生电磁转矩和支承悬浮力以实现悬浮与旋转功能于一体的磁悬浮传动系统及其实现方法，发明了新型无轴承电机的拓扑结构与高性能控制等关键技术。主要技术发明点如下：

1) 深入研究磁阻型、永磁型、异步型和直流型 4 类磁悬浮无轴承电机，发明了单绕组、双定子、双通道、混合定子、永磁平面等多种拓扑结构及设计方法，较系统地揭示并阐明了磁悬浮传动系统的悬浮支承与能量转换机理。

2) 针对磁悬浮传动系统悬浮性能要求及其多变量、非线性、强耦合特征，提出采用微分几何、神经网络与支持向量机逆等方法来研究系统多变量非线性动态解耦控制，解决了悬浮力与旋转力之间高动态非线性解耦控制难题。

3) 提出了基于动态电感模型和相关向量机来快速检测磁悬浮无轴承电机转子位置（含径向位移）的软测量技术及其直接径向位移控制方法，有效减小传感器的使用，提升转子位置检测与控制性能并提高运行可靠性。

4) 针对磁悬浮传动系统特殊应用场合（如飞轮储能、风力发电等）要求，发明了单自由度、三自由度、薄片转子、轴-径向混合型等多种新型磁轴承结构，并给出了相应的驱动控制策略，有效拓展系统悬浮控制自由度。

申请发明专利 37 件，已获授权 30 件；国内外核心刊物发表论文 100 余篇，其中 SCI、EI 论文 60 余篇。经专家鉴定为：“成果整体研究水平达到同类型电机研究的国际先进水平”。项目成果引领并推动了磁悬浮传动技术成为电气传动领域新分支，有力促进了相关行业的科技进步。

推广应用情况：

相关技术通过合作开发方式应用于电主轴、传输泵、数控机床等领域，取得了显著的经济与社会效益，同时在高速精密数控机床、真空分子泵、汽轮发电机、高速飞轮和航空航天、生命科学领域、特殊液体传输等领域展现出广阔发展前景和巨大潜在经济效益。

曾获科技奖励情况：

2012 年获中国石油化工技术发明二等奖：无轴承永磁电机泵关键技术研究及应用。

2012 年获江苏省科学技术一等奖：无轴承永磁同步电机及其驱动控制技术

主要知识产权证明目录:

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权或申请号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
授权发明专利	一种单绕组磁悬浮开关磁阻电机结构参数的优化方法	中国	ZL201410499891.X	2017.02.15	2382106	南京工程学院	朱志莹; 孙玉坤; 胡文宏; 卢冰洋; 王锴; 李娇
授权发明专利	一种双定子磁悬浮开关磁阻启动/发电机	中国	ZL201310637999.6	2016.08.17	2183735	南京工程学院	周云红 孙玉坤
授权发明专利	一种磁悬浮开关磁阻飞轮电机及控制方法	中国	ZL201410381562.5	2017.04.19	2459359	南京工程学院	周云红 孙玉坤
授权发明专利	一种双定子型磁悬浮开关磁阻双通道全周期发电机	中国	ZL201410004711.6	2015.11.18	1843945	南京工程学院	周云红 孙玉坤
授权发明专利	一种产生轴向力的短磁路开关磁阻电机	中国	ZL201410231386.7	2016.08.24	2200234	江苏大学	孙玉坤; 胡文宏; 朱志莹; 袁野; 张新华
授权发明专利	一种新型飞轮储能装置	中国	ZL201410713995.6	2017.01.18	2348045	江苏大学	孙玉坤; 袁野; 刘良田; 朱志莹; 周云红
授权发明专利	一种磁悬浮开关磁阻电机的转子位置/位移自检测方法	中国	ZL201410154098.6	2016.08.17	2191243	江苏大学	孙玉坤; 胡文宏; 朱志莹; 袁野; 张新华
授权发明专利	一种基于极限学习机的开关磁阻电机磁链在线建模方法	中国	ZL201410063601.7	2016.11.30	2304252	江苏大学	孙玉坤; 胡文宏; 朱志莹; 张新华
授权发明专利	一种磁悬浮永磁平面电机磁钢阵列参数优化的方法	中国	ZL201410492590.4	2016.11.30	2304409	江苏大学	张新华; 骆浩; 孙玉坤; 李海东
授权发明专利	无轴承无刷直流电机神经网络 α 阶逆控制器的构造方法	中国	ZL201110003805.8	2012.11.07	1072349	江苏大学	朱焜秋; 张婷婷; 潘伟
授权发明专利	无轴承同步磁阻电机微分几何解耦控制器的构造方法	中国	ZL201310575897.6	2016.04.06	2015463	江苏大学	朱焜秋; 刁小燕; 潘伟; 曹莉
授权发明专利	无轴承同步磁阻电机转子偏心位移控制器及其构造方法	中国	ZL201310336188.2	2015.08.05	1745161	江苏大学	朱焜秋; 祝苏明; 曹莉; 刁小燕; 潘伟
授权发明专利	一种薄片转子径向混合磁轴承	中国	ZL201410129759.X	2016.05.25	2089444	江苏大学	朱焜秋; 曾润章; 张维煜
授权发明专利	一种三自由度磁轴承	中国	ZL201410156526.9	2016.06.15	2109340	江苏大学	朱焜秋; 曾润章; 张维煜; 钱一
授权发明专利	一种单自由度磁轴承	中国	ZL201410140550.3	2016.05.05		江苏大学	曾润章; 张维煜; 朱焜秋

主要完成人情况:

1.姓名: 孙玉坤

个人排名: 1

技术职称: 正高级

工作单位: 南京工程学院

完成单位: 南京工程学院

曾获科技奖励情况: 2009年国家发明二等奖1项(第二)、2009年国家教学成果二等奖1项(第一)、2007-2012年获省部级科技进步一等奖3项(排名第二)。

对本项目主要贡献: 对发明点1、2、3做出贡献。项目总负责人,是整个项目研究思路的提出者和制定者,负责项目研究方案的制定、组织与实施等。提出了磁悬浮电机多种拓扑结构、磁链在线建模技术、位置快速检测方法和新型飞轮装置等。

2.姓名: 朱焜秋

个人排名: 2

技术职称: 正高级

工作单位: 江苏大学

完成单位: 江苏大学

曾获科技奖励情况: 2012年获江苏省科学技术一等奖1项(第一)、2012年获中国石油化工技术发明二等奖1项(第一)。

对本项目主要贡献: 对发明点1、2、4做出贡献。发明了多种新型的磁悬浮轴承结构、提出了采用 α 阶逆、支持向量机逆等方法研究磁悬浮电机非线性解耦控制及转子偏心位移控制方法,负责磁悬浮电主轴和传输泵的技术需求分析、工程实现及应用推广等。

3.姓名: 朱志莹

个人排名: 3

技术职称: 副高级

工作单位: 南京工程学院

完成单位: 南京工程学院

曾获科技奖励情况: 2012年获江苏省优秀硕士学位论文,2016年获江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师。

对本项目主要贡献: 对发明点1、2、3做出贡献。提出了单绕组磁悬浮开关磁阻电机结构参数的优化方法、开关磁阻电机磁链在线建模技术、快速检测磁悬浮电机转子位置的方法、完成磁悬浮开关磁阻电机样机与全数字控制系统的研制等。

4.姓名: 张新华

个人排名: 4

技术职称: 副高级

工作单位: 江苏大学

完成单位: 江苏大学

曾获科技奖励情况: 无

对本项目主要贡献: 对发明点1、4做出贡献,提出了磁悬浮永磁平面电机磁钢阵列参数优化方法、采用线性霍尔传感器组检测定子线圈相位的方法、完成动圈式磁悬浮永磁平面电机实验样机本体、实验装置、数字控制系统的研制等。

5.姓名：周云红

个人排名：5

技术职称：副高级

工作单位：南京工程学院

完成单位：南京工程学院

曾获科技奖励情况：无

对本项目主要贡献：对发明点 1、3 做出贡献，发明了多种磁悬浮开关磁阻电机拓扑结构、提出了基于动态电感的双定子型磁悬浮开关磁阻位移软测量技术。

6.姓名：曾润章

个人排名：6

技术职称：其他

工作单位：江苏大学

完成单位：江苏大学

曾获科技奖励情况：无

对本项目主要贡献：对发明点 4 做出贡献。设计了一种薄片转子径向混合磁轴承，开发基于矩阵变换器的交流磁轴承电主轴及风力发电机运行控制装置。