

## 科技进步奖公示信息

### 一、项目名称

高性能低成本电磁直线驱动装备及其伺服控制系统

### 二、提名者及提名意见

陕西省教育厅

根据《陕西省科学技术厅关于做好 2025 年度省科学技术奖提名工作的通知》，参照科技进步奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省科学技术科技进步三等奖。

### 三、项目简介

直线进给装置是装备制造、检测定位、运动控制、动力推进等领域的关键部件，如数控机床进给系统、成形设备冲压驱动、光刻机晶圆定位平台、检测设备的扫描运动平台等。传统直线进给装置由旋转电机驱动，通过旋转直线转换机构如滚珠丝杠、曲柄连杆、皮带轮、涡轮蜗杆、齿轮齿条等实现直线运动输出。普遍存在进给速度较低、加速响应慢、跟踪精度和定位精度较低、力矩控制困难、噪声大、维护费用高等问题，难以满足不断提高的技术指标要求。如数控加工机床的各轴进给驱动，随着加工精度指标的提高，要求进给跟踪和定位精度达到微米级甚至更高。光学检测元件的扫描驱动，为达到轮廓尺寸的高精度测量，要求扫描动态响应速度快、定位精度达到微纳米级别。采用永磁直线电机

的进给驱动装置能满足高精度高动态响应性能的进给需求,但现有永磁直线电机电磁结构较为单一,通常为短初级长次级结构,次级永磁体用量大,价格成本高;初级线圈作为动子驱动执行机构,结构鲁棒性较差;线圈和永磁体散热困难,不利于提高功率密度和推力密度。此外,传统的直线导轨导向过程中摩擦力较大,不利于直线驱动的超高速度和超高加速度实现,采用磁悬浮导向能消除直线进给中的接触摩擦,大大提升直线驱动的动态响应性能。本成果主要技术内容在于设计新型电磁结构的永磁直线电动机,永磁体和线圈绕组均设置在短初级定子上,从而提高驱动结构鲁棒性,降低永磁体材料用量和成本造价。通过双边、四边等对称结构,提高直线驱动力;通过互补式电磁结构,有效削弱齿槽效应和边端效应产生的推力波动;通过有效的散热冷却方法,提高直接驱动功率密度和推力密度。并设计整流逆变驱动电路,结合矢量控制算法和智能控制算法,实现高性能的电磁直线驱动。此外,对磁悬浮直线驱动相关技术进行相关研究。技术成果适用于实现塑性成形设备的大推力冲压驱动;数控机床设备、检测定位设备等的高精度高动态响应的进给驱动;自动门控驱动、运动控制等结构紧凑、高性价比的直线推进等。本成果技术获得授权中国发明专利 7 项,围绕以上技术内容,分别提出关于电磁直线驱动高速压力机、进给装置、机床主轴驱动装置等发明创造。

#### 四、客观评价

本成果技术获得国家自然科学基金青年项目、陕西省自然科学基金基础研究计划青年项目和面上项目、中国博士后基金面上项目等国家级和省部级项目资助。成功研制出双边直线驱动高速冲压机、四面筒型直线压力机、振动塑性成形的开关磁通永磁直线驱动装置等电磁直线驱动成形设备。所有项目已顺利完成结题验收。

## 五、应用情况

本成果技术已在金属件成形加工、运动控制平台、光学测量平台、自动门控系统、深孔加工设备等直线驱动进给场合得到应用和推广。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间
1	陕西鹏运机械自动化科技有限公司	高性能低成本电磁直线驱动装备及其伺服控制系统	开发定子永磁直线电机四面直驱式冲压机设备，并在设备上完成数百个铝合金折弯件和铆接件的加工	2016 年 07 月 01 日至 2020 年 12 月 30 日
2	固高科技股份有限公司西安分公司	高性能低成本电磁直线驱动装备及其伺服控制系统	直线进给驱动平台的样机研制及系统集成开发	2019 年 04 月 01 日至 2019 年 12 月 30 日
3	江苏德普尔门控科技有限公司	高性能低成本电磁直线驱动装备及其伺服控制系统	开发基于线性霍尔传感器的永磁直线电机矢量控制算法	2021 年 01 月 01 日至 2021 年 12 月 30 日

			应用于自动门控系统	
4	苏州苏童半导体有限公司	高性能低成本电磁直线驱动装备及其伺服控制系统	利用开关磁通永磁直线电机进给驱动系统应用于线光谱共聚焦 3D 测量的扫描进给平台	2021 年 06 月 01 日至 2021 年 12 月 30 日
5	陕西深孔智越科技有限公司	高性能低成本电磁直线驱动装备及其伺服控制系统	开发深孔变径加工设备的径向刀具进给用永磁直线电机及其驱动系统	2023 年 06 月 01 日至 2024 年 12 月 30 日

## 六、主要知识产权和标准规范等目录

获得授权的中国发明专利 7 项，如下所列：

1. 梁锦涛，明正峰，张超等. 一种筒型定子永磁直线电机驱动高速压力机. 中国发明专利，专利号：ZL 201610385415.4. 授权公告号：CN 106003781B. 授权公告日：2018.01.26.
2. 梁锦涛，明正峰，汶涛等. 一种多面筒型混合励磁开关磁通直线电机. 中国发明专利，专利号：ZL 201610385417.3. 授权公告号：CN 105915016B. 授权公告日：2019.02.26.
3. 梁锦涛，明正峰，诸文智等. 一种旋转直线复合式主轴驱动装置. 中国发明专利，专利号：ZL 201610419438.2. 授权公告号：CN 105958727B. 授权公告日：2020.02.26.
4. 梁锦涛，纪小品，张言等. 一种开关磁通永磁直线电动机进给装置. 中国发明专利，专利号：ZL 201710121383.1. 授权公告号：CN 106887939B. 授权公告日：2019.02.01.
5. 梁锦涛，张言，王文博，宫维静. 一种直线驱动高速压力机. 中国发明专利，专利号：ZL 201711014485.X. 授权公告号：CN 107584792B. 授权公告日：2019.09.10.
6. 梁锦涛，宫维静，纪小品等. 一种定子永磁直线电机驱动压力机. 中国发明专利，专利号：ZL 201810308295.7. 授权公告号：CN 108527910B. 授权公告日：2020.09.08.

7. 梁锦涛, 明正峰, 陈娟, 贺迪. 一种定子永磁直线振荡电机. 中国发明专利, 专利号: ZL 201610411492.2. 授权公告号: CN 105932853B. 授权公告日: 2019.05.03.

发表有技术相关的 SCI 检索论文 3 篇, 如下所列:

- 1) Jintao Liang, Zhengfeng Ming, Peida Li. System construction of a four-side primary permanent-magnet linear motor drive mechanical press [J]. Frontiers of Mechanical Engineering, 2020, 15 (4): 600-609. (SCI, 000581014200001)
- 2) Jintao Liang, Zhengfeng Ming, Xiaopin Ji. Feeding apparatus directly driven by optimal topology flux switching permanent magnet linear motor [J]. Electric Power Components and Systems, 2019, 47 (9-10): 903-913. (SCI, 000481558300001)
- 3) Jintao Liang, Zhengfeng Ming. Servo X-Y biaxial feed system of flux switching permanent magnet linear motor [J]. Review of Scientific Instruments, 2019, 90, 074703. (SCI, 000478661400005)

## 七、主要完成人情况

梁锦涛, 讲师, 西安电子科技大学教师。项目整体负责人, 制订项目整体研究内容和技术路线。新型电磁结构的永磁直线电动机及其直接驱动装备的设计及制造, 伺服驱动系统的整体构建及软硬件联合开发。

明正峰, 教授, 西安电子科技大学教师。对项目主要贡献为构建电磁直线驱动装备的驱动系统硬件电路, 设计整流逆变驱动电路及嵌入式控制电路, 开发调试驱动硬件 PCB 电路板系统。

诸文智, 讲师, 西安电子科技大学教师。对项目主要贡献为设计电磁直线驱动装备伺服控制算法, 构建伺服控制系统的自适应优化调节方法, 编程实现嵌入式控制器的各个算法模块, 完成整体

伺服系统的调试。

汶涛，高级实验师，西安电子科技大学教师。对项目主要贡献为电磁直线驱动拓扑结构的电磁场有限元模型，优化分析直驱性能参数，校核有限元分析与实验验证结果。

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

西安电子科技大学

西安电子科技大学作为本项目第一完成单位，全面负责项目的总体规划、设计、实施与组织，为本项目提供了大力支持和充分保障，确保了项目的顺利进行。

## 九、完成人合作关系说明

完成人梁锦涛、明正峰、诸文智、汶涛均为西安电子科技大学教师。完成人均均为“电能变换及新型电磁装置”的西安电子科技大学团队的核心成员，已进行长期合作。第一完成人梁锦涛为本项目负责人，提出了高速精密机床设备电磁直线驱动设计及驱动方法，主持研发了电磁直线驱动的高速压力机、直线进给及平面X-Y进给工作台等电磁直驱式机床设备。完成人明正峰、诸文智、汶涛为本项目骨干，开展了持续的方法、技术攻关及设备研发。