

陕西省科学技术进步奖公示信息

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	伺服控制电机直驱泵阀集成设计及工作特性研究
主要完成人	赵永强，侯红玲，朱博文，魏伟锋，王长乾，李瑞超，常向龙，崔鑫
主要完成单位	陕西理工大学

二、提名意见（适用于单位提名）

提 名 者	汉中市人民政府	提名等级	☐ 一等奖 ☐ 二等奖 ☒ 三等奖
提名意见： 电机直驱技术是实现机械装备集成一体化的关键，是将动力电机与待驱动装置设计成一体，减少甚至完全去掉中间的动力传动或者减速变速装置，由此大幅减少驱动单元的体积和质量，缩减传动路线，减少传动损失和噪声、振动等。在液压传动与控制中，液压泵需要电机驱动，液压管路中的流量控制需要通过比例流量阀、电磁阀等。本项目研究重点围绕电机直驱伺服控制液压泵阀的设计开发，解决了泵阀与驱动电机的互联及其精密控制，实现了泵阀与驱动电机的集成一体化，体积减少量$\geq 40\%$，传动效率提高$\geq 20\%$，将原有的阀控系统直接泵控系统，控制系统组成极大精简，控制精度接近于阀控系统水平。 本研究受到陕西省自然科学基金项目支持，取得了国家发明专利 5 项，在国内外期刊发表论文 10 篇，具体成果在国内包括陕西汉江机床有限公司，西安凯德液压有限公司等多个生产厂家试制和试运行，具有良好的经济效益和应用前景。 推荐该成果参评 2026 年陕西省科学技术进步奖，推荐等级为三等。 说明：省科学技术进步奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖”的评审落选项目不再降格参评三等奖。项目组与提名单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目正式提交后，提名等级建议不得变更。 软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。			

三、项目简介

(限 2 页)

伺服控制的电机直驱泵阀研发及工作特性研究，是基于当前工业控制领域对高精度、高效率、高稳定性液压伺服系统的迫切需求。随着电子控制技术和液压控制技术与理论的快速发展，传统的泵阀伺服控制系统逐渐暴露出节流损失大、系统温升高、系统组成繁杂和体积庞大等问题，限制了流体传动与控制技术的进一步应用和发展。伺服直驱泵控阀液压系统以其驱动平稳、反应速度快、操作方便、容易实现机器的自动化和精确控制等优点，成为当前复杂机电系统控制与精密传动等领域研究的热点和焦点。因此，本成果研发新型伺服控制的电机直驱泵阀，具有集成度高，系统动态响应迅速、效率高和稳定性好等优点，为液压伺服系统的发展提供新的思路和技术支持。主要的研究工作包括以下方面：

1) 提出并设计了一种电机直驱的内嵌式三螺杆电机泵结构，实现三螺杆泵和伺服驱动电机的直连直驱与集成，通过电机的伺服控制实现三螺杆泵流量和压力的伺服输出。

2) 提出了伺服电机控制的液压阀式发动机的配油器，通过旋转电机与转阀组合和直线伺服电机与滑阀组合，实现内燃式发动机燃油周期性可调可控，为内燃发动机提供了高频高速配油器设计方法。

3) 设计了一种新型高压共轨喷油器配油转阀，实现了高压共轨发动机的伺服配油方法，并对阀口流场特性进行数值模拟，得到流体在阀口处的流动特性。

伺服电机直驱的内嵌式三螺杆电机泵的研究针对潜艇、舰船、航母和机床等特大设备中液压泵的小体积、低噪音、高精度控制等特殊需求，提出一种内嵌式三螺杆泵，将该泵嵌入开关磁通永磁同步电机内部，形成新的三螺杆电机泵，并进行三螺杆泵的流场特性数值模拟研究，获得三螺杆伺服电机泵的工作压力特性和输出流量特性的精确控制方法，实现三螺杆伺服电机泵的一体化设计、制造和伺服控制，满足潜艇、舰艇和航母的不同工况的使用要求。

伺服电机直驱的液压阀设计是在伺服电机直驱三螺杆泵设计过程中的一个附加创新成果。电机直驱发动机配油阀为现有的发动机伺服配油阀的设计及伺服配油提供了设计方案，可以实现发动机工作过程中的输出功率与各缸燃烧喷油量的实时精确控制。提高了发动机的配油精度、燃烧质量，改变了降低了燃油喷射系统的控制系统的精度及难度及喷射效率、降低发动机的油耗量和提高燃烧质量，从而减少能源消耗，实现节能生产，降低企业运行成本，提高效益。课题组一直努力与相关企业开展技术交流与合作，加快推进成果的转移转化，以期对内燃式发动机的精密控制技术及其液压伺服泵阀的应用领域提供更好的技术服务和技术支撑。

四、客观评价

（限 2 页。围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

电机直驱伺服控制内嵌式三螺杆泵设计，得到了陕西省自然科学基金项目支持，通过项目研究，获得了 5 项发明专利，10 多篇论文，其中中文核心期刊论文 6 篇，被 SCI 和 EI 收录各 1 篇，论文的下载超过 1000 余次，被引用次数超过 100 余次。

在电机直驱伺服控制阀设计方面，依据发动机高压共轨技术，为了实现内燃式多缸发动机的连续、有序工作，进行配油器、喷油器和油泵等的不同形式组合是现代自动化设计的一种趋势。在发动机传统旋转式配油器的基础上，继续延续多缸发动机的顺序供油和自动喷油的稳定性和可靠性控制，基于伺服电机直驱技术和泵阀伺服控制技术，将现有电喷式多缸发动机中的电子控制喷油器进行创新设计，利用电机直驱伺服转阀连续顺次供油特点和伺服电机的精确控制，实现伺服转阀对发动机配油时刻和喷油量的伺服精确控制，大幅提升了内燃机的高压共轨式燃油喷射系统的控制精度，简化了喷油器的控制要求，具有良好的市场推广前景，在一定程度上促进机械制造业绿色化、自动化、节能化发展。

本研究成果为发动机配油阀的设计及配油方法研究提供了依据。该技术的使用，实现了喷油量大小和各缸喷油量的实时控制。提高了发动机的燃烧质量、燃油喷射系统的控制精度及难度及喷射效率、降低发动机的油耗量和提高燃烧质量，从而减少能源消耗，实现节能生产，降低企业运行成本，提高效益。

课题组一直努力与相关企业开展技术交流与合作，加快推进成果的转移转化，以期为内燃式发动机的精密控制技术及其液压伺服泵阀的应用领域提供更好的技术服务和技术支撑。

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

本成果以三螺杆伺服控制电机泵为研究对象，满足潜艇、舰艇等用液压泵的小体积、低噪音、大流量和高工作压力等要求的三螺杆伺服电机泵为研究目标。研发一种新型的伺服液压电机泵的新产品，用于小体积、低噪音、大流量和高工作压力等要求的特殊场合，尤其是潜艇、舰艇等特殊行业，在一般的民用行业中也有很大的市场。

本成果主要针对内嵌式三螺杆泵的动态性能的分析研究，目的是验证并提高内嵌式三螺杆泵的内部流场规律和输出特性，进一步优化内嵌式三螺杆泵的设计参数等。通过项目的实施，在内嵌式三螺杆泵的内部流场、螺杆力学和温度场等多场耦合情况下的仿真分析，进一步优化了内嵌式三螺杆泵的螺杆与螺杆曲面间隙、螺杆与泵壳间隙等关系泵的输出特性的重要参数优化，为后续设计提供了理论依据。

课题组一直努力与相关企业开展技术交流与合作，加快推进成果的转移转化，以期为内燃式发动机的精密控制技术及其液压伺服泵阀的应用提供更好的技术服务和技术支撑。

依据发动机高压共轨技术，为了实现内燃式多缸发动机的连续、有序工作，进行配油器、喷油器和油泵等的不同形式组合是现代自动化设计的一种趋势。在发动机传统旋转式配油器的基础上，继续延续多缸发动机的顺序供油和自动喷油的稳定性和可靠性控制，基于伺服电机直驱技术和泵阀伺服控制技术，将现有电喷式多缸发动机中的电子控制喷油器进行创新设计，利用电机直驱伺服转阀连续顺次供油特点和伺服电机的精确控制，实现伺服转阀对发动机配油时刻和喷油量的伺服精确控制，大幅提升了内燃机的高压共轨式燃油喷射系统的控制精度，简化了喷油器的控制要求，具有良好的市场推广前景，在一定程度上促进机械制造业绿色化、自动化、节能化发展。

本研究成果公开发表学术论文 10 余篇，中文核心 6 篇，英文 2 篇，SCI 和 EI 各收录 1 篇；获授权发明专利 5 项；培养硕士研究生 4 名。研究成果得到了国内众多学者和企业的关注，论文下载 1000 余次，引用 100 余次，已经与国内多个企业开展技术转让和技术服务协议，加快推进成果的转移转化。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	专利	一种高压共轨发动机的配油转阀及其伺服配油方法 ZL202011430376.8	中国	CN114607544B	2024/02/02	6675929	陕西理工大学	赵永强 常向龙 侯红玲 王长乾
2	专利	发动机滑阀式配油器及直动伺服配油方法 ZL201910985897.0	中国	CN 110671248B	2022/04/19	5090384	陕西理工大学	赵永强 常向龙 侯红玲 李志峰
3	专利	发动机滑阀式配油器及旋转电机伺服配油方法 ZL201910985896.6	中国	CN 110645126B	2021/05/25	4441588	陕西理工大学	赵永强 常向龙 侯红玲 李志峰
4	专利	发动机转阀式配油器及电机伺服配油方法 ZL201910985858.0	中国	CN 110608121B	2021/04/16	4364859	陕西理工大学	赵永强 常向龙 侯红玲 崔鑫
5	专利	单电机驱动的 3D 打印平台及实现方法 ZL201910082799.6	中国	CN 109605752B	2023/10/03	6380674	陕西理工大学	赵永强 李瑞超 侯红玲
6								
7								
8								
9								
10								

七、主要完成人情况表

姓 名	赵永强	排 名	1
行政职务	工训中心主任		
技术职称	教授		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 是本项目的负责人，主持完成了省级项目，以第一发明人的身份获授权发明专利 4 项，以第一和通信作者发表论文 4 篇。			

姓 名	侯红玲	排 名	2
行政职务	陕西省工业自动化重点实验室常务副主任		
技术职称	教授		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 是本项目的主要完成人，以第一人身份完成了省级项目，以主要发明人身份获授权发明专利 4 项，参与发表论文 4 篇。			

姓 名	朱博文	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 是本项目的参与完成人，以第一人身份完成了省级项目，以第一人身份发表论文 2 篇。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	陕西理工大学
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 本项目成员是陕西理工大学的教师和硕士研究生；项目组依托学校及其学校的省级重点实验室科研平台，申请并完成了陕西省自然科学研究项目“内嵌式三螺杆伺服电机泵及其工作特性研究”的研究工作；依据学校的国家专利申请平台申请获授权发明专利；学校培养了4名硕士研究生培养围绕本项目课题平台开展工作。	

单位名称	
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：	

完成人合作关系说明

本项目是负责人赵永强在 2019 年至 2024 年进行电机直驱伺服控制液压泵阀研发及工作特性研究。主持完成陕西省科技厅基础科研项目 1 项。获得了国家发明专利 5 项，公开发表学术论文 10 余篇，中文核心 6 篇，英文 2 篇被 SCI 和 EI 收录，培养硕士研究生 4 名。研究成果得到了国内众多学者和企业的关注，论文下载 500 余次，被引用 55 次，已经与国内多个企业开展技术转让和技术服务协议，加快推进成果的转移转化。本项目的完成人合作关系如下：

(1) 该项目的 8 位完成人，依次为赵永强、侯红玲、朱博文、魏伟锋、王长乾、李瑞超、常向龙和崔鑫，其中赵永强、侯红玲、朱博文、魏伟锋、王长乾系陕西理工大学教师；李瑞超、常向龙和崔鑫系陕西理工大学研究生；朱博文在 2018-2021 年是陕西理工大学硕士研究生，2021 年至今为陕西理工大学教师。

- (2) 赵永强、常向龙、侯红玲. 获授权发明专利 2 项（必备附件 2-1、2-2）；
- (3) 赵永强、常向龙、侯红玲、王长乾. 获授权发明专利 1 项（必备附件 2-3）；
- (4) 赵永强、常向龙、侯红玲、崔鑫. 获授权发明专利 1 项（必备附件 2-4）；
- (5) 赵永强、李瑞超、侯红玲. 获授权发明专利 1 项（必备附件 2-5）
- (6) 赵永强、朱博文、侯红玲. 合著论文 2 篇（其他附件 1-1、1-2）；
- (7) 赵永强、朱博文. 合著论文 2 篇（其他附件 1-3、1-4、）；
- (8) 赵永强、常向龙. 合著论文 1 篇（其他附件 1-5）；

赵永强、侯红玲、王长乾、李瑞超和崔鑫合作完成了陕西省科技厅自然学科基础研究计划项目“内嵌式三螺杆伺服电机泵及其工作特性（编号 2019JM-466）”。

第一完成人签名：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同立项	赵永强 1/8 侯红玲 2/8 魏伟锋 3/8 王长乾 6/8 李瑞超 7/8 崔鑫 8/8	2019/01-	2021/12	内嵌式三螺杆伺服电机泵及其工作特性研究（陕西省自然科学基金研究计划项目 2019JM-466）	其他附件 1
2	合著论文	赵永强 1/4 朱博文 2/4	2020.09	2021.09	三螺杆泵的温度场及热力耦合分析	
3	合著论文	赵永强 1/4 朱博文 2/4	2019.09	2020.12	三螺杆泵的流固耦合特性分析	
4	合著论文	赵永强 1/4 朱博文 2/4 侯红玲 3/4	2020.01	2021.12	Performance analysis of embedded tri-screw pump based on computational fluid dynamics	
5	合著论文	常向龙 1/4 赵永强 2/4	2021.09	2022.12	电喷发动机配油转阀的设计及其流场分析	
6	合作专利	赵永强 1/4 常向龙 2/4 侯红玲 3/4 王长乾 4/4	2020/12/09	2024/02/02	一种高压共轨发动机的配油转阀及其伺服配油方法	专利 1
7	合作专利	赵永强 1/4 常向龙 2/4 侯红玲 3/4	019-10-1	2022/04/19	发动机滑阀式配油器及直动伺服配油方法 [P]. ZL201910985897.0	专利 2
8	合作专利	赵永强 李瑞超 侯红玲.	2019/01/29	2023/10/03	单 电机驱动的3D打印平台及实现方法 ZL201910082799.6	专利 3
9	合作专利	赵永强 1/4 常向龙 2/4 侯红玲 3/4	2019-10-17	2021/05/25	发动机滑阀式配油器及旋转电机伺服配油方法	专利 4
10	合作专利	赵永强 1/4 常向龙 2/4 侯红玲 3/4 崔鑫 4/4	2019-10-17	2021/04/16	发动机转阀式配油器及电机伺服配油方法 [P]. ZL201910985858.0	专利 5

- [1] 赵永强, 朱博文, 刘智, 王智博. 三螺杆泵的温度场及热力耦合分析[J]. 机床与液压, 2021, 49(03): 133-139.
- [2] 赵永强, 朱博文, 刘智, 赵升吨. 三螺杆泵的流固耦合特性分析[J]. 液压与气动, 2020(06): 70-77
- [3] Yongqiang Zhao, Bowen Zhu, Hongling Hou*, Shengdun Zhao. Performance analysis of embedded tri-screw pump based on computational fluid dynamics [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2021, 35: 601-614.
- [4] 常向龙, 赵永强*, 陈鑫, 田智永. 电喷发动机配油转阀的设计及其流场分析[J]. 机床与液压, 2022, 50(07): 123-129.
- [5] Bowen Zhu, Yongqiang Zhao*, Hongling Hou, Zhehui Li. Characteristics of embedded tri-screw pump based on thermal-fluid-structure coupling [J]. Journal of Vibro Engineering , 2022, 24(01): 158-176.
- [6] 朱博文, 赵永强*, 常向龙, 刘智. 三螺杆泵流场动力学特性数值模拟 [J]. 机床与液压. 2020. 48(16): 113-120
- [1] 赵永强, 常向龙, 侯红玲, 王长乾. 一种高压共轨发动机的配油转阀及其伺服配油方法 [P]. ZL202011430376.8 申请日2020/12/09 授权(公告)日: 2024/02/02 授权(公告)号: CN114607544B 证书号第6675929
- [2] 赵永强, 常向龙, 侯红玲, 李志峰. 发动机滑阀式配有器及直动伺服配油方法[P]. ZL201910985897.0 申请日2019-10-17 授权(公告)日: 2022/04/19 授权(公告)号: CN 110671248B 证书号第5090384号
- [3] 赵永强, 李瑞超, 侯红玲. 单电机驱动的3D打印平台及实现方法[P] ZL201910082799.6 申请日2019/01/29 授权(公告)日: 2023/10/03 授权(公告)号: CN 109605752B 证书号第6380674号
- [4] 赵永强, 常向龙, 侯红玲, 李志峰. 发动机滑阀式配有器及旋转电机伺服配油方法[P]. ZL201910985896.6 申请日2019-10-17 授权(公告)日: 2021/05/25 授权(公告)号: CN 110645126B 证书号第4441588号
- [5] 赵永强, 常向龙, 侯红玲, 崔鑫. 发动机转阀式配有器及电机伺服配油方法[P]. ZL201910985858.0 申请日2019-10-17 授权(公告)日: 2021/04/16 授权(公告)号: CN 110608121B 证书号第4364859号