

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	融合土力学特性的液压挖掘机执行系统关键技术及应用
主要完成人	任志贵、庞晓平、吕梁、俞松松、王树春、梁永永、梁杨、刘菊蓉、孙浩然、李天瑜
主要完成单位	陕西理工大学、重庆大学、三一重机有限公司、广西柳工机械股份有限公司

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： 挖掘机械是世界范围内产销量最大、应用最多的一类工程机械，反映国家工程机械甚至装备制造业的整体水平。该成果针对挖掘机械在常态挖掘环境下，传统挖掘机理假设与真实工况不符的难题，基于铲斗与土壤作用关系，采用以挖掘臂为切入点的逆向策略，突破了传统公式的限制，提出了挖掘阻力测试计算模型，实现了常态挖掘阻力可测化，揭示了常态挖掘阻力特性，并建立了符合真实阻力特性的理论挖掘力模型。提出了基于工作域的挖掘性能表征方法，有效避免因一个挖掘点对应多种挖掘姿态导致的最大可能挖掘力不准确问题。提出了考虑液压缸主动作用力发挥比例的主挖区界定方法，建立了聚焦主挖区的挖掘机构匹配度评价体系，并开发了性能评价、机构优化、结构优化系列软件，构建了挖掘机构的“性能-结构”一体优化设计方法。该成果及相关系列软件已在三一重机、广西柳工等单位取得推广应用，相关系列软件已成为挖掘机械工程设计常态化软件。三一重机基于该成果开发的多款挖掘机型都已成为爆款产品，累计产生 10 多亿元经济效益，助力广西柳工增加产值近 1.2 亿元。该成果有效推动了挖掘机械设计从经验向标准转变，对于提升我国工程机械核心竞争力、推动产业向标准化、智能化和绿色化发展具有重要促进作用。 经审查，项目推荐材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖推荐条件。提名该项目为陕西省科学技术进步奖 二 等奖。 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

本成果属于机械设计原理与方法、机械原理与机构学、土方机械等研究领域。

挖掘机完成了世界范围土方工程量的 60%~70%，是产销量最大、应用最多的工程机械，其设计水平反映国家工程机械甚至装备制造业的整体水平。挖掘机理是挖掘机构设计的根本依据，但传统铲斗-土壤作用模型的三个基本假设（理想环境）不符合常态挖掘作业过程，**导致挖掘机构设计缺乏可靠的性能评价与优化设计方法和设计工具，长期依赖经验类比，严重制约挖掘机设计理论进一步完善和发展**。因此，加大对常态挖掘机理的研究对挖掘机械可量化、可视化评价及优化设计具有重要意义。该成果抛开铲斗与土壤相互作用关系，以挖掘臂为切入点，采用逆向策略突破传统公式限制（如图 1 所示），提出挖掘阻力测试计算模型，实现了常态挖掘阻力可测化；提出基于工作域的挖掘性能表征方法和主挖区界定方法，建立聚焦主挖区的挖掘机构匹配度评价体系；开发了性能评价、机构优化、结构优化系列软件，构建了挖掘机构性能-结构一体优化设计方法。

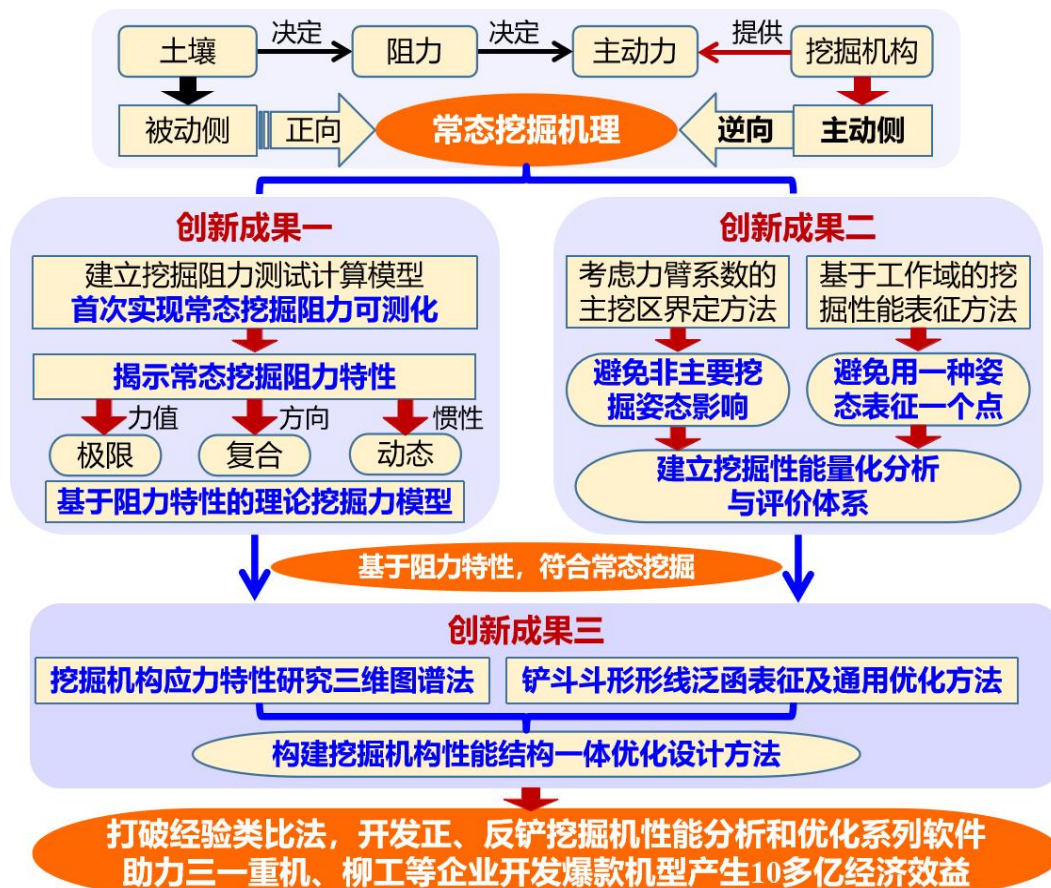


图 1 技术内容和创新成果

（1）创新成果一

建立挖掘阻力测试计算模型，首次实现常态挖掘阻力的可测化。根据挖掘阻力系的合成和投影方法，首次提出除切向力、法向力之外，还应该考虑阻力矩，解决了数学模型冗余问题，建立挖掘阻力求解测试计算模型，并利用仿真应力与测试应力对比结果验证了该模型的正确性。

揭示阻力特性，基于此建立符合常态挖掘的理论挖掘力模型。研究挖掘阻力及挖掘机构瞬时状态各种线图规律，提出阻力系数和阻力距系数，基于此研究力值特性，建立极限挖掘力模型；提出差值角和阻力角概念，研究其分布特征，基于此建立复合挖掘力模型；研究加速度对阻力影响规律，建立考虑惯性力的动态挖掘力模型。这些理论挖掘力模型基于阻力特性，符合常态挖掘。

(2) 创新成果二

提出基于工作域的挖掘性能表征方法，从根本上避免一个挖掘点对应多种挖掘姿态的问题。基于常态理论挖掘力模型，进行力图对比和充分发挥比例及限制因素统计分析，揭示挖掘力及其限制因素的区域分布规律，为挖掘性能评价提供一种量化方法。

提出一种考虑液压缸主动作用力发挥效率的主挖区界定方法，避免非主要挖掘姿态影响。提出力臂系数概念，考虑几何空间边界，建立一种基于液压缸主动作用力发挥效率的主挖区界定方法。以主挖区为对象，考虑常态作业要求、分析机构性能及充分发挥，为挖掘性能分析和挖掘机构优化提供了依据。

(3) 创新成果三

构建挖掘机构性能结构一体优化设计方法。提出挖掘机构应力特性研究三维图谱法，建立铲斗斗形线表征及优化模型，构建性能（MATLAB）-机构（ADAMS）-结构（ANSYS）-液压（AMESIM）-土力学（EDEM）仿真分析及优化方法，开发性能评价、机构设计、结构优化系列软件，填补了挖掘机构结构设计-性能评价一体化工具的空白。

该成果突破了传统经验公式限制，实现常态挖掘阻力可测化，为我国挖掘机构性能评价、机构优化和结构优化提供核心技术保障，有效推动了挖掘机械领域科技进步与经济效益提升。2022 年结题的“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”项目由广西柳工机械股份有限公司、重庆大学与陕西理工大学联合攻关，验收结果表明：**“相关机型均满足了最大复合挖掘力、复合挖掘力充分发挥比例综合提升 5% 以上；挖掘力和单位时间土方挖掘量综合提升 5% 以上的预设目标”。**

基于该研究成果发表高水平论文 30 余篇，其中 SCI/EI 收录 20 余篇；授权发明专利 10 项，实用新型专利 20 余项，软件著作权 8 项，其中“一种河道清淤抓斗装置”专利转让至四川久渝路桥机械设备有限公司。此外，该成果获得陕西省高等学校科学技术研究优秀成果二等奖 1 项。

成果及系列软件已成为挖掘机工程技术人员常用工具，广泛应用于三一重机、柳工等企业液压挖掘机设计过程中。**三一重机基于该成果及系列软件开发的 485、375、900 等系列机型已成为爆款产品，且多次荣获中国工程机械年度产品 TOP 50（2024）市场表现奖、金手指奖等奖项，获得市场用户广泛认可，产生 10 多亿经济效益。助力广西柳工机械股份有限公司增加产值收入近 1.3 亿元。**

四、客观评价

1. 科技成果鉴定

2026年4月11日，陕西省机械工程学会在汉中市召开了由陕西理工大学、重庆大学、三一重机有限公司及广西柳工机械股份有限公司共同完成的“融合土力学特性的液压挖掘机执行系统关键技术及应用”科技成果鉴定会。由华中科技大学陈学东院士担任主任、西北工业大学张开富教授、西安交通大学洪军教授担任副主任、合肥工业大学刘志峰、西安电子科技大学訾斌教授、长安大学叶敏教授、西安理工大学李淑娟教授担任委员的鉴定委员会专家组听取了完成单位的汇报，审阅了相关技术资料，经质询和讨论，一致认为：项目成果在三一重机、中联重科、柳工等企业得到广泛应用，取得了显著的经济与社会效益，该成果技术难度大，创新性强，具有完全自主知识产权，整体技术达到国内领先水平，同意该项目通过科技成果鉴定。

2. 项目结题评价

2项国家自然科学基金项目、2项陕西省科技厅项目、1项陕西省教育厅项目和多项企业横向课题顺利完成结题验收。其中，2022年结题的广西柳工机械股份有限公司“20吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”项目，验收结果表明：“相关机型均满足了最大复合挖掘力、复合挖掘力充分发挥比例综合提升5%以上；挖掘力和单位时间土方挖掘量综合提升5%以上的预设目标”。其他项目也均达到预期目标，并被推广应用至实际产品的生产研发过程中，获得了验收专家的高度认可和评价。

3. 科技成果查新

报告编号：J20265001254942215

查新结论为：本项目所述“液压挖掘机常态挖掘机理逆向研究及工程应用”，包括：1) 根据挖掘阻力系的合成和投影方法，提出除切向力、法向力之外，还应该考虑阻力矩，解决了数学模型冗余问题，建立常态挖掘阻力测试计算模型，根据挖掘阻力力值、方向和惯性力规律特性结合挖掘阻力测试计算模型，建立了符合阻力特性的常态理论挖掘力模型；2) 提出基于工作域的挖掘性能表征方法，根除单点多姿态表征难题，根据工作装置的力臂配比界定了挖掘主挖区，将主挖区作为主要工作域，依托常态理论挖掘力模型，通过力图比对与限制因素统计揭示挖掘力及其约束的区域分布规律，构建工作域挖掘性能量化评价体系；3) 构建挖掘机构性能结构一体优化设计方法：提出挖掘机构应力特性研究三维图谱法，建立铲斗斗形线表征及优化模型，构建性能(MATLAB)-机构(ADAMS)-结构(ANSYS)-液压(AMESIM)-土力学(EDDEM)仿真分析及优化方法，开发性能评价、机构设计、结构优化系列软件；在所检文献以及时限范围内，除本项目文献之外，国内外未见相同文献报道。本项目具有新颖性。

4. 企业/行业评价

团队与三一重机股份有限公司共同完成的“三一正反铲挖掘机分析软件”项目，项目成果及系列软件助力三一重机开发出的多个机型都成为爆款产品，其中 SY375 大型挖掘机荣获 2024 年三一集团最佳产品奖，十余年来助力三一重机产生 10 多亿的经济效益。企业表示：“三一正反铲挖掘机分析系统和软件”界面简洁，操作简便，经简单培训公司设计人员即可应用该软件进行产品设计及结构优化。该系列软件能够完成挖掘性能分析、挖掘装置机构优化和挖掘部件结构优化，满足公司挖掘机构设计开发需求。相关型号产品性能获得市场用户广泛认可，社会经济效益显著。为本公司的产品国外市场推广起到了极有力的促进作用。”基于该成果系列软件三一重机开发了 485、375、900 等系列爆款产品。其中 SY485H 型履带式挖掘机荣获 2016 年中国工程机械年度产品 TOP50 金手指奖，SY900H-S 大型液压履带挖掘机荣获 2024 年中国工程机械年度产品 TOP50 市场表现金奖。

团队与广西柳工机械股份有限公司共同完成“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”项目，显著提升了产品性能和设计水平。企业表示：“液压挖掘机工作装置优化设计新方法面向整个作业过程，将工作装置作为一个系统进行整体优化，在满足整机作业参数情况下以获得最佳的挖掘性能为目标，在追求较大挖掘力的同时实现挖掘力的充分发挥及挖掘臂的合理匹配。该技术已在本公司 20 吨机型、30 吨机型及其他相关机型实际设计中得到成功应用，相关型号产品性能获得市场用户广泛认可，取得了显著的经济效益和社会效益。”

5. 论文引用评价

本项目代表性学术论文被拉彭兰塔工业大学、韩国群山国立大学、厦门大学、中国矿业大学、西安电子科技大学、福州大学、江苏大学、湖北工业大学等知名研究机构的学者共引用 116 次，其中单篇最高引用 29 次。

福建省杰出科技人才、福建省科技创新领军人才、获国务院特殊津贴的福州大学林述温教授等人引用本课题组论文：“Zou 等通过凸多边形建立了液压缸驱动力与挖掘力之间的关系，他们还通过开发铲斗与土壤之间相互作用的阻力模型来优化挖掘轨迹”，江苏大学徐弓岳博士等人：“Zou 等采用适当的遗传算法来分别优化液压挖掘机的挖掘性能、动臂和斗杆结构以及挖掘轨迹”【Multibody System Dynamics 2019】；湖北工业大学叶方平博士等人引用论文：“Ren 等人研究了挖掘机挖掘作业过程中的力学模型，并结合挖掘机挖掘特性进行了理论模拟和试验研究”【Scientific Reports 2022】；西安电子科技大学张贺博士等人引用论文：“Sun 等采用投影在铲斗对称平面上的内表面线作为铲斗形状线，基于遗传算法获得了最佳铲斗外形线减轻了铲斗重量”【Journal of Mechanical Science and Technology 2021】；福建省级高层次人才、厦门市高层次留学人员、厦门大学萨本栋微纳科学与技术研究院的王少杰副教授等人引用论文：“Ren 等使用运动参数和液压缸压力作为输入建立了基于挖掘机运动学和动力学的挖掘阻力测试计算模型”【Mathematical Problems in Engineering 2019】。

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

校企合作企业：广西柳工机械股份有限公司、三一重机有限公司等。

（1）本团队与三一重机密切合作，“三一正反铲挖掘机分析软件”项目由重庆大学与三一重机有限公司联合攻关。自 2010 年项目成果在三一重机有限公司公司应用以来，该成果及其系列软件已成为三一重机工程技术人员的常用工具，三一重机对该技术的应用效果表示高度认可，并对其未来的市场前景充满信心。基于该成果系列软件三一重机开发出了 485、375、900 等多款爆款产品。助力三一重机有限公司开发了 485、375、900 等系列爆款产品，产生 10 多亿的经济效益。

（2）广西柳工机械股份有限公司企业委托项目“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”由重庆大学、陕西理工大学与广西柳工机械股份有限公司联合攻关，自项目成果在广西柳工机械股份有限公司应用以来，已成功应用于多种型号的反铲液压挖掘机性能评价和优化设计，显著提升了产品性能和设计水平。数据表明，应用该成果后，相关机型均满足了最大复合挖掘力、复合挖掘力充分发挥比例综合提升 5%以上；挖掘力和单位时间土方挖掘量综合提升 5%以上的预设目标，用户反响良好。广西柳工机械股份有限公司表明“挖掘机工作装置铰点优化设计技术已在本公司 20 吨机型、30 吨机型及相关机型实际设计中得到成功应用，相关型号产品性能获得市场用户广泛认可，取得了显著的经济效益和社会效益。”

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	单位联系人/电话
1	三一重机有限公司	正反铲挖掘机分析软件使用及多种型号机型的开发	该成果及其系列软件已成为三一重机工程技术人员的常用工具，并广泛应用于多种机型的设计开发中，其中 485、375、900 等多款机型成为市场爆款产品。	2010.01-至今	王树春 15151632158
2	广西柳工机械股份有限公司	20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证	多种型号反铲液压挖掘机性能评价和优化设计，显著提升了性能和设计水平。年增加产值收入近 1.2 亿元。	2021.09-至今	俞松松 13408786768

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	论文	Research on the matching characteristics of the theoretical digging force of a backhoe hydraulic excavator	中国	WOS:000861951000048	2022 年 09 月 28 日	Scientific Reports	陕西理工大学	任志贵,李佳豪,庞晓平,刘菊蓉,李天瑜,俞松松
2	论文	Comprehensive theoretical digging performance analysis for hydraulic excavator using convex polytope method	中国	WOS:000483685800003	2019 年 05 月 29 日	Multibody System Dynamics	重庆大学	邹智红,庞晓平,陈进
3	发明专利	反铲液压挖掘机挖掘性能综合表征方法	中国	ZL2016111081188.2	2019 年 08 月 14 日	3368086	重庆大学	邹智红,陈进,庞晓平
4	论文	Dynamic digging force modeling and comparative analysis of backhoe hydraulic excavators	中国	WOS:001132584600001	2023 年 12 月 28 日	Measurement Science And Technology	陕西理工大学	李天瑜,任志贵,庞晓平,陈定君,曹书生
5	论文	Integrated expression and general optimisation method of bucket shape line of backhoe hydraulic excavator	中国	WOS:000652944700021	2021 年 05 月 22 日	Journal of Mechanical Science and Technology	陕西理工大学	孙浩然,任志贵,王军利,魏伟锋,梁永永,冯明豪
6	论文	Active side calculation method for a backhoe hydraulic excavator with incomplete digging resistance in a normal state	中国	WOS:000483014500001	2019 年 08 月 14 日	Mathematical Problems in Engineering	陕西理工大学	任志贵,王军利,陈进,张军峰,刘菊蓉,梁杨,孙浩然

7	论文	主控力臂配比对 主控区界定及挖 掘性能评价的影 响研究	中国	202343 149455 41	2023 年 06 月 12 日	中国机 械工程	陕西 理工 大学	李佳 豪,任 志贵, 庞晓 平,王 军利, 曹书 生, 俞 松松
8	论文	液压挖掘机的动 应力测试与瞬态 分析	中国	201415 175674 33	2014 年 01 月 15 日	华南理 工大学 学报（自 然科学 版）	陕西 理工 大学	任志 贵,陈 进,王 树春, 庞晓 平,黄 定红, 马金成
9	发明专利	一种适用于建筑 工地的挖掘机铲 斗斗形结构的优 化方法	中国	ZL202 010246 358.8	2022 年 03 月 22 日	5014039	陕西 理工 大学	任志 贵,孙 浩然, 王军 利,刘 菊蓉, 冯明 豪, 魏 万行
10	论文	基于阻力特性的 液压挖掘机复合 挖掘力建模	中国	547941 5	2015 年 7 月 15 日	东北大 学学报 （自然 科学版）	重庆 大学	陈进, 任志 贵,吕 梁,雍 彬

七、主要完成人情况表

姓 名	任志贵	排 名	1
行政职务	机械工程学院院长		
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：			
采用间接逆向策略为挖掘机理研究开辟一条新方法，通过对常态挖掘特性的研究揭示了常态挖掘相关机理建立了能够表征实际挖掘能力的挖掘性能分析方法，提出了铲斗形线的集成表达及斗形优化一般方法，揭示了斗形对铲斗质量和结构应力的影响规律，使铲斗斗形突破铲斗结构的现有限制，为铲斗优化提供了一般方法和理论基础。主持完成国家自然科学基金项目 1 项、省级科研项目 2 项，企业委托课题 1 项，8 项代表性成果的主要完成人。			

姓 名	庞晓平	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	重庆大学		
完成单位	重庆大学		
对本项目技术创造性贡献：			
参与提出基于挖掘阻力与操作不确定性的挖掘性能分析的新方法和新理论，提出了一种基于凸多面体的挖掘机综合理论挖掘性能分析方法以及工作装置挖掘性能综合评价指标体系。主持完成企业横向联合项目“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”，主持完成成果国家自然科学基金面上项目 1 项，6 项代表性成果的主要完成人。			

姓 名	吕梁	排 名	3
行政职务	工作装置所所长		
技术职称	高级工程师		
工作单位	三一重机有限公司大挖公司		
完成单位	三一重机有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主导并完成“三一正反铲挖掘机分析软件”项目的联合开发和扩展应用，成功将技术成果应用于三一重机 37t-300t 级大型挖掘机工作装置执行机构设计开发、优化及性能测试验证，SY375、SY485、SY650、SY900 等多款产品在市场上形成爆款产品，1 项代表性成果主要完成人。			

姓 名	俞松松	排 名	4
行政职务	全球研发中心副主任		
技术职称	高级工程师		
工作单位	广西柳工机械股份有限公司		
完成单位	广西柳工机械股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 创新成果 3 的主要参与者。具体组织实施液压挖掘机挖掘阻力测试实验，参与构建了不同主挖力臂对比对挖掘性能的影响规律和以主挖力臂系数配比方式定义主挖区的方法，以及理论挖掘力匹配特性研究；负责技术推广应用并实施液压挖掘机机型优化；参与完成了企业委托联合课题“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”，2 篇代表性论文的参与者。			

姓 名	王树春	排 名	5
行政职务	研发项目经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	三一重机有限公司大挖公司		
完成单位	三一重机有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 成功将技术成果应用于三一 485、375、900 等多款机型的设计当中，这些产品最终成为经过市场检验的爆款产品。参与三一重机某 37T 级挖掘机优化及性能测试实验，参与多种新机型开发设计。参与完成“三一正反铲挖掘机分析软件”项目。1 篇代表性论文的参与者。			

姓 名	梁永永	排 名	6
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： 参与建立挖掘机铲斗参数化模型和优化数学模型，分析了复合挖掘轨迹上不同理论挖掘力的变化规律，同时参与建立铲斗形线的集成表达模型和一种斗形优化一般方法，研究了铲斗形线对铲斗质量和结构应力的影响规律，构建了铲斗优化数学模型。1 篇代表性论文的参与者。			

姓 名	梁杨	排 名	7
行政职务	实验中心主任		
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： 参与建立了实际挖掘过程挖掘阻力测试计算模型，计算常态挖掘阻力和各铰接点载荷并通过瞬态分析方法得到动臂和斗杆的仿真应力，将测量点对应位置的仿真应力与实测应力进行对比分析，验证了挖掘阻力模型的正确性，并参与研究实际挖掘过程中挖掘阻力特性。1 篇代表性论文的参与者，参与完成省级科研项目 2 项。			

姓 名	刘菊蓉	排 名	8
行政职务	无		
技术职称	副教授		
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： 参与提出基于工作域的挖掘性能表征方法，基于常态理论挖掘力模型进行力图对比与发挥比例及限制因素统计分析，揭示挖掘力及其限制因素区域分布规律，参与提出主挖区界定方法，参与省级科研项目 2 项，3 项代表性成果的主要参与者。			

姓 名	孙浩然	排 名	9
行政职务	无		
技术职称	无		
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：

参与基于复合挖掘轨迹和极限挖掘力模型的铲斗结构优化研究，同时参与建立了铲斗形线的集成表达模型，并形成了一种斗形优化一般方法，揭示了铲斗形线对铲斗质量和结构应力的影响规律，为铲斗优化提供了一般方法和理论基础。2 项代表性论文的主要参与者，并参与省级科研项目 1 项，参与授权国家发明专利 1 项。

姓 名	李天瑜	排 名	10
行政职务	无		
技术职称	无		
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：			
参与挖掘阻力测试计算模型建立，并利用仿真应力与测试应力验证模型正确性；参与研究挖掘阻力及挖掘机构顺势状态线图规律，建立复合挖掘力模型及考虑惯性力的动态挖掘力模型，2篇代表性论文的参与者。			

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： 作为成果的依托完成单位，主要负责成果研究过程中的总体规划和组织实施，在相关项目的实施过程中给予全面支持、管理和监督等工作，在人力、物力、财力等方面给予了充分支持和保障，保障项目的良好运行。项目组所在学院也在人员、工作安排、研究条件、实验设备、分析检测、场地等方面给予大力的支持，确保成果研究按规划顺利完成。1 项国家自然科学基金青年项目、2 项省级项目的承担单位、1 项企业委托课题的主要合作承担单位，1 项发明专利的权利人，6 篇代表论文的第一完成单位。	

单位名称	重庆大学
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 本单位是项目的第二完成单位，在本项目研究中，与第一和第三完成单位共同研发了有关正反铲挖掘机分析软件，参与提出基于挖掘阻力与操作不确定性的挖掘性能分析的新方法和新理论，提出了一种基于凸多面体的挖掘机综合理论挖掘性能分析方法以及工作装置挖掘性能综合评价指标体系。主持完成企业横向联合项目“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”，主持完成成果国家自然科学基金面上项目 1 项，3 项代表性成果第一完成单位，4 篇代表性论文的主要合作单位，是创新点 1、2、3 的主要完成单位之一。	

单位名称	三一重机有限公司
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 作为成果的第三参与单位，参与项目的总体规划和组织实施，在项目的实施过程予以全方面支持管理和监督等工作，在人力、物力、财力等方面给予了大力支持，保障项目的顺利运行。项目所在企业在人员、工作安排、研究条件、实验设备、分析检测、场地等方面给予了大力的支持，确保项目按规划顺利完成。将本技术成果成功应用于多款机型的开发，助力创造了 485、375、900 等多款爆款产品，获得多项行业奖励。1 项企业委托课题的实施单位，2 篇代表论文的主要合作单位。	

单位名称	广西柳工机械股份有限公司
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 作为成果的第四参与单位，参与项目的总体规划和组织实施，在项目的实施过程予以全方面支持、管理和监督等工作，在人力、物力、财力等方面给予了大力支持，保障项目的顺利运行。项目所在企业在人员、工作安排、研究条件、实验设备、分析检测、场地等方面给予了大力的支持，确保项目按规划顺利完成。1 项企业委托课题的实施单位，2 篇代表论文的主要合作单位。	

完成人合作关系说明

第一完成人：任志贵

项目总负责人，采用间接逆向策略为挖掘机理研究开辟一条新方法，通过对常态挖掘特性的研究揭示了常态挖掘相关机理建立了能够表征实际挖掘能力的挖掘性能分析方法，提出了铲斗形线的集成表达及斗形优化一般方法，揭示了斗形对铲斗质量和结构应力的影响规律，使铲斗斗形突破铲斗结构的现有限制，为铲斗优化提供了一般方法和理论基础。主持完成国家自然科学基金项目 1 项、省级科研项目 2 项，主要参与完成企业委托课题 1 项，7 篇代表性论文的通讯作者/第一作者，第一发明人授权国家发明专利 1 项。

第二完成人：庞晓平

参与提出基于挖掘阻力与操作不确定性的挖掘性能分析的新方法和新理论，提出了一种基于凸多面体的挖掘机综合理论挖掘性能分析方法以及工作装置挖掘性能综合评价指标体系。主持完成企业横向联合项目“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”，主持完成成果国家自然科学基金面上项目 1 项，5 篇代表性论文的主要作者，1 项发明专利主要完成人。

第三完成人：吕梁

参与三一重机某 37t 级挖掘机优化及性能测试实验，参与完成企业委托联合课题“三一正反铲挖掘机分析软件”，参与开发了正反铲挖掘机性能优化、结构优化和路径优化等一系列优化设计软件，并推动系列软件在多种挖掘机型号结构设计及优化中的应用，1 篇代表性成果主要完成人。

第四完成人：俞松松

具体组织实施液压挖掘机挖掘阻力测试实验，参与构建了不同主控力臂配比对挖掘性能的影响规律和以主控力臂系数配比方式定义主控区的方法，以及理论挖掘力匹配特性研究；负责技术推广应用并实施液压挖掘机机型优化；参与完成了企业委托联合课题“20 吨挖掘机工作装置铰点优化设计与验证”。2 篇代表性论文的参与者。

第五完成人：王树春

成功将技术成果应用于三一 485、375、900 等多款机型的设计当中，这些产品最终成为经过市场检验的爆款产品。参与三一重机某 37T 级挖掘机优化及性能测试实验，参与多种新机型开发设计。参与完成“三一正反铲挖掘机分析软件”项目。1 篇代表性论文参与者。

第六完成人：梁永永

参与建立挖掘机铲斗参数化模型和优化数学模型，分析了复合挖掘轨迹上不同理论挖掘力的变化规律，同时参与建立铲斗形线的集成表达模型和一种斗形优化一般方法，研究了铲斗形线对铲斗质量和结构应力的影响规律，构建了铲斗优化数学模型。1 篇代表性论文的参与者。

第七完成人：梁杨

参与建立了实际挖掘过程挖掘阻力测试计算模型，计算常态挖掘阻力和各铰接点载荷并通过瞬态分析方法得到动臂和斗杆的仿真应力，将测量点对应位置的仿真应力与实测应力进行对比分析，验证了挖掘阻力模型的正确性，并参与研究实际挖掘过程中挖掘阻力特性。1 篇代表性论文的参与者，参与完成省级科研项目 2 项。

第八完成人：刘菊蓉

参与提出基于工作域的挖掘性能表征方法，基于常态理论挖掘力模型进行力图对比与发挥比例及限制因素统计分析，揭示挖掘力及其限制因素区域分布规律，参与提出主控区界定方法，参与省级科研项目 2 项，3 项代表性成果的主要参与者。

第九完成人：孙浩然

参与基于复合挖掘轨迹和极限挖掘力模型的铲斗结构优化研究，同时参与建立了铲斗形线的集成表达模型，并形成了一种斗形优化一般方法，揭示了铲斗形线对铲斗质量和结构应力的影响规律，为铲斗优化提供了一般方法和理论基础。2 篇代表性论文的主要参与者，并参与省级科研项目 1 项，参与授权国家发明专利 1 项

第十完成人：李天瑜

参与挖掘阻力测试计算模型建立，并利用仿真应力与测试应力验证模型正确性；参与研究挖掘阻力及挖掘机构顺势状态线图规律，建立复合挖掘力模型及考虑惯性力的动态挖掘力模型，2 篇代表性论文的参与者。

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	共同获奖	任志贵(1)、 庞晓平(2)、 俞松松(4)、 梁永永(6)、 梁杨(7)、 孙浩然(9)	2019 年	2024 年	反铲液压挖掘机工作装置 优化设计关键技术及应用； 液压挖掘机挖掘性能评估 与关键部件优化	其他附件
2	共同获奖	任志贵(1)、 梁永永(6)、 梁杨(7)、 刘菊蓉(8)	2015 年	2024 年	反铲液压挖掘机挖掘机理 主动侧逆向研究	其他附件
3	论文合著	任志贵(1)、 庞晓平(2)、 刘菊蓉(8)、 李天瑜 (10)、俞松 松(4)	2010 年	2024 年	Research on the matching characteristics of the theoretical digging force of a backhoe hydraulic excavator	附件 1-1-1
4	论文合著、共同知识产权	李天瑜 (10)、任志 贵(1)、庞 晓平(2)	2010 年	2024 年	Comprehensive theoretical digging performance analysis for hydraulic excavator using convex polytope method; Dynamic digging force modeling and comparative analysis of backhoe hydraulic excavators	附件 1-1-4
5	论文合著	孙浩然(9)、 任志贵(1)、 梁永永(6)	2019 年	2024 年	Integrated expression and general optimisation method of bucket shape line of backhoe hydraulic excavator	附件 1-1-5
6	论文合著	任志贵(1)、 刘菊蓉(8) 梁杨(7)、 孙浩然(9)	2019 年	2024 年	Active side calculation method for a backhoe hydraulic excavator with incomplete digging resistance in a normal state	附件 1-1-6
7	论文合著	任志贵(1)、 庞晓平(2)、 俞松松(4)	2021 年	2024 年	主挖力臂配比对主挖区界定 及挖掘性能评价的影响 研究	附件 1-1-7

8	论文合著	任志贵(1)、王树春(5)、庞晓平(2)	2010 年	2015 年	液压挖掘机的动应力测试与瞬态分析	附件 1-1-8
9	共同知识产权	任志贵(1)、孙浩然(9)、刘菊蓉(8)	2019 年	2024 年	一种适用于建筑工地的挖掘机铲斗斗形结构的优化方法	附件 1-1-9
10	论文合著	任志贵(1)、吕梁(3)	2010 年	2024 年	基于阻力特性的液压挖掘机复合挖掘力建模	附件 1-1-10
11	项目合作	任志贵(1)、梁杨(7)、刘菊蓉(8)、孙浩然(9)	2019 年	2022 年	液压挖掘机常态挖掘过程路径与轨迹协同规划研究； 基于常态挖掘机理的挖掘机路径与轨迹协同规划研究	附件 1-2-1