

附件 3

科技进步奖推荐号：120-4064

项目名称	高效高频谐振型电磁功率变换关键技术及装备应用
提名单位	河北省教育厅
项目简介	<p>随着我国新能源汽车市场的飞速增长，新能源汽车保有量不断增加，对充电设施的需求越来越大、要求越来越高。同时，国际科技竞争日益激烈，我国军用高端装备迫切需要自主研发技术。基于高效高频谐振型电磁功率变换技术的电源模块作为新能源车充电和军用装甲车辆的核心组成部件，面临三个主要的难题与挑战：（1）模型精度低。电源装备中的高频磁性元件设计缺乏有效的理论模型，一次成功率低，迭代优化次数多，导致产品研发成本高，周期长。（2）效率提升难。新能源汽车超充设备、军工装备等场景对电源的功率密度要求极高，在这种情况下进一步提升效率难度大，导致相关装备运行成本高。（3）动态响应慢。在新能源汽车脉冲加热、军用雷达舵机等应用中，基于传统控制策略的电源装备难以快速响应负载的非线性变化。</p> <p>项目针对上述技术痛点难题，提出了高效高频谐振型电磁功率变换关键技术，取得主要创新性成果如下：</p> <p>1、发明了高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术</p> <p>提出一种基于表面温度测量的高频磁性元件损耗评估方法，实现在任意工况下精确、便捷地评估高频磁性元件损耗及其成分。在此基础上提出基于电磁计算与损耗等效电导率提取的高频磁性元件损耗建模方法。结合 CFD 仿真和稳态仿真的特点，提出基于换热-热传导两步分析的高频磁性元件温度场建模方法，显著提升了热分析计算速度。</p> <p>2、发明了高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术</p> <p>分析了 AC-DC 变换模块高频化后的运行特性，提出了基于高频多核数字控制的高密度 ACDC 变换模块技术，实现了各核心的高效协调控制，提高了变换模块的功率密度。提出了基于高精度建模和双变量独立寻优的高</p>

效率 DC-DC 变换模块技术，实现了谐振参数的优化设计和全工作范围的软开关，提升了变换模块的效率。以堆叠二次型变换器为基础，融合耦合软开关电路和升压单元，提出了基于软开关耦合倍压的高增益 DC-DC 变换模块技术。

3、发明了高频功率变换模块的多模式高动态控制技术

提出基于相平面轨迹建模的谐振型 DC-DC 变换模块双向高动态控制技术，解决高阶谐振腔动态过程建模难题，实现对动态过程的高效控制，能够实现接近理论极限的动态响应性能。提出基于协同控制参数平滑切换的矩阵式隔离 AC-DC 变换模块多模式高动态控制技术，解决了多模式切换时被控变换器突变导致输出畸变的难题，实现了 6 种控制模式的快速动态切换。

以上技术应用于各类互感器、传感器中，显著提升了产品性能，运行温升小于 15K，平均温度系数低于 0.001%/K，远高于行业标准的要求。应用于新能源车充电模块和军工电源中，大幅提高了产品的效率和功率密度，AC-DC 变换模块的功率密度达到 157.01W/in³，为国内外同类装置最高水平；充电模块整机峰值效率达到 97.73%，为行业最高水平。应用于 10/30kW 级车网互动双向电源模块产品，双向切换时间缩短至 4.28ms，达到行业领先水平。本项目获得发明专利授权 45 项，制定行业/团体标准 6 项，发表高水平科技论文 41 篇，其中 SCI 论文 36 篇，WoS 他引超过 1100 次，Google Scholar 引用超过 1600 次。项目研制成功一系列电源和互感器新产品，大规模应用于国内外充电桩、充换电站以及军工装备，近三年直接经济效益达到 21.62 亿元。项目研究显著提升了我国电源装备的自主创新水平，相关产品用于国内 10 余处大型充换电站，并且出口到欧洲、美洲、大洋洲和东南亚等 30 多个国家与地区，对我国加快发展新质生产力，发展战略性新兴产业有重要意义。

主要完成单位及创新推广贡献

燕山大学：对项目关键技术中的第 1、2、3 点进行理论与技术创新，发明了高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术、高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术和高频功率变换模块的多模式高动态控制技术。技术应用在石家庄通合电子科技股份有限公司的新能源车充电模块和军工电源模块中，经过三年多的平稳运行，显著提升了我国电源装备的自主创新水平；同时技术应用在河北申科电子股份有限公司的互感器产品，取得

电工仪器仪表用微型互感器国内市场占有率第 1 的成绩。同时,项目主持单位积极推广项目创新性成果,相关产品出口到欧洲、美洲、大洋洲和东南亚等 30 多个国家与地区,助力国家“一带一路”建设取得重要成果。

清华大学: 对项目关键技术中的第 1、2、3 点进行理论与技术创新,发明了高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术、高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术和高频功率变换模块的多模式高动态控制技术。这些技术应用于石家庄通合电子科技股份有限公司的新能源汽车充电模块和军工特种电源中,大幅提高了产品的效率和功率密度,显著提升了我国电源装备的自主创新水平;同时,应用于北京链宇科技有限责任公司车网互动双向电源模块中,极大地缩短了双向切换的时间,车网互动充电桩应用于张家口冬奥赛区综合能量补给站,有力地支撑了“科技冬奥”、“绿色冬奥”重大工程;还应用于河北申科电子股份有限公司的精密互感器中,有效提升了产品性能,助力申科电子取得电工仪器仪表用微型互感器国内市场占有率第 1 的成绩。另外,清华大学积极宣传和推广研发的技术和产品,目前已经在国内数千个新能源汽车充电场站、国外 30 多个国家和地区的充电站实现了应用。

石家庄通合电子科技股份有限公司:参与完成了高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术、高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术和多模式高动态控制技术的开发,基于项目成果研制的充电电源产品取得了第三方检测报告,广泛应用于国内外各大充电站、高速服务区、公交站充电设施项目建设,取得良好效益和积极反响,推动了新能源汽车产业的发展,为双碳目标的实现做出了贡献。

河北申科电子股份有限公司:采用本项目创新技术-高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术,优化了微型互感器电磁方案设计,成功研发了各类小体积、一体化、高精度、耐高温、高可靠性等优良特性的微型精密互感器系列产品,并广泛应用在国内外单、三相智能电能表、光伏导轨表、量测开关、新能源汽车充电枪/桩等场景中,为本项目创新技术大规模推广应用做出了贡献。

河北科技大学:对项目关键技术中的第 2 点进行理论和技术创新。通过将软开关电路作为高增益变换器的升压单元耦合源,提出了兼具高增益、低开关应力和高效率的新型高效高增益 DC/DC 变换器设计和控制方法,在相同

占空比下相对于传统拓扑电压增益提高了 12.5 倍，电压应力相比传统 boost 变换器获得极大的降低，解决了传统单向 DC/DC 变换器电压增益不高、硬开关损耗大、开关应力大的问题。同时项目参与单位积极推广项目创新性成果，基于上述创新技术的航空电源、电子负载等在多个企业和项目中实现了成功应用。

1) 推广应用:

项目主要针对包括新能源、军工装备等领域的功率变换设备，研发了高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术、高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术、高频功率变换模块的多模式高动态控制技术，优化了磁性元件的方案设计，突破了电源装备从多物理场建模到稳态效率优化和动态响应控制的一系列技术难题，开发出了高性能充电模块系列产品、双向充放电模块新产品及高精度、高稳定性微型互感器等产品，搭建了全工序自动化的高产能生产线，从技术水平、产品质量、市场占有率等方面，全方位提升了我国新能源汽车充电设备、军工装备等领域中功率变换模块产品的市场竞争力。

(1) 充电模块系列产品:

石家庄通合电子科技有限公司基于本项目技术成果研制了 20/30/40kW 系列充电模块产品，其恒功率电压最宽可至 250-1000V，功率密度最高可达 59.5W/in³，并取得了第三方检测报告。30kW 充电模块输出电压范围为 200-1000V，峰值效率高达 97.73%。项目实施期间通合科技取得国家企业技术中心、博士后科研工作站、河北省专精特新示范企业等创新平台资质。该系列产品已完成了工艺设计和生产线建设，进入了大批量制造阶段，充电模块峰值产能可达 3.5 万台/月，近三年累计生产销售 41 万余台/套。该系列产品在近几年的国家电网充电桩集采招标中应用占比 70% 以上，排名第一，并广泛应用于多家国内充换电设施领域龙头企业的直流充电系统中:

1) 万帮数字能源股份有限公司是中国最大的直流充电设施运营商，在能源领域拥有强大的技术实力，是亚洲数字能源独角兽企业。截至 2023 年底，据中国充电联盟统计，万帮数字拥有的交直流充电总数居全国第二。自 2023 年至今，在新能源汽车大功率直流充电系统中选用本项目产品超过 1 万台，取得了良好效益和反响。

2) 北京华商三优新能源科技有限公司是北京地区最大的直流充电设施运营商和设备制造商。近三年年选用本

推广应用及经济社会效益情况

项目充电模块近 2 万台，广泛应用于国家电网和政府企业的新能源汽车充电站建设，效益良好。

3)科大智能是安徽省最大的充电桩生产企业，是蔚来、理想等多家国内新能源汽车车企的主要充电设备供应商，在国内充电桩交付量的佼佼者，在新能源领域具有强大实力和广泛影响力。近三年，科大智能选用项目充电模块近 2 万台，广泛应用于合肥、浙江等地的新能源汽车充电站项目，效益显著。

4)广州万城万充新能源科技有限公司是广汽新能源的主要充电设施供应商。自成立以来一直深耕充电领域，目前在全国 20 余个核心城市建立站场建设运维与设备销售团队，其自建自营充电站日枪均充电量接近 200kW·h，运营效率远高于行业平均水平。近三年，完成万充选用项目充电模块 1 万 6 千余台，广泛应用于广州、佛山、珠海等地的新能源汽车充电站项目，以稳定的质量和良好性能，获得了用户认可。

(2) 双向模块产品：

1)深圳赛能数字能源技术有限公司与项目团队聚焦“光储充一体化”分布式综合能源微网领域，开展了高性能双向隔离功率模块及云边一体 EMS 控制器应用合作。相较于传统微网控制器，云边一体 EMS 控制器采用“物模型”设备接入架构和高动态的策略控制架构，可实现不同类型不同厂家设备的快速接以及微网的高动态控制，控制周期低于 200ms，实现了光储充协同控制、快速故障应对和电网聚合调度。技术成果被应用于佛山三水工业园区综合能源项目、义务研发基地园区综合能源项目、天津生产基地园区综合能源项目等建设，取得了良好的应用效果和经济效益，累计新增销售额 2877.64 万元，新增利润 593.01 万元。

2)北京链宇科技有限责任公司自 2021 年至今与项目团队开展了高性能双向隔离功率模块及车网互动应用的技术开发与合作，其采用新型 CLLC 高频双向谐振拓扑和先进的混合控制算法，单级结构实现高动态（正负满载切换时间小于 10ms）高功率（单模块 30kW），高效率（峰值大于 98%），宽范围（200V-1000V）的双向能量转换，适应性广、投成本低，被应用于深圳规模化电动汽车与电网互动示范项目、V2G 智慧能源示范站项目、丰通申威及泰国项目等 20 余个项目建设中，累计新增销售额超过 2200 万元。

(3) 军工电源产品：

石家庄通合电子科技股份有限公司自 2015 年以来陆续为航天科工集团、航天科技集团重点项目研制军工电源 200 余种，为兵器工业集团重点项目研制军工电源 100 余种，为中船重工重点项目研制军工电源 50 余种，为军工装备的全面国产化提供了有力支撑。

(4) 互感器产品：

随着新型电力系统的建设，电气参量呈现高频化、宽量程、动态化的发展特征，微型互感器作为电磁测量的核心器件，在小体积、低温漂、宽量程、抗直流和偶次谐波等方面面临更高的技术要求。申科公司基于高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模方法，研发了耐高温高可靠性微型互感器产品，可满足在 85°C 条件下，通 I_{max} 电流持续稳定运行 1000 小时要求，可在大功率电能计量、高热大过载等复杂工况下可靠运行；通过模型仿真研发了基于双级+电动势补偿技术的高精密电流互感器产品，精度等级高 0.01S 级，成功应用于高端关口表国产化自主可控项目中；首创研发了复合式抗直流偶次谐波电流互感器，其整表解决方案可满足 $PF=0.5L$ 时， $1.2I_{max}$ 条件下的抗直流偶次谐波要求，远高于 IEC、IR46 标准的抗直流和偶次谐波要求。基于项目技术产品大规模应用于沙特智能电表项目中，产品优良的高温耐久性，充分满足了沙特典型的热带沙漠气候，300 多万只产品稳定运行，是申科公司协同产业链头部企业助力国家电网公司服务“一带一路”建设取得的重要成果。在美国 GE 电表项目中，电表设计最大电流 320A，远高于国内 100A 的最大电流规格，产品电磁设计和建模时充分评估了大电流对产品温升、抗磁饱和能力方面带来的挑战，确保了产品在高过载工况下正常运行。项目实施以来，已累计 900 多万只互感器产品投入使用，产品运行稳定，使用情况良好。

1) 江苏林洋能源股份有限公司采用的项目成果微型电流互感器产品，大规模应用于沙特智能电表项目中。沙特智能电表项目是沙特建设智能电网和智慧城市的重要组成部分，是国家电网公司服务“一带一路”建设取得的重要成果。沙特为典型的热带沙漠气候国家，年平均气温高，要求产品具有良好的高温耐久性，项目成果微型电流互感器产品具有高靠性、良好的温度特性，充分的满足了沙特特殊应用场景需求。

2) 浙江宏发精密科技有限公司采用的项目成果微型电流互感器产品，规模应用于美国电表项目中。该电表设

计最大电流 320A，远高于国内 100A 的最大电流规格，产品电磁设计和建模时充分评估了大电流对产品温升、抗磁饱和能力方面带来的挑战，确保了产品在高过载工况下正常运行。项目实施以来，已累计 900 多万只互感器产品投入使用，产品运行稳定，使用情况良好。

3)威胜集团有限公司、河南许继仪表有限公司等电表头部企业采用项目成果的各类小体积、一体化、抗强磁、高精度、高稳定性、耐高温等特殊功能系列互感器产品，广泛应用于各类单、三相智能电表。产品很好的满足了各类特殊工况要求，获得了电磁测量领域客户们的高度认可。

高效高频谐振型电磁功率变换关键技术的研究及产业化应用解决了我国电源装备领域模型精度低、效率提升难、动态响应慢的难题，提高了我国高频磁性元件功率变换的技术水平，为国内外龙头企业提供了性价比更加极致的功率变换模块产品，促进了行业的进步。同时，项目产品的推广和应用也带动了上下游产业链的发展，包括功率半导体、控制芯片、充电系统、磁性元件、机械加工等。本项目的相关工作成果为我国电力电子领域发展新质生产力、实现国产化替代提供了有力支撑，助力国家先进智能制造、实现高质量发展和双碳目标的实现。

2) 经济效益:

项目单位燕山大学、清华大学、石家庄通合电子科技股份有限公司、河北申科电子股份有限公司和河北科技大学通过合作开发和自主创新完成了高效高频谐振型电磁功率变换关键技术的研发及产业化应用，推动了我国电磁功率变换领域的深入探索与发展，具有重要的科研及产业化价值。项目成果已向国内外诸多新能源科技企业及智能仪表企业推广应用，取得了显著的经济效益。其中，通合充电模块系列产品在国内市场占有率达到前三，申科微型互感器系列产品多年保持国内市场占有率第一。近三年项目相关产品累计新增销售收入 21.62 亿元，新增利润 3.38 亿元，新增税收 0.98 亿元。相关效益情况如下：①石家庄通合电子科技股份有限公司近三年新增销售额 12.07 亿元，新增利润 7136.13 万元，新增税收 3473.73 万元；②河北申科电子股份有限公司近三年新增销售额 9.55 亿元，新增利润 2.67 亿元，新增税收 0.63 亿元。

3) 社会效益:

行业进步：功率变换模块关键技术的创新为新能源汽车充电设施、军工装备电源等行业的发展提供了有力支撑。高效高频谐振型电磁功率变换关键技术的创新与产业化应用，有效提升了互感器电磁设计准确率和效率，大幅提高了大功率直流充电设备的充电效率、功率密度和可靠性，优化了充电设施建设和运营成本，提升了用户体验，增强了我国新能源汽车充换电行业的产品竞争力，有力推动了整个新能源汽车产业的发展，为双碳目标达成做出了积极的贡献。高效高频谐振型电磁功率变换关键技术的突破支撑了车载、弹载等军工领域新一代电源系统的研发，为我国军工装备小型化、轻量化奠定了坚实基础，同时实现了军用电源装备的完全自主可控。微型互感器作为一种传统的工频计量产品，在智能电能表等领域发挥着至关重要的作用。通过采用“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模方法，有力支撑了微型互感器高频故障电弧信号探测、高功率取能、防窃电等新功能设计，进一步拓宽了微型互感器在高频、高功率场景的应用边界，实现了微型互感器在新能源光伏、新能源汽车充电枪/桩等新兴领域的新应用，并显著提升了整个产业的技术水平，为行业的持续进步与繁荣做出了积极贡献。

人才培养：燕山大学、清华大学、河北科技大学与石家庄通合电子科技股份有限公司、河北申科电子股份有限公司开展产学研合作，通过对企业在产品开发、样机测试、升级迭代过程中存在的难点、痛点进行深入研究，将基础理论科学的创新成果转化为产业化的高可靠、高效率产品，引领了行业进步，同时培养了一批懂技术懂市场、精通产业发展方向的技术人员。项目团队成员先后获得了 IEEE Fellow、IET Fellow、IEEE 电力电子学会杰出讲座学者、中国电源学会青年奖、河北省“三三三”人才工程、河北省科技进步奖、河北省政府特殊津贴专家、河北省杰出青年基金获得者、河北省百名优秀创新人才等称号荣誉。项目在技术研发及产业化阶段培养了博士后 2 人，博士研究生 4 人，硕士研究生 45 人，高级工程师 9 人，在国内外发表高质量科技论文 41 篇，授权发明专利 45 项，参与国内国际技术交流 40 余次，为我国电力电子领域的人才积累奠定了基础。

代表性论文专著目录

1. "Design and Optimization of the Insulation of Medium-Voltage Medium-Frequency Transformers for Solid-State Transformers," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 10, no. 4, pp. 3561-3570, Aug. 2022.
2. "Reduction Methodology of Eddy Losses in Ferrite Cores for High-Frequency Transformers Based on Loss-Effective Conductivity Extraction,"

- 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Detroit, MI, USA, 2022.
3. "High-Precision Simulation for Structure and Efficiency Optimization of High-Power High-Frequency Transformer," 2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Detroit, MI, USA, 2020, pp. 3524-3531.
 4. "An Improved Modulation Scheme of Current-Fed Bidirectional DC–DC Converters For Loss Reduction," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 5, pp. 4441-4457, May 2018.
 5. "A new multi-mode fault-tolerant operation control strategy of multiphase stacked interleaved Buck converter for green hydrogen production," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 47, no. 71, pp. 30359-30370, Aug. 2022.
 6. "Parameter Identification of the Series Inductance in DAB Converters," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 36, no. 7, pp. 7395-7399, July 2021.
 7. "A High-Accuracy Gain Model and Improved Design Method for LLC Converters in PV Applications Based on Accurate Time Domain Analysis," in CSEE Journal of Power and Energy Systems, Early Access.
 8. 面向光伏直流升压系统的高压大功率 LLC 谐振变换器设计方法. 中国电机工程学报, 2023, 43(15): 5970-5983.
 9. "A Soft-Switching Synchronous Rectification Noninverting Buck–Boost Converter With a New Auxiliary Circuit," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 68, no. 9, pp. 7931-7937, Sept. 2021.
 10. "State-of-the-Art Review on Soft-Switching Technologies for Non-Isolated DC-DC Converters," in IEEE Access, vol. 9, pp. 119235-119249, Sept. 2021.
 11. "A Real-Time Open-Circuit Fault Diagnosis Method Based on Hybrid Model Flux Observer for Voltage Source Inverter Fed Sensorless Vector Controlled Drives," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 38, no. 2, pp. 2539-2551, Feb. 2023.
 12. "A Unified State-Space Modeling Method for a Phase-Shift Controlled Bidirectional Dual-Active Half-Bridge Converter," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 3, pp. 3254-3265, March 2020.
 13. "A Battery Charging Method With Natural Synchronous Rectification Features for Full-Bridge CLLC Converters," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 2, pp. 2139-2151, Feb. 2022.
 14. "High Step-Up/Step-Down Soft-Switching Bidirectional DC–DC Converter With Coupled-Inductor and Voltage Matching Control for Energy Storage Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 5, pp. 2892-2903, May 2016.
 15. "A Novel Phase-Locked Loop Structure to Enhance Converter Stability in Weak Grids," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 38, no. 11, pp. 13855-13865, Nov. 2023.

主要知识产权证明目录

1. 张航,李金洁,李维旭,张逾良,陈超飞,吴飞飞,赵耀峰. 一种充电模块并机方式的均流方法, ZL201910020476.4, 2022.05.17.
2. 易哲嫒,孙凯. 高频变压器损耗测量系统和方法, ZL202011319090.2, 2022.02.08.

3. Kai Sun, Yangjun Lu, Hongfei Wu, Control method and control system for a distributed power source energy generation, ZL16/475,636, 2021.11.18.
4. 贺宏伟,王聪,王悦壮,耿秋生. 一种电流互感器用超微晶磁芯的固化生产工艺, ZL 201810212151.1, 2020.09.08.
5. 韩丹丹,王力崇,刘中华,刘光跃,裴兆鹏. 宽温微型组合式电流互感器, ZL202010353036.3, 2021.05.11.
6. 汪殿龙,王梓鉴,丁鑫健,吴朝峰,梁志敏,王立伟. 一种质子交换膜燃料电池活化方法及装置, ZL2020100884289.3, 2021.06.15.
7. 章仕起,郭小强,王子鉴,魏玉鹏,杨勇. 一种考虑电源设置条件的多目标分布式电源优化配置方法, ZL202111182154.3, 2022.06.03.
8. 刁乃哲,魏玉鹏,方威凯,郭小强,章仕起,丁浩,丁凡钦. 一种隔离型变流器拓扑结构及其容量共享与故障容错方法, ZL202310587563.4, 2023.10.27.
9. 陈欢,孙凯. 无传感器的同步整流参数匹配方法、控制方法及存储介质, ZL202110626126.X, 2023.02.28.
10. DL/T 781-2001, 电力用高频开关整流模块.

主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）

排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位	贡献	曾获奖励情况
1	汪殿龙	教授	燕山大学	燕山大学	作为项目第一完成人, 对创新成果 1、2、3 点均做出突出贡献。提出创新技术指导思想并负责设计总体研究方案, 发明并制定技术路线和设施方案, 全面负责开展技术攻关、研制开发和技术应用。在各项关键技术攻关和研制与工程应用中负责技术决策与产学研单位的协调。在多年理论分析与实践应用基础上, 提出了高效高频谐振型电磁功率变换关键技术, 显著提升了我国电源装备的自主创新水平。	2020 年河北省科技进步二等奖 2018 年河北省科技进步三等奖
2	孙凯	研究员	清华大学	清华大学	对创新成果 1、2、3 均做出突出贡献, 提出了高效高频谐振型电磁功率变换关键技术, 包括高频磁性元件的“电-磁-热”多物理场耦合高精度建模技术、高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术、高频功率变换模块的多模式高动态控制技术等。设计项目的总体方案, 管理项目的整体实施, 梳理、总结项目的主要科技创新, 负责项目各单位的统一规划协调工作。	2017 年教育部自然科学奖一等奖 2013 和 2021 年中国电工技术学会一等奖
3	刁乃哲	讲师	燕山大学	燕山大学	对创新点 2、3 有重要贡献, 提出了高频功率变换模块的高效能优化设计与控制技术, 构建了基于多核并行的数字控制架构, 并提出了适用于单控制器实现的窄脉冲消除调制	2023 年教育部中国国际大学生创新大赛银奖

					算法，有效提升了模块的功率密度；同时研发了基于协同参数平滑切换的矩阵式变换器的多模式控制策略，实现多种控制模式的快速动态切换。	
4	张航	高级工程师	石家庄通合电子科技股份有限公司	石家庄通合电子科技股份有限公司	参与本项目功率变换技术的研发工作，带领软件团队解决了控制策略的工程化问题，开发了系列功率变换模块的嵌入式软件、上位机软件，解决了多模块并机数字均流问题，并获得了相关发明专利。	无
5	王力崇	高级工程师	申科科技集团有限公司	河北申科电子股份有限公司	作为本项目创新技术应用单位的负责人，在推动项目成果技术转化、系列互感器电磁设计指导、推广方面做出了重要贡献。积极推动研发团队与科研院所和高校合作，组织专业培训和研讨会，提升研发团队创新能力和技术实力，指导将本项目创新技术广泛应用在系列互感器产品方案设计中。在推广应用方面，利用各种渠道和行业资源，积极宣传和推广项目创新技术形成的互感器产品，使其大量应用于低压电器、新能源等新兴领域中，为项目成果的广泛应用打下了坚实的基础。	2020 年河北省科学技术进步三等奖
6	程旭峰	讲师	河北科技大学	河北科技大学	对创新成果 2 做出重要贡献，针对军工电源对功率变换器高升压比的特殊需求，以堆叠式二次型变换器为基础，融合耦合 LC 软开关电路和耦合式 LCD 升压单元，提出了兼具高增益、低开关应力和高效率的新型 DC-DC 变换器设计和控制方法。	无
7	陈欢	助理研究员	清华大学	清华大学	对创新成果 3 做出重要贡献，提出基于相平面轨迹建模的谐振型 DC-DC 变换模块双向高动态控制技术，解决高阶谐振腔动态过程建模难题，将四阶谐振过程等效为二维相平面轨迹，通过检测相平面轨迹极限实现了对动态过程的最快调节，达到了接近理论极限的动态响应性能，相比于传统方法显著缩短了双向功率切换时间。	无
8	王聪	高级工程师	河北申科电子股份有限公司	河北申科电子股份有限公司	作为本项目创新技术应用单位的技术负责人，主要负责项目成果技术转化，主导系列精密互感器电磁模型设计等产品研发工作。带领本单位研发团队对项目科技创新成果深入研究和规划，不断优化微型互感器电磁设计方案，改进工艺流程，同时将创新技术与市场需求紧密结合，确保项	无

					目的创新技术成果能够迅速转化为市场竞争力，产品也获得了客户高度认可。	
9	田永立	高级工程师	石家庄通合电子科技股份有限公司	石家庄通合电子科技股份有限公司	参与本项目功率变换技术的研发工作，带领公司研发团队主导了公司多款功率变换模块的研制和产业化，并参与了多项行业标准的制定。	无
10	章仕起	无	燕山大学	燕山大学	对创新成果 2、3 做出重要贡献，策划技术路线、实施方案，并提出了高频多核数字控制的高密度 AC-DC 变换模块技术，完成技术方案设计，作为发明人参与完成了多项发明专利，对项目介绍和主要科技创新点进行了整理和总结。	2021 年教育部第 7 届中国国际“互联网+”创新创业大赛金奖 2022 年教育部第 8 届中国国际“互联网+”创新创业大赛金奖

完成人合作关系说明

燕山大学、清华大学、石家庄通合电子科技股份有限公司、河北申科电子股份有限公司、河北科技大学等单位，分工明确，优势互补、联合攻关，针对新能源车充电和军用装甲车辆的电源模块技术中的模型精度低、效率提升难、动态响应慢等问题进行了深入研究，合作提出了基于高效高频谐振型电磁功率变换技术及装备应用。

燕山大学与石家庄通合电子科技股份有限公司自 2011 年开始合作，于 2019 年共同获批河北省科技计划项目-重点研发计划（编号：19214405D）“新能源电解制氢与燃料电池充放电全产业链单/双向变换器研究”。共同建立了电力电子变压器‘电-磁-热’模型，研制了高效 DC-DC 变换器，效率>97%。

清华大学与石家庄通合电子科技股份有限公司自 2009 年开始合作，与 2012 年共同设计了高性能 20kW 充电模块，并成功应用到世界上规模最大的电动汽车充换电站——青岛薛家岛充换电站，并服务世界上海拔最高的电动汽车赛事——“环青海湖（国际）电动汽车挑战赛”。车网互动充电桩应用于张家口冬奥赛区“光储充氢一体化”多元耦合微网综合能量补给站，于 2022 年 1 月投运，有力地支撑了“科技冬奥”、“绿色冬奥”重大工程。

燕山大学与河北申科电子股份有限公司自 2011 年开始合作，共同设计研发了不同功率等级模块电源和微型电压电流互感器等系列化装备产品，于 2019 年共同获批河北省科技计划重点项目（编号：E2019203563）“新一代中压光伏并网系统关键技术研究”。合作完

成了多项论文、专利等成果。刁乃哲、章仕起、王力崇等共同获得了 2024 年日内瓦国家发明奖银奖。助力国家电网公司服务“一带一路”建设取得重要成果。

河北科技大学与石家庄通合电子科技股份有限公司自 2014 年开始合作，于 2020 年共同获批河北省重点研发计划项目（编号：20312205D）“智能分布式充电系统关键技术”。设计了基于谐振型软开关电路的拓扑，研制了电压宽范围输出，高效率的新能源汽车充电模块。产品应用于海南交投超充站、巨湾超充站、盈峰（环境）超充站等数千个新能源汽车充电场站。

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	合作时间	合作成果	备注
1	论文合著	程旭峰(1)、汪殿龙(3)	2014.01 到 2023.12	代表性论文： State-of-the-Art Review on Soft-Switching Technologies for Non-Isolated DC-DC Converters	
2	共同知识产权	刁乃哲(1)、章仕起(5)	2020.06 到 2023.12	中国发明专利： 一种隔离型变流器拓扑结构及其容量共享与故障容错方法	
3	论文合著	程旭峰(1)、汪殿龙(3)	2014.01 到 2023.12	代表性论文： A ZVS Three-Level Synchronous Buck Converter With Simple LC Circuit	
4	论文合著	程旭峰(1)、汪殿龙(3)	2014.01 到 2023.12	代表性论文： A high step-up multiphase interleaved boost converter for fuel cells power system	
5	论文合著	汪殿龙(1)、程旭峰(5)	2014.01 到 2023.12	代表性论文： A Four-Phase Interleaved Buck-Boost Converter With Changed Load Connection for the Fuel Cell	

				Activation	
6	论文合著	孙凯(2)、陈欢(4)	2018.08 到 2023.12	代表性论文： A High-Accuracy Gain Model and Improved Design Method for LLC Converters in PV Applications Based on Accurate Time Domain Analysis	
7	论文合著	陈欢(1)、孙凯(2)	2018.08 到 2023.12	代表性论文： A Battery Charging Method With Natural Synchronous Rectification Features for Full-Bridge CLLC Converters	
8	论文合著	陈欢(1)、孙凯(2)	2018.08 到 2023.12	代表性论文： A Constant Current Control Method With Improved Dynamic Performance for CLLC Converters	
9	共同知识产权	孙凯(2)、陈欢(1)	2018.08 到 2023.12	中国发明专利： 无传感器的同步整流参数匹配方法、控制方法及存储介质	
10	共同知识产权	刁乃哲(7)、章仕起(8)	2020.06 到 2023.12	中国发明专利： 一种三相电流源整流器优化开关电压应力的调制方法	
11	共同知识产权	刁乃哲(4)、章仕起(5)	2020.06 到 2023.12	中国发明专利： 一种变流器混合控制方法	

注：所填报内容必须与推荐书中提交的完全一致，否则责任自负，可自行调整行间距。