（科技进步奖　提名号309-4029）

一、项目名称：

矿用大功率级联水冷高压变频器关键技术及产业化

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省煤炭学会

提名意见：

该项目针对矿用大功率级联变频器存在体积大、散热差、智能化程度低问题，通过与行业龙头企业联合攻关，突破此类变频器高集成紧凑化设计、高效散热、煤矿井下远程智能运维关键技术难题。研制出自主可控此类煤矿专用变频器成套技术与国产化装备。项目成果共形成2项国家标准、7项发明专利、12项实用新型专利及软著2项，经陕西省煤炭学会鉴定，其关键指标均达到国内领先水平。该项目研发的系列化产品已实现大规模推广应用，近三年项目完成单位累计实现营收11亿元、利润1.16亿元，取得了显著的经济效益和社会效益。

该项目选题准确，技术创新突出，对我国煤矿多场景应用起到了重要推动作用，应用前景广阔，具有重要推广价值，符合陕西省科学技术进步奖三等奖的提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

三、项目简介

在国家“双碳”战略与《煤矿智能化建设指南》政策驱动下，我国煤炭行业加速向绿色智能开采转型，煤炭稳定开发是保障国家能源

安全、优化能源结构的核心支撑。当前国内大中型煤矿已普及井下10kV高压供电系统，高压大功率变频器是煤矿重载设备调速节能与安全运行的核心装备，技术升级对煤炭行业转型有关键作用。现有10kV高压变频器存在三类共性技术瓶颈：一是设备整体体积偏大；二是井下恶劣工况下散热性能不足，运行可靠性偏低；三是故障预警技术粗放，难以识别早期微弱故障，大功率并联扩容场景主从同步精度不足，环流问题无法彻底抑制，复杂工况下母线电压稳定性差，易引发过压、欠压跳闸故障。

针对上述技术难题，本项目依托产学研联合攻关模式，与新风光电子科技股份有限公司深度合作，围绕多项核心技术实现系统性突破：创新提出紧凑型纯水冷功率单元集成结构，缩减设备体积，同步提升散热性能与电气性能；研发基于多维异构数据动态关联建模的自适应故障预警技术，实现早期故障精准识别；攻克载波逐周期同步的主从协同控制技术，解决并联扩容环节环流问题；提出母线电压与有功电流双闭环频率在线自校正技术，实现电压自适应稳定控制。本研究成果破解煤矿高压变频装备领域的技术短板，可为工矿领域大型传动装备安全、高效、绿色智能化运行提供核心技术支撑，具备突出工程应用价值与行业推广前景。本项目技术突破与创新成果主要包括：

1.采用紧凑型功率单元设计方案，完成关键器件小型化，实现整机高度集成。

针对传统变频器体积庞大、杂散电感高、电压尖峰突出、安装适配性弱等行业短板，本项目研发二合一集成化通用功率单元，完成结

构布局优化：在功率器件布局上，采用功率模块与电容平齐布设方案搭配平铺叠层母排一体化设计，缩短功率器件电气间距，削减系统杂散电感，从根源抑制电压尖峰，提升设备电气运行性能；创新提出控制模块前置垂直布置架构，精简冗余驱动线路，简化内部接线结构，降低现场安装与后期运维接线难度；配套研发可拓展式电容模块，可根据场景灵活调节，压缩设备整体体积，解决传统变频器空间占用大、适配性差的问题，提升设备安装灵活性与通用性。

2.通过专用移相变压器搭配水冷功率单元设计，有效破解核心器件散热瓶颈。

针对传统变频器散热效率低、散热均匀性差、设备热稳定性不足等问题，本项目革新散热结构，打造高密度高效水冷+风冷散热体系。核心采用IGBT与整流桥正反面对置水冷板的创新结构设计，充分利用水冷换热效率高、散热均匀的优势，替代传统风冷散热模式，大幅提升功率单元的整体散热效率，快速疏导设备运行产生的热量，避免器件高温过载。同时配套设计专用移相变压器，有效解决变压器在密闭腔体内的散热问题，规避冷凝水引发的设备短路、器件锈蚀等故障，在保障极致散热效果的同时，进一步提升功率单元的运行安全性与长期可靠性，彻底解决传统散热方式效率低、隐患多的核心问题。

3.研制远程协同运维系统，可开展远程自适应主动故障诊断，实现设备全生命周期运维管理。

针对大功率高压变频器故障检测繁琐、固定阈值精度低、个体适配性差、早期隐蔽故障难识别，以及并联扩容环流大、工况适应性弱、

易频繁跳闸等运维痛点，本项目突破多项智能检测与精准控制核心技术，构建变频器全流程智能化远程运维保障体系：创新智能故障检测技术，依托多维异构数据建模、微弱故障信号提取、无阈值自适应监测算法，搭配八大核心模块一体化检测系统，结合三维脆弱性数据分析与深度学习双模校验机制，实现早期隐蔽故障精准识别与自适应智能预警，故障检测准确率提升30%，减少非计划停机、降低运维成本，形成闭环智能运维模式；针对变频器并联运行PWM输出异步、环流抑制不彻底、电压损耗及工况波动跳闸等问题，研发多机主从协同同步控制技术，创新无硬件扩容的双闭环频率在线自校正技术，依托电压与有功电流双闭环实时修正输出参数，有效抑制并联环流、平稳母线电压波动，解决复杂工况下设备跳闸难题，提升变频器运行稳定性与工况适配能力，实现设备运维智能化、管控精准化、运行稳定化。

本项目形成了系统化产品创新成果，已实现产业化应用，累计获得授权专利19件（其中发明专利7件、实用新型专利12件），登记软件著作权2项，主持制定国家标准2项。

依托本项目研发的关键技术，开发了具备自主可控性、可适配煤矿井下复杂工况的高可靠性高压变频器，实现了220-4000kW全功率等级高压变频器产品覆盖，本项目研发的系列化产品已在国家能源集团、山东能源集团、陕煤集团等企业实现应用。近三年项目完成单位累计实现营业收入11亿元、利润1.16亿元。

四、客观评价

项目经过多年系统研究，形成了具有自主知识产权的面向煤矿复

杂工况下的大功率级联水冷高压变频器关键技术，研发的710-2200kW级10余个型号的矿用高压变频器产品，已经成功应用于陕西、山西、内蒙等煤矿。

1.科技成果验收和评价

2026年8月8日，中国煤炭协会组织专家对“矿用紧凑型高压变电变频器关键技术研究及应用”进行成果鉴定。评价委员会认为，项目研究方法科学，技术路线合理，综合性能达到国内领先水平。

2.查新检索评价

2026年7月20日，陕西省科学技术情报研究院针对“一种基于防爆综合散热技术的矿用紧凑型高压变频器研究与应用”开展国际际联机检索、国内联机检索及网络数据库检索，共检索相关文献 21篇（国内10 篇、国外11篇）。经分析比对，项目提出的“移相整流变压器与高压变频主机一体化布局、内外独立双水循环、无速度传感器矢量控制（SVC）算法”等核心技术，在国内外文献中均未见综合技术特征相同的公开报道，验证了项目的创新性。

3.获得的知识产权

项目成果获得国家发明专利7项，实用新型12项，软件著作2项，国家标准2项。

4.技术检验报告

项目研发的“矿用隔爆兼本质安全型变电变频器”，通过安标国家矿用产品安全标志中心有限公司、上海煤科检测技术有限公司、国家安全生产上海矿用设备检测检验中心检测，关键技术指标优于国内

同类产品。

5.应用单位评价

项目成果应用于黄陵煤矿等几家大型煤矿企业。经多家煤矿用户现场运行验证，该变频器调速性能优异、运行平稳可靠，节能效果显著。纯水冷散热系统有效解决了井下高温高湿环境下的散热难题；智能预警与主从协同控制功能大幅提升了设备运行稳定性与运维便捷性。用户反馈表明，该装备在提升机、通风机及主运输系统等核心场景中表现优异，为企业节能降耗与安全生产提供了有力保障。

五、主要知识产权和标准规范等目录

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	发明专利	一种户内高压大功率水冷变频器功率单元	中国	ZL202111003000.3	2023年7月25日	第6181269号	新风光电子科技股份有限公司	方汉学；姚海嘉；李志刚；高海星；荣凯；梁开来等
2	发明专利	一种用于高压变频器的功率单元检测系统	中国	ZL202411272924.7	2024年9月12日	第7659672号	新风光电子科技股份有限公司	尹彭飞；侯胜旺；徐长海；徐保帅；贾超；田润；马彤
3	发明专利	一种级联式高压变频器并联环流抑制方法	中国	ZL202111051807.4	2023年6月16日	第6057145号	新风光电子科技股份有限公司	方汉学；刘兴状；朱海梅；荣凯；阮敬稳；郭延双；王玉娇
4	发明专利	一种变频器母线电压稳定控制方法和系统	中国	ZL202210943108.9	2025年1月3日	第7644884号	新风光电子科技股份有限公司	刘军锋，荣凯，刘福顺，赵树国，张兵，胡超，邢卫，李志刚，陈天雁，郭延双
5	实用新型	一种应用于矿用防爆的间隙排水装置	中国	ZL202222150456.9	2022年11月04日	第17707783号	西安重装伟肯电气有限责任公司	陈武；陈晨；李康怡；张金瑞
6	软著	新风光四象限防爆变频	中国	2023SR01	2022年11月14	第10758	新风光电子科技股	丁宁，尹彭飞，杜锋，张元吉

		器 PWM 整流主控系统软件 V1.00		71012	日	183 号	份有限公司	
7	标准	1 kV 以上不超过 35 kV 的通用变频调速设备	中国	GB/T 30843.1-2024		/	新风光电子科技股份有限公司	王春武、方茂成、曹鹏、尹彭飞、刘海威、张军军等

六、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
陈武	1	副总	工程师	西安重装伟肯电气有限责任公司	西安重装伟肯电气有限责任公司	负责项目总体方案、技术路线的制定
尹彭飞	2	总工	正高级工程师	新风光电子科技股份有限公司	新风光电子科技股份有限公司	主导研发了用于高压变频器的功率单元检测系统以及开发了PWM整流主控系统软件
唐文博	3	副主任	高级工程师	西安重装伟肯电气有限责任公司	西安重装伟肯电气有限责任公司	参与指导基于“平均数值-波动系数-故障概率”三维脆弱性曲线的外部场景风险评估技术
方汉学	4	副总工	正高级工程师	新风光电子科技股份有限公司	新风光电子科技股份有限公司	主导研发了级联式高压变频器并联环流抑制方法
李志刚	5	总助	高级工程师	新风光电子科技股份有限公司	新风光电子科技股份有限公司	负责开发双面紧凑型整流逆变模块结构
许佳宝	6	无	工程师	西安重装伟肯电气有限责任公司	西安重装伟肯电气有限责任公司	主导开发了电压外环与有功电流内环串联的双闭环IP控制结构

刘冰冰	7	无	工程师	西安重装伟肯电气有限责任公司	西安重装伟肯电气有限责任公司	参与设计了“风险预警检测”与“差异性检测”双模联动与闭环反馈的自适应检测架构

七、主要完成单位情况

1.西安重装伟肯电气有限责任公司

西安重装伟肯电气有限责任公司为国有控股中型高新技术企业，原煤炭工业部西安煤矿仪表厂，始建于1965年10月，系全国生产煤矿安全仪器仪表及装备的原煤炭部指定三大专业定点生产厂家之一。2020年8月公司聚合重装集团、上海伟肯和汇川技术三方优势实施混合所有制改革成立西安重装伟肯电气有限责任公司，是陕煤集团控股国家高新技术企业，陕西省瞪羚企业，陕西省“专精特新”企业，中国煤炭机械工业协会优秀企业，主要从事永磁电机、矿用变频器、配电开关等电气控制设备及电控系统的研发、生产。公司自创建以来，努力深化以人为本的企业理念，依托陕煤化集团平台，结合“智慧矿山”大趋势，将先进技术与传统产品相结合，打造全新的煤矿智能装备系列，为客户提供优的产品和好的服务。公司依靠在变频器生产制造、智能化方面的技术优势，以高压变频器为载体，开发了集成八大核心模块的智能检测系统，结合深度学习预测模型，创新了基于多维数据动态关联建模的智能预警技术，实现产品全寿命周期在线监控、故障预警和健康管理，首次实现了变频器关键部件的智能故障提前预警，减少突发故障及停机频次，为复杂环境下高压变频器的可靠运行

提供了重要的技术支撑。

2.新风光电子科技股份有限公司

新风光电子科技股份有限公司作为项目主要完成单位，承担了矿用大功率级联水冷高压变频器关键技术的研发和产业化工作。在科技创新方面，公司研发团队突破了多项关键技术：一是研发了户内高压大功率水冷变频器功率单元（专利号ZL202111003000.3），采用水冷散热方式，优化了整流逆变模块、薄膜电容、叠层母排等器件的布局，有效提升了散热效率，减小了杂散电感，降低了电压尖峰；二是提出了级联式高压变频器并联环流抑制方法（专利号ZL202111051807.4），通过载波同步和均流电抗器配合，实现了变频器并联运行时的环流抑制；三是研发了变频器母线电压稳定控制方法和系统（专利号ZL202210943108.9），构建了母线电压和有功电流的双闭环控制，在不增加硬件成本的前提下实现了母线稳定控制；四是开发了高压变频器功率单元检测系统（专利号ZL202411272924.7），实现了基于多源运行数据和场景分析的提前预警检测。在应用推广方面，公司将上述技术成果应用于矿用大功率变频器产品中，提升了产品的可靠性和运行效率，推动了矿用防爆变频器技术的产业化发展。

八、完成人合作关系说明

陈武、尹彭飞、唐文博、方汉学、李志刚、许佳宝、刘冰冰共同参与科研项目“矿用大功率级联水冷高压变频器关键技术及产业化”的研发工作。

方汉学、李志刚共同申请发明专利《一种户内高压大功率水冷变频器功率单元》。

完成人共同合作完成技术成果鉴定，共同梳理技术先进性，共同研讨确定科技创新点，鉴定为国内领先水平。

完成人合作实施项目过程中，按照任务分工产出的知识产权等成果归各单位所有。