

2018 年度国家科学技术奖提名项目材料公示

一、项目名称

超、特高压变压器/电抗器出线装置关键技术及工程应用

二、提名者及提名意见

提名者：

中国电机工程学会

提名意见：

出线装置是变压器/电抗器的核心组件，由绝缘纸板、金属电极、纸浆成型件等多种部件通过复杂工艺制造而成，产品长期依赖进口，是国务院发布的《中国制造 2025》重点研发装备，国外对该技术严格封锁，无经验借鉴，研制难度极大。项目成果是超、特高压装备自主化研制的又一重大突破。

项目研制了具有新型绝缘支撑结构的超、特高压出线装置，并实现批量生产。为满足出线装置对绝缘纸板、成型件的性能要求，提出了多浆料混合配方及其磨浆工艺，解决了高性能绝缘纸板的生产难题。掌握了改性粘结剂配方及配套分时、分段热压工艺，提出了各向应力动态调整的生产方法，解决了成型件易变形和开裂问题。分别建立了三维随机和冲击振动、长时工频耐压试验系统，提出了绝缘考核方法，形成了机械、电气性能综合评估体系。经中国电机工程学会鉴定，特高压出线装置结构设计和试验考核方法达到国际领先水平。项目获授权发明专利 16 项，制定国家标准 3 项、团体标准 1 项、企业标准 7 项，发表论文 55 篇（SCI 6 篇）。

项目核心技术成功反哺超高压设备制造，成果已在 7 回特高压工程、国内外 42 回超高压工程以及 330 千伏高铁工程中得到应用。近三年新增销售额 8.99 亿元，利润 1.49 亿元，节支建设成本 2.09 亿元。项目是在电力装备制造领域内的重大技术创新，打破了国外垄断，提升了我国在超特高压设备制造领域的技术水平，对推动行业技术升级、引领技术发展提供了有力支撑。

提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

超、特高压变压器/电抗器是电力系统的关键设备，其绝缘系统设计直接影响设备的可靠性和经济性，其中出线装置连接线圈与套管，是设备的核心绝缘导流子系统。自上世纪 80 年代初我国建成第一个 500kV 超高压输电工程起，该类装置因技术难以突破，一直依赖进口。随着 750kV、1000kV 超特高压输电技术的发展，迫切需要攻克出线装置关键技术，支撑变压器/电抗器自主化研制，项目被列入国家科技支撑计划、火炬计划，是《中国制造 2025》重点研发装备。

出线装置制造涉及绝缘材料配方、成型工艺，装置绝缘与导流系统的电、磁、力多物理场协同优化和全工况等效试验验证，需要攻克三方面难题：（1）装置的绝

缘由纸板成型件和油构成，纸板成型件需支撑导流体，机械强度要求高，需要加大纸板厚度和密度，但纸板对油的吸浸性变差，绝缘性能降低。研究材料配方和工艺解决这一矛盾难度大。（2）装置呈 L 形穿越油箱，位于强漏磁区域，电场集中且非对称，与绕组和套管首尾相连，直接受长期振动影响。研究装置结构解决电、磁、力多物理场协同优化，确保可靠性，提高经济性难度大。（3）缺乏对装置电气、机械性能等效合成试验方法，难以严格考核装置的实际性能。项目历时 8 年，产学研联合攻关，取得三方面创新成果：

（1）提出了多浆料混合配方及磨浆工艺，增强了浆料中长纤维骨架支撑和短纤维填充作用以及增大了纤维表面粗糙度，提高了纤维间结合力和纸板对油的吸浸性。研制出 8mm 厚纸板，较国产常规纸板，厚度增加 60%，密度增加 14%，吸浸性增加 10%；提出了粘接剂新配方和压接工艺，提高了纸板压接面的粘结强度与局部放电起始电压，与使用常规粘结剂相比，粘结强度增加 10%，局部放电起始电压提高 102%；提出了各向应力动态调整方法，解决了纸板成型件变形、开裂等问题，变形误差减小 33%。（2）提出了异形隔栅、镂空撑条的支撑结构，增加了稳定性和爬电距离，无需用粘结剂粘接；建立了出线装置电场、磁场、力场的仿真模型，提出了装置结构整体设计方案，研制出 330~1000kV 四种规格成套绝缘出线装置，全部应用于实际工程中。（3）提出了出线装置机械和电气性能联合检测与评估方法，研制了振动、绝缘试验系统，解决了传统检测方法只能将出线装置装配在设备中进行间接试验，考核不严格的问题，实现了出线装置机械和电气性能的直接考核，方法已形成团体标准。

项目获发明专利 16 项，发表论文 55 篇（SCI 6 篇），制定国标 3 项、团标和企标 8 项，获中国机械工业科学技术进步奖一等奖。项目成果打破了国外技术垄断，出线装置实现了批量化生产，已在 7 回特高压工程、国内外 42 回超高压工程中得到推广应用，其中部分产品出口美国、印度、印尼、白俄罗斯等国。此外，项目研发的绝缘纸板还广泛应用于变压器/电抗器的其他绝缘部位。近三年，项目单位新增销售额 8.99 亿元，利润 1.49 亿元，节支建设本约 2.90 亿元。项目成果推动我国变压器装备制造由长期跟随国外发达国家步伐迈进国际一流行列。专家鉴定认为，项目成果达到国际领先水平。项目社会效益显著。

四、客观评价

1. 获奖情况。2013 年度中国机械工业科学技术奖一等奖：超、特高压变压器用绝缘纸板、成型件及出线装置的研发制造和工程应用研究；
2. 技术鉴定。2017 年 6 月 25 日，中国电机工程学会在北京组织召开了“超、特高压变压器/电抗器出线装置关键技术及工程应用”项目技术鉴定会，鉴定委员会认为，项目成果攻克了超、特高压变压器/电抗器绝缘纸板、成型件和出线装置标准化设计和批量生产的关键技术难题，打破了国外供应商的垄断，具有显著的社会效益、经济效益和推广应用前景。该项目研究成果达到同类产品国际先进水平，其中特高压出线装置结构设计和试验考核技术达到国际领先水平。

3. 查新报告。查新结果表明，项目开展的以下技术要点：1) 湿造单层纸页定量控制，纸浆配比研究；2) 绝缘成型件产品结构、压力、温度、时间的工艺控制曲线；3) 出线装置性能三维场域评估方法、标准化设计方案和组装工艺技术；4) 异型隔栅和卡板一体化制造的新型特高压出线装置结构；5) 出线装置组装工艺技术路线、胶粘剂粘接工艺；6) 设计专用夹具，利用宽带随机振动及冲击振动考核出线装置机械性能的试验方案；7) 出线装置绝缘试验系统及基于油纸绝缘结构伏秒特性的绝缘裕度试验方案，在所检出的国内外相关文献中未见报道。

4. 国内外同行评价。2014 年，项目第一完成人受邀参加在法国巴黎召开的 CIGRE2014 年度大会，做了题为《Research on the Insulation Reliability for the Lead Exit of 1000kV Transformer》（中文题目：1000kV 变压器出线装置绝缘可靠性研究）的演讲，其研究成果受到了 ABB、Siemens 等变压器制造厂家的广泛认可。

5. 媒体报导。1) 2013 年 11 月 11 日《科技日报》报导：研制的超、特高压绝缘纸板、成型件及出线装置已经成功应用于超、特高压输电工程中，推动了我国输变电行业的技术进步，大幅降低了国内变压器的生产成本，满足了全国各大变压器厂的应用。仅在淮南至上海 1000kV 交流输电示范工程中就节支 1.22 亿元。2) 2010 年 9 月 28 日《凤凰网》报导：特高压出线装置的振动试验尚属国内首例，填补了国内空白，是继国产特高压出线装置通过电气绝缘试验考核后的又一重大突破。该项试验的成功说明我国特高压出线装置的设计、生产能力已经达到世界先进水平。3) 2009 年 12 月 30 日《中国机械工业联合会机经网》报导：中国首台交流 1000kV 出线装置一次性顺利通过全部绝缘试验考核项目，试验结果符合设计要求和国家特高压技术标准，完全可以替代进口同类产品。这意味着我国彻底扭转了 1000kV 出线装置单纯依靠进口的局面，标志着我国特高压输电线路重大设备和关键部件国产化工作实现了重大突破。4) 2013 年 7 月 9 日，中共中央政治局委员、国务院副总理马凯在视察特变电工沈变公司时，对特变电工沈变公司和国内其他厂家发展的套管、出线绝缘装置等产业，作出了评价：特变电工掌握了世界节能输电领域的核心技术，要继续加大投入，加快推动自主国产化，装备中国，装备世界，为国争光！

6. 项目验收意见。2012 年“1000kV 电力变压器高压出线绝缘设计及结构研究”项目通过验收，专家认为：该项目完成了合同规定的研究内容，研究成果在特高压交流出线装置的结构设计达到了国际先进水平，其中在试验考核研究方面达到国际领先水平。

7. 客户评价。应用项目成果所生产的超、特高压出线装置已在皖电东送、锡盟-山东、蒙西-天津南等 7 回特高压工程、42 回国内外超高压工程中得到应用，产品长期运行稳定、可靠。为优化地区能源资源配置这一国家重大战略，提供了重要技术支撑，有效缓解了地区供电紧张的局面，提高了区域电网互联能力以及富余的核电、风电外送能力。其中浙北—福州 1000 千伏特高压交流输变电工程获得了 2016 年度国家优质工程金质奖。

五、推广应用情况

项目的研究成果，已在多回工程项目中验证，产品最早于 2013 年 9 月应用于皖电东送特高压工程中，至今已稳定运行近 4 年。截止 2017 年底，近 3 年已有 31 套 1000 千伏出线装置应用于浙北-福州、锡盟-山东等 7 回特高压工程。448 套出线装置应用于甘肃桥湾、兰州东扩建工程、国电大渡河、金中项目等超高压工程中，其中部分随变压器、电抗器应用于美国、印度、巴基斯坦、印尼等海外项目。产品还在兰新、南广、重渝等高铁和山西中南通道等重载铁路工程中得到应用。通过有效运用核心技术，打破了国外技术壁垒和垄断，平抑了高端输变电产品的价格，有力地推动了产业发展，创造了巨大经济效益。对提升我国电力装备制造业水平、满足电力发展对持久可靠装备供应的需要具有重要意义。主要应用单位情况表如下：

表 1 主要应用单位情况表

| 应用单位名称 | 应用技术 | 应用的起止时间 | 应用单位联系人/电话 | 应用情况 |
|-----------------|------|---------------|-----------------|--|
| 国网安徽省电力公司 | 出线装置 | 2013 年 9 月至今 | 陈庆 13485694578 | 皖电东送工程 |
| 国网福建省电力有限公司 | 出线装置 | 2014 年 12 月至今 | 陈新 13799990246 | 浙北-福州工程 |
| 国网甘肃省电力公司 | 出线装置 | 2014 年 10 月至今 | 王锋 13919319270 | 桥湾、兰州东等工程 |
| 国网内蒙古东部电力有限公司 | 出线装置 | 2016 年 7 月至今 | 李海明 18686055196 | 锡盟-胜利工程 |
| 国网冀北电力有限公司 | 出线装置 | 2016 年 6 月至今 | 杨大伟 13811568376 | 锡盟-山东工程 |
| 西安西电变压器有限责任公司 | 出线装置 | 2013 年 9 月至今 | 黄建华 13571962364 | 皖电东送、浙北-福州、榆横-潍坊等工程，以及海外项目。 |
| 特变电工沈阳变压器集团有限公司 | 出线装置 | 2013 年 9 月至今 | 杜勇锋 18698882941 | 锡盟-胜利工程、平圩电厂工程、浙北-福州工程。 |
| 保定天威保变电气股份有限公司 | 出线装置 | 2013 年 9 月至今 | 马明元 15200069971 | 浙北-福州、锡盟-山东、蒙西-天津南、国电大渡河、金中工程，以及海外项目。 |
| 泰州新源电工器材有限公司 | 出线装置 | 2010 年 3 月至今 | 季滢 18112196599 | 皖电东送、浙北-福州、锡盟-山东、榆横-潍坊等工程；西变、沈变、保变等变压器厂。 |
| 常州市英中电气有限公司 | 出线装置 | 2010 年 3 月至今 | 李洪 13776389599 | 保变、西变、沈变、等国内外变压器厂；浙福工程、浙北-福州、兰新高铁、宝兰高铁、兰新重载铁路、南广重载铁路等工程。 |

六、主要知识产权目录

| 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 | 发明专利有效状态 |
|--------|--------------------------|--------|------------------|-----------|---------|------------------------|---|----------|
| 发明专利 | 一种特高压出线装置绝缘可靠性试验系统 | 中国 | ZL201110213437.X | 2014/8/27 | 1472514 | 中国电力科学研究院、国家电网公司 | 李金忠、李光范、李博、孙建涛、刘东升、刘锐、张书琦 | 有效 |
| 发明专利 | 超特高压交流变压器出线装置 | 中国 | ZL201210495198.6 | 2016/1/6 | 1910026 | 常州市英中电气有限公司 | 俞英忠 | 有效 |
| 发明专利 | 一种变压器均压球外绝缘辅助加工装置及方法 | 中国 | ZL201410410186.8 | 2016/9/14 | 2234948 | 泰州新源电工器材有限公司 | 高步林、陈佳勇、朱和生、李昊、尤启林、沙郑 | 有效 |
| 发明专利 | 超特高压变压器绝缘件的湿法成型工艺 | 中国 | ZL201210457533.3 | 2014/9/10 | 1479392 | 常州市英中电气有限公司 | 俞英忠 | 有效 |
| 发明专利 | 一种特高压变压器的高压出线装置 | 中国 | ZL200910023677.6 | 2011/6/15 | 793748 | 中国西电电气股份有限公司 | 谢庆峰、韩晓东、孟丽坤 | 有效 |
| 发明专利 | 制造高密度大张绝缘纸板的设备及方法 | 中国 | ZL200810146852.6 | 2012/5/2 | 941210 | 常州市英中电气有限公司 | 俞英忠、张小夏、陆锡明、章梓庆、盛德 | 有效 |
| 发明专利 | 用于超高压或特高压变压器的绝缘均压球及其制造方法 | 中国 | ZL200810146854.5 | 2011/4/20 | 762121 | 常州市英中电气有限公司 | 俞英忠 | 有效 |
| 发明专利 | 一种交流变压器出线装置 | 中国 | ZL201610114517.2 | 2017/1/14 | 2695642 | 泰州新源电工器材有限公司、中国电力科学研究院 | 李金忠、高步林、韩先才、朱和生、王晓宁、李熏柏、王绍武、孙岗、孙建涛、张书琦、高飞、程涣超、王宁华、赵志刚 | 有效 |
| 发明专利 | 用于超特高压变压器的绝缘压环及其生产工艺 | 中国 | ZL201210458567.4 | 2015/1/28 | 1826336 | 常州市英中电气有限公司 | 俞英忠 | 有效 |
| 发明专利 | 一种变压器用高压出线装置 | 中国 | ZL200810012908.9 | 2012/5/23 | 955071 | 特变电工沈阳变压器集团有限公司 | 王相中、王健、李桂苹 | 有效 |

七、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 | 对项目技术创造性贡献 |
|-----|----|------|------|----------------|----------------|---|
| 李金忠 | 1 | 所总工 | 教高 | 中国电力科学研究院有限公司 | 中国电力科学研究院有限公司 | 对创新点1、2、3作出重要贡献。作为项目主要负责人，具体协调各项研究工作的开展与实施，参与了1000千伏特高压交流出线装置标准化设计方案、机械性能试验方案、绝缘裕度试验方案的制定工作，在保证项目有序、顺利开展方面发挥了至关重要的作用。（旁证材料：发明专利2项，论文14篇）。 |
| 高步林 | 2 | 总经理 | 高工 | 泰州新源电工器材有限公司 | 泰州新源电工器材有限公司 | 对创新点1作出重要贡献。作为超、特高压出线装置关键技术及工程应用项目制造企业负责人，协调项目的开展与实施，主持油纸绝缘纸板及成型件关键生产技术的研究，参与特高压出线装置机械性能测试相关研究。（旁证材料：发明专利项、标准4项、论文3篇） |
| 刘东升 | 3 | 副总经理 | 教高 | 保定天威保变电气股份有限公司 | 保定天威保变电气股份有限公司 | 对创新点2、3作出重要贡献。参与完成超、特高压变压器/电抗器出线装置标准化设计方法研究、生产工艺水平完善、产品检验、以及试验研究等方面的工作。（旁证材料：发明专利1项，论文1篇） |
| 俞英忠 | 4 | 总经理 | 高工 | 常州英中电器有限公司 | 常州英中电器有限公司 | 对创新点1作出重要贡献。参与完成高性能绝缘纸板及成型件关键技术研究，参与特高压出线装置机械性能测试相关研究工作。（旁证材料：发明专利6项，标准2项） |
| 韩先才 | 5 | 副主任 | 教高 | 国家电网公司 | 国家电网公司 | 对创新点2、3作出重要贡献。作为项目的主要完成人，具体协调各项研究工作的开展与实施，参与完成特高压出线装置的标准化设计工作，参与制定了出线装置机械性能及绝缘裕度试验方案。在保证项目的有序、顺利开展方面发挥了至关重要的作用。（旁证材料：发明专利1项、标准1项） |
| 王绍武 | 6 | 副主任 | 教高 | 国家电网公司 | 国家电网公司 | 对创新点2作出重要贡献。协调项目的开展与实施，参与特高压出线装置油纸绝缘结构优化设计研究、参与特高压出线装置绝缘试验系统研制及长时工频耐压试验方法研究。（旁证材料：发明专利1项） |
| 孙建涛 | 7 | 无 | 高工 | 中国电力科学研究院有限公司 | 中国电力科学研究院有限公司 | 对创新点2、3作出重要贡献。参与了特高压出线装置电场计算校核工作，完成了特高压出线装置的驻场监造工作，参与了出线装置绝缘裕度的试验研究和理论研究，制定了特高压出线装置机械性能及绝缘裕度试验 |

| | | | | | | |
|-----|----|-----------|----|---------------------------|-----------------------|---|
| | | | | | | 方案。（旁证材料：发明专利 2 项，论文 2 篇） |
| 谢庆峰 | 8 | 副总 经理 | 教高 | 西安西电 变压器有 限责任公 司 | 西安西电变 压器有限责 任公司 | 对创新点 2、3 作出重要贡献。协调西安西电变压器有限责任公司配合项目研究工作开展与实施，参与出线装置绝缘结构的优化设计、验证计算、制造工艺研究工作，参与建立特高压出线装置绝缘试验系统，制定其机械、电气性能考核方法，并参与完成出线装置制造过程中关键工艺和检验考核方法等方面标准化文件的编制工作。（旁证材料：发明专利 1 项，论文 1 篇） |
| 张书琦 | 9 | 室主任 | 高工 | 中国电力 科学研究 院有限公 司 | 中国电力科 学研究院有 限公司 | 对创新点 2、3 作出重要贡献。参与了特高压出线装置电场计算校核工作，完成了特高压出线装置的驻场监造工作，参与了出线装置绝缘裕度的试验研究和理论研究，制定了特高压出线装置机械性能及绝缘裕度试验方案。（旁证材料：发明专利 2 项，论文 2 篇） |
| 汲胜昌 | 10 | 教研 室主任 | 教授 | 西安交通 大学 | 西安交通大 学 | 对创新点 3 作出重要贡献。参与完成出线装置绝缘裕度的试验研究和理论研究，特高压出线装置机械性能与电气性能试验工作。（旁证材料：论文等 7 篇） |

八、主要完成单位及创新推广贡献

| 完成单位名称 | 排名 | 对项目科技创新和推广应用情况的贡献 |
|----------------|----|---|
| 中国电力科学研究院有限公司 | 1 | <p>中国电力科学研究院高电压研究所作为项目的承担单位，完成超、特高压变压器/电抗器出线装置标准化设计方法研究、生产工艺水平完善、产品检验及试验研究等方面的工作。成功研制了我国首套具有自主知识产权的特高压出线装置；建立了特高压出线装置绝缘试验系统及全面的电气性能考核方法，验证了国产特高压出线装置长期运行的可靠性；提出了机械性能考核方法，有效考核了出线装置在实际运输及运行条件下的机械性能；提出了超、特高压出线装置的制造过程中关键的生产工艺和检验考核方法，形成了包括特高压出线装置的设计、制造、检验等整套标准化文件。</p> <p>成果应用于“皖电东送”淮南至上海特高压交流输电示范工程，对打破国外在关键绝缘材料供货领域的垄断地位、满足电力发展对持久可靠装备供应的需要具有重要意义。</p> |
| 泰州新源电工器材有限公司 | 2 | 作为项目的协作单位，依托国家火炬计划、国家电网公司科技项目，泰州新源电工组织开展了绝缘纸板性能提升、特高压绝缘成型件生产工艺研究和检测方法研究。完成超、特高压变压器/电抗器高压出线装置生产工艺制定以及产品检验等方面的工作。提出了超、特高压出线装置的制造过程中关键的生产工艺。 |
| 常州市英中电气有限公司 | 3 | 常州市英中电气有限公司作为项目的协作单位，完成特高压变压器/电抗器用高压出线装置的生产制造以及工艺过程的完善，同时建立了特高压绝缘纸板、湿法成型件以及层压成型件技术标准，以及特高压出线装置检验等方面的工作。提出了特高压出线装置制造过程中的关键生产工艺要求。 |
| 保定天威保变电气股份有限公司 | 4 | 保定天威保变电气股份有限公司作为项目的协作单位，组织开展了超、特高压变压器/电抗器高压出线装置标准化设计方法研究、生产工艺水平完善、产品检验及试验研究等方面的工作。参与研制了我国首套具有自主知识产权的特高压出线装置；建立了特高压出线装置绝缘试验系统及全面的电气性能考核方法，验证了国产特高压出线装置长期运行的可靠性；提出了特高压出线装置的制造过程中关键的生产工艺和检验考核方法，参与完成了包括特高压出线装置的设计、制造、检验等整套标准化文件编写工作。 |
| 西安西电变压器有限责任公司 | 5 | 西安西电变压器有限责任公司作为项目的协作单位，配合开展和实施了超、特高压出线装置关键技术及工程应用的关键技术研究、结构设计、计算验证、规范编制等工作，实现了特高压出线装置国产化，为我国超、特高压输变电发展和工程建设提供了强力支持。完成了超、特高压变压器/电抗器出线装置标准化设计方法研究等方面的工作。参与研制了我国首套具有自主知识产权的特高压出线装置；参与制定了包括特高压出线装置的设计、制造、检验等整套标准化文件。 |
| 西安交通大学 | 6 | 西安交通大学作为项目的协作单位，参与了特高压变压器/电抗器高压出线装置典型油纸结构绝缘裕度考核的研究工作，完成了特高压出线装置机械性能与电气性能试验工作。测试获得多台高电压等级电力变压器的振动数据并统计其频谱分布，为三维振动试验系统的搭建提供依据。获得了不同结构油纸绝缘伏秒特性，建立了局部放电起始电压和低概率击穿电压 |

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| | | 的计算模型，建立了特高压出线装置绝缘试验系统及全面的机械性能与电气性能的考核方法，验证了国产特高压出线装置长期运行的可靠性。 |
| 特变电工 沈阳变压 器集团有 限公司 | 7 | 特变电工沈阳变压器集团有限公司作为项目的协作单位，参与完成特高压变压器/电抗器高压出线装置标准化设计方法研究等方面的工作。验证了国产特高压出线装置长期运行的可靠性；参与制定了特高压出线装置的制造过程中关键的生产工艺和检验考核方法，及特高压出线装置的设计、制造、检验等整套标准化文件。 |

九、完成合作人关系说明

1. 共同立项：项目针对超、特高压变压器与电抗器出线装置的技术难题，建立了产、学、研、用的联合攻关模式。中国电力科学研究院有限公司、西安交通大学及相关变压器、绝缘件厂家等科技攻关团队，以李金忠为项目总负责人，有机合作、相互支撑、信息共享，申请了多项科技项目。包括 1) 国家科技支撑计划“1000kV 交流输变电工程变压器核心技术的研究”；2) 国家科技支撑计划“1000kV 交流输变电工程电抗器核心技术的研究”；3) 国家火炬计划“超、特高压变压器绝缘成型件出线装置”；4) 国家电网公司科技项目“1000kV 电力变压器高压出线绝缘设计及结构研究”；5) 国家电网公司科技项目“交直流混联电网变电站高压设备的基础问题研究”。

2. 共同研究：根据研究与试验需要，从以下四个方面组织团队研究人员进行协同攻关并共同申报了科研成果：1) 在绝缘结构设计方面，李金忠、高步林、刘东升、俞英忠、韩先才、孙建涛、谢庆峰、张书琦等进行出线装置绝缘技术难点攻关，发表论文“超、特高压交流变压器出线绝缘结构的设计和应用”，“交流 750kV 变压器出线装置国产化核心技术”2 篇，制定“T / CSEE 0002-20151000kV 变压器 / 电抗器用高压出线装置选用导则”团体标准 1 项。2) 在绝缘纸板、成型件以及出线装置研制方面，李金忠、高步林、俞英忠、等提出了绝缘纸板、绝缘成型件的新型生产工艺，提出了出线装置的新型支撑结构，并进行了生产制造。共同制定“1000kV 特高压交流油浸式电力变压器用绝缘纸板及纸质绝缘成型件选用导则”企业标准，授权发明专利 ZL201610114517.2。3) 在出线装置试验考核方面，李金忠、韩先才、王绍武、刘东升、孙建涛、张书琦、汲胜昌等共同建立了出线装置电气性能和机械性能试验系统，参与进行出线装置装机试验考核。发表文章“特高压变压器高压出线装置长时工频耐压下绝缘性能试验研究”、“Partial discharge development in needle-plane configuration of oil-paper insulation under AC voltage” 2 篇，发明专利 ZL201110213437.X。

3. 共同获奖：李金忠等项目主要完成人共同荣获以下奖励：2013 年度中国机械工业科学技术奖一等奖：超、特高压变压器用绝缘纸板、成型件及出线装置的研发制造和工程应用研究。

完成人合作关系情况汇总表

| 序号 | 合作方式 | 合作者 | 合作时间 | 合作成果 | 备注 |
|----|----------|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|----|
| 1 | 共同立项 | 李金忠、高步林、孙建涛、俞英忠、刘东升、谢庆峰、张书琦 | 2009年~2012年 | 1000kV电力变压器高压出线绝缘设计及结构研究 | |
| 2 | 共同立项 | 李金忠、汲胜昌 | 2015年~2016年 | 交直流混联电网变电站高压设备的基础问题研究 | |
| 3 | 共同参与制定标准 | 韩先才、李金忠、孙建涛、高步林、俞英忠、张书琦 | 2012年~2013年 | 1000kV变压器/电抗器用高压出线装置选用导则 | |
| 4 | 共同知识产权 | 李金忠、高步林、韩先才、王绍武、孙建涛、张书琦 | 2012年~2013年 | 一种交流变压器出线装置 | |
| 5 | 共同知识产权 | 李金忠、刘东升、孙建涛、张书琦 | 2012年~2013年 | 一种特高压出线装置绝缘可靠性试验系统 | |
| 6 | 共同发表文章 | 李金忠、孙建涛、张书琦 | 2012年~2013年 | 特高压变压器高压出线装置长时工频耐压下绝缘性能试验研究 | |
| 7 | 共同获奖 | 李金忠、高步林、刘东升、俞英忠、孙建涛、张书琦、谢庆峰 | 2006年~2013年 | 超、特高压变压器用绝缘纸板、成型件及出线装置的研发制造和工程应用研究。 | |