**参与申报吉林省科学技术奖拟提名项目公示**

（2025年度）

**一、项目名称**

寒冷地区干式空心并联电抗器运行可靠性提升关键技术与应用

**二、提名者**

国网吉林省电力有限公司

**三、提名等级**

科技进步奖二等奖

**四、项目简介**

近年来，全国各省区均出现不同程度干式空心并联电抗器(简称“干抗”)烧损故障,寒冷地区冬季故障发生的数量及频次尤为突出，严重影响电网的安全运行。干抗的可靠运行面临四大严峻挑战：一是干抗故障内在机理不清，包封工艺及材料改进技术严重欠缺，故障持续发生；二是常规诊断试验不能发现干抗内部早期微裂纹缺陷，缺乏可信的缺陷检测和故障诊断方法；三是有效在线监测手段不足，干抗故障多数发展成对地闪络、匝间短路甚至引发火灾，预警不及时；四是投切过电压破坏匝间绝缘，加剧缺陷危害，缺少有效的投切过电压抑制技术。

本项目历经十余年完成了寒冷地区干抗故障历程分析、多物理场仿真、低温特性试验、干抗包封微裂纹探测与修复、在线监测及防护装置开发，解决了上述问题，取得的主要创新成果如下：

（1）发现降温过程中包封周向高幅值热致压缩应力是导致绝缘层开裂并引发干抗故障的内在机理，提出了降低干抗包封开裂的综合工艺改进技术，基于新型工艺的产品实践验证效果良好。

（2）研发了高渗透性光固化树脂绝缘材料及微裂纹探测与修复装置，实现了低温下狭小扁平空间内包封微裂纹的精准探测及快速修复，微裂纹最小可识别宽度为0.17mm，有效光固化时间小于1min。

（3）提出了基于三相功率因数相间变化量的干式空心并联电抗器匝间短路预警技术，研制了可辨识任一匝间短路的在线监测装置并挂网运行。

（4）探明了干抗操作过电压的影响因素及程度，提出了阻容加避雷器组合式抑制操作过电压技术，研制具有故障自脱离功能组合式并联电抗器过电压防护装置并完成现场应用。

项目共授权发明专利12项、授权实用新型专利2项，发表论文13篇，制订行业标准1项。以雷清泉院士为主任委员的鉴定委员会认定：“该项目成果在干式空心并联电抗器故障机理研究、微裂纹修复材料、监测预警及过电压防护技术方面达到国际领先水平”。

项目开发的干抗微裂纹识别与修复技术、匝间短路监测技术、投切过电压抑制技术已应用于5家电网企业，寒冷地区干抗故障率由1.5次/百台 ·年降低到0.5次/百台 ·年以下，减少了干抗的非计划停运，近三年节支五千余万元。基于干抗包封复合材料特性研发的包封综合工艺改进技术，促进了6家制造企业的技术进步，提升产品的低温适应性及市场竞争力，具有明显的经济效益，近三年新增销售额近亿元；同时，成果对提升电网供电质量,助力北方冬季新能源外送等方面具有显著的社会效益。

**五、主要完成单位**

国网吉林省电力有限公司电力科学研究院、国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院、哈尔滨理工大学、中国电力科学研究有限公司、珠海市伊特高科技有限公司

**六、主要完成人及其贡献**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目技术创造性贡献 |
| 赵春明 | 1 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1、2、3、4有贡献。负责领导整个项目科研攻关工作，通过低温试验发现了干式空心电抗器包封绝缘开裂的动力学机理，参与开发了包封修复材料和微裂纹探测及修复装置，研制了干式空心并联电抗器匝间短路监测装置，仿真分析了SF6断路器三相投切干抗的过电压幅值问题并进行了实测工作。 |
| 林海丹 | 2 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1、2、3、4有贡献。负责开发了包封修复材料和微裂纹探测及修复装置，参与干式空心电抗器包故障机理研究，以及干式空心并联电抗器匝间短路监测装置的开发，仿真分析了SF6断路器三相投切干抗的过电压影响因素。 |
| 于群英 | 3 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1、2、3、4有贡献。主要参与开展干式空心电抗器低温特性试验，干式空心并联电抗器匝间短路监测装置及包封爬行机器人的开发；仿真分析了SF6断路器三相投切干抗的过电压幅值问题，并开展投切干抗的过电压现场实测，提出过电压防护措施。 |
| 杨代勇 | 4 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1、2、3、4有贡献。参与了干式空心电抗器包封绝缘开裂机理及包封修复材料的研究，参与开发了干式空心并联电抗器匝间短路监测装置，并开展投切干抗的过电压现场实测，完善过电压防护措施。 |
| 王永红 | 5 | 哈尔滨理工大学 | 哈尔滨理工大学 | 对创新点1、3、4有贡献。参与了干式空心电抗器包封绝缘开裂机理，干式空心并联电抗器匝间短路监测装置的研究，仿真分析了SF6断路器三相投切干抗的过电压幅值问题，并开展投切干抗的过电压现场实测，负责开发了障自脱离式并联电抗器过电压吸收装置。 |
| 司昌健 | 6 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1、3、4有贡献。通过低温试验发现了干抗包封绝缘破损机理并提出新的包封结构，详细计算了干式空抗匝间短路后故障电流，设计三相投切干抗的过电压现场测试方案，并进行现场过电压实测。 |
| 张 健 | 7 | 国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院 | 国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1、3、4有贡献。提出可以防止干式空心电抗器包封防开裂措施，探索电抗器匝间短路监测方法，参与开发了障自脱离式并联电抗器过电压吸收装置。 |
| 林 浩 | 8 | 中国电力科学研究有限公司 | 中国电力科学研究有限公司 | 对创新点1有贡献。对电抗器包封微裂纹形成提出研究方向，提出了一种干式空心电抗器低温性能检测方法。 |
| 杨晶莹 | 9 | 国网吉林省电力有限公司 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1有贡献。指导干式空心电抗器模型低温试验的开展，提出防止干式空心并联电抗器包封开裂措施。 |
| 刘俊博 | 10 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点4有贡献。参与设计SF6断路器投切干式空心并联电抗器现场测试方案，并组织完成现场测试工作。 |
| 李守学 | 11 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1有贡献。参加干式空心电抗器低温特性试验，发现了干抗包封绝缘开裂及故障频发的故障机理，参与开发抑制干抗包封开裂的新型包封结构及工艺。 |
| 翟冠强 | 12 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1有贡献。参加干式空心电抗器低温特性试验，完成相关试验数据处理，完善新型干式空心电抗器包封结构，并提出相关制作工艺。 |
| 刘春博 | 13 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院 | 对创新点1有贡献。提出降低干式空心电抗器包封开裂的包绕工艺及新型包封结构，完成了试验验证，并在新型包封产品制造过程给予全程技术指导。 |

**七、主要知识产权和其他支撑材料目录**

7.1主要知识产权

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | **权利人** | **发明人** |
| 发明专利 | 变电主设备恒低温高压试验装置及试验方法 | 中国 | ZL201810802794.1 | 2023.12.29 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司 | **于群英**、**杨代勇**、敖明、**赵春明**、**林海丹**、张益云、孙友群、王朔、刘赫、列剑平、矫立新、**刘俊博** |
| 发明专利 | 一种干式空心电抗器低温性能检测方法 | 中国 | ZL201610702593.5 | 2020.03.17 | **中国电力科学研究院**、国家电网公司、北京电力设备总厂有限公司、国网河北省电力公司经济技术研究院 | **林浩**、倪学锋、姜胜宝、国江、张月华、郝文光 |
| 发明专利 | 一种干式空心电抗器包封缝隙爬行机器人及其使用方法 | 中国 | ZL201910640385.0 | 2024.05.07 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司、吉林省中科电缆附件有限公司 | **赵春明**、赵天成、敖明、**林海丹**、刘赫、**杨代勇**、**于群英**、张益云、孙友群、王朔、列剑平、毛士杰、张雷、许文燮 |
| 发明专利 | 一种可快速可见光固化的丙烯酸酯类材料及其制备方法 | 中国 | ZL201910857128.2 | 2021.06.04 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、吉林大学、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司 | **林海丹**、赵成吉、孙一男、刘赫、列剑平、孙友群、杨明、**杨代勇**、赵天成、**于群英** |
| 发明专利 | 一种用于中性点不接地系统干式空心并联电抗器组匝间短路故障在线监测方法 | 中国 | ZL202311150212.3 | 2024.03.19 | **哈尔滨理工大学** | 庄羽、**王永红** |
| 发明专利 | SF6断路器投切干式空心电抗器过电压测试电路及方法 | 中国 | ZL202011277409.X | 2024.11.05 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司、哈尔滨理工大学 | **于群英**、**林海丹**、**赵春明**、**杨代勇**、刘赫、**王永红**、李笑薇、张益云、赵天成、**司昌健**、**刘俊博** |
| 发明专利 | 一种用于干式空心电抗器投切过电压保护的保护电路 | 中国 | ZL201310521672.2 | 2016.02.10 | 国家电网公司、**哈尔滨理工大学**、黑龙江省电力科学研究院 | **王永红**、高自伟、朱学成、聂洪岩、**张健**、赵淼、杨飞 |
| 发明专利 | 一种管道爬行机器人 | 中国 | ZL202010327334.5 | 2024.04.05 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、长春理工大学、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司 | **林海丹**、刘赫、冷雁冰、**赵春明**、**于群英**、杨明、**杨代勇**、张益云、赵天成、许文燮、赵伟夫 |
| 发明专利 | 狭窄扁平空间穿行装置 | 中国 | ZL202010622169.6 | 2024.09.03 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、长春理工大学、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司 | **林海丹**、张轶珠、刘赫、冷雁冰、**杨代勇**、**于群英**、杨明 |
| 发明专利 | 一种电抗器匝间短路故障和匝数偏差检测方法及系统 | 中国 | ZL202010030520.2 | 2022.11.29 | **哈尔滨理工大学** | **王永红**、刘佳林、孟子贺 |
| 发明专利 | 一种RTV防污闪涂料和制备方法 | 中国 | ZL202311037527.7 | 2024.07.26 | **国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院**、国网黑龙江省电力有限公司、国家电网有限公司 | **张健**、刘贺千、陈世玉、王磊、李中原、杨洪达、申昱博、许敏虎、张朋、梁建权、张震 |
| 发明专利 | 一种干式空心电抗器局部绝缘受潮诊断方法 | 中国 | ZL202311679159.6 | 2024.10.15 | **国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院**、国网黑龙江省电力有限公司、国家电网有限公司 | 刘贺千、**张健**、杨洪达、李中原、陈世玉、王磊、许敏虎、张朋、梁建权、申昱博、张震、刘畅、赵书琪、贾海峰 |
| 实用新型 | 一种耐寒抗开裂的干式空心电抗器包封绕制结构 | 中国 | ZL202320355156.6 | 2023.08.08 | 吉林省电力科学研究院有限公司、**国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、国家电网有限公司 | **赵春明**、**刘春博**;**杨晶莹**、**杨代勇**、**于群英**、冷俊、张赛鹏、**翟冠强**、**司昌健**、**刘俊博**、**李守学**、赵伟夫、高昌龙、陈捷元、李嘉帅、白羽、赵天成、栾靖尧、董洪达 |
| 实用新型 | 干式空心并联电抗器组保护取样电路及保护系统 | 中国 |  ZL201821287564.8 | 2019.03.08 | **国网吉林省电力有限公司电力科学研究院**、哈尔滨理工大学、吉林省电力科学研究院有限公司、国家电网公司 | **赵春明**、**王永红**、杨明、庄羽、**杨代勇**、敖明、列剑平、张雷、**于群英**、**林海丹**、朱爱军、张赛鹏、许文燮、刘赫、董洪达、翟艳男 |

7.2技术标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **成果分类** | **成果名称** | **作者** | **出版时间** |
| 标准 | JB/T10775-2020 6kV-66kV干式并联电抗器技术参数和要求 | 张显忠、李霞、侯建国、冯喜伟、付超、巨玲、宁朝辉、薛继银、蔡定国、姜振军、**赵春明** | 2020年4月16日 |
|  |  |  |  |

7.3论文

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **成果分类** | **成果名称** | **作者** | **出版时间** |
| 论文 | 干式空心电抗器应变检测方法及低温条件下应变特性 | **赵春明**、冷俊、**杨晶莹**、**王永红**、庄羽、**于群英**、**杨代勇**、**李守学**、**翟冠强** | 2023年1月20日 |
| 论文 | 基于温度场的干式空心电抗器匝间绝缘破损机理研究 | **于群英**、**赵春明**、**林海丹**、**王永红**、**司昌健**、**杨代勇** | 2022年4月16日 |
| 论文 | A preliminary study on the formation mechanism of microcracks in dry-type air-core shunt reactors（干式空芯并联电抗器微裂纹形成机理的初步研究） | **Hao Lin**; Huihao Guo; **Haidan Lin**; Anlan Mao; Shengbao Jiang（**林浩**、郭慧浩、**林海丹**、毛安澜、姜胜宝） | 2020年12月15日 |
| 论文 | 干式空心电抗器用环氧玻璃纤维复合材料协同增韧改性及性能研究 | **张健**、刘贺千、朱勇行、李中原、杨洪达、**赵春明** | 2024年7月20日 |
| 论文 | 干式空心电抗器包封绝缘裂纹图像识别方法的设计与实现 | 尹晶、郭慧浩、**林海丹**、毛安澜、刘赫、**于群英** | 2022年12月25日 |
| 论文 | Preparation and properties of a new bio-based epoxy resin/diatomite Composite （新型生物基环氧树脂/硅藻土复合材料的制备及性能研究） | Xuefeng Li; **Haidan Lin**; Hao Jiang; Yizhu Zhang; Binghui Liu; Yinan Sun; Chengji Zhao（李雪峰，**林海丹**、姜昊，张轶珠，刘柄辉，孙一男，赵成吉） | 2021年5月 |
| 论文 | 自修复热固性树脂材料的研究进展与展望 | 孙友群、**林海丹**、刘赫、列剑平、**杨代勇**、**于群英**、**赵春明**、赵天成、杨明 | 2024年6月 |
| 论文 | 匝间短路干式空心并联电抗器电气参数变化 | **赵春明**、**王永红**、敖明、庄羽 | 2019年3月25日 |
| 论文 | 匝间短路干式空心并联电抗器故障电流分析 | **赵春明**、朱大铭、**司昌健**、**王永红** | 2017年9月25日 |
| 论文 | SF6断路器投切66kV干式并联电抗器过电压及抑制防护技术研究 | **于群英**、**赵春明**、**杨代勇**、刘赫、张益云 | 2020年5月16日 |
| 论文 | 干式空心并联电抗器切断过电压组合式保护 | 高自伟、朱学成、**张健**、赵淼、杨飞、**王永红** | 2015年8月 |
| 论文 | 干式空心并联电抗器投切过电压现场测试与分析 | **于群英**、金鑫、黄涛、葛志成、史晓飞、崔天城 | 2021年10月 |
| 论文 | 雷电冲击电压下空心电抗器电压分布特性研究 | 申昱博、**张健**、陈莉娟、刘骥 刘贺千、张明泽、朱东柏 | 2021年6月 |