**项目名称：高压柔性直流输电换流阀关键技术、设备及工程应用**

 **推荐等级：一等奖**

**项目简介**：

随着我国经济发展和能源结构的不断变化，我国在风能、太阳能等可再生能源发电方面的投入不断加大，但由于其固有的分散性、小型性、间歇性和远离负荷中心的特点，使得采用交流输电技术或传统直流输电技术的联网系统有很多缺陷。基于大功率全控器件的柔性直流输电技术凭借其优越特性必将成为直流输电技术的未来发展方向。

柔性直流换流阀作为柔性直流系统的核心装备，其设计、制造与试验关键技术的突破及工程推广应用，将有效推动高压大容量柔性直流技术的发展和应用，有力支撑直流电网乃至全球能源互联网建设。

许继集团有限公司凭借自主创新，以成熟的常规特高压直流输电换流阀技术与大功率电力电子技术为基础，全面攻克了高压柔性直流换流阀技术研究、产品设计、制造工艺及等效试验等成套关键技术，研制了具有自主知识产权的±320kV/1000MW、±200kV/100MW柔性直流换流阀及高速阀控设备，具备了产业化条件并实现过了工程应用，是柔性直流技术领域的重大技术突破，占领了世界电力科技制高点，并带动了相关产业的发展。

**主要技术内容如下：**

**1）高压柔性直流换流阀：**提出换流阀电磁特性分析与宽频等效建模技术、换流阀过电压分析与绝缘配合技术、换流阀机械应力分析与抗震技术、换流阀热应力分析与冷却技术和换流阀等效试验技术，研制换流阀关键零部件、子模块、阀组件及阀塔设计，突破并掌握其制造工艺及试验方法，开发出换流阀样机，构建了等效试验系统，并通过例行和型式试验验证。

**2）高速双冗余柔性直流阀控：**完成大规模多节点柔性直流换流阀功率模块接入技术、微秒级同步触发及在线监控与故障预警技术、子模块电压高性能平衡控制技术、故障子模块快速冗余切换技术等关键技术研究，完全自主开发完成阀控系统软硬件设计，突破并掌握其制造工艺与试验方法，成功开发出MVCE300型阀控产品，通过例行和型式试验验证。

**3）工程应用：**产品通过运行型式试验和绝缘型式试验验证，±320kV/1000MW柔性直流换流阀成功通过国家能源局科技成果鉴定，±200kV/100MW柔性直流换流阀及阀控成功应用于世界上首个五端柔性直流示范工程-舟山多端柔性直流输电工程。

**换流阀主要技术指标：**1）额定直流电压：±320kV、±200kV；2）额定电流：1500A、800A；3）冷却方式：去离子水冷却；4）支撑式双列式阀塔。

**阀控设备主要技术指标：**1）单桥臂子模块控制能力432个，2）子模块控制同步性≤1us，3）子模块电压不平衡度≤3%。

项目授权发明专利22项，实用新型专利9项，发表论文9篇，软件著作权2项，国家能源局技术鉴定1项。项目成功应用于世界上首个五端柔性直流工程-舟山多端柔性直流重大科技示范工程中，近三年为许继创造新增产值3.35亿元。2017年1月中标国网公司渝鄂直流背靠背联网工程，合同额9.8亿元。

**推广应用情况**：

本项目研制的高压柔性直流换流阀成功应用于世界上首个五端柔性直流工程-舟山多端柔性直流重大科技示范工程，如下图所示。

本项目供货的舟山工程洋山换流站的换流阀设备

公司供货给舟山多端柔性直流输电示范工程的换流阀设备（含洋山站和泗礁站各一套±200kV/100MW柔性直流换流阀设备）于2014年7月成功投运，截至目前舟山柔直累计输送负荷近58000万kWh，保证了舟山群岛电网运行稳定性和供电可靠性。

2017年1月中标国网公司渝鄂直流背靠背联网工程，合同额9.8亿元。

**曾获科技奖励情况**：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 获奖项目名称 | 获奖时间 | 奖项名称 | 奖励等级 | 主要获奖人（前5名） | 授奖单位 |
| 高压柔性直流输电换流阀关键技术、设备及工程应用 | 2017年4月 | 许昌市科技进步 | 特等奖 | 1姚为正、2胡四全、3范彩云、4刘刚、5吴金龙 | 许昌市人民政府 |

**主要完成单位及创新推广贡献**：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单位名称 | 完成单位排序 | 创新推广贡献 |
| 许继集团有限公司 | 第一 | 1）针对柔性直流输电技术需求、未来的发展趋势及产业化前景，组织实施了高压大容量柔性直流输电换流阀的关键技术研究与设备研制，开发了换流阀运行试验系统及阀控物理动模试验系统，实现了换流阀产品的工程应用与产业化。除此之外，本项目的成功实施拉动了上游配套产业的技术提升和发展，使大部分关键配套零部件产业达到国际领先水平。同时建设世界一流的柔性直流核心设备试验能力，为柔性直流输电技术创新和容量的持续提升提供试验保障能力。2）组织实施高压大容量柔性直流输电换流阀系列产品技术鉴定、产品的市场推广及工程应用。其中，±320kV/1000MW柔性直流输电换流阀通过运行与绝缘型式试验，并通过国家能源局科技成果鉴定；±200kV/400MW/300MW/100MW换流阀成功通过型式试验。±200kV/100MW柔性直流输电换流阀成功应用于世界上首个五端柔性直流输电工程—浙江舟山多端柔性直流输电重大科技示范工程，目前运行良好，显著增强了舟山海岛电网稳定性，并得到用户的高度认可。 |
| 许继电气股份有限公司 | 第二 | 1）突破和掌握了高压大容量柔性直流输电换流阀关键技术：完成高压大容量柔性直流输电换流阀电磁特性分析与等效建模研究、多物理场应力分析与计算技术、绝缘配合研究，掌握成套设计技术，成功开发成套设计软件包，完成换流阀关键零部件、子模块、阀组件及阀塔设计，突破并掌握其制造工艺及试验方法，成功开发出换流阀样机，并通过例行和型式试验。2）突破和掌握了高速双冗余柔性直流输电阀控关键技术：完成大规模多节点柔性直流输电换流阀功率模块接入技术、微秒级同步触发及监控技术、子模块电压高性能平衡控制技术、故障子模块快速冗余切换技术等关键技术研究，完全自主开发完成阀控系统软硬件设计，突破并掌握其制造工艺与试验方法，成功开发出MVCE300型阀控产品，通过例行和型式试验验证；3）产品通过运行（型式）试验和绝缘（型式）试验验证，其中±320kV/1000MW柔性直流输电换流阀成功通过国家能源局科技成果鉴定，±200kV/100MW柔性直流输电换流阀及阀控成功应用于世界上首个五端柔性直流输电示范工程-浙江舟山多端柔性直流输电示范工程。 |
| 西安许继电力电子技术有限公司 | 第三 | 重点开展高压大容量柔性直流输电换流阀及其控制保护关键技术研究，主要包括换流阀拓扑研究及主参数设计、换流阀系统建模与仿真、换流阀电场分析、换流阀试验技术理论研究、换流阀控制保护策略研究等，为换流阀及高速阀控设备的研制提供了理论与技术支撑。此外，参与柔性直流输电示范工程建设，为换流阀工程调试与投运提供了技术支撑。 |
| 上海理工大学 | 第四 | 通过开展柔性直流输电基础理论、控制保护策略及仿真技术研究，突破了高速双冗余柔性直流输电高速阀控关键技术，为解决大规模多节点柔性直流输电换流阀功率模块子模块电压高性能平衡控制、桥臂环流抑制等工程技术难题提供了理论支撑。 |

**主要知识产权证明目录**：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 专利有效状态 |
| 发明专利 | 柔性直流输电模块化多电平换流器的调制方法及控制装置 | 中国 | ZL 2013 1 0260204.4 | 2016-2-3 | 1942850 | 许继电气股份有限公司、西安许继电力电子技术有限公司 | 姚为正、张建、刘欣和、吴金龙、韩坤、梁燕、赵洋洋 | 有效 |
| 发明专利 | 模块化多电平柔性直流输电阀控系统与极控系统通信方法 | 中国 | ZL 2011 1 0447970.2 | 2015-6-3 | 1680795 | 许继电气股份有限公司、国家电网公司 | 姚为正、张建、胡四全，吉攀攀，俎立峰，杨清波，董朝阳，王林，陈同浩，魏卓 | 有效 |
| 发明专利 | 一种MMC上下桥臂分离控制方法 | 中国 | ZL 2013 1 0259329.5 | 2015-11-11 | 1834866 | 许继电气股份有限公司、西安许继电力电子技术有限公司 | 姚为正、张建、王先为、吴金龙、韩坤、刘普 | 有效 |
| 发明专利 | 一种模块化多电平柔性直流输电换流器的启动方法 | 中国 | ZL2012 1 0462977.6 | 2015-1-21 | 1571106 | 许继电气股份有限公司、国家电网公司 | 姚为正、吴金龙、何青连、梁燕、韩坤、刘普 | 有效 |
| 发明专利 | 多电平换流器半桥式子模块连续电流运行试验方法 | 中国 | ZL 2012 1 0360290.1 | 2015-3-4 | 1597262 | 许继电气股份有限公司、国家电网公司 | 姚为正、张建、吴金龙、杨美娟、刘刚、刘普、韩坤、梁燕、甄帅 | 有效 |
| 发明专利 | 多电平换流器半桥式子模块连续电流运行试验装置 | 中国 | ZL 2012 1 0360353.3 | 2015-7-22 | 1732387 | 许继电气股份有限公司 、国家电网公司 | 姚为正、张建、吴金龙、杨美娟、刘刚、刘普、韩坤、梁燕、甄帅 | 有效 |
| 发明专利 | 柔性直流输电MMC换流阀运行试验装置及试验方法  | 中国 | ZL 2013 1 0090549.X | 2015-11-8 | 1833381 | 许继电气股份有限公司、西安许继电力电子技术有限公司 | 张建、杨美娟、吴金龙、刘刚 | 有效 |
| 发明专利 | 模块化多电平换流阀的阀端间交直流电压试验装置和方法 | 中国 | ZL 2013 1 0438715.0 | 2015-11-04 | 1834387 | 许继集团有限公司 | 姚为正、张建、常忠廷、张坤、李娟、夏克鹏、邹韬 | 有效 |
| 发明专利 | 一种IGBT功率单元及用于柔性直流输电的子模块 | 中国 | ZL 2013 1 0239581.X | 2015-9-30 | 1806708 | 许继电气股份有限公司 | 姚为正，张建，朱新华，肖晋，张承，李申，李华君，杜玉格 | 有效 |
| 实用新型专利 | 一种MMC柔性直流输电子模块的旁路开关触发装置 | 中国 | ZL 2014 2 0289632.X | 2014-12-03 | 3948764 | 许继电气股份有限公司 | 张建、夏克鹏、刘刚、范彩云、姚钊 | 有效 |

**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 | 曾获科技奖励情况 |
| 第一 | 姚为正 | 教授级高工 | 许继集团有限公司 | 负责项目总体方案的设计，在项目实施过程中，攻克多项高压大容量柔性直流输电换流阀关键性技术难题，为换流阀的研制提供坚实的理论基础和指导意见，对换流阀的系统设计技术、电气技术、结构设计等相关工作的顺利推进提供坚实的保障。 | 2013年、河南省科技进步奖、一等奖、《±800kV特高压直流输电控制保护及换流阀关键技术》、第一、2013-J-004-R01/15。 |
| 第二 | 胡四全 | 高级工程师 | 许继电气股份有限公司 | 主要负责阀控技术方案设计。采用冗余设计理念，开发出适用于高压柔性直流输电阀控设备，突破和掌握了具有完全自主知识产权的柔性直流输电换流阀高速阀控设计技术，开发的产品实现了工程应用。 | 2013年、河南省科技进步奖、一等奖、《±800kV特高压直流输电控制保护及换流阀关键技术》、第九、2013-J-004-R09/15。 |
| 第三 | 范彩云 | 高级工程师 | 许继电气股份有限公司 | 负责项目的换流阀技术方案设计、评审与论证，在换流阀电气设计、绝缘配合、阀冷却以及光纤技术方面给与技术指导，凭借自身扎实的理论基础与丰富的工程经验，带领团队全面攻克高压大容量柔性直流输电换流阀关键设计技术，为换流阀产品研制与工程化应用奠定坚实的技术基础。 | 2013年、河南省科技进步奖、一等奖、《±800kV特高压直流输电控制保护及换流阀关键技术》、第五、2013-J-004-R05/15。 |
| 第四 | 刘刚 | 教授级高工 | 许继电气股份有限公司 | 负责换流阀子模块技术方案设计、评审与论证，在换流阀子模块电气设计、冷却设计、关键零部件研制及子模块等效试验技术方面进行技术指导，带领团队完成高压大容量柔性直流输电换流阀系列子模块的设计、研制与试验，突破并掌握了换流阀关键部件核心技术，为高压大容量柔性直流输电换流阀的研制奠定基础。 | 2015年、河南省科技进步奖、二等奖、《电网友好型新能源并网变流装置的开发与应用》、第一、2015-J-042-R01/10。 |
| 第五 | 吴金龙 | 高级工程师 | 西安许继电力电子技术有限公司 | 负责高压大容量直流输电换流阀主拓扑设计、主参数设计、系统建模与仿真、电磁场分析、换流阀控制保护策略、换流阀试验技术。 | 2015年、河南省科技进步奖、二等奖、《电网友好型新能源并网变流装置的开发与应用》、第三、2015-J-042-R03/10。 |
| 第六 | 韩坤 | 工程师 | 许继电气股份有限公司 | 负责换流阀系统方案设计、换流阀控制保护策略设计及试验方法研究，参与高压柔性直流输电换流阀研制。在工程实施阶段，本人兼任工程现场第一负责人，带领团队攻坚克难，完成了换流阀及阀控设备的现场调试及投运。 | 无 |
| 第七 | 易映萍 | 副教授 | 上海理工大学 | 负责柔性直流输电换流阀基础理论、控制保护策略及仿真技术。 | 2014年、河南省科学技术进步奖、叁等奖、《LSSW（特）高压直流输电换流阀冷却系统技术研究及工程应用》、第五、2014-J-179-R05/07。 |
| 第八 | 朱新华 | 高级工程师 | 许继电气股份有限公司 | 负责换流阀结构方案的设计、评审与论证，在换流阀子模块、关键零部件、阀塔的结构与工艺进行技术指导，带领团队完成高压大容量柔性直流输电换流阀结构设计，电气性能与机械性能完美结合，并形成完整全套制造工艺，为换流阀产业化创造了基础条件。 | 2013年、河南省科技进步奖、一等奖、《±800kV特高压直流输电控制保护及换流阀关键技术》、第十四、2013-J-004-R14/15。 |
| 第九 | 常忠廷 | 高级工程师 | 许继电气股份有限公司 | 负责制定型式试验方案，研究换流阀例行试验，绝缘型式试验和运行型式试验的试验方法。参与完成一系列换流阀专用试验站，包括交直流耐压和局部放电试验站，水冷系统试验站，冲击电压试验站，高低温及低气压环境试验站、换流阀背靠背运行试验系统、暂态试验系统等多个试验站的建设，保障高压大容量柔性直流输电换流阀试验能力。 | 2013年、河南省科技进步奖、一等奖、《±800kV特高压直流输电控制保护及换流阀关键技术》、第六、2013-J-004-R06/15。 |
| 第十 | 董朝阳 | 高级工程师 | 许继电气股份有限公司 | 主要负责阀控系统控制策略设计工作。研发设计的柔性直流输电换流阀控制设备，实现阀与其它控制和保护系统的接口等多项功能。该控制系统集平台化设计、系统冗余化设计、电磁兼容设计、光发射通道冗余配置及光发射插件采用独立电源等多功能与一身，提高了阀控系统的可用性和可靠性。 | 无 |
| 第十一 | 夏克鹏 | 工程师 | 许继电气股份有限公司 | 主要负责项目的子模块设计工作，项目实施期间，主导完成换流阀子模块的电气设计、热设计，关键零部件的研制及试验，开发子模块与阀组件样机，并通过型式和例行试验。 | 无 |
| 第十二 | 吉攀攀 | 工程师 | 许继电气股份有限公司 | 主要负责阀控系统设计工作，完成阀控总体架构设计、阀控软件设计以及试验验证。 | 无 |
| 第十三 | 俎立峰 | 工程师 | 许继电气股份有限公司 | 主要负责阀控设计工作。利用最新的控制技术、通信技术，解决了阀控高速大数据量的传输难题。为阀控的高速可靠运行提供了坚实基础。开发了大容量高速子模块均压算法，实现了在30us的控制周期里完成子模块均压功能。同时针对柔性直流输电阀控测试，提出了多种测试方法，并在工程中可靠应用。 | 无 |
| 第十四 | 刘欣和 | 工程师 | 西安许继电力电子技术有限公司 | 负责高压大容量直流输电换流阀主拓扑设计、主参数设计、系统建模与仿真、换流阀控制保护策略、阀控策略、换流阀试验技术。 | 无 |
| 第十五 | 杨美娟 | 工程师 | 西安许继电力电子技术有限公司 | 负责高压大容量直流输电换流阀及子模块等效试验技术、试验系统建模与仿真，提出子模块连续运行试验装置及方法、换流阀运行等效试验装置及方法。 | 无 |