

2015 年度国家科学技术进步奖申报项目公示

一、项目基本情况

项目名称	基于电压源变流器的±200Mvar 静止同步补偿技术 开发及应用
推荐单位	中国电机工程学会

二、项目简介

近年来，国际上发生的“8.14”美加大停电、丹麦瑞典大停电等事故分析表明，缺乏动态无功支撑是造成停电事故的重要原因。我国京津唐、长三角和珠三角等重要的电力负荷中心外受电能比例高，缺乏电源支撑，动态无功不足问题日益突出，严重威胁电网安全，甚至可能引发大面积停电，迫切需要开发适用于大电网负荷中心的动态无功补偿技术和装置。

基于电压源变流器的静止同步补偿技术是电力系统最为先进的动态无功补偿技术，但是，要满足大电网应用的需要，需要进一步探索和攻克直挂电压 35kV 以上、单体容量突破百兆乏级 (Mvar)、上百模块串联均衡控制、高密度功率模块设计、适应电网复杂工况协同控制等世界级难题，国内外尚无可借鉴的经验，创新性强，技术难度大。

项目承担单位依托国家“十一五”科技支撑计划，组建产、学、研、用团队，历经 5 年攻关，在世界上首次研发出直挂电压等级最高 (35kV)、容量最大 (±200Mvar，短时达到±300Mvar)、响应速度最快 (16ms) 的静止同步补偿装置 (简称 STATCOM)，掌握大容量电压源变流器核心技术；首创了装置故障微秒级自愈技术，实现了故障模块高速无扰切除，极大提高了装置可靠性；首创了基于零序电流注入的分相控制方法，实现了装置在电网极端恶劣工况下 (任意相电压跌落至 0.2pu) 的连续运行；开发了大电网场景下的多模块 STATCOM 装置小步长 (2 微秒) 实时数字仿真技术；研发了多直流馈入电网的多目标动态无功自适应协调控制技术，有效改善了故障电压恢复特性，提升电网故障后大规模直流输电的输送能力 (高达 6%)。项目获得授权专利 38 项 (发明专利 11 项)，出版专著 6 本，制定企业标准 5 项，发表论文 24 篇，培养了一大批专业技术人才。项目技术创新性突出。

依托项目成果，广东电网在珠三角 500kV 东莞变电站建成了 STATCOM 示范工程，随后又在 500kV 水乡、北郊和木棉变电站安装三套同等容量 STATCOM。自投运以来，四套装置在 100 多次电网暂态扰动中快速准确响应，向大电网提供了有力的动态无功支撑，降低了大

面积停电风险，有效提升电网安全稳定水平，奠定了高压、大容量 STATCOM 在大电网应用的基本型式。

项目技术成果和研制装置具备良好的市场竞争优势，除在国内推广应用外，还多次在国际竞标中胜出，成功应用于英国、塞尔维亚、南非、莫桑比克、肯尼亚等国家，新增销售额 5.72 亿元，新增利润 0.96 亿元，实现了我国大容量 STATCOM 批量出口。

项目攻克了高电压、大容量变流器技术，带动了大容量电力电子技术的集成应用发展，开发出超大容量高压变频和柔性直流输电等新产品，广泛应用于西气东输、海上石油平台供电、大规模新能源并网等领域，新增销售额 7.8 亿元，新增利润 1.16 亿元。项目影响力显著，经济效益巨大。

项目成果对降低负荷中心大面积停电风险、保障供电安全，支撑电网可持续发展发挥了重大作用，社会效益显著。项目的成功实施和推广应用，促使我国先进大功率电力电子技术及装备的研发、设计和制造等综合能力达到世界领先水平，对推动电力行业和输变电装备制造业科技进步的作用明显。

三、主要完成单位及创新推广贡献

第一完成单位

单位名称	广东电网有限责任公司			所在地	广东
完成单位排序	1	单位性质	国有	联系电话	020-85123996
联系人	张飞	电子信箱	zhangfei@gd.csg.cn		
通讯地址	广州市越秀区东风东路 757 号			邮政编码	510620

对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：

负责项目的总体筹划、资金投入、组织分工、节点控制、方案设计、质量管控、示范性工程落地和推广应用，负责项目开展中的重大问题的决策。结合珠三角电网多直流落点的网架结构，对 STATCOM 接入的效果和风险进行系统评估，对 STATCOM 的性能指标和系统控制策略进行细致化要求，对 STACOM 的安装点和规模进行筛选决策。组织 STATCOM 的可研初设、设备招标、物资采购、土建施工、设备安装、低压调试、装置并网、系统调试和工程验收，监督示范性工程及推广工程的质量，负责 STATCOM 的现场试验和运行维护，对 STATCOM 的运行数据进行监控和分析，与荣信公司开展技术改进和技术创新的合作。

第二完成单位

单位名称	荣信电力电子股份有限公司			所在地	辽宁
完成单位排序	2	单位性质	民营	联系电话	0412-7213722
联系人	雷雪	电子信箱	lxlittlesnow@163.com		
通讯地址	辽宁省鞍山市高新区鞍千路 261 号			邮政编码	114000
<p>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>全面负责项目的研究工作，研制出基于链式结构直挂的 35kV 高压大容量变流器。开发了专用驱动及保护技术，研制了高功率密度功率单元模块，优化了功率单元电气拓扑与热力效应，功率密度达到了应用的极限。深入研究了超多链节串联变流器的电容电压平衡控制算法并优化了脉冲控制算法，开发了功率单元在线旁路技术，实现了冗余功率单元旁路期间不影响 STATCOM 连续输出，大大提高了 STATCOM 运行稳定性和可靠性。提出了电流快速跟踪控制技术和暂态无功电流给定前馈算法，实现了 STATCOM 从系统电压跌落到暂态无功输出至目标值响应时间小于 16ms 的优异性能，保障了故障情况下系统快速动态无功需求。同时，建立了系统的实验平台和相应的检测体系。</p>					

第三完成单位

单位名称	清华大学			所在地	北京
完成单位排序	3	单位性质	事业单位	联系电话	010-62773125
联系人	袁志昌	电子信箱	yuanzc@tsinghua.edu.cn		
通讯地址	北京市海淀区清华大学西主楼 2 区 106			邮政编码	100084
<p>对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>项目的主要科研力量，提出基于频率和初相位解耦检测的三相软锁相技术，实现了三相电压畸变时电压相位的快速精确测算，提升了无功输出的快速性和准确性。在新型相位检测中，分别利用锁频环和初相位检测锁相环检测输入三相电压信号的频率和初相位，然后再合成输入信号相位的检测值；频率和初相位解耦检测的架构使传统相位检测中两个积分环节串联的结构变成了两个积分环并联结构，且在输入电压突变时，仅有初相位检测环节的积分器参与动态过程，减少了一个积分环节，提高了相位检测的速度。提出基于零序注入的不平衡控制策略，增强了 STATCOM 在电网故障情况下低电压穿越及不平衡控制能力，实现了近区电压跌落至 0.2 p.u 时 STATCOM 持续运行。</p>					

第四完成单位

单位名称	南方电网科学研究院有限责任公司		所在地	广东	
完成单位排序	4	单位性质	国有	联系电话	020-38120793
联系人	许树楷	电子信箱	xusk@csg.cn		
通讯地址	广东省广州市东风东路水均岗 8 号		邮政编码	510080	
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献： 负责项目的技术方案制定、功能试验的设计、技术标准的制定，全过程参与厂家装置设计、制造、试验、并网工作，负责项目的技术审查和论证，负责跟踪处理项目开展中的重大技术问题。利用自有的 RTDS 仿真试验室，搭建大电网环境下的 STATCOM 控制保护实时闭环仿真平台，完成 RTDS 试验，考核了控制保护系统的功能和动态性能，检验了 STATCOM 系统与电网的相互作用，优化装置控制策略和保护配置。负责 STATCOM 并网、系统调试、谐波监测、试运行试验的方案编制和现场技术指导工作，协助广东电网公司对 STATCOM 试验数据和运行数据进行分析。开展 STATCOM 在复杂电网的功能拓展应用研究，负责 STATCOM 推广应用的远景规划。					

第五完成单位

单位名称	中国能源建设集团广东省电力设计研究院		所在地	广东	
完成单位排序	5	单位性质	国有	联系电话	020-32118077
联系人	夏毅琴	电子信箱	xiayiqin@gedi.com.cn		
通讯地址	广州黄埔区科学城天丰路 1 号		邮政编码	5106000	
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献： 负责项目的工程选点、实施方案、装置参数的相关要求与制定、工程的设计与施工要求等，全过程参与厂家的装置设计、制造，相关技术标准的制定，后期装置运行维护的咨询等。利用自身的技术实力，开创性地得到电网接入大容量 STATCOM 实施方案一系列重要结论，为电网大规模应用 STATCOM 提供了重要参考。并创新性的提出了针对 STATCOM 装置的电气接线，提高 STATCOM 装置安全性、灵活性，实现 STATCOM 模块化配置，提高了空间利用率，优化运维效率。在此基础上，负责 STATCOM 装置在南方电网的远景规划与应用。					

四、推广应用情况

依托本项目，在 500kV 东莞站建成世界上首个直挂电压 35kV、额定容量 200Mvar 的 STATCOM 示范工程，并于 2011 年 8 月正式投入运行。项目成果进而在 500kV 水乡站、木棉站、北郊站及神华集团国华电厂以及莫桑比克、南非、塞尔维亚、肯尼亚、英国等国家推广应用。具体应用情况见下表：

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
东莞供电局	项目整体技术应用于水乡变电站 STATCOM 项目	2013 年 6 月至今	刘锦宁 13922916989	自投运以来，正确响应了全部 42 次电网故障
广州供电局	项目整体技术应用于北郊变电站 STATCOM 项目	2013 年 6 月至今	乔亚军 13602463736	自投运以来，正确响应了全部 51 次电网故障
广州供电局	项目整体技术应用于木棉变电站 STATCOM 项目	2013 年 9 月至今	乔亚军 13602463736	自投运以来，正确响应了全部 23 次电网故障
神华内蒙古国华呼伦贝尔发电有限公司	核心技术 STATCOM 装置应用到呼伦贝尔 STATCOM 项目	2014 年 3 月至今	薛成勇 15849019135	次同步振荡超标报警次数由原来每天数百次降为 0 次
莫桑比克国家电网	项目整体技术应用于楠普拉变电站 STATCOM 项目	2012 年 5 月至今	Heber Janeiro +25821 35 36 13	为系统提供暂态无功支撑
塞尔维亚 SIM 钢厂	项目核心技术 STATCOM 装置应用到塞尔维亚 STATCOM 项目	2012 年 10 月至今	PiccoLi 0039331701257 2	闪变值由原来的 3.0，降为现在的 0.8 以下；功率因数达到 0.98 以上
南非国家电网	项目核心技术 STATCOM 装置应用于迦罗娜变电站 STATCOM 项目	2013 年 9 月至今	Edward Hutcheons +27 51 404 5286	电网电压的不平衡度由原来的 2% 降到 0.5% 以下
肯尼亚图尔卡纳湖风电场	项目整体技术应用于图尔卡纳湖 STATCOM 项目	2013 年 10 月至今	Rizwan.fazal +447424893180	为系统提供暂态无功支撑，提高风电场的低电压穿越能力
英国 DONG Energy	项目整体技术应用于布尔波海岸 STATCOM 项目	2014 年 9 月至今	Troels Olsen +4522489693	为系统提供暂态无功支撑，提高风电场的低电压穿越能力

五、曾获科技奖励情况

获奖项目名称	获奖时间	奖项名称	获奖等级	授奖部门(单位)
基于电压源变流器的±200Mvar 静止同步	2014-12-01	中国电力科学技术奖	一等奖	中国电机工程学会
百兆乏级动态无功补偿装置 (STATCOM)	2013-12-01	辽宁省企业重大研发成果奖	企业重大研发成果奖	辽宁省科学技术奖励委员会

六、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
发明专利	一种基于 IEGT 的功率相模块	中国	ZL201010121677.2	2012年06月27日	979066	荣信电力电子股份有限公司	李兴;徐颖;崔效毓;汪昊;丁雅丽;张海涛;李旷;郭自勇
发明专利	一种检测电力系统中电气信号频率、相位和幅值的方法	中国	ZL201210077738.9	2013年12月11日	1320134	清华大学	王亮;姜齐荣;洪芦诚
发明专利	一种动态无功补偿装置接入输电网的控制方法	中国	ZL201210337863.9	2014年08月20日	1464499	清华大学	袁志昌
发明专利	动态无功补偿装置的电压和阻尼协调控制方法	中国	ZL201110391308.X	2013年08月21日	1258267	清华大学;南方电网科学研究院有限责任公司	袁志昌;许树楷;柳勇军;黎小林
发明专利	一种用于绝缘栅双极晶体管的斜率与峰值综合控制电路	中国	ZL200910237662.X	2011年12月28日	885150	清华大学	张春朋;刘博超;姜齐荣;童陆园
发明专利	STATCOM 高压电容器放电集装箱的外监视装置	中国	ZL201210342007.2	2014年09月10日	1477544	广东电网公司东莞供电局;清华大学	黄伟雄;雷烈波;李春华;谢化安;罗瑞彬;王永源等

发明专利	检测电力系统中电压信号或电流信号频率和相位的方法	中国	ZL201110347668.X	2013年07月24日	1240937	清华大学	王亮; 姜齐荣; 洪芦诚
发明专利	一种基于高速串行通讯的控制系统冗余切换方法	中国	ZL201110176607.1	2013年07月31日	1245447	北京荣信慧科科技有限公司	何师; 秦健; 张海涛; 王剑; 吕文菁; 张其生; 李旷
发明专利	基于背板总线与高速串行通讯的多级扩展控制系统	中国	ZL201110176639.1	2014年03月26日	1368057	北京荣信慧科科技有限公司	张海涛; 何师; 秦健; 吕文菁; 张磊; 张其生; 李旷
发明专利	一种电力系统中电气信号谐波瞬时值的提取方法	中国	ZL201210260894.9	2014年08月20日	1464391	广东电网公司东莞供电局; 清华大学	雷烈波; 姜齐荣; 李春华; 谢化安; 罗瑞彬等

七、主要完成人情况表

排序	姓名	性别	技术职称	工作单位
1	袁志昌	男	副教授	清华大学
2	张文峰	男	高级工程师	广东电网有限责任公司
3	许树楷	男	教授级高工	南方电网科学研究院有限责任公司
4	张海涛	男	高级工程师	荣信电力电子股份有限公司
5	余建国	男	教授级高工	中国南方电网有限责任公司
6	姜齐荣	男	教授	清华大学
7	陈建福	男	高级工程师	广西电网有限责任公司
8	杨奕	男	高级工程师	中国南方电网有限责任公司
9	杨银国	男	高级工程师	广东电网有限责任公司
10	何师	男	工程师	荣信电力电子股份有限公司
11	陈辉祥	男	教授级高工	广东电网有限责任公司
12	李春华	男	高级工程师	广东电网有限责任公司
13	钟连宏	男	教授级高工	贵州电网有限责任公司
14	张建设	男	教授级高工	南方电网科学研究院有限责任公司
15	黄伟雄	男	高级工程师	广东电网有限责任公司