

提名国家科技进步奖项目公示

项目名称	复杂电网自律-协同自动电压控制关键技术、系统研制与工程应用
提名单位	教育部
<p>提名单位意见：</p> <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，相关栏目均符合国家奖励工作办公室的填写要求。按照要求，我单位和项目完成单位对该项目情况进行了公示，目前无异议。</p> <p>项目针对复杂电网自动电压控制（AVC）这一电力学科的世界性难题，开展了 20 余年的“产学研用”联合攻关，取得了重大原创性成果。创造性的提出了“自律+协同”技术路线，攻克了 AVC 从单控制中心到多控制中心、从常规电网到可再生能源电网、从中国电网到北美电网应用中的系列关键技术难题，创建了共性理论和技术体系，研制出具有完全自主知识产权的 AVC 系统，授权发明专利 108 项，整体上达到了国际领先水平。</p> <p>该成果已大规模应用于我国电网，闭环控制了占全国 81%容量的水/火发电机组、88%数量的 220kV 以上变电站和 56%容量的集中并网风/光发电机组，构建了几乎覆盖我国全境的体系庞大复杂、控制主体众多的分级分布式广域电压控制系统，创造了巨大的社会效益。同时，突破了美国严酷的信息安全壁垒，在北美最大电网 PJM 实现了美国首例 AVC，用于控制包括美国首都和东部十三个州的电网电压，成为我国先进电网控制系统出口美国的首例，实现了历史性的突破。</p> <p>项目实现了现代电网电压控制“从人工到自动，从离线到在线”的重大跨越，使 AVC 成为世界范围内电力控制中心一个新的基础闭环控制系统，是我国智能电网技术引领世界的一项标志性成果，曾入选 2016 年度中国高校十大科技进展。</p> <p>对照国家科技进步奖授奖条件，提名该项目为 2018 年度国家科技进步一等奖。</p>	

项目简介：

电压是电网运行的核心指标。近 20 年来全球历次大停电事故几乎都与电压安全的破坏直接相关。我国已建成世界上装机容量最大、接入间歇式可再生能源规模最大、含特高压的交直流混联复杂电网，电压安全已成为这一复杂电网运行的核心挑战，也是制约大规模风/光电可靠接纳的重大瓶颈。复杂电网自动电压控制（AVC）是世界性难题，该项目历经 20 余年的持续研究，创造性的提出了“自律+协同”技术路线，攻克了 AVC 从单控制中心到多控制中心、从常规电网到可再生能源电网、从中国电网到北美电网应用中的关键技术难题，取得系列原创性成果：

1、揭示了复杂电网主从式物理特征，独创了主从分裂理论并阐明了其收敛性机理，为复杂电网自律协同自动电压控制技术体系的构建奠定了共性理论基础；

2、首创了多控制中心自律协同 AVC 方法，突破了局部信息条件下的多主体自动电压控制难题，构建了几乎覆盖我国全境的体系庞大复杂、控制主体众多的分级分布式广域电压控制系统；

3、提出了基于主从电压安全域和模型预测控制的可再生能源并网区域自律协同 AVC 方法，研制出世界上首套支撑大规模可再生能源接入的 AVC 系统，在我国全部大型风光并网区域应用，显著降低了电压波动与连锁脱网风险；

4、发明了基于合作博弈的安全与经济协同电压控制方法，克服了巨型电网考虑大规模复杂预想故障集的安全约束最优潮流（SCOPF）在线求解的主要障碍。在北美最大电网 PJM 实现了美国首例 AVC，用于控制包括美国首都和东部十三个州的电网电压。

该项目研制出完全自主知识产权的 AVC 系统，核心源码超过 280 万行。大规模应用于我国 40 个网省级电网、306 个地区电网、全部 13 个大型风/光电并网区域和全部 19 条特高压交直流输电线路近区电网，闭环控制了占全国 81% 容量的水/火发电机组、88% 数量的 220kV 以上变电站和 56% 容量的集中并网风/光发电机组，创造了重大经济社会效益。

发表论文 273 篇（SCI 论文 60 篇），授权发明专利 108 项（美国专利 7 项），授权软件著作权 26 项。执笔了我国多项 AVC 规范标准，在 IEEE 发起成立了电压控制工作组（第 1 完成人任主席），3 项创新成果入选 IEEE Tutorial (培训指南)。项目实现了现代电网电压控制“从人工到自动，从离线到在线”的重大跨越，使 AVC 成为世界范围内电力控制中心一个新的基础闭环控制系统。由六位院士领衔的鉴定会认为：项目是“重大的原创性科研成果，引领了电力系统电压控制领域的发展与技术进步，整体上达到了国际领先水平”、“具有里程碑意义”。获 2016 年教育部技术发明一等奖，入选该年度中国高校十大科技进展。美国能源部高级顾问、工程院院士 BOSE 认为该成果“使中国在电压控制领域遥遥领先于世界”。

客观评价：

(1) 鉴定意见

2016年，教育部组织的“复杂电网自律-协同无功电压自动控制系统关键技术及应用”鉴定会，周孝信院士、杨奇逊院士、余贻鑫院士、程时杰院士、李立涅院士、罗安院士、宋永华教授、穆钢教授与鞠平教授等专家评价：“重大的原创性科研成果，整体上达到了国际领先水平，引领了电力系统电压控制领域的发展与技术进步”，“取得了巨大的社会效益”，“具有里程碑意义”。

2010年，中国电机工程学会组织的“基于双向互动的省地协调无功电压控制系统”鉴定会，周孝信院士、程时杰院士等专家评价：“达到国际领先水平，是智能电网和自动电压控制领域的重大技术成果”。

(2) 对整体水平的同行评价

2017年，电网运行控制国际权威、美国能源部高级顾问、工程院院士 BOSE 教授在电力学科最重要国际会议 IEEE PES General Meeting 上做特邀报告，评价该项目“使中国在电压控制领域遥遥领先(far ahead)于世界，在 PJM 实现了北美首个 AVC 系统”。2017年，IEEE Fellow、IEEE PES 主席 Rahman 教授评价该项目使得“电压控制实现了从手动到自动、从离线到在线的转型，推动了全球智能电网技术的发展”。2010年，清华大学电机系国际学科评估，该成果被由国际权威学者组成的评估组评价为“引领世界水平”。

(3) 对创新点的学术评价

创新点 1：美国工程院院士、美国电力工程研究中心主席 Vittal 教授在【IEEE Trans. on Power Systems, 2017, pp 3704-3714】中评述该团队论文“提出了主从分裂概念及基于该概念的输配全局潮流算法”，进而 Vittal 教授直接采用了主从分裂概念和方法，“基于主从分裂方法构建了 TDPF 算法，在方法中将输电系统潮流看成主问题，将每个配电系统潮流看成一个从问题”；IEEE Fellow、电压稳定权威专家 Ajarapu 教授评价该团队方法揭示了“传统孤立计算的输电侧或配电侧电压稳定分析可能严重高估或低估稳定裕度”，“通过扩展文献[13]（该团队提出的理论）”，Ajarapu 教授提出了类似的主从迭代格式的参数化潮流方法；IEEE Fellow、电力优化权威专家、加州理工大学 Steven Low 教授在 2017 年发表于 IEEE Trans. on Smart Grid 的最新综述中，大篇幅介绍了该项目的主从异质分解方法，评价该方法“通过将灵敏度考虑在边界变量中…有效提高了收敛速度”；博士论文《基于广义主从分裂理论的分布式输配协同能量管理研究》入选 Springer 杰出博士论文丛书系列。

创新点 2：2012 年，国际大电网组织 CIGRE 发表的 Voltage and Var Support in System Operation 工作报告，以“The Chinese Hierarchical Control Scheme”为题，将该项目作为世界范围内的成功经验，用 6 页篇幅进行了详细介绍。IEEE Fellow, IEEE PES 前任主席 Begovic 教授评价该团队实现了“首个多控制中心协同 AVC”。

创新点 3：被 Renewable Energy Global Innovations 网站作为 Key Scientific Article 进行了亮点报导（全球新能源领域 0.1% 论文入选）。美国工程院院士、智能电网顶级期刊 IEEE Trans. on Smart Grid 创刊主编 Shahidehpour 教授在论文中评价该项目的风场侧自律电压控制“考虑了每个风机并网节点的电压安全，…而这是基于

OPF 的方法所未曾考虑的”，并以该项目方法作为 benchmark 进行算法性能比对。Springer 出版社出版介绍世界范围内风电接入经验的著作，该项目团队受邀主持编写了风电电压控制一章。

创新点 4：IEEE Fellow、电压控制权威、卡内基梅隆大学 Ilic 教授在综述性论文《Toward Coordinated-Voltage-Control-Enabled HV Smart Grids》中，用整整一章的篇幅重点介绍了该项目在 PJM 的应用，指出“最近 PJM 基于分级电压控制架构开发了 AVC 系统……根据在 PJM 实时环境的在线运行经验，AVC 系统已经在 PJM 电网的安全性和经济性两个方面都展示出巨大的效益潜力”。美国电科院在北美组织了 4 次专门针对该项目的技术研讨会，2011 年的研讨会备忘录评价 PJM 电压控制处于“先驱”和“领先地位”。美国工程院院士 Yilu Liu 教授评价该项目完成的 PJM AVC 是“世界智能电网领域的标志性成就”。

(4) 国际用户评价

根据 PJM 公开发表的论文，AVC 投入后降损节支 1700 万美元/年，五个关键输电通道的传输极限分别提高了 7.6%~16.1%。根据马来西亚电网公司公开发表的论文，AVC 投入后平均降损量 2.67%。

(5) 国际影响力

该项目团队在 IEEE 发起成立了电压控制工作组（第一完成人任主席），3 项创新成果入选 IEEE Tutorial (培训指南)。从 2010 年到 2017 年，在电力领域最重要国际学术会议 IEEE PES General Meeting 上，该项目团队每年都被邀请做电压控制特邀报告。第一完成人因对电压控制的贡献当选世界工程组织联合会(WFEO)能源委员会副主席、IEEE Fellow、IET Fellow。

(6) 相关技术成果获奖情况

项目成果“复杂电网自律-协同无功电压自动控制系统关键技术及应用”获 2016 年度教育部技术发明一等奖，入选 2016 年度中国高等学校十大科技进展。

(7) 国家相关部门技术检测

开发的 AVC 系统通过了“国家应用软件产品质量监督检验中心”与“电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心”的测试。

(8) 国内外对比

全球最大电力控制中心开发商、GE 公司电网事业总监、美国工程院院士 Dr. Jay Giri 对全球范围内 AVC 产品发展情况的评价是：“全球主要电力控制中心开发商，包括 GE、Alstom, ABB 和 Siemens 迄今尚未成功实现 AVC 产品”。某些欧洲国家电网进行过探索，其中以法国 EDF 最为成功，但其控制对象规模较小、主体单一、无大规模可再生能源接入，采用经典 PID 控制，无法适应现代复杂电网需求。该项目则构建了复杂电网自律-协同 AVC 基础理论、技术体系和标准，研制了具有完全自主知识产权的 AVC 控制主站/子站软硬件系统，满足现代复杂电网运行的迫切需求。Dr. Jay Giri 高度评价“由于该项目的创新性贡献，AVC 和自动发电控制系统 (AGC) 一样，已成为控制中心一个新的基础闭环控制系统。而之前，AGC 是电力控制中心唯一的基础闭环控制系统。”（注：AVC 负责控制电网的无功和电压，AGC 负责控制电网的有功和频率）

推广应用情况：

截至 2017 年底，该项目成果应用于我国华北、华东、华中、西北、东北、西南以及南网等全部 7 个区域电网控制中心（占全国 100%），应用于北京、江苏、广东等全国 33 个省级电网控制中心（占全国 91%），应用于全国 306 家地区电网控制中心，完成了中国所有 19 条交直流特高压线路近区电网的自律协同电压控制，控制了新疆、甘肃、冀北等我国全部 13 个大型风/光电并网区域，控制了总容量为 11.27 亿千瓦（占全国 81.30%）的水/火电机组，控制了总容量为 1.26 亿千瓦（占全国 56%）的风电/光伏机组，控制了数量占全国 88% 的 220kV 以上变电站，AVC 自律子站已经在全国 336 家大型风电场和光伏电站应用。构成了几乎覆盖我国全境的广域自律协同电压控制系统。

该项目团队在北美最大区域电网 PJM 实现了美国首例 AVC，用于控制包括美国首都华盛顿特区在内的东部 13 个州的电压，占美国 1/6 用电，并进一步推广到了马来西亚国家电网和加拿大 BC Hydro 电网。

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
国家电网公司	全部技术	2014 年 1 月-今	刘明松/010-66597856	覆盖国网广泛应用，效果良好
中国南方电网有限责任公司	创新点 1/2/4	2014 年 1 月-今	胡亚平 138-2518-1986	覆盖南网广泛应用，效果良好
内蒙古电力（集团）有限责任公司	创新点 2/3	2014 年 1 月-今	齐军/13789515696	应用效果良好
南瑞集团有限公司	创新点 2/3	2008 年 1 月-今	黄华/13851935091	广泛推广应用效果良好
中国电力科学研究院有限公司	创新点 2/3	2008 年 1 月-今	王伟/18600835823	广泛推广应用效果良好
北京清大高科系统控制有限公司	全部技术	2008 年 1 月-今	汤磊/13911510756	广泛推广应用效果良好
内蒙古东润能源科技有限公司	创新点 3	2010 年 12 月-今	杨宏英/0471-5185747	广泛推广应用效果良好
国网江苏省电力有限公司	全部技术	2014 年 1 月-今	徐贤 025-85853337	应用效果良好
国网冀北电力有限公司	创新点 1/2/3	2014 年 1 月-今	刘海涛 010-56582690	应用效果良好
国网北京市电力公司	创新点 1/2/4	2014 年 1 月-今	王卫 010-63129880	应用效果良好
国网四川省电力公司	创新点 1/2/4	2014 年 1 月-今	李春艳 028-68133396	应用效果良好
国网青海省电力公司	创新点 1/2/3	2014 年 1 月-今	周文芸 13997230985	应用效果良好
广东电网有限责任公司	创新点 1/2/4	2014 年 1 月-今	王彬 18520391699	应用效果良好
国网江西省电力有限公司	创新点 1/2	2014 年 1 月-今	梁文莉 13879182626	应用效果良好
广西电网有限责任公司	创新点 1/2	2014 年 1 月-今	曹伟 134-8103-6512	应用效果良好

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	发明专利有效状态
发明专利	基于双向协调约束的省级与地区电网协调电压控制方法	中国	ZL200910091358.9	2011-06-15	795444	清华大学	孙宏斌、郭庆来、王彬、张伯明、吴文传	有效
发明专利	基于模型预测控制理论的风电场电压自动控制方法	中国	ZL201410437727.6	2017-02-15	2381843	清华大学	郭庆来、孙宏斌、王彬、张伯明、吴文传、徐峰达	有效
发明专利	Automatic voltage control method based on cooperative game theory	美国	US 9,342,059 B2	2016-05-17	US 9,342,059 B2	清华大学	孙宏斌、郭庆来、张明晔、张伯明、吴文传、王彬	有效
发明专利	Static security constrained automatic voltage control method	美国	US 9,164,499 B2	2015-10-20	US 9,164,499 B2	清华大学	孙宏斌、郭庆来、张伯明、吴文传、王彬、张明晔	有效
发明专利	一种大区电网与省级电网的协调电压控制方法	中国	ZL200710065588.9	2009-02-11	470895	清华大学	孙宏斌、郭庆来、张伯明、吴文传、王彬	有效
发明专利	省地协调电压控制中省地协调运行状态的判断方法	中国	ZL200910243962.9	2012-06-20	975099	清华大学	孙宏斌、郭庆来、王彬、张伯明、吴文传	有效

发明专利	省地协调母线电压协调约束上下限值获得方法	中国	ZL200910244486.2	2011-12-28	887453	清华大学, 国网江苏省电力公司	孙宏斌、鲁庭瑞、郭庆来、郭建伟、王彬、李海峰、张伯明、罗建裕、吴文传、刘华伟、陈江澜	有效
发明专利	一种基于电压运行状态的风电场电压控制方法	中国	ZL201210228441.8	2014-05-28	1409013	清华大学	孙宏斌、郭庆来、王彬、张伯明、吴文传、汤磊、刘翊枫、陈锐	有效
发明专利	一种增强风电场电压安全裕度的方法	中国	ZL201210228859.9	2014-08-20	1464449	清华大学	孙宏斌、郭庆来、王彬、张伯明、吴文传、汤磊、刘翊枫、陈锐	有效
发明专利	基于区域协调的光伏电站并网电压控制方法	中国	ZL201310273324.8	2015-08-12	1751137	国电南瑞科技股份有限公司, 国家电网公司, 宁夏回族自治区电力公司	黄华、高宗和、丁茂生、戴则梅、项丽、陈颜、陈建华、马军、施佳峰	有效

主要完成人情况：（摘自“主要完成人情况表”中的部分内容，公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目技术创造性贡献）

姓名	孙宏斌	排名	1	行政职务	-	技术职称	教授
工作单位	清华大学			完成单位	清华大学		
<p>对该项目技术创造性贡献：</p> <p>该项目的总负责人，负责项目的总体技术方案设计与理论技术研究，对创新点 1-4 都有实质性贡献。是主从分裂理论的主要完成人，提出了多控制中心自律协同电压控制关键技术，发明了基于模型预测控制的风场级自律电压控制技术，发明了基于合作博弈的安全与经济协同的电压控制技术。作为负责人主持了成果的理论转化、系统研制和大规模应用。</p>							

姓名	郭庆来	排名	2	行政职务	-	技术职称	副教授
工作单位	清华大学			完成单位	清华大学		
<p>对该项目技术创造性贡献：</p> <p>负责该项目的理论研究与技术研发，对创新点 2、3、4 有实质性贡献。发明了基于双向互动的省地协同电压控制技术，发明了基于安全约束最优潮流的电压安全域与协同控制技术，发明了合作博弈的计算求解框架和在线决策方法。作为技术负责人主持了该项目系统研制，并参与了成果的工程推广应用。</p>							

姓名	张伯明	排名	3	行政职务	-	技术职称	教授
工作单位	清华大学			完成单位	清华大学		
<p>对该项目技术创造性贡献：</p> <p>负责项目的理论研究与关键技术研究，是该项目第 1、2、4、7 完成人的博士论文指导教师。对创新点 1、2、4 有实质性贡献。参与了主从分裂理论研究，发明了考虑预想故障的中枢节点鲁棒选择技术，发明了基于滚动策略的严重故障在线筛选技术。为项目的理论研究和系统研制提供了重要技术指导。</p>							

姓名	吴文传	排名	4	行政职务	-	技术职称	教授
工作单位	清华大学			完成单位	清华大学		
<p>对该项目技术创造性贡献：</p> <p>负责可再生能源场站与地区电网自动电压控制理论研究及研发，对创新点 2、3 有实质性贡献。发明了可再生能源场站状态估计与安全预警技术，发明了高斯罚函数的大规模无功优化离散变量处理方法，作为技术骨干参与了该项目系统研制与工程推广应用。</p>							

姓名	许涛	排名	5	行政职务	国家电力调度控制中心主任助理	技术职称	教授级高工
工作单位	国家电网公司			完成单位	国家电网公司		

对该项目技术创造性贡献：

参与系统整体架构设计。对创新点 2、3 有实质性贡献，负责该项目成果在国家电网各网/省/地控制中心的现场调试与大规模工程应用，参与解决了现场应用中的工程问题。

姓名	刘映尚	排名	6	行政职务	南方电网电力调度控制中心主任	技术职称	教授级高工
工作单位	中国南方电网有限责任公司			完成单位	中国南方电网有限责任公司		

对该项目技术创造性贡献：

参与系统整体架构设计。对创新点 2、4 有实质性贡献，负责该项目成果在南方电网各网/省/地控制中心的现场调试与大规模工程应用，参与解决了现场应用中的工程问题。

姓名	王彬	排名	7	行政职务	-	技术职称	高级工程师
工作单位	清华大学			完成单位	清华大学		

对该项目技术创造性贡献：

负责多控制中心自律协同电压控制理论与技术研发。对创新点 2、3 有实质性贡献，发明了基于双向互动的网省地自律协同电压控制技术，发明了可再生能源电站侧基于精细化网络建模的自律电压控制技术，作为骨干参与了该项目系统研制和工程推广应用。

姓名	黄华	排名	8	行政职务	部门副经理	技术职称	高级工程师
工作单位	南瑞集团有限公司			完成单位	南瑞集团有限公司		

对该项目技术创造性贡献：

作为骨干参与自动电压控制系统软件平台和人机界面开发，提出了可再生能源站端静止无功补偿装置的成组协调控制方法，参与了多控制中心自律协同电压控制的技术研发与工程应用，参与该项目成果的工程实施。对创新点 2、3 有实质性贡献。

姓名	姚建国	排名	9	行政职务	副总工程师	技术职称	研究员级高工
工作单位	中国电力科学研究院有限公司			完成单位	中国电力科学研究院有限公司		

对该项目技术创造性贡献：

负责控制中心主站与可再生能源场站子站之间的模型协调和信息交互技术研究，负责广域分布式协同电压控制软件测试验证，参与该项目成果的工程实施。对创新点 2、3 有实质性贡献。

姓名	李海峰	排名	10	行政职务	江苏电力调度控制中心副总工程师	技术职称	研究员级高工
工作单位	国网江苏省电力有限公司			完成单位	国网江苏省电力有限公司		

对该项目技术创造性贡献：

参与省地双向互动 AVC 系统技术研制，参与支撑大规模风电接入的 AVC 系统研制，负责该项目成果在江苏电网的工程应用。对创新点 2、3 有实质性贡献。

姓名	汤磊	排名	11	行政职务	总经理	技术职称	高级工程师
工作单位	北京清大高科系统控制有限公司			完成单位	北京清大高科系统控制有限公司		

对该项目技术创造性贡献：

作为骨干参与该项目成果的系统研制和工程应用，发明了可再生能源电站精细化网络建模方法。对创新点 2、3 有实质性贡献。

姓名	张明晔	排名	12	行政职务	-	技术职称	助理研究员
工作单位	清华大学			完成单位	清华大学		

对该项目技术创造性贡献：

负责安全与经济协同的电压控制理论研究，发明了数据驱动的关键故障集在线辨识方法。作为骨干完成了创新点 4 的系统研制工作和在美国 PJM 电网应用。对创新点 4 有实质性贡献。

姓名	王轶禹	排名	13	行政职务	国家电力调度控制中心调度运行处处长	技术职称	高级工程师
工作单位	国家电网公司			完成单位	国家电网公司		

对该项目技术创造性贡献：

负责支撑大规模可再生能源接入的自律协同电压控制系统在国家电网的工程试点和推广建设工作。对创新点 3 有实质性贡献。

姓名	胡荣	排名	14	行政职务	南方电网电力调度控制中心自动化处处长	技术职称	高级工程师
工作单位	中国南方电网有限责任公司			完成单位	中国南方电网有限责任公司		

对该项目技术创造性贡献：

负责南方电网网省地 AVC 自律协同控制方案制定，组织实施了该项目成果在南方电网的工程试点和推广建设。对创新点 2 有实质性贡献。

姓名	戴则梅	排名	15	行政职务	副主任	技术职称	研究员级高工
工作单位	南瑞集团有限公司			完成单位	南瑞集团有限公司		

对该项目技术创造性贡献：

作为骨干参与自动电压控制系统软件平台和人机界面开发，参与该项目成果的部分工程应用。对创新点 2 有实质性贡献。

主要完成单位及创新推广贡献:

1、清华大学

作为第一完成单位，主持该项目的基础理论研究、技术开发、系统研制与工程应用。在国家 973/863、自然科学基金等项目的支持下，在复杂电网自动电压控制（AVC）领域开展了历时 20 余年的持续研究，针对现代电网的复杂性，独创了主从分裂理论，构建了复杂电网自律-协同电压控制技术体系，完成了多控制中心自律协同 AVC 方法、支撑大规模可再生能源接入的自律协同 AVC 方法、巨型电网安全与经济协同 AVC 方法等系列原始创新，主持研制了具有完全自主知识产权的 AVC 系统，在中国三个主要电网公司——国家电网、中国南方电网与内蒙古电网全面推广应用，并在美国最大区域电网 PJM 实现了北美首个 AVC 系统。引领了电力系统自动电压控制领域的理论发展与技术进步，取得了巨大的社会效益，同时培养了一批高水平专业人才。

2、国家电网公司

参与了该项目的系统研制和工程应用，负责多控制中心自律协同 AVC 系统、支撑大规模可再生能源接入的自律协同 AVC 系统、巨型电网安全与经济协同 AVC 系统的工程测试与现场调试，主持编写了多项 AVC 相关技术标准与功能规范，在国家电网公司范围内实现了相关技术的大规模工程实施。

3、中国南方电网有限责任公司

负责该项目研制的 AVC 系统在南方电网范围内的工程应用，参与了创新点 2、4 关键技术涉及的系统研制，并进行了现场测试，主持或参与编写了多项 AVC 相关技术标准与功能规范。

4、南瑞集团有限公司

参与了该项目的技术开发、系统研制和工程应用，负责创新点 2 中的地区电网侧 AVC 系统关键技术研发，参与了创新点 3 中的可再生能源场站侧自律控制策略研究，承担了支撑自动电压控制系统的底层技术支撑平台、关键数据接口和控制子站的研发与工程应用，参与了多项相关技术标准与功能规范制定，承担了该项目成果在电网的大规模工程实施。

5、中国电力科学研究院有限公司

参与了该项目的技术开发、系统研制和工程应用，负责创新点 2 中控制主站与子站之间的模型协调和信息交互技术研究，实现了多控制主体的模型交互共享技术。参与了多项相关技术标准与功能规范制定，承担了项目成果在部分电网的工程实施。

6、国网江苏省电力有限公司

承担了创新点 2 中省地多控制中心双向互动 AVC 关键技术的工程试点与现场调试，参与了创新点 3 支撑大规模风电接入的 AVC 系统研制与工程应用，负责该项目成果在江苏省各电压等级电网的工程实施。

7、北京清大高科系统控制有限公司

参与该项目的系统研制、现场调试与工程应用，承担了国家电网、南方电网等多家省级以上电网公司自动电压控制项目，实现了可再生能源场站精细化网络建模方法，承担了控制中心电压控制主站、风/光伏电站电压控制子站、变电站电压控制子站等多项产品的研发与工程调试。

8、内蒙古电力（集团）有限责任公司

负责该项目成果在蒙西电网的工程应用，完成了创新点 2、3 中多项核心关键技术蒙西电网及大型风电并网区域的现场调试与工程测试。

完成人合作关系说明：

该项目由清华大学牵头，联合国家电网公司、中国南方电网有限责任公司、南瑞集团有限公司、中国电力科学研究院有限公司、国网江苏省电力有限公司、北京清大高科系统控制有限公司和内蒙古电力（集团）有限责任公司等多家单位组成了“产，学，研，用”相结合的研发团队。完成人共计 15 人，其中孙宏斌、郭庆来、张伯明、吴文传、王彬、张明晔来自清华大学，许涛、王轶禹来自国家电网公司，刘映尚、胡荣来自中国南方电网有限责任公司、黄华、戴则梅来自南瑞集团有限公司，姚建国来自中国电力科学研究院有限公司，李海峰来自国网江苏省电力有限公司，汤磊来自北京清大高科系统控制有限公司。

项目团队合作完成了一系列 AVC 相关的科研项目，包括孙宏斌、张伯明、姚建国、吴文传、王彬等参与完成了国家 973 计划项目 1 项，吴文传、许涛等参与完成了国家 863 计划课题 1 项，孙宏斌、吴文传、郭庆来、戴则梅、黄华、李海峰、姚建国等参与完成了国家电网公司科技项目 1 项，以及其他的国家自然科学基金、南方电网公司科技项目、内蒙古电力公司科技项目等。

在项目执行过程中，项目完成人通力配合，联合攻关，合作发表了多篇 AVC 相关学术论文，包括：孙宏斌、张伯明、刘映尚、吴文传等合作发表了《中国南方电网在线分布式建模系统研究与设计》，孙宏斌、刘映尚、郭庆来、许涛、王轶禹、胡荣、张伯明等合作发表了《复杂电网自律协同无功电压优化控制：关键技术与未来展望》等；合作申请了多项发明专利，包括：孙宏斌、郭庆来、王彬、李海峰、张伯明、吴文传等合作申请了发明专利《省地协调母线电压协调约束上下限值获得方法》，孙宏斌、郭庆来、张明晔、张伯明、吴文传、王彬等合作申请了美国发明专利《Automatic voltage control method based on cooperative game theory》等。

该项目完成单位分工合作，共同推进了研究成果在国家电网、南方电网及蒙西电网的推广应用，合作解决了工程实施过程中面临的巨大挑战，建成了几乎覆盖我国全境的广域自律协同控制系统。