# 一、项目名称：变电站智能化关键技术、装备及大规模应用

# 二、推荐单位意见

我国电网已发展成为交直流深度耦合、清洁能源广泛接入的超大规模系统，运行控制方式复杂多变。变电站作为电网中能量转换与分配、业务处理与流转、信息汇聚与管控的核心节点，开展变电站智能化关键技术研究与大规模建设是保障电网安全稳定、经济高效，提升供电可靠性的必然选择。该项目团队历时10年产学研用协同攻关，聚焦变电站智能化过程中面临的突出难题，理论研究与技术研发相结合，创新成果丰硕。

该项目在确保变电站数据可靠的基础上建立了全景数据平台；研发了变电站驾驶舱，实现了站内多业务协同的“一站式”运维；建立了变电站动态负荷精细模型，厘清了变电站负荷时变随机特性对电网稳定影响，实现了站网协同控制；实现了智能化技术和设备的高度集成，并以模块化变电站建设新模式进行了大规模应用。项目在站网协同控制、多维站内业务协同、基础信息共享及成套装备建设四个方面实现了创新与突破，为全面提升我国电力系统可靠性，降低运维成本，应对能源行业新变革，促进我国整体技术装备智能化发挥了重要作用。

截至2015年底，该项目成果已广泛应用于全国94%个省级及以上电网，建成智能化变电站3690座。在降低停电损失、减少运维负担等方面成效显著。经大规模应用并形成成套技术输出，成套技术输出至英国、俄罗斯、澳大利亚、香港等6国家及地区340余座变电站，有利的推动了国家“一带一路”战略的实施。

经我学会认真审核，确认推荐材料真实有效，相关栏目填写符合要求，**同意**推荐该项目为国家科学技术进步一等奖。

# 三、项目简介

该项目属于电力系统及其自动化学科，产学研用单位协同开展技术攻关完成。

变电站是电能分配的关键环节和电网运行控制的核心节点，其智能化能够有效解决电网在新能源大规模接入、随机负荷增多背景下的运行控制复杂问题，同时也是克服电网规模不断扩大带来的“站多人少”困境的有效手段，更是建设高效、环保、清洁的坚强智能电网的内在需求。然而，传统变电站信息孤岛普遍存在，站内业务分散，站网协同控制尚未充分应用，阻碍了我国变电站的智能化发展进程。

项目在确保变电站数据可靠的基础上建立了全景信息平台；研发了变电站驾驶舱，实现了站内多业务协同的“一站式”运维；建立了变电站动态负荷精细模型，厘清了变电站负荷时变随机特性对电网稳定影响，实现了站网协同控制；研制了高度集成的智能设备，并以模块化建设新模式进行了大规模应用。项目在站网协同控制、站内多维业务协同、基础信息共享及成套装备建设四个方面实现了创新与突破，主要创新点如下：

（1）率先提出了变电站负荷动态时变不确定性建模及分析方法，构建了“变电站级-电网级”站网协同控制保护体系，系统性解决了复杂电网在多重故障及不确定环境下灵活控制保护难题。其中考虑失稳风险的“变电站级-电网级”协同的多道防线最优协调策略的计算速度与NERC公布的研究数据相比提高了140倍。

（2）首次提出了基于专家经验、机器学习和故障推理的变电站智能驾驶算法，构建了变电站驾驶舱，实现了变电站内整体风险实时预警和风险自动逐级溯源。变电站告警信息浓缩比达99%，变电站运维作业效率整体提升12%。

（3）提出了硬纠错和软补偿相融合的全站立体防错方法，建立了通用的变电站全景信息模型，构建了数据准确采集、可靠传输、全景集成的变电站信息共享体系，实现了站内数据流无差共享及与调度端信息的无缝衔接。系统性的解决了行业对变电站数据采集准确性和传输可靠性的疑虑。

（4）创立了智能变电站成套建设技术体系，提出了变电站图模库一体化设计方法，研制了预制舱式组合设备，创建了工厂化预制、插拔式连接、装配式安装的模块化建设新模式，全站建设效率提高43%。

该项目获行业/省部级科学技术一等奖3项，授权发明专利90项、实用新型专利33项、软件著作权21项，编制国标6项、行标4项、电网公司企业标准14项，出版专著17部，发表SCI论文31篇、EI及核心论文81篇。专家鉴定委员会认为项目总体成果达到国际领先水平。

依托项目成果共建成投运750kV及以下智能化变电站3690座，“十二五”期间占我国新建变电站的87%，覆盖94%省区。成套技术输出至英国、俄罗斯、澳大利亚、香港等6国家及地区340余座变电站，综合国产化率100%。变电站智能化关键技术的大规模应用和成套技术输出，确立了我国在变电站技术及装备领域的国际领先地位，成为了中国技术走出国门的又一典范。

# 四、客观评价

## 1．重要奖励情况

（1）2016年中国电力科学技术进步奖一等奖：基于数据全过程管控与协同的变电站智能化关键技术研究及应用；

（2）2015年湖北省科学技术进步奖一等奖：新一代智能变电站关键技术及示范；

（3）2011年四川省科学技术进步奖一等奖：智能变电站研究及工程应用；

## 2.成果鉴定和同行学术评价

1）**2015年7月16日，中国电机工程学会组织“变电站智能化关键技术、装备及工程应用”成果鉴定，**鉴定意见摘要如下：项目成果标志着我国在变电站设备集成化、采集数字化、传输网络化、分析智能化等核心技术方面取得重大突破，**确立了我国在变电站智能化领域的国际领先地位**。（中电机鉴[2015]第132号）

2）**2016年6月13日，中国电机工程学会组织“基于数据全过程管控与协同的变电站智能化关键技术研究及应用”成果鉴定**，鉴定意见摘要如下：研究成果实现了变电站数据高可靠性采集、可视化运维、全景数据集成及多业务协同应用，解决了数据全过程管控与全景信息集成的难题，**整体达到国际领先水平**。（中电机鉴[2016]第096号）

3）**2014年11月8日，中国电机工程学会组织“PCS系列智能变电站保护与控制系统”成果鉴定**，鉴定意见摘录如下：整体技术达到国际先进水平，其中基于延时可测的**高可靠同步方案、一体化业务平台、一体化运维检修**技术**达到国际领先水平**。（中电机鉴[2014]第134号）

4）**2012年9月15日，国家能源局组织“PCS-9015电网在线保护定值校核系统”成果鉴定**，鉴定意见摘录如下：**解决了实时监测继电保护定值的适应性和分析电网动态过程对继电保护定值的影响等难题**，实现了继电保护定值校核从离线到在线的跨越，对保证电网安全运行具有重大意义，**总体达到国际领先水平。**（国能科技鉴字[2012]第064号）

5）2012年，基于该成果在IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEM发表的论文 “A hybrid method for transient stability-constrained optimal power flow computation”**被引用18次**，**日本广岛大学教授Naoto Yorino**在同一期刊发表的论文中**给予高度肯定**，**认为可有效解决电网鲁棒安全方面问题**；同期发表的论文 “A reliable intelligent system for real-time dynamic security assessment of power systems”**被引用36次**，**清华大学孙宏斌教授**在IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS AND LEARNING SYSTEMS杂志发表的论文中**认为该成果在电力系统安全分析自动学习方法，特别是动态安全分析方面有重要作用**。

## 3.成果应用评价

1）**2016年9月26日，“新一代智能变电站示范工程”项目荣获2016年度国际咨询工程师联合会（FIDIC，菲迪克）提名奖。**

2）**第六届国际供电会议（CICED2014）主旨技术报告《智能变电站技术发展及实践》**中，对我国智能变电站技术和工程建设的**有关评价翻译摘录如下**：“智能变电站……，对加快智能电网建设，提高电网稳定性和可靠性，提升变电站运营和管理水平具有重要意义。”“中国智能变电站实现了集成优化设计技术、智能设备制造技术和模块化建设技术为核心的三大技术突破。”

## 4.成果检测评价

项目研制的变电站智能化装备通过国内外权威机构的认证和鉴定，具体如下：

1）**获得了KEMA（荷兰）和TUV SUD（南德）国际实验室认证**，检测结论摘录如下：**通过了IEC61850一致性Level A国际认证**，符合变电站通信与系统标准的一致性要求；通过了电磁兼容、安全和环境试验认证。

2）**通过了国家信息中心软件评测中心、国家继电保护及自动化设备质量监督检验中心等国内权威检测机构的检验**，主要检测结论如下：一体化配置工具的安全性、功能和易用性，符合GB/T 25000.51-2002要求；全光纤电流互感器的准确度试验、雷电冲击试验、局部放电测量、电磁兼容测试等满足GB/T 20840.8-2007要求；智能数据处理网关机符合GB/T 13729-2002要求；二次系统在线式自我状态监测系统满足GB/T7261-2008、GB/T13730-2002技术要求。

## 5.科技查新情况

成果经武汉大学教育部Z07科技查新工作站等查新机构国内外科技查新，结论摘要如下：

1）**变电站全过程数据管控与全景信息协同应用技术**研究及应用所列技术要点，在所检出的**国内外相关文献中未见相同报道**：提出智能变电站面向“三层两网”结构的全站分层立体防错、容错、数据流量化寻优、数据统一建模技术、基于基准信号类智能告警技术、实时动态KPI和辅助决策分析技术，建立了主站级-变电站级-设备级的一体化协同应用体系。

2）**变电站智能化关键技术、装备及工程应用**综合查询技术要点21条，**在所检出的国内外相关文献中未见报道：**提出了变电站层次化保护控制系统架构及配置方案、变电站智能化整体集成设计方法，应用智能化集成设备，优化变电站主接线和总平面布置，建立了标准化设计、工厂化加工、装配式建设三个层级的模块化建设模式。

# 五、推广应用情况

成果广泛应用于全国30个省市自治区的智能变电站工程建设中，大幅提升了变电站对电网安全稳定运行的支撑能力，缓解了调度及变电站工作人员的运行压力。相关技术成果已输出至葡萄牙、菲律宾、英国、德国、新加坡、香港等6余国家及地区，大幅提升了我国在变电站技术领域的国际话语权。推广应用情况如下：

（1）截止2016年12月，总计建成智能化变电站3690座。工程涵盖了66～750kV电压等级，覆盖华东、华南、华中、华北、西北、西南、东北7大地区，经受了各种恶劣天气和运行方式的考验，系统运行平稳、设备性能优异。采用模块化建设技术，户外变电站建设效率平均提升43%；全面遵循了资源节约与环境友好的可持续发展路线。

（2）截止2016年12月，层次化保护控制系统已应用于56座智能变电站中，通过分层协同、冗余后备的配置方式，整体供电可靠性达到99.999%；变电站运行驾驶舱已应用于230座智能变电站中，通过顺序控制、远程浏览、告警直传、故障定位等站网互动技术，变电站运维效率整体提升12%，智能变电站全面实现无人值守。

（3）构建了完备的智能变电站技术标准体系，总计编制国家标准6项、行业标准4项、企业标准14项、专著及设计手册17部，全面规范智能变电站工程设计，显著提高电网工程建设质量和管理效率；截止2016年12月，图模库一体化设计软件、网络化回路链接准确性校验工具已应用于5家省级及以上电力设计院中，电气二次设计效率平均提升20%，网络化回路设计准确性提升至100%。

（4）智能变电站技术与装备在海外得到多项应用。在英国建设400kV One Bay变电站、132kV Eastroad and Cuilingroad变电站；在俄罗斯建设110kV ПС Клен克林变、148-OPO变电站；在菲律宾建设230kV COMPOSTELA变电站。同时在中国香港CLP电力公司、伊朗阿塞拜疆等进行推广应用。

**主要应用单位情况表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 应用单位名称 | 应用技术 | 应用起止时间 | 应用单位  联系人/电话 | 应用情况 |
| 国网湖北省电力公司 | 层次化保护控制系统、一体化业务平台、预制舱技术 | 2009.1-今 | 蔡勇  13317173737 | 列入重大成果推广目录，全面推广应用 |
| 国网四川省电力公司 | 层次化保护控制系统、一体化业务平台、预制舱技术 | 2009.1-今 | 谢正军  13980859867 | 列入重大成果推广目录，全面推广应用 |
| 广东电网有限责任公司 | 数据全过程管控、驾驶舱技术 | 2008.1-今 | 张飞13632232299 | 列入重大成果推广目录，全面推广应用 |
| 贵州电网有限责任公司 | 数据全过程管控、图模库一体化设计、驾驶舱技术 | 2011.1-今 | 徐长宝  13985494586 | 列入重大成果推广目录，全面推广应用 |
| 中国能源建设集团江苏电力设计院有限公司 | 图模库一体化设计软件、网络化回路链接准确性校验工具 | 2009.1-今 | 曹伟炜15051812666 | 全面推广应用 |

# 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 | 发明专利有效状态 |
| 发明专利 | 一种面向区域电网的层次化保护控制系统 | 中国 | ZL201310085093.8 | 2015年3月25日 | 第1613654号 | 国家电网公司；国网北京经济技术研究院 | 宋璇坤；李敬如；肖智宏；李军；刘颖；李颖超 | 有效 |
| 发明专利 | 智能变电站GOOSE通信状态监测方法及监测设备 | 中国 | ZL201310236581.4 | 2015年2月11日 | 第1582540号 | 广东电网公司电力科学研究院 | 黄曙；王红星；马凯；陈炯聪；冯善强；胡春潮；谈树峰；禤文健；张晓悦；侯艾君 | 有效 |
| 学术论文 | Robust transient stability-constrained optimal power flow with uncertain dynamic loads | 美国 | DOI: 10.1109/TSG.2015.2510447 | 2016年1月29日 |  |  | Yan Xu；Jin Ma；Zhao Yang Dong；David J. Hill | 有效 |
| 发明专利 | 智能变电站二次设备状态检测方法 | 中国 | ZL201310236502.X | 2016年7月6日 | 第2137428号 | 广东电网公司电力科学研究院 | 王红星, 黄曙, 陈炯聪, 马凯, 汪溢, 谈树峰, 冯善强, 杨颖安, 曹丽娟, 杨占杰 | 有效 |
| 发明专利 | 智能化变电站智能告警及辅助决策的实现方法及装置 | 中国 | ZL201210290810.6 | 2014年10月1日 | 第1491000号 | 南方电网科学研究院有限责任公司 | 段卫国；陈华军；陈波；习伟；李果；金春潮；黄胜 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于IEC61850标准的调度与远动之间的顺控方法 | 中国 | ZL201310242413.6 | 2015年7月29日 | 第1739924号 | 广东电网公司电力科学研究院；许继集团有限公司；许继电气股份有限公司 | 陈炯聪；高新华；黄曙；余南华；马凯；冯善强；方伟；牛津文；李贞；王广民；胡春潮；杨颖安；汪溢 | 有效 |
| 发明专利 | 一种变电站智能运行的方法 | 中国 | ZL201210153818.8 | 2014/10/29 | 第1509637号 | 云南电力试验研究院（集团）有限公司电力研究院；昆明能讯科技有限责任公司；云南电网公司普洱供电局 | 曹敏；谭旻；杨晴；张志生；尹福荣；张玉龙；邓全燕；李刚；赵健；邓金才 | 有效 |
| 发明专利 | 适用于变压器差动保护的电压锁相同步网络化采样方法 | 中国 | ZL201310544592.9 | 2016年2月24日 | 第1964030号 | 贵州电力试验研究院 | 高吉普；徐长宝；陈建国；秦健；戴宇；汤汉松；罗强 | 有效 |
| 发明专利 | 变电站配置文件管控方法和系统 | 中国 | ZL201210585535.0 | 2016年6月8日 | 第2098663号 | 广东电网公司电力科学研究院 | 马凯；黄曙；汪溢；陈炯聪；余南华；胡春潮；冯善强；王红星；谈树峰；张晓悦；曹丽娟 | 有效 |
| 发明专利 | 智能变电站中敷设光缆的方法和系统 | 中国 | ZL201310476574.1 | 2015年12月23日 | 第1882536号 | 广东电网公司电力科学研究院 | 侯艾君；陈炯聪；黄曙；马凯；余南华；王红星；汪溢；冯善强；胡春潮；谈树峰；杨占杰 | 有效 |

# 七、主要完成人情况

|  |  |
| --- | --- |
| 主要完成人  主要完成人  主要完成人  主要完成人  主要完成人 | 1、姓名：宋璇坤  排名：1  行政职务：总工程师  技术职称：教授级高级工程师  工作单位：国网北京经济技术研究院  完成单位：国网北京经济技术研究院  对本项目技术创造性贡献：作为项目学术带头人，牵头智能变电站顶层设计，对创新点1、4有突出贡献，负责“设备级-变电站级-电网级”架构设计，创立了层次化保护系统关键技术，提出了一二融合及二次设备集成方案，提出了模块化建设方案。获授权发明专利（ZL201310085093.8：一种面向区域电网的层次化保护控制系统、ZL201310050607.6：一种电力电子变电站；ZL201310294999.0：一种智能变电站云系统）等4项，发表论文8篇，出版科技专著1部，牵头编写典型设计2部。  2、姓名：黄曙  排名：2  行政职务：副所长  技术职称：教授级高级工程师  工作单位：广东电网有限责任公司电力科学研究院  完成单位：广东电网有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：作为项目主要负责人，负责项目总体方案设计与实施，牵头负责技术路线制定、关键技术研究、应用推广和成果总结，对创新点2，3，4均作出贡献。完成与项月相关的代表性成果：获得授权发明专利（ZL200910214299.X：一种数字化变电站的通信状态检测方法及其装置；“ZL201310236581.4：智能变电站GOOSE通信状态监测方法及监测设备；ZL201110003016.4：基于数模混合仿真技术的变电站仿真培训系统；ZL201210379528.5：一种城市地下管网标识/定位/显示/管理的方法及系统等）等17项，发表论文4篇，出版科技专著2部。  3、姓名：徐岩  排名：3  行政职务：无  技术职称：助理教授  工作单位：南方电网科学研究院有限责任公司  完成单位：南方电网科学研究院有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：对创新点1、2、4做出贡献，参与“设备级-变电站级-电网级”多级协同的变电站智能化运行控制架构、时空协同的层次化保护控制系统的课题研究，负责复杂时变多态情况下的变电站能量流稳定优化控制技术的研究，负责变电站海量数据动态特征提取及知识挖掘技术的研究。发表论文：SCI期刊论文51篇。  4、姓名：李鹏  排名：4  行政职务：副院长  技术职称：教授级高级工程师  工作单位：南方电网科学研究院有限责任公司  完成单位：南方电网科学研究院有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：参与项目总体方案设计与实施，研究构建了面向设备的全景数据平台并应用于移动终端，研究整体系统的信息，发明了变电站驾驶舱并在南方电网公司230多座变电站进行了推广应用。对创新点1、2、3做出了贡献。获得授权发明专利（ZL 201310323261.2：移动终端系统安全测试与智能修复系统及方法；ZL 201310320803.0：基于势函数的移动终端系统安全测评方法；ZL 201310310607.5：基于无线传感网络和云计算的发布订阅系统及方法）等5项，发表论文3篇。  5、姓名：李政  排名：5  行政职务：副总经理  技术职称：教授级高级工程师  工作单位：国网湖北省电力公司  完成单位：国网湖北省电力公司  对本项目技术创造性贡献：负责新一代智能变电站工程应用示范技术研究，对创新点4有突出贡献，编写《新一代智能变电站技术及工程技术》、《智能变电站调试与运行维护》等专著3本。  6、姓名：段新辉  排名：6  行政职务：主任  技术职称：教授级高级工程师  工作单位：广东电网有限责任公司  完成单位：广东电网有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：对创新点2、3、4作出贡献，完成与项目相关的代表性成果:获得授权发明专利（ ZL201010181911.0 ：基于一体化在线式五防实现的变电站动态防误闭锁系统；ZL201010512825.3：一种测控单元实现变电站动态防误功能的方法；ZL201010189531.1：一种61850变电站的五防逻辑测试方法及其系统； ZL201010112016.3：数字化变电站主变保护中的采样数据通道切换方法及装置”）等6项。  7、姓名：李敬如  排名：7  行政职务：院长助理  技术职称：教授级高级工程师  工作单位：国网北京经济技术研究院  完成单位：国网北京经济技术研究院  对本项目技术创造性贡献：对创新点1、4作出贡献，完成顶层设计及近远期概念方案，提出整体集成设计技术、模块化建设技术，获授权发明专利（ZL201310085093.8：一种面向区域电网的层次化保护控制系统； ZL201310294999.0：一种智能变电站云系统）等4项，编写典型设计2部。  8、姓名：胡春潮  排名：8  行政职务：主管  技术职称：工程师  工作单位：广东电网有限责任公司电力科学研究院  完成单位：广东电网有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：对创新点2作出贡献，主要参与数据传输可靠性和可视化研究。完成与项目相关的代表性成果:获得授权发明专利（ZL201310242413.6：一种基于IEC61850标准的调度与远动之间的顺控方法；ZL 201310236581.4：智能变电站GOOSE通信状态监测方法及监测设各、ZL 201210123066.0：一种基于智能变电站交换机延时的在线检测报警方法、ZL 201310476574.1：智能变电站中敷设光缆的方法和系统）等4项。  9、姓名：陈波  排名：9  行政职务：无  技术职称：高级工程师  工作单位：南方电网科学研究院有限责任公司  完成单位：南方电网科学研究院有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：参与项目总体方案设计与实施，发明了变电站驾驶舱，开展了变电运行驾驶舱的试点、推广工作，在南方电网公司230多座变电站推广实施了变电站驾驶舱。对创新点1、2、3作出了贡献。  完成与项目相关的代表性成果：授权发明专利（PCT/CN2011/085020： SUBSTATION CONTROL CENTER TECHNOLOGY（一种变电站驾驶舱技术）；ZL201110351892.6：一种变电站驾驶舱系统；ZL201210322421.7：一种变压器状态综合指标评估系统；ZL201210290810.6：智能化变电站智能告警及辅助决策的实现方法及装置；ZL201210322485.7：变电站以太网通信网络监测方法和系统；ZL201110172223.2：一种面向智能计量通信的测试及试验装置）等6项。  10、姓名：熊小伏  排名：10  行政职务：副主任  技术职称：教授  工作单位：重庆大学  完成单位：重庆大学  对本项目技术创造性贡献：参与项目调研及方案的实施，研究了继电保护系统状态诊断理论，提出了继电保护系统可靠性模型和状态诊断方法，对创新点1作出了贡献。  完成与项目相关的代表性成果：授权发明专利（ZL 200910190888.9：一种数字化变电站电子式互感器的故障诊断方法；ZL 200910104380.2：一种反应接地刀闸状态的输电线合闸操作站间闭锁控制系统；ZL 200910104096.5：数字式变压器保护装置测量回路的隐藏故障诊断方法；ZL 200910191450.2：电站自动化系统数据网络安全监控方法）等4项，撰写或参与撰写EI论文10篇。授权软件著作权：YHNA-40M智能变电站大容量网络数据记录分析软件4.5。完成专著：继电保护状态诊断及维修决策理论与方法。  11、姓名：韩晓言  排名：11  行政职务：副总工程师  技术职称：高级工程师  工作单位：国网四川省电力公司  完成单位：国网四川省电力公司  对本项目技术创造性贡献：负责四川电网智能变电站研究及建设工作。组织开展科技攻关，实现了多个关键技术创新。对创新点4作出了贡献。建成投运国家电网公司系统第一个智能变电站四川北川110kV智能变电站，将项目研究成果在四川电网推广应用。“智能变电站研究及工程应用”获2011年四川省科技进步一等奖。  12、姓名：徐长宝  排名：12  行政职务：主任  技术职称：高级工程师  工作单位：贵州电网有限责任公司  完成单位：贵州电网有限责任公司  对本项目技术创造性贡献：参与项目技术路线的制定与具体实施，主要研究了数据准确采集、容错技术及故障诊断技术，对创新点的2、3、4作出贡献。完成与项目相关的代表性成果:获得授权发明专利（ZL201310372811.X：基于跨间隔网络报文数据融合的主变故障分析方法”；“ZL201310372672.0：基于变电站间的网络报文数据的线路故障分析方法”；“ZL201310552525.1：一种提高网络采样的智能变电站时钟同步可靠性的方法）等10项，发表论文10余篇。  13、姓名：谷松林  排名：13  行政职务：无  技术职称：工程师  工作单位：国网北京经济技术研究院  完成单位：国网北京经济技术研究院  对本项目技术创造性贡献：对创新点1、4作出贡献，参与智能变电站顶层设计方案，参与智能变电站层次化保护体系的建立，参与一、二次融合及二次设备集成方案的提出。  14、姓名：朱晓彤  排名：14  行政职务：所长  技术职称：高级工程师  工作单位：南京南瑞继保电气有限公司  完成单位：南京南瑞继保电气有限公司  对本项目技术创造性贡献：对创新点1、2、4作出贡献：参与变电站智能化理念和体系架构设计，负责智能变电站关键装备的总体设计，组织开展并深度参与智能变电站保护控制装备的研发。负责区域保护与控制系统总体设计，提出差动保护的自适应采样延迟补偿方法，自动适应输电线路功率倒向的纵联保护方法，面向变电站的广域距离保护方法等，全面支持项目。  15、姓名：刘刚  排名：15  行政职务：副主任  技术职称：高级工程师  工作单位：北京四方继保自动化股份有限公司  完成单位：北京四方继保自动化股份有限公司  对本项目技术创造性贡献：对创新点1、2、4作出贡献，参与变电站设备核心数据库和全景数据库、异构系统信息交互技术、互联网信息集成技术的应用课题研究，负责变电站运行驾驶舱核心数据库及系统集成的研发及工程应用。完成与项目相关的代表性成果：获得授权发明专利（ZL201010623922.X：基于动态变化帧的过程数据全息归档和反演方法、ZL201310481575.5：一种用于在线修改控制系统逻辑算法程序的方法）等2项。 |

# 八、主要完成单位及创新推广贡献

## （一）广东电网有限责任公司，第1完成单位

广东电网公司作为项目牵头单位与主要完成单位，对创新点1~4均做出了突出贡献，负责开展变电站智能运行，变电站二次设备高效运维以及信息流全过程管控等关键技术的研究，形成了成套的技术架构体系，并在广东电网范围内开展相关技术的示范应用，应用效果表明所研发的技术能够有效提高变电站的运行安全性和可靠性，提升设备的运维效率，对于保证电网的安全运行有着重要推进作用。

（1）创建了“设备级-变电站级-电网级”分层协同的变电站保护控制架构，为实现电网的高性能保护和优化控制策略提供了架构基础。

（2）研究了电网、设备、作业风险关键指标综合提取和全景展示技术架构，运行监视关键告警推送量减少99%，提出了基于专家经验和故障机理逻辑的智能数据分析技术，故障定位响应速度提升53%，创立了二次设备状态评估与定值在线校核技术体系，维护作业效率整体提升12%。

（3）构建了变电站分层立体防错、容错技术架构，因采样异常导致的误动作减少56%，提出了变电站数据流量确定性交换技术及量化分析方法，解决了变电站通信网络分析手段不足、数据传输路径不可视等问题，网络延时抖动控制从毫秒级精确到微秒级，信息传输故障诊断耗时减少90%。

（4）创立了涵盖“设计-研发-安装-调试”全过程的成套技术体系，提出了变电站图模库一体化设计方法，将网络化二次回路链接的准确性提升至100%。

## （二）国网北京经济技术研究院，第2完成单位

国网北京经济技术研究院作为国家电网公司规划设计领域的龙头单位，承担了智能变电站顶层设计、关键设计技术研究、设计技术标准体系制定等工作，指导国网公司区域内智能变电站示范工程建设及推广应用建设。

（1）项目团队创新变电站“顶层设计”思路及方法，明确功能需求，引导关键技术研究与关键设备研制，全程动态优化设计，规划变电站近远期技术发展路线，对智能变电站的技术发展方向提供有力支撑。

（2）构建了时空协同的层次化保护控制系统，并成功应用于56座智能变电站，提出了电力电子变电站、光子差动保护等前瞻性技术；

（3）提出了基于元件、功能、信息融合的变电站智能装备研制框架及功能规范，指导新型一二次智能装备研发；创建了工厂化预制、一体化联调、装配式安装的模块化建设模式，并应用于121座智能变电站。在设计标准体系制定方面，制定国家标准2项、企业标准6项，牵头编制了各电压等级的系列通用设计及典型设计。

项目研究期间共授权发明专利6项，发表学术论文23篇，出版科技专著1部、设计手册3部，荣获省部级科学技术进步奖5项。

## （三）南方电网科学研究院有限责任公司，第3完成单位

项目主要完成单位，全面参与项目的策划、调研和研究方案制定，负责全景数据平台、变电运行驾驶舱等关键技术研究、应用与推广。

（1）提出了协同互动技术，发明了变电站驾驶舱，实现了电网源、荷灵活接入情况下变电站能量流稳态最优化控制。

（2）首创了系统、设备、作业风险关键指标提取和全景展示技术，综合变电站运行相关的电网自动化、同步相量测量、保信、计量、设备状态监测、安全生产管理、视频监视及环境监测八大类业务，基于智能信息引擎技术提炼构建了变电运维KPI指标体系，量化变电运行状态，破解了关键运维信息湮没的难题。

（3）构建了变电站全景数据平台，解决了站端业务信息分散、跨专业维护应用困难问题，构建了聚合变电站监视、诊断、管理、协同的一站式运维平台，实现了变电站风险实时监视与预警、设备风险自动逐级溯源，并全面支持移动应用，提供设备关键缺陷的预警和决策支持。

（4）在南方电网公司230多座变电站推广实施了变电站驾驶舱，运维作业效率整体提升12%。

## （四）贵州电网有限责任公司，第4完成单位

项目主要完成单位之一，参与项目的技术路线制定与试点实施，对创新点2、3、4做出了相关贡献：

（1）主要参与研究智能变电站面向“三层两网”架构的全站分层立体防错、容错技术，创立了过程层、间隔层、站控层的全站数据提高可靠性采集协同体系，系统解决了智能变电站电子互感器抗干扰、全站时间同源、跨间隔采样同步等关键性技术难题。

（2）参与研究智能变电站数据流的量化寻优、全过程监控及诊断技术，建立了数据传输可视化运维技术体系；组织在贵州电网内的智能变电站中推广应用，取得良好的应用效果。

## （五）国网湖北省电力公司，第5完成单位

参与单位主要研究了新一代智能变电站网络优化与三网融合技术：

（1）提出了大数据流在网络上的传输处理方法，实现了新一代智能变电站就地级保护直采直跳、站域级保护网采网跳、网络数据流动分类导向与流量控制，提高了变电站的可靠性和稳定性。

（2）研究了新一代智能变电站自动化与层次化保护技术。提出了面向新一代智能变电站的层次化保护体系架构和就地级、站域级、广域级保护方案以及顺序控制的虚监控方法，提高了变电站层次化保护系统和顺序控制功能的可靠性。

（3）研究了新一代智能变电站二次网络测量与信息安全技术。提出了新一代智能变电站二次网络测量与多模决策、二次虚回路检测和智能变电站信息安全控制的签名认证方法，解决了二次网络的可测量性和安全性。

（4）研究了新一代智能变电站网络对时与时间同步检测技术。提出了测量设备的时间同步能力检测和卫星同步授时装置输出信号的时间信息检测方法，提升了厂站、电网对一次设备及系统的实时分析与监控能力，保障了二次设备时间对时与同步的准确性。

（5）研究了新一代智能变电站工程应用示范技术。提出了新一代智能变电站总平面及配电装置优化、户外预制舱选型与屏柜布置标准化、模块化设计与安装、现场调试与工程验收等12项标准；减少了变电站占地面积和建筑面积，缩短了安装、施工及首检工期，提高了工作效率；实现了武汉未来城新一代智能变电站示范工程。

## （六）国网四川省电力公司，第6完成单位

国网四川省电力公司承担了智能变电站建设、调试试验以及运行维护工作，对智能变电站的技术发展提供有力支撑：

（1）在关键技术创新方面，提出了智能变电站系统架构，实现了全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、高级应用互动化。

（2）研发了设备状态智能诊断专家系统，实现了变电站网络故障定位、在线监测系统检测方法；成功研制了全站一体化监控系统和检测设备。

项目研究期间共授权发明专利8项，发表学术论文5篇，荣获四川省科学技术进步一等奖1项。

## （七）云南电网有限责任公司，第7完成单位

项目主要完成单位，负责项目的策划、调研、研究方案制定与实施、研究成果的应用与推广，对创新点2做出突出贡献。

（1）创立了主站级-变电站级-终端级的层次化协同应用体系,实现了关键告警信息的分层、分类多维综合应用。建立具有一键式控制、可视化监测、智能巡视、智能告警、分布程序化控制、智能分析决策、全景信息分级共享等特征为一体的变电运行驾驶舱，通过智能监视、智能操作、智能辅助的高级应用窗口对变电站运行重点关注信息分层聚合、面向对象分类处理信息主动推送，使运行人员在驾驶舱中方便驾驭变电站全貌。精细到设备的区域安全划分智能运行控制策略，实现多安全任务分区信息贯通，在变电运行驾驶舱全景展现集中式分析逻辑判断，实现变电运行智能化。

（2）组织在云南电网公司普洱、大理、红河等多个供电局推广应用，取得良好效果。

## （八）重庆大学，第8完成单位

项目主要完成单位，参与项目的调研、策划和研究方案的制定，完成了继电保护系统状态诊断理论的研究。

（1）提出了不同保护配置状态下继电保护系统的整体可靠性模型，建立了保护装置隐藏故障下输电线路连锁跳闸概率模型，实现了继电保护系统失效对电力系统影响的定量分析。

（2）系统研究了继电保护系统状态诊断方法，将继电保护运行行为划分为静态、动态特性，分别建立了计及启动性能、测量性能等方面的隐藏故障诊断、监测方法，构建了隐藏故障识别判据，提高了继电保护系统运行可靠性及安全性。

（3）提出了广域保护的路由选择模型，可为广域保护信息的传输提供保障，提出了适应未来电网发展要求的继电保护重构的设想，建立了实施继电保护重构的通用三层模型，给予继电保护更大的灵活性和可靠性以适应未来电网发展。

## （九）南京南瑞继保电气有限公司，第9完成单位

项目主要完成单位，主要参与智能变电站装备的整体研制、精确流量控制技术、广域保护、在线保护定值校核等的研究和试点应用：

（1）提出采用基于趋势判别的异常数据快速识别和修复算法实现了采集系统全链条错误数据剔除和修复，完成了数据采集质量全方位优化。

（2）提出基于应用编码标识的信息流自适应控制方法，实现了网络全局优化和关键节点流控，保证了关键业务数据的优先传输。

（3）研制适用于智能变电站的智能变电站保护与控制系统，研究成果在国内外数百个智能变电站得到了成功应用。

（4）研制电网在线保护定值校核系统，实现继电保护定值校核从离线到在线跨越，保证电网安全运行。

（5）研制区域保护与控制系统，提高高中低配电网供电可靠性。

依托上述技术所生产的产品在多个智能变电站试点运行，运行情况良好。

## （十）北京四方继保自动化股份有限公司，第10完成单位

项目主要参与完成单位，主要参与全景数据集成和变电站运行驾驶舱技术研究。

（1）主要参与研究并提出了智能站全景数据平台技术，实现了面向变电站设备运维应用需求的核心数据库及其运行过程的全景数据库，为智能变电站运行维护提供数据支撑。

（2）主要参与研制面向运维中心和变电站的驾驶舱系统，实现了电网监视，设备监视，运维管理“三面屏”集成的变电运维一站式应用。

（3）主要参与研制跨安全区通信系统和移动终端App，实现了变电运维业务的移动化应用。

相关产品在多个智能变电站试点运行，取得良好的应用效果。

# 九、完成人合作关系说明

2007-2016年，广东电网有限责任公司、南方电网科学研究院有限责任公司、贵州电网有限责任公司、云南电网有限责任公司、南京南瑞继保电气有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司在南方电网统一组织下，完成基于数据全过程管控与协同的变电站智能化关键技术研究与应用。广东电网有限责任公司与南京南瑞继保电气有限公司联合申请了9项发明专利，广东电网有限责任公司与北京四方继保自动化股份有限公司联合申请了2项发明专利，南方电网科学研究院有限责任公司与云南电网有限责任公司联合申请了2项发明专利，南方电网科学研究院有限责任公司与南京南瑞继保电气有限公司联合申请了2项发明专利，上述完成单位共同获得2016年中国电力科学技术进步一等奖。

2009-2010年，云南电网有限责任公司与重庆大学合作，开展了变电站智能化控制及保护关键技术研究，联合实施了“基于总线网路的数字化变电站自诊断系统及状态维修（1042012920091040）”科研项目并顺利完成验收。

2009-2011年，变电站智能化关键技术在国网四川省电力公司开展了技术应用和工程实施，建成国家电网公司第一座智能变电站—110kV北川变电站。国网北京经济技术研究院对该项目进行了整体评价，获得了2011年四川省科技进步一等奖。

2011-2013年，中国南方电网有限责任公司、北京四方继保自动化股份有限公司联合申报，编制国家标准《智能变电站技术导则》（GB/T 30155-2013）。

2012-2014年，国网北京经济技术研究院与南京南瑞继保电气有限公司联合实施了“新一代智能变电站关键技术”重大科研专项中 “新一代智能变电站二次系统设计技术研究”，与北京四方继保自动化股份有限公司共同立项完成的“继电保护在线安全裕度评估系统”科技项目，并顺利通过验收。

2012-2016年，国网湖北省电力公司、四川省电力公司严格落实国网北京经济技术研究院编制的新一代智能变电站近期概念设计及典型设计方案，采用南京南瑞继保电气有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司的成套设备，分两批次建设完成了湖北未来城110kV、四川资铁220kV等6座新一代智能变电站试点工程，其中，国网北京经济技术研究院、国网湖北省电力公司、南京南瑞继保电气有限公司共同完成的“新一代智能变电站设计技术研究与示范应用”获得了国家电网公司2015年度科技进步一等奖。

**完成人合作关系情况汇总表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者  （项目排名） | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 | 备注 |
| 1 | 共同获奖 | 段新辉/6、胡春潮/8、陈波/9、徐长宝/12 | 2007-2016 | 2016年中国电力科学技术进步奖一等奖 | 基于数据全过程管控与协同的变电站智能化关键技术研究及应用 |  |
| 2 | 共同立项 | 徐岩/3、李鹏/4、陈波/9 | 2005-2010 | 研究报告  SCI论文 | 能源互联网的多尺度精细建模及其运行规划研究 （WYKJ00000027）  Measurement-based dynamic load modeling using time-domain simulation and parallel evolutionary search |  |
| 3 | 共同立项 | 宋璇坤/1、朱晓彤/14 | 2012-2014 | 研究报告 | 新一代智能变电站二次系统设计技术研究（B3441512K004） |  |
| 4 | 共同立项 | 熊小伏/10、云南电网有限责任公司/7 | 2009-2010 | 研究报告 | 基于总线网路的数字化变电站自诊断系统及状态维修（1042012920091040） |  |
| 5 | 论文合著 | 徐岩/3、胡春潮/8 | 2013-2015 | SCI论文 | Impact analysis of false data injection attacks on power system static security assessment |  |
| 6 | 产业合作 | 李敬如、谷松林/2、国网湖北省电力公司/5、国网四川省电力公司/6 | 2009-2014 | 项目合作  评价报告 | 新一代智能变电站典型方案与设计支撑技术研究项目（B3441515K003）；  新一代智能变电站示范工程技术与经济评价（B3441515K004）；  四川省电力公司智能变电站试点工程总评报告 |  |
| 7 | 共同立项 | 宋璇坤/1、刘刚/15 | 2011-2013 | 项目合作 | 新一代智能变电站保护、控制及通信技术实用化研究（B3441512K005） |  |