

# 提名国家技术发明奖项目公示

## 一、项目名称

基于电压平面的输电线路过负荷与故障精准识别技术

## 二、提名单位及提名意见

**提名单位：**中国电机工程学会

### **提名意见：**

本世纪以来，国内外电网发生多起由于线路保护装置将线路过负荷误判为故障引发的大停电事故，影响人口超过十亿，经济损失惨重。要避免大停电事故必须解决输电线路过负荷与故障准确识别这一瓶颈技术，但该难题长期未得到彻底解决。

项目组对过负荷和故障特征进行深入挖掘，在电压平面上发现了二者的根本差异，创建了电压平面上识别过负荷与故障的理论，提出了通过复数反演建立阻抗平面与电压平面几何关系的方法。基于电压平面，发明了相间电压余弦分量识别过负荷与相间故障技术，发明了相-正序电压相位关系识别过负荷与接地故障技术。发明了电流不对称度与正序电压余弦分量自适应确定线路故障区边界的技术，首次建立了可模拟线路过负荷动态全过程的标准测试模型，解决了线路过负荷类型多样、不易准确模拟的难题。首次研制出新型线路保护装置，实现了线路过负荷的准确识别，将接地故障时保护切除接地电阻能力从  $30\ \Omega$  提升至  $150\ \Omega$  以上。

项目获授权发明专利 15 项，发表论文 25 篇，已被电力行业标准、国家电网公司企业标准采纳。

我国全部高压保护装置生产厂家已采用项目成果，并在全国 33 个省级电网得到广泛应用，出口至美国、澳大利亚、巴西、印度、韩国等 27 个国家，提升了我国在继电保护领域的国际影响力和保护装备国际竞争力。近三年直接经济效益 18.39 亿元。项目形成了理论方法、装置开发、试验验证、推广应用的全过程成果，提升了电网的本质安全，为应对大停电事故提供了一种有效的解决方案，是我国电力科研工作者对世界继电保护领域做出的重要贡献。

提名该项目为国家技术发明奖二等奖。

### 三、项目简介

项目属于电力系统及其自动化学科，涉及继电保护、电力系统分析专业。

输电线路作为电能传输的通道具备一定过负荷能力，而线路故障因影响电网安全稳定运行需由继电保护快速切除。继电保护将过负荷误判为故障会引发连锁故障，最终导致大面积停电事故。本世纪世界范围内共发生 29 起大停电事故，其中包括 2003 年“8.14”美加大停电、2012 年印度两次大停电在内的 22 起均与继电保护误切除过负荷线路有关，经济损失超过 1000 亿美元，影响人口超 10 亿；我国 2007 年“7.1”事故中继电保护误切除 5 条过负荷线路，造成事故扩大。要避免大停电事故必须解决继电保护将过负荷误判为故障而误动的问题。

线路过负荷时误动的继电保护为距离保护，其误动原因是过负荷与故障在距离保护的阻抗平面上特征存在混叠区。原有解决思路局限在阻抗平面上，通过减小混叠区降低保护误动概率，不仅牺牲了保护的故障识别能力，且无法彻底消除混叠区，过负荷时保护仍会误动。如何准确区分线路过负荷与故障，防止因过负荷误切除输电线路引发连锁故障已成为电力系统的世界性技术难题。

在国家 973 计划及国家电网公司科技项目支持下，依托电网安全与节能国家重点实验室，项目组历经 10 余年持续攻关，攻克了输电线路过负荷时保护误动引发连锁故障的难题，①突破性地创建了电压平面上识别过负荷与故障的理论，提出了通过复数反演建立阻抗平面与电压平面几何关系的方法，揭示了在电压平面上可反映过负荷与故障本质差异的规律，填补了线路过负荷与故障识别的理论空白。②发明了基于电压平面的相-正序补偿电压相位关系识别过负荷与接地故障技术，构建了电压相位特征过负荷识别区和接地故障识别区，实现了二者的准确识别；发明了电流不对称度与正序电压余弦分量自适应确定线路接地故障区边界的技术，将故障时保护切除接地电阻能力从  $30\Omega$  提升至  $150\Omega$  以上。③首次发现相间电压余弦分量在线路过负荷与故障时分别表征系统电压和故障点电压、二者相差 14 倍以上的规律，发明了基于电压平面的相间电压余弦分量识别过负荷与相间故障技术，构建了电压幅值特征过负荷识别区和相间故障识别区，实现了二者的准确识别。④首次建立了可模拟线路过负荷动态全过程的标准化测试模型，提出了线路保护过负荷测试方法，解决了线路过负荷类型多样、不易准确模拟的难题，填补了国内外在这方面的空白。该发明获 2018 年度中国电力技术发明奖

一等奖，授权发明专利 15 项，发表论文 25 篇，1 篇被推荐为 2016 年 CIGRE 大会 Special Report。鉴定结论为：提出的理论方法属国际首创，解决了困扰继电保护专业多年的世界性难题，处于国际领先水平。

我国全部高压保护厂家装置已全部采用该技术发明，已作为线路保护装置的标准配置在全国 33 个省级电网得到广泛应用，近三年直接经济效益 18.39 亿元。项目成果已被电力行业标准、国网公司企业标准采纳。应用该发明的装置已出口至美国、澳大利亚、巴西、印度、韩国等世界 5 大洲 27 个国家，大幅提升了我国在继电保护领域的国际影响力和保护装备国际竞争力。近三年国家电网迎峰度夏期间输电线路过负荷共计 348 条·次，输电线路故障 5836 次，保护装置均准确识别。该发明实现了输电线路过负荷与故障的精准识别，彻底消除了由线路过负荷引起电网连锁故障造成大停电事故的隐患，提升了电网的本质安全。

#### 四、客观评价

1. 获奖情况。“基于电压平面的输电线路过负荷与故障识别技术”获 2018 年度中国电力技术发明奖一等奖和中国电力创新一等奖。

2. 技术鉴定。2016 年 2 月 26 日，中国电机工程学会在北京组织召开了“消除距离保护引发大电网连锁故障风险的技术及应用”项目技术鉴定会，由杨奇逊院士和王锡凡院士任组长的鉴定委员会认为：项目提出的消除距离保护引发大电网连锁故障风险的理论方法属国际首创，解决了困扰继电保护专业多年的世界性难题，处于国际领先水平。

3. 查新报告。国网信息通信有限公司出具的查新报告给出的查新结论为：该课题开展研究的技术要点，在所检出的国内外相关文献中未见报道。

4. 国内外同行评价。(1)《电网技术》(第 38 卷 11 期)杂志连续刊登 2 篇论文并配发编者按，其中指出：“由国家电网华中调控分中心、中国电力科学研究院、国家电力调控中心等单位组成的攻关团队经过潜心的研究，提出了过负荷和故障的明显识别特征，并在装置中实现，该项研究已通过严酷过负荷和多种类型故障的仿真验证，将从根本上解决距离保护应对过负荷这一世界性技术难题”。

(2)2016 年 8 月 21 日，项目论文《The Identification of Transmission Line Overload and Faults Based on Voltage Plane》被国际大电网委员会中国国家委员会(CIGRE CNC)推荐为 CIGRE2016 大会 special report。(3) 2015 年 5 月 10 日，项目论文

《具备应对过负荷能力的距离保护原理》荣获“领跑者 5000—中国精品科技期刊顶尖学术论文”。

5. 检测报告。2014年8月8日-15日，电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心对采用本发明技术的保护装置进行了专业测试，检测结论为：“过负荷（事故过负荷、正常过负荷）期间，距离保护不误动作，过负荷期间发生区内故障，距离保护正确动作”。

6. 标准采纳。（1）2017年，被电力行业标准《阻抗保护功能技术规范》（DL/T479-2017）采纳。（2）2013年，被国网公司企业标准《线路保护及辅助装置标准化设计规范》（Q/GDW1161-2013）采纳。（3）2013年，被国家电网公司企业标准《继电保护及安全自动装置检测技术规范 第4部分：继电保护装置动态模拟测试》（Q/GDW11056.4-2013）采纳。（4）2015年，被国家电网公司运检【2015】376号文《防止变电站全停十六项措施》采纳。

7. 媒体报导。（1）2016年5月6日，《国家电网报》评价本项目成果“破解电网大停电难题”。（2）2018年9月1日，《中国电力报》对本项目成果做了题为“消除线路过负荷引发大停电分析技术获突破”的报道。（3）2018年12月11日，《科技日报》对本项目成果进行了题为“精准识别线路过负荷与故障 过负荷引发连锁故障迎刃而解”的报道。

## 五、推广应用情况

### （1）设备生产厂家应用情况

2014年以来，该项目成果已许可国内全部具有高压保护资质的全部6家高压保护厂家（包括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、许继电气股份有限公司、国电南京自动化股份有限公司、长园深瑞继保自动化有限公司、南瑞科技股份有限公司）使用。6个厂家采用该项目成果研制的高压线路保护装置均通过了电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心的专业检测。采用该成果的线路保护装置在国产输电线路保护装置的市场占有率为100%

### （2）电网企业应用情况

项目成果已推广应用于国家电网公司、南方电网公司、内蒙电力公司。2014年5月以后，国家电网有限公司要求新、改、扩建输电线路保护装置全部采用该

项目成果。南方电网有限公司部分输电线路已经采用该项目成果的装置，在 2018 年 7 月组织的线路保护专业检测中已提出明确要求线路保护必须具备过负荷识别能力，今后投运的线路保护装置将全部采用该项目成果。内蒙电力公司于 2014 年 12 月后，要求新、改、扩建输电线路保护装置全部采用该项目成果。

### (3) 检测机构应用情况

该项目提出的线路过负荷试验标准模型、线路保护过负荷试验测试项目、判定标准，已被电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心，已经被电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心、国家继电保护及自动化设备质量监督检验中心（许昌开普检测研究院股份有限公司）等检测机构采用，分别于 2014 年 8 月、2016 年 8 月之后开展高压输电线路保护装置的检验测试。

### (4) 海外应用情况

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、国电南京自动化股份有限公司、国电南瑞科技股份有限公司 4 家公司通过相关海外工程，应用该发明的装置已出口至美国、澳大利亚、巴西、印度、韩国等世界 5 大洲 27 个国家，相关线路保护装置运行稳定，可有效区分过负荷与线路故障。

主要应用单位情况表如下：

表 1 主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	南京南瑞继保电气有限公司	整体技术	10051 套线路保护装置	2014.1-今	赵青春 13905171676
2	北京四方继保自动化股份有限公司	整体技术	5626 套线路保护装置	2014.1-今	余锐 18600208100
3	许继电气股份有限公司	整体技术	3963 套线路保护装置	2014.1-今	倪传坤 13782280320
4	南京国电南自电网自动化有限公司	整体技术	4936 套线路保护装置	2014.1-今	姚亮 18851026307
5	长园深瑞继保自动化有限公司	整体技术	3212 套线路保护装置	2014.1-今	陈远生 13823172197
6	南瑞科技股份有限公司	整体技术	2144 套线路保护装置	2014.1-今	吴通华 13913876529
7	国家电网公司国家电力调度控制中心	具备识别过负荷能力的线路保护装置	24273 套线路保护装置	2015.1-今	刘宇 13911907863

8	南方电网公司电力调度控制中心	具备识别过负荷能力的线路保护装置	鹅博甲线、鹅博乙线	2015.1-今	丁晓兵 13822156598
9	内蒙古电力(集团)有限责任公司	具备识别过负荷能力的线路保护装置	533 套线路保护装置	2015.1-今	单广忠 13704784095
10	国家电网公司华中分部	具备识别过负荷能力的线路保护装置	4327 套线路保护装置	2015.1-今	谢俊 18071075388
11	国家电网公司国网华北分部	具备识别过负荷能力的线路保护装置	4570 套线路保护装置	2015.1-今	刘一民 1352288220
12	国网浙江省电力有限公司	具备识别过负荷能力的线路保护装置	2302 套线路保护装置	2015.1-今	盛海华 13600516609
13	国网湖北省电力有限公司	具备识别过负荷能力的线路保护装置	886 套线路保护装置	2015.1-今	杨增力 13545031427
14	电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心	线路保护过负荷测试技术	检测合同 123 个	2014.3-今	张晓莉 13552789968
15	许昌开普检测技术有限公司	线路保护过负荷测试技术	检测合同 172 个	2016.8-今	王伟 13903995708

## 六、主要知识产权目录

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	一种线路保护方法	中国	ZL201510505535.9	2017-7-14	2554184	中国电力科学研究院, 国家电网公司	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国	有效
发明专利	一种基于电压平面的负荷与单相接地故障识别方法	中国	ZL201410116623.5	2016-2-24	1960856	国家电网公司, 中国电力科学研究院, 华中电网有限公司	柳焕章, 王德林, 周泽昕, 王兴国, 杜丁香, 李锋, 谢俊, 陈祥文	有效
发明专利	一种确定过负荷与相间故障识别判据高限系数的方法	中国	ZL201410545565.8	2017-7-14	2553749	国家电网公司, 中国电力科学研究院, 华中电网有限公司, 国网冀北电力有限公司	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国, 刘宇, 高旭, 马锁明, 陈祥文, 李仲青	有效
发明	一种基于实时	中国	ZL201410	2016-11-2	229518	国家电网公司,	杜丁香, 周泽	有效

专利	数字仿真的距离保护过负荷特性验证方法		553594.9	3	3	中国电力科学研究院, 华中电网有限公司	昕, 王兴国, 王德林, 柳焕章, 张志, 李肖	
发明专利	一种输电线路中通过识别过负荷与故障的距离保护方法	中国	ZL201410545533.8	2017-6-23	2529009	国家电网公司, 中国电力科学研究院, 华中电网有限公司, 国网浙江省电力公司	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国, 刘宇, 李锋, 杜丁香	有效
发明专利	一种确定单相接地故障识别高限系数的方法	中国	ZL201410545479.7	2017-9-1	2605348	国家电网公司, 中国电力科学研究院, 华中电网有限公司, 国网冀北电力有限公司	王兴国, 柳焕章, 周泽昕, 王德林, 张志, 马锁明, 金明亮, 李仲青, 江知瀚	有效
发明专利	一种输电线路距离保护中的故障识别方法	中国	ZL201410398743.9	2017-3-8	2405295	国家电网公司, 中国电力科学研究院, 华中电网有限公司	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国, 杜丁香, 李锋, 谢俊, 陈祥文	有效
发明专利	自适应距离保护方法	中国	ZL201510342896.6	2018-1-19	2786139	南京南瑞继保电气有限公司、南京南瑞继保工程技术有限公司	沈军, 朱晓彤, 赵青春, 李园园, 谢华, 戴光武, 张洪喜,	有效
发明专利	一种基于二维平面的距离保护分析方法	中国	ZL201410545501.8	2017-10-15	2528739	国家电网公司, 中国电力科学研究院, 华中电网有限公司	王兴国, 柳焕章, 周泽昕, 王德林, 韩鹏飞, 李勇, 姜宪国	有效
论文	阻抗保护分析中电压平面与阻抗平面的变换	中国	24(1)	2004.1.19	中国电机工程学报	华中电力调度通信中心	柳焕章	其他有效知识产权

### 七、主要完成人情况

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
----	----	------	------	------	------	-------------

柳焕章	1	无	高工	国家电网公司华中分部	国家电网公司华中分部	对发明点 1、发明点 2 和发明点 3 作出重要贡献。创建了电压平面上识别过负荷与故障的理论，提出了以输电线路两侧电势为坐标的电压平面概念，提出了通过复数反演建立阻抗平面与电压平面几何关系的方法，发明了利用相补偿电压与正序补偿电压相位关系的线路过负荷与单相接地故障识别技术，首次发现相间电压余弦分量在线路过负荷与故障时分别表征系统电压和故障点电压且差异显著的规律，发明了利用电压余弦分量的线路过负荷与相间故障识别技术。（旁证材料：发明专利 8、论文 1）
周泽昕	2	所长	教高	中国电力科学研究院有限公司	中国电力科学研究院有限公司	对发明点 1、发明点 2、发明点 3 和发明点 4 作出贡献。揭示了在电压平面上可反映线路过负荷与故障本质差异的规律，发现了相补偿电压与正序补偿电压在故障时相位差异规律，共同发明了相补偿电压与正序补偿电压相位关系识别线路过负荷与接地故障技术，发明了利用电压余弦分量的线路过负荷与相间故障识别技术，提出了过负荷期间线路保护动作行为的判断标准。（旁证材料：发明专利 8 项）
王德林	3	处长	教高	国家电网公司	国家电网公司	对发明点 2、发明点 3 和发明点 4 做出贡献。共同提出了利用相补偿电压与正序补偿电压相位关系的线路过负荷与单相接地故障识别技术，提出了利用电流不对称度与正序电压余弦分量提高输电线路单相接地故障识别灵敏的技术，组织开展了具备识别线路过负荷的保护装置的专业检测及推广应用。（旁证材料：发明专利 8 项）
朱晓彤	4	副院长	高工	南京南瑞继保电气有限公司	南京南瑞继保电气有限公司	对发明点 3 作出贡献。共同发明了利用电压余弦分量的识别线路过负荷与相间故障技术，提出了线路过负荷与相间故障识别判据的自适应整定方法，提出了基于电压平面的线路过负荷识别技术和原有距离保护协同方法，主持研制出首套具备过负荷识别能力的新型线路保护装置。（旁证材料：发明专利 1 项）
王兴国	5	室主任	高工	中国电力科学研究院有限公司	中国电力科学研究院有限公司	对发明点 2 和发明点 3 作出贡献。共同发明了利用相补偿电压与正序补偿电压相位关系的输电线路过负荷与单相接地故障识别技术，提出了确定单相接地故障识别高限系数的方法，共同发明了利用电压余弦分量的线路过负荷与相间故障识别技术。（旁证材料：发明专利 8 项）

杜丁香	6	无	教高	中国电力科学研究院有限公司	中国电力科学研究院有限公司	对发明点 2 和发明点 4 作出贡献。共同发明了利用相电压与正序电压相位关系的输电线路过负荷与单相接地故障识别，提出了线路过负荷标准测试模型，建立了线路过负荷闭环试验验证平台，提出了具备识别过负荷能力的继电保护装置测试方案。（旁证材料：发明专利 4 项）
-----	---	---	----	---------------	---------------	---

## 八、完成合作人关系说明

**1. 共同立项：**本项目研究针对输电线路过负荷与故障难以识别引发连锁故障的技术难题，在中国电科院的积极推进下，获得国家 973 计划和国网公司科技项目支持。（1）2010 年国家 973 计划“能源高效利用中的基础科学问题”课题四—“智能电网仿真及安全运行前沿技术研究”，由中国电科院承担，周泽昕为课题负责人，杜丁香、王兴国为主要参加人员。（2）2013 年国家电网公司科技项目“适应大电网运行的继电保护应用策略及协调控制技术深化研究”，由中国电科院牵头，南京南瑞继保电气有限公司等单位共同承担，周泽昕为项目负责人，朱晓彤、杜丁香、王兴国为主要工作人员。

**2. 共同研究：**项目团队成员柳焕章，周泽昕，王德林，王兴国，杜丁香在线路过负荷与故障识别理论研究、保护装置研发及检验测试等方面共同申报了科研成果：1) 共同发表论文 4 篇：“线路距离保护应对事故过负荷的策略”、“具备应对过负荷能力的距离保护原理”、“具备应对过负荷能力的距离保护实施方案”、“The Identification of Transmission Line Overload and Faults Based on Voltage Plane”。2) 共同申请发明专利 9 项：ZL201410398743.9、ZL201410545565.8、ZL201410553594.9、ZL201410545502.2、ZL201510505535.9、ZL201410545479.7、ZL201410116623.5、ZL201410545501.8、ZL201410545533.8。

**3. 共同获奖：**项目团队成员柳焕章，周泽昕，王德林，朱晓彤，王兴国，杜丁香共同申请的“基于电压平面的输电线路过负荷与故障识别技术”项目荣获 2018 年度中国电力技术发明奖一等奖。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	备注
1	共同立项	周泽昕、王兴国、杜丁香	2010 年~2012 年	国家 973 计划课题《智能电网仿真及安全运行前	合同

				沿技术研究》	
2	共同立项	周泽昕、王兴国、杜丁香、朱晓彤	2013 年~2014 年	国家电网公司科技项目《适应大电网运行的继电保护应用策略及协调控制技术深化研究》	合同
3	共同知识产权	柳焕章, 王德林, 周泽昕, 王兴国, 杜丁香, 李锋, 谢俊, 陈祥文	2014 年	《一种基于电压平面的负荷与单相接地故障识别方法》 ZL201410116623.5	发明专利
4	共同知识产权	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国, 刘宇, 高旭, 马锁明, 陈祥文, 李仲青	2014 年	《一种确定过负荷与相间故障识别判据高限系数的方法》 ZL201410545565.8	发明专利
5	共同知识产权	杜丁香, 周泽昕, 王兴国, 王德林, 柳焕章, 张志, 李肖	2014 年	《一种基于实时数字仿真的距离保护过负荷特性验证方法》 ZL201410553594.9	发明专利
6	共同知识产权	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国, 刘宇, 李锋, 杜丁香	2014 年	《一种输电线路中通过识别过负荷与故障的距离保护方法》 ZL201410545533.8	发明专利
7	共同知识产权	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国	2015 年	《一种线路保护方法》 ZL201510505535.9	发明专利
8	共同知识产权	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国, 杜丁香, 李锋, 谢俊, 陈祥文	2014 年	《一种输电线路距离保护中故障识别方法》 ZL201410398743.9	发明专利
9	共同知识产权	王兴国, 柳焕章, 周泽昕, 王德林, 张志, 马锁明,	2014 年	《一种确定单相接地故障识别高限系数的方法》 ZL20141054547	发明专利

		金明亮, 李仲青, 江知瀚		9.7	
10	共同知识产权	周泽昕, 柳焕章, 王德林, 王兴国, 韩鹏飞, 李会新, 姜宪国	2014 年	《一种线路故障分区的识别方法》 ZL20141054550 2.2	发明专利
11	共同知识产权	王兴国, 柳焕章, 周泽昕, 王德林, 韩鹏飞, 李勇, 姜宪国	2014 年	《一种基于二维平面的距离保护分析方法》 ZL20141054550 1.8	发明专利
12	共同发表学术论文	柳焕章, 周泽昕	2011 年	线路距离保护应对事故过负荷的策略	中国电机工程学报, 2011, 31 ( 25 ): 112-117
13	共同发表学术论文	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 王兴国	2014 年	具备应对过负荷能力的距离保护原理	电网技术, 2014, 38(11): 2943-2947
14	共同发表学术论文	周泽昕, 柳焕章, 王德林, 杜丁香, 王兴国	2014 年	具备应对过负荷能力的距离保护实施方案	电网技术, 2014, 38(11): 2948-2954
15	共同发表学术论文	周泽昕, 柳焕章, 王德林, 王兴国, 杜丁香	2016 年	The Identification of Transmission Line Overload and Faults Based on Voltage Plane	CIGRE , 2016.8.21-26
16	共同获奖	柳焕章, 周泽昕, 王德林, 朱晓彤, 王兴国, 杜丁香	2018 年	基于电压平面的输电线路过负荷与故障识别技术	中国电力技术发明奖一等奖