

## 附件 2. 公示项目基本情况

项目名称	石墨基柔性接地材料关键技术及应用
提名单位	武汉大学
<p>提名意见：</p> <p>该项目面向防雷接地需求，创造性地提出了可替代传统钢材类接地材料的石墨基柔性接地材料研制思路，石墨覆铜线和增韧柔性石墨线复合、通流体和散流面结构布局的产品技术方案，属国内外首创，技术思路独特。开展了系统性研究，成功研制了耐腐蚀、与土壤接触特性好、冲击散流有效长度长的石墨基柔性接地材料，确定了电气、理化、机械特性技术指标及检测方法。实现了石墨基柔性接地材料从无到有的突破，预期寿命30年，技术经济指标达到了同类技术的领先水平，从根本上解决了钢材类接地材料易受土壤腐蚀及环境污染的问题，全面提升了防雷设施的接地性能，同时钢材使用量的减少可为节能减排作出积极的贡献。石墨基柔性接地材料已在湖北、广东、西藏等18个区域电网，<math>\pm 1100\text{kV}</math>昌吉-古泉、<math>\pm 800\text{kV}</math>酒泉-湖南、<math>500\text{kV}</math>藏中联网等超特高压线路接地工程中全面应用，实现了杆塔接地电阻的长效稳定，产生了显著的经济效益和社会效益。</p> <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，项目成果在技术上有重大创新，整体技术国际领先，成果转化程度高，相关栏目均符合高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）技术发明奖提名书的填写要求。</p> <p>我单位同意推荐该项目申报高等学校科学研究优秀成果奖技术发明奖一等奖。</p>	

## 项目简介

本项目属于电工材料领域，所属行业为电力、煤气及水的生产和供应业。雷击对输电线路安全可靠运行造成极大威胁，防雷在于接地，接地系统是电力设备及人身安全的基本保证，是维系电力系统安全可靠运行的基石。目前线路杆塔采用的传统金属类接地材料存在腐蚀严重、与土壤结合度低及易引发人为破坏等长期未解决的技术难题。本项目创造性地提出了可替代传统钢材类接地材料的石墨基柔性接地材料研制思路，开展了系统性研究，研制了耐腐蚀、与土壤接触特性好、冲击散流有效长度长的石墨基柔性接地材料、实现了石墨基柔性接地新材料从无到有的革命性突破，根本上解决了钢材类接地材料腐蚀及环境污染问题，全面提升了防雷设施的接地性能，同时钢材使用量的减少为节能减排作出积极的贡献。主要创新点如下：

(1) 提出了考虑通流体和散流面结构布局的石墨基柔性接地导体的本体结构技术方案，基于该方案研制的石墨基柔性接地材料耐腐蚀、工频 / 高频阻抗低、土壤贴合紧密、散流效果好，解决了钢材类接地材料腐蚀及环境污染问题。

(2) 发明了一种强通流复合接地体及制作方法，采用增韧柔性石墨线在内、石墨覆金属线在外的布局方式，建立了石墨基柔性接地导体的通流体结构，基于该方法研制的石墨基柔性接地材料具有通流能力强、温升小的特点。

(3) 发明了一种碳纳米管改性的高导电高韧性石墨粘胶的制备方法，该粘胶可用于制备石墨接地体的浸胶工艺，显著提高石墨复合接地材料的导电性和柔韧性。

(4) 发明了一种石墨复合接地保护材料及其制备方法，该材料可用于接地体的金属接续件上，不影响接地网降阻效果，同时解决了金属接续件的腐蚀问题。

项目研制出耐腐蚀、与土壤接触特性好、冲击散流有效长度长的石墨基柔性接地材料，中国电力企业联合会产品技术鉴定认为，该技术属国内外首创，采用石墨覆铜线和增韧柔性石墨线复合、通流体和散流面结构布局的产品技术方案达到国际领先水平。石墨基柔性接地材料已在湖北、广东、西藏等18个区域电网， $\pm 1100\text{kV}$ 昌吉-古泉、 $\pm 800\text{kV}$ 酒泉-湖南、 $500\text{kV}$ 藏中联网等超特高压线路接地工程中全面应用，经2年100余次，最大幅值 $200\text{kA}$ 的自然雷电流冲击，性能稳定，实现了杆塔接地电阻的长效稳定，产生了显著的经济效益和社会效益。近三年累计新增销售额12257万元，累计新增利润2319万元。

项目授权发明专利11项，实用新型专利21项，发表论文17篇（EI论文10篇）。培养博士研究生1人，硕士研究生7人。制定电力行业标准（报批稿）1项、中国气象协会团体标准1项。

## 客观评价

### (1) 技术检测报告

① 2015年2月15日,中国电力科学研究院电力工业电气设备质量检验测试中心对石墨基柔性接地体进行的性能试验(多项)检测报名表明,根据GB/T21698-2008等标准,对石墨基柔性接地体进行了外观检查、尺寸检查、电测测量试验、工频电流耐受试验、冲击电流耐受试验、抗弯性能检测、抗扭性能检测、抗拉性能检测、抗腐蚀性能检测、高温耐受性能检测、低温耐受性能检测、阻燃性能检测共12项全部符合要求。

② 2017年2月26日,武汉材料保护研究所对石墨基柔性接地材料和连接件进行的耐土壤腐蚀性性能试验检测报告表明,所测试的石墨碳基柔性接地材料和连接件在土壤环境中耐腐蚀性能优良,经6个月自然环境土壤腐蚀试验和6个月土壤加速腐蚀试验,表面无明显变化,无失重,满足失重率小于0.1%的技术指标要求。

试验前后石墨导电材料的电阻率均小于 $5 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$ ,满足相应的电阻率技术指标要求。

与碳钢试验相比,石墨碳纤维复合柔性接地材料和连接件在土壤环境中具有优异的耐腐蚀性,耐腐蚀性明显优于碳钢,碳钢在自然土壤环境中土壤加速腐蚀试验中均发生明显腐蚀,加速腐蚀试验条件下腐蚀率达到 $87.6 \mu m/a$ ,而石墨碳纤维复合柔性接地材料连接件在相同试验条件下无失重,表面无明显变化,根据自然土壤试验和加速腐蚀试验结果,其在土壤中使用寿命预计可达30年。

③ 2018年11月12日,武汉材料保护研究所对石墨基柔性接地材料及连接件进行的耐液体介质腐蚀试验检测报告表明,经过循环耐480h碱性、480h酸性和720h盐水性液体介质腐蚀试验后,石墨基柔性接地体试验本体表面无明显断股等结构性损伤,接地体表面仍然呈现紧致整洁有序的状态,接地体试样本体无明显变化,接地体试验能耐受住碱性、酸性和盐水性液体介质的腐蚀作用,具有极强的耐腐蚀性能。

### (2) 鉴定结论

① 2018年2月4日,中国电力企业联合会组织并主持召开了“石墨基柔性接地材料”产品技术鉴定会。产品主要技术特点包括:(1)提出了采用石墨覆铜线和增韧柔性石墨线复合、考虑通流体和散流面布局的石墨基柔性接地体结构;(2)研发了增韧柔性石墨覆铜线的低阻抗复合通流体结构及表面网孔状导电散流面结构;(3)研制了一种耐腐蚀、工频/高频阻抗低、土壤贴合紧密、散流效果良好的石墨基柔性接地材料。

鉴定委员会一致认为,该技术属国内外首创,采用石墨覆铜线和增韧柔性石墨线复合、通流体和散流面结构布局的产品技术方案达到国际领先水平。

② 2018年3月26日,南方电网有限责任公司组织“石墨碳纤维复合柔性接地技术研究及工程应用”科技成果鉴定会。项目研制了石墨碳纤维复合柔性接地材料,并对该材料的制备工艺、连接技术、理化性

能、接地特性及评估方法进行系统研究和现场应用。主要成果及创新点包括：(1) 研发了具有优良理化性能和接地特性的石墨碳纤维复合柔性接地材料，该材料与钢材类接地材料相比，冲击有效散流长度提升20%以上，与大颗粒度土壤的接触电阻下降50%以上，预期寿命不低于30年。(2) 提出了石墨和碳纤维分层压制、编织成型的制备工艺，实现了复合柔性接地材料的规模化生产。

成果成功应用于广东电网佛山、惠州和江门等7个地市局的易腐蚀和高土壤电阻率典型地区的杆塔接地网中，通过了引雷塔高频次直击雷大电流、直流接地极附近强电腐蚀等严酷工况的考验，开挖检查结果表明该接地材料性能稳定。

鉴定委员会认为，该成果处于国际领先水平。

### (3) 验收意见

① 2016年11月28日，“石墨碳纤维复合柔性接地材料研制与应用”项目通过广东电网有限责任公司组织的验收，验收专家认为该新型石墨碳纤维复合柔性接地材料具有接地性能好、耐腐蚀、性能稳定、易施工、运维成本低和适合规模化应用等特点，项目研制的新型接地材料在引雷塔和架空线路杆塔接地网中进行了示范应用，应用情况良好。

② 2016年11月24日，“基于柔性石墨复合接地新材料的华中电网输电线路防雷改造研究”项目通过国家电网公司华中分部组织的验收，验收专家认为研制了抗腐蚀、低电阻率的柔性石墨接地体，雷电冲击接地电阻理论值降低10%，杆塔接地极全寿命周期费用降低50%。

### (4) 科技查新

2019年3月27日，湖北省科技信息研究院查新检索中心出具的科技查新报告表明，通过综合分析表明，所检国内外文献中，未见与委托课题的查新要点相同的文献报道（项目单位申请的专利或发表的文献除外）。

## 应用情况

本项目研制的石墨基柔性接地材料具有良好的耐腐蚀效果,施工方便,运行寿命不低于30年。自2014年起,项目将研发成果石墨基柔性接地材料在电力行业领域开展了全面推广应用工作。我国电力杆塔约300百万基,每年需接地钢材达百万吨,无法回收,污染土壤,石墨接地材料节能环保,可替代钢材类接地材料,符合国家能源安全供应和生态可持续发展战略的要求。目前,产品已在 $\pm 800\text{kV}$ 酒湖线、 $\pm 1100\text{kV}$ 昌吉—古泉线等多回特高压输电线路,及浙江、广东、西藏、吉林等18个省电网公司的输电线路新建和改造工程中得到实际应用。在广东电网7个地市供电局的引雷塔、易腐蚀和高土壤电阻率地区杆塔接地网中应用,耐受最高幅值达200kA的上百次自然雷电流的冲击。敷设数年后试点开挖检测表明,接地材料未有腐蚀现象,接地电阻稳定,表明该新型接地材料的技术经济与工程优势明显高于金属类接地材料,应用前景十分广阔。

2016-2018年,共生产和应用石墨基柔性接地材料约104万米,应用在全国各地约1万基杆塔上。

### 主要应用单位情况

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	经济效益(万)
武汉贛门电工科技有限公司	整体应用	2014年9月-至今	崔振兴 /18627864721	新增销售额:7436 新增利润:1338
河南盛煌电力设备有限公司	整体应用	2016年1月-2018年12月	金小六 /13683924995	新增销售额:4821 新增利润:981
广东电网有限责任公司	整体应用	2015年1月-2018年12月	詹清华 /13500252798	/
国网湖北送变电工程有限公司	整体应用	2015年12月-至今	金辉 /13971599790	/

## 主要完成人情况表

排 名	1	姓 名	阮江军	性 别	男
行政职务		技术职务	教授	国 籍	中国
工作单位	法人单位名称：武汉大学				
	具体二级单位名称：电气与自动化学院				
完成单位	武汉大学				

**完成人对本项目技术创造性贡献：**

提出了考虑通流体和散流面结构布局的石墨基柔性接地导体的本体结构技术方案，发明了新型石墨复合接地材料及其制备方法，发明了一种强通流复合接地体及制作方法，发明了一种碳纳米管改性的高导电高韧性石墨粘胶的制备方法，负责开展了石墨基柔性接地材料的产品转化工作，共同制定了石墨基柔性接地材料的产品技术指标体系和检测方法，共同编制电力行业标准，对创新点 1、2、3 做出了突出贡献，本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人同期总工作量的 70%。

## 主要完成人情况表

排 名	2	姓 名	黄道春	性 别	男
行政职务		技术职务	副教授	国 籍	中国
工作单位	法人单位名称：武汉大学				
	具体二级单位名称：电气与自动化学院				
完成单位	武汉大学				

**完成人对本项目技术创造性贡献：**

共同发明了一种强通流复合接地体及制作方法，共同发明了一种石墨复合接地保护材料及其制备方法，共同研制了石墨基柔性接地材料并实现了产品化，负责制定了石墨基柔性接地材料的产品技术指标体系和检测方法，负责编制电力行业标准，对创新点 1、2、4 做出了突出贡献，本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人同期总工作量的 70%。

### 主要完成人情况表

排 名	3	姓 名	詹清华	性 别	男
行政职务		技术职务	教授级高级工 程师	国 籍	中国
工作单位	法人单位名称：广东电网有限责任公司				
	具体二级单位名称：广东电网有限责任公司佛山供电局				
完成单位	广东电网有限责任公司				

**完成人对本项目技术创造性贡献：**

发明了一种石墨复合接地保护材料及其制备方法，共同研制了石墨基柔性接地材料，共同发明了一种强通流复合接地体及制作方法，负责了石墨基柔性接地材料在广东电网的推广应用工作，对创新点 1、2、4 做出了突出贡献，本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人同期总工作量的 60%。



### 主要完成人情况表

排 名	4	姓 名	甘艳	性 别	女
行政职务	处长	技术职务	教授级高级工 程师	国 籍	中国
工作单位	法人单位名称：国家电网公司华中分部				
	具体二级单位名称：安全质量监督部				
完成单位	国家电网公司华中分部				

完成人对本项目技术创造性贡献：

共同研制了石墨基柔性接地材料，负责了石墨基柔性接地材料在国家电网公司华中分部的推广应用工作，对创新点 1 做出了贡献，本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人同期总工作量的 50%。

### 主要完成人情况表

排 名	5	姓 名	赵淳	性 别	男
行政职务	副总经理	技术职务	高级工程师	国 籍	中国
工作单位	法人单位名称：国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司				
	具体二级单位名称：防雷输电技术中心				
完成单位	国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司				

**完成人对本项目技术创造性贡献：**

共同研制了一种强通流能力的石墨基柔性接地材料，并共同开展了石墨基柔性接地材料的性能试验，负责石墨基柔性接地材料在国家电网的应用推广工作，对创新点 2 做出了突出贡献，本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人同期总工作量的 50%。

## 主要完成人情况表

排 名	6	姓 名	胡元潮	性 别	男
行政职务		技术职务	讲师	国 籍	中国
工作单位	法人单位名称：山东理工大学				
	具体二级单位名称：山东理工大学电气与电子工程学院				
完成单位	武汉大学				

**完成人对本项目技术创造性贡献：**

共同发明了新型石墨复合接地材料及其制备方法，共同发明了一种强通流复合接地体及制作方法，共同发明了一种碳纳米管改性的高导电高韧性石墨粘胶的制备方法，对创新点 1、2、3 做出了贡献，本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人同期总工作量的 80%。

## 主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地区)	授权号(标准编号)	授权(标准实施)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利(标准)有效状态
1	授权发明专利	新型石墨复合接地材料及其制备方法	中国	ZL201310501486.2	2015.09.02	1773740	武汉大学	阮江军;胡元潮;龚若涵	专利权有效
2	授权发明专利	低集肤效应石墨复合接地材料及其制备方法	中国	ZL201310501286.7	2015.11.04	1834643	武汉大学	阮江军;胡元潮;龚若涵	专利权有效
3	授权发明专利	石墨复合接地体及其制备方法	中国	ZL201510088715.1	2017.03.01	2401597	广东电网有限责任公司佛山供电局;武汉大学	詹清华;肖微;黄松波;文武	专利权有效
4	授权发明专利	强通流复合接地体及制备方法	中国	ZL201510632483.1	2017.11.28	2717334	武汉大学	阮江军;龚若涵;胡元潮;葛贺飞	专利权有效
5	授权发明专利	一种低温升复合接地体及其制备方法	中国	ZL201410583637.8	2016.06.08	2108439	武汉大学	阮江军;胡元潮;龚若涵;文武;周军	专利权有效

6	授权发明专利	一种阴极保护用石墨复合接地材料及其制备方法	中国	ZL201410819424.0	2017.05.10	2480640	武汉大学	阮江军;龚若涵;葛贺飞	专利权有效
7	授权发明专利	碳纳米管改性的高导电高韧性石墨粘胶的制备方法	中国	ZL201410584453.3	2017.03.29	2426855	武汉大学	阮江军;龚若涵;刘振武;吴泳聪;葛贺飞;胡元潮;文武	专利权有效
8	授权发明专利	石墨复合接地保护材料及其制备方法	中国	ZL201510096748.0	2017.10.20	2661522	广东电网有限责任公司佛山供电局;武汉大学	肖微;张思寒;詹清华;黄松波;黄道春	专利权有效
9	授权实用新型专利	石墨复合接地体	中国	ZL201620499533.3	2016.11.16	5660305	广东电网有限责任公司佛山供电局	张思寒;阮江军;黄道春;詹清华;罗容波	专利权有效
10	其他	石墨基柔性接地材料特性及其在防雷接地中的应用	中国		2018.6.30		武汉大学;国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司;武汉贛门电工科技有限公司	黄道春;陈家宏;谷山强;赵淳;阮江军;崔振兴	

## 完成人合作关系说明

本项目针对电力系统防雷接地重大需求，建立了产学研用协同创新的攻关模式。项目攻关团队由武汉大学、广东电网有限责任公司、国家电网公司华中分部、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、武汉贛门电工科技有限公司、山东理工大学等单位科研技术人员组成。阮江军为项目总负责人，项目完成人积极合作、相互支撑、有力地保证了项目整体高效推进。

项目主要完成人：阮江军/1、黄道春/2、詹清华/3、甘艳/4、赵淳/5、胡元潮/6。

项目根据研究需要，完成人之间的合作形式包括共同立项、共同知识产权、论文合著等方式，是集理论研究、技术研发、工程应用与人才培养于一体的长期和多方位的合作。主要合作关系说明如下：

1. 本项目自 2010 年启动以来，武汉大学阮江军/1 与黄道春/2、胡元潮/6（现工作单位为山东理工大学，阮江军/1 是胡元潮/6 在武汉大学攻读博士研究生学位期间的导师）组建了武汉大学石墨基柔性接地材料研发团队，共同开展石墨基柔性接地材料的选择、结构方案设计、技术指标体系和测试方法、电力行业标准制定和成果转化等工作，主要合作有共同知识产权、论文合著，见附件 1.1、5.2；

2. 阮江军/1 与黄道春/2、詹清华/3（工作单位为广东电网有限责任公司）联合承担科研项目“石墨碳纤维复合柔性接地材料研制与应用（K-GD2014-0867）”，共同开展石墨基柔性接地材料的研发和在广东电网的推广应用工作，主要合作有共同知识产权、论文合著，见附件 1.8、1.9、5.2；

3. 阮江军/1 与黄道春/2、甘艳/4（工作单位为国家电网公司华中分部）共同立项，“基于柔性石墨复合接地新材料的华中电网输电线路防雷改造研究（HZ1501-26）”，共同开展石墨基柔性接地材料的研发和在华中电网的推广应用工作，主要合作有共同立项、见附件 5.1；

4. 阮江军/1 与黄道春/2、赵淳/5（工作单位为国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司）共同开展石墨基柔性接地材料的研发和在国网的应用推广工作，主要合作有论文合著，见附件 1.10。

附：完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者 (本项目排名)	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同立项	阮江军/1、黄道春/2、甘艳/4	2015-2016	基于柔性石墨复合接地新材料的华中电网输电线路防雷改造研究(HZ1501-26)	附件 5.1	
2	共同知识产权	阮江军/1、胡元潮/6	2010-2016	新型石墨复合接地材料及其制备方法	附件 1.1	授权发明专利
3	共同知识产权	黄道春/2、詹清华/3	2014-2016	石墨复合接地保护材料及其制备方法	附件 1.8	授权发明专利
4	共同知识产权	阮江军/1、黄道春/2、詹清华/3	2014-2016	石墨复合接地体	附件 1.9	授权实用新型专利
5	论文合著	阮江军/1、黄道春/2、赵淳/5	2015-2018	石墨基柔性接地材料特性及其在防雷接地中的应用	附件 1.10	EI 源刊论文
6	论文合著	阮江军/1、黄道春/2、詹清华/3、胡元潮/6	2014-2016	柔性石墨复合接地材料及其相关性能试验研究	附件 5.2	EI 源刊论文