

## 2019 年度国家科学技术进步奖提名项目公示

### 一、项目名称

脉冲强磁场国家重大科技基础设施

### 二、奖励种类

国家科学技术进步奖（一等奖）

### 三、提名意见

#### 专家提名意见 1:

项目名称：脉冲强磁场国家重大科技基础设施

提名者：郭剑波院士（责任专家），电气工程

工作单位：中国电力科学研究院有限公司

脉冲强磁场装置是开展物理、化学、材料等领域前沿基础科学研究的重要极端条件实验平台。装置系统结构复杂，涉及多个学科，是一个不断挑战电磁极限的强电磁系统，其研制需攻克极限工况下的磁体系统电磁及结构稳定性设计、磁场波形精确调控和微弱信号精准测量等世界性难题。

十余年来，项目组通过自主创新，突破国外对高强高导材料的封锁，在衡量装置水平的磁场强度、稳定度、重复频率和测量精度等核心指标方面取得全面突破：创造了 75T 纯铜导线磁体的场强世界纪录，采用仅有国外 2/3 强度的国产导线、1/10 的能量实现了与世界最高水平相当的磁场，使我国科学实验磁场从 40T 提高到 90T，获得迄今最高单位能量的磁场强度，寿命是美国的 2 倍；创造了 64T 无纹波平顶磁场世界纪录，开启了脉冲场下核磁共振、拉曼光谱和比热精确测量等科学研究方向；实现了峰值 45T、极性可调、重复频率世界最高的多种磁场波形；电输运实验站和磁特性实验站测量精度世界领先。

装置于 2014 年通过国家验收并对外开放运行，结束了我国相关研究长期依赖国外装置的历史，建成国际最先进的脉冲强磁场研究平台。截至 2018 年底，装置累计开放运行 36358 小时，已为北京大学、斯坦福大学、剑桥大学等国内外 69 家单位开展科学研究 900 余项，在 *Science*、*Nature* 等高水平杂志发表论文 672 篇，取得了一大批原创成果，包括发现第三种规律的新型量子振荡和最高临界电流密度的二维超导体等，研究成果居国际同类装置同期最好水平。

项目整体处于国际领先水平。

提名该项目参评国家科学技术进步奖一等奖。

#### 专家提名意见 2:

项目名称：脉冲强磁场国家重大科技基础设施

提名者：赵宪庚院士，理论物理

工作单位：中国工程院

脉冲强磁场是开展物理、化学、材料等领域前沿基础研究不可替代的手段，是探索物质微观世界的钥匙。我国长期缺乏相关条件，众多急需开展的科学研究只能依赖国外装置。2007 年，国家批复在华中科技大学建设脉冲强磁场国家重大科技基础设施，该设施是挑战电磁极限的大型复杂系统，存在磁体冲击载荷大、波形调控难、信号干扰强等问题，其研制极其困难。

项目团队经过 10 余年的持续攻关，在脉冲磁体方面，建立了电磁渗透和温升调控理论，提出了非连续分层加固结构，磁体性能大幅提升；在脉冲电源与波形调控方面，提出了多元脉冲电源和多线圈磁体的协同优化设计理论，发明了场路耦合态调控技术，实现了无纹波平顶磁场和多种极性可调的高重频磁场，创造了多项磁场参数的世界纪录；在科学实验测试方面，提出了一系列减振降噪技术，发明了多种高效信号传输样品杆，信号灵敏度和测量精度达到国际领先水平。

2014 年装置通过国家验收，成为国际上最好的脉冲强磁场装置之一。项目承担单位和参建单位大力协同，建立了高效的组织体系和管理机制，最大限度地发挥了投资效益，为今后国家重大科技基础设施建设积累了宝贵经验。装置投入开放运行以来，已为国内外近 70 家科研单位开展科学研究 900 余项，取得了一大批原创成果，有力推动了我国相关学科前沿基础研究的发展。

项目整体水平国际领先。

提名该项目参评国家科学技术进步奖一等奖。

### **专家提名意见 3:**

项目名称：脉冲强磁场国家重大科技基础设施

提名者：李建刚院士，等离子体物理

工作单位：中国科学院等离子体物理研究所

脉冲强磁场装置是探索物质微观世界的重要手段。强磁场装置结构复杂，且运行在高电压、大电流、强磁场、极低温等高参数极限工况下，其研制存在导体材料性能极限远低于磁体内部巨大磁应力、高功率非线性电源系统精确调控，以及强干扰环境下微弱本征信号精确测量等国际公认难题。

项目团队专注脉冲强磁场理论、技术、装置的协同攻关，研发了一系列关键设备，实现了高水平的原始创新和集成创新，提出了装置的多系统多功能协同一体化设计思想，在国际上首次实现了磁场波形和科学实验需求的最优配置；提出了多电源供电的耦合态调控技术，创造了 64T 无纹波平顶磁场和 50Hz 高重频磁场的世界纪录。

2014 年，装置建成验收并投入运行，已为国内外 69 家单位开展科学研究 904 项，众多以前无法在国内开展的实验研究得以成功进行。

项目核心成果国际领先。

提名该项目参评国家科学技术进步奖一等奖。

## **四、项目简介**

强磁场装置是探索物质微观世界、发现自然规律、实现技术变革的重大科技基础设施，为物理、化学、材料等领域前沿基础研究提供极端条件实验平台，产生了量子霍尔效应等 10 余项获诺奖的重大科学发现。脉冲强磁场装置是产生高强磁场的最有效手段，其磁体、电源、科学测试和低温等系统均工作在极端工况下，瞬时放电功率超过三峡电站的总装机容量，是挑战极限的大型复杂电磁系统。六十年代以来国外建有三十多个，但一直无法突破磁场调控能力差、功能单一的瓶颈问题。我国由于缺乏强磁场条件，相关重大基础研究长期受制于人，亟需打破

国外关键技术封锁和核心材料禁运，解决高冲击载荷下磁体稳定性设计、瞬变大电流平顶波形调控和强干扰下多物理量精准测量等世界性难题，高起点建设具有高性能参数、宽应用范围和高成果产出的中国脉冲强磁场装置。

10余年来，在国家重大科技基础设施建设项目、国家自然科学基金等资助下，通过多单位、多学科协同攻关，取得了系统性创新和重大突破：

1) 首创场路耦合态调控理论，突破极限工况下脉冲磁体电磁和力学设计瓶颈，从理论和技术上彻底解决了磁体外线圈固有的磁场跌落世界性难题，磁体的极限场强提高15%，用仅有国外2/3强度的国产导线、1/10的能量实现了与世界最高水平相当的磁场，使我国科学实验磁场从40T提高到90T，磁体单位能量的磁场强度最高，寿命是美国的2倍，将全球脉冲磁体设计水平提升到全新的高度。

2) 发明了双电容自适应补偿的无纹波平顶磁场电路拓扑，攻克了国外方案场强难以提高、纹波无法避免的难题，彻底颠覆了传统的电力电子技术调控平顶的方案，将平顶磁场的世界纪录提升到64T，打开了脉冲场下核磁共振、拉曼光谱和比热测量等科学研究的大门，大幅提升脉冲强磁场装置的应用范围。

3) 首创基于磁场时空分布特性调控的测试系统一体化设计方法，攻克了多物理量测量的信号增强与噪声抑制难题，建成国际上唯一能实现磁体复用的多功能高精度测试系统，测量灵敏度为国际最好水平，实验效率是同类装置2倍。

获发明专利授权67项，软件著作权4项，开发的磁体设计软件成为全球主流强磁场实验室的通用设计平台。在Science、Nature等期刊发表SCI论文672篇，为哈佛、斯坦福、清华、中科院等国内外69家单位开展科学研究904项，取得了对数量子振荡、最高临界电流密度的二维超导体等一批重大科学发现；推动了高强高导线材制备、强干扰下信号测量和大功率电力电子等领域的技术进步，相关成果获国家科技奖多项，装置成果产出全球最高。

国家验收意见认为：“各大系统均达到或优于设计指标，成为国际上最好的脉冲强磁场装置之一”。国际评估意见认为：“工程上的成就已超越了国际同类水平”，“跻身于国际领先的脉冲强磁场设施之列”。

成果获2018年湖北省科技进步特等奖，实现了我国脉冲强磁场装置从跟跑到领跑的跨越式发展。

## 五、客观评价

### 1. 鉴定与验收意见

#### 1) 国家验收意见

2014年10月23日，国家发改委组织了脉冲强磁场装置验收工作，验收委员会包括国家发改委、教育部、科技部等国家有关部门以及湖北省、高校和科研院所的32位专家。验收意见认为：

➤ “脉冲磁场的场强、脉宽、平顶稳定度均达到或超过设计指标，达到国际同类装置的先进水平。获得迄今最高单位能量的磁场强度，最高场强达到90.6T；采用价格低廉的纯铜导线绕制的单线圈磁体实现了同类导体材料的世界最高场强的75T”；

➤ “实现了电源与磁体的最优配置，达到国际同类装置的先进水平”；“实现多种电源、多级磁体和多个科学实验站的协同工作及精确时序控制，运行安全可靠、控制灵活，位居国际脉冲强磁场装置的领先水平”；

➤ “在国际上首次成功研制了脉冲场下基于 GM 制冷机的无液氦源低温系统，实现了 1.3K 样品低温，大幅降低了液氦消耗”；“电输运与磁特性测量系统的精度和信噪比达到国际同类装置最好水平，脉冲场下电阻的测量精度达到了世界领先水平的毫欧姆量级”；

➤ “研发了多套国际先进水平的关键设备，使我国掌握了脉冲强磁场装置的核心技术，实现了技术的跨越式发展，该装置总体性能达到国际先进水平，部分指标实现了国际领先，成为国际上最好的脉冲强磁场装置之一”；

➤ “建立了高效的组织体系和管理机制，采取了一系列有效措施，精心设计、精心建设、精心组织，最大限度地发挥了投资效益，培养造就了一支具有创新精神和创新能力的优秀团队，为今后国家重大科技基础设施建设在工程管理、协同创新、人才培养等方面积累了宝贵经验”。

## 2) 中国电机工程学会成果鉴定意见

2018 年 12 月，由马伟明院士为主任，许厚泽院士、叶朝辉院士、万元熙院士等多名权威专家组成的鉴定委员会认为项目“创新性强，在脉冲平顶磁场强度和高场重复频率上创造了两项世界纪录，结束了我国强磁场下科学研究长期依赖国外装置的历史。项目成果国际领先”。

## 2. 国际同行学术评价

### 1) 装置竣工国际评估意见

2013 年 10 月，由美国、德国、法国等国家强磁场实验室主任和国际强磁场领域知名专家，以及北京大学甘子钊院士、中国科学院魏宝文院士、武汉物理与数学研究所叶朝辉院士等国内权威专家组成的评估委员会对脉冲强磁场装置的建设水平进行评估。评估意见认为：“该脉冲强磁场设施已经跻身于世界上最好的脉冲强磁场装置之列。在电源设计和磁体技术方面取得的成就已位列世界顶级。得益于技术上的创新，工程上取得的成就已经超越了国际同类水平”；“利用有限的时间和经费，他们已经达到了所有的目标，并且在有些方面实现了超越”。

### 2) 装置运行国际评估意见

2018 年 5 月，由美国、德国、法国、日本、荷兰的国家强磁场实验室主任以及强磁场领域方向的 24 位院士和专家组成的评估委员会对装置过去 5 年的运行和发展情况做了一次全面的评价。评估意见认为：“已经跻身国际领先的脉冲强磁场设施之列，具备优异的实验站功能，为众多前沿科学领域提供了极强的用户服务，发表了大量高水平高影响力的论文，尤其是在凝聚态物理和材料科学相关领域”；“强磁场装置在支撑基础前沿研究方面发挥了重要作用，并将在未来发挥更大更深远的影响”。

### 3) 国际强磁场协会网站报道

2018 年 11 月，武汉脉冲强磁场科学中心成功实现 64 特斯拉脉冲平顶磁场

强度，创造了脉冲平顶磁场强度新的世界纪录；实现了同一实验站、同一磁体产生多样化的磁场波形，极大提高了脉冲强磁场装置的实验能力、实验效率和发现新现象的机遇。

### 3. 获奖情况

2014年，装置建设团队获中央组织部、中央宣传部、人力资源社会保障部、科学技术部四部委联合授予的“全国专业技术人员先进集体”荣誉称号；

2018年，“脉冲强磁场国家重大科技基础设施”项目获湖北省科学技术进步特等奖。

### 4. 社会评价

2014年10月24日，《人民日报》报道：“23日，我国‘十一五’期间部署建设首批由高校承建的国家重大科技基础设施之一——华中科技大学脉冲强磁场装置通过国家竣工验收，标志着我国拥有了国际顶级水平的脉冲磁场实验装置”。

2018年11月23日，《科技日报》报道：“22日，华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心成功实现64特斯拉脉冲平顶磁场强度，创造了脉冲平顶磁场强度新的世界纪录”。

## 六、应用情况及效益

### 1. 应用情况

脉冲强磁场装置作为提供强磁场、极低温极端实验条件的公共开放服务平台，除了对基础前沿科学研究具有重大支撑外，对高新技术及相关产业发展的促进作用也十分显著。其应用主要涉及到以下三个方面：

1) 面向前沿重大科学问题，发挥开放共享职能，取得一批重要应用成果

装置于2014年通过国家验收并对外开放运行，实现了我国脉冲强磁场装置从无到有，从跟跑到并跑、再进入领跑行列的跨越式发展。截至2018年底，装置累计开放运行36358小时，对外机时共享率超过70%，已为北京大学、斯坦福大学、剑桥大学等国内外69家单位开展科学研究904项，结束了我国强磁场下科学研究长期依赖国外装置的历史，众多以前无法在国内开展的实验研究得以成功进行，在Science、Nature等期刊发表SCI论文672篇，取得了一大批原创成果，包括发现第三种规律的新型量子振荡和最高临界电流密度的二维超导体等，研究成果居国际同类装置同期最好水平，有力支撑了我国物理、化学、材料等领域的前沿基础研究。

2) 创新设计紧凑型脉冲磁场实验装置，推广装置在不同科学领域的应用

基于项目的理论和技术成果，在国际上首次成功研制了40T、1.2K无液氦低温、紧凑型脉冲强磁场装置，最高场强是现有商用物性测量系统(16T)的2.5倍。该装置具有场强高、功能强、易于使用和维护等优点，已在北京大学、中科院物理研究所、南京大学、中国人民大学、中国农业大学等十多家科研单位投入使用，大幅提升在物理、化学、生物等领域开展基础科学及应用研究的能力。

3) 瞄准国家重要行业需求，拓展脉冲强磁场技术的工程应用

以脉冲强磁场技术为支撑,在国际上首次提出多时空脉冲强磁场成形制造技术,是电磁成形领域的一次重要突破,并获得科技部 973 项目支持。突破了多时空脉冲强磁场作用下大型构件、深冲型构件、多层板空心件、大型壁板及复杂异型管件的成形性制造关键技术,初步形成包括电磁压边、电磁强化、电磁复合及电磁整体成形等在内的多时空脉冲强磁场成形制造技术体系,为促进我国大型复杂板管类零件制造技术的突破与跨越式发展提供了重要技术手段。

针对稀土永磁同步电机、永磁风力发电机、永磁磁共振成像等大型永磁设备组装工艺复杂、磁场位形精度低等问题,提出了大型永磁设备组装后整体充磁技术,实现了大型永磁设备高场强、高精度充磁,成功实现了高速高矫顽力永磁电机的整体充磁,属国内首次,打破了美、德等国家对我国的技术封锁,突破了微型燃气轮发电机、船用分布式电源、高速风机等领域的技术瓶颈。

此外,研制的高强高导铜铋复合导线在高速铁路架空线、柔性电路信号线等方面具有广泛的应用前景,可显著降低我国相关行业对国外产品的依赖;平顶脉冲磁场技术可用于大功率太赫兹源、高场核磁共振等高端装备和仪器,具备巨大的产业化前景。

## 2. 经济效益和社会效益

装置的建成,填补了我国脉冲强磁场领域的空白,实现了技术的跨越式发展,成为国际上最好的脉冲强磁场装置之一,满足了我国科学家对于脉冲强磁场实验条件日益增长的迫切需求。相关研究成果为多项国家科技奖提供重要支撑,有效推动了我国基础前沿学科的发展,提升了我国在脉冲强磁场领域的国际话语权。基于装置在国际上的影响力,装置负责人李亮被推选为国际强磁场协会副主席;吸引了一大批海内外高端人才,显著提升了国内脉冲强磁场技术及科学领域的研究实力。

## 七、主要知识产权证明目录

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(标准发布)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
发明专利	脉冲磁场产生装置	中国	ZL200810048231.4	2011.06.29	802271	华中科技大学	潘垣;李亮;肖后秀	未交费失效的专利
发明专利	一种平顶脉冲磁场产生装置及平顶脉冲电流产生装置	中国	ZL201310728223.5	2016.04.20	2041075	华中科技大学	李亮;彭涛;蒋帆;赵健龙;丁洪发	有效专利
发明专利	一种绕线机	中国	ZL201010160947.0	2012.06.20	973705	华中科技大学	彭涛;李亮	有效专利

发明专利	一种差分式脉冲磁体绝缘故障探测装置	中国	ZL201510856841.7	2018.11.02	3133357	华中科技大学	肖后秀;李亮;傅方茂;李畅然;杜昕远	有效专利
发明专利	一种脉冲磁体绝缘故障探测装置及方法	中国	ZL201510853469.4	2018.01.26	2794300	华中科技大学	肖后秀;李亮;李辰;颜慧;彭涛	有效专利
发明专利	一种高压大功率重复脉冲功率电源	中国	ZL201110376569.4	2013.10.30	1292401	华中科技大学	许赟;向颖萌;杨瑞;丁同海;丁洪发;李亮	未交费失效的专利
发明专利	一种基于强迫关断桥式换流的重复脉冲功率电源	中国	ZL201310475446.5	2016.08.31	2218060	华中科技大学	许赟;陈翼龙;万卿;丁洪发;李亮	未交费失效的专利
发明专利	一种基于脉冲电磁力的爆炸型直流断路器	中国	ZL201610866708.4	2018.01.26	2794299	华中科技大学	丁同海;宋自强;孙晓璇;曹全梁;韩小涛;李亮	有效专利
发明专利	一种用稀土发光材料标定磁场强度的方法	中国	ZL201310313954.3	2016.04.13	2028226	华中科技大学	韩俊波;马宗伟;张俊佩;虞应;杜桂焕;李亮	有效专利
发明专利	基于 G-M 制冷机的冷却装置	中国	ZL200910306561.3	2011.09.14	839579	华中科技大学	王绍良;李亮;夏正才	有效专利

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

排名	单位名称	创新推广贡献
1	华中科技大学	华中科技大学是项目的第一完成单位，是脉冲强磁场装置的承建单位，全面负责了项目总体方案的制定、组织、实施和验收整个过程，对创新点 1~3 做出了系统性贡献，在装置设计与集成、高参数磁体技术、脉冲磁场波形调控技术、极端条件下精密测量技术等方面取得系列原始创新和重大突破，并在装置开放共享、紧凑集成型装置研发及工程技术拓展等应用推广方面做出了最主要的贡献。
2	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院是项目的第二完成单位，对创新点 1 中的高场脉冲磁体的导线材料研制做出了重要贡献，获得了高强度高电导铜铌复合线材的集束拉拔技术，实现了材料强度和电导性能的精确调控，制备出满足高场脉冲磁体需求的高性能复合线材；参与了创新点 1 中的导线材料力学、电学性能分析及理论模型构建等磁体服役特性研究，为高场脉冲磁体研制做出了重要贡献。
3	北京大学	北京大学是项目的第三完成单位，是脉冲强磁场装置的共建单位，参与了项目科学实验测试系统总体方案的制定；对创新点 3 中的脉冲磁场输运

		测量系统中样品的测试方案设计、隔震减噪技术以及微弱电信号提取等方面做出了创造性贡献；参与了创新点 3 中电输运科学实验站的研制工作；在发挥电输运科学实验站开放共享职能和科学效益方面做出了重要贡献。
4	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是项目的第四完成单位，对创新点 2 中磁场波形精确调控系统中的大电流高精度测量设备研制做出了创造性贡献；参与了创新点 2 中的电容器型电源方案设计和创新点 3 中的复杂环境下微弱信号测量的降噪工作。
5	中国科学院物理研究所	中国科学院物理研究所是项目的第五完成单位，对脉冲强磁场科学研究方向规划和实验测试系统总体设计做出了贡献；参与了创新点 3 中电输运测量系统信噪比提升和电阻精准测量工作；在发挥装置科学效益和紧凑型脉冲磁场实验装置推广应用方面做出了重要贡献。
6	湖南大学	湖南大学是项目的第六完成单位，参与项目总体方案设计，组织编制和实施项目建设进度计划，参与了脉冲电源系统整体方案的论证与设计工作；在脉冲强磁场技术的工程应用推广方面做出了重要贡献。
7	南京大学	南京大学是项目的第七完成单位，是脉冲强磁场装置的共建单位，参与了项目科学实验测试系统总体方案的制定；对创新点 3 中电输运测试系统集成优化和微小样品温度控制方案设计等方面做出了创造性贡献；在发挥装置科学效益和紧凑型脉冲磁场实验装置推广应用方面做出了重要贡献。
8	复旦大学	复旦大学是项目的第八完成单位，是脉冲强磁场装置的共建单位，参与了项目科学实验测试系统总体方案的制定；对创新点 3 中磁光实验测试系统中样品的预处理设计和薄膜样品测试方案设计等方面做出了创造性贡献；在发挥装置科学效益方面做出了重要贡献。
9	南方电网科学研究院有限责任公司	南方电网科学研究院有限责任公司是项目的第九完成单位，参与了创新点 2 中的脉冲发电机型电源的设计工作；参与了创新点 2 中蓄电池型电源系统的研制工作。
10	东北大学	东北大学是项目的第十完成单位，是脉冲强磁场装置的共建单位，参与了项目磁体系统方案的设计；参与了创新点 1 中的高强高导合金导线的研制和测试工作；在脉冲强磁场技术的工程应用推广方面做出了贡献。