

# 公示材料 3

## 一、项目基本情况

推荐单位	国家质量监督检验检疫总局	
项目名称	项目名称	太赫兹计量关键技术与标准装置
	公布名	太赫兹计量关键技术与标准装置
主要完成人	邓玉强、孙青、于靖、林延东、曹士英、张建文、蔡晋辉、王景辉、冯国进、徐楠	
主要完成单位	中国计量科学研究院、北京化工大学、中国计量大学	

## 二、推荐单位意见

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，相关栏目均符合国家科学技术进步奖申报材料填写要求。经组织对外公示，公示期无异议。

该项目针对国际上的太赫兹计量空白开展了系列创新计量技术研究和计量标准装置研制。太赫兹计量是国际光学计量的战略重点，是国家计量水平支撑前沿科技能力的重要体现，是尖端前沿、复杂高难的计量问题，目前国际上仅少数国家能够实现太赫兹参数的计量溯源和独立复现。该项目在太赫兹计量关键技术和计量标准装置研制方面取得多项重要创新成果，形成了国家太赫兹计量标准体系，使我国太赫兹计量位于国际领先行列，使我国成为国际计量局光度辐射度咨询委员会关键比对工作组正式成员。该项目提出的太赫兹光谱分析和超短脉冲相位色散测量新技术被美国、德国、法国、日本、意大利等多个国家研究机构及国内多个部门广泛应用，解决了太赫兹技术应用于光学、电子、材料、信息等领域的关键技术问题。项目研制的计量标准装置在德国物理技术研究院、国防光电子一级计量站、海军计量中心、中国工程物理研究院、清华大学等多家单位广泛应用，促进了我国在军事国防、前沿科技、公共安全等领域的科技进步，取得显著社会效益。鉴于该项目创新成果突出、技术应用社会效益显著，推荐申请国家科学技术进步二等奖。

推荐该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

### 三、项目简介

太赫兹技术是国际光电子领域重大前沿科学技术，在国家安全、公共安全、国防军事、国家重大工程、新一代信息技术等领域有巨大应用价值。美国将其视为“改变未来世界的十大技术”之一，日本将其评为“国家支柱十大重点战略目标”之首，欧盟将其列为“地平线 2020 计划”的重要技术。太赫兹科学发展和技术应用急需太赫兹精准计量技术和计量标准装置作为支撑和保障。

为满足国家高新技术发展的战略需求、解决我国太赫兹计量无法溯源的问题，为太赫兹应用和发展提供支撑和保障，该项目开展太赫兹计量关键技术和计量标准装置研制。经过近十年的深入探索和系统攻关，主要创新成果如下：

1. 提出了一种高吸收率复合材料制备技术，发明了高吸收率太赫兹吸收材料，解决了太赫兹辐射难以吸收的问题，设计了高灵敏度传感元件，研制了绝对型太赫兹辐射功率计量标准器，实现了太赫兹功率绝对测量和量值独立复现，成为国际具备太赫兹功率比对能力仅有的三个国家之一，在国际计量局组织的首次太赫兹功率比对中，测量准确度国际最高。

2. 在国际上首次提出时间—频率联合分析测量超短脉冲光谱相位新方法，消除了传统方法滤波过程引入的不确定度分量，将超短脉冲时域测量准确度提升 1 倍，研制了超短脉冲时域参数精密测量装置，实现了超短脉冲时域参数的准确测量。

3. 在国际上首次提出太赫兹光谱回波在线校准新方法，将时域光谱测量重复误差降低为 1/7，测量准确度提升 4 倍，实现了太赫兹光谱仪高精度在线自校准；研制了高精度太赫兹光谱计量标准装置。

该项目创新成果为国际同行所认可，并得到广泛应用：

1. 该项目研制的太赫兹功率计量标准器被德国物理技术研究院采用，解决了欧盟“应对国家安全的太赫兹计量重大项目”中太赫兹辐射强度绝对测量和准确溯源问题。提出的太赫兹光谱分析、超短脉冲相位测量新技术被美国、德国、法国、日本等国家 16 所研究机构及大陆和港台 12 家研究单位应用，解决了太赫兹相关技术精准测量问题，推动了光学、电子、材料、信息等领域的科技进步。

2. 该项目成果为国防光电子一级计量站、中国工程物理研究院、海军计量测试中心等研制 6 套太赫兹国防计量标准装置，保障了国防和重大工程的量值准确可靠；为中国特种设备检测研究院、中国科学院物理研究所、解放军防化研究院、北京航空航天大学、中国石油大学、北京国科世纪激光技术有限公司等提供太赫兹精准测量和计量溯源，提升了公共安全、高速通信和危化品监测、先进制造等行业及产业的科技水平。

项目发表论文 76 篇，其中 SCI 检索 47 篇，EI 检索 61 篇；出版英文专著 3 个章节；获授权发明专利 6 项；制定国家计量校准法规 3 项。

## 四、客观评价

### 1. 质检总局成果鉴定和验收意见

国家质检总局验收证书 G2015-160 评价：“研制了太赫兹功率计，实现了太赫兹功率的准确计量和量值溯源，测量结果被德国计量院 PTB 采用。此项发明使中国计量院成为与美国 NIST、德国 PTB 并列的、参加国际首次太赫兹功率比对的三个国家计量实验室之一。”

国家质检总局鉴定证书 G2010-015 评价：“课题组在国际上首次提出了基于小波变换的太赫兹时间频率特性分析方法，消除了频谱干涉，降低了时域波形噪声的影响……该方法被中国科技大学、西安交通大学等国内多家单位引用，具有很好的社会效益。……建立的太赫兹产生和测量装置达到国际先进水平，在太赫兹时间频率特性分析方面属国际领先水平。”

国家质检总局鉴定证书 G2010-016 评价：“首次提出并实现了将小波变换算法分别应用于飞秒脉冲光谱相位的测量、光学元件色散特性测量、超短脉冲载波一包络相位测量，降低了传统方法的光谱相位测量不确定度和色散测量方法的误差。……该创新成果被日本北海道大学、法国圣艾蒂安大学、德国马克思一波恩研究所、中国工程物理研究院、中科院上海光机所等国内外著名研究机构引用。……超短脉冲计量标准装置的综合测量能力和测量精度达到国际先进水平，首次将小波变换算法用于飞秒脉冲参数测量属于国际领先。”

中国计量科学研究院验收证书[2010]第 22 号评价：“首次提出了时间频率联合分析直接测量群延迟的新方法，降低了传统测量方法的噪声和误差。该方法被美国中佛罗里达大学、北京大学、天津大学等国内外同行引用，解决了他们在量子点激光器研究、超短脉冲激光器研究和光学元件研究与制造方面遇到的色散准确测量的难题。……课题组取得的创新成果显著，提出的群延迟测量方法属国际首创，研制的色散测量仪达到国内领先水平。”

### 2. 国际同行评价：

#### 2.1 太赫兹功率计量标准装置的国际专家评价

项目研制的太赫兹功率计量标准器被德国物理技术研究院应用，被德国物理技术研究院《科技年报》连续两年报导，德国物理技术研究院太赫兹光学实验室主任 Mark Bieler 评价：“This project, where Dr. Deng also used a self-made radiometer, was very successful since novel traceable power measurements in the Terahertz frequency range using femtosecond lasers were performed. … I am convinced that this work has a strong metrological impact and is of great importance for National Metrology Institutes such as PTB and NIM. In this regard I also want to emphasize the recent successful comparison between NIM, NIST, and PTB on power measurements in the THz frequency range, in which Dr. Deng was one of the main contributors.”（译文：应用邓玉强研制的太赫兹辐射计，欧盟计量项目取得非常成功进展。……我深信该工作对国际计量界有重要影响，包括德国物理技术研究院和中国计量科学研究院。也要强调指出，最近中国、美国和德国成功开展的太赫兹功率国际比对，邓玉强是主要贡献者之一。）

#### 2.2 太赫兹光谱计量和超短脉冲相位色散测量新方法的国际评价

该项目在国际上提出的太赫兹光谱分析和超短脉冲相位色散测量新技术被德国马克思一波恩研究所、美国中佛罗里达大学、法国圣艾蒂安大学、日本北海道大学、美国普度大学、美国普林斯顿大学、加拿大多伦多大学、意大利米兰大学、意大利圣心天主教大学、俄罗斯鲍曼莫斯科国立技术大学、韩国科学技术研究院、韩国首尔大学、新西兰奥克兰大学、新西兰特文特大学、匈牙利塞格德大学、以色列特拉

维夫大学 16 所国际研究机构及香港城市大学、国立台湾大学、上海交通大学、浙江大学等大陆和地区 12 家研究单位应用，并给予高度评价。

德国马克思-波恩研究所评价：“Recently, the use of wavelets has been suggested as an alternative for phase retrieval in SPIDER. Deng *et al.* showed in numerical simulations that wavelet based frequency analysis generally outperforms the Takeda algorithm in terms of precision and also demonstrated their method experimentally. …With all these advantages and execution times only slightly inferior to Fourier filtering techniques, we expect the GWT to replace Takeda-based retrieval for applications in spectral interferometry. Apart from the slightly higher complexity of the algorithm, we cannot see any real disadvantages of the method. In all our experiments, we never encountered a situation where the Takeda algorithm would perform better than the GWT.”（译文：最近，邓玉强等提出小波作为光谱相位还原的替代方法。邓玉强等的理论模拟表明，在测量精度上小波分析通常优于傅里叶算法，并且也通过实验进行了验证。……鉴于小波分析的所有这些优点，我们期望小波分析替代基于傅里叶变换用于光谱干涉测量。除算法略有复杂，我们不能找到该方法的任何真正缺点。在所有实验中，我们从未遇到过傅里叶算法性能比小波分析更好的情况。）

法国圣艾蒂安大学评价：“…it is advisable to use a simultaneous, time-frequency analysis method. For our application, the phase reconstruction is performed by using the Morlet wavelet transform which gives significant results in time domain interferometry and overcomes the disadvantages of Fourier Transform.”（译文：……建议使用时间—频率分析方法。通过使用小波变换相位重建克服了傅立叶变换的缺点。）

美国中佛罗里达大学评价：“As shown by Deng *et al.*, a WT will extract the group delay directly from the interferogram. …White-light spectral interferometry is performed, along with a wavelet transform to recover the group delay. The group delay, group velocity dispersion, and higher order dispersion terms are quantified.”（译文：正如邓玉强等指明，小波变换能直接提取干涉的群延迟。……应用白光干涉和小波变换，实现了群延迟、群色散和高阶色散项的准确定量测量。）

飞秒脉冲世界纪录创造者—日本北海道大学评价：“…it was demonstrated that a novel analysis for extracting the spectral phase from the SPIDER signal, based on wavelet transform (WT), provides an alternative method for phase retrieval. The purpose of this paper is to show that the use of the WT analysis (instead of the FT analysis) enables us to compensate for the phase automatically in the FB mode without any manual decision。”（译文：提出了基于小波变换提取频谱相位的创新方法是传统相位还原的替代方法。本文表明使用小波分析代替傅里叶变换，实现了反馈模式中自动补偿相位，无需任何手动决定。）

### 3. 国内新闻媒体对研究成果的评价

《中国科学报》报导：“中国计量院国际首次太赫兹功率比对成绩优异”。《科技日报》报导：“我国太赫兹功率计量能力跻身国际领先行列”。

《中国质量报》报导：“中国计量院前沿光学计量领域研究成果达到国际先进水平”。《光明日报》报导：“我国光学计量基准研究国际领先”。

## 五、推广应用情况

为国防光电子一级计量站、海军计量测试中心、中国工程物理研究院、上海市计量测试技术研究院、北京市计量检测科学研究院等提供太赫兹计量溯源，保障太赫兹量值可靠。德国物理技术研究院应用项目研制的太赫兹辐射计，实现了欧盟计量项目太赫兹辐射强度的溯源。为中国工程物理研究院、国防光电子一级计量站、中国科学院物理研究所、哈尔滨理工大学等研制太赫兹精密测量仪器，解决了我国太赫兹计量仪器的高精度测量需求。为中国特种设备检测研究院、北京遥感技术研究所、解放军防化研究院、北京航空航天大学、中国石油大学、北京国科世纪激光技术有限公司、浙江华东光电仪器有限公司等提供太赫兹精密计量测试，为国防、安全、信息、遥感、制造等领域提供计量保障。

主要应用单位情况详见下表。

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
中国工程物理研究院计量中心	太赫兹光谱计量	2013年12月至 2016年3月	徐德 18608156902	研制太赫兹计量标准装置,为重大工程提供保障
中国人民解放军92493部队计量测试中心	宽波段辐射功率计量	2015年10月至 2016年12月	付永杰 13898962952	研制宽波段激光探测器,保障海军武器装备作战性能
中国特种设备检测研究院	太赫兹脉冲和光谱测量	2012年9月至 2016年10月	俞跃 13810496075	非金属特种设备材料无损检测
北京市计量检测科学研究院	超短脉冲和太赫兹计量	2011年6月至 2016年12月	贾亚青 15910507699	开展激光与红外检测校准
上海市计量测试技术研究院	超短脉冲和太赫兹计量	2012年9月至 2016年12月	夏铭 15921851314	开展激光与红外检测校准
中国科学院物理研究所	低温真空太赫兹光谱精密测量	2011年8月至 2014年12月	王楠林 15801314895	超导强关联电子体系低温物性研究
中国科学院半导体研究所	太赫兹功率计量	2014年8月至 2016年11月	刘俊岐 13683080738	量子级联太赫兹激光器测试,保障国防工程关键器件研制
中国科学院西安光学精密机械研究所	超短脉冲计量	2013年9月至 2016年10月	高贵龙 18192760346	校准条纹相机和分幅相机,支持神光工程
中国石油大学(北京)	太赫兹光谱精密探测	2013年12月至今	赵昆 13426212378	油气资源太赫兹光谱表征,促进油气勘探
北京航空航天大学	太赫兹光谱精密测量	2014年3月至今	周震 13910899315	太赫兹通信核心器件研制性能测试
北京国科世纪激光技术有限公司	超短脉冲激光计量测试	2011年5月至 2016年3月	李爽 13520255050	超短脉冲设备校准,加速超短脉冲激光研制
中国人民解放军63975部队	太赫兹光谱精密测量	2011年9月至 2016年3月	郭腾宵 18001221096	危险化学品与化学武器特征光谱测试
北京遥感技术研究所	太赫兹光谱成像技术	2013年9月至 2016年12月	于勇 13911564933	城市生产装置泄漏和高原输油气管道探测
浙江华东光电仪器有限公司	太赫兹功率和强度计量	2014年8月至 2016年12月	李剑敏 18991205121	太赫兹阵列探测器标定,促进重大仪器研制

## 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
发明专利	在太赫兹波段具有宽带高吸收率涂层的制备方法	中国	ZL201310119892.2
发明专利	绝对型太赫兹辐射计	中国	ZL201410128857.1
发明专利	多功能大量程超短脉冲激光自相关仪	中国	ZL201010217215.0
发明专利	利用小波变换测量群延迟的方法	中国	ZL200810119083.0
发明专利	相位变化测量系统	中国	ZL201210053075.7
发明专利	一种利用太赫兹时域光谱技术检测金属腐蚀的方法	中国	ZL201410373478.9
国家计量技术规范	辐射型太赫兹功率计校准规范	中国	JJF 1600-2016
国家计量技术规范	(0.1~2.5) THz 太赫兹光谱仪校准规范	中国	JJF 1603-2016
国家计量技术规范	超短脉冲自相关仪校准规范	中国	JJF 1493-2014

## 七、主要完成人情况表

姓 名	邓玉强	性别	男	排 名	1	国 籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2007 年 1 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 总体项目负责人。负责太赫兹功率计量、太赫兹光谱计量、太赫兹时频分析、超短脉冲计量研究。提出项目研究实施方案和关键技术，负责计量标准装置研制和关键实验测试、太赫兹功率国际比对、推广太赫兹计量研究成果应用。对创新点 1、创新点 2、创新点 3 有主要贡献。							
姓 名	孙青	性别	男	排 名	2	国 籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2009 年 9 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹功率计量和太赫兹光谱计量主要完成人。负责计量标准装置研制和关键实验测试，参加太赫兹功率国际比对、推广太赫兹计量研究成果应用。对创新点 1、创新点 2、创新点 3 有主要贡献。							
姓 名	于靖	性别	男	排 名	3	国 籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2007 年 1 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹功率计量主要完成人。负责太赫兹辐射功率计量标准器研制，参加实验结果分析。对创新点 1、创新点 2、创新点 3 有主要贡献。							
姓 名	林延东	性别	男	排 名	4	国 籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	光学所所长
参加本项目的起止时间	2012 年 9 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹功率计量主要完成人。参加研制太赫兹辐射吸收材料的光谱特性测试，负责太赫兹功率响应度量值溯源，参加太赫兹功率国际比对数据确认。对创新点 1 有主要贡献。							
姓 名	曹士英	性别	男	排 名	5	国 籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2007 年 1 月 至 2010 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 超短脉冲计量主要完成人。负责超短脉冲计量标准装置研制、超短脉冲光谱相位测量实验、超短脉冲自相关仪研制与测试。对创新点 2 有主要贡献。							
姓 名	张建文	性别	男	排 名	6	国 籍	中国
工作单位	北京化工大学					行政职务	馆长
参加本项目的起止时间	2012 年 7 月 至 2014 年 12 月						

对本项目技术创造性贡献： 太赫兹光谱计量主要完成人。参加化学品太赫兹光谱标准数据库建立研究、太赫兹用于危险化学品探测和化工事故探测研究，参加项目研究成果推广应用。对创新点 3 有贡献。							
姓名	蔡晋辉	性别	男	排名	7	国籍	中国
工作单位	中国计量大学					行政职务	副处长
参加本项目的起止时间	2012 年 5 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹光谱和功率计量主要完成人。参加太赫兹光谱标定校准研究，参加太赫兹探测器标定校准研究，参加项目研究成果推广应用。对创新点 3 有贡献。							
姓名	王景辉	性别	男	排名	8	国籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2012 年 1 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹功率计量主要完成人。参加太赫兹辐射吸收材料的研制和光谱特性测试。对创新点 1 有贡献。							
姓名	冯国进	性别	男	排名	9	国籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2012 年 3 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹光谱计量主要完成人。参加太赫兹光谱计量研究和太赫兹吸收材料光谱特性测试，参加太赫兹光谱计量标准装置不确定度评估实验测试。对创新点 3 有贡献。							
姓名	徐楠	性别	男	排名	10	国籍	中国
工作单位	中国计量科学研究院					行政职务	
参加本项目的起止时间	2014 年 6 月 至 2014 年 12 月						
对本项目技术创造性贡献： 太赫兹功率计量主要完成人。参加太赫兹功率响应度溯源到国家激光功率基准的实验测试，参加标准太赫兹功率计特性测量和不确定度评估实验测试。对创新点 1 有贡献。							

## 八、主要完成单位情况表

单位名称	中国计量科学研究院				
排名	1	法定代表人	方向	所在地	北京
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					



中国计量科学研究院作为本项目的承担单位，组织实施了该项目，并为该项目研究提供了实验室配套环境和经费。中国计量科学研究院承担并完成了项目课题的主要研究工作，是3点创新、6项专利的持有者。中国计量科学研究院是国际首次太赫兹功率比对的主要参与者。同时中国计量科学研究院积极推进项目成果的推广应用，为国防一级计量站、中国工程物理研究院、海军计量测试中心等国防计量单位研制太赫兹计量标准装置，为北京市计量检测科学研究院、上海市计量测试技术研究院等省市计量单位提供量值溯源，为中国石油大学、北京航空航天大学等单位在太赫兹各个领域的应用提供精密测试和计量数据。

单位名称	北京化工大学				
排 名	2	法定代表人	谭天伟	所 在 地	北京

对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：

北京化工大学作为本项目的参加单位，是太赫兹光谱计量的主要合作单位。参加化学品太赫兹光谱精密计量研究，为该项目研究提供了配套实验室环境、配套人员和配套经费。北京化工大学的合作研究，是创新点3的贡献合作者。北京化工大学参加项目成果的推广应用，促进研究成果在化学品测量、危化品探测、公共安全等领域的应用。

单位名称	中国计量大学				
排 名	3	法定代表人	林建忠	所 在 地	浙江杭州

对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：

中国计量大学作为本项目的参加单位，是太赫兹光谱计量和太赫兹功率计量的主要合作单位。参加太赫兹光谱和功率计量研究。中国计量大学参加项目成果的推广应用，促进研究成果在成像探测、物质识别、公共安全等领域的应用。

## 完成人关系说明:

项目针对国家太赫兹重要应用中关键量值无法溯源的问题开展计量研究。2007年1月起,项目第一完成单位中国计量科学研究院组建研究团队,开展太赫兹计量研究,先后承担国家科技支撑计划项目课题、国家质检总局科研项目和基本科研业务费项目等4项科研课题。

2012年7月起,中国计量科学研究院和北京化工大学合作开展太赫兹危险化学品探测研究。2013年联合获得973项目课题立项,研究太赫兹危化品探测和化学品事故遥测技术,双方共同培养研究生,在《安全与环境学报》期刊共同发表论文。

2012年5月起,中国计量科学研究院和中国计量大学合作开展太赫兹计量研究。双方共同承担质检公益性行业专项课题和科技部质量基础专项课题2项,共同培养研究生,联合申报“一种自混频太赫兹探测器响应度参数的标定装置和方法”发明专利,在《太赫兹科学与电子信息学报》期刊共同发表论文。

中国计量科学研究院、北京化工大学和中国计量大学有机合作,产学研相结合,优势互补。中国计量科学研究院主要承担太赫兹计量标准研制和量值溯源,北京化工大学主要承担危险化学品太赫兹探测研究和太赫兹光谱化学分析,中国计量大学主要承担太赫兹功率量值传递研究和太赫兹探测器性能测试。三方共同合作,保障了项目的高质量完成并获得广泛应用。主要完成人之间的合作关系如下:

1. 完成人邓玉强、孙青、于靖、林延东、曹士英、王景辉、冯国进和徐楠为中国计量科学研究院研究人员。邓玉总体负责太赫兹计量研究工作,孙青负责计量标准器研制和实验测试,于靖负责太赫兹辐射功率计研制,林延东负责太赫兹功率量值溯源,曹士英负责超短脉冲激光计量标准器研制,王景辉参加太赫兹辐射吸收材料研制,冯国进参加太赫兹光谱计量不确定度分析研究,徐楠参加太赫兹功率响应度溯源实验测试。完成人共同制定3项太赫兹计量校准规范、合作获得4项授权专利、合作发表多篇学术论文。
2. 张建文为北京化工大学研究人员,负责化学品太赫兹光谱数据库研究、太赫兹用于危险化学品探测和化工事故探测研究。张建文与邓玉强共同培养研究生,在《安全与环境学报》期刊共同发表论文。
3. 蔡晋辉为中国计量大学研究人员,参加太赫兹探测器标定校准研究。蔡晋辉与邓玉强联合申报1项发明专利和1项实用新型专利,在《太赫兹科学与电子信息学报》期刊共同发表论文。