

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2519838

# 我国太赫兹科技人才发展现状、挑战与创新路径

张莉<sup>1</sup> 彭滢<sup>2</sup> 韩媛媛<sup>1</sup> 陈昕<sup>1</sup> 武娟<sup>1</sup> 李翠玲<sup>3</sup>

(1. 中国仪器仪表学会 北京 100088; 2. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093;  
3. 北京理工大学光电学院 北京 100081)

**摘要:** 太赫兹技术作为 21 世纪最具潜力的前沿交叉学科之一,在通信、成像、生物医学等领域展现出革命性应用前景。本文在建立我国太赫兹科技人才数据库的基础上,系统分析我国太赫兹科技人才发展的理论基础、现状特征、核心挑战及创新路径。研究发现,我国太赫兹人才队伍规模快速扩张,但仍存在结构性矛盾。通过构建多学科协同培养模式、优化政策支持体系、深化国际合作,有望形成适应技术创新与产业发展的人才生态,为我国在太赫兹领域实现从跟跑到领跑的跨越提供人才支撑。

**关键词:** 太赫兹技术;科技人才;产学研协同;人才培养

**中图分类号:** TN27 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.20

## The development of terahertz technology talent in our Country: Current status, challenges and innovative pathways

Zhang Li<sup>1</sup> Peng Yan<sup>2</sup> Han Yuanyuan<sup>1</sup> Chen Xin<sup>1</sup> Wu Juan<sup>1</sup> Li Cuiling<sup>3</sup>

(1. Chinese Society of Instrumentation, Beijing 10008, China; 2. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, Shanghai University of Technology, Shanghai 200093, China; 3. School of Optics and Photonics Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** As one of the most promising cutting-edge interdisciplinary fields of the 21st century, terahertz technology has demonstrated revolutionary application prospects in communications, imaging, biomedicine and other areas. This article systematically analyses the theoretical foundation, current characteristics, core challenges, and innovative pathways for the development of terahertz technology talent in our country, based on the establishment of a talent database for terahertz technology. The research found that the scale of the terahertz talent pool in our country is rapidly expanding, but there are structural contradictions. By constructing a multidisciplinary collaborative training model, optimising the policy support system, and deepening international cooperation, it is hoped to create a talent ecosystem that adapts to technological innovation and industrial development, providing talent support for our country to achieve a leap from following to leading in the terahertz field.

**Keywords:** Terahertz technology; scientific and technological talent; collaboration between industry, academia, and research; talent training

## 0 引言

太赫兹 (THz) 波是指频率在 0.1~10 THz (波长 30  $\mu\text{m}$ ~3 mm) 范围内的电磁波,介于微波与红外光之间,因其独特的穿透性、低光子能量和高频谱分辨率,被视为“改变未来世界的十大技术”之一。随着 20 世纪 90 年代激光、半导体技术的发展,太赫兹探测技术取得突破,太赫兹技术的应用前景得到广泛关注,世界各国对太赫兹技术研究的投入持续增加。美国国防高级研究计划局 (DARPA)、

欧盟“地平线计划”等国际前沿科技布局均将太赫兹技术列为核心领域。我国也高度重视太赫兹技术的发展,“十四五”国家战略性新兴产业发展规划明确提出加快太赫兹技术研发。在这样的大背景下,太赫兹科技人才的需求愈发旺盛。

太赫兹技术的高跨学科性(涉及物理学、电子工程、光学、材料科学等多领域)和技术复杂性(高效太赫兹源与探测器研发、系统集成等瓶颈),使得全球太赫兹科技人才供给严重不足。《2023 年中国电子信息人才白皮书》显示,我

国具备太赫兹器件研发、系统集成能力的资深工程师不足500人,而美国同类人才超过2000人。人才是科技发展的第一资源,人才缺口已成为制约我国太赫兹技术创新与产业发展的关键因素。深入了解我国太赫兹人才的发展状况,系统分析我国太赫兹科技人才的发展现状、面临的挑战,并探索创新发展路径,具有重要的理论和实践价值。

## 1 研究方法

### 1.1 数据库建设

本文建立了太赫兹领域科技人才数据库,该数据库的构建是本研究的基础。数据架构包含科技工作者的多维度信息,具体包括:

- 1)基础属性数据:学历背景、工作经历、职称等基本信息,这些数据有助于了解人才的基本构成和职业发展路径。
- 2)科研产出数据:论文、专利、软件著作权等,这些指标是衡量人才科研能力和创新成果的重要依据。
- 3)社会影响力数据:学术兼职、奖项荣誉等,反映了人才在学术界和社会中的认可度和影响力。

### 1.2 数据来源与采集方法

数据来源具有多样性和权威性,包括:公开数据库的自动抓取,如Web of Science、ORCID、Google Scholar等国际知名学术数据库;CNKI、万方等国内权威机构提供的官方数据;问卷调查获取的一手信息,确保数据的针对性和时效性。

数据采集采用了“智能爬虫+人工核验”的混合采集系统,充分发挥了自动化技术和人工审核的优势:针对结构化数据(如论文发表记录),采用基于Python的分布式爬虫框架Scrapy,实现高效、准确的数据抓取;面对非结构化数据(如项目描述、技能自评等),运用自然语言处理技术进行实体识别和关系抽取,将非结构化数据转化为结构化信息,便于分析和处理。

### 1.3 数据质量控制

为确保数据质量,建立了严格的多级校验机制:一级校验:通过算法检测异常值和逻辑矛盾,利用统计学方法和预设的逻辑规则,对数据进行初步筛选和清理;二级校验:由本领域人员进行抽样复核,凭借专业知识和经验,对数据的准确性和合理性进行人工判断;三级校验:交叉验证不同来源的数据一致性,确保同一信息在不同数据源中的一致性和可靠性。

最终建立数据库,经过验证的完整度达到92.7%,关键字段缺失率控制在3%以下。高质量的数据库为深入分析奠定了坚实基础,并遴选库中4285名持续从事太赫兹科技工作的科技人才数据作为样本开展研究。

### 1.4 数据分析与可视化

基于数据库建立了我国太赫兹科技工作者创新图谱,开展量化分析。通过运用数据挖掘、可视化等技术手段,直观呈现太赫兹人才的分布特征、科研合作网络、创新能力等

多方面信息,为人才发展的现状分析和趋势预测提供了有力支持。

## 2 太赫兹科技人才的特征和分类

### 2.1 太赫兹科技人才的定义

科技人才是指具备专业科学知识、技术能力和创新素养,能够在科学研究、技术开发、工程实践等领域从事创造性劳动,为科技进步和社会发展作出贡献的群体<sup>[1]</sup>。太赫兹科技人才即在太赫兹领域具备系统的专业知识、实践技能和创新思维,能够解决复杂科技问题,通过科研成果转化、技术创新等推动生产力发展或社会进步的专业人才。

### 2.2 太赫兹科技人才的特征

太赫兹科技人才具备跨学科知识体系、创新能力和实践技能,能够在太赫兹技术研发、应用与产业化过程中作出实质性贡献的专业群体。其核心特征包括:

- 1)知识结构的交叉性:需系统掌握电磁场理论、量子光学、半导体物理等基础理论,同时具备电子工程、光学工程、材料科学等多学科知识融合能力。例如,太赫兹量子级联激光器研发需要同时精通能带工程、波导光学和半导体异质结生长原理。
- 2)能力要求的复合性:既需具备基础研究的原创能力(如发现太赫兹新物理效应),又需掌握工程实践技能(如太赫兹系统集成与调试),还需具备技术转化能力。
- 3)贡献维度的多元性:包括理论创新(如提出新的太赫兹产生机制)、技术突破(如开发高灵敏度探测器)和产业推广(如实现太赫兹安检设备产业化)等多个层面。

### 2.3 太赫兹科技人才的分类

1)基于工作性质与专业侧重,太赫兹科技人才可划分为:

**基础研究型人才:**主要从事太赫兹物理机制、新型材料特性等基础科学问题研究。如中国科学院物理研究所太赫兹量子调控团队成员,在拓扑绝缘体太赫兹响应等领域取得原创性成果。

**工程科技型人才:**强调系统集成与工程化能力,聚焦太赫兹器件与系统研发,如量子级联激光器、太赫兹成像模块等。

**应用技术型人才:**结合场景进行应用方法开发,加快推广应用推广,致力于太赫兹技术在通信、医疗、安检等领域的实际应用。

**成果转化型人才:**兼具技术背景与市场能力,能够协调产学研资源,推动技术创新与产业转化,注重市场效益与产业化路径(如专利转化率、商业化指标)。这类人才在新型研发机构、研发平台中发挥重要作用。

2)按能力层级,可划分为:

**领军人才:**具备战略眼光和团队领导力,主导重大科研项目(如院士、首席科学家)。

**骨干人才:**在特定领域具备深厚专业能力,承担核心技

术攻关。

青年后备人才:具备发展潜力的新兴力量,处于科研起步阶段。

3)按工作场景,可划分为:

科研机构人才:高校、科研院所中从事理论研究的学者。

企业技术人才:在产业一线推动技术创新与成果转化的工程师。

创新创业人才:创办科技型企业,推动技术商业化的创业者。

## 2.4 太赫兹科技人才的能力特点

太赫兹科技人才具有多维的能力特点,包括:

1)知识储备

包括专业深度(如对太赫兹波与物质相互作用机制的理解)和知识广度(跨学科知识整合能力),样本中 80.5% 的太赫兹研究者拥有博士学位,体现对高层次知识体系的要求。丰富的知识储备是太赫兹科技人才开展创新研究和技术开发的基础。

2)技术能力

涵盖实验操作(如太赫兹时域光谱系统使用)、工程实现(如太赫兹芯片封装工艺)和创新设计(如超材料太赫兹器件开发),具备复合技能的人才创新效能比单一技能者高 58%。强大的技术能力是太赫兹科技人才解决实际问题 and 推动技术进步的关键。

3)创新贡献

包括学术影响力(如顶级期刊论文发表)、技术专利(核心器件专利数量)和产业价值(技术转化经济效益),我国太赫兹领域专利产业化率不足 5%,反映创新转化能力有待提升。创新贡献是评价太赫兹科技人才价值的重要标准,直接关系到太赫兹技术的发展和應用。

4)团队协作

太赫兹技术的复杂性要求人才具备跨学科团队协作能力,国际顶尖团队通常由 30% 核心学科专家、40% 关联学科骨干和 30% 跨界创新者组成。良好的团队协作能力是太赫兹科技人才开展大型研发项目和实现创新突破的保障。

## 3 我国太赫兹科技人才现状

### 3.1 我国太赫兹科技人才总体情况

基于本研究构建的全国太赫兹科技人才数据库及 4 285 人样本分析,我国该领域人才队伍在规模扩张、性别结构、区域分布等方面展现出鲜明特征。从总量来看,我国活跃的太赫兹科技工作者已从 2018 年的约 2 000 人增长至 2025 年的 9 000 人,增速达 350%,远超全球平均水平,这主要得益于国家重大科技专项和重点研发计划的支持,“十四五”期间中央和地方财政在太赫兹领域的投入累计超过 50 亿元,直接带动了人才规模的几何级增长。在样本分

析的 4 285 名太赫兹科技人才中,男性占比高达 77%,女性占 23%,这一比例显著低于我国科技人力资源中女性占比 40.1% 的整体水平,反映出尖端前沿技术领域存在的性别壁垒。深入分析发现,这种失衡在工程应用端更为明显,从事太赫兹设备研发和系统集成的男性比例达到 83.2%,而在基础研究环节女性占比相对较高,达到 28.7%,表明不同创新链环节存在差异化的性别分布特征。

从人才层次来看,我国太赫兹领域已初步形成梯队化结构,但各层级之间存在明显的能力断层。位于金字塔顶端的战略科学家群体约 50 人,主要分布在国家级科研机构,平均年龄 53.7 岁,其中两院院士、IEEE Fellow 等顶尖人才占比约 22%,他们在太赫兹源开发、成像系统等方向取得了一系列突破性成果。中间层的核心技术骨干约 3 000 人,主要分布在重点高校、科研院所和高科技企业,平均年龄 41.5 岁,大多具有参与国家重大项目的经历,是推动技术工程化应用的主力军。但这一层级人才稳定性较差。基础层的青年研究者和工程技术人员虽然数量增长较快,但样本中 35 岁以下占比小于 10%,且多集中于测试、运维等辅助岗位,独立承担研发任务的能力明显不足。

从能力结构分析,我国太赫兹人才存在突出的“三多三少”现象:传统光学背景人才多,而兼具电子学、材料学知识的复合型人才少;单一技术方向研究者多,具备系统集成能力的架构师少;跟踪模仿型人才多,原创引领型人才少,创新影响力弱<sup>[2]</sup>。我国太赫兹科技人才的学科背景构成呈现出典型的交叉学科特征,在 4 285 人的样本数据中,博士学位占比高达 80.5%,硕士学历占 18.2%,本科及其他学历合计不足 1.3%,反映出该领域对高层次人才的强烈依赖。电子科技大学、首都师范大学、天津大学等高校构成了主要人才培养基地。

我国太赫兹科技人才的能力素质结构呈现出“头重脚轻”的职称结构,基于 4 285 人样本数据分析,正高级职称占比 50%,副高级职称 37%,两者合计超过 3/4,反映出该领域已形成以高级职称为主体的研究梯队。这种“头重脚轻”的职称结构既体现了研究队伍的高水平特征,也暴露出后备人才储备不足的隐忧。

我国太赫兹科技人才的职业分布呈现高度集中的特征,基于 4 285 人样本数据分析,高校与科研院所人才占比 83%,企业研发人员仅 17%,这种极不均衡的分布格局深刻反映出我国太赫兹技术产业化程度仍处于初级阶段。与全球太赫兹人才在产业界占比达 39% 的情况相比,我国企业研发力量的薄弱直接制约了技术创新成果的转化效率。

我国太赫兹科技人才流动格局呈现新的发展态势。从区域分布来看,京津冀与长三角地区已成为全国最重要的人才集聚地,其中北京怀柔科学城、天津太赫兹产业园、上海张江科学城、合肥科学岛等创新高地发挥关键作用。值得关注的是,中西部地区人才密度仅为东部地区的 1/5,且差距仍在持续扩大,这种区域失衡现象亟待改善。从机构

流动来看,高校与科研院所之间的人才交流相对频繁,但向产业界的流动仍然不畅,严重制约了技术创新成果的转化效率。

### 3.2 人才分布图谱

#### 1) 所属地区图谱

科技人才所属地区图谱如表1所示。从整体来看,不同省份科技人才数量分布差异较大。科技人才分布较多的省/直辖市(大于200人)包括北京(881人)、四川(458人)、上海(315人)和江苏(290人),这4个省/直辖市总数达1944人,占比约45.2%,表明这些地区在太赫兹领域可能具备更丰富的资源、更活跃的研究氛围与更多发展机会。数量中等的省/直辖市(100~200人)有陕西(258人)、天津(196人)、山东(153人)和广东(131人),与数量较多区间的省/直辖市共同构成太赫兹领域研究主力地区,这8个省份总数2682人,占比约62.5%。而数量较少区间(小于100人)涵盖了剩下的大部分省份,其科技人才数量总和相比前两类省份少很多。

表1 太赫兹科技人才所属地区分析表

Table 1 Analysis Table of Terahertz Technology Talents/ Region

科技人才所属地区	数量	占比/%
北京	881	20.6
四川	458	10.8
上海	315	7
江苏	290	6.8
陕西	258	6
天津	196	4.6
山东	153	3.6
广东	131	3.1

深入分析地方特色,各省份人才分布与其优势学科和产业基础高度相关。北京市881人中,基础研究人才占比预计超过70%,与其国家实验室和顶尖高校密集的特点相符。四川省458人集中在太赫兹雷达和测量方向,反映电子科技大学在电子科学与技术领域的传统优势。上海市316人更多分布在系统集成和应用研究领域,体现其产学研结合的发展路径。江苏省290人以南京大学和东南大学为核心,在太赫兹器件与材料方向形成特色。陕西省258人与西安电子科技大学以及航天科技集团的研究力量密切相关。这种专业领域的地方分化,既是对历史积累的延续,也是区域差异化发展的必然结果。

从人才密度角度观察,直辖市表现尤为突出。北京、上海、天津、重庆四个直辖市合计拥有1515人,占比高达35%,平均每千万人口拥有太赫兹科技工作者约12人,远超全国平均水平。这种高度城市化的人才分布特征,与太赫兹研究对高端仪器设备、学术交流环境和产业配套能力的严格

要求密不可分。相比之下,人口大省如河南、山东等表现相对逊色,河南省有110人,与其人口规模和经济总量严重不匹配,反映出科技创新能力与经济发展水平的不协调。

特别值得关注的是部分省份的“极少数人才”现象。样本数据显示,西藏、青海、新疆、台湾、香港、澳门等地区太赫兹科技工作者入选占比很少,这种占比少状态固然与样本量有限有关,但也真实反映了科技资源在区域间的极端不平衡。

从发展动态看,新兴区域正在加速崛起。浙江省122人、安徽省98人的表现虽然不算突出,但考虑到长三角一体化发展的带动效应,这些地区的人才增长潜力不容忽视。中西部地区如湖北94人、重庆121人、陕西258人等,已经展现出良好的发展势头,有望在未来形成区域性创新节点。

区域协同方面存在明显短板。相邻省份间的人才交流严重不足,如北京市881人与河北省87人形成巨大落差,京津人才优势未能有效辐射周边。成渝地区虽然四川458人、重庆121人合计579人,但跨省合作项目占比可能偏低。长三角内部上海316人、江苏290人、浙江122人、安徽98人的梯度分布相对合理,但人才流动网络仍需加强。这种区域割裂状态不利于全国太赫兹科技创新生态的整体优化。

#### 2) 所属机构分析

太赫兹领域科技人才所属机构分布如图1所示。

不同机构的科技人才数量存在较大差异。科技人才数量最多的电子科技大学达到200人,然而,哈尔滨工业大学、长春理工大学等机构的科技人才数量仅为34人,两者相差悬殊。这种差异反映出在这些机构背后,可能在太赫兹领域的科研资源投入、学科规模、发展定位等方面有着不同的策略和条件。电子科技大学、首都师范大学和天津大学处于科技人才数量的第一梯队。电子科技大学以200人的科技人才数量领先,首都师范大学有145人,天津大学有104人。这三个大学在吸引和汇聚太赫兹领域科研人才方面具有显著优势,可能得益于其在相关领域的悠久历史、卓越的学术声誉、丰富的科研项目以及良好的师资队伍建设。例如电子科技大学在电子信息等优势学科实力强劲,而太赫兹技术与电子信息紧密相关,其200人的科技人才团队可能涵盖在太赫兹的源、探测器、成像等技术研发方面的专业人才,有能力开展前沿性的太赫兹科研项目,推动太赫兹技术在通信、安检、生物医学等领域的应用研究。首都师范大学和天津大学也类似,凭借其较多的科技人才数量,在科研项目的申请、跨学科合作等方面有优势,可能在太赫兹领域的基础研究、应用拓展等方面进行布局。

#### 3) 人才性别分析

太赫兹领域人才性别呈现出男多女少的分布格局。如图2所示,整体来看,男性科技人才在多数单位中占比较高。例如东南大学男性科技人才占比达到64.7%,华中科技大学为62.2%。这可能反映出在太赫兹研究领域,传

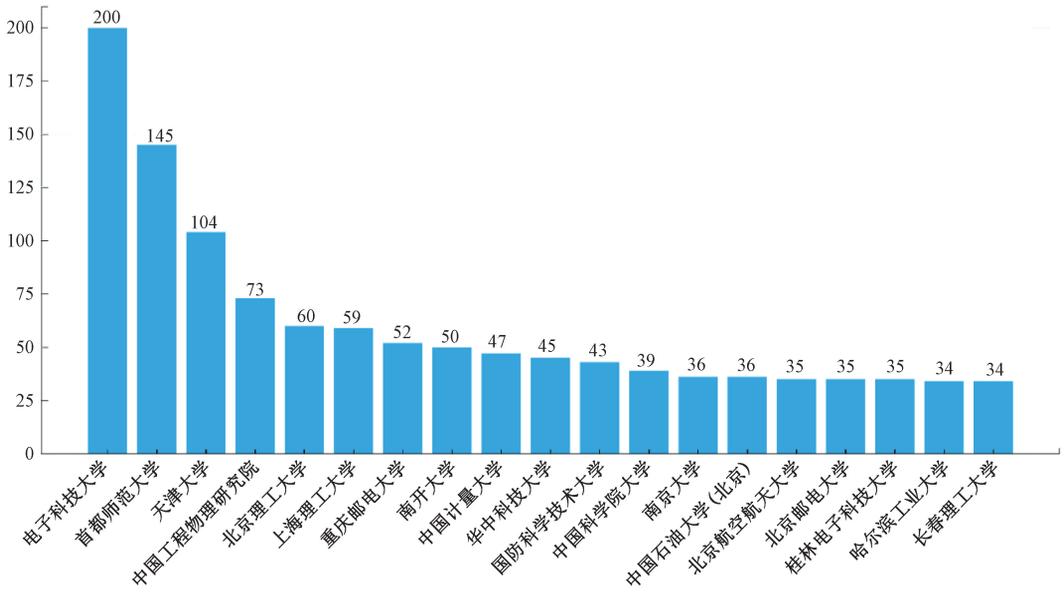


图 1 太赫兹领域科技人才所属机构分析

Fig. 1 Analysis of the institution of the talents in terahertz field

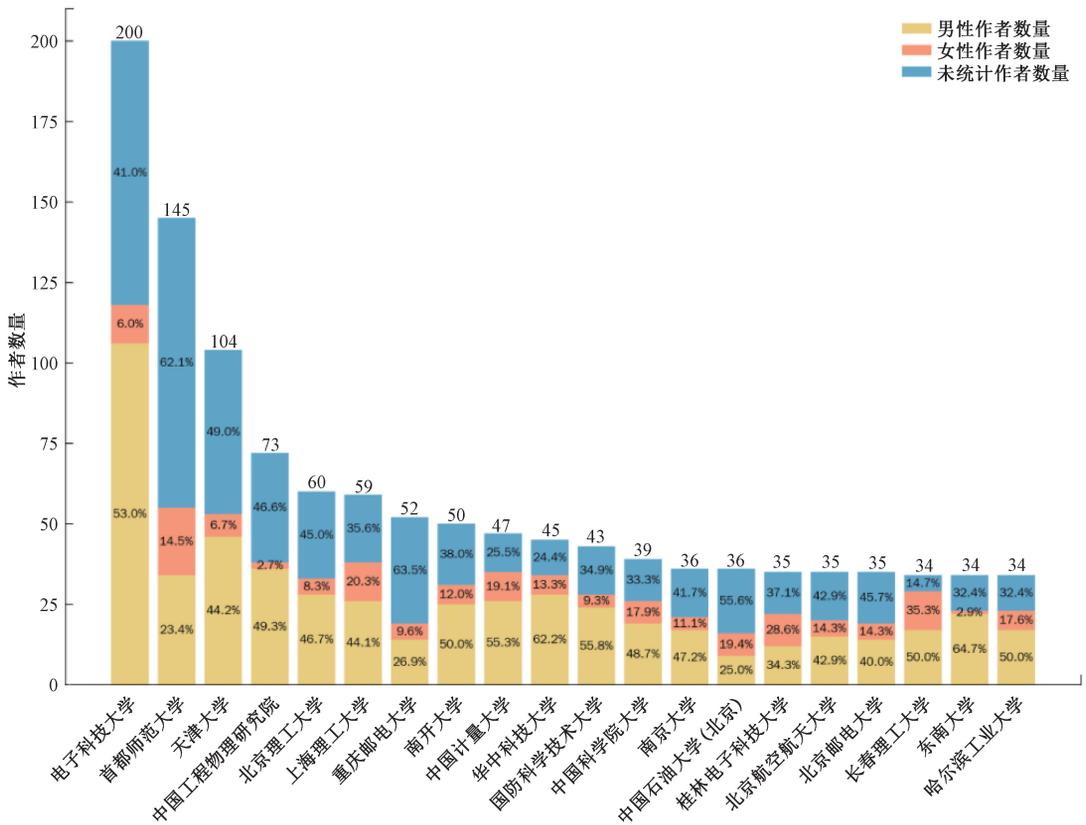


图 2 太赫兹领域科技人才性别分析

Fig. 2 Gender analysis of scientific and technological talents in terahertz field

统上男性参与科研的积极性较高,或者在职业发展过程中男性更容易获得科研资源和机会。不过也有部分单位男性科技人才占比相对较低,如首都师范大学仅为 23.5%,可

能该单位在吸引女性科研人员方面有独特的政策或环境优势。女性科技人才在各单位的占比普遍低于男性,但不同单位差异也较大。桂林电子科技大学女性科技人才占比相

对较高,为28.6%,而东南大学仅为2.9%。这可能与单位所在地区的文化观念、单位的学科性质(如某些学科可能对女性更具吸引力)以及单位对性别比例平衡的重视程度有关。需要注意的是,在信息收集过程中,性别数据存在部分未统计的信息,会对整体的男女性别比例结果产生一定的影响,在进一步分析过程应考虑这一因素。

### 3.3 学术背景分析

#### 1) 专业背景分析

如图3所示,从科技人才人数前20专业的科技人才人数分布柱状图来看,光、电、信息相关的专业是太赫兹领域人才主要的背景专业。人数数值范围大致从11人到96人,跨度较大,这体现出太赫兹领域不同专业的研究活跃程

度不同以及对交叉学科的需求较大。

光学工程专业以96人的科技人才数量在太赫兹领域一骑绝尘。这表明在太赫兹技术的发展中,光学工程专业是最重要的应用方向之一。太赫兹波的产生、探测等关键环节可能依赖于光学工程的原理与技术,大量的科研项目围绕太赫兹光学工程展开,广泛的研究领域吸引了众多科研人员,同时太赫兹在通信、安检等实际应用中的需求也促使该专业人员积极投入研究。光学专业有69名科技人才,热度同样较高。光学与太赫兹在基础理论和部分技术上存在相通性,在太赫兹光谱、成像等应用方面,光学专业知识为其提供了重要支撑,所以也汇聚了较多的研究力量。

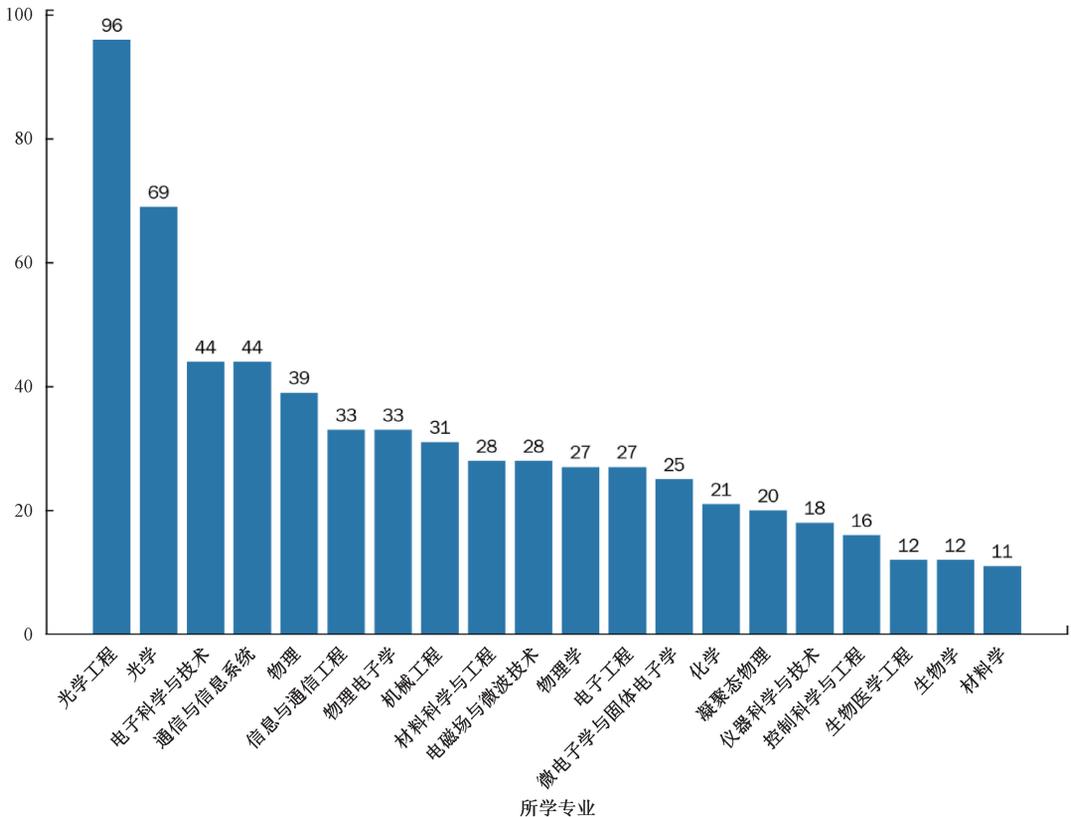


图3 太赫兹领域科技人才专业背景分析

Fig. 3 Analysis of professional background of scientific and technological talents in Terahertz field

电子科学与技术和通信与信息系统专业科技人才人数均为44人,处于第二梯队。在太赫兹通信、太赫兹电子器件研发等方面,这两个专业发挥着关键作用。随着太赫兹技术在高速通信、新型电子器件等领域的应用前景逐渐明晰,产业需求驱动了大量科研工作,吸引了不少专业人员参与。科技人才人数在20~39人区间的专业,例如物理、信息与通信工程等,在太赫兹领域这些专业同样重要且活跃。例如物理专业,太赫兹物理是太赫兹技术的理论基础,研究人员致力于探索太赫兹波与物质的相互作用等前沿理论,虽然人数相对头部专业较少,但对推动太赫兹

领域的基础研究意义重大,也为其他专业的应用研究提供了理论依据。科技人才人数在11~18人区间的专业,例如仪器科学与技术、生物医学工程等,这些专业在太赫兹领域可能相对小众或处于发展初期。以生物医学工程专业为例,太赫兹在生物医学成像、疾病诊断等方面有潜在应用,但由于技术的复杂性和临床应用的严格要求,研究开展难度较大,研究成果产出周期长,限制了参与的科技人才数量。

总体而言,从太赫兹领域科技人才人数的分布能看出各专业的发展态势和在该领域的热度。对于科技人才人

数多的热门专业,应深入挖掘其在太赫兹研究中的成功经验,如产学研合作模式、关键技术突破点等,并推广到其他专业。对于科技人才人数少的专业,可加大在太赫兹领域的科研投入,设立针对性的研究项目和激励机制,吸引更多专业人员加入,共同推动太赫兹技术在多领域的全面发展。

## 2) 学历背景分析

如图 4 所示,不同学位科技人才人数在总体中的占比情况表明,拥有博士学位的科技人才在图中占据了最大的份额,其科技人才人数达到 1 941 人,占比达到 81.73%,这充分表明在太赫兹领域发表学术论文的科技人才群体里,博士学位科技人才是主力军,太赫兹领域研究通常涉及到前沿的理论和复杂的实验技术,博士在长期的学术训练中积累了深厚的专业知识和丰富的研究经验,具备开展高难度研究项目的的能力,所以能够在该领域产出较多的学术成果,成为发表论文的核心力量;硕士学位科技人才人数为 379 人,在饼图中占比(15.96%)明显小于博士学位科技人才,这可能是由于硕士研究生的研究时间相对较短,一般为 2—3 年,相较于博士的研究周期,在研究深度和广度上可能受到一定限制,不过他们也在积极参与太赫兹领域的研究,为该领域注入新的活力,是该领域研究队伍的重要组成部分;学士学位科技人才人数仅有 31 人,占比非常小,本科阶段主要侧重于在发表论文方面的数量远不及硕士和博士;未统计学位科技人才有 24 人,在饼图中占比也较低,这部分科技人才可能是由于数据记录不完整等原因导致学位信息缺失,需要进一步核实数据来源和采集过程,以更准确地了解太赫兹领域科技人才的学历结构。鉴于博士和硕士在太赫兹领域研究中的重要作用,高校和科研机构可以进一步加强相关专业的研究生培养,提供更多的科研资源和平台,鼓励他们开展创新性的研究工作,为太赫兹领域输送更多高素质的专业人才。

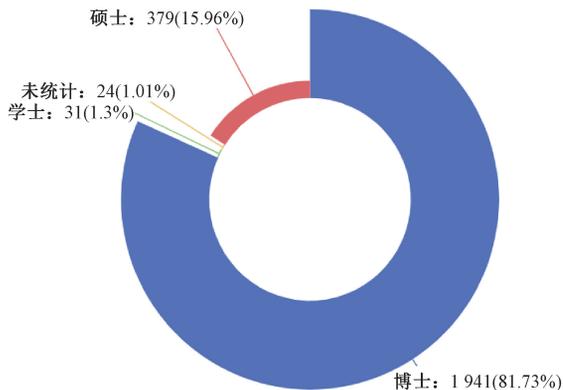


图 4 太赫兹领域科技人才学历背景

Fig. 4 Educational background of scientific and technological talents in Terahertz field

## 3) 技术职称分析

在太赫兹领域,主要的技术职称有教授、研究员、教授

级高工、副教授、副研究员、高级工程师、讲师、助理研究员以及工程等,涵盖高校、研究院所以及企业,如图 5 所示,“教授”和“副教授”这两个职称的科技人才数量占比相对较大,分别达到了一定比例(34.8%和 24.4%)。这表明在这个领域中,教授和副教授群体在学术创作或者相关活动中的参与度较高,可能是由于他们在学术研究方面积累深厚、资源丰富,同时也承担着培养学生、开展科研项目等多项任务,因此有更多机会产出成果。其中教授中有 13 人是“中国科学院院士”,表明太赫兹领域人才梯度建设完善,具有强劲的科研实力。正高级职称中,“研究员”和“教授级高级工程师”的占比分别为 14.5%和 0.8%。这表明,太赫兹领域的研究更多的还是处于理论和应用探索阶段。在未来的发展中,要加强该领域的成果转化工作,培养更多的产业方面的高级人才。

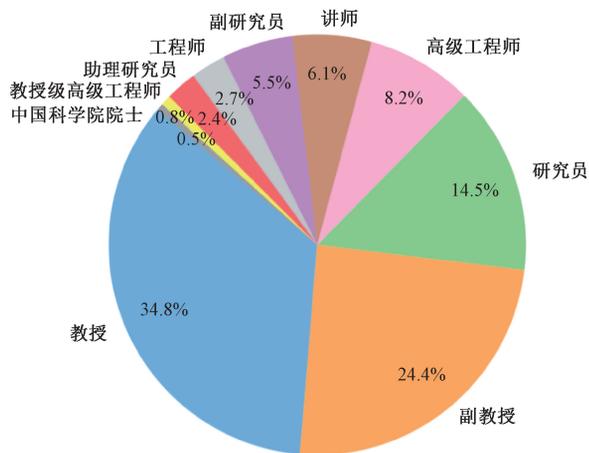


图 5 太赫兹领域科技人才技术职称分布

Fig. 5 Distribution of technical titles of scientific and technological personnel in the Terahertz field

## 3.4 科技人才研究方向分析

太赫兹技术作为一门极具发展潜力的前沿科技,在多个领域都展现出了广泛的应用前景和研究价值。如图 6 所示,从关键词时间线图谱可以看出,太赫兹领域的研究主要围绕以下关键词展开:太赫兹、成像系统、信道估计、超材料、波导、石墨烯、折射率、光谱学、信道测量、太赫兹波、无损检测、超表面等。这些关键词涵盖了太赫兹技术的核心原理、关键材料、系统架构以及应用方向,反映了该领域研究的深度与广度。通过这些关键词,可以透视太赫兹领域未来的研究方向。

例如,太赫兹成像系统可用于材料内部结构的无损检测,能够快速、准确地识别材料内部的缺陷、裂纹等,广泛应用于航空、航天、电子等领域,为产品质量控制和安全保障提供重要支持。太赫兹光谱学则凭借其对于物质成分的高灵敏度检测能力,在化学分析、生物医学检测等领域大放异彩,可用于检测生物分子的结构和功能变化,助力疾病诊断和药物研发。此外,太赫兹波在通信领域也具有巨

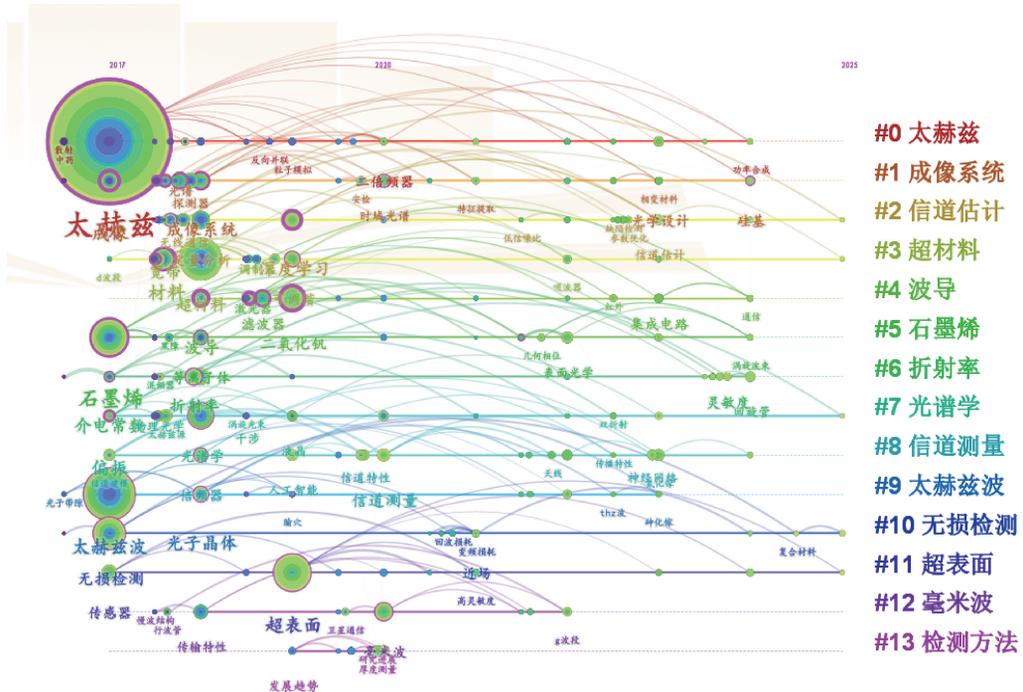


图6 太赫兹领域研究热点关键词时间图谱分析

Fig. 6 Analysis of Time-spectrum of research hotspot keywords in Terahertz field

大潜力,其高频段的频谱资源可用于实现高速率、大容量的数据传输,有望推动下一代通信技术的发展。超材料和超表面的研究则为太赫兹器件的性能优化和功能拓展提供了新的思路,通过设计和制造具有特殊电磁特性的材料,可实现对太赫兹波的高效调制和控制,进一步拓展太赫兹技术的应用范围<sup>[3-5]</sup>。

#### 4 太赫兹科技人才发展面临的挑战

太赫兹科技作为前沿交叉领域,其人才发展面临多维度挑战,需从技术特性、教育体系、产业生态等层面综合剖析:

##### 1) 跨学科知识体系构建的复杂性

太赫兹技术横跨电子工程、材料科学、物理学、生物学等多学科领域,要求人才同时掌握太赫兹波生成、检测、材料特性分析及应用场景设计等复合能力。然而,传统教育体系中专业划分过细,导致学生知识结构单一<sup>[6]</sup>。例如,电子工程背景的学生可能缺乏材料科学的深度理解,而物理专业人才可能对工程化应用缺乏认知。这种学科壁垒使得跨学科课程设计和导师团队组建难度极大,即便如电子科技大学通过“电子菁英班”尝试跨学科培养,仍需面对课程衔接与资源整合的挑战。此外,太赫兹技术涉及高频器件设计、高精度加工工艺(如二极管并联电路设计)等复杂技术,对人才的实践操作能力要求极高,而国内部分高校实验室设备仍依赖进口,限制了学生的实践机会。

##### 2) 产业需求与学术研究的结构性错位

太赫兹技术的应用场景虽广(如安检、通信、生物医

学),但产业化进程尚处于初期,学术界与产业界需求尚存在脱节的现象,高校和科研院所的研究多聚焦于基础理论和实验室技术突破(如太赫兹波偏振调控技术),而企业更关注技术的工程化可行性和市场转化价值。例如,第41研究所研发的太赫兹测试设备虽性能对标国际,但因国内工艺水平限制,仍需与其他机构合作突破核心器件瓶颈<sup>[7]</sup>。另一方面,企业对人才的需求集中在系统集成、设备维护等应用型领域,然而我国人才培养模式单一、缺乏多样性和适应性,工程性缺失和实践环节薄弱<sup>[8]</sup>,学术界评价体系仍以论文发表为核心,导致研究人员缺乏动力参与产业项目。这种错位使得部分科研成果难以转化为实际产品,如博太赫兹虽通过校企合作推动技术落地,但仍需克服成本高、市场接受度低等问题。

##### 3) 国际竞争与人才流动的双重压力

太赫兹领域的国际竞争激烈,发达国家通过政策倾斜和资源投入吸引全球顶尖人才。与此同时,国内太赫兹技术研发长期面临核心器件(如太赫兹二极管)依赖进口的困境,国际供应链波动直接制约技术发展,倒逼国内团队自主研发,但这一过程需要大量高端人才支撑。此外,国际合作虽能促进技术交流(如上海理工大学与莫斯科大学共建联合实验室),但地缘政治因素可能限制合作深度,影响人才培养与技术共享。

##### 4) 评价机制与激励体系的适配性不足

传统科研评价体系(如论文数量、影响因子)难以准确衡量太赫兹技术人才的实际贡献。例如,产业化人才的技术转化能力、市场推广经验等关键指标未被纳入评价体

系,导致部分研究人员更倾向于发表论文而非推动成果落地。尽管上海理工大学等机构尝试改革,通过团队考核、股权激励等方式激发人才积极性,但全国范围内尚未形成统一的多元化评价标准。此外,太赫兹技术研发周期长、风险高,企业对长期投入的意愿不足,而政府资助多集中于基础研究,导致应用型人才的激励机制缺失,影响人才稳定性。

#### 5) 伦理风险与社会认知的挑战

太赫兹技术的应用可能引发伦理争议。例如,太赫兹安检设备的人体成像技术涉及隐私保护问题,而生物医学领域的应用需严格遵循伦理规范。目前,国内相关伦理教育和法律规范尚不完善,人才在技术研发和应用过程中可能缺乏系统性指导。此外,市场上存在利用太赫兹概念进行虚假宣传的现象,也导致公众对技术的认知偏差,影响人才发展的社会环境。

#### 6) 资源分配与人才结构的失衡

太赫兹技术研发需要高端设备和实验环境,但资源往往集中在少数顶尖机构(如电子科技大学、上海理工大学),导致其他地区的人才培养受限。同时,人才结构呈现“哑铃型”特征:高端领军人才和基础研究人员相对充足,但具备工程化经验和产业视野的中间层人才严重短缺。此外,青年人才培养存在瓶颈,尽管部分高校通过联合培养项目吸引青年学者(如电子科技大学“电子菁英班”),但职业发展路径不清晰、晋升通道狭窄等问题仍制约其成长。

#### 7) 技术迭代与持续学习的压力

太赫兹技术处于快速发展期,每 18 个月性能要求提升 50%,技术迭代速度远超传统领域。人才需持续跟踪国际前沿动态(如太赫兹超表面技术、智能化器件设计),并掌握新兴工具(如机器学习优化科研流程)。然而,现有培训体系未能及时更新,导致部分从业人员知识老化。例如,传统制造业人才转型太赫兹领域时,需快速学习数字化技术,但企业和高校提供的培训资源有限,难以满足需求。

## 5 太赫兹科技人才发展的创新路径

### 5.1 创新人才培养模式

结合工程进行教育研究,借鉴国外“课程+项目”先进人才培养理念<sup>[9-11]</sup>,在优势高校试点设立交叉学科硕士/博士项目,构建“电磁场理论+量子光学+半导体物理+信号处理”核心课程模块。开发模块化课程体系,允许学生根据研究方向(如通信、成像、材料)自由组合课程<sup>[12]</sup>,上海理工大学“太赫兹微纳器件”课程已实现跨学院选课,通过学科建设与课程创新,可以打破传统学科壁垒,为学生提供更加系统、全面的太赫兹技术知识体系,培养他们的跨学科思维和创新能力。

建设国家级太赫兹实验教学中心,共享太赫兹时光光

谱系统、近场成像平台等设备,采用“虚拟仿真+实际操作”结合的教学模式,解决设备昂贵与教学需求的矛盾。推广“双导师制”,如电子科技大学与华为共建“太赫兹通信精英班”,企业导师参与课程设计与项目指导,工程实践能力显著增强。实践能力培养机制的建立可以提高学生的实际操作能力和解决问题的能力,使他们更好地适应太赫兹技术研发和产业应用的需求。

通过国家重大科技基础设施布局,如南京太赫兹创新平台,引导资源向地方倾斜,同时鼓励企业与高校共建实训基地,培养工程化人才,填补人才结构断层。推动资源下沉与结构优化可以促进太赫兹技术在全国范围内的均衡发展,培养更多适应产业需求的工程化人才。

### 5.2 优化人才评价机制

建立“基础研究-技术转化-产业应用”分类评价体系。将专利质量、技术转化收益等纳入考核指标,同时推广股权激励和成果分红,激发人才创新活力。优化评价与激励机制可以更科学地评价太赫兹科技人才的贡献,激励他们在不同领域发挥自己的优势。对于太赫兹技术产业化人才,重点考察其技术转化能力和市场效益;对于基础研究人员,注重其学术影响力和理论创新成果。这种多元评价体系可以更全面、客观地评价太赫兹科技人才的贡献,引导人才的发展方向<sup>[13]</sup>。

建立合理的团队评价机制,营造团队合作氛围,鼓励成员发挥各自优势,共同攻克技术难题,提高研发效率和创新能力。如上海理工大学对太赫兹技术研究团队实行总体考核和奖励,不细究个人文章和项目数量,而是看团队整体成果,同时明确“非升即转,非升即走”原则,激发团队成员的积极性。打破职称终身制可以营造一个公平竞争的环境,激励人才不断提升自己的能力和水平。

### 5.3 区域协同与资源整合

建立太赫兹人才跨区域流动补偿机制,鼓励东部人才向中西部柔性流动,通过“科创飞地”等模式实现资源共享,缓解区域失衡。区域协同与资源整合可以充分发挥各地区的优势,实现太赫兹人才和资源的优化配置,促进太赫兹技术在全国范围内的协调发展。

以企业化运作模式建设太赫兹技术研究院,对团队实施股权激励,让科研团队享受成果转化收益,提高其积极性。如上海理工大学太赫兹技术研究院,科研团队占股 72%,充分调动了团队成果转化的积极性。实施股权激励可以将科研团队的利益与企业的发展紧密结合,激励他们更加积极地推动成果转化,并在太赫兹技术研发、中试和产业化等不同阶段,组建多个平台承担相应任务,推进产业链、创新链、资金链的有机融合,边出成果边应用,引领产业进步。这种“沿途下蛋”机制可以加快太赫兹技术的产业化进程,使科研成果及时转化为实际生产力。

### 5.4 强化国际竞争力与生态构建

积极参与国际学术交流与合作项目,与国际同行分享

研究成果和经验,引进国际先进技术和理念。如北京理工大学(珠海)的太赫兹科学应用研究中心,通过国际合作提高我国在太赫兹领域的国际影响力和竞争力。参与国际太赫兹大科学工程,如“国际太赫兹自由电子激光计划”,通过国际合作,吸引更多的国际优秀人才和先进技术,提升我国太赫兹技术的国际竞争力和影响力。

依托“一带一路”等国际合作平台,建立联合研究中心和人才交流计划,通过出台特殊人才引进政策,聚焦太赫兹技术研究与应用领域,吸引国际顶尖科学家加盟,形成国际人才高地。如上海理工大学出台的“沪江领军人才”引进管理办法,吸引了多位相关领域顶尖人才。通过引进国际顶尖人才,不仅可以提升我国太赫兹技术的研究水平,还可以带动国内人才队伍的成长。

## 6 结 论

太赫兹技术作为新一轮科技革命的核心领域,其发展水平直接关乎我国在未来科技竞争中的地位。当前我国太赫兹科技人才队伍规模快速扩张,但在高端人才储备、培养体系、产学研协同等方面仍存在明显短板,与国际领先水平相比存在差距。通过构建多学科协同培养模式、深化产学研合作、优化政策支持体系,有望形成适应太赫兹技术创新的人才生态。

太赫兹科技人才的发展是一项系统工程,需要政府、高校、企业、科研机构等多方协同,长期坚持。唯有持续优化人才发展生态,激发创新活力,才能在太赫兹这一战略必争领域抢占先机,为全球太赫兹技术发展贡献中国智慧与方案。

## 参考文献

[1] 国家中长期人才发展规划纲要[J]. 四川劳动保障, 2010(7): 36-39.  
National medium and long-term talent development plan outline[J]. Sichuan Labor and Social Security, 2010(7):36-39.

[2] 张倩. 基于技术预见分析方法的全球太赫兹技术发展趋势研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(11): 90-96. DOI:10.19652/j.cnki.femt.2103085.  
ZHANG Q. Research on global Terahertz technology development trends based on technology foresight analysis [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2021, 40(11):90-96.

[3] 金玉环,朱凤霞,封建欣. 基于太赫兹技术的复合材料无损检测研究综述[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2023, 21(11):1295-1305.  
JIN Y H, ZHU F X, FENG J X. Review of nondestructive testing of composites based on THz technology [J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2023, 21(11):

1295-1305.

- [4] 赵国忠,申彦春,刘影. 太赫兹技术在军事和安全领域的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(8): 1097-1101.  
ZHAO G ZH, SHEN Y CH, LIU Y. Application of terahertz technology in military and security field [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(8):1097-1101.
- [5] 张泽亮,齐鹏飞,郭兰军,等. 太赫兹超分辨近场成像方法研究综述[J]. 光学学报, 2023, 43(6): 9-23, 343.  
ZHANG Z L, QI P F, GUO L J, et al. Review on super-resolution near-field Terahertz imaging methods [J]. Acta Optica Sinica, 2023, 43(6): 9-23, 343.
- [6] 柴天佑. 创新型自动化工程科技人才培养模式研究与实践[J]. 高等工程教育研究, 2019(3): 1-4, 28.  
CHAI T Y. A Study on the cultivation mode of innovative automation engineering talents [J]. Reserch in Higher Education of Engineering, 2019(3):1-4, 28.
- [7] 邓勇新. 新型研发机构卓越工程人才培养模式与路径研究[D]. 杭州:浙江大学, 2024.  
DENG Y X. Research on the cultivation mode and path of excellent engineering talents in new R&D institution [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2024.
- [8] 中国工程院“创新人才”项目组. 走向创新[J]. 高等工程教育研究, 2010(1): 1-19.  
Chinese Academy of Engineering “Innovative Talent” Project Team. Leading to innovation: research on innovative engineering technical talent cultivation [J]. Reserch in Higher Education of Engineering, 2010(1):1-19.
- [9] 赵琴琴,王晓红,范伟弘. 俄罗斯创新型工程科技人才培养模式及启示[J]. 绵阳师范学院学报, 2021, 40(12): 42-46.  
ZHAO Q Q, WANG X H, FAN W H. On the training mode of innovative engineering science and technology talents in russia and its enlightenment [J]. Journal of Mianyang Teachers' College, 2021, 40(12): 42-46.
- [10] 初国刚. 产学研合作创新型人才培养模式和机制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2018.  
CHU G G. Research on the model and mechanism of cultivating innovative talents by cooperation of industry university and research [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2018.
- [11] 李拓宇,邓勇新,叶民. 智能化时代 II 型工程科技人才培养模式构建——基于 8 个典型案例的扎根研究[J]. 高等工程教育研究, 2021(4): 74-80.  
LI T Y, DENG Y X, YE M. On construction of II type engineering talent training mode in intelligent age [J]. Reserch in Higher Education of Engineering, 2021(4):

- 74-80.
- [12] 曾百功, 权龙哲. 大学生科技创新人才培养模式研究——以农业机械化及其自动化专业为例[J]. 教育教学论坛, 2020(35):77-78.
- ZENG B G, QUAN L ZH. Study on training model of technological innovation talents for college students majoring in agricultural mechanization and automation[J]. Education Teaching Forum, 2020(35):77-78.
- [13] 周子悦, 年夫顺, 孙超, 等. 基于多频段拼接的高分辨率太赫兹成像技术[J]. 仪器仪表学报, 2024, 45(5): 138-146.

ZHOU Z Y, NIAN F SH, SUN CH, et al. High-resolution terahertz imaging technology based on multi-band stitching[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2024, 45(5):138-146.

### 作者简介

张莉(通信作者), 高级工程师, 主要研究方向为仪器仪表产业发展研究等。

彭滢, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为太赫兹波的产生调控及其在生物医学领域的应用。

韩媛媛, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为仪器仪表产业发展研究, 社会组织管理等。