

# 石墨烯材料检测技术专利数据分析

王勤生, 杨永强\*, 王 群, 区炳显

江苏省特种设备安全监督检验研究院, 国家石墨烯产品质量检验检测中心(江苏), 江苏 无锡

收稿日期: 2021年11月15日; 录用日期: 2021年12月24日; 发布日期: 2021年12月31日

## 摘 要

专利分析作为一种独特而实用的分析方法, 具有总揽全局及预测功能, 也能为企业发展提供技术研判。石墨烯材料因其卓越的性能和极有可能成为影响国家核心竞争力的关键新材料, 近些年来得到了广泛关注。作为助力石墨烯产业高质量发展的保障, 石墨烯材料检测技术发展对石墨烯材料的客观评判和后期应用至关重要, 相关技术的分析尤其是专利技术的分析将从一个全新的角度为石墨烯材料的发展提供技术研判。因此, 本文主要对全球石墨烯检测领域相关专利文件进行了检索分析, 并重点针对石墨烯的层数、力学性能、热性能、电性能和比表面积检测技术方向的关键技术专利进行了梳理分析。

## 关键词

石墨烯, 检测技术, 专利数据分析

# Patent Data Analysis of Graphene Material Testing Technology

Qinsheng Wang, Yongqiang Yang\*, Qun Wang, Bingxian Qu

National Graphene Products Quality Inspection and Testing Center (Jiangsu), Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Wuxi Jiangsu

Received: Nov. 15<sup>th</sup>, 2021; accepted: Dec. 24<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 31<sup>st</sup>, 2021

## Abstract

As a unique and practical analysis method, patent analysis has the function of overall situation and prediction, and can develop its technical strategy for enterprises. Graphene material has attracted extensive attention in recent years because of its excellent performance and potential to become a key new material affecting the national core competitiveness. As a guarantee for the high-quality

\*通讯作者。

development of graphene industry, the development of graphene material detection technology is very important for the objective evaluation and later application of graphene materials. The analysis of relevant technologies, especially the analysis of patented technologies, will provide technical research and judgment for the development of graphene materials from a new perspective. Therefore, this paper mainly searches and analyzes the relevant patent documents in the field of global graphene detection, and focuses on the key technical patents in the technical direction of graphene layer number, mechanical properties, thermal properties, electrical properties and specific surface area detection.

## Keywords

Graphene, Detection Technology, Patent Data Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

石墨烯具有高导热、高导电性、高韧性、高强度、超大比表面积等特点,在水处理、生物医药、电子芯片、航天科技、新能源汽车、涂料、船舶等领域有广泛应用,极有可能成为影响国家核心竞争力的关键新材料[1]-[11]。目前石墨烯材料的制备方法可以分为由上而下的剥离法和由下而上的化学气相沉积法、外延生长法等两大类。不同制备方法生产的石墨烯材料品质存在一定的差异,潜在应用领域也有所区别,因此,石墨烯材料在应用前有必要对其性能指标进行分析,进而在石墨烯的应用方向上对其加以区分,充分发挥石墨烯材料性能。

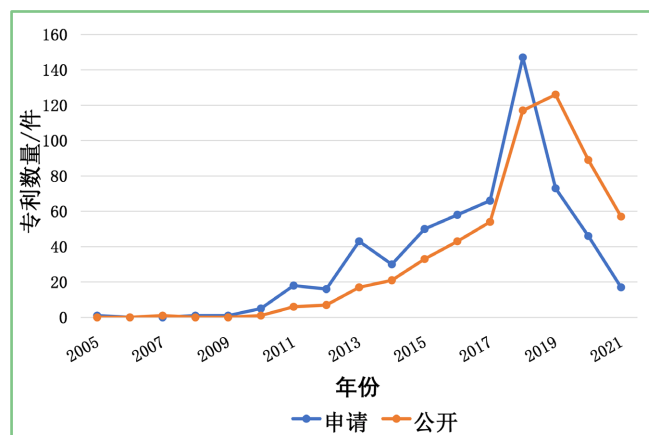
专利是受法律保护保护的发明创造,虽然专利数据并不能完全代表整个领域的创新活动,但随着世界技术竞争的日益激烈,专利分析作为一种独特而实用的分析方法,具有总揽全局及预测功能,能够为企业的技术、产品及服务开发中的决策提供参考。因此,本文将结合石墨烯材料检测领域的技术现状,从知识产权利用与发展的角度,分析石墨烯检验检测行业技术发展现状、研究重点,导航石墨烯产业发展,促进产业高质量发展。

本文通过智慧芽全球专利数据相关专利进行检索分析,依托智慧芽专利检索和服务系统对2021年8月1日前的全球石墨烯检测领域相关专利文件进行检索,并重点针对石墨烯的层数、力学性能、热性能、电性能和比表面积检测技术方向的关键技术专利进行梳理分析。

## 2. 石墨烯检测技术专利数据分析

### 2.1. 石墨烯检测技术专利整体情况

图1是2004年之后全球石墨烯检测技术相关的专利申请与公开趋势图,从中可以看出,2005年至2009年间,每年相关专利申请量都非常少,这一时期石墨烯检测专利技术缓慢发展期,这可能与这期间石墨烯主要开展理论基础研究为主有关;2010年之后,相关专利申请量虽有略微波动,但整体呈较快增长的趋势,石墨烯检测技术进入快速发展期,并在2018年达到专利申请量历年峰值。整体而言,石墨烯检测专利技术发展趋势变化与整个石墨烯材料的应用研究发展态势相类似,2010年诺贝尔物理学奖的获得是一个明显的分水岭,也可以称为产业发展的“发令枪”。

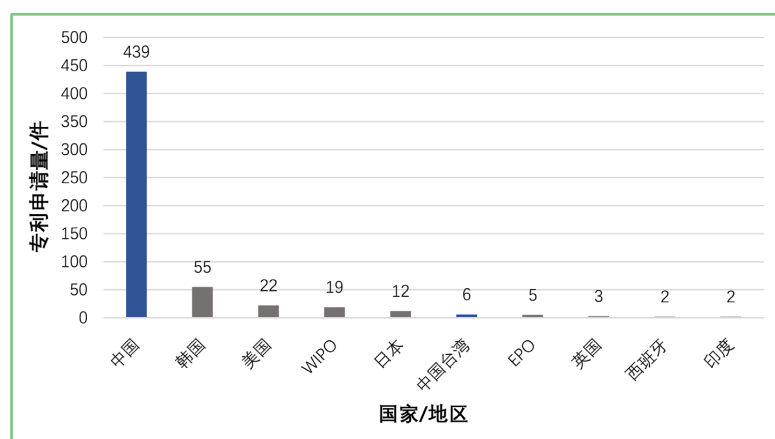


**Figure 1.** The global trend of patent applications and publications related to graphene detection technology after 2004

**图 1.** 2004 年之后全球石墨烯检测技术相关的专利申请与公开趋势图

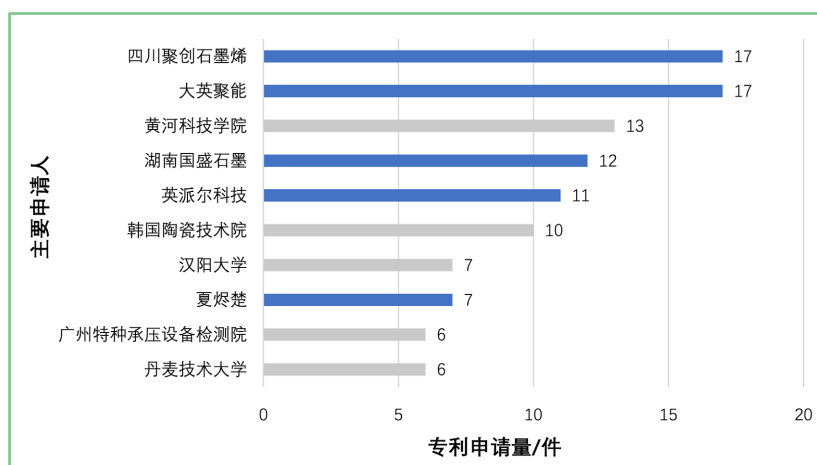
由于石墨烯性能优异、研究空白多、应用潜力巨大、政产学研界关注度高等因素，作为近年来科研领域的明星材料，经过国内大量科研人员与市场的共同努力，我国的石墨烯学术论文、专利申请量以及企业数量均远超其他国家。单从石墨烯检测领域专利看，也有这种体现。如从全球石墨烯检测技术相关专利公开地分布排名图(图 2)中可以看出，中国相关专利申请量最多，远超其他国家或地区。韩国、美国分别以 55 件和 22 件专利申请量位列第二和第三。可以说，中国是目前检测技术最热门的目标市场，传统技术强国如韩国、美国在石墨烯检测领域活跃。从全球石墨烯检测技术领域的主要申请人排名图(图 3)中可以看出，排名前十位的专利申请人中有 5 所高校科研院所、4 家企业及 1 名个人，并且主要来自中国和韩国。其中，来自中国的申请人有 6 位，分别位于第一、第二、第三、第四、第八和第九位，可见中国在石墨烯检测技术领域研发实力较强。

整体上看，石墨烯检验检测专利技术发展与石墨烯产业的整体应用研发状态情况基本相同，中国、美国和韩国处于第一梯队，其中中国在数量上中国领先。这可能和中国近年来大力推进的石墨烯标准化建设工作以及国内日益重视的知识产权保护工作有一定关系。就具体检测技术而言，受益于新能源、热管理、环保等产业的高速发展，对石墨烯层数、比表面积等基本物性以及导电性、导热性等性能检测需求旺盛，相关技术发展需要关注。



**Figure 2.** Distribution ranking chart of Global graphene detection technology related patent publication

**图 2.** 全球石墨烯检测技术相关专利公开地分布排名图

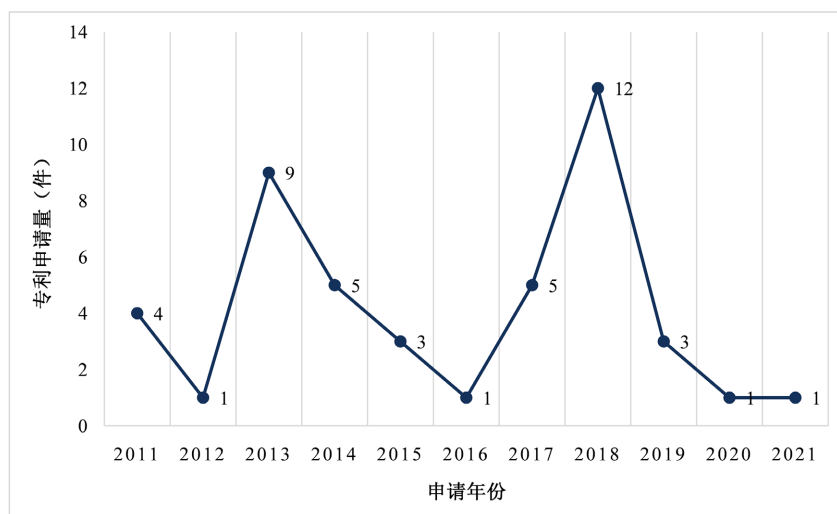


**Figure 3.** Ranking of major patent applicants in the field of global graphene detection technology  
**图 3.** 全球石墨烯检测技术领域的主要申请人排名

## 2.2. 石墨烯层数的检验检测方法专利情况

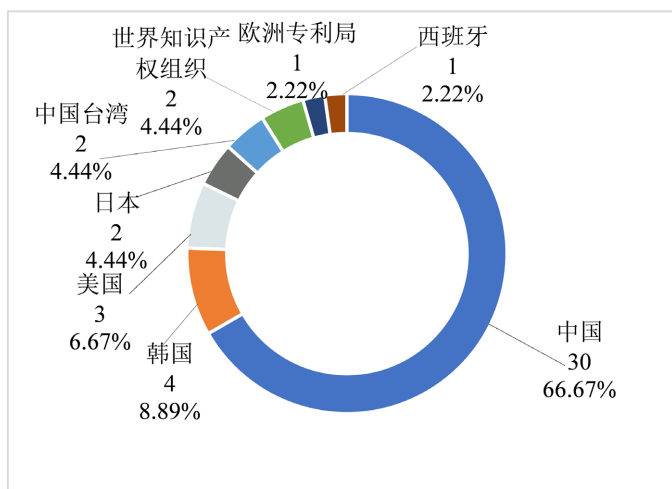
石墨烯材料中的层数是一项非常受关注的重要指标性参数，直接影响其力、热、光、电等性能。比如，在锂离子电池领域，根据层数的不同，石墨烯的电子结构会发生显著变化从而影响其导电性及锂离子电池的性能。对石墨烯层数检测方法的研究有助于深入理解石墨烯性能与微观结构之间的关系。石墨烯层数检测方法一般有光学显微镜、扫描探针、透射电镜和拉曼光谱等。

如图 4 所示，在石墨烯层数检测技术领域共检索到专利 45 件，整体发展呈现起步晚、数量少和波动性大的特点，2018 年专利申请量最多，共 12 件，可见石墨烯层数检测技术方面投入研发力量并不多。



**Figure 4.** Ranking of major patent applications in the field of global graphene detection technology  
**图 4.** 全球石墨烯层数检测技术专利申请态势

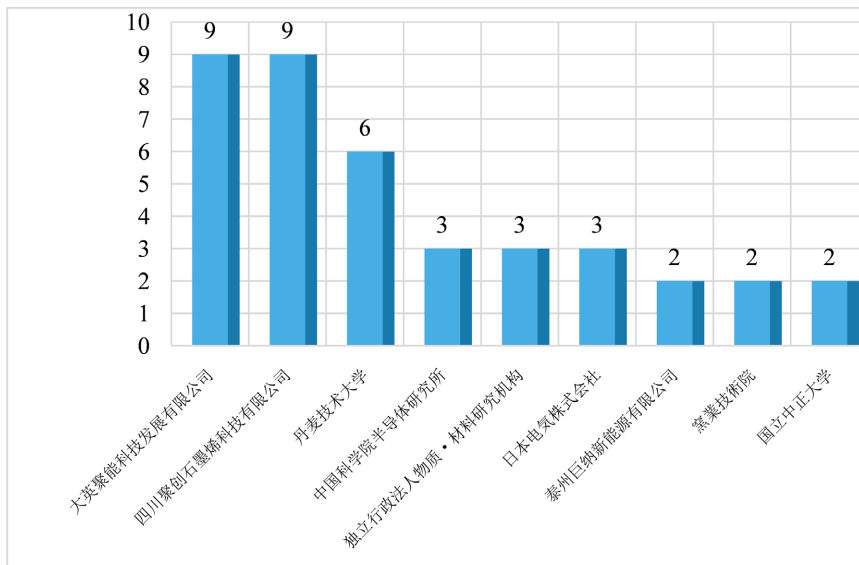
石墨烯层数检测技术领域全球专利申请地域分布情况如图 5 所示，中国的专利申请量最大，共 30 件，占全球总申请量的三分之二，其次是韩国 4 件，美国 3 件，其他还有日本、中国台湾、世界知识产权组织、欧洲专利局和西班牙等。



**Figure 5.** Global regional distribution of patent applications for graphene layer number detection technology

**图 5.** 全球石墨烯层数检测技术专利申请地域分布

此外，石墨烯层数检测技术专利申请人集中度不高，如图 6 所示，大英聚能科技发展有限公司和四川聚创石墨烯科技有限公司均申请了 9 件专利，排在第一位，其后为丹麦科技大学申请了 6 件专利，其他还有中国科学院半导体研究所、日本电气株式会社和泰州巨纳新能源有限公司等，申请数量普遍偏少，推测可能该技术主要依托现有较为成熟的检测设备通过方法优化即可满足检测要求，创新改进的地方比较少等原因。



**Figure 6.** Global ranking of patent applications for graphene layer number detection technology

**图 6.** 全球石墨烯层数检测技术专利申请人排名

表 1 列出全球石墨烯层数检测技术方向上被引用次数较多的专利情况，主要都来自于中国申请人，泰州巨纳新能源有限公司在该技术领域上涉及 2 件高引用次数专利，值得关注。此外，从表 2 列出全球石墨烯层数检测技术方向上专利家族规模较大的专利情况看，日本和丹麦相关机构在相关二维材料层数检测方法和装置领域进行了专利群的布局。这对国内关于相关装置方面的开发值得借鉴。

**Table 1.** High citation number patent list of Global graphene layer number detection technology  
**表 1.** 全球石墨烯层数检测技术高引用次数专利列表

专利公开号	被引用次数	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
CN102854136A	9	利用光学显微镜图片判断石墨烯层数与厚度的方法	2013-01-02	泰州巨纳新能源有限公司
WO2011162411A1	6	确定二维薄膜原子结构层数的方法和确定二维薄膜原子结构层数的装置	2011-12-29	日本电气株式会社, 独立行政法人物质·材料研究机构, HIURA HIDEFUMI, TSUKAGOSHI KAZUHITO, MIYAZAKI HISAO
CN106200929A	6	电容式触觉反馈显示装置、工作方法及其检测方法	2016-12-07	南京中电熊猫液晶显示科技有限公司
CN105717148A	5	一种碳化硅基底上的石墨烯的层数测量方法	2016-06-29	天津恒电空间电源有限公司, 中国电子科技集团公司第十八研究所
CN105300882A	4	利用光学显微镜图片判断石墨烯层数率的方法	2016-02-03	泰州巨纳新能源有限公司, 泰州石墨烯研究检测平台有限公司, 上海巨纳科技有限公司
CN107117609A	3	一种带光学原位检测的石墨烯减薄装置	2017-09-01	厦门大学

**Table 2.** Large family scale patent list of Global graphene layer number detection technology  
**表 2.** 全球石墨烯层数检测技术大家族规模专利列表

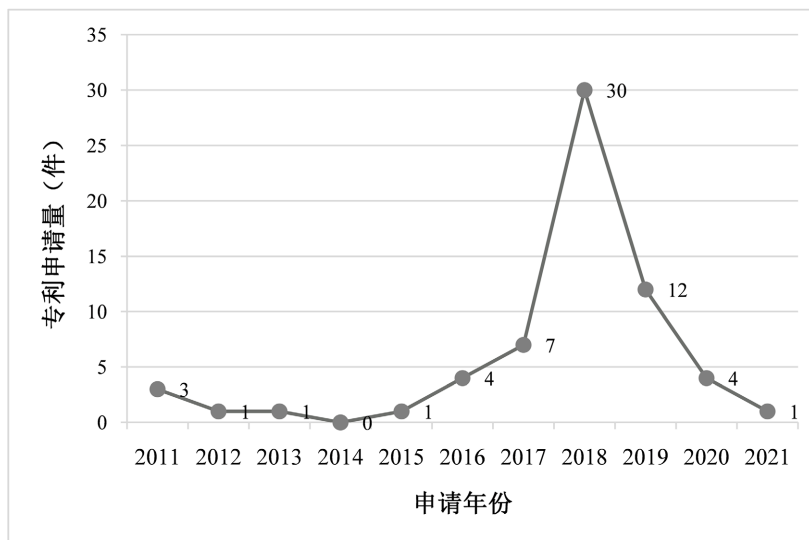
专利公开号	专利家族规模	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
ES2642350T3	11	自动识别单层和/或几层薄膜材料	2017-11-16	丹麦技术大学
KR1020150139432A	6	极细石墨烯的 X 射线分析方法	2015-12-11	窯業技術院
JP5874981B2	5	确定二维薄膜原子结构的层数的方法和用于确定二维薄膜原子结构的层数的装置	2016-03-02	日本电气株式会社, 独立行政法人物质·材料研究机构

### 2.3. 石墨烯力学性能的检验检测方法专利情况

石墨烯中每个碳原子通过较强的  $\sigma$  键与周围的 3 个碳原子相结合, 杨氏模量高达 1.0 TPa, 强度比普通钢材高出 100 倍。虽然石墨烯具有最高的力学强度, 但是仅为一个单原子层的厚度使得所能承载的总外力非常有限, 在使用过程中受热、电、光和磁场作用容易变形失效。从这个意义上说, 针对石墨烯的力学变形进行深入研究是相关器件可靠性设计的首要问题[12]。石墨烯的力学性能的测定是认识其性能并将其应用的基础和前提条件, 研究方法主要有实验测试、数值模拟和理论分析三种途径, 杨氏模量、泊松比、抗拉强度等基本力学性能参数的预测, 是近年来石墨烯力学性能研究的主要内容。

如图 7 所示, 全球范围内检索获得石墨烯力学性能检测技术专利共 64 件, 2011 年出现相关专利申请, 此后的五年间专利申请量一直很少, 直到 2016 年才开始有所增加, 增长速度比较快, 在 2018 年专利申请量一举达到 30 件, 从长远来看, 力学性能作为石墨烯材料的重要优势点, 相关性能检测技术专利产出数量可能会进一步增加。

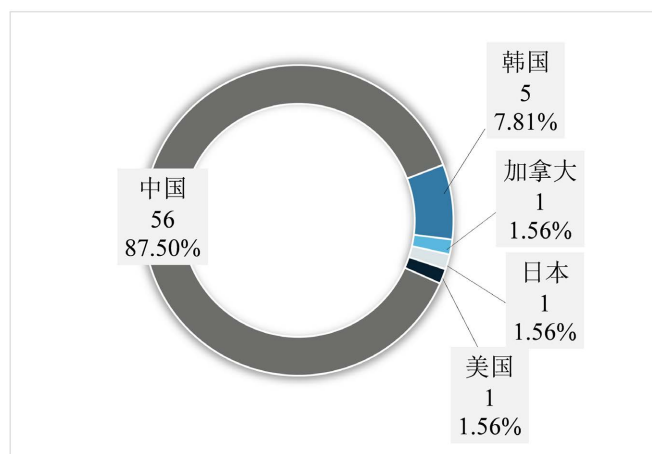




**Figure 7.** Patent application situation of Global graphene mechanical properties testing technology

**图 7.** 全球石墨烯力学性能检测技术专利申请态势

如图 8 所示, 全球石墨烯力学性能检测技术专利申请公开地域集中于中国, 共 56 件, 占总申请量的 87.50%, 其次是韩国、加拿大、日本和美国。

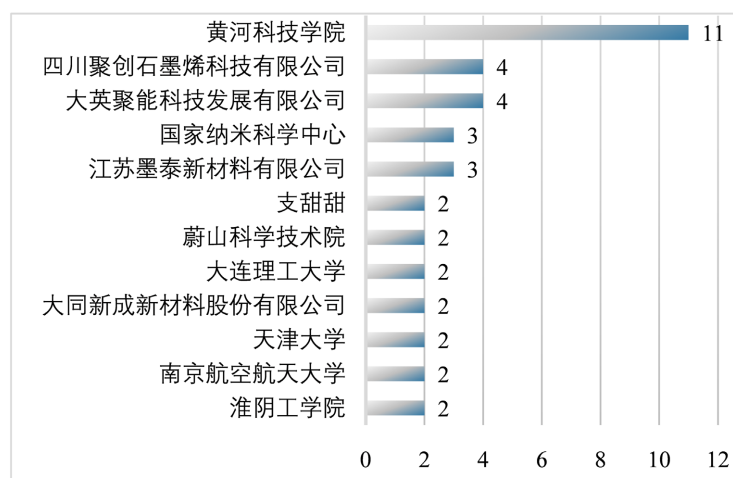


**Figure 8.** Geographical distribution of global patent applications for graphene mechanical properties testing technology

**图 8.** 全球石墨烯力学性能检测技术专利申请地域分布

在石墨烯力学性能检测技术专利申请人方面, 如图 9 所示, 黄河科技学院的专利申请量最多, 共 11 件, 其次是四川聚创石墨烯科技有限公司和大英聚能科技发展有限公司, 均为 4 件, 这两家公司属于关联企业, 共同组建了四川省碳基储能材料工程技术研究中心, 并开展石墨烯产业化的各种技术创新活动和跨界创新活动。其他还有国家纳米科技中心、江苏墨泰新材料有限公司和蔚山科学技术院等。

表 3 筛选列出全球石墨烯力学性能检测技术专利高被引用次数的专利信息, 其中, 南京航空航天大学 CN102506693A 的被引频次高达 56, 韩华泰科株式会社的引用次数为 12。表 4 列出全球石墨烯力学性能检测技术方向上专利家族规模较大的专利情况, 可以发现, 这 3 件专利的申请时间都比较新, 特别是 JP6782218B2 和 CA3069115A1 均来自于近两年, 但是已经有在全球布局的势头, 值得关注。



**Figure 9.** Global ranking of patent applicants for graphene mechanical properties testing technology  
**图 9.** 全球石墨烯力学性能检测技术专利申请人排名

**Table 3.** High citation number patent list of Global graphene mechanical detection technology

**表 3.** 全球石墨烯力学检测技术高引用次数专利列表

专利公开号	被引用次数	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
CN102506693A	56	一种石墨烯应变测量和运动传感装置及其制法	2012-06-20	南京航空航天大学
KR1020130099600A	12	石墨烯片的质量检测装置及其方法	2013-09-06	韩华泰科株式会社
CN105891268A	7	一种石墨烯基骨料式混凝土受力损伤检测装置和方法	2016-08-24	上海市建筑科学研究院有限公司
CN108871961A	4	一种测量二维纳米材料弯曲刚度的方法	2018-11-23	国家纳米科学中心
CN102253285A	3	等应力梁法检测石墨烯压阻因子	2011-11-23	淮阴工学院
CN108872170A	3	一种应用氮掺杂石墨烯量子点检测亮蓝的方法	2018-11-23	吉林化工学院
CN109111694A	3	玻璃纤维增强环氧树脂板材的制作及受力测定方法	2019-01-01	黄河科技学院

**Table 4.** Large family scale patent list of Global graphene mechanical detection technology

**表 4.** 全球石墨烯力学检测技术大家族规模专利列表

专利公开号	专利家族规模	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
JP6782218B2	6	检测装置及检测方法	2020-11-11	株式会社东芝
US9054640B2	3	用于薄膜内摩擦和杨氏模量测量的超高Q硅悬臂谐振器的方法和系统	2015-06-09	US GOVT SEC OF THE NAVY CHIEF OF NAVAL RES OFFICE OF COUNSEL ONR NRL
CA3069115A1	3	矢量应力检测系统	2021-05-25	哈利伯顿能源服务公司



## 2.4. 石墨烯热性能的检验检测方法专利情况

在热学性能方面，石墨烯也被认为是迄今为止最好的传热材料，它的热导率可以高达 5000 W/mK，大约是金刚石的 5 倍，是铜的 10 倍。石墨烯的热性能可以说是当下石墨烯终端产品中得到了最为广泛应用。相关性能的检测广受关注。

如图 10 所示，全球范围内检索获得石墨烯热性能检测技术专利共 48 件，2005 年出现首件专利申请，随后进入停滞阶段，直到 2014 年才出现连续申请并持续增长的趋势，作为石墨烯被广泛应用的性能，热性能检测技术在近五年的发展还是比较平稳的，在 2018 年达到 14 件，是一个相对研究热度比较高的检测分支技术。

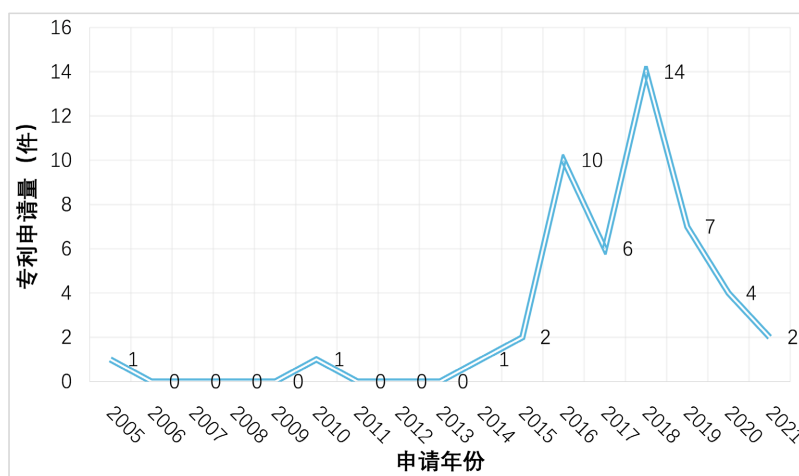


Figure 10. Patent application situation of Global graphene thermal performance testing technology  
图 10. 全球石墨烯热性能检测技术专利申请态势

在全球石墨烯热性能检测技术专利受理地域方面来看，如图 11 所示，中国地区拥有专利申请 39 件，其次是世界知识产权组织在俄罗斯、韩国、日本、印度、欧亚专利局和澳大利亚。

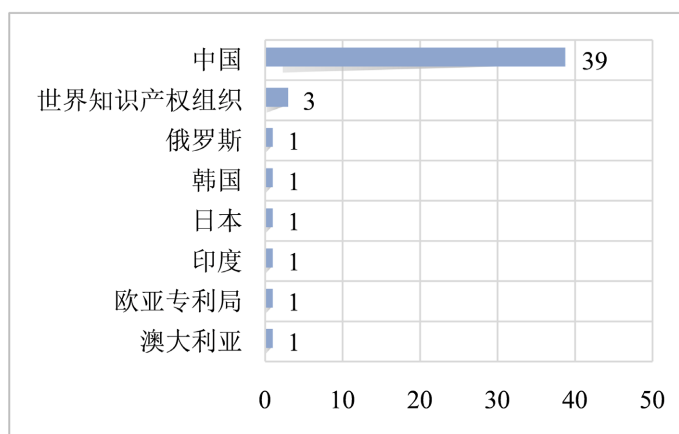
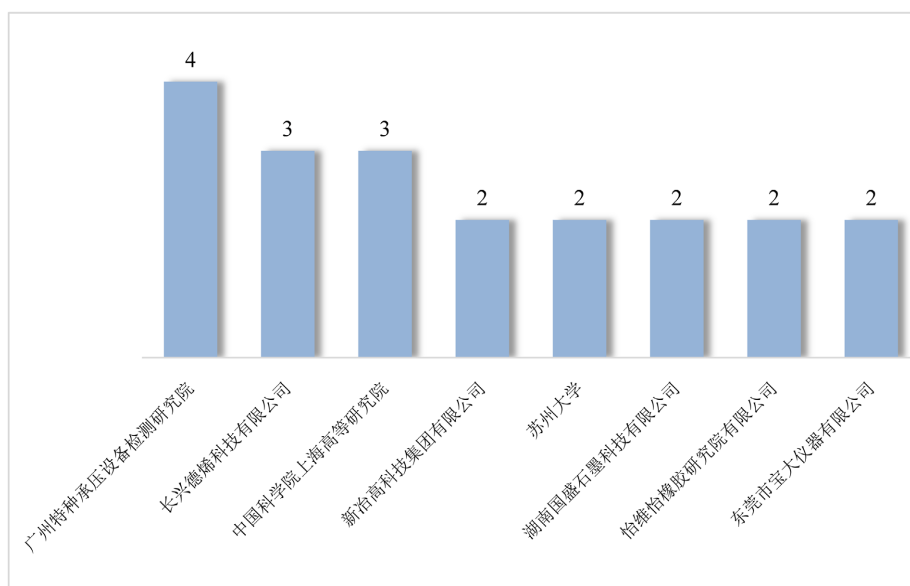


Figure 11. Geographical distribution of global patent applications for graphene thermal performance testing technology  
图 11. 全球石墨烯热性能检测技术专利申请地域分布

石墨烯热性能检测技术专利申请人方面，如图 12 所示，可以重点跟踪关注广州特种承压设备检测研究院、长兴德烯科技有限公司、新冶高科技集团有限公司和苏州大学等。其中，广州特种承压设备检测

研究院建设有国家节能传热及隔热产品质量检验检测中心和国家石墨烯产品质量检验检测中心,说明相关国家质检中心在检测技术方面的投入和需求具有一定的前瞻性。



**Figure 12.** Global ranking of patent applicants for graphene thermal performance testing technology  
**图 12.** 全球石墨烯热性能检测技术专利申请人排名

表 5 筛选列出全球石墨烯热性能检测技术专利高被引用次数的专利信息,均来自于高校,涉及光热效应、热导系数、热导率和热阻性能检测。表 6 筛选列出全球石墨烯热性能检测技术专利全球布局规模情况,涉及石墨烯热导系数、热导率和热阻的测量装置。

**Table 5.** High citation number patent list of Global graphene thermal performance detection technology  
**表 5.** 全球石墨烯热性能检测技术高引用次数专利列表

专利公开号	被引用次数	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
CN104677936A	8	一种基于虚拟仪器的石墨烯导热系数测量系统与方法	2015-06-03	湖南师范大学
CN107102026A	5	一种基于微纳荧光颗粒的薄膜热导率测量方法	2017-08-29	中国科学院上海高等研究院
CN108226040A	3	一种二维材料光热效应的测定方法和装置	2018-06-29	南开大学

**Table 6.** Large family scale patent list of Global graphene thermal performance detection technology  
**表 6.** 全球石墨烯热性能检测技术大家族规模专利列表

专利公开号	专利家族规模	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
CN104535609B	3	一种导热系数测定装置	2018-03-09	怡维怡橡胶研究院有限公司, 青岛卓尤新材料有限公司
WO2020073442A1	3	一种石墨烯材料热导率及界面热阻的测量装置和方法	2020-04-16	广州特种承压设备检测研究院

## 2.5. 石墨烯电学性能的检验检测方法专利情况

如图 13 所示, 全球范围内检索获得石墨烯电性能检测技术专利共 70 件, 2012 年出现首件专利申请, 随后每年的专利申请量都低于 5 件, 2018 年达到峰值, 共 25 件, 电性能是石墨烯下游储能应用的重要性能基础, 因此, 石墨烯电性能检测整体呈现为连续申请并稳定增长的态势。

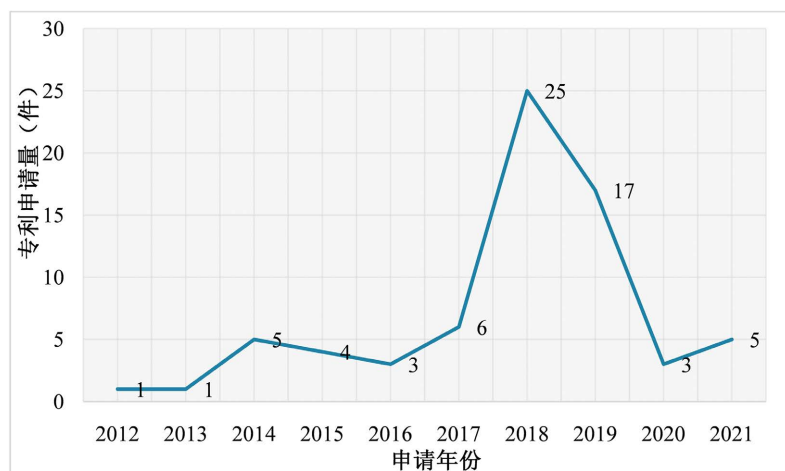


Figure 13. Patent application situation of global graphene electrical properties testing technology

图 13. 全球石墨烯电性能检测专利申请态势

全球石墨烯电性能检测技术专利受理地域如图 14 所示, 主要集中于中国, 共 61 件, 其他还有韩国、美国、世界知识产权组织和英国。

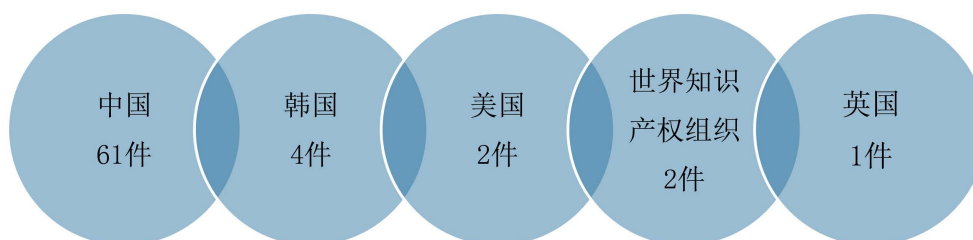


Figure 14. Geographical distribution of global patent applications for graphene electrical properties testing technology

图 14. 全球石墨烯电性能检测专利申请地域分布

全球石墨烯电性能检测技术专利申请人方面, 如图 15 所示, 广州特种承压设备检测研究院和汉阳大学均申请专利 6 件, 排在第一位, 其他还有湖南国盛石墨科技有限公司、乐福之家纳米材料有限责任公司和江苏省特种设备安全监督检验研究院等。

表 7 筛选列出全球石墨烯电性能检测技术专利高被引用次数的专利信息, 可以关注汉阳大学的电导率检测技术专利 KR1020150098406。表 8 筛选列出全球石墨烯电性能检测技术专利在全球布局规模较多的专利情况。日韩相关机构的专利布局值得关注。

## 2.6. 石墨烯比表面积的检验检测方法专利情况

根据公开信息显示, 全球在石墨烯比表面积检测技术方面产出的专利数量很少, 经过人工筛选之后共有 3 件高相关专利, 具体信息如表 9 所示, 目前仅 CN110261278A “一种测定石墨烯材料粉体比表面积的方法” 处于实质审查阶段, 其他专利均被驳回。



**Figure 15.** Global ranking of patent applicants for graphene electrical properties testing technology

**图 15.** 全球石墨烯电性能检测专利申请人排名

**Table 7.** High citation number patent list of Global graphene electrical performance detection technology

**表 7.** 全球石墨烯电性能检测技术高引用次数专利列表

专利公开号	被引用次数	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
CN205049168U	7	一种石墨烯传感器的电阻率的测量系统	2016-02-24	新港海岸(北京)科技有限公司, 常州二维碳素科技股份有限公司
KR1020150098406A	6	发明名称石墨烯电导率测试装置和测试方法	2015-08-28	汉阳大学校产学研力团
CN108458906A	4	一种测试石墨烯粉体电导率的方法	2018-08-28	山东玉皇新能源科技有限公司
CN110412096A	4	还原的氧化石墨烯@ZIF-8 复合材料修饰电极及其制备方法和检测应用	2019-11-05	青岛科技大学
CN108362763A	3	一种石墨烯材料电磁参数测试系统、测试方法和测试夹具	2018-08-03	北京环境特性研究所

**Table 8.** Large family scale patent list of Global graphene electrical performance detection technology

**表 8.** 全球石墨烯电性能检测技术大家族规模专利列表

专利公开号	专利家族规模	标题	公开(公告)日	当前申请(专利权)人
GB2528667A	12	用于薄膜表征的测量技术	2016-02-03	商业创新和技能部国务大臣
US10739288B2	9	石墨烯电导率测试装置和方法	2020-08-11	汉阳大学校产学研力团
CN103884912B	4	一种方块电阻的测量方法	2016-09-07	京东方科技集团股份有限公司
WO2020073442A1	3	一种石墨烯材料热导率及界面热阻的测量装置和方法	2020-04-16	广州特种承压设备检测研究院

**Table 9.** Detection patent list of Graphene specific surface area  
**表 9.** 石墨烯比表面积检测专利列表

专利公开号	标题	当前申请(专利权人)
CN107543786A	一种测定石墨烯材料比表面积的方法	中国科学院宁波材料技术与工程研究所
CN108956411A	一种石墨烯分散液湿式比表面积的测试方法	上海利物盛企业集团有限公司
CN110261278A	一种测定石墨烯材料粉体比表面积的方法	宁波石墨烯创新中心有限公司

### 3. 结论

石墨烯作为一种纳米材料, 依托现有较为成熟的材料检测技术手段基本满足日常检测需求, 相关专利技术申请总体较少也反映了这个情况。但石墨烯材料的检测实际数据与理论数据存在差异, 快捷准确评价石墨烯材料相关性能指标需求始终存在, 比如石墨烯原材料的层数、比表面积以及石墨烯下游应用产品的性能测试等。在检测方法原理难以突破的情况下, 我们认为可以针对石墨烯类材料的二维属性特点, 大力布局相关性能检测装备的研发, 相信随着石墨烯材料产业的高速发展, 相关产品的性能测试设备需求将获得极大释放。

### 基金项目

本工作得到了江苏省市场监督管理局科技项目(KJ207505)支持!

### 参考文献

- [1] Kim, K., Zhao, Y., Jang, H., *et al.* (2009) Large-Scale Pattern Growth of Graphene Films for Stretchable Transparent Electrodes. *Nature*, **457**, 706-710. <https://doi.org/10.1038/nature07719>
- [2] Balandin, A.A., Ghosh, S., Bao, W.Z., Calizo, I., Teweldebrhan, D., Miao, F. and Lau, C.N. (2008) Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene. *Nano Letters*, **8**, 902-907. <https://doi.org/10.1021/nl0731872>
- [3] Stoller, M.D., Park, S., Zhu, Y.W., An, J.H. and Ruoff, R.S. (2008) Graphene-Based Ultracapacitors. *Nano Letters*, **8**, 3498-3502. <https://doi.org/10.1021/nl802558y>
- [4] Lee, C., Wei, X., Kysar, J.W. and Hone, J. (2008) Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. *Science*, **321**, 385-388. <https://doi.org/10.1126/science.1157996>
- [5] Nair, R.R., Blake, P., Grigorenko, A.N., Novoselov, K.S., Booth, T.J., Stauber, T., Peres, N.M.R. and Geim, A.K. (2008) Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene. *Science*, **320**, 1308. <https://doi.org/10.1126/science.1156965>
- [6] Yang, Y.Q., Pang, R.Q., Zhou, X.J., Zhang, Y., Wu, H.X. and Guo, S.W. (2012) Composites of Chemically-Reduced Graphene Oxide Sheets and Carbon Nanospheres with Three-Dimensional Network Structure as Anode Materials for Lithium Ion Batteries. *Journal of Materials Chemistry*, **22**, 23194-23200. <https://doi.org/10.1039/c2jm34843h>
- [7] Zhang, Y., Wu, C.Y., Zhou, X.J., Wu, X.C., Yang, Y.Q., Wu, H.X., Guo, S.W. and Zhang, J.Y. (2013) Graphene Quantum Dots/Gold Electrode and Its Application in Living Cell H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Detection. *Nanoscale*, **5**, 1816-1819. <https://doi.org/10.1039/c3nr33954h>
- [8] Yang, Y.Q., Wu, K., Pang, R.Q., Zhou, X.J., Zhang, Y., Wu, X.C., Wu, C.Y., Wu, H.X. and Guo, S.W. (2013) Graphene Sheets Coated with a Thin Layer of Nitrogen-Enriched Carbon as a High-Performance Anode for Lithium-Ion Batteries. *RSC Advances*, **3**, 14016-14020. <https://doi.org/10.1039/c3ra41290c>
- [9] Chen, W., Li, R.Y., Li, Z.J., Yang, Y.Q., Zhu, H.Y. and Liu, J.K. (2019) Promising Copper Oxide-Histidine Functionalized Graphene Quantum Dots Hybrid for Electrochemical Detection of Hydroquinone. *Journal of Alloys and Compounds*, **777**, 1001-1009. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.10.252>
- [10] Li, N.N., Li, R.Y., Li, Z.J., Yang, Y.Q., Wang, G.L. and Gu, Z.G. (2019) Pentaethylenhexamine and Histidine-Functionalized Graphene Quantum Dots for Ultrasensitive Fluorescence Detection of microRNA with Target and Molecular Beacon Double Cycle Amplification Strategy. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **283**, 666-676. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.12.082>

- [11] Zhang, C., Wang, J.M., Chi, R.F., Shi, J., Yang, Y.Q. and Zhang, X.Y. (2019) Reduced Graphene Oxide Loaded with MoS<sub>2</sub> and Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Nanoparticles/PVA Interpenetrating Hydrogels for Improved Mechanical and Antibacterial Properties. *Materials & Design*, **183**, 108166. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108166>
- [12] 周超进, 付莹, 孙云金, 仝其根, 伍军. 石墨稀力学性能在包装材料上的应用综述[J]. 中国包装工业, 2015(23): 62-64.