

## 六、环境与轻纺工程领域

### 1 工程研究热点及工程研究焦点解读

#### 1.1 工程研究热点发展态势

环境与轻纺工程领域<sup>1</sup>（以下简称环境领域）组所研判的 Top10 工程研究热点见表 1.1.1，热点涉及了环境科学、环境工程、海洋科学、气象科学等学科方向。其中，“气溶胶化学组成”“地形测量与土壤侵蚀管理”“配位体复合材料在水处理中的应用”“温室气体 CO<sub>2</sub> 遥感反演技术与通量估算”“太阳总辐射估算方法与模型”“污水处理厂温室气体排放评估与控制”“大气甲烷排放及来源解析技术”是传统研究的深入，“北极海冰及中纬度气候响应”“区域气候对全球变化的响应及反馈”和“高光谱解混方法”是新兴热点。各个热

点自 2011 年至 2016 年的逐年核心论文发表情况见表 1.1.2。

#### （1）气溶胶化学组成

大气中的气溶胶不仅影响空气质量，还对成云、降雨等有显著影响。大气气溶胶既包括人类活动直接排放的一次颗粒物，如碳黑和一次有机气溶胶，也包括排放的污染气体在大气中转化生成的二次颗粒物，如硫酸盐、硝酸盐、铵盐和二次有机气溶胶。大气气溶胶化学主要包括以污染气团为主的气溶胶颗粒物组成、极端污染条件下气溶胶化学组成以及气溶胶化学检测等方面的研究，对这些内容的研究将为政府快速决策和公众认知提供数据和平台支撑。只有对大气气溶胶（包括云气溶胶、雾气溶胶、霾气溶胶等）的化学组成有清楚的认识，才能在此基础上研究气溶胶的来源、转化途径、干沉降、湿

表 1.1.1 环境领域 Top10 工程研究热点

| 序号 | 工程研究热点                           | 核心论文数 | 被引频次 | 篇均被引频次 | 平均出版年   | 常被引论文占比 | 专利引用篇数 |
|----|----------------------------------|-------|------|--------|---------|---------|--------|
| 1  | 气溶胶化学组成                          | 50    | 2766 | 55.32  | 2013.58 | 24.00%  | 1      |
| 2  | 北极海冰及中纬度气候响应                     | 49    | 2743 | 55.98  | 2014.06 | 51.00%  | 0      |
| 3  | 高光谱解混方法                          | 45    | 2924 | 64.98  | 2012.64 | 22.20%  | 0      |
| 4  | 地形测量与土壤侵蚀管理                      | 44    | 1721 | 39.11  | 2014.70 | 40.90%  | 0      |
| 5  | 温室气体 CO <sub>2</sub> 遥感反演技术与通量估算 | 41    | 2503 | 61.05  | 2012.95 | 9.80%   | 0      |
| 6  | 污水处理厂温室气体排放评估与控制                 | 42    | 1484 | 35.33  | 2013.45 | 14.30%  | 1      |
| 7  | 配位体复合材料在水处理中的应用                  | 40    | 1393 | 34.83  | 2014.08 | 40.00%  | 0      |
| 8  | 太阳总辐射估算方法与模型                     | 40    | 771  | 19.27  | 2013.98 | 7.50%   | 0      |
| 9  | 大气甲烷排放及来源解析技术                    | 42    | 1737 | 41.36  | 2014.21 | 16.70%  | 0      |
| 10 | 区域气候对全球变化的响应及反馈                  | 96    | 3191 | 33.24  | 2012.99 | 10.40%  | 0      |

<sup>1</sup> 本年度研判的学科方向只涉及环境科学技术、环境工程、气象科学以及海洋科学工程，不涉及食品科学与工程、纺织科学与工程、轻工技术与工程。

表 1.1.2 环境领域 Top10 工程研究热点逐年核心论文发表数

| 序号 | 工程研究热点                           | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 气溶胶化学组成                          | 5    | 7    | 12   | 10   | 12   | 4    |
| 2  | 北极海冰及中纬度气候响应                     | 0    | 8    | 6    | 14   | 17   | 4    |
| 3  | 高光谱解混方法                          | 12   | 9    | 8    | 15   | 1    | 0    |
| 4  | 地形测量与土壤侵蚀管理                      | 0    | 2    | 4    | 8    | 21   | 9    |
| 5  | 温室气体 CO <sub>2</sub> 遥感反演技术与通量估算 | 11   | 6    | 7    | 10   | 5    | 2    |
| 6  | 污水处理厂温室气体排放评估与控制                 | 6    | 4    | 11   | 9    | 10   | 2    |
| 7  | 配位体复合材料在水处理中的应用                  | 3    | 2    | 10   | 6    | 12   | 7    |
| 8  | 太阳总辐射估算方法与模型                     | 1    | 2    | 11   | 10   | 15   | 1    |
| 9  | 大气甲烷排放及来源解析技术                    | 0    | 5    | 8    | 7    | 17   | 5    |
| 10 | 区域气候对全球变化的响应及反馈                  | 25   | 16   | 13   | 25   | 11   | 6    |

沉降和化学清除过程，并进一步研究气溶胶对大气环境、气候等方面的影响及其对人类健康的危害，最终为解决大气污染问题，乃至气候问题提供理论基础和科学依据。

### (2) 北极海冰及中纬度气候响应

在全球变暖的背景下，北冰洋正在发生明显的快速变化，主要体现在北极秋季海冰面积的快速下降、北半球中纬度大陆地区极端天气事件的频发等。这些变化不仅与北极地区大气环流的变化有关，同时也会对极区及北半球甚至全球气候产生重要影响。

北极海冰融化对全球气候的影响是多方面的。一方面是两者相互作用的正反馈过程：极地海冰覆盖面积越小，地球表面对太阳辐射的反射就越少，吸收的热量越多，气候就会变得越暖，从而使海冰的融化加快；另一方面，海冰对海洋大气间热量交换有抑制作用，海冰的减少使太阳辐射直接进入海水，有利于海水吸收热量，加剧海洋和大气间的热量交换；此外，海冰生消所产生的潜热变化也很大。全面认识北极气候系统的变化是研究北极科学的最终目的。随着时间的推移，气候变化对地球生态系统的影响将更加显著。北极作为对气候变化最为敏感的区域之一，必然引起更多的关注。

### (3) 高光谱解混方法

三维的高光谱图像同时包含成像地物的空间信息和丰富的反射光谱信息，具有覆盖波段广、快速无损、光谱信息含量充分等特点。在高光谱图像丰富的光谱信息基础上，使用图像分析与模式识别的相关算法，可实现对成像地物的有效分类和识别。因此，高光谱成像技术在农业、军事、国土等方向上有着非常广泛的应用。在环境科学领域，高光谱成像技术也有很多应用，如可以通过高光谱数据实现大尺度的生态环境监测，对河流湖库水质及富营养化状况进行评价，高光谱数据反演可以对气溶胶厚度及组份进行定量等。

由于自然地物分布的复杂性及高光谱图像较低的空间分辨率，图像中的某些像元中不止含有一种物质，该类像元称作混合像元。当混合像元存在时，将该类像元分为哪一类都不合适，因此大大降低了对地物分类识别的准确性。为了解决混合像元的问题，需要将混合像元进行亚像元级别的分解，该过程称作混合像元解混。混合像元解混，是利用几何、统计、建模等方法，分解出混合像元中不同的基本组成物质（端元）及基本组成物质在每个像元中所占的比例（丰度）。虽然已有很多成熟的解混方法，但这些方法中都各有优缺点，应用场合各有不同。在对不同的高光谱图像进行解混时，解混结果的精

度和稳定性还有待提高。因此，有效地对高光谱图像进行解混，仍是目前高光谱图像技术中的研究热点和难点。

### (4) 地形测量与土壤侵蚀管理

地形测量是指对地球表面的地物、地形在水平面上的投影位置和高程进行测定，并按一定比例缩小，用符号和注记绘制成地形图的工作。土壤侵蚀是指土壤及其母质在水力、风力、冻融或重力等外营力作用下，被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程。该研究热点的关键技术问题是如何开发经济、高效、精确的测绘技术，并用于土壤侵蚀的监测、评价与管理等方面。在地形测量方面，航空摄影测量发展迅速，尤其是基于无人机航空测绘的高精度摄影测绘技术、激光雷达测绘技术及遥感 GIS 技术的采用大幅提升了测绘效率和测绘精度。随着无人机技术的日益成熟，利用无人机技术开展高精度航空摄影测绘逐渐成为当前的研究热点，该技术是传统地形监测研究领域的深入和发展，在地球科学研究领域有较为广泛的应用，如土壤侵蚀评价、地形模型构建、土壤侵蚀管理、防灾减灾、3D 侵蚀模型构建等方面。开发经济、高效、精确的地形测量技术仍将是今后一段时期该领域的主要研究方向。

### (5) 温室气体 CO<sub>2</sub> 遥感反演技术与通量估算

大气 CO<sub>2</sub> 遥感探测技术包括地基及地基光谱探测技术。地基 CO<sub>2</sub>、甲烷 (CH<sub>4</sub>) 等重要大气温室气体的柱总量观测手段主要有傅里叶变换光谱仪、光栅光谱仪、激光雷达或 FP (Fabry-Perot) 标准具等。在温室气体探测技术领域，未来的研究和发展趋势是向高的光谱分辨率和高的空间分辨率方向发展，小型化和低功耗的高光谱探测技术满足地基和星载测量的需要，通过仪器的高光谱分辨率来提高观测精度，高的信噪比便于高精度反演温室气体的浓度及廓线分布。利用短波红外波段的超精细光谱遥感探测近地面 CO<sub>2</sub> 浓度成为新的发展趋势，它具有覆盖面积大、连续、快速、低成本的优势，可以更好地获取全球范围内的 CO<sub>2</sub> 浓度信息。目前英国、

德国、法国和美国都在积极发展基于红外激光外差光谱技术，该项技术具有光谱分辨率高、灵敏度高、体积小、采集时间快等优点，可同时实现 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的遥感探测，是未来新一代地基或星载温室气体高分辨率光谱测量仪器，美国 NASA 计划利用该项技术在全球建立观测网点，英国卢瑟福-阿尔普顿国家实验室正在将其发展成为小型星载测量仪器。该工程研究热点是传统研究领域的深入和发展。

### (6) 污水处理厂温室气体排放评估与控制

一氧化二氮 (N<sub>2</sub>O) 是人类向环境中排放的仅次于 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的全球第三大温室气体，其温室效应是 CO<sub>2</sub> 的 350 倍，同时被认为是 21 世纪对臭氧层破坏最大的物质，会对生态系统造成严重损害。污水处理是 N<sub>2</sub>O 排放的重要来源，传统污水生物脱氮过程中产生 N<sub>2</sub>O 的问题已引起众多学者的关注。N<sub>2</sub>O 是硝化和反硝化反应的中间产物或副产物的观点已得到普遍认可。随着各国对污水脱氮工艺的广泛运用，N<sub>2</sub>O 排放总量进一步增加。

该研究热点聚焦于污水处理过程中生物硝化和反硝化条件下，N<sub>2</sub>O 排放反应机制、时间变化、控制策略、影响因素等方面。涉及的关键技术问题包括污水处理工艺和操作模式对 N<sub>2</sub>O 排放的影响、数学建模在污水处理过程中排放 N<sub>2</sub>O 预测中的应用、不同工艺脱氮过程中 pH 值对 N<sub>2</sub>O 减少和积累的影响、无机碳对生物膜硝化-氨氧化过程中微生物相互作用的影响等。未来污水生物脱氮过程中不同工艺对 N<sub>2</sub>O 排放特性的影响仍将是今后一段时间该领域的主要研究方向。

### (7) 配位体复合材料在水处理中的应用

吸附法是重金属水污染控制的主流和首选技术之一，新型吸附技术的核心是研制高性能的吸附材料。配位 (络合) 作用是金属离子和有机 / 无机配体之间的专属作用，通过将配体固定在吸附剂上，制备各类与重金属可发生专属吸附的配体复合吸附材料成为近年来的重要研究方向。一方面，新型配

位体复合材料的研究主要集中在设计、合成具有高选择性和高亲和力的配体；另一方面，各国研究中着力发展了多功能型配位体复合材料，使该类材料除实现重金属去除外，兼具痕量重金属光学检测、光催化、抗菌等其他功能。研究中涉及的重金属种类包括 Cu(II)、Pb(II)、Cs(I)、As(V)、Pd(II)、Ce(III)、Co(II)、镧系元素等；涉及的配体种类和结构主要集中在含氮杂环配体、含硫配体、偶氮类配体、Schiff 碱结构配体、冠醚类配体、磷钼酸配体等。纳米技术是未来水深度处理技术的重要发展方向，但如何实现纳米材料与纳米技术从实验室研究走向工程化应用仍然任重道远，围绕实用型环境纳米复合材料的研制与结构调控、材料净化污染物的特性与过程、纳米处理单元的开发及与现有水处理工艺的高效集成等方向仍需开展深入研究，与纳米材料技术、表面分析、数学建模等方向的多学科交叉研究尤为必要。

#### (8) 太阳总辐射估算方法与模型

太阳总辐射作为地球表层上的物理、生物和化学过程的主要能源来源，是驱动天气、气候形成和演变的基本动力，是生态系统过程模型、水文模型和生物物理模型等运行的主要参数。但由于资金、技术和环境条件等多重因素的限制，与温度、湿度、降水等常规气象观测资料相比而言，中国只有少数气象站具有多年太阳辐射观测资料，使得当前对于太阳总辐射数据的搜集和观测站点的分布极不均匀，造成太阳总辐射的数据远不能满足研究工作的需要，在很大程度上限制了气象及其他相关模型的运用。国内外学者已建立了不同的机理模型和经验模型，但机理模型考虑了大气中不同介质对辐射的影响较为复杂，经验模型以概率论和数理统计理论为基础来构建太阳总辐射与气象因子的关系，相对于机理模型较简单，目前使用较多，但对于太阳总辐射的估算存在较大的不确定性。在未来需要加强观测站点的布局及机理模型的研发。该工程研究热点是传统研究领域的深入和发展。

#### (9) 大气甲烷排放及来源解析技术

甲烷 ( $\text{CH}_4$ ) 是仅次于  $\text{CO}_2$  的重要温室气体，在温室效应和臭氧层的化学破坏过程中扮演着重要的角色。以平均持续存留时间为 100 年计算， $\text{CH}_4$  在大气中的持续时间为 8.4 年，其温室效应为  $\text{CO}_2$  的 25 倍。 $\text{CH}_4$  的排放源可分为人为  $\text{CH}_4$  源与天然  $\text{CH}_4$  源，人为  $\text{CH}_4$  源主要包括稻田  $\text{CH}_4$ 、化石燃料  $\text{CH}_4$ 、垃圾堆填  $\text{CH}_4$ 、畜牧  $\text{CH}_4$ ；自然  $\text{CH}_4$  源主要包括湿地、白蚁、海洋、地质  $\text{CH}_4$  (煤矿开采)、天然气管道泄漏等，其中地质  $\text{CH}_4$  近年来被确认为新型天然  $\text{CH}_4$ ，是仅次于湿地的第二大  $\text{CH}_4$  自然源，已成为国际研究的热点。全球  $\text{CH}_4$  源的估算是建立在区域  $\text{CH}_4$  通量观测的基础上，但由于时间、空间以及环境因子对  $\text{CH}_4$  排放的影响，使得  $\text{CH}_4$  源汇的估算存在一定的不确定性。发达国家对天然气  $\text{CH}_4$  泄漏等开展较多研究，但我国在天然气管道泄漏的  $\text{CH}_4$  总量估算研究方面工作还较少，亟需开展系统性的研究分析。在生物源排放研究方面，我国前期针对不同行业开展了大量研究，尤其是稻田排放、湿地排放、畜牧业排放等，而城市尤其是大城市等的  $\text{CH}_4$  排放缺少系统的观测和研究。因此，需加大  $\text{CH}_4$  观测技术和源汇估算技术的研发，以获得  $\text{CH}_4$  源汇更为准确的分布和通量数据。

#### (10) 区域气候对全球变化的响应及反馈

工业革命以来，全球环境发生了前所未有的变化，可能将给地球系统带来灾难性后果，究其原因主要是由于人类活动造成的。不同区域如两极地区、青藏高原、干旱与半干旱区、热带和亚热带等，对全球变化的响应及反馈如何？全球变化对不同的系统如水资源、农业、森林生态系统等会产生多大的影响？如果全球持续变暖，会产生哪些不可逆转的结果？这些问题是适应全球变化和人类可持续发展的关键。

目前研究上述问题的方法主要是通过全球气候模式和区域模式来进行，但全球气候模式的分辨率比较低，难以满足众多较小区域尺度的研究需要。

随着高性能计算机的发展，提高全球气候模式的分辨率或者发展高分辨率的区域气候是研究区域气候对全球变化响应和反馈的关键技术之一。利用这些工具可以解决以下关键科学问题：全球不同区域百年到千年尺度气候变化的时空特征和关联、影响不同区域尺度气候变化的主要物理和动力过程、大气环流变化对区域增温的反馈、自然变化（太阳活动、火山爆发）和人类活动（温室气体、气溶胶及土地利用/覆盖变化）对不同区域气候变化的贡献、不同区域生态系统脆弱性及其对全球气候变化的响应机制等。该工程研究热点是传统研究领域的深入和发展。

### 1.2 工程研究焦点解读

#### 1.2.1 气溶胶化学组成

近年来我国面临着严重的大气污染问题，特别是秋冬季节重污染天气的频发。大气中的气溶胶不仅影响空气质量，还对成云、降雨等有显著影响。大气气溶胶不仅包括人类活动直接排放的一次颗粒物，还包括排放的污染气体在大气中转化生成的二次物种。有关大气气溶胶（包括云气溶胶、雾气溶胶、霾气溶胶等）中各种污染物的转化途径、干沉降、湿沉降和化学清除过程以及气溶胶中有害物质对大气环境、气候等的影响及对人类健康的危害等研究将为改善大气污染，乃至气候变化提供理论基础和科学依据。大气气溶胶化学，包括以污染气团为主的气溶胶颗粒物组成、秋冬重污染条件下气溶胶化学组成、氧化有机气溶胶组成以及气溶胶化学物种形成检测等方面的研究，将为政府快速决策和公众认知提供数据和平台支撑。

世界各国都将气溶胶污染作为大气污染研究的重点，由于其复杂性和产生问题的持续性，相关研究一直都是焦点，从其与健康影响到对生态环境和气候变化影响，从排放特征到形成规律和二次转化特征研究，形成了多个学科长期研究的方向。

通过对气溶胶化学组成焦点部分核心论文的解读发现，该研究焦点下有核心论文 50 篇，被引频次高达 2766 次，篇均被引频次为 55.32 次，多出现在 2013 年—2015 年左右，经常被引的论文占 24.00%（表 1.1.1）。而专利的数量相对较少。在 50 篇核心论文中，产出国家或地区主要为美国和中国，篇均被引频次分别为 44.14 次和 43.93 次（表 1.2.1）；产出机构主要为中国科学院，论文比例高达 40%，被引频次高达 866 次（表 1.2.2）。其中核心论文主要涉及气溶胶组成、理化性质、来源等，涉及形成机制、转化途径以及干湿沉降的较少。对气溶胶形成机制及其转化途径的研究不仅可以从技术层面提出减少气溶胶形成的方法，也可以为政府快速决策提供科学依据，因此急需在这两方面加强研究。

在不影响经济发展的前提下，实现环境污染的控制与改善，必须对气溶胶的化学组成、形成机制及其转化途径进行深入的科学研究，因此气溶胶化学已成为环境改善和经济发展过程中必不可少的一个重要方向。

“气溶胶化学组成”工程研究焦点中核心论文发文量排在前三的国家或地区分别为（表 1.2.1）：美国（29）、中国（29）和瑞士（14），篇均被引频次排在前三的国家或地区分别为德国（49.13）、西班牙（48.00）和美国（44.14）。在主要产出国家或地区间的合作网络中（图 1.2.1），中国和美国合作最多，与德国、瑞士、英格兰等也有一定的合作。

核心论文发文量排在前三的机构分别为（表 1.2.2）：中国科学院（20）、Paul Scherrer Inst（14）和 Aerodyne Res Inc（12），篇均被引频次排在前三的机构分别为 Univ Colorado（82.86）、CEA（55.33）和 Aerodyne Res Inc（54.75）。发文较多的中国机构为中国科学院、南京大学、南京信息工程大学和北京大学等（表 1.2.2）。在主要机构间的合作网络中（图 1.2.2），中国科学院和南京信息工

表 1.2.1 “气溶胶化学组成”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区         | 核心<br>论文数 | 论文<br>比例 | 被引<br>频次 | 被引频次<br>比例 | 篇均被<br>引频次 | 常被引<br>论文数 | 专利引<br>用篇数 |
|----|-----------------|-----------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| 1  | USA             | 29        | 58%      | 1280     | 52.83%     | 44.14      | 2          | 1          |
| 2  | China           | 29        | 58%      | 1274     | 52.58%     | 43.93      | 1          | 1          |
| 3  | Switzerland     | 14        | 28%      | 602      | 24.85%     | 43.00      | 0          | 0          |
| 4  | France          | 9         | 18%      | 330      | 13.62%     | 36.67      | 0          | 0          |
| 5  | Germany         | 8         | 16%      | 393      | 16.22%     | 49.13      | 0          | 0          |
| 6  | Spain           | 4         | 8%       | 192      | 7.92%      | 48.00      | 0          | 0          |
| 7  | England         | 4         | 8%       | 81       | 3.34%      | 20.25      | 0          | 0          |
| 8  | The Netherlands | 3         | 6%       | 124      | 5.12%      | 41.33      | 0          | 0          |
| 9  | Norway          | 3         | 6%       | 117      | 4.83%      | 39.00      | 0          | 0          |
| 10 | Greece          | 3         | 6%       | 106      | 4.37%      | 35.33      | 0          | 0          |

表 1.2.2 “气溶胶化学组成”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                                  | 核心<br>论文数 | 论文<br>比例 | 被引<br>频次 | 被引频<br>次比例 | 篇均被引<br>频次 | 常被引<br>文数 | 专利引用<br>篇数 |
|----|-------------------------------------|-----------|----------|----------|------------|------------|-----------|------------|
| 1  | Chinese Acad Sci                    | 20        | 40%      | 866      | 35.74%     | 43.30      | 0         | 0          |
| 2  | Paul Scherrer Inst                  | 14        | 28%      | 602      | 24.85%     | 43.00      | 0         | 0          |
| 3  | Aerodyne Res Inc                    | 12        | 24%      | 657      | 27.12%     | 54.75      | 1         | 0          |
| 4  | Univ Calif Davis                    | 12        | 24%      | 531      | 21.91%     | 44.25      | 1         | 0          |
| 5  | Nanjing Univ                        | 10        | 20%      | 489      | 20.18%     | 48.90      | 0         | 0          |
| 6  | Nanjing Univ Informat Sci & Technol | 9         | 18%      | 379      | 15.64%     | 42.11      | 0         | 0          |
| 7  | Peking Univ                         | 8         | 16%      | 365      | 15.06%     | 45.63      | 1         | 1          |
| 8  | Univ Colorado                       | 7         | 14%      | 580      | 23.94%     | 82.86      | 1         | 0          |
| 9  | CEA                                 | 6         | 12%      | 332      | 13.70%     | 55.33      | 0         | 0          |
| 10 | Leibniz Inst Tropospher Res         | 5         | 10%      | 231      | 9.53%      | 46.20      | 0         | 0          |

注：CEA 表示 French Alternative Energies and Atomic Energy Commission.

程大学、南京大学、Univ Calif Davis 的合作较多。

从施引核心论文的前十国家或地区及研究机构排名来看，主要集中在中国的中国科学院、南京大学、南京信息工程大学和北京大学，美国的 Aerodyne Res Inc 和 Univ Calif Davis 以及瑞士的 Paul Scherrer Inst (表 1.2.3 和表 1.2.4)。

### 1.2.2 北极海冰及中纬度气候响应

北极是全球气候变化响应和反馈最敏感的地区

之一，近 30 年平均气温上升速度是全球气温上升速度的 2 倍，被称为“北极放大”现象。自 20 世纪 70 年代以来，全球气温持续增高，对北极产生了深刻的影响。北极海冰覆盖范围不断减小，2012 年北极海冰已不足原来的 40%。全球变暖背景下北极内部发生的正反馈过程是北极放大现象的关键，不仅使极区的气候发生显著变化，而且对全球气候产生非常显著的影响，导致很多极端天气气候现象的发生。典型案例如：2015 年 12 月 30 日上午 11 点，

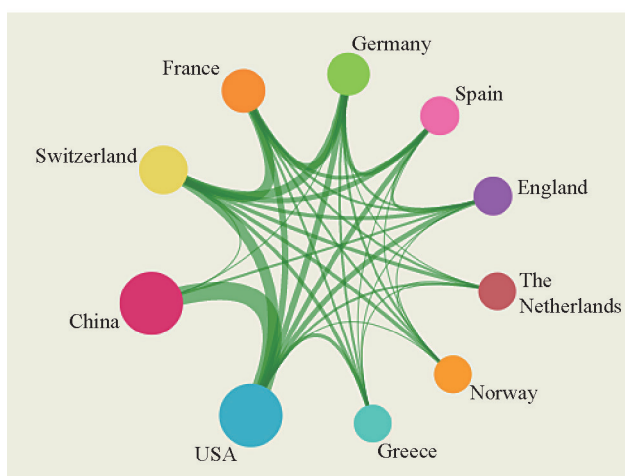


图 1.2.1 “气溶胶化学组成”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络<sup>1</sup>

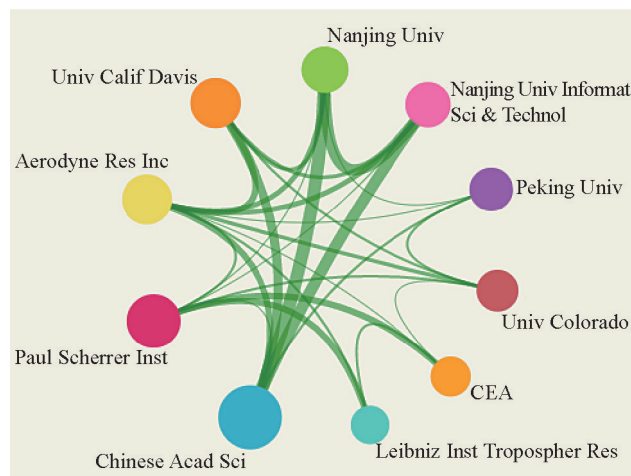


图 1.2.2 “气溶胶化学组成”工程研究焦点主要机构间的合作网络

表 1.2.3 “气溶胶化学组成”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区         | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|-----------------|---------|----------|---------|
| 1  | USA             | 25      | 22.32%   | 2013.88 |
| 2  | China           | 23      | 20.54%   | 2013.87 |
| 3  | Switzerland     | 14      | 12.50%   | 2013.57 |
| 4  | France          | 9       | 8.04%    | 2013.78 |
| 5  | Germany         | 8       | 7.14%    | 2013.63 |
| 6  | England         | 4       | 3.57%    | 2015.00 |
| 7  | Spain           | 4       | 3.57%    | 2014.00 |
| 8  | The Netherlands | 3       | 2.68%    | 2012.67 |
| 9  | Norway          | 3       | 2.68%    | 2013.33 |
| 10 | Greece          | 3       | 2.68%    | 2013.67 |

表 1.2.4 “气溶胶化学组成”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                                  | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|-------------------------------------|---------|----------|---------|
| 1  | Chinese Acad Sci                    | 16      | 6.96%    | 2014.13 |
| 2  | Paul Scherrer Inst                  | 14      | 6.09%    | 2013.57 |
| 3  | Aerodyne Res Inc                    | 9       | 3.91%    | 2014.22 |
| 4  | Univ Calif Davis                    | 9       | 3.91%    | 2014.22 |
| 5  | Nanjing Univ Informat Sci & Technol | 9       | 3.91%    | 2014.22 |
| 6  | Nanjing Univ                        | 9       | 3.91%    | 2014.22 |
| 7  | CEA                                 | 6       | 2.61%    | 2013.50 |
| 8  | Peking Univ                         | 6       | 2.61%    | 2013.33 |
| 9  | Leibniz Inst Troposph Res           | 5       | 2.17%    | 2013.60 |
| 10 | Univ Colorado                       | 5       | 2.17%    | 2013.60 |

<sup>1</sup> 图中，节点表示国家 / 地区，节点大小表示论文数量，节点连线表示有合作发表论文，连线粗细表示合作论文数量，全文相同。

来自大西洋的强力风暴一直深入北冰洋。此刻，北极点的温度和北京相当。受此影响，北极气温一度升破  $0^{\circ}\text{C}$ ，比以往冬季正常气温高出近  $30^{\circ}\text{C}$ ，此次风暴至北极的入侵也导致了我国及中纬度地区的极端寒潮天气事件。

此外，北极海冰加速消融，海冰覆盖范围大幅度缩小，对全球经济也会产生新的影响。研究评估表明，北极航道通航时间越来越长，到 2030 年通航时间可达 120 天，这其中巨大的商业航运价值日益受到各方关注。另外，北极海洋冰区的融化，增加了北极地区石油开发的可能性。北极地区丰富的石油和天然气、矿产资源更是吸引了众多国家的觊觎。北极海冰的变化已经不仅仅是一个气候变化问题，更成为新世纪全球工程开发的新焦点。

虽然北极海冰只覆盖了全球海洋面积的小部分，却在地球系统中扮演重要的角色。相对于没有海冰的大洋来说，海冰具有很高的反照率，从而形成了全球气候系统中的海冰反照率反馈效应。同时海冰的热导率很低，能够很好地阻隔覆盖海冰区域海洋的大气热量和水汽交换，进而影响到大气环流系统、天气状况，甚至可以导致大尺度的极端天气事件。因此，研究北极海冰减少和北半球大气环流之间的相互作用，对于揭示北极海冰在气候变化中的作用是十分重要和必要的。北极科学的重要使命之一就是揭示这些正反馈过程背后的机理。北极放大有关的重大科学问题主要与气-冰-海相互作用有关，海冰是北极放大中最活跃的因素，要明确海冰结构的变化，充分考虑融池、侧向融化、积雪和海冰漂移等因素，将海冰热力学特性的改变定量表达出来。海洋是北极变化获取能量的关键因素，是太阳能的转换器和储存器，要认识海洋热通量背后的能量分配问题，即能量储存与释放的联系机理，认识淡水和跃层结构变化对海气耦合的影响。

北冰洋海冰的快速变化，已引起了越来越多的关注和重视，许多相应的研究计划陆续实施，如 WCRP（世界气候研究计划）、CliC（气候与

冰冻圈）、ACSYS（北极系统研究）、SEARCH（北极环境变化研究）、SHEBA（北冰洋表面热量平衡计划）、LOIRA（俄罗斯北极陆地-海洋相互作用计划）、JWACR（西北极气候联合研究）、DAMOCLES（北极建模和观测能力的长期环境研究）、NOBOS（南森和阿蒙森流域观测系统）等。这些计划从实际观测和数值模拟方面，对北冰洋和气候变化进行研究，通过大气-海洋-海冰耦合模式的研究与开发，探讨海冰变化对气候变化的响应是这些研究计划的共同主题。其中，1993 年启动的北极气候系统研究计划（ACSYS），作为世界气候研究计划（WCRP）中的一个重要的子计划，主要是研究以北极海冰减少为主要因子的北极气候系统在全球环境系统中所扮演的角色，ACSYS 计划加深了人们对北极海冰的变化的理解，提高了人们关于海冰减少与气候变化的认识。

截止目前，对北极海冰、海洋和大气过程的理解还没有真正深入到海冰变化的物理实质。现有研究结果将北极海冰变化的原因归结于全球气候变化和在北极发生的各种正反馈，认为是这些正反馈导致海洋吸收了更多的热量，加强了气-冰-海之间的相互作用，引起海冰的进一步减退。然而认识这些正反馈却并不容易，因为北极发生的主要正反馈都涉及到海洋和海冰变化的物理过程，而这些过程的大部分并没有搞清楚，甚至知之甚少。因此，近年来关于北极变化正反馈的研究进展并不大。需要在深入研究北极发生的物理过程的基础上，重点关注北极变暖之后各种变性的物理过程和新产生的物理过程，探索北极变化的物理实质。此外，研究基础的物理过程，只靠同化数据和再分析数据是不够的，需要有针对性地开展大规模现场观测，获得北极变化过程的实测数据，才能真正反映和认识这些物理过程。

分析核心论文主要产出国家及地区（表 1.2.5）发现，美国、英格兰及德国的相关论文占据前三位。其次分别为澳大利亚、日本、韩国、中国、挪



威、瑞士和芬兰，我国排在第七位。其中美国论文占比达到 61.22%，说明美国在这方面具有较大的研究优势。英格兰次之，占比 30.61%。被引频次比例从侧面表征了研究成果的后续影响，其排序与论文比例一致，美国、英格兰和德国占据前三位。值得注意的是，中国的排序虽然在论文总数指标上比较靠后，但是篇均被引频次排序占据第一位，达到 157.00 次。

从排名前十的核心论文产出机构看(表 1.2.6)，来自英格兰的埃克塞特大学(Univ Exeter)和美国的国家大气研究中心(Natl Ctr Atmospher Res)

及罗格斯州立大学(Rutgers State Univ)分别排名前三。其次分别为澳大利亚的墨尔本大学(Univ Melbourne)、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)、美国的科罗拉多大学(Univ Colorado)、德国的波茨坦气候影响研究所(Potsdam Inst Climate Impact Res)、美国的科罗拉多州立大学(Colorado State Univ)、日本的国立极地研究所(Natl Inst Polar Res)、美国的大气与环境研究公司(Atmospher & Environm Res Inc)。大部分机构仍然集中在美国，占据前十中的 6 位。对比表 1.2.6，我国的研究机构没能出现在排名前十中，说明我国的相关研究机

表 1.2.5 “北极海冰及中纬度气候响应”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家/地区       | 核心论文数 | 论文比例   | 被引频次 | 被引频次比例 | 篇均被引频次 | 常被引论文数 | 专利引用篇数 |
|----|-------------|-------|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | USA         | 30    | 61.22% | 1839 | 74.70% | 61.30  | 6      | 0      |
| 2  | England     | 15    | 30.61% | 674  | 27.38% | 44.93  | 3      | 0      |
| 3  | Germany     | 9     | 18.37% | 480  | 19.50% | 53.33  | 1      | 0      |
| 4  | Australia   | 5     | 10.20% | 343  | 13.93% | 68.60  | 1      | 0      |
| 5  | Japan       | 5     | 10.20% | 188  | 7.64%  | 37.60  | 1      | 0      |
| 6  | Korea       | 3     | 6.12%  | 111  | 4.51%  | 37.00  | 1      | 0      |
| 7  | China       | 2     | 4.08%  | 314  | 12.75% | 157.00 | 1      | 0      |
| 8  | Norway      | 2     | 4.08%  | 48   | 1.95%  | 24.00  | 0      | 0      |
| 9  | Switzerland | 2     | 4.08%  | 34   | 1.38%  | 17.00  | 0      | 0      |
| 10 | Finland     | 1     | 2.04%  | 33   | 1.34%  | 33.00  | 0      | 0      |

表 1.2.6 “北极海冰及中纬度气候响应”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                              | 核心论文数 | 论文比例   | 被引频次 | 被引频次比例 | 篇均被引频次 | 常被引论文数 | 专利引用篇数 |
|----|---------------------------------|-------|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Univ Exeter                     | 9     | 18.37% | 526  | 21.36% | 58.44  | 2      | 0      |
| 2  | Natl Ctr Atmospher Res          | 7     | 14.29% | 235  | 9.55%  | 33.57  | 0      | 0      |
| 3  | Rutgers State Univ              | 5     | 10.20% | 665  | 27.01% | 133.00 | 2      | 0      |
| 4  | Univ Melbourne                  | 5     | 10.20% | 343  | 13.93% | 68.60  | 1      | 0      |
| 5  | NOAA                            | 5     | 10.20% | 109  | 4.43%  | 21.80  | 1      | 0      |
| 6  | Univ Colorado                   | 5     | 10.20% | 85   | 3.45%  | 17.00  | 1      | 0      |
| 7  | Potsdam Inst Climate Impact Res | 4     | 8.16%  | 291  | 11.82% | 72.75  | 1      | 0      |
| 8  | Colorado State Univ             | 4     | 8.16%  | 187  | 7.60%  | 46.75  | 0      | 0      |
| 9  | Natl Inst Polar Res             | 4     | 8.16%  | 119  | 4.83%  | 29.75  | 0      | 0      |
| 10 | Atmospher & Environm Res Inc    | 3     | 6.12%  | 301  | 12.23% | 100.33 | 1      | 0      |

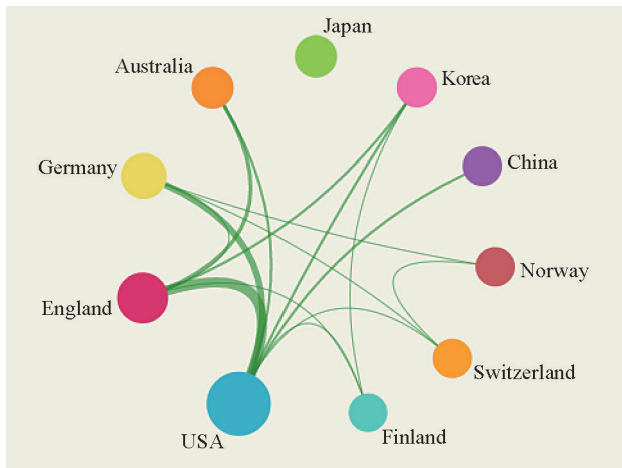


图 1.2.3 “北极海冰及中纬度气候响应”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

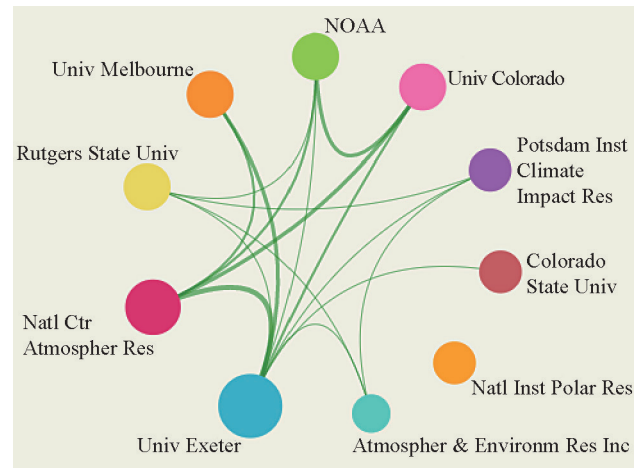


图 1.2.4 “北极海冰及中纬度气候响应”工程研究焦点主要机构间的合作网络

构分布比较分散。

图 1.2.3 给出了各国家之间的合作交流情况，可以看到美国、英格兰、德国及澳大利亚之间存在广泛的研究交流，而我国在此项研究焦点中仅与美国存在合作。与此同时，分析研究机构之间的合作交流情况（图 1.2.4），除了日本的国立极地研究所外，排名前十的研究机构间存在广泛的交流，这可能与美国的研究机构占据主导地位有关。同时，也说明了合作交流在北极科学研究中的重要推动作用。

北极海冰主要影响中纬度地区的气候，即美国、欧洲和中国。对美国的影响，美国人研究得非常透彻，对欧洲的影响也有很多研究成果。我国的北极活动始于 20 世纪 90 年代，起步较晚，发展较快。

我国 2004 年建立北极黄河站，另外分别于 1999 年、2003 年、2008 年、2010 年、2012 年、2014 年和 2016 年进行了 7 次北极科学考察。随着国际社会对北极开发的持续关注，近些年，我国的北极观测计划也得到较快发展。

2013 年 12 月 10 日，中国极地研究中心、冰岛研究中心等 10 家来自中国和北欧五国（冰岛、丹麦、芬兰、挪威、瑞典）的北极研究机构在上海签署协议，宣告中国 - 北欧北极研究中心（以下简称北极研究中心）正式成立。

2016 年 12 月 20 日，我国自主建造的第一艘极地科学考察破冰船在江南造船厂开工建造。根据建造计划，新船预计 2019 年建成，将与“雪龙”号极地考察船组成极地科学考察破冰船队，极大提升我国极地海洋考察能力和极地考察运输保障能力。我国第一艘自主建造的极地科考破冰船正式开工，标志着我国极地考察保障和极地海洋调查能力迈上新台阶。

2016 年 12 月，我国第一个海外陆地卫星接收站——中国遥感卫星地面站北极接收站（简称“北极站”），在瑞典基律纳通过现场验收并投入试运行。北极站建设，使我国相关工程技术达到国际先进水平，有效提高了我国对全球遥感数据的快速获取能力，对自然灾害等需要快速响应的应用具有重大意义，也将促进该领域的国际合作。

从文献分析结果看，我国在此研究焦点中的核心论文发表量处于前列（第七位），不过研究机构相对分散，从核心论文发表机构排名分析来看，我国没能进入前十。此外，分析施引核心论文的排名前十的国家或地区及研究机构排名，结果仍然主要集中在美国、英格兰及德国和其相应的研究机构，前十排名中不包括我国（表 1.2.7 和表 1.2.8）。我国现有的 2 篇核心文献（表 1.2.5）主要关注北极海冰消融与冬季降雪、北半球冬季极端天气事件与

表 1.2.7 “北极海冰及中纬度气候响应”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区     | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|-------------|---------|----------|---------|
| 1  | USA         | 28      | 41.18%   | 2014.14 |
| 2  | England     | 12      | 17.65%   | 2014.58 |
| 3  | Germany     | 8       | 11.76%   | 2013.75 |
| 4  | Japan       | 5       | 7.35%    | 2014.20 |
| 5  | Australia   | 4       | 5.88%    | 2013.50 |
| 6  | Korea       | 3       | 4.41%    | 2014.67 |
| 7  | Switzerland | 2       | 2.94%    | 2015.50 |
| 8  | Canada      | 1       | 1.47%    | 2016.00 |
| 9  | Finland     | 1       | 1.47%    | 2015.00 |
| 10 | Sweden      | 1       | 1.47%    | 2015.00 |

表 1.2.8 “北极海冰及中纬度气候响应”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                              | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|---------------------------------|---------|----------|---------|
| 1  | Univ Exeter                     | 8       | 6.84%    | 2014.50 |
| 2  | Natl Ctr Atmospher Res          | 7       | 5.98%    | 2014.71 |
| 3  | NOAA                            | 5       | 4.27%    | 2015.20 |
| 4  | Potsdam Inst Climate Impact Res | 5       | 4.27%    | 2013.80 |
| 5  | Rutgers State Univ              | 5       | 4.27%    | 2013.80 |
| 6  | Univ Colorado                   | 5       | 4.27%    | 2014.60 |
| 7  | Colorado State Univ             | 4       | 3.42%    | 2014.25 |
| 8  | Univ Melbourne                  | 4       | 3.42%    | 2013.50 |
| 9  | Natl Inst Polar Res             | 4       | 3.42%    | 2014.75 |
| 10 | Korea Polar Res Inst            | 3       | 2.56%    | 2014.67 |

北极海冰消融之间的关系。从核心文献的发表机构来看，国内的主要研究机构集中在中国科学院大学和北京师范大学。

总体来说，目前对北极海冰及中纬度气候响应研究处于领跑地位的为美国，德国及英格兰同样处于领先地位。虽然我国的核心论文发表量进入前十，篇均被引频次也最高（表 1.2.5），但是没有较强的相关研究机构。与此同时，韩国和日本在相关研究中也有一定的优势，核心论文发表机构相对集中（表 1.2.5 和表 1.2.6），且施引核心论文的主要产出机构排前十以内，说明其对相关研究关注的持续性（表 1.2.8）。我国的研究重点主要是关注

北极海冰对东亚及我国的气候影响，较少关注北极科学对全球气候影响的研究，这可能是导致我国的论文发表量虽多，但是核心施引不够的主要原因。与此同时，可以看到处于排名前列的国家，其国际合作非常充分，这充分说明国际合作在北极研究中的重要性，也是我国后续需要重点关注的方向。党的“十八大”报告明确提出建设海洋强国的目标；其中，维护和拓展极地利益是建设海洋强国的重要内容。需要深入开展北极科研与考察，加强对极地研究的资助力度；内部不断加强协调，完善北极工作机制；搭建并巩固双边、多边国际合作平台，促进各领域多层次交流与合作。

### 1.2.3 配位体复合材料在水处理中的应用

重金属是水环境中一类重要的污染物。重金属不能被降解，具有生物富集和生物积累效应，破坏和干扰生物体生理代谢，对生态环境危害极大。超标排放的重金属废水进入地表水和地下水体系，污染水体及土壤，经过动植物吸收和富集并通过饮水或食品的摄入转移到人体内，引起慢性中毒，增加致癌风险，进而危害人类健康。随着重金属对人类健康及生态安全的威胁日益严重，世界各国对废水、饮用水、和天然水体中重金属的控制标准均愈发严格。由于水质标准的不断提高及水资源紧缺问题的日益严重，重金属深度净化对于保障饮用水安全、保护水环境生态和提高水资源利用率均具有重要意义。吸附法因其简便、高效的特点成为重金属水污染控制的主流和首选技术之一，可设计不同形式反应器以满足不同规模的水处理应用需求。

新型吸附技术的关键核心是研制高性能的吸附材料。配位（络合）作用是金属离子和有机/无机配体之间的专属作用，通过将配体固定在吸附剂上，制备成各类与重金属可发生专属吸附的配体复合吸附材料成为近年来的重要研究方向。一方面，新型的配位体复合材料的研究主要集中在设计、合成具有高选择性和高亲和力的配体；另一方面，各国研究中着力发展了多功能型配位体复合材料，使该类材料除了可去除重金属，还兼具痕量重金属光学检测、光催化、抗菌等其他功能。

本焦点的核心论文共 40 篇，篇均被引频次为 34.83 次，其中 40.00% 为常被引论文，可见核心论文具有重要的研究影响力，平均出版时间为 2014.08 年（表 1.1.1），说明本焦点的核心论文在研究领域快速发挥影响。从主题看，包含“配体（ligand）”的论文有 28 篇，包含“复合（composite）”的论文有 23 篇，包含“配合（conjugate）”的论文有 18 篇，包含“纤维（fibrous）”的论文有 18 篇，包含“络合（complex）”的论文有 14 篇。从研究

处理的重金属种类看，主要分布在 Cu(II)、Pb(II)、Cs(I)、As(V)、Pd(II)、Ce(III)、Co(II)、镧系元素等，其中涉及 Cu(II)、Pb(II) 去除的核心论文数量最多，分别为 8 篇和 7 篇，Cs(I) 为核废料中的放射性重金属，也是重要的关注对象，有 5 篇核心论文涉及 Cs(I) 的去除。此外，还有多篇论文的配体复合材料分别兼具重金属分离、光学检测、抗菌、光催化等其他功能。从核心论文中涉及的配体种类和结构特点看，主要集中在含氮杂环配体、含硫配体、偶氮类配体、具有 Schiff 碱结构的配体、冠醚类配体、磷钼酸配体等，核心论文的各类配体普遍结构较为复杂，其中典型的三个配体结构如图 1.2.5 所示（有多篇核心论文涉及此三种结构或类似结构）。其中，配体 (a) 和 (b) 由于具有较大的共轭体系，可与重金属配位形成可见光吸收，从而同时兼具重金属光学检测的功能；冠醚类配体 (c) 主要通过尺寸效应实现对 Cs(I) 等重金属的高度选择性。在核心论文中，这些配体主要通过固载在介孔氧化硅等载体上制成复合材料作为吸附剂使用，从而实现吸附后从水中分离。

40 篇核心论文中，有 25 篇发表于《Chemical Engineering Journal》，占 62.5%，可见该期刊较为契合此焦点主题方向。由核心论文主要产出国家或地区（表 1.2.9）可见，日本贡献最大，有 31 篇论文发表，占 77.50%，被引频次占比也高达 85.49%，沙特阿拉伯、埃及、孟加拉国、印度等国家分别有 5~12 篇核心论文发表，其他国家发表论文数为 1 篇。由核心论文主要产出机构（表 1.2.10）可见，日本原子能机构（Japan Atom Energy Agency）

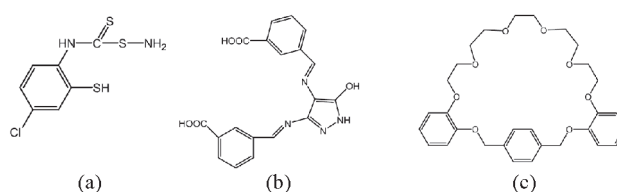


图 1.2.5 配位体复合材料核心论文涉及的三种典型配体结构

表 1.2.9 “配位体复合材料在水处理中的应用”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家/地区        | 核心<br>论文数 | 论文<br>比例 | 被引<br>频次 | 被引频次<br>比例 | 篇均被<br>引频次 | 常被引论文<br>占比 | 专利引<br>用篇数 |
|----|--------------|-----------|----------|----------|------------|------------|-------------|------------|
| 1  | Japan        | 31        | 77.50%   | 1102     | 85.49%     | 35.55      | 3           | 0          |
| 2  | Saudi Arabia | 12        | 30.00%   | 285      | 22.11%     | 23.75      | 2           | 0          |
| 3  | Egypt        | 6         | 15.00%   | 248      | 19.24%     | 41.33      | 0           | 0          |
| 4  | Bangladesh   | 6         | 15.00%   | 186      | 14.43%     | 31.00      | 0           | 0          |
| 5  | India        | 5         | 12.50%   | 96       | 7.45%      | 19.20      | 1           | 0          |
| 6  | Korea        | 1         | 2.50%    | 69       | 5.35%      | 69.00      | 0           | 0          |
| 7  | Australia    | 1         | 2.50%    | 25       | 1.94%      | 25.00      | 0           | 0          |
| 8  | Spain        | 1         | 2.50%    | 10       | 0.78%      | 10.00      | 0           | 0          |
| 9  | China        | 1         | 2.50%    | 4        | 0.31%      | 4.00       | 0           | 0          |

表 1.2.10 “配位体复合材料在水处理中的应用”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                            | 核心<br>论文数 | 论文数<br>比例 | 被引<br>频次 | 被引频次<br>比例 | 篇均被<br>引频次 | 常被引论文<br>占比 | 专利引<br>用篇数 |
|----|-------------------------------|-----------|-----------|----------|------------|------------|-------------|------------|
| 1  | Japan Atom Energy Agcy        | 27        | 67.50%    | 971      | 75.33%     | 35.96      | 3           | 0          |
| 2  | King Saud Univ                | 12        | 30.00%    | 285      | 22.11%     | 23.75      | 2           | 0          |
| 3  | Natl Inst Mat Sci             | 8         | 20.00%    | 416      | 32.27%     | 52.00      | 1           | 0          |
| 4  | Kumamoto Univ                 | 5         | 12.50%    | 248      | 19.24%     | 49.60      | 0           | 0          |
| 5  | Independent Univ              | 4         | 10.00%    | 127      | 9.85%      | 31.75      | 0           | 0          |
| 6  | Shaheed Ziaur Rahman Med Coll | 4         | 10.00%    | 78       | 6.05%      | 19.50      | 0           | 0          |
| 7  | Shoolini Univ                 | 4         | 10.00%    | 72       | 5.59%      | 18.00      | 0           | 0          |
| 8  | Suez Univ                     | 3         | 7.50%     | 93       | 7.21%      | 31.00      | 0           | 0          |
| 9  | Waseda Univ                   | 3         | 7.50%     | 89       | 6.90%      | 29.67      | 0           | 0          |
| 10 | Univ Dhaka                    | 2         | 5.00%     | 108      | 8.38%      | 54.00      | 0           | 0          |

贡献突出，有 27 篇核心论文发表，占核心论文数 67.50%，且被引频次占比达 75.33%，沙特阿拉伯 King Saud University 和日本国家材料科学研究院 (Natl Inst Mat Sci) 分别有 12 篇和 8 篇论文发表，其他机构分别发表了 2~5 篇。

40 篇论文中有 30 篇均出自日本原子能机构 (Japan Atom Energy Agcy) M. R. Awual 研究员 (其中，第一作者兼通讯作者发表 26 篇，通讯作者 2 篇，合作作者 2 篇)，该 30 篇论文共被引 1176 次，篇均被引频次为 39.20 次，且在引用该 30 篇论文的 436 篇文献中，自引占 49 篇，他引占 387 篇，

他引比例较高，可见该课题组在本焦点研究方向上处于领跑地位。在除 M. R. Awual 研究员为通讯作者的论文以外的 12 篇论文中，沙特阿拉伯 King Saud University 的 M. Naushad 教授作为通讯作者发表了 4 篇，日本国家材料科学研究院 (Natl Inst Mat Sci) S. A. El-Safty 研究员作为通讯作者发表了 3 篇 (其中 2 篇有 M. R. Awual 研究员参与)，印度 Shoolini University 的 D. Pathania 教授作为通讯作者发表了 3 篇，我国西南科技大学的李玉香教授、印度 Shoolini University 的 A. Kumar 教授作为通讯作者分别发表了 1 篇，并且从上述课题组之间的合

作关系看（不局限于上述核心论文），M. Naushad 教授与 M. R. Awual 研究员有 11 篇合作研究论文（均在 2015 年—2016 年），S. A. El-Safty 研究员与 M. R. Awual 研究员有 10 篇合作研究论文（均在 2011 年—2013 年），而 D. Pathania 教授与 M. Naushad 教授有 17 篇合作研究（2014 年—2017 年），可见本研究焦点上述主要课题组之间有充分的合作，这些合作关系也体现在核心论文的国家或地区和机构间的合作网络（图 1.2.6 和图 1.2.7）中。根据 ResearchGate 资料显示，M. R. Awual 研究员为孟加拉裔，这为图中展现的日本与孟加拉国在本焦点研究方向的合作带来便利。合作网络图表中其他国家或地区和机构主要以参与上述研究为主。本焦点施引论文主要产出国家或地区（表 1.2.11）以及机构

（表 1.2.12）与核心论文的主要产出国家或地区（表 1.2.9）以及机构（表 1.2.10）的分布情况基本相同，可见本焦点核心论文的引用主要限于上述主要课题组之间，该研究方向以上述主要研究机构为主导在继续深入。

我国在该焦点核心论文中有 1 篇论文发表，出自西南科技大学材料科学与工程学院李香玉教授课题组，该论文研究了磷钼酸铵浸渍的氧化硅复合材料，用于 Cs 的去除。根据文献检索，我国实际在该焦点主题词有数百篇论文发表，但普遍引用频次不高，说明我国在本焦点狭义方向的研究可能处于跟跑状态。但同时也看到，由于焦点产生于文献计量的关键词聚类分析，对于一些论文的研究是否实质性属于本焦点的方向的判断有一定局限性，可能

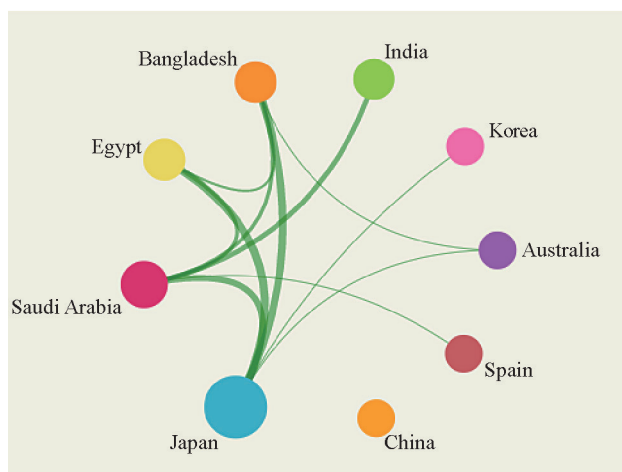


图 1.2.6 “配位体复合材料在水处理中的应用”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

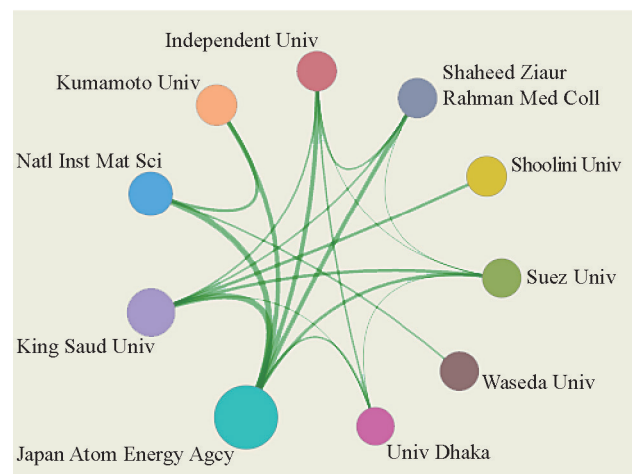


图 1.2.7 “配位体复合材料在水处理中的应用”工程研究焦点主要机构间的合作网络

表 1.2.11 “配位体复合材料在水处理中的应用”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区      | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|--------------|---------|----------|---------|
| 1  | Japan        | 42      | 50.00%   | 2014.19 |
| 2  | Bangladesh   | 17      | 20.24%   | 2014.65 |
| 3  | Egypt        | 10      | 11.90%   | 2014.00 |
| 4  | Saudi Arabia | 9       | 10.71%   | 2014.89 |
| 5  | India        | 3       | 3.57%    | 2014.67 |
| 6  | Australia    | 2       | 2.38%    | 2015.00 |
| 7  | Korea        | 1       | 1.19%    | 2011.00 |

表 1.2.12 “配位体复合材料在水处理中的应用”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                            | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|-------------------------------|---------|----------|---------|
| 1  | Japan Atom Energy Agcy        | 40      | 30.77%   | 2014.35 |
| 2  | Shaheed Ziaur Rahman Med Coll | 12      | 9.23%    | 2014.83 |
| 3  | King Saud Univ                | 9       | 6.92%    | 2014.89 |
| 4  | Independent Univ              | 8       | 6.15%    | 2014.75 |
| 5  | Kumamoto Univ                 | 7       | 5.38%    | 2012.29 |
| 6  | Suez Univ                     | 4       | 3.08%    | 2014.75 |
| 7  | Univ Dhaka                    | 4       | 3.08%    | 2014.25 |
| 8  | Natl Inst Mat Sci             | 3       | 2.31%    | 2011.67 |
| 9  | Shoolini Univ                 | 3       | 2.31%    | 2014.67 |
| 10 | Sohag Univ                    | 3       | 2.31%    | 2014.00 |

未能覆盖本方向全部高影响力的核心论文。另一方面，我国在离子交换树脂基纳米复合材料、螯合树脂等用于水中重金属去除的复合吸附材料研究方面具有一定优势地位，该类复合材料由于具有优异的流体力学性能，其中有多种已经实现规模化生产，基于该类复合材料的污废水深度处理与资源回用集成技术也已得到了开发与推广应用。我国在该类研究论文中可能未涉及“配位体材料”关键词，因此不在本焦点核心论文范围。广义上用于水体重金属污染控制的复合吸附材料研究方向上，我国的研究仍具有较高的影响力。

本焦点的核心论文中涉及“纳米(nano)”主题的论文达24篇。由此可见，纳米技术是未来水污染深度处理技术的重要发展方向。但环境纳米材料种类与功能多样，受污染水组成复杂、处理目标不一，如何实现纳米材料与纳米技术从实验室研究走向工程化应用仍然任重道远。为实现这一目标，围绕实用型环境纳米复合材料的研制与结构调控、材料净化污染物的特性与过程、纳米处理单元的开发及与现有水处理工艺的高效集成等方向仍需开展深入系统的研究；同时，为提高环境纳米技术的科研水平，开展纳米材料与纳米技术、表面分析、数学建模等方向的多学科交叉研究显得尤为必要。

#### 1.2.4 区域气候对全球变化的响应及反馈

区域气候对全球变化的响应及反馈与人类生活与社会发展息息相关，也是气候变化科学研究的焦点问题。利用高性能计算机发展高分辨率的区域气候模式，利用卫星遥感方法、数值模拟、理论分析和交叉科学集成方法对区域气候对全球变化的响应及反馈机制进行系统研究，从而揭示全球变化的区域特征及规律。参见工程研究热点10的描述。

“区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点中核心论文发文量排在前三的国家/地区分别为：中国(45)、德国(30)和美国(29)，篇均被引频次排在前三的国家或地区分别为荷兰(50.00)、法国(41.93)和瑞典(41.00)(表1.2.13)。该焦点的核心施引论文数中国排名第一(32篇)，其次是德国(24篇)，排名第三的是美国(21篇)；施引核心论文比例中国也排名第一，为16.08%(表1.2.15)

核心论文发文量排在前三的机构分别为：中国科学院(27)、兰州大学(12)和Senckenberg Res Inst(11)，篇均被引频次排在前三的机构分别为Nat Hist Museum(41.20)、Univ Quebec(41.00)和Senckenberg Res Inst(39.36)(表1.2.14)。该焦点施引核心论文的主要产出机构排名第一的为中国科学院(18篇)，Univ Bonn排名第二(9篇)，

表 1.2.13 “区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区         | 核心<br>论文数 | 论文<br>比例 | 被引<br>频次 | 被引频<br>次比例 | 篇均被<br>引频次 | 常被引<br>论文数 | 专利引<br>用篇数 |
|----|-----------------|-----------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| 1  | China           | 45        | 46.88%   | 1275     | 44.52%     | 28.33      | 3          | 0          |
| 2  | Germany         | 30        | 31.25%   | 1060     | 37.01%     | 35.33      | 2          | 0          |
| 3  | USA             | 29        | 30.21%   | 799      | 27.90%     | 27.55      | 2          | 0          |
| 4  | Italy           | 17        | 17.71%   | 624      | 21.79%     | 36.71      | 2          | 0          |
| 5  | England         | 16        | 16.67%   | 441      | 15.40%     | 27.56      | 0          | 0          |
| 6  | France          | 14        | 14.58%   | 587      | 20.50%     | 41.93      | 2          | 0          |
| 7  | Sweden          | 9         | 9.38%    | 369      | 12.88%     | 41.00      | 1          | 0          |
| 8  | Canada          | 9         | 9.38%    | 332      | 11.59%     | 36.89      | 0          | 0          |
| 9  | Switzerland     | 9         | 9.38%    | 285      | 9.95%      | 31.67      | 0          | 0          |
| 10 | The Netherlands | 8         | 8.33%    | 400      | 13.97%     | 50.00      | 0          | 0          |

表 1.2.14 “区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                     | 核心<br>论文数 | 论文<br>比例 | 被引<br>频次 | 被引频<br>次比例 | 篇均被<br>引频次 | 常被引<br>论文<br>数 | 专利引<br>用篇数 |
|----|------------------------|-----------|----------|----------|------------|------------|----------------|------------|
| 1  | Chinese Acad Sci       | 27        | 28.13%   | 732      | 25.56%     | 27.11      | 3              | 0          |
| 2  | Lanzhou Univ           | 12        | 12.50%   | 356      | 12.43%     | 29.67      | 1              | 0          |
| 3  | Senckenberg Res Inst   | 11        | 11.46%   | 433      | 15.12%     | 39.36      | 1              | 0          |
| 4  | Nat Hist Museum        | 10        | 10.42%   | 412      | 14.39%     | 41.20      | 0              | 0          |
| 5  | Univ Bonn              | 10        | 10.42%   | 356      | 12.43%     | 35.60      | 1              | 0          |
| 6  | Nanjing Univ           | 8         | 8.33%    | 168      | 5.87%      | 21.00      | 0              | 0          |
| 7  | Univ Helsinki          | 7         | 7.29%    | 255      | 8.90%      | 36.43      | 0              | 0          |
| 8  | E Tennessee State Univ | 7         | 7.29%    | 214      | 7.47%      | 30.57      | 1              | 0          |
| 9  | Open Univ              | 7         | 7.29%    | 137      | 4.78%      | 19.57      | 0              | 0          |
| 10 | Univ Quebec            | 6         | 6.25%    | 246      | 8.59%      | 41.00      | 0              | 0          |

表 1.2.15 “区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区         | 施引核心<br>论文数 | 施引核心<br>论文比例 | 平均施引<br>年 |
|----|-----------------|-------------|--------------|-----------|
| 1  | China           | 32          | 16.08%       | 2013.19   |
| 2  | Germany         | 24          | 12.06%       | 2013.00   |
| 3  | USA             | 21          | 10.55%       | 2013.81   |
| 4  | Italy           | 12          | 6.03%        | 2014.08   |
| 5  | France          | 10          | 5.03%        | 2013.20   |
| 6  | Switzerland     | 9           | 4.52%        | 2013.67   |
| 7  | England         | 9           | 4.52%        | 2014.11   |
| 8  | Canada          | 7           | 3.52%        | 2013.29   |
| 9  | The Netherlands | 7           | 3.52%        | 2012.57   |
| 10 | Sweden          | 6           | 3.02%        | 2014.00   |



兰州大学排名第三（8篇）（表 1.2.16）。

综上所述，工程研究焦点“区域气候对全球变化的响应及反馈”核心论文发表数目和施引核心论文的主要产出国家中中国都排名第一，在论文数量方面比重较大，是该重点研究国家之一。根据表 1.2.13 得出，该焦点核心论文的篇均被引频次平均为 35.70，而中国论文篇均被引频次为 28.33，稍落后于平均水平，中国学者的研究工作还有上升空间。

该研究焦点国家或地区间的合作网络表明中国与德国、美国、意大利、法国、瑞典和加拿大合

作频繁（图 1.2.8），论文数量排名前四的国家间有较为密切的合作关系，中国在合作网络图中处于核心的位置。该研究焦点机构间的合作图也表明中国科学院与各大学间的合作比较多（图 1.2.9），比较明显的合作机构包括：中国科学院、兰州大学、伯恩大学（Univ Bonn）、森肯贝格研究所（Senckenberg Res Inst）、南京大学等；我国处于与国外同类研究并跑的态势，并有逐渐向领跑状态发展的趋势，建议继续加大在该前沿焦点的研究投入，推动相关研究向世界领先水平的加速发展。

表 1.2.16 “区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

| 序号 | 机构                   | 施引核心论文数 | 施引核心论文比例 | 平均施引年   |
|----|----------------------|---------|----------|---------|
| 1  | Chinese Acad Sci     | 18      | 5.68%    | 2013.39 |
| 2  | Univ Bonn            | 9       | 2.84%    | 2011.78 |
| 3  | Lanzhou Univ         | 8       | 2.52%    | 2013.25 |
| 4  | Senckenberg Res Inst | 7       | 2.21%    | 2011.86 |
| 5  | Nanjing Univ         | 6       | 1.89%    | 2013.83 |
| 6  | Nat Hist Museum      | 6       | 1.89%    | 2012.67 |
| 7  | Open Univ            | 6       | 1.89%    | 2013.83 |
| 8  | Peking Univ          | 6       | 1.89%    | 2012.67 |
| 9  | Univ Utrecht         | 6       | 1.89%    | 2012.67 |
| 10 | Univ Rennes          | 5       | 1.58%    | 2012.80 |

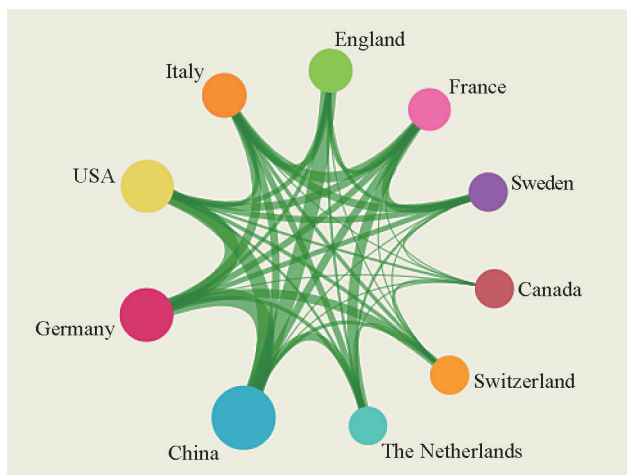


图 1.2.8 “区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

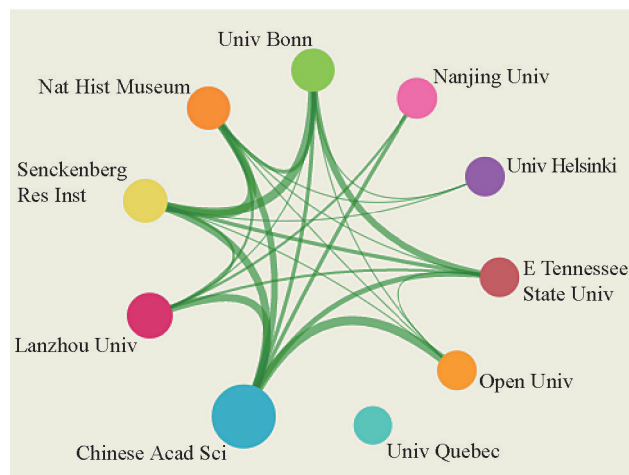


图 1.2.9 “区域气候对全球变化的响应及反馈”工程研究焦点主要机构间的合作网络

## 2 工程开发热点及工程开发焦点解读

### 2.1 工程开发热点发展态势

环境领域组所研判的 Top10 工程开发热点见表 2.1.1。热点涉及了环境科学、环境工程、海洋科学、气象科学等学科方向。其中，“废气尾气的分离、处理和回收”“污废水处理技术及水处理功能材料的制备”“灾害风险早期预警”“蒸发器在海水资源开发中的应用”“农业废弃物综合利用制造有机肥”“雷达观测与数据反演技术”“卫星与航空技术”是传统研究的深入，“环境污染分离膜材料的制

备与膜分离技术”“以生物质为源的可再生能源的制备”和“基于海藻的生物质能源开发”是新兴热点。各工程开发热点自 2011 年至 2016 年的逐年核心专利公开量见表 2.1.2。

#### (1) 环境污染分离膜材料的制备与膜分离技术

膜技术于上世纪 60 年代应用于水处理领域，至今不过 50 年的时间，却已成为水处理领域中最具发展潜力的技术之一。膜分离可以分为微滤、超滤、纳滤和反渗透膜等，可实现对胶体颗粒物、有机物、重金属离子、盐离子等污染物的分离去除。膜分离具有不添加化学药剂、不带来二次污染、工

表 2.1.1 环境领域 Top10 工程开发热点

| 序号 | 工程开发热点             | 公开量 | 被引频次   | 平均被引频次 | 平均公开年   |
|----|--------------------|-----|--------|--------|---------|
| 1  | 环境污染分离膜材料的制备与膜分离技术 | 194 | 2 709  | 13.96  | 2012.16 |
| 2  | 废气尾气的分离、处理和回收      | 827 | 11 571 | 13.99  | 2012.14 |
| 3  | 污废水处理技术及水处理功能材料的制备 | 470 | 7 251  | 15.43  | 2012.29 |
| 4  | 以生物质为源的可再生能源的制备    | 94  | 2 156  | 22.94  | 2011.97 |
| 5  | 灾害风险早期预警           | 85  | 958    | 11.27  | 2012.24 |
| 6  | 蒸发器在海水资源开发中的应用     | 42  | 397    | 9.45   | 2012.15 |
| 7  | 农业废弃物综合利用制造有机肥     | 216 | 3 340  | 15.46  | 2012.48 |
| 8  | 雷达观测与数据反演技术        | 145 | 1 311  | 9.04   | 2012.33 |
| 9  | 卫星与航空技术            | 133 | 1 262  | 9.49   | 2012.29 |
| 10 | 基于海藻的生物质能源开发       | 64  | 654    | 10.22  | 2012.30 |

表 2.1.2 环境领域 Top10 工程开发热点的逐年核心专利公开量

| 序号 | 工程开发热点             | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 环境污染分离膜材料的制备与膜分离技术 | 77   | 54   | 32   | 18   | 12   | 1    |
| 2  | 废气尾气的分离、处理和回收      | 360  | 215  | 112  | 78   | 44   | 18   |
| 3  | 污废水处理技术及水处理功能材料的制备 | 132  | 146  | 132  | 45   | 13   | 2    |
| 4  | 以生物质为源的可再生能源的制备    | 36   | 33   | 18   | 6    | 1    | 0    |
| 5  | 灾害风险早期预警           | 22   | 33   | 19   | 10   | 1    | 0    |
| 6  | 蒸发器在海水资源开发中的应用     | 21   | 22   | 14   | 7    | 1    | 0    |
| 7  | 农业废弃物综合利用制造有机肥     | 40   | 77   | 57   | 40   | 2    | 0    |
| 8  | 雷达观测与数据反演技术        | 51   | 36   | 29   | 21   | 4    | 4    |
| 9  | 卫星与航空技术            | 47   | 38   | 25   | 13   | 5    | 5    |
| 10 | 基于海藻的生物质能源开发       | 20   | 19   | 12   | 12   | 1    | 0    |

艺流程简单紧凑等特点，是一种绿色、短流程的水处理技术。随着膜材料的快速进步、膜组件和工艺流程的不断优化，膜分离技术单位能耗和投资运行成本不断降低，目前膜分离技术已成为水和废水处理最具前景的主流技术之一。膜材料是本技术的核心，有机高分子、陶瓷等膜材料，以及石墨烯等碳系纳米材料和二氧化钛等金属氧化物纳米材料及利用其改性膜表面等的相关研究是本开发热点的前沿。通过膜材料的开发，提高膜通量，降低膜污染，延长膜材料的使用寿命，并强化对某些污染物的截留去除效能，这也是本热点研发的重要趋势。就技术竞争力而言，我国在低端膜材料（微滤和超滤膜）领域与世界主要发达国家可以形成并跑状态，但是在高端膜材料（反渗透膜）我国仍然处于跟跑状态，今后高端膜材料反渗透膜亟待技术攻关，应是我国在本热点优先研发的方向。

### （2）废气尾气的分离、处理和回收

废气尾气的分离处理回收属于传统研究的深入。尾气污染主要是指工业生产高温高压产生的有害气体或汽车发动机柴油、汽油等机动车燃料因含有添加剂和杂质，在不完全燃烧时，所排出的一些有害物质对环境及人体健康的污染和破坏。目前这两项已成为空气的主要污染源，对人体健康构成了极大威胁。对废气尾气的分离处理和回收的研究和技术开发成为空气污染治理的重大方向。主要包括工业废气处理和汽车尾气处理两个方面。工业废气处理指的是专门针对工业场所如工厂、车间产生的废气在对外排放前进行预处理。一般工业废气处理包括了有机废气处理、粉尘废气处理、酸碱废气处理、异味废气处理和空气杀菌消毒净化等方面。国外已采取各种措施来减少汽车尾气污染，如积极改革燃料和改进燃烧结构，研究高效的尾气处理装置，试制无公害汽车等。我国正在大力发展交通运输工业，汽车尾气污染问题已引起了人们的足够重视，因此应及早开展控制污染的各项科学研究和改

进措施。

### （3）污废水处理技术及水处理功能材料的制备

污水处理技术是将污水中所含有的污染物质分离出来，或将其转化为无害和稳定的物质，从而使污水得以净化。该开发热点的关键技术问题包括两个方面：污废水处理新工艺、新方法及新装置的开发；水处理新型功能材料的制备，包括功能催化材料、高效吸附材料、复配混凝剂等。在污废水处理技术开发方面，当前开发研究主要集中在难降解有机工业废水处理及资源化、重金属废水处理与资源化、工业废水零排放、废水脱盐与循环利用、污水深度脱氮除磷新工艺等方面。在水处理功能材料方面，当前开发研究主要集中在新型催化材料、高效吸附材料、膜分离材料、水处理复合药剂制备等方面。近年来，以石墨烯和碳纳米管等为基础开展的纳米环境功能材料制备研究取得了丰富的成果，在城镇生活污水深度净化、有机工业废水处理与资源化、重金属废水资源回收等方面具有广阔的应用前景。在今后一段时期内，基于纳米技术的环境功能材料开发仍将是废水处理领域的开发热点。

### （4）以生物质为源的可再生能源的制备

人类自步入工业化社会以来，对能源的需求和消耗量就开始与日俱增，随着对化石类资源的过度开发和应用，因此引起的环境问题越来越严重，使得可再生能源的发展越来越引起人们的关注，其中发展以生物质为源的可再生能源已成为减少环境污染、缓解能源供需矛盾的重要途径。《美国国家能源安全条例》中规定，生物质是指可再生物质，包括农产品及农业废料、木材及其废料、动物废料、城镇垃圾及水生植物等。在我国则通常认为生物质是指由“光合作用”而产生的有机物，既有植物类，如树木及其加工的剩余物、农作物及其剩余物（秸秆类物质），也有非植物类，如畜牧场的污物（牲畜粪便及污水）、废水中的有机成分以及垃圾中的有机成分等。

该类专利主要涉及利用各种秸秆、农林副产品、重组微生物、藻类等生物质制备生物柴油、乙醇、高燃烧值生物质燃料等可再生能源，不仅可以节省非再生资源，还利于环境改善。在保护环境的前提下，实现经济的持续增长，改变传统的能源生产和消费方式是必经之路，开发低污染、可再生的新能源是当务之急，因此以生物质为源的可再生能源的制备已成为新能源开发的一个重要方向。

#### (5) 灾害风险早期预警

该工程开发热点属于环境领域中与气象科学有关的学科，是传统研究领域的深入。早期的开发主要是强调灾后的修复和恢复，轻视灾前的预防和准备，随着灾害在全球造成的损失与危害越来越大，灾害风险早期预警成为减轻灾害的重要方面。现阶段主要是利用多源观测数据建立洪涝、干旱、地震、风暴潮、地质、森林火灾等灾害早期预警监测网，对洪涝灾害、干旱灾害、地震灾害、风暴潮灾害、地质灾害、森林火灾等灾害进行自动监测及早期预警，但目前的监测网还远不能满足要求，发展最快和有效的遥感方法和技术，研发气象卫星遥感和地基的气象雷达大数据处理关键技术，建立可视化强、安全性高的国家级多灾种气象灾害综合早期预警系统和工程是减轻灾害发生的可能性的关键。

#### (6) 蒸发器在海水资源开发中的应用

海水资源开发主要是指海水淡化及其伴随的海水化学元素提取。当前海水淡化主要采用两大主流技术，即以反渗透为代表的膜法海水淡化技术和以多级闪蒸、低温多效为代表的蒸馏法海水淡化技术。蒸发器是蒸馏法海水淡化技术应用的关键设备之一。

蒸馏法海水淡化技术是最早投入工业化应用的淡化技术，特点是即使在污染严重、高生物活性的海水环境中也适用，产水纯度高。与膜法海水淡化技术相比，蒸馏法具有可利用电厂和其他工厂的低品位热、对原料海水水质要求低、装置的生产能力

大的优点，是当前海水淡化的主流技术之一。在海水淡化应用中，高传热性、耐腐材料的开发和热能高效利用的工艺及结构设计是蒸发器技术发展的主要方向。美国、以色列、日本、新加坡、韩国、西班牙、德国、法国、英国等国家在该技术领域居于世界领先地位，是主要的海水淡化技术及产品输出国。中东地区是世界上生产海水淡化水量最大的地区。

海水淡化是一项水资源增量技术，但也是一项以能源消耗为代价换取淡水资源的技术过程。要实现海水资源的高效利用，必须解决的首要问题是降低能耗和成本，提高海水淡化的经济性。

#### (7) 农业废弃物综合利用制造有机肥

以固体废弃物为主要原料生产生物有机肥，目前多采用的是堆肥技术，特别是好氧堆肥，该技术具有分解氧化较为彻底、产生恶臭较少的特点。堆肥技术是利用微生物的作用先将固废中易腐化的有机物质进行分解，转变成富含有机质和含有一定量氮、磷、钾等营养元素的熟料，然后根据土壤自然生态结构特点和农作物的生长所必需的营养元素、微量元素和具有固氮、解钾、溶磷等活性作用的有益微生物，配制生产菌液产品。堆肥产生的固剂与培养微生物所制成的菌液相结合可生产出具有综合效应的生物有机肥。发展生物有机肥既是提供作物营养、实现农业增产增收的需要，也是保护土壤肥力与农村环境、实现循环经济的需要。无论是发展可持续的生态农业和发展无公害、无污染的绿色农产品生产，还是减少农药和化肥的田间施用量以减少环境污染、降低生产成本，以及推动生物技术的发展和高新技术的渗透，都将使得生物有机肥的生产与应用具有良好的前景。

#### (8) 雷达观测与数据反演技术

该工程开发热点属于环境领域中与气象科学有关的学科，是传统研究领域的深入。气象雷达可探测降水系统三维结构和演变趋势，可获取到最高时空分辨率的降水三维结构数据，是暴雨、台风、冰

雹和雷暴大风等灾害天气监测和预警的重要手段。同时雷达直接观测回波强度、径向速度等反演方法，可获取到地面降水强度、含水量、三维风场、降水粒子相态等云降水三维特征。雷达观测与数据反演关键技术包括：双线偏振雷达、相控阵天气雷达、多波段垂直观测雷达等新型探测技术的发展；云降水微物理和动力参数的反演方法；雷达数据同化方法等。主动遥感（雷达）和被动遥感（卫星）的结合，遥感和直接探测的结合（雷达、卫星和飞机探测），多波段雷达的结合（W、Ka、Ku、X、C和S波段）是该领域探测的发展趋势；雷达观测在数值模式中的应用是提高灾害天气监测和预警能力的重要途径。双线偏振雷达技术是我国下一代雷达采用的关键技术，目前美国已经实现了双线偏振雷达业务观测。同时，气象、航空和军事共用雷达-相控阵天气雷达是更新的雷达体制。

### （9）卫星与航空技术

该工程开发热点属于环境领域中与气象科学有关的学科，是传统研究领域的深入。卫星观测是气象科学综合观测网——地空天一体化的国家综合气象观测网布局中的重要组成部分，卫星观测已在多种领域，例如气候服务、空气质量预报和监测、水圈和冰雪圈的监测服务需求等方面起到了重要的作用。但在气象卫星及应用关键技术问题，定量产品质量和应用能力上与国际还有很大的差别。因此掌握气象卫星处理应用核心技术和数据反演技术是未来开发热点之一，同时有计划、有层次、分阶段解决气象卫星及应用关键技术问题，如卫星高稳定可溯源星载绝对辐射定标技术，先进的星载大气探测技术等，也可为监测山洪、山体滑坡、地震、森林火灾等灾害事件起到重要的作用。

### （10）基于海藻的生物质能源技术

海藻是较为理想的生物质替代资源之一，具有高效率的光合作用，相对于陆生植物而言，具有更高的产量。全球石油俱乐部评估结果显示，1公顷海藻1年能生产96000L生物柴油；与之相比，

1公顷油椰子1年生产5950L生物柴油；而1公顷大豆1年只能生产446L生物柴油。

以海藻生物柴油的生产过程为例：主要包括海藻大规模培养、海藻油萃取、脂交换反应、生物柴油后处理4个步骤，而最重要的是海藻大规模培养。国外利用海藻制备生物质燃料的技术已较为先进，许多国际大型石化公司如美国埃克森、杜邦、陶氏化学等均十分看好该项技术，纷纷开展相关的技术和试验工作，利用CO<sub>2</sub>和海藻生产石油的实验已获得成功，另外由海藻生产乙醇和生物柴油燃料也成为各国能源部门的新宠。我国海藻制取生物燃料技术的发展基本与世界同步，国内对这方面研究比较多的主要是中国科学院海洋研究所、中国海洋大学等基础研究力量较强的单位。中国科学院独创生物柴油关键技术。

但总体来看，目前该项技术尚处于产业化开发的初期阶段且受国际能源市场影响较大。面临的主要问题是工业应用成本太高，还没有出现有优势的工业设计，大规模工业生产的实现尚有待时日。

## 2.2 工程开发焦点解读

### 2.2.1 环境污染分离膜材料的制备与膜分离技术

膜技术于20世纪60年代应用于水处理领域，至今不过50年的时间，却已成为水处理领域中最具发展潜力的技术之一。按照膜的孔径大小可以分为微滤、超滤、纳滤和反渗透膜，可以截留不同尺寸大小的污染物，实现对胶体颗粒物、有机物、重金属离子、盐离子等污染物的分离去除。膜分离是一个物理分离过程，不添加化学药剂，不带来二次污染，可实现在不干扰或较小干扰水的组成条件下完成水质净化过程，因此是一种绿色的水处理技术。此外，膜分离水处理技术单元结构紧凑，可以略加前处理或不作任何前处理直接进行膜分离，因此相对常规水处理技术可大大缩短水处理工艺流程，节约占地，实现短流程水处理。随着膜材料不断快速

进步、膜组件的不断优化和工艺流程的日趋合理，膜分离技术单位能耗和投资运行成本不断降低，目前膜分离技术已经成为水和废水处理最具前景的主流技术之一。

膜材料是本技术的核心，有关有机高分子、陶瓷等膜材料，以及石墨烯等碳系纳米材料和二氧化钛等金属氧化物纳米材料及利用其改性膜表面的相关研究是本开发焦点的前沿。通过这些新材料的开发，提高膜通量，降低膜污染，延长膜材料的使用寿命，并强化对某些污染物的截留去除效能，这也

是本焦点研发的重要趋势。本次分析的近 5 年来的 194 项膜分离相关专利中，涉及膜材料的专利约占 60%；其中被引频次最高的前 10 项专利中，公开国为美国的占 5 项，这说明美国在本焦点的研发投入和研发水平在全世界名列前茅。表 2.2.1 所列的核心专利中，美国是膜分离方向专利公开量最大的国家，占有公开专利的 41.24%，总被引频次和平均被引频次分别为 1167 和 14.59，远远高于其他国家，展示了美国在此焦点的领先地位。中国的专利公开量达到 51 次，名列第二，平均被引频次为

表 2.2.1 “环境污染物质分离膜材料的制备与膜分离技术”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区         | 公开量 | 公开量比例  | 被引频次 | 被引频次比例 | 平均被引频次 |
|----|-----------------|-----|--------|------|--------|--------|
| 1  | USA             | 80  | 41.24% | 1167 | 43.08% | 14.59  |
| 2  | China           | 51  | 26.29% | 657  | 24.25% | 12.88  |
| 3  | Japan           | 30  | 15.46% | 465  | 17.17% | 15.50  |
| 4  | Korea           | 10  | 5.15%  | 124  | 4.58%  | 12.40  |
| 5  | UK              | 9   | 4.64%  | 126  | 4.65%  | 14.00  |
| 6  | German          | 8   | 4.12%  | 76   | 2.81%  | 9.50   |
| 7  | The Netherlands | 6   | 3.09%  | 91   | 3.36%  | 15.17  |
| 8  | Singapore       | 4   | 2.06%  | 73   | 2.69%  | 18.25  |
| 9  | Austria         | 2   | 1.03%  | 36   | 1.33%  | 18.00  |
| 10 | Australia       | 2   | 1.03%  | 14   | 0.52%  | 7.00   |

表 2.2.2 “环境污染物质分离膜材料的制备与膜分离技术”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

| 序号 | 机构 *        | 公开量 | 公开量比例 | 被引频次 | 被引频次比例 | 平均被引频次 |
|----|-------------|-----|-------|------|--------|--------|
| 1  | TORA        | 16  | 8.25% | 206  | 7.60%  | 12.88  |
| 2  | DOWC        | 12  | 6.19% | 169  | 6.24%  | 14.08  |
| 3  | FUJF        | 11  | 5.67% | 189  | 6.98%  | 17.18  |
| 4  | GENE        | 7   | 3.61% | 57   | 2.10%  | 8.14   |
| 5  | Oasys Water | 5   | 2.58% | 61   | 2.25%  | 12.20  |
| 6  | SIEI        | 5   | 2.58% | 98   | 3.62%  | 19.60  |
| 7  | SMSU        | 4   | 2.06% | 86   | 3.17%  | 21.50  |
| 8  | Celgard LLC | 3   | 1.55% | 65   | 2.40%  | 21.67  |
| 9  | EVON        | 3   | 1.55% | 41   | 1.51%  | 13.67  |
| 10 | IBMC        | 3   | 1.55% | 65   | 2.40%  | 21.67  |

\* 机构全称：TORA 表示 Toray Industries Inc.；DOWC 表示 Dow Global Technologies Inc.；FUJF 表示 Fuji Film Co., Ltd.；GENE 表示 General Electric Co.；SIEI 表示 Siemens Water Technologies Corp.；SMSU 表示 Samsung Electronics Co., Ltd.；EVON 表示 Evonik Fibers GmbH；IBMC 表示 Machines Corp.。

12.88，这说明我国在本焦点的专利技术具有一定的影响力。从表 2.2.1 可以看出，日本、韩国、英国、德国、荷兰、新加坡、奥地利、澳大利亚分列第三至十，前十名的国家中，亚太地区国家与欧美国家平分秋色。

表 2.2.2 列出了本焦点全球核心专利产出前十位的机构，其中美国占 5 家，日本和德国各有 2 家，韩国有 1 家企业入围。美国和日本在本焦点的主要研发机构如东丽、陶氏、富士和通用等是膜材料研发和生产的国际领军企业，特别在高端的反渗透膜等领域占有较大的市场份额。本焦点的核心专利产出前十位机构中我国企业未有一家入围，说明我国相关企业的研发实力还有待提高，企业的研发主体地位尚未建立。

在膜材料领域，超滤、微滤难度较小，无论是膜材质及制膜机理、膜及膜组件形式，还是系统集成和应用技术都处于日新月异的大发展时期，没有形成技术垄断。我国在超滤、微滤厂家总数已经超过 200 家，新的企业还在不断涌现。相比之下，反渗透膜合成技术水平较高，该市场仍被美国、日本膜公司垄断。国产的超滤膜成长迅速，已成功用于国内许多堪称世界级的超大型项目，总量上已经开始占据市场优势，如北京碧水源、天津膜天等国内膜厂家也实现了创业板上市。对我国而言，今后高

端膜材料反渗透膜亟待技术攻关，应是我国在本焦点优先研发的方向。

图 2.2.1 显示本焦点主要专利国家之间存在一些合作关系，英国和荷兰合作最为紧密，英国还与中国有合作；美国分别与新加坡和澳大利亚在本焦点专利技术研发上有合作关系。图 2.2.2 显示，世界本焦点专利技术主要产出企业之间没有研发合作关系。

### 2.2.2 废气尾气的分离、处理和回收

我国大气污染问题近年来由于雾霾的频繁发生而备受世界关注。工业排放和汽车尾气目前公认是大气污染的主要来源。废气尾气的分离、处理和回收，尤其是发动机的尾气处理作为开发焦点在欧美等发达国家研究时间较长，我国在这方面也正在逐渐重视相关工作。目前相关的开发焦点主要包括工业废气分离处理和发动机尾气处理两部分。工业废气尾气处理重点是多种污染物的协同处置、一体化治理、深度脱除等，在这个方向上的技术有：工业炉窑 NO<sub>x</sub>/VOCs/ 重金属（Hg/Pb 等）废气强化脱除新技术，如开展对工业炉窑（钢铁、水泥、玻璃及垃圾焚烧炉窑）的硝硫汞及二噁英一体化净化新技术、以及 SNCR 耦合低温 SCR 技术的研发和示范，研究多污染物控制关键工艺参数及污染净

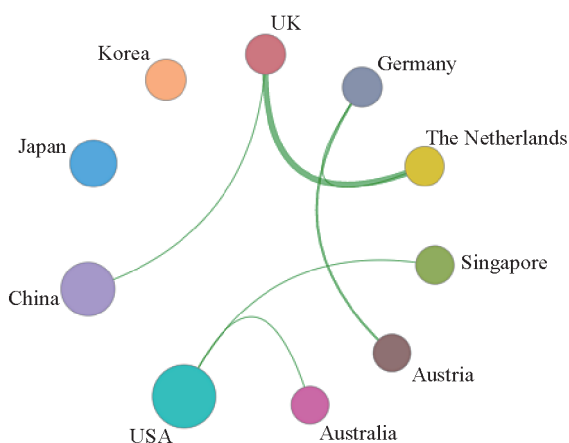


图 2.2.1 “环境污染分离膜材料的制备与膜分离技术”工程开发焦点主要国家或地区间的合作网络

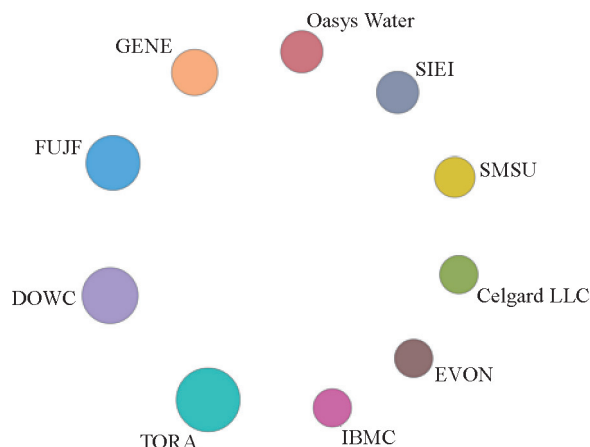


图 2.2.2 “环境污染分离膜材料的制备与膜分离技术”工程开发焦点主要机构间的合作网络

化效率，使主要污染物排放标准达到近零排放电厂排放限值； 烟气复合污染物（SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>/颗粒物/VOCs）联合脱除类技术，如湿式静电深度净化高效脱除PM<sub>2.5</sub>和对多污染物（汞、SO<sub>3</sub>及其他酸性气体）协同净化技术、SCR 碱基喷吹技术、烟气治理系统协同脱汞技术、净烟道/ 烟囱优化设计、研发耐高温气体过滤材料； 烟气脱硝脱汞协同高效净化技术及新型 SCR 脱硝关键技术。发动机尾气处理技术在发达国家，重点关注的是柴油车规模化应用 DOC + DPF + SCR 等组合净化技术，并呈现

出从注重污染物排放质量的控制发展为质量与数量并重的态势。我国针对柴油车，重点是宽温度窗口、高耐热性能 SCR 催化剂和高热稳定性、超低膨胀 DPF 材质的试剂材料的开发；集成后处理装置之间及其发动机的匹配优化等。突破高效组合净化及匹配控制等薄弱环节技术难题。针对汽油车，重点研发汽车尾气净化关键技术，实现三效催化剂的低贵金属化和长寿命化；开发新型密耦型催化转化器以解决冷启动阶段的污染物排放；研究稀燃条件下的汽油车机内机外净化技术体系；结合远程诊断技术

表 2.2.3 “废气尾气的分离、处理和回收”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区     | 公开量 | 公开量比例  | 被引频次 | 被引频次比例 | 平均被引频次 |
|----|-------------|-----|--------|------|--------|--------|
| 1  | USA         | 425 | 51.39% | 6740 | 58.25% | 15.86  |
| 2  | Japan       | 159 | 19.23% | 1908 | 16.49% | 12.00  |
| 3  | Germany     | 85  | 10.28% | 1016 | 8.78%  | 11.95  |
| 4  | China       | 58  | 7.01%  | 793  | 6.85%  | 13.67  |
| 5  | UK          | 36  | 4.35%  | 329  | 2.84%  | 9.14   |
| 6  | Korea       | 33  | 3.99%  | 502  | 4.34%  | 15.21  |
| 7  | Switzerland | 14  | 1.69%  | 166  | 1.43%  | 11.86  |
| 8  | France      | 11  | 1.33%  | 119  | 1.03%  | 10.82  |
| 9  | Canada      | 9   | 1.09%  | 104  | 0.90%  | 11.56  |
| 10 | Sweden      | 9   | 1.09%  | 71   | 0.61%  | 7.89   |

表 2.2.4 “废气尾气的分离、处理和回收”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

| 序号 | 机构 * | 公开量 | 公开量比例 | 被引频次 | 被引频次比例 | 平均被引频次 |
|----|------|-----|-------|------|--------|--------|
| 1  | FORD | 70  | 8.46% | 967  | 8.36%  | 13.81  |
| 2  | CLEA | 39  | 4.72% | 410  | 3.54%  | 10.51  |
| 3  | GENE | 31  | 3.75% | 465  | 4.02%  | 15.00  |
| 4  | GENK | 30  | 3.63% | 296  | 2.56%  | 9.87   |
| 5  | BADI | 29  | 3.51% | 435  | 3.76%  | 15.00  |
| 6  | JOHO | 29  | 3.51% | 274  | 2.37%  | 9.45   |
| 7  | TOYT | 23  | 2.78% | 373  | 3.22%  | 16.22  |
| 8  | CUND | 20  | 2.42% | 387  | 3.34%  | 19.35  |
| 9  | KOMS | 20  | 2.42% | 201  | 1.74%  | 10.05  |
| 10 | CATE | 15  | 1.81% | 312  | 2.70%  | 20.80  |

\* 机构全称：FORD 表示 Ford Global Tech LLC；CLEA 表示 Clean Diesel Technologies Inc.；GENE 表示 General Electric Co.；GENK 表示 GM Global Technology Operations Inc.；BADI 表示 BASF Corp.；JOHO 表示 Johnson Matthey PLC；TOYT 表示 Toyota Motor Corp.；CUND 表示 Cummins IP Inc.；KOMS 表示 Komatsu Seisakusho KK；CATE 表示 Caterpillar Inc.。



及车联网技术的第四代汽车故障诊断系统。

废气尾气分离、处理和回收相关的核心专利主要产出国家及地区见表 2.2.3，美国以 425 项专利数遥遥领先，公开量比例达到 51.39%，这在核心专利产出机构中也可以看出，排在前十位的有 8 家都是美国机构。日本和德国以相关专利数 159 和 85 分别排在第二和第三位，我国以 58 项专利数排在第四位，数量仅为排在第一位的美国的 1/7。排在后面的分别是英国、韩国、瑞士、法国、加拿大和瑞典。可以发现，前十位的国家主要以欧美为主，也与当地工业发展，尤其是汽车业的发展有密切关系。

从被引频次上来看（表 2.2.3），美国被引频次和平均被引频次分别为 6740 和 15.86，远高于其他国家，说明了美国在此焦点的领先地位。我国的 58 项专利，被引频次为 793，平均被引频次为 13.67，较排在前列的美国和日本还有相当差距，这说明我国专利技术的原创性和影响力比较欠缺。

从排名前十的核心专利产出机构看（表 2.2.4），主要是一些大型的汽车和石化公司，如福特汽车公司、清洁柴油科技公司等，中国机构未出现在排名前十中，侧面说明我国的相关机构分布比较分散。以汽车尾气处理相关的 15 项专利为例，专利申请

人 7 项为大专院校（其中上海交通大学 2 项），3 项为个人，只有 5 项申请人为企业，和排名前十的核心产出机构均为公司企业的情况相比，我们的产业化道路还很漫长。

图 2.2.3 显示本焦点主要专利国家之间存在一些合作关系，美国和德国合作最为紧密，这两个国家与中国也有合作；美国还分别与英国、法国、韩国在本焦点专利技术研发上有合作关系。图 2.2.4 显示，世界本焦点专利技术主要产出企业之间没有研发合作关系。

### 2.2.3 灾害风险早期预警

工程开发焦点“灾害风险早期预警”，属于环境领域中与气象科学有关的学科，是传统研究领域的深入。早期的开发主要是强调灾后的修复和恢复，轻视灾前的预防和准备，随着灾害在全球造成的损失与危害越来越大，灾害风险早期预警就成为减轻灾害的重要方面。现阶段主要是利用多源观测数据建立洪涝、干旱、地震、风暴潮、地质、森林火灾等灾害早期预警监测网，对洪涝灾害、干旱灾害、地震灾害、风暴潮灾害、地质灾害、森林火灾等灾害进行自动监测及早期预警，但目前的监测网还远远不能满足要求，发展最快和有效的遥感方法和技

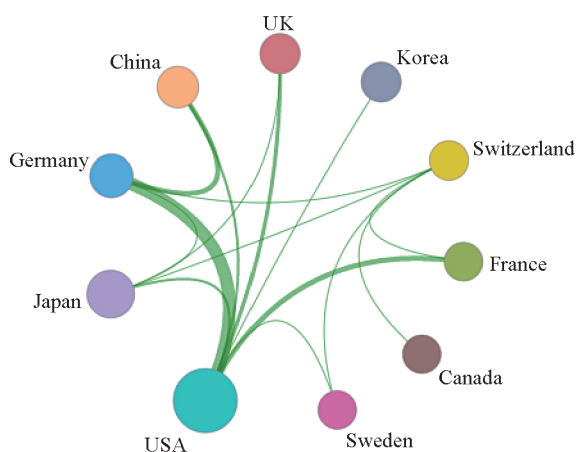


图 2.2.3 “废气尾气的分离、处理和回收”工程开发焦点主要国家或地区间的合作网络

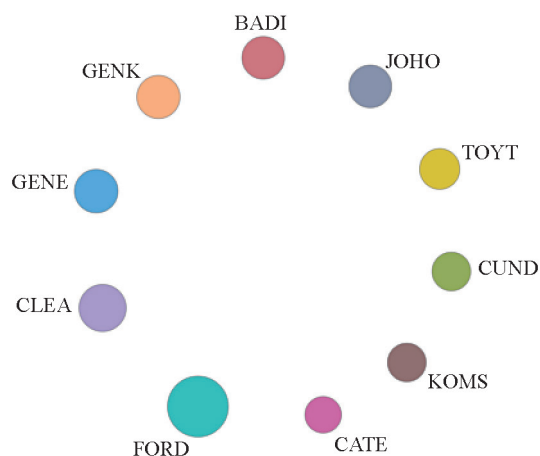


图 2.2.4 “废气尾气的分离、处理和回收”工程开发焦点主要机构间的合作网络

术，研发气象卫星遥感和地基的气象雷达大数据处理关键技术，建立可视化强、安全性高的国家级多灾种气象灾害综合早期预警系统和工程是减轻灾害发生的可能性的关键。

“灾害风险早期预警”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家排在前三的国家或地区分别为：中国（72）、美国（9）和德国（2），被引频次排在前三的国家或地区分别为中国（790）、美国（160）和德国（3）（表 2.2.5）。

核心专利的产出排在前三的机构分别为：SGCC（6）、ROCW（3）和 Chinese Acad Sci Chengdu Ins（2），平均被引频次排在前三的机构分别为 UNBA（17.50）、Chinese Acad Sci Cheng-

du Ins（14.00）和 SGCC（13.67）（表 2.2.6）。

“灾害风险早期预警”的核心专利数目中国排名第一，是该工程开发焦点的重点国家之一，处于与国外同类开发领先或并跑的态势，建议继续加大在该开发焦点的研究投入，推动相关研究向世界领先水平加速发展。

从图 2.2.5 给出的“灾害风险早期预警”工程开发焦点国家间的合作网络图中，可看出本开发焦点主要专利国家之间基本不存在合作关系。图 2.2.6 给出了该开发焦点机构间的合作网络图，表明本焦点专利技术主要产出企业之间研发合作关系也较弱，只在中国国家电网与北京航空航天大学之间有些合作。

表 2.2.5 “灾害风险早期预警”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家或地区

| 序号 | 国家 / 地区 | 公开量 | 公开量比例  | 被引频次 | 被引频次比例 | 平均被引频次 |
|----|---------|-----|--------|------|--------|--------|
| 1  | China   | 72  | 84.71% | 790  | 82.46% | 10.97  |
| 2  | USA     | 9   | 10.59% | 160  | 16.70% | 17.78  |
| 3  | Germany | 2   | 2.35%  | 3    | 0.31%  | 1.50   |
| 4  | France  | 1   | 1.18%  | 2    | 0.21%  | 2.00   |
| 5  | Korea   | 1   | 1.18%  | 3    | 0.31%  | 3.00   |

表 2.2.6 “灾害风险早期预警”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

| 序号 | 机构 *                                    | 公开量 | 公开量比例 | 被引频次 | 被引频次比例 | 平均被引频次 |
|----|---|-----|-------|------|--------|--------|
| 1  | SGCC                                    | 6   | 7.06% | 82   | 8.56%  | 13.67  |
| 2  | ROCW                                    | 3   | 3.53% | 29   | 3.03%  | 9.67   |
| 3  | Chinese Acad Sci Chengdu Inst           | 2   | 2.35% | 28   | 2.92%  | 14.00  |
| 4  | CRCC                                    | 2   | 2.35% | 12   | 1.25%  | 6.00   |
| 5  | First Inst Surveying & Mapping Province | 2   | 2.35% | 26   | 2.71%  | 13.00  |
| 6  | IWHR                                    | 2   | 2.35% | 19   | 1.98%  | 9.50   |
| 7  | Shanghai CEE TEK Co., Ltd.              | 2   | 2.35% | 20   | 2.09%  | 10.00  |
| 8  | UCHA                                    | 2   | 2.35% | 20   | 2.09%  | 10.00  |
| 9  | UNBA                                    | 2   | 2.35% | 35   | 3.65%  | 17.50  |
| 10 | Univ Qingdao Technological              | 2   | 2.35% | 20   | 2.09%  | 10.00  |

\* 机构全称：SGCC 表示 State Grid Corporation of China；ROCW 表示 Rockwell Collins Inc.；CRCC 表示 China Railway Construction Corporation Limited；IWHR 表示 China Institute of Water Resources and Hydropower Research；UCHA 表示 Chang'an University, China；UNBA 表示 Beijing University of Aeronautics and Astronautics。

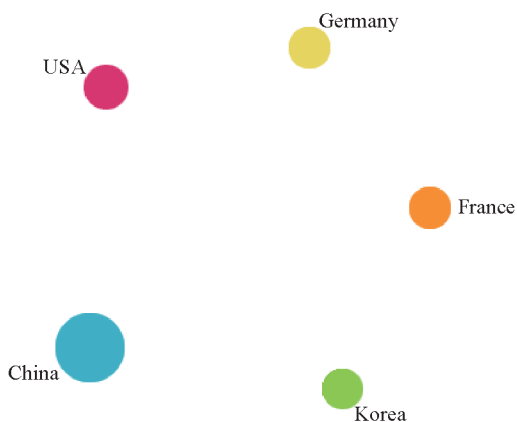


图 2.2.5 “灾害风险早期预警”工程开发焦点主要国家或地区间的合作网络

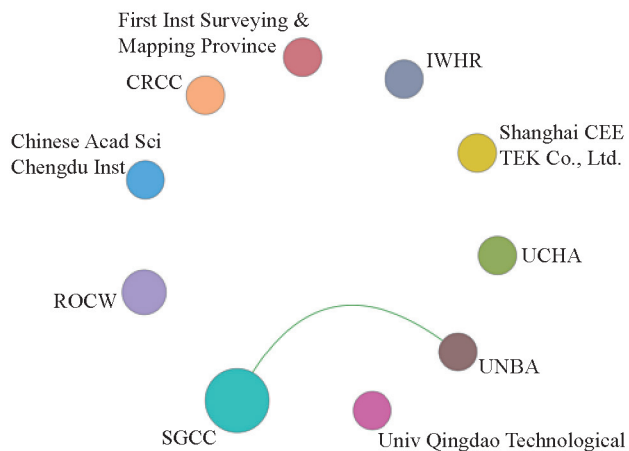


图 2.2.6 “灾害风险早期预警”工程开发焦点主要机构间的合作网络

## 项目参与人员

### 领域课题组人员

领域课题组组长：郝吉明

专家组：

丁一汇 魏复盛 潘德炉 侯保荣 张全兴

曲久辉 孟伟 徐祥德 张偲 张远航

杨志峰

工作组：

黄霞 鲁玺 宋永会 潘丙才 徐影

白雁 颜鹏 李洁 胡敏 裴元生

许人骥 马秀敏 胡承志

办公室：

张健 梁真真 熊强 朱建军 张向谊

### 执笔组成员

黄霞 鲁玺 徐影 许人骥 胡承志

李腾 单超 郭庆丰 魏健 陈雪晴

李洁 白雁 郑宏林 颜鹏 裴元生

胡敏 宋永会 潘丙才 马秀敏