

六、环境与轻纺工程

1 工程研究前沿

1.1 Top 10 工程研究前沿发展态势

环境与轻纺工程领域（以下简称环境领域）所研判的 Top 10 工程研究前沿见表 1.1.1，涉及了环境科学工程、气象科学工程、海洋科学工程、食品科学工程、纺织科学工程以及轻工科学工程 6 个学科方向。其中，各个前沿自 2013 年至 2018 年的逐年核心论文发表情况见表 1.1.2。

（1）纳米复合材料在废水处理中的应用

随着社会经济的发展，大量污水排放至环境中，对水环境造成破坏，极大地威胁了生态环境和人类健康。因此有效地处理水体中的污染物是环境领域的重要研究课题。传统的水处理方法虽然在实际应用中取得了一定的效果，但是也存在能耗高、效率低、产生二次污染等弊端。随着科学技术的进步，许多新材料开始应用于水处理中。纳米材料由于具有比表面积大、活性位点多等优越性能，被认为是处理众多污染物的良好试剂。纳米光催化技术、纳

滤膜技术、纳米还原性技术以及纳米吸附性技术在水处理领域都取得了一定的成就。相比于单一组成的纳米材料，多种纳米材料复合而成的纳米复合材料通常具有更优越的性能，可以通过对原材料、各组分分布以及工艺条件等方面的设计，实现各组分的优势互补，最大限度地发挥优势。因此，纳米复合材料应用于废水处理必将对未来的环境保护以及可持续发展产生巨大的作用，具有广阔的应用前景。

（2）高效海水淡化技术

海水淡化即利用海水脱盐生产淡水，是实现水资源利用的开源增量技术，可以增加淡水总量。发展高效海水淡化技术，对于缓解沿海缺水地区和海岛水资源短缺，促进内陆地区苦咸水和微咸水淡化利用、优化用水结构、保障水资源持续利用具有重要意义。目前如何提高海水淡化的效率，降低能耗及成本，提高适用范围是高效海水淡化面临的难点问题。现在所用的海水淡化方法有海水冻结法、电渗析法、蒸馏法、反渗透法以及离子交换法等，目前应用反渗透膜法及蒸馏法较为主流。大型热法及

表 1.1.1 环境与轻纺领域 Top 10 工程研究前沿

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
1	纳米复合材料在废水处理中的应用	69	5402	78.29	2015.4
2	高效海水淡化技术	43	3689	85.79	2014.9
3	土壤污染对作物代谢的影响	37	2105	56.89	2014.2
4	抗生素耐药基因环境污染与控制	32	807	25.22	2016.0
5	气候变化与生态环境	1400	303 709	216.94	2014.0
6	冬季严重雾霾	192	4613	24.03	2016.8
7	海洋微塑料污染的监控与防治	115	18 840	163.83	2014.6
8	食品中有害物快速筛查与智能判别新技术	10	514	51.40	2014.8
9	高效油水分离材料的制备与应用	17	1598	94.00	2015.2
10	生物质能源	130	11 108	85.45	2014.5

表 1.1.2 环境与轻纺领域 Top 10 工程研究前沿逐年核心论文发表数

序号	工程研究热点	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
1	纳米复合材料在废水处理中的应用	6	14	17	16	12	4
2	高效海水淡化技术	12	7	8	6	9	1
3	土壤污染对作物代谢的影响	14	9	8	4	1	1
4	抗生素耐药基因环境污染与控制	3	3	4	5	14	3
5	气候变化与生态环境	587	391	267	112	34	9
6	冬季严重雾霾	4	8	18	32	63	67
7	海洋微塑料污染的监控与防治	19	39	32	17	8	0
8	食品中有害物质快速筛查与智能判别新技术	3	2	1	2	2	0
9	高效油水分离材料的制备与应用	0	5	6	4	2	0
10	生物质能源	39	38	22	19	10	2

膜法海水淡化、大型海水循环冷却等关键技术，反渗透海水淡化膜组件、高压泵、能量回收等关键部件和热法海水淡化的核心部件是海水高效淡化研究的热点。开发利用电厂余热以及核能、风能、海洋能和太阳能等可再生能源进行海水淡化的技术也是人们关注的重点。积极研究开发海水淡化取水、预处理、淡化水后处理、浓盐水综合利用和排放处置等各环节的工程技术和成套装置是今后海水高效淡化技术发展的方向。

（3）土壤污染对作物代谢的影响

土壤是植物生长发育的基础。土壤供给植物正常生长发育所需要的水、肥、气、热，这些基本性质都能通过直接或间接的途径影响植物的生长发育。土壤中有毒物质过多，超过土壤的自净能力，引起土壤的组成、结构和功能发生变化，就是土壤污染。土壤污染对作物代谢的影响研究目前主要集中在以下几个方面：一是重金属等无机污染物通过破坏作物根系的正常吸收和代谢功能，通常同植物体内酶系统作用有关。如 Cd 胁迫下，作物的根系对水分和养分的吸收减弱，细胞膜通透性增强，细胞内可溶性物质外渗，细胞内酶的活性剂代谢受到阻碍。二是污染物影响作物正常生理功能，三氯乙醛能破坏植物细胞原生质的极性结构和分化功能，

使细胞和核的分裂产生紊乱，形成病态组织，阻碍正常的生长发育，甚至导致植物死亡。三是土壤中病原微生物进入作物中，阻断正常代谢通路，造成相关的病害，如细菌引起的青枯病、腐烂病，真菌引起的黑穗病、根肿病等。

（4）抗生素耐药基因环境污染与控制

抗生素经使用通过生活污水、畜禽/水产养殖废水、医院废水、制药废水等多种途径进入环境，造成水环境和土壤环境抗生素污染。抗生素残留对环境细菌产生选择性压力，促进耐药性和耐药基因产生。抗生素耐药基因（ARG）被认为是一种新兴的环境污染物。耐药基因的广泛传播和扩散可能严重降低抗生素的疗效，对公众健康、生态系统健康构成风险，引起了全球范围的高度重视。污水处理系统为耐药基因在细菌间的传播扩散创造了良好场所，是环境耐药基因污染的重要源头。常规的污水处理工艺对耐药基因的去除程度有限，并且生物处理单元的活性污泥相比污水集中了更多耐药基因，污水处理系统中分离出来的细菌大多具有多重耐药性。

该研究前沿热点论文主要聚焦于混凝沉淀、过滤、膜处理、加氯消毒、紫外线消毒、臭氧氧化、UV/H₂O₂、光催化、光芬顿等不同污水处理工艺对

耐药基因的去除性能的研究。沉淀等工艺一般通过将耐药基因从污水中沉降到污泥中实现水中耐药基因浓度的降低，并未真正消除耐药基因；各类高级氧化工艺对耐药基因有明显的去除作用，可通过破坏耐药基因结构降低其环境风险，但处理效果与剂量和作用时间密切相关，例如有研究报道了低剂量的加氯或紫外线处理后耐药水平反而有所升高。由此，针对医院、制药厂、养殖场等源头废水开展耐药基因深度去除技术及机理研究十分必要。目前，该前沿研究主要聚焦于土壤和水环境，大气环境中的耐药基因研究较少。加强环境中耐药基因污染特征、迁移传播规律和控制技术研究具有重要意义。

（5）气候变化与生态环境

气候变化是指较长时期的气候演变，包括各种时间尺度的气候演变，气候变化的影响也体现在许多方面，每年有成千上万的人们因为气候变化而死亡，同时也使得人类生存的生态环境受到很大的影响。气候变化不仅只是引起全球平均地表温度的升高和全球变暖，气候变化引起灾难的数量和严重程度都有所增加。这些灾难包括干旱、沙尘暴、洪水、热浪、飓风、热带风暴、龙卷风和野火。

近年来，气候变化对生态环境的影响受到全球各个国家的重视，因此，在生态文明建设布局中要考虑气候变化的影响，如建立包含经济社会发展特点及生态福祉功能的气候承载力评估框架，以城镇化气候效应、区域大气污染治理、流域生态环境、脆弱区保护等为重点研究领域，为国家重大战略政策制定提供科技支撑。

我国在不同的规划中也需进一步考虑完善重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域生态气象观测布局，提升对森林、草原、荒漠、湿地等生态区域的气象监测能力，建立生态气象灾害预测预警系统，加强极端气候事件、大气污染、水土流失与土地荒漠化等生态安全事件的气象预警。强化生态气象评估和生态安全气象保障，推进气候资源精细化评估和规划。

（6）冬季严重雾霾

雾霾是发生在大气近地面层中的一种灾害天气，由于雾霾天气发生时大气能见度降低，会对社会经济以及人民生活产生重要的影响；同时，雾霾天气发生时大气气溶胶聚集在大气近地层，使得大气污染增强，空气质量下降，会对人体健康造成重要危害。研究表明，雾和霾的长期变化趋势与人类活动和气候变化具有密切的联系，城市的扩张以及与其相关联的热岛效应的增强，可以使雾的发生频次在城区呈减少趋势，而在郊区呈增加趋势，城区浓雾发生频次的减少趋势除了与城市加热的增强趋势有关外，也与悬浮颗粒物的减少趋势有关。

中国雾日数有明显的季节和年代际变化，冬季最多、春季最少；在20世纪70到90年代较多，20世纪90年代以后减少；而霾日数自2001年以来急剧增长。中国雾日数减少趋势的产生，与冬季日最低温度的升高以及相对湿度的减小趋势有关；霾日数的增加与人类活动导致的大气污染物排放量的增加趋势以及平均风速的减少趋势有密切的联系。另外，霾的变化趋势与经济活动的区域分布密切相关，在经济比较发达的中国东部和南部，霾日具有增加的趋势，而在经济相对滞后的东北和西北地区，霾日出现减少趋势。

关于中国雾霾天气的发生与气象因子之间的联系，已有研究主要集中在雾霾长期变化趋势与气象因子变化趋势之间的关系和局地气象条件与雾的消演变过程以及与霾天气的联系上。同时，为防止雾霾天气的发生，国家制定了多种管控和环保措施，使得雾霾日逐渐减少。

（7）海洋微塑料污染的监控与防治

微塑料污染是近年备受关注的全球性海洋环境问题。微塑料（粒径一般小于5 mm）在包括极地在内的几乎所有海洋栖息地均有检出。其通常吸附有其他化学污染物且易被海洋生物摄食，可随食物链迁移富集，具有生态毒害效应。微塑料标准

化监测手段正趋于完善，环境样品经密度分离、消化后进行目视检测并结合傅里叶变换红外光谱或拉曼光谱分析是被广泛接受和使用的微塑料定性定量研究方法。基于规范可靠的检测技术，微塑料在海洋中的源汇过程与生态风险机制是世界研究者关注的热点科学问题；此外，纳米级微塑料可能具有更显著的生理生态毒性，对其高效监测的方法目前仍不完备。

微塑料污染的防治主要在政策立法和技术研发两个层面展开。在监管层面，政府管控强制回收塑料品资源化再利用，禁止在日化产品中添加微塑料颗粒等举措可有效减控塑料排放；在技术层面，聚乳酸等可生物降解的塑料制品可替代一部分传统塑料制品，高活力塑料降解生物（酶）等温和分解技术瓶颈的突破有望助力实现污染区域的环境修复。

（8）食品中有害物快速筛查与智能判别新技术

食品中外源和内源危害物种类繁多，有很多物质结构复杂，而且在食品加工过程中还会发生复杂的化学变化，其产物具有很大的不确定性，因此快速筛查和智能判别对于食品安全危害物的有效控制有着十分重要的意义。目前随着高分辨质谱等一系列新型分析仪器的应用以及检测数据的信息化分析手段的不断发展，为未知有害物的快速筛查提供了非常有力的技术平台，开发快速筛查和智能判别技术，解决未知有害物的快速定性和定量是需要持续创新的重要技术需求。

（9）高效油水分离材料的制备与应用

含油工业废水和生活污水的不断排放及海上溢油事故的频繁发生形成了大量的油水混合物，造成了严重的资源浪费、生态环境污染和经济损失，发展油水分离技术具有重要的实际意义和应用价值。水体中油类污染物的存在会隔绝水体与空气的交换以及阳光的正常入射，对水体的生态环境造成致命的伤害，而且石油中含有大量致突变和致癌的毒烃类化合物，它们会通过水生动植物摄入食物链传递

而最终富集在人体内，严重威胁人类健康。因此，水体油污污染是一项迫切需要解决的全球性问题。当油污进入水体后，其会形成浮油、分散油、乳化油和溶解油四种类型的油水混合物，其中浮油和分散油因其粒径较大而易于聚结成连续的油层，通过传统的吸附、沉降和机械撇油等方法可以较容易去除；而对于较稳定的乳化油和溶解油的分离，传统的破乳技术例如沉降法、生物法、超/微滤膜分离法等，虽然能够获得一定的分离效果，但是仍然存在能耗高、处理效率低的不足。目前世界各国都将油水分离技术作为研究重点，该领域的主要研究方向集中在纤维基高效油水分离膜的制备、新型高效油水分离材料的合成、超浸润油水分离体系的构建、陶瓷基/生物基油水分离材料的开发等方面。

（10）生物质能源

人类社会对能源的需求不断增长，但作为主要能量供给的化石能源日益紧缺。与此同时，因化石能源过度开发和利用带来的环境问题也日益突出。因此，开发新型可再生清洁能源成为人类社会实现可持续发展的首要选择。生物质能源是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式，即以生物质为载体的能量。生物质能源作为一种新型可再生能源，与传统化石能源相比具有资源丰富、可再生、低污染、安全等特点。通过对生物质能源的有效利用，可在满足能源需求的同时减少环境污染，因而生物质能源在改善能源供给结构方面具有巨大潜力。

发展生物质能源的关键核心是如何清洁、高效地利用生物质能源。目前，利用生物质能源的主要方式包括 生物质能发电：农林生物质发电、沼气发电、垃圾发电； 生物质供气：沼气、生物质气化气； 生物质固体燃料：将农林生物质制备成成型燃料； 生物质液体燃料：生物乙醇、生物柴油。然而，生物质能源的利用仍然存在诸多问题。未来，将扩大生物质能源在电力、供热和交通等领域的使

用规模,并进一步发展新型的生物质能源利用技术。

1.2 Top3 工程研究前沿重点解读

1.2.1 纳米复合材料在废水处理中的应用

随着社会经济的发展,大量污染物排放至环境中,引发众多环境问题,如大气、土壤和水污染。大量未处理或处理不达标的污水直接排放,造成水环境的剧烈破坏,导致水质恶化、水质型缺水问题日益突出。水体中污染物种类繁多,常见污染物包括重金属、悬浮物、细菌病毒、放射性核素和有机染料等,由于水体中污染物的高毒、稳定性和难降解等特性,对生态环境和人类健康构成了极大威胁。因此,有效处理水体中的污染物成为环境领域的重要研究课题。

传统的水处理方法如吸附法、混凝法、活性污泥法等在实际应用中确实取得了一定的效果,但随着时间的推移显示出了各自的弊端,如处理效率低、成本高、能耗高、产生二次污染等。随着科学技术的进步,水处理技术的革新已不仅仅局限于传统处理工艺技术方面的发展,许多新材料开始应用于水处理中,使得水处理技术迅速发展。其中纳米材料作为尖端材料的代表,以其比表面积大、活性位点多等优越性能以及广阔的发展空间引人注目,被

认为是处理众多污染物的良好试剂。纳米光催化技术、纳滤膜技术、纳米还原性技术以及纳米吸附性技术在水处理领域都取得了一定的成就。

相比于单一组成的纳米材料,多种纳米材料复合而成的纳米复合材料在污染物去除方面通常具有更优越的性能,纳米复合材料在保持原组分性能的情况下,还可能会因为复合而产生原组分所不具备的新性能。此外,复合材料可以通过对原材料、各组分分布以及工艺条件等方面的设计,实现各组分的优势互补,最大限度地发挥优势。

随着纳米技术研究的不断深入、人们对环境的日益重视以及对水质要求的提高,纳米技术及材料在环境保护领域尤其是水处理方面的应用也会越来越广泛,纳米复合材料应用于废水处理必将对未来的环境保护以及可持续发展产生巨大的作用,具有广阔的应用前景。

“纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家/地区如表 1.2.1 所示。中国以 43 篇核心论文数、62.32% 论文比例居于第 1 位,表明众多的中国专家学者致力于该前沿的研究,该前沿在中国是重要且热门的研究课题。虽然中国在核心论文的“被引频次”方面仍位于第 1 位,但是美国在“篇均被引频次”方面高出中国近一倍,表明美国在该研究前沿的研究成果居于世

表 1.2.1 “纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家/地区

序号	国家/地区	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次
1	中国	43	62.32%	3329	77.42
2	美国	8	11.59%	1098	137.25
3	马来西亚	6	8.70%	416	69.33
4	印度	4	5.80%	263	65.75
5	伊朗	3	4.35%	209	69.67
6	沙特阿拉伯	3	4.35%	206	68.67
7	韩国	2	2.90%	135	67.50
8	意大利	2	2.90%	127	63.50
9	土耳其	2	2.90%	116	58.00
10	新加坡	2	2.90%	128	64.00

界前列，核心论文被引用较多。在核心论文的前十个主要产出国家/地区中，发展中国家占较高比例，反映出目前发展中国家受水环境污染的问题更为严重。

“纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿中核心论文的主要产出机构如表 1.2.2 所示。湖南大学在“核心论文数”“论文比例”以及“被引频次”方面均以较大优势居于第 1 位。而在“篇均被引频次”方面，篇均被引超过 100 次的机构排名由高到低依次为中南大学、湖南大学、福州大学和海南理工大学，这一结果在一定程度上反映出中南大学在该研究前沿具有较高的实力和水平。

“纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研

究前沿主要国家/地区间的合作网络如图 1.2.1 所示。中国、美国、马来西亚、伊朗和沙特阿拉伯与其他国家/地区的合作相对较多，其中中国与美国的合作最为密切，其次是与沙特阿拉伯。

“纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿主要机构间的合作网络如图 1.2.2 所示。总体来看主要机构之间合作较少，湖南大学与中南大学、中国科学院与燕山大学有较为紧密的合作。此外，华南理工大学与中南大学、湖南大学，马来西亚工艺大学与南阳理工大学也存在合作关系。

“纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家或地区如表 1.2.3 所示。中国的“施引核心论文数”和“施

表 1.2.2 “纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿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	篇均被引频次
1	湖南大学	9	13.04%	1064	118.22
2	华南理工大学	5	7.25%	531	106.20
3	中国科学院	5	7.25%	391	78.20
4	燕山大学	5	7.25%	450	90.00
5	中南大学	3	4.35%	470	156.67
6	马来西亚国民大学	3	4.35%	253	84.33
7	马来西亚工艺大学	3	4.35%	163	54.00
8	福州大学	2	2.90%	228	114.00
9	武汉理工大学	2	2.90%	169	84.50
10	南洋理工大学	2	2.90%	128	64.00

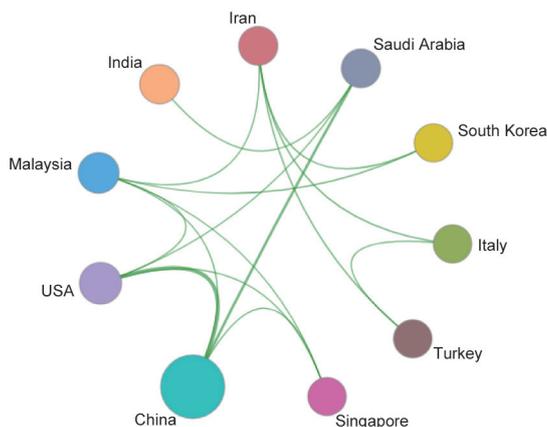


图 1.2.1 “纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿主要国家/地区间的合作网络

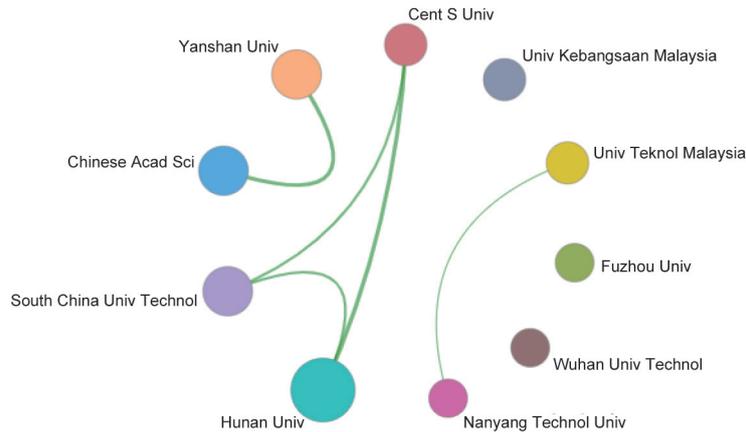


图 1.2.2 “纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.3 “纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿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	中国	2726	55.95%	2017.5
2	美国	441	9.05%	2017.3
3	印度	423	8.68%	2017.5
4	伊朗	370	7.59%	2017.4
5	韩国	204	4.19%	2017.4
6	马来西亚	153	3.14%	2017.2
7	澳大利亚	141	2.89%	2017.3
8	沙特阿拉伯	140	2.87%	2017.1
9	新加坡	100	2.05%	2017.4
10	加拿大	88	1.81%	2017.5

引核心论文比例”均远超其他国家 / 地区，位居第 1 位。前十的国家 / 地区的“平均施引年”均为 2017 年。

“纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出机构如表 1.2.4 所示。湖南大学和中国科学院的“施引核心论文数”和“施引核心论文比例”明显高于其他机构，分别位于第 1 位和第 2 位，两所机构之间差距较小。前十的机构“平均施引年”均为 2017 年。

1.2.2 气候变化与生态环境

气候变化不仅只是引起全球平均地表温度的升

高和全球变暖，气候变化的影响也体现在许多方面，每年有成千上万的人们因为气候变化而死亡，同时也使得人类生存的生态环境受到很大的影响。气候变化对生态环境的影响受到全球各个国家的重视，中国也指出在生态文明建设布局中要考虑气候变化的影响。

为了解气候变化对全球各个方面的影响，政府间气候变化专门委员会已经发布了 5 次气候变化评估报告，包括气候变化的科学事实、影响和适应及减缓三个部分。同时，不定期发布气候变化对不同领域的影响评估报告，2019 年发布了《生物多样性和生态系统服务全球评估》报告、《气候变化与

表 1.2.4 “纳米复合材料在废水处理中的应用”工程研究前沿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	湖南大学	280	23.53%	2017.8
2	中国科学院	273	22.94%	2017.5
3	中南大学	96	8.07%	2017.7
4	江苏大学	81	6.81%	2017.5
5	中国科学院大学	75	6.30%	2017.8
6	伊斯兰阿扎德大学	71	5.97%	2017.2
7	哈尔滨工业大学	70	5.88%	2017.5
8	华南理工大学	69	5.80%	2017.9
9	马来西亚工艺大学	59	4.96%	2017.3
10	天津大学	59	4.96%	2017.3

土地特别报告》以及《关于气候变化中海洋与冰冻圈特别报告》。《气候变化与土地特别报告》显示，更好的土地管理有助于应对气候变化，随着人口增加和气候变化对植被的负面影响增加，土地必须保持生产力以维持粮食安全。《关于气候变化中海洋与冰冻圈特别报告》旨在评估气候变化将如何影响海洋和海洋生物，以及水以固态形式存在的地区，例如极地或高山地区，还评估了气候变化对世界各地社区的影响，以及为实现更可持续的未来而适应气候变化的选择。报告中评估的知识概述了世界各地的人们当前经受的以及未来后代将面临的气候相关风险和挑战，提出了对无法避免的各种变化的适应方案、管控相关风险的方案以及为可持续未来打造复原力的方案。

目前该领域的研究除了气候变化对土地和海洋冰冻圈的影响外，在建立包含经济社会发展特点及生态福祉功能的气候承载力评估、城镇化气候效应、区域大气污染治理、流域生态环境、脆弱区保护等方面的研究也正在开展。

表 1.2.5 是该工程研究前沿中核心论文的主要产出国家或地区，可以发现无论是论文比例还是被引频次比例，美国均排名第 1，其他国家与美国有不小的差距，说明美国在这方面具有较大的研究优

势。我国在这方面核心论文数相对较少，排在第 6 位。在主要产出国家或地区合作网络中(见图 1.2.3)，各个国家都与美国有着广泛的合作，且多个国家之间也合作频繁。

表 1.2.6 是该工程研究前沿中核心论文的主要产出机构，核心论文数排名第 1 的机构在中国。根据主要机构间合作网络(见图 1.2.4)可以看出，Chinese Acad Sci 与 NOAA、Columbia Univ、Natl Ctr Atmospher Res 等 9 个机构间都有合作关系，且这 10 各机构之间的合作也很密切。

在施引核心论文的国家或地区排名中，中国排名第 5，与排名第 1 的美国仍有不小的差距(见表 1.2.7)；中国科学院在施引核心论文的机构排名中位列第 1(见表 1.2.8)。

由此可以看出，美国在“气候变化与生态环境”的研究上不仅领先于全球，而且和其他国家有着密切的合作，但中国科学院在该领域的研究机构中也处于领先的地位，应继续保持该前沿的相关研究状态。

1.2.3 高效油水分离材料的制备与应用

含油工业废水和生活污水的不断排放及海上溢油事故的频繁发生形成了大量的油水混合物，造成

表 1.2.5 “气候变化与生态环境”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家 / 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
1	USA	847	60.50%	190 153	62.61%	224.50
2	UK	455	32.50%	108 554	35.74%	238.58
3	Australia	311	22.21%	76 281	25.12%	245.28
4	Germany	299	21.36%	75 125	24.74%	251.25
5	France	252	18.00%	60 795	20.02%	241.25
6	China	224	16.00%	50 343	16.58%	224.75
7	Canada	217	15.50%	54 853	18.06%	252.78
8	Netherlands	207	14.79%	53 571	17.64%	258.80
9	Switzerland	177	12.64%	46 432	15.29%	262.33
10	Sweden	143	10.21%	36 842	12.13%	257.64

表 1.2.6 “气候变化与生态环境”工程研究前沿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
1	Chinese Acad Sci	100	7.14%	22 942	7.55%	229.42
2	NOAA	93	6.64%	19 773	6.51%	212.61
3	Columbia Univ	80	5.71%	20 041	6.60%	250.51
4	Natl Ctr Atmospher Res	71	5.07%	16 546	5.45%	233.04
5	NASA	71	5.07%	15 969	5.26%	224.92
6	Univ Maryland	69	4.93%	18 395	6.06%	266.59
7	Univ Washington	64	4.57%	16 506	5.43%	257.91
8	Univ Exeter	63	4.50%	14 846	4.89%	235.65
9	Univ Calif Berkeley	62	4.43%	14 244	4.69%	229.74
10	Univ Colorado	61	4.36%	15 725	5.18%	257.79

注：NOAA 表示 National Oceanic and Atmospheric Administration US Department of Commerce；NASA 表示 National Aeronautics and Space Administration。

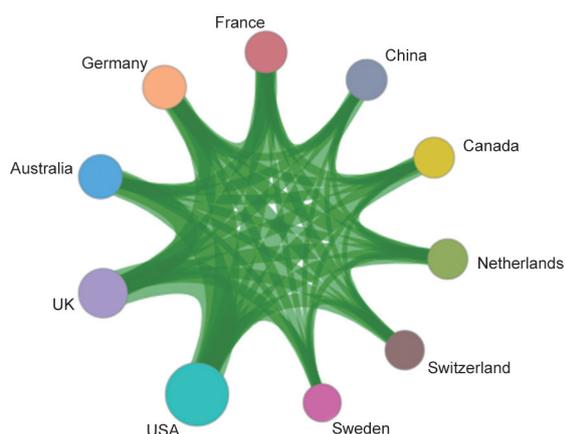


图 1.2.3 “气候变化与生态环境”工程研究前沿主要国家 / 地区间的合作网络

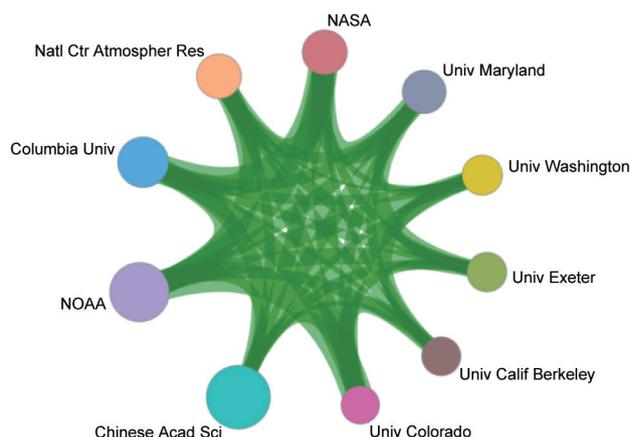


图 1.2.4 “气候变化与生态环境”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.7 “气候变化与生态环境”工程研究前沿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	997	25.02%	2014.8
2	UK	530	13.30%	2014.9
3	Germany	377	9.46%	2014.9
4	Australia	365	9.16%	2015.0
5	China	343	8.61%	2015.3
6	France	287	7.20%	2014.9
7	Canada	261	6.55%	2015.0
8	Netherlands	256	6.42%	2015.1
9	Switzerland	220	5.52%	2015.0
10	Spain	181	4.54%	2015.1

表 1.2.8 “气候变化与生态环境”工程研究前沿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	110	11.98%	2015.1
2	Univ Calif Berkeley	91	9.91%	2014.8
3	Stanford Univ	87	9.48%	2015.1
4	Univ Washington	87	9.48%	2015.4
5	Univ Oxford	86	9.37%	2015.5
6	Univ Colorado	82	8.93%	2015.1
7	Columbia Univ	81	8.82%	2015.1
8	NOAA	81	8.82%	2014.5
9	Univ Maryland	72	7.84%	2015.2
10	Harvard Univ	71	7.73%	2015.5

了严重的资源浪费、生态环境污染和经济损失，发展油水分离技术具有重要的实际意义和应用价值。水体中油类污染物的存在会隔绝水体与空气的交换以及阳光的正常入射，对水体的生态环境造成致命的伤害，而且石油中含有大量致突变和致癌的毒烃类化合物，它们会通过水生动植物摄入食物链传递而最终富集在人体内，严重威胁人类健康。因此，水体油污染是一项迫切需要解决的全球性问题。当油污进入水体后，其会形成浮油、分散油、乳化油和溶解油四种类型的油水混合物，其中浮油和分散油因其粒径较大而易于聚结成连续的油层，通过传

统的吸附、沉降和机械撇油等方法可以较容易去除；而对于较稳定的乳化油和溶解油的分离，传统的破乳技术例如沉降法、生物法、超/微滤膜分离法等，虽能够获得一定的分离效果，但是仍然存在能耗高、处理效率低的不足。目前世界各国都将油水分离技术作为研究重点，该领域的主要研究方向集中在纤维基高效油水分离膜的制备、新型高效油水分离材料的合成、超浸润油水分离体系的构建、陶瓷基/生物基油水分离材料的开发等方面。

通过对“高效油水分离材料的制备与应用”研究前沿核心论文的解读发现，该研究前沿下核心论

文篇均被引频次高达 94.00 次（见表 1.1.1）。其中，该研究前沿主要研究地区为中国、新加坡和美国，其中中国发表的核心论文数占全球所有地区的 64.71%，篇均被引频次 92.45 次，占据领跑地位（见表 1.2.9）；新加坡、美国、沙特阿拉伯在该领域合作较为密切，而中国在该领域具有较强的独立研发

能力（见图 1.2.5）。在产出机构方面，新加坡国立大学（Natl Univ Singapore）、东华大学（Donghua Univ）、东北林业大学（Northeast Forestry Univ）占据核心论文发表数量前三位，篇均被引频次前三位的机构则是南阳理工大学（Nanyang Technol Univ）、东华大学（Donghua Univ）、上海交通

表 1.2.9 “高效油水分离材料的制备与应用”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家 / 地区

序号	国家 / 地区	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次
1	China	11	64.71%	1017	92.45
2	Singapore	4	23.53%	448	112.00
3	USA	3	17.65%	212	70.67
4	Saudi Arabia	1	5.88%	84	84.00
5	Japan	1	5.88%	58	58.00

表 1.2.10 “高效油水分离材料的制备与应用”工程研究前沿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	篇均被引频次
1	Natl Univ Singapore	3	17.65%	206	68.67
2	Donghua Univ	2	11.76%	363	181.50
3	Northeast Forestry Univ	2	11.76%	172	86.00
4	Nanyang Technol Univ	1	5.88%	242	242.00
5	Shanghai Jiao Tong Univ	1	5.88%	100	100.00
6	King Abdullah Univ Sci & Technol	1	5.88%	84	84.00
7	Kraton Polymers LLC	1	5.88%	84	84.00
8	Univ Akron	1	5.88%	75	75.00
9	China Univ Petr	1	5.88%	72	72.00
10	Natl Engn & Technol Res Ctr Wood Based Resources	1	5.88%	70	70.00

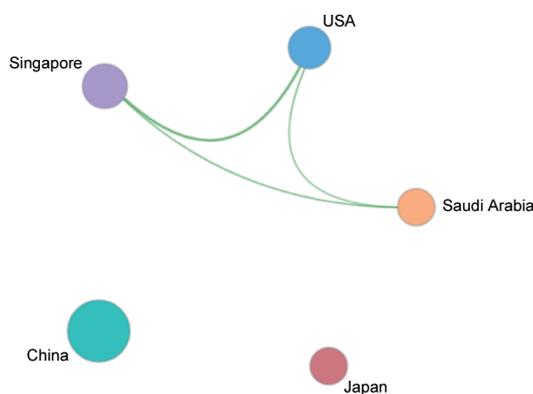


图 1.2.5 “高效油水分离材料的制备与应用”工程研究前沿主要国家 / 地区间的合作网络

大学 (Shanghai Jiao Tong Univ) (见表 1.2.10) ; 主要研发机构更倾向于独立研发, 只有 Natl Univ Singapore、King Abdullah Univ Sci & Technol、Kraton Polymers LLC 三家机构进行过合作研发 (见图 1.2.6)。

从施引核心论文的前十国家或地区及研究机构排名来看, 中国、美国、新加坡、加拿大等国对该研究前沿的关注度较高, 特别是中国的研究机构在前十中占据了 9 位 (见表 1.2.11 及表 1.2.12)。

综上所述, 我国在高效油水分离材料的制备与应用研究领域处于领跑地位, 但是地区合作较少,

建议继续加大在该前沿的合作研究投入, 带动世界相关研究水平的加速发展。

2 工程开发前沿

2.1 Top 10 工程开发前沿发展态势

环境领域组所研判的 Top 10 工程开发前沿见表 2.1.1, 前沿涉及了环境科学工程、气象科学工程、海洋科学工程、食品科学工程、纺织科学工程以及轻工科学工程 6 个学科方向。其中, 各工程开发前沿自 2013 年至 2018 年的逐年核心专利公开量见

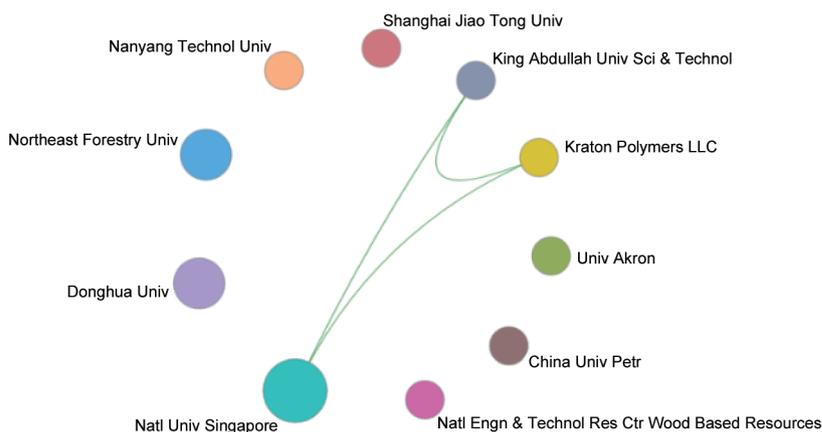


图 1.2.6 “高效油水分离材料的制备与应用”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.11 “高效油水分离材料的制备与应用”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家 / 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	China	918	66.96%	2017.5
2	USA	115	8.39%	2017.5
3	Singapore	57	4.16%	2016.9
4	Canada	48	3.50%	2017.8
5	India	46	3.36%	2017.6
6	Japan	38	2.77%	2017.2
7	South Korea	36	2.63%	2017.1
8	Saudi Arabia	31	2.26%	2016.8
9	Australia	30	2.19%	2016.9
10	UK	26	1.90%	2017.5

表 1.2.12 “高效油水分离材料的制备与应用”工程研究前沿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	116	24.89%	2017.3
2	Donghua Univ	66	14.16%	2016.9
3	Univ Chinese Acad Sci	46	9.87%	2017.3
4	South China Univ Technol	40	8.58%	2017.7
5	Hubei Univ	31	6.65%	2017.3
6	Harbin Inst Technol	30	6.44%	2017.5
7	Natl Univ Singapore	30	6.44%	2016.3
8	Jiangsu Univ	30	6.44%	2017.9
9	Soochow Univ	27	5.79%	2017.5
10	Zhejiang Univ	26	5.58%	2017.0

表 2.1.1 环境领域 Top 10 工程开发前沿

序号	工程开发前沿	公开量	引用量	平均被引数	平均公开年
1	多技术协同土壤污染修复	1119	1170	1.05	2016.6
2	用于污水处理的复合微生物活菌制剂	117	92	0.79	2016.7
3	环境纳米催化材料	1000	5022	5.02	2015.5
4	膜分离材料与工艺开发	47	158	3.36	2014.4
5	智能化天气预报技术	744	5376	7.23	2015.8
6	海洋能高效综合利用技术	1258	8690	6.91	2015.5
7	海洋环境立体观测技术	1301	3103	2.39	2016.1
8	食源性致病微生物快速精准检测技术	1000	17 494	17.49	2012.9
9	纤维基 3D 打印技术	3147	12 351	3.92	2016.4
10	生物质能源转化技术	1000	19 943	19.94	2012.8

表 2.1.2 环境领域 Top 10 工程开发前沿的逐年核心专利公开量

序号	工程开发前沿	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
1	多技术协同土壤污染修复	32	72	111	200	235	444
2	用于污水处理的复合微生物活菌制剂	2	4	16	23	32	40
3	环境纳米催化材料	51	61	60	118	252	305
4	膜分离材料与工艺开发	2	11	2	10	5	7
5	智能化天气预报技术	53	51	84	152	139	206
6	海洋能高效综合利用技术	190	213	198	270	217	170
7	海洋环境立体观测技术	132	138	158	240	293	340
8	食源性致病微生物快速精准检测技术	82	93	98	122	99	140
9	纤维基 3D 打印技术	99	155	379	559	863	1008
10	生物质能源转化技术	134	144	100	95	65	27

表 2.1.2。

(1) 多技术协同土壤污染修复

近年来我国土壤污染与环境风险问题日益凸显，部分地区土壤污染严重，污染类型多样，呈现新-老污染物并存、无机-有机污染复合、多介质（土壤-水）污染等特性，传统单一修复治理技术无法很好进行土壤污染修复。因此，亟需发展多技术协同土壤污染修复技术。

传统土壤修复技术包括物理修复、化学修复和生物修复，存在污染物类型或修复时间/成本局限性。多技术协同土壤修复体系如化学氧化协同微生物降解有机污染物、气相抽提-热脱附组合修复技术、洗脱-强化微生物修复组合技术，相比单一处理技术能更好的适应不同类型复合污染物处置，同时能处置多介质如土壤-地下水污染。近年来多技术协同土壤污染技术迅速发展，专利数由 2013 年的 32 项上升到 2018 年的 444 项，呈逐年提升状态，修复技术逐渐从单一污染物的处理向多种污染物及重金属-有机物复合污染处理转变，异位、固定式修复装备向原位、自动化、智能化装备转变，污染物去除向过程调控-末端治理联合调控转变。

我国在多技术协同土壤污染修复方面尚缺乏集成的一体化技术与装备，原创技术少。同时，缺乏针对特殊高风险污染场地如电子拆解垃圾场地、高浓度石油污染土壤场地等的集成修复技术示范。模块化、自动化、智能型的高效联合修复一体化技术与装备仍是未来需要发展的重点。

(2) 用于污水处理的复合微生物活菌制剂

复合微生物菌剂一般是由多种不同类型且具有降解污染物功能的微生物组成，是一种互利共存的混合生物体，通过微生物的生长代谢将污染物逐渐降解，从而达到净化污水的目的。微生物菌剂中菌种的获取途径主要有以下几种：直接向菌种保藏机构购买；从自然环境中筛选野生型菌种；利用基因工程手段对微生物的降解性能进行改造或构建；通过驯化，诱导出微生物的特定代谢途径，

从而获得降解特定化合物的菌种。相比于传统的污水处理技术，微生物菌剂可以直接投加到污水中，不需要任何额外的设备或工艺，具有操作方便、经济高效、应用范围广、无二次污染等明显优势，已被应用于工业、农业、医药和畜牧业等污水处理过程。虽然有很多微生物菌剂处理污水的相关研究成果和专利，但是，国内的微生物菌剂研发仍存在产品种类分散、产品处理效果受环境因素影响等问题，因此还需要进一步研究特异高效且价格低廉的具有本土特色的复合微生物菌剂，并且使产品使用规范化，避免滥用错用造成经济损失及生态平衡失调。

(3) 环境纳米催化材料

纳米材料指至少某一维度的尺寸在 1~100 nm 范围的材料。纳米金属氧化物、纳米贵金属、纳米碳材料等众多纳米材料因具有高比表面积和反应活性，在催化污染物降解转化等方面具有巨大的优势，成为环境催化材料开发的热点。该开发前沿主要包括以下方向：纳米光催化材料，尤其是可见光响应型纳米材料，用于降解甲醛等气态污染物及水中染料等污染物；三元催化纳米材料，用于将机动车尾气中的 CO、烃类和 NO_x 等有害气体通过氧化还原转化为 CO₂、N₂ 和水；大气污染控制催化材料，用于烟气处理等；水处理纳米催化材料，用于催化臭氧氧化、芬顿氧化等；电催化纳米材料，用于催化产氢等。开发的材料种类主要包括：稀土纳米催化材料、铋系纳米催化材料、过渡金属氧化物纳米催化材料、石墨相氮化碳复合材料、石墨烯复合材料、量子点催化材料、磁性纳米催化材料等。

为解决纳米催化材料工程应用操作困难的应用瓶颈问题，普遍采用适宜的大尺寸多孔载体将纳米颗粒固定化制备复合材料。根据不同的应用场景，载体还需满足耐高温、抗氧化等稳定性要求，应用较成熟的载体包括蜂窝陶瓷、多孔瓷球、陶粒等。发展新型多孔载体-纳米颗粒复合技术，发挥载体除支撑作用以外的如污染物预富集、纳米颗粒催化

活性调控等功效具有重要意义。

(4) 膜分离材料与工艺开发

膜分离技术广泛应用于水处理领域，主要用于工业污水再生利用、市政污水处理、市政饮用水处理、海水淡化等。影响膜分离技术能效的关键在于膜材料和工艺，未来膜分离技术发展热点和前沿主要集中在高性能膜材料及膜组件研发、膜分离工艺及反应器开发与优化。

膜材料研发：我国目前在超滤、微滤、纳滤和离子交换等技术涉及的聚合物膜材料研发生产方面已有一定的技术基础和产业规模，但在气体膜、液膜、高选择性纳滤和反渗透膜等领域相对薄弱。我国在用于海水淡化和浓盐水减排零排的反渗透膜方面，其特殊离子脱除、温度敏感性、吨制水能耗、长期运行稳定性等与国外产品仍存在差距。纳米新材料复合技术、两相界面精细控制技术、低流阻技术是解决上述问题，缩短差距的关键。此外，对膜分离技术来说，水质特征的多样化要求膜材料具备广谱耐污染性，因此混合基质膜材料和新型结构设计膜材料方面的研究正逐步得到重视，成为近几年膜材料研发的热点之一。

膜组件研发：低压/超低压抗污染膜组件研发是主要方向，目的在于提高膜组件的处理能力和使用寿命，解决阻塞膜污染问题。对此，膜组件制备工艺的开发和优化成为热点，通过改造涂布方式，研发在线检测技术，研发自动卷膜机等硬件设施可提升膜组件的分离性能、均一性和稳定性。除膜组件研发外，我国膜分离系统和组件相关的泵、阀、能量回收器、压力容器等关键零部件也亟待摆脱对进口的依赖，形成自有技术和产品。

膜分离工艺优化：随着近年工业水回用和浓盐水减排要求及标准的不断提升，膜系统集成耦合和减排零排技术对膜工艺提出了低耗高效需求。例如连续微滤/连续超滤(CMF/CUF)+反渗透耦合工艺，在海水淡化和污水回用领域具有应用优势和潜力。CMF/CUF过程无需加入絮凝剂、杀菌剂和余

氯脱除剂等药剂即可改进后续反渗透进水水质，具有延长反渗透膜使用寿命，提高系统回收率，减少设备占地面积和操作费用，降低劳动强度，实现自动化控制等优点。厌氧膜生物反应器在低耗高效处理高浓度有机废水和市政污水方面具有很好的应用前景，如何控制膜污染并规模化的工程应用是未来的研究重点。

(5) 智能化天气预报技术

天气预报是预测科学，不可能实现100%的精准。天气预报的本质是根据已知的气象条件，用超级计算机进行海量数据计算，但计算结果与真实天气状况之间不可避免存在偏差。把天气预报得更准确，就是一个不断缩小计算结果与真实情况差距的过程，这是现实世界中的难题。天气预报主要依赖于大数据，涉及到不同时间和空间上的海量数据，正是人工智能非常好的应用场景。一方面，充足的气象大数据为人工智能技术的进步提供了支撑；另一方面，人工智能技术的应用，将有力推动天气预报数据计算结果精准度和计算速度的提升，使得“天气预报越来越准”。人工智能为天气预报提供了一种解决难题的新思路。日前，日本一研究团队利用深度学习技术，开发了新的高精度识别方法，可以识别出西北太平洋台风高发季热带低气压发生一周前的特征，从而为台风的产生提供判定依据。人工智能提前一周预测台风，瞬间引起了巨大关注。人工智能算法把超级计算机的预报结果尽可能地、自动地、不用人工干预地修正到与实际观测数据更接近，可以达到“天气预报越来越准”的终极目标。

在人工智能领域，算力、算法、数据缺一不可。气象部门的高性能计算机为智能化天气预报的开展奠定了基础。

(6) 海洋能高效综合利用技术

海洋能指依附在海水中的可再生能源，海洋通过各种物理过程接收、储存和散发能量，这些能量以潮汐能、波浪能、海洋温差能、海洋盐差能、海流能等形式存在于海洋之中。海洋能的利用是指利

用一定的方法、设备把各种海洋能转换成电能或其他可利用形式的能。由于海洋能具有可再生性和不污染环境等优点，因此是一种亟待开发的具有战略意义的新能源。

目前，海洋能高效综合利用技术领域的热点和主要研究方向包括：国际潮汐能技术、国际潮流能技术、国际波浪能技术、国际温差能技术、国际洋流能技术与盐差能技术。

各种海洋能的蕴藏量是巨大的，据初步估计，我国海洋能理论装机容量的总和超过 20 亿 kW，是 2007 年我国电力总装机容量的三倍，开发利用潜力巨大。海洋能产业已经初现雏形，海洋能发电装置装机成本已呈现快速下降的趋势，加快了海洋能技术产业化的步伐。

（7）海洋环境立体观测技术

海洋环境立体观测技术是指用于研究海洋环境动态变化的设备和技术，包括卫星和飞机、水面调查观测船、水面锚系浮标、水下潜标、漂流浮标、水下移动观测平台、海底观测平台、岸基台站观测等平台及其传感器系统和数据传输网络等，实时或准实时获取各种海洋环境信息，实现海洋环境立体观测。海洋环境立体观测技术发展是未来海洋科技发展的关键之一。

目前，海洋环境立体监测技术领域的热点和主要研究方向包括：卫星遥感海洋环境观测的多参数、宽范围、实时化、立体化；传感器及探测装备的小型化、智能化、标准化、产业化；海洋组网观测的全球化、层次化、综合化与智慧化。

当今，国际上已经有相对比较成熟的全球计划框架，我国也开展了建设国家综合海洋观测网的规划。长远来看，面向海洋活动需求，以海洋信息服务为中心，多平台组成的自适应海洋环境立体观测网络仍然是海洋环境立体观测技术的主要发展方向。

（8）食源性致病微生物快速精准检测技术

随着我国食品消费模式的变化，食源性致病微

生物风险逐渐增加，是未来我国食品安全的主要风险因素。食源性致病菌的快速检测一直是微生物风险控制的难题。现有的检测技术主要是基于分子生物学技术发展起来的，如脉冲场凝胶电泳、环介导等温扩增技术等，但是由于使用条件相对苛刻，使得这些方法在应用方面受到限制。目前亟需发展非分子生物检测技术，开发适合于在线快速定性的食源性致病菌控制技术，以有效保障食品消费安全。

（9）纤维基 3D 打印技术

3D 打印技术是以数字模型文件为基础，添加打印墨水，从线到面，从面到体的一体化快速成型技术，可以个性化定制所需的形状。纤维基 3D 打印技术就是以纤维基材料为原料制备打印墨水，通过 3D 打印技术定制我们所需的样品结构。因 3D 打印技术所打印的是交织的纤维状结构，一般为微米级，可以实现从微观到宏观的结构调控，所以适合做一些特殊的编织结构。目前，纤维基 3D 打印的主要技术方向是智能可穿戴纺织品、柔性电子元件、高性能复合材料等。人体生物信号的采集与监测、一体化定制电子器件以及通过取向实现对材料的增强作用都是其主要的方向。采用复合型墨水进行打印，实现多组分的打印同时赋予样品独特的性能将会是未来的一个趋势。因其应用领域的广泛性和先进性，纤维基 3D 打印技术的发展令人期待。

（10）生物质能源转化技术

煤、石油、天然气等化石能源不可再生，且其使用过程中存在污染排放等环境问题，因此开发新型的绿色能源是人类社会未来解决能源需求和环境问题需要突破的重大关键技术。生物质能源在绿色能源的开发中占有重要地位，是未来可能替代化石能源的主要可再生清洁能源之一。

生物质能源转化主要是利用生物化学法、物理法、热化学法等技术将生物质能源转化为二次能源，其二次能源的形式包括：热量或电力、固体燃料（木炭或成型燃料）、液体燃料（生物柴油、甲醇、乙

醇、植物油等)和 气态燃料(氢气、生物质燃气和沼气)等。生物质的种类繁多,因此适用于不同类型生物质能源转化利用的技术不同,而当前生物质能源转化利用技术在实用性和经济性方面仍存在诸多挑战。因此,开发经济、高效的生物质能源转化技术,推动生物质能源的产业化发展,是今后相当一段时间内该领域的重要研究方向。

2.2 Top3 工程开发前沿重点解读

2.2.1 多技术协同土壤污染修复

土壤污染通常具有区域性、复合性、多介质性等污染特征。传统物理、化学和生物修复技术存在污染物类型、修复时间或成本等局限性,难以高效、经济、绿色解决复合土壤污染修复问题,为此,多技术协同土壤污染修复技术应运而生。当前多技术协同土壤污染修复专利主要分为四部分:集热脱附、气相抽提、淋洗、氧化一体化处置设备的设计、固化/稳化-降解新材料(专性微生物菌剂、生物炭、纳米材料、生物质-矿物等复合材料)联合修复技术、土壤修复装置的改良与能量优化(电、微波、太阳能、等离子体)、化学修复-微生物/植物协同修复。

近几年来,我国土壤修复产业迅速发展,研发

投入在全世界名列前茅,多技术协同土壤污染修复技术不断创新。如表 2.2.1 所示,近 5 年来的 1119 项土壤有机污染修复治理技术的核心专利中,我国公开量高达 998 项,占有公开专利的 73.16%。其次为日本和韩国,公开量分别为 40 项和 33 项,我国多技术协同土壤污染修复专利总量远高于日本、美国等发达国家。

从被引频次上看(见表 2.2.1),我国专利篇均被引频次仅为 0.86,远低于美国、日本等发达国家,多技术协同土壤污染修复技术原创仍较少,创新不足,影响力不够;从专利相关度来看(见图 2.2.1),美国与日本的关联度较强,而我国与其他发达国家间没有合作关系;从专利内容上看,美国日本等发达国家专利主要集中于源头调控处置、修复材料再生等末端治理技术,而我国集中于化学-生物联合修复中降解新材料的开发及一体化修复设备的研制,发达国家一体化修复技术与装备开发已较为成熟,而我国仍处于探索阶段。加强国际交流协作,开发具有自主知识产权,基于源头、过程调控-末端治理的集成式一体化修复技术与装备体系势在必行。

从排名前十的核心专利产出机构看(见表 2.2.2),均为我国机构,且大部分为公司,标志着多技术协同土壤污染修复技术市场化已逐渐趋于成熟。排名

表 2.2.1 “多技术协同土壤污染修复”工程开发前沿中核心专利的主要产出国家/地区

序号	国家/地区	数量	比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	China	998	89.19%	856	73.16%	0.86
2	Japan	40	3.57%	186	15.90%	4.65
3	South Korea	33	2.95%	22	1.88%	0.67
4	USA	16	1.43%	41	3.50%	2.56
5	Taiwan of China	9	0.80%	0	0.00%	0.00
6	Canada	6	0.54%	5	0.43%	0.83
7	Russia	6	0.54%	0	0.00%	0.00
8	Belgium	2	0.18%	48	4.10%	24.00
9	Australia	2	0.18%	24	2.05%	12.00

第1的为江苏盖亚环境科技股份有限公司(GSJY)，主要进行原位及异位土壤修复设备、土壤修复专用药剂开发；排名第2、第5为成都圣灵生物科技有限公司(CDSL)和江苏世邦生物工程科技有限公司(JSSB)，主要从事土壤修复微生物菌剂及材料研究；排名第3、4为青岛理工大学(UNQT)和湖南农业大学(UYAG)，专利公开量分别为10项和7项，主要研究高风险石油污染场地以及

重金属-有机物复合污染土壤的修复技术、生物炭-植物联合修复技术。

图2.2.2显示本焦点专利技术主要产出高校及企业间没有研发合作关系，产业化程度较低，针对多技术协同土壤污染修复的产-学-研合作仍有很大空间。公开专利主要集中于化学-生物联合修复中微生物菌剂及新材料的开发，仍然缺乏关于一体化技术与装备的研制。值得一提的是，科技信息公

表 2.2.2 “多技术协同土壤污染修复”工程开发前沿中核心专利的主要产出机构

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
1	JSGY	21	1.88%	21	1.79%	1.00
2	CDSL	11	0.98%	8	0.68%	0.73
3	UNQT	10	0.89%	4	0.34%	0.40
4	UYAG	7	0.63%	14	1.20%	2.00
5	JSSB	7	0.63%	0	0.00%	0.00
6	SHGI	6	0.54%	6	0.51%	1.00
7	HSFH	6	0.54%	2	0.17%	0.33
8	ZZSQ	6	0.54%	0	0.00%	0.00
9	CAGS	5	0.45%	14	1.20%	2.80
10	UYHD	5	0.45%	14	1.20%	2.80

注：JSGY 表示 Jiangsu Gaiya Environmental Sci. & Techno.; CDSL 表示 Chengdu Shengling Biotechnology Co., Ltd.; UNQT 表示 Univ. Qingdao Technological; UYAG 表示 Hunan Agricultural University; JSSB 表示 Jiangsu Shibang Bioengineering Technology; SHGI 表示 Shanghai Geotechnical Investigation; HSFH 表示 Hanshan Fenghua Supply &Marketing Co., Ltd.; ZZSQ 表示 Zhengzhou Souqu Information Technology; CAGS 表示 Shandong Academy of Agricultural Sciences Agri-food Institute; UYHD 表示 Univ. North China Electric Power.

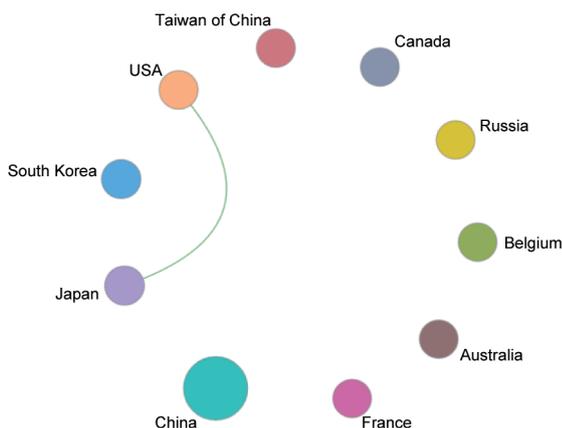


图 2.2.1 “多技术协同土壤污染修复”工程开发前沿的主要国家或地区间合作网络

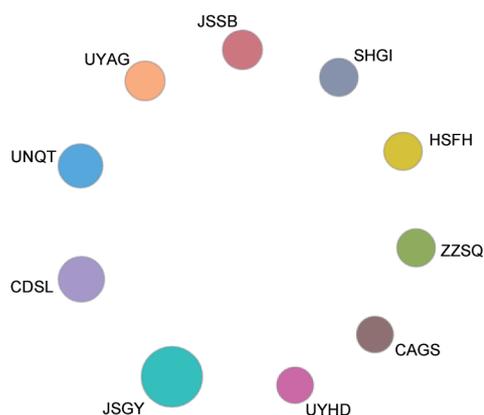


图 2.2.2 “多技术协同土壤污染修复”工程开发前沿的主要机构间合作网络

司开始进军土壤修复行业，主要集中在土壤修复装备中芯片及进程化操作开发，标志着我国土壤修复行业已经逐步迈向模块化、自动化及智能化。

2.2.2 海洋能高效综合利用技术

海洋能是指依附在海水中的可再生能源，包括：潮汐能、波浪能、海洋温差能、海洋盐差能和海流能等，更广义的海洋能源还包括海洋上空的风能、海洋表面的太阳能以及海洋生物质能等。按储存形式又可分为机械能、热能和化学能。海洋能具有蕴藏量大、可持续利用、绿色清洁等特点，是全球应对化石能源短缺以及气候变暖，发展清洁能源、调整能源结构的重要选择之一。

根据国际可再生能源署（IRENA）发布的研究报告（2014年8月），国际潮汐能技术是海洋能技术中最为成熟的技术，其技术程度（TRL）达到9级（商业化运行阶段）；国际潮流能TRL达7~8级（全比例样机实海况测试阶段）；国际波浪能TRL达6~7级（工程样机实海况测试阶段）；国际温差能TRL达5~6级（实海况测试阶段）；国际洋流能技术与盐差能TRL达4~5级（实验室技术验证阶段）。

海洋能产业已现雏形，国际海洋能产业相关机

构已达2500余家；海洋能发电装置装机成本已呈现快速下降的趋势，加快了海洋能技术产业化的步伐。当前国际海洋能技术尚未进入规模化应用阶段，为赶超国际先进水平，我们应紧抓“建设海洋强国”与“建设21世纪海上丝绸之路”战略机遇，通过示范工程的稳定运行带动技术发展，加速海洋能产业培育，为大规模海岛开发和深远海开发提供有效的能源保障。

海洋能蕴藏量巨大，其估算总量约有750亿kW，其中波浪能为700亿kW，温差能为20亿kW，海流能为10亿kW，盐度差能为10亿kW。据初步估计，我国近海风能、潮汐能、波浪能、潮流能、盐差能及南海温差能理论装机容量的总和超过20亿kW，是2007年我国电力总装机容量的三倍，开发利用潜力巨大。

表2.2.3是“海洋能高效综合利用技术”核心专利的主要产出国家/地区。我国在核心专利公开量上排名第二，与排名第一的日本差距不大。但是，我国公开专利的平均被引数却是前十国家里最少的，被引数比例仅占1.21%，与排名第一的美国有不小的差距。这也从侧面说明我国在该领域虽然拥有不少的核心专利，但是专利缺乏创新，影响力不足。我国在该领域的技术水平仍有待提高。从“海

表 2.2.3 “海洋能高效综合利用技术” 工程开发前沿中核心专利的主要产出国家 / 地区

序号	国家 / 地区	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	Japan	233	18.52%	1330	15.30%	5.71
2	China	202	16.06%	105	1.21%	0.52
3	South Korea	199	15.82%	116	1.33%	0.58
4	USA	164	13.04%	2517	28.96%	15.35
5	UK	104	8.27%	1761	20.26%	16.93
6	Germany	88	7.00%	1089	12.53%	12.38
7	France	45	3.58%	266	3.06%	5.91
8	Norway	43	3.42%	419	4.82%	9.74
9	Ireland	20	1.59%	272	3.13%	13.60
10	Sweden	20	1.59%	87	1.00%	4.35

洋能高效综合利用技术”工程开发前沿国家间的合作网络图（见图 2.2.3）可看出，平均被引数排名靠前的美国、英国和德国都和两个国家存在合作关系，而中国仅与美国存在合作关系。

表 2.2.4 为核心专利主要产出机构，其中排名前三的机构分别为：GENE（116）、SIEI（48）和 RORO（29），它们均为欧美的机构。我国的“Wuxi Jintianyang Laser Electronic Co., Ltd.”机构排在第 8 位，但是专利的被引数仅为 5，是前 10 中最少的。图 2.2.4 给出了该开发前沿各个机构机构间的

合作网络图，可以看出该开发前沿在各个机构或者企业间之间的研发合作关系很弱，只有 GENE 和 CONV 存在合作关系，而这两家机构的专利被引数量也是排名最前的。这说明我们应该进一步加强和其他国家、机构间的交流合作，才能进一步提升我国在这一领域的创新能力。

2.2.3 食物性致病微生物快速精准检测技术

随着食品供应体系的发展，直接进入家庭的食品半成品乃至即食食品消费量快速增长，微生物安全

表 2.2.4 “海洋能高效综合利用技术”工程开发前沿中核心专利的主要产出机构

序号	机构	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数	平均被引数
1	GENE	116	9.22%	2442	28.10%	21.05	21.05
2	SIEI	48	3.82%	766	8.81%	15.96	15.96
3	RORO	29	2.31%	161	1.85%	5.55	5.55
4	SMSU	28	2.23%	28	0.32%	1.00	1.00
5	DEWO	25	1.99%	6	0.07%	0.24	0.24
6	CONV	22	1.75%	806	9.28%	36.64	36.64
7	CATE	21	1.67%	57	0.66%	2.71	2.71
8	JLEC	20	1.59%	5	0.06%	0.25	0.25
9	OPEN	19	1.51%	283	3.26%	14.89	14.89
10	NIDE	19	1.51%	118	1.36%	6.21	6.21

注：GENE 表示 General Electric Company；SIEI 表示 Siemens Aktiengesellschaft；RORO 表示 Rolls Royce Holdings PLC；SMSU 表示 SAMSUNG Heavy Industries Ltd.；DEWO 表示 Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.；CONV 表示 Convertteam Technology Ltd.；CATE 表示 Caterpillar Inc.；JLEC 表示 Wuxi Jintianyang Laser Electronic Co., Ltd.；OPEN 表示 Openhydro Group Ltd.；NIDE 表示 NEC Corporation。

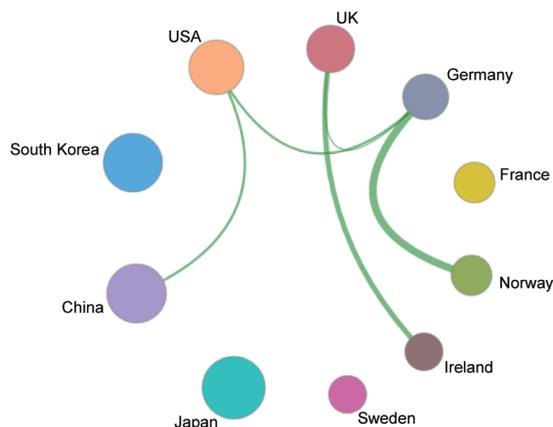


图 2.2.3 “海洋能高效综合利用技术”工程开发前沿主要国家或地区间的合作网络

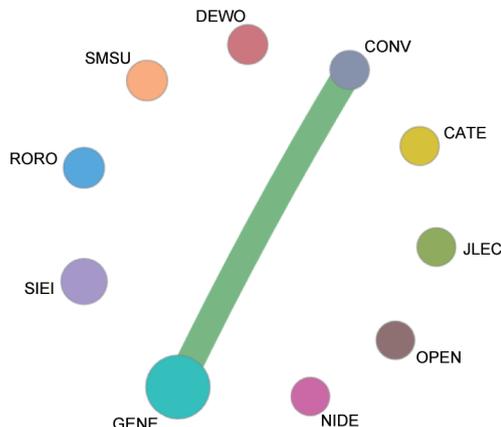


图 2.2.4 “海洋能高效综合利用技术”工程开发前沿主要机构间的合作网络

风险也越来越高，如经过初步加工的肉食、蔬菜等半成品和干酪、沙拉等即食食品，最大的危害风险往往来自于食源性致病微生物。因此食源性致病微生物成为国际食品安全关注的重点，食源性致病微生物鉴定与检测技术在食品安全检测中所占比重越来越大。

食源性微生物的快速精确鉴定和检测是预防与控制人类食源性疾病的最有效方法。目前针对食源性致病微生物的检测主要基于增菌培养与生理生化鉴定相结合的方法（食品微生物学检验国家标准 GB4789），这些方法具有准确性高的优势，因此是目前国内微生物检测的“金标准”，被用来作为最终结果的判定方法。然而，培养结合生理生化鉴定方法具有检测时间长、工作量大、检测通量低等问题，同时基于培养与生化鉴定方法只能检测到活性较高的微生物，而对于活的但不可培养的微生物（VBNC）无法检测到，而 VBNC 微生物在合适的条件下可以恢复活性、并在食品中快速增殖，从而带来安全风险。食源性病原体的传统微生物检测和鉴定方法越来越不能满足现代食品工业对安全检测的要求。因此，研发高灵敏度、高通量、快捷的致病微生物快速检测技术势在必行。

从国际范围来看，目前的快速检测方法由于准确性、稳定性方面的问题，仍然只能用于食品样

品的初步筛查，国内外针对致病微生物仍没有行之有效的快速检测方法。从公开专利来看，专利公开量最多的是美国，其次是中国、日本和韩国（见表 2.2.5）。如果在该领域能够率先开发出稳定、准确、灵敏的快速检测，将在提高食品安全水平、促进食品产业发展、推动进出口贸易等方面占据优势。

食源性致病微生物快速检测未来的发展趋势主要包括缩短检测单种致病菌的时间和多个样品同时检测两个方向。为了平衡时效性、灵敏度和准确性等方面的需求，将不同检测技术联合使用也是目前研究的热点。在诸多新型食源性致病微生物快检技术中，恒温扩增检测技术和免疫检测技术将成为未来主要的发展方向。

表 2.2.5 列出了“食源性致病微生物快速精准检测技术”核心专利的主要产出国，其中美国公开 491 项，排名第 1；中国公开 127 项，排名第 2；日本和韩国分别公开 95 项和 66 项，位列第 3 和第 4。由此可见，中国的核心专利数量与美国虽有差距，但仍远高于其他国家，说明我国在食源致病微生物精准检测技术这一领域已具备研发基础。但是，我国专利的平均被引频次位列最低，仅为 1.09，远低于美国（27.76），荷兰（16.54）和德国（14.27）等发达

表 2.2.5 “食源性致病微生物快速精准检测技术”工程开发前沿中核心专利的主要产出国家 / 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	491	49.10%	13 628	77.90%	27.76
2	China	127	12.70%	139	0.79%	1.09
3	Japan	95	9.50%	1180	6.75%	12.42
4	South Korea	66	6.60%	260	1.49%	3.94
5	France	36	3.60%	298	1.70%	8.28
6	Germany	33	3.30%	471	2.69%	14.27
7	Canada	31	3.10%	390	2.23%	12.58
8	UK	24	2.40%	136	0.78%	5.67
9	Switzerland	23	2.30%	254	1.45%	11.04
10	Netherlands	13	1.30%	215	1.23%	16.54

国家。这一现象说明我国虽有不小的专利基数，但在技术的原创性、创新性和影响力等方面与发达国家仍有较大差距。

从图 2.2.5 可以看出，大多数发达国家之间在“食源性致病菌快速精准检测技术”领域均有频繁密切的合作关系。美国与除韩国以外的其他国家均建立了牢固的合作伙伴关系。瑞士也与欧洲、北美许多国家建立了强大的合作互赢网络。在这 10 个国家中，中国仅与美国存在合作。我国亟待加强国际交流，寻求更为广阔的国际合作机会。

表 2.2.6 为“食源性致病菌快速精准检测技术”核心专利的主要产出机构，其中排名前三的机构

分别为“REGC”（25 项）、“HOFF”（22 项）和“MASI”（15 项）。图 2.2.6 给出了致力于研究“食源性致病菌快速精准检测技术”主要机构之间的协作网络关系图，可以看出该领域的各个机构、企业之间已经存在一定的合作关系。“REGC”与“MASI”和“CALY”存在最为紧密的合作，其中“REGC”和“MASI”的专利数排名前 3，这表明机构间合作对技术创新和企业发展具有促进作用。鉴于此，我国应该进一步深化机构间合作，提升我国在“食源性致病菌快速精准检测技术”领域的科研水平和创新能力，从而更好地促进该领域企业的繁荣稳定发展。

表 2.2.6 “食源性致病微生物快速精准检测技术”工程开发前沿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	REGC	25	2.50%	613	3.50%	24.52
2	HOFF	22	2.20%	242	1.38%	11.00
3	MASI	15	1.50%	61	0.35%	4.07
4	CNRS	15	1.50%	49	0.28%	3.27
5	TEXA	12	1.20%	75	0.43%	6.25
6	CALY	11	1.10%	568	3.25%	51.64
7	STRD	11	1.10%	161	0.92%	14.64
8	UYJO	10	1.00%	234	1.34%	23.40
9	UPEN	9	0.90%	301	1.72%	33.44
10	HARD	9	0.90%	69	0.39%	7.67

注：REGC 表示 Univ California; HOFF 表示 Hoffmann La Roche & Co AG F; MASI 表示 Massachusetts Inst Technology; CNRS 表示 Cent Nat Rech Sci; TEXA 表示 Univ Texas Tech System; CALY 表示 Caly Technologies; STRD 表示 Univ Leland Stanford Junior; UYJO 表示 Univ Johns Hopkins; UPEN 表示 Univ Pennsylvania; HARD 表示 Harvard College。

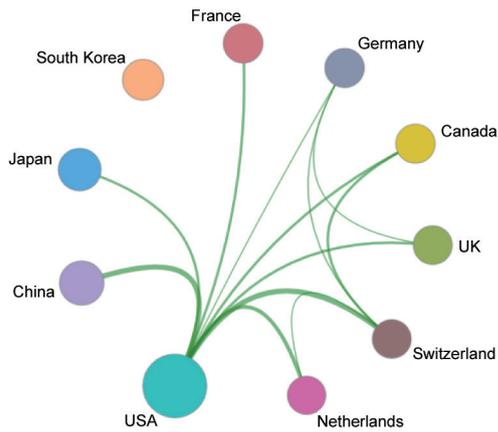


图 2.2.5 “食源性致病微生物快速精准检测技”工程开发前沿的主要国家/地区间合作网络

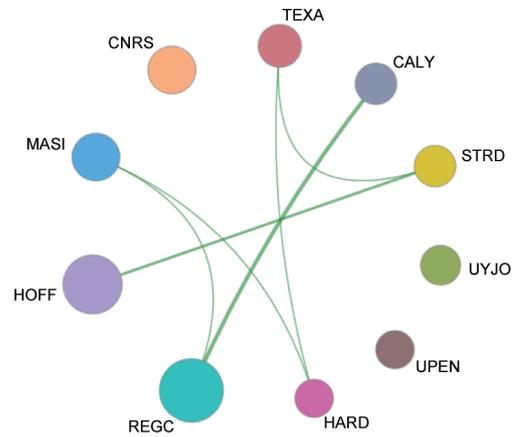


图 2.2.6 “食源性致病微生物快速精准检测技”工程开发前沿的主要机构间合作网络

领域课题组人员

领域课题组长：郝吉明 曲久辉

专家组：

贺克斌 魏复盛 张全兴 杨志峰 张远航
 吴丰昌 朱利中 潘德炉 丁一汇 徐祥德
 侯保荣 张 偲 蒋兴伟 孙宝国 庞国芳
 孙晋良 俞建勇 陈克复 石 碧 瞿金平
 岳国君 陈 坚

工作组：

黄 霞 鲁 玺 胡承志 王 旭 许人骥
 胡 敏 裴元生 陈宝梁 潘丙才 席北斗
 徐 影 宋亚芳 白 雁 马秀敏 李 洁

王 静 覃小红 黄 鑫

办公室：

王小文 朱建军 张向谊 张 姣 郑文江
 张海超 穆智蕊 郑 竞

执笔组：

黄 霞 鲁 玺 席北斗 姜永海 贾永锋
 潘丙才 单 超 胡承志 吴 言 王 旭
 许人骥 盛雅琪 陈雪晴 胡淑雅 徐 影
 宋亚芳 石 英 白 雁 李 洁 马秀敏
 杨 键 王知泓 马 峥 孙宝国 王 静
 王 硕 王俊平 王学利 覃小红 李发学
 毛志平 李 俊 张琳萍 王碧佳 张弘楠
 权震震 黄 鑫 李会芳 柯 乐 王毓嘉