

膜领域国家自然科学基金资助的印迹 (2000—2019): 回顾与展望

郑祥^{1,2}, 陈逸琛¹, 程荣¹, 王力^{1,3*}, 石磊^{1*}

1. 中国人民大学环境学院, 北京 100872

2. 中国人民大学膜技术创新与产业发展研究中心, 北京 100872

3. 生态环境部环境与经济政策研究中心, 北京 100029

摘要 对2000—2019年国家自然科学基金(NSFC)资助的膜分离项目进行统计,并对获得资助的项目类别、项目名称、项目负责人、经费数额、依托单位、地区进行分析,结果表明:(1) NSFC在膜分离领域共资助项目920项,累计资助经费达54684万元,项目资助数量和经费均呈现逐年增长的趋势。(2) 北京、江苏、天津、浙江和辽宁是我国5大膜分离研究区域。(3) 超滤、纳滤、反渗透和正渗透等膜法水处理技术在2010年后的立项数及经费快速上升,而膜反应器领域增长较为缓慢。(4) 从重点项目和重大项目来看,近些年研究方向主要集中于气体分离领域中氢气膜分离技术和二氧化碳膜分离技术、水处理膜领域中膜法饮用水处理和污水再生技术等研究。

关键词 膜分离;项目经费;资助情况;研究热点;国家自然科学基金

作为材料科学和过程工程科学等诸多学科交叉结合、相互渗透而产生的膜技术,特别适于现代工业对节能降耗、低品位原材料再利用和环境治理与保护等重大需求,成为实施国家绿色发展理念的重要组成部分^[1-3]。膜分离技术推广应用的覆盖面可以反映出一个国家过程工业、能源利用和环境保护的水平^[2,4]。

过去30年间,我国在膜领域取得长足进步,面

向水资源、新能源、传统工业技术改造等方面的重大需求,建立了具有中国特色的膜材料设计与制备的理论框架,形成了一系列具有自主知识产权、性能先进的膜材料与膜应用技术体系,为我国环境保护、节能减排与传统产业升级改造做出了重要贡献^[5-6]。

为了推动中国膜技术的快速发展,尽可能缩短与国外先进水平的差距,膜产业作为一种新兴产业

收稿日期:2021-03-21;修回日期:2021-09-23

基金项目:国家自然科学基金项目(52070192, 51778618);中国人民大学科学研究基金项目(21XNH059)

作者简介:郑祥,教授,研究方向为膜分离技术,电子信箱:zhengxiang@ruc.edu.cn;王力(共同通信作者),博士研究生,研究方向为资源与环境经济学,电子信箱:13701077591@163.com;石磊(通信作者),教授,研究方向为环境经济与管理,电子信箱:shil@ruc.edu.cn

引用格式:郑祥,陈逸琛,程荣,等.膜领域国家自然科学基金资助的印迹(2000—2019):回顾与展望[J].科技导报,2022,40(4):85-93;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.04.009

在中国得到大量的政策支持^[7]。2010年《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》将高性能的膜材料与节能环保列入战略性新兴产业^[8]；2012年科技部在《高性能膜材料科技发展“十二五”专项规划》明确提出：膜产业保持快速增长，2015年将达到千亿元规模^[9]；着力培育龙头企业，力争上市公司达到十家以上；布局若干膜产业集聚区，推动集群创新；2016年《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》将高性能纳滤膜和反渗透膜以及污水治理和用于海水淡化的特种膜列为发展重点^[10]；2017年《“十三五”材料领域科技创新专项规划》进一步推动了高性能膜分离技术的发展^[11]。从“十一五”规划到“十三五”规划中，国家陆续出台了一系列与膜分离相关的政策，极大推动了膜分离技术在新能源、新材料、生物医药、节能减排、生态环境等领域的发展应用。

国家自然科学基金项目(National Natural Science Foundation of China, NSFC)是资助基础科学研究最主要的经费来源通道，体现了国家对相关学科的战略引导^[12]。因此基于NSFC视角来分析膜分离学科领域的科研信息，有助于推动膜分离学科领域的发展，更加有益于研究人员在基金申报过程中明确研究方向以及找准科研定位。

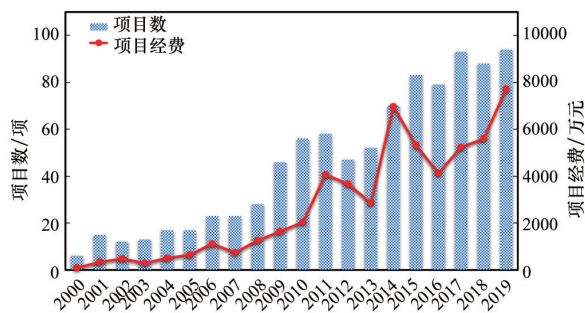
1 国家自然科学基金资助概况

1.1 研究方法

通过NSFC资助项目查询系统对2000—2019年立项的面上项目、青年科学基金项目(下文简称为青年基金)、重点项目、重大项目和重大研究计划(下文统称为重点/重大)、优秀青年基金项目和杰出青年科学基金项目(下文统称为优青/杰青)、地区科学基金项目(下文简称为地区基金)以及创新研究群体科学基金等进行大范围查询筛选和统计，并分类出资助的项目类别、项目名称、项目负责人、经费数额、依托单位、地区等信息，最后通过分析国家重点项目、重大项目的研究内容与研究方向；杰出青年科学基金项目和优秀青年基金项目所研究领域的分布，得出膜分离行业的研究发展趋势。

1.2 近20年间膜分离领域在NSFC的立项情况

2000—2019年，NSFC对膜分离研究领域资助的各类项目的总数量和总经费总体上呈现逐年增长的趋势，共资助项目920项，累计资助经费高达55015万元。每年度资助项目数量和经费情况如图1所示，20年间膜领域立项数从2000年的6项增长到2019年的94项，年资助总经费从96万元增长到7708万元。统计数据显示：2008—2009年开始，NSFC加大膜领域项目资助数量和经费，2011年度资助数量和经费出现了第一个小高峰；2014年度再次出现了一个小高峰，这与当年多个重点项目和杰青基金的立项有关。



注：项目审批时间为2000—2019年，实施时间为2001—2020年，本文图表时间轴均采用审批通过的时间。

图1 NSFC对膜领域资助项目数和资助经费的年度变化(2000—2019)

2000—2019年，NSFC资助面上项目452项，总经费24407万元；青年基金365项，总经费8304万元；地区基金22项，总经费834万元；杰青优青项目共34项，总经费6730万元；重点/重大项目44项(含子项目)，总经费11835万元；从项目数来看，面上项目以49.3%占据首位，青年基金以39.8%的占比紧随其后(表1和图2)。从项目总经费来看，面上项目经费占比为46.8%；青年项目数虽然占39.8%，但因其平均项目经费不超过30万，导致总经费份额仅占15.9%；优青/杰青基金和重点/重大项目虽然项目数较少，但由于单项科研经费较高，两者在总项目经费占据12.9%和22.7%的份额；地区基金因项目数较少，项目经费额度有限，项目总经费仅占1.6%(图2)。

表1 NSFC中5大项目资助数量和经费的年度变化(2000—2019)

年度	面上项目		青年基金		地区基金		重点/重大		优青/杰青	
	项目数/项	经费/万元	项目数/项	经费/万元	项目数/项	经费/万元	项目数/项	经费/万元	项目数/项	经费/万元
2000	4	63	2	33	0	0	0	0	0	0
2001	11	206	3	56	0	0	0	0	1	80
2002	7	166	3	63	0	0	1	150	1	100
2003	7	155	6	137	0	0	0	0	0	0
2004	10	228	5	99	1	25	1	150	0	0
2005	15	403	1	23	0	0	1	220	0	0
2006	16	471	4	86	0	0	2	370	1	200
2007	15	421	7	119	0	0	0	0	1	200
2008	13	414	11	218	1	26	1	200	2	400
2009	28	952	14	266	2	56	2	360	0	0
2010	29	1065	24	473	0	0	2	300	1	200
2011	37	2190	15	373	0	0	3	900	3	600
2012	25	1946	15	373	1	50	3	1316	4	700
2013	28	2249	24	601	0	0	0	0	0	0
2014	22	1781	34	834	1	50	9	2906	4	1000
2015	28	1825	39	811	5	200	7	1423	3	390
2016	37	2338	36	718	1	33	1	300	4	740
2017	36	2294	47	1132	6	232	2	379	1	350
2018	40	2488	38	964	3	121	5	1543	2	480
2019	44	2752	37	925	1	41	5	1650	6	1290

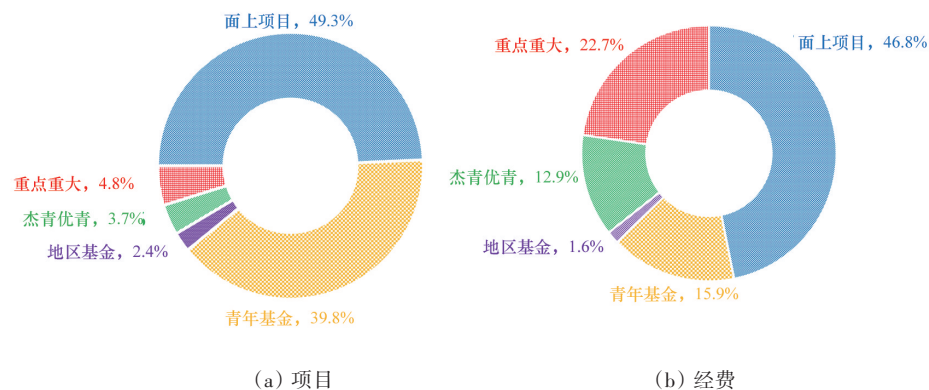


图2 NSFC中5大资助项目与经费占比(2000—2019)

1.3 各类膜分离技术获NSFC资助情况

从各类膜分离技术获得资助的经费来看(图3),项目经费与相关研究领域立项数基本上呈正相关关系,立项最多的液膜和膜反应器其经费均超过了3500万元。虽然膜反应器领域的立项数低于液膜领域但其资助经费高于液膜研究领域,表明膜反应器领域具有更高比例的优青项目、杰青项目、重点项目和重大项目等高经费资助项目。特别是,超滤、纳滤、反渗透和正渗透等膜法水处理技术在

2010年后的立项数与经费快速增加,而反观膜反应器领域和气体分离膜领域则出现了一定的疲软现象,表明随着膜分离技术的发展,膜分离领域的研究方向与热点也在渐渐发生变化。

1.4 重点创新性与高层次人才类项目的立项情况

国家重点项目和重大项目是针对已有良好基础的研究方向或学科生长点进而开展深入、系统的创新性研究以促进学科发展,推动若干重要领域或

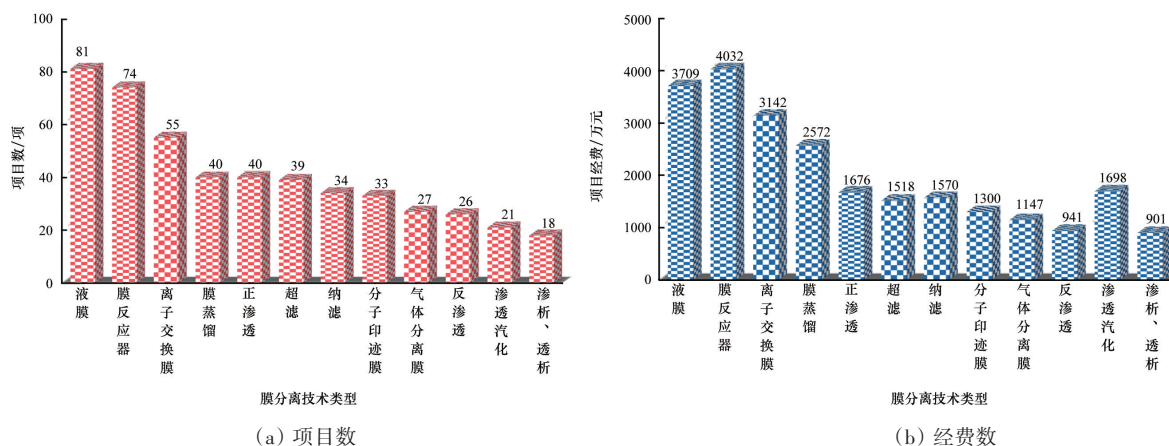


图3 NSFC资助各类膜分离技术的项目数与经费占比情况(2000—2019年)

科学前沿取得突破的基金项目,优青项目和杰青项目是为了培养学科领军人而设立的基金项目。2000—2019年膜分离领域获得NSFC重点创新项目44项(含子项目),其中重点项目29项,重大项目7项(含子项目),重大研究计划8项(含子项目);高层次人才项目35项,其中优青项目14项,杰青项目20项,创新研究群体科学基金项目1项。相比面上项目、青年项目与地区基金项目而言,国家自然科学基金重点项目和杰出青年科学基金单项目

经费相对较高。近20年,重点创新项目与高层次人才类项目对膜分离领域总共资助约19565万元,项目数和项目额度随着年度有较大的波动,但项目平均经费呈上升趋势。相比于2000—2010年,2010—2019年重点/重大项目 and 优青/杰青项目无论在项目数还是项目经费都有显著的增长。其中项目负责人有43位,并在这20年间获得了NSFC的195项资助项目,总经费高达27561万元,这些科研人员主要依托单位如表2所示。

表2 膜分离领域获得NSFC立项数排名前10的依托单位

序号	依托单位	面上项目	青年项目	优青项目	杰青项目	创新群体项目	重点项目	重大项目	重大研究计划	项目总数(项)	经费总额(万元)
1	中国科学院	55	47	0	4	0	5	0	0	111	6165
1.1	生态环境研究中心	12	6	0	1	0	3	0	0	22	1599
1.2	大连化学物理研究所	12	7	0	1	0	0	0	0	20	1112
1.3	长春应用化学研究所	10	3	0	1	0	1	0	0	15	1051
2	南京工业大学	14	13	2	3	1	3	4	1	41	5963
3	天津工业大学	21	15	0	0	0	1	0	1	38	2054
4	浙江大学	19	9	1	1	0	3	0	0	33	2237
5	天津大学	19	5	0	1	0	4	1	2	32	2748
6	四川大学	14	8	2	2	0	2	2	1	31	3298
7	中国科学技术大学	20	5	2	1	0	1	1	1	31	2407
8	大连理工大学	17	9	0	1	0	1	1	0	29	2371
9	清华大学	16	5	0	1	0	1	0	0	23	1503
10	华南理工大学	10	7	0	2	0	2	0	0	21	1965

注: 1.1、1.2、1.3为中国科学院下属研究所总立项数与总经费数前3名。

同时,膜技术领域已经是各大院校和研究机构甚至企业的研究热点,2000—2019年膜领域获得NSFC资助的依托单位共有227个,前10的院校和研究机构立项总数为390项,项目经费达到了

30711万元,占膜分离领域立项经费总数的56.2%;这10个机构立项数均超过20项,有8个机构经费数超过了2000万元。中国科学院立项数量排名第一(111项),南京工业大学41项位居第2,天津工业

大学 38 项位居第三。值得注意的是,第二位的南京工业大学立项数仅比第三位的天津工业大学多出 3 项,比第一位的中国科学院大学少了 70 项,但其经费数超天津工业大学 3525 万元,与中国科学院大学经费数基本持平,平均经费更是高达 139 万元/项,这与南京工业大学获得了多项重点创新性项目与高层次人才类项目有关,四川大学和华南理工大学也存在类似情况。

此外,在 2000—2019 年所统计的 920 个项目所依托的科研机构中,主要分为高校院校和科研院所。其中依托单位为高等院校的占比高达 86.5%,而科研院所仅占 13.5%。虽然项目数量上二者有较大的差距,但是近年科研院所获得的项目数增长速度有所增加。在国家重点项目、重大项目、优青项目以及杰青项目等高经费资助项目中,高等院校优势较大,但科研院所的科研力量也不容忽视,共有 24 个中科院下属研究所获得 NSFC 立项,其中,生态环境研究中心、大连化学物理研究所和长春应用化学研究所,立项经费均超过了 1000 万元,并有 10 个研究所立项数超过了 3 项。

1.5 项目依托机构的区域分布情况

从 2000—2019 年间,全国有 28 个省和直辖市的膜分离研究机构获得了 NSFC 的资助,排名前 10 的区域项目总数达到了 756 项,占总项目数的 82.2%,经费总数为 48636 万,占总经费数的 88.9% (表 3)。其中,北京和江苏 NSFC 的立项数超过了 110 项,经费数也都超过了 9000 万元。其中,北京的立项数占总立项数的 16.5%,江苏的项目经费占总立经费的 19.6%;天津、浙江和辽宁立项数均在 70 项以上,经费也都超过了 4000 万元。可以看出,膜分离科研项目基地主要分布在我国东部和北部沿海地区、中部和东南地区也有一定的比例。主要集中于北京、江苏、天津、浙江、辽宁、上海、广东、山东等城市。NSFC 项目分布集中于这些地区原因可能有:(1) 这些地区高校和科研院所云集,科研力量强大;(2) 这些地区水污染状况也相对严重,膜技术在该区域得到较为广泛的应用;(3) 经济的发展使得这些地区对水质的要求也逐步提高,从而推动膜分离行业的发展。

表 3 膜分离领域获得 NSFC 立项数排名前 10 的区域分布情况

序号	地区	项目数(项)	经费数(万元)
1	北京市	152	7722
2	江苏省	120	10729
3	天津市	76	5038
4	浙江省	73	4044
5	辽宁省	70	4436
6	上海市	63	3724
7	广东省	47	2913
8	山东省	47	1699
9	安徽省	40	2770
10	四川省	34	3397

综上所述,NSFC 对膜分离研究项目的支持力度逐年增大,也从侧面反映出,中国科研机构对膜分离领域的关注度大大提高,研究内容也在广度和深度上有了进一步的发展。

2 讨论

2.1 从近 20 年 NSFC 立项来看膜分离领域基础研究热点的变迁

膜分离基础研究的热点在这 20 年里不断发生变化,这些变化与膜分离技术基础研究的快速发展密切相关。从 20 年的 NSFC 立项来看,与 2000—2009 年相比较,2010—2019 年离子交换膜、超滤、纳滤、反渗透和正渗透等一些膜法水处理方向的基础研究开始增多,更加注重对膜结构的探究以及对膜进行改性提升其性能;同时,液膜的相关内容研究不断增多,表明其基础研究进入更加深层次的阶段。而反观,在 2000—2009 年中占有很大比重的膜反应器、膜接触器和气体分离膜方向的研究,到了 2010—2019 年特别是近 3 年其立项数占比大大下降,以这一层面意味着膜分离领域基础科学研究热点已经渐渐转变到了液膜和膜法水处理领域。

2.2 从 NSFC 重大/重点项目来看我国膜领域发展重心

NSFC 立项项目作为国家政策、社会热点、学科研究方向的学术表达,对膜分离领域的发展具有重要指导作用。重点/重大项目是为实现国家经济、社会与环境可持续发展,进而通过汇集创新力量,

开展多学科交叉融合研究,充分发挥其带头作用并解决相关关键科学问题,是能够提升我国基础科学

自主创新能力而设立的千万级 NSFC 项目^[13],如表 4 所示。

表 4 膜分离方向重大项目资助情况

重大项目名称	相关项目名称	负责人	依托单位	资助金额/万元	立项年份
典型有机化工过程的传递与反应协同机制及强化	新结构膜分离与反应耦合机制及过程强化	金万勤	南京工业大学	160	2009
基于限域传质机制的分离膜精密构筑与高效过程	分离膜中流体混合物的限域传质机制	陆小华	南京工业大学	384	2014
	离子响应性分离膜限域结构的构筑与调控	褚良银	四川大学	256	2014
	分子选择型混合基质膜限域结构形成机制与调变	姜忠义	天津大学	256	2014
	一/二价离子选择性分离膜的制备与应用基础	徐铜文	中国科学技术大学	360	2014
面向高端化学品制造的微化工科学基础	渗透汽化膜的限域效应、制备与应用基础研究	金万勤	南京工业大学	744	2014
	高端聚合物功能材料制备的微化工过程和科学基础	褚良银	四川大学	450	2019

2009年 NSFC 立项“典型有机化工过程的传递与反应协同机制及强化”重大项目,项目经费 1000 万,下设 4 个课题,南京工业大学金万勤教授担任“新结构膜分离与反应耦合机制及过程强化”课题负责人。该课题研究膜分离与反应过程耦合体系中的耐酸碱新型膜材料和管式膜反应器结构、以及耦合过程的协调机理,认识材料结构-过程应用性能之间的构效关系,发展非均相反应体系传递与反应过程的协同调控方法,建立反应与膜分离过程耦合强化基础理论,指导实现苯酚、丙酮催化氧化膜分离与反应耦合新工艺的工业化应用,这与“十一五”规划关于新材料产业中涉及的功能陶瓷膜、电池隔膜、医用血液透析、海水淡化的反渗透膜与组件等分离膜的相关内容有着密切的联系。

2012年《新材料产业“十一五”发展规划》明确将膜材料列为规划内容,并提出三大目标:一是分离膜领域形成完备的、规模化的膜与膜组器的生产技术与能力;二是大力推进膜技术的应用推广;三是加快建立膜产品的标准评价体系和评价中心从而规范膜市场之后。2014年获批立项的“基于限域传质机制的分离膜精密构筑与高效过程”是近 20 年来在膜分离领域首次立项的重大项目^[14]。该项目主要是围绕“界面作用下流体混合物的限域传质机制”和“具有限域效应的膜孔微结构形成机理及调变规律”等关键科学问题,从基础理论、精密构

筑及工程应用 3 方面对离子选择性和分子选择性限域传质分离膜开展研究。由此可知,虽然对于常见的超滤、微滤等基于大孔介质尺寸筛分机制的膜过程,可使用经典的传质理论进行机理分析。而对于渗透汽化、气体分离、反渗透、正渗透以及电渗析等涉及限域传质的膜分离,目前对其机理的认识不清晰,相关膜材料的制备也尚处于经验摸索阶段。因此,对于膜材料的分子、原子尺度的探究,并通过热力学与动力学等多学科交叉的科学研究,进而建立膜材料与膜孔径的特征准则,以及膜过程中膜材料与性能之间的存在的限域传递规律是近些年我国膜分离领域发展重点。

2016年《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》将高性能纳滤膜和反渗透膜以及污水治理和用于海水淡化的特种膜列为发展重点,2017年《“十三五”材料领域科技创新专项规划》进一步推动了高性能膜分离技术的发展,以及 2019年《重点新材料首批次应用示范指导目录》与《产业结构调整指导目录(2019 年)》的发布为膜分离领域带来更多的发展契机。2019年,NSFC 立项“面向高端化学品制造的微化工科学基础”重大项目,下设 4 个课题,力求实现高含能化学品、高端聚合物功能材料、高端纳米粉体材料等三类典型高端化学品的连续、绿色和安全制造,解决我国化工领域诸多卡脖子难题提供科学基础。该项目负责人为清华大

学骆广生教授,四川大学褚良银担任“高端聚合物功能材料制备的微化工过程和科学基础”课题负责人,可以看出大力发展膜分离技术不仅仅是发展新型膜材料的需要,更是支撑国家战略性新兴产业发展的需要。

从近5年立项的重点项目来看(表5),气体分离领域的研究项目数达到了6项、膜法水处理领域的研究项目数为3项,膜材料及分离机理的研究为3项,可见气体分离领域中H₂膜分离技术和CO₂膜

分离技术、膜法水处理领域中膜法饮用水处理和污水再生技术和各类膜材料传质分离机理的研究是近年的基础研究热点方向。同时,液膜与离子交换膜的研究仍然是近些年的热点方向。通过研究结果以提示现阶段的研究者应该关注并不断跟踪水处理行业的最新政策导向与核心进展,这能使相关研究人员有效利用最新技术与方法进行针对性选题,有助于提高NSFC的立项成功率。

表5 近5年膜分离方向重点项目资助情况

序号	项目名称	负责人	依托单位	资助金额/ 万元	立项 年份
1	氢气分离功能导向的新型多孔膜的设计合成与制备	朱广山	东北师范大学	290	2015
2	混合导体透氢膜性能调控及膜反应器应用基础研究	王海辉	华南理工大学	300	2015
3	基于可控表面工程的聚合物纳滤膜研究	徐志康	浙江大学	300	2015
4	膜法饮用水处理介观尺度调控原理	张宏伟	天津工业大学	300	2016
5	化学-物理过程耦合的水处理微场构造原理与作用机制	曲久辉	中国科学院生态环境研究中心	305	2017
6	膜生物反应器耦合电催化强化难降解有机物转化的污水再生技术原理	王志伟	同济大学	300	2018
7	碱性燃料电池阴离子交换聚合物膜的设计与性能调控	严锋	苏州大学	303	2018
8	超薄液膜的快速铺展和涟漪波动及其强化热质传递机理的研究	马学虎	大连理工大学	310	2018
9	面向烯烃与烷烃分离的有机分子筛膜研究	姜忠义	天津大学	315	2018
10	射流乳化功能膜精密构筑与应用基础	邢卫红	南京工业大学	315	2018
11	高强度的自修复与可修复聚合物材料	孙俊奇	吉林大学	300	2019
12	用于脱氮提纯甲烷的氮气优先渗透分离膜研究	王志	天津大学	300	2019
13	基于凝胶的软物质的热质传递机理与性能调控	张立志	华南理工大学	300	2019
14*	面向海上天然气脱除二氧化碳的共价有机框架膜研究	姜忠义	天津大学	252	2020
15*	面向电化学提纯与压缩氢气技术的高性能膜材料和高效过程研究	吴洪	天津大学	248	2020
16*	面向青海盐湖卤水锂提取过程强化的高性能中空纤维正渗透膜材料的设计研究	何涛	中国科学院上海高等研究院	260	2020

注:*为2020年膜分离领域获得的NSFC重点项目。

2.3 膜分离技术与新技术、多学科的融合发展

随着近些年交叉学科概念的兴起、氧化石墨烯等新型材料的出现以及各种膜集成工艺的形成,膜分离领域的研究呈现了多学科、多领域的融合趋势。从NSFC立项项目的资助学部来看,出现了生命科学部、数学学部、医学科学部、地球科学部和信息科学部的身影,呈现出了多学部交叉融合的态势,这将会促进了产学研相关研究方向的紧密结合。近些年出现了正渗透-膜蒸馏集成膜脱盐工

艺关键技术基础研究、电化学技术辅助正渗透膜生物反应器缓解盐累积与汲取液回用研究、饮用水净化的膜组合工艺优化调控原理以及高通量、抗污染氧化石墨烯纳米多孔膜研究为膜法水处理领域带来了新思路与新方向。集成工艺的应用以及多种研究技术与膜分离技术的跨学科交叉融合是我国膜分离领域的基础研究进入了更深层次的探索,而这些前沿的技术融合与应用必然成为NSFC关注与资助的重点方向。

2.4 NSFC 加速了膜分离领域基础研究人才培养

国家杰出青年基金在科学界被公认是学科领军人才的培养摇篮。此外,自2012年起NSFC设立优秀青年科学基金项目,作为人才项目系列中的一个项目类型,优秀青年科学基金项目与青年科学基金项目和杰出青年科学基金项目之间形成有效衔接,促进创新型青年人才的快速成长^[15]。近20年,膜领域青年基金与面上项目在立项数上十分接近,近些年面上项目的中标率有所下降,但青年基金项目中中标率有所增加,可以看出NSFC对青年人才的培养十分重视,极大推动膜分离领域基础人才的培养。2000年以来,在膜分离领域中的20位获得杰青项目资助的科学家中有2位多年前就已经入选中国工程院院士;有9位获得青年项目资助的科学家获得了杰青项目资助;有6位获得青年项目资助的科学家获得了优青项目资助;14位在膜领域获得优青项目资助的科学家目前已有4位获杰青项目资助或科技部中青年科技创新领军人才的荣誉称号,其中2位科学家依次获得了青年项目、优青项目和杰青项目的资助。

3 展望

3.1 紧跟时代特征和社会发展潮流开展研究

国家自然科学基金作为国家政策、社会热点、学科研究方向的学术表达,对膜分离领域的发展具有重要指导作用。膜分离领域在国家自然科学基金项目上的研究方向集中于传统研究领域的基础上,又注重依据国家需求和政策导向同时跟进社会热点问题。随着我国“十四五”规划的展开,绿色发展将成为今后发展的主题。同时,“十四五”规划是实现我国碳达峰的关键期,也是推动经济高质量发展和生态环境质量持续改善的攻坚期。而实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,要从生态文明建设整体布局的角度认识碳达峰、碳中和会给膜分离领域带来的契机。因此,水处理膜领域中膜法饮用水处理技术和污水再生技术,气体分离膜领域中氢气膜分离技术和二氧化碳膜分离技术以及能源转化与储能膜领域中的电池膜与光伏膜技术将是我国膜领域发展重点,也是未

来NSFC项目资助重点。

3.2 在加强原始创新能力和突破“卡脖子”技术方面开展研究

创新驱动发展,以科技创新为手段,增强高质量发展新动能。在现有膜技术发展的基础上,加大投入,着力提高原始创新的能力,重点发展高性能和高附加值的功能膜与材料,突破一批“卡脖子”技术,发展一批“短板”材料,加快形成一批具有自主知识产权的核心技术和高端产品抢占膜技术制高点,并实现跨越和引领,支撑我国膜产业的高质量发展。只有增强膜技术的核心竞争力和发展动力,才能推动我国膜分离技术水平的全面提升。开发高性能膜与材料、突破膜领域存在的重大共性关键技术以及拓展相应膜技术的应用将是今后的发展趋势。

4 结论

NSFC对膜分离领域项目资助情况的统计分析表明,20年来,随着多学科交叉和政策导向,膜分离基础研究热点出现了一些变化,目前更多是侧重于气体分离膜和水处理膜领域;NSFC对膜分离领域研究的资助从数量和金额上都呈现稳步上升的趋势,推动了膜分离领域的发展;从杰青、优青项目和重大专项和重点专项的资助情况来看,膜分离领域的基础科学研究取得了很大进展;从项目承担单位的地区分布上看,总体呈东强西弱态势有集聚效应,需要通过NSFC在中西部地区的项目来培养优秀的青年骨干学术带头人;同时需要优化学科布局和规划,根据研究单位传统优势和发展特色,来集中重点攻关科学难题。相关研究人员要根据自身能力和兴趣形成长期系统的研究方法和方向。保持研究创新和突破,这样才能促进我国膜分离学科的发展。

参考文献(References)

- [1] 郑祥,魏源送,王志伟.中国水处理行业可持续发展战略研究报告——膜工业卷Ⅲ[M].北京:中国人民大学出版社,2019:1.
- [2] 徐南平,高从堦,金万勤.中国膜科学技术的创新进展

- [J]. 中国工程科学, 2014, 16(12): 4-9.
- [3] 孙宏伟, 张国俊. 化学工程: 从基础研究到工业应用[J]. 中国科学: 化学, 2014, 44(9): 1375-1384.
- [4] 邢卫红, 汪勇, 陈日志, 等. 膜与膜反应器: 现状、挑战与机遇[J]. 中国科学: 化学, 2014, 44(9): 1469-1481.
- [5] 郑祥, 孔亚东, 谭送琴, 等. 中美膜领域科研实力比较——基于文献计量学的视角[J]. 膜科学与技术, 2020, 40(3): 136-144.
- [6] 万印华, 沈飞, 苏仪, 等. 高性能膜分离材料、膜过程强化关键技术及装备的研制与应用[J]. 科技促进发展, 2015(3): 369-373.
- [7] 徐慧芳, 谭送琴, 况彩菱, 等. 基于计量的中国膜产业基础竞争力分析[J]. 膜科学与技术, 2018, 38(6): 129-137.
- [8] 国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定[EB/OL]. (2010-10-18) [2021-02-03]. http://www.gov.cn/zwgk/2010-10/18/content_1724848.htm.
- [9] 科技部关于印发高性能膜材料科技发展“十二五”专项规划的通知[EB/OL]. (2012-09-06) [2021-02-03]. http://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/fgzc/gfxwj/gfxwj2012/201211/20121101_97533.html.
- [10] 国务院关于印发“十三五”国家战略性新兴产业发展规划的通知[EB/OL]. (2016-11-29) [2021-02-03]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.
- [11] 科技部关于印发《“十三五”材料领域科技创新专项规划》的通知[EB/OL]. (2017-04-26) [2021-02-03]. http://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201704/t20170426_132496.html.
- [12] 龚旭. 科研资助管理与学科发展战略——国家自然科学基金委员会的学科发展战略研究考察[J]. 中国科学基金, 2016, 30(5): 410-416.
- [13] 孙宏伟, 张国俊. 化工学科发展态势及重大基金项目成果介绍[J]. 化工进展, 2016, 35(6): 1923-1928.
- [14] 孙宏伟, 张国俊, 梁文平. 2014年度国家自然科学基金委员会化学科学部五处科学基金项目申请和评审工作总结[J]. 化工进展, 2015, 34(1): 289-294.
- [15] 张国俊, 孙宏伟, 梁文平. 化工学科自然科学基金对膜分离方向的资助概述及建议[J]. 膜科学与技术, 2014, 34(5): 1-3.
- [16] 朱旺喜, 杨晓伟, 赵志坚. 2020年度国家自然科学基金委员会“化学工程与工业化学”科学基金项目申请和评审工作总结[J]. 化工进展, 2021, 40(1): 559-564.

Imprints funded by the National Natural Science Foundation of China in the field of membranes (2000-2019): Retrospect and Prospect

ZHENG Xiang^{1,2}, CHEN Yichen¹, CHENG Rong¹, WANG Li^{1,3*}, SHI Lei^{1*}

1. School of Environment and Natural Resource, Renmin University of China, Beijing 100872, China
2. Collaborative innovation and industrial development research center for Membrane technology, Renmin University of China, Beijing 100872, China
3. Policy Research Center for Environment and Economy, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China

Abstract This paper makes a statistical analysis of the membrane separation projects funded by the National Natural Science Foundation of China (NSFC) from 2000 to 2019, including the types of the projects funded, the project names, the leading scholars of the projects, the amounts of funds, the supporting entities, and the regions of the related research groups. It is shown that during these 20 years: (1) the NSFC has funded 920 projects in the field of the membrane separation, with a total funding of 54,684 million yuan, and the number and the funding of the projects have shown an increasing trend year by year. (2) Beijing, Jiangsu, Tianjin, Zhejiang and Liaoning are the five major membrane separation research areas in China. (3) The number of projects and the funding for the membrane water treatment technologies, such as the ultrafiltration, the nanofiltration, the reverse osmosis and the forward osmosis, have increased rapidly after 2010, while the growth of the membrane reactors is relatively slow. (4) From the perspective of the key projects and the major projects, the research directions in recent years have mainly focused on the hydrogen membrane separation technology and the carbon dioxide membrane separation technology in the gas separation field, and on the drinking water treatment and the wastewater regeneration technology in the water treatment field.

Keywords membrane separation; project funding; funding status; research hotspot; National Natural Science Foundation of China (NSFC) ●



(责任编辑 祝叶华)