

· 基金纵横 ·

近年国家自然科学基金资助石油工程类项目分析

钟立国¹ 朱旺喜²

(1 大庆石油学院, 大庆 163318; 2 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085)

1 近年资助石油工程类项目基本情况

2003—2008年国家自然科学基金委员会(以下简称 NSFC)工程与材料科学部工程科学一处共资助石油工程钻井、开采和储运类项目 94 项, 资助总额 2882 万元, 占冶金与矿业学科资助项目总数的 9.33% 和资助总额的 7.98%, 其中, 面上项目 88

项, 占石油工程类资助项目的 91.7%。项目数、资助总额和资助强度等总体上呈增加趋势。其中, 资助石油钻井项目 32 项, 资助额 829 万元; 石油开采项目 54 项, 资助额 1538 万元; 石油储运项目 10 项, 资助额 533 万元。NSFC 资助石油工程钻井、开采和储运项目分布情况见表 1—3。

表 1 2003—2008 年 NSFC 资助石油工程项目与矿业学科项目情况

项目	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	合计	
项数	矿业方向总资助项目数	142	138	146	167	186	1007	
	石油类项目数	7	14	11	21	17	94	
	石油类项目所占比例(%)	4.93	10.14	7.53	12.57	9.14	10.53	9.33
金额 (万元)	矿业方向资助总额	5238	4067	3556	6573	7254	36 098	
	石油类项目资助总额	140	436	282	683	625	2882	
	石油类项目所占比例(%)	2.67	10.72	7.93	10.39	8.62	7.61	7.98
资助强度 (万元/项)	矿业方向平均资助强度	36.9	29.5	24.4	39.4	39.0	41.3	35.8
	石油类项目平均资助强度	20.0	31.1	25.6	32.5	36.8	29.8	30.7

表 2 2003—2008 年 NSFC 资助石油工程项目详细情况

项目	2003 年		2004 年		2005 年		2006 年		2007 年		2008 年		合计		
	项数	金额 (万元)	项数	金额 (万元)	项数	金额 (万元)	项数	金额 (万元)	项数	金额 (万元)	项数	金额 (万元)	项数	金额 (万元)	
面上项目	自由申请	6	117	8	162	9	232	13	360	10	321	17	582	63	1774
	青年基金	1	23	2	44	1	25	3	79	5	95	6	125	18	391
	地区基金													0	0
	重大研究计划			3	90	1	25	3	95					7	210
杰出青年基金									1	200			1	200	
重点项目			1	140			1	140					2	280	
重大项目													0	0	
部主任基金							1	9	1	9	1	9	3	27	
合计	7	140	14	436	11	282	21	683	17	625	24	716	94	2882	

表 3 2003—2008 年 NSFC 资助石油工程项目在钻井、开采和储运领域的分布情况

项目	面上				杰出青年基金	重点项目	重大项目	部主任基金	小计
	自由申请	青年基金	地区基金	重大研究计划					
石油钻井	19	6		4				2	31
石油开采	38	10		3		1		1	53
石油储运	6	2		0	1	1			10
石油工程	63	18	0	7	1	2	0	3	94
冶金与矿业工程	647	180	43	34	26	36	6	35	1007
石油工程项目所占比例(%)	9.74	10.00	0.00	20.59	3.85	5.56	0.00	8.57	9.33

本文于 2009 年 7 月 5 日收到。

2 资助石油工程项目的特征

2.1 面向国民经济发展与国家能源安全需要

目前我国已成为仅次于美国的世界最大石油消费国,2008年石油消费量达到3.6亿吨。据海关总署的统计数据,2008年中国石油(包括原油、成品油、液化石油气和其他石油产品)净进口量达2.0亿吨,对外依存度已升至接近52%,而在加入世贸组织(WTO)前的2001年,中国石油进口依存度只有30%。国民经济的发展需要稳定的石油供应,预计2010年将突破4亿吨,对外依存度将升至60%,由于国内油气可采储量降低,进口依存度将不断上升,将对国家能源安全构成更大的威胁,加强石油工程基础研究,提升石油工程科技竞争力,有效开发国内油气资源、大力拓展国外油气开采业务,具有明显的必要性和紧迫性。

国内石油工程钻井、开采和储运科技进步为老油田提高采收率、难动用储量有效开发、油气资源高效利用及国外油气资源开发提供了有力的技术保障。在这方面,NSFC紧跟科技前沿发展和关键科技需求,在相关领域的基础研究方面给予了有力的资助和支持。例如,深层火山岩油藏钻井、导向钻井、老油田化学驱和微生物驱提高采收率、天然气水合物和稠油等复杂油气藏开发及天然气储运等重要基础研究成果对我国石油资源开发利用发挥了积极的作用。

2.2 学科部署平衡兼顾,重点方向持续发展

石油工程钻井、开采和储运是石油工业上游-油气资源开发的关键环节,钻井是建立油藏与地面的通道,开采是根据油藏的地质条件、制订科学的开发和采油方案,合理的将油气采至地面,储运则是将采出的油气以合适的方式储存或输送,三个方面协同发展和有效衔接,才能保证油气高效、高速开发利用。随着油气资源开发的不断深入,复杂的油藏条件和地面条件向石油工程科技提出了更大的挑战,钻井向深井超深井钻井、复杂构造和岩性油藏钻井、复杂结构井钻井等领域延伸,开采向特高含水油藏、低渗透油气藏、复杂断块油气藏和复杂岩性油气藏等方向发展,储运方向涉及天然气(包括二氧化碳)储存、复杂气候或地表条件地区管道设计、复杂多相管流及智能信息管理等。由表4可知,2004—2009年期间NSFC资助方向基本涵盖了这些前沿领域和方向,并在深层和复杂油气藏钻井及复杂结构井钻井、提高油气采收率、复杂渗流理论与数值模拟、天

然气水合物和稠油等复杂油气藏开发理论与技术及多相管流与油气储运等重点或热点方向进行了持续资助,基本做到了学科部署平衡兼顾、重点方向持续发展。

表4 2003—2008年NSFC对石油工程钻井、开采和储运资助项目研究方向情况

石油学科领域	资助方向	项数	金额(万元)
钻井	岩石与管柱力学	17	515
	复杂结构井钻井	7	162
	深层钻井	7	315
	复杂岩性油藏钻井	4	95
	钻井智能化与信息管理	2	46
开采	复杂渗流理论与数值模拟	18	446
	提高原油采收率	12	401
	复杂油气藏开发	7	216
	油田化学与生物学	6	168
	复杂结构井	2	31
	开采机械与工具	4	102
储运	油气储运	4	282
	油气多相管流与输送	3	73
	智能信息管理	3	61

2.3 多个学科交叉融合,多种研究方法综合应用

石油工程钻井、开采和储运的研究对象包括复杂油气藏及复杂地面、气候等外界环境,其中的科学问题涉及地质学、岩石力学、管柱力学、渗流力学、水力学、数学、化学、微生物学、信息与计算机科学、管理学等多个学科,面向这些问题的项目研究中要求多个学科交叉融合,综合应用理论、实验和现场测试等多种研究方法。例如,在复杂油气藏渗流研究中就要涉及地质学、岩石力学、渗流力学、数学、化学、信息与计算科学等学科,采用地质建模、有限元、有限差分 and 实验测试等多种方法,其中在实验模拟中可能需要引入CT扫描、核磁共振、电子探针等先进的分析测试技术。

2.4 应用基础研究与基础研究相结合,兼顾应用转化与科技储备

基于石油工程理论和实验等基础研究,催生新理论、新技术、新材料和新产品,应用于油田开发生产实践,创造经济效益和社会效益,这是石油钻井、开采和储运研究的根本目的。应用基础研究方向的资助有助于产生专利及其他可推广应用成果,通过NSFC工程与材料科学部工程一处近六年对石油工程类项目的资助,已经产生专利和其他成果120余项,其中,可推广成果19项,已经推广成果14项。在智能化、信息化和集成化等前沿基础研究方面正在探索方向,超前研究,做好科技储备。

3 石油工程类项目资助的作用和意义

石油是世界上最重要的能源和原材料之一,消费量居所有能源之首。但是,作为一种消耗性的化石能源,剩余未开采石油储量不断减少,且质量也必然越来越差。尽管人们正在努力寻求新的可替代能源,但是预计本世纪,甚至更长一段时间内,世界能源仍会以石油为主。因此,石油的开发利用对世界经济和我国经济的发展仍将具有深远的影响。

石油科技进步促使世界石油工业增长方式发生了根本性转变,推动石油开采业不断发展。欧美石油公司和油田服务公司通过石油工程及相关学科的研究积累,在石油工程基础科学、技术服务及专利产品等方面一直保持着国际领先优势,进而,长期直接或间接控制着世界大范围的石油工业。美国 Schlumberger、Baker Hughes、Halliburton、Weatherford 等油气开采技术服务公司占据钻井、完井、开采、储运等领域油气服务的前4位,这些油气服务公司的科学技术优势得益于石油工程科技发展的科学部署、高效的研发管理体系和充足的研发投入。同时,一个不容忽视的方面是美国和企业界对石油工程及相关学科基础研究方面的长期投入和积累。

中国作为世界石油消费大国,国民经济对石油的依赖程度正在不断增大。加强石油工程科技研究,促进石油工程科技进步,对高效、高速开采国内石油资源,拓展开采国外石油资源,具有重要的意义。与国外相比,我国石油工程及相关学科的基础研究相对薄弱,研发管理体系还不健全,因此,科学部署石油工程科技基础研究的方向,合理配置学科的平衡发展,加强石油工程科技基础研究,为我国石油工程科技进步和石油工业发展提供保障是非常重要的。NSFC对石油工程钻井、开采和储运类项目的资助为石油工程科技前沿和重点领域的基础研究提供了有力的支持,使得我国石油科学基础研究不断得到加强,并取得了丰富的研究成果。

3.1 跟踪前沿,围绕基础科学问题,形成稳定的石油工程科技基础研究布局 and 方向

通过连续多年对石油工程钻井、开采和储运领域前沿和重点方向的资助,形成了稳定的、具有特色的面向石油工程科技发展战略需要的基础研究布局 and 方向,基本把握了石油工程科学基础研究的前沿。2003—2008年NSFC对石油工程钻井、开采和储运类资助项目的主要研究方向如表4所示,可见,石油工程钻井研究方向主要是复杂油气藏钻井及复杂结

构井钻井,研究内容涉及岩石力学、管柱力学、水力学和智能化与信息管理等;石油工程开采研究方向主要是化学驱和微生物驱等提高原油采收率理论与技术、复杂渗流理论与数值模拟、油田化学与生物学及天然气水合物和稠油等复杂油气藏开发;石油工程储运研究方向主要是油气储存、油气多相管流与输送及智能信息管理。

3.2 突出重点,以点带面,营造良好的石油工程科学基础研究氛围

石油钻井、开采和储运是典型的采矿工程学科,科研工作倾向于面向应用的理论、技术和产品研究开发,解决油田生产中遇到的实际问题。长期以来,在石油工程领域内面向钻井、开采和储运工程中科学问题的基础研究一直未引起重视,投入的人力和物力少,研究成果也非常有限。但是,随着石油工业的快速发展,面临着越来越多的理论和技术难题,要求石油工程钻井、开采和储运科技研究不断深化,前沿性和创新性科技基础研究的重要性日益显著。NSFC在合理规划部署石油工程科学基础研究方向,对石油工程学科的前沿方向保持连续性的资助,并对优先领域的重要课题进行重点资助,以点带面,营造良好的石油工程科学基础研究氛围,使石油工程科学基础研究不断得到重视和加强,与应用型项目相互促进,在石油工程科学基础研究的学科建设等方面发挥了积极的作用。

3.3 提倡竞争,促进合作,形成以中青年带头人为首的研究群体

2003—2008年间获得NSFC工程科学一处石油工程项目资助的共有79人,其中教授54人,副教授17人,副研究员3人,博士后2人,讲师3人。具有博士学位的69人,硕士学位的7人,学士学位的3人。获得NSFC资助者的年龄分布见图1,可见,获得NSFC资助的主体为36—50岁之间的中青年科研工作者,共49人,占总资助人数的62.0%。通过NSFC的资助,使一大批从事石油工程钻井、开采和储运研究的中青年带头人脱颖而出,形成以具有博士学位的中青年教授为学科带头人的稳定研究群体,成为石油工程钻井、开采和储运研究领域的中坚力量。在中国石油大学(北京)、中国石油大学(华东)、西南石油大学、大庆石油学院、西安石油大学、长江大学、华东理工大学、燕山大学、成都理工大学、中国石油勘探开发研究院等科研院所中形成了专门从事石油工程钻井、开采和储运研究的队伍和机构。

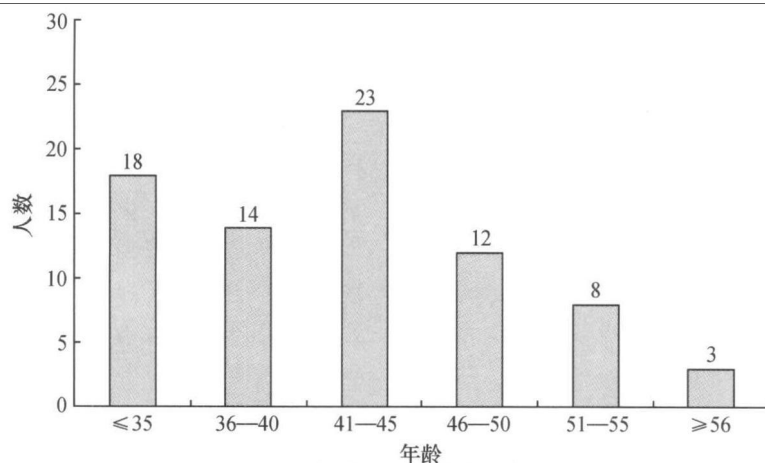


图1 NSFC资助项目负责人年龄分布

3.4 科学研究,激励创新,取得了丰富的科研成果

2004—2009年石油工程钻井、开采和储运类结题项目的主要成果见表5。可见,近年NSFC资助石油工程类项目的论文总数、国际会议论文、国外期刊论文、国内期刊论文、被三大检索机构检索的论文、专利、著作、鉴定评议的相关课题和获得高级别科研奖励不断增加,同时培养的硕士、博士、博士后数量总体上也在逐年增加。在结题的53个项目中,共发表论文916篇,其中国际会议85篇,国外期刊46篇,国内期刊675篇。在人才培养方面,一方面培养了大批项目负责人,使其成为石油工程学科的学术带头人或学术骨干;另一方面又培养了一批博士后、博士和硕士,

保证石油工程钻井、开采和储运研究队伍的可持续发展。基于NSFC资助项目的硕士和博士学位论文及博士后科研报告具有基础理论水平高,创新点明显等特点,激励一大批科研后备力量投身于石油工程学科基础研究中来,在理论和实验基础研究中得到充分的锻炼和发展。在学术交流方面,通过国内外的学术会议、期刊和网络等传媒进行国际和国内学术交流,在国内科学家之间及与国际知名科学家和研究机构之间开展了广泛的交流和合作。同时,还取得了专利及其他成果120余项,平均每个项目取得2项以上的成果,其中部分成果已经得到了推广应用。

表5 2004—2009年石油钻井、开采和储运类结题项目的主要成果

项目	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	合计
结题项目数	5	6	9	8	12	13	53
论文总数	88	64	135	272	149	208	916
国际会议	9	9	6	37	16	8	85
国外期刊	3	3	5	19	9	7	46
其他会议	15	1	9	21	11	14	71
国内期刊	61	51	115	195	113	140	675
SCI	3	1	5	18	8	28	63
EI	13	12	60	95	32	67	279
ISTP	3			8	5	7	23
著作	4	3	9	5	3	5	29
DW专利	2	3	3	29	25	14	76
其他成果	4	7	12	10	6	8	47
国家奖励	0	0	0	二等1项	二等2项	二等1项	二等4项
省部奖励	一等1项	一等3项 二等2项	一等1项 二等1项	一等2项 二等4项	一等4项 二等1项	一等3项 二等1项	一等14项 二等9项
人才培养							
博士后	3	2		13	5	8	31
博士	24	16	24	45	27	51	187
硕士	44	25	68	59	51	97	344

4 发展趋势与展望

在中国石油对外依存度居高不下的条件下,国内油气开发形势也非常严峻,对石油工程钻井、开采和储运科学基础研究与应用基础研究提出了更高的要

求。NSFC将持续资助石油工程钻井、开采和储运的基础研究和应用基础研究。注重石油工程科学发展前沿与国家科学研究战略相结合,瞄准国际发展前沿,在国家急需和战略发展的石油工程重点领域进行

优先资助,加大资助力度和促进体制完善,使我国石油工程基础研究达到国际先进水平,不断增加科研成果数量,提高科研成果质量。

纵观世界石油工程钻井、开采和储运研究进展和热点方向(见表6),世界石油工程研究的前沿领域和重点方向主要集中在:(1)以信息化和集成化为特征的智能理论与技术;(2)以多学科综合为特征的新技

术、新工艺、新材料和新产品。在整个石油钻井、开采和储运工程中,通过大规模应用信息技术,实现数据采集、处理、解释的一体化,并使用人工智能技术和神经网络技术,实现以信息技术为主导的四维模拟和自动化管理,并采用仿生和纳米等新技术、新工艺、新材料和新产品,大幅度提高油气开发总效益。

表6 世界石油工程钻井、开采和储运的研究进展和热点方向

学科领域	研究方向	研究热点			
钻井	智能井与数字油田	智能井技术 油田数字化管理			
	钻井新工艺和新技术	膨胀管技术 连续管钻井技术 套管钻井技术			
		控制钻井技术:微流控制、连续循环和动态环空压力控制 单一井径膨胀管建井技术			
	导向钻井	过钻头测井系统 旋转导向钻井技术 随钻地层压力测试器 随钻低频四极横波测井技术 测量横向弛豫时间的磁共振随钻测井仪器			
		开采	油气开采理论与技术 (含提高采收率理论与技术)	油藏动态表征与储层建模 海相碳酸盐岩天然气开发 三维交互式油藏地质综合研究 水平井水驱多学科综合研究 水平井与热力采油 交叉流动控制 CO ₂ 驱提高采收率 重油就地改质开发 功能性纳米粒子提高原油采收率 最大储层接触井(MRC) 智能完井 智能油田 井下储层流态无源地震监测 储层千兆级网格模拟 注入流体随机变性 水平分支井流入量灵巧控制 油田智能化全自控开发 仿生井 深入储层纳米级侦测 采油表面活性剂和聚合物 海底生产系统 压裂增产新工艺和新材料 低污染地层流体采样技术 水平井控水防砂技术:装置及完井优化系统 高导流聚能射孔技术	
			智能化开发集成技术		
			开采新工艺与新产品		
				储运	油气管道智能检测与管理
	油气储运新材料与新产品				复合补强钢管长输管道 挠性管清除管道堵塞 纳米孔天然气储存装置

NSFC 将跟踪世界石油科技发展前沿和热点问题,立足石油科技发展需要,参照国家科技发展规划,不断加强和深化石油工程钻井、开采和储运的基础研究和应用基础研究,围绕智能化、数字化、集成化、新技术、新工艺、新产品和新材料等优先主题,资助与导向钻井、钻井新工艺与新技术、提高油气采收率、智能化开发集成技术、开采新工艺与新产品、油气管道智能检测与管理、储运新材料与新产品等方向有关的基础科学研究。鼓励采用多学科交叉、多

团队协作,共同完成前沿性和高度综合性的科学问题,并进一步完善项目管理机制,保证基金项目的科学性、原创性和有效性。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会. 自然科学学科发展战略调研报告:冶金与矿业学科. 北京:科学出版社,1997.
- [2] 国家自然科学基金委员会. “十五”优先资助领域论证报告集. 北京:原子能出版社,2002.

ANALYSIS ON PETROLEUM ENGINEERING PROJECTS FUNDED BY NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

Zhong Ligu¹ Zhu Wangxi²

(1 Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318; 2 National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

· 资料 · 信息 ·

我国科学家在 高分子结晶领域取得新的进展

在国家自然科学基金的资助下,南京大学胡文兵教授课题组与德国和法国科学家合作,利用高分子的自晶种技术来制备大批量尺寸和取向均一的小单晶。这一方法有望满足半结晶的高分子光电功能材料对均一分子取向的要求。所采用的样品除了聚乙烯基吡啶与聚环氧乙烷嵌段共聚物之外,还有聚二茂铁基二甲硅烷。后者具有二茂铁夹心配位结构,可作为高分子特殊的电磁功能材料广泛应用于电子仪器、仪表和通讯等领域。

胡文兵课题组就该成果于 2009 年 4 月在《自然-材料学》(*Nature Materials*, 2009, 8(4), 348—353) 上发表了题为《利用自晶种方法克隆高分子单晶》的论文。

链折叠现象广泛存在于高分子结晶过程中。链状大分子在结晶时为了有利于非平衡相转变动力学,总倾向于形成亚稳态的折叠链片晶,使得半结晶的高分子材料通常具有层状的结晶相和非晶相彼此复合在一起的织态结构。结晶相为材料提供了必要的强度和硬度,非晶相则为材料提供了很好的韧性和弹性,所以高分子材料的性能有别于常见的金属、玻璃和陶瓷等无机材料。高分子片晶的厚度一般只有几十纳米,这样薄的晶体其熔点会远远低于热力学平衡熔点。因此在高分子薄片晶发生熔化时的温度仍然低于平衡熔点,过冷的熔体还有生成更厚更稳定晶体的可能。这种熔化和结晶共存的悖论状态可以利用来制备较厚的高分子晶种,从而在特定的位置和取向上引发同种高分子晶体的生长。这就是所谓的自晶种技术。

学平衡熔点。因此在高分子薄片晶发生熔化时的温度仍然低于平衡熔点,过冷的熔体还有生成更厚更稳定晶体的可能。这种熔化和结晶共存的悖论状态可以利用来制备较厚的高分子晶种,从而在特定的位置和取向上引发同种高分子晶体的生长。这就是所谓的自晶种技术。

该文章对小单晶的克隆机理进行了深入的探讨。这一制备技术的成功很大程度上依赖于高分子片晶内部厚度的不均匀性。片晶内部较厚的结晶区域由于具有较高的热稳定性,能够在高温熔融热处理时幸存下来成为高分子自晶种,从而在低温下批量诱导小单晶的生成。基于简单格子模型的动态蒙特卡罗分子模拟证实了片晶内部的厚度不均匀现象。

胡文兵教授课题组多年来致力于高分子结晶的分子理论和模拟研究,在 高分子结晶的统计热力学、微观动力学和特殊形态学等领域均取得了系统的研究成果。他本人于 2004 年入选教育部新世纪优秀人才培养计划,并于 2008 年获得了国家杰出青年科学基金的资助。

(化学科学部 供稿)