



学科发展战略研究报告

冶金与矿业学科发展 战略研究报告

► (2016~2020)

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部



科学出版社

学科发展战略研究报告

冶金与矿业学科发展战略研究报告

(2016~2020)

国家自然科学基金委员会
工程与材料科学部

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家自然科学基金项目“冶金与矿业学科发展战略研究与十三五规划”的研究成果。书中对冶金与矿业学科所属石油工程、矿业工程、矿物分离、冶金工程、材料工程及安全工程五个学科领域分别进行了研究和阐述。主要包括学科的战略地位；学科的发展规律和发展态势；学科的发展现状与发展布局；学科的发展目标及其实现途径，包括需要加强的优势方向、需要扶持的薄弱方向、需要鼓励的交叉方向及需要促进的前沿方向等。根据各学科领域的战略发展报告，提出了学科优先发展领域及跨学科或跨学部交叉优先领域，主要包括：该领域的科学意义与国家战略需求；该领域的国际发展态势与我国发展优势；该领域的发展目标；该领域的关键科学问题与主要研究方向。结合本学科自身特点与发展规律，从人才队伍建设、经费投入保障、宣传贯彻活动、过程监督管理等方面，提出了较为具体且可实施的工作措施及政策建议。

本书是国家自然科学基金委员会“十三五”发展战略研究系列报告的组成部分。经过本学科数十位两院院士、数百名中青年专家历时近两年的研究、讨论和反复修改完成，它将是冶金与矿业学科“十三五”期间乃至 2030 年前遴选优先资助领域的重要参考依据，可供高等院校、科研院所科研人员开展研究参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金与矿业学科发展战略研究报告：2016~2020/国家自然科学基金委员会工程与材料科学部编. —北京：科学出版社，2017.7

(学科发展战略研究报告)

ISBN 978-7-03-053860-4

I. ①冶… II. ①国… III. ①冶金工业-发展战略-研究报告-中国-2016~2020 ②矿业工程-发展战略-研究报告-中国-2016~2020
IV. ①TF ②TD

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 139665 号

责任编辑：李 雪 刘翠娜/责任校对：桂伟利

责任印制：张 倩/封面设计：王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年7月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2017年7月第一次印刷 印张：19

字数：363 000

定价：128.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)



《冶金与矿业学科发展战略研究报告(2016~2020)》专家组

领导小组

- 组长：何满潮 中国科学院院士、中国矿业大学(北京)教授
朱旺喜 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部
- 成员：高德利 中国科学院院士、中国石油大学(北京)教授
刘炯天 中国工程院院士、郑州大学教授
李元元 中国工程院院士、吉林大学教授
袁 亮 中国工程院院士、中国矿业大学教授
薛庆国 北京科技大学教授
- 秘书：杨晓杰 李 军 张俊文

石油工程组

- 组长：高德利
- 成员：刘清友 孙宝江 郭柏云 邓金根 李根生 汪志明
蒋官澄 楼一珊 李 琪 金 衍 张烈辉 姚 军
姜汉桥 吴晓东 宋考平 侯吉瑞 张忠智 张劲军
宇 波
- 秘书：金 衍 (兼)

矿业工程组

- 组长：何满潮
- 成员：王家臣 宋卫东 才庆祥 姜耀东 王来贵 乔 兰
谭云亮 邹友峰 康红普 孙晓明 毛德兵 高全臣
杨维好 何学秋 聂百胜 王云海 邹声华 王恩元
琚宜文 王延斌 李启民 宫伟力 郭志飏 姜鹏飞
李祥春
- 秘书：杨晓杰(兼) 王 炯 刘冬桥

矿物分离组

组长：刘炯天

成员：韩跃新 孙春宝 胡义明 胡岳华 车小奎 文书明
曹亦俊 冯 莉 倪中海 程宏志 张一敏 于建国
池汝安 郭珍旭 刘亚川 吕宪俊 马少健 朱庆山

秘书：曹亦俊（兼） 张海军 苗真勇

冶金工程组

组长：薛庆国

成员：李 劼 张延安 李 梅 池汝安 黄小卫 白晨光
郭占成 张立峰 李光强 朱苗勇 齐渊洪 齐 涛
廖春发 邢献然 鲁雄刚 彭金辉 杨 斌 王习东

秘书：胡晓军 王祎

材料工程组

组长：李元元

成员：聂祚仁 张国庆 秦明礼 翟启杰 李建国 朱 敏
王昭东 谢建新 邓运来 李松林 宋晓艳 张卫文
朱 胜 李晓延 叶福兴

秘书：席晓丽 高 峰

安全工程组

组长：袁 亮

成员：傅 贵 申世飞 张和平 张来斌 何学秋 吴 超
李树刚 金龙哲 宋守信 李 涛 周福宝 帅 健
樊运晓 孙金华 张江石 佟瑞鹏 谭 波 王喜世
王青松

秘书：傅 贵（兼） 张江石

序

党的十八大提出，科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。十八届五中全会强调，各类创新中最重要、最关键、最核心的是科技创新，最困难、最具挑战的也是科技创新，科技创新对生产力和生产关系都具有决定性影响。深入开展战略研究、科学谋划科学基金“十三五”发展，对于推进科技创新、服务创新驱动发展、建设创新型国家，具有十分重要的意义。

国家自然科学基金“十三五”规划战略研究着眼 2020 年建成创新型国家的战略目标，围绕影响科学基金长远发展的重大战略问题展开。规划战略研究的主要内容框架包括三个部分，即：战略目标、战略任务、政策措施。

战略目标从总量并行、过程并行、源头并行三个维度，探索基础研究发展目标“指标化”的规划手段，科学设计中国基础研究未来发展的表征措施。主要涉及基础研究总投入与宏观产出等方面指标；我国基础研究在世界科学发展格局与演进过程中可能产生的重大成果和重要贡献；在源头上孕育新的学术思想、涌现出原创性重大成果的数量和质量的情景分析等。

战略任务围绕履行筑探索之渊、浚创新之源、延交叉之远、遂人才之愿的使命，不断优化科学基金在鼓励探索、培育原创、激励交叉、陶铸人才等方面的战略布局；统筹科学基金对基础性、前沿性、战略性基础研究的资助部署。

政策措施的战略研究内容主要包括：保障经费投入、健全法规制度、完善评审评价机制、强化绩效管理、加强队伍建设、推动信息化建设、营造创新文化等。

结合“冶金与矿业”学科特点，在已有学科战略研究成果的基础上，国家自然科学基金委员会工程与材料科学部组织该领域专家、学者，从学科发展战略、优先发展领域及资助战略三个方面，开展了“冶金与矿业”学科发展战略研究与十三五规划。该工作的开展，将进一步促进学科基础研究发展、原始创新，以及优秀人才培养和凝聚。

国家自然科学基金委员会副主任
中国科学院院士 姚建年

2016 年 10 月

前 言

党的十八大提出，坚持发展是硬道理的本质要求就是坚持科学发展。其战略指导思想为“科学引领未来，创新驱动发展”，科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。要坚持走具有中国特色的自主创新道路，以全球视野谋划和推动创新，提高原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新能力，更加注重协同创新。深化科技体制改革，加快建设国家创新体系，着力构建以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系。完善知识创新体系，实施国家科技重大专项，实施知识产权战略，把全社会智慧和力量凝聚到创新发展上来。党的十八届四中全会强调，要完善创新驱动政策环境。“十三五”时期是我国全面建成小康社会的关键时期和建设创新型国家的冲刺阶段。深入开展战略研究，科学谋划科学基金“十三五”规划发展，对于繁荣基础研究、提升我国原始创新能力、服务创新驱动发展战略，具有十分重要的意义。为此，国家自然科学基金委员会（简称“基金委”）开展了“国家自然科学基金‘十三五’规划战略研究工作”。

“冶金与矿业”学科作为该研究工作的基本单元之一，涵盖了石油、煤炭、冶金、材料、安全等多个领域，跨度很大，是人类社会赖以生存和发展的重要基础。根据基金委工程与材料科学部的统一部署，冶金与矿业学科于2014年6月在基金委召开了学科发展战略与“十三五”规划项目启动会议。

本报告对冶金与矿业学科所属石油工程、矿业工程、矿物分离、冶金工程、材料工程及安全工程等学科领域分别进行研究和阐述。围绕未来五年我国基础研究相关学科的总体发展态势，从冶金与矿业学科的研究特点和基本状况出发，分析和辨识我国冶金与矿业学科及其重要方向所处的发展阶段，根据衡量“总量并行”、“过程并行”和“源头并行”这三个阶段的不同指标，提出了本学科的发展目标及发展方向，勾勒了学科发展“地貌图”。它主要包括：学科特点、学科发展的自身需求和经济社会发展对学科的需求；研究现状（产出规模和影响力）、国际地位、优势方向和薄弱之处；到2020年，我国取得里程碑意义的成果及可能方向；到2020年，我国形成引领性的研究方向，在全球研究热点中占有的地位；到2020年，我国可能形成的国际上有影响力的科学家及分布情况；到2020年，我国在国际上有吸引力的研究中心及分布情况等。根据冶金与矿业学科各学科领域的特点，撰写了学科发展战略报告。它主要包括：学科的战略地位；学科的发展规律和发展态势；学科的发展现状与发展布局；学科的发展目标及其实现途径，

包括需要加强的优势方向、需要扶持的薄弱方向、需要鼓励的交叉方向及需要促进的前沿方向等。根据各学科领域的战略发展报告,提出了学科优先发展领域及跨学科或跨学部交叉优先领域。它主要包括:该领域的科学意义与国家战略需求;该领域的国际发展态势与我国的发展优势;该领域的发展目标;该领域的关键科学问题与主要研究方向。结合本学科自身特点与发展规律,从人才队伍建设、经费投入保障、宣传贯彻活动、过程监督管理等方面,提出了较为具体且可实施的工作措施及政策建议。

本战略规划报告在研究和制定过程中,广泛地征求了相关专家的意见,并认真地进行了分析、讨论,先后征求了数十名两院院士的意见,有数百名相关领域的中青年专家、学者参与了研究与撰写,提出了许多宝贵意见和建议。感谢基金委等有关部门给予的指导与支持,感谢项目组专家所在单位给予的大力支持,感谢项目全体研究人员在项目研究过程中所付出的艰苦努力,感谢为本项目的顺利完成和本研究报告的出版提供支持的专家与朋友。

本报告在撰写过程中,尽管广泛征求了广大专家、学者的意见和建议,但是,由于冶金与矿业学科涉及领域多,想必会有许多宝贵的意见没有写进来,存在的不足或缺陷敬请批评指正!

本报告的出版,不是研究的终点,而是新的起点。我们将在此基础上持续深入开展冶金与矿业学科的战略研究,为国家制定科技发展战略提供科学建议,为科研管理部门、科研机构等制定科技政策提供参考,为实施国家“创新驱动发展战略”贡献力量。

何满潮 朱旺喜

冶金与矿业学科发展战略与“十三五”规划项目组

2016年10月于北京

目 录

序

前言

第 1 章 学科的战略地位	1
1.1 石油工程学科	1
1.1.1 学科定义及特点	2
1.1.2 学科结构	2
1.1.3 学科发展战略需求	3
1.2 矿业工程学科	5
1.2.1 学科定义及特点	5
1.2.2 学科结构	9
1.2.3 学科发展战略需求	12
1.3 矿物分离学科	17
1.3.1 学科定义及特点	17
1.3.2 学科结构	17
1.3.3 学科发展战略需求	18
1.4 冶金工程学科	23
1.4.1 学科定义及特点	23
1.4.2 学科结构	25
1.4.3 学科发展战略需求	26
1.5 材料工程学科	28
1.5.1 学科定义及特点	28
1.5.2 学科结构	30
1.5.3 学科发展战略需求	31
1.6 安全工程学科	34
1.6.1 学科定义及特点	34
1.6.2 学科结构	35
1.6.3 学科发展战略需求	36
参考文献	38
第 2 章 学科发展规律与态势及其主要基础科学问题	41
2.1 石油工程学科	41

2.1.1	学科发展规律与态势	41
2.1.2	学科主要基础科学问题	42
2.2	矿业工程学科	43
2.2.1	学科发展规律与态势	43
2.2.2	学科主要基础科学问题	55
2.3	矿物分离学科	66
2.3.1	学科发展规律与态势	66
2.3.2	学科主要基础科学问题	72
2.4	冶金工程学科	74
2.4.1	学科发展规律与态势	74
2.4.2	学科主要基础科学问题	79
2.5	材料工程学科	82
2.5.1	学科发展规律与态势	82
2.5.2	学科主要基础科学问题	84
2.6	安全工程学科	86
2.6.1	学科发展规律与态势	86
2.6.2	学科主要基础科学问题	87
	参考文献	89
第3章	学科发展现状与发展布局	91
3.1	石油工程学科	91
3.1.1	学科发展现状	91
3.1.2	学科发展布局	93
3.2	矿业工程学科	95
3.2.1	学科发展现状	95
3.2.2	学科发展布局	120
3.3	矿物分离学科	130
3.3.1	学科发展现状	130
3.3.2	学科发展布局	141
3.4	冶金工程学科	144
3.4.1	学科发展现状	144
3.4.2	学科发展布局	152
3.5	材料工程学科	155
3.5.1	学科发展现状	155
3.5.2	学科发展布局	163
3.6	安全工程学科	165

3.6.1 学科发展现状	165
3.6.2 学科发展布局	170
参考文献	172
第4章 学科发展目标及其实现途径	182
4.1 石油工程学科	182
4.1.1 发展目标	182
4.1.2 实现途径	183
4.2 矿业工程学科	183
4.2.1 发展目标	183
4.2.2 实现途径	192
4.3 矿物分离学科	195
4.3.1 发展目标	195
4.3.2 实现途径	199
4.4 冶金工程学科	202
4.4.1 发展目标	202
4.4.2 实现途径	204
4.5 材料工程学科	205
4.5.1 发展目标	205
4.5.2 实现途径	208
4.6 安全工程学科	212
4.6.1 发展目标	212
4.6.2 实现途径	215
第5章 优先发展领域	217
5.1 石油工程学科	217
5.1.1 中长期（2030年）优先发展领域	217
5.1.2 “十三五”规划（2020年）优先发展领域	218
5.2 矿业工程学科	219
5.2.1 中长期（2030年）优先发展领域	219
5.2.2 “十三五”规划（2020年）优先发展领域	224
5.3 矿物分离学科	232
5.3.1 中长期（2030年）优先发展领域	232
5.3.2 “十三五”规划（2020年）优先发展领域	234
5.4 冶金工程学科	235
5.4.1 中长期（2030年）优先发展领域	235
5.4.2 “十三五”规划（2020年）优先发展领域	236

5.5	材料工程学科	240
5.5.1	中长期(2030年)优先发展领域	240
5.5.2	“十三五”规划(2020年)优先发展领域	244
5.6	安全工程学科	253
5.6.1	中长期(2030年)优先发展领域	253
5.6.2	“十三五”规划(2020年)优先发展领域	258
第6章	政策措施	260
6.1	人才队伍建设	260
6.1.1	创造宽松自由的科研环境,形成和谐诚实的科学文化	260
6.1.2	制定科学、合理的评价制度与考核标准	260
6.1.3	培养优秀人才,形成创新团队	260
6.1.4	引导人才队伍投入本学科基础研究	260
6.2	经费投入保障	261
6.2.1	设立专项资金	261
6.2.2	重点支持关键研发项目	261
6.2.3	经费来源多元化	261
6.2.4	规范财务管理	261
6.2.5	加大基础研究经费投入力度	261
6.3	宣传贯彻活动	262
6.3.1	遵循科研规律	262
6.3.2	宣传和维护科研诚信	262
6.3.3	同行参与,凝聚共识	262
6.4	过程监督管理	262
6.4.1	落实科学基金依法管理责任制	262
6.4.2	完善评审机制	262
6.4.3	改进项目管理	263
6.4.4	加强绩效评估	263
6.4.5	强化信息服务	263
6.4.6	加强战略决策咨询,健全咨询工作组织管理机制,坚持科学民主决策	263
6.5	其他建议	263
6.5.1	学科发展规划方面的建议	263
6.5.2	项目管理方面的建议	264
6.5.3	项目评审方面的建议	265
6.5.4	项目资助环节	266

附录	267
附录 1 学科“十二五”期间资助重点项目一览表	267
附录 2 学科“十二五”期间批准的重大项目一览表	271
附录 3 学科“十二五”期间批准的创新研究群体项目一览表	271
附录 4 学科“十二五”期间批准的国家杰出青年基金项目一览表	271
附录 5 学科“十二五”期间批准的联合基金项目一览表	273
附录 6 学科相关重要国际学术期刊	279
附录 7 学科国家重点实验室	283
附录 8 学科部分重要国际学术会议	285

第1章 学科的战略地位

冶金与矿业工程学科包含石油工程、矿业工程、矿物分离、冶金工程、材料工程和安全工程六大分支。六大分支的定义、特点、结构及各自的发展战略需求共同组成了冶金与矿业学科的重要战略地位。

1.1 石油工程学科

在世界范围内,石油与天然气资源(简称“油气资源”)既是主要的优质能源,又是保障一个国家政治、经济、军事安全的重要战略物资。从“柴薪时代”发展到“煤炭时代”,再发展到“油气时代”,并向未来“新能源时代”发展(未来的“新能源”主要是指太阳能、风能、地热等可再生能源),世界能源结构不断朝更好的方向变化。目前,人类的能源开发利用仍处在油气时代,特别是北美的“页岩革命”(其背后实质上是油气资源开发的工程技术革命),显示出油气时代广阔的发展空间。然而,我国的能源结构比较落后,目前仍处在煤炭时代。这种落后的能源体系造成的空气污染和生态破坏,在我国发达地区已接近环境容量的极限,迫切需要推动能源结构向清洁化加速转变乃至变革。

目前,在全球一次能源消费中,石油、天然气、煤炭等化石能源的比例平均占80%以上,大部分在90%左右。在2003~2013年,全球一次能源消费量增长了28%,其中石油消费量增长12%,天然气消费量增长29%。在可以预见的未来二三十年里,化石能源的比例会有所下降,但作为主体能源的地位不会发生根本性改变,特别是油气消费量将继续增长。美国的页岩油气革命不仅为重振美国实体经济提供了强大动力,而且为美国至少增加了200万个就业岗位,特别是当面对2014年乌克兰危机时,凭借美国大量生产的页岩气(2014年生产页岩气达到3800亿 m^3),奥巴马总统才敢于不惧俄罗斯对欧洲停供天然气的警告。另外,在欧盟,每年能源工业的税收贡献超过4000亿欧元,如果欧盟放开页岩气开发,预计能够增加至少100万个就业岗位;在巴西,随着海洋油气资源的有效开发,油气行业对GDP的贡献率从3%上升到12%,失业率从10%下降到7%以下,其中仅造船就业岗位就从7000个扩大到8万个^[1]。

随着经济社会的发展,我国油气供需矛盾日益加剧,油气消费对外依存度逐年增加。2015年,我国石油消费对外依存度高达60.6%,天然气消费对外依存度也达到了32.7%,油气资源短缺已成为制约我国经济社会可持续发展的主要瓶颈

之一。2014 年 4 月 20 日, 李克强总理主持召开了新一届国家能源委员会首次会议, 研究讨论能源发展中的相关战略问题和重大项目。他在会上指出: 要立足国内, 着力增强能源供应能力, 加大陆上、海洋油气勘探开发力度, 创新体制机制, 促进页岩气、页岩油、煤层气、致密气等非常规油气资源开发。显然, 国家正在实施积极的石油与天然气勘探开发战略, 从而对石油与天然气工程 (简称“石油工程”或“油气工程”, 其英文名称为“petroleum engineering”) 提出了新的重大需求, 同时也彰显出本学科未来建设与发展的重大战略地位^[2]。

1.1.1 学科定义及特点

油气工程, 就是围绕油气资源的钻探、开采及储运而实施的知识、技术和资金密集型工程, 是油气勘探开发的核心业务, 包括油气藏、钻井、完井、测量 (测井、录井、试井等)、油气生产、油气储运等基本工程环节, 是一项复杂的系统工程, 涉及多学科领域。在世界范围内, 石油与天然气勘探开发的巨额花费主要用于油气工程方面, 包括油气勘探总成本中的大部分 (55%~80%, 用于钻探工程) 及油气田开发与储运的全部工程花费。

随着地下油气资源钻探、开采及储运的主客观约束条件日趋多样化和复杂化, 不断对石油与天然气工程领域的科技创新和人才培养提出越来越高的新要求, 促使本学科与地质、力学、化学、材料、机电、信息、控制及海洋、环境、管理等相关学科的联系更加紧密, 学科交叉与渗透的作用对本学科发展的影响越来越大。由于人类对“健康、安全、环境”更高目标的追求, 进入 21 世纪后, 伴随信息、材料、人工智能、机电液一体化等学科领域的科技进步, 石油与天然气工程学科必然朝着信息化、智能化及自动化方向加速发展。

1.1.2 学科结构

参考国务院学位委员会和国家教育委员会于 1997 年 6 月颁布的《授予博士、硕士学位和培养研究生的学科、专业目录》^[3], 根据石油与天然气工程的学科内涵和专业属性, 目前本学科主要由油气井工程、油气田开发工程和油气储运工程三个二级学科构成 (图 1.1)。

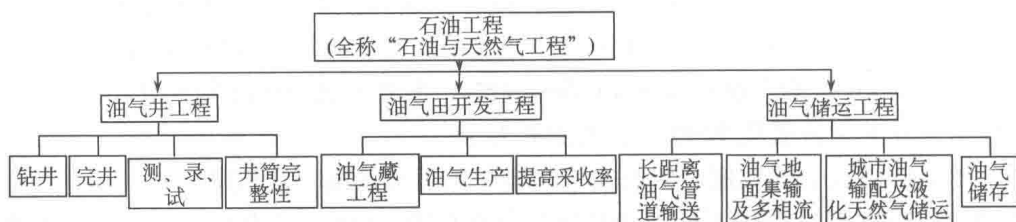


图 1.1 石油工程学科结构图

(1) 油气井工程是人类勘探与开发地下油气资源必不可少的信息和物质通道。油气井工程就是围绕油气井的建设(钻井与完井)、测量(测、录、试)及防护而实施的技术和资金密集型系统工程,涉及多学科领域。它不仅是贯穿于油气勘探开发全过程的关键工程之一,而且对于地热、地下水等流体资源的开发,以及管道穿越工程、地球科学钻探工程等都具有重要的实际意义。

(2) 油气田开发工程是指从油气田被发现后开始,经过储层评价、可采量计算、编制开发方案、产能建设与投入生产、监测与管理、开发方案调整等,直到油气田最终废弃的全过程,是一项复杂的系统工程,其主要的学科内涵包括油气藏工程、油气生产及提高采收率等。

(3) 油气储运工程是油气生产-供应链中不可或缺的重要一环,具有广阔的技术、地域及社会覆盖面。油气储运工程就是围绕油气的集输与处理、长距离输送、储存与储备、城市输配及军事油料供给等而实施的知识、技术和资金密集型工程,涉及多学科领域,不仅是油气工程的主要组成部分,而且与国防建设、百姓生活等息息相关。

1.1.3 学科发展战略需求

随着国内油气勘探开发程度的不断提高,剩余的油气资源大多分布在山地、沙漠、高原、黄土塬和海洋(尤其是深水)覆盖地区,地面环境和地质条件都比较复杂,而且大多为非常规、低(特低)渗透及深层、深水等难动用油气资源,勘探开发的难度不断加大,致使油气工程面临一系列的重大科技难题。同时,由于国内可利用的石油和天然气资源已明显不能满足国家能源需求,客观上要求我国石油企业必须实施走出去的发展战略,积极开发利用国外的油气资源,因而需要研究国外油气合作区的实际情况,解决相应的油气工程科技难题。在油气储运方面,国家明确要求“加快西北、东北、西南和海上进口油气战略通道建设,完善国内油气主干管网”及“完善石油储备体系”等,油气储运工程学科发展迫切需要解决油气储运各生产系统中工艺、设备、安全诸方面的理论和技术难题,并通过交叉学科研究创新发展油气储运工程理论与技术。

1. 低渗透油气资源的高效开发

国内新增油气储量的70%、新增产量的70%以上为低渗透油气藏(含特低渗透)。长庆油田是典型的低渗透油气田,其2015年产量超过了5000万t油气当量。因此,低渗透油气藏的有效动用程度及后续的提高采收率水平,直接影响到我国原油产量。与中高渗透油藏相比,低渗透油藏开发目前仍以水驱为主,研究主要集中于对渗流规律的认识。但随着油田综合含水率的上升以及特低油藏的开发,对提高采收率理论方法及相关技术措施提出了新的更高要求。低渗透油藏的

储层非均质强和多孔介质结构复杂，相应的开发特点与方式具有多样化，且难以控制。因此，在前期研究的基础上，今后应重点研究低渗透油气藏的微观特征与渗流机制，有利于提高单井产能及最终采收率的先进井型和井网，复杂结构井设计与钻采控制技术，以及改善水驱、优化气驱及控制窜逸等提高采收率的新理论与新技术。

2. 非常规油气资源的高效开发

非常规油气是指难以用常规技术手段进行有效开采的油气资源。主要包括页岩油气、致密油气、重油和油砂、煤层气、天然气水合物等，其资源量远大于常规油气，已成为战略性接替能源，在国内外备受关注。我国的非常规油气资源十分丰富，但品位极低且客观条件复杂，采用现有的理论方法和技术手段难以实现经济有效动用的高效开发目标，照搬国外技术难免“水土不服”，而且国外对关键技术严加垄断。因此，迫切需要针对非常规油气工程科技发展的国际前沿及制约我国非常规油气有效动用的重大科学问题开展创新研究，建立相适应的高效开发理论和钻采与集输处理新技术。今后的研究重点是：非常规油气高效开发模式及其技术经济可行性，以水平井为基本特征的复杂结构井优化设计与钻采控制，水平井分段体积压裂，以及“工厂化”作业模式及安全环保等。

3. 深层油气资源的安全高效开发

井深为 4500~6000m 的油气井，称为深井，超过 6000m 井深则称为超深井。我国发现的剩余油气资源有 40% 左右埋藏在深部，近年发现的特大型油气田，如塔里木、川东北、松辽深层等均处于超过 4500m 垂深的深部地层，一些海外合作区块油气藏也埋在深层。深层油气资源是目前和未来我国油气资源战略接替的重要领域之一。因此，加快深层油气勘探开发已成为保障我国能源安全的重大需求之一。深部地质环境的复杂性（如高温高压、酸性气体、盐膏层、高陡构造等复杂地质条件），严重制约了深层油气资源的勘探开发进程，仍需深入研究深部岩石破碎机理与高效破岩方法，井筒压力系统与井眼稳定控制方法，钻井设计与风险控制机制等关键问题。深井工程科学研究，应与深地科学钻探工程相关科学研究有机结合。

4. 海洋深水區油气资源的安全高效开发

在海洋油气工程中，小于 300m 的水深称为“浅水”；大于或等于 300m 而小于 500m 的水深称为“次深水”；大于或等于 500m 而小于 1500m 的水深称为“深水”；达到或超过 1500m 的水深则称为“超深水”。党的十八大报告提出：提高海洋资源开发能力，发展海洋经济，保护海洋生态环境，坚决维护国家海洋