

---

# 迈向“双碳”研究系列报告

《中国国内石油生产碳排放强度及影响研究》  
(C系列-2023C01)

中国石油大学（北京）中国油气产业发展研究中心  
中国石油大学（北京）碳中和与能源创新发展研究院

2023年10月21日



中国油气产业发展研究中心

Research Center for China's Oil and Gas Industry Development

中国石油大学（北京）中国油气产业发展研究中心成立于 2010 年，并挂靠在经济管理学院。中心定位为“国际知名、国内一流的油气产业发展研究基地”，围绕五大研究方向和五大应用领域，重点承担和开展一批基础理论与实践应用研究课题。自成立以来，中心学术影响力和社会影响力在不断提升，已经累计承担课题 100 多项，其中国家社科基金重大项目 1 项、教育部人文社科基金重大项目 1 项、国家自然科学基金/社会科学基金项目 9 项、国际合作基金 2 项、国家部委项目 31 项、企业项目 75 项；出版了学术专著 19 部、教材 4 部。近 5 年，中心发表学术论文 100 多篇，多数被 SCI/SSCI/CSSCI/CSCD 收录；获得国家能源局、商务部、中国石油和化学工业联合会等省部级科技奖励 16 项。目前中心有研究人员 12 名，其中教授 5 名，博士生导师 5 人。



中石大碳能院

ICED-CUPB

中国石油大学(北京)碳中和与能源创新发展研究院(简称“中石大碳能院”)是在国家碳达峰和碳中和目标(简称“双碳”目标)下,中国石油大学(北京)主动服务国家需求,积极响应国家建设高校特色智库的要求,结合学校自身优势,于2021年9月成立的智库性质的研究机构,也是支持中国石油大学(北京)“一带一路”能源合作伙伴关系合作网络高校(青年)工作组组长单位业务开展的主要研究机构。中石大碳能院为应对气候变化和“双碳”目标下的国际、国家、行业、企业在能源与油气领域的发展提供第三方分析、评价与政策建议。通过每年向社会公众发布指数类、研究类、专题类系列报告,并向国家决策部门和行业决策者提供政策建议,定期举办相关特色论坛等,逐步打造“立足中国、面向世界”、“聚焦油气、辐射能源”的特色鲜明的能源类高校“双碳”政策类研究智库。

---

# 中国国内石油生产碳排放强度及影响分析

## 核心摘要

全球能源格局重塑背景下，稳中求进成为当前时代能源转型的主旋律。国家能源局提出夯实化石能源生产供应基础的要求，石油勘探开发力度持续加大，2022 国内原油产量回升到 2 亿吨以上。既要保证安全供应，又要实现生产侧低碳发展成为当前油气行业面临的双重挑战。开展石油生产碳强度研究是助力油气行业碳中和目标实现的重要抓手，探究碳市场交易对石油生产的潜在影响可为石油安全保供提供前瞻性防范思路。本报告以 2022 年国内在生产的 200 余个油田区块生产数据为依据，基于改进的中国石油生产碳排放核算模型对所有区块生产期内的碳排放强度进行核算，并分析了未来实行碳市场交易对石油生产的潜在资产搁浅影响。主要结果表明：（1）国内油田区块生产碳强度较去年有不同程度波动，但国内整体石油生产碳排放强度的上升得到抑制，主要原因是油田生产用结构清洁化程度提升和用能效率的提升。（2）现行碳市场交易的碳价不会对石油上游生产造成影响，随社会整体碳减排成本增加，未来实行动态碳价会对上游石油资产逐步产生搁浅影响，但相比之下国内石油生产资产搁浅对油价更为敏感。展望未来在石油安全保供和开发减碳的要求下，深化企业自主减排意识、掌握低碳生产的主动权成为应对碳价政策的有效方针。已经开发的老区资源建议进行精细化管理，新开发的资源要充分做好资源综合评价、提前部署低碳开发方案。

---

## 1. 研究背景与目的

“双碳”目标下，未来煤炭大规模退出与可再生能源快速提升的能源转型路径日渐明晰。由于可再生能源发展尚处于探索阶段尚不成熟，煤炭的退出成为大势所趋，油气在面向碳中和的能源转型过程中将发挥重要作用。国家大力号召加大油气勘探开发力度，夯实油气供应保障基础取得一定成效，2022年中国石油产量回升到2.04亿吨，但对外依存度仍高居71%，保障国内石油产量仍是重要的战略问题。

石油资源的低碳开发与生产过程碳减排成为可持续发展的必然要求。一方面，科学核算、系统认识中国油气生产的碳排放强度与动态变化趋势，将成为石油上游生产碳排放的重要抓手。另一方面，政策在减排方面的干预能力不容忽视，中国已经在火电领域实行碳市场交易，未来将逐步推及其他领域，高排放的资产可能面临搁浅风险，碳定价政策对石油生产领域的前瞻性影响有待研究。

本报告立足于中国油气生产实践，在全面调研和科学筛选的基础上，以2022年在生产的200余个国内陆地、海洋油田区块生产数据为依据，采用改进版的中国石油生产碳排放核算模型，核算了不同区块的碳排放强度，并分析了国内的石油生产碳排放强度演进趋势。在碳排放强度核算的基础上，将石油生产纳入碳市场交易，分析了碳市场政策对石油上游生产潜在的资产搁浅影响，以期为中国国内油气上游生产企业业务发展与应对碳定价等政策挑战提供分析思路与信息参考。

---

## 2. 研究思路与方法

### 2.1 数据基础及来源

本报告综合国内石油产量、资源类型、分布地区、运营公司等主要指标，研究对象选取 2022 年正在生产的 200 余个国内油田区块（2P 储量在 0.5 亿吨以上），2022 历史生产期内年度石油产量平均占到国内总产量的 85%以上。以此为基础分析国内上游石油生产碳排放及资产搁浅情况，所研究的油田区块分布在松辽盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地等主要油气盆地，分别由中国石油、中国石化、中国海油、延长石油、民营企业等油气公司生产运营。石油生产相关的基础数据来源于学术文献、公开报告整理及商业数据库补充。

### 2.2 研究边界及范围

本研究的研究边界为石油上游生产领域，油田生产碳排放核算主要包括勘探阶段、钻井阶段、开采阶段、处理阶段和运输阶段的“井口-炼厂入口”系统边界内的碳排放，如图 1 所示。根据世界资源研究所（World Resources Institute）温室气体核算体系标准将企业的温室气体排放划分为 3 个范围，石油生产范围 1 碳排放包括井场动力系统燃料燃烧、生成过程伴生气体逸散排放等，范围 2 碳排放包括外购生产用电排放等，范围 3 包括外购的生产物资碳排放及相关运输活动、土地利用排放等。本报告中的碳排放包含 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO、VOC 和 N<sub>2</sub>O 五类温室气体的综合排放，不同温室气体的全球变暖潜能值（GWP）参考 IPCC 第五和六次评估报告公布的最新数据。

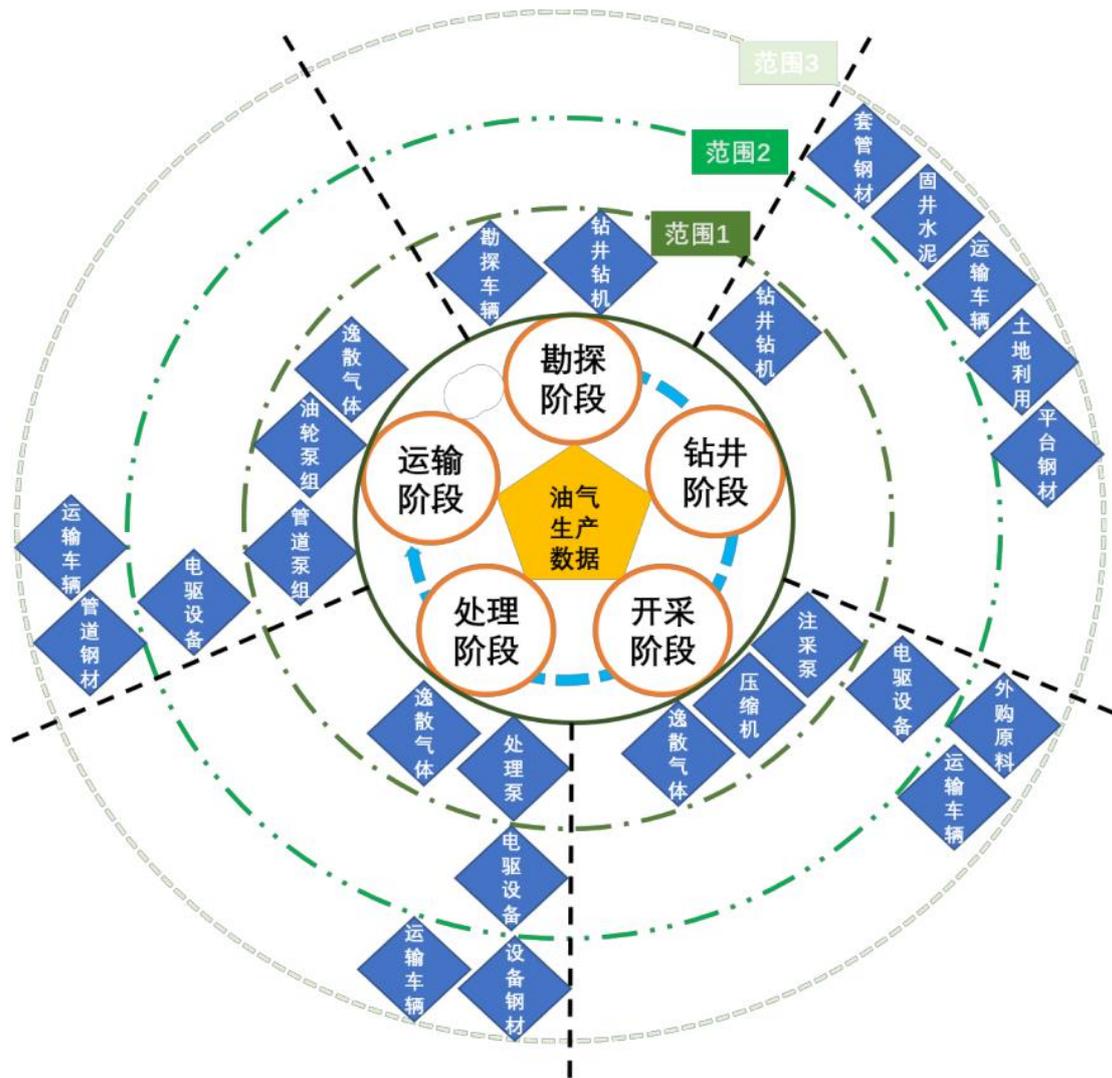


图 1 石油生产碳排放核算边界与范围

### 2.3 研究方法

石油生产碳排放强度核算方面，本报告采用自底向上的建模方法，参考斯坦福大学环境评估与优化小组的全球石油生产温室气体排放核算（OPGEE）框架，基于中国的石油生产活动及油田区块的历史生产数据集，构建了符合国内石油生产活动的碳排放核算工程模型。同时在数据的时效性方面，充分搜集整理油田生产区块截止 2022 年各生产阶段的数据参数，将最新的油田生产碳排放强度结果更新到

---

2022 年。

石油资产搁浅分析方面，本报告将石油生产纳入碳市场交易，依据上述石油生产碳排放强度核算结果，通过行业碳排放强度基准与实际生产活动水平分配碳配额，并计算碳交易收益。参与碳市场交易后，当石油区块综合收益为负，便认定该区块资产发生搁浅。依据清华大学张希良团队的研究结果<sup>[1]</sup>设定动态碳价情景，依据国家发改委<sup>[2]</sup>成品油价格机制设置的原油价格上下限设定油价情景（130 美元/桶的天花板油价和 40 美元/桶的地板价），探究未来碳价及油价不确定情况下碳市场政策对上游石油资产的搁浅影响。

### 3. 主要研究结果与结论

#### 3.1 国内石油生产碳排放

##### （1）石油生产碳排放强度

2022 年油田区块生产碳强度分布在 15.6 kgCO<sub>2</sub>e/桶到 98.5kgCO<sub>2</sub>e/桶之间，国内产量加权平均生产碳强度为 38.5kgCO<sub>2</sub>e/桶。中国石油的生产碳排放强度为 45.1 kgCO<sub>2</sub>e/桶，相比去年下降 0.2 kgCO<sub>2</sub>e/桶；中国石化的生产碳排放强度为 38.2 kgCO<sub>2</sub>e/桶，相比去年上涨 0.7 kgCO<sub>2</sub>e/桶；中国海油的生产碳排放强度为 20.7 kgCO<sub>2</sub>e/桶，相比去年上涨 0.5 kgCO<sub>2</sub>e/桶；延长石油的生产碳排放强度为 39.1 kgCO<sub>2</sub>e/桶，相比去年下降 0.6 kgCO<sub>2</sub>e/桶。

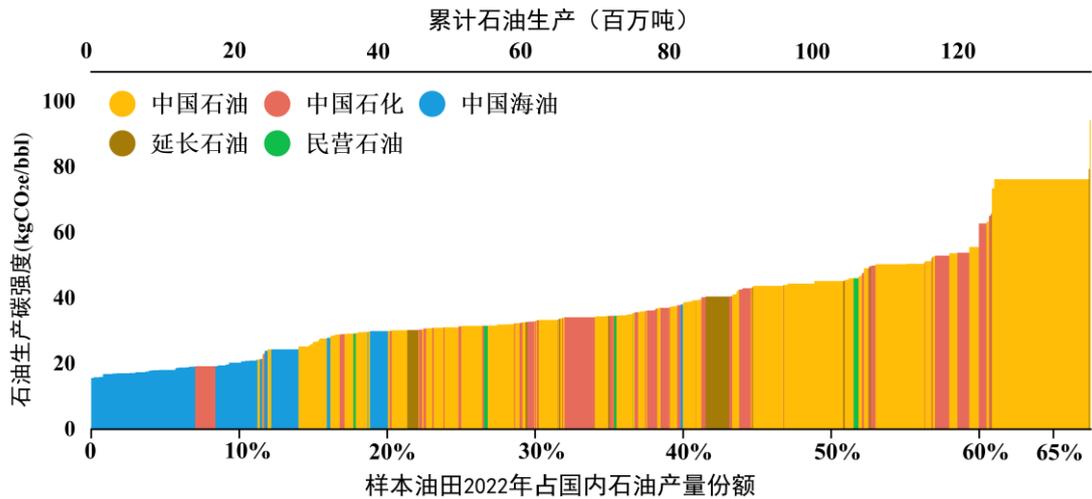


图 2 2022 年中国油田区块生产碳强度

## (2) 石油生产碳排放强度指数

根据样本区块的产量加权得到不同年份国内原油生产的碳排放强度，以 1960 年为基准年,基准指数值取 100，得到中国国内原油生产的碳排放强度指数时间序列，表征我国石油开发的碳排放强度演进趋势。

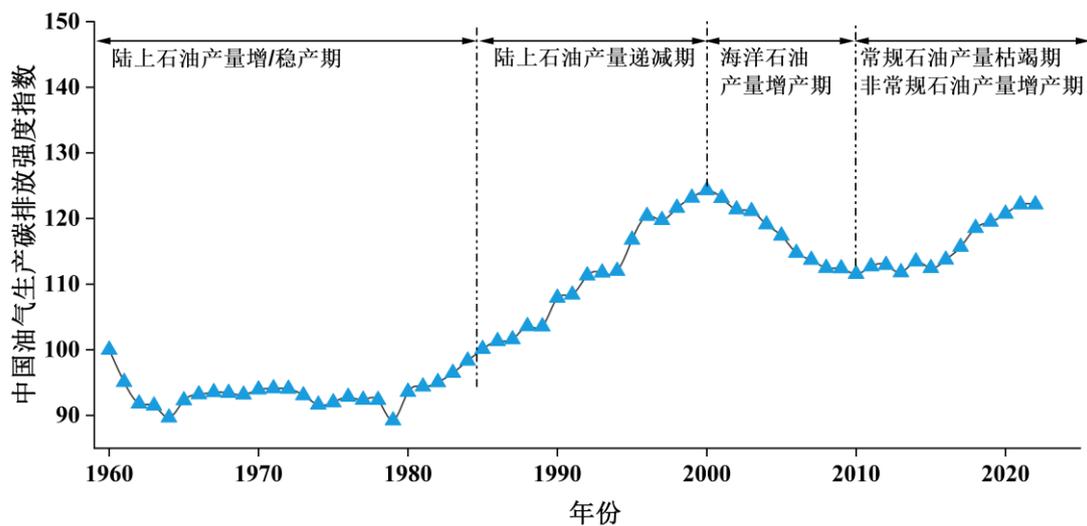


图 3 中国石油生产碳排放强度指数

目前国内石油开发进入到常规石油产量衰竭期及非常规石油产量增产期，以大庆油田为代表的国内常规石油产量快速递减，国内石

油生产碳强度面临增长的压力。本报告样本数据表明，2022年石油生产碳排放指数与2021年持平。由于2022年中国整体电力结构进一步清洁化，火电占比降到70%以下，油田企业清洁电力替代程度增加，加之油田生产过程用能效率提升，共同抑制了整体碳强度的增加。

### 3.2 石油生产侧静态盈亏平衡碳价分析

结合油田区块运营成本、碳排放强度，估算出不同油价情景下单个区块的盈亏平衡碳价。在此基础上，将国内石油区块按照地理位置集成5大石油产区，分析国内主要石油产区的碳定价抗冲击能力，如图4所示。五大产区分别是西部产区（覆盖塔里木、准噶尔、吐哈、酒泉及柴达木盆地，共37个油田区块样本）、中西部产区（覆盖鄂尔多斯盆地，共36个油田区块样本）、东北部产区（覆盖松辽、海拉尔及二连盆地，共49个油田区块样本）、海洋产区（覆盖珠江口及北部湾盆地，共39个油田区块样本）和东部产区（覆盖渤海湾及苏北盆地，共81个油田区块样本）。

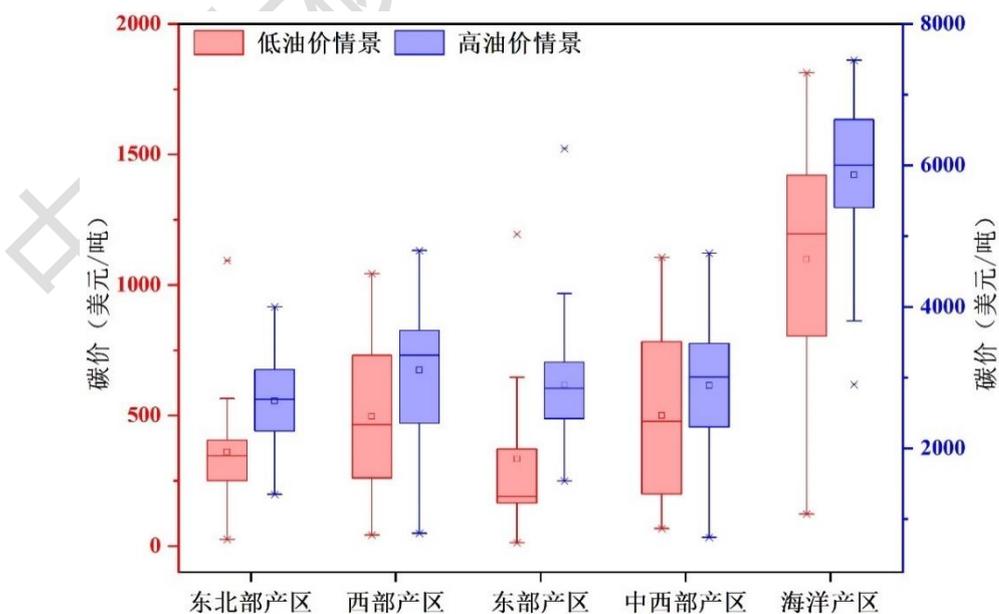


图4 2022年中国主要石油产区上游生产盈亏平衡碳价分布

---

在 40 美元/桶的低油价情景下，以松辽盆地为代表的东北部石油产区石油生产的盈亏平衡碳价中位数为 345 美元/吨，且分布较为集中；以塔里木盆地、准格尔盆地等为代表的西部石油产区石油生产的盈亏平衡碳价中位数为 464 美元/吨；东部渤海湾盆地陆上石油生产的盈亏平衡碳价中位数为 189 美元/吨，该地区石油资源未来开发将最先受到碳定价等政策影响；中西部地区鄂尔多斯盆地石油上游生产盈亏平衡碳价中位数在 477 美元/吨，陆上西部和中西部石油资源上游生产活动受到碳定价相关政策的冲击力影响要低于其他地区。海洋产区石油生产的盈亏平衡碳价中位数为 1195 美元/吨，相对于已经开发处于中后期的陆上石油资源，海上石油资源由于生产过程运营成本低，并且生产碳排放强度远低于其他陆上石油资源，因此其抗冲击能力远高于其他地区。

而在 130 美元/桶的高油价情景下，石油上游生产的盈利能力和利润空间远大于低油价情景，因此上游油气生产应对不确定性风险，包括碳定价、碳边境税等政策冲击的能力要更强。国内石油资源的盈亏平衡碳价均在 2000 美元/吨以上，因此在高油价情景下，现行的碳价水平不足对当前碳排放水平和运营成本的大部分油田产生影响。因此在高油价情景下，以 2022 年的开发现状表明我国石油资源在未来的碳约束政策中仍将具有较大的资源灵活性，但是随着油田产量的递减、运营成本的上升、生产碳排放强度的持续增加，未来中长期的石油资源生产侧碳定价政策影响的动态特征仍需进一步分析。

### 3.3 碳定价政策对于石油生产侧资产搁浅的动态影响

在 130 美元/桶高油价情景下，所有的正在开发中的石油资源在 2030 年以前的生产过程中均具有良好的经济性，碳价 40 美元/吨左右（2040 年前后）带来的碳排放成本对于石油生产过程中的运营收益影响较轻。但随着油田产量的不断递减，油田开采过程中的桶油成本持续上升，即使在高油价情景下，少部分油田也会因为产量枯竭或无经济开采价值而关井停止开发。剩余的油田区块开采过程生产碳排放强度的增加，在逐步严格的碳排放约束下，在 2050 年 100 美元/吨左右的碳价下开始搁浅。并且在 2055 年和 2060 年碳价逐步递增至 200 美元/吨和 400 美元/吨，由于碳排放成本剧增导致搁浅的石油资产也越来越多。从石油产量的视角来看，由于碳价递增所带来的生产碳排放约束逐步收紧，对单个搁浅生产区块的石油产量影响越来越大。

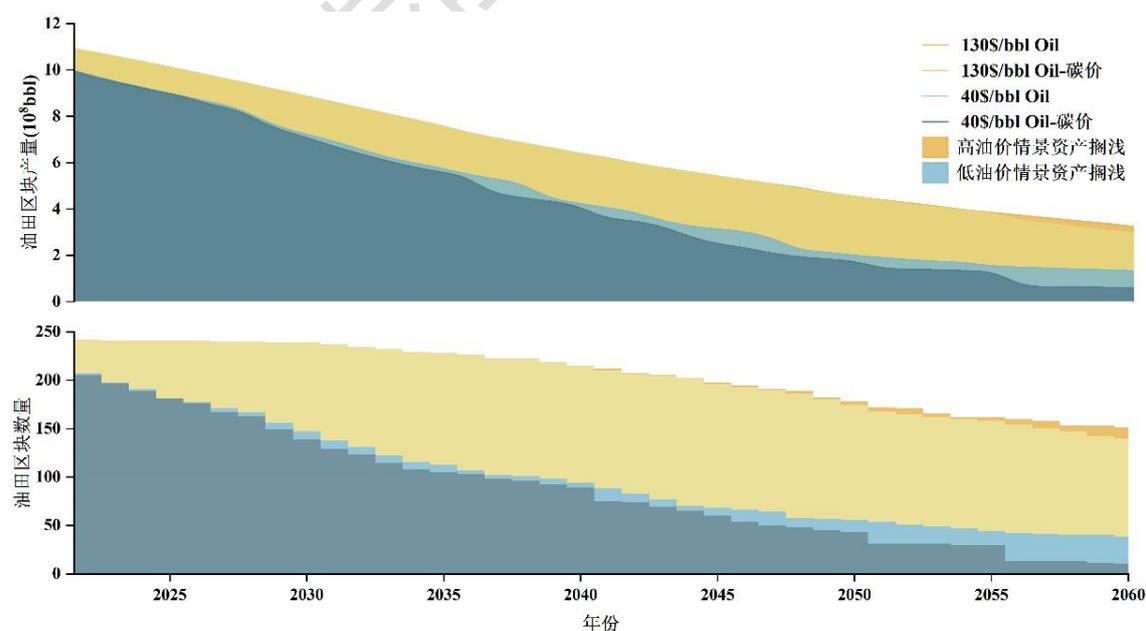


图 5 碳定价干预政策对于中国石油资源生产侧资产搁浅影响

---

在 40 美元/桶的低油价情景下，研究样本中 20%左右的油田生产区块运营成本高于油价，由于失去经济开采价值而面临资产搁浅的压力，并且随着油田产量的不断递减，油田开采过程中的桶油成本持续上升，低油价所导致的油田资产搁浅问题随着油田的成本上升更加显著。与此同时，低油价情景下处于正常生产中的油田利润空间也受到了极大的压缩，在碳价递增所带来的高碳排成本影响下，低油价情景中因碳价政策搁浅的油田区块数量比高油价情景平均增加了 400%，对单个搁浅生产区块的石油产量影响也相应增加了 130%。油价波动会对与碳市场政策的作用效果带来显著影响，将石油上游生产行业纳入碳市场时应考虑到这一影响因素，建立与油价挂钩的碳价政策以保证政策的有效性。

#### 4. 主要结论及政策建议

##### 4.1 主要结论

- 中国不同油田原油生产碳排放强度分布在 15.6kgCO<sub>2</sub>e/桶~98.5 kgCO<sub>2</sub>e/桶之间，2022 年国内产量加权均值为 38.5kgCO<sub>2</sub>e/桶，与去年持平。石油产量结构上常规递减、非常规比例上升，未来石油生产碳强度上升压力依然存在，但随用油田生产能结构清洁化及能效提升，整体生产碳强度增长得到抑制。
- 当前碳价不会对油田区块的资产搁浅造成影响，不同石油产区应对碳定价冲击的能力存在差异。东部石油产区开发处于中后期，生产排放强度高，将最先受到碳定价等政策影响；海上石油产区由于生产过程运营成本低，并且生产碳排放强度远低于其他陆上

---

石油资源，因此抗冲击能力远高于其他地区。

- 未来碳价增长会对油田造成资产搁浅的影响，且碳市场政策在低油价情景中对于石油生产的影响程度远大于高油价情景。高油价情景下，我国石油资源在未来的碳约束政策中仍将具有较大的资源灵活性。

## 4.2 政策建议

(1) **石油行业内自主减碳，探索可持续发展新格局。**当前国内石油生产供不应求，但未来在石油行业推行碳市场政策对上游油田资产有潜在的搁浅冲击。在追求经济效益的同时，石油行业需要深化自主减排意识，掌握低碳生产的主动权，防范未来资产搁浅风险，提高未来实行碳市场交易时油价不确定情景下的资产抗冲击能力。

(2) **推进油田数字化等新技术应用，对老油田精细化管理。**响应国家石油稳产回升号召，在老油田粗放式建产保供的生产方式已经无法满足当前发展要求，我国石油生产需要进入精细化发展新阶段。亟需推进数字孪生等新技术的部署以提高管理效率，对老区油田的注水驱油等生产过程进行智能精细调控，通过提高能效来降低排放。

(3) **充分做好新油田的资源综合评价，提前布局低碳高效开发方案。**我国石油资源分布地多伴有风、光、地热、碳封存等资源，有必要在进行新油田开发时提前做好综合性资源评价。一方面摸清石油赋存条件，有利于强化地质工程一体化设计，降低开发建井成本；另一方面摸清赋存的新能源及碳埋存资源，可提前编制低碳开发方案，耦合开发实现整体效益最大化。

---

## 参考文献

- [1] 张希良,黄晓丹,张达等.碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J].管理世界,2022,38(01):35-66.
- [2] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于进一步完善成品油价格形成机制有关问题的通知[EB/OL]. 2016.  
[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201601/t20160113\\_963566.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201601/t20160113_963566.html)

中石大碳能院软科学智库

## 关于作者

系列报告总协调人：王建良

本报告主笔人：



唐旭（1985.1-），男，中国石油大学(北京)教授、博士生导师,学校人事处处长、党委教师工作部部长、人才办公室主任,曾任经济管理学院院长。目前,主要从事能源经济与管理、管理系统工程、资源环境政策与管理等方面的教学科研工作;先后主持国家自然科学基金 3 项、国际合作基金 1 项以及多项省部级课题和石油企业委托课题;在国内外高水平学术期刊上发表 50 余篇文章,其中被 SCI/SSCI 收录 37 篇,主编出版专著 2 部、教材 3 部;曾获北京市高等学校青年教学名师、北京市优秀博士学位论文、北京市教育教学成果一等奖、国家能源局能源软科学研究优秀成果一等奖等荣誉。



马志达（1999.03-），男，中国石油大学（北京）经济管理学院管理科学与工程博士研究生，曾在中石化勘探院实习。研究方向为能源系统与碳管理，参与研究国家自然科学基金项目、中国自然资源经济研究院委托课题、中海油委托课题共 7 项。



王建良（1987.11-），男，中国石油大学(北京)教授，博导，经济管理学院院长,校青年拔尖人才。主要研究领域为油气系统工程、能源经济管理。以第一作者或通讯作者在 SCI/SSCI/EI/CSCD 等期刊发表文章 50 余篇，多篇文章入选 ESI 全球高被引文章、中国石油科学十佳论文提名奖、《天然气工业》期刊高被引论文、领跑者 5000 论文等。出版中英文著作 6 部，教材 2 部。先后承担国家自然科学基金项目等多个省部级以上项目。教学科研成果获省部级奖 2 项,主编教材全部入选北京高校“优质本科教材课件”等。



杨哲琦(1996.10-),男,博士,中海油能源经济研究院助理研究员。  
主要从事能源领域投资项目经济评价及环境影响评估,发表SCI、  
EI、中文核心论文多篇。

本报告校对入:朱潜挺

报告引用:唐旭,马志达,王建良,杨哲琦.中国国内石油生产碳排放强度及影响研究[R].中国石油大学(北京)碳中和与能源创新发展研究院,2023C01,2023年10月21日.



中石大碳能院

ICED-CUPB

中国石油大学（北京）碳中和与能源创新发展研究院

Institute of Carbon Neutrality and Innovative Energy Development, China University of Petroleum,  
Beijing (ICED-CUPB)

联系电话：010-89733072

邮箱：[iced-cupb@cup.edu.cn](mailto:iced-cupb@cup.edu.cn)

微信公众号：ICED-CUPB

地址：北京市昌平区府学路 18 号

Add: No. 18, Fuxue Rd., Changping District, Beijing, 102249, China

