

迈向“双碳”研究系列报告

《中国国内天然气生产碳排放强度指数》

(I 系列-2024I02)

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

2024 年 12 月 28 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。

中国国内天然气生产碳排放强度指数

核心摘要

天然气作为清洁的化石能源在中国能源转型过程中扮演着“可再生能源伴侣”的重要角色，决定了国内天然气消费需求走高的总体趋势，未来天然气安全保供压力持续存在。为确保能源安全供应，国内天然气勘探开发力度将持续加大，其生产过程中的碳排放问题也不容忽视。本研究将样本增加到国内 85 个在产的天然气区块，构建自下而上的天然气生产碳排放强度的核算模型，对中国天然气生产的碳排放强度进行了不同层级的核算分析。结果表明中国天然气生产碳强度有显著的空间异质性，海上天然气生产碳排放强度大幅低于陆上、平均为陆上的一半；非常规天然气的平均生产碳排放强度显著高于常规天然气，2023 年中国天然气生产的产量加权平均碳强度较去年略有上涨，随着天然气勘探开发向“非常规”进军加速，未来天然气生产碳减排的压力将持续增加。建议推广非常规气田高效开发新模式，从内部切点入手缓解增储上产带来的碳排放压力；同时平衡海上天然气开发与海洋生态保护之间的矛盾，助力海上天然气开发增速，合理推进低碳优质天然气资源的高效开发利用。

1. 研究背景与目的

当前全球经济复苏步伐不一，世界能源市场的再平衡及地缘政治紧张局势加剧加速了国际能源市场贸易格局演变。我国经济发展需求引致能源消费需求增长，面对国际能源市场风险挑战，能源安全保供仍是首要任务，油气行业勘探开发力度仍在持续加大。“双碳”目标提出后，能源清洁化转型成为坚定不移的发展方向，天然气作为新能源的“伴侣”在能源转型过程扮演着至关重要的角色，天然气领域的低碳化成为可持续发展的必然要求。既要保证天然气足量供应，又要最大程度地减少开发过程的碳排放，是天然气行业在当前背景下面临的双重挑战。

在天然气发展面临多重挑战的背景下，科学认识中国天然气生产的碳排放，既是在“双碳”背景下高质量推进国内天然气保供的战略需求，又是实现天然气行业低碳发展的重要抓手。本报告基于天然气生产视角，以国内 85 个正在开发的天然气区块数据为支撑，对中国天然气生产的碳排放强度进行自下而上的核算，为系统地认清天然气上游系统的碳管理问题提供参考。

2. 研究思路与方法

2.1 数据基础

中国天然气生产碳排放核算样本为 85 个正在生产的国内气田区块，相比去年新增 10 个气田，资源种类涵盖陆上常规气、海上常规气、致密气、页岩气和煤层气（表 1），在塔里木、鄂尔多斯、柴达木、四川、渤海湾、珠江口等十余个大型产气盆地均有分布，所有区块隶属于中国石油、中国石化、中国海油和延长石油等旗下的 20 余家油田公司。根据国家发改委的数据，本报告中核算的 85 个气田区块在

2023 年的产量占国内天然气总产量比例达 75%以上。研究数据来源包括国家公布数据、公开文献及商业数据库。

表 1 2023 年样本气田类型分布

气源	常规天然气		非常规天然气		
	陆上常规气	海上常规气	致密气	页岩气	煤层气
样本气田个数	34	12	24	7	8
23 年样本内产量占比	39.13%	13.46%	64.55%	9.86%	3.02%

2.2 研究方法及边界

天然气生产碳强度核算方法为基于工程流程的天然气开发生命周期评价。通过刻画国内天然气田区块尺度的开发活动，突出天然气资源异质性及开发方式差异，构建了符合中国天然气生产实践的碳排放强度评估模型。传入气田区块的异质性参数后，模型输出天然气生产全生命周期的碳排放强度，即单位桶油当量的天然气从钻井到加工厂出口的温室气体排放量，单位为千克二氧化碳当量/桶油当量。

研究边界为天然气上游生产，即天然气从井口开采到加工厂出口的全过程。涉及的工程流程包括钻井、完井、修井、试气、采气、集气、脱酸气、脱水和天然气凝液回收。碳排放核算范围包括 1)开发过程中天然气放空、逃逸、燃除以及其他化石能源燃料燃烧的直接排放；2)外购电力折算排放；3)由于消耗原材料和燃料，驱使供给部门从事相关生产、运输等活动带来的间接排放。在天然气领域的主要温室气体排放为 CO_2 、 CH_4 和 N_2O ，故本研究考虑的温室气体种类为 CO_2 、 CH_4 和 N_2O ，依据 100 年全球变暖潜能值框架转换成二氧化碳当量，不同温室气体的全球变暖潜能值（GWP100）参考 IPCC 第六次评估报告公布的数据。

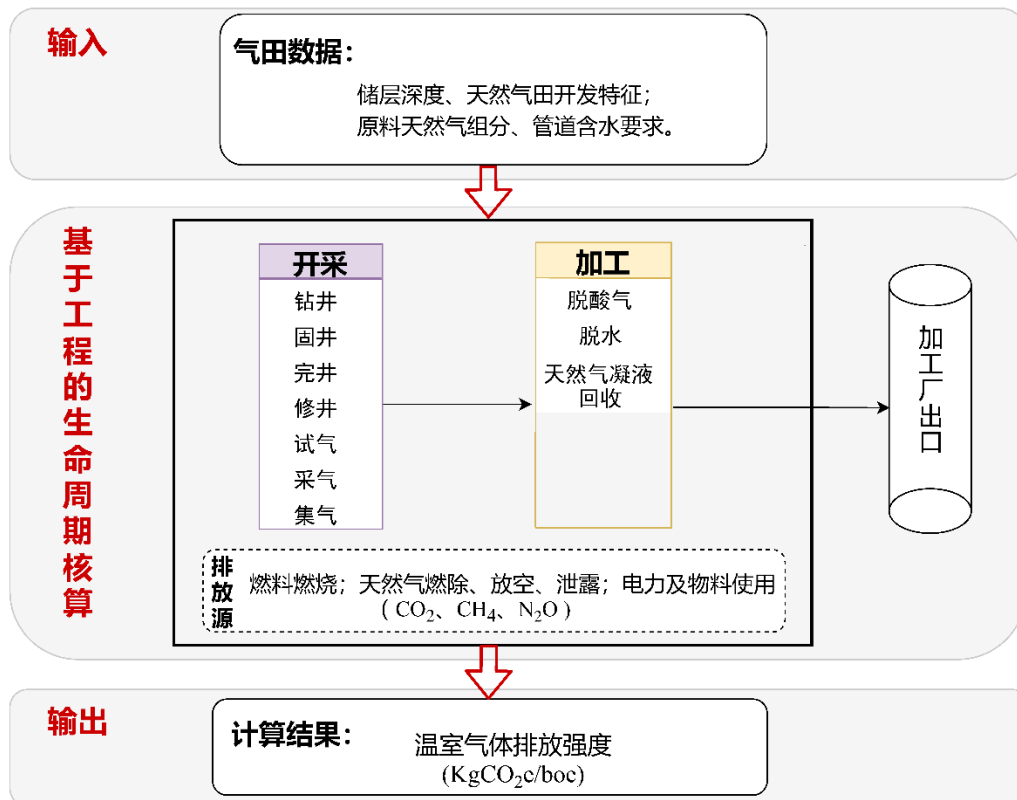


图 1 天然气生产碳排放核算框架

3. 主要研究结果与结论

3.1 国内天然气生产碳排放

3.1.1 区块视角下的天然气生产碳排放强度

如图 2 所示，国内 85 个正在开发的天然气田区块生产碳排放强度分布在 18.7kgCO₂e/boc（深海一号区块）到 133.3 kgCO₂e/boc（永川区块）之间。2023 年国内天然气生产的产量加权平均碳排放强度为 55.01kgCO₂e/boc，其中常规气为 40.06 kgCO₂e/boc，非常规气为 64.75 kgCO₂e/boc。

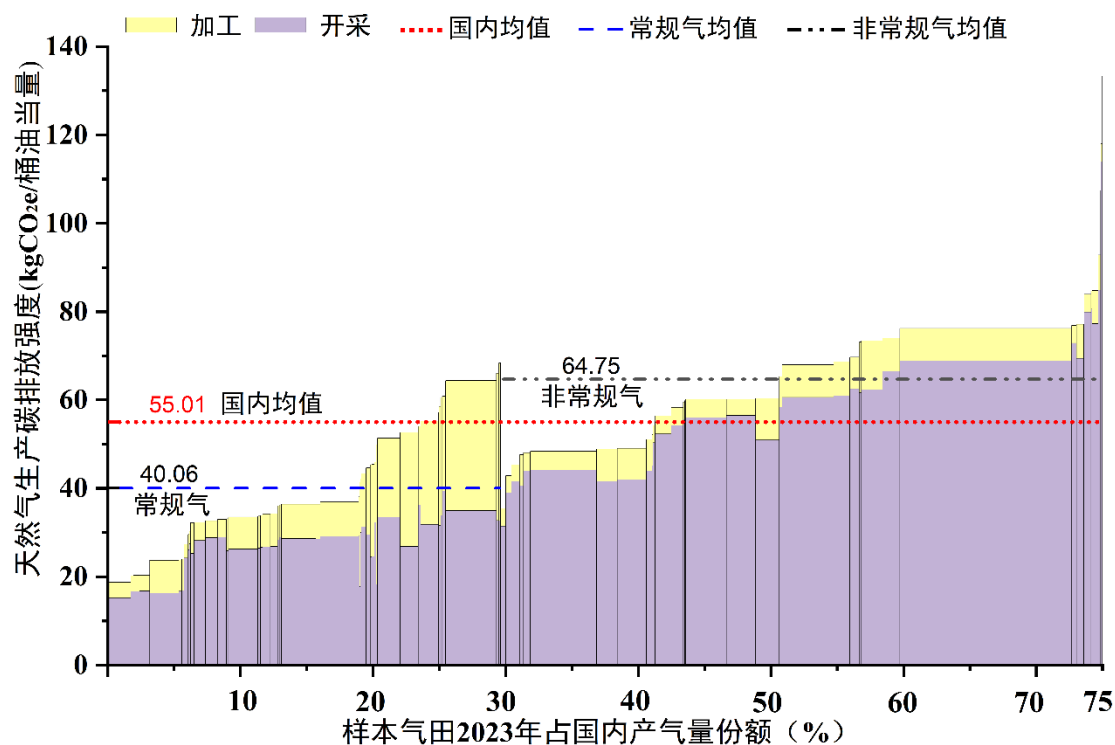


图 2 中国不同气田区块产量份额及碳排放强度

常规气一般为衰竭式开发、无需进行复杂的储层改造，开采的碳排放受井深影响弱，除少量海上常规气高产导致开采阶段排放强度在 $20\text{kgCO}_2\text{e}/\text{boe}$ 以下，其余陆上常规气田开采的碳排放强度都在 $30\text{kgCO}_2\text{e}/\text{boe}$ 左右，开采阶段碳排放强度差异不大。由于不同常规天然气田采出的天然气组分差异大，干气、湿气、酸气所需的加工处理方式不同，是造成常规气生产碳排放强度差异的主要原因。

非常规天然气的储层地质环境复杂、气体流动性差，需要通过特殊的技术和工艺实现量产，开采时的碳排放更高。非常规气生产碳排放强度明显高于常规天然气，平均强度比常规天然气高出 62%。不同非常规气田间的差异主要由开采阶段引起，单井产量分布区间广、气田资源类型多元、开发方式复杂是造成不同非常规气田生产碳排放强度差异的主要原因。

3.1.2 盆地视角下的天然气生产碳排放强度

国内不同盆地 2023 年天然气产量加权平均生产碳强度位于 22.46 kgCO₂e/boe（珠江口）~68.63kgCO₂e/boe（鄂尔多斯）之间，排序如图 3.A 所示；鄂尔多斯盆地天然气生产以致密气和煤层气为主，资源品质逐渐劣化、气井产气递减快、开采工艺复杂导致盆地整体生产碳排放强度居高不下。

在空间上整体呈现西部低中部高，陆上高于海上的特征。陆上天然气产量主要集中在中部的四川盆地、鄂尔多斯盆和西部的塔里木盆地，西部地区高压优质常规天然气资源丰富，生产碳排放低于全国平均水平；中部地区鄂尔多斯盆地、沁水盆地和四川盆地中非常规天然气资源开发比例高，整体强度高于陆上其他地区。海上天然气目前投产的均为经济性高的高产气田，加之作业管控严格，整体平均排放强度低于陆上气田。

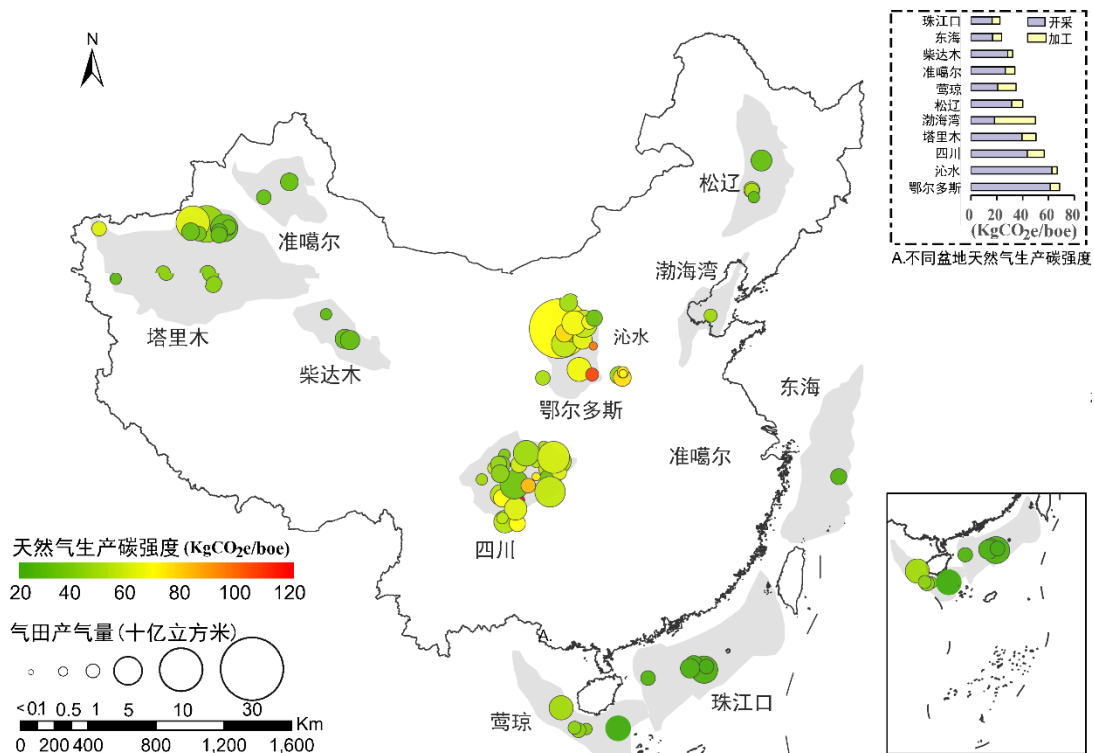


图 3 不同盆地天然气生产及排放情况

4.主要结论及政策建议:

4.1 主要结论

● 2023 年中国气田生产区块碳排放强度处于 18.7kgCO₂ 当量/桶到 133.3 kgCO₂ 当量/桶之间，国内产量加权平均碳排放强度为 55.01kgCO₂ 当量/桶，较去年上涨 1.4 kgCO₂ 当量/桶。非常规气产量占比增加，主导了国内整体天然气生产碳强度的上升。

● 中国天然气生产碳强度空间异质性显著，在空间上整体呈现西部低中部高，陆上高于海上的特征，海上天然气生产的平均碳强度仅为陆上天然气的 49.1%，加快海上天然气动用上产成为降低中国整体天然气生产碳强度的有利方向。

4.2 政策建议

(1) 推广非常规气田高效开发新模式，缓解增储上产带来的碳排放压力。中国天然气增储上产过程中非常规天然气扮演了中国未来天然气供应的“接力军”角色，其生产过程的高碳强度属性加剧了天然气增产面临的碳排放压力。随着中国天然气工业的进步发展，已经逐步探索出一些高效的非常规气田开发方案，建议从非常规天然气开发方式这一重要内部切点入手，积极探索并推广如“煤层-致密”两气合采等高效开发新模式，既能从经济效益上解决增产难的问题，又能在提高经济效益的同时降低排放强度，从根本上缓解增储上产的碳排放压力。

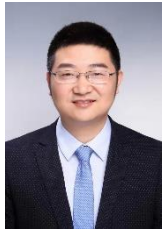
(2) 平衡海上天然气开发与海洋生态保护之间的矛盾，助力海上天然气开发增速。中国海上天然气田总体尚处于开发早期，优质资源具有高产、经济型佳、低碳的多重属性，其生产碳排放强度仅

为陆上气田的一半，加上海上气田靠近用气大省、运输距离短，扩大海上天然气产量份额可有效降低中国整体天然气供应侧的碳排放强度。但部分近海气田已动用的资源进入开采中后期，部分探明的优质资源受限于生产保护区等约束无法动用，为增产甚至稳产带来挑战，建议对此类资源的开发建立多方协作与社会参与机制、逐步实行区域性开发、加强海洋生态补偿工作、合理推进优质资源的开发动用。

关于作者

系列报告总协调人：王建良

本报告主笔人：



唐旭，中国石油大学（北京）教授，博导。耶鲁大学、瑞典乌普萨拉大学访问学者。从事能源经济与管理、管理系统工程等研究。主持国家自然科学基金等多项省部级以上课题；在国内外高水平学术期刊上发表文章 50 余篇，主编出版专著 2 部、教材 3 部；曾获北京市青年教学名师、北京市优秀博士学位论文等。



马志达，中国石油大学（北京）经济管理学院管理科学与工程专业博士研究生，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、中国工程院委托课题、中国自然资源经济研究院委托课题、中海油委托课题等共 9 项。



王建良，中国石油大学（北京）教授，博导。主要研究领域为油气系统工程、能源经济管理。以第一或通讯发表高水平文章 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。承担国家自然科学基金等多个省部级以上项目。

本报告校对：王建良

报告引用：唐旭，马志达，王建良. 中国国内天然气生产碳排放强度指数[R]. 中国石油大学（北京）碳中和与能源创新发展研究院, 2024I02, 2024 年 12 月 28 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

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

