

中国石油消费总量控制和政策研究项目 综合报告(2019)

# 中国石油消费 总量达峰与 控制方案研究

## RESEARCH ON CHINA OIL CONSUMPTION PEAK AND CAP PLAN

## 中国石油消费总量控制和政策研究项目 (油控研究项目)

中国是世界第二大石油消费国和第一大石油进口国。石油是中国社会经济发展的重要动力，但石油的生产和消费对生态环境造成了严重破坏；同时，石油对外依存度上升也威胁着中国的能源供应安全。为应对气候变化和减少环境污染，自然资源保护协会（NRDC）和能源基金会中国（EF China）作为协调单位，与国内外政府研究智库、科研院所和行业协会等十余家有影响力的单位合作，于2018年1月共同启动了“中国石油消费总量控制和政策研究”项目（简称油控研究项目），促进石油资源安全、高效、绿色、低碳的可持续开发和利用，助力中国跨越“石油时代”，早日进入新能源时代，为保障能源安全、节约资源、保护环境和公众健康以及应对气候变化等多重目标做出贡献。



### 自然资源保护协会（NRDC）

自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，拥有约300万会员及支持者。NRDC致力于保护地球环境，即保护人类、动植物以及所有生灵所倚赖的生态系统。自1970年成立以来，我们的环境律师、科学家和专家一直在为公众享有清洁的水和空气以及健康的社区而努力。通过在科学、经济和政策方面的专业知识，我们在亚洲、欧洲、拉美和北美等地区与当地合作伙伴一起共同推进环境的综合治理与改善。

## 系列报告

- 《中国石油消费总量达峰与控制方案研究》
- 《生物燃料作为石油替代在中国的发展潜力及路径研究》
- 《中国石油消费情景研究（2015-2050）》
- 《中国石油消费总量控制和财税政策研究》
- 《中国石油消费总量控制体制机制改革研究》
- 《国际石油消费趋势与政策回顾》
- 《油控情景下杭州市碳减排路径研究》
- 《中国石油真实成本研究》
- 《石油开采利用的水资源外部成本研究》
- 《中国石油消费总量控制的健康效应分析》
- 《中国传统燃油汽车退出时间表研究》

下载以上报告请登录NRDC官方网站 [www.nrdc.cn](http://www.nrdc.cn)

中国石油消费总量控制 and 政策研究项目 综合报告(2019)

# 中国石油消费总量达峰 与控制方案研究

RESEARCH ON CHINA OIL CONSUMPTION  
PEAK AND CAP PLAN

# 目录

---

执行摘要 .....	2
EXECUTIVE SUMMARY .....	6
前言 .....	10
<b>第一章 中国石油消费达峰与总量控制的背景与意义 .....</b>	<b>12</b>
一. 中国是世界上石油消费总量和进口大国 .....	13
二. 保障能源安全需要合理引导石油消费 .....	16
三. 气候变化对石油消费形成长期制约 .....	17
四. 建设“美丽中国”要求经济发展与石油消费尽早实现“脱钩” .....	18
五. 中国石油消费达峰与控制面临挑战 .....	19
<b>第二章 中国石油开发利用的真实成本 .....</b>	<b>22</b>
一. 石油开发利用的环境影响 .....	23
二. 环境外部成本估算框架与方法 .....	28
三. 环境成本估算结果 .....	31
<b>第三章 中国石油消费情景与峰值分析 .....</b>	<b>32</b>
一. 影响石油消费的因素分析 .....	33
二. 中国石油消费情景分析 .....	38
三. 石油消费情景分析主要结论 .....	38
<b>第四章 中国石油消费总量控制路径与实施路线图 .....</b>	<b>42</b>
一. 石油消费总量控制路线的设定和石油消费达峰 .....	43
二. 油控路径下的一次能源需求和碳排放 .....	44
三. 油控路径的实施路线图 .....	45
四. 石油消费总量控制促进经济增长 .....	51
<b>第五章 交通部门石油消费控制路径 .....</b>	<b>52</b>
一. 油控路径下的交通部门减油潜力和政策选项 .....	55

---



二. 交通部门五大减油途径的具体措施 .....	57
三. 汽车革命催生交通新业态 .....	62
<b>第六章 石化部门和其他部门石油消费控制路径 .....</b>	<b>68</b>
一. 油控路径下石化部门的减油潜力和政策选项 .....	69
二. 石化部门五大减油途径的具体措施 .....	71
三. 其它部门石油消费控制路径 .....	77
<b>第七章 地方油控的主要方案和措施 .....</b>	<b>80</b>
一. 地方政府在控制石油消费中的角色举足轻重 .....	81
二. 石油消费的区域化差异是决策基础 .....	82
三. 积极推动城市交通电动化 .....	83
四. 制定分地区、分车型、分阶段传统燃油汽车退出时间表 .....	85
五. 杭州市石油达峰与控制案例 .....	87
<b>第八章 石油消费达峰与总量控制的保障途径与措施 .....</b>	<b>90</b>
一. 建议采纳油控研究项目提出的关键性措施 .....	91
二. 推动石油开发利用外部成本内部化 .....	92
三. 加快调整和取消不合理石油补贴 .....	92
四. 完善促进节约替代石油的财税政策 .....	93
五. 把深化铁路和公共交通市场化改革与石油交通消费总量控制结合起来 .....	94
六. 深化石油相关领域体制改革 .....	94
七. 科技创新引领新技术发展 .....	95
<b>后记 .....</b>	<b>96</b>
<b>附表一 情景分析主要参数设置 .....</b>	<b>98</b>
<b>附表二 “十三五”时期经济资源环境和能源发展主要指标 .....</b>	<b>100</b>



# 执行摘要

**合理控制石油消费总量、推动石油消费尽早达峰，对于保障国家能源供应和经济安全、应对气候变化、打赢蓝天保卫战、建设绿色低碳高质量现代化经济体系具有重要意义。**中国是世界第二大石油消费国和第一大石油进口国，消费量和进口量都在持续增长，2018年中国石油消费总量6.28亿吨，对外依存度超过70%，动荡重组的国际石油市场，带来更多的不确定性和挑战，石油供应安全是政治决策的重要考量之一。石油消费总量控制的长远目标是，中国与国际社会一起积极应对气候变化并努力实现本世纪下半叶“碳中和”的目标。



© Photo by Yoel Desarmont on Unsplash

“跨越石油时代”是中国的必由之路。世界主要发达国家历经长期石油高消费后，已经在加速能源转型，促使中国制定和实施“跨越石油时代”的战略。目前，主要发达国家能源消费以石油为主，石油消费总量和人均石油消费都已达峰并明显下降，国际大石油公司从石油开发转向供应清洁和可再生能源。中国目前的人均石油消费较欧美发达国家要低；在资源、环境和气候变化的约束下，中国需要探索以明显低于发达国家油耗水平、至低于世界人均石油消费量的创新型“油控路径”，支撑实现全面现代化目标，实现跨越式发展。

中国石油开发利用在2015年的外部环境总成本为507元。石油开发利用的开采、输送、贮存、转换、利用和产品制造的全过程会对外部环境产生影响和破坏。如果充分考虑

石油开发利用过程中导致的空气污染、水资源消耗、土壤污染和健康影响等因素，2015年中国石油开发利用的外部成本达347元/吨，如果考虑气候变化影响，中国石油开发利用的外部总成本达507元/吨。石油外部环境成本研究的目的是逐步推动外部成本内部化，为制定相关环境税费、标准、法规和措施提供依据和参考，促进能效提高、技术创新和减少污染物排放，以人为本保护公众身体健康。

在油控路径下，中国2025年达到石油消费峰值；2050年实现“碳中和”的1.5°C温控目标。综合国际比较和情景分析，体现能源革命和绿色低碳高质量转型的驱动，本报告在三个情景分析的基础上，确立了油控路径。油控路径下，2025年石油消费达峰，峰值7.2亿吨；2035年实现“美丽中国”的愿景，

石油消费下降到6亿吨；2050年石油消费控制在4.2亿吨以下，采用驱油增气的二氧化碳捕捉、利用和蓄存技术（CCUS），以及发展森林碳汇，大幅度减少二氧化碳排放。

**石油消费总量控制的五大主要减油途径包括减量、高效、替代、结构优化和清洁利用。**与基准情景相比，油控路径下2050年石油消费减少3.5亿吨。其中交通部门减油潜力占66.3%，化工部门占14.3%，其他部门占19.4%。五大控油途径按减油潜力排序依次为替代48%、高效20%、结构优化16%、减量15%、清洁利用1%。替代和高效两大途径减油贡献68%。石油消费结构发生很大的变化。2050年与2017年相比，交通油耗占比从57.7%下降到33.3%，化工油耗从15.3%上升到42.4%，其他部门从27.0%下降到24.3%。

**交通运输部门在2023-2025年之间达到石油消费峰值。**与基准情景相比，油控路径下2050年交通运输部门石油消费降低约2.32亿吨。交通运输部门以替代、高效和清洁利用为方向，供需两侧发力。其中，汽车电气化、燃料替代等因素的贡献约64.7%；燃油经济性提高等高效措施贡献17.1%；通过优化客货运输结构和城市出行结构、优化发展方式降低不合理运输，以及加强城市规划的宏观减量和清洁利用贡献18.2%。

**化工部门石油消费在2035年左右达到峰值，并保持较长时间的平台期。**与基准情景相比，2050年化工用油降低约5000万吨。其中，禁、限和提升塑料等再生资源回收利用水平等措施的减量化贡献约38%；通过合理控制化工产业产能规模、降低出口隐含石油消费的结构优化贡献约30%；通过提升化工行业整体能效水平、供应侧结构性改革、延长产业链附加值、优化用能结构的高效化贡献约20%；通过推行原料多元化、增加进口化工原料和基础产品、发展非油化工，以及炼油和化工部推广清洁化生产贡献12%。

**其他部门的石油消费量在2025-2030年之间达到峰值。**与基准情景相比，其他部门2050年石油消费减少0.68亿吨。其中，提高各种汽柴油发动机的动力设备能耗标准可贡献

29.4%，淘汰落后和高污染的机械产品可贡献23.5%，以电力和非油燃料替代、工程作业和生产程序优化、采用清洁燃料等可贡献47.1%。

**制定、细化和实施传统燃油车退出的时间表是最有影响力的政策工具之一。**许多省、市地方政府，例如海南省政府，已制定实施不同类型的传统燃油车替代和退出计划，为全国“禁燃”政策的出台奠定了坚实的基础。汽车制造企业根据市场前景、技术研发进展和政策等制定传统燃油车的停产和停售时间表，以及发展新能源汽车的战略方案。本报告提出传统燃油车按时间表分车型、分地区、分阶段地退出市场。首先在特大型和大型核心城市、空气污染治理的重点区域以及新能源汽车试点城市中，对城市公交车、环卫、物流、通勤车，以及出租车、网约车等车辆在2020-2025年左右实行电动化或采用其他类型的新能源车。2040年为私家车退出的截止时间。2045年全部普通和专用客车退出。2050年之前重型运营货车退出。除道路交通以外，在水运，近海海运和空运行业也要制定近、中、远期的“禁燃”规划。

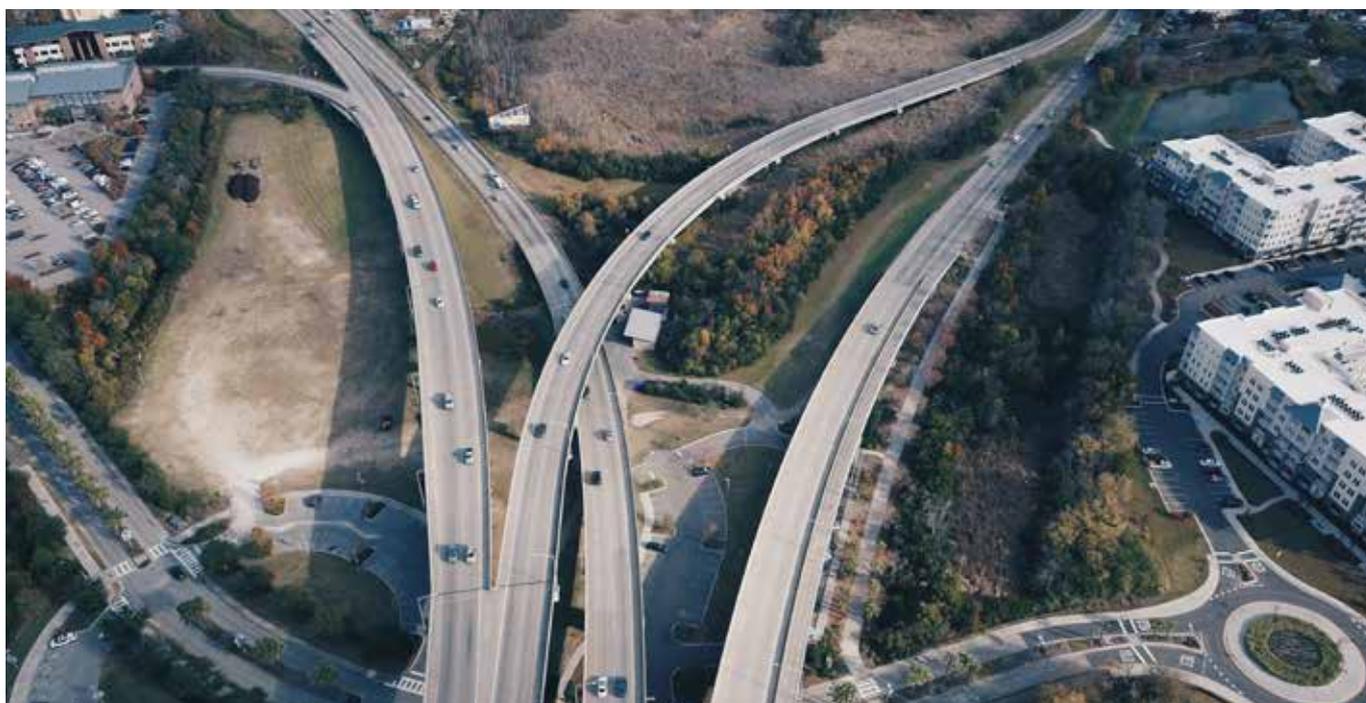
**以交通部门的“禁燃”、石化部门的“净塑”和其他部门的“定标”为主要抓手，扎实、有效、强力地推动石油消费总量控制工作。**三大抓手是各种减油途径中的重点。与基准情景相比，通过实施三大抓手2050年可实现减油2.05亿吨，占总减油量的58.6%。建议政府在“十四五”期间（2021-2025）制定、发布和实施“禁燃”、“净塑”和“定标”的时间表和路线图。三大抓手具有减排减碳、保护生态和公众身体健康的多重效益。

石油消费总量控制的指标有三个，第一个是指导性的石油消费占比；第二个是将强制性的乘用车双积分标准从部门上升为国家指标；第三个是将石油对外依存度列为预警指标。“十四五”能源规划中，石油消费占比低于20%，每五年计划逐步地降低。乘用车能效标准每五年审核加严。2025年石油达峰时，对外依存度预警指标为73%，以后每年的对外依存度逐步下降。如有突破，将在下一年采取有效措施，将石油消费对外依存度控制在预警指标之内。

**以石油消费总量控制为中心的“跨越石油时代”的发展战略将推动经济增长。**依靠市场化改革和体制创新，催生和哺育新的产业业态。本报告建议加快调整取消不合理石油补贴，建立反映真实外部成本的石油市场价格和税费体系，完善和促进节约和替代石油的财税政策。同时，制定燃油汽车退出路线图和时间表，推动汽车技术革命；深化油气体制、投资和管理等领域改革，推动页岩油气开发革命；推动化工产品生产逐渐向中高端发展；这些都将促进新产业出现和传统产业的转型升级，带动经济发展。

# EXECUTIVE SUMMARY

Reasonably capping oil consumption and achieving peak oil as early as possible is of the utmost importance for China to safeguard its energy supply and economic security, tackle climate change, win “the Battle for Blue Skies”, and build a green, low-carbon, and high-quality modern economy. China is the world’s 2nd largest oil consumer and 1st largest oil importer, with its oil use and imports continuously expanding over the years. China consumed 628 million tons of oil in 2018. The uncertainties and challenges associated with its high oil import dependence—which was more than 70% in 2018—and the volatile international oil market have caused China to put oil supply security high on its political agenda. Today, China and the international community are working together to combat climate change with a long-term goal of achieving carbon neutrality by the second half of this century.



© Photo by David Martin on Unsplash

“Leaping over the age of oil” is the clear path forward for China. After a long period of high oil consumption, major developed countries have accelerated their energy transformation, providing the impetus for China to establish and implement a strategy for “leaping over the age of oil.” Currently, major developed countries still rely on oil as a dominant energy source, but their total and per capita oil use has already peaked and since declined significantly, while major international oil companies are also shifting towards clean and renewable energy. Chinese per capita oil use is relatively lower than that of the developed countries; under the constraints imposed by limited resources, the environment, and climate, China needs to explore an innovative path towards oil consumption that is significantly less than that of developed countries, and even lower than the world’s per capita oil consumption of 0.6 tons, thus supporting its goal of building a modern society, and achieving a leapfrog approach to development.

The total external cost of China’s oil development and utilization was 507 RMB per metric ton of oil in 2015. Every aspect of oil development and utilization in China—from extraction to transportation, storage, conversion, utilization

and product manufacturing—can produce negative or harmful effects on the environment. The external costs of oil development and use in China were 347 RMB per metric ton in 2015 considering impacts such as environmental pollution, water resource damage, soil pollution, health risks and greenhouse gas emissions. This figure rises to 507 RMB per metric ton if climate impacts are also considered. The goal of the study on the environmental costs of oil is to help facilitate the gradual internalization of such external costs and will provide a basis for the assessment of relevant environmental taxes and fees, standards, regulations and measures. It will also help boost energy efficiency, foster technology innovation, reduce the emission of pollutants and protect people’s health.

Under the oil cap scenario pathway, China’s oil consumption can peak by 2025 and basically meet the ‘carbon neutral’ requirements of the 1.5°C temperature control target by 2050. The oil cap pathway is proposed based on international comparative studies and scenario analysis, taking into account an energy revolution and China’s green, low-carbon and quality-oriented economic transition. Under this pathway, China’s

---

oil consumption is expected to peak before 2025. Under the vision of a “Beautiful China”, oil consumption would decrease to about 600 million metric tons by 2035. Oil consumption would be limited to within 420 million tons by 2050. With the commercialization of Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) technology and the expansion of forest carbon-sinks, carbon emissions will be dramatically reduced.

The five major approaches for capping oil use include reducing demand; improving efficiency; replacing oil with alternative energy sources; optimizing industry structures and product portfolios; and encouraging clean use. By 2050, the oil cap scenario pathway would reduce oil consumption by 350 million metric tons compared to the baseline scenario. Of these reductions, the transportation sector would account for 66.3%, the chemical sector would account for 14.3%, and other sectors would account for 19.4%. Oil reduction potential can be broken down according to the five major approaches, of which oil replacement accounts for 48%, efficiency improvements account for 20%, structural optimization for 16%, reducing demand accounts for 15%, and clean utilization accounts for 1%. Replacement and efficiency improvements are by far the most significant contributor, accounting for 68% of oil reduction potential.

Under this scenario, the oil consumption structure would experience significant changes. When breaking down China’s oil consumption in 2017 we find that the transportation sector accounted for 57.7%, the chemical sector accounted for 15.3%, and other sectors 27.0%. However, by 2050, the transportation sector will account for 33.3% of oil consumption, the chemical sector will account for 42.4%, and other sectors will account for 24.3%.

The transportation sector is expected to reach peak oil consumption between 2020 and 2023. By 2050, oil consumption in the transportation sector will have decreased by about 232 million tons compared to the baseline scenario. The transportation sector should move in the direction of substitution, increasing efficiency, and clean utilization, making progress from both the supply and demand sides. Fuel substitution approaches, such as automobile electrification, will contribute 64.7% of the decrease, and efficiency measures such as fuel economy improvements will account for 17.1%. The

structural optimization of passenger and cargo transportation and of urban travel, unreasonable transportation reduction through optimized urban planning, and clean utilization will account for 18.2% of these reductions.

Oil consumption in the petrochemical sector is expected to peak around 2035, followed by a long plateau. In 2050, petrochemical sector oil consumption will be reduced by about 50 million tons compared with the baseline scenario. Oil reduction measures such as implementing prohibitions and limitations on plastics and increasing recycling rates for plastics will contribute around 38% of this reduction. Structural optimization approaches such as controlling the scale of production capacity in the petrochemical sector and reducing indirect oil consumption through optimizing petrochemical exports will contribute about 30% of this reduction. Increasing overall energy efficiency in the petrochemical sector, implementing supply-side structural reforms, extending the added value of the industrial chain and optimizing the energy consumption structure will contribute about 20%. By increasing imports of petrochemical raw materials or basic products, developing non-oil consuming chemical industries and promoting cleaner production, the petrochemical sector will reduce oil consumption and contribute to another 12% of reductions.

Oil consumption in other sectors is expected to peak between 2025 and 2035. Oil consumption in other sectors will have decreased by 68 million tons in 2050. Oil is mainly used in various kinds of machinery, including in gasoline and diesel engines, domestic heating, and industrial lubricants. Of this reduction, improving efficiency standards for gasoline and diesel engines accounts for 29.4%, elimination of backward and highly polluting machinery accounts for 23.5%, replacement with electric and non-oil options, optimization of the engineering operation and production processes, and clean utilization accounts for 47.1%. There are various kinds of oil-consuming machinery in operation, causing serious pollution. It is therefore important to improve fuel efficiency and pollution emission standards for gasoline and diesel engines and to implement electric heating substitution.

A detailed and enforceable timetable for a fuel phase-out is one

of the most influential policy tools available. Many provincial and municipal governments, for example Hainan Provincial Government, have designed and are carrying out a plan for replacing and phasing-out different types of traditional internal combustion engine (ICE) vehicles, laying a solid foundation for the launch of a national scale ICE phase-out policy. Automobile manufacturing companies can formulate timetables for the suspension and ban of traditional fuel vehicles, as well as develop new energy vehicle production and sales programs according to market strategy, technology R&D and the current policy environment. The report points out that traditional ICE vehicles should be phased out according to a timetable that specifies deadlines for different vehicle types, regions and phases. The ban will first be introduced to megacities, large core cities, cities in key air pollution regions and pilot NEV cities, where electrification and other types of new energy will be adopted around 2020-2025 for all vehicles used for urban public transportation, sanitation, logistics, commuter service vehicles, taxis and ride hailing vehicles. The timetable also envisions replacing traditional ICE vehicles with NEVs for all government vehicles by 2030, for all private cars by 2040, for general and special-purpose passenger vehicles by 2045, and for heavy-duty trucks by 2050. In addition to road traffic, it is also necessary to formulate near, medium, and long-term fuel phase-out plans for water shipping and air operations.

China's solid, effective and forceful efforts in promoting a cap on oil consumption are supported by three pillars—the ban of traditional petrol and diesel vehicles in the transportation sector, the restriction of plastic products in the petrochemical sector, and the imposition of stricter energy efficiency standards in other sectors. The oil reduction potential of these three pillars is 205 million tons, accounting for 58.6% of the total. We recommend that the government formulate, publish and enforce timetables for the ban of traditional petrol and diesel vehicles, for the restriction of plastic products, and for the imposition of stricter energy efficiency standards in other sectors during the 14th Five-Year Plan period (2021-2025). The three pillars have multiple benefits, including reducing carbon emissions, protecting the environment and protecting public health.

We recommend establishing three indicators for capping oil consumption. The first is a guiding target of the share of oil

in total energy consumption. The second is to elevate the mandatory dual-credit system for passenger cars' fuel efficiency and New Energy Vehicles from a sectoral level target to a national one. The third is to establish external oil dependence as an early warning indicator. During the 14th Five-Year Energy Plan, the share of oil consumption should be less than 20%, with gradual reductions every five years. Energy efficiency and New Electric Vehicle targets for passenger cars should also be tightened every five years. The target for China's external dependence on oil at peak oil consumption in 2025 should be set at 73% or less, and gradually decline in the future. If the rate of external dependence passes this target, the country should take effective actions to control external dependence to within the target range.

The development strategy for “Leaping Over the Age of Oil” with an oil consumption cap at its core will boost economic growth. Market-oriented reforms and institutional innovation will catalyze and nurture new commercial activities. This report recommends that the government speed up the adjustment and removal of unreasonable subsidies to build an oil market and tax system that reflects the true external cost of oil use; improve fiscal and tax policies that encourage oil saving and substitution; and formulate a roadmap for the phase-out of ICE vehicles to promote the automotive technology revolution; and to deepen the reform of the oil and gas sector and mechanisms for managing investments to create a market and policy environment that promotes the shale oil and gas revolution.

# 前言

中国石油消费总量控制和政策研究项目（简称“油控研究项目”），于2018年1月正式启动，由自然资源保护协会（NRDC）和能源基金会中国（EF China）作为协调单位，国内外10余家有影响力的研究机构共同参与。

油控研究项目试图回答一个问题：中国能否跨越石油时代？

石油是全球能源消费中的第一大能源品类，占比33%左右，全球对石油的依赖仍然强劲。在中国，2018年石油消费占比已经达到18.9%，石油消费对外依存度高于70%，并且呈现逐年上升的趋势，中国面临着日益严峻的石油供应安全挑战。综合报告分析和对比了中国与主要发达国家的经济发展、能源与石油消费，以及政策影响等因素，探索中国石油开发利用的新路径。环境、气候变化、公众身体健康、资源禀赋、石油供应安全等因素对中国石油开发利用的约束愈来愈强，加之中国石油开发利用造成的外部成本很高，促使中国需要加速能源转型。尽早实现石油消费达峰，是跨越石油时代的第一个里程碑。一个高效、清洁、低碳的石油消费模式，对中国社会、经济高质量经济发展和对人民生活幸福感的增强，无疑是一个必备条件。

我们充分认识到“跨越石油时代”的挑战性、复杂性和长期性。本报告研究和提出了石油消费总量控制的路径和具体方案。中国的石油消费在2014年后进入一个平稳中速的增长期，暗示一个变革的转折点即将到来。本报告提出中国石油消费在2025年达峰，峰值7.2亿吨左右。在中国煤炭消费已经实现平稳下降的情况下，促进石油消费尽早达峰可以加速中国二氧化碳排放峰值提前到来。中国经济和产业结构的不断优化升级、技术飞速发展、绿色金融不断完善、市场竞争优胜劣汰和企业不断创新，都为中国“跨越石油时代”提供了坚实的基础。

我们认为，本报告不是试图去准确地“预测”未来的石油消费需求，也没有提供“灵丹妙药”。我们所做的，是分析、研判和把握未来石油消费的转折点、变化趋势和方向，提出一些新的观点、创新模式和有效措施，以及建议强有力的政策选项，推动和实现这些变化。“跨越石油时代”的思路和实施效果，如能助力中国的能源转型，我们将不胜荣幸。

我们相信，中国“跨越石油时代”的实践可以为世界提供一个新的视角。全球的能源消费正处于石油时代，对石油资源潜力的限度、国际石油贸易的特殊性和脆弱性、国家之间石油消费的不平衡，以及石油开发消费对环境和气候变化的影响和危害等都引起人们的焦虑。“跨越石油时代”努力寻找一个解答方案，使主要石油消费国家能够摆脱对石油的依赖，后起的发展中国家也可以避免高昂的石油基础设施投资，高效地利用石油资源来提高现代化生活质量水平。同样重要的是，可以显著减缓温室气体排放，保护人类赖以生存的环境。

# 1

## 中国石油消费达峰与 总量控制的背景与意义

石油是现代经济社会发展的“血液”，是事关国计民生的战略性资源，同时也是导致环境污染、生态破坏和二氧化碳排放的重要来源。在中国全面建设生态文明、加快经济高质量发展的背景下，推动石油消费尽早达峰，控制石油消费总量过快增长，对于打赢蓝天保卫战、积极应对气候变化、保障国家能源和经济安全具有重要意义。

## 一、中国是世界石油消费总量和进口大国

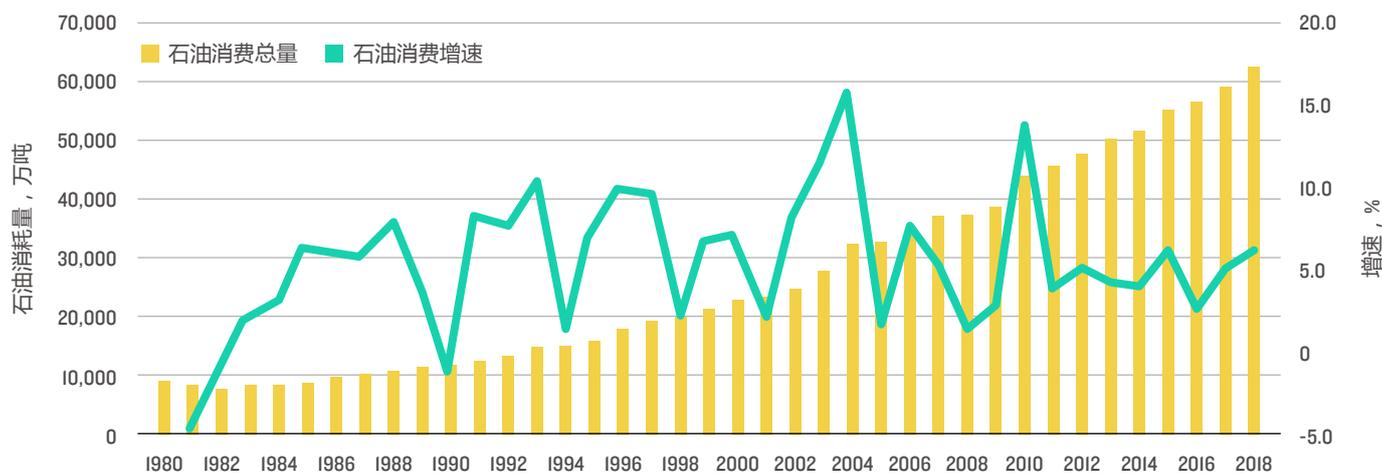
2018年，中国生产原油1.89亿吨，进口原油4.62亿吨，进口成品油3348万吨<sup>1</sup>。中国石油消费总量约6.28亿吨，仅次于美国居世界第二位，占全球石油消费总量的13.4%，占中国一次能源消费总量的18.9%。

2014-2018年，中国一次能源消费增速明显放缓，年均增速不超过2.2%，但石油消费仍快速增长，年均增速达4.7%。与1990-2013年期间石油消费增速的大起大落和较高的年均增速6.3%相比，石油消费增速进入平稳期<sup>2</sup>，如图1.1所示。

自1993年中国成为石油净进口国之后，石油进口量持续快速攀升。2018年中国进口依存度上升到70%，是世界石油进口第一大国<sup>3</sup>。2008-2018年十年间，全球石油消费总量增加了5.2亿吨，其中49%的消费量增加来自中国，到2030年，预计中国仍将消费全世界石油增量的一半左右<sup>4</sup>。中国已经成为驱动全球石油消费增长的主要动力，成为重塑全球石油市场格局的重要角色，但同时，也正面临着石油供应安全的挑战。

图1.2显示2017年石油从开发、进出口、运输、加工转换到终端利用的各个环节的流动。油流图揭示各个部门对不同油品的消费量，估算其占比和终端利用效率。通过石油消费

图 1.1：中国石油消费总量与增速（1980-2018）



资料来源：《中国统计摘要2019》，国家统计局编，中国统计出版社2019年5月

<sup>1</sup> 《2018年国民经济和社会发展统计公报》，国家统计局，2019年2月28日

<sup>2</sup> 《中国统计摘要2019》，国家统计局编，中国统计出版社，2019年5月

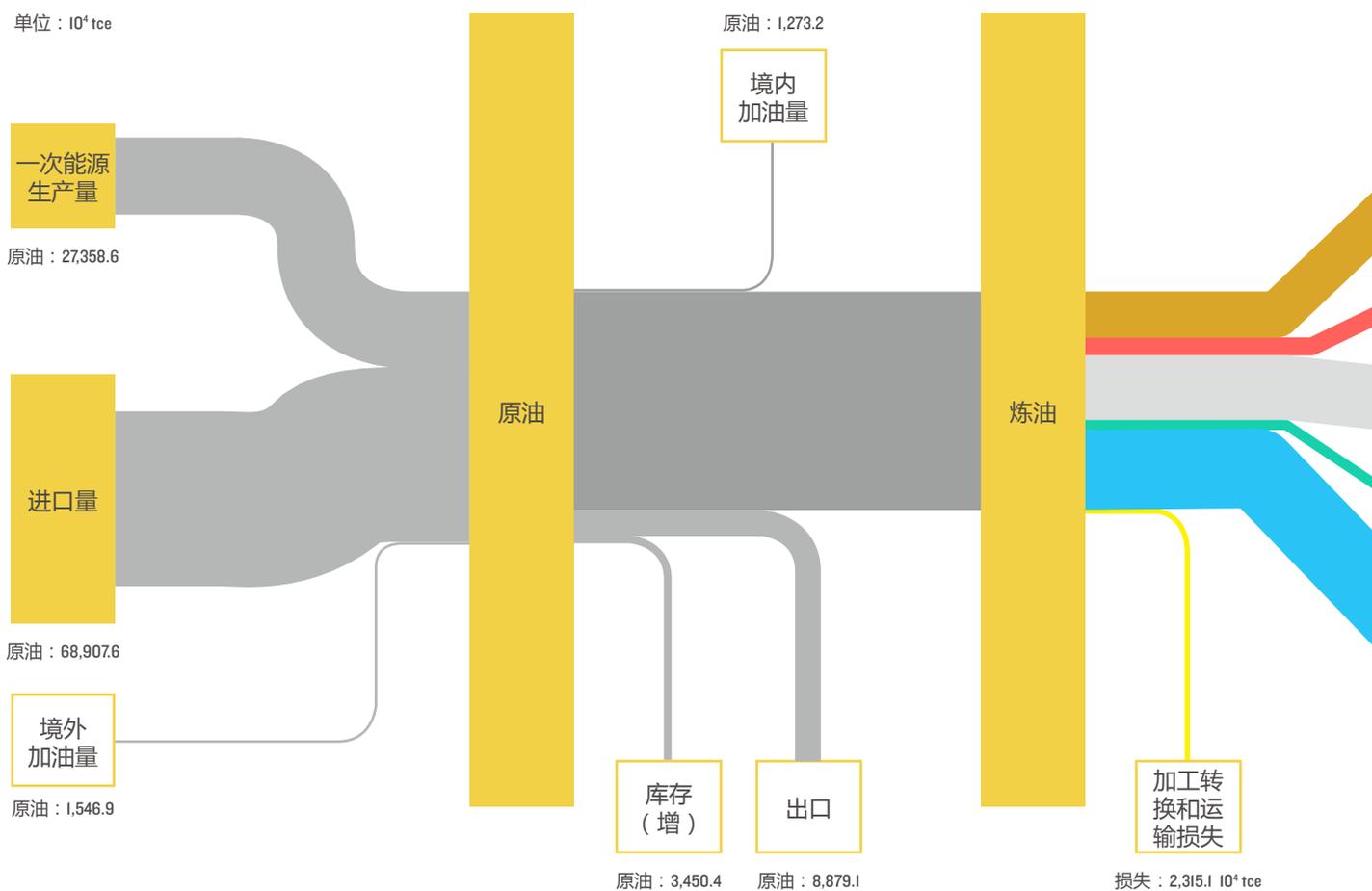
<sup>3</sup> 《中国统计年鉴2019》，国家统计局，中国统计出版社，2019年9月

<sup>4</sup> 《BP世界能源统计年鉴2019》，BP，2019年6月/第68版

图 1.2：中国石油生产消费流向图（2017年）

■ 原油 ■ 汽油 ■ 煤油 ■ 柴油 ■ 燃料油 ■ 其他石油制品 ■ 各类石油制品 ■ 原油及石油制品 ■ 损失

单位：10<sup>4</sup> tce



资料来源：《中国2017年能流图和油流图》，胡秀莲、刘嘉，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

流向图也可以看出石油在各个环节上的损失及其减少损失的潜力。通过改进各个部门的耗油效率，可以提高整体石油消费系统效率的水平。

石油消费主要包括燃料和原料两大用途。基于油流图的石油消费各部门构成如图1.3所示，2017年中国石油消费5.89亿吨，交通部门占石油消费总量的57.7%，化工（工业原料）占15.3%，建筑业、农业、其他工业部门、生活消费、批发零售分别占5.2%、1.1%、12.1%、6.9%、0.4%，其他占1.3%。

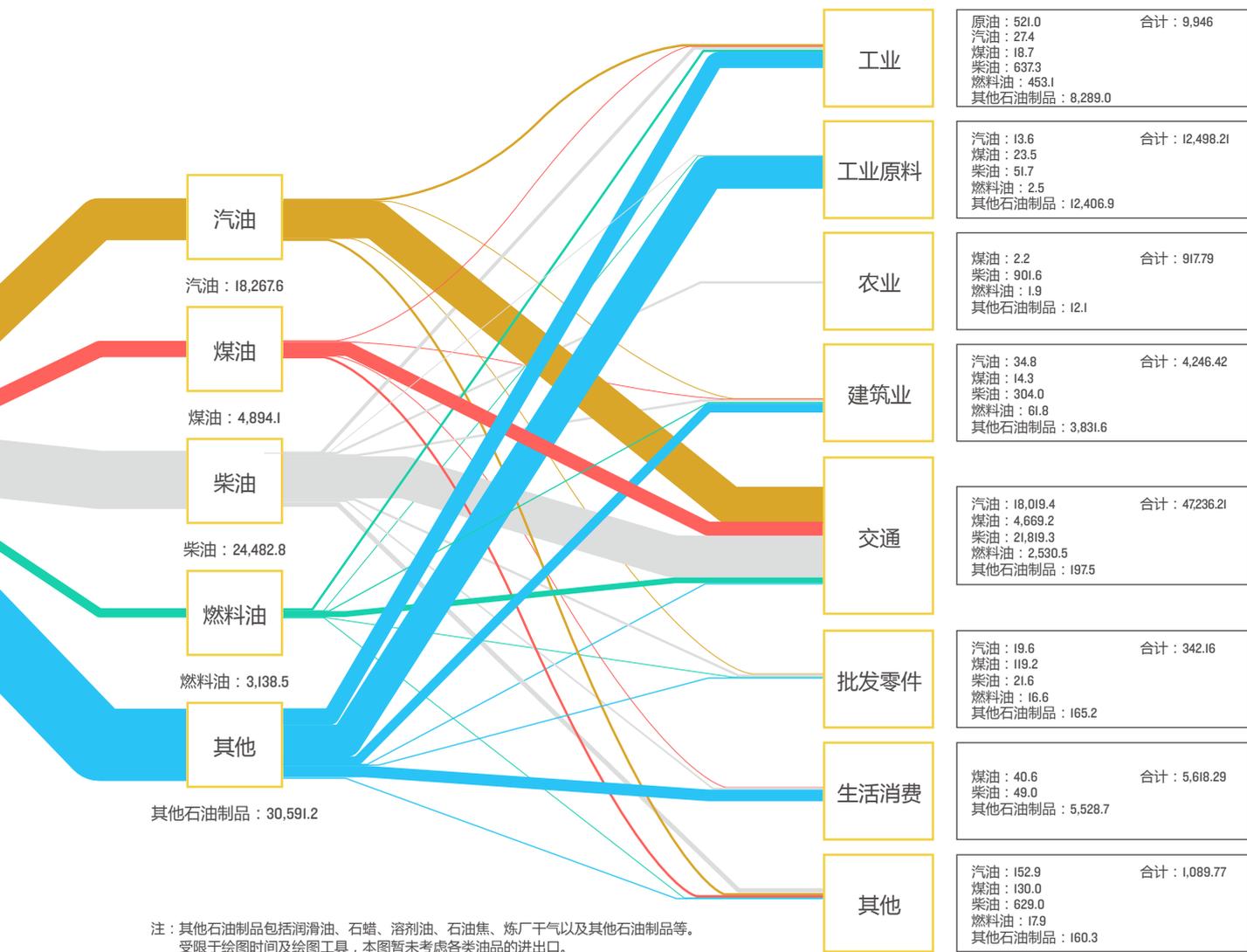
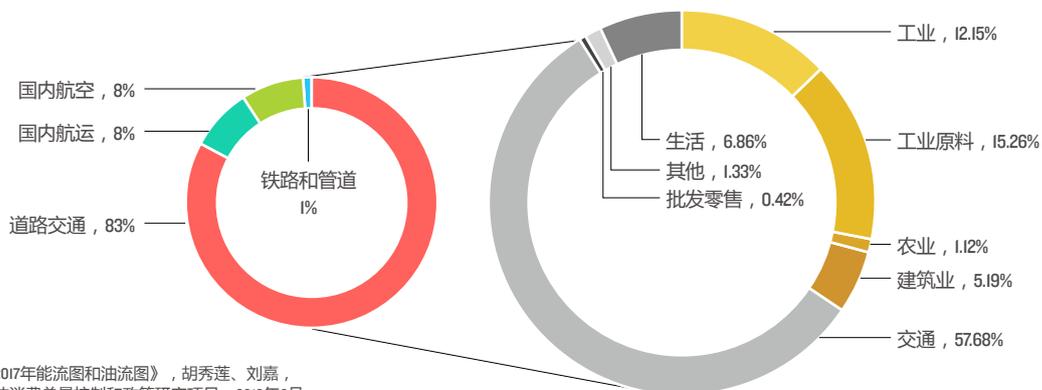


图 1.3：中国各部门石油消费占比（2017年）



资料来源：《中国2017年能流图和油流图》，胡秀莲、刘嘉，  
 中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

## 二、保障能源安全需要合理引导石油消费

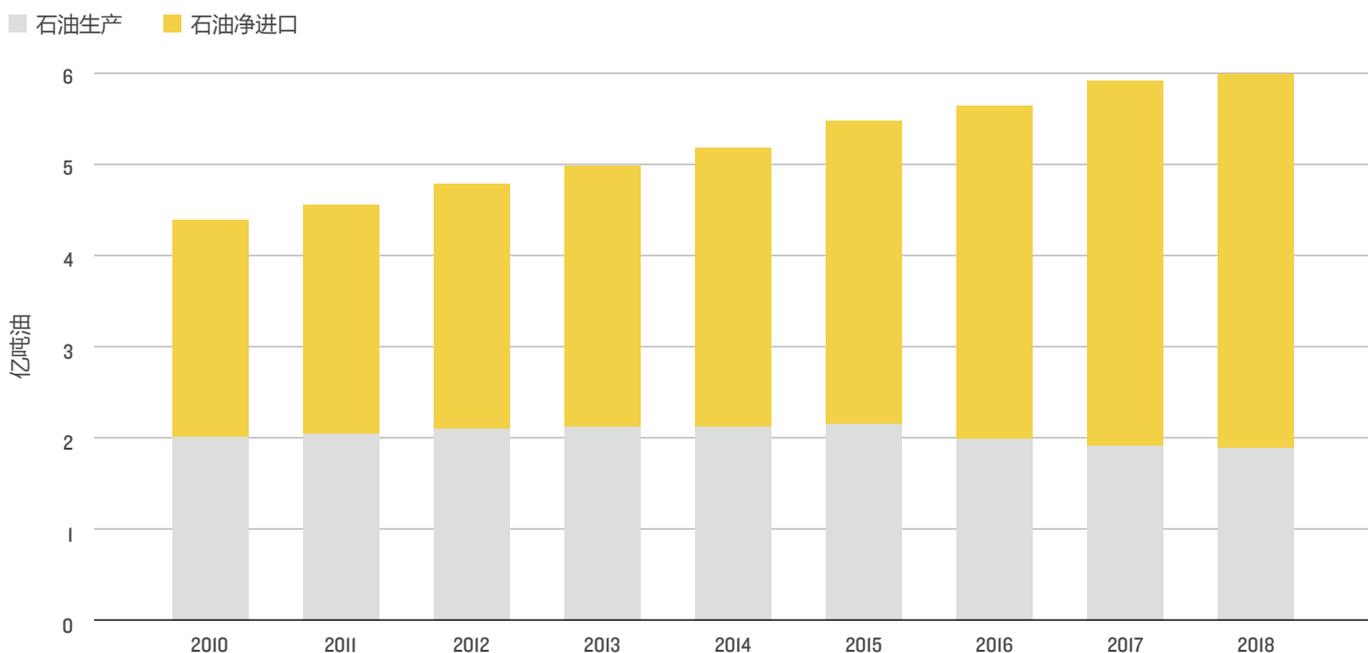
中国石油消费持续快速增长，新增消费主要依靠进口，对保障能源和经济安全带来严峻挑战。2018年中国原油及成品油进口金额分别达15,882亿元和1,333亿元，比上年分别增长43.1%和35.6%，是进口的仅次于集成电路的最大商品<sup>5</sup>。中国原油生产量从2010年的2.03亿吨增长到2015年的原油生产峰值2.15亿吨后，缓步下降到2018年的1.89亿吨，近三年原油消费新增量100%依靠进口，如图1.4所示。国内石油开发整体已经进入低品位资源勘探开发阶段，预计经过努力在较长时期可维持每年2亿吨左右的产量水平，而且成本还明显高于中东地区石油开采国家。今后中国新增石油消费将主要依赖进口，石油进口依存度还将不断上升。

从全球石油供应状况看，伴随油气勘探开发技术不断取

得突破，国际石油供需格局呈变化重组态势。美国1953年成为石油净进口国，1970年国内石油生产达到高峰后，石油进口逐年增加。在“页岩气革命”背景下，2018年美国原油进口依存度仅31.8%，是1967年以来的最低水平<sup>6</sup>。美国石油摆脱了对国际石油的依赖，逐渐成为新的全球石油生产和出口大国。全球能源资源版图和格局出现深刻变化，美国、俄罗斯和沙特阿拉伯“三剑客”之间的博弈给国际石油市场带来新的不确定影响。

2018年中国石油进口主要来源及进口量如图1.5所示。其中多数国家，在政治和经济上容易受到外部环境的干扰。石油对外依存度越高，中国的经济稳定性越受影响。保障中国能源安全，既要从供给侧增加多渠道石油供给能力、增强储备运输应急能力，更重要的是，要从需求侧高效经济利用石油，尽早实现石油消费峰值并稳定下降，降低对进口石油的依存度，实现经济社会平稳发展。

图 1.4：中国石油生产和进口情况（2010-2018）

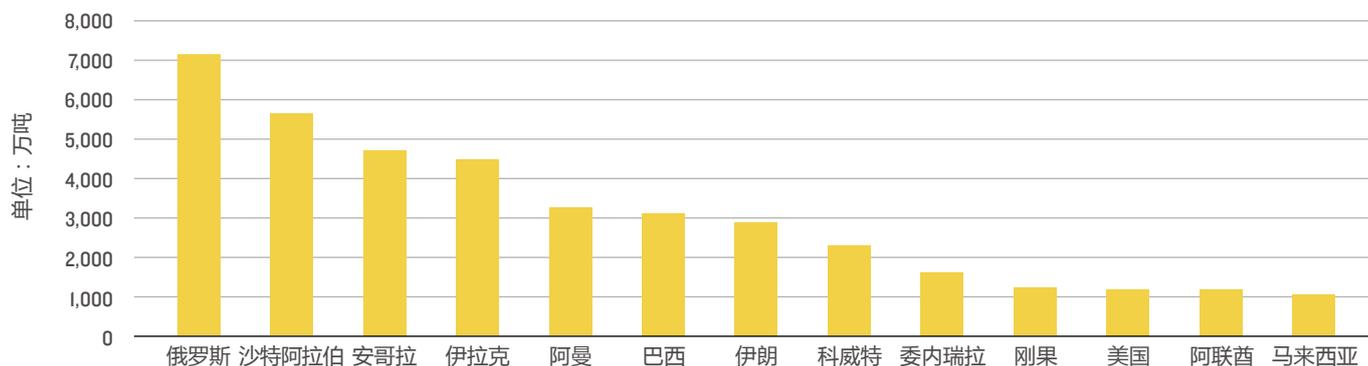


资料来源：《中国统计摘要2019》，国家统计局编，中国统计出版社2019年5月

<sup>5</sup> 《中国海关统计年鉴2018》，海关总署，中国海关出版社有限公司，2019年7月

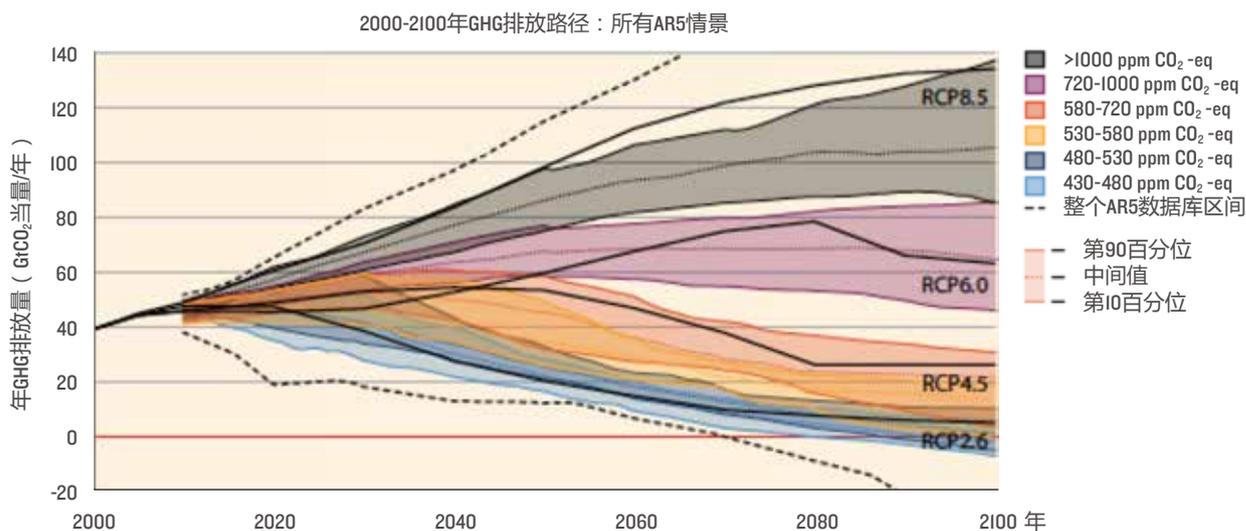
<sup>6</sup> 《年度能源展望2019》，美国能源信息署，2019年1月

图 1.5：中国石油进口主要来源国及数量（2018年）



资料来源：《BP世界能源统计年鉴2019》，BP，2019年6月/第68版

图 1.6：全球不同温升控制目标下的减排情景



注：实现2度温升控制目标，2100年二氧化碳当量浓度要控制在450ppm左右，2050年全球温室气体排放比2010年减少40%至70%。

资料来源：《全球升温1.5°C特别报告》，IPCC，2018年10月

### 三、气候变化对石油消费形成长期制约

2015年达成的《巴黎气候变化协定》明确了到本世纪末将全球温升控制在工业化前水平2°C以下，并努力控制在1.5°C以内的温控目标；全球温室气体排放要尽早达峰，并且本世纪下半叶实现温室气体零排放的“碳中和”。2018年10月，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布了《全球升温1.5°C特别报告》，进一步强调全球升温1.5°C最快可能在2030

年达到，各国都要努力提高减排雄心和目标。根据国际能源署（IEA）相关研究，要实现全球2°C温升控制目标，2050年全球温室气体排放比2010年水平下降40%至70%，见图1.6。

中国是全球二氧化碳排放第一大国，2017年占全球二氧化碳排放总量的27%，是应对气候变化重要参与者、贡献者和引领者。中国煤炭消费于2013年达峰，2018年煤炭消费引起的碳排放比2013年下降约6.5亿吨，与此同时石油消费引起的二



之一以上，见图1.7。石化行业消耗大量水资源，废水污染严重，而且污染物成分复杂，含有各种致癌物和重金属，处理困难，短期污染和长期损害并存。许多地方规划建设大型石化项目，不仅加大VOCs排放治理强度，加大水资源供应和废水处理难度，还可能带来生态环境安全等新的风险隐患。

由于传统燃油汽车在道路运输中占主导地位，中国许多城市开始出现煤烟和机动车尾气复合污染的特点，直接影响群众身体健康。北京、上海、广州等15个城市大气PM<sub>2.5</sub>源解析结果显示，本地排放源中的移动源对PM<sub>2.5</sub>浓度的贡献范围为13.5%至52.1%<sup>10</sup>。图1.8列出2016年上海和广州PM<sub>2.5</sub>源解析。上海移动源占污染物排放量的29.2%，广州机动车和船舶移动源共占25.2%，随着其他污染物排放量的减少，交通部门对PM<sub>2.5</sub>污染的贡献上升。在机动车中，占汽车保有量7.8%的柴油货车，排放了57.3%的NO<sub>x</sub>和77.8%的PM<sub>2.5</sub>，是城市污染治理的重中之重。在非道路移动源中，不少地方工程机械、农业机械等排放的NO<sub>x</sub>和PM<sub>2.5</sub>排放甚至与机动车相当。此外，船

舶燃油尾气排放导致的大气污染同样较为严重，对中国沿海和沿江港口地区空气质量的影响加重。

2013年-2018年，全国主要污染物PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>下降了35%-45%。但VOC下降缓慢，臭氧(O<sub>3</sub>)不降反升，平均值从140微克/立方米上升到150微克/立方米左右。臭氧成为大城市夏季的主要空气污染物，对公众身体健康造成很大的危害。臭氧的主要排放源是交通部门<sup>11</sup>。

## 五、中国石油消费达峰与控制面临挑战

2018年世界能源消费中，石油、煤炭、天然气和非化石能源各占33%、27%、24%和16%<sup>12</sup>，石油是第一大能源。从上世纪中期，世界能源消费从“煤炭时代”进入“石油时代”，发达国家经历了煤炭、石油和天然气消费峰值。表1.1可以看出不同发达国家石油消费达峰的时间、石油消费量、人均油耗量和人均GDP，以及与中国对比。

表 1.1：主要发达国家与中国石油消费及达峰比较

	美国	德国	法国	英国	日本	中国
石油消费总量达峰年度	2005	1979	1973	1973	1996	-
石油消费峰值（百万吨油当量）	972.7	167.7	129.5	115.6	279.2	-
2018年石油消费量（百万吨油当量）	919.7	113.2	78.9	77	182.4	642
2018年石油消费占一次能源比重	40.0%	34.9%	32.5%	40.1%	40.2%	18.9%
2018年人均石油消费量（吨）	2.81	1.37	1.18	1.16	1.44	0.45
2018年人均GDP（美元）	62,641	48,196	41,464	42,491	39,287	9,420

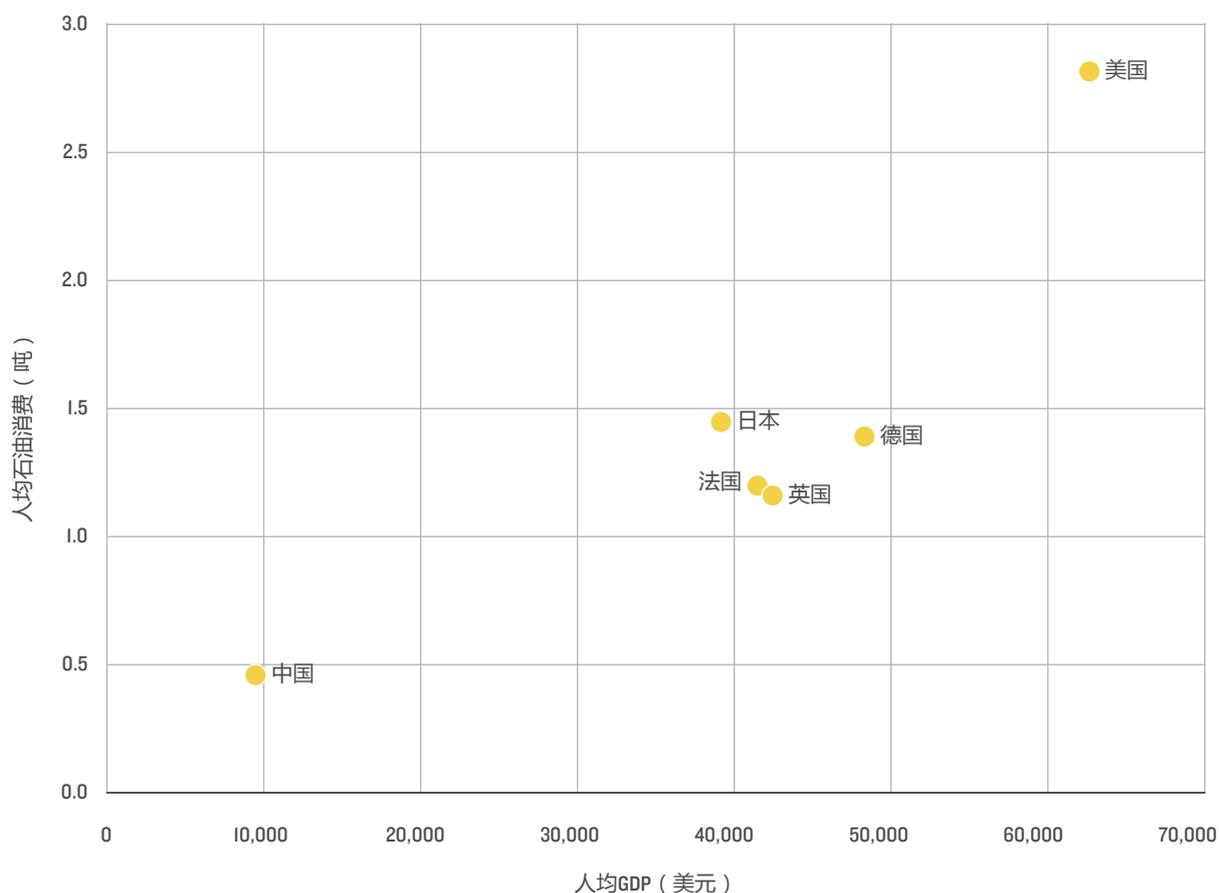
资料来源：《国际石油消费趋势与政策回顾》，美国劳伦斯伯克利国家实验室，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>10</sup> 《中国机动车环境管理年报2018》，生态环境部，2018年5月

<sup>11</sup> 《中国石油真实成本研究》，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>12</sup> 《BP世界能源统计年鉴2019》，BP，2019年6月

图 1.9：2018年部分国家人均GDP与人均石油消费量的关系



资料来源：《国际石油消费趋势与政策回顾》，美国劳伦斯伯克利国家实验室，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

各国石油消费差别也比较大，见图1.9，2018年美国人均石油消费约2.81吨，人均GDP约为6.2万美元。其他发达国家人均石油消费普遍多于1吨。人均GDP在3万-5万美元之间。发达国家的历史经验表明，人均GDP越高，人均石油消费越多。中国是世界上最大的发展中国家，目前人均GDP在9,420美元左右，是世界平均水平的80%，今后经济总量和能源需求预计还将持续增长。从人均石油消费水平看，2018年中国人均石油消费为0.45吨，是美国人均水平的1/5，是英法等国人均水平的40%，也低于世界平均水平0.6吨。

但是，我们容易忽视的一点是，中国是以煤炭为主的能源结构（2018年煤炭一次能源占比达到58%，石油消费占比

18.9%），而主要发达国家是以石油为主的能源结构，如果单从人均石油消费水平来说明中国石油消费增长潜力巨大的合理性，会相当片面。无论是保持现有的煤炭为主的能源结构，还是一味强调人均石油消费量的提高，既无法摆脱中国对高碳能源的依赖，也无法减少中国能源安全方面的风险。

假设中国石油消费占比达到32%（总能耗60亿吨标煤），进入石油时代，人均油耗1吨，其对能源资源对环境生态的破坏、污染物和碳排放以及城市的喧嚣和拥堵等都是不可承受的，将对中国经济和能源转型发展提出严峻的挑战。显然，中国的能源转型道路是摆脱煤炭依赖，跨越石油时代，拥抱新能源。

目前，主要发达国家都已经实现石油消费达峰，一些发达国家人均石油消费持续下降。中国应该把推动石油消费达峰作为当前首要目标，采取有效措施，加快跨越石油时代的步伐。自2016年以来，中国启动实施了能源生产、消费、科技、体制和国际合作全方位革命，明确政策导向与约束并重，着力构建清洁、低碳、安全高效的现代能源体系，推动能源由粗放发展迈入高质量发展阶段。

在较短时期内，要在满足各地区合理石油消费增长需求的同时，创新地设计出以更低的人均石油消费量支撑实现全面小康和现代化目标的发展路径。在石油消费的主要领域实施强力措施，实现石油消费“由增转降”和“削燃为料”（减少石油作为燃料使用，增加其作为原料的属性），并建立全新的以非化石能源为主体的能源供给和消费系统。

# 中国石油开发利用 的真实成本

石油开发利用产生的外部成本在现有狭义竞争的市场体系下尚未充分反映。推动石油开发利用的真实成本逐步内部化、价格化是各国引导石油合理消费的共识。对我国而言，深入分析石油开发利用过程中造成的水资源、水环境、水生态以及土壤、植被、水循环系统等多重影响，可以定量化石油开发利用的真实成本，有助于政府部门在制定政策，尤其是环境税和财政激励性措施中，提供量化的参考依据，使决策更有效、更有针对性。企业在履行其社会责任时，可以预测其投资和技术应用对社会的贡献。公众可以清楚了解其倡导的主张和消费模式的改变会产生怎样的效果。



© Photo by Sorapop Udomsiri on flickr

## 一、石油开发利用的环境影响

### 1.1 水环境影响

石油开发、加工、转化、利用的全过程均对水资源产生严重影响。多数油田的石油开采需要大量注水，以保持开采的压力。特别是在我国北方地区，主要油田所在地区多属于半干旱或干旱地区，区域水资源较为匮乏。大规模油田开发的用水需求，往往需要通过地表引调水或者开采地下水来满足，一方面加剧了区域本已紧张的供用水矛盾，造成水资源超载；另一方面导致深层和浅层地下水的超采、地下水位大幅下降，造成区域地下水取水日益困难，影响正常的生活生产需求。同时，从石油与水资源的分布来看，中国石油资源集中分布的渤海湾、松辽、塔里木、鄂尔多斯、准噶尔、珠江口、柴达木和东海陆架等八大盆地，多属于缺水地区，不规范的石油开发可能影响水资源保护及可持续利用。据现有的油田开发数据，石油开采的平均取水量为2.8立方米/吨油<sup>13</sup>。

石油开采对水环境的影响包括渗透污染、穿透污染以及事故型污染等。其中，渗透污染和穿透污染往往造成区域地表水、土壤水和地下水的面源污染（non-point source pollution），事故型污染容易造成点源污染（point source pollution）。原油开采前期的钻井勘探、开采过程中的注水驱

表 2.1：石油相关行业工业废水中污染物排放量及在重点调查工业中的排名

行业	石油加工、炼焦和核燃料加工业		化学原料和化学制品制造业	
	排放量（吨）	排名	排放量（吨）	排名
COD	-	-	346,000	2
氨氮	15000	3	58,000	1
石油类	2738	1	2,086	2
挥发酚	790.8	1	85.0	2
氰化物	58	1	40	2

注：“-”为数据暂缺。

资料来源：《2015年中国环境统计年报》，北京新华印刷有限公司，2015年12月

<sup>13</sup> 《工业废水都去哪儿了》，中国石油报，2019年5月17日

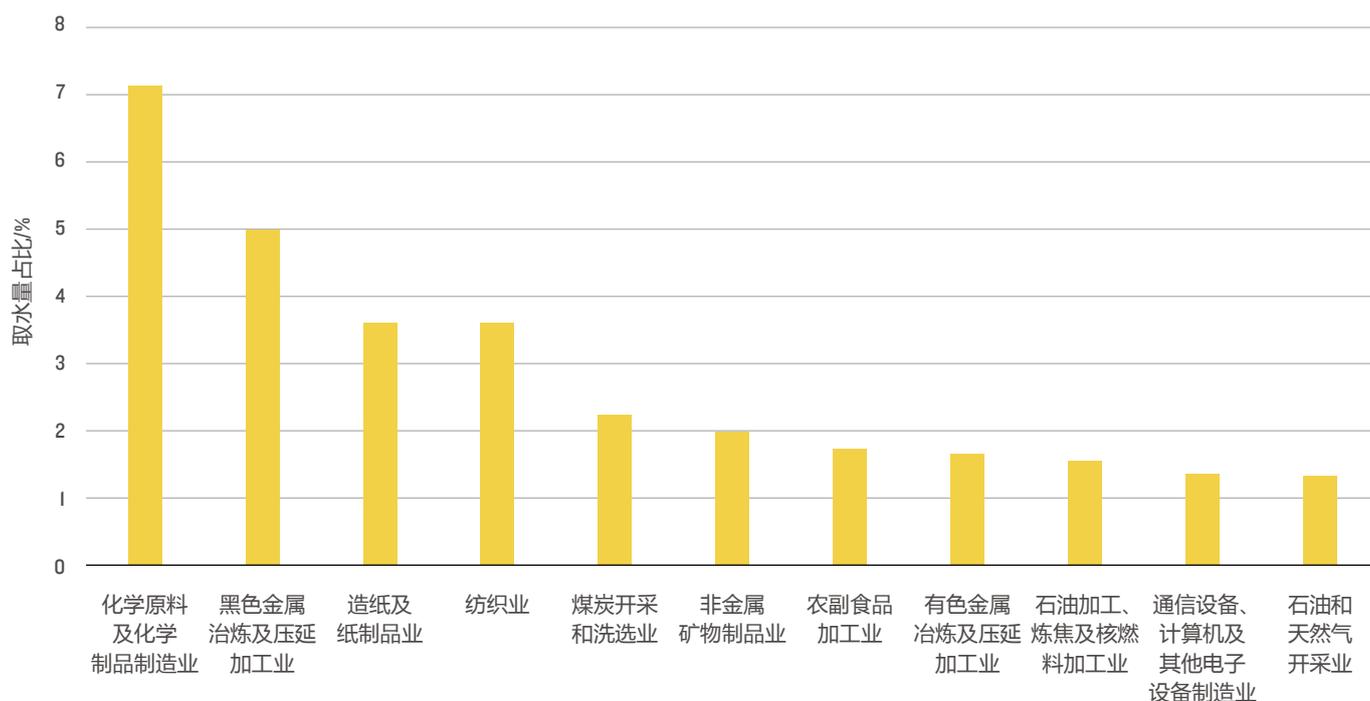
油，不仅可能破坏区域天然水循环系统，耗用大量水资源，而且原油泄漏、回注污水串层等可能对地表水、土壤和地下水造成污染，间接引起生态退化等问题。以东北地区为例，重工业和油田开发区地下水污染严重，松嫩平原的主要污染物为三氮、石油类等；下辽河平原三氮、挥发酚、石油类等污染普遍。中国的页岩气和致密油气资源丰富，如果进入大规模的开采，压裂用水对地下水层渗透和地面处理回收的环境危害和成本是非常规油气开发中最重要的关注点。

与石油消费密切相关的石油加工、炼焦及核燃料加工业，以及化学原料及化学制品制造业，均属于高耗水工业行业，且废污水排放影响周边水体环境质量。2015年，石油主要相关行业的规模以上企业取水量达到67.6亿立方米，占规模以上工业企业取水量的10%，其中化学原料及化学制品制造业占7.1%，石

油加工、炼焦及核燃料加工业占1.5%，石油和天然气开采业占1.3%，在规模以上工业企业分行业取水量中分别排第2、第10和第12位<sup>14</sup>。石油化工行业的废水成分复杂，常含有不同致癌物和重金属成分，处理难度和成本都很高。在环保督查中，发现有的石化企业偷排没有处理或不达标的废水，严重污染环境。

海洋石油开采与原油海运带来的溢油与泄漏事故会给海洋渔业、养殖业、滨海旅游业、海洋运输业等带来巨大的经济损失，破坏海洋环境，引起海洋生态系统异常变化。有研究指出，全球每年因人类活动释放入海的各种油品约1000多万吨，约占世界石油年产量的0.5%，包括工业排放、船舶溢油、事故溢油、海底油田泄漏和井喷事故等<sup>15</sup>。据此估算，中国每年释放入海的油类物质约128万吨。

图 2.1：规模以上工业企业分行业取水量占比

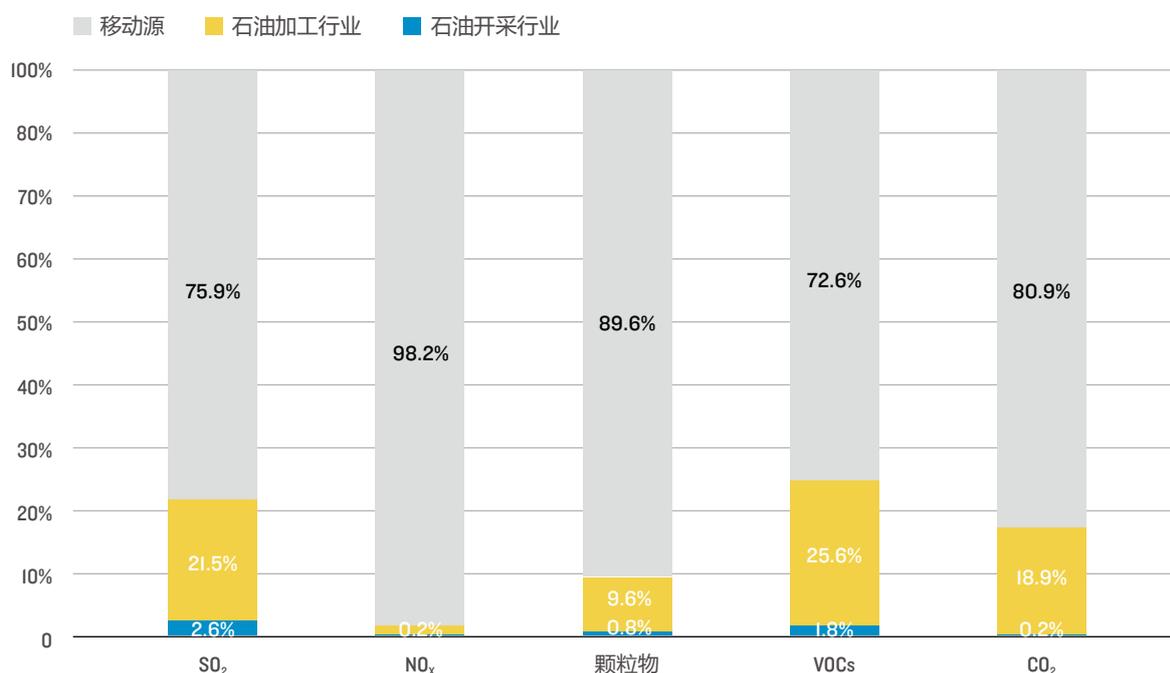


资料来源：《石油开采利用的水资源外部成本研究》，中国水利水电科学研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>14</sup> 《石油开采利用的水资源外部成本研究》，中国水利水电科学研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>15</sup> 刘宪杰. 溢油事故对海洋环境多环芳烃污染影响的研究[D]. 大连海事大学. 2016.

图 2.2：石油行业中各阶段污染物排放占比



资料来源：《中国石油真实成本研究》，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

此外，大量塑料产品的使用以及随意丢弃，对环境构成了严重威胁。据联合国环境署发布的报告，1950年-2015年全球累计生产80-90亿吨塑料，除了蓄存量外，每年有上千万吨的塑料垃圾（不同机构统计差距较大），其中的79%最终堆积在垃圾填埋场或流入环境中，12%被焚烧，只有9%能够被回收利用<sup>16</sup>。根据中国国家海洋局的预测，到2025年，全球海洋环境中的塑料垃圾量将达到2.5亿吨，中国的贡献率高达28%<sup>17</sup>。塑料碎片能够漂浮，使其能够大面积蔓延，并在紫外线的照射下分裂成越来越小的碎片，但无法生物降解。塑料碎片在海洋中大量聚集，通过自身生物吞噬作用对浮游动物等海洋生物产生危害。塑料碎片如果被鱼类吸收，会进入人类的食物链，通过食物链的富集作用，在食物链顶层的人类受到的污染水平更高。

## 1.2 大气环境影响

石油开采过程中大气污染物主要包括稠油热采燃煤锅炉烟气，油气处理与集输系统无组织逸散烃类废气，主要产生挥发性有机物（VOCs）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、颗粒物（PM）等多种大气污染物及温室气体排放，这些污染物是形成PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>污染的重要前体物。

根据环境统计数据，2015年全国石油开采、加工与消费过程的氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、挥发性有机物（VOCs）、颗粒物（PM）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放量分别为1171.3万吨、679.6万吨、114.6万吨、111.2万吨。据估算，石油开采、加工与消费过程的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放量占全国总排放量的11%。其中移动源NO<sub>x</sub>、VOCs、颗粒物、SO<sub>2</sub>排放分别占石油相关行

<sup>16</sup> 《禁止使用一次性塑料：各国的教训和经验》，联合国环境署，2018年

<sup>17</sup> 国家海洋局，《2014年中国海洋环境质量公报》[http://www.coi.gov.cn/gongbao/nrhuanjing/nr2014/2015\\_03/t20150316\\_32225.html](http://www.coi.gov.cn/gongbao/nrhuanjing/nr2014/2015_03/t20150316_32225.html)

业排放的98.2%、72.6%、89.6%和75.9%，其次为石油加工行业和石油开采行业<sup>18</sup>，如图2.2所示。

利用空气质量模型模拟石油相关行业污染物排放对PM<sub>2.5</sub>年均浓度的影响，结果显示，2015年全国PM<sub>2.5</sub>平均浓度中，石油开采、加工与消费过程对PM<sub>2.5</sub>年均浓度的贡献为10.9%，其中石化行业贡献为1.1%，移动源贡献为9.8%。



### 1.3 土壤环境污染

石油开采钻井不能没有泥浆，泥浆严重污染土壤。几乎每个钻井架旁就会有一个占地两亩左右的泥浆大坑。钻井泥浆残留物就地固化、填埋，基本上没有按照环保要求认真处理。在石油天然气勘探开发的广大区域，废弃的填埋性泥浆池遍布各地，数量众多，固化填埋的废弃泥浆总量惊人。如果处理不当，后期重新处理修复的时间和成本呈几何指数的增长。石油公司需投入大量专项资金重新处理。

由于土地资源的宝贵和利用需求、群众环保意识的增强，以及原存的固化泥浆地不断发生的危害事故。尽管现在的钻井工程行业要求泥浆不落地，泥浆处理过程受控、处置合规，但大面积推广还有待时日，遗留的老泥浆池的问题还未解决。全国现有的旧泥浆井和新增的泥浆井数量巨大。2015年生产原油2.15亿吨，估算约有工作油井几十万口，加上旧井和天然气井，估计至少在100万口井以上，占用大量的土地。新井的泥浆处理和旧井的重新处理修复需要巨额的费用。

石油开采和加工过程中，易发生原油、石油制品以及油水混合物的外流，污染周边土地，进而影响区域水体、植被等。石油开采行业以油井落地原油与水基钻井液冒漏造成的污染最为严重，此外还包括油井喷漏、输油管线泄露、油井场原油落地、石油化工厂油气泄漏、水基钻井液冒漏等引起的污染问题。此外，大规模开采石油和地下水造成土地盐碱化扩大和加重区域地面沉降，导致降水不易汇流外泄，只靠蒸发排泄使盐分在地表不断地积累，促使盐碱化土地逐渐扩展和加重。石油加工过程中，有多种工业固体废弃物产生，主要包括废催化剂、废吸附剂、废瓷球等，以及动力站产生的燃煤灰渣、生活垃圾等。如处理不当，固体废物中有害物质将危害环境和人体健康。在石化产品生产过程中会产生大量危害性的固体危废，需要专业和集中处理。时常发生的事件是将危废私自埋藏在地下，造成长时间的水体、空气和土壤严重污染，威胁住地居民的日常生活。

<sup>18</sup> 中华人民共和国环境保护部，《中国环境统计年报2015》，中国环境出版社

## 1.4 健康影响

中国成品油消费主要用于机动车等道路移动源以及工程机械、农业机械、小型通用机械、船舶、铁路、飞机等非道路移动源。油品消费尾气中含有 $\text{NO}_x$ 、VOCs、PM、碳氢化合物等，对人体健康的危害涉及呼吸、心血管、神经、免疫、生殖等多个系统。其中， $\text{PM}_{2.5}$ 暴露可显著增加呼吸系统疾病、循环系统疾病和生殖系统疾病的发生风险； $\text{O}_3$ 暴露可显著增加人群心血管和呼吸系统疾病的发病率、住院率和死亡率；VOCs暴露可对人体呼吸系统、神经系统以及免疫系统产生不良影响，甚至可导致癌症及遗传疾病的发生。

油控研究项目的研究结果显示，2015年中国石油相关大气污染造成的超额死亡人数为19.5万人，相关经济损失为1506.8亿元。我国74个重点城市（见图2.3）石油相关大气污

染的超额死亡人数为7.4万人，造成的经济损失达888.9亿元。京津冀、长三角和珠三角三个经济发达、人口稠密的地区城市群的健康成本共计574.2亿元，占74个城市健康成本总额的64.6%，是受石油相关大气污染影响最为严重的区域<sup>19</sup>。

石油工业主要产品的生产、消费和处置都会对人体健康带来风险危害。例如，塑料垃圾的焚烧过程会向大气中释放大量重金属、二恶英、呋喃类有机物和多环芳烃等有害物质，危害动植物和人类的健康；微塑料和化学添加剂等多种有害物质被释放到环境中，直接或间接进入人体，导致生殖功能障碍、内分泌功能紊乱，甚至是癌症的发生。除了常规性水体污染物外，重金属、化学成分和致癌物对人体健康造成很大的危害。在化工产业集聚区域，水污染的情况严峻，水污染防治的要求急迫。水污染比大气污染对人体健康的危害更严重，时间更持久。

图 2.3：中国74个重点城市的地区分布



资料来源：《中国石油消费总量控制的健康效应分析》，油控研究项目真实成本课题组，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>19</sup> 《中国石油真实成本研究》，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

## 1.5 气候变化

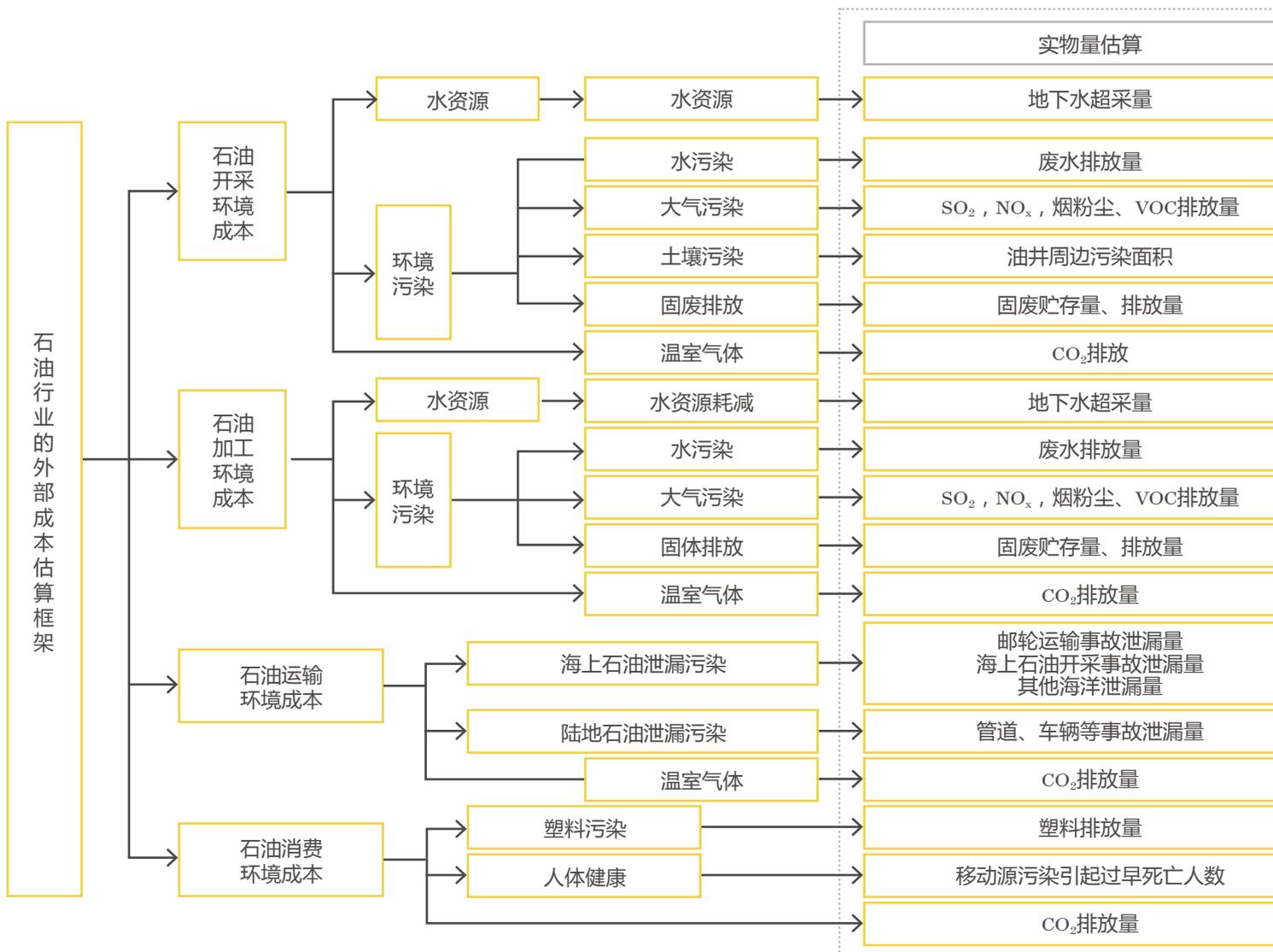
2015年，中国石油开采、加工与消费相关行业CO<sub>2</sub>排放10.16亿吨。气候变化对整个地球的环境生态、海洋生态、生物多样性、人类生产生活及身体健康造成很大的损失、危害和风险。课题研究表明，一吨石油生产、加工和消费的温室气体排放为1.88吨二氧化碳。除此之外，在石油生产、运输和贮存过程中也会产生和泄露甲烷和其他温室气体。在石油开采和加工工艺中，放空气体的燃烧量平均为2.2立方米/吨油。

## 二、环境外部成本估算框架与方法

### 2.1 估算框架

在石油开采和加工环节，主要考虑水资源耗减、水污染、土壤污染、大气污染物排放、固体废物排放等成本（由于数据难以获取，暂未考虑石化、化工企业爆炸等事故排放对环境的影响）。在石油运输环节，主要考虑油轮运输事故、海上石油开采事故、其他海洋泄漏清理成本，未考虑海

图 2.4：石油环境外部成本估算方法与具体指标



洋生态修复费用，恢复期生态损失费用及其他费用（陆上石油泄漏治理成本低且统计数据难以获取，暂未计算）。石油消费环节重点估算油品消费污染物排放对人体健康的影响、塑料污染对海洋生态系统、塑料回收、焚烧、丢弃、填埋等对大气、水、土壤等的影响等成本（由于石油开采、加工与消费的水污染健康影响缺乏可靠的暴露-反应关系与相关统计数据，本研究暂未计算水污染导致的健康损失价值），如图2.4所示。



## 2.2 估算方法

石油外部成本估算主要考虑其开采、运输、加工与消费环节中水资源耗减、水污染、大气污染、土壤污染、固废污染、石油泄漏、塑料污染、人体健康影响及CO<sub>2</sub>排放等9个方面带来的环境成本。具体可通过下面公式来表示：

$$C_{oil} = \sum_{i=1}^9 D_i * P_i$$

式中：C<sub>oil</sub>为石油利用的环境成本；D<sub>i</sub>为每吨石油利用带来的第i项影响的实物量指标；P<sub>i</sub>为每吨石油第i项影响的价值量指标。

对于水资源消耗的成本估算，从资源可持续性角度考虑石油开发利用对区域地下水超采带来的影响，测算原油开采和炼制的取水过程中超出地下水恢复能力的部分相对应的价值量。对于单位水资源价值量，以水资源影子价格结合工业分摊系数确定。

对于水污染、大气污染、固废污染、石油泄漏和塑料污染等5项环境成本的估算，采用治理成本法，即在污染物排放之前进行处理，达到一定的标准后再排放到自然界中，将处理污染物或削减污染物的投入视为环境治理成本；土壤污染采用恢复费用法计算环境成本，即一旦污染物进入自然界，超过土壤自净能力的污染物将会对环境造成损害，为了避免损害发生或进一步加剧，可以采取特定的手段对受到污染的土壤进行治理，使土壤达到一定的标准，将恢复土壤质量而投入的费用视为环境恢复成本。

对于人体健康影响的成本估算，首先估算石油消费导致的PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>污染影响，基于特定健康终点与污染影响的暴露-反应关系，采用支付意愿法WTP（Willingness to Pay），计算石油消费大气污染带来的人体健康损失。

CO<sub>2</sub>排放成本估算，主要考虑石油在生产、运输、加工和消费环节造成的CO<sub>2</sub>排放和CH<sub>4</sub>排放带来的全球范围内因气候变化造成的损害。采用目前主流模型对全球碳排放的社会成本进行估算（考虑全球范围内因气候变化引致的损害，而不局限于中国境内），其社会成本将在160.7元/吨油-782.1元/吨油之间。本报告取损失低限值160.7元/吨油，并将其作为单位CO<sub>2</sub>排放成本。

表 2.2 : 石油开采、加工和消费的环境外部成本<sup>注</sup>

环节	类别		指标	单位石油消费量的环境成本 (元/吨) <sup>注2</sup>
石油开采	水资源	水资源	地下水超采量, 水资源影子价格	6.6(16.6) <sup>注3</sup>
	环境污染	水污染	废水排放量, 废污水深度处理成本	1.9(4.9)
		大气污染	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、烟粉尘、VOCs等污染物排放量, 虚拟治理成本	2.4(6.1)
		土壤污染	油井周边污染面积, 土壤深度修复成本	1.1(2.8)
		固废污染	固废贮存、排放量, 虚拟治理成本	0.1(0.3)
	小计			12.1(30.7)
石油运输	海洋运输	石油泄漏	泄漏量, 泄漏治理成本	1.2 (单位石油泄漏量治理成本为78.12-76589.29美元) <sup>注4</sup>
石油加工	水资源	水资源	地下水超采量, 水资源影子价格	1.8
	环境污染	水污染	废水排放量, 废污水深度处理成本	1.8
		大气污染	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、烟粉尘、VOCs等污染物排放量, 虚拟治理成本	33.5
		固废污染	固废贮存、排放量, 虚拟治理成本	0.2
	小计			37.3
石油消费	环境污染	塑料污染	海洋生态; 陆地填埋、焚烧的大气、水、土壤等损失	17.4
		大气污染的人体健康损失	过早死亡人数, 人均统计生命价值	278.6(181.7-423.7)
	小计			296(199.1-441.1)
不考虑气候影响合计				346.6(249.7-491.7)
气候影响	CO <sub>2</sub> 排放	气候变化损害		160.7(160.7-782.1)
考虑气候影响合计				507.3(410.4-1273.8)

注: 1、本研究中石油环境成本未考虑因素主要包括(1)海洋石油开采对海洋生态系统的影响。(2)海洋石油泄露的海洋生态修复、恢复期生态损失等的影响。(3)陆上石油泄露对环境的影响。(4)石化、化工企业爆炸等事故排放对环境的影响。(5)水污染导致的健康损失价值。

2、表中石油相关环境成本估算结果为平摊到每吨石油消费量的数值。

3、括号中数值为单位石油开采量的水资源、水环境、土壤污染成本。

4、由于石油泄漏类型、规模和处理方法, 以及不同国家劳动力、处理方法、物价等多种因素的差异, 导致单位石油泄漏量的处理成本在78.12-76589.29美元之间。

5、成本估算中的不确定分析, 请参见《中国石油真实成本研究》, 中国石油消费总量控制和政策研究项目, 2019年6月

### 三、环境成本估算结果

估算结果表明，如果不考虑石油生产、加工和消费对气候的影响，2015年全国石油开采、加工与消费相关行业环境外部成本为347元/吨石油，考虑石油生产、加工和消费对气候的影响，全国石油开采、加工与消费相关行业环境外部成本为507元/吨石油，见表2.2。2015年中国石油消费总量为5.43亿吨，全国石油开采总量为2.15亿吨，2015年石油开发利用的环境外部成本约为2,755亿元人民币。石油消费的从石油利用分环节影响来看，石油开采阶段水资源耗减与水污染成本是最主要的组成部分，占石油开采阶段环境外部总成本的70.2%；石油加工阶段，由于统计数据不可得，未计算以石油为原料的化工行业水资源耗减和水污染成本，环境成本估算结果以大气污染为主；石油消费阶段，大气污染带来的健康损失是最主要的外部成本，占石油消费阶段外部总成本的94.1%。

# 中国石油消费情景 与峰值分析

影响石油消费水平和发展趋势的因素众多，既与人口规模、经济产出、城镇化、工业化水平等宏观因素相关，也与汽车保有量、交通运输结构、石化产业发展水平等部门因素相关，更与不同能源发展战略政策、环境政策、气候政策等路径选择紧密关联。在总结国际上不同国家影响石油消费的主要因素的基础上，研究报告采用系统模型，建立了2015-2050年中国石油消费发展不同情景，分析了其主要特征并得出结论。

## 一、影响石油消费的因素分析

### 1.1 经济发展水平和生活需求是影响石油消费总量的主要因素

从发达国家经验来看，石油消费随经济增长和生活需要而快速增加。当达到一定经济水平后，石油消费出现峰值，此后开始下降。英、法两国在人均GDP4000~5000美元时，石油消费量达到峰值；德国在人均GDP达到1.1万美元时，石油消费量达到峰值；美、日两国在人均GDP4.3~4.5万美元左右时，石油消费量达到峰值。

发达国家石油消费达峰时，普遍完成工业化，工业占GDP比重持续下降，工业内部结构加快调整。美、英、法三国工业增加值占比约为20%，德、日工业增加值占比约为30%，韩国工业增加值占比约为40%<sup>20</sup>。美国等主要发达国家

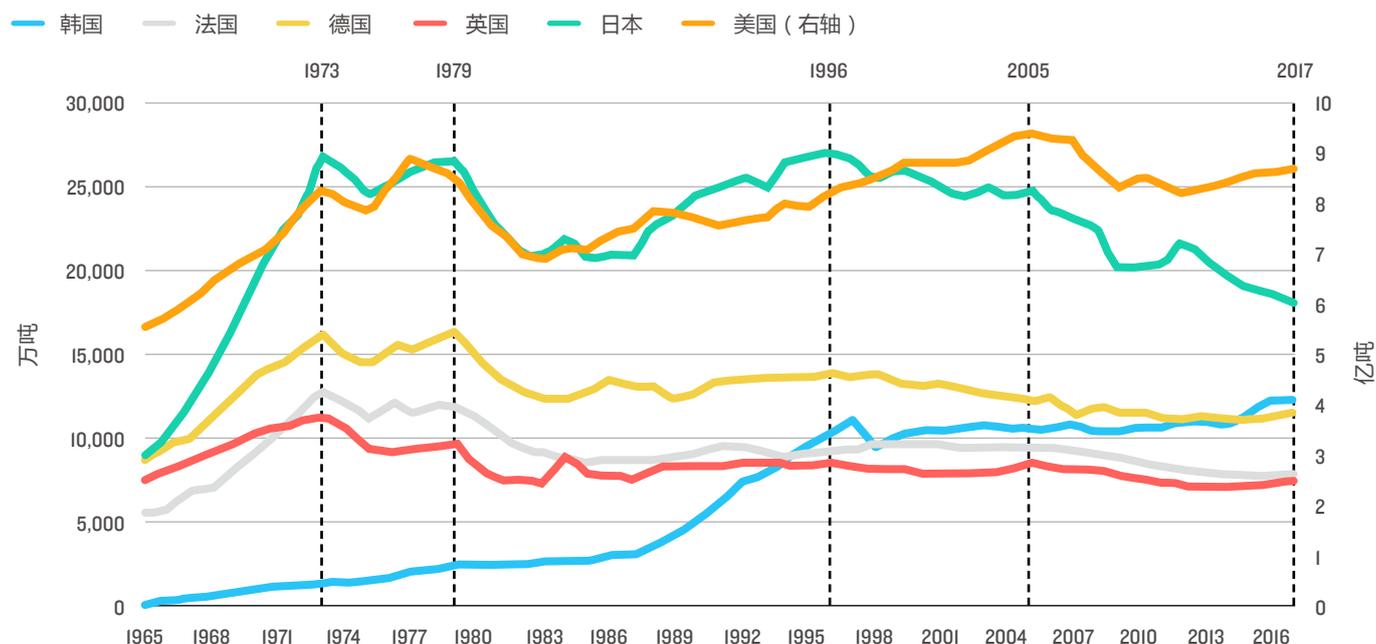
石油消费达峰都是在快速工业化后期，但对韩国等国家，由于石化产业发展在后工业化阶段仍占较高比重，因此石油消费仍呈现增长态势。

石油消费同时受到经济周期的影响。2008年全球经济在金融危机冲击下，进入衰退期，发达国家的石油消费快速下降。石油消费也与消费部门的结构联系密切。交通和石化是两个主要石油消费部门。以燃油为主的运输结构和以石化偏重的工业结构，都会使石油消费处于高位。

### 1.2 政策干预导致石油消费峰值和路径的变化

1973年和1979年的二次石油危机使石油价格飙升，重创了发达国家的经济，改变了石油消费的轨迹。发达国家出现了石油消费有历史痕迹的双驼峰，见图3.1。石油供应的安全上升为这些国

图 3.1：主要国家石油消费变化趋势和峰值



数据来源：中国石油化工有限公司根据历年BP世界能源统计年鉴的数据整理

<sup>20</sup> 《中国石油真实成本研究》，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

家最重要的能源战略之一。欧洲发达国家1979年石油危机以后，石油消费量稳定下降。

为应对石油危机，经济合作与发展组织（OECD）国家成立了国际能源署，大力提升能效和增加石油战略储备，尤其是通过制定汽车燃油效率标准和燃油税等政策进行干预，明显推动了石油消费模式的转变。欧洲和日本的燃料税将油价提高了100-120%，美国提升了25%左右，中国目前燃油税占价格的30%左右<sup>21</sup>。日本在1995年经济进入停滞期，凭借其领先的汽车燃油效率标准和国际贸易下滑的影响，达到第二个石油消费峰值并下降。美国国会在2004年批准了长达20年后才加严的燃油效率标准，促使石油消费2005年第二次达峰并下降。韩国石油消费2018年比2017年下降约1%，但判断2017年是否为峰值尚需观察。概括地说，发达国家在遭遇到重大的国际政治和经济危机后，经济增长遇挫，通过严格的政策干预，促进石油消费达峰。石油战略储备、燃油税和不断加严的燃油经济性标准虽然没有使得这些国家摆脱对石油的依赖，但却有效消减了石油消费量。此外，燃料替代也起了推动作用。

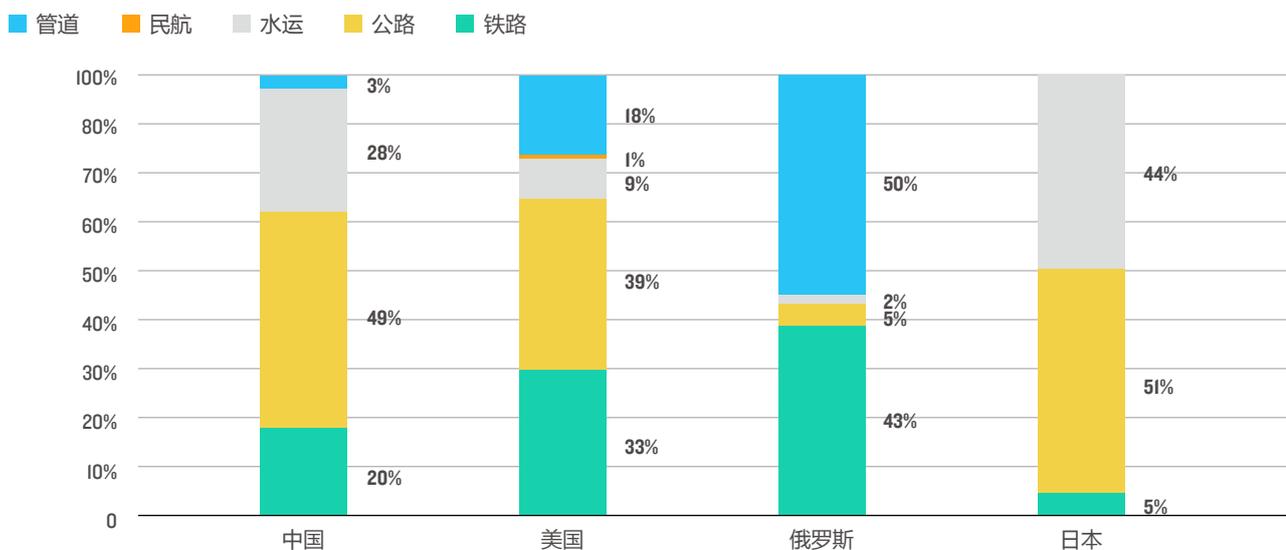
### 1.3 交通部门运输模式和结构起重要影响

2017年交通部门石油消费量占比57.7%。交通运输模式以及机动车保有量是影响石油达峰的关键因素。从人均石油消费峰值水平看，公路运输比重越大，千人汽车保有量越大，人均石油消费越高。

中国道路运输中，中卡和重卡运输效率低、油耗高，改善提升的空间很大。目前，中国公路货运周转量占比接近50%，铁路货运周转量不足20%，公铁比为2.5，明显高于同样幅员辽阔的美国（1.2）和俄罗斯（0.1），还有很大的优化空间，见图3.2。通过交通结构的优化和调整，中国对大宗货物的运输和长途客运将主要依靠铁路和水运，管道和民航运输量会增加，公路运输比重将会明显下降。

目前，美国千人汽车保有量超过800辆，欧洲国家千人汽车保有量在400-600辆，相比之下，中国目前千人汽车保有量仅160辆左右，见表3.1。随着出行需求的增长，中国的汽车千

图 3.2：各国运输结构对比（2017年）



资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>21</sup> 《国际石油消费趋势与政策回顾》，美国劳伦斯伯克利国家实验室，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

人保有量会继续上升，如果不实行燃料替代和燃油效率提高，将对石油消费达峰提出挑战。

通过技术进步降低汽车油耗对节油贡献较大。随着中国对节能环保的重视，汽车燃油经济性不断提高。工信部《节能与新能源汽车产业发展规划》已明确制定发展目标：2020年乘用车油耗降至5.0L/100km，商用车油耗接近国际先进水平；2025年乘用车油耗降至4.5L/100km，商用车油耗达到国际先进水平；2030年乘用车油耗降至3.2L/100km，届时商用车油耗同比国际领先。由于该目标是考虑了新能源汽车对油耗的抵消作用，因此纯燃油车油耗会高于以上目标。

除了汽车燃油效率标准外，消费者的用车模式和偏好，如购买大型的SUV越野车、车辆平均行驶里程等，都会影响耗油量。在这方面，美国消费者的单车油耗水平比欧洲、日本、韩国等都高很多。

## 1.4 道路交通行业中千人汽车保有量是关键性指标

在众多参数中，汽车保有量及结构对峰值影响大。根据发达国家石油消费量的历史数据，汽车保有量饱和值直接影响汽油消费峰值，而燃油经济性的提高加速了峰值的到来，并降低了燃油消费量。一般来说，汽车分为乘用车和商用车。乘用车发展与人均收入密切相关，反映了人民生活水平的提高。而商用车的发展受经济增长，尤其是工业生产影响较大。

从国际成熟市场来看，发达国家或地区人均GDP达2-3万美元时，乘用车饱和点多数在370-660辆之间。美、加、英、日等国千人乘用车保有量饱和值在600-800辆。欧洲多数国家的千人保有量饱和值为400-600辆左右。中国香港、新加坡等人口密集、汽车严格控制城市千人保有量饱和值为100-200辆。

车辆年均行驶里程变化也会显著影响燃油需求。根据中国石油化工集团公司经济技术研究院2002年和2010年两次抽样

表 3.1：2016年各国汽车保有量及普及度对比

	人均GDP (美元)	千人汽车保有量 (辆)	人口密度 (人/平方公里)	人口数量 (亿)	总汽车保有量 (万辆)
中国	8,123	140	147	13.79	19,306
美国	57,467	800	35	3.23	25,840
德国	41,936	572	237	0.82	4,690
日本	38,895	591	348	1.27	7,506
韩国	27,539	376	526	0.51	1,918
中国香港	43,681	116	6,619	0.07	81
中国台湾	22,540	300	638	0.24	720

资料来源：World Bank Open Data；The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA)

调研显示，2002年乘用车平均（考虑排量分布及用途加权）行驶里程约为1.7万公里/年，2010年降至1.6万公里/年，年均下降0.8%。乘用车出行与居民消费相关，考虑未来我国消费保持平稳增长，预计2020年乘用车年均行驶里程降至1.4万公里。2030年之后，共享汽车的兴起进一步压缩乘用车年均行驶里程。

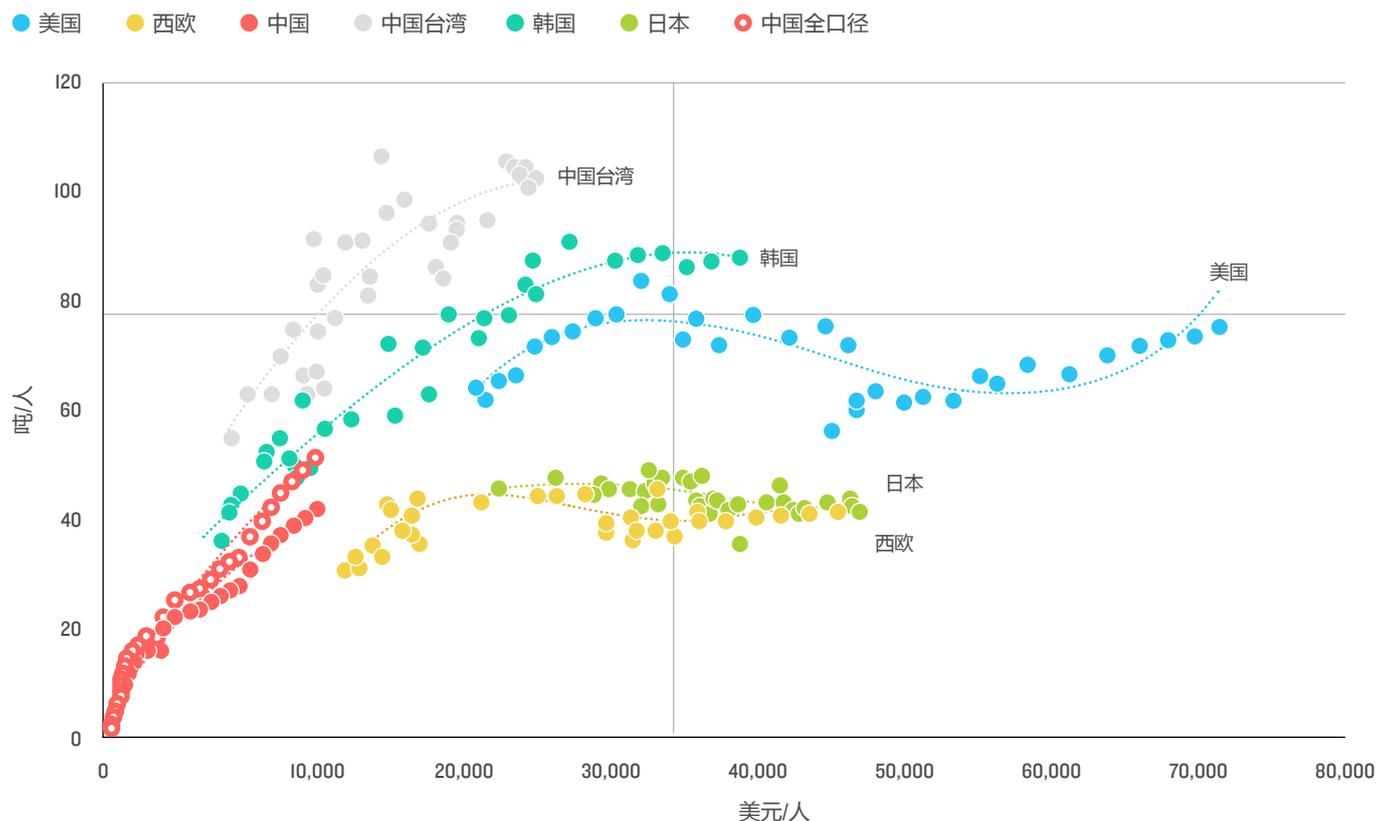
商用车长期潜在增速与国家经济增长和工业化进程相关。在工业化初期，商用车潜在增速要高于GDP增长率；在工业化中期，商用车潜在增速基本与GDP增速同步；而在工业化后期，商用车潜在增速则要低于GDP增速。与发达国家对比来看，中国千人客车保有量（不含微客）已经高于发达国家水平。未来，中国的高铁的发展将替代部分短途客运需求。大中型客车增长动力仅有城镇人口逐年增加带动的公交用车和城市物流用车需求的快速发展。综合来看，商用车保有量2020-2030年基本达到4800万辆的饱和期，同时货车占商用车比重略有增加。

2016年各国千人汽车保有量见表3.1。随着出行需求的增长，中国的汽车千人保有量会逐渐上升，如果不实行燃料替代和燃油效率提高，将对石油消费达峰提出挑战。

### 1.5 石化产业增长的不确定性影响

石化产业是第二大石油消费部门。随着石化产业发展，特别是国际产业分工变化，对化工领域石油消费增长带来重要影响。从发达国家经验看，在交通石油需求达峰后，石化产业发展路径的差异将影响各国石油需求。受烯烃、PX等化工产品需求量增长影响，英、法两国人均石油消费在峰值阶段持续波动，英、德两国人均石油消费达峰下降后又出现明显反弹。与国际水平比较，中国人均化工产品消费较低，需求旺盛，由此产生的石油消费需求将会上升。

图 3.3：人均GDP和乙烯当量消费关系



资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

表 3.2：全球部分国家（地区/城市）传统燃油车禁售计划汇总

禁燃区域	提出时间	提出方式	禁售时间	禁售范围
荷兰	2016	议案	2030	汽油/柴油乘用车
挪威	2016	国家计划	2025	汽油/柴油车
巴黎、马德里、雅典、墨西哥城	2016	市长签署行动协议	2025	柴油车
德国	2016	议案	预计2030	内燃机车
法国	2017	官员口头表态	2040	汽油/柴油车
英国	2017/2018	官员口头表态/交通部门战略	2040	汽油/柴油车
英国（苏格兰）	2017	政府文件	2032	汽油/柴油车
印度	2017	官员口头表态	2030	汽油/柴油车
爱尔兰	2018	官员口头表态	2030	汽油/柴油车
以色列	2018	官员口头表态	2030	进口汽柴油乘用车
意大利（罗马）	2018	官员口头表态	2024	柴油车
中国（海南）	2019	正式政府文件	2030	汽油/柴油车
中国（台湾）	2017	政府行动方案	2040	汽油/柴油车

资料来源：World Bank Open Data；The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA)

如图3.3所示，中国台湾和韩国在石化产品的贸易上大量出口，人均乙烯当量消费比西欧和美国都要高很多。西欧和日本在人均乙烯当量消费上比较平稳，美国人均消费量比西欧和日本高近一倍。我们预期，中国人均乙烯当量在将来处在略低于西欧和日本的水平。

中国石化行业在供给侧结构性改革中，提高能效，优化行业结构，促进原料多样化，以及进行国际贸易的结构改革，都将对石油消费产生很大影响。从未来趋势看，石化行业能效提升，利用天然气、生物质和氢能等替代原料，全社会限制塑料使用等，将会对石油消费带来新的不确定影响。

## 1.6 应对气候变化和空气污染治理的约束

在全球应对气候变化背景下，各国向低碳绿色能源转型进程明显加速。2018年11月，欧盟委员会发布《给所有人一个清洁星球》长期战略愿景，强调要打造“气候中性”的经济体，在2005年的温室气体排放水平上，2030年前减排40%，2040年前减排60%，到2050年实现温室气体净零排放。欧洲和亚洲一些国家（地区）陆续制定出台了传统燃油汽车禁售时间表和路线图。从供给和需求两方面，主要发达国家积极推动能源生产和消费体系加快向绿色低碳方向转型，强化了全球石油消费增长的约束。

与此同时，为了满足世界卫生组织（WHO）的空气质量要求，PM<sub>2.5</sub>需降到10微克/立方米以下。在城市空气治理中，交通尾气排放是最大的污染源之一。表3.2列出部分国家和地区传统燃油车禁售时间表。需要指出的是，这些时间表有的仅是国家议案，有的是官员口头表态，有的是政府文件。2019年3月发布的中国海南省的政府文件是地区约束性要求。在情景分析中，这种时间表是重要的政策选项。电气化等燃油替代技术在交通部门石油消费减量中扮演主要角色。

## 二、中国石油消费情景分析

本研究采用情景分析研究方法，从增长动力、环境约束、能源安全和新能源机遇等角度，通过设定不同模型参数和条件假设，模拟不同情景下中国石油消费需求。本研究设定的情景包括基准情景、强化政策情景和温控情景。具体定义如下：

**基准情景：**描述石油相关行业在当前政策和行业规划目标下发展的情景。该情景下，石油消费满足经济发展需求，在石油天然气行业改革、节能与新能源汽车发展等相关政策的推动下，各行业主要依靠现有的发展路径和趋势，实现规划的发展目标。

**强化政策情景：**描述在现有政策及其外推影响的基础上，石油相关行业出台更加严格的石油消费控制政策的情

景。该情景下，政策推动交通运输结构优化，交通能源多元化和替代化，石油化工行业的产业结构调整升级，石油产品和原料进出口政策，控制石油对外依存度过快增长，保障能源安全，通过绿色低碳发展实现生态文明建设的主要目标。

**温控情景：**描述未来石油消费需求在2°C温升控制目标下的发展情景。该情景下，中国积极应对气候变化，在本情景中，实现2°C目标相对应的概率为60%。为了实现2°C温升控制目标以及满足相应的约束条件下，各行业都需要实现碳排放尽早达峰，并且朝着1.5°C的低碳和“碳中和”的目标努力。

本研究采用“自下而上”和“自上而下”相结合方法，对交通运输、石化及其他用油部门，以及对汽油、柴油、化工轻油等细分石油品种的未来需求进行了详细分析。三种情景设置主要参数见附表1。

## 三、石油消费情景分析主要结论

根据各种变量假设，考虑了多重约束性条件，在不同政策选项下，三种情景给出一系列主要结论，为决策和石油总量控制路径的确定奠定了坚实的基础。

### 3.1 中国石油需求总量情景展望

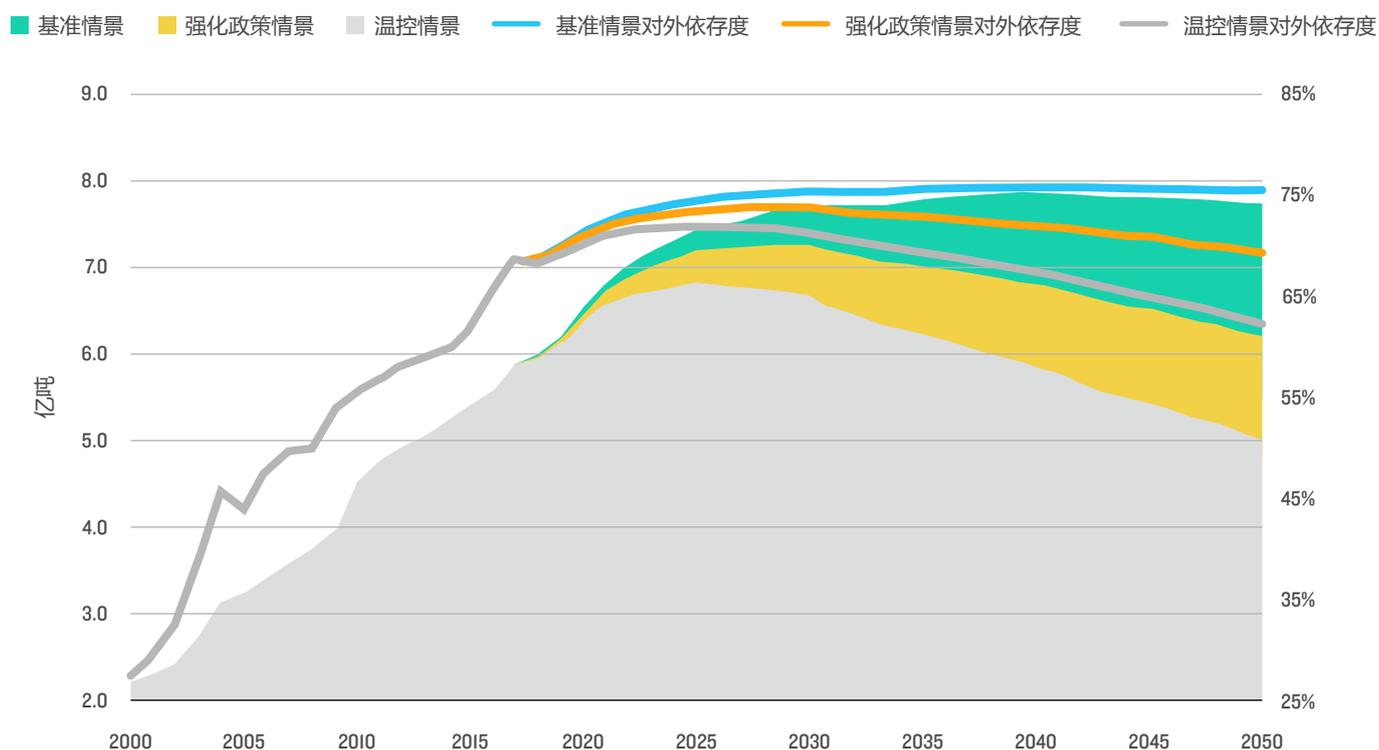
表3.3 列出三种情景下，不同时间段的中国石油需求展望。

表 3.3：不同情景下中国石油需求展望（单位：亿吨）

	2020	2025	2030	2040	2050
基准情景	6.5	7.4	7.7	7.8	7.7
强化政策情景	6.4	7.2	7.2	6.7	6.0
温控情景	6.4	6.7	6.5	5.6	4.7

资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

图 3.4：中国石油需求与对外依存度情景展望



资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

三种情景下，中国石油需求达峰时间依次提前，峰值水平逐步下降，如图3.4所示。基准情景下，中国石油需求持续增长，2040年达到峰值，峰值水平约7.8亿吨，2040-2050年是石油消费平台期，到2050年缓慢下降至7.7亿吨。强化政策情景下，中国石油消费持续低速增长，2025-2030年达到峰值平台期，峰值水平约7.2亿吨，2050年需求下降至6亿吨。温控情景下，中国石油消费持续低速增长，2025年达到峰值，峰值水平约6.7亿吨，2050年需求下降至4.7亿吨。在三种情景中，石油消费结构均出现明显的变化，交通用油占比下降，石油化工用油占比明显上升，其他部门的用油与交通部门类似，占比呈下降趋势，但速率较交通部门要慢许多。

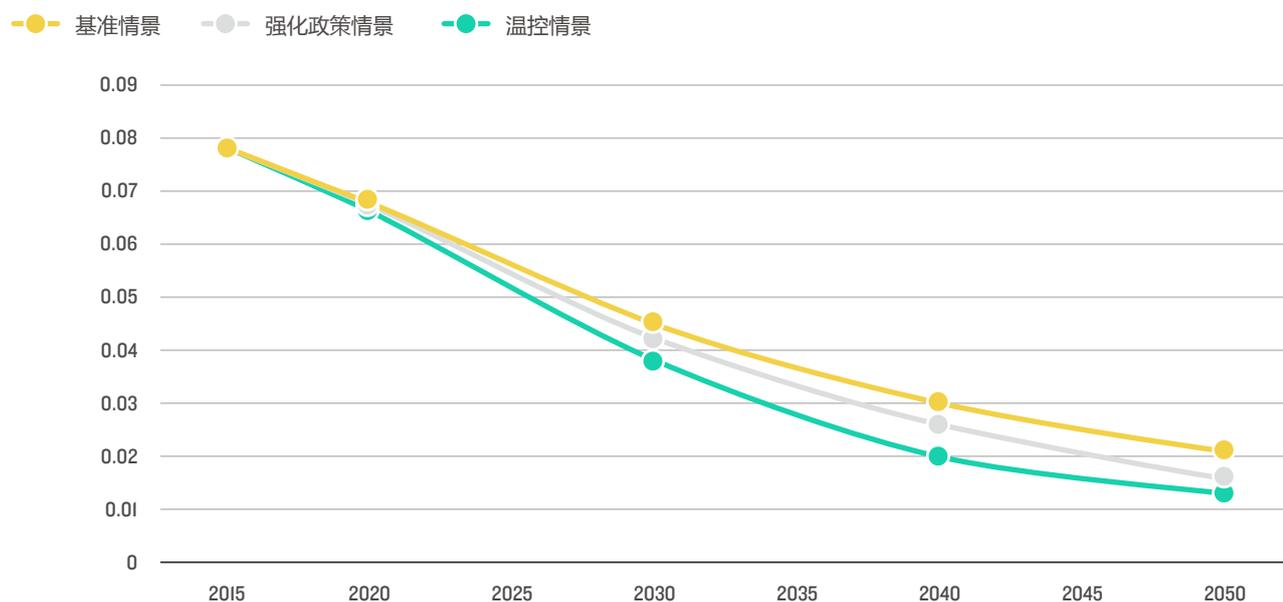
从石油对外依存度来看，基准情景下，2040年石油消费峰值时，中国石油对外依存度达到76%，2050年下降到75%；强化政策情景下，2025年中国石油消费峰值时，对外

依存度达到73%，2050年下降到69%；温控情景下，2025年中国石油对外依存度达到72%，2050年下降到60%。需要指出的是，对外依存度都是根据三种情景的峰值年计算的，与此同时，国内的石油产量假定在2亿吨的水平上。

### 3.2 强化政策和温控情景下石油需求达峰时主要参数类似发达国家

从宏观经济的角度审视，中国的经济发展步入高质量发展的中高速时期，节能高效的政策得到有效的实施，石油储备增长，“双积分”燃油能效标准进入国际前列，采用燃油税和税收工具抑制石油消费过快增长，传统燃油车辆生产和销售进入成熟平台期。燃料替代和电动汽车已迎来增长初期。在国际上，中国与美国等国家的经济贸易冲突导致世界经济增长疲软。这些都与发达国家在石油消费达峰前后的驱动因素相类似。

图 3.5：中国石油消费强度情景展望



资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

基准情景下，国内石油需求将在2040年前后达到7.8亿吨的峰值，人均石油消费为0.55吨。届时人均GDP为2.86万美元，千人汽车保有量390辆，两项指标均已超过主要发达国家石油达峰时指标。

强化政策情景下，国内石油需求将在2025年-2030年达到7.2亿吨的峰值，人均石油消费为0.5吨。届时人均GDP为1.45万美元，千人汽车保有量260辆，两项指标均接近主要发达国家石油达峰时指标，若要实现此情景，需按照更加严格的政策约束相关行业和部门的石油消费。

温控情景下，中国石油需求将在2025年达到6.7亿吨的峰值，人均石油消费为0.47吨。届时人均GDP为1.42万美元，千人汽车保有量180辆，人均GDP接近主要发达国家石油达峰时水平，但千人汽车保有量明显低于发达国家达峰时水平。为了实现此情景，能源及其他产业需要共同努力，甚至部分行业要通过实施更加严格的限制措施，才能达到控制升温 $2^{\circ}\text{C}$ 以下的目的。

### 3.3 石油消费强度将大幅下降

与过去历史数据相比，随着技术进步和管理水平提高，石

油利用效率水平持续提升。石油消费强度即单位国内生产总值的石油消费，将持续下降。2015-2050年，基准情景下，石油消费强度累计下降了73%；强化政策情景下，石油消费强度累计下降了79%；温控情景下，石油消费强度累计下降了83%，如图3.5所示。需要指出的是，石油利用效率的提高需要技术研发的应用、资本市场的支撑、体制的变革和管理水平的提高。对中国来说，技术的创新发展，尤其是新能源汽车的发展是占首位的。

### 3.4 交通用油占比将下降，化工用油占比上升

从发达国家的石油消费结构看，交通明显占主体，化工为次。以2016年石油消费为例，欧美国家的交通占比大都在60%以上，化工原料用油在15%以上，亚洲的日本和韩国交通分别为46%和35%，化工分别为19%和53%，见表3.4。

中国目前的石油消费与上述发达国家呈现相似的结构，但中国的整体能源结构和严峻的石油供给形势，首要的就是降低交通用油，并且给化工原料用油释放一定的增长空间。在基准、强化政策和温控三种情景下，交通用油比重持续下降，化工用油比重不断提高，这种结构调整的趋势在三种情景下逐级增强。

表 3.4 : 2016年各国交通及化工的石油消费占比

	美国	德国	法国	英国	日本	韩国	中国
交通用油占石油消费比重	77%	58%	61%	72%	46%	35%	54%
原料用油占石油消费比重	15%	20%	18%	13%	19%	53%	15%

资料来源：《国际石油消费趋势与政策回顾》，美国劳伦斯伯克利国家实验室，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

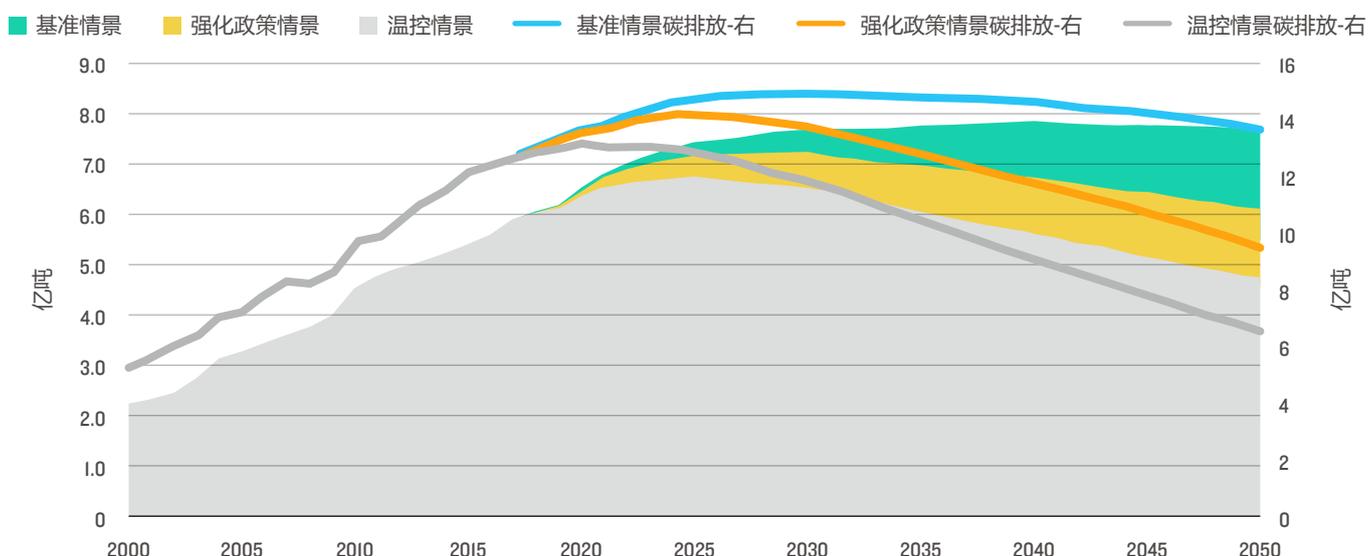
以强化政策情景为例，2017年-2030年：燃油经济性提高和新能源汽车与燃料乙醇等替代，抵消了部分由于汽车保有量增长带来的交通用油的提高，交通用油占石油消费比重下降到47%左右；乙烯和PX能力的快速建设，造成化工用油不断增长，化工用油占比由15%提升至25%（包括化工轻油和部分液化气）；由于能效提高和天然气与电力的替代，工业用油占比由12%降至7%。

2030年-2050年：新能源汽车技术成熟，市场快速扩张，加之国内汽车产业进入了复数保有期，保有量增速明显放缓，交通用油占石油消费比重快速下降至36%；石化工业继续发展，但增速放缓，化工用油占比提升至35%（包括化工轻油和部分液化气）；工业、民用和农业用油比重变化不大。

### 3.5 温控情景下石油消费产生的碳排放较基准情景显著减少

由于化工用油在石油消费中的比重不断提高，而石油用作原料或用于非燃烧用途的二氧化碳排放很少，未来中国单位石油消费的碳排放呈下降趋势。三种情景下，碳排放峰值都将早于石油需求峰值。基准情景下，石油消费碳排在2030年达峰；强化政策情景下，石油消费碳排在2025年前达峰；温控情景下，石油消费碳排在2020年达峰。三种情景下，碳排放达峰后均出现不同速率的下降。据估算，2017年中国石油消费排放18.8亿吨二氧化碳。2050年，三种情景较2017年石油碳排放分别增加8%、降低24%和降低44%，见图3.6。

图 3.6 : 中国石油需求及其碳排放情景展望



资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

# 中国石油消费总量控制路径 与实施路线图

推动中国石油消费达峰并合理控制石油消费，是近中期中国能源转型的关键问题之一。本章在情景分析的基础上，确定中国石油消费总量控制路径（下称“油控路径”），明确“十四五”（2025）、“美丽中国”愿景（2035）、百年中国复兴之路（2050）各个时段的油控目标。油控路线图的制定和实施可以确保不同时段目标的实现。



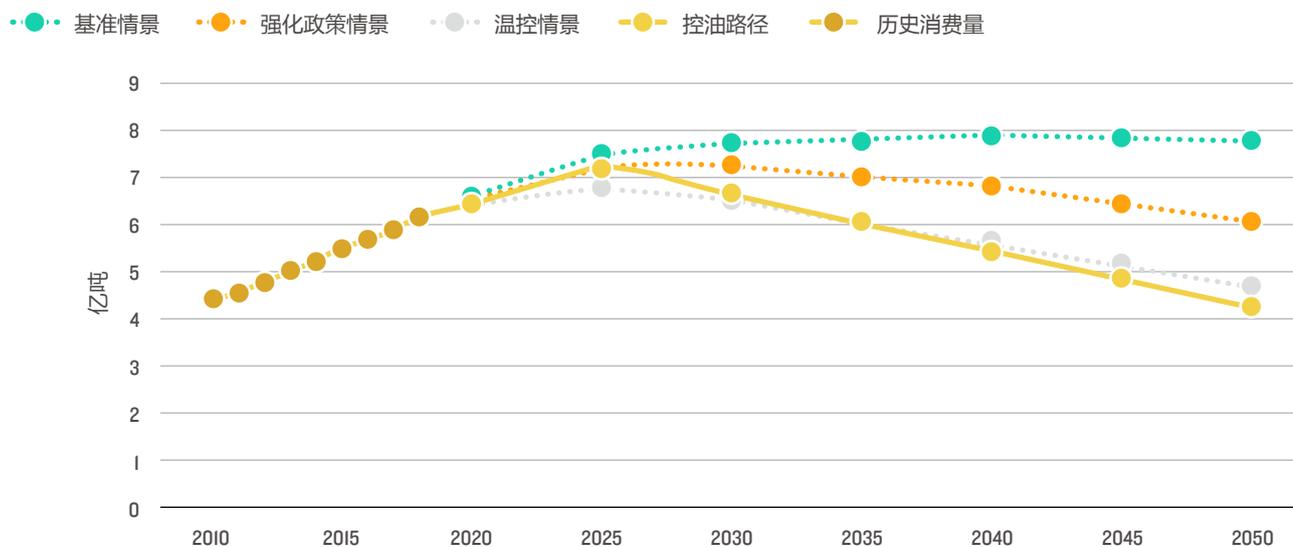
## 一、石油消费总量控制路线的设定和石油消费达峰

在综合考量三种情景分析中，合理用油需求增长、生态环境约束、应对气候变化、产业变革和技术创新趋势等基础上，确定油控路径。由于情景分析模型的特点，三种情景在不同阶段的石油消费量有差别。经过资深专家组的反复讨论，没有机械地采用情景分析模型中的某个情景作为油控路径。而是基于情景分析的结果，综合性地确定中国石油消费总量控制路径。

如图4.1所示，油控路径从2018到2025年，与强化政策情景重合。2025年达峰，峰值7.2亿吨。2025-2035年，油控路径基本沿着温控情景，达到2035年“美丽中国”的愿景目标，石油消费量6亿吨。2035-2050年，走比温控情景更低的消费量路线和推行更积极的各种措施，2050年达到4.2亿吨，有高于50%的概率达到温控1.5°C目标。

具体而言，从现在到2025年，努力落实强化政策情景中的政策和各项措施，把油控作为协同推进能源转型和“打赢蓝天保卫战”的重要抓手，降低石油消费增速，到2025年实现石油消费峰值7.2亿吨，石油占一次能源消费比重19.4%。

图 4.1：基于情景分析确定油控路径



资料来源：《中国石油消费总量达峰及控制的路径与措施研究》，国家发改委能源研究所，中国石油消费总量控制和政策研究项目内部资料

2025-2035年，所有努力由强化政策情景向温控情景跃迁，推进温控情景的所有政策和措施，把油控作为实现“美丽中国”愿景和生态环境质量全面达标的重要抓手之一，确保石油消费达峰后持续下降；2035年中国石油消费下降到6亿吨以内，石油占一次能源消费比重15.1%。

2035-2050年，为实现温控2°C甚至1.5°C目标努力。经过前期能源转型的努力，中国进入低碳发展快车道和惯性发展期，加之持续性的政策努力，大力推进温室气体深度减排，采用驱油增气的CCUS技术和“碳中和”方案，到2050年中国石油消费下降到4.2亿吨以下，石油占一次能源消费比重11.3%，确保实现2°C温控目标，同时提高实现1.5°C温控目标的概率。上述的油控路径与基准情景石油消费量对比见表4.1。2025年，油控路径比基准情景减油2000万吨，2050年减油3.5亿吨。

考虑到中国城乡和不同区域石油消费水平存在明显差距，中国应推动东部发达地区石油消费率先达峰，为中西部落后地区合理石油消费需求增长创造空间；应推动交通运输领域石油消费率先达峰，削燃料为原料，为满足化工领域高端化工产品的石油需求增长创造空间。

## 二、油控路径下的一次能源需求和碳排放

从表4.2看出，中国总能耗在2035年左右达到峰值，约57亿吨标煤。油控路径下2025年石油消费达峰时，其在总能源占比19.4%，到2035年降至15.1%，2050年进一步降至11.3%。

油控路径的方案是调整能源结构的有效杠杆。2018年中国总能耗46.4亿吨标煤，煤炭占比59%，石油18.9%，天然气7.8%，非化石能源14.3%。2025年总能耗53亿吨标煤，石油消费占比为19.4%，煤炭占比46.9%，天然气占比13%，非化石能源占比20.7%。到2050年，总能耗回归至53亿吨标煤，石油消费占比11.3%，煤炭占比9.4%，天然气占比15.4%，可再生能源占比63.9%。总能耗在2035年达峰后开始不断下降，与此同时，煤炭和石油在总能源的占比持续下降，可再生能源比例上升，能源结构低碳化、清洁化有了显著的提升，如表4.2所示。

油控路径下，石油消费达峰时，其在一次能源中占比约为19.4%，显著低于发达国家40%左右的占比。因此需要加快能源转型，推动替代能源发展。

中国“十三五”实施了约束性的煤控、非化石能源、节能强

表 4.1：基准情景与油控路径石油消费（2025-2050年）

（单位：亿吨）	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年	2050年
基准情景	7.4	7.7	7.76	7.8	7.77	7.7
油控路径	7.2	6.6	6	5.4	4.8	4.2
石油消费减量	0.2	1.1	1.76	2.4	2.97	3.5

表 4.2：油控路径下总能耗和一次能源结构变化

	2018	2025	2035	2050
总能耗 (亿吨标准煤)	46.4	53.0	57.0	53.0
石油消费 (亿吨标准煤)	8.8	10.3	8.6	6.0
油耗占比 (%)	18.9	19.4	15.1	11.3
煤耗占比 (%)	59	46.9	24.6	9.4
天然气占比 (%)	7.8	13	14	15.4
非化石占比 (%)	14.3	20.7	46.3	63.9
能源部门碳排放 (亿吨二氧化碳当量)	99	101	69	40

度、碳强度目标和供电煤耗目标。在煤控的方案中，2013年是煤炭消费的峰值。从2013年到2018年，煤炭下降带来的碳减排红利，很快地被增加的石油和天然气产生的二氧化碳排放所抵消。

显然，采用油控路径和煤控方案相结合，中国的二氧化碳排放峰值会在2025年左右到来。在表4.2中的二氧化碳排放中，2025年最高，达101亿吨。在2025年之后的煤控+油控路径中，石油和煤炭带来的碳排放将一路走低。

令人感兴趣的是，2050年后天然气的二氧化碳排放占据了举足轻重的地位。我们认为，2035-2040年后，应该开始重新定位天然气在能源利用中的角色。2050年如果三分之一的石油和二分之一天然气用于化工原料，则可减少10亿吨的二

氧化碳排放。如果增加碳汇、发展CCUS技术和生物质发电争取可解决约30亿吨碳排放的问题，就可达到本世纪中期“碳中和”的目标。

### 三、油控路径的实施路线图

实现油控路径的目标的重要保障是制定可实施、可测量和可核实的方案、途径、重点领域和主要抓手。

#### 3.1 油控路径的阶段性和减油量

在油控路径三个主要的阶段性里程碑是：（1）2025年石油消费达峰7.2亿吨；（2）2035年实现“美丽中国”愿景；（3）2050年实现1.5°C温控目标。

2017年石油消费量5.89亿吨，交通部门占比57.7%；石化部门占比15.3%；其他多个部门占比27.0%。油控路径下2050年耗油4.2亿吨，这三大部门领域的油耗量分别是1.4亿吨、1.78亿吨和1.02亿吨，占比分别为33.3%、42.4%和24.3%，如图4.2所示。

与基准情景相比，2050油控路径可减少3.5亿吨石油消费，其中交通、石化和其他部门各减少2.32亿吨、0.5亿吨和0.68亿吨，各自贡献66.3%、14.3%和19.4%。2020-2050年油控路径相比基准情景累计减油53.4亿吨，相当于减少9个2017年全年的石油消费量。

### 3.2 石油消费控制的五大途径及其贡献率

总结石油消费控制各部门领域的特点，可以概括为五大控油途径，分别是减量、高效、替代、结构优化和清洁化，表4.3对这五大控油途径进行了简要定义。需要指出的是，这五大途径在某些方面并不能彼此完全分清，存在交叉重叠的地方。

三大部门在五大控油途径的基础上，再细分控油政策、技术、管理和投资等措施加以实施。如表4.4和图4.3所示，这五大途径对2050年3.5亿吨的总减油量贡献率依次是减量占14.9%、高效占20.0%、替代占47.7%、结构优化占16.0%、清洁化占1.4%。显然，在各部门不同减油途径的重要性有所不同，但替代和高效两大途径一起占控油贡献率67.7%。

图 4.2：2017和2050年交通、化工和其他部门石油消耗占比

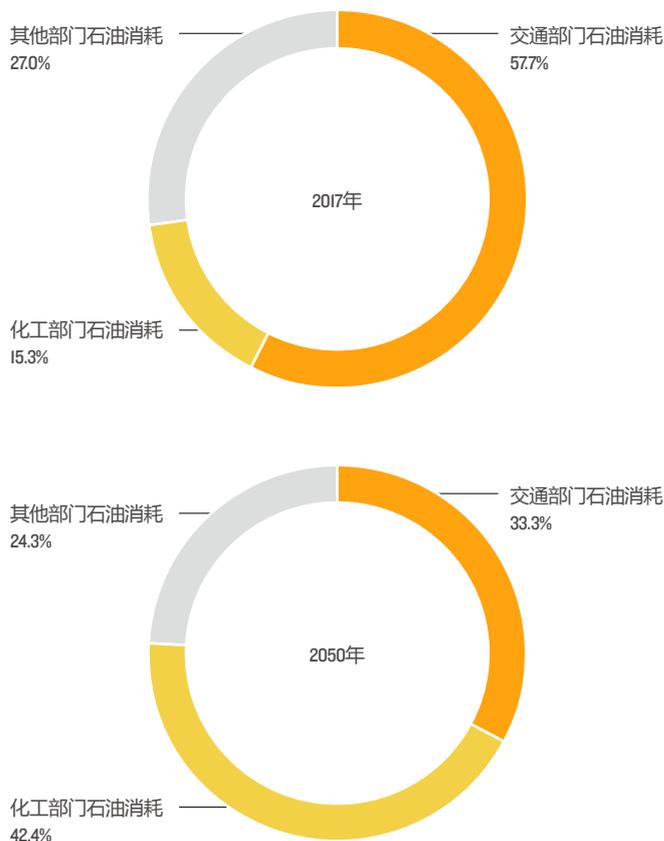


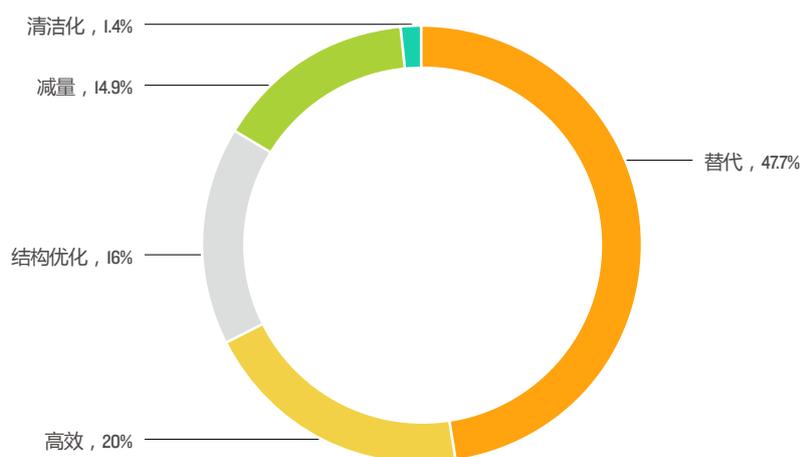
表 4.3：油控路径的五大减油途径定义

减油途径	定义
减量	通过调整经济结构和产业结构，以及提升规划、管理和消费模式，减少不必要的石油需求
高效	通过技术手段改进设备和耗油设施的效率，淘汰落后耗油设备
结构优化	进出口结构、产品结构和生产工艺的优化、淘汰落后产能等
替代	用其它能源种类和物质代替石油等措施
清洁化	根据清洁生产和环保标准生产油品和减少污染物处理所消耗的石油

表 4.4：油控路径的五大减油途径和减油量

单位：亿吨	交通	石化	其他部门	总计
减油量 (以2050年计)	2.32	0.5	0.68	3.5
减量	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低不合理货运需求</li> <li>发展紧凑型城市和城市群分布</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>减少高耗能、高耗油产品出口</li> <li>控制化工产品出口</li> <li>进口中间石油原料代替进口原油</li> <li>限制和禁止一般塑料生产使用</li> <li>提升化工产品回收利用水平</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>减少工业、建筑和农业领域的油耗</li> </ul>	0.52
高效	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高汽车燃油经济性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高资源和能源的利用效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高用油效率标准，减少损耗和浪费</li> </ul>	0.7
替代	<ul style="list-style-type: none"> <li>发展电动汽车和电气化运输</li> <li>发展替代燃料和燃料电池</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>采用可降解材料替代石油塑料制成产品</li> <li>生产原料和工艺路线多元化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>电力替代燃油驱动</li> </ul>	0.56
结构优化	<ul style="list-style-type: none"> <li>优化运输和货运结构</li> <li>优化城市交通规划和出行结构</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>产品供应渠道多元化</li> <li>炼化一体化，淘汰炼油落后产能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>淘汰落后产品</li> </ul>	1.67
清洁化	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高油品质量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提高石化产业的环保标准</li> <li>通过回收和循环利用减少各种石化产品垃圾</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>采用清洁燃料</li> </ul>	0.05

图 4.3：五大控油途径对2050年减油3.5亿吨的贡献率



需要说明的是，具体控油路径的实施效果受政策实施的力度、技术进步和管理水平等因素的影响，不排除某些路径的减油效果比预计的要差些，而有的会超过预期。

### 3.3 抓好控油的重要部门领域和确定各部门控油的抓手

根据部门控油的贡献和实施难点，部门的重点顺序依次是交通、化工和其他部门。在几个耗油部门中，要把减油贡献率大、可实施程度高和减排减碳效果好的措施确定为抓手，纲举目张，带动本部门的油控工作。

在交通部门，以“禁燃”为抓手。传统燃油被电力、氢能、生物燃料和天然气所替代，推广新能源汽车。构建以电力为基础、轨道交通和公共交通为核心的绿色低碳交通体系。2020-2025年之间，交通耗油率先达峰。禁燃在2050年控油贡献率占65%，解决城市中长期困扰的空气污染难题和减少二氧化碳排放。

交通部门的用油展望如图4.4所示。基准情景中，交通油耗在2035-2040年期间进入峰值平台期，约3.9亿吨。油控路

径下，2020-2025年间，推动传统燃油汽车逐步电动化替代，伴随着燃油经济性提升和交通运输结构优化调整，交通用油开始放缓并达到峰值。2025-2035年，汽车电动化的技术条件和基础设施积累成熟，电动汽车发展进入爆发期，结合共享出行、网络化物流等信息化创新模式，交通需求量进一步减少，交通部门用油出现快速下降。2035-2050年，交通油耗继续下降，但速度逐渐放缓。这期间乘用车、商务车电动化速度放缓，但中卡、重卡、水路和航空的燃油替代方案逐渐成熟，推动交通用油继续下降。到2050年下降到1.4亿吨，较基准情景下降2.32亿吨。

在化工部门，以“净塑”为抓手。2018年塑料生产耗油约0.8亿吨。塑料对陆地和海洋生态造成很大危害，并威胁公众的身体健康。全世界掀起禁塑和限塑运动。2050年采用塑料的减量、替代和回收可以削减0.19亿吨石油，占化工部门2050年控油贡献率的38%。

图 4.4：基准情景和油控路径下交通用油需求展望

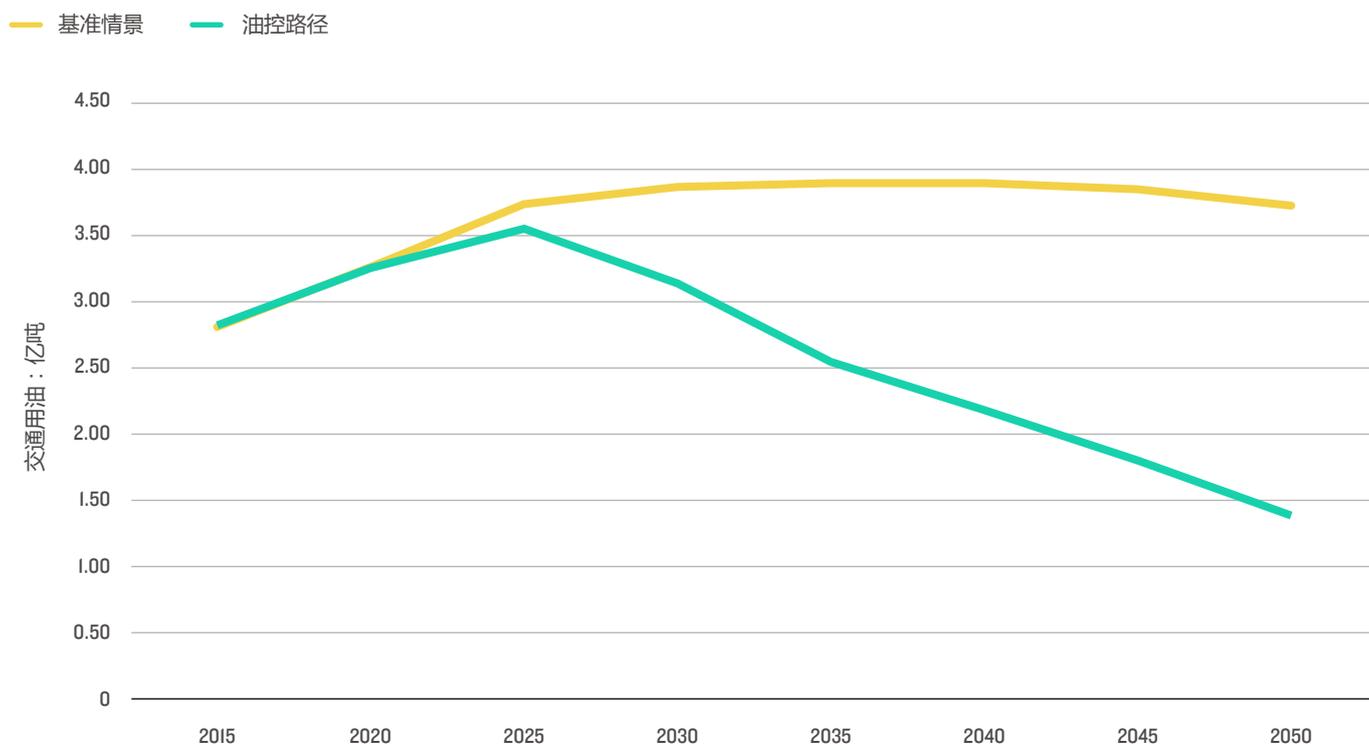
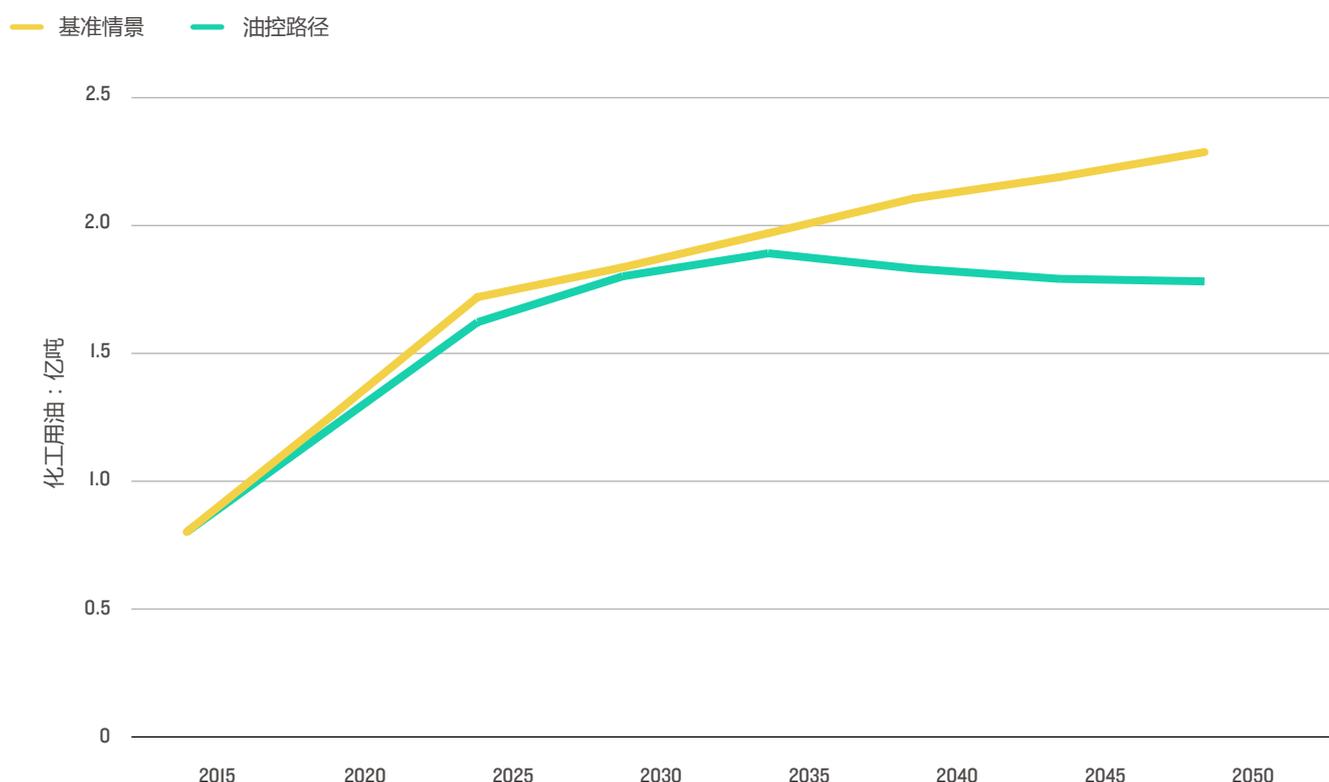


图 4.5：基准情景和油控路径下化工用油需求展望



化工用油需求展望如图4.5所示。基准情景中，化工产品产量快速增长将带动化工用油需求持续增加，2015-2030年处于高速增长阶段，之后进入稳步增长阶段，2050年化工用油需求将为2.3亿吨。油控路径中，2015-2030年化工用油仍将处于较快增加态势，但通过“净塑”、减少化工产品出口、淘汰落后产能、提高能效等措施，增速将明显低于基准情景。2035年全社会化工用油需求将达峰，峰值为1.9亿吨，之后在原料替代和加大基础化工产品进口等措施共同发力之下，化工用油将缓慢下降，2050年有望控制在1.78亿吨，比基准情景下降近0.5亿吨。

在其他部门，以“定标”为抓手，制定不同类型的柴油机燃油效率和污染物排放两个新标准。不同种类的柴油机污染严重、能耗低。淘汰落后的汽柴油机（减量）和提高能效、排放标准（高效与清洁利用）可以节省0.36亿吨石油，占其他部门2050年控油贡献的52%以上。其他部门油耗在2025-2030年之间达峰。

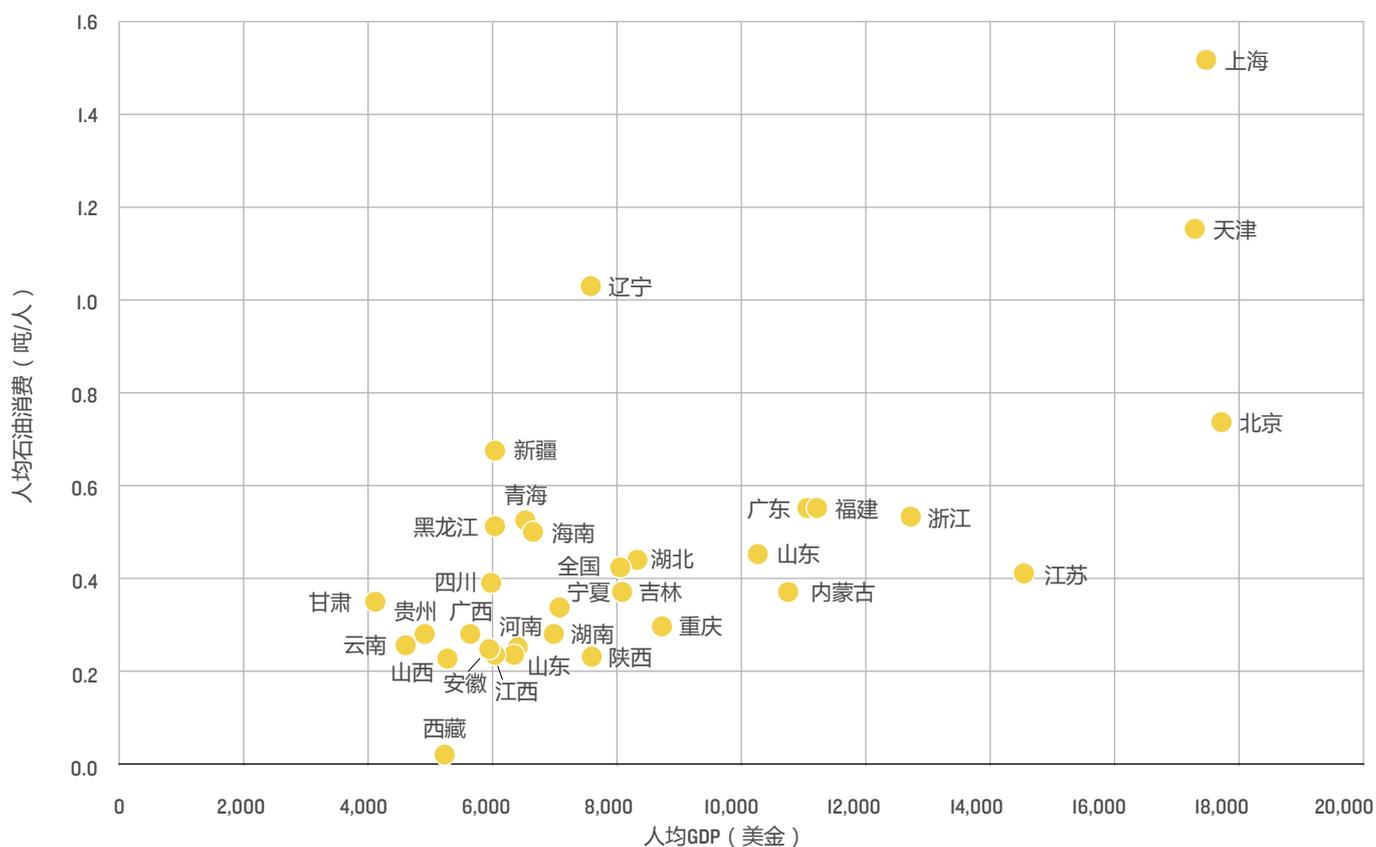
整体来看，通过“禁燃”、“净塑”和“定标”三大抓手，对2050油控路径的3.5亿吨减油量的贡献率达到59%。

### 3.4 石油消费控制重点地区和差别化区域油控策略

从中国各地区情况看，由于城乡区域发展差距较大，面临普遍提升石油消费水平与合理控制石油消费增长的矛盾。目前，上海、天津、辽宁等地区人均石油消费量超过1吨，已经与英国、法国等国家水平相当。但在河北、山西、河南、陕西等地区，人均石油消费仅有0.2吨左右，仍只有全国平均水平的一半左右，如图4.6所示。

考虑到这种区域差异，东、中部发达城市应先于全国达到石油消费峰值，并且要积极推动石油消费总量下降。东、中部发达城市和重点地区/省会城市应严格控制汽车保有量增

图 4.6：中国各地区人均石油消费与人均GDP比较



资料来源：《中国能源统计年鉴2018》，中国统计出版社，2019年5月

表 4.5：油控路径下石油消费总量控制的指标体系

	重要指标	2025年	2035年	2050年	建议要求
全国宏观指标	石油消费占一次能源比重 (%)	19.4	15.1	11.3	指导性
	石油进口依存度 (%)	72	67	48	预警性
	能源效率	双积分标准	双积分标准	-	约束性
部门指标	禁燃	部分省市禁燃时间表	差异化的地方禁燃时间表	全国传统燃油车退出市场销售	约束性
	化工	禁、限塑+回收	禁、限塑+回收+替代	全面禁塑	约束性
	其他部门	汽柴油发动机能效标准和排放标准	汽柴油发动机能效标准和排放标准	汽柴油发动机能效标准和排放标准	约束性

长，率先研究出台传统燃油车退出市场的目标和可实施的路线图；这些地区的石化企业应加快淘汰落后炼化生产能力，率先出台全面限制一次性塑料制品的目标和路线图。其他西部发达地区可能会晚于全国达到石油消费峰值，但也要制定相关的油控目标和政策，严格控制石油消费增速，推动石油消费尽早达峰。在不同地区开展试点的基础上，总结经验教训，逐步推广，最后达成全国的油控路线和时间表。

### 3.5 制定石油消费控制的指标体系

围绕实现石油消费总量控制目标的中心议题，提出控油的指标体系，满足能源转型、环境保护、气候变化和核心决策的需要，并在短、中、长期的发展指南（如五年计划、十五年战略和2050年长远目标）中得到体现。

中国现有的能源指标体系，分为全国和部门（行业）指标，以及指标的属性（约束性和指导性）要求。重要的国家宏观指标根据需要，可以分解到地方和行业部门。附录2表示现有的国家能源指标体系。在油控路径下，选择一组指标体系来指导和约束石油消费总量，如表4.5所示。

标可以分为政府约束性和指导性指标，部门强制性或建议性指标。本报告建议三项全国宏观指标和三项部门指标。全国三项指标中，石油消费占比为指导性指标，原油进口依存度为预警性指标，将交通部门的“双积分”标准上升为全国的约束性指标。在“十四五”中，2025年中国石油消费占一次能源比重19.5%以下，石油进口依存度73%；2035年，石油占一次能源比重约15.2%以下，石油进口依存度67%；2050年，石油占一次能源比重11.4%以下，石油进口依存度52%。

从保障和增强能源安全的角度，石油消费量占比和对外依存度指标有助于加大节油力度和替代能源的开发利用力度，逐步降低对进口石油的依赖。在交通、化工和其他部门，禁燃、净塑和汽柴油发动机能源和排放标准建议设为部门约束性指标。禁燃和净塑指标可从部门指标上升为全国性指标。

## 四、石油消费总量控制促进经济增长

石油消费总量控制的目的是推动中国跨越石油时代，对环境、生态、公众身体健康和气候变化带来正面效应，减

少全社会的外部环境成本。在交通部门，促进汽车革命，培育和促进新兴产业发展；在化工部门和其他部门，推动节能和环保技术的研发和产业化，促进新兴产业对油基塑料的替代，推动技术创新产业的发展；在油气开采领域，促进页岩油气开发技术革命；这些都将激励经济增长。

### 4.1 减少社会总环境外部成本

2015年中国石油开发利用产生的全社会环境外部成本为2755亿元。由于环境生态和公众身体健康受损以及气候变化风险上升，预计将造成2025年、2035年和2050年的社会总外部成本分别达到5100亿元、5800亿元和11200亿元。实施石油消费总量控制，可以分别在2025年、2035年和2050年减少这些成本达204亿元、1280亿元和5090亿元。

### 4.2 汽车革命培育和发展的新兴产业

汽车产业是中国经济增长的支柱产业之一。2017年，第二产业对GDP的拉动贡献率为2.5个百分点；汽车工业总产值占GDP的7%，传统汽车产业的利润额占工业的9.2%，贡献最大。中国传统汽车生产和销售2018年以来开始下降，而新能源汽车逆势增长，成为汽车产业新的增长点。电动汽车的发展带动了电池、配件等整个产业链的兴起，对电力行业也产生巨大的积极影响，促进了可再生能源的发展。其他辅助服务，如电网的配电业务、充电桩和充电站等服务业也得到快速发展。交通部门的电气化将给现有的交通系统（包括道路交通、航运和航空）和能源系统带来巨大变革，也将为中国在交通业、制造业、能源业和服务业带来跨越式发展。

### 4.3 节能减排、减碳技术的需求和非常规油气开发革命推动技术创新产业兴起

在石油消费的各个部门、环节和终端设备利用上，为了减少石油消费、污染物排放和碳排放，都需要研发和推广新型能效和环保技术设备。从生产端来说，开发非常规油气资源带来石油开采领域革命性进展。技术、设备、管理和投资等方面都会随之产生新的进展和改革，非常规油气革命的影响是深远的。在利用二氧化碳驱油增气的开发上，一些新业务和新行业存在巨大发展潜力，是目前CCUS技术开发领域最有实际应用的技术。

# 交通部门石油 消费控制路径

全球范围内第三次工业革命方兴未艾，新能源汽车、共享汽车、无人驾驶汽车、智能交通、物联网等不断创新发展，为推动交通领域石油需求达峰带来契机。中国交通运输基础设施建设整体进入高效发展阶段，为结构优化和升级发展带来巨大空间。高速铁路、航空和水运的发展迅速，新能源汽车等由示范、推广进入快速发展阶段。以汽车革命为标志的交通变革，为中国进一步发挥后发优势、实现跨越引领带来新的战略机遇。在这些背景下，我们认为需要推动交通石油需求尽早于2025年达峰<sup>22</sup>。



© Photo by JJ Ying on Unsplash

### 交通部门石油消费特点

2017年交通部门在道路、铁路、水路和航空等各个行业的石油消费如图5.1所示。道路交通是本部门石油主要的消费行业，占83%；其次是航运（水路），占8%，航空占8%，铁路和管道占1%。从发展的趋势来看，航空业发展增速快于其他交通行业，航空的石油消费占比会越来越的挤占道路油耗的份额。

铁路的燃料以电力为主，占95%，其次为柴油，占5%。公路交通的燃料目前仍以油品为主。从运输能源强度来讲，水路最低，为2.7吨标煤/百万吨公里，其次为铁路，4.8吨标煤/百万吨公里，再次为公路，18吨标煤/百万吨公里，航空最耗能<sup>22</sup>。因此在大宗货物和旅客长途输送过程中，铁路能耗强度远低于公

路。公转铁、公转水的措施可以节省能耗和降低空气污染等。

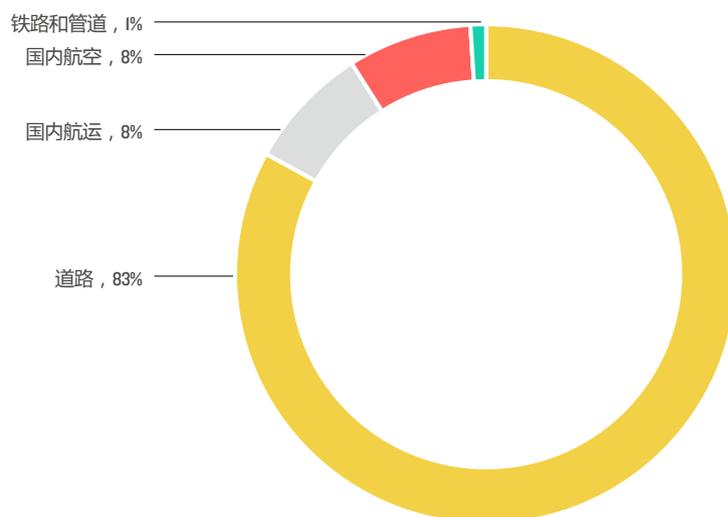
2006-2017年各类油品消费量如图5.2所示。2017年中国成品油消费量3.27亿吨，同比增长3.4%。其中，汽油消费量为1.24亿吨，同比增长4.6%；柴油消费量为1.70亿吨，同比增长0.9%。航空煤油需求则受航空业持续发展带动，持续大幅增长，2017年中国煤油消费量为3326万吨，同比增长12.0%，且近十几年其增速一直是三大油品中最快的，2006-2017年年均增速超过10%。

柴油主要用于卡车和大型客车、船舶等。除了交通运输部门外，非道路机械的移动源也是重要的耗油设备。这些设备污染物排放量高，效率低，成为城市中重要的空气污染源，有的城市其污染程度甚至于机动车污染排放。

<sup>22</sup> 《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年06月

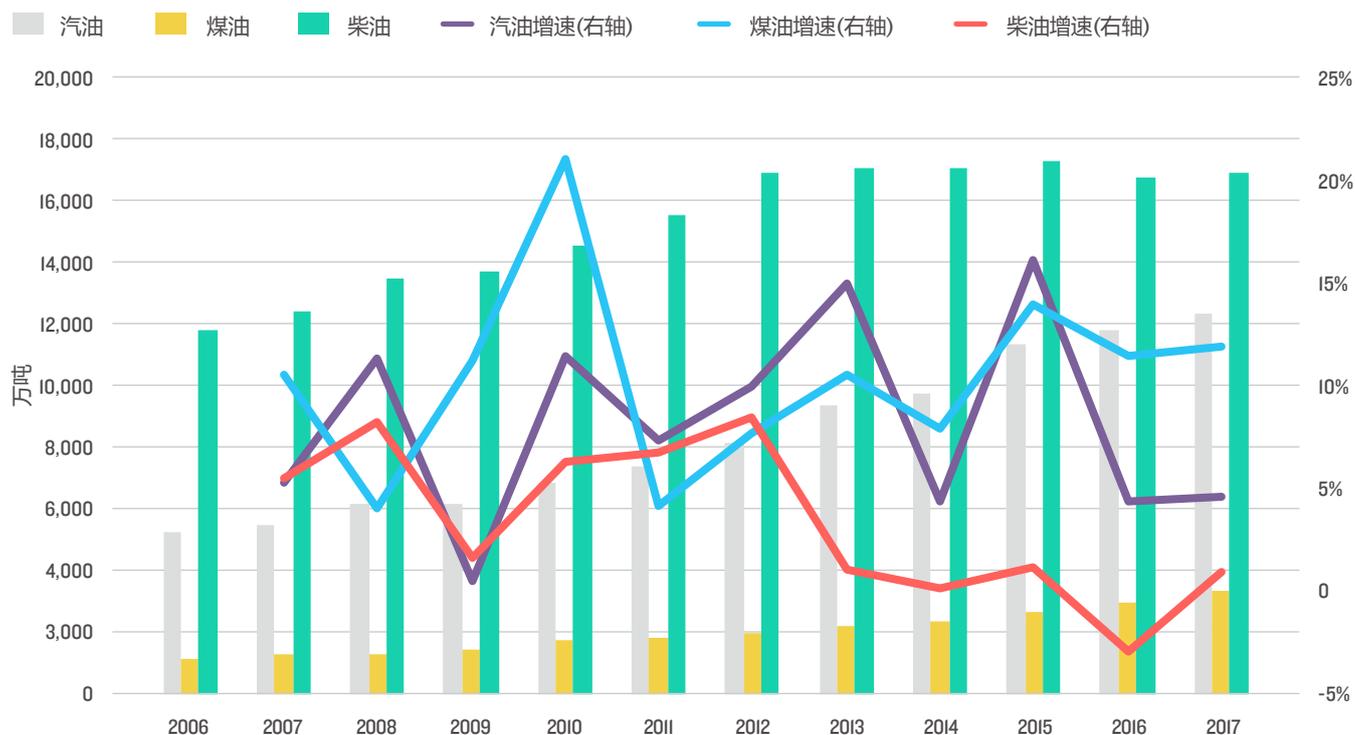
<sup>23</sup> 《推动能源生产和消费革命战略研究（一期）》，中国工程院，2017年6

图 5.1 : 2017年交通部门各行业石油消费结构



资料来源：《中国能源统计年鉴-2018》，国家统计局能源司，2019年6月  
《中国2017年能流图和油流图》，胡秀莲、刘嘉，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

图 5.2 : 中国汽柴煤油消费量



资料来源：国家统计局2006-2016数据、Wind数据库2017年数据

## 一、油控路径下的交通部门减油潜力和政策选项

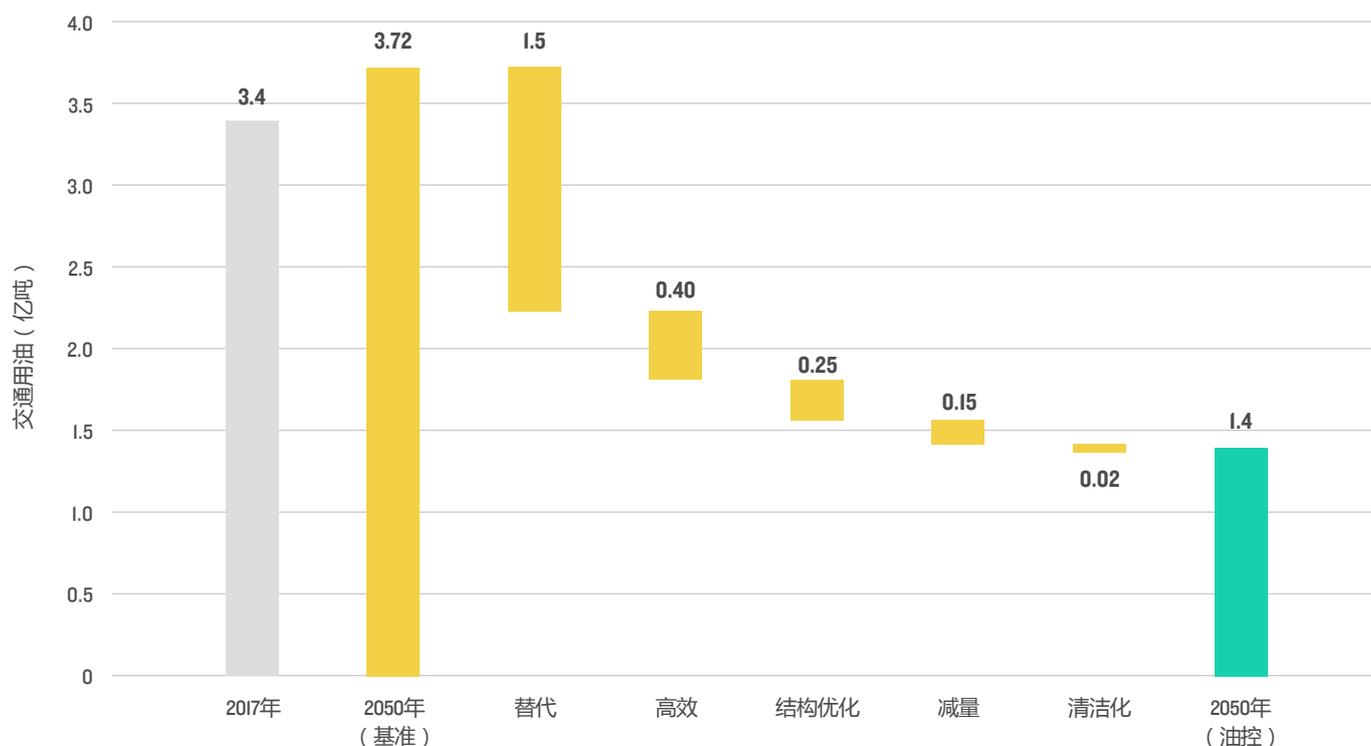
整体来讲，交通部门的油耗总量比石化等其他各部门油耗总量达峰要早一些。从消费水平现状和未来趋势看，各种燃料品种的达峰时间有差异。无论是从总能耗占比还是从油耗占比考虑，道路交通无疑是控油的重点。

油控路径下，2050年交通运输部门石油消费1.4亿吨，相比基准情景降低2.32亿吨。如图5.3所示，通过发展新能源汽车实现燃料替代可减少1.5亿吨，占64.6%；提高燃油经济性的高效措施可减少0.4亿吨，占17.2%；通过推动货运“公转铁”、“公转水”，优化城市出行实现结构优化等可降低石油需求0.25亿吨，占10.8%；转变发展方式、降低不合理运输、出行需求模式改变等实现减量0.15亿吨，对油控的贡献6.5%；以及清洁化可降低石油需求0.02亿吨，占0.9%。

需要说明的是，这几大交通控油途径所能带来的减油潜力，是根据近中期的政策制定环境和技术基础来评估的，随着政治意愿和政策选项的强化，技术创新和推广、投资和金融支持，以及污染物减排和减碳，不排除未来减油潜力在某一个或几个方面比我们的预计有进一步提升的可能。

交通运输行业实现减油化和电气化发展是长期趋势，但不能一蹴而就，需要从供需两侧出发，统筹考虑近期和中远期减量、高效、替代、结构优化和清洁化等五大途径。近期，继续提升传统汽车的燃油经济性标准；以交通结构调整为重点，加快建立完善以高速铁路、公共交通为核心的交通运输基础设施体系；推动工业化、城市化实现优化布局发展，不断夯实中远期结构优化的前提基础。同时，加快对电动汽车、燃料电池汽车、氢能等替代技术的研发、示范和推广力度，确保中远期电气化发展潜力得到全面释放。

图 5.3：2050年交通部门减油潜力与途径



具体而言，挖掘交通运输领域节油潜力，具体化五大途径的各种技术和模式的措施，针对重点领域出台政策建议，如表5.1所示。但是交通能源转型涉及部门多、内容广，中国现阶段各地区工业化、城市化发展水平存在较大差距，有些措施是需要综合统筹，难度不同，实施节奏也有所不同。

表 5.1：交通部门石油消费控制的具体政策选项和措施举例

目标方向	重点领域	评价指标	政策选项和措施
减量	降低不合理货运需求	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 单位GDP货物运输强度</li> <li>• 空驶率</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 加快经济结构和出口结构调整，积极发展先进制造业和第三产业</li> <li>2. 优化产业布局，减少远距离运输</li> <li>3. 利用ICT技术优化物流组织</li> </ol>
	发展紧凑型城市和城市群	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 城市道路密度</li> <li>• 机动化出行次数及比重</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 引导大中小城市、混合功能分区、多功能组团</li> <li>5. 提到城市路网密度</li> </ol>
	经济措施	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 提高油价</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 提高燃油税，外部成本内部化</li> </ol>
高效	提高汽车燃油经济性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 卡车燃油经济性</li> <li>• 乘用车燃油经济性</li> <li>• 商用车燃油经济性</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. 大幅提升卡车、小汽车燃油经济性，完善能效领跑者制度</li> <li>8. 完善针对不同能效水平车辆的差别化税收政策</li> </ol>
替代	发展新能源汽车	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 电动汽车普及率</li> <li>• 电动汽车出行分担率</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. 提高双积分政策目标要求</li> <li>10. 完善电动汽车补贴政策和税收政策</li> <li>11. 加快建设充电设施</li> <li>12. 加快氢能、燃料电池汽车研发示范推广</li> <li>13. 研究出台传统燃油汽车禁售时间表</li> </ol>
	发展替代燃料	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 天然气车船比重</li> <li>• 生物燃料利用规模</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>14. 加快建设天然气车船加气设施</li> <li>15. 理顺天然气价格，完善经济激励政策</li> <li>16. 制定生物燃料研发推广支持政策</li> </ol>
结构优化	优化货运结构	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 铁路占货物运输比重</li> <li>• 多式联运比重</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>17. 深化铁路市场化改革，提升铁路在货运市场竞争力</li> <li>18. 加快物流中心、物流平台建设</li> <li>19. 支持多式联运发展</li> </ol>
	优化城市出行结构	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 非机动化出行比重</li> <li>• 公交出行比重</li> <li>• 共享出行比重</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>20. 提升公交体系舒适性、便捷性</li> <li>21. 完善公交、铁路系统换乘枢纽设施</li> <li>22. 修建慢行、自行车出行交通设施</li> <li>23. 完善停车收费、拥堵收费政策</li> <li>24. 完善共享出行支持政策</li> </ol>
清洁化	提高燃油清洁化水平	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 机动车氮氧化物等污染物排放标准</li> <li>• 燃油质量标准</li> <li>• 清洁化设计和生产</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>25. 划定低排放控制区</li> <li>26. 推进老旧柴油车深度治理</li> <li>27. 研究出台城市拥堵收费</li> <li>28. 改变工艺降低成本，提供高质量油品</li> <li>29. 废物排放和处理最小化</li> </ol>

## 二、交通部门五大减油途径的具体措施

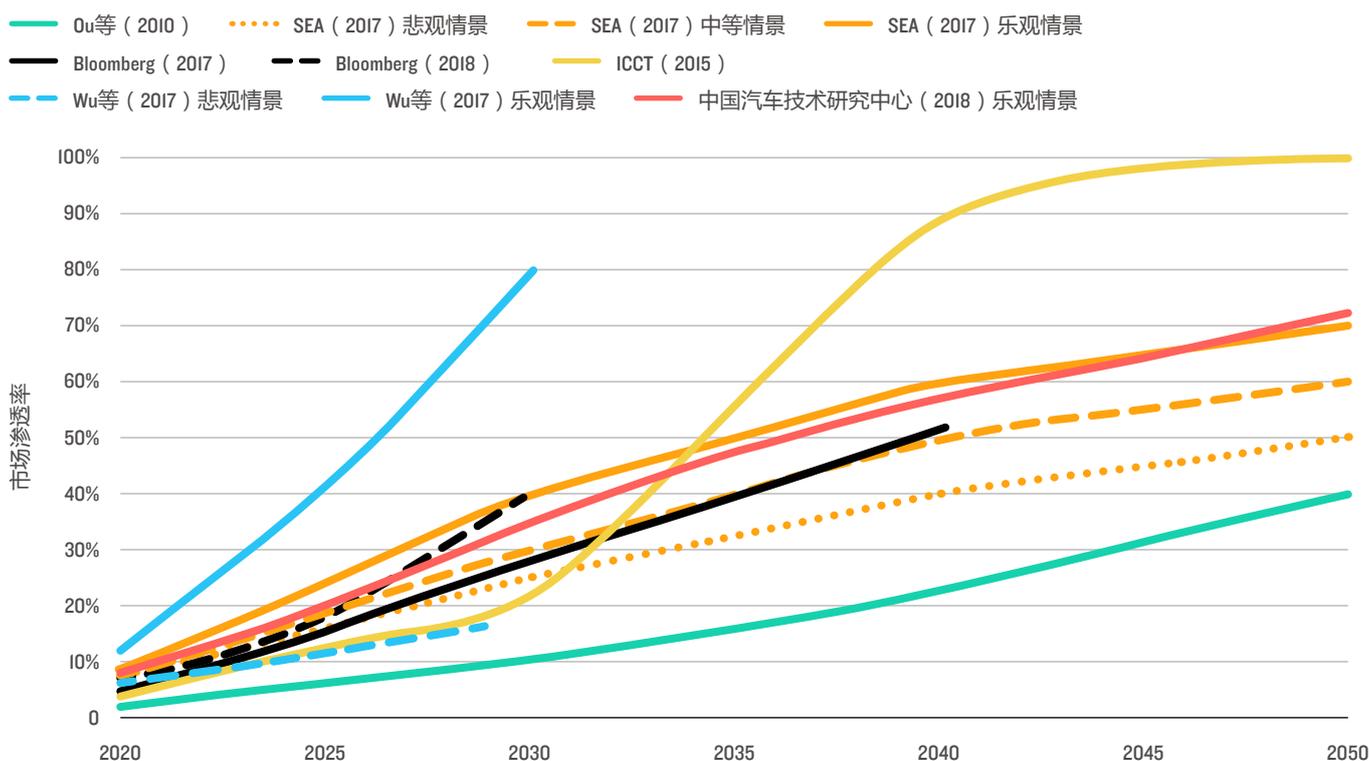
### 2.1 加快新能源汽车发展实现燃料替代，减油1.5亿吨

中国目前是世界上最大的汽车生产和销售国。2018年，全国民用汽车保有量2.323亿辆。其中新能源汽车保有量261万辆，占汽车总量的1.09%，与2017年相比，新能源汽车增加107万辆，增长70%。其中，纯电动汽车保有量211万辆，占新能源汽车总量的81.06%<sup>24</sup>。在城市公交等领域电动汽车占比已经超过50%<sup>25</sup>，深圳、太原等城市已实现出租汽车100%电动化。

中国电动汽车产业化已经走在世界前列，新的技术突破和商业运行模式不断涌现，由政策驱动向政府引导和市场主体的双驱动转型的特征日益显现。在这种背景下，通过及时调整财政补贴等激励政策，加快完善充电桩等基础设施建设，结合优先路权等辅助政策，加强电池和技术研发，中国一些发达地区和城市有望在全球率先进入“新能源汽车社会”。

不同机构对新能源汽车的发展做出不同情景的预测，尽管前提和约束条件各有不同，但是总的趋势是上升的。即使在保守的预测中，新能源汽车在2050年的市场渗透率也在40%以上，如图5.4所示。

图 5.4：部分机构对新能源汽车渗透率增长的预测

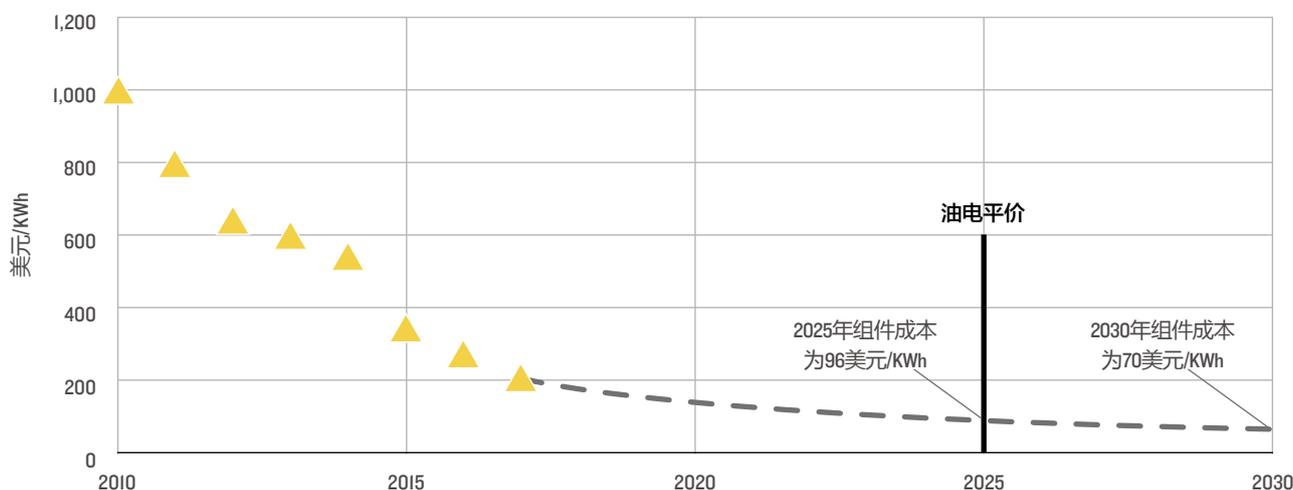


资料来源：《中国传统燃油汽车退出时间表研究》，能源与交通创新中心（ICET），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年5月

<sup>24</sup> 公安部统计数据，2019年1月

<sup>25</sup> 《2018年度中国新能源公交车推广应用研究报告》，城市公交智能化实验室，2019年6月

图 5.5 : 电池成本预测下降曲线 ( 2010-2030 )



资料来源：《新能源汽车长期展望2018》，彭博新能源财经，2018年6月

据彭博新能源的研究，2025年以后锂电池成本下降到96美元/Kwh，电动汽车与燃油汽车将达到“油电平价”，如图5.5所示。随着动力电池价格不断下降，中国电动汽车有望在2030前突破市场示范起步“瓶颈”，进入快速普及发展阶段。

2018年传统燃油汽车产销量为2780.9万辆和2808.1万辆，同比分别下降4.2%和2.8%，继2017年连续第二年出现下降。与其相反，新能源汽车仍然保持高速增长，2018年产销量同比上升59.9%和61.7%<sup>26</sup>。中国新能源汽车的保有量约占全世界的45%<sup>27</sup>。随着政府对新能源补贴的退坡，2019年1-6月新能源汽车增长率下降，但仍增长70%。2019年7月同比，新能源汽车增长量首次出现下降，为-4.41%<sup>28</sup>。随着车企对政府补贴政策的适应和调整，新能源汽车会再上新台阶。

除常规电动汽车之外，中国各类微型电动车发展也很迅速，2017年销售量达175万辆，较常规电动汽车销量高出一倍多。目前，中国摩托车保有量超过8000万辆，通过积极推广电动车摩托、微型电动汽车等，不仅能够显著降低化石能源需求，而且对于改善城市环境质量具有重要贡献。在汽车快速进入家庭过程中，中国有望避免发展中国家城市普遍出现

的摩托车化现象，并且开创一条不同于发达国家发展经验的电动汽车新路。

在电气化方面，公交、出租、网约车、城市物流车和公务用车这些领域是实现交通电气化的优先领域，从经济性、技术商业化和政府推动，都是最具有可行性的。为了进一步加快普及新能源汽车，政府要发挥在公务采购上的引导和示范作用。据政府采购信息网不完全统计，2018年中国公车采购总规模约160亿元<sup>29</sup>。政府除了在政策措施上积极支持和鼓励汽车革命性的转型发展，还要发挥公共采购的作用，支持先进的新能源车企发展。按照有关政府的规定，与公共汽车转型的时间表一样，在2020公务用车中一半将采用新能源汽车<sup>30</sup>。

除了电力替代，中国在公交、出租、中卡、重卡等领域发展天然气汽车具有较大空间。根据世界天然气汽车协会统计，到2017年底，中国天然气汽车保有量已达608万辆，其中压缩天然气（CNG）汽车573万辆、液化天然气（LNG）汽车35万辆。从天然气消费量来看，私家车天然气年消费规模约70亿立方米，占车用气的20%左右<sup>31</sup>。2017年，中国天然气汽车消费天然气约350亿立方米，其中LNG汽车包括重卡和大客车消费量

<sup>26</sup> 中国汽车协会统计数据，2019年1月

<sup>27</sup> 《全球电动汽车展望2019》，国际能源署，2019年5月

<sup>28</sup> 中国汽车协会统计数据，2019年9月

<sup>29</sup> 《2018年十地公车采购规模占全国近八成》，政府采购信息报，2019年1月

<sup>30</sup> 《党政机关公务用车管理办法》，中共中央办公厅，国务院办公厅，2017年12月

<sup>31</sup> 世界天然气汽车协会(IAAGV)统计数据，2018年9月

约占50%<sup>32</sup>。同时，中卡和重卡是氢燃料电池最好的用武之地。

此外，生物柴油、乙醇汽油、以及甲醇汽油和液体燃料也是低碳的替代燃料。在油控路径下，经过政策努力，2030年生物液体燃料替代规模有望达到1300万吨<sup>33</sup>。从全球来看，目前已有40多个国家与地区有强制性生物燃料掺混要求。2017年全球生物液体燃料（包括乙醇汽油和生物柴油）总产量达8412万吨，比2015年增长了5.3%。许多生物质资源丰富或粮食生产大国，都把发展生物液体燃料作为扩大可再生能源规模重要组成。例如，美国主要以玉米为原料，积极发展生物燃料乙醇。2017年生物液体燃料产量达3693万吨，占全球总产量的44%。巴西主要以甘蔗为原料，积极发展甘蔗-糖-乙醇联产，是全球第二大生物燃料乙醇生产消费国，也已实现车用乙醇汽油全覆盖<sup>34</sup>。

截至2017年，我国生物液体燃料产量为214.7万吨，仅占全球总产量的2.6%，生物液体燃料消费量约300万吨，不足全国成品油消费量的1%。国家能源局在2017年9月表示，全国已有11个省地（包括黑龙江、河南、吉林、辽宁、安徽、广西6省（区）全境和河北、山东、江苏、内蒙、湖北5省的31个地市）试点推广乙醇汽油，乙醇汽油消费量已占同期全国汽油消费总量的1/5<sup>35</sup>。2017年9月，国家进一步下发《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》，要

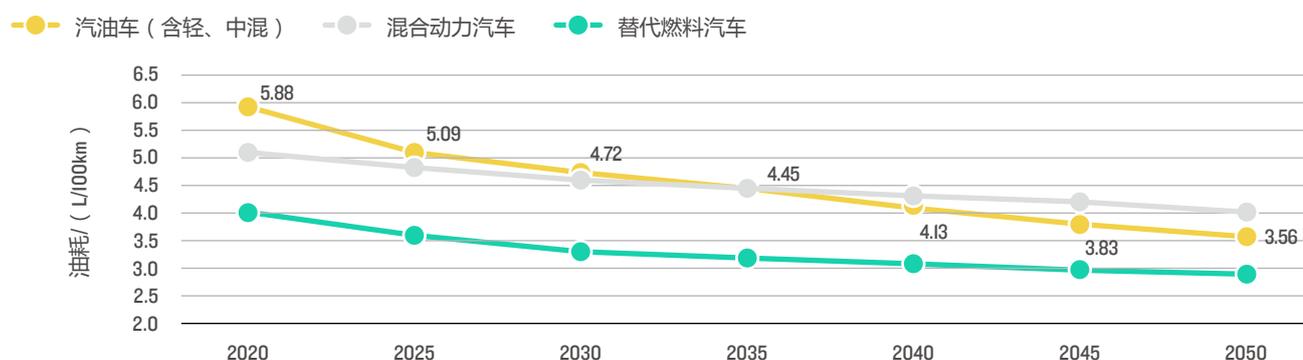
求2020年在全国范围内基本实现全覆盖。

中国在扩大生物液体燃料开发利用方面具有一定潜力。国内每年可利用的秸秆和林业废弃物超过4亿吨，30%利用的话即可生产生物燃料乙醇2000万吨。同时，通过回收利用餐厨废弃油脂，积极开发非食用草本油料和微藻资源，发展生物柴油有一定空间。经过十多年发展，以玉米、木薯等为原料的1代和1.5代生产技术工艺成熟稳定，以秸秆等农林废弃物为原料的二代先进生物燃料技术已具备产业化示范条件。行业整体技术装备水平居于世界先进国家行列。在生物航煤方面，中石化已具备以棕榈油、餐厨废弃油脂为原料生产合格生物航煤的成熟技术。

## 2.2 大幅提升乘用车和载货汽车燃油经济性，减油4000万吨

传统内燃汽车具备持续提高能效的巨大空间。实践表明，通过持续提升机动车燃油经济性标准，加快普及轻量化、小型化、动力总成升级优化等先进成熟技术，是减油最有效和主要的措施之一，是2025年前交通石油消费量早达峰的重要驱动力量。到2030年中国乘用车新车平均油耗有望下降到3L/100km左右，比目前平均油耗水平下降一半以上，商用车油耗有望同步国际先进水平。图5.6所示，从汽油车、混

图 5.6：不同动力驱动的燃油经济性预测和比较



数据来源：《中国传统汽车和新能源汽车发展趋势2050研究》，中国汽车技术研究中心，2018年10月

<sup>32</sup> 《中国天然气汽车保有量连续4年全球第一》，中国能源报，2018年9月10日

<sup>33</sup> 《生物燃料作为石油替代在中国的发展潜力及路径研究》，道兰环能，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>34</sup> 《2018能源数据》，王庆一，2018年10月

<sup>35</sup> 能源局就《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》答问，2017年9月

合动力和替代燃料车的燃油效率比较中可以看出，混合动力汽车的燃油效率是最好的；汽油车的燃油经济性在2035年之前超越替代燃油汽车。

货物运输能耗占中国交通能源需求的60%以上，载货汽车领域能效提升的潜力大。目前，美国能源部实施的“超级卡车”项目，仅利用现有的、成熟的、成本有效的技术，能够使重型卡车的实际能耗下降50%以上。对中国而言，通过提升卡车制造和装备水平、发展甩挂运输、优化物流组织管理，实际能耗下降的幅度将更大。在“中国制造”创新升级过程中，伴随绿色制造、智能制造、先进复合材料等共性技术发展突破，也将有利于汽车能效持续提升，为交通运输领域节能减排降碳带来更大的外溢效益。

中国政府从2013年开始执行乘用车企业油耗管理，该政策在提升机动车燃油经济性中发挥了积极作用。为了适应新能源汽车发展，2017年9月，工业和信息化部、财政部、商务部、海关总署、质检总局等五部门联合发布《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》，设立了“乘用车企业平均燃料消耗量积分（CAFC积分）”和“新能源汽车积分（NEV积分）”的双积分制度。二者虽然是“双轨制”，但新能源汽车跟油耗积分有两项挂钩：一是在油耗积分核算时，可以把新能源汽车的利好因素计算进去，产量越高，越能拉低油耗。二是如果企业产生油耗负积分，可以用本企业的新能源汽车正积分或者购买其他企业的新能源正积分抵偿。

2019年7月2日，工信部等四部委联合发布了2018年度“双积分”核算情况，2018年度积分交易也随之启动。7月9日，工信部等四部委再次发布了“双积分”政策修正案（征求意见稿），并向社会公开征求意见。修订后的“双积分”制在有利于提高燃油效率标准的同时，通过降低新能源汽车的分值、提高新能源汽车的得分门槛，进一步推动新能源汽车的发展。按照“双积分”政策修正案中的新算法，每辆纯电动乘用车获得的积分较现行“双积分”政策减少一半；每辆插电式混合动力汽车的分值下调0.4分，从现行的2分下调至1.6分；每辆氢燃料电池乘用车的积分也较现行“双积分”政策减

少一半。同时，在给分标准上，弱化纯电动车型的续驶里程在车型获取积分中的决定作用，引导企业更务实地推动电动汽车发展。另外将纯电动车型整车综合电耗作为积分核算的重要指标，使电耗越低的纯电动车型有机会获得更高的分值<sup>36</sup>。

## 2.3 发展铁路和公共交通，实现结构优化，减油2500吨

目前，中国已经建成世界长度第二位的铁路和公路网络、世界第一的高铁网络。以高速铁路为例，2017年全国高铁客流量、旅客周转量分别达到16.7亿人和4710亿人公里，分别比2012年增长2.3倍和1.42倍。2017年铁路客运量、旅客周转量的比重与2012年相比，分别提高27.2和15.0个百分点<sup>37</sup>。伴随以高速铁路、公共交通为核心的综合交通运输网络不断完善，为中国客货运输结构不断优化奠定了较好的基础条件。通过加快完善人口密集地区轨道交通网络，深化铁路管理体制改革的，中国铁路运输占货物运输比重下降的趋势得到扭转，铁路在客货运输出行中的竞争力将进一步提升。不断提高铁路、水运等高效方式在货物运输中的比重，降低交通运输油品需求。

中国主要特大型城市在公共交通基础设施、服务水平、出行分担率等方面，与东京、纽约、香港等发达城市相比还有很大提升空间。在城市规划、资金投入、土地安排、路权分配等方面，“公交优先”战略在许多城市并没有得到完全有效落实。今后伴随“市民化”成为城市化工作重点，把公共交通切实放在城市发展首要位置，特别是在都市圈、城市带发展进程中，加快推进公共交通基础设施互联互通，不仅具有显著的节能减排效果，而且有利于促进区域人口、经济等一体化协调发展。

研究表明，通过城市多种功能合理布局，大力发展公共交通和慢行交通，可以显著降低中国城市中机动车年均行驶距离。以深圳为例，见表5.2，深圳机动车约322万辆，轨道总里程数295公里，分别占北京的57%和49%，但公共交通分担率60%，与北京相差无几。显然深圳的城市功能布局和道路规划更加合理。

<sup>36</sup> 《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源细分并行管理办法》修正案（征求意见稿），工业和信息化部等，2019年7月

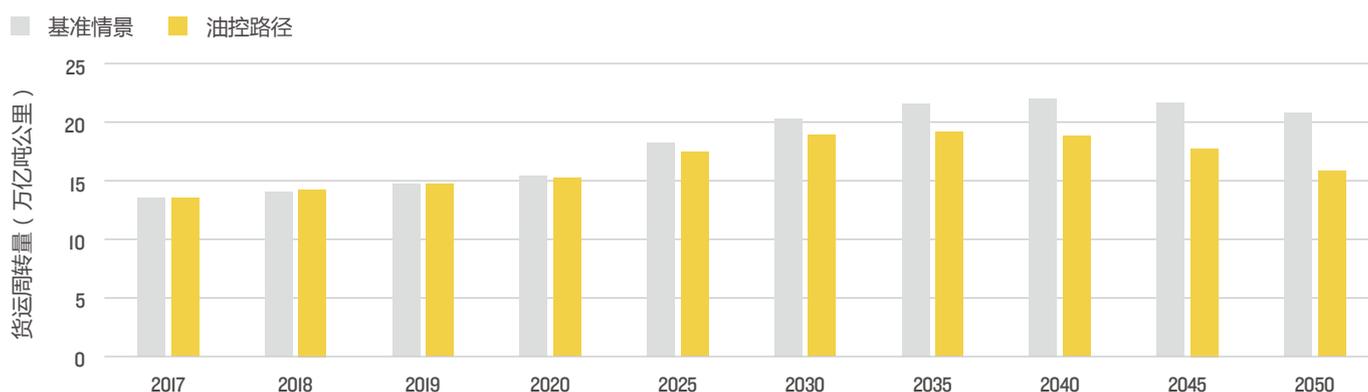
<sup>37</sup> 《2017年交通运输行业发展统计公报》，交通运输部网站，2018年3月

表 5.2：中国部分城市交通出行比较

城市	机动车（万辆）	公共交通出行分担率	轨道交通运营总里程（公里）
北京	564	72%（仅中心城区）	608
成都	452	> 50%	179
重庆	371	59.3%	264
上海	354	50.2%	617
深圳	322	< 60%	295
石家庄	247	< 30%	30.3
杭州	244	< 60%	117.6

资料来源：《绿色出行趋势报告》，21世纪经济研究院，2018年2月

表 5.7：不同情景下货运周转量对比



资料来源：《中国石油消费情景研究（2015-2050）》，中国石油化工集团公司经济技术研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

## 2.4 优化产业布局 and 城市化模式，减量1500万吨

从国内外发展经验看，在工业化后期，加快经济结构和产业结构调整，尤其是降低对重化工行业的依赖，选择区域大、中、小城市群协调发展的城市化模式，能够明显降低煤炭、石油铁矿石等大宗原材料运输需求，并减少不必要的运输距离。目前，中国单位GDP货物运输强度是美国、澳大利

亚等国的3倍以上，具有相当大的下降潜力和空间<sup>38</sup>。

通过进一步调整产业结构，在环境资源红线约束和调整产能结构进程中不断优化生产力布局，中国货物运输需求增长速度可以明显减缓。模型分析表明，通过加快产业升级、推动大中小城市协调发展，发展紧凑型城市 and 城市群，与基准情景相比，到2035年和2050年，油控路径的货运周转量分别能够下降11%和23%<sup>38</sup>。

<sup>38</sup> 朱跃中、田智宇、伊文婧，《重塑能源生产利用方式推动交通运输发展去油化、电气化、高效化》，中国经贸导刊，2017年4月

通过引导城市群一体化发展，大力发展紧凑型城市，推动城市内部空间布局向以人为本多中心、混合功能、小街区和步行偏好的模式发展，积极发展远程办公、视频会议、在线购物、智能交通信号和疏散拥堵等措施，也能够大幅降低机动化出行需求。目前，许多发达国家城市已经在反思和改变传统城市发展模式，提出以宜居程度为核心的新城市主义、精明增长等理念。丹麦哥本哈根还把发展自行车道作为城市规划优先任务，提出打造全球最好的骑行环境，相比之下，中国很多城市自行车出行人数比重较低。

此外，中国正处在城市化升级发展的关键阶段，彻底改变“摊大饼”式发展模式，发展集群式城市，以超大城市为中心，中、小型城市为卫星城市环绕，城际铁路互联。以交通规划指城市发展，在从源头节约能源、土地、水等各类资源都具有很大潜力。

## 2.5 清洁燃油提高汽车内燃机的效率，减油200万吨

燃油的清洁化主要目的是减少燃油对空气的污染，尤其是在大城市，汽车尾气成为城市空气主要污染源之一。大城市和超大城市中，PM<sub>2.5</sub>的浓度在这几年的治理过程中显著下降，但臭氧污染却在迅速上升。现在全国正在推广“国六”燃油标准，对减少空气污染极大的所贡献。高品质油品除了对炼化工艺中做出改变、增加成本外，能耗也会随之提高。另一方面，干净的燃油对内燃机的防垢和部件寿命有正面影响，保持内燃机的效率和使用寿命。在大量的汽车使用中，清洁化的减油贡献在百万吨级别。

清洁化生产首先推进清洁设计。在源头环节中，考虑物料消费的最小化，生产工艺的能耗、水耗、污染和废料的最小化，减少废物处理的能耗和成本等。

## 三、汽车革命催生交通新业态

新能源汽车发展是一场汽车革命，不仅仅是替代和淘汰了传统燃油汽车产业，创造了新的产业链，推动了技术发展，还为新的产业和信息技术提供了应用和结合，开辟了“汽车革命+信息技术革命”的新天地。

## 3.1 引导国内汽车企业（合资、独资）把新能源汽车发展放在战略首位

中国已经连续9年是世界上最大的汽车市场，汽车成为国民经济的支柱产业。汽车生产企业及品牌数量持续增加，但技术仍远落后于欧美日韩等汽车大国。中国需从汽车大国向汽车强国转变，淘汰落后产能，提高自主创新能力，培养具有世界竞争力的龙头汽车企业。中国新能源汽车作为时代新产物，其技术已走在世界前列，通过发展新能源汽车实现产业转型升级具备优势，发展新能源汽车是一场汽车革命，是迈向汽车强国的必由之路。在《中国制造2025》、《汽车产业发展规划》、《十三五国家战略性新兴产业发展规划》等多项政策中，已明确节能与新能源汽车是未来中国汽车产业发展的主要方向。

2018年7月，国家发改委发布了《汽车产业投资管理规定（征求意见稿）》，要求原则上不再投资建设国内市场的燃油汽车项目，现有传统汽车产能也需要向新能源汽车快速转型，从而带动整个汽车产业链的转型升级，包括生产经营模式、生产资料、人才储备等。

在相关产业政策的引导下，中国企业洞察到未来汽车发展的趋势，涌现出一批包括比亚迪、蔚来、小鹏在内的以生产新能源汽车为主的企业，同时北汽、上汽等传统汽车制造商也在积极拓展新能源汽车业务。此外，国际汽车巨头也在积极布局中国市场，如特斯拉在上海的超级工厂预计2019年底建成，此后两到三年将实现50万辆纯电动整车年产能；丰田汽车公司宣布与中国电池制造商宁德时代、比亚迪开展电池供应及开发合作等。德国宝马汽车公司把技术研发力量和资源集中到电动汽车和其它新技术上。中国政府需进一步发挥政策引导和市场规模的优势，引导各类汽车制造商加入到新能源汽车技术研发和规模化生产中，向投资者发出明确的市场信号，形成新能源汽车“百花争放、百企争先”的局面，推动汽车革命。

国际上的主流汽车企业纷纷推出各自的新能源汽车发展规划和战略布局，其行动和资源投入引人瞩目。显然，国际上正掀起一场汽车革命竞赛，其激烈程度超出人们的预想。国内和合资汽车企业也正积极主动地迎接汽车电动化的浪潮，具体规划见表5.3a-b。

表 5.3a：国际主流车企电动化布局

车企	全球新能源汽车规划	中国的新能源汽车布局	新能源汽车技术路线
大众	2028年推出70余款电动汽车，产量达到2200万辆；2030年纯电动汽车销量占比达到40%	与江淮汽车成立新能源汽车合资公司	纯电动和插电式混合动力车型为主
戴姆勒	2022年奔驰乘用车实现全面电动化，推出10余款电动汽车；2025年纯电动汽车销量占比达到15-25%	与吉利汽车成立合资公司，研发生产下一代smart电动车型	纯电动和插电式混合动力车型为主
宝马	2025年推出25款新能源汽车，包括12款纯电动汽车	与长城汽车成立新能源汽车合资公司	纯电动和插电式混合动力车型为主，储备燃料电池车型技术
丰田	2025年所有车型推出电动版本，2050年全部取消传统汽柴油发动机	2020年在中国引进首款全新纯电动车型	混合动力、插电式混合动力和燃料电池车型为主，纯电动车型布局加速
本田	2030年新能源汽车销量占比达到2/3	2025年之前将在中国投放超过20款电动化车型	纯电动、混合动力、插电式混合动力和燃料电池车型多技术路线
日产	从2022年起每年销售100万辆新能源汽车	雷诺-日产-三菱联盟与东风汽车合作组建新能源汽车合资公司易捷特	纯电动、混合动力和插电式混合动力车型为主
通用	2023年推出20款全新纯电动汽车	2020年之前将在中国推出10款新能源车型，在之后3年旗下新能源车型总数将再翻一番	纯电动和插电式混合动力车型为主，储备混合动力和燃料电池车型技术
福特	2022年推出40款新能源汽车，包括16款纯电动汽车	与众泰汽车成立新能源汽车合资公司	纯电动和插电式混合动力车型为主
PSA	2021年前推出15款电动车型；2025年前，PSA集团旗下车型将全面实现电气化，均会提供电动或混动车型	2025年纯电动汽车在中国市场占比超过三分之二	纯电动和插电式混合动力车型为主
捷豹路虎	2020年起所有新车型均会推出电动化版本	与江苏常熟经济技术开发区签约，建设新能源整车及研发中心项目	纯电动和插电式混合动力车型为主

资料来源：中国电动汽车百人会，2019年

表 5.3b：国内车企电动化布局

车企	新能源汽车规划	新能源汽车技术路线
吉利	蓝色吉利行动：到2020年新能源汽车销量占吉利整体销量90%以上；PHEV与HEV占比达到65%，BEV占比达35% 吉利汽车2020:新能源汽车销量到2020年将达到180万辆	BEV、PHEV、HEV三种车型，未来还推出甲醇汽车
长安	香格里拉计划：在2020年前打造三大新能源车专用平台，2025年，长安汽车将开始全面停止销售传统意义的燃油车，实现全谱系产品的电气化，在2025年前累计推出BEV 21款，PHEV 12款。	纯电动和插电式混合动力车型为主
北汽	到2020年在北京市停止传统燃油乘用车的销售，到2025年在全国停止生产和销售传统燃油乘用车	纯电动车型为主
上汽	计划在新能源领域投放30款以上新产品，到2020年达到60万辆的销量。其中自主品牌新能源车销量20万辆	纯电动和插电式混合动力车型为主
广汽	成立广汽新能源，明确了到2020年产销规模20万辆的目标，车型产品将多达20余款，新能源汽车占集团整车产销规模10%	纯电动车型为主
比亚迪	2023年实现SiC机车用功率半导体对硅基IGBT的全面替代	纯电动和插电式混合动力车型为主
江淮	到2020年，江淮新能源车销量将占总量的20%，2025年新能源销量占总销量的30%，江淮将在2020年前发布7款新能源车型	纯电动和插电式混合动力车型为主
奇瑞	计划到2020年实现产销20万辆	纯电动和插电式混合动力车型为主
东风	在旗下东风日产、东风启辰、东风英菲尼迪、郑州日产等所有品牌中投放20款以上电动车，并将e-POWER技术导入所有品牌	纯电动和混合动力
蔚来	未来五年发布五款车型：紧凑型SUV的ES3、跨界Coupe的ET5、定位轿车的ET3、中型SUV的ES6、定位MPV的EF9	纯电动车型为主
小鹏	2020年发布纯电动B级轿车，2021年-2022年推出第三款车型，定位是B级SUV并将搭载Xpilot 4.0	纯电动车型为主
零跑	基于T平台的第一款五门四座微型车将会在2019年上市，S平台的第二款紧凑型车将会在2020年上市。C平台将会在2021年推出一款纯电动跨界SUV	纯电动车型为主
前途	2019年K20投产，2020年K50两门四座投产，2021年HG13(四门四座/五座)轿跑投产，K20(四门四座)投产，2022年HG15投产	纯电动车型为主

资料来源：中国电动汽车百人会，2019年

## 3.2 电动汽车发展带动了储能产业的兴起

2018年底，中国已投运的储能项目累计达到31.3GW，其中光化学储能项目累计规模1.1GW，是2017年累计投运项目的2.8倍<sup>39</sup>。储能技术在“十三五”规划中，明确指出储能技术达到国际水平，实现储能商业化的初期目标。“十四五”期间，实现储能产业全国规模化发展<sup>40</sup>。例如，锂电池的发展与成长迅速的电动汽车市场紧密相关，锂电池最低成本不断刷新和突破，锂电池技术持续进步，各类钠电池技术的快速发展，液流电池的突破及与锂电池的交叉融合。发电侧储能与可再生能源相结合，弥补可再生能源的波动性和间歇性。用电侧储能包括工商业削峰填谷及需求侧响应。预计到2019年底，电化学储能累计投运规模1.9GW，2023年约20.0GW<sup>41</sup>。对于电网，电动汽车作为移动储能成为关注点。

表5.4列出电力部门的储能市场和应用。电池占据电动汽车成本中的重要部分。从电动汽车退役的电池有很高的储能利用价值。电池的梯次利用可以解决电池成本过高的问题。中国电池行业的竞争和研发投入将会促进电池质量上升和成本下降。中国的宁德时代和比亚迪等电池生产企业已位列全球最大的生产商之中。需要解决电动汽车电池的多重价值和价格补偿机制的难题，提高产品安全和续航能力是电池行业发展面临的挑战。

## 3.3 积极发展绿色物流、共享出行等创新业态

通过发展绿色物流，能够明显降低石油需求增速。目前中国物流车辆空驶率高达45%，远高于欧美国家20%左右的水平。甩挂运输率只有1%，而欧美国家均高达80%左右<sup>42</sup>。目前，在城市配送中，京东、顺风、菜鸟等主要配送商均已制定加快新能源汽车替代计划，并已在主要城市推出新能源配送车。在省际运输方面，环渤海地区的唐山港、天津港，山东烟台港陆续出台了全面禁止接收柴油货车运输的煤炭的规定，将大大降低重型柴油车在煤炭运输中的使用。此外，除了轻型电动和燃料电池货车外，国内车企也在积极研发、示范和布局电

表 5.4：储能电位在电力部门的应用市场

电力环节	应用
发电	频率控制，旋转备用，负荷均衡，出力优化
输电	输电稳定，无功支撑，负荷均衡，可靠供电，电能质量保证
配电	削峰填谷，无功支撑，电能质量保证，可靠供电
用电	电能质量，可靠供电，电压支撑

动重卡、氢能重卡、LNG重卡等重型新能源货车。未来，随着相关政策落地及产品的推出，物流业石油消费量将大大降低。

在培育新业态方面，通过积极发展共享出行、分时租赁等，中国降低交通出行领域石油消费具有很大潜力。以共享出行为例，通过发展填补城市出行最后一公里的“共享单车”、专注于城市中短途出行的“网约车”及“顺风车”模式等，能够有效降低机动化出行需求。以共享单车为例，其能有效替代城市小汽车或出租车的燃油消费。根据估算，2018年共享单车帮助杭州市节约890万升汽油，相当于同年该市交通领域汽油消费的0.4%<sup>43</sup>。以此数据推算，全国范围内共享单车的减油量是很可观的。

在创新商务模式方面，中国物流企业在发展共同配送、网络化运输等方面也有很大空间。共同配送、网络化运输改变了以往点对点的运输方式，能够综合某一地区内多个用户的要求，统筹安排配送时间、次数、路线共同配送和货物数量，具有明显的节约和经济效益。以远成集团为例，通过整合了成都市内20家企业的市配送业务，实现了同一城市的共同配送。共同配送后，20家客户的整体配送业务总体减少了50%左右的车辆，整合后的车辆装载量提高了86%，平均装载率提高了36%，车辆总体行驶距离缩短17600公里，日均节约柴油3500升左右<sup>44</sup>。

<sup>39</sup> 《储能产业研究白皮书2019》，中关村储能产业技术联盟，2019年5月

<sup>41</sup> 《储能产业研究白皮书2019》，中关村储能产业技术联盟，2019年5月

<sup>43</sup> 《杭州可持续交通系统和燃油消耗达峰试点》，交通与发展政策研究所（ITDP），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>44</sup> 《中国石油消费总量达峰及控制的路径与措施研究》，国家发改委能源研究所，中国石油消费总量控制和政策研究项目内部资料”

<sup>40</sup> 《储能产业发展蓝皮书》，中关村储能产业技术联盟，2018年12月

<sup>42</sup> 《中国货运节能减排政策与策略研究》，清华大学，2018年3月

---

### 3.4 近海和内河航运的燃油减量替代

中国是世界上内河和近海最大航运量的国家，同时也是远海业务最为繁忙的国家之一。全世界十大港口中，中国占有七座。航运已成为空气污染和碳排放的重要来源。国际海事组织（IMO）的报告指出，随着全球贸易的增长，航运的碳排放显著增长，占比提高。由于近海、内河和港口污染增加，国际海事组织将强制推行全球船舶控制区（ECA）外使用硫含量不高于0.5%的燃油的规定。多国也实施船舶港口停靠时使用港口电力供应而不是自发电。许多船舶公司研发和试验纯电力驱动系统，使其有经济竞争性。

中国交通运输部在珠三角、长三角、环渤海（京津冀）水域设立船舶排放控制区，分阶段推动船舶在进入排放控制区时使用含硫量不超过0.5%的低硫油（其含碳量比标准船用燃油低80%）。2019年初，强制换油范围将扩大至海岸线处12海里（22公里）。中国和其他国家的实践证明，采用低硫油，港口城市附近地区的空气二氧化硫浓度，PM<sub>2.5</sub>和氮氧化物明显降低。中国有世界上最大的内河和远海航队，渔业捕捞船的体量巨大，纯电力驱动的技术研发正提到日程上来。内河船的纯电力驱动示范在推进中。在香港、广州和上海的港口正在实施岸电供应<sup>45</sup>。

### 3.5 民航空运的燃油变革

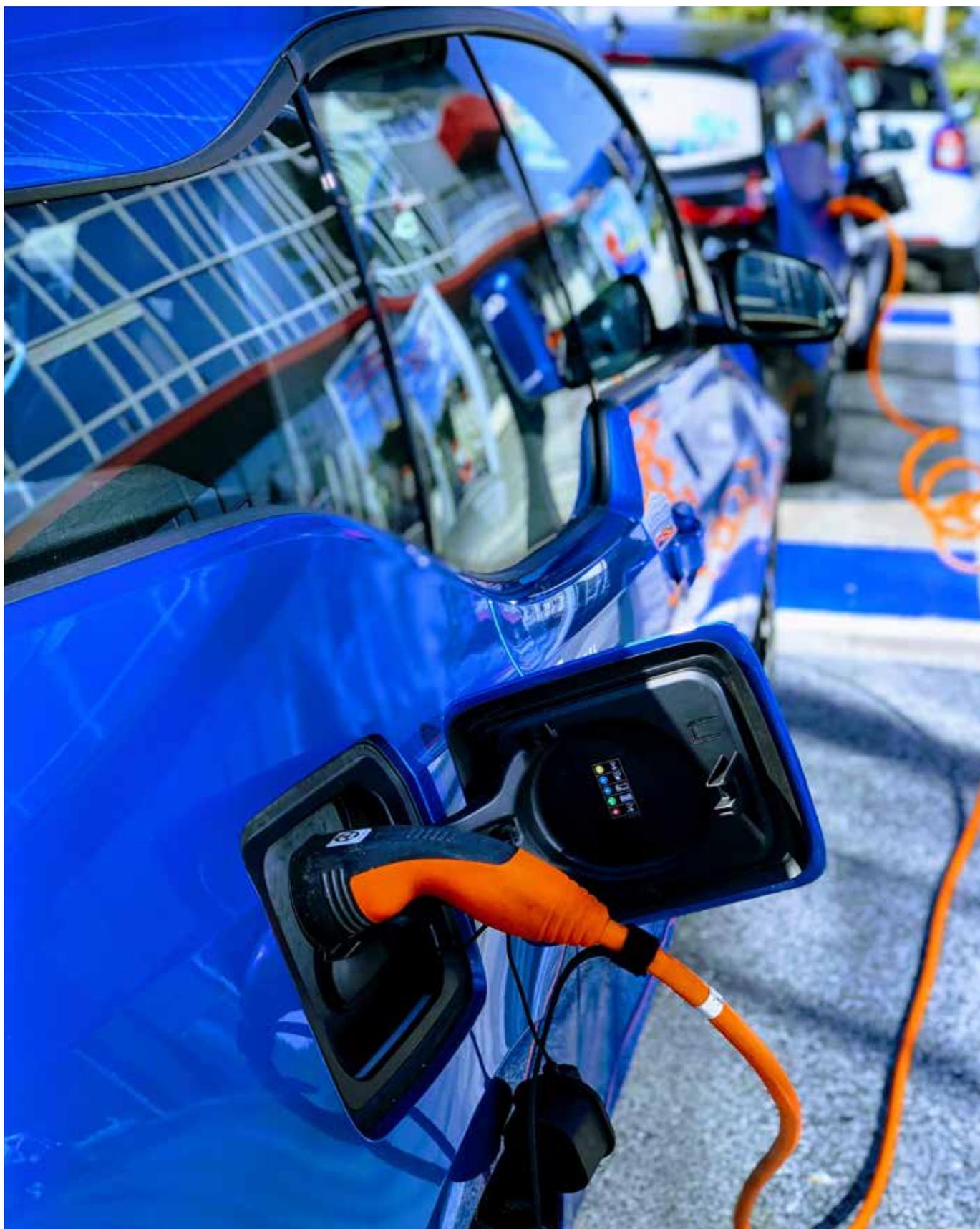
国际民航组织（ICAO）指出，全世界民航业的二氧化碳排放占总量的2-3%。如果民航空运的发展趋势依常，行业的二氧化碳2050年占比可能达到30%。中国是民航业发展最快速的国家之一，飞机制造行业将在不久的将来占据波音和空客之后的第三位。民航业的燃油和碳排放将同时增加。要达到民航业的减排减碳，可以使用生物燃料，也可以发展混合动力引擎，并尽快研发和使用电动飞机。2019年之前，全球许多国家研发和使用零污染排放飞机的项目170余个。动力飞机的研发数目明年将增至85个<sup>46</sup>。纯电力飞机在轻型飞机上已经显示了更低的飞行成本，希望更多的飞机和更多国家的民航业能够投入资源研发。欧洲企业研发电动飞机已成热点，未来5-10年，中

国民航市场将成为最大的市场，也是碳排放增加最快的市场。中国的民航业应与全世界同在一个起点上加入电动飞机的研发队伍，占领未来民航飞机发展的新领域和成为碳减排的参与者、贡献者和引领者。

---

<sup>45</sup> 《绿色航运激励计划综述》自然资源保护协会(NRDC)，2018年2月

<sup>46</sup> 《西媒：电动飞机成欧企研发新热点》，参考消息，2019年8月19日



© Photo by John Cameron on Unsplash

# 石化部门和其他部门 石油消费控制路径

石化行业是石油消费增长最快的领域。2017年石化用油占比已达15.3%。未来随着国内大量乙烯、PX、PDH等装置的建设投产，石油作为化工原料的属性不断加强，化工逐渐成为拉动全社会石油需求的新动力。合理调整石化化工行业石油需求增速，需要科学研判化工产品供需格局变化，统筹考虑国内国外两个市场，对全国总体生产能力和布局、工艺路线选择等做出重大调整，对塑料橡胶等石化下游产品消费方式和模式做出深刻变革。通过对石油化工行业石油消费的总量控制，可以实现化工用油的“升中有降”。

其它部门包括工业（非石化）、农业、建筑、生活、批发零售以及其他行业。2017年其他部门用油占比27%。随着工业化、城市化和道路等基础设施的进展，用于各行业的油品消费也将进入发展期，稳定期和下降期的变化。各种固定和非道路移动源的结鞋量多面广，耗量总量达，污染严重。抓住通用的汽和柴油发动机的能效和污染排放标准的制定，是重要的举措。



© Photo by Baumerk Construction Chemicals on flickr

## 一、油控路径下石化部门的减油潜力和政策选项

在油控路径下，2050年化工用油相比基准情景减少5000万吨。如图6.1所示，限塑及提升塑料回收利用水平、合理控制化工产业产能规模、降低出口隐含石油等减量化措施贡献38%；全球配置资源、增加进口化工基础产品等结构优化措施贡献30%，提升化工行业整体能效水平、延长产业链附加值、优化用能结构等高效化措施贡献20%；发展非油基化工产品等替代化措施的贡献约10%；清洁设计和清洁生产等清洁化措施贡献2%。

中国正处于推进能源革命和生态文明建设的关键时期。作为高耗能、高污染、高排放的石化产业，其发展定位、产业形态、工艺路线和产品结构，都要与能源革命和生态文明建设的内在要求相一致。推动石化用油合理增长是石化产业高质量发展和绿色转型的应有之意，需要从减量化、结构优

图 6.1：2050年化工部门减油潜力与途径

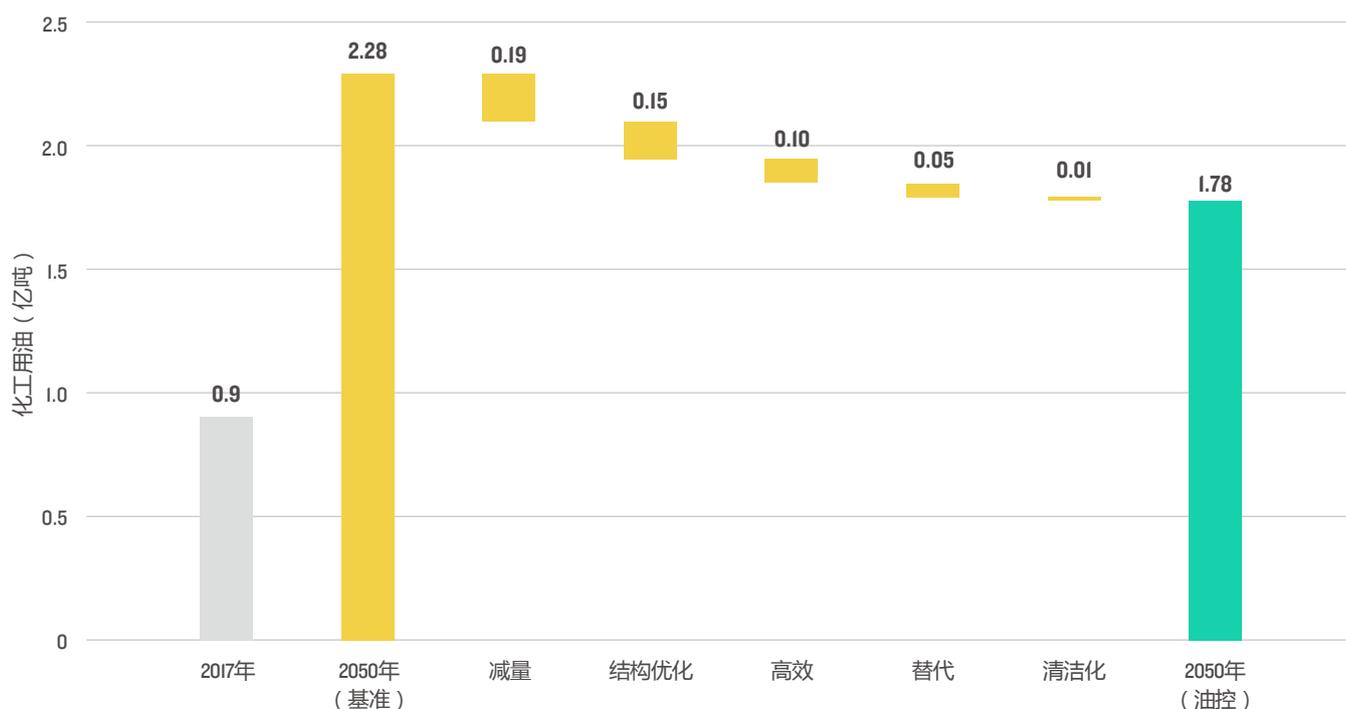


表 6.2 : 其他部门石油消费控制的具体政策选项和措施

目标	重点领域	评价指标	政策选项和措施
减量	减少高耗能、高耗油产品出口	<ul style="list-style-type: none"> <li>塑料制品出口</li> <li>橡胶轮胎出口</li> <li>化纤、纺织物等产品出口</li> <li>乙烯出口</li> <li>化工轻油出口</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 优化进出口税收政策, 合理控制出口规模</li> <li>2. 取消对低端化工产品出口的税收优惠政策</li> <li>3. 严格控制化工原料及产品出口</li> </ol>
	禁止和限制一般塑料生产使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>塑料减少和替代, 限制使用的塑料产品</li> <li>塑料回收利用率</li> <li>禁止生产的塑料种类</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 颁布限塑禁塑时间表和路线图</li> <li>5. 提高不可降解塑料使用成本</li> </ol>
	提升化工产品回收利用水平	<ul style="list-style-type: none"> <li>废旧塑料制品回收率</li> <li>废旧橡胶轮胎回收率</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 针对塑料回收企业出台激励政策</li> <li>7. 出台税收优惠政策, 支持资源再生产业发展</li> <li>8. 加大资源综合利用、高值化利用技术研发投入</li> <li>9. 完善全社会资源回收网络</li> <li>10. 建立生产者责任制度</li> </ol>
高效	提高资源能源利用率	<ul style="list-style-type: none"> <li>乙烯产品单耗</li> <li>PX产品单耗</li> <li>提高工艺和终端能耗设备的能效</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. 继续在石化行业实施“领跑者”制度和能效达标对标行动</li> <li>12. 加强石化企业智能化、信息化管理水平</li> <li>13. 试点探索各种资源利用指标</li> </ol>
	产能和产品结构优化, 制造高端产品	<ul style="list-style-type: none"> <li>全国炼厂平均产能规模</li> <li>特种牌号化工产品产量比重</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>14. 制定基于物耗、能耗、环保、安全、产品质量等为一体的落后产能界定标准</li> <li>15. 加大对小规模、工艺老旧的落后产能淘汰力度</li> </ol>
替代	生物质	<ul style="list-style-type: none"> <li>可降解</li> <li>无害化</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>16. 激励规模化生产</li> <li>17. 替代油基原料</li> </ol>
	天然气	<ul style="list-style-type: none"> <li>成本</li> <li>气基原料</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>18. 鼓励市场化竞争</li> <li>19. 替代油基原料</li> </ol>
结构优化	产品供应渠道多元化	<ul style="list-style-type: none"> <li>乙烯当量进口量</li> <li>PX进口量</li> <li>化工轻油进口量</li> <li>海外投资产能</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>20. 鼓励石化行业优势企业“走出去”, 在海外投资建厂, 增强全球资源配置能力和市场影响力</li> <li>21. 结合“一带一路”战略, 对“走出去”的企业予以资金、政策等方面扶持</li> <li>22. 建立绿色指标体系, 加强绿色产能合作</li> </ol>
	生产原料和工艺路线多元化	<ul style="list-style-type: none"> <li>石脑油制乙烯工艺比重</li> <li>乙烷制乙烯等非油工艺比重</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>23. 在资源供应充足、技术成熟等条件下, 鼓励发展乙烷裂解、丙烷脱氢等项目</li> <li>24. 适度发展有经济竞争力的煤制烯烃</li> <li>25. 加大甲烷制乙烯等前沿技术的研发和试点示范力度</li> </ol>
清洁化	清洁设计、清洁生产 and 回收利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>源头上设计</li> <li>空气、水固废和危废处理</li> <li>提高产品寿命周期和通用部件回收</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>26. 对环境影响和资源消耗最小化, 产品可以再利用</li> <li>27. 各种标准的制定、实施和奖罚处理</li> <li>28. 严格的安全标准, 尤其是废水和危废的管理条例</li> <li>29. 生产厂商使用通用部件, 便于回收再利用</li> </ol>

化、高效化和多元化等角度出发，分阶段、分领域、分步骤实施。重点领域、评价指标及政策建议如表6.1所示。

## 二、石化部门五大减油途径的具体措施

### 2.1 限制一次性塑料制品、鼓励生态设计和资源再生的减量化途径，减油1900万吨

塑料产品是影响石油需求的重要品种。据国际能源署(IEA)预测，如果按照目前发展趋势，2050年全球塑料产量将达11亿吨，消耗全世界20%的石油，占全世界碳排放总量的15%。届时石化行业约三分之二的原油都将用于生产塑料，塑料对于石油消费的拉动作用预计将是2000-2017年平均值的2.5倍以上<sup>47</sup>。

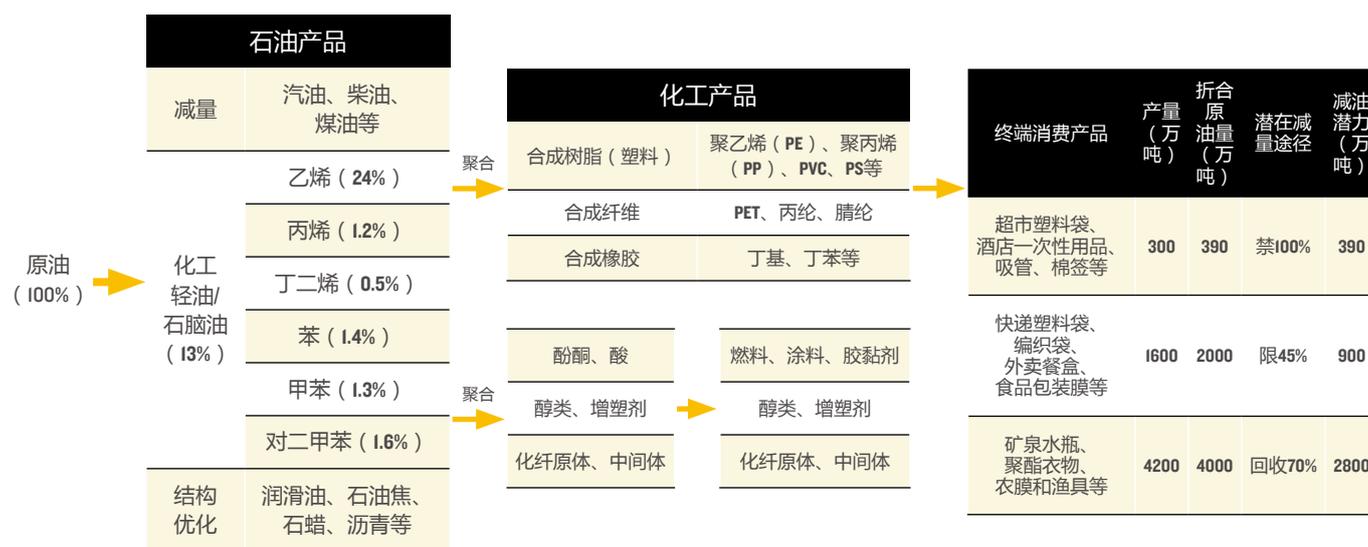
与塑料产量相对应的是，由于回收利用水平不高，塑料废弃物已经造成了严重的生态环境损失。2017年中国产生废

塑料约6800万吨，其中填埋处理2300万吨，占34%；焚烧处理1980万吨，占29%；回收处理1830万吨，占27%；丢弃655万吨，占9.7%<sup>48</sup>。2014年UNEP的报告中，没有得到回收处理的塑料废弃物造成陆地和海洋的污染，损失高达750亿美元，其中海洋生态的损失成本为130亿美元<sup>49</sup>。

如图6.2显示，2017年在中国的石油炼制和化工生产过程中石脑油和其他化工原料约占炼制原油的13%，约7600多万吨。其中大部分塑料产品可根据不同的塑料种类，提出不同的处理方式以实现减量。

第一类塑料为严格禁止类，包括超市塑料袋、一次性洗漱用品、吸管、棉签等使用量大、污染严重、不可回收、非必要或可替代的塑料产品，总量约300万吨，禁生产率100%减少原油消耗量390万吨。第二类塑料为限制类，包括快递塑袋、编织袋、外卖餐盒、食品包装等使用量大、不易回收、暂无有效替代方案的塑料产品，总量约1600万吨，折合

图 6.2：不同塑料种类生产流程图



资料来源：根据石油和化学工业规划院、中国石油和化学工业联合会、中国塑协农用薄膜专业委员会和尼微科技孙巍提供的信息汇编

<sup>47</sup> The Future of Petrochemicals, International Energy Agency, 5 October 2018

<sup>48</sup> 中国石油和化学工业联合会会长李寿生在2019中国国际石油化工大会上的演讲，2019年9月19日

<sup>49</sup> 《评估塑料的价值》，UNEP, 2014年6月23日

原油2000多万吨。这一类塑料要减量使用，可以采取征税或强制生产者承担延伸的社会责任等方式收取费用，削减使用量，激励生产者寻找替代方案。通过减量措施有望将消费量削减45%。第三类为回收再生类，包括矿泉水瓶、聚酯衣物、渔具、农膜和其它，总共4200万吨。这部分塑料回收利用70%，可减少石油消费2400万吨。这三大类净塑措施可以分别减少原油消费量390,900,2800万吨，共减少4090万吨原油。针对不同种类的塑料，制定有差异化的政策和实施时间表<sup>50</sup>。

在限塑禁塑方面，当前国际已基本形成禁塑限塑共识，许多国家和地区已率先开展行动。在欧盟，2018年10月24日，欧洲议会投票通过禁止使用一次性塑料的提案，以遏制日益严重的塑料废弃物对海洋和生态环境的污染。根据提案规定，从2021年起，欧盟将禁止生产和销售一次性餐具、棉签、吸管等一次性塑料制品，这些用品将由纸、秸秆或可重复使用的硬塑料替代。塑料瓶将根据现有的回收模式单独收集；到2025年，要求成员国的一次性塑料瓶回收率达到90%。在韩国，2018年4月，政府公布了“垃圾回收利用管理综合对策”，争取到2022年使一次性杯和塑料袋使用量减少35%，到2030年塑料垃圾减排一半。

在塑料回收再生方面，与来自化工轻油的原生塑料生产工艺相比，回收再生路线具有非常明显的经济能源和环境效益。通过废旧塑料回收，提高资源的循环利用水平，减少新材料需求，从而减少乙烯、PX等化工原料需求。据测算，每回收利用1吨废塑料，可获得0.85吨塑料原料，广义上相当于节约3吨石油；同样获得1吨塑料产品，废塑料再生工艺的能耗仅不足原生工艺的5%。IEA估计，到2040年，如果全球塑料垃圾回收利用率提高到34%，那么石油需求将比基本情况减少150万桶/天。

中国的塑料回收利用水平仍有较大提升空间。根据中国循环经济协会统计，2017年中国废塑料回收量不足当年全国塑料产量的20%，而且，相比于每年接近6800万吨的废旧塑料产生量而言，回收率和回收量都还有很大提升空间<sup>51</sup>。按照

目前化工原料占石油消费的比例，塑料回收率提高10个百分点，可以减少石油消费1个百分点。

中国应从优化有利于后期回收的前期设计、完善回收体系、提升技术水平、规模化组织管理和推广“互联网+回收”模式等方面入手，推动石化产业减量、循环发展。前几年国家发改委颁布的“限塑令”，收效不彰。根据中央政府的决定，建议在2020年出台更新后的“限塑令”。第一，应明确有约束力的限塑禁塑导则，明确不可降解塑料停止生产和使用时间表，完善废旧塑料回收体系，明确体系之中生产者、消费者的责任分工，要求商场超市、电商平台、快递企业、餐饮外卖企业推行塑料包装减量替代。第二，应重点发展废旧塑料高效分选及高值化利用技术，通过改性提高产品的利用率和附加值，促使废塑料行业逐渐向集约化、规模化、深加工方向发展，实现经济效益、社会效益和生态效益的统一。第三，应鼓励通过兼并、重组、联营等方式，从分散、小规模、低水平建厂转向高水平、集中化、规模化的园区建设。第四，应推广“互联网+”的新模式，通过信息技术，优化资源，减少行业中间环节，提升效率，降低运营成本。随着限塑工作的推进，逐步在一些领域推出“禁塑令”。

禁限塑的工作应发挥社会团体拥有的优势，采取自下而上的方式，配合政府自上而下的政策指导，提高实效力度的效果。新近由自然资源保护协会（NRDC）等机构联合成立的旨在推动禁塑、限塑和回收利用的“净塑平台”，将与政府企业、智库、社会团体、公众、媒体一起倡导和践行“禁、限、收”塑料，支持和推动生产者社会责任延伸，发挥民众的自觉性和主动性，实现国家的有关目标。这一平台将与全国垃圾分类、“无废城市”和“零废弃联盟”等活动结合。没有公众的参与，“禁、限、收”塑料的努力将事半功倍，甚至是无功而返。

## 2.2 优化石化产品进出口结构和工艺多元化等结构优化措施，减油1500万吨

“中国制造”走遍全球的同时，也导致了大量石油/化工用油的间接出口。加入世界贸易组织以来，中国向全球输送了

<sup>50</sup> 数据来自中国石油和化学工业规划院与尼微科技孙巍。油控研究项目正在进行净塑措施具体减油量的研究，2020年将发布研究成果，部分数据将有所更新。

<sup>51</sup> 《中国循环经济发展报告（2018）》，中国循环经济协会，2019



© Photo by Jasmin Sessler on Unsplash

大量工业产品，其中许多都是石化行业的下游产品，例如服装、塑料制品、橡胶轮胎等。据分析，中国2010年出口产品的隐含石油消费量超过了1亿吨，而2010年至今，主要石油下游产品出口量还出现了不同程度的增长，2017年出口产品的隐含石油消费量可能达到1.3亿吨<sup>52</sup>。

减少化工产品及其下游商品出口规模可以有效控制化工用油增长，进而从源头上节约石油、增强原油供应安全。根据中石化规划研究院的报告，2017年中国从国外进口了约2500万吨乙烯、1000万吨PX等化工产品，折合需化工用油接近8000万吨；然而出口的塑料制品、橡胶轮胎、纺织物等石化下游产品造成的石油间接出口量超过1.3亿吨，核算下来化工用油“账户”仍有5000万吨左右的“赤字”。相反，中国可以采取进口石化产品替代进口石油，即可减少大规模化工生产投资的搁浅成本，避免化工产业过度集中造成的环境污染，也

可扩大国际贸易，推动多边共赢的局面。未来，应着力优化中国进出口贸易模式和商品结构，减少高载能、低附加值产品出口，从而降低出口商品携带的“隐含能源”及“隐含石油”。中国石化和化工产业发展定位是立足国内需求，并逐步实施减量化发展战略。通过深化供给侧结构性改革，合理控制化工产品及其下游产品出口规模，倒逼石化产业集约发展。

围绕“一带一路”开展石化供应链布局，扩大初级产品进口规模。“一带一路”沿线国家油气资源丰富、石化产品供应缺口大，可与中国石化产业全球化进程形成对接。应充分发挥中国传统石化产业的比较优势，结合“一带一路”战略，积极“走出去”，获取更多低成本的基础化工产品。

带路国家成品油及石化产品供应缺口的存在不但有利于提升中国企业的油品贸易规模，而且将推动当地炼油产业的发展，带来更多投资合作机会，同时为炼化工程服务创造发

<sup>52</sup> 《“中国制造”带来的石油被动净出口现象分析》，唐旭、张宝生、冯连勇等，资源科学，2012年第34卷第2期

展空间，见图6.3。而在油气资源丰富的地区合资合作建设炼厂，既可保证炼厂最适宜的开工负荷，也可在炼厂初始设计、建设和操作过程中，选择最优操作条件，获取最佳合作效益。

另一方面，中东、北美等地化工产品产能逐渐开始出现过剩迹象，为化解这一问题，相关国家也在积极扩展海外市场，恰好与中国旺盛的化工产品需求形成对接。因此，应着重推动优势产业和企业开展国际产能合作和跨国经营，加快全球市场布局，以直接投资建厂、产品国际贸易等方式，获得更多廉价基础化工产品及原料，进而提升资源全球配置能力和市场竞争力。中国石化产业率先走出去的产能合作以炼油和乙烯为主，为保证产能合作有助于环境保护和应对气候

变化，制定了一系列绿色指标体系，指导企业带路绿色低碳产能合作。

## 2.3 落实供给侧结构性改革，引导石化产业提质增效等高效化措施，减油1000万吨

中国石化行业产能规模偏小、炼化分割、产品低端化特征明显。2018年，炼油产能8.3亿吨，加工量6.4亿吨，开工率为72.8%，开工率下降。产能规模方面，全国炼化企业平均规模仅为428万吨，约为全球750万吨水平的60%。

除了规模偏小以外，化工产品结构也呈现出明显的“低端过剩、高端不足”特点。2017年中国进口聚乙烯产品1155万

图 6.3 : 未来乙烯资源潜在来源区域

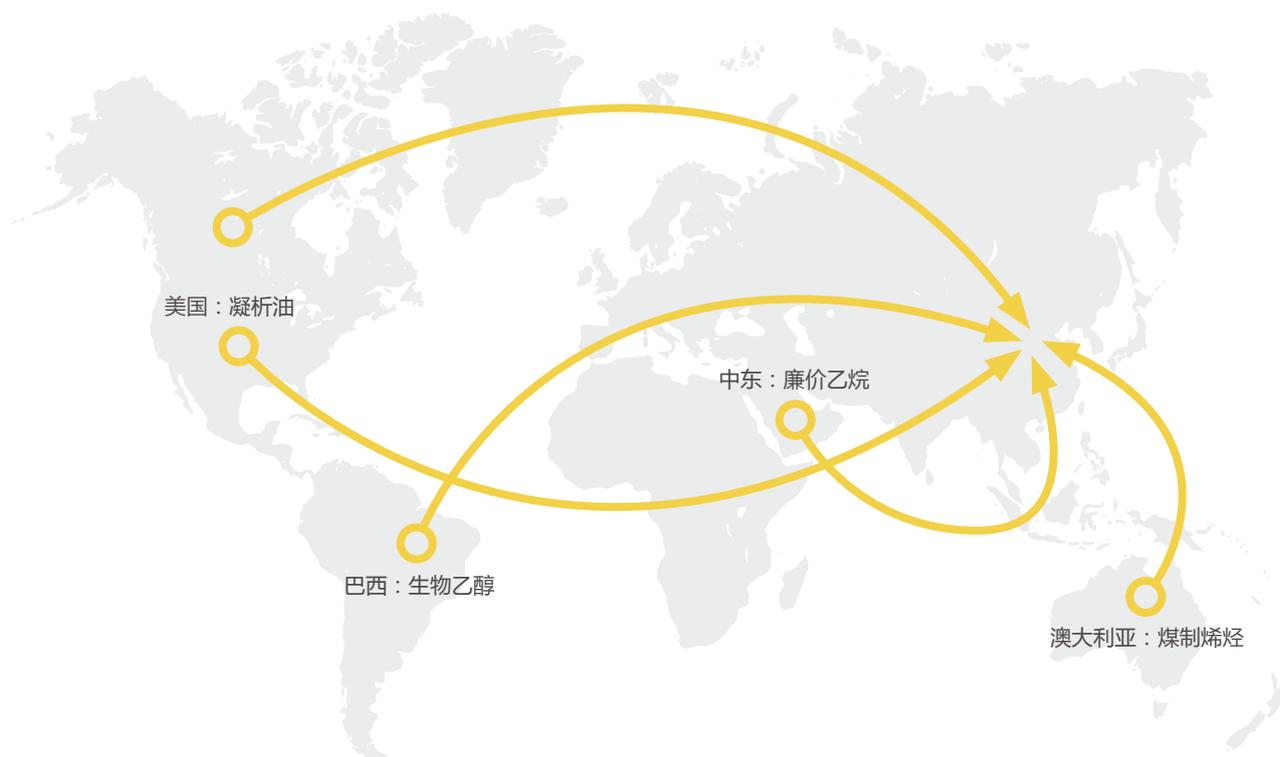
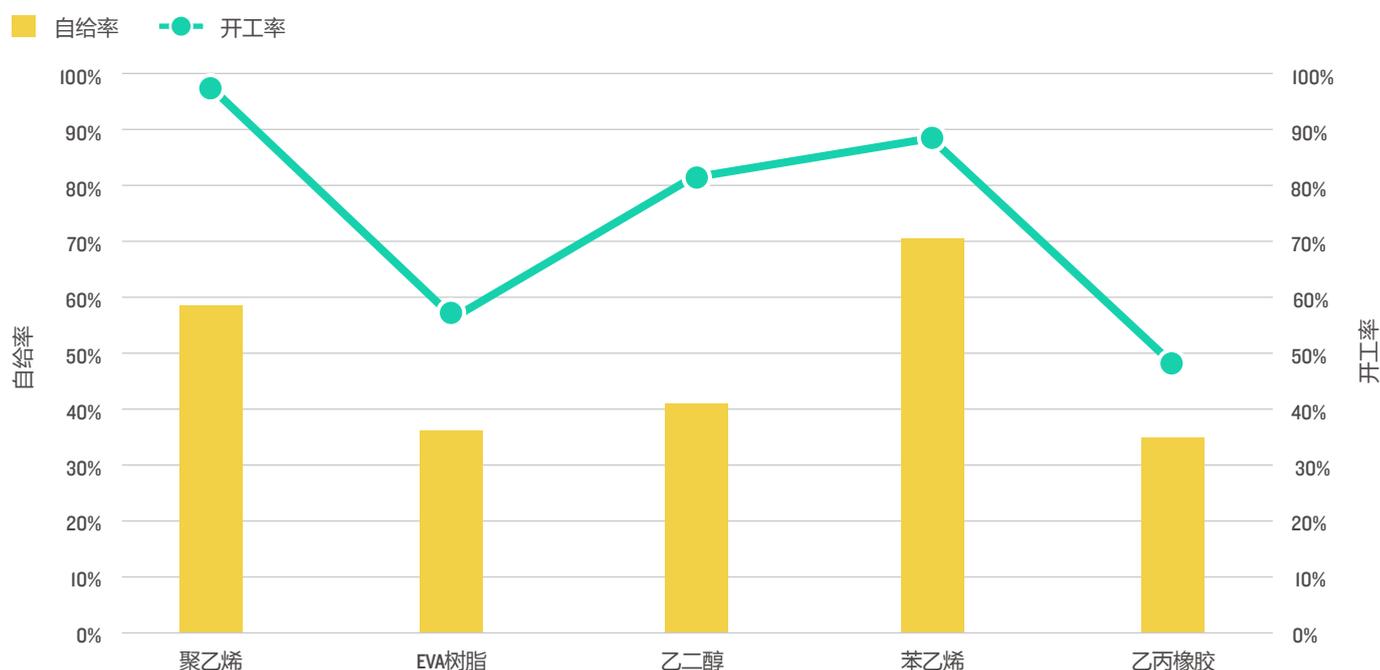


图 6.4：部分主要化工产品开工率低与自给率



资料来源：“石化和化工产业发展路径”，白颐，石化规划院，2018

吨，其中高端产品约占50%。国内110KV以上的超高压电缆绝缘料年需求量在5万吨左右，几乎全部来自于进口；聚丙烯产品进口440万吨，其中高端产品约占60%<sup>53</sup>。图6.4表示部分主要化工产品开工率与自给率之间的矛盾。这几大类产品一方面出现低端产品国内开工率不高，供大于求的现象。另一方面，高端产品不能完全自给，要大量进口满足需求。

规模化、智能化、绿色化、炼化一体化已成为全球石化企业共同的转型战略。中国应深入落实供给侧结构性改革，引导石化产业“上规模、上水平、调结构、提能效”，进而降低化工用油。

第一，大力推进供给侧结构性改革，着重去产能、淘汰落后产能等工作。针对全国现存接近1亿吨的小炼油厂，以及30万吨以下的乙烯生产装置等，加快淘汰小规模、工艺老旧和低端产品产能。第二，建立炼油产能交易的市场化机制，允许产能指标的跨省交易，从而鼓励优势企业开展兼并重组，集

中产能优势、发挥规模效益。第三，针对市场出现的“低端过剩、高端短缺”的结构性问题，加大研发和资金投入力度，推动工业产品向科技含量高、智能化、信息化、节能环保等方向升级。鼓励企业延长产业链、发展品牌经济、走高端差异化发展路线，提高产业发展层次及产品附加价值。以高质量清洁成品油、高品质润滑油、高性能添加剂、智能型钻井采油装备、特种橡胶、高速高里程轮胎、功能型化纤、碳纤维等功能材料为重点，塑造差异化工业产品结构。

## 2.4 推进原料替代，合理发展非油化工工艺路线，减油500万吨

推动化工原料的多元化、轻质化和非油化工工艺发展是近几年国际大势所趋。乙烯、丙烯、对二甲苯等初级化工产品都有若干种原料工艺路线，用石油来生产只是其中一个工艺

<sup>53</sup> 炼化新形势下对轻烃产业结构调整的思考（会议论文），曹建军，2018

选择。以乙烯为例，原料可以是石脑油、加氢尾油等石油产品，也可以使用天然气或煤炭经气化及合成等工艺制成，还可以由乙烷等轻烃裂解制成。

从国际发展趋势看，近几年在成本因素驱动下，乙烯原料多元化、轻质化势头非常明显，石油路线的乙烯产量从2000年的61%下滑到2017年的43.8%<sup>54</sup>，尤其是在美国页岩革命带动下，廉价乙烷大量进入市场，使得乙烷制乙烯成本锐减、产能扩张迅速。据IHS预计，随着北美新增产能的释放，到2020年，在全球乙烯供应中，乙烷路线占比将在40%左右。原料多元化、非油化有利于减少生产化工产品所需的原油。

中国化工原料多元化进程已取得积极进展，但仍与发达国家差距明显。截至2016年底，中国石油基路线乙烯占乙烯总产能的81.5%，同期煤化工路线乙烯产能占比由2014年9.5%提升到了18.5%；石油基路线丙烯占丙烯总产能的63.8%；煤化工路线丙烯产能占比由2014年17.7%提升到了20.9%；烷烃脱氢路线丙烯产能占比由2014年的9.7%增长到了15.3%。虽然中国实现了《烯烃工业“十二五”发展规划》提出的烯烃原料多元化率达到20%以上的目标，然而与发达国家石油路线接近45%的水平相比，中国原料多元化仍然任重道远，未来一段时期，烯烃原料多元化依然是产业政策的重中之重<sup>55</sup>。

提升非油化工工艺路线产量比重是控制化工用油的重要途径之一。当前，乙烷裂解制乙烯、甲醇制烯烃、丙烷/混合烷烃脱氢制烯烃等工艺都已比较成熟且发展迅速，未来可以进一步对传统石脑油、加氢尾油制烯烃工艺形成替代效应，从而减少化工用油需求。随着大型炼化一体化项目在2020年前后启动新一轮投资后，国内石脑油路线乙烯产能有望在2020-2030年间逐步回归，预计到2030年前后，国内石脑油路线产能份额将稳定在67%左右。但随着国内供需再平衡以及新投资周期中新技术选择的增加，如原油制烯烃，天然气制烯烃、新一代生物乙醇制烯烃等技术的逐步成熟，国内乙烯产能路线中石脑油份额将再度下降，预计2050年国内乙烯产能将达6500-7000万吨，其中石脑油和原油制烯烃路线份额将下降至60%左右。

尽管化工原料多元化、替代化符合产业发展和能源安全的内在需要，但过程中要将市场需求作为前置条件，避免各种工艺路线“各自为战”形成新的产能过剩问题。据中国煤炭深加工协会分析预测，“十三五”时期中国烯烃产能扩张速度超过15%，而需求增速仅为5%左右，如不及时加以调控规制，烯烃市场将迅速由供不应求转变为供大于求。

石油化工原料的非油化并不鼓励煤化工的快速发展。煤化工的商业示范中，有许多技术尚不成熟或仍有缺陷，对环境、水资源利用和废水废气物处理尚存问题，尤其是煤化工属于高碳行业，大规模无序发展会锁定高碳路径。从经济效益上分析，煤化工与石油化工是有竞争性的，除少数几个化工产品外，煤化工产品基地远离市场，技术的商业化和运行管理与石油化工相比尚有很大差距，因此在提倡非油化原料时，需要警惕煤化工的盲目发展。中国政府启动煤炭消费总量控制一系列措施行动取得了明显成效。煤制烯烃产业的过快发展，将在很大程度上抵消掉之前的减煤效果，出现“返煤”情况。随着时间的进展，天然气的供应在能源中的占比会上升到15%左右，天然气的未来定位不是作为燃料，而是作为原料。气基烯烃有很强的竞争力来替代油基烯烃和煤基烯烃，减油量将来自天然气替代。

## 2.5 清洁化生产，减油100万吨

石化行业生产对空气、水、固废和土壤都会产生很大的影响和危害，石油生产企业的风险很高。清洁化生产虽然并不以节油为目的，甚至有可能会增加用油，但却可以把化工生产对环境和资源消耗的负面影响最小化。随着对环境生态和气候变化的法规标准加严，要求油品的质量越来越高。一方面生产工艺和设备的改变，会加大电力的消耗和产油率发生变化。但另一方面，高质量的油品可以延长耗油设备的寿命，并使其保持高效。清洁设计和生产从源头上可以减少对污染物的处理，提高产品质量和寿命，增加回收和循环再利用，清洁化途径可节省100万吨石油。

<sup>54</sup> 《“中国制造”带来的石油被动净出口现象分析》，唐旭、张宝生、冯连勇等，资源科学，2012年第34卷第2期

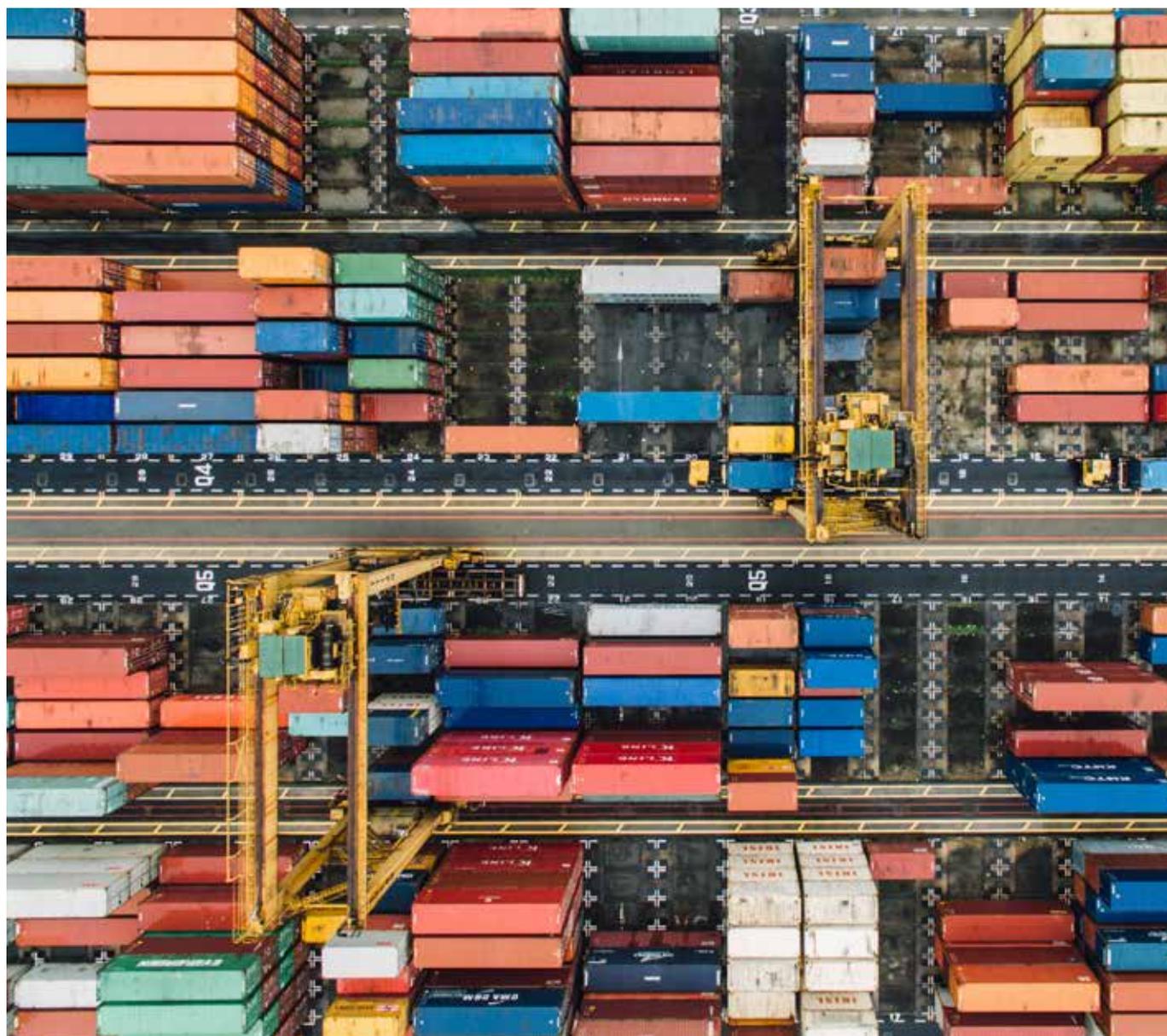
<sup>55</sup> 炼化新形势下对轻烃产业结构调整的思考（会议论文），曹建军，2018

### 三、其他部门油控路径下的减油潜力和具体措施

本部门石油消费特点是耗油设备量多面广，污染严重，减排困难。随着交通道路和基础设施的增多，以及城市建设的发展，本部门的石油消费将经历一个上升期，稳定期和下降期。

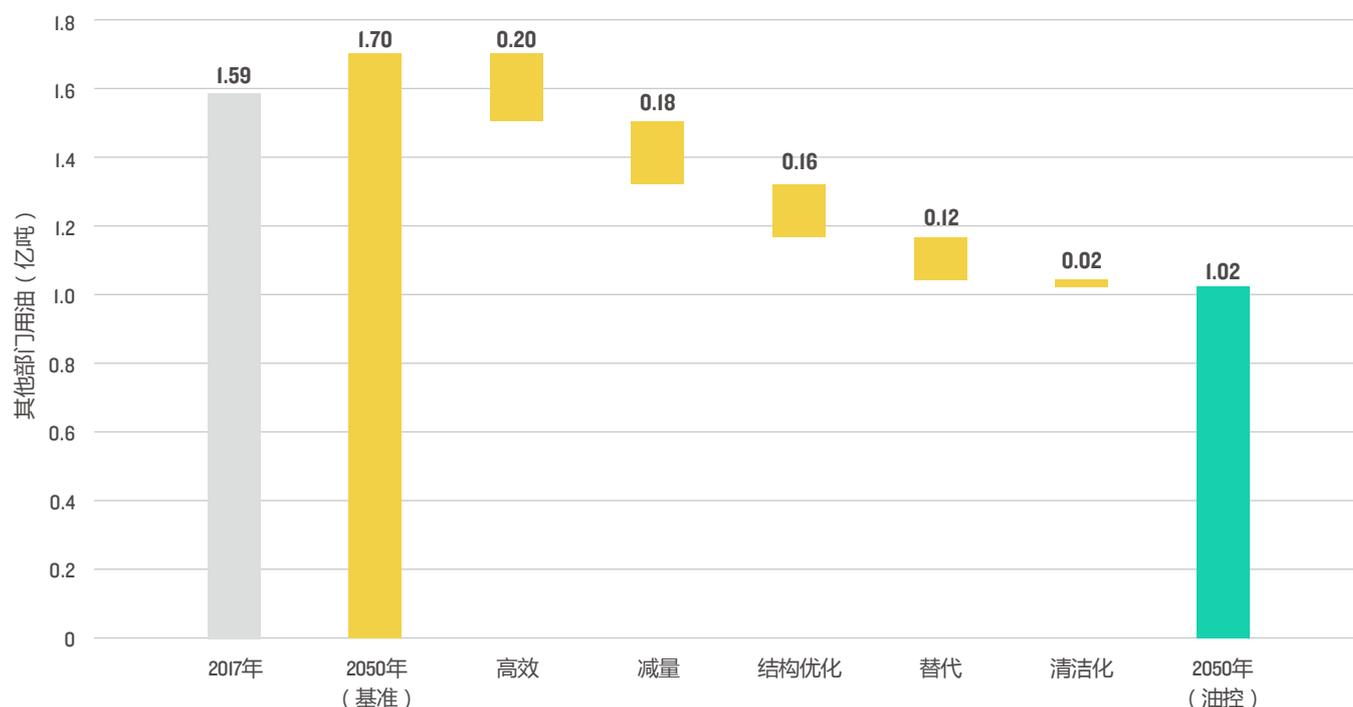
#### 3.1 油控路径下其他部门的减油潜力

在油控路径下，2050年本部门的石油消费量1.02亿吨比基准情景1.7亿吨减少0.68亿吨。如图6.6所示，采用严格的汽油发动机能耗标准的高效措施可以减油2000万吨；各部门加强管理的减量措施减油1800万吨；由于不满足能效标准而淘汰设备生产的结构优化节油1600万吨；燃料和电力替代1200万吨，高质量燃油的清洁化减油200万吨。本部门的石油消费峰在2025-2030年之间。



© Photo by chuttersnap on Unsplash

图 6.5 : 2050年其他部门减油潜力与途径



### 3.2 本部门控油的政策选项和具体措施

表6.2列出本部门控油的重点领域评价指标及政策选项和措施。

加快发展高性能沥青，推广路面沥青材料循环利用技术，减少沥青消费。电力领域，中国应在燃煤电厂推广无油微油点火技术，加快非化石电力高比例发展，加快完善城乡电网基础设施和现代电力系统，减少燃油消费。

在工程机械等方面，中国应严格管控高排放非道路移动机械。这些机械量多面广，能效标准和排放标准低，甚至缺失标准。这些工程机械包括有工业钻探设备、工程机械（装载机、推土机、压路机、沥青摊机、挖掘机等）、农业机械（大型拖拉机、联合收割机）、林业渔业机械、机场地勤设备、空气压缩机、发电机组水泵等。有条件的地区港口、机场作业机械应主要采用天然气和非化石能源。居民生活领域，中国应推广节能高效灶具，推动城乡炊事用能进一步向

电气化、天然气化方向发展，减少液化石油气消费。

近年全国移动排放源氮氧化物排放量达1106万吨，其中非道路移动源排放525万吨，占比48%。从单台单项比值来看，非道路移动源机械排放的颗粒物和氮氧化物分别是机动车的64和84倍。以北京为例，非道路移动源对空气污染的贡献超过机动车排放。

“定标”是本部门的减油抓手。尽快制定应用在各个机械设备中的不同型号、不同规格的柴油发电机的能耗标准，并在“十四五”中发布实施。柴油机燃油标准可分为若干能耗等级。不符合约束性的最低能耗标准的柴油发动机在市场上禁售并淘汰。不能转型的企业要退出。“定标”包括提高能效和排放标准（高效）和淘汰落后设备（结构优化）共可以节省0.36亿吨石油，占本部门2050年整体控油贡献的53%。如果柴油发动机和其它主要耗能设施的能耗标准在“十四五”出台和实施，本部门的油耗在2025和2030之间达峰。

表 6.2：其他部门石油消费控制的具体政策选项和措施

目标	重点领域	评价指标	政策选项和措施
减量	减少不必要的的辅助设备和道路维修	<ul style="list-style-type: none"> <li>减少设备和道路维修</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提高设备质量</li> <li>2. 提高道路质量等级，使用高质量沥青</li> <li>3. 减少道路翻修和建筑的大拆大建</li> </ol>
	减少跑冒滴漏	<ul style="list-style-type: none"> <li>加强管理水平</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 具体节能措施和指南</li> <li>5. 提高管理水平和培训</li> </ol>
高效	加严能耗标准	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要燃油设备能效标准的提升</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 加严汽柴油发动机能效和排放标准</li> <li>7. 提高燃料供暖设备效率</li> </ol>
	提高整体机械系统效率	<ul style="list-style-type: none"> <li>整套设施系统的匹配</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. 标识和标记</li> <li>9. 系统合格证书和牌照发放，市场管理</li> </ol>
替代	替代动力和燃料	<ul style="list-style-type: none"> <li>电力替代量</li> <li>生物燃料替代量</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>10. 固定源设备电替代</li> <li>11. 移动源电力配套和生物燃料使用</li> </ol>
结构优化	工业程序优化 淘汰落后设备及产能	<ul style="list-style-type: none"> <li>数字化优化</li> <li>不合格产品市场禁售</li> <li>生产监管机制的建立</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>12. 加强市场的监管和产品抽查</li> <li>13. 不合格企业市场退出机制</li> </ol>
清洁化	提供高质量油品 污染物去除设施	<ul style="list-style-type: none"> <li>设备寿命提高</li> <li>减少污染物排放</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>14. 采用清洁燃料</li> <li>15. 制定污染物排放标准和年检</li> <li>16. 工业用高质量润滑油等</li> <li>17. 划定城市禁止非道路高排放移动源行业区域</li> </ol>

# 地方油控路径的主要方案和措施

油控路径不仅要自上而下做好有关部门的石油消费控制工作，也要自下而上地在地方层面抓好石油消费控制。各级地方政府在其权限范围内，根据地方的社会、经济、政治和生态环境特点，采取主动和有效的措施实现地方的预定目标。积极推广优秀的地方实践，助力全国目标的实现。



© Photo by Edward He on Unsplash

## 一、地方政府在控制石油消费中的角色举足轻重

中国城市的空气污染已从煤烟型向煤烟与汽车尾气混合型转变，不少大城市的交通部门成为主要的污染源。出于对缓解城市交通拥堵及大气环境影响的考虑，一些特大和大型城市已经开始实行汽车限购政策。限购手段主要包括竞价、摇号以及摇号+竞价的联合形式，其中，上海从1994年开始，也是首个采用机动车牌照竞价的的城市；北京和贵阳则是第一批使用摇号方式控制城市机动车总量的城市。部分城市陆续开始采用摇号与竞价联合的新方法，而不再采用单一模式进行管理。也有一些城市和地区正在研究制定汽车总量控制方案，如西安、江苏等。

为了应对近年汽车销量下滑的趋势，国家对城市的汽车限购的规定做出调整。国家发改委等10部门先后印发了《进一步优化供给推动消费平稳增长 促进形成强大国内市场的实

施方案（2019）》，以及《推动重点消费品更新升级 畅通资源循环利用实施方案（2019-2020年）》等文件，要求各地积极促进汽车消费，严禁各地出台新的汽车限购规定，并探索逐步放宽或取消限制汽车消费的相关政策。广州和深圳等城市响应国家政策，增加小客车指标，贵阳更成为了第一个取消限购政策的城市。即使如此，一些城市对传统燃油汽车仍有一定限制方式，同时鼓励民众购买新能源汽车。

在欧洲多国提出禁售燃油汽车时间表后，国内有些地方也根据当地发展和约束条件，率先提出本地区传统燃油车禁售（或退出）时间表。国务院在《关于支持海南全面深化改革开放的指导意见》中，提出海南岛逐步禁止销售传统燃油汽车。2019年3月，海南省政府正式在全国人大会议期间发布《海南省清洁能源汽车发展规划》。规划明确提出2030年，全域禁止销售传统燃油汽车，力争全省汽车清洁能源化达到国际标杆水平。除特殊用途外，全省公共服务领域、社会运营领域车辆全面实现清洁能源化，私人用车领域新增和更换

新能源汽车占比100%。这是一个明确的信号，鼓励各地规划本地区的交通电气化的方案。在此之前，不少大型城市已不同程度地实施公共汽车电动化。

2019年8月20日，工业和信息化部对十三届全国人大二次会议上提出的《关于研究制定禁售燃油车时间表加快建设汽车强国的建议》做出了积极回应，表示工信部正会同发展改革委等相关部门，结合技术发展进程及产业发展实际，对禁售传统燃油汽车等有关问题进行研究，全面科学对比分析传统燃油汽车与新能源汽车在技术成本、节能减排、市场需求等各方面的潜力和作用。从我国地域广阔、发展不均衡的国情出发，组织开展深入细致的综合分析研判，因地制宜、分类施策，支持有条件的地方和领域开展城市公交出租先行替代、设立燃油汽车禁行区等试点，在取得成功的基础上，统筹研究制定燃油汽车退出时间表。

与此同时，中国积极推动新能源汽车发展。为鼓励区域经济发展，各地区争先为新能源汽车整车及上下游产业链

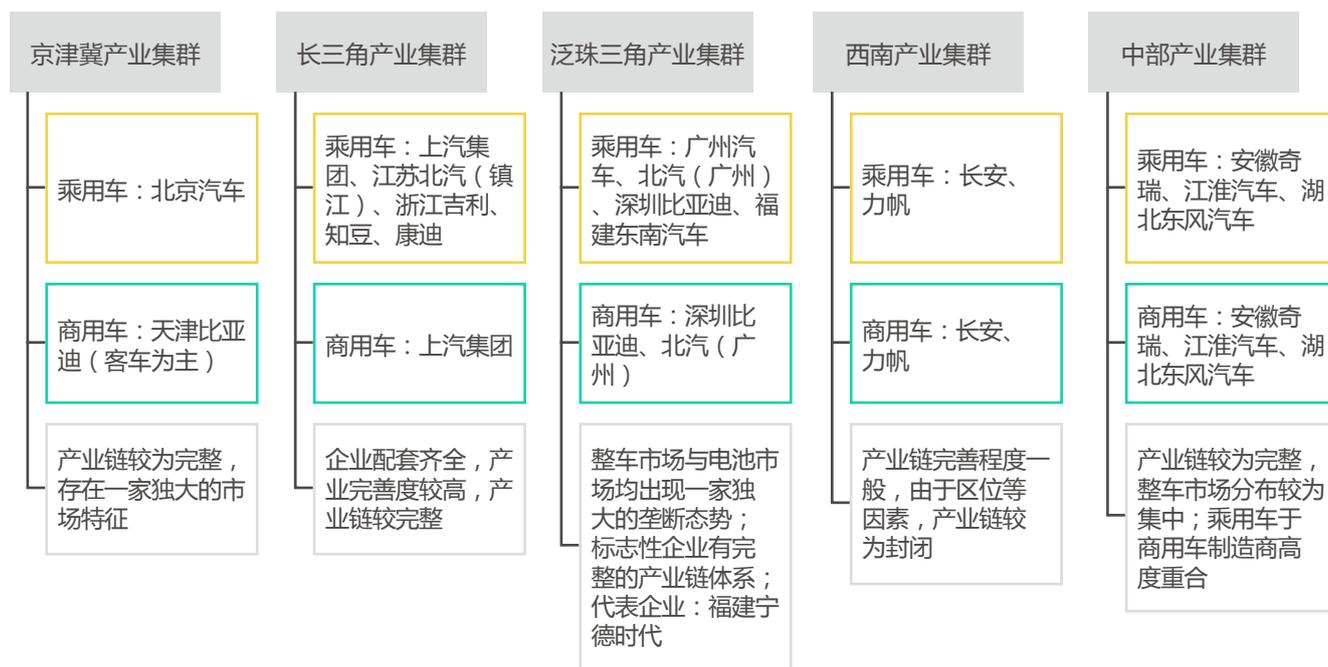
(包括电池、电机、电控，充电桩及汽车服务等)发展提供良好条件，包括设立新能源汽车产业园区，提供相应补贴和企业税收优惠等。尤其是从2009年开始，国家开始实施新能源汽车城市推广示范项目，示范城市最终涵盖88个城市与地区，且在多个区域均形成产业集群，使新能源汽车成为推动部分地区经济发展的重点产业，如图7.1所示。

## 二、石油消费的区域化差异是决策基础

中国31个省级行政区，区域经济、社会以及能源部门发展特点各不相同。从石油消费来看，东部地区是我国石油消费的主要地区，长期以来一直占全国石油消费的60%左右。东部地区石油消费量大，主要有两大因素。一是东部地区机动车保有量较大，二是东部地区工业强，石化行业密集度较高，产业链长，因此东部地区交通和工业部门石油消费量都较大。

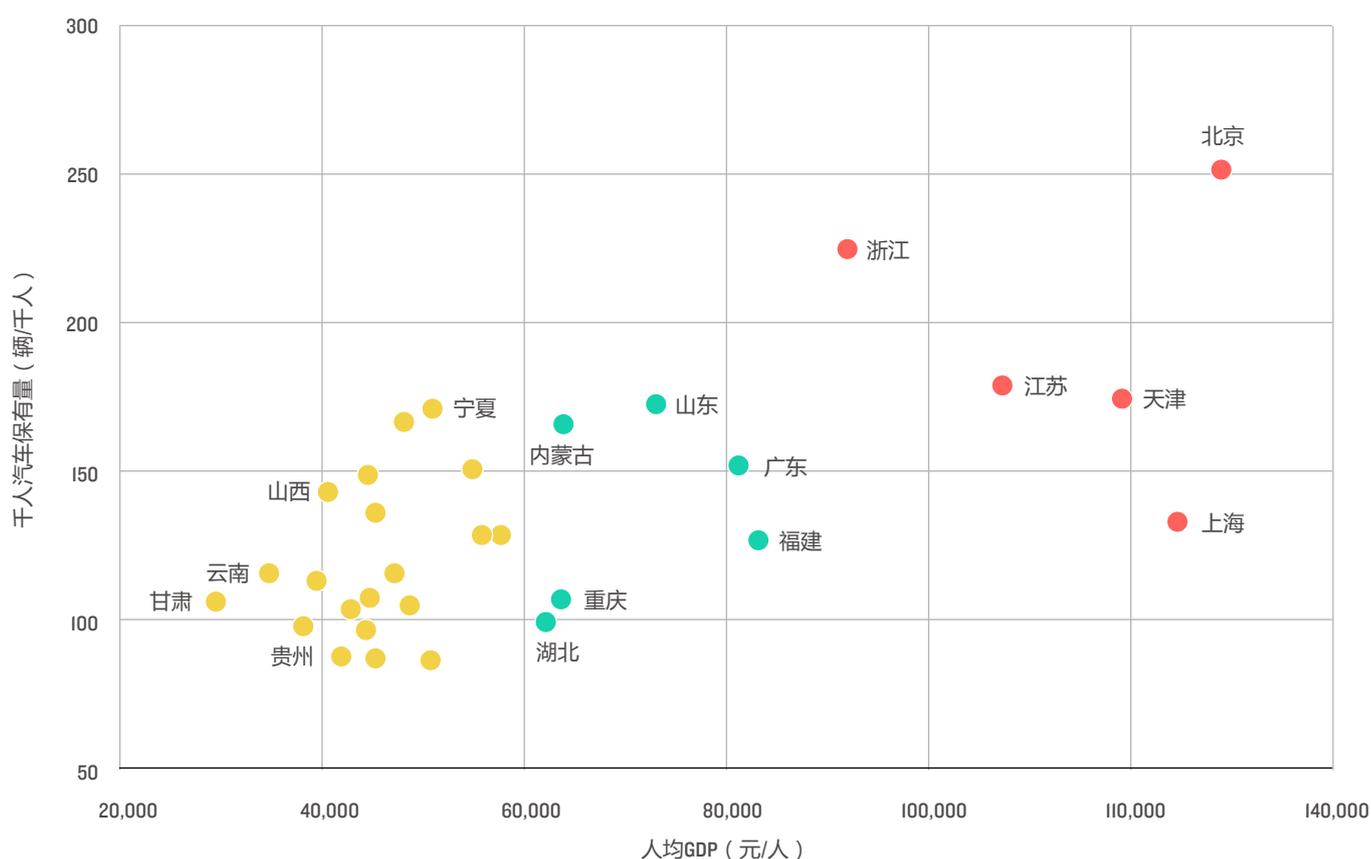
如图7.2所示，从机动车保有量来看，我国各省汽车千人保有量介于80-250辆/千人之间。其中，沿东部地区汽车千

图 7.1：中国主要新能源汽车产业集群一览



数据来源：《中国新能源汽车市场开放指数报告2018》，能源与交通创新中心（iCET），2018年5月

图 7.2：各区域人均GDP与汽车千人保有量



资料来源：《中国统计年鉴2018》，国家统计局，中国统计出版社，2018年10月

人保有量分别是中部地区和西部地区平均值的1.56倍和1.46倍。从未来发展来看。一方面东部地区机动车保有量已接近饱和，且部分大、特大城市为了改善空气质量，缓解交通拥堵，纷纷采取限行、限购等措施。未来这部分城市交通用油需求增速将放缓，甚至出现下滑。很显然，在地方油控方案中，要分区域和分时段推进交通部门控油工作的落实。

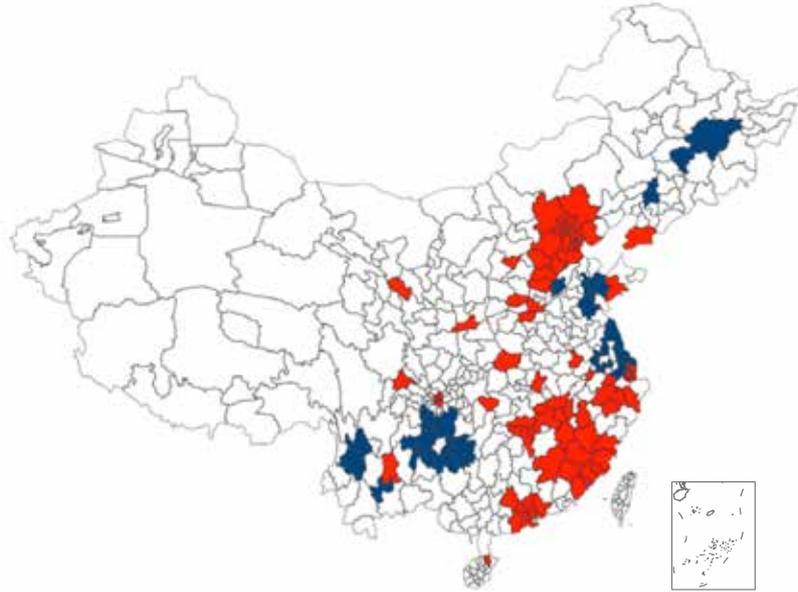
### 三、积极推动城市交通电动化

中国于2009年开始推广“十城千辆”项目，拉开了新能源汽车推广的序幕。目前88个城市和地区已经被指定作为示范区域进行新能源汽车的集中推广，见图7.3。为支持新能源汽车发展，各地区跟随中央密集出台了一系列新能源汽车激励机制，其中货币类政策包括地方补贴、充电补贴、停车费用减免等；非货币类政策包括新能源汽车不限行、不限购等。

主要城市推广新能源汽车激励政策的总结见表7.1。示范城市采用和实施了综合性的措施和方案，其示范作用更明显，发展也更迅速。

大部分城市提出在公交、环卫、邮政、快递、出租、网约车租赁等行业，以及机关、事业单位、国有企业的公务用车应当率先推广使用新能源汽车，有些城市和地区已经明确了推广目标以及实施路径。其中，深圳在2018年底全面实现公交及出租车电动化，同时新增营运类轻型货车全部为纯电动车，并为纯电动物流车提供优先路权；还提出了到2020年年底前实现分时租赁车、网约车纯电动化。北京也要求重点路线、全部快速公交系统（BRT）以及接驳循环线、新城区、机场营运均采用电动化公交。要求新增出租车全部采用电动汽车，并推动存量出租车辆有序更新为电动汽车，10个郊（县）区域出租车全部采用电动汽车，同时要求新增环卫车

图 7.3：中国新能源汽车推广示范城市



注：红色为第一批示范城市与区域（2013年11月）；蓝色为第二批（2014年1月）。

资料来源：《中国传统燃油汽车退出时间表研究》，能源与交通创新中心（ICET），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年5月

表 7.1：中国主要城市新能源汽车推广激励政策

政策措施	北京	上海	深圳	天津	海口	青岛	成都	杭州	广州	长沙	郑州	武汉	重庆	石家庄	南京	合肥	太原	西安	南昌	昆明	芜湖	兰州	厦门	临沂	湘潭	株洲	湖州	宜春	宁波	南通
BEV地方购置补贴	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
PHEV地方购置补贴		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
车船税减免	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
停车费用减免			●	●			●							●	●	●	●	●	●				●					●		
充电费用优惠	●	●	●	●				●				●		●		●		●	●		●						●			
更新换购补贴																●	●	●			●									
强制车险费用减免																			●											
私人充电桩购置补贴			●	●										●				●						●						
上牌费用优惠	●	●	●	●				●	●									●						●						
道路通行费用减免			●	●								●	●	●				●						●						
公共充电桩建设补贴	●	●	●				●	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
燃油车限购	●	●	●	●	●			●	●																					
燃油车限行	●	●	●				●	●	●			●	●					●					●							
新能源汽车不限制	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

资料来源：《中国传统燃油汽车退出时间表研究》，能源与交通创新中心（ICET），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年5月

中电动环卫车比例要超过50%。太原市2016年已经实现了出租汽车完全电动化。西安从2018年5月起不再新增非电动公交车及厂区通勤、环卫、搬家、物流等领域车辆。

油控研究项目在广州、杭州、天津、济南和宜昌等城市开展案例研究和示范项目，总结城市交通电动化的经验，在不同区域推广实施，积累更多地方先行先试的成功实践和不足。

## 四、制定分地区、分车型、分阶段的传统燃油汽车退出时间表

本报告提出，采取分地区、分车型、分阶段的方式推进传统燃油汽车禁售或退出。中国交通车辆结构及应用场景复杂，汽车保有量仍处于增长阶段，且不同类型的传统燃油汽车禁售与退出受成本与技术影响较大，因此中国在传统车禁售与退出时间表上需有序推进。可采取地区、车型和时段梯次退出。在地区方面，特大型城市、重点区域省会城市可率

先进行汽车保有量控制与传统燃油车退出，进一步过渡到经济发达、汽车产业成熟、污染严重的区域，最后过渡到经济欠发达及汽车产业落后的区域。在落后区域及农村地区要鼓励小型、低速、低成本电动汽车的市场推广，同时需要落实相关的安全标准。在车型方面，政府主导的公共营运性车辆可先行退出，如公交、出租、环卫、邮政、场地用车、物流专用车等；技术成熟度较高及成本较低的车型次之，如私家车；中重型、经济营运性车辆待技术成熟且成本有竞争力的情况下再大力施行。

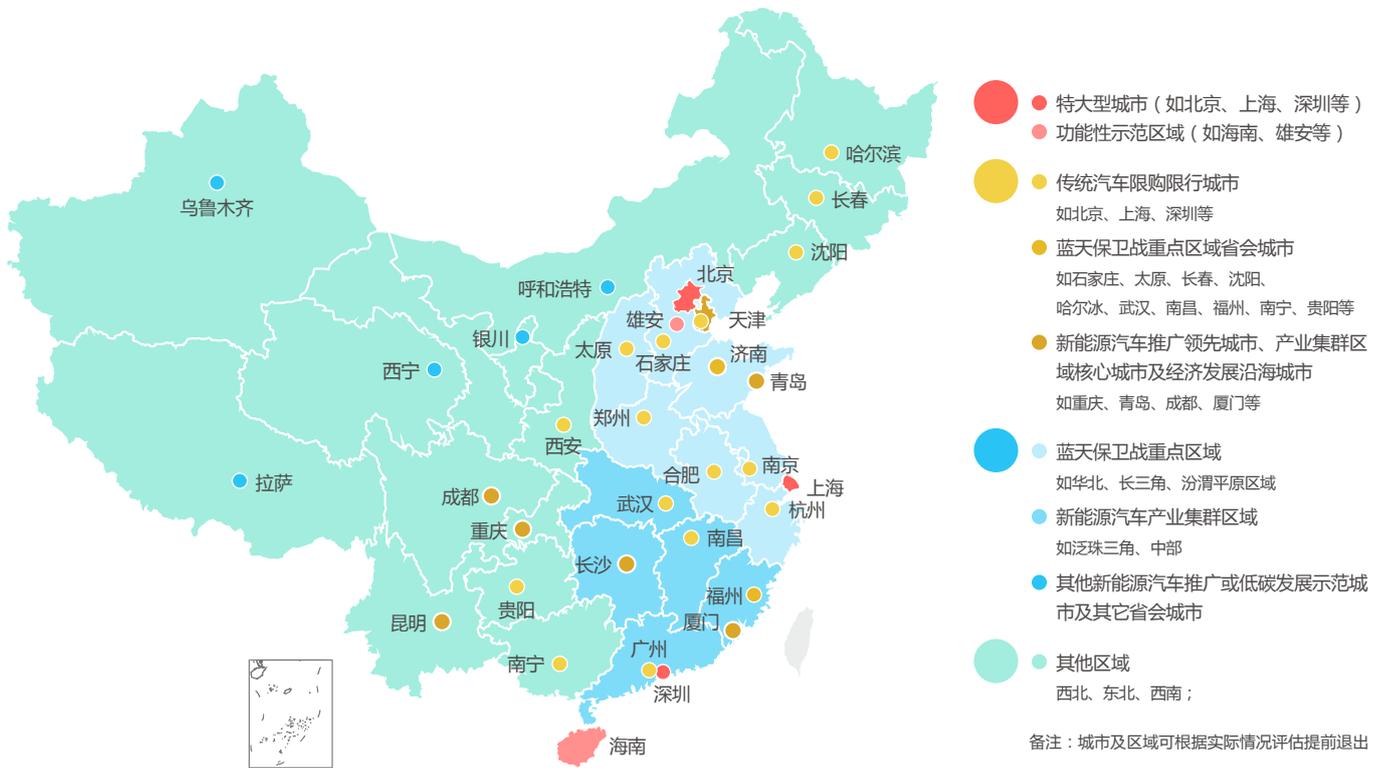
除此之外，再加上不同地区经济发展指标（如人均GDP发展）、汽车饱和指标（如汽车千人保有量及限购）、新能源汽车发展指标（如新能源汽车推广量及发展规划）、充电基础设施发展指标（如公共充电桩数量）、地区开放性以及各个区域电力的碳排放强度等指标，将中国大陆区域划分为四个层级，提出区域分时段、分车型的传统汽车退出时间表，见表7.2和图7.4。

表 7.2：区域层级划分及代表地区

	政策措施
第一层级 (Phase I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>特大型城市（如北京、上海、深圳等）</li> <li>功能性示范区域（如海南、雄安等）</li> </ul>
第二层级 (Phase II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>传统汽车限购先行城市（如天津、杭州、广州等）</li> <li>重点省会城市（如石家庄、太原、郑州、济南、西安、南京、合肥、福州、南昌、南宁、成都、长沙、昆明等）</li> <li>新能源汽车推广领先城市、产业集群区域核心城市及经济发展沿海城市（如重庆、青岛、厦门、沈阳、长春、哈尔滨等）</li> </ul>
第三层级 (Phase III)	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓝天保卫战重点区域，如华北（河北、河南、山东）、长三角（江苏、浙江、安徽）、汾渭平原区域（山西、陕西）</li> <li>新能源汽车产业集群区域，如泛珠三角（粤港澳）、中部（湖南、湖北、江西）</li> <li>其他新能源汽车推广或低碳发展示范城市和省会城市</li> <li>东北（黑龙江、辽宁、吉林）</li> </ul>
第四层级 (Phase IV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>其他区域，西北（新疆、西藏、宁夏、甘肃、陕西、青海）、西南（广西、云南、贵州、四川）、内蒙古自治区</li> </ul>

资料来源：《中国传统燃油汽车退出时间表研究》，能源与交通创新中心（ICET），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年5月

图 7.4 : 传统燃油车退出的地方层级划分



资料来源：《中国传统燃油汽车退出时间表研究》，能源与交通创新中心（ICET），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年5月

图 7.5 : 不同类型传统燃油汽车退出时间表



注1：PVI-a：出租车、网约、分时租赁车；PVI-b：公务车；PV2：私家车等；CV1：城市公交、环卫、轻型物流、通勤、港口机场场内运输车等；CV2：普通客车、专用车、城际物流车等；CV3：中、重型营运货车等。

注2：I、II、III、IV为分区域退出的层级。

资料来源：《中国传统燃油汽车退出时间表研究》，能源与交通创新中心（ICET），中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年5月

与此同时，可根据不同车辆类型的特点，制定不同优先级别的传统汽车退出时间表和路线图。在推动机动车燃料替代的过程中，可根据不同车类的特点，制定不同优先级别的传统汽车退出时间表，如图7.5所示。乘用车分为两个优先层级，PV1与PV2。PV1-a包括出租车、网约分时租赁车等；PV1-b包括企事业单位公务用车；PV2主要指私家车等。商用车分为三个优先层级，CV1主要包括城市公交、环卫、轻型物流、通勤、港口机场场内运输车等；CV2主要包括其他中轻型专用车、中型物流车和普通客车等；CV3主要包括中、重型货车等。

结合表7.2和图7.5可以看出，地方分层级、分车型、分时段地退出传统燃油车的市场销售是可行的。结合车企自身制定的新能源汽车发展战略路线图和时间表，一个完整的中国传统燃油车退出时间表显得清晰可行。这为工信部未来制定“禁燃（退出）”的政策方案提供了有益的信息。

## 五、杭州市石油达峰与控制案例

杭州市是我国具有国际影响力的发达城市之一，绿色发展走在全国前列。随着城市经济增长和汽车保有量增加，杭州市大气环境污染以车辆尾气排放为主、交通拥堵等现代“城市病”凸现，面临资源和环境约束的挑战。研究表明，通过发展公共交通，减少机动车出行，引导居民绿色交通出行，优化交通通行效率及提升石油利用率等，杭州市交通石油消费

有望在2022年达到峰值。杭州是我国碳排放早达标的试点城市。杭州推动石油达峰与控制的先行经验，为其他经济发达城市乃至全国石油达峰与控制提供了重要参考借鉴。

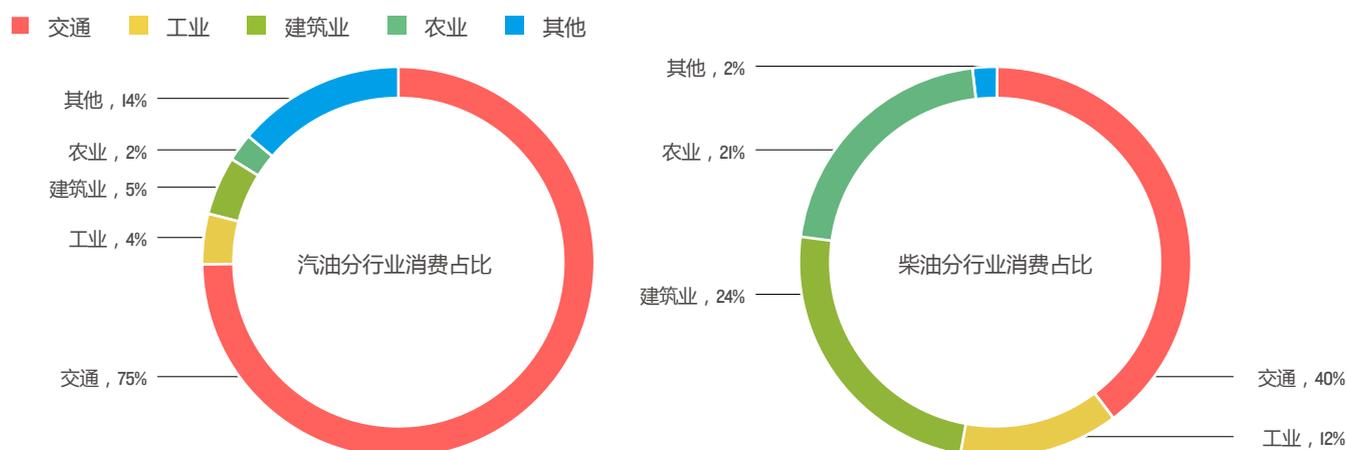
### 5.1 杭州市交通油耗现状与背景

**交通运输是成品油消费主要领域。**根据杭州市统计局相关数据，2017年，杭州市石油消费约469万吨，占能源消费比重为17.3%。其中，汽油约190万吨，柴油约150万吨。汽油和柴油的消费结构中，工业占比分别为4%和13%，交通占比为75%和40%，其余为农业、服务业（不包括交通）等领域消耗，见图7.6。

**机动车保有量快速增长。**统计数据显示，2017年杭州市社会机动车保有量（不含摩托车）已达243.1万辆，其中私人汽车199.9万辆，占保有量的82%；2006年至2013年间，机动车保有量增长迅猛，平均年增长率高达19%；从2014年开始，杭州市开始实施小客车限牌政策，机动车增速明显放缓，年平均增长率降至4.6%。2018年，杭州市私人汽车保有量207.8万辆，杭州市千人汽车保有量达259辆，是全国平均水平的两倍以上，在主要城市中居于前列。

**货物运输周转量不断上升。**2012-2017年，杭州市货运周转量增长了16%，年均增速约3%。其中，公路货运发展迅速，2017年公路货运周转量较上年增长12.3%。在电子商务、物流配送等现代流通业加快发展背景下，快递业务量高速增长，

图 7.6：杭州市石油消费结构（2017年）



资料来源：《油控情景下杭州市碳减排路径研究》，浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

由2012年的2.6亿件增长到2017年的23.2亿件，年均增速达55.6%。

**城市交通拥堵日趋严重。**2016年，杭州市在全国拥堵城市中排名第8，交通拥堵情况严重<sup>56</sup>。近年来杭州市交通拥堵情况有所好转，高峰平均车速提高至25公里/小时，但高峰拥堵延时指数仍高达1.648，这意味着在每次出行中，约40%的时间处于交通拥堵中，交通整体通行效率不尽人意<sup>57</sup>。

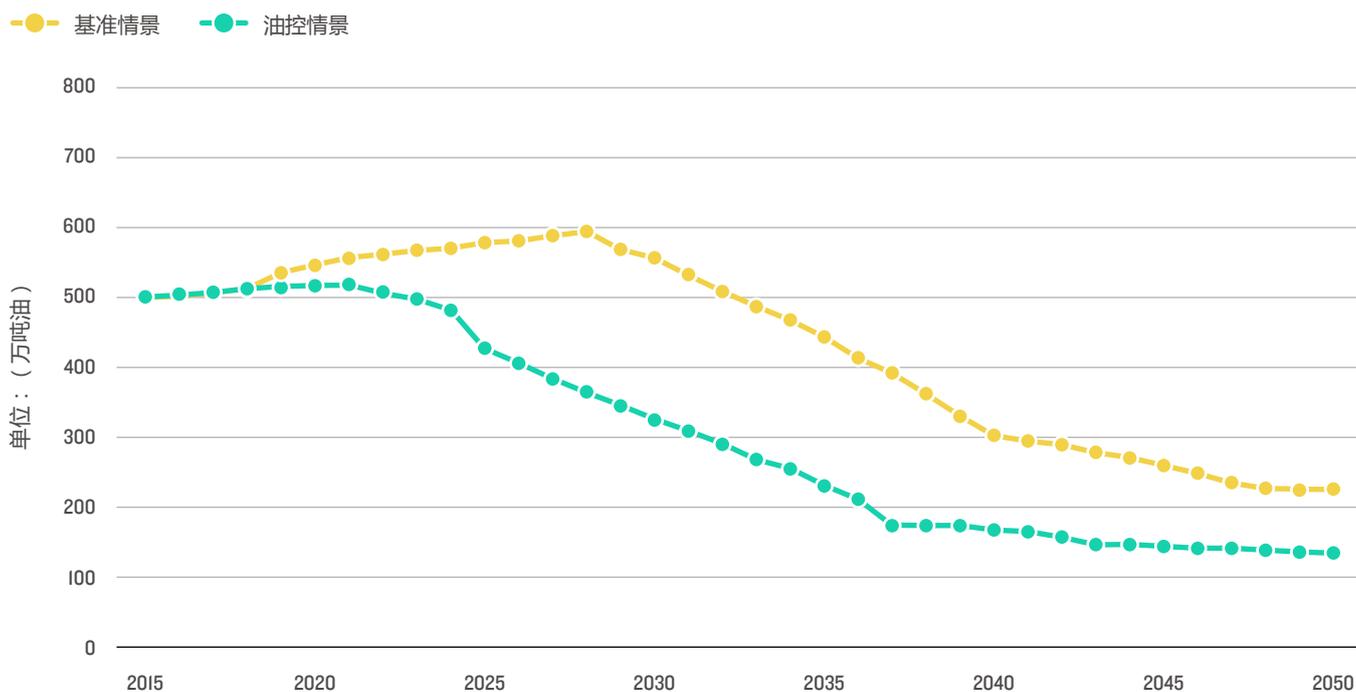
**交通用油是空气污染重要来源。**2013年杭州全年雾霾天气达239天，其中包括5次大范围严重雾霾天气。2014年以来，杭州市空气质量持续变好，雾霾天气有所减少，但是全年仍有约100天属于雾霾天气。根据杭州市环保局数据，交通

运输行业是大气污染的“元凶”，约28%的空气细颗粒物污染源PM<sub>2.5</sub>来自机动车尾气排放。

## 5.2 杭州市全社会石油消费情景分析

杭州市油控研究报告设置了基准情景和油控情景。基准情景下，杭州市现有政策维持不变。油控情景下，进一步加强汽油、柴油等油品消费总量控制，加强新技术在交通领域的应用，并推动城市慢行系统、共享出行等加快发展。与基准情景相比，在油控情景下，杭州市石油消费进一步降低，2050年，杭州市石油消费约125万吨，比2017年减少约80%；石油消费占一次能源消费的比重由2017年的19%下降至2050年的4%，见图7.7。

图 7.7：杭州市石油消费情景展望

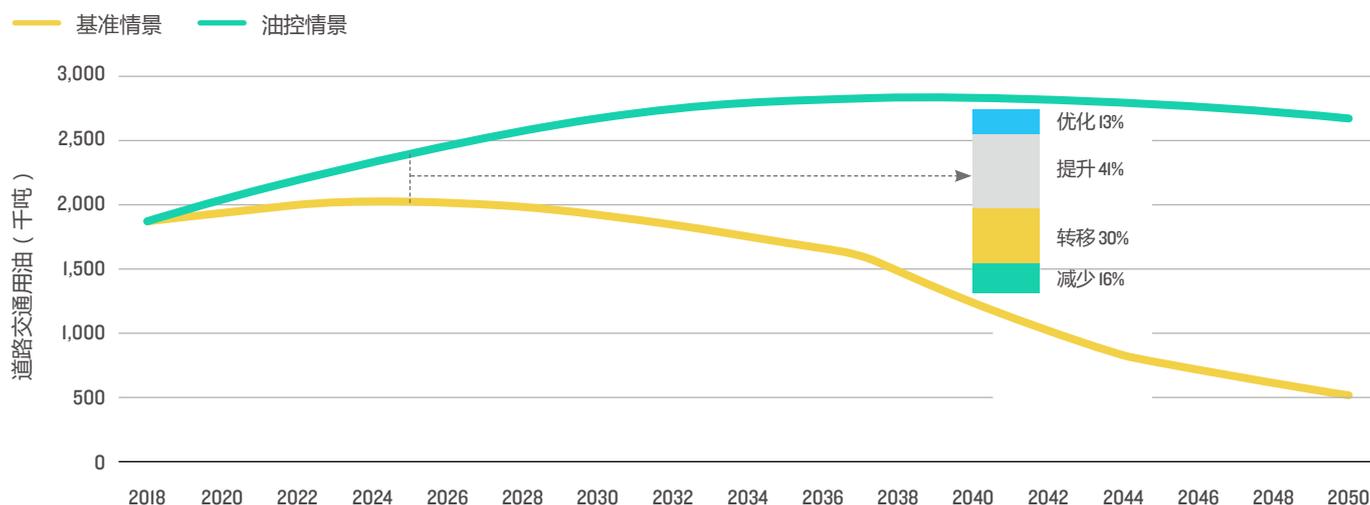


资料来源：《油控情景下杭州市碳减排路径研究》，浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

<sup>56</sup> 《2016年度中国主要城市交通分析报告》，高德地图，2017年1月

<sup>57</sup> 《2018年Q2中国主要城市交通分析报告》，高德地图，2018年9月

图 7.8：四大途径对实现杭州市道路交通石油消费峰值的贡献



资料来源：《油控情景下杭州市碳减排路径研究》，浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

### 5.3 进一步控制城市交通石油消费的政策措施

在油控情景中，杭州市交通石油消费有望在2022年左右达到峰值。杭州市将进一步明确石油消费控制途径，强化石油高效减量替代利用，率先推动城市能源变革，率先达到二氧化碳排放峰值。针对城市交通领域，报告围绕“减少”、“转变”、“提升”和“优化”四大路径，保障石油消费达峰目标实现。

**减少机动化出行需求和出行距离。**建立交通土地协调的用地开发模式。依托轨道等交通设施建设，集约利用交通走廊沿线土地，鼓励地区高强度开发和混合利用，实现居住地区和交通走廊上的平衡。推进公共交通导向（TOD）的用地规划模式，推动轨道交通站点交通功能与商业、办公、文化、居住等城市功能的复合规划，促进城市枢纽地区土地集约化利用。

**转变交通出行模式。**推动快速公交及公交专用道建设，切实保障公共交通的空间及路权。加强公交和轨道系统的整合，优化公交线网结构，为市民提供无缝换乘、高效可达、舒适畅顺的公交服务。优先保障公交、步行及自行车利用，拓宽人行道宽度和设置自行车道，实现道路路权由小型载客汽车主导向公交及慢行主导转变。在西湖景区和城市中心区

探索低排放区建设（LEZ），鼓励旅游大巴及公交车更换成新能源汽车，严格限制燃油小型载客汽车进入风景区。

**提升机动车燃油经济性和替代能源汽车比重。**加快新能源汽车替换传统燃油汽车。对公交车、出租车、邮政车、环卫车及政府公务用车等类型，率先实现新能源车替代；对网约车、快递车、旅游大巴及水上巴士等，加快新能源汽车替代进程。探索出台杭州市传统内燃机车退出及禁售时间表及计划，分车型、分领域有策略地实施退出方案。

**优化交通运输智能化管理。**完善道路、车辆、换乘站、停车场等的传感和传输体系，建立基于城市数字化地图的流量监测、信号诱导、车牌识别等交通感知系统，实现交通信息感知的网络化、数字化和可视化。依托城市数据大脑，推广车联网等智能化技术应用，提高基础设施、运输工具、运行信息等要素资源的在线化水平。完善涵盖公共交通、对外交通和道路交通的综合性、多层次信息服务，普及推广“互联网+绿色物流”。

综合评估分析表明，与基准情景相比，要实现2022-2023年交通石油达峰目标，“减少”措施方面的贡献约16%，“转变”措施方面的贡献约30%，“提升”措施方面的贡献约41%，“优化”措施方面的贡献约13%，见图7.8。

# 石油消费达峰与总量控制的保障途径与措施

石油消费达峰和控制石油消费的保障途径与措施，要紧紧围绕“跨越石油时代”的战略目标，加快建立反映外部成本的真实成本和市场价格。深化财税、投资、管理等领域体制改革，形成有利于促进高效、减量、替代、优化和清洁利用石油的市场环境，促进非常规油气开发革命和汽车技术革命，推动经济低碳绿色高质量发展。

## 一、建议采纳油控研究项目提出的关键性措施

油控研究项目希望有关部门能采纳和制定相关政策和措施，实现油控的目标：2025年达峰；2035年实现“美丽中国”愿景；2050年实现“碳中和”的1.5°C温控目标。

一是制定交通部门的传统燃油车退出时间表和路线图。交通部门正面临着交通能源结构的巨大变化和传统汽车行业的革命。充分调动发挥地方政府和企业的积极性，鼓励制定地方的传统燃油车退出时间表及具体实施路线图，激励车企规划新能源汽车发展的战略和目标。在地方和车企实践的基础上，政府决策者可以适时推出传统燃油车退出时间表和路线图，向投资者发出明确的信号，为技术创新指明方向，为企业战略调整留出提前量，同时给消费者提供更好的选择。

二是制定和实施更新的“限塑令”，分品种从源头上禁止、限制、替代和回收基于石油的塑料制品生产和使用。中国是世界上塑料制品消费大国，对环境生态造成了很大的破坏。化工行业做好行业禁塑、限塑和替代，再辅以末端的回收再利用和清洁处理。建立“净塑平台”，与垃圾分类和无废城市行动相结合，把“净塑”推向一个新高度。

三是在其他部门量多面广的耗油设备上制定和实施更高的能效和污染物排放标准。首要抓好汽柴油发动机的能耗标准和污染物排放标准。

四是建言“十四五”油控规划。提议将乘用车“双积分”标准上升到国家约束性指标；将石油消费在总能耗的占比作为指导性指标；将石油消费对外依存度作为预警性指标。

## 二、推动石油开发利用外部成本内部化

环境成本作为化石能源的外部成本，应是其价格中的重要构成部分。中国的资源和环境财税体系目前还不够健全，资源价格偏低、外部成本尚未完全内部化，导致化石能源使用效率低，浪费严重。

从税负的国际比较看，中国成品油消费税的负担水平高于美国等成品油低税负国家，但普遍低于欧盟和日本。中国能源安全及环境污染等问题日益严峻，相关外部成本还会随之进一步提升，需要进一步推动资源环境税收制度改革，加快石油开发利用外部成本内部化。

选择合适的时间窗口，以“税收中性”原则推进石油财税制度改革。石油价格会显著影响物流、化工产品、居民出行等成本。选择机遇性窗口期进行调整是明智的，这种做法既可保持成品油价格适度稳定，也可避免因成品油消费税提高带来的社会波动。现阶段国际油价较低的时段内，可择机提高石油资源税和成品油消费税，并明确规定税收缴后的用途。另一方面，中国交通运输领域还存在大量其他税费，如过路费、过桥费、车辆购置税等，可以在提高资源税、消费税的同时，减免其他税费，以保持“税收中性”、避免对社会经济发展的冲击。

### 三、加快调整和取消不合理石油补贴

加快调整和取消不合理石油补贴，应围绕还原能源的商品属性，以提高能源使用效率为中心，结合中国能源价格形成机制改革和财税制度改革，多方位、多领域协同推进。改革重点应侧重于规范化石能源补贴，逐步取消低效化石能源补贴。在具体操作路径方面，要从补贴的内容、性质、存在的合理性、与其他政策的关系等方面考虑，分领域、分步骤、分阶段减少化石能源补贴。

近中期，建议调整原油开采耗用内购成品油的消费税返还政策和成品油生产耗用自产成品油免征消费税政策；中远期建议取消：（1）化石燃料开采、生产的城镇土地使用税等优惠政策；（2）煤气等部分化石燃料消费的13%增值税优惠税率政策；（3）供热企业免征增值税、房产税、城镇土地使用税优惠政策，并完善因成品油价格和税费改革给予的系列补贴政策。

同时，统筹推进成品油价格市场化改革与补贴政策调整工作。近中期，重点是完善国内成品油价格与国际原油价格“挂钩联动”的具体办法和措施，进一步缩短或放开对成品油计价和调价周期的限制，逐步取消某些特殊价格规定；中远期，在整个成品油生产流通体制改革到位的前提下，逐步实现企业可以根据市场状况实时调整交易价格的目标<sup>58</sup>。

### 四、完善促进节约和替代石油的财税政策

中国石油消费在节约和替代利用方面潜力巨大。应有效发挥财税政策的调节、引导作用。汽车电动化、网联化、智能化、共享化是长远发展方向，但在近中期，考虑到中国新增汽车消费以三四线城市、农村地区为主，应坚持节能与新能源汽车并重，对于购买节能小排量和新能源汽车给予一定的补贴。

#### 4.1 完善节能与新能源汽车财税支持政策

**健全长期稳定的节能与新能源汽车税收支持政策。**在新能源汽车财政补贴逐步退坡的情况下，建议结合国内新能源汽车产业化和技术进步情况，实施更加严格的电动汽车准入标准和传统汽车燃油经济性标准，对符合标准要求的节能与新能源汽车，延长汽车消费税、车辆购置税的免税政策期限，对汽车生产企业和消费者提供稳定的税收政策预期。对购买节能与新能源汽车的企业和个人，研究出台企业所得税抵免政策，以及个人购买节能与新能源汽车的所得税抵扣政策。

**加大新能源汽车技术研发、基础设施建设财政支持力度。**建议完善财政补贴退坡和动态调整机制，进一步提高补贴门槛，支持新能源汽车市场平稳壮大，鼓励优势企业做大做强。逐步调整财政补贴方向，加大对汽车企业进行自主研发和创新、产学研合作研究、共性关键技术研发的财政支持力度。在公共充电设施、电力输配网络等领域，建议发挥财政投入的杠杆撬动作用，引导汽车企业和社会资本投资建设基础设施，并创新基础设施投资和商业化运营模式。

**完善新能源汽车的政府采购政策。**政府采购是促进新能源汽车推广应用的重要政策手段之一，目前国内对新能源汽车的采购主要是在公交、物流、出租、环卫和公务车等领域。建议基于现行环境标志产品政府采购制度，合理确定新能源汽车政府采购目录，鼓励政府公共部门优先购买或租用新能源汽车。同时，结合公车改革等政策，探索政府机关和

<sup>58</sup> 《中国石油消费总量控制的财税政策研究》，中国财政科学研究院，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

国有企业事业单位采取分时租赁、车辆共享等灵活性的新能源汽车租赁和采购模式，提升政策的灵活性和有效性。

## 4.2 完善促进节约和替代石油的财税政策

**完善促进节油提效的财税政策。**建议完善节能激励约束政策，支持石油行业优化基础设施、产能建设项目等用能工艺，选用高效节能设备，切实加强节能管理。鼓励开采环节采取增加伴生气回注、油气混输技术、伴生气凝液回收技术等措施，加强油田伴生气回收利用，提高原油商品率。实施内燃机、锅炉等重点用能设备能效提升计划，推进终端燃油产品能效提升和重点用能行业能效水平对标达标，鼓励石油行业充分利用企业和园区余热、余压资源。

**加大对节能型综合交通运输体系财税支持力度。**完善财税支持政策，加快淘汰能耗较高的老旧车辆和船舶，促进多式联运、甩挂运输、共同配送等绿色物流加快发展，鼓励利用“互联网+”提高交通运输系统效率。加大公共交通系统财税支持力度，把城市公交作为城市基本公共服务重要组成，纳入公共财政支持范围，不断加大投入力度。现行实施的公共交通增值税、车购税、车船税和城镇土地使用税等优惠政策，建议明确为长期优惠政策。

**完善促进石油替代的财税政策。**在城市公共交通等领域普及推广新能源汽车，在长途货运、水运等行业推广利用液化天然气，对采购新能源交通工具、建设充电桩、加气配套设施等给予财税激励。加大生物燃料乙醇和生物柴油财税支持力度，在不影响国内粮食安全和合理处置陈化粮的前提下，针对生物燃料乙醇的实际发展情况，建议制定支持纤维素燃料乙醇等先进生物液体燃料技术研发和推广应用的财政奖励和贴息政策，并对生物柴油的增值税资源综合利用政策，由增值税即征即退70%政策调整为增值税即征即退100%政策，减轻生产企业负担<sup>59</sup>。

## 五、把深化铁路和公共交通市场化改革与石油交通消费总量控制结合起来

降低交通运输部门石油需求增长，需要从根本上构建以铁路和公共交通为主体的绿色交通出行体系。但受基础性和公益性行业特点影响，中国铁路和公共交通领域总体投资回报率较低，政府补贴机制不健全，企业融资手段单一，对保障可持续投资和运行带来不利影响。交通部门的运输结构优化和电气化，可以明显减少交通燃油消费。

**深化铁路市场化改革。**加快开放铁路行业竞争性业务，健全准入与退出机制，深化铁路企业和客货运输改革，加快铁路市场化运行机制建设。适时放开竞争性领域价格，逐步扩大由市场定价的范围。全面开放铁路建设市场，对新建铁路实行分类投资建设。多方式多渠道筹集建设资金，向地方政府和社会资本放开城际铁路、市域（郊）铁路、资源开发性铁路和支线铁路的所有权、经营权，鼓励社会资本投资建设铁路。加快推动政府和社会资本合作（PPP）模式，鼓励通过特许经营、政府购买服务等方式参与铁路项目建设、运营和维护。破除铁路和其他运输方式间接驳的制度和标准障碍，鼓励发展多式联运优化物流组织。

**深化公共交通体制机制改革。**加大公共交通建设、运行领域的开放合作力度，落实公共交通用地综合开发政策，保障土地开发收益用于城市公交基础设施建设和运营补贴。建立政府购买公共交通服务机制，利用公共财政满足公众基本出行需求，推动城市公交企业在适度竞争中提升服务水平。建立跨地区、跨部门协调机制，在城市群、都市圈范围内推动公共交通和轨道交通基础设施一体化发展。鼓励公交企业开展多元化经营，充分利用公共交通建设项目周边有升值潜力的土地资源，以及相应的加油站、加气站、广告位等资源，进行资本运作，弥补交通建设资金不足<sup>59</sup>。

<sup>59</sup> 《中国石油消费总量控制体制机制改革研究》，国家发改委经济体制与管理研究所，中国石油消费总量控制和政策研究项目，2019年6月

---

## 六、深化油气相关领域体制改革

**中国目前正在开展油气体制改革。**充分利用有利的改革时机，面对石油领域的重大挑战，改革石油部门体制内有阻碍和不适应的部分。通过深化石油相关领域体制改革，推动石油消费达峰与总量控制成为改革重要内容与目标。

**加快天然气体制改革，促进天然气高效开发和利用。**在现阶段，天然气，包括非常规天然气，在交通、化工等领域对石油具有较强的替代性。但受资源、技术、体制等因素影响，中国国内天然气产量有限，进口气经济性不强，大规模发展的空间受限。应开放上游市场（常规和非常规天然气），实行勘查区块竞争出让制度和更加严格的区块退出机制，允许符合准入要求并获得资质的市场主体参与常规区块勘查开采，盘活储量存量，加快提升国内天然气产量。改革天然气管网运营机制，推进国有大型油气企业干线管道独立，完善油气管网公平接入机制，提高管输配气环节的效率和经济性，有效降低用气成本。完善天然气储备调峰体系，明确政府、供气企业、管道企业、城市燃气公司和大用户的储备调峰责任与义务，提升供气保障水平。

天然气仍然是一种化石能源，而且中国的天然气主要是依靠进口，所以它只能是一个过渡阶段的煤炭和石油替代能源。天然气的最终归宿是其优质的原料属性。我们需要把这个过渡阶段尽可能缩短。中长期的重点，依然是鼓励传统石油公司加大天然气投资力度，把天然气和可再生能源作为中国石油企业战略转型的主要方向。

**强化国内石油资源勘探开发力度，增强综合安全保障能力。**深化油气勘探开发管理体制改革，加大研发投入，突破非常规油气资源勘探开发技术瓶颈，尽早实现深层与深海油气资源进入规模开发阶段。进一步明确中央与地方政府、石油公司、重点炼化企业等责任，完善石油储备设施建设、收储及维护财税激励补偿政策，建立多层次石油储备体系，鼓励和要求企业和地方的商业储备。国内石油资源勘探开发和提供，有

助于逐步扭转近几年来国内石油产量下降的局面，减少石油的对外依存度，以及相应的供应安全方面的风险。

**完善成品油出口政策，尽量减少成品油出口规模。**近年来，随着国内炼油能力不断攀升，国内成品油市场供大于求矛盾愈发突出，成品油出口规模逐年加大。这不仅不利于炼油行业节能减排，把污染留在国内，还进一步加大中国原油消费量。应完善成品油加工贸易和一般贸易出口政策，削减加工贸易出口退税额度，降低一般贸易出口配额，有效控制成品油出口规模<sup>99</sup>。

## 七、科技创新引领新技术发展

中国在应对气候变化的行动中，把二氧化碳的收集、利用和蓄存（CCUS）技术作为前沿的技术创新和重要技术手段进行研发、示范和商业推广。目前CCUS技术在油气田的增产已有令人瞩目的进展。与油田注水和常规水压裂技术相比，二氧化碳在油气田的驱油增气上具有储层保护、增产效益好、节约水资源和减少水污染、二氧化碳高效蓄存的多重优势。

油气田二氧化碳增产和蓄存技术（CCUS）在示范项目获得长足进展。该技术对不同类型的油气藏采用不同的针对性技术，包括二氧化碳压裂技术（增能助排压裂、前置蓄能压裂、化学剂辅助混相压裂等）、二氧化碳近井筒处理技术、二氧化碳驱油技术。我国70%的新增储量为低渗透油藏。非常规油气开发是潜力巨大的领域。常规的油气压有注水量大、污染大和环保压力大等缺点。目前二氧化碳增产技术在我国油田增产服务中占比少于2%，CCUS的潜力受到注目和重视。其解决二氧化碳的封蓄能力的技术尚未开发，我国应在这项科技研发、示范和商业推广上投入更多的资源。

中国的油气开发利用占用不少土地，尤其是开发中的许多油气田位于植被稀少的地区。油气公司在开发过程中，应重视环境的保护，并开展植树绿化和植被恢复。这是减缓和适应气候变化的具体行动，值得大力推广。中国的能源开发利用中，特别是油气和煤炭，会排放甲烷、伴生气和瓦斯。这些气体的温室效应比二氧化碳高几十倍。回收和利用这些气体，也同时具有明显的经济效益，应支持这些技术和设备的研发、推广和创新。

# 后记

“跨越石油时代”，是中国能源转型的必由之路。这条道路是对世界能源从生物质—煤炭—石油—可再生能源发展模式的一场革命，其意义随着时间的推移，将愈发显现。

百年之前，大规模汽车生产的组织天才亨利·福特百般考虑后放弃了电动汽车，转向生产燃油汽车，从而触发了“石油时代”的兴起。究其原因，其中最重要的一条是油比电更具有经济竞争性。百年之后，汽车技术革命基于电比油更具经济竞争性。中国“跨越石油时代”面临着诸多挑战；没有挑战，就没有创新，没有变革，没有进步。世界经济的蓬勃发展、技术的日新月异和气候变化的灾难性后果，都使“跨越石油时代”成为中国必然的选择。

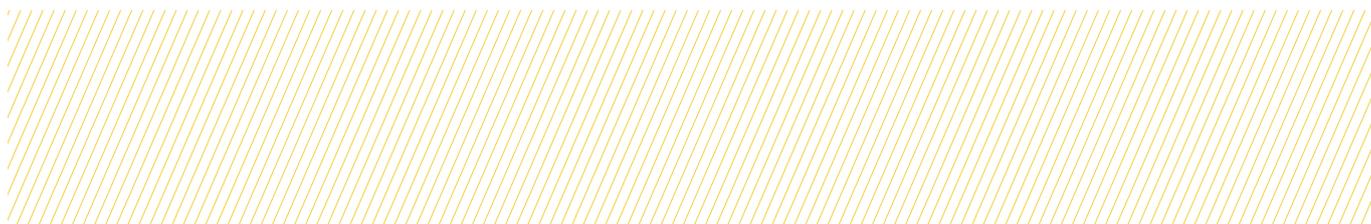
参加“中国石油消费总量控制和政策研究项目”第一年的研究单位包括：

- 国家发展和改革委员会能源研究所
- 生态环境部环境规划院
- 水利部水利水电科学研究院
- 国家发展和改革委员会经济体制与管理研究所
- 中国财政科学研究所
- 浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心
- 中国石油化工集团公司经济技术研究院
- 能源与交通创新中心（iCET）
- 交通与发展政策研究所（ITDP）
- 美国劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL）
- 道兰环能

油控研究项目在筹划和实施过程中，得到了众多单位和专家的广泛的支持和帮助，我们深感荣幸。在此诚挚感谢傅成玉、白荣春、周凤起、唐元、王金南、韩文科、戴彦德、胡兆光、陈卫东、徐洪磊、陈新华、李万里、张玉清、吴吟和潘家华等专家的热忱指导和扶持。

# 附表一

## 情景分析主要参数设置



	基准情景	强化政策情景	温控情景
定义	石油相关行业在 <b>当前政策和行业规划目标</b> 下发展的情形	当前政策到期后，未来石油相关行业出台 <b>更加严格的控制政策</b> 的情形	未来石油消费需求在 <b>2°C温升控制目标</b> 下的发展情形
经济	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国经济进入“新常态”，稳定在中高速增长，增速台阶式放缓，强调深化改革与调整结构</li> <li>第三产业的比重将持续上升，第一、第二产业的比重将持续下降，重工业的比重将达峰并回落</li> <li>经济增长转向消费拉动型，消费水平的提升、消费者偏好的转变将引导经济结构的转型升级</li> <li><b>GDP增速在2020年维持在6.5%，2030年放缓至5.5%，2050年进一步放缓至4%左右</b></li> </ul>		
经济 社会	人口	<ul style="list-style-type: none"> <li>生育率逐步下降，人口结构出现老龄化特征，劳动人口数量出现下降</li> <li>新的计划生育政策：<b>2013年正式宣布“单独二孩”政策，2015年实施全面二孩政策</b></li> <li><b>2020年人口达到14.2亿，2028年达到14.5亿人的峰值水平，2040年下降至14.4亿人，2050年为14.0亿人</b></li> </ul>	
	城镇化	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>2017年末，常住人口城镇化率达到58.5%，仍处于城市化的快速发展区间（30%-70%），还有较大的发展空间</b></li> <li>根据《国家新型城镇化规划（2014-2020）》，<b>2020年常住人口城镇化率的发展目标为60%左右，预计2030年达到66%，2040年后进入城镇化稳定发展期，2050年城镇化率为75%。</b></li> </ul>	
政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>石化和化学工业发展规划（2016-2020）</li> <li>深化石油天然气体制改革</li> <li>节能与新能源汽车产业规划</li> <li>节能与新能源汽车技术路线图</li> </ul>	在基准情景要求之上： <ul style="list-style-type: none"> <li>推进新能源汽车的普及</li> <li>提高燃油经济性标准</li> <li>公共交通发展规划</li> <li>铁路、航空、管道运输发展规划</li> <li>促进石油化工行业产业结构升级</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汽车排放法规加严</li> <li>鼓励共享出行模式的发展</li> <li>支持自动驾驶、氢燃料电池等先进技术的研发和产业化</li> <li>控制石化产业发展的规模，转移低端制造业，增加高附加值产品进口</li> </ul>

	基准情景	强化政策情景	温控情景
环境	<ul style="list-style-type: none"> <li>打赢蓝天保卫战三年行动计划</li> <li>通过油品质量升级减少石油消费对环境质量的影响</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>打赢蓝天保卫战三年行动计划</li> <li>2035年基本实现美丽中国等生态文明建设的主要目标</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>打赢蓝天保卫战三年行动计划</li> <li>《巴黎协定》中国承诺</li> <li>相关行业的能源消费路径需满足实现2°C温升控制目标的要求</li> </ul>
交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通运输需求持续增长，铁路及管道运输量上升</li> <li>乘用车发展接近欧洲模式，千人保有量饱和值达到450辆</li> <li>燃油经济性达到技术路线图中对应的发展目标，2050年为4.5L/100km（不含新能源汽车）</li> <li>车辆年均行驶里程缓慢下降，2050年乘用车达1.3万公里/年</li> <li>2050年新能源乘用车市场渗透率达到50%；商用车渗透率30%</li> <li>乙醇汽油基本实现全国推广</li> <li>民航乘机次数达1.2次/年/人</li> <li>低硫化使船用燃料油价格升高，满足了国内炼厂生产船燃的边际条件，2020年后国内供应量大幅增加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通运输结构显著优化，其中公路货运效率提升，铁路运输比例增长</li> <li>城市轨道交通加速发展，汽车共享模式兴起，乘用车千人保有量饱和值为350辆</li> <li>燃油经济性标准进一步提高，2050年为4L/100km（不含新能源汽车）</li> <li>10%共享影响下，2050年乘用车年均行驶里程达1.2万公里/年</li> <li>2050年新能源乘用车市场渗透率达到65%，商用车渗透率50%</li> <li>政策推动生物柴油和生物航煤的发展</li> <li>民航乘机次数达1.0次/年/人</li> <li>严控大进大出，在一般贸易项下，国内低硫燃料油供应成本较高，2020年后低硫燃料油由国内供应增量有限</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通运输结构整体得到充分优化，效率提升加快</li> <li>各种公共交通无缝衔接，自动驾驶快速发展，共享显著改变出行模式，乘用车千人保有量饱和值为260辆</li> <li>燃油经济性更快提高，2050年为3.5L/100km（不含新能源汽车）</li> <li>25%共享影响下，2050年乘用车年均行驶里程达1.1万公里/年</li> <li>2050年新能源乘用车市场渗透率达到80%，商用车渗透率70%</li> <li>生物燃料成本大幅降低，原料来源得到保障，成为石油有效补充</li> <li>民航乘机次数达1.0次/年/人</li> <li>低硫燃料油仍以国外供应为主，国内供应仅有少量增加</li> </ul>
石化	<ul style="list-style-type: none"> <li>乙烯和涤纶消费会持续增长</li> <li>按照当前产业发展模式，石化工业发展立足国内，乙烯自给率达到85%，纺织品保持较高的出口水平</li> <li>塑料回收延续当前水平，回收率10%左右</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全球产业布局变化，化工行业向中高端发展，部分低附加值产品转为进口，乙烯自给率为75%，纺织品适度出口</li> <li>通过政策强制提高塑料回收率至15%左右。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内消费升级、人工成本增加以及环保影响，低端产业加速转移，乙烯自给率与当前相当，为65%，纺织品出口减少三分之一</li> <li>塑料回收技术、成本与应用范围显著改善，回收率明显提高至20%</li> </ul>
其他	<ul style="list-style-type: none"> <li>城镇化发展持续带动居民生活用能、建筑、建材等行业石油产品需求</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>居民用能天然气比例大幅提高，道路养护周期延长，非燃烧领域大幅减少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新型城镇化充分考虑环境因素，推动居民用能电力比例提高，高耗能行业发展受到控制，道路运输强度降低</li> </ul>

## 附表二

# “十三五”时期经济资源环境和能源发展主要指标

指标	政府指标				煤控项目指标	
	2015	2020	年均增速 [累计]	属性	2020	年均增速 [累计]
经济发展						
国内生产总值 (GDP) (万亿元)	67.7	>92.7	>6.5%	预期性	>92.7	6.7
常住人口城镇化率 (%)	56.1	60	[3.9]	预期性	61	[4.9]
服务业增加值比重 (%)	50.5	56	[5.5]	预期性	56	[5.5]
资源环境						
万元GDP用水量下降 (%)	-	-	[23]	约束性	-	[35]
单位GDP能源消耗降低 (%)	-	-	[15]	约束性	-	[18]
非化石能源占一次能源消费比重 (%)	12	15	[3]	约束性	15.7	[3.7]
单位GDP二氧化碳排放降低 (%)	-	-	[18]	约束性	-	[21]

注：[]内为五年累计值。

指标		政府指标				煤控项目指标	
		2015	2020	年均增速 [累计]	属性	2020	年均增速 [累计]
森林发展	森林覆盖率 (%)	21.66	23.04	[1.38]	约束性	24	[2.34]
	森林蓄积量 (亿立方米)	151	165	[14]		165	[14]
空气质量	地级及以上城市空气质量优良 天数比率 (%)	76.7	>80	-	约束性	>85	-
	细颗粒物 (PM2.5) 未达标地 级及以上城市浓度下降 (%)	-	-	[18]		-	[25]
	地区及以上城市空气重度及以 上污染天数比率 (%)	-	-	[25]	约束性	-	[30]
主要污染物 排放总量减 少 (%)	化学需氧量	-	-	[10]	约束性	-	[10]
	氨氮	-	-	[10]		-	[10]
	二氧化硫	-	-	[15]		-	[23]
	氮氧化物	-	-	[15]		-	[21]
	颗粒物	-	-	-	-	[25]	
	挥发性有机物 (VOC)	-	-	-	-	[18]	
	空气氨氮	-	-	-	-	[16]	

注：[]内为五年累计值。

类别	指标	单位	政府指标				煤控项目指标	
			2015	2020	年均增速	属性	2020	年均增速
能源发展主要指标								
能源总量	一次能源生产量	亿吨标准煤	36.2	40	2.00%	预期性	36.5	0.16%
	电力装机总量	亿千瓦	15.3	20	5.50%	预期性	19.2	4.60%
	能源消费总量	亿吨标准煤	43	<50	<3%	预期性	45.8	1.30%
	煤炭消费总量	亿吨原煤	39.6	41	0.70%	预期性	35	-2.40%
	全社会用电量	万亿千瓦时	5.69	6.8-7.2	3.6-4.8%	预期性	7.32	5.20%
能源安全	能源自给率	%	84	>80		预期性	<80%	
能源结构	非化石能源装机比重	%	35	39	[4]	预期性	可再生37.5 非化石>39	[>4]
	非化石能源发电量比重	%	27	31	[4]	预期性	可再生26.9 非化石>31	[>4]
	非化石能源消费比重	%	12	15	[3]	约束性	15.7	[3.7]
	天然气消费比重	%	5.9	10	[4.1]	预期性	10	[4.1]
	煤炭消费比重	%	63.7	58	[-5.7]	约束性	55	[-8.7]
	电煤占煤炭消费比重	%	49	55	[6]	预期性	53	[4]
能源效率	单位国内生产总值 能耗降低	%	-	-	[15]	约束性		[18]
	煤电机组供电煤耗	克标准煤/千瓦时	318	<310		约束性		300
	电网线损率	%	6.64	<6.5		预期性	<6.4	
能源环保	单位国内生产总值 二氧化碳排放降低	%	-	-	[18]	约束性		[21]

注：[]内为五年累计值。



## NRDC北京代表处

地址：中国北京市朝阳区东三环北路38号泰康金融大厦1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688



本报告采用环保纸印刷