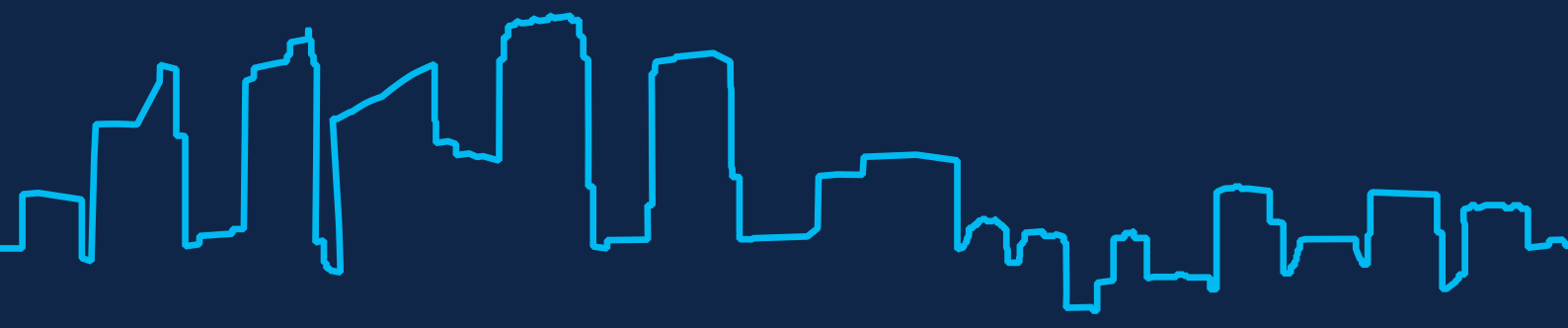
中国石油消费总量控制和政策研究
China Oil Consumption Cap Plan and Policy Research Project

2019
06

国际石油消费趋势与政策回顾

REVIEW OF INTERNATIONAL OIL CONSUMPTION TRENDS AND POLICIES

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（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。

NRDC 自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

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。请登录网站了解更多详情 www.nrdc.cn。

本报告由劳伦斯伯克利国家实验室撰写。

劳伦斯伯克利国家实验室

劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL）是一家隶属于美国能源部的国家实验室，由加州大学负责管理和经营。劳伦斯伯克利实验室成立于 1931 年，主要从事各种科学学科的非机密研究。其能源技术团队（ETA）致力于将基础科学发现转化为能源技术创新和部署，以及为政策制定提供经济分析和数据驱动政策分析。LBNL 的研究着实立足于改变世界，拥有 13 个科学家及组织获得诺贝尔奖 、15 项国家科学奖章获得者和 1 项国家技术和创新奖章获得者。

系列报告

《中国石油消费总量达峰与控制方案研究》
《中国石油消费情景研究（2018-2050）》
《中国石油消费总量控制的财税政策研究》
《中国石油消费总量控制体制机制改革研究》
《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》

油控研究项目系列报告

国际石油消费趋势与政策回顾

REVIEW OF INTERNATIONAL OIL CONSUMPTION TRENDS AND POLICIES

执行报告

EXECUTIVE REPORT

主要作者

郑昕　David Fridley　周南　Limingming Zhu

劳伦斯伯克利国家实验室

2019 年 06 月

目录

执行摘要

此次报告回顾了自 1965 年以来主要经济体石油消费的国际趋势，并分析了影响这些发达国家石油消费变化（尤其是峰值）的主要驱动因子和因素。我们也评估了包括日本、韩国、德国、美国、法国、西班牙和意大利在内的主要经合组织（OECD）国家的经验，以评估这些国家石油消费趋势和达到峰值的可能影响因素。

我们发现，这些经合组织国家的历史石油峰值主要与三个因素有关：

1. 主要地缘政治事件直接导致石油产量减少及油价大幅上涨；
2. 影响石油消费的宏观经济趋势，尤其是国内生产总值 (GDP) 增长和人口变化；
3. 具体的国家或地方政策，包括提高运输用石油产品零售价的燃油税、促进车辆效率的燃油经济性标准以及工业和电力部门颁布的燃料转换政策。

我们发现仅少数发达的经合组织经济体明确达到了石油消费峰值，但没有一个转型经济体达到此类峰值。在北美地区，由于全球经济衰退，美国在 2008 年至 2009 年达到石油峰值，但是 2012 年以后伴随着油价下跌，美国石油消费量再次增加。在其他地区，仅德国、法国、英国、意大利、西班牙、荷兰和日本在 1980 年以后出现了石油消费峰值及下降趋势，但在油价下跌后又出现了轻微反弹。

本报告回顾了当前国际石油市场的国际形势，并提出了中国实现石油消费达峰和显著下降的四大挑战：

1. 油价波动以及长期供应的不确定性增加；
2. 石油输出国组织成员国及其伙伴国家的市场力回升；
3. 中东其他主要生产国可能发生的地缘政治冲突，其中伊拉克可能是未来全球石油产量提高的一大主要来源；
4. 中国国内石油需求构成的改变给国内炼油部门和国际市场带来挑战。

在此报告中，我们总结了全球采取的降低能源消费（特别是石油消费）及二氧化碳

排放的关键运输需求管理政策，其中包括自上而下的直接监管政策，也包括间接的政策和措施，例如提倡非机动车出行和减少公务出差等。为进一步说明国家政策对石油消费趋势的影响，我们还研究了成功的国家案例，其中包括欧盟（EU）的整体运输战略和减少运输部门排放的目标、法国《促进绿色增长的能源转型法》以及日本在过去十年内颁布的若干国家能源政策等。欧盟战略和法国最近颁布的法令都提出了详细的减少温室气体排放和化石燃料消耗的时间表和总体目标。随之颁布的具体政策措施包括车辆二氧化碳排放标准；新的轮胎标签和压力监测要求；低排放车辆购买补贴和激励；禁止使用不可堆肥化塑料袋并实施分阶段强制性塑料回收。日本将石油在国家能源系统中的作用重新定义为灾难情景下“能源供应的最后手段”，同时制定了严格的车辆效率标准并征收较高的汽油税，这些都有助于维持全国石油消费量在高峰期后保持下降趋势。

交通运输部门是中国石油及其产品的主要终端消费部门。报告中，我们回顾了一系列运输需求管理政策，包括具体的国际案例研究及相关政策对降低燃料消耗量的潜在影响，主要包括：价格措施；促进替代（例如公共交通）模式的政策和计划；非机动车出行与其土地使用；减少公务差旅政策；行政监管办法（如限行政策）；以及为提高燃油效率而设计的限制车速政策。报告还评估了三种替代性燃料政策，包括：生物燃料的发展目标，其在西班牙和欧盟的有效利用，以及在美国面临的挑战和经验教训。根据这些国际案例研究结果，我们针对中国可能的生物燃料目标提出了特定的政策建议，包括：需要为生物燃料设立特定的可持续性准入标准，考虑环境、土地利用变化以及特定生物燃料与粮食作物冲突的问题；需要在制定目标时考虑到不确定性与合规成本；鼓励制定多年目标为市场提供更大的确定性；为纤维素生物燃料技术的研发提供直接的资金补贴。我们还评估了促进运输燃料转换的其他类型的政策，如欧盟采用的二氧化碳排放标准和加州引入的低碳燃料标准。

我们还对欧盟区域和两个地方层级政策进行了案例研究，这些地区都制定了宏伟的减少化石燃料消费的目标，所有政策都旨在支持更广泛的气候目标，中国可汲取其中的经验教训。欧盟 2050 年愿景强调需要制定总体减排目标并针对具体部门采取措施，减少建筑物、电力和运输部门的化石燃料消耗。有关 2050 年欧盟交通部门全面去碳化的综合性技术路线图研究还表明，现有的政策和措施（包括效率标准、行为改变、物流改进、新兴技术和新替代燃料）需要全部结合起来。具体而言，该研究考虑零碳化交通工具的全面应用。在 2035 年前全部私家车更换为电动汽车，在 2030 年前城市公交车实现全面电气化，氢能 / 燃料电池卡车、电动高速公路与互联混合动力卡车、电动运输卡车、航空业采用合成电子燃料、航运采用氢气和电池技术等改变，对于全面去碳化也至关重要。这项研究结果表明，现有的新兴技术几乎可以使运输部门不再需要消耗石油，但未来这些新兴技术部署需要更严格的新政策、持续的技术进步，以及清洁电力供应的快速增长。

在地方层面，美国加利福尼亚州和瑞典斯德哥尔摩市和中国一样推进更严格的燃油经济性标准与交通电气化，他们在改善交通方面的努力领先于许多其他地区。具体而言，美国加利福尼亚州开展了一项初期的路线图研究，旨在通过制定一系列针对客运、货运和非道路运输的措施和政策，在 2030 年之前实现将该州交通部门的化石燃油消耗降低

50%。瑞典的斯德哥尔摩的城市目标是到 2040 年消除化石燃料的消耗。对于交通部门而言，斯德哥尔摩的战略强调推动车辆更加高效和使用更加清洁的替代燃料（包括电力）；在向公共交通模式显著转换的同时减少私家车的使用；改善物流和驾驶行为来提高货运的效率。与此同时，斯德哥尔摩认识到了船舶和航空业在逐步淘汰化石燃料方面所面临的挑战，其中包括管辖区和替代燃油有限等。虽然还需要开展更多的国际案例研究来确认适用于中国的成功因素，但是这两个最初的案例研究表明，国家需要通盘战略，既发展多种运输方式，也促进目前尚未大规模使用的新替代燃料的商业开发和扩展的通盘战略，才能大幅减少运输行业的化石燃料消耗和相关排放物的排放。

通过比较石油消费已达峰的发达国家的政策经验和致力于大幅减少石油消费的地方政策时，可以看出中国已经吸取了一些国际经验，但还有一些国际政策并不能直接适用。对于交通部门，由于中国已经显著地提高了汽车的能效，如何管理未来交通需求的增长将成为遏制石油消耗增长的关键。除了现有政策之外，中国还可以考虑采取其他策略，如在新城市中通过改变道路利用规划促进非机动交通发展，通过对拥堵收费治理空气污染，以及一些行为引导方案，如对公共或非机动交通通勤给予激励。除了控制交通需求增长，中国也强调了非食品类生物燃料的发展，包括木薯、玉米秸秆和木屑，但其在取代石油和石油产品方面的潜力受到可耕地供应的限制。

基于国际政策经验的教训和最佳实践状况，以及中国的现状，可以为中国在短期、中期、长期内降低石油消耗提供一些具体的政策建议。

- 短期：继续逐步提高燃油效率标准达到国际最佳实践水平；鼓励二、三线城市，通过土地利用规划和综合的交通管理，为公共交通和非机动车交通提供优惠政策和项目；考虑提高汽油消费税；考虑对非新能源汽车征收更高的税；激励或管理旧车的报废，进一步提高汽车更新速度，加速运输电气化。
- 中期：为交通部门制定更高的目标，如二氧化碳减排目标或具体的石油减量目标；考虑对交通部门征收碳税；提高对可替代燃料的研发投资。
- 长期：为卡车和拖车制定二氧化碳排放标准；改进货运物流规划和管理；通过收费或禁止塑料使用来强制使用可回收塑料。

Executive Summary

This report reviews the international trends in oil consumption of major economies since 1965 and analyzes key drivers and factors that influenced changes – particularly peaks – in oil consumption of these developed countries. We also evaluated the experiences of major OECD countries including Japan, Korea, Germany, the U.S., France, Spain and Italy to assess possible contributing factors to oil consumption trends and peaks in these countries.

We found that historic oil peaks in these OECD countries have been linked to three major factors:

1. Major geopolitical events that directly reduced oil production and sharply increased oil prices

2. Macroeconomic trends that impacted oil consumption, including most notably GDP growth, and demographic changes

3. Specific national or subnational policies, including notably fuel taxes that raised the retail prices of oil product consumption for transport, fuel economy standards that drove efficiency improvements in vehicles, and fuel switching policies for industrial and power sectors

We found that only a few developed OECD economies have reached a definitive oil consumption peak, but no transitional economies have yet achieved such a peak. In North America, the U.S. reached its oil peak around 2008-09 due to the Global Recession but oil consumption has been increasing again since 2012 with oil price declines after 2014. In the other five regions, only Germany, France, United Kingdom, Italy, Spain, Netherlands and Japan have exhibited an oil peak and decline after 1980, with modest rebounds after the oil price decline.

We also reviewed the current international situation in the global oil market and identified four key challenges that China faces with its future efforts to peak and significantly reduce oil consumption:

1. Volatility in oil prices and increased uncertainty over long-term supply

2. A return of rising market power in OPEC and its associates

3. Possible geopolitical conflicts over the remaining major producers in the Middle East, particularly Iraq, a major source of future increases in global oil production.

4. Shifting composition of domestic oil demand and challenges to the domestic refining sector and international markets

In the report, we also summarized the key transport demand management policies undertaken globally to reduce both energy (particularly oil) consumption and related CO_2 emissions, including top-down regulatory policies as well as indirect policies and measures such as promoting mode shift and work-trip reductions. To further illustrate the impact that national policies have on shaping oil consumption trends, we also reviewed successful cases at the national level that include the European Union (EU)'s overall transport strategy and target-setting for reducing emissions from the transport sector, France's Energy Transition for Green Growth Act and several national energy policies adopted by Japan over the last decade. For the EU strategy and France's recent Act, a detailed timetable and overarching targets were set to reduce greenhouse gas emissions and/or fossil fuel consumption and complemented by specific policy measures that range from CO_2 emission standards for vehicles, new tire labeling and pressure monitoring requirements to purchase subsidies and incentives for low emission vehicles and banning of non-compostable plastic bags with phased-in mandatory plastic recycling. For Japan, redefining the role of oil in the national energy system as "the last resort of energy supply" in case of disaster along with stringent vehicle efficiency standards and high gasoline taxes all helped sustain the national decline in oil consumption after its peak.

For the transport sector – the major end-use sector for oil and oil products in China – we also reviewed a range of transport demand management policies with specific international case studies and their potential impacts on reducing fuel consumption, including: pricing policies, policies and programs to promote alternative (e.g., public transit) modes, non-motorized travel and land use, work-trip reduction policies, regulatory approaches such as bans to reduce traffic, and vehicle speed reduction policies to improve fuel efficiency. We also evaluated three alternative fuel policies including biofuel requirements or targets and their effective use in Spain and the EU, as well as challenges and lessons learned faced in the U.S. From these international case studies, specific policy recommendations for possible biofuel targets in China include: the need to set specific sustainability criteria or standards for qualifying biofuels in light of the environmental, land use change and food crops concerns with certain biofuels, the need to incorporate uncertainty and limit compliance costs in target-setting, preference for setting multi-year targets to provide greater market certainty, and providing complementary direct funding for the research and development of cellulosic biofuel technology. We also assessed the use of CO_2 emissions standards in the EU

and the Low Carbon Fuel Standard introduced in California as other forms of policies for promoting fuel switching for transport fuels.

In looking ahead at what might be possible for China, we also reviewed a regional case study of the EU and two case studies of subnational policies with very ambitious reductions in fossil fuel consumption, all developed to support broader climate goals as possible lessons learned for China.

The EU 2050 Vision highlights the need for overarching reduction targets and sector-specific actions for reducing fossil fuel consumption in buildings, power as well as transport sectors. A complementary comprehensive technical roadmap study for fully decarbonizing EU's transport sector by 2050 also found that a combination of existing policies and measures (including efficiency standards, behavior change, improved logistics as well as emerging technologies and new alternative fuels) are all needed. Specifically, the study considered the full deployment of zero emission, battery electric vehicles no later than 2035 for private cars, full electrification of urban buses by 2030, hydrogen or fuel cell trucks, electric highways with connected hybrid electric trucks, battery electric trucks for freight, and the use of synthetic electrofuels for aviation and hydrogen and battery electric technologies for shipping as critical to the decarbonization. The results of this study suggest that there are emerging and promising technologies available today that can nearly eliminate all oil consumption for transport, but their future deployment will require new and stringent policies, continued technological advancements, and commensurate rapid growth in the supply of clean electricity generation.

At the subnational level, both the U.S. state of California and the Swedish city of Stockholm are similar to China in that they have been moving ahead of many other regions in terms of efforts to improve transport through more stringent fuel economy standards and transport electrification. Specifically, California conducted an initial roadmap study of reducing state transport sector's fossil fuel consumption by 50% by 2030 through proposed measures and strategies that target passenger, freight and non-road transport while the Swedish city of Stockholm adopted an ambitious roadmap and city strategy to eliminate fossil fuel consumption by 2040. For the transport sector, Stockholm's strategy emphasized shifting towards more efficient and alternative fuel (including electric) vehicles, significant mode shifting towards public transport while concurrently reducing the use of private cars, and more efficient freight transport through improved logistics and driving behavior can help the city achieve nearly zero fossil fuel consumption by 2040. At the same time, it recognized the challenges of complete phase-out of fossil fuels for the shipping and aviation sectors as areas for additional focus and future improvement, due to existing challenges with limited jurisdictional authority and limited alternative fuels.

In comparing the policy experiences of developed countries who have peaked their oil consumption, as well as subnational policies focused on significantly reducing oil consumption, it can be seen that China has already adopted some of the international

policy lessons while other policies are not directly applicable. For the transport sector specifically, because China has already significantly improved vehicle energy efficiency, managing future transport demand growth will be key to curbing rising oil consumption. Beyond existing policies, China could consider adopting land-use planning changes to promote non-motorized transport in newer cities, congestion pricing to concurrently reduce air pollution, and behavior-oriented programs such as incentives for commuting using public or non-motorized transport and telecommuting. Besides controlling transport demand growth, China has already emphasized the development of non-food based biofuels, including cassava, corn stalks and wood chips, but its potential in displacing oil and oil products is limited by arable land availability.

Based on the lessons and best practices learned from international policy experiences and China's current situation, some policy recommendations can be made specifically for China to reduce its oil consumption over the short-, medium-, and long-term, including:

- Short-term: progressively improve fuel efficiency standards to reach international best practice levels, encourage second- and third-tier cities to offer preferential policies and programs for public transit and non-motorized transport through land-use planning and integrated transport management, consider higher gasoline consumption tax, consider higher taxes for non-New Energy Vehicles and incentives or regulate retirement of old vehicles to speed up fleet renewal and accelerate transport electrification.

- Mid-term: adopt higher level targets such as CO_2 emission reduction targets or specific oil reduction targets for the transport sector, consider a carbon tax on transport sector, increase R&D investment for alternative fuels

- Long-term: CO_2 emission standards for trucks and trailers, improve freight logistics planning and management, fees or bans on consumer plastic use or requirements for recycled plastic use

引言

随着中国努力实现2030年每单位GDP强度降低40-45%二氧化碳排放量的目标（与2005年水平相比），减少国内煤炭和石油消费将是国家能源战略的两个关键支柱。虽然中国已制定了强制性目标，即在最近的“十三五”能源发展计划中，到2020年将总能源消耗的煤炭份额降至58%，但尚未明确制定任何旨在减少石油消耗量的目标。尽管中国对乘用车的燃油经济性标准相对严格，并且作为了对货运卡车设定了燃油经济性标准的四个国家之一，国际能源署（IEA）的2017年《世界能源展望》发现如果没有采用其他新政策，中国仍可能成为2020年世界上最大的石油的进口商。减少中国石油消费的主要挑战包括工业部门对石化产品以及客运和货运活动需求的快速增长。

鉴于这些挑战，2018年初油控研究项目启动，自然资源保护协会（NRDC）和能源基金会中国（EF China）作为项目协调单位。 在最新的能源建模展望研究中，我们重点关注了全球石油供需趋势的国际评估和分析，以及降低和达峰石油消耗的国际政策和最佳实践，以此作为中国石油达峰项目的组成部分，用以支持中国的政策决策。

这项研究报告的目的在于综合回顾与分析其他国家在石油消耗和相关政策决策方面的经验。 政策分析还旨在通过利用国家、地方政府以及当地政策中的全球最佳实践来减少石油消耗，以及通过成功案例研究可量化的影响，来促进制定政策建议，帮助中国实现其近期减少石油消费的路线图。

这项研究和分析基于对同行评审的期刊论文和报告进行的综合的文献综述，这些论文和报告借助计量经济学、统计分析法分析了历史石油消费趋势和影响因素，并且对关键石油消费国的历史宏观经济变量和石油消费趋势的原始数据进行了收集和分析。

本报告重点介绍了国际评估的的主要结论，报告机构如下：第二部分侧重于评估国际历史石油消费趋势背后的因素，第三部分侧重于对近期石油市场发展的分析，第四部分侧重于回顾控制石油消费的国际政策，第五部分侧重于回顾交通部门政策和案例研究，第六部分侧重于对中国的政策建议，第七部分总结了主要分析结果和未来研究方向。

1

国际石油消费的历史趋势：全球趋势及石油峰值因素分析

1.1 石油消耗和峰值的区域趋势

如图 1 所示，从 1965 年到 2017 年按国家和地区查看国家石油消费数据，只有少数几个发达经济体的石油消费达到了确定的石油峰值，而“转型经济体”尚未达到确定的石油峰值。

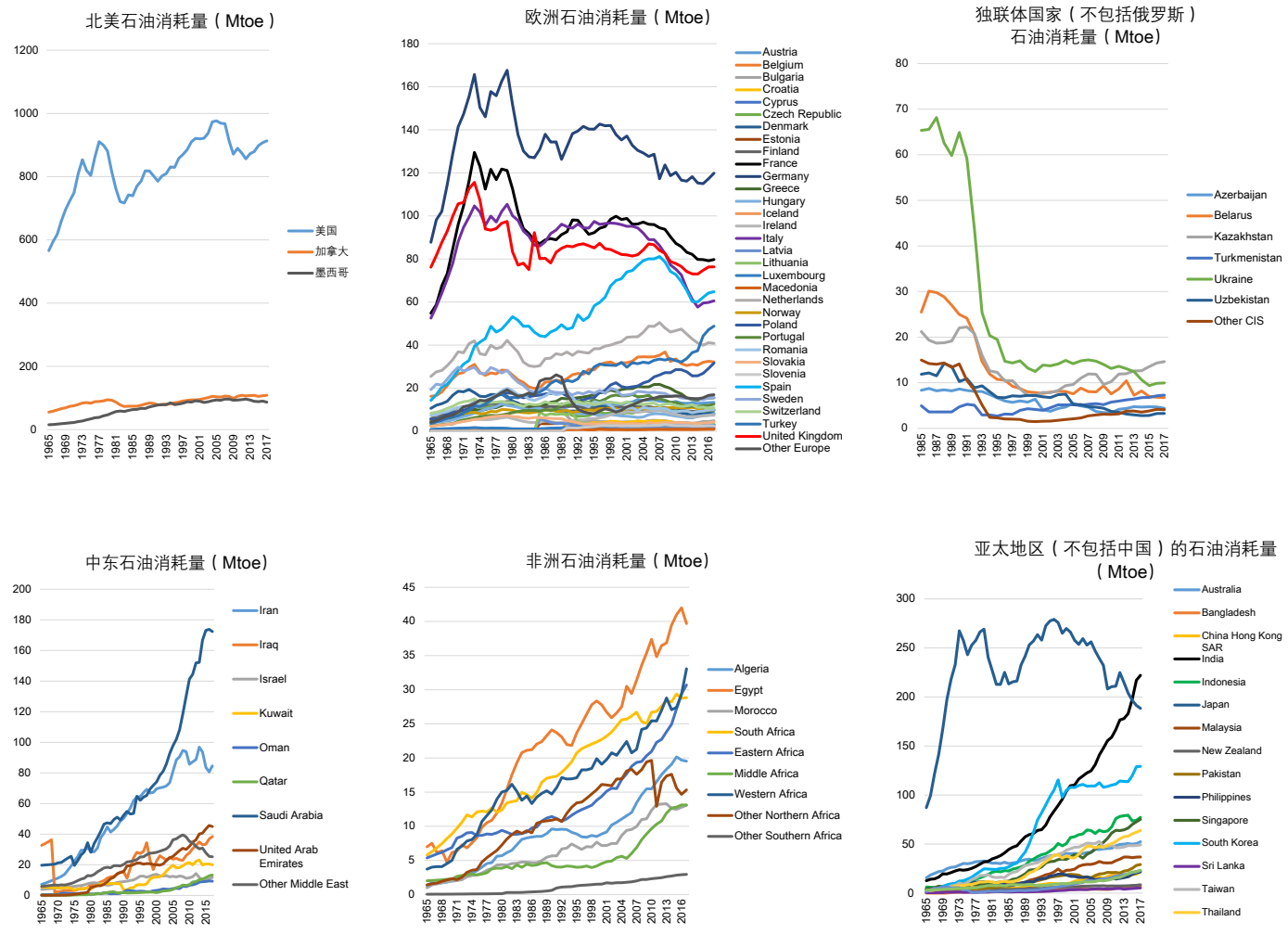


图 1. 按区域和国家分的全球石油消耗趋势

来源：BP, 2018

在北美地区，由于 1973 年石油禁运（第一次石油危机）和 1979 年伊朗革命后油价急剧上涨，美国在 20 世纪 70 年代达到了石油峰值。20 世纪 80 年代初的严重衰退导致石油需求普遍下降，而较高的价格加速减少了直接燃烧燃料油的做法。随着经济在 20 世纪 80 年代中期出现反弹，石油需求重新开始上升，并在 1991 年经济衰退时期和 20 世纪 90 年代后期互联网泡沫破灭后有小幅波动。2008 年 9 月出现的最新一次的石油峰值是由经济大衰退带来的，这是美国自 20 世纪 30 年代大萧条以来经历的最严重衰退，伴随持续的高昂油价（超过 100 美元 / 桶）。 2012 年之后石油需求随经济而反弹，并随着 2014 年油价大幅下跌而加速上升。虽然需求尚未达到前期高峰，但需求仍然上涨。

在其他五个地区，只有德国，法国，英国，意大利，西班牙，荷兰和日本在 1980 年以后出现了石油峰值和下降，在 2014 年石油价格下跌后出现小幅反弹。这些发达国家石油峰值背后的可能驱动因素在将本报告第 2.4、4.3 和 4.4 章节中进一步探讨。日本是亚太地区唯一与这些趋势平行的国家，其初始峰值是石油退出发电（被液化天然气替代），第二个峰值正好随着经济在 20 世纪 90 年代中期崩溃并进入长期停滞。在第 2.4、4.3 和 4.4 章节中进一步讨论了提高车辆效率和其他减油政策以及社会结构变化都会导致油耗持续下降。

在亚太地区，由于亚洲金融危机后，韩国石油需求趋势的坡度发生明显变化，因此也值得注意。这也标志着在发电部门中，高硫燃料油被液化天然气取代。这一趋势始于 1988 年首尔奥运会，当时天然气被推广为实现空气清洁的一种方式。 尽管在 20 世纪 90 年代末至 2010 年初期间石油需求急剧放缓，但由于石化产品的新需求和核电发电容量的临时关闭，韩国石油消费在 2014 年至 2017 年间恢复了快速增长，如第 1.4 节所述。因此，韩国的石油消费尚未达到确定的峰值仍继续上升。

非洲还没有一个国家已经实现石油峰值。 在中东，表面上看伊朗的石油消费似乎达到了峰值，然而这不是政策驱动，而是全球制裁导致其经济衰退的结果。 独联体国家的石油消费规模太小，因此难以评估石油消费可能的峰值趋势，对中国也可能有很少甚至没有任何经验教训。

1.2 石油在全球能源消费中的作用

利用所有主要经济体的全球数据，我们还研究了石油在不同国家的国家能源消费趋势中的作用，特别是石油消费与一次能源消费之间的关系。 图 2 显示了按国家分 2017 年石油在一次能源消费总量中的份额。

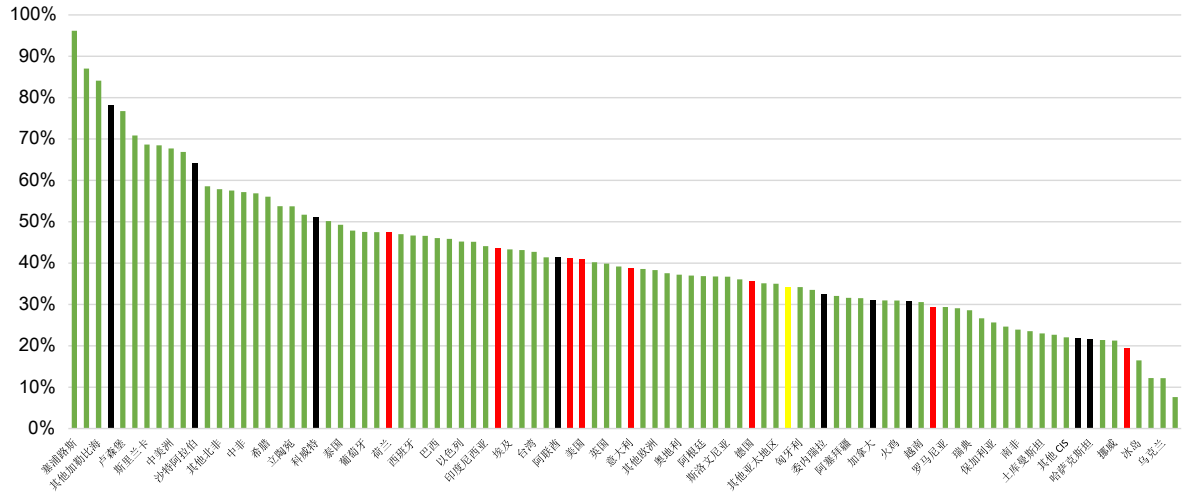


图 2. 按国家分石油占一次能源消费总量的份额（2017 年）

来源：BP，2018

注：黑色条表示主要石油出口国，黄色条表示全球平均值，红色条表示主要石油进口国。

根据这些数据，我们发现石油消费与一次能源消费之间没有明显的关系。各国间的石油份额差异很大，从塞浦路斯 96%的高份额到乌兹别克斯坦 8%的低份额。 主要石油出口国之间的石油和一次能源消费之间也没有明显的关系，尽管中东石油出口国的石油份额往往高于其他出口国。 在经合组织中，石油进口国的石油份额往往在 36%至 47%之间，高于全球平均值 34.2%，而印度（30%）和中国（19%）明显低于全球平均水平。

在研究各国一次能源消费石油强度的时间趋势时，我们发现全球一次能源消费的石油强度从 2000 年到 2017 年下降了 5.4%。图 3 中显示了该时期各国石油强度的具体变化情况。以红色显示最大的石油消费国，从 2000 到 2017 年，美国的石油强度几乎持平，为 0.1%，加拿大为 -0.1%，沙特阿拉伯为 -0.3%，但俄罗斯的增幅为 1.4%。在主要的石油消费国中，只有日本的 -9.7%和韩国的 -12.1%的石油强度下降速度超过了世界平均水平。

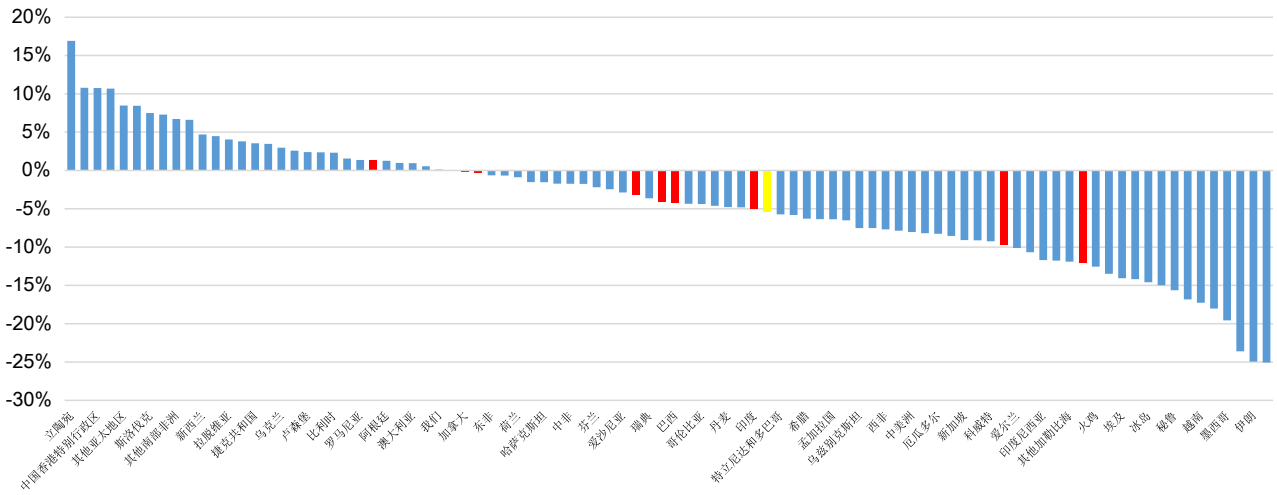


图 3. 各国一次能源的石油强度变化（2000-2017 年）

来源：BP，2018

注：红色条表示最大石油的消费国，黄色条表示全球平均变化值。

此外，我们还研究了 2000 年和 2005 年在所选的经合组织国家中，石油和天然气在石化原料中的作用，以了解石油作为石化原料的潜在变化趋势。下图 4 显示了 2000 年和 2015 年在主要经合组织国家中，石油化工行业的石油和天然气用量占石油和天然气总消费量的比例。从这一分析可以看出，在法国，非能源使用的石油和石油液体的增长速度快于其石油总消费量的增长速度，而且由于石化产品出口，石脑油的需求增加，日本和韩国的石油和石油液体增长最快。对日本而言，石油消费总量正在下降，但其工业原料所用得石油消费量持续上升。对于韩国而言，如第 1.4 节所述，由于国家情况的变化，石油消费量在过去十年中出现波动，但其工业原料所用的石油消费量也稳步上升，以满足亚洲塑料出口的增长。从时间上看，只有德国的天然气用作工业原料的比例有所增加，石化产品的石油用量略有下降。这些趋势突出了发达经济体继续使用石油作为石化原料。

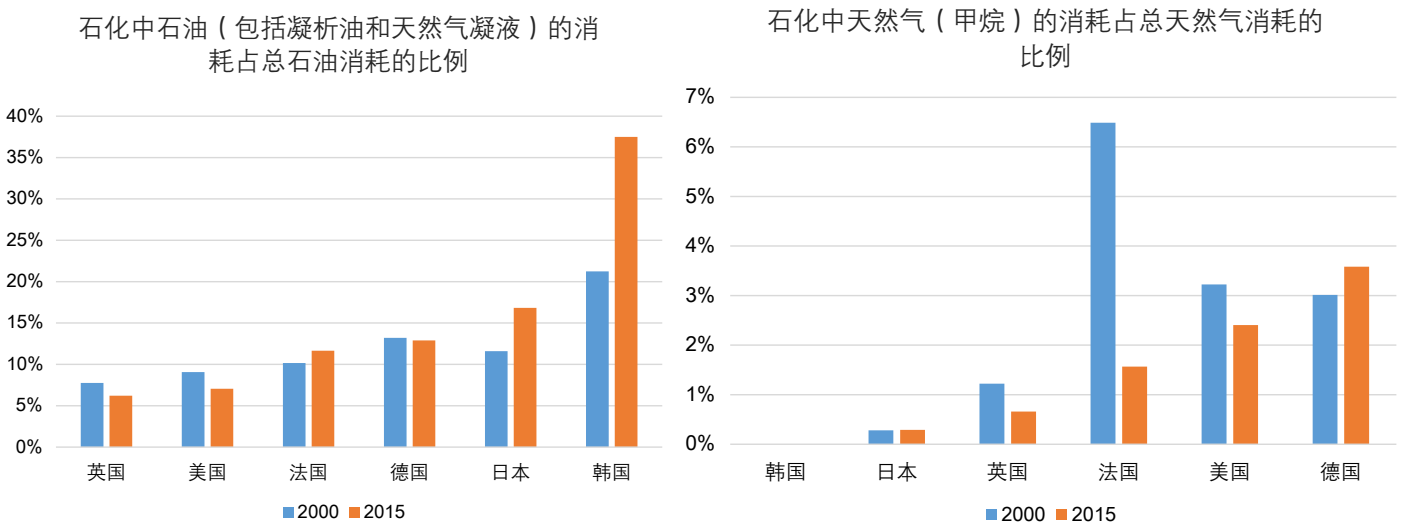


图 4. 所选经合组织经济体中石油化工产品中的石油和天然气用量占其 2000 年和 2015 年的总燃料消耗的比例

来源：BP，2018 年和国际能源署《世界能源平衡表》，2017 年

1.3 地缘政治事件和石油生产受到的冲击

在研究了不同地区各国的石油消费大趋势之后，我们将重点关注所选的主要石油消费国，并研究产生石油峰值的历史因素。下面的图 5 显示了从 1965 年到现在主要石油消费国（不包括中国）的历史石油消费趋势。美国过去和现在都是最大的石油消费国，石油消费量明显高于其他经合组织国家和发达国家。从这个跨国比较中可以看出，对于多个国家来说，石油消费量的上升和下降都有相似之处。这可以追溯到几个直接影响石油生产和全球石油价格的重大地缘政治事件。首先，20 世纪 70 年代初美国、日本、德国、法国和意大利的石油消费峰值和下降与石油输出国组织（OPEC）1973 年至 1974 年的石油禁运时间相对应，这也称为第一次石油危机。1975 年之后石油消费量再次上升，直到 1978 年至 1979 年的伊朗革命和 1979 到 1981 年的两伊战争后，石油生产受到冲击，第二次石油危机中的油价不断上升，因此 20 世纪 80 年代出现第二次高峰和石油消费量急剧下降（Hamilton，2012）。在 1980 年代后期，美国经历了第三个小高峰，并在 1990 年代初期出现石油消费量下降，这与 1990 年开始的海湾战争的时间相对应。

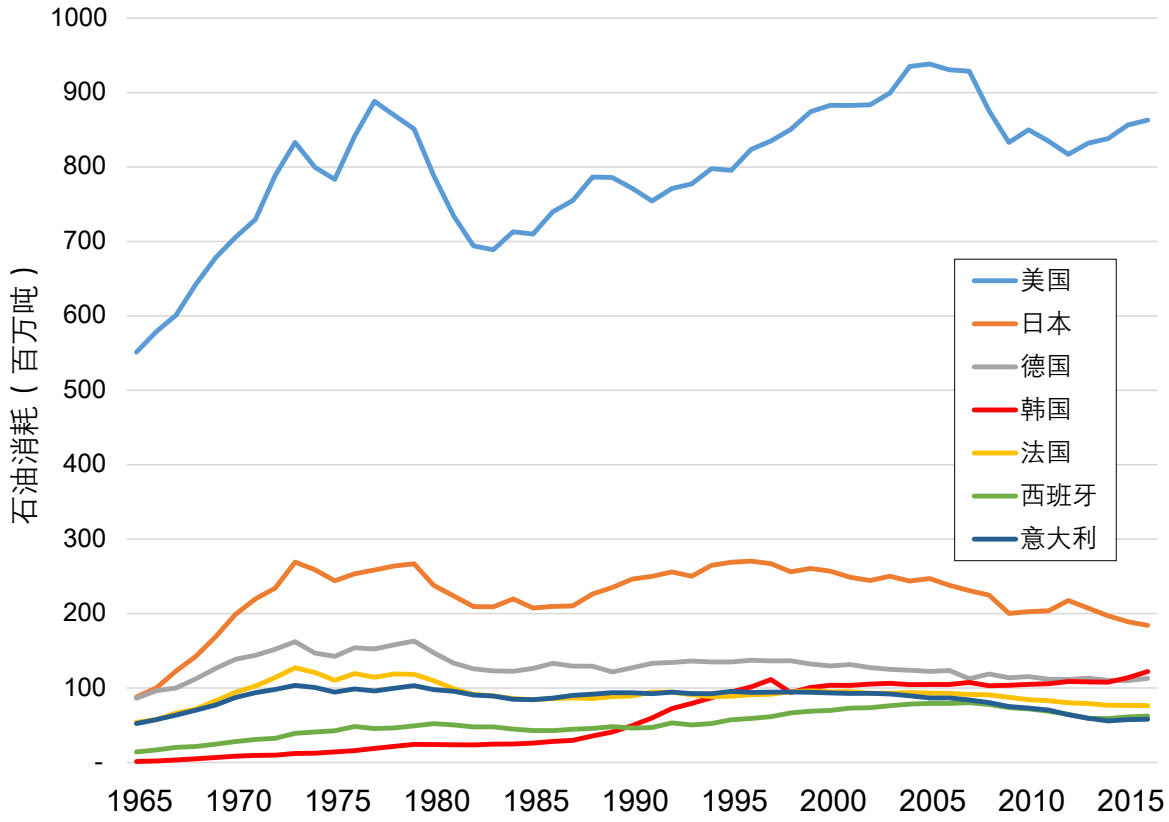


图 5. 主要经济体的历史石油消费量（1965 - 2016）

来源：BP，2017 年

在这些地缘政治事件中，世界石油产量下降了 4-9%（Hamilton，2012 年），与之相应的是 20 世纪 70 年代到 1980 年油价的相应大幅上涨，如图 3 所示。一方面，经济分析显示石油价格冲击不仅通过产生价格不确定性影响消费者支出，而且还可能通过对汽车制造业和劳动力市场的连锁反应产生更大的影响，甚至关联到商业周期和经济衰退（Hamilton，2012）。这一点可以从最近美国和全球经济衰退时，第三次石油危机期间的原油价格从 2000 年初的上升到 2008 年的高峰期间可以看出这一点。

然而，研究发现（Wang, 2013），可能存在影响消费者如何应对油价变化的阈值。低于给定的阈值，油价上涨可能会减少消费，因为消费者最初在面对不确定性时推迟支出。然而，持续的价格上涨，超过特定的门槛值，会导致个人消费支出增加，最终导致整个经济体的通货膨胀。换句话说，如果价格上涨可以通过人口购买力的增加来抵消，那么石油消费可能不会随着油价上涨而下降。对美国、中国、日本和印度的宏观经济和石油消费数据进行研究发现，在其他条件相同的情况下，原油价格上涨 1%相当于油耗下降

0.18%（Das 等，2014）。然而，具体的国家石油消费模式不取决于同样的因素，因为石油需求可能受到特定区域政治、文化、品味和偏好、技术进步、消费和储蓄模式的影响。

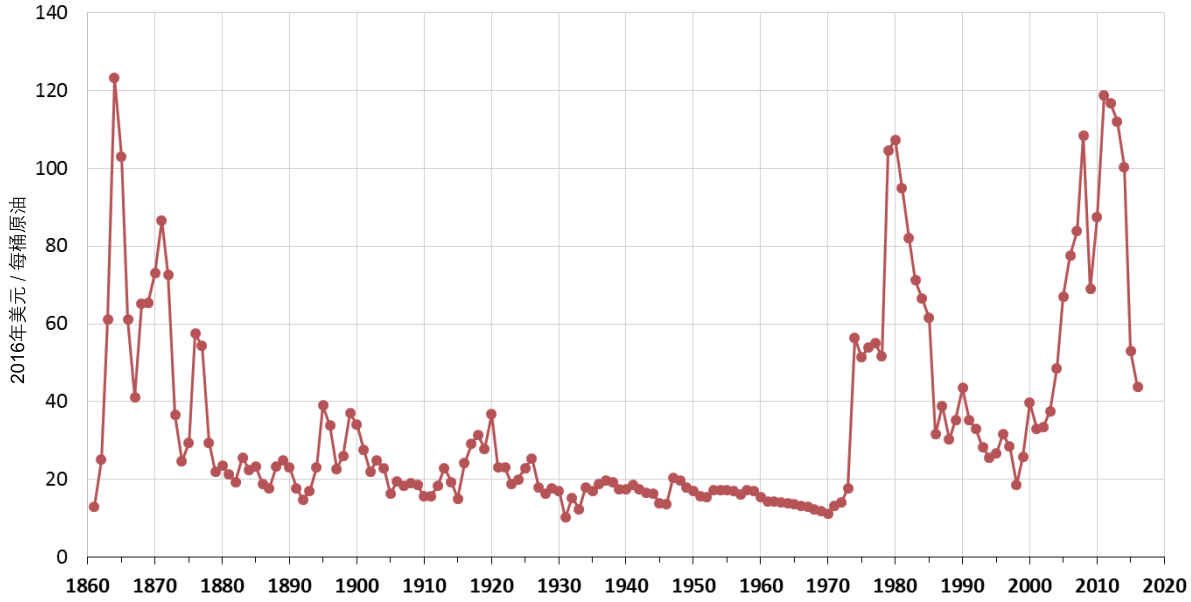


图 6. 原油价格（2016 年美元 / 桶）（1861-2016 年）

来源：BP，2017 年

1.4 国家宏观经济、社会和政治趋势

除了地缘政治和石油价格冲击之外，GDP 增长，人口增长和城市化趋势的基本宏观经济驱动因素对不同国家石油消耗方面的影响更不相同。研究(Das 等人，2014 年)发现，2014 年发现，与人口和石油价格相比，石油对 GDP 的弹性更高。在其他条件不变的情况下，GDP 增长 1%带来了石油消费增长 0.93%，而人口增长 1%导致了石油消费增长 0.33%。这表明收入水平的变化对石油消费的影响最大。

在探索主要石油消费经济体的最新数据时，也可以看到石油对 GDP 和人口的弹性程度。表 1 比较了 2008 年至 2016 年各国石油消费，GDP 增长，人口增长和主要经济体城市化率的年均增长率。

表 1. 主要经济体石油消费年均增长率与宏观经济参数比较 （2008 - 2016）

年平均增长率，2008-2016	美国	日本	德国	法国	韩国	西班牙	意大利
石油消费量	-0.18%	-2.45%	-0.63%	-2.14%	2.14%	-2.73%	-3.98%
国内生产总值增长	1.32%	0.41%	1.09%	0.58%	3.10%	0.00%	-0.77%
人口增长	0.76%	-0.10%	0.06%	0.48%	0.55%	0.14%	0.38%
城市化率	0.21%	0.69%	0.27%	0.30%	0.13%	0.29%	0.19%

来源 : 根据 BP（2017 年）和世界银行 2018 年的数据计算。

如表 1 所示，从 2008 年到 2016 年，西班牙、意大利和德国的石油消费均经历了负的年均增长。这意味着西班牙和意大利的 GDP 增长接近于零或负增长，而德国的 GDP 增长为正，但人口增长非常缓慢（接近于零）。特别是西班牙，在 2011 年 3 月在交通部门采取了永久性以及临时性的措施来减少燃料消耗，以应对全球油价的上涨，因为高油价给西班牙的国际收支带来了压力，因为该国正集中精力降低其借款要求（Asensio et al. 2014）。这些政策包括提高运输燃料的生物燃料含量要求，降低公共交通票价，以及降低国道的最高限速，这些将在下一节进一步讨论。历史上，德国的零售汽油税也非常高，为每加仑 3.43 美元（每升 0.91 美元），并且受到欧盟地区相对严格的燃油经济性标准的约束，如图 7 所示（Craighead and Manzo, 2017）。

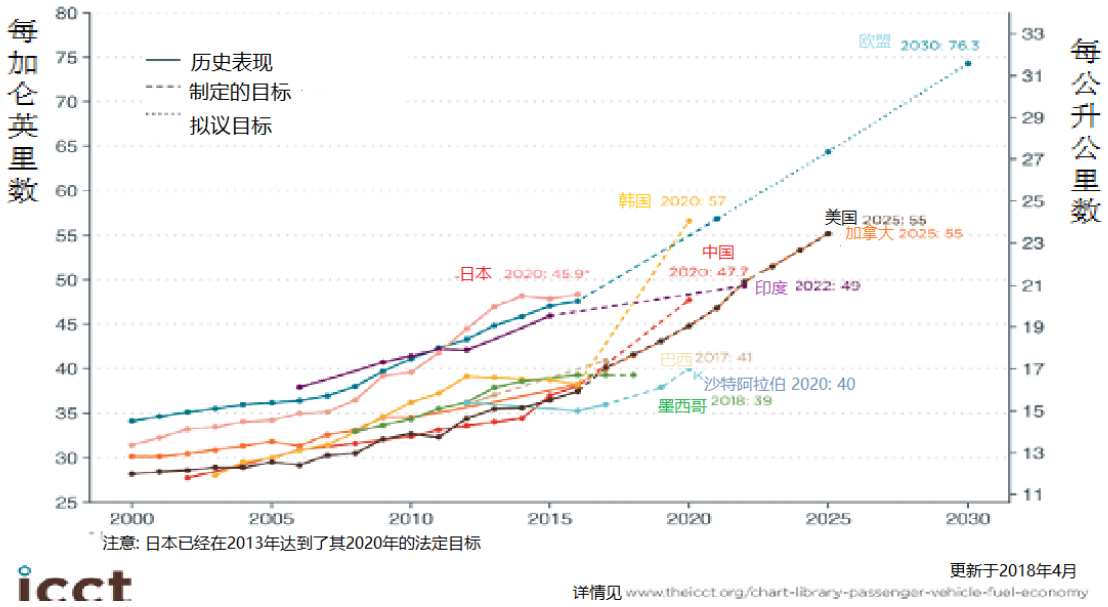


图 7. 乘用车燃油经济性标准目标的国际比较

来源：国际清洁交通委员会（ICCT），2018 年

在此期间，法国和日本的平均 GDP 增长率也为正，但石油消费均出现了相对显著的负平均增长率（即下降）。美国在这一时期也经历了 GDP 的正增长，但石油消费的变化很小，平均每年下降 0.2%。

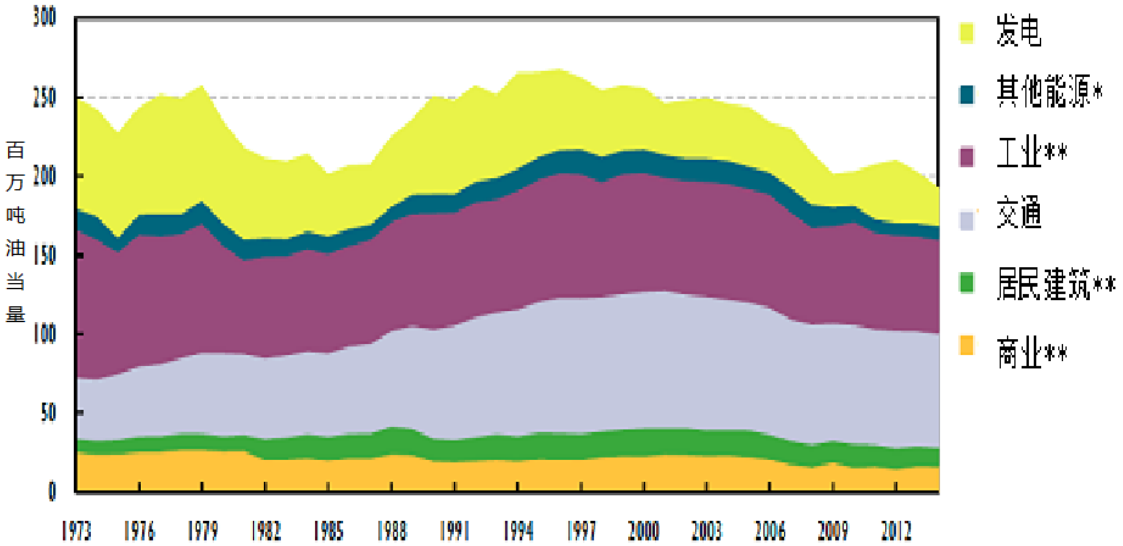
对法国来说，石油消费的持续下降是一个长期的历史趋势，即从煤炭和石油转向核能、天然气，以及最近采用更多的可再生能源。1973 年第一次石油危机之后，法国政府启动了民用核项目，以减少法国对中东石油的能源依赖。目前核能占法国全国发电的绝大部分（Planet energy 2018）。1973 年至 2015 年间，法国石油消耗量下降了 35%，天然气消耗量增加了两倍，供应从国内生产扩大到挪威、阿尔及利亚和俄罗斯等国际供应商。2015 年，法国通过了《2015 年 8 月 17 日绿色增长能源转型法案》，为减少温室气体排放和化石燃料消费，同时增加可再生能源，制定了国家和行业特定的政策方向（见 2.1 节）。

韩国是一个特例，在过去十年间，由于很高的 GDP 增长率，正的人口增长率及宽松的燃料经济标准，其石油消耗一直处于增长状态。由于减少了在发电厂及工业中的石油使用，以及交通工具效率的提高，韩国的一次能源消耗中石油及液化气的占比从 20 世纪 90 年代中期的 66% 下降到 2017 年的 44%（EIA，2018）。在过去的二十年间，韩国石油消耗也有过明显的下跌，例如在亚洲金融危机以及 2008 年的全球金融危机。然而，在 2014 至 2017 年间，石油需求急剧增长，主要是因为交通运输中的低油价，

更多的化工企业中使用了更多的液化气和石脑油，以及由于核电厂的暂时关闭造成发电厂中使用更多的重油。2017 年后，由于油价上涨及核电厂的重新开放，石油需求增长逐渐放缓。

预计，由于需要生产更多乙烯以满足亚洲不断增长的对塑料的需求，石脑油将会成为未来增长的驱动力， 而且已经在总石油产品需求中占到了 41% 的最大份额（EIA，2018）。然而，在石油化工企业外，韩国还有其他因素来适度限制长期性的石油增长，包括人口增长速率的降低，人口老龄化，提高效率，增大石油与其他燃料的竞争程度等。韩国能源部颁布了《2017 年第 8 项电力供应与需求基本计划》，计划于 2018 年 7 月起，限制燃煤及燃油电厂的使用，推广可再生能源，从而降低温室气体排放以及细灰尘颗粒污染。

日本也是一个特例。自 1995 年以来，尽管其年人口增长率和 GDP 均为正，日本的石油需求一直稳步下降。在日本的交通和制造业中，石油占比从 1970s 的 80% 降到了 2014 年的 50%（Das 等人，2014）。然而，日本主要的石油需求来源于进口，而且日本是最大的石油产品净进口国，2015 年为 2500 万吨。尽管相比于 2005 年水平，下降了 37.8%。2014 年，日本石油消费中，交通运输占比最大，为 37.5%，工业（包括石油产品作为原料使用）占比第二，为 30.9%，如图 8 所示。其他燃油部门包括发电、公共服务、农业、居民、精炼厂以及自身消耗（IEA, 2016）。



注：按行业划分的一次能源供应总量

* 其他能源包括炼油厂和能源自用

** 工业包括非能源使用

*** 商业包括商业和公共服务，农业/渔业和林业

来源：IEA(2016a)，经合组织国家的能源平衡，www.iea.org/statistics/.

图 8. 按行业划分的日本用油量

来源：国际能源署，2016 年

尽管 GDP 持续增长，第一次石油危机及社会结构变化后，由于不足的石油资源及能源安全关切，日本的能源政策导向新能源的发展，导致新能源相关技术的进步。这决定了日本的石油消费状态。1999 年，日本的燃料需求达到峰值。从那以后，由于一系列减少燃料消耗的政策出台，日本燃料需求开始逐渐下降，这些政策包括加强核电发展，禁止新建重油发电厂，对减少重油 HFO-B 和 HFO-C 消耗的发电厂及其他工业企业，提供液化气价格优惠。从 2013 年到 2014 年，HFO-B 和 HFO-C 的消耗下降了 17%，其中对十个发电公司的销售量减少了 22%（PAJ 2015）。实际上，日本的重油需求已经稳定下降 30 年了，只是部分的被石脑油、汽油及煤油等轻石油产品的上涨需求所抵消，如下图 9 所示。过去五年中，对石脑油的更高需求可以归因于石油化工产品出口增加，伴随机场基础设施发展的航空煤油需求增加，以及日本东部大地震后的灾区重建导致的柴油燃料需求增加。

■ 原油产品（燃料）日本国内需求趋势

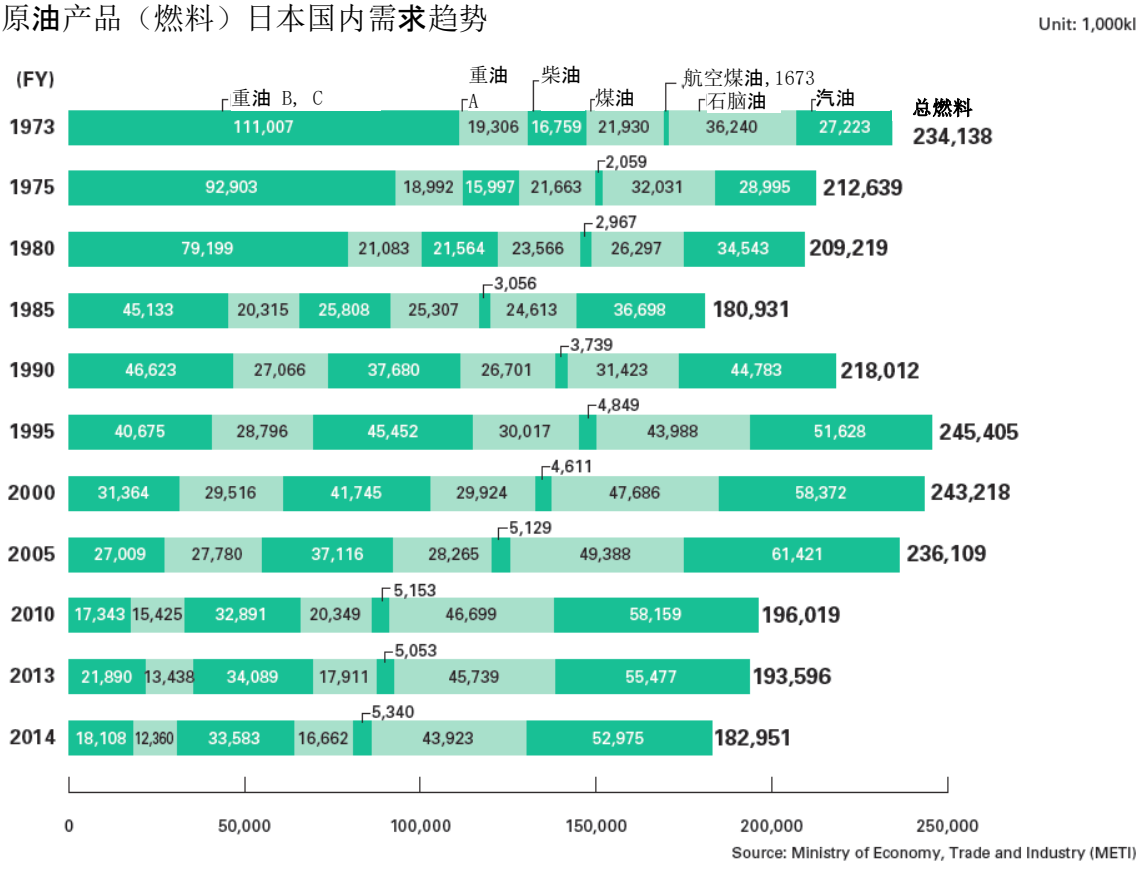


图 9. 选定年份的日本石油产品需求构成

来源：PAJ 2015

此外，自《京都议定书》后，日本为了应对气候变化而制定的国家政策促进了交通运输及其他终端用户部门的能效大幅提高，这反过来降低了石油需求。例如：日本的汽油零售价格在发达国家中是最高的之一，其中含有相对较高的每升汽油征收 $0.53 的税，同时也建立了世界上最严格的燃油经济性标准之一（Craighead and Manzo, 2017）。实际上，日本在生产高效交通工具方面的快速进步使得其在 2013 年即实现了 2020 年的法定燃料经济目标 (ICCT, 2018)。

最后，日本的社会结构变化也促进了国家结构性的石油消费下降。这些结构变化包括由于低生育率导致的人口下降，老年人口比例的提高，由于消费者减少而物流业萧条，以及年轻人的汽车持有率更低 (PAJ, 2015)。

日本预计因为政策因素其石油消耗将继续下降，这些政策包括更严格的燃油经济性标准，从石油向天然气（如发电行业）和电力的燃料替代，以及人口下降和社会变化因素。

其他政策对石油消费趋势以及对可持续永久性的减少石油需求的作用，将在下一个部分进一步探讨。

1.5 石油达峰因素总结

对几个经历了石油消费峰值的国家分析，有助于识别达驱动石油消费到达峰值的关键因素，以及不同的机构和利益相关方在其中所扮演的角色。表 2 中列出了对这些因素及相关方的总结。

表 2. 国际历史石油峰值中的关键因素及相关方

	政府	市场	社会 / 公众
经济		全球 / 区域性经济衰退例如：2008 年世界及亚洲金融危机；GDP 增幅放缓 例如：2008-2016 年以来西班牙及意大利 GDP 的负增长	
政治	地缘政治冲突 例如：1978-1979 年的伊朗革命，1979-1981 年的两伊战争，1990 年开始的海湾战争。		
石油供应	由于重度依赖进口石油产生对国家能源安全的担忧。 例如： 法国和日本转移石油消费的动机	由于石油供应 / 生产终端导致的价格波动 例如：OPEC 的石油禁令（1973-1974），伊朗革命后（1978-1979）	
环境	为达成环境目标的政府总目标 例如：CO2 减排目标，法国的能源过渡法案。	通过高汽油 / 柴油税将石油消费的外部效应内部化 例如：德国、日本。	
行为变化			汽车持有率的饱和；转向公共交通或非机动交通的文化；物流需求的减少。 例如：日本。
人口统计			人口增长降低，人口老龄化。 例如：日本，德国，西班牙。

如表 2 所示，因为参与机构和相关方之间有紧密联系，许多驱动因素之间有重叠。

如早期的石油危机所表明的，地缘政治冲突可以触发多种驱动石油消费达峰的因素，包括因为全球或区域性石油生产供应而产生的连环效应导，价格飙升，经济萧条，有时还会导致永久性的政策变化，帮助实现石油需求的持续降低。我们发现在大多数情况下，由于其他驱动因素而产生了石油消费的大幅下降，从而产生了相关的政策变化，而这些政策与计划反过来帮助保持石油消费的降低。在第三和第四部分中将进一步展开分析减少石油消费和帮助保持历史石油峰值政策的关键驱动因素。

2

全球石油市场的现状及新挑战

基于石油消费和降低的国际历史经验，我们评估了全球石油市场的现状和面临的最新挑战，以及其对中国实现石油峰值并持续保持的影响。

2.1 当前国际石油形势和渐长的供应不确定性

近几年的油价较低但有缓慢上涨态势，国际石油市场已进入价格波动期。这种波动主要来源于全球最大的石油生产国的相对权力的转变，以及由于工业界多年资本支出下降而增加的未来生产前景的不确定性。 从 2014 年的 5300 亿美元的高点来看，2018 年全球石油勘探和生产的资本支出估计下降到 2860 亿美元（Bousso 2018）。正如国际能源署一再提醒的那样，勘探和生产投资不足可能导致未来石油供应的短缺。

然而，自 2005 年以来，现有油田的持续枯竭已使 20 多个国家的油产量长期下降，2018 年的产量低于 2005 年的水平（图 10）。虽然其他 30 多个国家石油产量的增量可以抵消这些下降（例如中国，经历了产量的峰值和下降，但石油产量仍然高于 2005 年的水平），但总体而言，如图中红色虚线所示，这 30 个国家中 28 个国家的增量只能抵消其他 20 个国家的下降量。尽管全球石油产量自 2011 年以来已增加至超过 8000 万桶 / 日，但这一增加的产量完全来自于美国和伊拉克的新增产量，图 11 更清楚地说明了这一点。因此，世界市场的前景在很大程度上取决于美国致密油的前景以及伊拉克的常规原油产量，伊拉克目前已经以最大产能运营并需要额外投资。

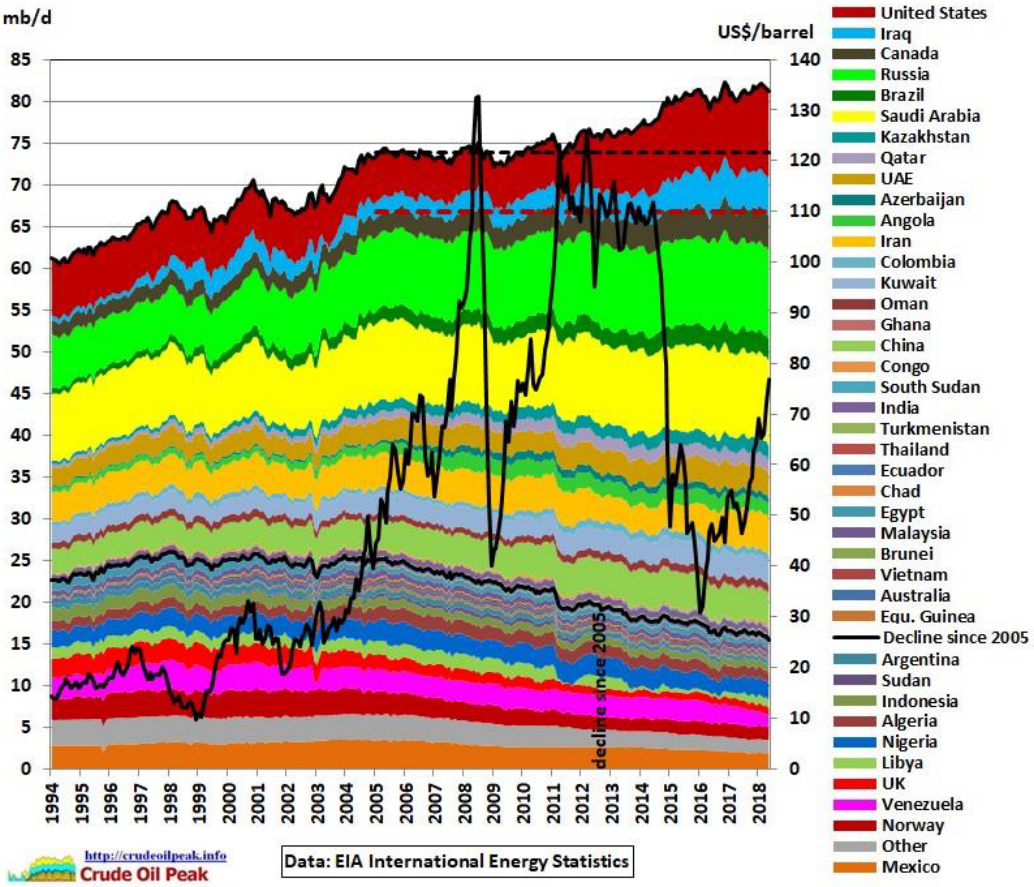


图 10. 截至 2018 年 5 月的世界原油产量，仅包括原油

注：所示数据仅包括原油，不包括冷凝油和液化天然气

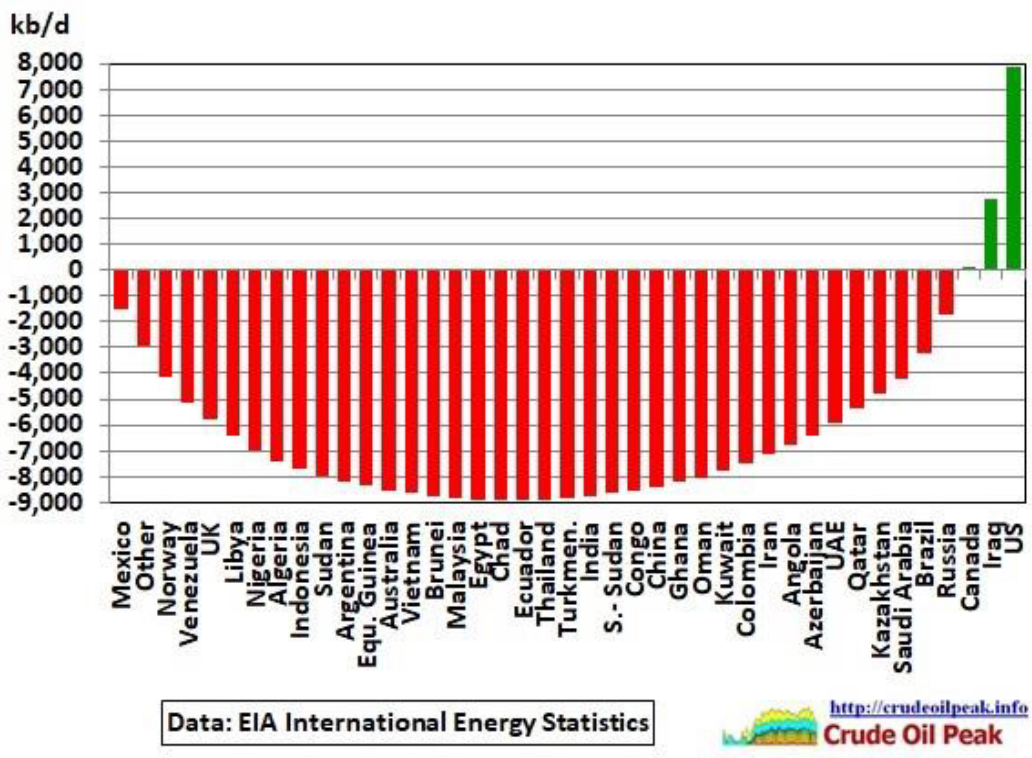


图 11. 2005-2018 年累计原油产量变化

这也反映在国际能源署 2019 年对全球需求的预测中（图 12），到 2025 年，世界石油供应需要美国致密油产量增加约 1300 万桶 / 日，才能持平全球需求的整体增长，而这超过了沙特阿拉伯的全部产量。然而未来美国致密油开采的扩张仍然存在很大的不确定性。

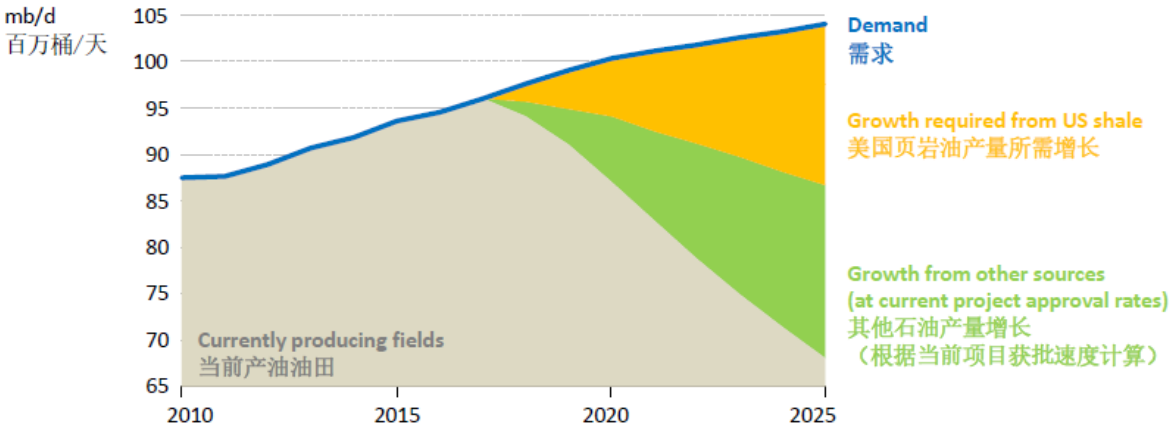


图 12. 全球石油展望，2010-2025

来源：2018 国际能源署，《世界能源展望 2018》

美国能源信息署乐观地预测美国致密油的产量持续增长，然而，并这不支持国际能源署的假设。在美国能源信息署的预测中，美国 2019 年致密油预计产量为 760 万桶 / 日，2030 年预计产量将达到 1020 万桶 / 日，或仅为 260 万桶 / 日，远低于满足国际能源署预计的需求水平的额外产量。

即使这一预测也可能是对该期间储备增长和累计产量的基本假设持乐观态度的。如图 13 所示，2017 年，美国拥有 420 亿桶探明石油储量，其中 200 亿吨是致密油。然而，美国能源信息署的预测包含的假设是，到 2050 年有 1120 亿桶致密油的累计产量，而这需要探明储量增加 6 倍，这是前所未有的。这种储备增长水平反过来要求每年增加 120 至 150 亿桶的新储量，直至 2050 年，而这远高于美国储备增长的历史速度。

2017年美国石油储量达420亿桶，为历史最高，这意味着美国石油储量要进行调整，因为致密油储量预测是基于产量预测

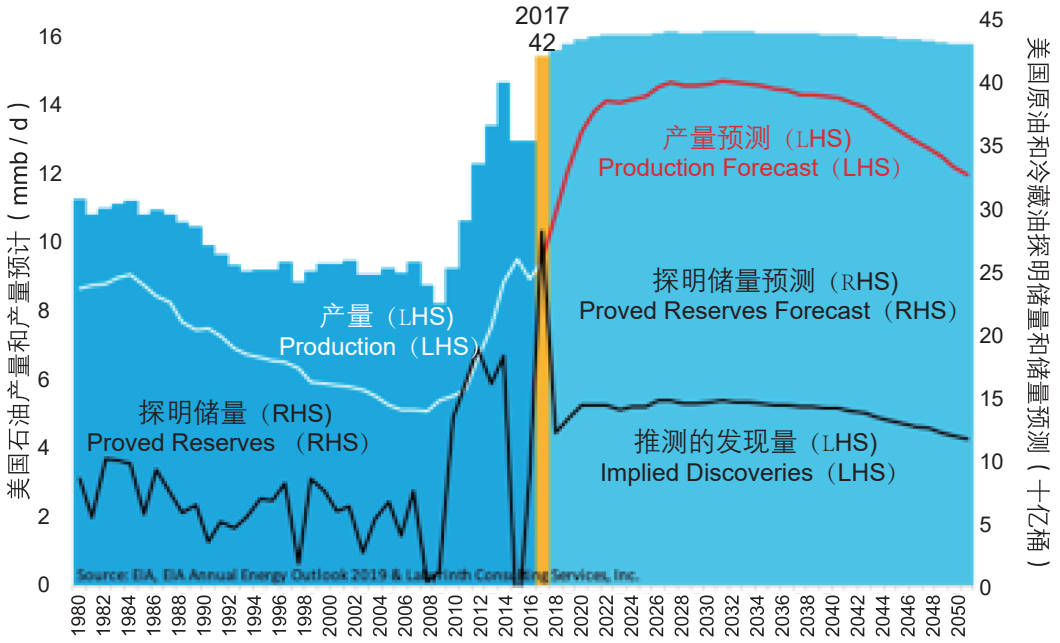


图 13. 1980-2050 年美国石油产量和预测以及探明储量和预测

此外， 2011 年以来致密油行业的快速增长主要依赖于近零息贷款来为资本支出提供资金。由于致密油开采成本较高，初始产量下降速度快，以及需要维持的高数量的钻井作业，因此出售致密油的收入远低于为其增长提供资金的借款。如表 3 所示，尽管 2014-2016 年的价格暴跌导致了高效，但到 2018 年主要致密油勘探和生产公司的自由现金流仍然为负值。

表 3. 2016 年至 2018 年美国石油勘探和生产公司的自由现金流量

	2016 Q1	2016 Q2	2016 Q3	2016 Q4	2017 Q1	2017 Q2	2017 Q3	2017 Q4	2018 Q1	2018 Q2
经营性现金流	2,384	6,735	8,713	8,273	9,711	9,089	10,114	12,393	13,635	1,656
资本支出	(11,488)	(9,125)	(9,802)	(14,453)	(13,327)	(12,714)	(15,226)	(15,276)	(14,596)	(19,484)
自由现金流	(8,655)	(2,388)	(1,091)	(6,182)	(3,615)	(3,624)	(5,111)	(2,885)	(957)	(2,920)

单位：百万美元

来源：能源经济与金融分析研究所，2018 年 10 月

在当前利率上升的时代，致密油生产商继续获得和历史水平持平的借款能力受到了质疑。基金经理也一直在推动生产商更多地关注盈利而不是扩大生产。因此，尽管全球石油需求依赖于美国产量的扩大而持续稳定增长，但致密油产量的快速历史增长速度可能会在 2019 年大幅下降。正如国际能源署所警告的那样，如果没有足够的投资以及美国致密油扩张程度没能达到预期，全球范围内可能会在 2020 年或一年后再次出现供应冲击和价格大幅上涨的情况。

2.2 “维也纳集团”或“OPEC+”在全球石油市场上的实力扩张

2016 年 11 月，OPEC（石油输出国组织）与包括俄罗斯，墨西哥和哈萨克斯坦在内的 10 个非 OPEC 国家签署了合作协议，共同控制全球 55%的石油产量和 90%的已探明石油储量。虽然该集团的建立表面上是为了带来市场稳定性和透明度，但其当前的任务是抵消不断增长的美国致密油的影响，不断增多的致密油产量使得油价在 2016 年暴跌至 40 美元 / 桶左右。该集团商定减少供应量 180 万桶 / 日，同时委内瑞拉和利比亚油产量经历了未预料的下降，因而价格在 2018 年中期回到 75 美元 / 桶的水平。作为扩大集团的主要国家，沙特阿拉伯一直试图将合作协议制度化，但俄罗斯不情愿的态度致使现有联盟的扩张，而不是建立一个常设集团。 2018 年 12 月，该集团商定至 2019 年 4 月的 6 个月内减产约 100 万桶 / 天以提升价格，但俄罗斯和其他国家是否将全面落实

其减产份额仍存在不确定性。

美国致密油的出现是石油输出国组织扩大的直接原因。虽然沙特阿拉伯曾希望在2014 年后采取全面增产政策削弱美国致密油生产，使得油价下跌近 60%，以试图破坏更加昂贵的致密油的经济性，然而低价也直接影响了沙特阿拉伯、俄罗斯和其他生产国的预算，这些国家严重依赖石油出口收入作为国家预算。与此同时，生产商明白高原油价格将破坏需求，导致其出口市场份额减少。因此，OPEC+ 的目标是管理原油最低价格，并试图避免高价格飙升，因为那将破坏需求并可能导致经济衰退。在 2019 年初，俄罗斯承认破坏致密油所需的价格（40 美元 / 桶）将对俄罗斯和沙特阿拉伯产生负面影响，放弃将价格作为竞争武器的企图。

虽然在 2018 年 12 月的会议上没有正式成立一个石油生产国的常设小组，但预计合作协议将继续生效并进一步延长至少到 2019 年，这将大大提高他们应对国际市场发展的能力。

2.3 石油替代方案目前尚未实现商业化（不包括电动汽车）

2007-2008 年的最近一次石油危机之后，各国政府争相制定计划以减少对石油的依赖，同时制定了各种政策来支持这些计划，包括增加液体燃料替代品的研发经费，如纤维素乙醇，藻类和植物脂类的生物柴油，基于植物原料的塑料生产，以及车辆使用改进的电池技术。在美国，相关要求规定汽油中需混合高于 10%的乙醇，因而大量的玉米从食品市场转移出去用来生产玉米乙醇。尽管投入了大量的研发资金、进行了众多的试验性和试点型的产业化尝试，但这些液体替代品中还没有一种能够真正意义上取代液体石油燃料，一部分原因是它们在 2014 年石油价格崩溃后迅速丧失了经济竞争力。

图 14 总结了各种石油馏分制品替代品的现状，图中“+”表示存在商业替代品，而“-”符号表示缺乏替代品或替代处于商业不成熟状态。就车用汽油和柴油而言，电气化仅仅开始，其商业盈利能力某种程度上仍需依赖补贴或回扣以增加其对内燃机的竞争力。尽管目前电动汽车增长迅速，电动汽车目前已占挪威新增销售额的近 40%，而中国的销售额几乎与世界其他地区相当，但全球汽车总量超过 10 亿辆的情况下，电动汽车总量仅达到 500 万辆。正如国际能源署执行董事 Fatih Birol 在 2019 年 1 月指出的那样，“今年我们预计全球石油需求将增加 130 万桶每天，而 500 万辆汽车的影响是每天 5 万桶，5 万比 130 万。（Paraskova，2019）”。

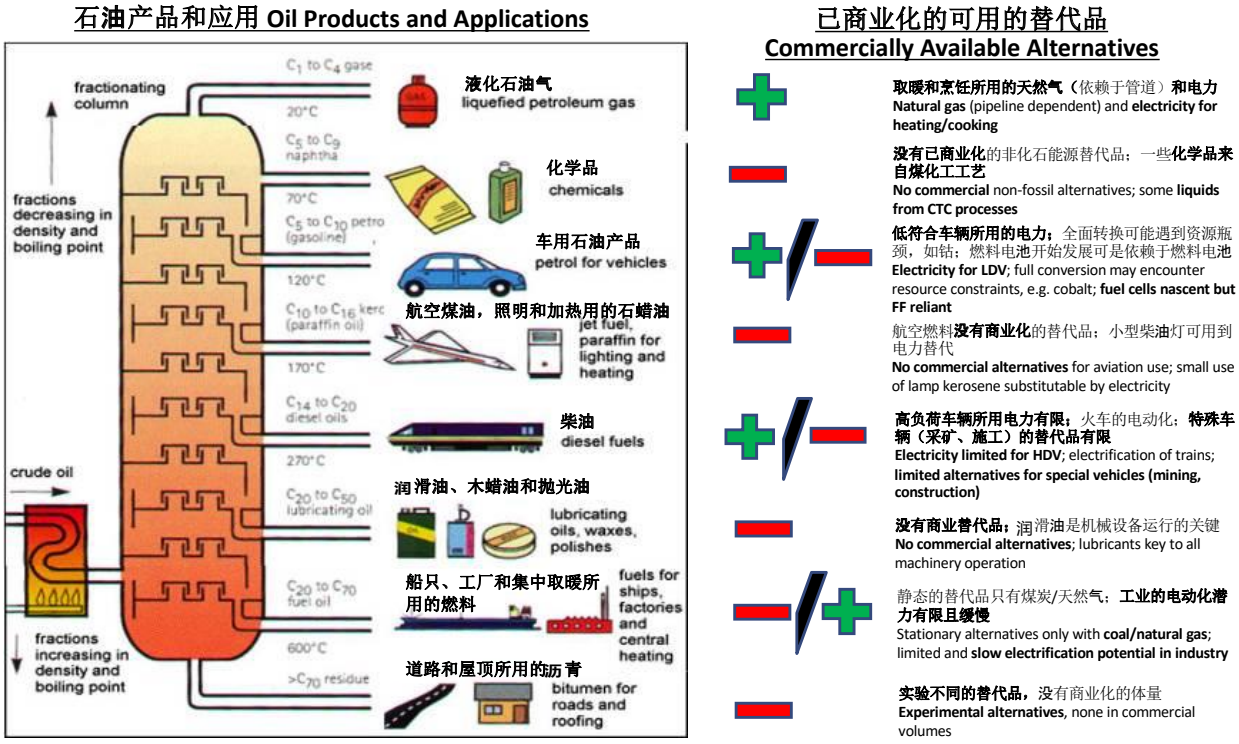


图 14. 石油替代品现状

来源：作者整理

尽管如此，根据国际能源署的“新政策情景” 预计，电动车存量将继续扩大，到 2030 年将达到 1.2 亿辆（IEA，2018）。如果没有任何有效的计划去取代或替代如航空燃料、重型车辆柴油、润滑油、船用燃料、道路沥青和化学原料等还处于替代品研究开发初期阶段的炼油厂产品，上述趋势将使得对炼油厂生产中汽油比例失调。因此，炼油厂对原油需求量不会随着汽油的下降而下降（因为仍需要原油生产上述石油产品），反而，取代汽油将使得汽油盈余，短期内必须找到出口市场。而长期来看，炼油厂将面临昂贵的改造和再造成本以大幅改变产量组合以适应汽油需求的下降。

2.4 可能对中国造成的影响和实现石油需求峰值的努力

自 1859 年现代石油工业诞生以来，石油已经改变了全球体系，现在已成为最关键和最具战略性的能源形式。石油不仅能量密集，而且易于储存，易于运输，可以从原油生产的多种产品亦强调了其多功能性。石油现在是全球流动的基础，从个人旅行到国际贸易，石油为成千上万的工业，商业和家用产品提供原料，为农具提供动力，同时提供工业农业中使用的农药和除草剂，还是保持世界上所有机器运转的润滑油来源。它的战略重要性很早就得到了认可：在第一次世界大战期间，主要国家都争先恐后地将海军舰队的燃料从煤改为石油，以便在不加燃料的情况下增加航行范围并减少烟囱烟雾，从而更不容易被发现。由于欧洲大国缺乏显著的国内石油资源，中东石油供应的战略地缘政治重要性导致欧洲各国对石油控制权激烈竞争，其后果直到今天仍在回荡。

石油也为第二次世界大战后的全球重建和扩张奠定了基础。到 1973 年，全球能源的 50%是石油。 1973 年的石油禁运和价格冲击揭示了发达经济体对这种对廉价和丰富的石油供应的广泛依赖而出现的极端脆弱性，其影响遍及整个经济体，并导致大多数陷入通货膨胀的深度衰退（ “滞胀” ）。因此，各国以两种主要方式作出回应：1 ）采用在可能的情况下用另一种燃料替代石油使用的政策；2 ）建立战略储备，以减轻未来石油供应中断的影响。

在整个 20 世纪 70 年代，实现石油替代的“低悬的果实”是电力部门和家庭取暖，其中石油主要提供热量而不是其他服务。在电力部门，煤炭开始取代石油，一些国家最终禁止使用石油发电。在美国，家庭取暖油曾主导了东北地区的冬季取暖供应，但最终被包括进口液化天然气在内的天然气所取代。对于没有替代品的其他用途，例如运输，各国制定了能源效率政策，以减少每单位活动使用的石油量，特别是在 1979 年价格冲击之后。

1973 年的石油禁运是国际能源署（ IEA ）成立的催化剂，IEA 直到今天仍然保持其能源安全的核心使命。 IEA 成立于 1974 年，其首批行动之一是在经合组织国家之间建立国际协议，以便在未来供应中断的情况下建立国内战略石油储备和国际共享协议。战略库存水平设定为至少 90 天的净进口量，由政府或行业持有，作为其对 IEA 协议承诺的一部分或其运营储备的一部分（ 图 15 ）。尽管完全分享协议从未必须调用，但有时临时短缺威胁到一些国家的区域供应时，战略储备曾被释放。今天，除澳大利亚外，所有国家都符合 IEA 至少 90 天储备量的要求。

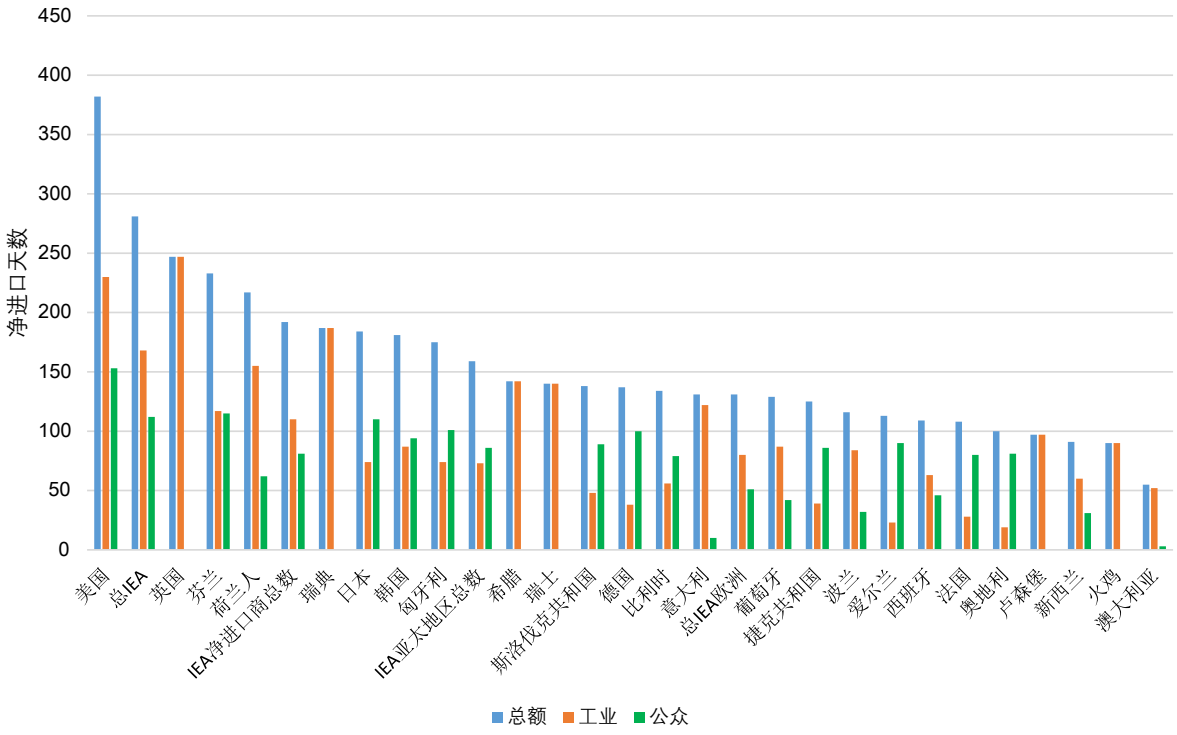


图 15 IEA 成员国战略石油库存

资料来源：IEA，https：//www.iea.org/netimports/

1973 年的供应冲击和 1979 年的价格冲击凸显了发达国家极易受到石油供应中断和油价突然飙升的影响。这种脆弱性为各国在随后几年采取各种减少石油需求并减缓迄今仍无法被替代的石油产品需求增长的政策提供了动机和理由。尽管如此，石油仍然是世界上最重要的能源来源，仍然占总使用量的 35%（BP 2018）。

中国也同样遵循其他发达经济体在减少电力部门石油使用和其他直接燃烧供热方面所采取的行动。尽管石油占中国总能源使用量的比例低于全球平均水平，但其用量集中在很少有替代品可供选择的部门，如运输和原料使用。因此，它同样容易受到国际石油市场变化的影响。

当前国际石油市场的形势给中国带来了诸多挑战，包括：

1. 长期供应的不确定性增加，特别是美国致密油
2. 石油输出国组织成员国及其伙伴国家的市场力量回升
3. 中东其余主要生产国，特别是伊拉克可能发生的地缘政治冲突

4. 国内石油需求构成的改变以及对国内炼油部门和国际市场的挑战

这些风险中的前三个主要是外部风险，这是因为与中国对进口的依赖程度上升相比，全球石油储备和生产能力分配不均。在各种情况下，这些风险的主要体现渠道是油价，这直接影响到中国经济的健康。例如，如果美国致密油产量无法实现对 2020 年以后产量增长的预期，特别是鉴于全球备用产能水平较低，交易的油价可能会大幅上涨，或许达到上次 2008 年金融危机时的水平。随着时间的推移，高油价确实抑制需求，并有助于达到需求峰值，但由于需求弹性是“粘性的”（即消费者在高价时不能立即减少消费），高油价造成的经济成本在短期内会对家庭和企业预算造成巨大压力。当然，中国有能力使消费者免受高价飙升的影响，但这仅仅是为了将成本从终端用户转移到政府。虽然价格升高通常不受欢迎，但确实是塑造国内消费模式和用能行为的有效工具，正如欧盟，高汽油税使欧盟人均汽油消费量比美国低 75%至 80%。

另一方面，如果美国致密油产量超出预期，而石油输出国组织保持团结一致以保持稳定适中的油价，这些价格信号将不会通过原油进口传输到中国。因此，减少或控制石油消耗的目标需要严重依赖国内制定的定价信号，或者诸如分配和配额控制等其他手段。

短期价格飙升也可能源于中东冲突导致的出口中断，它通常比价格缓慢上涨更具破坏性。伊朗与沙特阿拉伯之间长期的地缘政治冲突，包括两国代理的武装冲突，可能会给霍尔木兹海峡的短期或长期的关闭提供一个导火点。虽然长期供应不会受到影响，但该地区的可能出现的出口减少将扰乱全球石油市场。

其他国家，出于环境、能源安全、财政等原因，也采用和中国正在进行的车辆电气化政策一样来推行促进汽油替代政策，从而全球汽油进出口市场将受到生产过剩加剧和进口需求下降的影响。这将为实现石油峰值带来双重挑战：汽油需求下降和供应过剩加剧可能会大大削弱汽油相对于其他石油产品的价格，从而提高燃油作为车用动力对于电力的竞争力。为避免电气化计划的放缓，需要通过其他方式控制汽油的消费价格。此外，充斥着过剩汽油产能的国际市场会给炼油厂带来压力，迫使其减少汽油产量而转向其他产品，但对于现有炼油厂而言，实现这一目标的灵活性有限。从长远来看，炼油厂需要用昂贵的新技术重新改建炼油厂，但汽油部分收入的损失可能会削弱这样做的经济效益。例如，长期依赖美国市场处理剩余汽油的欧盟炼油厂商正面临着巨大的市场损失，因为美国国内汽油产量已经飙升，因为致密油——一种汽油馏分高的轻油——的产量已经大大升高了。

由于中国对石油进口的高度依赖持续存在，中国仍面临价格波动和油价冲击的风险。可能面临的更高的全球油价可能会影响中国的外汇储备，并对消费者支出和国内经济的终级健康产生负面影响。作为石油进口国，中国与欧佩克成员国建立了广泛的关系，但欧佩克凝聚力的加强可能会削弱中国对定价决策的影响力。欧佩克在影响全球石油市场方面的优势来自其在中东的大量剩余石油储备，但新出现的地缘政治冲突（例如，伊朗威胁关闭红海）可能导致对中国石油供应的中断。中国也在伊拉克有大量的石油投资，但该地区的地缘政治风险可能会威胁到这些投资。根据中国石油使用的变化率和石油产

品组合需求的变化，以及国际石油产品市场的性质，中国也可能面临国内炼油行业的资产搁浅：国内需求构成的迅速转变（例如汽油需求急剧下降）将导致国内炼油厂面临重新配置昂贵设备以更好地适应国内使用的石油产品组合变化的财务风险。

鉴于国际石油市场的最新发展和中国所面临的挑战和不确定因素，我们评估国际政策及其先前对减少石油消耗的影响，以了解它们在影响未来石油消费趋势方面可能在中国发挥的作用。

3

国际政策及对石油消费和环境的潜在影响

本章节回顾了不同地区层面，包括国家层面、州级层面和城市层面为了降低石油消耗而采取的政策及其潜在影响。这些政策不仅可以减少石油需求，还可能影响环境协同效益，包括节能，二氧化碳和其他空气污染物减排。虽然大部分政策是针对交通部门的，但是还有其他一些政策也包括了电力和工业部门的石油消耗。本章节也给出了国家和地区政策的单独案例研究，突出全球降低石油消耗政策中的最佳实践和新兴趋势。其他范围更广的政策或项目，例如最近减少或限制一次性塑料的努力，不包括在本报告的范围内，因为它们相对较新，并且只占石油消耗的很小一部分。但本报告的最后仍讨论了进一步研究以更好地理解这一新兴领域的必要性。

3.1 国家政策

如第一章节所述，许多国家—— 包括已经实现石油消费峰值的几个国家——已采取具体的国家政策和战略来减少石油消费。国家层面的一些成功案例包括欧盟的整体运输战略和减少运输部门排放的目标设定，法国的《绿色增长能源转型法案》以及日本过去十年采用的若干国家能源政策。

3.1.1 欧盟

欧盟 2030 年的气候和能源框架确定了 2030 年的三个目标，包括温室气体排放减少 40%（与 1990 年水平相比），可再生能源比例达到 27%，以及能源效率提高 27%；同时，这些目标反过来又影响欧盟运输战略的发展。交通运输业是欧盟温室气体减排目标的主要挑战，因为从 1990 年到 2007 年，它是唯一一个碳排放不降反而增加了 33% 的行业（欧盟委员会，2018）。此外，欧盟 84% 的石油供应依赖进口。

《2001 年交通运输白皮书》提出了减少交通运输温室气体排放的长期目标，其中包括到 2030 年交通运输温室气体排放比 2008 年减少 20%，到 2050 年交通运输温室气体排放比 1990 年减少 60%。特别是公路运输，随后通过的立法要求新汽车的二氧化碳排放量在 2021 年比 2005 年的水平减少 40%，新货车的二氧化碳排放量在 2020 年比 2012 年的水平减少 19%（欧盟委员会，2018 年）。2030 年气候和能源提案也提出了与运输相关的目标和措施，其中包括到 2020 年将运输燃料的温室气体强度降低 6%，设置滚动阻力限制和轮胎贴标要求，以及为新车强制安装轮胎压力监测器。此外，欧盟目前正在为基础设施制定有约束力的目标，以支持清洁燃料和欧盟范围内的充电设备共同标准和解决电气化的关键障碍。另外还提出了其他促进运输中燃料转换的详细政策，包括新车的二氧化碳排放标准和生物燃料目标，如第三章节的讨论。

虽然欧盟层面设定了广泛的目标和具体的措施，但实现目标的政策措施和方案的实际政策执行是在成员国层面进行的。接下来的章节回顾了法国最近跨部门的《能源转型促进绿色发展法案》，这是实现这些欧盟层面目标的国家级战略的一个例子。

3.1.2 法国

2015 年 8 月 17 日，法国通过了《能源转型促进绿色发展法案》，其中包括 50 项立即生效的条款。它规定了与能源和排放有关的中期和长期目标，以及针对特定部门的战略。这六个主要目标包括 : 减少排放为欧盟的总体减排目标做出贡献，2030 年将化石燃料消耗相较 2012 年水平减少 30%；2025 年将核能占电力生产的比重降低到 50%; 2030 年将可再生能源占终端能源消费的比重提高到 32%，占电力生产的比重提高到 40%，到 2050 年终端能源消耗比 2012 年的水平减少 50%，以及垃圾填埋量减少 50%（法国政府 , 2018 ）。

运输部门主要集中在开发和部署清洁、低价和更少污染的车辆，包括个人购买清洁汽车补贴，以及到 2025 年为实现 50% 的国家车辆、20% 的地方车辆，100% 的公共汽车和长途汽车为低排放车辆的目标给予奖励。它还包括促进员工拼车的企业计划、鼓励骑自行车上下班的激励措施和企业税收优惠，以及为安装家用电动汽车充电站提供税收抵免。除了运输部门，该法案还旨在禁止使用不可降解的塑料袋，并逐步扩大塑料回收范围，将所有塑料都包括在内。

3.1.3 日本

除了之前讨论过的严格的汽车能效目标和高汽油税，日本在最近的能源政策中积极推动燃料脱离石油，成功地维持了石油峰值。2009 年《能源供应结构复杂法》大力推进燃料转换和非化石能源利用，加强石油等化石能源的开采和有效利用。在石油行业，从 2014 年开始，炼油厂重油裂解装置设备安装比例提高 （ PAJ, 2015 ）。 2014 年，在日本东部大地震之后，日本改变了总体战略，承认石油作为一种后备能源的作用虽有限但很重要。2014 年《基本能源规划》将石油确定为“未来继续利用的重要能源”和“能源供应的最后手段” （ PAJ，2015 ）。还提供了与日本石油工业发展有关的具体政策方向，包括把燃油发电作为受监管的电力供应，形成弹性供油网络，在灾害发生时作为“最后的手段”，并且优化产业结构以加强国际扩张。对于运输部门，2010 年的国家报告还制定了生物燃料的可持续性标准，包括与汽油相比生物燃料降低 50%的生命周期温室气体减排要求；并由于对巴西的进口依赖，强调需要增强自给自足，以及需要认识到生物燃料与粮食作物存在竞争性的本质。与此同时，作为全球环境保护志愿行动计划的一部分，石油行业还制定了到 2007 年在 1990 水平上提高 13% 的能效目标。到 2014 年，该行业的效率已经比 1990 年提高了 15% （ PAJ，2015 ）。日本维持其石油需求减少的能源政策不仅包括以交通为中心的战略，如车辆效率标准和生物燃料，还包括重新定义石油工业在国家能源系统中的作用及其作为重要工业部门的提高效率的责任。

3.2 州政策：加州

美国加利福尼亚州已于 2015 年 1 月提出立法，提出到 2030 年将该州的石油使用量减少一半。由加州空气资源委员会（ARB）和环保团体为如何实现这一雄心勃勃的石油减排进行了路径研究。特别是，该州相信以现有的政策，包括轻型和重型车辆的车辆效率标准，加州的低碳燃料标准，以及替代燃料车辆的市场转型计划，到 2030 年可以减少 20%以上的石油使用。为了实现 2030 年总减油目标而所需的剩余减油目标，不同组织的研究为进一步的政策和规划战略找到了多种途径。

加州空气资源委员会分析发现达到减油 50% 的目标需要额外措施，例如，将车辆行驶里程的增长率降低到 4%，进一步提高车辆效率，低碳排放强度的低碳燃料标准，将替代燃料的用量增加一倍，包括生物燃料、电力、天然气和可再生氢等（ARB, 2015）。咨询公司 ICF 为环境倡导组织进行的建模分析确定了一套可以实现减少 50%用油量的综合措施，以及三套替代战略集中于高效率和电气化、高生物燃料、智能交通和土地利用规划以改善当地交通政策，可能分别减少 45%，44%和 31%。图 15 和表 4 显示了综合战略的的减排潜力以及所需的具体政策和措施。

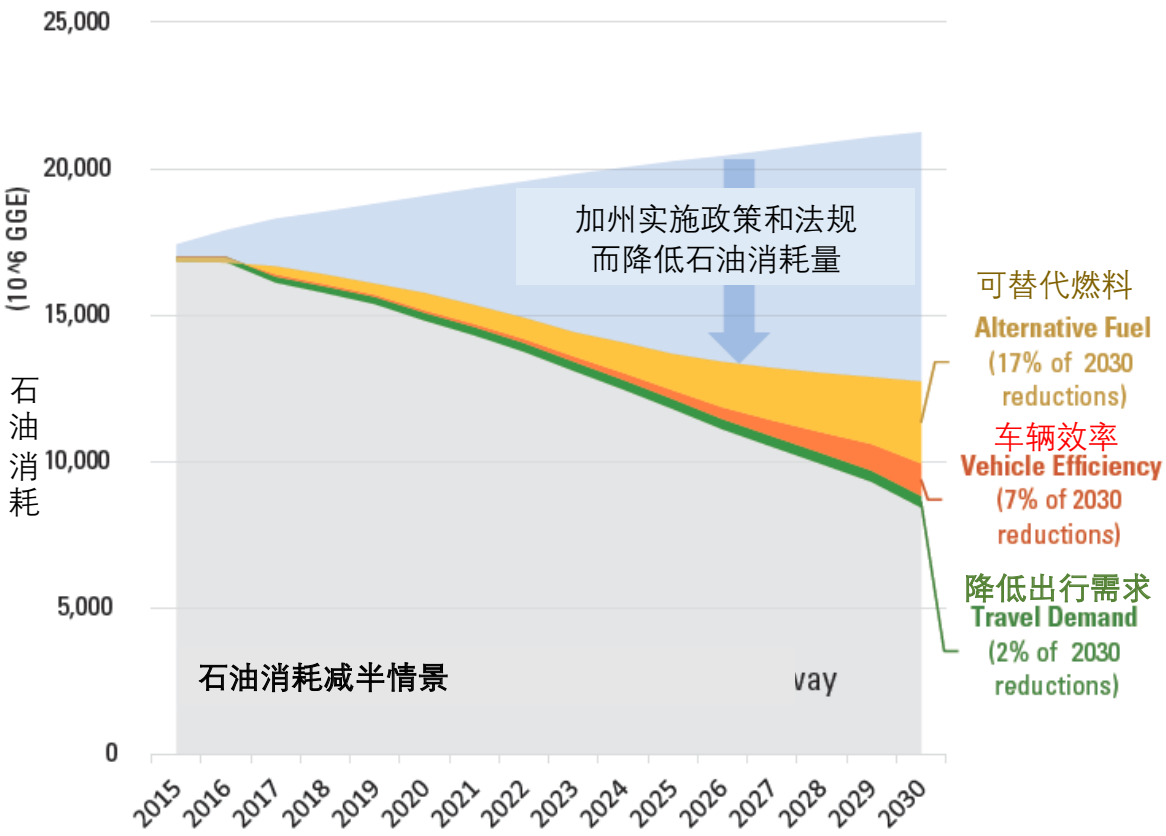


图 16. 加州降低石油消耗的战略和潜在影响

来源：ICF, 2016

表 4. 加州降低石油消耗 50% 的全面战略

类别	战略	对石油减量战略实施的描述	石油减量（百万汽油加仑当量）
降低出行需求	智能交通和土地利用	实施额外的区域交通规划措施以实现平均减少 8%	395
效率	轻型车辆效率提升	按燃油效率平均每年提高 5% 的速度将现有标准扩展至 2030 财年	480
		到 2030 年最终销售道路行驶车辆燃油效率加权平均约 48 英里 / 加仑	
		为现有车辆装备燃油效率高的替换轮胎	80
	重型车辆效率提升	使用备选方案 4 实施第 2 阶段标准直至 2024 年	470
		列队行驶	15
		混合动力拖船和渡轮	20
	越野车辆效率提升	混合动力拖船和渡轮	20
替代燃料	零排放车辆 / 电气化	通过提高现有销售目标，从 2026 年开始推出更多的零排放车辆，相比于 1.5% 的基线年增长，将同比增长提高到 2.4%	730
		到 2030 年零排放车辆占轻型汽车新车销售量的比重达到 27.9%	
		插电混动车型 eVMT 基线提高到加权效用因子为 70%	165
	重型车和越野车电气化	采纳 Edison Foundation’s IEE Group 工作卡车和送货车的中级方案，相当于 2030 年中型车辆占总车队市场份额的约 5%	315
		到 2030 年，主要港口的电动拖车达到 25%	
	液态生物燃料	乙醇 以相当于 15% 的比例混合进汽油（也可以是 E85 和其他混合比例的组合）	410
		生物柴油：以 15% 的比例混入柴油中	120
		可再生汽油：到 2030 年将达到 3.75 亿加仑	130
		可再生柴油：实施 ICCT 报告的中高级方案 ; 到 2030 年达到 8.7 亿加仑	310
	天然气	2030 年总消耗量：10 亿柴油加仑当量	620
		化石燃气：实施值接近加州能源委员会的 2015 年的预测草案 ; 略微下调并减去 RNG 的部署，总计 5.5 亿柴油加仑当量	
		RNG：实施值与加州空气资源委员会的说明性低碳燃料标准合规情景一致，在 2030 年达到 4.5 亿柴油加仑当量	

	总量	4,370
	比 2015 年减少的 %	50%

来源：ICF, 2016

如表 3 所示，需要制定超越效率和传统重型和轻型车辆电气化的战略，以实现将石油消耗量从 2015 年水平减半的目标。这些措施包括：到 2030 年，零排放汽车份额增加，轻型和重型汽车效率不断提高，智能交通和土地利用战略不断紧缩，分别增加汽油和柴油中乙醇和生物柴油混合比例以及采用新的替代燃料，如可再生汽油、柴油和可再生天然气。尽管由于政治上的反对，加利福尼亚最终没有采用石油消费减少 50% 的目标。但支持性分析表明，要实现深度削减石油消费，既需要新兴技术，也需要非传统替代燃料。

虽然加州没有通过 50% 的石油削减目标，但 2015 年 10 月通过了《清洁能源和污染减排法》（SB350），该法案设定了加州 2030 年的温室气体减排目标，并将交通电气化作为政策重点执行领域。更具体地说，这项立法要求公共电力公司（由州政府监管）在其综合资源规划中考虑交通电气化，并在 2019 年 1 月 1 日之前采用综合资源规划，至少每五年更新一次（CEC，2016 年）。综合资源计划旨在补充现有的促进交通电气化的州政府计划，包括州长的行政命令，要求州政府分别在 2020 年和 2025 年前确保 100 万和 150 万辆汽车的充电基础设施。加州零排放车辆电动汽车法案规定了该州零排放电动汽车的最低销售数量及税收减免。

3.3 城市政策

3.3.1 斯德哥尔摩

瑞典承诺在 2015 年底实施一项无化石燃料倡议，使瑞典成为世界上第一个无化石燃料的福利国家。为迎合巴黎气候峰会，斯德哥尔摩市在 2015 年制定了自己的气候目标。具体来说，斯德哥尔摩市议会承诺到 2040 年前实现无化石燃料，其里程碑式目标是将人均二氧化碳排放量从 2014 年的人均 2.7 吨二氧化碳排放量降至 2020 年的人均 2.3 吨。化石燃料占斯德哥尔摩能源使用量的 30%，交通运输业占该市化石燃料消耗二氧化碳排放量的 45%。具体包括天然气、道路车辆用汽油和柴油、施工机械用柴油、工厂和运输用柴油以及航空燃料用煤油。

为了实现 2040 年无化石燃料目标，在 2014 年底瑞典进行了路线图和情景分析研究。路线图确定了四个主要战略，并量化了可能采取的措施对减少二氧化碳排放的可能性。这些措施包括：从私人交通转向公共交通，减少私家车的使用，促进更高效的货物运输，以及采用更高效的车辆、生物燃料和电动车辆。下表 5 和表 6 显示了各主要战略的二氧化碳减排量和拟议的可能措施。

表 5. 斯德哥尔摩二氧化碳减排潜力和乘用车交通的潜在措施

措施领域	可能减少二氧化碳排放量 (吨)	该领域可能采取的措施的描述和示例
从汽车转向公共交通	道路交通排放总量的 25%	斯德哥尔摩运输公司（SL）的公共交通措施： 改进服务以满足 35 万新乘客的需求 增加地铁红线的频次 改进实时信息 改善换乘 拉长高峰期 有针对性的信息和“测试它 !”活动 城市的措施： 严格优先考虑信号 / 快速公交系统（BRT）或有轨电车 / 地铁 干线路线（连同 SL） 改进信号的优先级 大多数街道上的公共交通车道，甚至在郊区 = 废除路边停车，严格遵守 更高的停车费 严格监控停车 对工作场所免费 / 折扣停车的附加福利征税 尽可能提供巴士车道 努力进一步扩大 / 发展拥堵税
城市规划	道路交通排放总量的 5-7%	更短的旅程 改进城市规划，使每个住宅区都有一个中心，设有各种商店出售杂货 / 非耐用品和最常见的耐用消费品，银行，邮局，Systembolaget（国营酒精商店），药店，体育设施向公众开放，文化活动，绿色环保空间，医生，学校，幼儿园等
减少出行	道路交通排放总量的 2-5%	减少出行需求 如果可能的话，每周提供一天或多天的远程办公 整个城市良好的互联网容量 适合远程办公的本地工作咖啡馆
从汽车转向骑自行车 / 步行	道路交通排放总量的 5-10%	发达的基础设施 安全有吸引力的步行路线 维护良好的自行车道，使人们可以远距离通勤 20-25 公里 可供儿童安全骑行的本地交通环境

提升能源效率，包括电动汽车	道路交通排放总量的 30%	措施如下所述
促进购买和使用“清洁”车辆和可再生燃料		引入正向 / 反向地方激励措施，例如差别化的拥堵税，停车费，保留停车位，在某些区域禁止噪音大或者使用化石燃料的车辆等 在所有与运输相关的采购中要求“清洁”车辆 为替代燃料和电动汽车创造足够的基础设施 使用有机废物生产燃料

来源 : City of Stockholm, 2014.

表 6. 斯德哥尔摩货运车交通二氧化碳减排潜力和潜在措施

措施领域	可能减少二氧化碳排放量 (吨)	该领域可能采取的措施的描述和示例
分组负载	道路交通排放总量的 5-10%	改善载荷系数，物流规划 保留 / 改善码头（公路，铁路，海路） 公共采购 示范项目，提升容量
路线优化	道路交通排放总量的 1-5%	进一步发展拥堵税 增加拥堵税的差异化（时间，车辆类型，燃料）
避开高峰时段	道路交通排放总量的 1-2%	更好地利用运输系统，减少交通拥堵 对新建，改造和转换的提出要求 强调“安静交付”的项目 增加拥堵税的差异化
切换运输方式	道路交通排放总量的 1-2%	从公路运输转为铁路或海上运输 维护 / 改善站点 通过拥堵税等控制运输方式
打包	道路交通排放总量的 1-2%	创造条件以改善负载系数并减少浪费 公共采购
减速	道路交通排放总量的 1-2%	较低的速度产生较低的排放和较平静的驾驶 调查应该降低限速的位置
负载分类	道路交通排放总量的 1-2%	载荷较大的车辆较少 = 排放量较低 研究可以如何重新划定瑞典使用的负载等级 瑞典运输管理局和瑞典人进行对话 运输局相关法规
减少浪费	道路交通排放总量的 1-2%	提高垃圾收费 增加垃圾收费的差异化

来源 : City of Stockholm, 2014.

《路线图》还指出了航空和航运业完全淘汰化石燃料存在较大挑战，且这两个行业的市政府也没有太多的管辖权和控制权。对于航空业，根据联合国国际民用航空组织的工业发展目标，该市预计全球航空效率将每年提高 2%，可能的目标是到 2045 年将非化石燃料与航空燃料的混合比例提高 75%（斯德哥尔摩市，2014 年）。然而，实现这一目标只会减少航空排放量的一半，一些减少量可能被预计航空运输量的增加所抵消。在航运方面，考虑到未来生物油和沼气替代品的可利用性，用可替代燃料代替化石燃料面临着重大的不确定性。

在制定了《路线图》之后，城市执行办公室制定了一个短期和长期的政策框架，以确定到2040年每个部门实现其无化石能源目标所需的关键措施。《政策战略报告》还指出，航空和航运业很可能仍会使用剩余化石燃料，需要使用碳汇来补偿剩余化石燃料产生的二氧化碳排放。对于交通部门，该市确定的最紧急的方案包括（斯德哥尔摩市行政办公室，2016 年）：

1. 通过以下措施促进向可再生燃料的过渡，提高车辆效率：差异化的税率、生物燃料生产的价格溢价模式和配额义务，以及长期的监管框架，以刺激对增加生物燃料生产的投资。
2. 通过以下措施减少道路里程：审查车队的税收规定、燃油或二氧化碳排放税、拥堵收费、行驶里程税、调整或取消旅行费用的税收减免。
3. 国家对公共交通的融资和电力基础设施投资。
4. 促进替代性可持续旅行，如公共交通或共享骑乘设施。

政策框架文件还指出，在城市的管辖权较低的区域，需要针对不同的货运方式制定国家战略。

3.3.2 首尔：公共交通改革

在韩国首尔，改革公交系统成为本世纪最初 10 年后期改善城市交通和减少城市石油消耗的一个重要优先事项。由于经济增长和城镇化，首尔都市区的居民和车辆拥有量在 1970 年至 2000 年间增加了 30 倍。因此，私人机动车辆的油耗占全市总油耗的三分之一以上（Kim，2009 年）。同时，拥堵和服务质量的下降导致公交乘客量下降了50%。2002年，新市长李明博宣布了一项新的愿景，即开发一个低成本、高效的交通系统，在提高速度、便利性、安全性、经济竞争力和社会公平性的同时，减少能源消耗和空气污染。作为愿景的一部分，首尔对公交系统进行了全面的改革，包括体制改革，以服务合同为基础建立一个新的公私结构，整合了新的监控和信息技术的城市公交管理系统，安装公交快速公交走廊，以及综合公交系统（IEA，2013 年）。

公交系统的改革和改进是“三管齐下”战略的一部分，该战略还包括生态友好的土地利用和绿地开发，以及应用出行需求管理，优先考虑行人和更高效的出行方式。其他

配套政策，包括停车改革，以减少对新建筑的停车位需求，增加燃油税，以及通过改善和增加人行横道、人行道和自行车道，都是为了支持交通运输模式转变和减少石油消耗的目标。

由于实行了“三管齐下”战略和公交综合改革，2004 年至 2005 年期间，公共汽车上的日客运量增加了 11%。公共交通的份额也从 2003 年的 60% 增加到 2009 年的 63%，这主要是由于公交乘客增加（IEA，2016 年）。这些改革和配套政策的成功实施为 2009 首尔制定的一系列新的绿色发展政策奠定了基础。新的目标是要求交通能源消耗相较 2009 年水平，到 2020 年减少 15% ，2030 年减少 20%，并且到 2020 年公共交通份额增加到 75%（IEA，2013）。

4

交通部门政策及案例研究

4.1 交通需求管理政策

本节回顾在国家或区域采用的约束或管理交通需求的政策，重点关注减少石油消费的政策。详细举例说明了 20 世纪 90 年代为应对第二次和第三次石油危机而实施的政策，以说明这类政策所能产生的潜在影响。

4.1.1 定价和税收政策

定价和税收政策的目标是提高交通“成本”，包括对燃料消费直接征税和征收拥堵费征收等常见措施，以及增加停车成本等不常用的措施。燃料税的有效性很大程度上取决于交通燃料的价格弹性，因为它决定了消费者如何对燃料价格的变化作出响应。基于车辆行驶里程 (VKT) 的直接收费，也可以通过基于车辆行驶里程的年度注册费或者纳入保险计划来实施。

对 20 世纪 90 年代初美国加州一些城市所采取的定价政策进行评估发现，就最大程度地减少车辆行驶里程、旅行次数、旅行时间和燃料使用而言，最有效的政策包括以下内容 (IEA, 2005)：

汽油税每加仑增加 $2.00，减少车辆行驶里程和旅行次数 8-9%，减少油耗 24 - 27%。

车辆行驶里程每英里收费 $0.02，减少车辆行驶里程和旅行次数 5%，减少油耗 5 - 6%。

全区域的交通拥堵费，减少车辆行驶里程和旅行次数 1 - 3%，减少油耗 2 - 8%。

伦敦案例：拥堵费

伦敦拥堵费方案是对在工作日上午 7 点至下午 6:30 进入伦敦市中心的车辆增收 £5.00 英镑。据估计，这一计划已使伦敦市中心的交通减少了约 30%，而且以前开车去伦敦市中心的人中约有 50% 已改乘公共交通工具，约 15-25% 已改骑自行车、摩托车和拼车 (IEA, 2005)。

4.1.2 推广替代交通模式的政策和计划

有不同的政策方法可以减少汽车的使用，促进替代交通方式（包括公共交通、拼车、步行和骑自行车）的采用，包括降低或取消公共交通票价、改善公共交通非高峰时段的

服务、提高公共汽车专用车道优先权、改善骑行停车场方便拼车、雇主补贴公共交通费用。

西班牙案例：降低公交票价

为了减少石油消费，2011 年 3 月至 6 月，西班牙在 10 个省实施了通勤列车服务降价 5% 的政策。在巴塞罗纳和阿斯图里亚斯这两个拥有综合公共交通票价系统的主要都市地区，包括地铁、火车和公共汽车在内的所有公共交通服务均实行 5% 的票价减免。这项临时措施预计将减少 600 万升汽油和 220 万次汽车出行 (Asensio et al. 2014)。分析估计，由于票价削减措施和降低公路限速，实际汽油消耗量减少了 2-3%（下文讨论）。

墨西哥城：以快速公交（BRT）系统缓解交通拥堵

为了应对急剧增加的交通量和相关的空气质量问题，包括 80%的天数城市臭氧超标，墨西哥城在 2005 年开发了一个 67 公里的快速公交系统。该快速公交系统采用了新增的大容量，高效率公交车。这些公交车取代了原先的 260 辆效率低下的迷你巴士。到 2007 年，新的快速公交系统通过每天容纳超过 60 万名乘客和减少系统沿线 40-50%的交通时间，使乘客用车模式降低了 15%（IEA，2013）。 快速公交系统的其他协同效益包括沿线每年交通死亡人数减少 84%，二氧化碳排放减少 8 万吨，氮氧化物排放减少 690 吨以及颗粒物排放减少 2.8 吨（IEA，2013）。

4.1.3 非机动车交通和土地利用

自 20 世纪 70 年代以来，欧洲各国采取了各种政策来提高非机动车交通方式的水平，特别是步行和骑自行车。不仅包括改变土地使用的设计和政策，以改善非机动车旅行的基础设施和环境便于非机动车出行，而且还包括减少使用汽车的政策。在西德，一些促进自行车使用的明确政策与 1972 年至 1995 年期间自行车使用的份额增加 50% 有关（Pucher, 1997）。

4.1.4 减少因工作出行的政策

减少因工作出行的政策侧重于促进更多的在家工作或远程办公和灵活的工作时间表，这些项政策都旨在减少通勤旅行。这些政策大多由雇主实施，但也可以通过政府政策加以鼓励。例如，美国政府为其雇员提供典型的压缩工作时间表，包括 4/40 工作周（每周中 4 天工作 10 小时，休息 1 天），9/80 工作周（每两周中 8 天工作 9 个小时，1 天工作 8 个小时，休息 1 天），3/36 工作周（每周中 3 天工作 12 个小时，休息 2 天）。减少通勤政策的油耗将在很大程度上取决于行为，因为美国的调查发现，通勤车辆出行减少的 25% 的油耗可以被远程办公的日子里出门办琐事的增加所抵消。据估计，如果

32% 的员工参与 4/40 压缩工作计划，可以节省 1% 的燃料（IEA, 2005）。

4.1.5 减少交通流量的监管方法

减少交通流量的监管措施包括关闭特定街道或城镇中心的交通，并规定“无车日”，包括“单双号”驾驶禁令。一个短期（一天）实施驾驶禁令的例子是在 1997 年巴黎空气污染紧急事件期间，当时的总交通和燃料使用估计减少了约 30%，空气质量大幅改善，以至于第二天驾驶禁令就停止使用了（IEA, 2005）。

4.1.6 车辆减速政策

降低某些道路（通常是高速公路）最高限速的政策旨在改变驾驶行为，因为加速和速度过快与油耗增加有关。研究发现，在每小时 30 - 60 英里的速度下可以达到最高的燃油效率，而在更高的速度下燃油效率会下降。一项对德国高速公路的研究发现，将最高时速从 100 公里 / 小时降至 80 公里 / 小时可以节省 4.8% 的私人旅行燃料消费（IEA, 2005）。

西班牙的案例

在西班牙，2011 年 3 月至 2012 年 6 月期间，作为一项临时措施，高速公路限速降低了 10 公里 / 小时，预计高速公路行驶总里程的 60% 将受到影响。预期的影响是汽油消耗量减少 15%，柴油消耗量减少 11%。分析发现，与公共交通票价降低相结合，实际汽油消耗量仅减少了 2 -3 %（Asensio et al. 2014）。

4.2 能源替代政策

另一类政策通过确立低碳燃料在满足运输方面的重要地位，来促进交通运输燃料从汽油和柴油向多元化替代燃料供应的转变，这包括加入压缩天然气和乙醇作为燃料添加剂。

4.2.1 生物燃料要求

为了促进化石燃料液体替代能源的开发和利用，许多国家规定了生物燃料的最低含量。虽然生物燃料可以作为取代柴油或汽油的替代品，但其适用性受资源可用性的限制，并且还面临环境和资源问题的担忧。

西班牙案例研究

2011 年 2 月，西班牙将汽油和柴油最低生物燃料总含量百分比标准从原来的 5.9%（其中汽油和柴油最低含量为 3.9%）上调至 6.2%（其中柴油生物燃料成分含量至少为 6%）。然而，随后的实证研究表明生物燃料含量的增加会导致燃料效率下降，具体来说生物燃料含量每增加 1 个百分比可能会导致总汽油和乙醇总燃料消费增加 0.3%至 0.7%（Asensio 等，2014）。

欧盟案例研究

欧盟于 2003 年制定了第一个与生物燃料相关的目标，即到 2005 年底实现 2%的生物燃料使用率，到 2010 年底实现 5.75%的生物燃料使用率。2009 年，《可再生能源指令》又提出了 2020 年目标，2020 年前可再生能源占交通运输燃料的比重达到 10%，以实现到 2020 年可再生能源占总能源 20% 的目标 (TransportPolicy.net，2018)。同时，2009 年《燃料质量指令》要求道路运输燃料结构的碳强度要比单纯的化石柴油和汽油结构低 6%，自选目标是通过电气化和碳捕获和封存手段，以及购买清洁发展机制信用额在减少 6% 的基础上再降低的 4% 的碳强度。这两项与生物燃料相关的指令为实现可持续性设置了相应激励机制，即从废弃物、残留物、非食品纤维素和木质纤维素材料中获取的可持续的生物燃料数量在进行绩效考评时算作其他生物燃料的两倍。最近，欧盟更加重视生物燃料使用的可持续性标准，与传统燃料相比，欧盟对所有生物燃料的全生命周期温室气体减排都引入了新的要求。这些要求包括 2013 年后最低减排门槛为 35%，2017 年为 50%，2018 年为 60%。对在高生物多样性或高碳储量的土地上的生物燃料生产进行限制。2012 年的一项提案还将产自于粮食作物的生物燃料比重限制在 5%，并对来自没有或低间接土地变化排放的生物燃料进行两倍或四倍的计算，主要包括来自藻类、稻草和废弃物的生物燃料。

美国案例研究和经验教训：

作为《2005 年能源政策法案》的一部分，美国首个可再生燃料标准对运输燃料中的生物燃料提出了最低要求，该法案要求 2006 年使用 40 亿加仑（150 亿升）乙醇，到 2012 年需要 75 亿加仑。2007 年《能源独立和安全法案》进一步明确了生物燃料要求并将其扩展到未来几年，该法案规定了生物燃料的全生命周期温室气体的最低减排量，

包括纤维素生物燃料减少 60%，生物质柴油减少 50%，其他先进生物燃料减少 50%，传统生物燃料减少 20%（Lade 等，2018）。它还立法规定了汽油消费中必须包括 222.5 亿加仑生物燃料，这相当于 16%的汽油消费，并且到 2016 年，纤维素生物燃料消费量要达到 42.5 亿加仑。到 2022 年，目标增加到 360 亿加仑生物燃料，其中必须有 160 亿加仑来自纤维素生物燃料。

然而，对 2012 年后生物燃料制定的宏伟目标在实施中遇到了一系列技术挑战。首先，由于纤维素生物燃料生产能力有限以及生产品质一致且商业数量级的生物燃料仍存在技术经济挑战，导致 2016 年和 2022 年的目标任务要求生产量远高于实际产能。较高的生物燃料含量要求也超过了普通汽油可能实现的 10%混合比，由于混合燃料汽车需求有限同时可提供 E85（生物燃料占 15%的混合汽油）和加油站的燃料站有限，这限制了 E85 和生物柴油的需求。截至 2017 年，只有 6%的注册车辆是使用 E85 燃料的混合燃料汽车，同时全国仅不到 2%的加油站提供 E85（Lade 等，2018）。因此，美国环境保护局（EPA）在 2011 年之后不得不放弃大部分纤维素的目标，并在滞后的法规制定过程中最终降低了 2013-2016 年的总体目标任务。

对美国经验的分析可以看出初始政策设计中的几个关键问题，包括：未能预测实际条件下和未来技术发展，未将不确定性纳入政策设计和分析，以及在政策制定前对政策潜在影响（包括成本）分析的不足，以及政策制定过程过短（少于 1 年）都增加了市场不确定性和延迟了投资（Lade 等，2018）。根据这一分析，在考虑制定生物燃料目标时，中国可以从以下四个方面汲取经验教训：

1. 需要将不确定性纳入政策制定分析，例如制定短期，中期和长期方案
2. 制定为期多年的长期性法规和目标，而不是年度目标，以在监管决策之后和市场确定性增加之前有更长的时间
3. 考虑设定合规成本的具体价格上限作为法案执行的基础
4. 为纤维素生物燃料技术的研究和开发提供直接资金，而不是仅仅将行政命令作为激励

4.2.2 二氧化碳排放标准

二氧化碳排放标准或温室气体排放标准与燃料经济性标准较为类似，不同之处在于该标准定义了燃料燃烧产生的尾气温室气体排放，而不是一定里程内的燃料消耗。在大多数情况下，该标准是根据单位里程的二氧化碳当量来定义的，例如新车每公里或每英里行驶的二氧化碳排放当量克数。二氧化碳排放标准与燃油经济性标准具有许多相同的优点和缺点。而且，温室气体排放标准有助于激励减少机动车辆排放的所有温室气体，包括甲烷和氧化亚氮等非二氧化碳温室气体（Gallagher 等，2007）。与此同时，它们还有助于减少石油消耗并提高燃油效率，因为减少燃料消耗可转化为更低的排放。

欧盟 CO2 排放标准案例研究：

欧盟在2009年法规中规定2020-2021欧盟车辆的二氧化碳排放目标的绝对水平为:乘用车每公里二氧化碳排放 95 克（gCO_2/km），在 2011 年法规中规定轻型商用车的二氧化碳排放标准为 147 克 CO_2/km。2017 年底，欧盟委员会根据相对而非绝对的减排目标提交了 2025 年新目标的新提案。通过该相对减排目标方案是由于新驾驶循环测试程序的变化和逐步深入。具体而言，该提案要求新车和货车的平均排放量到 2025 年要比 2021 水平低 15%。此外，新车和货车的平均排放量到 2030 年必须比 2021 水平低 30%（欧盟委员会，2018b）。2025 年和 2030 年的排放目标根据所有新车或货车的平均测试质量在制造商之间分配，而少于 10,000 注册小汽车或 22,000 注册面包车的制造商可以申请豁免目标。新提案还为零排放和低排放车辆（定义为 $<50gCO_2/km$）提供了激励机制，如果他们在 2025 年和 2030 年的零排放或低排放车辆比重额分别高于 15% 和 30%，则其 CO_2 减排目标则没有那么严格。

4.2.3 低碳燃料标准

作为另一种类型的温室气体排放标准，与常规石油燃料（例如汽油和柴油）相比，低碳燃料标准旨在降低运输燃料中的碳强度，但没有规定设定具体的 CO_2 排放水平。其中一个最早的例子是加利福尼亚州的低碳燃料标准，如下所述。

加州低碳燃料标准案例研究：

加州的低碳燃料标准（LCFS）适用于炼油厂和分销商以及进口商生产的运输燃料。由于缺乏监管机构以及物流挑战的出现，航空煤油和一些船用燃料被排除在该项标准之外。加利福尼亚州的低碳燃料标准通过设定实现强度降低目标的最后期限来限制每单位燃料油消耗的碳排放和其他温室气体排放总量。该标准涵盖燃料的生命周期排放，包括提取，培育，土地使用变化，加工，运输和分配，以及最终用途。虽然上游温室气体排放仅占石油总排放量的 20%，但几乎相当于生物燃料、电力和氢燃料的总生命周期排放量（Sperling 和 Yeh，2009）。随着气候政策的深入，加州的低碳燃料标准，作为第一个基于全生命周期的监管方式，推动了这一进程。

低碳燃料标准的实施要求每个燃料供应商都要满足严格的排放强度降低目标（例如，加利福尼亚州的低碳燃料标准要求到 2020 年相较 2011 年水平减少 10%）。为了加强灵活性和促进创新，低碳燃料标准允许燃料供应商之间通过交易排放信用来达到标准。例如，炼油厂可以向生物燃料生产商出售排放信用额度，或者他们可以从电力生产商处购买信用额度，而电力生产商通过向电动汽车提供电力来减少排放。 通过行政手段和市场机制的结合，低碳燃料标准不仅比纯粹的指令措施更加强大和可持续，也比纯粹的市场机制更加可接受和有效。未达到标准的公司将面临罚款或法律制裁（例如，州政府通过加州空气和资源委员会对其实施制裁）。

4.3 新兴技术和趋势：欧盟 2050 年交通脱碳计划

在欧盟于 2018 年 11 月 28 日发布的“欧盟 2050 年脱碳愿景”中，制定了一项多部门战略，以实现到 2030 年能源效率相较 2018 年水平提高至少 32.5%，可再生能源占最终能源消费份额至少达到 32%等总体目标（欧盟，2018c）。由于其涉及减少包括石油在内的化石燃料消费，该愿景强调减少建筑物用于供热的化石燃料消费，并转向使用可再生热力和天然气，包括与可再生电力产生的氢气或甲烷混合的液化天然气和沼气。对于运输部门，该愿景文件还提出了多项措施，以支持促进低排放和零排放车辆，低碳、分散化和数字化的电力和电池，高效电动动力系统，以及增加连通性和自动驾驶的总体战略。具体来说，愿景文件寻求可以在帮助欧盟的运输部门实现低碳化中起到重要作用的新兴技术，包括中长期的氢燃料电池技术，短期内的高生物甲烷混合物的液化天然气，以及生物燃料、沼气和包含配套基础设施的电燃料在货运上的应用。文件还要求对该部门进行结构性改革，包括通过消除成员国网络的运营和技术障碍来提高区域铁路货运的竞争力，并通过数字化、数据共享和欧盟地区级别的可互操作标准，来提高移动系统、智能交通管理和自动化交通运输模式的效率。

为支持欧盟委员会的 2050 年脱碳化愿景，非政府组织欧洲运输和环境联合会进行了一项全面的研究，以检查为实现 2050 年欧盟的运输完全脱碳的目标，每种运输方式所需的具体技术和措施，以及其对电力部门的影响。

对于乘用车和轻型车，该研究发现，需要结合行为改变、零排放车辆和先进的生物燃料等多方的助力。特别是，减少汽车使用、加速模式转换和提高负荷因子的行为措施有助于在 2050 年实现 28%的减排，但若想进一步提升减排量，则需要采取更积极的政策来限制和提高私人汽车的使用成本，并推广共享汽车。到 2050 年确定完全脱碳的另一个关键前提条件是，考虑到车辆的预期营业额和寿命，2030 年至 2035 年间，100%的新车销售应当是零排放车辆。该研究还发现，到 2030 年，由于土地供应和产业规模有限，先进的生物燃料可占所有运输燃料的 3.5%。在零排放车辆中，与氢燃料电池车辆相比，电池电动车辆仍是是最佳解决方案。这是由于氢气燃料电池车辆仍面临缺乏商业模型，整体能效差以及车辆和零碳氢气的高成本等等障碍。为了使这些技术解决方案能够帮助实现完全脱碳化，所提出的具体政策建议包括：

- 不仅要注重减少需求，还要重点投资可再生能源和输电网，
- 为 2035 年以后出售的所有汽车制定零排放的指导目标，以及
- 建立额外措施，加快车量更新，如通过国家财政支持退役旧车、建立城市零排放区。

对于公共汽车运输，该研究预测城市公交车将成为到 2030 年实现全面电气化的主要模式。实现全面电气化所需的其他政策包括在省、市级鼓励和部署金融工具以支持低碳转型，并将零排放公交车设定为 2025 年和 2030 年重型车辆标准的一部分。

到 2050 年，货运是汽车低碳运输的另一个主要关注领域。该研究预测，到 2050 年，通过设定卡车燃油效率标准，提升 30%至 50%的燃油效率，将铁路运输占比从 2018 年的 18%增加到 23%，以及提高物流效率，能使道路排放量减少 36%（运输与环境 2018）。然而，从公路到铁路的模式转变将需要铁路运力扩张以及引入燃油税或道路使用费，以提高铁路的成本竞争力。除了这三个现有策略之外，还需要考虑其他替代技术以实现完全脱碳化，包括：

- 氢能或燃料电池卡车：预计 2020 年初期销售和运营将部署美国初创公司 Nikola 的燃料电池半卡车，但最大的现有挑战包括极高的车辆成本和燃料加注基础设施成本，以及燃料电池的技术效率低下。
- 混合动力电动卡车通过架空电线连接供电的电气化高速公路：这一概念目前正在瑞典，德国和美国加利福尼亚州由沃尔沃和斯堪尼亚（Scania）公司合作测试。该技术有潜力可在 2050 年前扩大到公路卡车的 40%至 60%这一规模。该技术的主要优势包括高效率，灵活性和相对较低的车辆和基础设施成本。
- 电池电动汽车：特斯拉目前正在开发的长距离半卡车，预计将于 2019 年发布。预计到 2020 年，成本将于柴油卡车的持平。

为了推动公路货运部门的转型和脱碳化，提出了具体的政策建议，包括激进的卡车和拖车二氧化碳排放标准，针对卡车的零排放车辆基准，增加柴油税，重新设计通行费以鼓励零排放卡车，以及以激发自下而上的对零排放卡车的需求。

对于公路车辆和铁路，所有模式都需要到 2050 年前完全电气化，并在 2035 年，一半左右的运输模式应达到 100%的电气化。到 2050 年实现运输脱碳化所需的电气化率如表 7 和图 16 所示。

表 7. 不同模式下零碳排放汽车的假设

零排放车辆销售额	2025	2030	2035	2050
摩托车和轻便摩托车	50%	100%	100%	100%
乘用车	15%	40%	100%	100%
面包车	20%	50%	100%	100%
城市公交车	50%	100%	100	100%
长途汽车	10%	25%	50%	100%
重型货车 (16 吨以下)	10%	30%	80%	100%
重型货车 (16 吨以上)	5%	30%	80%	100%
铁路 (客运和货运)	70%	80%	90%	100%

注：铁路的数据不是销售额，而是里程量。
来源：Transport & Environment, 2018.

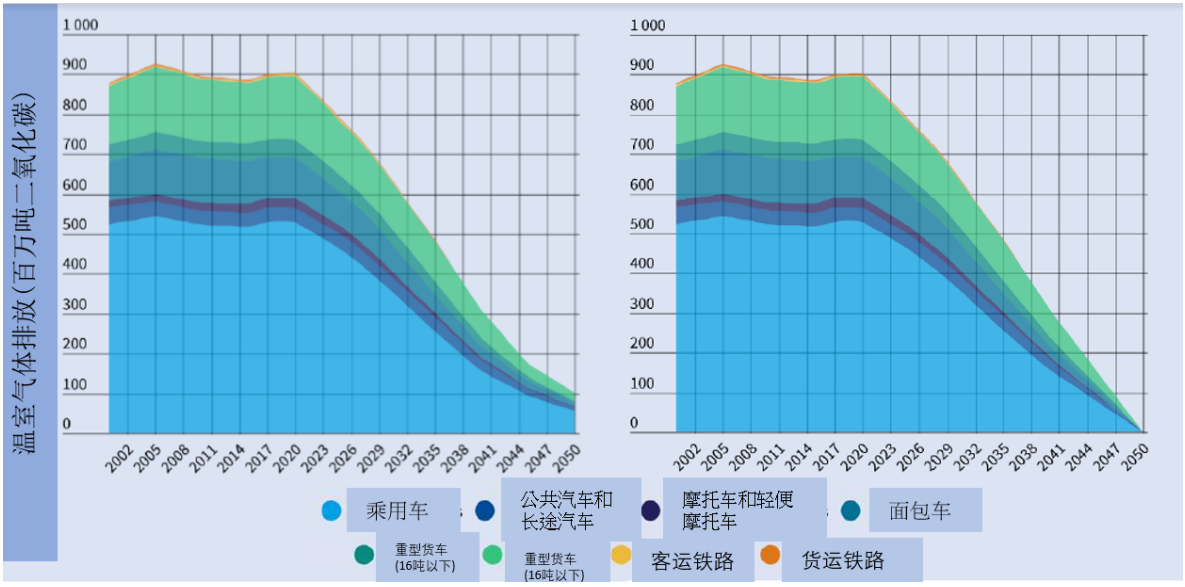


图 17. 各情景下陆地运输模式的温室气体排放

来源：Transport & Environment, 2018

对于剩余的两种运输模式——航空和海运，完全脱碳化更具挑战性，并且将主要通过开发可替代化石燃料的替代燃料来实现。对于航空而言，可预计需求将持续高增长，但未来的增长可以通过财政措施来激励设计和运营方面的效率改进和模式转变，以及更严格的效率标准和加速飞机机队的更新来缓解。总的来说，这些措施预计将实现 2050 年 16.9%的需求下降。其他政策，诸如设定相当于每吨 150 欧元的碳价和 / 或对航空燃料供应商更严格的低碳燃料标准，将增加航空成本从而降低需求。对于进一步的脱碳化，需要推广其他替代燃料，包括合成燃料，如通过将氢气（使用可再生电力生产）与来自通过空气捕获的二氧化碳的碳相结合而生产的电燃料，可以满足高达 11%的燃料需求。然而，作为新兴的替代燃料，这些合成燃料目前的成本比税前飞机燃料高三到六倍。对于航海运输而言，电池电和氢技术是目前可持续可再生能源的唯一可能选择，但若想扩大规模，也面临着重大的成本挑战。考虑到全球航运加油模式，由于难以实施和执行的可持续性标准，生物燃料无法作为主要的能源。

总而言之，如表 8 所示，到 2050 年前，欧盟交通部门的脱碳将需要大量的清洁电力。仅对于陆路运输，与 2015 年发电量相比，到 2050 年就需要相当于 43%的额外发电量。与其他技术（如氢 / 氨或合成燃料）相比，直接使用清洁电力的技术更节能，但无法应用于航空领域。这些结果表明，需要快速扩大清洁、可再生的发电和输电，以支持交通部门的脱碳化。

表 8. 2050 年不同模式下交通脱碳的清洁电力需求

交通方式	电动车所需发电量（亿千瓦时）	发电燃料		最佳路径（亿千瓦时）
		氢气 / 氨气 *（亿千瓦时）	合成燃料（柴油，汽油，煤气和煤油）（亿千瓦时）	
摩托车	34 (1.1%)	90 (2.8%)	203 (6.3%)	34 (1.1%)
小汽车	475 (14.7%)	1236 (38.3%)	2187 (67.6%)	475 (14.7%)
面包车	146 (4.5%)	381 (11.8%)	672 (20.8%)	146 (4.5%)
公共汽车	119 (3.7%)	310 (9.6%)	547 (16.9%)	119 (3.7%)
卡车 (16 吨以下)	112 (3.5%)	292 (9.0%)	515 (15.9%)	112 (3.5%)
卡车 (16 吨以上)	364 (1.1%)	949 (1.1%)	1676 (1.1%)	364 (1.1%)
火车	145 (4.5%)	219 (6.8%)*	NA	145 (4.5%)
陆路运输总量	1395 (43.1%)	3479 (107.6%)	5799 (179.3%)	1395 (43.1%)
航运	350 (11%)	1032-1192 (32-37%)	1718 (53%)	798 (25%)
航空	N/A	N/A	912 (28.2%)	912 (28.2%)

注：括号中的数字表明和 2015 年发电量（3234 TWh）相比，发电量的增加的比例。
有关计算的详细信息，请阅读每项研究。在某些情况下（汽车，卡车，航空和航运），采用了减少需求的措施。如果没有实现，电量会更高。
* 由于列车已经主要是电动的，表中的值对应于在 2050 年采用氢气运行剩余列车。

来源：Transport & Environment, 2018

4.4 减少石油消耗的政策及其他因素的小结

根据国际政策经验以及国家、州和市级案例分析，石油消耗持续减少的关键驱动因素可以和政府机构，市场参与者和社会公众效应共同确定。表 9 将这些因素分为特定类别，连同它们如何反映政府政策和计划，市场机制和社会趋势。如表所示，政府在减少石油消费的每个因素中都有明确的作用，而市场机制以及社会公众效应发挥重要的互补作用。

对于那些包括日本，法国和德国在内的已经成功维持早期国家石油消费高峰期的国家而言，影响石油消费持续下降的不是单一因素，而是多种因素。这表明，有效降低石油需求不仅需要多种因素来应对石油需求，还需要多种战略和参与者。

表 9. 国际经验中减少石油消耗的关键因素

	政府	市场	社会 / 公众
经济	• 高汽油税 / 柴油税（如日本、德国）		• 收入差距和最低收入阶层对拥有和使用私家车的负担能力不足
供应	• 减少公共交通费用以增加客流量（如西班牙） • 快速公交系统来促进模式转变 （如墨西哥城）	• 公共交通系统改革以增加客流量（如首尔）	
环境	• 国家和行业特定的二氧化碳排放和化石燃料减排目标（如欧盟白皮书，法国） • 在市中心禁止或限制驾驶（如巴黎）	• 高峰期行车收费以减少空气污染（如伦敦）	• 尽早采用对环境有利 的清洁或电动汽车
技术	• 对清洁和电动汽车实行购买补贴（如法国） • 能效标准及目标（如日本的 CAFE 标准） • 零排放汽车的目标（如欧盟的提案）	• 碳定价促进低排放汽车、航空燃料的选择	
行为变化	• 鼓励骑自行车上下班以及为电动汽车充电提供税收优惠（如法国） • 禁止使用不可降解的塑胶袋（如法国） • 鼓励非机动车交通的土地使用设计和政策变化（如西德）	• 企业鼓励远程办公，减少通勤出行	• 非机动交通的文化观念的转变 • 拼车的发展
可替代燃料	• 建设非化石能源发电厂，如核能和可再生能源发电厂（如法国） • 电力和工业部门从使用重油转向使用天然气（如日本） • 生物燃料和低碳燃料标准（如加州、欧盟） • 交通电气化 （如欧盟的提案）		

5

对中国的政策影响及建议

对比石油消费达到顶峰的发达国家的政策经验，以及以大幅减少石油消费为重点的地方政策，可见中国已经吸取了一些国际政策的教训。例如，与欧盟和法国类似，中国已经制定了到 2030 年的降低二氧化碳排放强度的中期减排目标，尽管不是专门针对交通行业，也没有到 2050 年。同时，还制定了非化石燃料目标，以推动国家减少石油的消耗。与欧盟日本韩国类似，中国对轻型车和卡车制定了比较严格的燃油经济性标准，以此作为限制机动运输对石油需求的关键战略。然而，与日本和法国不一样的是，石油在历史上一直不是中国的主要发电燃料，因此致力于减少电力行业石油消耗的政策并不适用。这意味着交通运输行业将是影响中国未来石油消耗趋势的关键部门。

特别是交通部门，由于中国已经显著地提高了汽车的能源效率，管理未来交通需求的增长成为遏制石油消耗增长的关键。在回顾的国际政策里，中国已经采取了一些管理公共交通需求的政策，来改善公共交通和限制私人机动车。这包括在北京、重庆、成都、广州和深圳这些大城市推广发展综合快速交通系统以及综合支付和低票价公共交通系统。为了控制私人交通，中国主要城市也对私人拥有和 / 或使用车辆进行了限制，包括单双号限行。然而，除了这两项管理交通需求的策略之外，中国还可以考虑采取其他策略，如改变道路利用规划以促进非机动交通，特别是对于尚未建成大规模道路基础设施的新兴城市。堵车收费，特别是在大城市的市中心，也可被视为另一种短期政策选择，它有可能减少机动交通需求并显著减少空气污染。此外，尽管中国为新能源汽车的基础充电设施提供了一些地方补贴，但还有一些其他方案来促进交通行为模式改变，尤其在私营企业和工业，比如对公共或非机动交通通勤给予激励，或者推行远程办公来减少上班通勤。与直接的、自上而下的政策和项目相比，这些更大的文化和行为方式的转变可能需要更长的时间才能实现，但是来自商界和公共大范围的支持才可能更有效地长期维持石油消耗减少。

除了控制交通需求外，在国际经验的另一个关键战略是促进使用可替代燃料，来主要减少汽油和柴油。在生物燃料方面，中国和很多其他国家一样，对生物燃料的使用实施无食物规定，并推广木薯等植物性燃料，以避免与粮食作物产生潜在冲突。然而与美国不同的是，中国的耕地和生物燃料资源受严重的制约，生物燃料百分比目标或标准可能不适用。尽管玉米秸秆和木屑可能在未来为中国提供纤维素乙醇，但其适用性仍将受限制，而且也会面临类似美国出现的挑战，即常规车辆可使用混合燃料的最大比例。同样地，在中国开展更多的藻类油脂检测可能有助于突显其作为柴油燃料替代品的技术潜力，但在生产规模和代替未来的柴油需求方面仍可能有限制。

通过对中国现有政策和项目与国际经验进行比较，以及其他国际政策的适用性研究，可以为中国在短期、中期、长期内降低石油消耗提供一些具体的政策建议。

短期内，中国可以继续致力于逐步提高轻型和重型车辆的燃油效率标准，通过更严格的能效要求与国际最佳实践水平保持一致。在地方层面，中国可以鼓励城市——尤其是未来几年交通运输需求将快速增长的二三线城市——通过综合交通管理体制和规划、土地利用、城市规划设计为增加公共交通和非机动车交通提供优惠政策和方案。为了更有效的降低石油需求，中国还可以考虑提高汽油消费税来抑制私人机动车出行，类似于

目前日本和德国这些国家正实行的汽油税。基于国际经验，提高汽油消费成本会很大的影响车辆行驶里程和出行，相应地可大大减少燃料消耗。通过采取更多的监管措施，比如对非新能源汽车征收更高的税加快逐步淘汰内燃机的进程，可根据发动机排量大小进行分级征税，以进一步抑制运动型多功能车等大型汽车的使用。奖励报废的旧车或进行有管制的报废可进一步提高汽车更新速度，加速运输电气化和替代燃料的使用。

在中期，中国可以考虑采用更高水平的目标来制定减少运输油耗的总体战略，如欧盟政策中专门针对交通行业二氧化碳的减排目标。中国还可以考虑为运输部门制定具体的石油减量目标，可能从地方试点开始，以及制定全面的政策路线图，例如加利福尼亚州和斯德哥尔摩市提出的那些路线图。同样地，对交通部门征收碳税也可为减少石油和石油产品的使用提供强有力的自上而下的动力，同时给可替代燃料的开发和研究增加投资，特别是对非公路运输模式的研究开发。

长远来看，除传统的降低客运油耗的措施外，还需要更加重视降低货运油耗和石化原料的使用。例如，可以考虑制定卡车和拖车的二氧化碳排放标准，以促进对电气化和其他货运替代燃料的开发投资。改进的货运物流规划和管理，可能借助传感器技术和机器学习等新兴技术，也可以成为提高货运效率的另一种策略。最后，除交通部门外，通过收费或禁止塑料使用或要求使用可回收塑料等方案促进行为的改变，也可以帮助解决预期化石原料需求的增长问题。

6

总结和讨论

总之，只有少数发达的经合组织经济体达到了明确的石油消费峰值，但没有一个转型经济体已经实现了石油峰值。在北美，由于经济大衰退，美国石油消费量在 2008 - 09 年左右达到顶峰，但自 2012 年以来石油消费量再次增加，随着 2014 年后石油价格下跌而加速增加。在全球其他五个地区，只有德国、法国、英国、意大利、西班牙、荷兰和日本在 1980 年之后出现了石油峰值和下降，在价格下跌之后出现温和的反弹效应。石油在国家一次能源消费中所占份额的全球数据并未显示出任何可辨别的关系，除了中东石油出口国往往在主要石油出口国中拥有更高的石油份额。对过去二十年来一次能源消耗的石油强度变化也显示出交错和模糊的趋势，主要石油消费者（包括美国、加拿大和沙特阿拉伯）的石油强度基本持平，俄罗斯的强度增加，以及日本和韩国的强度下降。石化原料的石油使用数据也突显了这些原料对石油使用的持续依赖性，德国是唯一一个随着时间推移用作原料的天然气比例增加的国家。对于像韩国这样的国家，对石化原料，特别是乙烯的需求一直是国家石油消费的主要推动力。

此外，经合组织国家的历史石油峰值与三个主要因素有关：

- 直接减少石油产量和导致油价大幅上涨的重大地缘政治事件；
- 影响石油消费的宏观经济趋势，包括最显著的 GDP 增长和人口变化；
- 具体的国家或地方政策，包括提高运输用石油产品消费零售价的燃油税，提高车辆效率的燃油经济性标准，以及工业和电力部门的燃料转换政策。

从国际经验来看，可以看出，在许多情况下，石油消费峰值是国家应对地缘政治事件的综合结果，如全球油价大幅上涨，国家政策侧重于减少多个部门的石油消费量，以及自然宏观经济和社会趋势，如人口增长放缓和人口老龄化增加。

正如日本、法国和西班牙的情况所示，通过政策的作用，特别是不断提高车辆等主要石油消耗终端用途的能源效率的政策以及电力部门燃料转换的专用战略政策，应对全球或宏观经济趋势，石油消费量实现持续下降。法国在第一次石油危机后制定了大型核发电计划并显著增加了天然气消费量，而日本也在 1999 年之后通过发电厂推广液化天然气和核能而大大减少了重油消耗量。对于日本和韩国在不久的将来，改变包括降低人口增长率和人口老龄化的社会结构预计将进一步减少石油需求。

为了进一步说明国家政策对塑造石油消费趋势的影响，我们还分析了国家层面的成功案例，其中包括欧盟的整体运输战略和减少运输部门排放的目标设定，法国的《绿色增长能源转型法案》以及日本过去十年采用的若干国家能源政策。对于欧盟战略和法国最近的法案，制定了详细的时间表和总体目标，以减少温室气体排放和 / 或化石燃料消耗，并辅之以具体的政策措施，包括从车辆的二氧化碳排放标准，新轮胎贴标和压力监测要求到对购买低排放车辆的补贴和激励措施，以及禁止使用不能降解的塑料袋，并分阶段的强制塑料回收。对于日本而言，重新定义石油在国家能源系统中的作用，作为灾难情况下的“能源供应的最后手段”以及严格的车辆效率标准和高汽油税，这些都有助于维持全国石油消费量在高峰期后的下降。

对于运输部门——中国石油和石油产品的主要终端用能部门——我们还回顾了一系列运输需求管理政策，其中包括具体的国际案例研究及其对降低燃料消耗的潜在影响，包括：定价和税收价格，促进替代交通模式（例如公共交通）的政策和计划，非机动出行和土地使用，减少因公出行的政策，监管方法（如减少交通的禁令等）以及降低车速，提高燃油效率的政策。我们还评估了三种替代燃料政策，包括生物燃料要求或目标及其在西班牙和欧盟的有效使用，以及在美国面临的挑战和经验教训。从这些国际案例研究中，针对中国可能的生物燃料目标的具体政策建议包括：鉴于某些生物燃料对环境、土地利用变化和粮食作物影响，需要设定明确的可持续发展目标或标准，衡量生物燃料是否符合要求。同时，需要在目标设定中纳入不确定性和限制合规成本，优先制定为期多年的目标，为市场提供更大的确定性，并为纤维素生物燃料技术的研究和开发提供直接补充资金。我们还评估了欧盟的二氧化碳排放标准和加州的低碳燃料标准作为促进运输燃料转换的政策。

近期，欧洲委员会于 2018 年 11 月发布的《2050 欧盟交通部门脱碳愿景》也可以为中国未来大幅减少石油消耗和碳排放提供指导路线。《欧盟 2050 愿景》强调需要制定总体减排目标并针对具体部门的做出行动，以减少建筑、电力和交通部门的化石燃料消耗。其中交通部门的减排策略超越了传统技术和战略层面，更侧重于低排放和零排放车辆，脱碳、分布式和数字化的电力和电池，高效电动力系统，以及强化互联和自动驾驶。一份对2050年欧盟交通部门全面脱碳的综合技术路线图研究发现，现有的政策和措施（包括效率标准、改变行为、改善物流）需要和新兴技术以及新的替代燃料结合使用。具体而言，该研究考虑 2035 年之前全面部署零排放的电池电动汽车应用于私家车，到 2030 年城市公交车全面实现电气化，全面推广氢或燃料电池卡车，电子高速公路和能够互连的混合动力电动卡车，货用电池电动卡车，航空航天使用合成电子燃料，船运使用氢或电池电子技术等对于脱碳至关重要的技术。该研究还量化了在 2030 至 2050 年之间满足各种运输方式的完全电气化所需的清洁电量，发现交通部门所需的清洁电力几乎占欧盟 2015 年总发电量的一半。这项研究的结果表明，现有新兴的、有前景的技术几乎可以消除交通中的所有石油消耗，但未来的部署还需要新的和严格的政策，持续的技术进步，以及相应的清洁电力供应的快速增长。

采用更有积极主动的政策和战略可能有助于中国达到峰值并减少石油消费，对美国加利福尼亚州和瑞典斯德哥尔摩市的积极采取措施、进行路线图规划和战略发展的两个案例研究也表明：多部门协同行动明显有助于减少石油消耗。与中国一样，美国加利福尼亚州和瑞典斯德哥尔摩市在更严格的燃油经济性标准和运输电气化改善方面的努力一直领先于许多其他地区。两者都致力于通过多部门协同战略大幅减少石油消耗。具体而言，加利福尼亚州实行一项基本路线图，通过针对客运、货运和非公路运输的拟议措施和战略，到 2030 年将运输部门的化石燃料消耗量减少 50%，而瑞典斯德哥尔摩市采取积极的路线图和城市战略以实现到 2040 年完全消除化石燃料消耗。对于运输部门，斯德哥尔摩的战略强调通过转向更高效和替代燃料（包括电动）车辆，减少私人汽车的使用转向公共交通，以及改进和提高物流货运效率和驾驶行为提高货运效率，从而帮助该城市到 2040 年实现化石燃料消耗几乎为零。与此同时，由于目前存在管辖权有限和替代燃

料有限的挑战，他们也认识到完全淘汰航运和船运领域化石燃料的挑战，这些领域为未来进一步关注和需要改进的领域。

为了阐明中国如何在多种运输模式中采用综合战略，并扩大目前尚未广泛部署的新兴替代技术和燃料以实现石油峰值，我们建议在可能的第二年工作中，超越传统政策，对新兴技术和战略进行更深入的评估。对于拟定的明年工作，我们的目标是对新兴技术进行深入评估，例如电气化货运的电动重型车辆，用于长途航空旅行和航运的替代燃料，以解决在交通和工业部门中取代石油消费的其他挑战。 我们还希望更广泛的研究政府和制度变革对未来政策方向的影响，例如新出现的国际气候变化协议，社会文化行为的变化，如增加回收，塑料禁令，取代化肥的替代农业技术，以及随着石油生产投资的降低而改变的石油市场，这些都有助于中国石油消费的快速放缓和消减。我们还建议进行与美国天然气压裂经验相关的案例研究，以了解非传统燃料开发所需的经济和制度条件以及对其未来前景的影响。最后，从建模的角度来看，我们建议对最新的全球展望研究中积极提高能效和减缓气候变化的情景中所采用的基本假设和技术政策考虑进行回顾，并使用 LBNL 的自己开发的 2050 DREAM 模型来探寻中国的石油消费量减少和达到峰值的替代途径。

参考文献

Air Resources Board of State of California (ARB). 2015. “California’s 2030 Climate Commitments: Cutting Petroleum Use in Half by 2030.” https://www.arb.ca.gov/newsrel/petroleum_reductions.pdf

Asensio J, Gomez-Lobo A, Matas A. 2014. “How effective are policies to reduce gasoline consumption? Evaluating a set of measures in Spain.” Energy Economics, 42: 34-42.

Bousso, R. 2018. “Oil and gas upstream investment.” Reuters. https://fingfx.thomsonreuters.com/gfx/editorcharts/OILMAJORS-SPENDING/0H0014BXH2D7/index.html

BP. 2017. Statistical Review of World Energy 2017. https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html

BP. 2018. Statistical review of World Energy 2018.

California Energy Commission (CEC). 2016. “Electric Transportation Integrated Resource Planning by Publicly Owned Electric Utilities.” https://www.energy.ca.gov/altfuels/2016-TRAN-01/

City of Stockholm. 2014. “Roadmap for a fossil-fuel Stockholm 2050.” http://www.stockholm.se/PageFiles/463655/Roadmap%20for%20a%20fossil%20fuel-free%20Stockholm%202050.pdf.

City of Stockholm City Executive Office. 2016. “Strategy for a Fossil-Fuel Free Stockholm by 2040.” https://international.stockholm.se/globalassets/rapporter/strategy-for-a-fossil-fuel-free-stockholm-by-2040.pdf.

Craighead M. and J. Manzo. 2017. “Gas Taxes in the United States and Globally.” Midwest Economic Policy Institute. https://illinoisepi.org/site/wp-content/themes/hollow/docs/infrastructure-investment/gas-tax-final.pdf

Das D., Srinivasan R, and R.S. Dhankar. “Petroleum Oil Consumption in Major Countries of the World: A Panel Data Analysis.” Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 36: 23, 2635-2644.

Energy Information Administration (EIA) of the U.S. 2018. “Country Analysis Brief: South Korea.” Available at: https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=KOR

European Commission. 2018a. “EU Action: Transport.” Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris_protocol/transport_en

European Commission. 2018b. “Proposal for post-2020 CO2 targets for cars and vans.” https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/proposal_en

European Commission. 2018c. “A Clean Planet for All: A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.” COM (2018): 773 final.

Gallagher, K.S., Collantes, G., Holdren, J.P., Lee, H. and R. Frosch. 2007. Policy Options for Reducing Oil Consumption and Greenhouse Gas Emissions from the U.S. Transportation Sector. Energy Technology Innovation Policy Discussion Paper.

The Government of France. 2018. “Energy Transition.” Available at: https://www.gouvernement.fr/en/energy-transition

Hamilton J. 2012. “Oil Prices, Exhaustible Resources, and Economic Growth.” Handbook of Energy and Climate Change. www.nber.org/papers/w17759

ICF International. 2016. “Half the Oil: Pathways to Reduce Petroleum Use on the West Coast.” https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/california-and-western-states/west-coast-oil#.W5rGaflRdEY

Institute for Energy Economics and Financial Analysis, 2018. “Energy Market Update: Red Flags on U.S. Fracking Disappointing Financial Performance Continues.” http://ieefa.org/wp-content/uploads/2018/10/Red-Flags-on-U.S.-Fracking_October-2018.pdf

International Council on Clean Transportation. 2018. “Passenger vehicle fuel economy.” https://www.theicct.org/chart-library-passenger-vehicle-fuel-economy

International Energy Agency (IEA). 2013. “A Tale of Renewed Cities.” Paris: OECD/IEA.

IEA. 2015. “Saving Oil in a Hurry.” Paris: OECD/IEA.

IEA. 2016. “Energy Policies of IEA Countries: Japan Review 2016.” Paris: OECD/IEA>

IEA. Multiple Years. “World Energy Balances.” Paris: OECD/IEA.

IEA 2018. “Global EV Outlook 2018.” https://www.iea.org/gevo2018/

Khanna N.Z., Fridley D., Zhou N., Karali N., Zhang J., Feng W. 2017. "Energy and CO_2 Implications of Maximizing Electrification and Renewable Resources for China through 2050." LBNL Report.

Kim. 2009. “Policy Directions of Seoul for a Clean and Green City.” Presentation at the Connected Urban Development Global Conference, Seoul.

Lade G., Lin Lawell C., Smith A. 2018. “Designing Climate Policy: Lessons from the Renewable Fuel Standard and the Blend Wall.” American Journal of Agricultural Economics, 100 (2): 585-599.

Paraskova T. 2019. “IEA Chief: EVs are not the end of the Oil Era.” Oilprice.com, January 22, 2019. https://oilprice.com/Energy/Energy-General/IEA-Chief-EVs-Are-Not-The-End-Of-The-Oil-Era.html

Petroleum Association of Japan. 2015. “Petroleum Industry in Japan 2015.” www.paj.gr.jp/english/data/paj2015.pdf

Planet Energies. 2018. “Close-up: France’s Overall Energy Mix.” Available at: https://www.planete-energies.com/en/medias/close/france-s-overall-energy-mix

Pucher J. 1997. Bicycling Boom in Germany: A Revival Engineered by Public Policy, Transportation Quarterly, 51 (4): 31-46.

Sperling, Daniel and Sonia Yeh, 2009, “Low Carbon Fuel Standards.” Issues in Science and Technology, Winter 2009: 57-66.

Transport & Environment. 2018. “How to decarbonize European transport by 2050.” Brussels: Transport & Environment.

TransportPolicy.net, 2018, “EU: Fuels: Biofuel Policy” https://www.transportpolicy.net/standard/eu-fuels-biofuel-policy/

U.S. Energy Information Administration (EIA). 2017. International Energy Outlook 2017. https://www.eia.gov/outlooks/ieo/

Wachtmeister H, Henke P, Hook M. 2018. “Oil projections in retrospect: revisions, accuracy and current uncertainty.” Applied Energy 220: 138-153.

Wang Y. 2013. “Oil price effects on personal consumption expenditure.” Energy Economics 36: 198-204.

World Bank. 2018. World Bank Open Data. https://data.worldbank.org/

Disclaimer

环保纸印刷