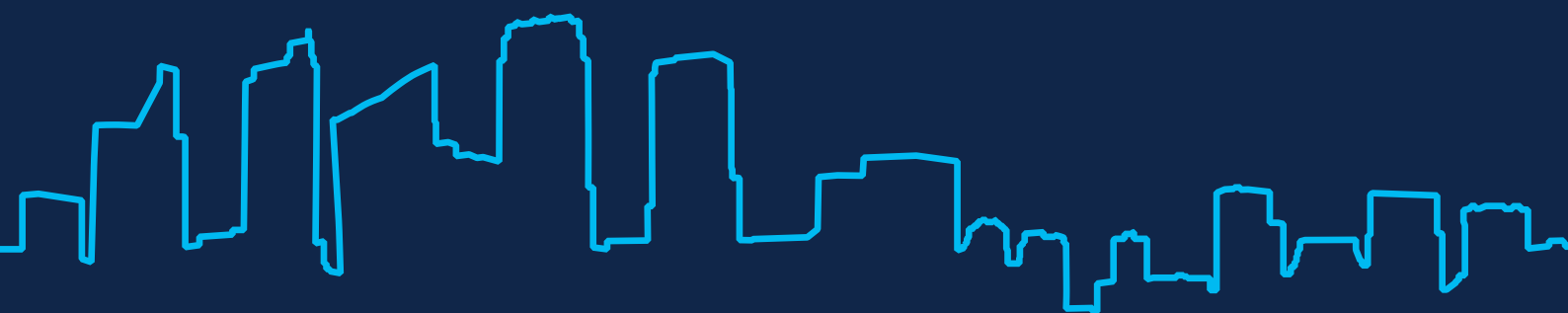


# 油控情景下杭州市碳减排 路径研究

THE CARBON REDUCTION PATHWAYS  
FOR THE CITY OF HANGZHOU  
UNDER AN OIL CAP SCENARIO

油控研究项目“杭州低碳试点”课题组



## 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）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](http://www.nrdc.cn)。

本报告由浙江省经济信息中心和交通与发展政策研究所撰写。

## 浙江省经济信息中心

浙江省经济信息中心（浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心）是长期致力于支撑浙江省发展改革委（省能源局）相关工作的绿色低碳和能源发展研究智库。主要研究领域包括应对气候变化和促进低碳发展战略规划、区域低碳转型、能源战略与规划、能源可持续发展，以及节能等方面工作。受地方政府委托，协助制定地方低碳发展战略规划、政策和方案等顶层设计，以及地方节能、煤炭减量消费等相关政策举措和工作方案等，承担浙江省气候变化研究交流平台（被列入浙江省促进大数据发展实施计划示范工程）的建设与管理。在服务地方政府科学制定节能减排战略、政策方面发挥了较强的支撑作用。

## 交通与发展政策研究所

交通与发展政策研究所（ITDP）成立于1985年，总部位于纽约，是一个国际性的非营利机构，全球7个国家设有12个分部，有员工约120人。ITDP旨在全球尤其是发展中国家推广可持续以及平等的交通政策和项目。我们关注的政策和项目领域有：快速公交系统（BRT），非机动车交通系统（NMT），公交引导发展（TOD）及交通需求管理（TDM）等，并致力于可持续交通系统的宣传培训及最佳实践的推广。

## 系列报告

- 《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

# 油控情景下杭州市碳减排 路径研究

**THE CARBON REDUCTION PATHWAYS  
FOR THE CITY OF HANGZHOU  
UNDER AN OIL CAP SCENARIO**

报告主要撰写者

汪燕 黄炜 郭江江 张天佑 刘闰辉 李珊珊 刘少坤 王倩钰

油控研究项目“杭州低碳试点”课题组

2019年08月



---

# 目录

---

执行摘要	6
Executive Summary	10
1. 杭州控油减排背景和意义	14
1.1 应对气候变化	
1.2 大气污染防治	
1.3 交通拥堵治理	
1.4 杭州实施油控政策的优势	
2. 杭州市碳排放情景分析	22
2.1 峰值预测模型选择	
2.2 杭州市碳排放情景分析	
2.3 杭州市交通碳排放达峰情景分析	
3. 杭州市石油消费情景与控油目标	35
3.1 杭州市石油消费情景研究	
3.2 情景分析总结	

4. 杭州市控油路径与政策建议	41
4.1 杭州市交通领域控油减排路径	
4.2 非交通领域控油路径	
4.3 控油政策建议	
参考文献	55
附录一：LEAP-Hangzhou2050 模型基本框架及关键假设	56
附录二：不同情景主要参数设置	58



---

# 执行摘要

---

近 10 年来，杭州市经历了快速的经济发展和城市扩张，经济快速转型。但同时也面临交通拥堵、极端天气多发等众多问题。虽然杭州市目前在产业转型、能源结构优化等方面开展了成效显著的工作，并且碳排放总量出现下降趋势，但随着城镇化进程的加快，人口的增长，未来仍面临交通领域石油消费造成的空气污染及环境问题更加严峻的形势。

根据杭州市碳排放历史数据，当前杭州市碳排放总量已达到阶段性峰值。由于产业结构调整、电力清洁化和燃煤电厂关停等原因，近年来杭州市碳排放总量先增后降，碳强度持续下降，电力间接排放占比在 2016 年超过了煤炭，成为最大碳排放源。工业领域的减排是目前碳排放得到控制的主要原因。但是，随着工业节能边际成本的提高和经济的回暖，碳排放仍然存在反弹的迹象。

近年来，交通运输对碳排放的反弹起到越来越重要的作用。根据杭州市目前石油消费结构，交通领域是汽、柴油消费最大部门。随着经济的发展和杭州主城区扩大，交通机动车数量居高不下，交通领域油耗存在继续上升空间，因此在杭州实施油控政策是有效抑制碳排放增长的手段。

实施油控政策不仅有利于控制温室气体，减少极端天气出现的可能，同时也对大气污染防治、交通拥堵治理等有积极的意义。杭州市数字经济产业发展迅速，正是积极把握大数据、人工智能发展的重要契机，积极推动“城市大脑”和智慧城市的建设。对于杭州来说，实施油控是实现低碳发展的必经之路。

本研究根据杭州市能源结构调整、产业结构调整、低碳建筑、低碳交通、低碳生活等低碳发展关键部门不同程度的进展确定低碳发展的三个情景，分别为基准情景、低碳情景、油控情景。在油控情景下，石油消费达峰年为 2023 年，石油消费量约 500 万吨（约 700 万吨标煤）。

在交通领域，参考油控研究项目建议的全国传统燃油车退出时间表，本研究给出了杭州市传统燃油车的退出时间表：

研究提出的杭州市传统燃油车退出时间表

类型	退出时间	油控研究项目提出的全国燃油车退出时间
公交车	2016	2030
普通客车	2035	2045
货运车辆	2040	2050
出租车（网约车）	2020	2030
私家车	2030	2040

本研究利用 LEAP 模型计算在基准情景、低碳情景和油控情景下的杭州市碳排放水平，得出未来杭州市碳排放水平及不同部门的排放情况及能源消费情况，主要结论包括：

## 1. 杭州市碳排放已达到阶段性峰值

在基准情景下，2020-2025 年，考虑到人口大量涌入、开展重大活动、经济较快发展等因素，碳排放水平保持低速增长的趋势，存在反弹的趋势。2025 年之后，随着产业结构的优化和能源利用效率的提高，碳排放水平持续下降。

## 2. 交通和建筑是未来减排重点领域

未来主要的减排来自第二产业的贡献，主要在于交通和建筑部门。随着城市化进程的加快和经济的发展，交通排放越来越起到更重要的作用，控制交通领域油品消费是落实油控措施的关键。

## 3. 油控情景下石油消费量得到有效控制

在油控情景下，到 2050 年，能源消费结构中电力消费占比达到 68%，煤炭消费（不含电力生产）下降到 2% 以下，石油的消费进一步降低，石油消费占终端用能消费预计从 2017 年的 19.4% 下降至 4%，消费量下降 81.8%。

## 4. 空气质量得到根本性改善

从杭州空气污染物成分看，PM<sub>2.5</sub> 是主要污染物，杭州市域范围内 PM<sub>2.5</sub> 主要受 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 影响，而氮氧化物和二氧化硫排放源主要为机动车和燃煤排放（主要为火电、



水泥行业)。在油控情景下，石油消费量 2030 年较 2015 年下降约 38%，煤炭消费量较 2015 年下降约 62%，考虑到排放终端的处理技术的提高、油品的清洁化趋势，到 2030 年，NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub> 减排 40% 的目标可以实现，空气质量将得到根本性改善。

## 5. 碳排放与经济增长逐渐脱钩

从杭州市碳排放脱钩指数变化图可以看出，油控情景下，杭州市 2020 年之后便进入强脱钩阶段，经济增长的同时，排放量继续下降。

杭州市交通碳排放达峰分析的结果表明，杭州市交通部门碳排放未来一段时间会继续增长，在基准情景下，预计 2028 年达到峰值，低碳和油控情景下，预计 2023 年达到峰值。对分领域能源消费情况，到 2050 年，在油控情景下，随着工业用油的进一步降低和交通的电气化，油品的消费进一步降低。在交通领域，货运和非营运交通（主要为私家车）是排放的重点部门。

本报告深入探索具有杭州市特色的油控措施及政策的推进落实，通过制定减少机动车出行，引导居民向绿色交通转移，同时优化交通组织效率及提升能源利用率等措施，即“减少、转移、优化、提升”4 项措施，严格控制燃油消耗，实现油控情景目标值。

### 1. “减少”策略

“减少”策略是通过优化城市空间布局，整合土地利用与交通的一体化开发，形成职住平衡的区域发展模式，减少机动车出行需求。

### 2. “转移”策略：

“转移”策略是通过发展绿色交通出行，将私人小汽车出行需求引导至公共交通、非机动车交通及共享交通等能源利用率高的交通方式上。

### 3. “优化”策略

“优化”策略是通过现代化的通讯、网络及其他技术手段优化交通出行效率，减少交通领域燃油的消耗。

### 4. “提升”策略：

“提升”策略是通过提高能源利用效率并推广替代能源的使用，降低石油消耗。



根据油控路径分析，杭州市可制定分期实施方案，优先实施近期能产生最强控油效果的措施，产生立竿见影的降低燃油消耗的效果。交通是一个复杂的系统工程，在确保交通参与者高效有序出行的前提下降低油耗，则需要多部门参与、多措施综合运用，实现 2023 年燃油消耗达峰目标。



---

# Executive Summary

---

Within the past ten years, Hangzhou has experienced rapid economic development and urban expansion, while also facing severe traffic congestion and frequent extreme weather incidents, among a host of other problems. The city is currently undergoing a transition in its industrial sectors and optimizing its energy structure, both developments that have achieved notable successes, and sees a trend of decreasing total carbon emissions. However, along with accelerating urbanization and an increasing population, emissions from oil consumption in the transportation sector will further exacerbate problems of air pollution and environmental degradation for the foreseeable future.

According to historical data on Hangzhou's emissions, current carbon emissions from the city have already reached periodic peak. As a result of transformations in industry, clean power, and the closure of coal-fired power plants, carbon emissions increased and then subsequently decreased in recent years, carbon intensity continues to decrease, and the proportion of indirect emissions from electricity surpassed coal in 2016, becoming the largest source of carbon emissions. Emissions reductions from industrial sectors are currently the primary cause of decreasing carbon emissions. However, with increases in the marginal cost of energy-saving measures and an economic uptick, there are signs of a rebound in carbon emissions.

In recent years, transportation has played an increasingly significant role in rebounding carbon emissions. Considering Hangzhou's current oil consumption structure, transportation accounts for the most gasoline and diesel fuel usage. As the city's economy has developed and its main urban area expanded, the number of vehicles has remained high and the potential for continued oil consumption growth remains, leading Hangzhou to implement policies to limit an increase in carbon emissions.

Measures to cap oil consumption not only contribute to reducing greenhouse gases and extreme weather occurrences, but also have a positive impact on managing pollution and traffic congestion. Hangzhou has seen major advancements in its digital economy and firmly grasps the opportunities that big data and artificial intelligence offer to establish an "urban brain" and smart city. Successful implementation of an oil cap project is a necessary path for Hangzhou to realize low-carbon development.

This research sets three scenarios (reference, low-carbon, and oil cap) that consider different levels of low-carbon development in energy and industrial transitions, building, transportation, and daily living, among other areas. Under the oil cap scenario, oil consumption will peak in 2023 at approximately 5 million tons (around 7 million tons of standard coal equivalent).

The following timetable for the phase-out of traditional fuel vehicles in Hangzhou was produced according to the oil cap project's national phase-out timetable and proposal to ban traditional fuel vehicle sales.

### Proposed Hangzhou Traditional Fuel Vehicle Phase-Out Timetable

Type	Hangzhou traditional fuel vehicle phase-out timetable	National traditional fuel vehicle phase-out timetable proposed by the China Oil Cap Project
Bus	2016	2030
Coach	2035	2045
Freight vehicle	2040	2050
Taxi	2020	2030
Private car	2030	2040

This research utilizes the LEAP model to calculate the future carbon emissions levels in Hangzhou and the carbon emissions and energy use from various sectors for the reference, low-carbon, and oil cap scenarios. The major conclusions are:

#### 1. Hangzhou has reached periodic carbon emissions peak

Under the reference scenario, considering a significant population influx, large-scale activities, and relatively fast economic development, carbon emissions will continue to slowly increase from 2020 to 2025 as part of the rebounding trend. After 2025, as energy efficiency and the industrial structure improve, carbon emissions will decrease.

#### 2. Transportation and buildings are key sectors for future emissions reductions

Contributions to emissions reductions will primarily come from secondary industries, as the greatest areas for growth are in the transportation and building sectors. Along



with economic development and the acceleration of urbanization, transportation sector emissions will become increasingly significant, making measures to control oil consumption in this sector crucial.

### 3. Oil consumption to face effective controls under oil cap scenario

Under the oil cap scenario, electricity will account for 68% of the energy consumption structure, and coal consumption (not including power generation) will decrease to under 2% by 2050. The consumption of oil will decrease further. By 2050, the share of oil in final energy consumption will fall to 4%, as compared to 19.4% in 2017, with the amount consumed dropping 81.8%.

### 4. Air quality to see fundamental improvements

PM<sub>2.5</sub> is the major component of Hangzhou's air pollution. Of the PM<sub>2.5</sub> pollution in the region, NOx and SO<sub>2</sub> emissions play a significant role and primarily result from traditional fuel vehicles and burning coal, as required for thermal power and the cement industry. The oil cap scenario predicts oil consumption in 2030 will decrease approximately 38% relative to 2015, while coal consumption will drop 62%. Considering advances in emissions treatment technologies and the trend towards cleaner oil products, it is possible to reach the target of decreasing NOx and SO<sub>2</sub> emissions 40% by 2030.

### 5. Carbon emissions will gradually decouple from economic growth

The Hangzhou carbon emissions decoupling index illustrates that, under the oil cap scenario, the city will enter a phase of strong decoupling after 2020, as emissions decrease and the economy continues to grow.

The analysis of Hangzhou's peak carbon emissions from transportation indicates that carbon emissions will continue to increase for a certain period of time under each of the scenarios. The reference scenario predicts a peak in 2028, while the low-carbon and oil cap scenarios both set the date for 2025. Under the oil cap scenario, as the industrial use of oil decreases and transportation undergoes electrification, oil consumption will decrease significantly by 2050. In the transportation sector, freight and non-commercial vehicles (primarily passenger cars) will be key emissions areas.

This report thoroughly investigates oil cap measures and policies suited to the specific

conditions of Hangzhou. These will establish limits on motor vehicle travel, guide residents towards green transportation usage, optimize the effectiveness of transport organizations, and improve energy efficiency. Divided into strategies to “reduce, shift, optimize, and upgrade,” these four methods aim to strictly control oil consumption and realize the targets set forth in the oil cap scenario.

### 1. “Reduction” Strategy

This strategy intends to optimize the city layout through integrating both land-use and transportation planning, establish a balanced commercial-residential development model for the region, and reduce the demand for motorized transport.

### 2. “Shift” Strategy

These measures plan to develop green transportation and shift travel from private passenger vehicles to energy-efficient public, non-motorized, and shared transport methods.

### 3. “Optimization” Strategy

The “optimization” strategy will utilize modern communication channels, the internet, and other technological measures to optimize travel efficiency and reduce fuel consumption.

### 4. “Upgrade” Strategy

This strategy intends to reduce oil consumption through improving energy efficiency and expanding alternative energy usage.

According to the oil cap pathway analysis, a phased implementation plan for Hangzhou should prioritize strong measures that will produce immediate reductions in fuel consumption. Transportation constitutes a complicated system that must ensure efficient and orderly travel. This is the premise for multi-sector participation and support for comprehensive measures that will achieve the goal of peak oil consumption in 2023.

# 1

## 杭州控油减排背景和意义

## 1.1 应对气候变化

近 10 年来，杭州市经历了快速的经济发展和城市扩张，经济快速转型。但同时也面临交通拥堵、极端天气多发等众多问题。杭州市目前在应对气候变化领域开展了成效卓著的工作，并且碳排放总量出现下降趋势，但随着城镇化进程的加快，人口的增长，未来会面临由此导致的空气污染等严峻问题。

### 1. 杭州市低碳发展经验

近年来，在全球变暖的大背景下，台风、强降水等极端天气事件发生的频率不断增加，给人类的生存带来极大的挑战。杭州市不断深化气候低碳发展理念，把低碳发展作为经济社会发展的重大战略和生态文明建设的的重要途径，采取积极措施，积极应对气候变化。早在 2004 年，杭州市就印发了《优先发展城市公交，缓解市民“出行难”问题的实施意见》，坚持“公交优先”发展战略，在构建完善公交系统、增强公交运力、改善公交服务质量等方面做了大量工作，助力低碳交通发展；2010 年，杭州被国家发改委确定为全国首批低碳试点城市，提出打造低碳经济、低碳交通、低碳建筑、低碳生活、低碳环境、低碳社会“六位一体”的低碳示范城市；2017 年，杭州市人民政府印发《杭州市“十三五”控制温室气体排放实施方案》，进一步明确低碳发展总体目标、战略任务，切实深化低碳建设。

### 2. 碳排放总量先升后降，碳强度持续下降

2010-2016 年杭州市能源活动二氧化碳核算排放总量呈现“倒 U 型”变化趋势。2010-2014 年 CO<sub>2</sub> 核算排放量总体增长，增速震荡收窄，并于 2014 年达到最高点，随后受电力排放因子调整、杭钢半山基地关停，以及主城区电厂燃煤机组淘汰等因素的影响，从 2015 年开始全市核算排放量出现负增长。

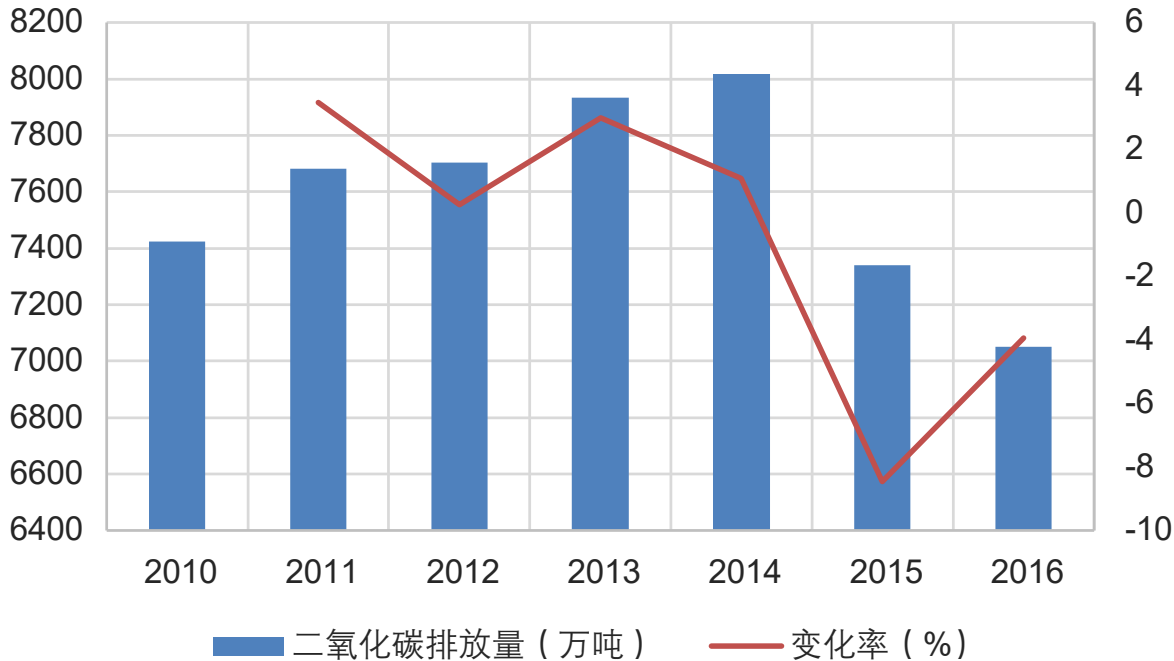


图 1-1 杭州市 2010-2016 年碳排放总量及增速

2010-2016 年，杭州市单位 GDP 二氧化碳排放量呈现逐年下降的趋势，其中 2015 年、2016 年由于电力排放系数的调整、杭钢关停等因素的影响，降幅在 10% 以上，七年累计下降了 44%。

### 3. 工业领域的减排是目前碳排放得到控制的主要原因

2010 年以来，杭州市电力消费快速增长，2016 年净调入电力达到 499.19 亿千瓦时，较 2010 年提高 44.4%。按排放领域分，化石燃料燃烧碳排放和电力净输入间接排放是杭州市碳排放的两个主要来源。从历史变化看，煤炭及其制品燃烧排放占比和电力净输入间接排放占比变化幅度最大。原因具体分析来说，一方面是杭钢关停的“贡献”，并且随着城区内半山电厂、萧山发电厂“煤改气”，进一步巩固了煤炭消费的下降趋势。

当前，杭州市碳排放总量得到控制主要原因是在于第二产业，尤其是工业部门的减排。2016 年第二产业碳排放占全市碳排放总量的 68.27%，从变化趋势看，2010-2016 年间，第二产业（主要是工业部门）碳排放占比下降幅度较大，2016 年较 2010 年下降了 7.76 个百分点。但随着节能边际成本的提高和近年来经济的回暖，碳排放总量有反弹的迹象。



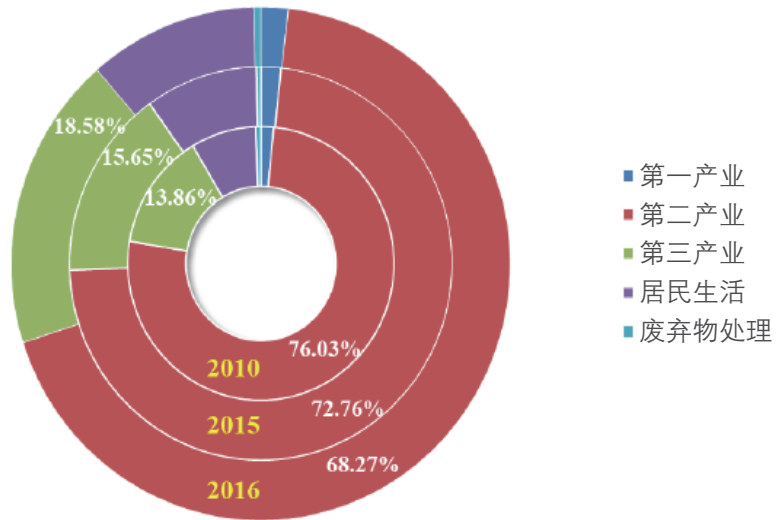


图 1-2 杭州市碳排放部门构成对比图

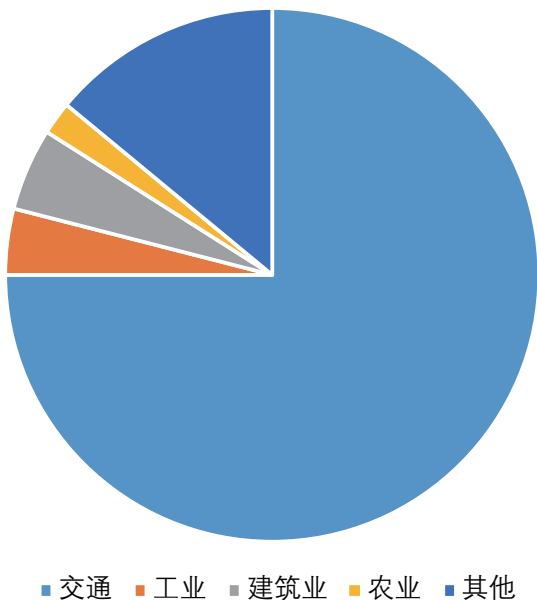
#### 4. 未来减排的重点在交通领域

根据杭州市碳排放结果，2010-2016 年间，第三产业碳排放占比上升幅度较大，2016 年较 2010 年提高了 4.72 个百分点。2010-2016 年间，第三产业和居民生活碳排放的增幅分别达到 25.01% 和 28.24%。其中，交通运输部门碳排放占全社会排放总量的比重呈上升趋势。

根据杭州市目前石油消费结构，交通领域是汽、柴油消费最大部门。随着经济的发展杭州主城区扩大，交通机动车数量居高不下，交通领域油耗存在继续上升空间，因此在杭州实施油控政策是有效抑制碳排放增长的手段。



汽油分行业消费占比



柴油分行业消费占比

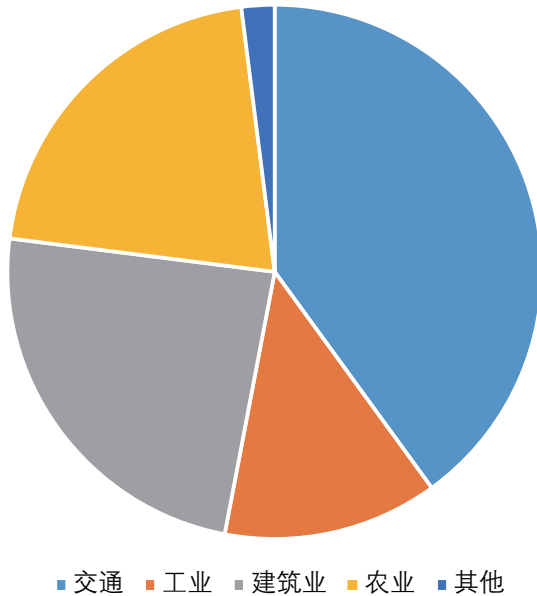


图 1-3 杭州市石油消费结构 (%)

实施油控政策不仅有利于控制温室气体，减少极端天气，同时也对于大气污染防治、治理交通拥堵等有积极的意义。

## 1.2 大气污染防治

自 2001 开始，杭州市雾霾天气逐渐增多。2013 年，全年雾霾天气甚至达到 239 天，其中包括 5 次大范围严重雾霾天气。自 2014 年以来，在“机动车牌限购”、“大气十条”等政策的引领下，杭州市空气质量持续变好，但是全年仍有近 100 天雾霾天气。根据杭州市环保局数据，交通运输行业是大气污染的一个重大“元凶”，约 28% 的空气颗粒物污染源来自机动车尾气排放。

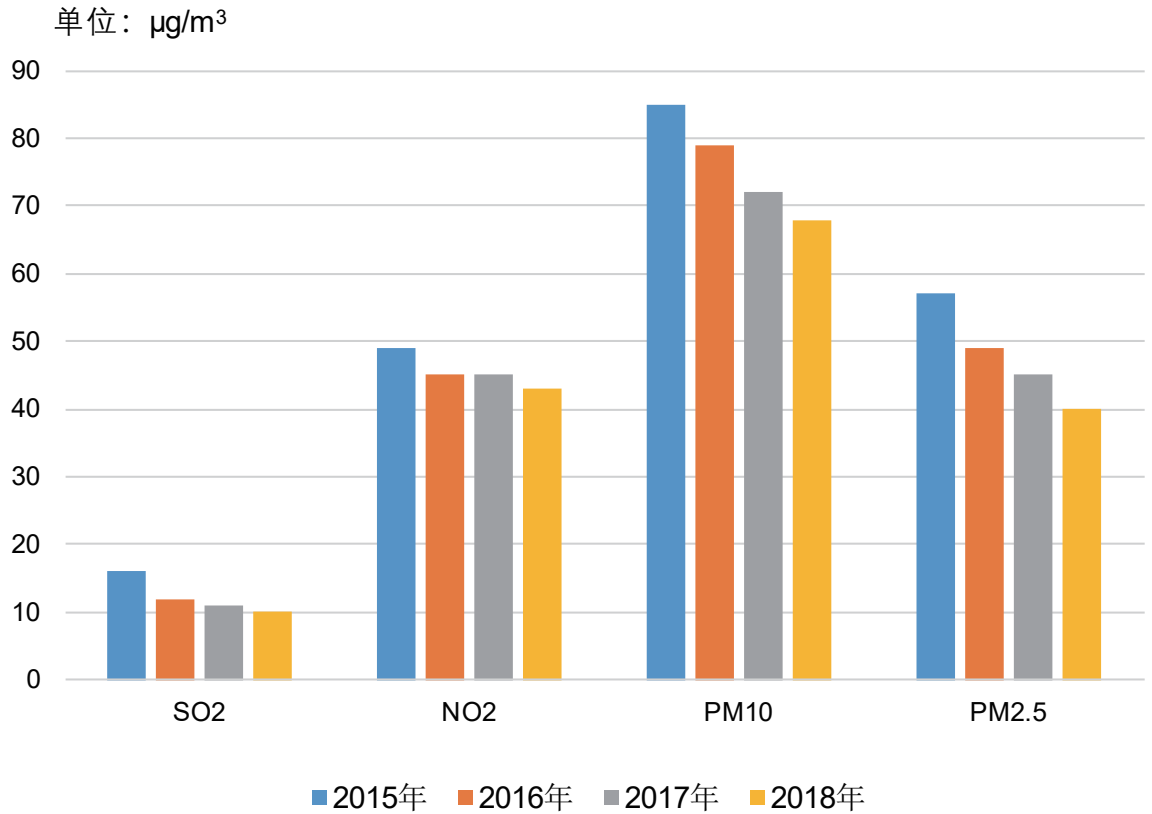


图 1-4 2015-2017 年杭州市空气质量浓度变化和（资料来源：杭州环境统计公报）

## 1.3 交通拥堵治理

据高德发布的《2018 年度中国主要城市交通分析报告》，杭州市在全国拥堵城市排名中位列第 40，杭州市拥堵指数为 1.6，高峰平均车速提高至 25.48 公里 / 小时。尽管杭州市出台了多项措施积极治理拥堵，但交通拥堵及出行难问题依然不容乐观。

杭州市开展油控研究可以为解决交通问题提供思路，交通拥堵主要的原因如下：

### 1. 机动车数量居高不下



近十多年来，杭州市机动车产生了井喷式发展。截至 2017 年，杭州市机动车总量已达 243 万左右。从 2006 年至 2013 年，机动车保有量平均每年以 19% 的速度增长。得益于 2014 年 3 月 26 日零时起在全市实行小客车总量调控管理，2014 年后，机动车保有量增速趋于平缓，但是仍然呈增长态势。

杭州市机动车保有量（不含摩托车）

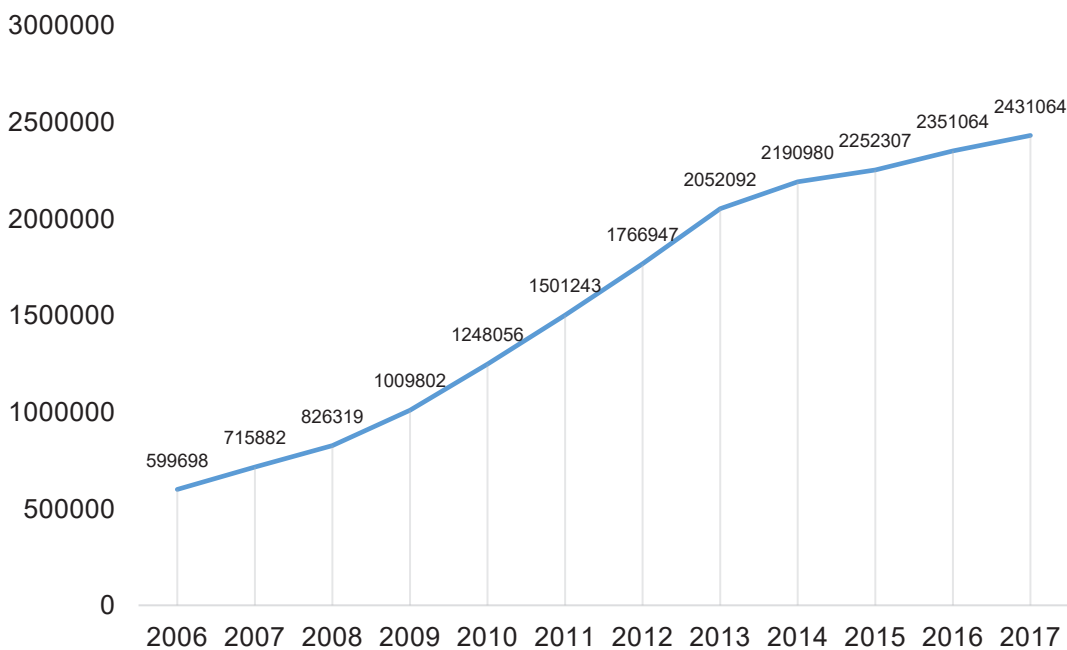


图 1-5 杭州市机动车数量

## 2. 公共交通竞争力不足

与国内大部分城市类似，公共交通系统仍处于大规模基础设施建设阶段，提供的服务用于满足基本的出行需求，出行舒适性和体验差强人意。与私人小型载客汽车出行相比，公共交通出行的舒适性和便利性仍存在较大差距。杭州市目前存在公共交通系统规划不合理、公共交通速度慢、舒适度不足等问题。

## 3. 交通与城市用地发展不匹配

随着杭州市经济的快速发展，城镇化与机动化日益加剧，城市迅速蔓延向各个方向

扩张，居民出行距离增加，对机动车的依赖日益加重。大运力公共交通的发展与城市发展不匹配，城市蔓延的同时致使大量外围区域以单一居住的性质进行地块开发，居民通勤时间长、出行次数增加，且地铁建设相对滞后，常规公交的服务竞争力低，迫使居民采用机动车出行。

## 1.4 杭州实施油控政策的优势

---

### 1. 低碳发展基础好，有利于经验的宣传推广

作为近年来迅速崛起城市，杭州市城市化水平不断升高，2018年杭州市城市化率达到77.4%。城市化趋势对碳排放的增长起到促进作用，并且作为非工业城市，如何进一步减碳是一项现实的课题。因此，在杭州开展油控政策的研究既可以为自身确定更严格减排目标、制定行动方案提供决策依据，也可为国内城市探索石油消费控制路径提供经验。

### 2. 数字经济发展带来新的契机

杭州数字经济产业发展迅速，并积极把握大数据人工智能发展的重要契机，积极推动“城市大脑”和智慧城市的建设，引领世界智慧城市发展的新潮流。因此，杭州大力发展“互联网+交通”模式，减少燃油消耗有得天独厚的优势。

# 2

## 杭州市碳排放情景分析

近年来，杭州市全面落实创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，以控制温室气体排放、增强可持续发展能力为重点，加快产业结构优化升级，建立健全绿色低碳循环经济体系，碳排放总量得到有效的控制。

## 2.1 峰值预测模型选择

### 1. 模型概述

本研究根据斯德哥尔摩环境研究所与美国波士顿大学共同开发的基于情景分析的自底向上的“能源—环境”核算工具——LEAP模型（Long-range Energy Alternatives Planning System），即长期能源替代规划系统，开展对未来能源消费需求及碳排放量的测算<sup>[1][2][3]</sup>。

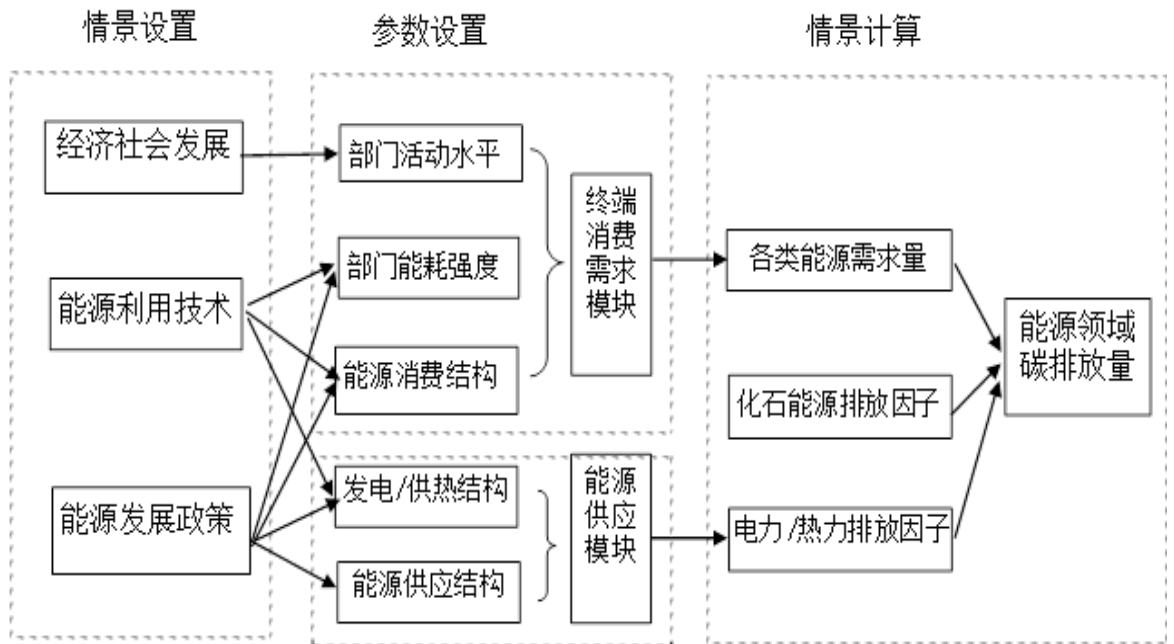


图 2-1 峰值研究总体思路



## 2. 模型构建

本研究根据 LEAP 分析平台，构建 LEAP-Hangzhou2050 模型，并对杭州市中长期（至 2050 年）能源发展规划与碳排放的基准及若干情景方案展开研究。LEAP-Hangzhou2050 模型参考能源经济系统的需求、加工转换和资源三大核心模块构成。其中，“需求模块”包括国民经济系统中各终端消费部门所需的能源品种和数量；“加工转换模块”包括一次能源和二次能源的加工、转换、运输、储存、分配等中间环节，“资源模块”包括各种一次能源和二次能源的供应，为简化流程，加工转换模块和资源模块合并为一个“能源供应模块”。

### (1) 能源终端消费需求模块

在 LEAP-Hangzhou2050 模型中，能源需求模块根据需求部门的活动水平和各种活动对应的能源消费品种和终端能源强度，计算该部门的能源需求量，总体框架见图 2-2。

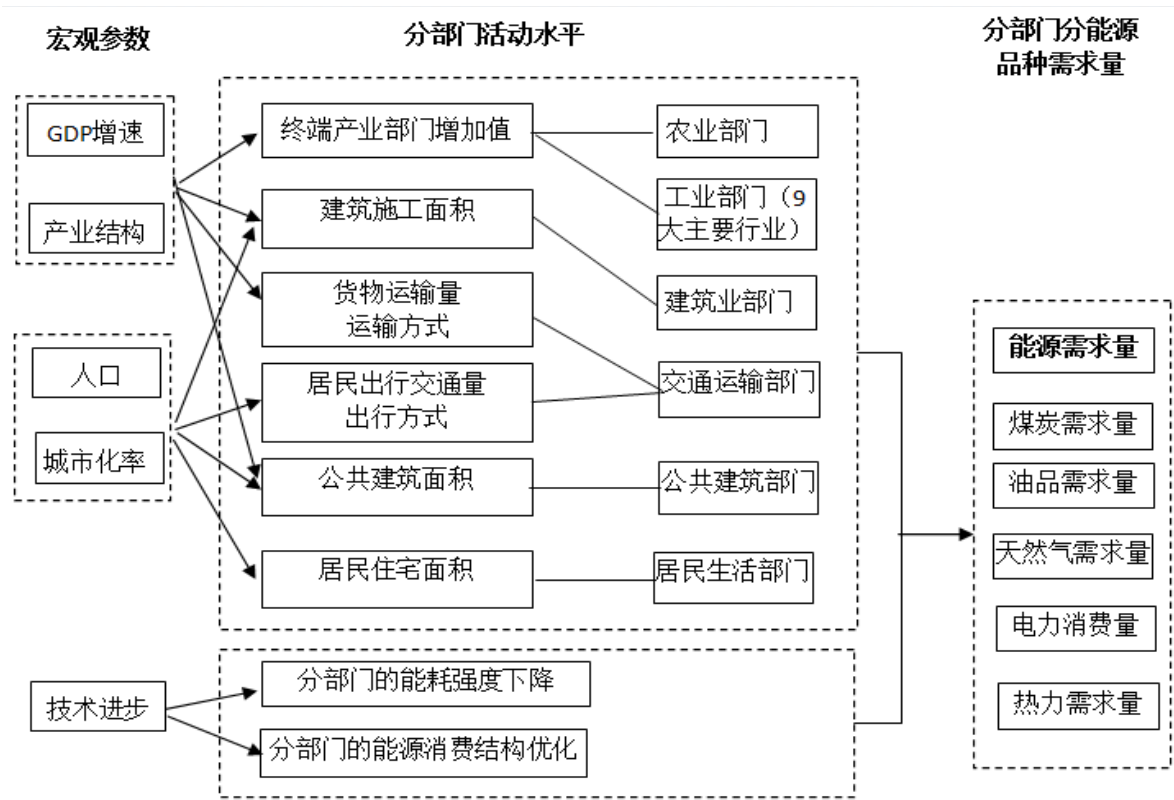


图 2-2 终端部门能源消费需求模块架构



## （2）能源供应模块

能源供应模块包括供终端消费所需的煤炭、石油、天然气、可再生能源、外省调入电等一次能源供应，以及电力、热力、石油制品等二次能源。

能源加工转换模块以终端能源需求数据位目标，模拟一次能源转换为二次能源的过程。考虑到终端消费部门主要能源需求为电力和热力，因此加工转换部门简化为发电和供热。煤炭、油品、天然气作为原料投入。考虑到杭州没有自己的电力排放因子，采用浙江省排放因子，因此在后面的情景分析中，能源资源供应部分从省级层面着手。

## 3.LEAP-Hangzhou2050 模型基本框架

综上所述，本研究所建立的 LEAP-Hangzhou2050 模型的基本框架、关键假设以及前期的数据调研情况见附录一。

# 2.2 杭州市碳排放情景分析

## 1. 情景定义

情景分析主要是基于某种现象或某一趋势一直持续下去这一判断前提，针对预测对象在未来一段时间内可能出现的情况或因此而引发后果做出的预测。本课题研究在基于全省和杭州市未来经济社会发展趋势、发展阶段特点，根据浙江省和杭州市已出台的有关能源系统与碳排放的政策与规划，并适度参考部分主要发达国家节能减排的相关指标和系数，研究确定宏观经济社会发展主要指标及有关碳排放关键领域的参数，根据能源结构调整、产业结构调整、低碳建筑、低碳交通等关键部门不同程度的进展确定低碳发展的三个情景，分别为基准情景、低碳情景、油控情景。

## 2. 情景描述

根据对三个情景的定义，结合后续指标分析，确定了各情景有关参数的基本情况（详见附录 2）。

基准情景是指在当前既定政策下，把现有的节能减排技术、政策都坚持下去，没有



更进一步的措施和新技术。

低碳情景是在基准情景的基础上，通过进一步调整能源结构，降低能源强度，提高清洁能源的比重；通过国际合作等，大力发展高新技术和第三产业；低碳生活方面，积极引导居民消费方式转变，加强建筑节能，鼓励绿色出行。

油控情景是基于杭州市创建国际化低碳城市目标，杭州作为长三角一体化和大湾区战略高质量发展先行区，成为长三角高质量发展的引领区域。工业领域的减排空间已较小，而交通领域排放越来越成为重要领域。进一步加强汽油、柴油等油品消费总量控制，加强清洁油品在交通领域的应用，并推动城市慢行交通发展，控制碳排放总量反弹，提高低碳发展竞争力。

三种情景设置主要参数见附录二。情景设置主要参照文件：

- 《杭州市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》
- 《杭州市“十三五”控制温室气体排放实施方案》
- 《杭州市能源发展“十三五”规划》
- 《杭州市打赢“蓝天保卫战”行动计划》

### 3. 参数设置

#### (1) 经济增速

从杭州市经济发展看，2000年以来GDP保持了较为稳定的增速，虽然国家整体上从高速增长向中高速增长转变，杭州目前增长势头依然较猛，预计“十三五”后期杭州市经济总体将呈现“增长稳定、保持中高速”的特征。

预计“十三五”期间，杭州市GDP年均增长7.5%左右，2020-2025年GDP年均增长7%左右，2015-2030年增长6%左右，2030-2040年，年均增长保持在4.5%，2040-2050年保持在4%。

#### (2) 人口

近年来杭州市人口增长较快，常住人口由2010年的869.3万增长到2017年的946.80万，基于杭州市“十三五”规划，杭州市到2020年，人口控制在1000万以内。结合杭州市近年来人才引进、落户条件放宽、二胎政策放开及杭州大都市圈的扩大，预计2017-2020年杭州市人口继续保持增长，年增长2%左右。2020-2025年，年增长1.5%左右，2025-2030年，年增长1%左右。2035年之后，人口逐渐趋于稳定。

### （3）产业结构

2011年以来，受信息传输、计算机服务和软件业快速增长（增加值年均增长17.6%）拉动，杭州市第三产业增加值年均增长9%，在“十二五”末，第三产业增加值占生产总值的比重达到58.2%。

2015年以来，服务业延续强势增长势头，成为杭州市经济增长的主引擎，数据显示杭州市发展动力正在加快转换。第三产业将成为杭州市经济增长的主动动力，产业增加值占GDP的比重将进一步提高。

三种情景下，2050年服务业占比分别如下：基准情景76%，低碳情景为78%、油控情景为78%。

### （4）能耗强度

“十二五”以来，我国把能耗强度下降列为约束性指标，提出了“十二五”、“十三五”分别累计下降16%和15%的目标，预计今后仍将实行严格的能耗控制。根据相关研究测算，“十四五”、“十五五”我国能耗强度将分别下降14%、13%。

综合考虑未来经济中高速增长对能源消耗的需求，以及国家对各地能耗强度控制的要求，根据浙江省下达给杭州市的“十三五”期间能耗下降目标，十三五期间，杭州市能耗强度下降累积19.5%。按照高于全国同期目标2个百分点的自我要求，初步设定杭州市“十四五”、“十五五”期间能耗强度分别下降16%、15%，2030年达到0.2吨标煤/万元，2050年预计达到0.12吨标煤/万元。

### （5）终端消费部门参数设置

对于农业、工业、建筑业、交通运输、公共建筑、居民生活等部门的活动水平及能耗，主要参照各相关专项规划、行业发展趋势、科研机构研究结果等来设置，进而计算杭州市碳排放结果。

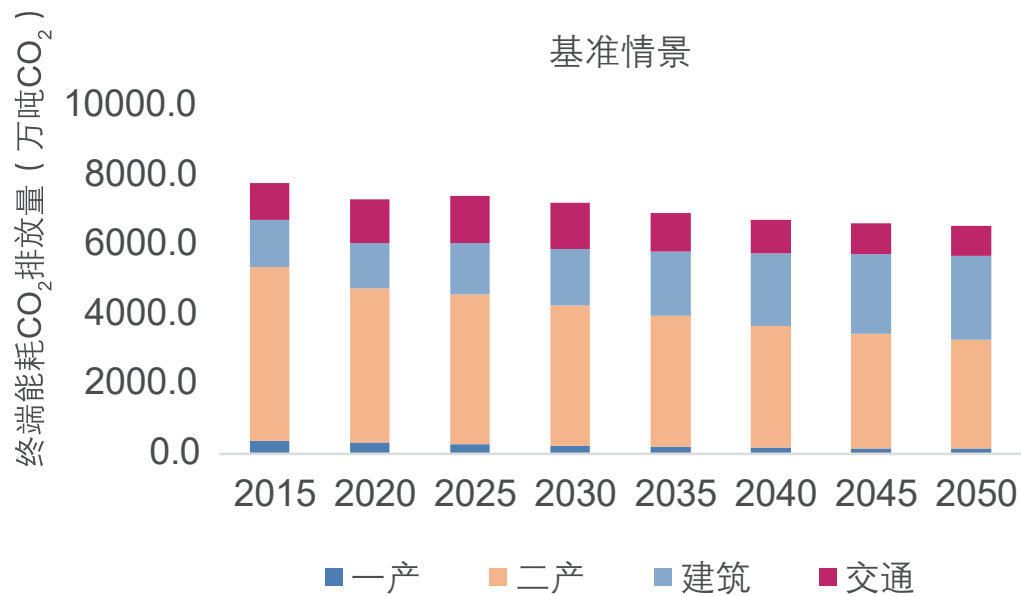
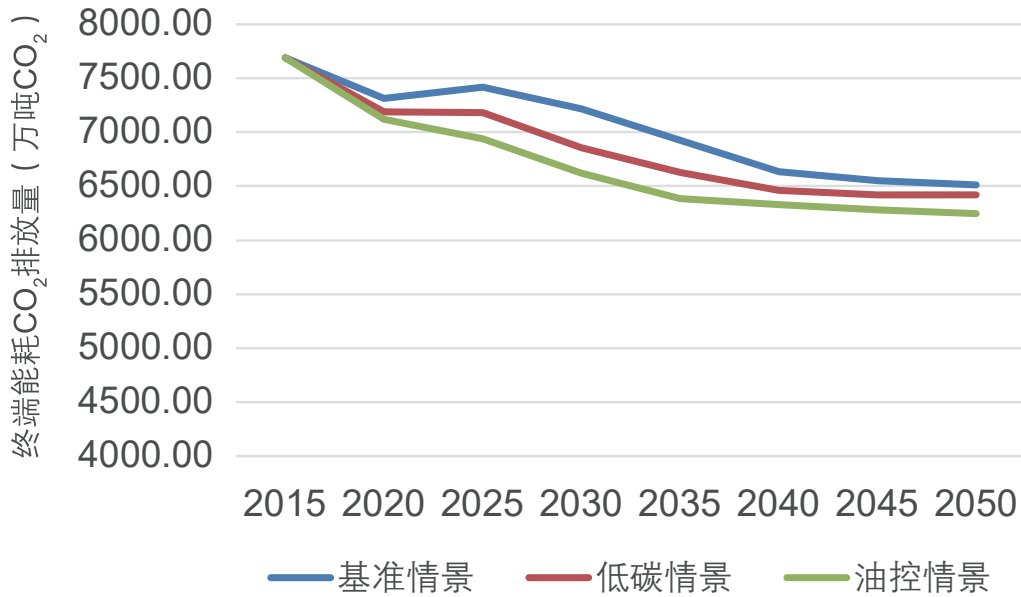
## 4. 不同情景下碳排放分析

根据相关规划和相关研究结果，利用LEAP模型计算在基准情景、低碳情景和油控情景下的杭州市碳排放水平，得出未来杭州市碳排放水平及各部门的排放情况，主要结论如下。

### （1）碳排放水平预测



杭州碳排放水平预测 ( 2015—2050 )



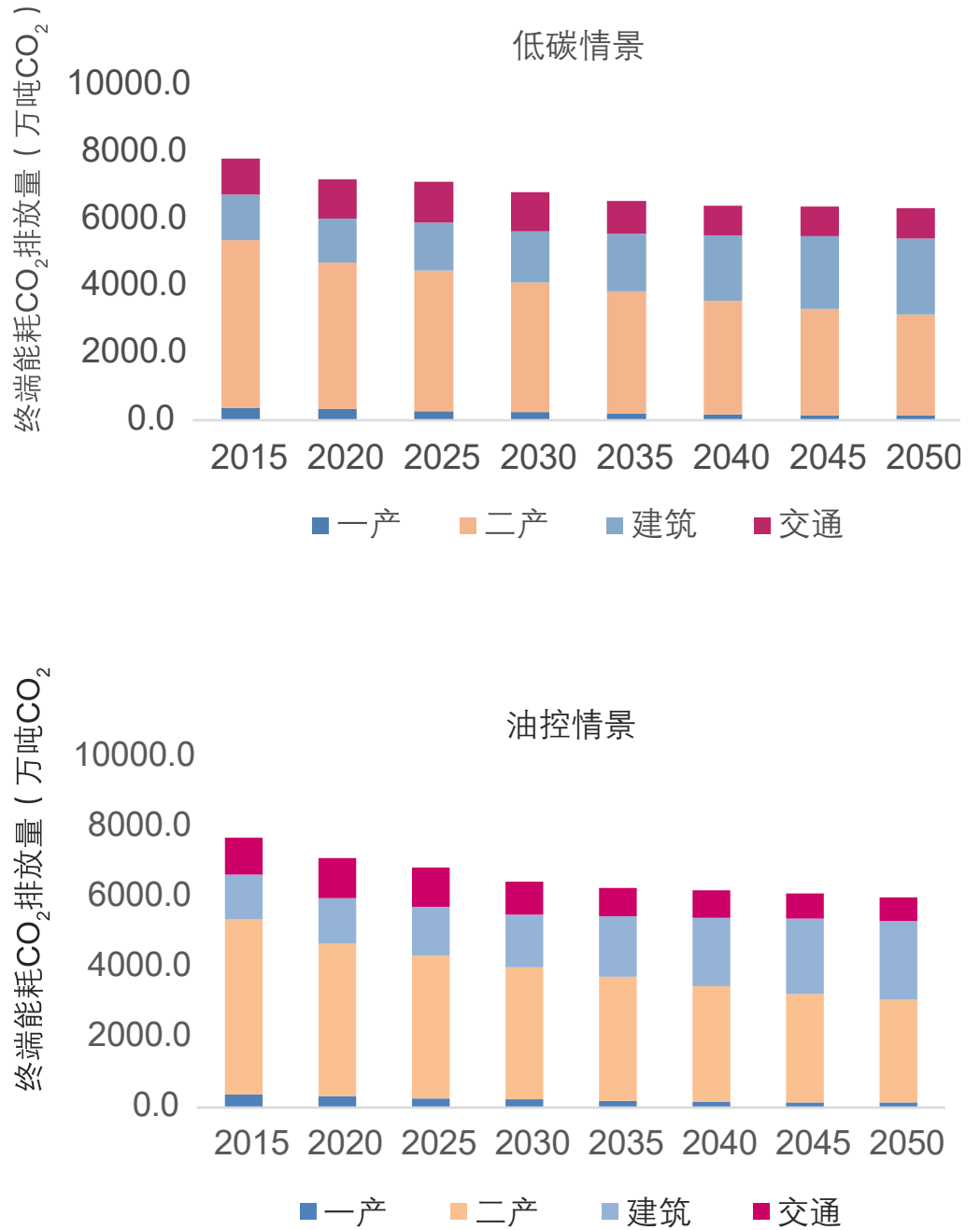


图 2-3 不同情景下碳排放水平及分部门排放水平  
(建筑包括公共建筑和居民生活)



在基准情景下，2020-2025年，考虑到人口涌入、开展重大活动、经济较快发展等因素，碳排放水平保持低速增长的趋势。2025年之后，随着产业结构的优化和能源利用效率的提高，碳排放水平持续下降。对于低碳情景和油控情景，在2020年之后，碳排放量出现较快下降。尤其是在“油控”政策下，交通和工业领域油品消费下降较为明显。

根据分部门碳排放的变化情况，未来存在增长的主要为交通和建筑部门，碳减排贡献主要来自第二产业（工业部门），建筑部门（公共建筑和居民生活）需要未来重点关注。对交通领域，随着城市化进程的加快和经济的发展，交通排放越来越起到更重要的作用。

## （2）空气质量分析

根据相关研究结果表明，影响杭州市空气质量的因素中，除了气象、地理形貌等，经济社会因素是最大的影响因素。经济社会因素中第二产业占比最大。根据情景设置，到2030年，二产比例较2015年下降约27%。

从杭州空气污染物成分看，PM<sub>2.5</sub>是主要污染物，杭州市域范围内PM<sub>2.5</sub>主要受NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>影响<sup>[4][5][6]</sup>。根据相关研究，氮氧化物和二氧化硫排放源主要为机动车和燃煤排放（主要为火电、水泥行业），因此主要从机动车燃油消费和煤炭消费两个方面考虑空气质量目标的实现。

根据情景分析结果，在油控情景下，石油消费量2030年较2015年下降约38%，煤炭消费量较2015年下降约62%，考虑到排放终端的处理技术的提高、油品的清洁化趋势，到2030年，NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>减排40%的目标可以实现。

碳排放减排和控制污染治理的协同是一项重大研究课题，杭州空气质量不仅受本地排放源的影响，同时受周边区域发展的影响<sup>[7][8]</sup>。经初步测算，杭州市外来污染物占比约28%，本地产生排放占比72%，本地排放中，机动车贡献最大，约为28%。在今后的研究中，长三角区域碳排放减排和空气质量控制的协同可以作为研究的一项重点内容。

## （3）油控情景下碳排放与经济发展脱钩指数

脱钩指数展示了环境影响和经济发展的背离程度，碳排放脱钩指数由二氧化碳排放变化率除以GDP变化率得到。在经济增长情况下，该指数大于一，说明经济增长以排放上升为基础；大于0小于1，代表弱脱钩，排放上升慢于经济增长；小于0则代表强脱钩，经济发展的同时排放下降。在油控情景下的杭州市碳排放脱钩指数变化图可以看出，杭州市2020年之后便进入强脱钩阶段，经济增长的同时，排放量继续下降。

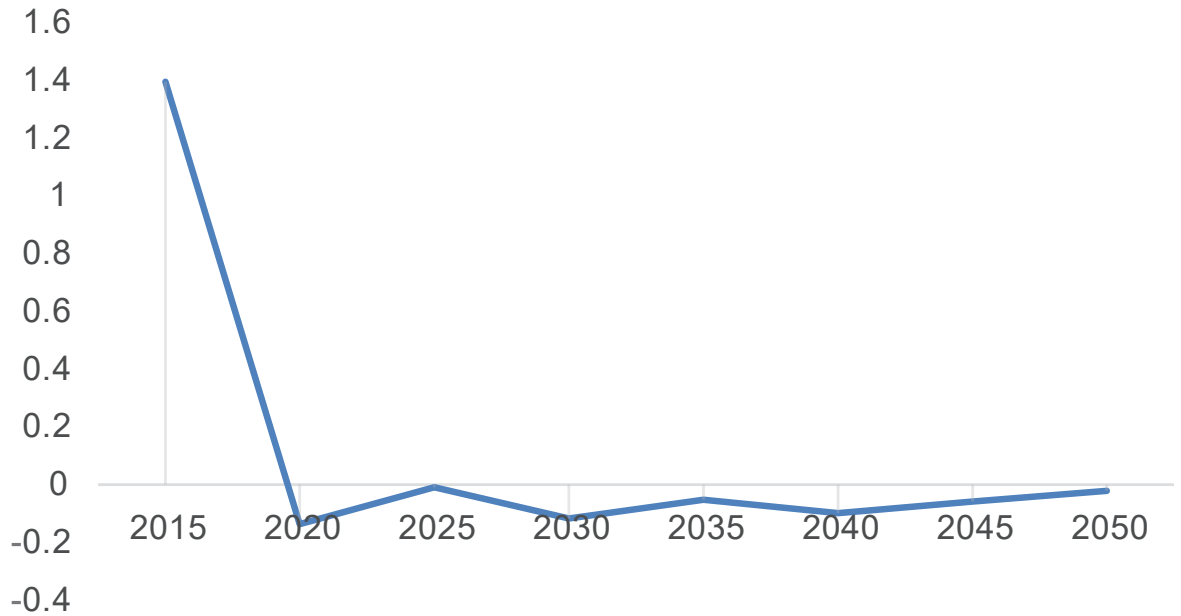


图 2-4 油控情景下杭州市碳排放脱钩指数

## 2.3 杭州市交通碳排放达峰情景分析

交通是碳排放仍然存在增长空间的领域，也是实施控油政策重点部门。该部分内容重点分析不同情景下杭州市交通碳排放达峰情况，并分析交通领域排放重点。

### 1. 不同情景下杭州市交通碳排放达峰结果

交通部门由于本研究未包含航空和铁路（均为增长的趋势），因此交通部门在较早时候便会达到峰值（见图 2-5），基准情景下，预计 2028 年达到峰值，低碳和油控情景下，预计 2023 年达到峰值。根据交通相关规划，2021 年地铁全面铺开，公共交通逐步替代部分私人小汽车的出行，私家车行驶里程逐渐下降，同时结合燃油经济性的提高，油控政策下的交通用能结构优化，促使杭州市交通部门（除铁路运输和航空）在 2023 年达到峰值。

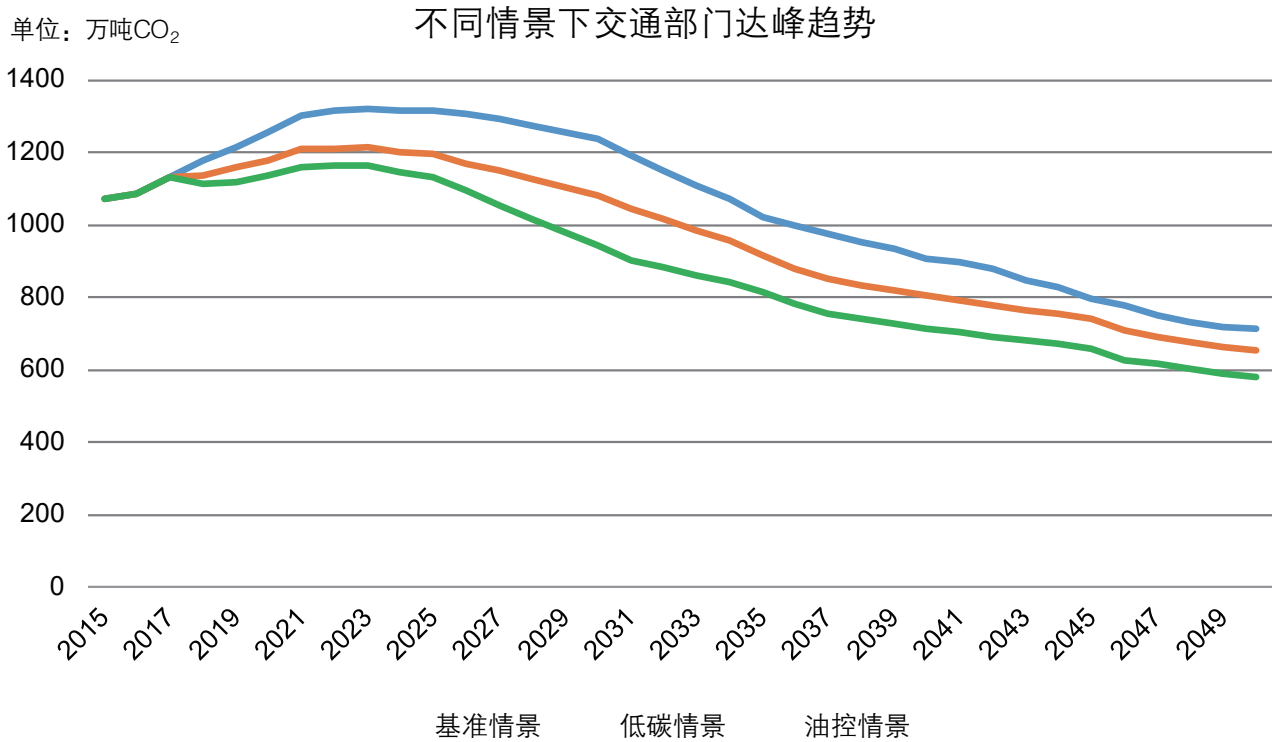


图 2-5 不同情景下交通部门排放趋势

## 2. 交通领域重点排放部门分析

根据图 2-6，2017 年和 2030 年交通领域不同部门占比可以看出，随着经济发展和人口增长，货运排放占比存在上升的空间；公共交通设施的健全，低碳出行的意识会促进私家车等非营运交通排放出现下降的趋势。在交通领域，货运和非营运交通（主要为私家车）是排放的重点部门，其中非营运车辆的排放占比超过 50%，是交通领域减排的重点。（不同情景下，不同交通方式占比基本一致。）



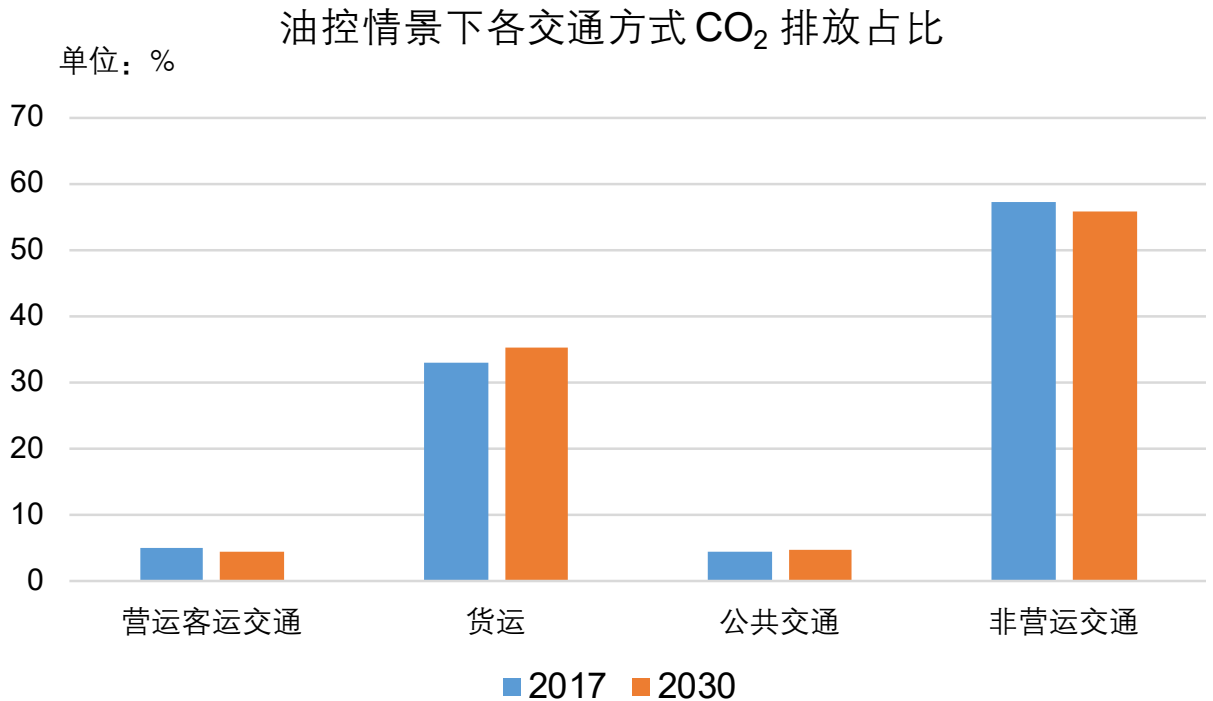


图 2-6 油控情景下，2017 和 2030 年交通领域不同部门排放占比

### 3. 交通领域排放占比变化

通过不同情景下交通排放的占比可以看出：基准情景下，在 2025 年之前，交通领域不断升高，在 2025 年约占整体排放的 18%，在 2040 年之前，交通领域排放一直处于较高水平；在低碳和油控情景下，交通领域碳排放占比有所下降，但在 2035 年之前，占比仍然较高，超过 12%。因此，交通领域的减排对抑制碳排放总量的反弹具有重要作用，在杭州实施油控政策具有重要的现实意义。



不同情景下，交通领域排放占总排放量比例变化情况

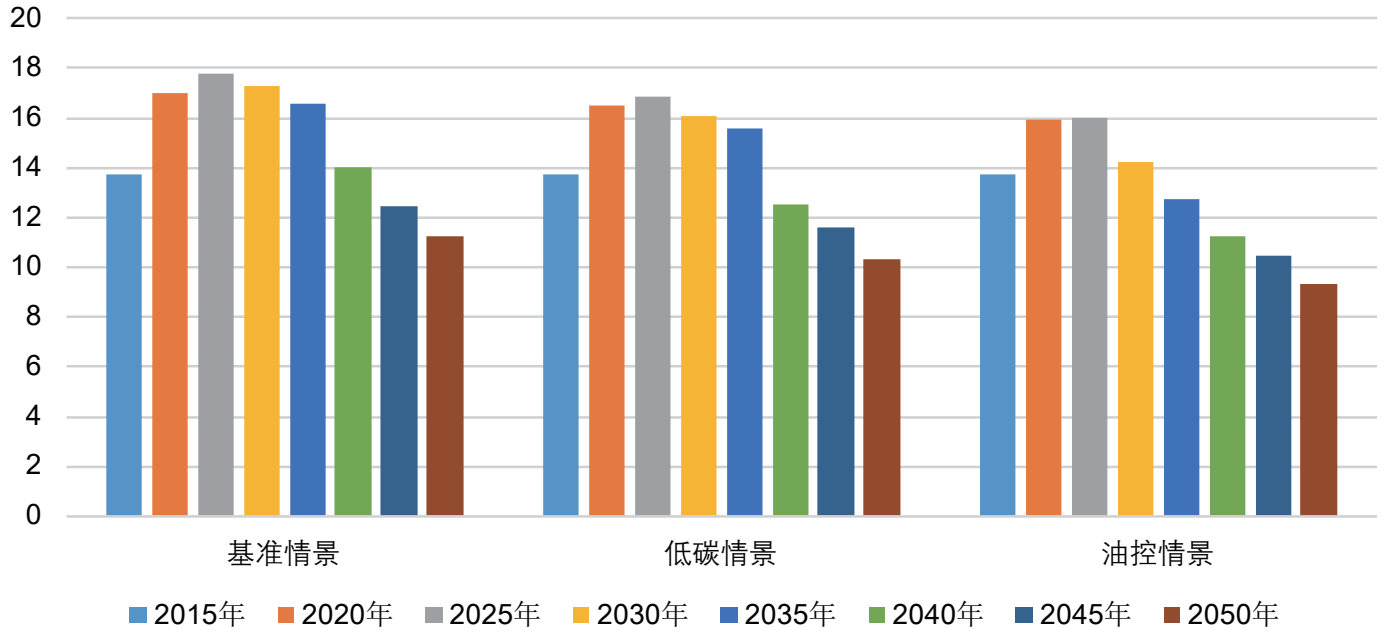


图 2-7 交通部门不同情景下交通排放占比变化

# 3

## 杭州市石油消费情景与 控油目标



为了响应国家及地方政府对于节能减排的倡导及承诺，杭州市作为交通领域石油峰值研究试点城市，研究燃油消耗达峰意义重大。项目组认真研读国家、浙江省及杭州市对城市交通提出的节能减排目标及措施，并将各级指示融入到杭州市未来交通出行假设中。近期，国家及地方出台的政策有：

- 国务院部署的“蓝天保卫战三年行动计划”；
- 国务院发布的《大气污染防治行动计划》；
- 国务院印发的《“十三五”节能减排综合工作方案》；
- 国务院印发的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020)》；
- 工信部发布的《2016-2020年乘用车燃料消耗量标准》；
- 浙江省发布的“关于印发浙江省新能源汽车产业“十三五”发展规划的通知”；
- 杭州市发布的《杭州市人民政府办公厅关于印发杭州市环境保护“十三五”规划的通知》；
- 杭州市发布的《杭州市建设全市域大气“清洁排放区”若干意见》。

根据杭州市峰值研究结果得出杭州市全口径石油消费达峰结果，并针对城市交通领域重点分析。

## 3.1 杭州市石油消费情景研究

---

### 1. 达峰情景分析

根据杭州市碳排放情景分析结果，在基准情景下，杭州市预计 2028 年达峰，并在 2030 年前，石油消费量保持较高水平。在油控情景下，在地铁开通带动和技术水平进步下，石油消费可以实现 2023 年达峰。

单位：（万吨油）

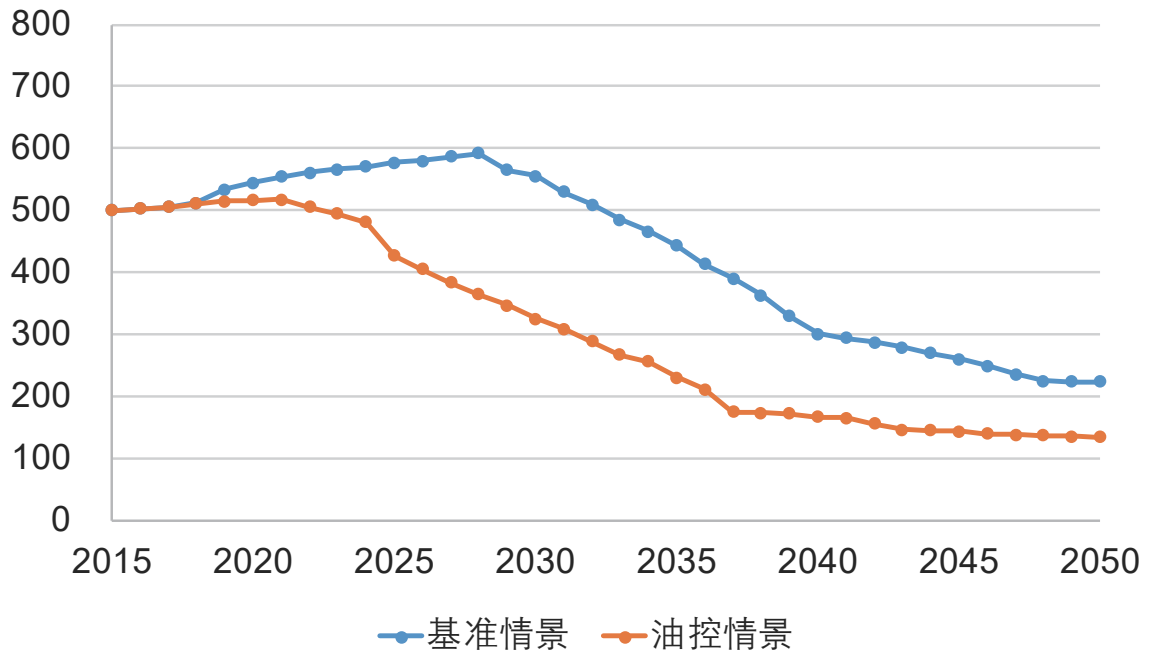
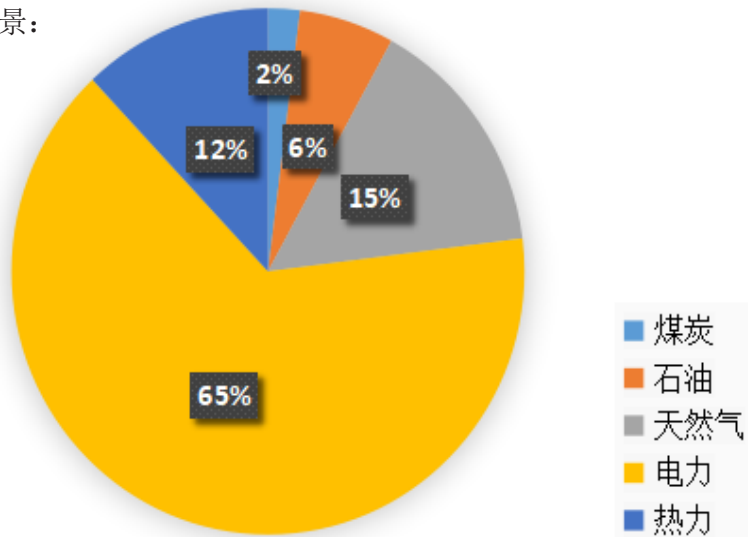


图 3-1 油控情景下石油消费达峰情况

对分领域能源消费情况，到 2050 年，经过产业结构、能源结构的调整，能源消费结构逐步优化。基准情景下，电力占比达到 65%，煤炭消费（不含电力生产）下降到 2% 以下。而在油控情景下，随着工业用油的进一步降低和交通的电气化，石油的消费进一步降低，至 2050 年，石油消费占终端能源消费的比例由 2017 年的 19.4% 下降至 4%，石油消费下降 81.8%。根据测算数据，油控情景较基准情景，在 2025 年约减少用油 160 吨标煤，随着交通部门的电气化，预计 2050 年年消费油品约 140 万吨标煤。

基准情景：



油控情景：

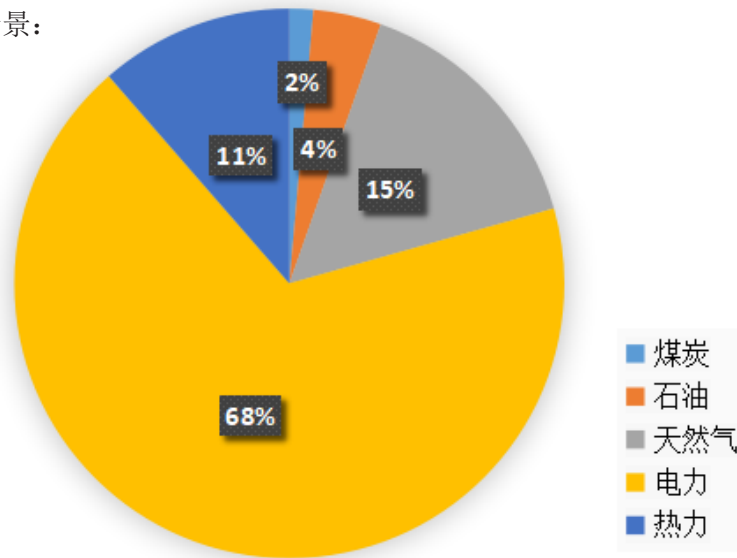


图 3-2 基准情景（上）和油控情景（下），2050 年终端用能消费结构

## 2. 交通领域石油消费量减少潜力

不同情景下，2050 年汽油柴油消费量均出现较大幅度的下降，基准情景、低碳情景和油控情景下，石油消费量较 2017 年分别下降 56.7%、63.3% 和 81.8%。在严格的石油消费控制政策下，石油消费量得到了有效的控制。

表 3-1 不同情景下汽油柴油 2050 年消费情况

年份	情景	汽油（万吨标煤）	柴油（万吨标煤）
2015	—	323	197
2050	基准情景	123	102
	低碳情景	93	98
	油控情景	35	59.4

### 3. 分部门、分油品的石油消费分析

根据情景分析结果，在油控情景下，2050 年交通领域汽油、柴油的消费占消费总量的比例分别达到 96%、68%，继续巩固成为汽油、柴油消耗的主要部门。

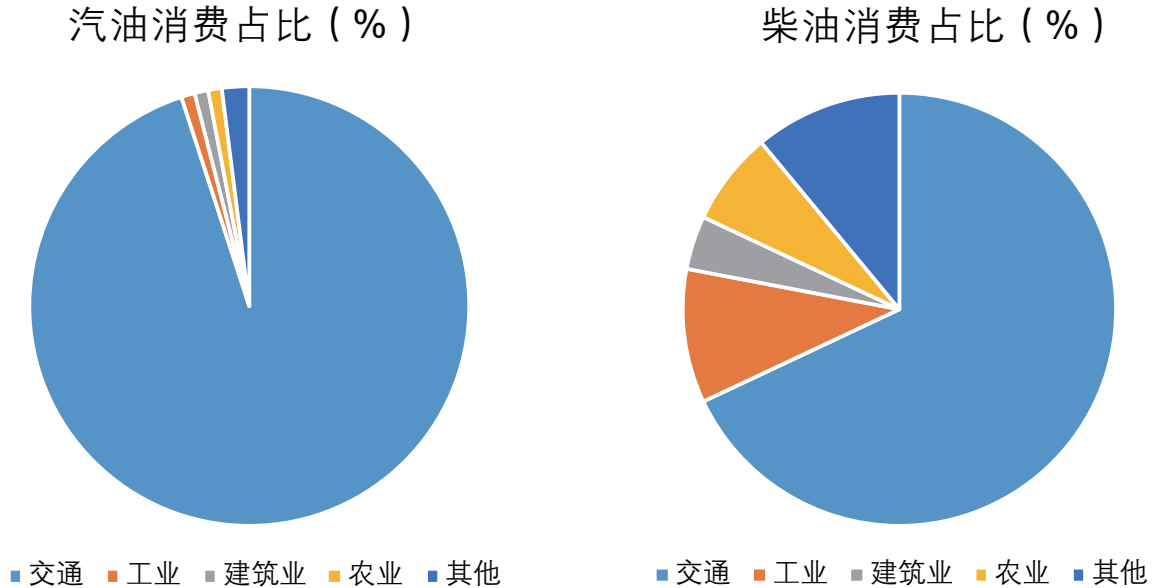


图 3-3 油控情景下，2050 年汽油、柴油消费结构



## 3.2 情景分析总结

---

从前文的研究中可以看出，杭州市交通领域碳排放占比长期在 **20%** 以上，并且近年来持续上升，而交通领域又是石油消费的重点领域，因此控油的重点领域在于交通。同时结合大气污染防治、交通治堵等现实问题，交通领域的控油具有重大现实意义。

杭州市工业、建筑业、农业等部门在石油消费方面仍然存在较大的减排空间，在以交通领域为重点的基础上，也要注意交通之外行业的控油，具体控油路径见下一章。



# 4

## 杭州市控油路径与政策 建议



本报告从交通领域和非交通领域两方面考虑控油政策及路径。对于交通领域，杭州市的控制燃油消耗策略，其核心体现在降低私人小型载客汽车的燃油消耗上。本研究总结国内外城市在“降低能耗、治理拥堵”上的经验，结合杭州市自身的交通现状及特点，从“控油、治堵”两个层次入手，探讨杭州市降低燃油消耗，提前达峰的政策及措施。对于非交通领域，重点从工业领域减油出发，从产业升级、用能结构转变、提高能源利用效率方面着手，减少石油消费量。

## 4.1 杭州市交通领域控油减排路径

---

### 1. 城市交通领域控油路径

“控油”与“治堵”两个层次的政策包含了杭州市交通领域控油的多项具体措施，综合使用将达到显著降低杭州市石油消耗的效果。下文将详细讲述各项措施，提出针对杭州市油控的行动计划，以及明确下一阶段为达到油控目标，杭州市需要强化的措施及出台的新措施和政策。

#### (1) “控油”

##### ① “减少”

“减少”策略是指采用规划手段，降低交通刚性出行需求及缩短人均出行距离。“减少”策略主要体现在：

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，优化医院、学校等公共服务设施的布局设置，实现职住在地区和走廊上的平衡。加强城市中心城区和副中心地区居住用地与各类就业用地的协调平衡，引导人口和就业岗位在交通政策分区内的合理分布，减少机动车出行需求。

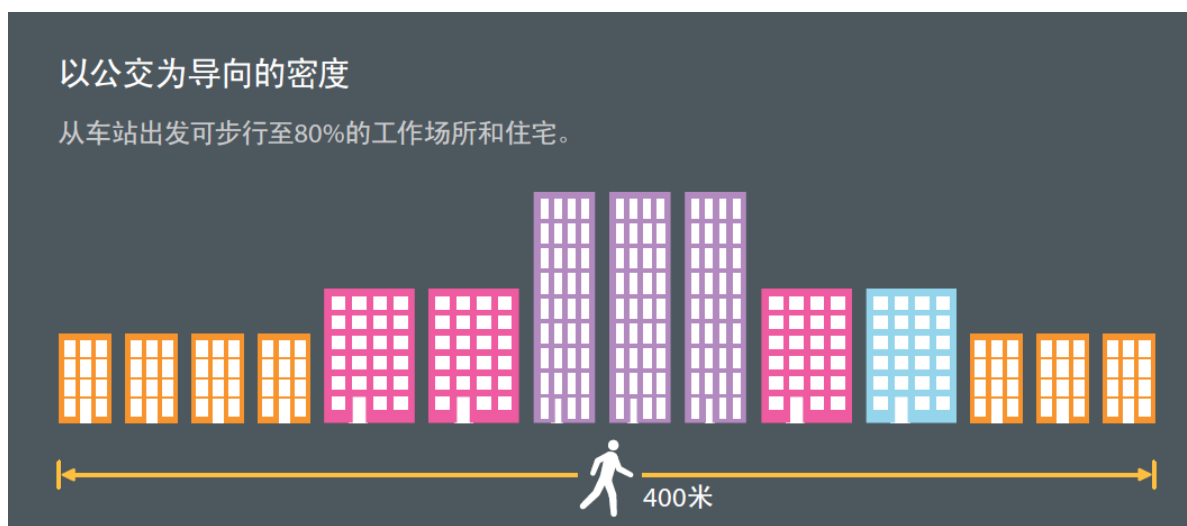


图 4-1 距离公共交通站点越近，开发强度越大

推进公共交通导向（TOD）的用地规划模式。促进轨道交通站点与周边土地利用的一体化发展。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，加强对保障性住房的配置力度，促进城市枢纽地区的高强度混合开发，加强与周边用地人行通道的建设，促进城市枢纽地区土地集约化利用，形成交通建设与土地开发“互动双赢”。

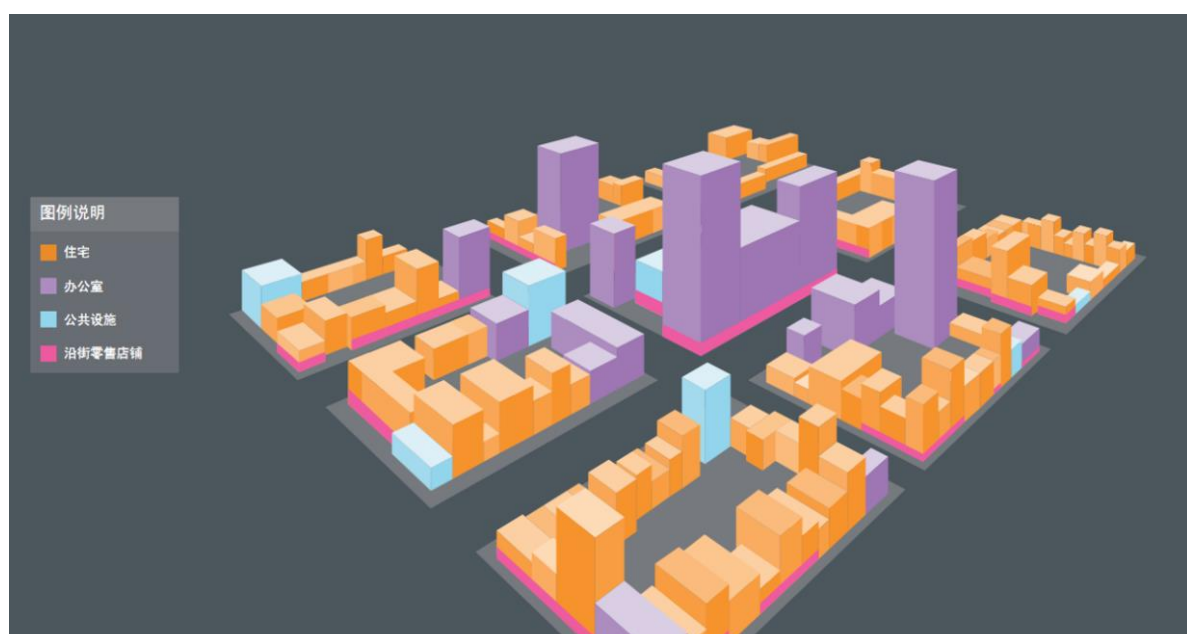


图 4-2 推动轨道交通站点周边土地混合利用



构建 15 分钟社区生活圈。围绕轨道交通和公交枢纽、站点设置公共活动中心，加强用地混合、功能复合，轨道交通站点周边 300-500m 半径的服务范围为核心区，鼓励多种形式灵活利用空间，使得居民在借助公共交通出行时，“一站式”完成购物、娱乐、接送小孩老人、用餐、继续教育等日常活动。



图 4-3 15 分钟社区生活圈的复合功能示意图

② “转移”

“转移”策略是指通过优化交通出行结构，实现提升城市交通发展质量。“转移”策略采取“一拉一推”的方式，促进城市交通模式从依赖私人小汽车出行模式向绿色交通出行模式转变。“拉”，是指吸引吸引居民出行向绿色交通转移。“推”，是指引导居民出行减少机动车使用。



图 4-4 上海、广州率先出台城市街道设计手册

I “拉” 是以强化公共交通，推广绿色出行为主要路径。

- 将公交优先目标纳入法定规划体系
- 落实快速公交及公交专用道建设，切实体现公交优先发展理念
- 构建多模式整合的公共交通系统，为市民提供无缝换乘、高效可达、舒适畅顺的一体化公交服务。
- 推广“P+R” 停车 + 换乘公共交通的旅游出行方式
- 编制《杭州市街道设计手册》，提升道路人性化设计
- 推行街区制，提高路网密度
- 重配路权，提升慢行交通品质
- 完善城市管理，引导和鼓励共享单车良性发展
- 适应交通技术发展，规范电动自行车使用

II “推” 是以加强交通需求管理，引导居民出行减少机动车使用为主要路径

- 加强需求调控，实施分区差异化策略，建立以交通减碳为切入点的道路使用调节机制



- 探索低排放区（LEZ）建设，提高城市环境和减少燃油消耗
- 完善小汽车增量调控管理制度，优化异地车管理政策
- 提高小汽车使用成本，引导燃油车辆合理使用
- 正向激励采用绿色交通方式出行

### ③提升

“提升”策略是指通过提高车辆能源利用效率并推广替代能源使用，以减少机动车的燃油消耗。新能源汽车逐步实现了产业化和规模化的飞跃式发展，提供了可替代燃油的清洁能源满足出行的需求，替代能源的使用将是减少燃油消耗的终极措施。具体的措施如下：

大幅提升乘用车的燃油经济性。目前，国内乘用车的平均油耗明显高于欧、美等发达国家，加快提升机动车燃油经济性标准，推动轻量化、小型化等车型的发展及使用，对燃油消耗降低有显著效果。

新能源汽车替换计划。建议杭州市加快网约车、共享汽车等车辆电动化进程。持续完善共享交通营运车辆增量额度的获取方式和车牌使用政策，探索新增和存量燃油车车牌使用年限限制和退出机制。

规范充电桩的规划、建设及运营管理。建议出台《杭州市充电桩规划及管理》文件，制定充电设施的统一规划，对选址、规模等进行科学的统筹布局，加快城区及住宅区内的现有充电设施布局梳理同时规划新增充电设施，加快高速公路沿线充电设施的规划建设。对于充电桩，制定统一的接口及标准有助于资源的充分合理利用。

新能源汽车的其他政策优惠。在交通管理上对新能源汽车予以一定程度的倾斜，如在停车、限行、限牌等政策上对新能源汽车倾斜，促进新能源汽车的发展及使用，替代燃油机动车出行。

## （2）“治堵”

交通经济学中知名的当斯 - 托马斯悖论（Downs-Thomson paradox）悖论<sup>[9]</sup>，可以帮助我们理解治堵策略和三大油控策略之间的关系。该悖论显示：私人汽车在道路网络上的平衡速度取决于人们使用公共交通方式从门到门的平均出行速度，采用增加道路通行能力来改善交通拥挤情况会更糟。

治堵和控油两者是相辅相成的。拥堵的问题本质上是因为机动车出行需求大，拥堵道路的通行能力无法满足高峰期的通行需求，因此出现拥堵。然而，通过提高道路通行能力来解决拥堵问题只能陷入当斯 - 托马斯悖论中的恶性循环。因此，要本质上解决拥堵问题的方法，就要从减少个体机动化出行的需求以及将出行需求转移到公共交通上，

这正是油控的两条主要策略。治堵策略通过提高交通运行效率降低能源消耗。主要措施如下：

#### ①结合城市数据大脑项目，推进交通感知体系建设

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。加强道路流量、车辆运行、路口监测等信息采集及交通事故、异常停车、车辆逆行、车辆拥堵、道路塌陷等异常事件的检测。

#### ②研究与布署新型智慧交通设施、缓解交通拥堵

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，全面支撑故障预警、运行维护、交通协调控制以及运营调度等工作的智能化，提高道路资源利用率，缓解交通拥堵。

#### ③完善面向公众的交通智慧化服务功能

提升综合交通信息服务水平，面向公众出行信息需求，完善杭州交通 APP、网站等多种载体。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，包括交通资讯、实时路况、公交车辆到站动态信息、停车动态信息、水上客运、航班和铁路动态等。提供出行路径规划、出租召车、共享汽车租还、出行过程中的信息交互等服务。

#### ④鼓励发展互联网 + 公交新业态

建立互联网 + 公交与传统公交统一的监管框架，完善行业监管规则，引导互联网 + 公交新业态良性发展。实行动态价格调整机制，允许从事互联网 + 公交服务的企业根据车型、地段和时段进行灵活的价格调整，保证特定时段、特殊出行需求的人群较高品质的公交服务。结合互联网 + 公交的线网布局，对传统公交线网布局及组织进行动态优化调整。



图 4-5 广州如约巴士，为广州市民提供了互联网 + 公交定制服务

## 2. 城际客运控油

随着经济发展和城镇化发展趋势，人民生活水平的提高也会带来更多出行需求，因此城际客运的控油路径主要从技术节能和出行结构两方面出发。

### (1) 出行结构

当前杭州市水路、铁路承运比重仍然较低，特别是水路运输潜力未得到充分发挥。因此在今后的发展规划中，汽车运输主要承担中短途、城乡间的旅客运输服务，中长途旅客运输改为水路、铁路运输。随着杭黄高铁的开通，杭州市区与桐庐、淳安均实现了高铁互通，需要继续加快与嘉兴、绍兴直接城际铁路规划与建设的步伐，充分贯彻“公转铁”的战略思想。同时，杭州市需要加强水运网建设，通过京杭运河、杭甬运河等航道工程，实现与上海港、舟山港、嘉兴港的无缝对接，建立水上交通走廊，提升水运能力，分担部分公路客运量。

### (2) 技术节能

技术节能主要包括燃油经济性的提高和新能源汽车的替代。杭州市从 2018 年底开始，加油站开始只供应国 VI 车用汽柴油，相比国 V 标准，其颗粒物排放降幅可达 10%，能减少对大气的污染。燃油经济性的提高同时依赖机动车能源效率的提高，加强对黄标



车的淘汰力度。城际客车柴油车占比高，政府需加强新能源汽车的替代力度，以压缩天然气为动力的新能源客车逐步替代传统燃油车。

### 3. 货运控油路径

#### （1）提高“互联网+”高效物流水平。

加快物流信息互联共享，提升仓储智慧化管理水平，着力构建完善的智慧物流体系，加快物流信息标准化建设，形成互联网融合创新和物流效率提升的良性互动。依托先进信息技术，探索“互联网+”车货匹配等智慧物流新模式，优化运输路径，降低车辆空载率，着力提升社会物流效率。

#### （2）推广绿色物流技术

加快物流行业“机器换人”，鼓励物流企业采用自动化、标准化的仓储、包装、分拣等设施，鼓励采用低能耗、低排放运输工具和节能型绿色仓储设施。积极推广新能源物流车辆，推广小中型电动货运车，鼓励发展厢式运输、甩挂运输。市区部分区域设置限行区，仅允许电动货车通行，促进货运车的电动化。依靠货运车辆的新能源化，2030年，油控情景下较基准情景，汽油消耗减少0.25万吨，柴油减少9万吨。

#### （3）发展多式联运模式

一是发展空陆多式联运。结合铁路、高速公路等地面多层次交通设施的推进，建立和完善空—铁联运方式，设立机场公路货运站，实现与周边各大公路货车、火车的连接。二是发展江河海国际联运。发挥杭州河、江、海齐备优势，整合杭州市运河、钱塘江、外围海域的港口等资源，深入实施内河水运复兴行动计划，构建水陆、江海、海河等河、江、海联运体系。三是发展快速公铁、海铁联运。充分利用高速铁路干线运量大、低成本、高速度的优势，在铁路枢纽设置与铁路货站相统一的公路货站，实现货物联运的站内“无缝对接”，充分发挥铁路、水路货物运输优势，提高交通基础设施标准。

## 4.2 非交通领域控油路径

非交通领域油耗约占杭州市油品消费的30%，石油消费主要在工业和建筑业。该部分的减油重点在于产业升级、转变用能结构和提高能源利用效率。尤其是要限制石化产业的发展，产业结构向发展高端服务业等新兴产业发展。



## 1. 产业升级

工业部门各行业的减排大致可分为控制产业规模和降低产业能耗两条核心路径，控制产业规模和降低能耗在于控制高耗能产业的发展，加快产业升级。杭州工业部门减油重点在于石油和化工工业。鉴于国内外石油和化学工业产品市场缺口较大，尤其是国内该行业如乙烯和PX等产品需求较大，该行业存在一定的发展空间，但是鉴于石油化工行业在环保生态政策红线之下，产业规模会呈现相对平稳的趋势。

石油和化工工业的节能减排的主要思路是存量减排和增量减排。其中存量减排主要通过既有产能节能改造和淘汰落后产能来实现，鉴于杭州市该行业主要产品为乙烯、合成氨、烧碱、纯碱等需求量较大的大宗产品，几乎不存在落后产能，因此，石油化学工业的存量减排主要应通过节能改造来推进。增量减排则主要是来自新增高效产能的能效提升。

建筑业减油重点在于推进绿色建筑和绿色供应链。建立绿色建筑推广示范基地，作为绿色建筑理念、知识和技术研究、展示、交流的平台，有效地整合地区资源，促进适宜地区气候环境的绿色建筑体系和成套技术的形成与推广。结合绿色建材产业基地建设，引导低能耗、可再生、绿色等建筑配套建材、设备企业及研发机构入驻基地，实行税收优惠和优质服务，逐步形成绿色产业链，从而实现建筑业的低碳转型，从而促进能源消费减量。

## 2. 用能结构转变

杭州市政府应加快落实《杭州市打赢“蓝天保卫战”行动计划》，通过加大环保压力，加快淘汰落后产能，促进“煤改气、煤改电、油改电”，促进工业和建筑业用能结构的转变。杭州市作为旅游城市，工业发展的道路和模式必须充分考虑各方面的约束，通过能源消费结构的转型带动工业和建筑业的减油。

## 3. 提高能源利用效率

杭州市近年来大力推广节能技术，能效水平和发达国家已较为接近，对重点行业，提高能源利用效率是减少能源消费的有力途径。

将能源消费与经济增长挂钩，对高耗能及产能过剩产业实行能源消费总量控制强约束。在煤炭消费总量控制的背景下，实行石油消费减量替代政策，并重点提高石油利用效率，是有效控制石油消费的措施。其他产业按平均先进能效标准实行强约束，提升整体能源利用效率，从而有效控制能源消费总量。

## 4.3 控油政策建议

### 1. 政策建议

杭州市的控制燃油消耗策略，其核心体现在降低私人小型载客汽车的燃油消耗上。本研究总结国内外城市在“降低能耗、治理拥堵”上的经验，结合杭州市自身的交通现状及特点，从“控油、治堵”两个层次入手，探讨杭州市降低燃油消耗，提前达峰的政策及措施。无论是控油还是治堵，其政策制定的最终目标都是节能减排，缓解气候变化。两个层次的政策与措施存在一定的交叉，控油政策在近期内能产生立竿见影的降低燃油消耗的效果；而治堵主要侧重于提高交通运行效率，改善城市交通拥堵情况，从而达到节约能源，改善空气质量的目。

根据国内外控油经验，并结合杭州市实际情况，提出“减少”、“转移”、“提升”和“优化”四个政策，前三个主要面向“控油”，最后一个主要面向“治堵”。

在“控油”层次，本报告提炼出了适用于杭州市的“减少 - 转移 - 提升”相结合的城市综合交通控油策略。“减少”策略是通过调整城市空间布局，整合土地利用与交通的一体化开发，形成职、住平衡的区域发展模式，减少机动车出行需求及缩短人均出行距离；“转移”策略是通过发展绿色交通出行和抑制小汽车出行相结合的手段，将私人小型载客汽车出行需求引导至公共交通、非机动车交通及共享出行等能源利用率高的交通方式上，减少私人小汽车出行量，从而减少油耗；“提升”策略是通过提高能源利用效率并推广替代能源的使用，减少石油消耗，这是减少石油消费最直接的手段。

在“治堵”层次，主要通过现代化的通讯、网络、大数据及其他技术手段优化交通出行效率，创新交通管理模式，提高交通运行速度，减少燃油消耗及二氧化碳排放。

“控油”与“治堵”两个层次的策略包含了杭州市交通领域控油的多项具体措施，综合使用将达到显著降低杭州市石油消耗的效果。提出针对杭州市油控的行动计划，以及明确下一阶段为达到油控目标，杭州市需要强化的措施及出台的新措施和政策。

具体内容如下：



## 2. 四大控油措施贡献及影响评估

合“控油”和“治堵”的政策建议，对四大控油政策进行影响评估，油控措施从不同侧重点着力于减少城市交通燃油消耗，下表对各措施控油力度的直接影响及实施计划、控油贡献等进行了详细分析及评估，旨在为杭州市提供政策实施参考意见。根据下表分析结果，杭州市可制定分期实施方案，优先实施近期能产生最强控油效果的措施，产生立竿见影的降低燃油消耗的效果。交通是一个复杂的系统工程，在确保交通参与者高效有序出行的前提降低油耗，则需要多部门参与、多措施综合运用，实现 2025 年燃油消耗达峰目标。

策略	措施	建议政策或措施	减少小汽车出行	减少居民平均出行距离	提高车辆燃油效率	减少燃油车保有量	增加绿色交通出行	实施计划	减少燃油消耗
减少	编制及出台基于土地与交通一体化发展的《杭州市建设项目交通影响评价管理办法》 编制及出台《杭州市公交引导城市发展规划》 出台《杭州市街道设计手册》，指引人性化街道设计 出台《共享出行运营及管理规范》，包括共享单车、网约车及共享汽车等 实施分区差异化管理策略，建立以交通减碳为切入点的道路使用调节机制 研究制定杭州市的燃油车退出及禁售时间表 编制及出台《多模式整合的公交一体化规划》 编制及出台《杭州市旅游交通专项规划》 编制及出台《杭州市电动自行车规划及管理规范》 将“公交优先”纳入城市的《总体规划》和《控制性详细规划》等法定规划体系 更新及完善《杭州市快速公交及公交专用道规划》及《杭州市公交线网规划》 完善小汽车增量调控管理制度，优化异地车管理政策 完善差异化停车收费制度，划定低排放区，研究拥堵收费实施方案 控制停车位总量，将最低停车位配建标准调整为最高停车位配建标准 完善“小街区，密路网”的街道设计，提升慢行交通品质	编制及出台基于土地与交通一体化发展的《杭州市建设项目交通影响评价管理办法》	***	*****	-	***	*****	中期	16%
		编制及出台《杭州市公交引导城市发展规划》	*****	*****	-	****	****	近期	
		出台《杭州市街道设计手册》，指引人性化街道设计	**	-	-	**	***	近期	
		出台《共享出行运营及管理规范》，包括共享单车、网约车及共享汽车等	***	-	-	***	**	近期	
		实施分区差异化管理策略，建立以交通减碳为切入点的道路使用调节机制	*****	*	*****	***	****	中期	
		研究制定杭州市的燃油车退出及禁售时间表	*	-	***	*****	**	中期	
		编制及出台《多模式整合的公交一体化规划》	*****	-	-	***	*****	近期	
		编制及出台《杭州市旅游交通专项规划》	**	-	-	-	*	近期	
		编制及出台《杭州市电动自行车规划及管理规范》	**	-	-	***	****	近期	
		将“公交优先”纳入城市的《总体规划》和《控制性详细规划》等法定规划体系	*****	***	-	****	****	近期	
转移	更新及完善《杭州市快速公交及公交专用道规划》及《杭州市公交线网规划》 完善小汽车增量调控管理制度，优化异地车管理政策 完善差异化停车收费制度，划定低排放区，研究拥堵收费实施方案 控制停车位总量，将最低停车位配建标准调整为最高停车位配建标准 完善“小街区，密路网”的街道设计，提升慢行交通品质	更新及完善《杭州市快速公交及公交专用道规划》及《杭州市公交线网规划》	*****	**	*	***	****	近期	30%
		完善小汽车增量调控管理制度，优化异地车管理政策	*****	-	****	*****	****	中期	
		完善差异化停车收费制度，划定低排放区，研究拥堵收费实施方案	*****	-	****	*****	****	中期	
		控制停车位总量，将最低停车位配建标准调整为最高停车位配建标准	*****	-	-	****	****	远期	
		完善“小街区，密路网”的街道设计，提升慢行交通品质	***	***	*	-	***	中期	
		出台新能源汽车购买及使用的鼓励政策	-	-	*****	*****	***	近期	
		编制及出台《杭州市新能源汽车替换政策》	*	-	*****	*****	*	近期	
		编制《杭州市电动汽车充电桩规划、运营及管理规范》	*	-	*****	*****	*	近期	
		提升乘用车的燃油经济性	*	-	*****	*	*	中期	
		提升	提升乘用车的燃油经济性	提升乘用车的燃油经济性	*	-	*	*	

优化 治堵	推进交通感知体系全面建设	*	-	**	*	**	近期
	结合城市大脑，完善“智慧交通”系统的建设	*	**	***	***	*	中期
	完善“互联网+公交”体系的建立	*****	*	**	*****	*****	中期
	完善乘客交通信息系统	****	*	-	*	*****	近期

13%

(表格中 \* 表示各政策对油控的影响因子, \*\*\*\*\* 表示程度最强, \* 表示程度最弱。)

---

## 参考文献

---

- [1] 杨柳, 韩兆兴, 林洁, 徐洪磊, 袁平, 张帆, 沈珍瑶. 基于 LEAP 的北京城市客运体系 CO<sub>2</sub> 减排潜力评估 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 2015, 51(02): 164-170.
- [2] 周建, 崔胜辉, 林剑艺, 等. 基于 LEAP 模型的厦门交通能耗及大气污染物排放分析 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34(11): 164-170
- [3] 贾彦鹏, 刘仁志. 基于 LEAP 模型的城市能源规划与 CO<sub>2</sub> 减排研究: 以景德镇为例 [J]. 应用基础与工程科学学报. 2010, 18 (增刊): 75
- [4] 任欢欢. 杭州地区 PM(2.5) 的时空分布特征及影响因素研究 [D]. 浙江农林大学, 2018.
- [5] 李新兴. 杭州市道路机动车污染物排放特征及减排策略研究 [D]. 浙江大学, 2013.
- [6] 薛佳平, 田伟利, 张清宇. 杭州市机动车 NO<sub>x</sub> 排放清单的建立及其对空气质量的影响 [J]. 环境科学研究, 2010, 23(5): 613-618.
- [7] 陈优良, 陶天慧, 丁鹏. 长江三角洲城市群空气质量时空分布特征 [J]. 2017.
- [8] 陆舒洁, 吴浥桐, 王义康. 杭州市 PM(2.5) 时空分布特征及成因分析 [J]. 牡丹江大学学报, 2018, 27(04): 43-46.
- [9] Downs A. Still Stuck in Traffic: Coping with Peak-hour Traffic Congestion [J]. Future Survey, 2004, 42(12): 2329-2331.

# 附录一：

## LEAP-Hangzhou2050 模型基本框架及关键假设

部门	子部门	活动水平	用能结构	能源强度	数据获取方式	数据来源*
农业	农业生产	产业增加值	—	单位增加值能耗	已经完成	统计局；相关规划
	建材	行业增加值	煤炭、天然气、电力	单位增加值能耗	采用统计局数据，能耗数据结合相关规划	统计局；行业数据
工业	造纸	行业增加值	煤炭、天然气、电力	单位增加值能耗	采用统计局数据，能耗数据结合相关规划	统计局；行业数据
	纺织	行业增加值	煤炭、天然气、电力	单位增加值能耗	采用统计局数据，能耗数据结合相关规划	统计局；行业数据
	化工	行业增加值	煤炭、天然气、电力	单位增加值能耗	采用统计局数据，能耗数据结合相关规划	统计局；行业数据
需求模块	装备制造业	行业增加值	煤炭、天然气、电力	单位增加值能耗	采用统计局数据，能耗数据结合相关规划	统计局；行业数据
	建筑施工	建筑施工面积	煤炭、柴油、汽油、天然气、电力	单位施工面积能耗	采用统计局数据，能耗数据结合相关规划	统计局；行业数据

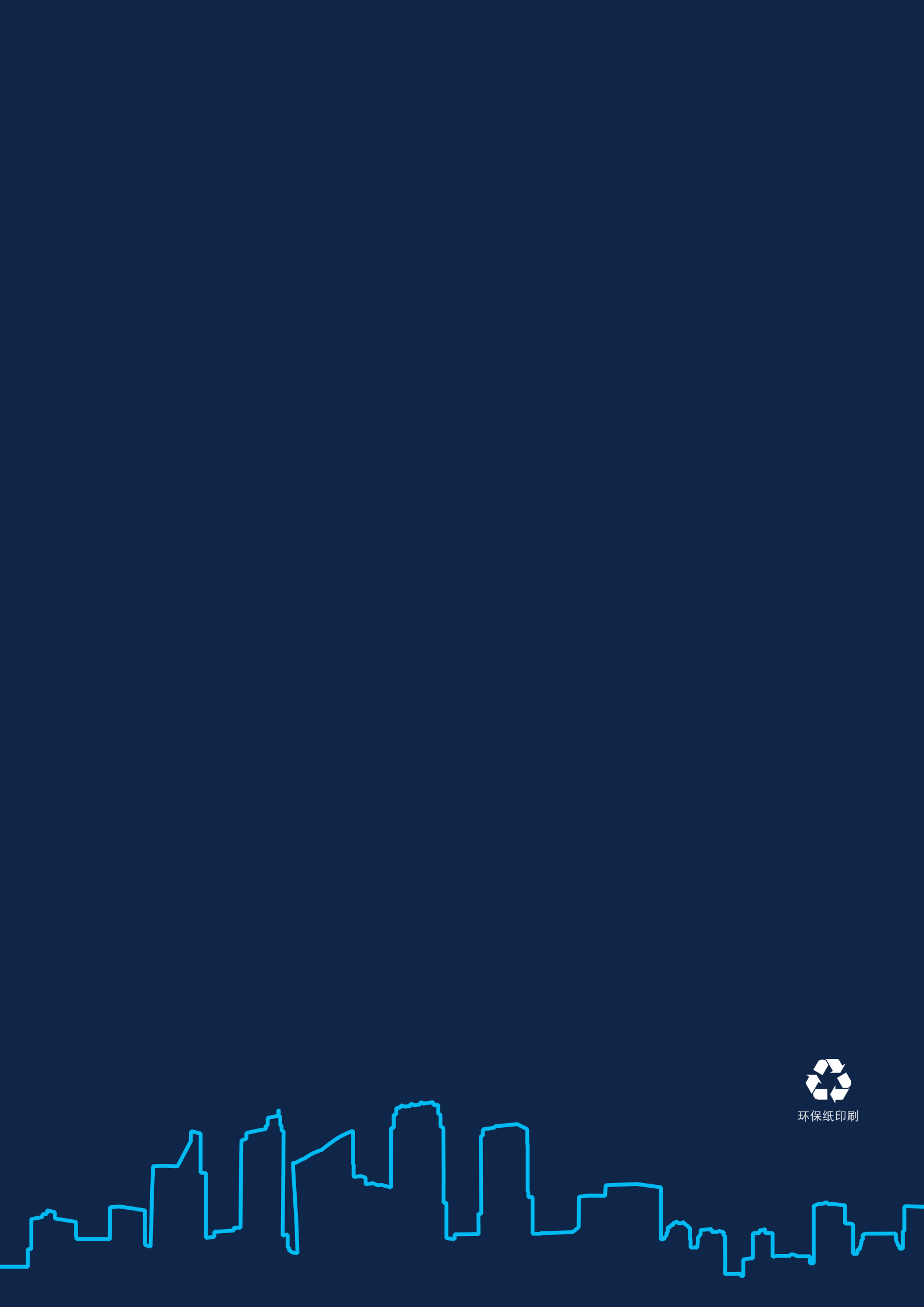


需求模块	公共交通运输	公路	客运周转量	柴油、汽油、电力	人公里能耗	实地调研，并结合统计年鉴数据，对用能结构进行精细化分析	市交通运输局
		水路	客运周转量	柴油、电力	吨公里能耗	周转量采用统计局数据，能耗数据鉴于采集困难，采用文献数据	上海铁路集团（杭州）
需求模块	公共交通运输	公路	货物周转量	柴油、汽油、电力	吨公里能耗	实地调研，并结合统计年鉴数据，对用能结构进行精细化分析	市交通运输局
		内河航运	货物周转量	柴油、电力	吨公里能耗	采用统计局数据	市港航局
需求模块	公共交通运输	公交车	年客运量	柴油、汽油、电力	吨标煤/万人次	实地调研，并结合统计局数据	市公交集团
		出租车	营运里程	汽油、天然气、电力	吨标煤/万公里	实地调研，并结合统计局数据	市交通运输局
需求模块	公共交通运输	轨道交通	营运里程	电力	吨标煤/万公里	实地调研，并结合统计局数据	市地铁集团
		私家车	行驶里程	汽油、天然气、电力	单位私家车能耗	实地调研，协调车管所、交警等获取数据	车管所、机动车管理处
需求模块	公共交通运输	机构用车	行驶里程	汽油、天然气、电力	单位私家车能耗	实地调研，协调车管所、交警等获取数据	车管所、机动车管理处
		摩托车	行驶里程	汽油	万公里能耗	统计部门数据、行业数据等	市交通运输局
需求模块	居民生活	公共建筑	商场、酒店、写字楼等场所面积	天然气、电力	单位面积能耗	采用统计局数据	统计局、住建部
		城镇生活	住房面积	液化石油气、天然气、电力	单位住房面积能耗	活动水平采用统计局数据，能耗数据根据相关规划	国土部、住建部相关文件
需求模块	居民生活	乡村生活	住房面积	液化石油气、天然气、电力	单位住房面积能耗	活动水平采用统计局数据，能耗数据根据相关规划	国土部、住建部相关文件
		加工转换模块			火力发电、供热、电力输送	采用统计局及能源局等部门数据	统计局
需求模块	居民生活	资源模块			化石能源供给，一次电力生产、净调入电	采用统计局及能源局等部门数据	统计局；能源局等规划

## 附录二： 不同情景主要参数设置

参数	基准情景	低碳情景	油控情景
GDP	“十三五”、“十四五”“十五五”分别年均增长7.5%、7%、6%。2030-2040年，年均增长保持在4.5%，2040-2050年保持在4%。	同基准情景	同基准情景
人口	近年来人口增长较快，按照规划，杭州2020年之前人口控制在1000万以内，同时结合近三年杭州人口增长速率，设定2017-2020年人口年增长2%；2020-2025年年增长1.5%；2025-2030年年增长1%，2030年之后，人口基本保持稳定。	同基准情景	同基准情景
产业结构	产业结构逐步优化，2030年第三产业占比达到70%左右，2050年第三产业预计达到76%。	产业结构进一步优化，第三产业发展快于工业，2030年第三产业占比达到72%左右。	同低碳情景
城市化率	城市化率逐年提高，但年度提升幅度逐渐放缓，2020年达到79%，2025年达到82%，2030年达到84%，2050年达到88%。	同基准情景	同基准情景
空气质量	2020年：氮氧化物排放量较2015年减少23%，二氧化硫排放量较2015年减少23%；至2030年，氮氧化物排放量较2020年减少40%，二氧化硫排放量较2015年减少40%。	同基准情景	较低碳情景多减少排放10%

交通发展	<p>到 2020 年, 相比 2015 年, 营运车辆单位周转量能耗下降 6.5%, 市区绿色公交比率 100%, 居民出行公交分担率达到 50%, 城市公交、出租单位客运量二氧化碳强度下降 2%, 人均公交使用次数达到 240;</p> <p>到 2030 年, 相比 2020 年, 营运车辆单位周转量能耗下降 10%, 居民出行公交分担率达到 60%, 城市公交、出租单位客运量二氧化碳强度下降 3%, 人均公交使用次数达到 280 次;</p> <p>到 2050 年, 私家车全部采用新能源汽车, 年行驶里程下降到 0.75 万公里 / 年, 人均使用公交次数达到 420 次。</p>	<p>到 2020 年, 相比 2015 年, 营运车辆单位周转量能耗下降 7%, 市区绿色公交比率 100%, 居民出行公交分担率达到 55%, 城市公交、出租单位客运量二氧化碳强度下降 2.5%, 人均公交使用次数达到 260 次;</p> <p>到 2030 年, 相比 2020 年, 营运车辆单位周转量能耗下降 12%, 居民出行公交分担率达到 65%, 城市公交、出租单位客运量二氧化碳强度下降 4%, 人均公交使用次数达到 326 次。</p> <p>到 2050 年, 私家车全部采用新能源汽车, 年行驶里程下降到 0.72 万公里 / 年, 人均使用公交次数达到 435 次。</p>	<p>到 2020 年, 相比 2015 年, 营运车辆单位周转量能耗下降 8%, 市区绿色公交比率 100%, 居民出行公交分担率达到 58%, 城市公交、出租单位客运量二氧化碳强度下降 2.8%, 人均公交使用次数达到 270 次;</p> <p>到 2030 年, 相比 2020 年, 营运车辆单位周转量能耗下降 14%, 居民出行公交分担率达到 70%, 城市公交、出租单位客运量二氧化碳强度下降 5%, 人均公交使用次数达到 326 次。</p> <p>到 2050 年, 私家车全部采用新能源汽车, 年行驶里程下降到 0.7 万公里 / 年, 人均使用公交次数达到 450 次。</p>
公共建筑	<p>低碳节能建筑得到有效应用, 2030 年节能建筑率达到 45%, 建筑能耗达到 30.5 千克标煤 / 平方米。2050 年节能建筑率达到 100%, 建筑能耗达到 23.2 千克标煤 / 平方米。</p>	<p>低碳节能建筑得到有效应用, 2030 年节能建筑率达到 50%, 建筑能耗达到 29.25 千克煤 / 平方米。2050 年节能建筑率达到 100%, 建筑能耗较基准情景下降 2%。</p>	<p>低碳节能建筑得到有效应用, 2030 年节能建筑率达到 55%, 建筑能耗达到 27.47 千克标煤 / 平方米。2050 年节能建筑率达到 100%, 建筑能耗较低碳情景下降 2%。</p>



环保纸印刷