

欧美机动车温室气体管控政策法规经验及启示

龙腾渊, 常虹, 余浩, 谭建勋

中国汽车工程研究院股份有限公司, 移动源绿色低碳测评与控制重庆市重点实验室, 重庆

收稿日期: 2024年6月25日; 录用日期: 2024年7月26日; 发布日期: 2024年8月2日

摘要

随着全球气候变暖问题日益严峻, 机动车温室气体排放已成为影响全球气候的重要因素之一。美国、欧盟等国家和地区研究制定了机动车温室气体排放管理制度, 主要包括排放标准法规、灵活措施及激励政策、达标监督及处罚制度等内容, 对有效降低欧美地区机动车温室气体排放发挥了重要作用。文章解读分析了欧美地区在机动车温室气体管控方面的政策法规现状, 就欧美温室气体的协同管控总结了相关经验。学习欧美地区先进管理经验可为完善我国环保政策体系提供有力支撑, 促进中国汽车产业绿色升级。

关键词

机动车温室气体, 管控政策法规, 环保政策体系, 汽车产业绿色升级

Experience and Inspirations from Policies and Regulations on Greenhouse Gas Management and Control for Motor Vehicles in Europe and the United States

Tengyuan Long, Hong Chang, Hao Yu, Jianxun Tan

Chongqing Key Laboratory of Green and Low-Carbon Assessment and Control for Mobile Source, China
Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing

Received: Jun. 25th, 2024; accepted: Jul. 26th, 2024; published: Aug. 2nd, 2024

Abstract

As the issue of global warming becomes increasingly severe, greenhouse gas emissions from motor vehicles have emerged as one of the significant factors influencing the global climate. Countries and regions such as the United States and the European Union have researched and formu-

文章引用: 龙腾渊, 常虹, 余浩, 谭建勋. 欧美机动车温室气体管控政策法规经验及启示[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(4): 741-755. DOI: 10.12677/aep.2024.144099

lated management systems for greenhouse gas emissions from motor vehicles, primarily consisting of emission standards and regulations, flexible approaches and incentive policies, as well as compliance monitoring and penalty systems. These systems have played a crucial role in effectively reducing greenhouse gas emissions from motor vehicles in Europe and the United States. This paper delves into the current status of policies and regulations regarding greenhouse gas control in motor vehicles in Europe and the United States, and summarizes relevant experiences in their collaborative management of greenhouse gases. Learning from the advanced management experiences of Europe and the United States can provide robust support for improving the environmental protection policy system of China and facilitate the green upgrading of the Chinese automobile industry.

Keywords

Greenhouse Gas Emissions from Motor Vehicles, Regulatory Policies and Regulations, Environmental Protection Policy System, Green Upgrading of the Automotive Industry

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在《联合国气候变化框架公约》第 26 届缔约方大会上，来自世界气象组织的《温室气体公报》中指出：“过去七年正在成为有气象记录以来最热的七年。”根据数据显示，2020 年全球温室气体浓度已达到新高，二氧化碳、甲烷和氧化亚氮的浓度分别比工业化前高出 149%、262%和 123%，而这种增长仍在继续，引起人们广泛关注。

2015 年 11 月，在气候变化巴黎大会上我国提出在 2030 年左右国家二氧化碳排放达到峰值并争取尽早达峰。2020 年 9 月 22 日，在第七十五届联合国大会一般性辩论上中国承诺将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。实现碳达峰成为中国近十年重要的环境目标之一，也是 2060 年实现碳中和的关键一步，更是实现经济高质量发展的必然要求。同时，中共中央、国务院于 2024 年 1 月 11 日发布了关于“美丽中国”建设的重要文件，即《中共中央国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》，强调了积极稳妥推进碳达峰碳中和，这反映了中国在应对全球气候变化方面的积极态度和决心。“意见”还强调了将在政策层面进行引导和调控，比如严格执行环境保护税法，完善征收体系，用好税收优惠和减免等措施。

国际能源署的“2022 年全球二氧化碳排放”报告中指出，2022 年全球与能源相关的温室气体总排放量增长了 1.0%，达到 413 亿吨二氧化碳当量，为历史最高的水平。同时受到发达经济体增长的推动，2022 年全球运输产生的二氧化碳排放总量增加了 2.1%，即增加了 1.37 亿吨^[1]。研究表明，交通行业已成为全球温室气体和碳排放最重要和增长最快的领域之一，2014 年我国交通运输行业排放温室气体 8.2 亿吨 CO₂ 当量，机动车是交通运输温室气体排放的主要贡献者，占 84.1%。

《大气污染防治法》明确了机动车温室气体相关的管控要求，我国虽已建立起较完善的节能标准体系，但在机动车温室气体管控手段和政策方面仍相对欠缺。中国作为全球最大的汽车市场之一，需要为全球气候变化贡献中国力量，因此，及时开展欧美温室气体管控政策法规研究对中国借鉴先进管理经验来应对全球气候变化、推动汽车产业绿色升级并完善我国环保政策体系具有重要意义。

在机动车排放层面，通过制定更严格更合理的排放标准，引导汽车企业加大研发力度，提升技术水平，推动汽车产业向更加环保、节能的方向发展；确定适用于中国的机动车温室气体排放测试、核算和管控方案来推动我国环保事业持续发展。

2. 欧盟温室气体管控政策法规

欧盟在 20 世纪 90 年代开展了燃油经济性管控相关工作。随着全球气候变暖问题日益得到重视，在 2010 年前后欧盟又出台了机动车 CO₂ 排放法规。通过不断发展，欧盟逐步形成了较为完善的 CO₂ 管控管理经验。

2.1. 温室气体管理历程

欧盟对于汽车燃油经济性和温室气体的控制经历了三个阶段：1992 年为限制汽车废气排放污染物对环境造成的危害而制定了汽车废气排放标准；1995 年开始设定减排目标，走上了自愿减排的道路；2007 年，将 CO₂ 写入法规，开始实施强制减排。

在目前的欧盟汽车产品型式批准制度及其技术指令体系中，没有针对汽车燃油消耗控制的法规项目，欧盟通过控制汽车的 CO₂ 排放量来达到控制车辆油耗的目的，对进入欧盟市场的汽车产品，除满足其型式批准框架中的各项技术指令外，还需满足其对车辆 CO₂ 排放量方面的控制要求。欧盟在控制汽车的 CO₂ 排放量上前后分别采取汽车工业界自我行动和政府立法两种不同形式。

欧盟政府从 1999 年开始，采取放弃立法、由汽车工业界自主行动的方法来达到预定的汽车 CO₂ 排放控制目标值。然而欧盟政府发现这种方式效果并不理想，如果继续采取企业自愿措施，预计将无法达到欧盟政府对汽车 CO₂ 排放控制所要求的目标值。因此欧盟政府决定放弃原有的工业界自我行动方式，对汽车 CO₂ 排放进行立法。自 2009 年开始，欧盟政府分别制定实施 M₁ 类乘用车和 N₁ 类轻型商用车的 CO₂ 排放法规。

1) 企业温室气体自愿减排

1995 年，应欧洲议会与成员国要求，欧盟委员会将 2005 年汽油车新车平均燃油经济性目标定为 5 L/100km，柴油车目标定位 4.5 L/100km (即约 120 g CO₂/km)。欧盟在 COM (2007)法规中，提出了 2012 年达到 120 g CO₂/km 的中期目标，并要求发达国家成员国在 2020 年前温室气体减排目标达到 30% (与 1990 年水平相比)，同时欧盟做出承诺，在 2020 年达到整体减排 20%的目标(不包括发达国家)。

在 2009 年以前，欧盟的减排战略有三大支柱，在 COM (95)中予以提出，随后欧盟理事会和欧洲议会又再次完善。这三大支柱从供给(自愿承诺)和需求(标识和税法)方面出发，形成了一套综合的减排举措。这三大支柱为：

第一大支柱：汽车行业的自愿承诺

欧盟采取自愿承诺的方式达到 2008 或 2009 年的 140 g CO₂/km 的减排目标。考虑到目前自愿承诺下各汽车制造商所取得的成就，欧盟委员会反复强调要采取一切手段进行立法以确保 CO₂ 减排目标的达成。

第二大支柱：消费者信息标识

根据 1999 年的标识指示，所有新车都必须贴有显示油耗和 CO₂ 排放量的标识，公布新车节能的国家指南，在经销商新车海报和宣传册中公开燃油经济性信息。该指示虽可以有效的提升公众意识，但是由于各成员国标识质量参差不齐，其影响却并不显著。

第三大支柱：通过财税手段促进汽车节能发展

财税手段降低了达成节能目标所花费的成本，但是就其具体实施情况而言却并不如意。从欧盟的角度看，2005 年 7 月欧盟委员会向欧盟理事会提交的关于征收 CO₂ 元素的汽车税并未得到欧盟理事会的认

同；从国家的角度看，部分成员国已采用财税手段来鼓励购买 CO₂ 排放少的车，但是对欧盟平均新车 CO₂ 排放量并没有证明起到显著效果。

2) 企业温室气体排放标准强制实施

为进一步实现对欧盟乘用车 CO₂ 排放管理，欧盟委员会于 2007 年颁布提案，决定将制定 CO₂ 排放限值写入法规中。2009 年 Regulation 433/2009 应运而生，法案建立了以企业平均 CO₂ 排放为基础的限值标准框架并沿用至今；2019 年 3 月，欧盟发布了最新的 CO₂ 排放管理法规(EU 2019/631)。

新 CO₂ 排放法规要求乘用车行业新车 CO₂ 平均排放在 2021 年之前达到低于 95 g/km 的目标，2030 年乘用车行业新车 CO₂ 排放平均水平较 2021 年降低 37.5% [2]。CO₂ 排放限值主要取决于乘用车的整备质量，车辆越重，则可获许排放标准越高。这个目标并非要求所有不同质量的车都达到，而是取综合平均值。若生产超标乘用车，则可同样生产远低于排放标准的乘用车以“平衡”指标。

2.2. 灵活措施及激励政策

为使企业达标并减少达标成本，法规提出了超级积分、小批量和超小批量企业减排、自由组合、生态创新技术鼓励、替代燃料车等灵活措施和激励政策。

1) 超级积分

新法规对生产 CO₂ 排放量少于 50 g/km 的超低排放汽车的制造商会给予一定的奖励措施。其中，年产量低于 1000 辆的制造商不适用于该政策。

2) 小批量和超小批量企业减排政策

小批量制造商销售的车辆排放废气只占欧盟废气排放的很小一部分。因此，对这些制造商的某些要求允许有一定的灵活性。欧盟的小批量企业认证规定和相关要求也随着排放标准的发展不断调整中：在之前的法规中，满足要求的小批量制造商可向欧洲委员会申请单独的减排目标，欧洲委员会会基于制造商的排放潜力制定适合的减排目标；或者对年销量较少的新车制造商等予以豁免。

在最新的欧七排放法规 EU 7 中更新规定：小批量制造商是指每个公历年在欧盟注册的 M₁ 类新机动车少于 10,000 辆，或 N₁ 类新机动车少于 22,000 辆，或 M₂ 和 M₃ 类新机动车总数少于 450 辆，或 N₂ 和 N₃ 类新机动车总数少于 6000 辆的制造商；超小批量制造商是指上一个公历年在欧盟注册的 M₁ 类新机动车或 N₁ 类新机动车的产量少于 1000 辆的小批量制造商。同时规定了小批量生产商在符合声明情况下，应能在型式批准中替换某些测试；而超小批量生产商则应被允许使用基于随机实际行驶循环的实验室测试方案[3]。

3) 自由组合政策

为使制造商可灵活达到排放标准，制造商可共同组成自由组合小组。若制造商组成小组，则被视为共同完成减排目标，将小组的平均排放量作为一个整体，不能超过小组的目标排放量。小组协议最多不超过 5 年，但在协议到期前可以重新分组。

法规对制造商申请自由组合必要条件及申请自由组合的注意事项等做了相关规定。

4) 生态创新技术鼓励

当生产车型能够证实自身所用创新科技有利于 CO₂ 减排，同时创新技术可装备在机动车上且具备独立的验证数据，则制造商可为其生产的全部车型争取到最高 7 g/km 的减排等效奖励。

创新技术的具体标准如下：

- a) 供应商或制造商须尽可能将创新技术引入 CO₂ 减排中；
- b) 该创新科技须对 CO₂ 减排产生真实有效的效果；
- c) 创新技术不包括 CO₂ 循环标准测试办法或根据条例所涉及的 10 g CO₂/km 的减排配套措施，以及

欧盟法律下其他的强制条款。

5) 替代燃料车引入

为确定制造商的具体排放标准的执行情况，每辆替代燃料车须用最低含量 85% 的乙醇汽油(E85)行驶，且符合欧盟相关的法律规定或欧洲技术标准，则每辆替代燃料车的 CO₂ 具体排放量于 2015 年 12 月 31 日前应予以减少 5%，以示对采用生物燃料进行技术性减排的鼓励。

2.3. 达标监督及处罚制度

对于未完成目标的企业，欧盟通过立法实施严厉的累进制罚款，督促企业加大投入减少 CO₂ 排放。每个车型年度，如果生产企业 CO₂ 平均排放量超过其特定排放目标，委员会应对生产企业或集管理人(视情况而定)征收超额排放费，所赔付的罚金将作为欧盟税收预算的一部分。

在 2012~2018 年，对排放超标的新出产乘用车，将按累进模式征收罚款。超标第 1 g 按每辆车 5 欧元的标准征收罚款，超标第 2 g 按每辆车 15 欧元的标准罚款，超标第 3 g 按每辆车 25 欧元的标准罚款，超过 3 g 的部分按每辆车 95 欧元的标准罚款。从 2019 年以后，超标值调整为全部按 95 欧元的标准征收罚款，罚款数额视制造商 CO₂ 平均排放量超标情况计算确定。

自 2011 年起，每年的 2 月 28 日，所有成员国应向欧洲委员会确定并传达关于上一年度的信息。欧洲委员会应于每年的 6 月 30 日对所有成员国所递交的信息数据进行中央登记，将临时为各制造商计算下列数据：

- 1) 上一年度 CO₂ 平均具体排放量；
- 2) 上一年度具体排放目标；
- 3) 上一年度 CO₂ 平均具体排放量与具体排放目标的差异。

委员会应对各制造商通知针对某一制造商的暂时计算结果。该通知应包含以下内容：各成员国新型乘用车注册数量以及其 CO₂ 具体排放量，注册信息须予以公开各制造商将在三个月内被告知暂时计算结果，如计算结果有任何错误，可通知欧洲委员会并详细阐述错误所在。

2.4. 欧七相关动态

2023 年 12 月 18 日，EU 委员会，理事会和议会三方就 EU7 法规达成一致，同时也发布了协议内容：下一步，该协议仍需要获得议会和理事会的正式批准。

协议中，与温室气体相关的核心内容主要为在用车符合性要求中检查 OBFCM (除 EU6e 中的型式认证&生产一致性检查要求外)，OBFCM 监管情况进一步加强。主要目的是监测车辆的燃料和能量消耗情况，以更准确地反映车辆在实际使用中的排放性能。

具体来说，欧七提案要求 OBFCM 系统能够更精确地测量和记录车辆的燃料消耗和能量使用情况，以便更准确地评估车辆的排放水平。这一要求将有助于减少在测试环境和实际使用环境之间的差异，使车辆的排放数据更加真实可靠。此外，欧七提案还强调了 OBFCM 系统在监管中的作用。通过实时监测和记录车辆的燃料消耗和能量使用数据，监管部门可以更有效地监督和管理车辆的排放情况，确保车辆在实际使用中符合排放标准。总之，欧七提案中关于 OBFCM 的最新要求体现了对车辆实际排放性能的更高关注，有助于推动汽车行业的绿色发展和可持续发展。

同时，欧七也对 OBD/OBM、OBFCM、ODO、电池、燃料/反应剂系统、排放控制、发动机控制单元等系列组件提出了防篡改和安全措施的相关要求。此外，在 2023 年 4 月，欧盟正式发布了(EU) 2023/851 法规，规定了 2025 年以后的 PC/LCV 的新 CO₂ 车队排放要求[3]。欧盟的总体目标是到 2030 年，整个欧盟内的温室气体排放实现在 1990 年水平上降低 55%；在 2050 年实现碳中和。

基于相关规定，欧盟温室气体法规还对下述管控内容的相关规定做了更新或调整：

1) OEM 目标值计算基准变更：

从 2021 年起，OEM 按各自 WLTP 目标：基于满足 NEDC 目标基础上，将 NEDC 目标值转换至 WLTP 基准目标值，如下图 1 所示。

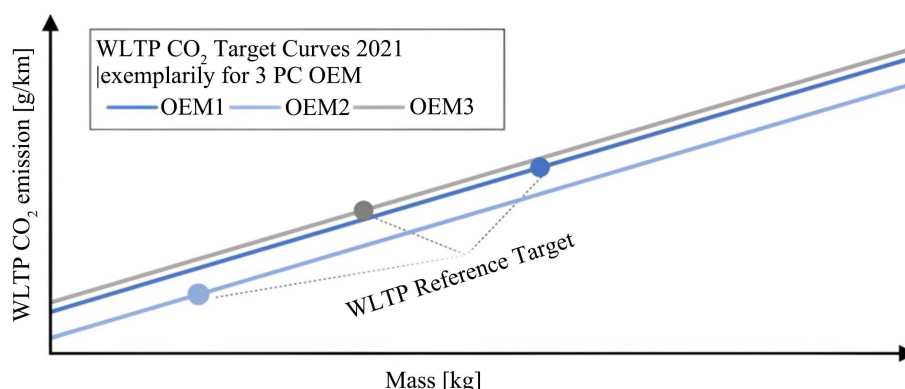


Figure 1. CO₂ emission target curves under WLTP for different OEM manufacturers
图 1. 不同 OEM 制造商 WLTP 基准 CO₂ 排放目标曲线

2) 各 2025~2029 年 CO₂ 的乘用车 PC 车队目标：

计算 EU fleet-wide 目标值₂₀₂₁：根据各企业在 2021 年的基准值按销量进行加权。

$$\text{EU fleet-wide 目标值}_{2025} = \text{EU fleet-wide 目标值}_{2021} \times (1 - \text{reduction factor}_{2025})$$

CO₂ 基准目标值计算：

$$\text{基准目标值} = \text{EU fleet-wide 目标值}_{2025} + a_{2025} \times (TM - TM_0)$$

其中， $a_{2025} = a_{2021} \times \text{EU fleet-wide 目标值}_{2025} / \text{fleet-wide average emission}_{2021}$ 。

需注意：质量基准从 2025 年起切换为测试质量。

3) 2030~2034/2035 年以后 CO₂ 的乘用车 PC 车队目标：

计算 EU fleet-wide 目标值₂₀₂₁：根据各企业在 2021 年的基准值按销量进行加权。

$$\text{EU fleet-wide 目标值}_{2030} = \text{EU fleet-wide 目标值}_{2021} \times (1 - \text{reduction factor}_{2030})$$

$$\text{EU fleet-wide 目标值}_{2035} = \text{EU fleet-wide 目标值}_{2021} \times (1 - \text{reduction factor}_{2035})$$

2030~2034 的 CO₂ 目标值计算：

$$\text{排放目标值} = \text{EU fleet-wide 目标值}_{2030} + a_{2030} \times (TM - TM_0)$$

其中： $a_{2030} = a_{2021} \times \text{EU fleet-wide 目标值}_{2030} / \text{fleet-wide average emission}_{2021}$ 。

2035 年以后的 CO₂ 目标值计算：

$$\text{排放目标值} = \text{EU fleet-wide 目标值}_{2035} + a_{2035} \times (TM - TM_0)$$

其中： $a_{2035} = a_{2021} \times \text{EU fleet-wide 目标值}_{2035} / \text{fleet-wide average emission}_{2021}$ 。

4) CO₂ 中性燃料的使用列入法规中

在与利益相关方协商后，欧盟委员将在满足欧盟法律、车队标准范围之外且满足欧盟的气候碳中和目标下，提出 2035 年后可注册仅使用二氧化碳中性燃料的车辆的建议。

委员会计划在 2024 年制订两项相关法规。

a) 在排放法规中补充对“只使用零碳燃料的新车”定义，如：e-fuel 车辆、绿 H₂ 车辆等；需要补充

燃料监测系统。

b) 规定“CO₂ 零排放车辆”相关要求。

5) ZLEV 的激励

a) 对排放量 < 50 g CO₂/km 的乘用车, 倍数 2.0 (2020); 1.67 (2021); 1.3 (2022); 1 (2023), 总的 CAP 不超过 7.5 克/NEDC;

b) 2025~2029 年, 对零碳排放或低碳排放车辆引入 ZLEV 因子鼓励企业生产 ZLEV 车辆, 届时乘用车和轻卡的基准水平将分别提升至 25%和 17%。

6) 生态创新技术

从 2030 年到 2034 年, 优惠幅度上限下降为 4 g/km。(目前: 在 2024 年以前上限是 7 g/km, 从 2025 年到 2029 年上限为 6 g/km)。

7) CO₂ 全生命周期排放数据

欧盟委员会应在 2025 年 12 月 31 日前提交报告, 列出欧盟市场上乘用车和轻型商用车的全生命周期二氧化碳排放量的评估方法和一致数据报告。

到 2025 年 12 月 31 日, 欧盟委员会应提交针对欧盟市场的乘用车和轻型商用车的全生命周期二氧化碳排放量的评估方法建议, 作为本法规的补充。

从 2026 年 6 月 1 日起, 制造厂可以在自愿的基础上, 使用上述评估方法, 向委员会提交新型乘用车和新型轻型商用车的生命周期二氧化碳排放数据。

8) 其他规定

a) 实际行驶过程中 CO₂ 排放监测(OBFCM, 相关法规已实施)。

b) 包含一条评估条款, 确保在 2026 年(此后每两年一次), 委员会将充分评估在实现 100%减排目标方面取得的进展, 评估法规规定的具体措施的必要性和可行性。评估: e-Fuel 可能的贡献; 引入全生命周期 CO₂ 排放评估方法的可能性以及采用 PEMS 进行监测可行性等[4]。

3. 美国温室气体管控政策法规

3.1. 温室气体管理历程

美国自上世纪 70 年代开始就制定实施了燃料经济性标准, 并于 2012 年开始逐步引入温室气体排放标准。在汽车大气污染物、温室气体、能耗协同管理方面积累了丰富的经验, 可为我国开展联合管控提供重要的借鉴。美国工业发展较早, 受环境影响和能源安全的制约, 20 世纪 70 年代就启动了汽车油耗管理, 先后提出了 CAFE 标准、油老虎税、燃油经济性标识等管理措施, 并随着汽车工业的发展, 不断修改与完善。

美国对于油耗和温室气体的管理已形成较为完善的管理体系, 其中美国环境保护局(EPA)负责制定大气污染物和 GHG (温室气体)标准的制定和实施、交通部高速公路安全管理局(NHTSA)制定 CAFE (企业平均燃料经济性)标准的制定和实施。CAFE 标准通过引入脚印面积从一刀切的模式向更加科学合理的模式转变。GHG 和 CAFE 标准从主管部门、管理框架、流程等方面相互协同, 使企业达标更加灵活。

机动车大气污染物、温室气体和能耗的测试数据由美国 EPA 国家汽车和燃料排放实验室统一测试, 分别提供给 EPA 和 NHTSA。轻型车大气污染物、油耗及二氧化碳采用相同的试验方法及工况循环, 整车在底盘测功机上运行 FTP 城市工况(如图 2 所示)及高速工况循环测定大气污染物排放量、CO₂ 排放量, 采用碳平衡法计算得出城市工况下的燃料经济性和高速工况下的燃料经济性, 加权平均得到综合工况燃料经济性。对载货牵引车及专用车辆采用温室气体排放模型(GEM)计算燃料消耗量及 CO₂ 排放量, 模型参数主要来自发动机台架试验。

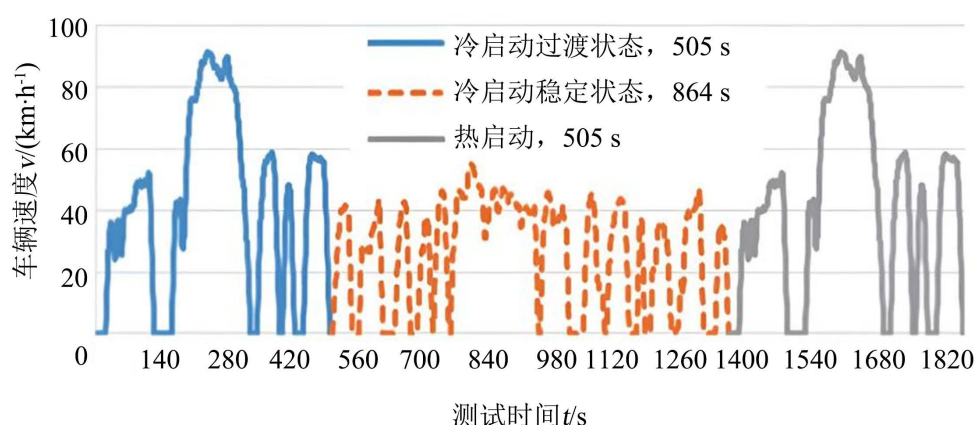


Figure 2. Characteristics of FTP urban driving cycle

图 2. FTP 城市工况特征

美国在轻型车排放测试时,除了采用 FTP 城市工况和高速工况测试以外,还必须进行两个附加的联邦测试(SFTP)和低温城市工况,用于弥补整车认证工况的不足。SFTP 包括激进高速循环(US06)和使用空调的循环(SC03)。US06 工况持续时间为 600 s,行驶里程 12.9 km,最高速度 129.3 km/h,平均速度 77.38 km/h,最大加速度为 3.76 m/s²。SC03 工况持续时间为 600 s,行驶里程 5.76 km,最高速度 88.23 km/h,平均速度 34.58 km/h,最大加速度为 2.28 m/s²。低温城市工况与 FTP 工况相同。

为了进一步降低能源消耗和温室气体排放,2009 年 9 月 15 日美国环保局(EPA)与美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)联合提出了新的轻型车燃料经济性与温室气体排放法规,要求企业在满足燃料经济性法规的同时,还必须满足温室气体法规的要求。该法规从 2012 年开始逐步引入。2011 年 8 月,美国发布了 2014~2018 年中重型车及发动机燃料经济性及温室气体排放法规,同时开始考虑下一阶段法规的制定。EPA 以车型的脚步面积(Foot Print)为基准,制定了乘用车及轻型卡车单车型所对应的燃料经济性与温室气体排放目标值;以车型的质量和驾驶室类型等为基准,制定了中重型车所对应的燃料经济性与温室气体排放目标值。汽车制造商将车型燃料经济性和温室气体排放目标值按产量加权平均得到企业平均燃料经济性及温室气体排放目标值。

大气污染物、温室气体、能耗进行统一测试、统一管理,一方面有利于减轻企业负担,另一方面也有效杜绝了企业通过调整发动机标定参数进行作弊。

3.2. 灵活措施及激励政策

美国在大气污染物、温室气体、能耗标准法规实施中采用了基于 ABT (平均、存储、交易)机制的灵活方式。ABT 机制赋予企业较大的宽松度、灵活度和自主权,往往对企业提出“总体、平均性”的要求和指标,企业在整体满足法规规定的“平均性要求”的前提下,可以内部进行不同类型产品的自由配置。还可以将产品超额满足法规指标要求进行量化,形成积分,在企业内部以及不同企业之间进行自由交易。

不同于“一刀切”的管理方式,ABT 机制对每个企业单独核算,可以有效促进先进技术及产品导入市场,加快推进标准实施进程,提高企业灵活应对市场的能力,具有显著的经济和环境效益,在排放法规和油耗法规中得到了广泛应用。

1975 发布的《能源政策与节约法》,首次提出公司平均燃油经济性标准(Corporate Average Fuel Economy, CAFE),并于 1978 年开始执行。CAFE 标准由美国交通部(DOT)设定和调整,环保署(EPA)确定车辆测试方法和流程。CAFE 标准按照销量加权来认定,分别对乘用车和轻型卡车设立车型年度固定

的标准。CAFE 标准首次提出了积分的概念,企业可使用前三年的多余积分进行抵偿,也可提前借贷后三年的积分抵偿。如果企业在某一年超过了 CAFE 标准,便可以储存该积分(单位 mpg),1 积分 = 0.1 mpg。若在随后的年份中未达标,则可以使用这些储存下来的积分。这些积分除了用来储存供自己使用外,还可以通过转账或交易的形式,把自己的积分过渡给其他生产相同车型的制造商用来抵消未达标的部分。未达标的企业,每超过 0.1 mpg 则罚以 5.5 美金,再乘以企业当年生产的机动车总数。

1991 年,美国 EPA 将 ABT 制度用于对发动机排放的灵活管理。ABT 制度目前包含的发动机类型有:道路汽油和柴油机、非道路柴油机、航运压燃式和点燃式发动机、小型点燃式发动机、机车发动机和雪上汽车发动机,企业在进行机型认证期间申明其家族的排放限值,在模型年结束时向 EPA 提交信用报告,EPA 对报告进行评估,评估方式灵活,包括报告审核和现场审核等。ABT 制度可以很好地鼓励新技术的应用,确保不同市场参与者进行公平竞争。

ABT 制度的实施,促进了清洁产品更早地进入市场,带来很好的环境收益,对标准期限通过信用制度进行灵活处理,促进标准实施进程;由于可灵活标准限值终止时间点,生产企业可以方便规划其生产计划,适度延长重要产品的生命期,新产品可通过交易信用来冲抵部分开发费用。

除排放外,美国汽车油耗和温室气体排放的管理也同样采用了 ABT 制度。为减少石油依赖,1975 年美国通过《能源政策和节约储备法案》,提出了企业平均燃料经济性(CAFE)要求,对不能满足要求的汽车企业进行惩罚,而对高油耗车辆加征燃油税。美国企业平均燃料经济性,以英里每加仑为单位。汽车制造商每年销售的乘用车或轻型卡车,以其所占总销售量的百分比作为加权系数,乘以该车型的燃料经济性(汽车消耗 1 加仑燃料所行驶的里程数),再将各车型的燃料经济性加权平均,得到汽车制造商的平均燃料经济性值,此值应满足法规限值要求。CAFE 实施的最大好处是,政府可以从整体上控制汽车燃料消耗总量,而不限制企业生产不同燃料经济性的汽车。

2007 年,美国最高法院签发马萨诸塞州 EPA515 文件。该文件中,根据《清洁空气法》的规定,最高法院认定温室气体属于污染物,决定授权 EPA 治理机动车温室气体排放。2010 年 5 月 EPA 和 NHTSA 联合发布的《联邦公报》,提出了 2012~2016 车型年轻型车温室气体与公司平均燃油经济性标准。在 EPA 制定的 GHG 标准中,车辆的 CO₂排放标准同样基于脚印面积线性变化。

在 CAFE 标准实施过程中,NHTSA 制定了一系列配套措施来使企业灵活达标,主要包括燃料经济性 ABT 积分、小规模企业放宽措施、国产乘用车企业最低限值标准、其他积分奖励机制。

1) 燃料经济性 ABT 系统

目前 ABT 既适用于 EPA 的 CO₂排放标准也适用于 NHTSA 的 CAFE 标准,但是具体来说二者在应用上有着细微的差别。

ABT 系统分别针对乘用车和卡车设有两套标准。采用积分的存储、交易措施不仅可以降低制造商的合规成本,同时也产生了不错的环境效益。ABT 规定制造商的积分大体上有且只有 4 种用法:

a) 若某制造商在某车型年出现未达标的差额,则必须由该年或前 5 年内累计的积分予以抵消(若存在多余的累计积分)。处理完自身“积分债务”的制造商,所余下的积分可用作存储,存储后 5 个车型年内都可以用来抵消积分债务。

b) 某一制造商的积分可用来内部乘用车与卡车之间进行转换。

c) 积累下的积分可用于同其它制造商进行交易:可直接进行交易或通过第三方代理进行交易。

d) 若某一企业在车型年未达标,则在该车型年后准许有三年的亏损补报措施(该措施只许发生在该企业采取积分抵消或交易措施后),三年后若债务未还清,则视为违反规定,将予以强制执行。

以上所诉均适用于 CAFE 与温室气体排放标准。但是,在具体应用中 CAFE 标准中每年所转换积分

的数量有上限(2011~2013, 1.0 mpg; 2014~2017, 1.5 mpg; 2018 以后, 2.0 mpg), 且转换或交易的积分不能用以抵消国产乘用车最低 CAFE 标准。

2) 小规模企业的放宽措施

EPA 对全球雇员数少于 1000 人的企业予以豁免。EPA 对在 2008~2009 车型年年销量少于 5000 的制造商也予以豁免。该豁免是由于此次 EPA 制定排放标准时没有将产量少于 5000 的制造商列入在内, 其理由是: a) 这类小产量的企业在美国轻型车销量所占比例不到 0.1%; b) 之前 EPA 的评估中没包含此类企业; c) 对整体的温室气体排放的影响不大。

NHTSA 对 2012~2016 车型年 CAFE 标准给予小企业的变通: a) 每年生产少于 1 万辆新车, 予以单独的替代标准; b) 针对产量低且产品不全的公司, 该项目也提供了一个缓冲的机制。

3) 国产乘用车制造商的最低限值标准

自 2011 车型年起, 根据美国《能源安全与独立法案》要求, 国产乘用车制造商除了要达到 NHTSA 制定的 CAFE 目标外, 还要达到国产乘用车平均燃油经济性最低标准。实施该措施就是为了避免国产乘用车制造商利用 ABT 系统规避节能技术的研发和应用从而减少技术研发成本。

4) 其他积分奖励机制

在 CAFE 标准中, 为鼓励替代燃料车和双燃料车的发展, 对生产该类型车的企业给予相应的鼓励, 即替代燃料车积分。

在 GHG 法案中, 其他积分奖励有空调积分和工况外技术积分。空调积分, 即 EPA 根据预计 CO₂ 减排的百分比制定了一套空调技术积分对照表, 根据搭载的空调先进技术给予相应的积分奖励。工况外技术积分, 指 EPA 对新型和创新技术应用于 CO₂ 减排中, 但是这类创新技术在双循环工况中效果并不明显, 工况外技术积分需要具备三个资格条件: 一是采用技术新型且为创新技术, 二是目前仅应用于有限车型(并未大范围实际应用), 三是在目前的双循环测试工况中无法测试[5]。

3.3. 达标监督及处罚制度

NHTSA 的 CAFE 标准处罚机制相对明确, 即每低于标准 0.1 mpg, 则每辆车罚款 5.5 美元。NHTSA 授权 EPCA 可将罚金调整到 10 美元(不包括通货膨胀调整), 前提是当 NHTSA 认为调整后的罚金对美国汽车节能的整体没有大的影响, 对美国的经济不会造成坏的影响。NHTSA 所罚的款项都收归美国财政部所有, 而并非由交通部管理。

EPA 的温室气体排放标准中, 对于当年未达标的企业不像 NHTSA 对 CAFE 标准拥有明确的罚款金额, 但是会进行机动车温室气体排放进行合规性检查:

首先, EPA 针对乘用车、轻型商用车分别设置碳相关废气排放(Carbon-Related Exhaust Emissions, 简称 CREE)目标值要求, 均基于车辆的脚印面积(单位: 平方英尺)计算确定车型目标值, 各车队所属车型目标值与销量加权平均确定车型年车队目标值(单位: g/mile), EPA 会根据企业所递交上来的数据来认定是否符合规定, 若企业没有达到车队平均标准, 且没有足够的交易或转换积分来抵消其赤字, 则被认定为不符合规定。

第二, 将超额排放的车型定为不合格产品, 下一车型年不能销售并吊销其合格证。

第三, 对不合规车辆, 《清洁空气法》授权 EPA 予以最高每辆 37,500 美元的罚款。

第四, EPA 可根据以下条件决定处罚定量:

1) 违规的严重性; 2) 违规企业规模; 3) 因违规而产生的经济效益或成本节约; 4) 有无违规前科, 对违规有无补救措施; 5) 罚金的多少对企业能否正常经营产生的影响。

3.4. 美国 Tier4 动态

EPA 于 2024 年 3 月发布新版的 “Multi-Pollutant Emissions Standards for Model Years 2027 and Later Light-Duty and Medium-Duty Vehicles”，即 Tier4 Final Rule，针对轻型车辆以及 2b 类和 3 类(“中型”)车辆设置了更加严格限值的 GHG 温室气体法规，并对循环外技术、空调积分、零排车辆和插电式混合动力汽车相关的上游排放处理、中型车辆激励乘数以及车辆认证和合规等内容作了相关规定[6]。

1) 基于脚印面积的二氧化碳目标值设置

如表 1，EPA 对乘用车和轻型卡车制定单独的标准。最终行业目标值是基于 2032 车型年的大约 40% 的乘用车和 60%的卡车组合设定的目标。

Table 1. Projected fleet-wide CO₂ targets in MY 2026~2032
表 1. 预计 2026~2032 车型年车队平均 CO₂ 目标值

车型年	乘用车 CO ₂ (g/mile)	卡车 CO ₂ (g/mile)	总车队 CO ₂ (g/mile)
2026	131	184	168
2027	139	184	170
2028	125	165	153
2029	112	146	136
2030	99	128	119
2031	86	109	102
2032 及之后	73	90	85

提出了 2027~2032 车型年乘用车和轻型卡车的最小和最大脚印面积曲线，以及定义最小和最大脚印面积之间线性函数的斜率和截距。对于介于最小值和最大值之间的足迹，目标计算如下：斜率 × 足迹 + 截距 = 目标。

a) 参考表 2 和表 3，对轻型车辆 EPA 确定其基于碳足迹的二氧化碳目标水平与提案中 MY2032 年的水平相同，但从 2027~2032 年开始，标准的严格程度将呈线性上升(相对于早几年严格程度的缓慢增长情况)。该最终标准将进一步降低车队平均温室气体排放目标值，相比 MY2026 年标准降低近 50%。

Table 2. Footprint-based standard curve coefficients for cars
表 2. 基于脚印面积的汽车目标值曲线相关系数

车型年	2027	2028	2029	2030	2031	2032
MIN CO ₂ (g/mile)	135.9	123.8	110.6	98.2	85.3	71.8
MAX CO ₂ (g/mile)	145.2	131.6	117.0	103.4	89.8	75.6
Slope (g/mile/ft ²)	0.66	0.60	0.54	0.47	0.41	0.35
Intercept (g/mile)	108.0	97.9	87.0	76.9	66.8	56.2
MIN footprint (ft ²)	42	43	44	45	45	45
MAX footprint (ft ²)	56	56	56	56	56	56

Table 3. Footprint-based standard curve coefficients for light trucks
表 3. 基于脚印面积的轻型卡车目标值曲线相关系数

车型年	2027	2028	2029	2030	2031	2032
MIN CO ₂ (g/mile)	150.3	136.8	122.7	108.8	91.8	75.7
MAX CO ₂ (g/mile)	239.9	211.7	184.0	158.3	133.5	110.1
Slope (g/mile/ft2)	2.89	2.58	2.27	1.98	1.67	1.38
Intercept (g/mile)	28.9	25.8	22.7	19.8	16.7	13.8
MIN footprint (ft2)	42	43	44	45	45	45
MAX footprint (ft2)	73.0	72.0	71.0	70.0	70.0	70.0

b) 对中型车辆，该温室气体标准的严格程度在 MY2032 年与提案的水平相同，但从 2027 年至 2031 年间，其严格程度的增加速度比提案要慢，以便为合规提供额外的准备时间。对于 MDV 车辆，该新标准比现行的 MY2026 年标准相比减少了 44%。

2) N₂O、CH₄ 和小批量规定

N₂O 和 CH₄ 管理可采用如下 3 种方式(a 和 c 可以同时使用，a 和 b 不可同时使用)：

- a) 单独限值：N₂O 0.1 g/mile 和 CH₄ 0.3 g/mile，仅 FTP75 循环；
- b) 折算为企业平均 CO₂e，包括 FTP75 和 High-way 循环；
- c) 制造商可选择比 N₂O/CH₄ 上限标准更宽松的替代标准，并用企业平均 CO₂-e 标准获得的信用抵消借项。

小批量制造商温室气体要求：

- a) 连续 3 年平均销量低于 5000 台；
- b) 2021 车型年批准的替代标准将继续适用至 2024 车型年；
- c) 2025 及以后车型年的替代标准按右图执行；
- d) EPA 要求对 2032 年前小批量汽车应用温室气体标准的导入时间进行评估，如比建议方案更早或更晚导入。

3) 空调积分修订说明

EPA 建议保留 AC 能效积分，2027 年开始，仅适用于配有发动机的车辆，BEV 在 2026 之后将不再有资格获得这些积分。

4) 循环外技术

EPA 建议对轻型和中型车辆基于清单的循环外积分淘汰计划进行调整(如表 4 所示)。

Table 4. The upper limit of off-cycle credits for each year
表 4. 各年份循环外积分上限情况

年份	循环外积分上限(g/mile)
2027	10
2028	8
2029	6
2030	3
2031 (不再获得积分)	0
2032	0

- a) 逐年降低循环外积分上限，2031 年完全淘汰，2030 年是可获得积分的最后一年；
- b) 2027 年起，将循环外积分的资格限制在尾气排放大于零的车辆(即配备 IC 发动机的车辆)。

5) 新能源汽车

车队平均中 PEV 和 FCEV 的处理：

- a) PEV (美标定义 PHEV + BEV)和 FCEV 的适用规则保持不变到 2026 年；
- b) 2027 年及以后的车辆温室气体项目中，仅包括直接从车辆测得的排放量，这与所有其他车辆一致。

因此，仅根据尾气排放，电动汽车的运行将继续按 0 g/mile；

- c) 没有 IC 发动机的车辆(如 BEV 和 FCEV)在合规性计算中将被计为 0 g/mile；
- d) PHEV 的纯电运行部分也为 0 g/mile。

PHEV 利用系数(UF)的拟议方法：

EPA 提议从 2027 年起修订用于 PHEV 二氧化碳合规计算的轻型汽车 PHEV 车队利用系数曲线。当前的轻型汽车 PHEV 合规方法大大低估了 PHEV 二氧化碳排放量，需要加严(图 3)。

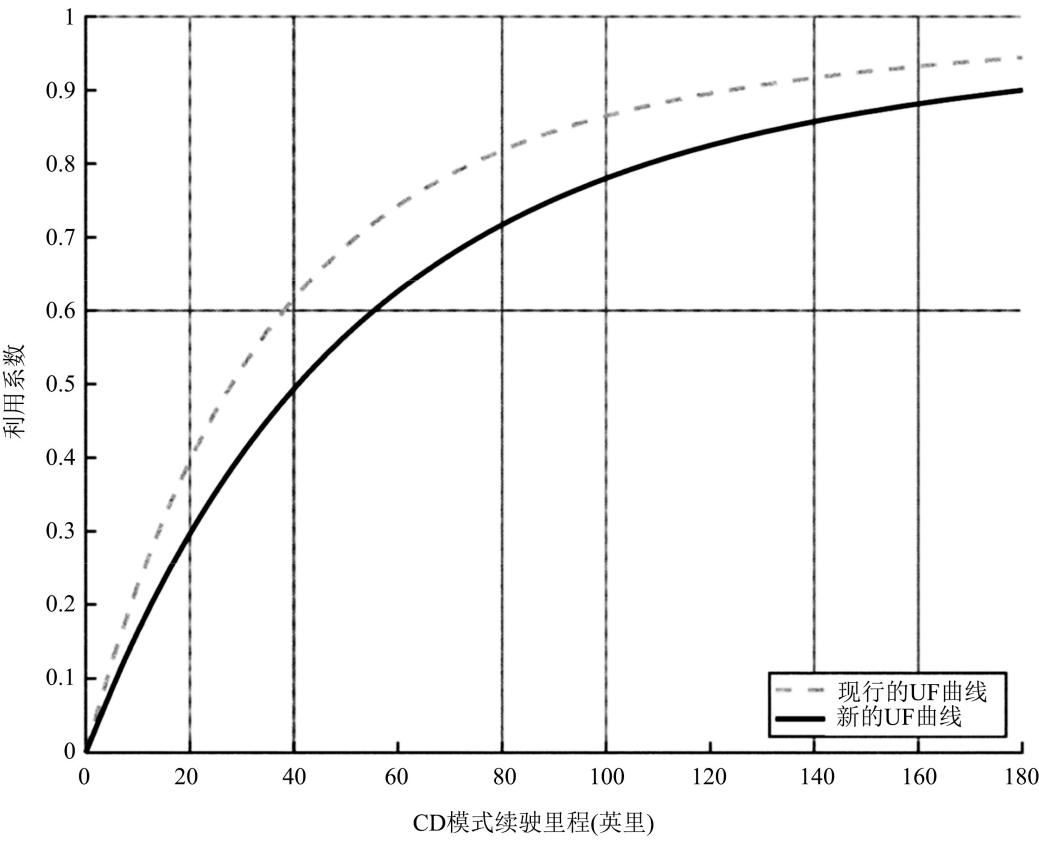


Figure 3. Current and proposed utility factors for PHEV
图 3. 当前与拟议的 PHEV 利用系数

4. 总结与启示

4.1. 协同管控

温室气体、燃油经济性的协同管控是推进温室气体排放管理的重要原则。国际上普遍形成了温室气体、燃油经济性协同管控的经验，其中美国的经验最值得借鉴。

美国温室气体与燃油经济性标准从主管部门、管理框架、流程等方面相互协同,有效避免了政策冲突。一是通过法律明确部门分工,美国通过《清洁空气法》《能源政策与节约法》等规定温室气体由美国环境保护局(EPA)管理,燃油经济性由交通部高速公路安全管理局(NHTSA)管理。二是制定协同性排放标准,在标准制定过程中 EPA 和 NHTSA 进行分工合作, EPA 负责制定温室气体法案、NHTSA 负责制定企业平均燃油经济性(CAFE)标准,并就标准测试方法和限值达成共识,对温室气体、能耗进行统一测试。三是采用协同性实施方法,美国对于燃油经济性和温室气体的管理均采用了基于 ABT (平均、存储、交易)机制的灵活方式。企业在整体满足法规“平均性要求”的前提下,可以内部进行不同类型产品的自由配置,通过共同制定了涵盖温室气体排放、燃料经济性、使用成本等信息的标识,对车辆的节能环保情况进行综合评价。

4.2. 达标监督与处罚制度

完善的达标监督和处罚制度是确保各项政策实施到位的基本保障。目前,欧盟和美国的温室气体排放法规均通过立法强制实施。对不合规企业,实施罚款、停产等处罚措施,从而保障相关法规有效实施。

例如美国 NHTSA 的 CAFE 标准处罚机制相对明确,即每低于标准 0.1 mpg,则每辆车罚款 5.5 美元。EPA 的温室气体排放标准则更为严格:一是 EPA 会根据企业递交的数据来认定是否符合规定,若企业没有达到车队平均燃油经济性标准,且没有足够的交易或转换积分来抵消其赤字,则被认定为不符合规定。二是将所有超额排放的车型认定为不合格产品,吊销其合格证且其在下一车型年不能被销售。三是对于不合规的车辆,《清洁空气法》授权 EPA 予以最高每辆 37,500 美元的罚款。第四, EPA 可根据以下条件决定处罚定量:1) 违规严重性;2) 违规企业规模;3) 因违规而产生的经济效益或成本节约;4) 有无违规前科,对违规有无补救措施;5) 罚金的多少对企业能否正常经营产生的影响。

4.3. 灵活措施和激励政策

灵活的达标制度和激励政策是法规得以顺利实施的有效手段。

在实施燃油经济性和温室气体排放标准时,各经济体不约而同地采取了灵活的达标制度,包括积分制度、车型逐步导入、企业组合达标、小企业豁免等制度,这些制度使得更严格的标准能够尽早地实施、创新技术更早地投入使用,企业能够更快速地安排新产品的研发和生产。此外,领跑者制度、减税等经济激励政策,能够鼓励企业更积极地投入产品创新,帮助新标准更顺畅地出台和实施。

近年来,美国、日本、英国、法国等国家提高了新能源汽车购车补贴额度并延长补贴时间,实施新能源汽车税收减免优惠政策,单车补贴力度相当于 6000~9000 欧元的水平。部分国家还制定了新能源车享受使用公交车道、免停车费、减免区域道路通行费等路权红利。从新能源汽车财税优惠政策来看,各国政府选择在消费者购买新能源汽车时进行一次性抵扣,而不是将补贴发放给汽车企业,这也在很大程度上规避了企业的骗补行为。

需要注意的是,灵活制度也会带来一定的弊端。积分制度的实施给了企业更多灵活性,很多企业在前期标准限值较为宽松的时期积累大量积分,在标准加严后则消耗积分,导致相应时期机动车碳排放量的实际削减效果不佳。小企业豁免制度导致部分机动车免于严格的温室气体排放控制,随着标准不断加严,这部分机动车的环境影响亦不可忽视。

基金项目

重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(CSTB2022TIAD-KPX0113)。

中国汽研青年科技人才项目(0001KTQN20231040)。

参考文献

- [1] IEA (2023) CO₂ Emissions in 2022. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- [2] Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO₂ Emission Performance Standards for New Passenger Cars and for New Light Commercial Vehicles, and Repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0631>
- [3] Regulation (EU) 2024/1257 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on Type-Approval of Motor Vehicles and Engines and of Systems, Components and Separate Technical Units Intended for Such Vehicles, with Respect to Their Emissions and Battery Durability (Euro 7), Amending Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council and Repealing Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EU) No 582/2011, Commission Regulation (EU) 2017/1151, Commission Regulation (EU) 2017/2400 and Commission Implementing Regulation (EU) 2022/1362. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1257>
- [4] Regulation (EU) 2023/851 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023 Amending Regulation (EU) 2019/631 as Regards Strengthening the CO₂ Emission Performance Standards for New Passenger Cars and New Light Commercial Vehicles in Line with the Union's Increased Climate Ambition. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0851>
- [5] Final Rule to Revise Existing National GHG Emissions Standards for Passenger Cars and Light Trucks through Model Year 2026. <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-revise-existing-national-ghg-emissions>
- [6] Final Rule: Multi-Pollutant Emissions Standards for Model Years 2027 and Later Light-Duty and Medium-Duty Vehicles. <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-multi-pollutant-emissions-standards-model>