

加速零排放重型车推广的供给侧法规： 主要政策案例研究

作者：解奕豪

导言

随着零排放重型车 (ZE-HDV) 制造技术的日益成熟，应对重型车气候和空气质量影响的路径也变得愈发清晰。目前，重型车是交通领域仅次于轻型车的第二大温室气体 (GHG) 排放源¹。重型车通常由柴油发动机驱动，也是颗粒物和氮氧化物等空气污染物的最大贡献者。这些污染物对健康有害，尤其影响仓库和货运枢纽等卡车活动频繁的周边社区²。以电池或氢燃料电池驱动的零排放重型车可消除尾气污染物，并显著降低车辆的全生命周期温室气体排放³。

部分地区的政府正通过供给侧法规鼓励或强制推广零排放重型车。制造商若未遵守规定，将面临罚款或禁售新车型等处罚。大多数供给侧法规的管理对象是汽车原始设备制造商 (OEM)，但也有一些适用于汽车进口商。常见的供给侧法规形式包括车辆燃油经济性标准、车辆与发动机空气污染物排放标准、车辆与发动机温室气体排放标准，以及零排放车辆 (ZEV) 销售要求。

- 1 解奕豪, Tim Dallmann 和 Rachel Muncrief, *Heavy-Duty Zero-Emission Vehicles: Pace and Opportunities for a Rapid Global Transition* (零排放汽车转型委员会, 2022), 详见: <https://theicct.org/publication/hdv-zevtc-global-may22/>.
- 2 Gaige Hunter Kerr, Michelle Meyer, Daniel L. Goldberg, Joshua Miller 和 Susan C. Anenberg, "Air Pollution Impacts from Warehousing in the United States Uncovered with Satellite Data," *Nature Communications* 15, 6006 (2024), 详见: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50000-0>.
- 3 Aviral Yadav, Adrian O'Connell 和 Nikita Pavlenko, *A Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions from Combustion and Electric Heavy-Duty Vehicles in India* (国际清洁交通委员会, 2024), 详见: <https://theicct.org/publication/life-cycle-ghg-combustion-and-electric-hdv-india-may24/>; Adrian O'Connell, Nikita Pavlenko, Georg Bieker 和 Stephanie Searle, *A Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of European Heavy-Duty Vehicles and Fuels* (国际清洁交通委员会, 2023), 详见: <https://theicct.org/publication/lca-ghg-emissions-hdv-fuels-europe-feb23/>; Ana Beatriz Rebouças 和 André Cieplinski, *Quantifying Avoided Greenhouse Gas Emissions by E-Buses in Latin America: A Simplified Life-Cycle Assessment Methodology* (国际清洁交通委员会, 2024), 详见: <https://theicct.org/publication/quantifying-avoided-ghg-emissions-by-e-buses-in-latin-america-a-simplified-life-cycle-assessment-methodology-aug24/>.

致谢：本研究是在ClimateWorks Foundation的慷慨资助下完成的。我们感谢ICCT的Anish Sinha、Dale Hall、Felipe Rodríguez、Pierre-Louis Ragon和Ray Minjares；以及Jennifer Helfrich Consulting和Sarah Sachs Consulting与Drive Electric Campaign的合作所提出的宝贵审阅意见，同时感谢Lori Sharn和Jennifer Callahan在报告编辑方面所提供的支持。

www.theicct.org.cn

communications@theicct.org

[@theicct.org](https://twitter.com/theicct.org)

icct
国际清洁交通委员会

供给侧法规在推动清洁高效车辆方面成效显著，主要可分为两类⁴：第一类是性能标准，即设定排放或能耗目标，要求制造商通过产品性能达标；第二类是零排放重型车销售要求，即规定制造商零排放车型的最低销售比例，并要求其对车辆进行零排放认证，同时报告零排放重型车销量与其他产品销量。

通过供给侧法规推广零排放车型具备三大优势。首先，法规覆盖所有制造商，可确保行业整体向零排放重型车转型，推动研发与基础设施投资。其次，各厂商零排放产品的多样性和供应量提升，既能刺激消费者需求，又能通过市场竞争降低价格。第三，由于原始设备制造商（OEM）数量有限，相比消费者补贴等政策，供给侧法规更易于监管和执行。

设计合理的销售要求与性能标准均可有效提升零排放车型销量。监管机构可根据本地区实际情况选择单一或组合政策。本文将重点解析三项推动零排放重型车的供给侧法规方案：

- » 美国加利福尼亚州的《先进清洁卡车法规》（ACT法规），该法规通过设定零排放重型车销售比例要求来实现电动化转型目标；
- » 美国联邦重型车温室气体排放标准，该法规主要聚焦排放性能目标；
- » 欧盟重型车二氧化碳标准，该法规综合了排放性能与零排放重型车销售要求。

三项法规的演进历程

这三项供给侧法规都随市场、技术与监管环境的变化不断调整。

2011年，美国环保局（EPA）与美国道路交通安全管理局（NHTSA）联合发布了中型和重型发动机及车辆的第一阶段温室气体排放与燃油效率标准，适用于2014至2017车型年（MY）⁵。该阶段采用了温室气体排放模型（GEM模型）作为合规工具，并建立了车队平均标准及积分存储交易机制。2016年发布的第二阶段标准对2021至2027车型年的排放与燃油效率提出了更严格的要求⁶。2024年4月最终确定的第三阶段标准适用于2027至2032车型年⁷，与以往标准不同的是，第三阶段标准只监管整车而非发动机；并未更新二氧化碳外的其他温室气体限值；且未同步推出NHTSA的新燃油效率标准。

4 Sai Sudharshan Ravi, Sergey Osipov 和 James W. G. Turner, "Impact of Modern Vehicular Technologies and Emission Regulations on Improving Global Air Quality," *Atmosphere* 14, no. 7 (2023年7月) : 1164, 详见: <https://doi.org/10.3390/atmos14071164>.

5 Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles, 76 F.R. 179, (2011年9月15日), 详见: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2011-09-15/pdf/2011-20740.pdf>.

6 Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles— Phase 2, 81 F.R. 206, (2016年10月25日), 详见: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2016-10-25/pdf/2016-21203.pdf>.

7 "Final Rule: Greenhouse Gas Emissions Standards for Heavy-Duty Vehicles – Phase 3," U.S. EPA, 2024年4月22日, 详见: <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-greenhouse-gas-emissions-standards-heavy-duty>.

2017年, 欧盟通过法规确立将车辆能耗计算工具 (VECTO) 作为排放认证模拟工具⁸。2018年进一步通过报告与监测法规, 要求制造商及成员国上报重型车二氧化碳排放认证值与注册数据⁹。2019年首次通过重型车二氧化碳排放标准, 要求卡车制造商达成2025年与2030年减排目标¹⁰。此后,《欧洲气候法》为强化脱碳目标提供了上位法依据, 重型车二氧化碳排放标准于2023年提出修订, 并于2024年5月通过¹¹。修订后的标准扩大了监管车型范围、加严了减排目标, 并新增了2035年与2040年减排目标。

加州空气资源委员会 (CARB) 于2019年10月提出《先进清洁卡车法规》(ACT法规), 2020年4月修订强化后于同年6月正式通过。ACT法规要求自2024车型年起, 原始设备制造商 (OEM) 逐年提高零排放重型车销售占比¹²。此后, 美国另有10个州采纳该法规¹³。2023年3月, EPA向CARB授予豁免权, 允许加州实施不同于联邦标准的排放要求, 并授权其他州采用ACT法规¹⁴。2023年4月, CARB进一步出台了《先进清洁车队法规》(ACF法规), 虽然该法规主要旨在从需求侧推动重型车车队向零排放转型, 但针对制造商新增了于2036年前停售内燃机 (ICE) 重型车的要

-
- 8 欧盟法规 (EU) 2017/2400 of 12 December 2017 Implementing Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council as Regards the Determination of the CO₂ Emissions and Fuel Consumption of Heavy-Duty Vehicles and Amending Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EU) No 582/2011 (Text with EEA Relevance), (2017), 详见: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/2400/oj>.
- 9 欧盟法规 (EU) 2018/956 of the European Parliament and of the Council of 28 June 2018 on the Monitoring and Reporting of CO₂ Emissions from and Fuel Consumption of New Heavy-Duty Vehicles (Text with EEA Relevance), (2018年6月28日), 详见: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/956/oj>.
- 10 欧盟法规 (EU) 2019/1242 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 Setting CO₂ Emission Performance Standards for New Heavy-Duty Vehicles and Amending Regulations (EC) No 595/2009 and (EU) 2018/956 of the European Parliament and of the Council and Council Directive 96/53/EC (Text with EEA Relevance), (2019年7月25日), 详见: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1242/oj/eng>; Felipe Rodríguez, *CO₂ Standards for Heavy-Duty Vehicles in the European Union* (国际清洁交通委员会, 2019), 详见: <https://theicct.org/publication/co2-standards-for-heavy-duty-vehicles-in-the-european-union/>.
- 11 欧盟法规 (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 Establishing the Framework for Achieving Climate Neutrality and Amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'), (2021年6月30日), 详见: <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj/eng>; 欧盟法规 (EU) 2024/1610 of the European Parliament and of the Council of 14 May 2024 Amending Regulation (EU) 2019/1242 as Regards Strengthening the CO₂ Emission Performance Standards for New Heavy-Duty Vehicles and Integrating Reporting Obligations, Amending Regulation (EU) 2018/858 and Repealing Regulation (EU) 2018/956, (2024年5月14日), 详见: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1610/oj>; Eamonn Mulholland, *The Revised CO₂ Standards for Heavy-Duty Vehicles in the European Union* (国际清洁交通委员会, 2024), 详见: <https://theicct.org/publication/revised-co2-standards-hdvs-eu-may24/>.
- 12 "Advanced Clean Trucks Regulation," 加州空气资源委员会, 2024年10月4日查阅, 详见: <https://ww2.arb.ca.gov/rulemaking/2019/advancedcleantrucks>.
- 13 包括马塞诸塞州、新泽西州、纽约州、俄勒冈州和华盛顿州 (自2025车型年开始实施); 佛蒙特州 (自2026车型年开始实施); 科罗拉多州、马里兰州、新墨西哥州和罗德岛州 (自2027车型年开始实施)。
- 14 美国环保局, "EPA Grants Waivers for California's On-Highway Heavy-Duty Vehicle and Engine Emission Standards," news release, 2023年3月31日, 详见: <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-grants-waivers-californias-highway-heavy-duty-vehicle-and-engine-emission>.

求¹⁵。2024年3月, CARB与卡车及发动机制造商达成《清洁卡车合作伙伴协议》后再次启动了ACT法规的修订程序¹⁶, 同年10月CARB委员会批准了修订提案¹⁷。

核心机制

二氧化碳/温室气体性能标准

车辆性能标准通过逐步设定更严格的排放目标(以单位工作量的二氧化碳克数计量, 如每吨英里或每客运公里) 推动零排放重型车的普及。在欧盟与美国法规中, 标准均适用于车队平均值, 而非单一车辆。在车队平均性能标准框架下, 制造商(或进口商) 可灵活采用不同技术, 通过推出无尾气排放的纯电动及氢燃料电池车型降低车队平均排放。

欧盟与美国的法规均保持技术中立, 零排放车辆仅是降低车队平均排放的多种策略之一。欧盟二氧化碳法规的例外是城市公交车, 其采用销量要求而非减排目标。然而, 若生产零排放车型比改进内燃机车辆更有经济效益, 制造商将倾向于转向零排放技术, 尤其在排放限值持续收紧的背景下。

基准设定

减排目标以当前车辆性能为统一基准。在美国, 基准排放为绝对值, 以每吨英里克数为单位, 适用于不同细分车辆类别。美国自2014车型年(第一阶段标准生效时) 起持续记录重型车二氧化碳排放数据。第一阶段的基准值是通过部件测试与计算机模拟建模确定的, 第三阶段标准的基准值则为第二阶段标准下2027车型年的排放限值。

欧盟要求车队二氧化碳排放较基准值实现百分比下降, 但该基准值在2019年法规通过时尚未确定。在温室气体标准通过后, 欧盟根据2018年通过的报告与监测法规, 收集制造商原始排放数据, 再定义基准值。每个车辆类别的参考排放水平为该类别车辆在基准年(2019、2021或2025年, 依类别而定) 内所有在售车辆的行业平均排放值。欧盟的做法展示了如何在不预先设定基准值的情况下实施前瞻性供给侧法规。

减排目标设定

性能标准对零排放重型车普及的影响取决于减排力度。减排要求越高, 零排放车型产销规模越大。欧盟重型车法规设定了逐步强化的目标: 至2035年排放较基

15 加州空气资源委员会, “California Approves Groundbreaking Regulation That Accelerates the Deployment of Heavy-Duty ZEVs to Protect Public Health,” news release no. 23-13, 2023年4月28日, 详见: <https://ww2.arb.ca.gov/news/california-approves-groundbreaking-regulation-accelerates-deployment-heavy-duty-zevs-protect>.

16 加州空气资源委员会, *Public Hearing to Consider Proposed Amendments to the Advanced Clean Trucks Regulation and the Zero-Emission Powertrain Certification Test Procedure Staff Report: Initial Statement of Reasons* (2024), 详见: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2024/actzepcert/isor.pdf>.

17 加州空气资源委员会, *Amendments to the Advanced Clean Trucks Regulation and the Zero-Emission Powertrain Certification Test Procedure Resolution 24-5* (2024), 详见: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/books/2024/102424/prores24-5.pdf>.

准值下降65%，2040年下降90%。由于传统内燃机车辆无法实现如此深度的脱碳，零排放车型将在未来生产中占据主导¹⁸。

美国第三阶段标准设定了每吨英里克数目标，要求2032车型年较2027年减排40%至60%。其中，车辆额定总质量（GVWR）介于3856至8845千克的2b-5类作业卡车需实现最大降幅（60%）。预计制造商将通过高效内燃机车型、混合动力车及零排放车型组合达标。

监管机构设定减排目标时通常会权衡多重因素。在美国制定第三阶段规则的过程中，美国环保局（EPA）评估了2027、2030及2032车型年逾百类重型车的技术可行性与零排放技术投资回本周期，并通过回本周期推算零排放车型采用率¹⁹。回本周期较短的细分市场（如质量轻的车型与短途封闭运输车辆）将更快过渡至零排放技术。最终法规中，各车型类别减排百分比与其零排放采用率预测值对应。

《欧洲气候法》要求交通部门至2050年二氧化碳排放较1990年减少90%。因此，欧盟监管机构亦会考量零排放技术在不同重型车领域的可行性，设定兼顾行业减排额度的目标²⁰。

零排放车辆销售要求

部分供给侧法规要求制造商逐步提高零排放车型销售占比。此类车辆需采用纯电动或氢燃料电池技术，部分短期目标允许纳入插电式混合动力汽车等近零排放车辆（NZEV）。零排放车辆销售要求独立于内燃机车辆性能标准，无需设定排放基准值。

销售要求的核心指标是零排放销量比例。加州《先进清洁卡车法规》（ACT法规）要求自2024车型年起，按图1定义的三大车辆类别逐步提高零排放或近零排放重型卡车销售比例²¹：

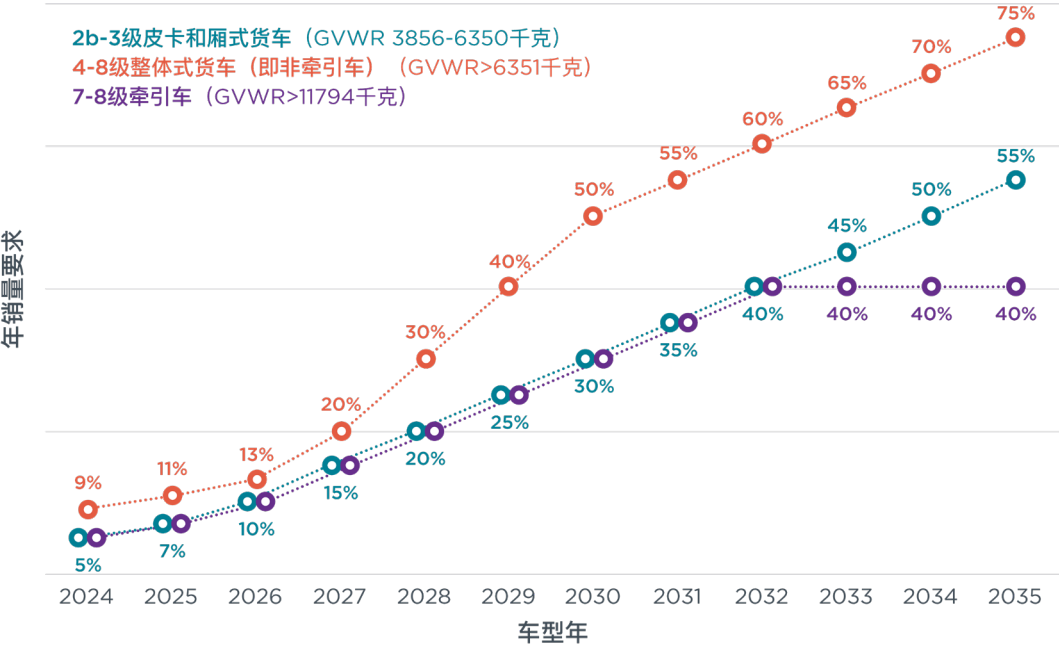
18 Oscar Delgado 和 Felipe Rodríguez, *CO₂ Emissions and Fuel Consumption Standards for Heavy-Duty Vehicles in the European Union* (国际清洁交通委员会, 2018), 详见: <https://theicct.org/publication/co2-emissions-and-fuel-consumption-standards-for-heavy-duty-vehicles-in-the-european-union/>.

19 美国环保局东部地区研究工作组, *External Peer Review of Report: Heavy-Duty Technology Resource Use Case Scenario (HD TRUCS) Tool—Final Peer Review Summary Report* (美国环保局, 2023), 详见: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=548983&Lab=OTAQ; Matteo Muratori 等, “Exploring the Future Energy-Mobility Nexus: The Transportation Energy & Mobility Pathway Options (TEMPO) Model,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 98, (2021年9月): 102967, 详见: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102967>.

20 欧盟法规 (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council.

21 Claire Buysse 和 Ben Sharpe, *California's Advanced Clean Trucks Regulation: Sales Requirements for Zero-Emission Heavy-Duty Trucks* (国际清洁交通委员会, 2020), 详见: <https://theicct.org/publication/californias-advanced-clean-trucks-regulation-sales-requirements-for-zero-emission-heavy-duty-trucks/>.

图1 加州《先进清洁卡车法规》按照车型级别和车型年份划分的零排放车销量占比时间表



图片来源:《加州的先进卡车法规》(作者: Buysse、Sharpe)
国际清洁交通委员会 THEICT.ORG.CN

加州ACT法规中的零排放车型销售比例基于《2006年加州全球变暖应对法案》设定的目标制定。该法案要求加州至2030年实现全州温室气体排放较1990年水平减少40%²²。为确定三大车辆类别的零排放车型应用率,加州空气资源委员会(CARB)评估了零排放产品的上市时间表与成本。法规对4-8级载货汽车设定了更高的销售比例要求,反映了此类车型预计能最快实现零排放动力系统与内燃机系统在成本和性能上的平衡。

表1总结了上述三项法规是如何将零排放车辆转型要求纳入其中的。

22 California Global Warming Solutions Act of 2006: Emissions, 32 SB § 38566 (2016), 详见: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201520160SB32.

表1 重型车三项供给侧法规核心要素对比

地区	欧盟	美国	加州
法规类型	性能标准	性能标准	零排放车辆销售要求
监管车型	客车、卡车及挂车	2b-8级客车与卡车 (2b-3级只含专业作业车辆)	2b-8级卡车
目标年份	法规最初已涵盖的车型 (卡车) : 2025、2030、2035、2040; 新纳入监管的长途客车和城际客车: 2030、2035、2040年; 新纳入监管的城市公交车: 2030、2035年	2027-2032车型年 (MY)	2024-2035车型年 (MY)
基准设定	2019、2021、2025报告期行业平均值	第二阶段标准下2027车型年 (MY) 排放限值	无基准值
严格度	基于基准值的尾气减排比例要求 (城市公交车除外) ^a ; 至2040年客车与卡车减排90%	基于基准值的尾气减排比例要求; 2032车型年较2027年减排40%—60% (2b-5类作业卡车降幅最大)	零排放车型销售比例; 4-8类整体式货车最高需达40%—75%
计量单位	克CO ₂ /吨公里或克CO ₂ /客运公里 (按制造商细分)	克CO ₂ /吨英里 (全制造商统一)	年度零排放车型销售占比 (全制造商统一)
ZEV作用	合规可选技术之一 ^a ; 后期严格度提升需依赖零排放技术	合规可选技术之一	必须使用零排放车辆和/或近零排放车辆 (即含满足最低纯电续航的插电混动车型)

注释: ^a城市公交车需在2030年实现90%、2040年实现100%零排放车型销售。

积分体系与合规机制

所有三项供给侧法规均通过车队平均积分与赤字的核算体系来判定合规性。

积分定义

在美国联邦重型车二氧化碳法规中, 若制造商某车型年 (MY) 内各车辆子类的车队排放低于每吨英里克数限值, 则获得积分; 若超出限值, 则产生赤字。欧盟则对车队平均比排放 (即制造商各细分市场排放的销量加权平均值) 低于减排轨迹线的制造商授予积分。该轨迹线代表目标年间逐年线性减排路径, 例如: 为达成2030年较基准减排43%的总目标, 轨迹线将展示从2025年减排15%起所需的逐年降幅。制造商仅在目标节点年未达标减排目标时会产生赤字, 期间所获积分可用于抵消减排赤字²³。

美欧两地的积分-赤字计算均基于整体车队平均值, 即制造商无需确保每辆售出车辆达标。美国以车辆子类为合规单位, 欧盟则分为货运车辆 (卡车与挂车) 与客运车辆 (客车)。

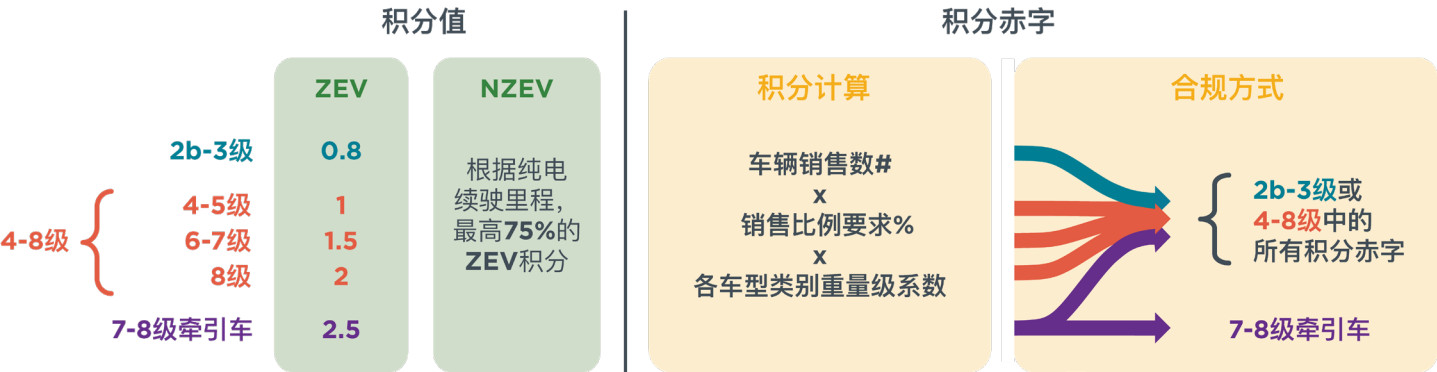
23 关于欧盟法规中减排积分和赤字体系的更多解释, 请参见Mulholland为作者的研究报告*The Revised CO₂ Standards*。

积分可存储备用（通常设有有效期），此机制称为“积分存储”。在美国，制造商可在重型车子类间调配剩余积分，或与其他存在赤字的制造商交易。欧盟新规允许“存在经济关联”的制造商之间进行积分调配，以实现车辆达标，并允许跨厂商交易零排放汽车积分。此类交易将激励行业投资开发清洁技术。

在美欧法规中，零排放车辆通过降低车队平均排放帮助制造商获取积分。监管机构有时会额外奖励积分以鼓励零排放技术研发，尤其在转型初期。例如：美国第二阶段标准（2018-2027车型年）对插电混动、纯电动及氢燃料电池汽车的积分分别赋予3.5倍、4.5倍与5.5倍系数；第三阶段标准自2028车型年起取消积分倍数。欧盟则在2019-2024年间对零排放车辆实施2倍积分系数（即双倍计入车队平均排放计算）²⁴。

加州《先进清洁卡车法规》零排放汽车销售要求的积分定义与累计机制则有所不同。此类标准不涉及内燃机车辆性能，制造商通过销售零排放或近零排放车辆（NZEV）积累积分，销售内燃机重型车则产生赤字（见图2）。零排放与近零排放汽车积分值取决于车辆类别及子类，其权重系数与该类车型排放强度成比例。制造商需每年以积分覆盖赤字，或使用往年的存储积分。未消除积分赤字可在三年内以零排放或近零排放积分抵消，其中7-8级牵引车的赤字仅限同类积分对冲，剩余积分允许跨厂商进行交易。

图2 加州《先进清洁卡车法规》中关于制造商年度积分值、赤字计算和监管合规性的要求



图片来源：《加州的先进卡车法规》（作者：Buysse、Sharpe）

国际清洁交通委员会 THEICCT.ORG.CN

为鼓励提前达标，监管机构设置了提前合规积分奖励机制。美国在温室气体排放第一阶段标准（Phase 1）中，美国环保局（EPA）对2013车型年（MY）销售的重型车（即标准生效前一年）赋予1.5倍提前合规积分系数。此类积分仅限同一车辆类别内使用，并在第二阶段标准生效后失效²⁵。欧盟法规中，制造商可在2019至2024年间积累早期积分（首个强制减排目标于2025年生效），但这些积分仅限2025年合规使用，此后失效。在加州，制造商通过2021至2023车型年销售零排放（ZEV）或近零排放车辆（NZEV）可获取提前合规积分，此类积分将在2030车型年后过期，且剩余积分最多可存储5个后续车型年。

24 Rodríguez, CO₂ Standards for Heavy-Duty Vehicles.
25 Greenhouse Gas Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards (2011).

积分平均、存储与交易机制

加州《先进清洁卡车法规》与美国环保局二氧化碳排放标准均允许制造商在单一车辆组别内进行积分平均（即积分合并）、存储剩余积分备用，或与其他制造商交易积分。此类机制作为性能标准的核心灵活性条款，使制造商可自主选择符合其战略优势的合规路径。积分制度还能激励制造商超额减排，通过出售剩余积分获利。监管机构可限制积分从减排技术或零排放车辆更易推行的车辆类别（如车辆质量较轻或运行工况强度较低的车型）向重型车辆转移，以确保制造商对所有重量级别和应用场景的车辆进行低碳及零排放技术投资。

在加州《先进清洁卡车法规》中，2b-3级与4-8级车辆的积分赤字可通过任何类别的积分对冲，但7-8级牵引车的积分赤字仅限用同类积分抵消。此规则可确保污染最严重的7-8级牵引车如期向电动化转型。在第一与第二阶段美国联邦标准中，美国环保局仅允许积分在按车辆重量划分的平均子组别内进行平均与交易²⁶。第三阶段标准（2027至2032车型年）取消了此限制，允许跨重型车平均子组别自由交易，且无积分流转方向或数量限制。此外，美国环保局允许按轻中型车标准认证的中型车积分转移至2b-5级与6-7级重型车（即小型与中型重型车）。这种灵活性可能导致重量级最高的大型重型车的低碳及零排放技术投资不足，因为制造商可能倾向于以更低的成本生产更轻、更小的车辆。

欧盟法规通过里程与载重系数调整车辆细分市场的排放值，再以销量加权计算车队平均比排放。载重更大（货运车辆以吨计，客运车辆以载客量计）且续航更长的重型车对制造商的二氧化碳减排目标影响权重更高。因此，制造商在长里程、高载重的细分市场部署零排放车辆或节能技术可获得更大的减排收益，从而激励其减少高碳强度重型车的排放。

在欧盟的积分-赤字核算体系中，车辆子组的排放值被汇总为两个平均集：货运车辆（卡车与挂车）和客运车辆（公交客车和长途客车）。积分不可跨制造商交易，但自2025年报告期起允许直接进行车辆交易。对于传统内燃机车辆，同一母公司旗下的制造商可无限量调剂车辆（即“经济关联”制造商），但无关联的制造商之间不可交易。对于零排放车辆，所有制造商均可进行车辆交易，但接收方在任一报告期内的交易量不得超过其销量的5%。

积分系数机制

欧盟与美国的温室气体排放标准均设有积分系数机制，而加州《先进清洁卡车法规》作为零排放车辆销售要求，不包含此类系数。

2016年美国第二阶段标准最终确立时，市场上几乎无零排放重型车生产或销售。然而，过去8年市场发生显著变化：2023年，美国注册了1600辆4-8级零排放重型车²⁷。尽管增长显著，第三阶段标准仍允许在2027车型年前沿用系数积分机制

26 EPA温室气体标准中的三个平均组设定为小型重型车（Class 2b-5），中型重型车（Class 6-7）和大型重型车（Class 8）。

27 解奕豪，*Zero-Emission Bus and Truck Market in the United States: A 2022-2023 Update*（国际清洁交通委员会，2024），详见：<https://theicct.org/publication/zero-emission-bus-and-truck-market-in-the-us-2022-2023-update-june24/>。

(插电式混合动力汽车3.5倍、纯电动汽车4.5倍、氢燃料电池汽车5.5倍), 以进一步刺激市场。此外, 自2024车型年起, 在采纳《先进清洁卡车法规》法规的州销售的零排放重型车也可生成此类先进技术积分。这可能导致2024至2027车型年间产生大量积分, 并可使用至2030车型年。为避免系数积分过剩, 美国环保局要求制造商须优先使用基于排放达标的基准积分, 其后方可应用系数积分。

欧盟采取了相对更为严格的策略, 积分奖励窗口期更短且限制更多。2019至2024年间, 零排放车辆享有2倍超级积分, 但此类积分对制造商平均二氧化碳排放的降幅上限为3%。欧盟将零排放车辆定义为卡车二氧化碳排放低于3克/吨公里、客车低于1克/乘客公里的车辆, 此标准将纯氢与双燃料氢内燃机纳入了零排放范畴。2025年起, 超级积分机制被基准积分系统替代(要求制造商零排放或低排放车辆销量占比至少2%时生效), 且减排上限仍为3%。基准积分系统将于2029年底逐步退出。

对插电式混合动力汽车与其他替代动力系统的管理方式

美国、欧盟与加州的三项法规对存在尾气二氧化碳排放的插电式混合动力汽车及氢内燃机车辆采取了不同的监管策略。

美国第三阶段标准要求插电式混合动力汽车通过测试确定温室气体排放量, 并将其归类为先进技术, 赋予3.5倍积分系数。氢内燃机技术目前处于早期研发阶段, 尚无商用案例。此类车辆可采用纯氢或双燃料(氢与柴油/天然气混合)驱动。尽管两种氢内燃机均产生尾气污染物与温室气体, 美国环保局仍认定使用纯氢的氢内燃机车辆尾气二氧化碳排放为零, 但未赋予其先进技术积分系数²⁸。

加州《先进清洁卡车法规》将插电式混合动力汽车定义为近零排放车辆(NZEV)²⁹。制造商可通过销售此类车辆获取积分, 但其积分值上限为同组零排放车辆的75%, 且每年最多仅可抵消50%的积分赤字。每辆近零排放车辆的积分值等于零排放车辆积分值乘以“近零排放系数”(计算公式为车辆纯电续航里程 $\times 0.01$, 最高0.75)。自2030车型年起, 近零排放车辆需满足最低75英里纯电续航里程要求, 届时系数将固定为0.75。

欧盟法规采用性能导向原则, 对排放低于细分市场基准值50%的车辆(即低排放车辆)通过零排放与低排放车辆因子给予奖励。2019至2024年为超级积分阶段, 低排放车辆根据排放水平最高可在平均组别内按两辆车计入。2025至2030年为基准积分阶段, 每辆低排放车辆等效计数介于0至1辆之间。排放低于3克二氧化碳/吨公里的卡车及排放低于1克二氧化碳/乘客公里的客车被定义为零排放车辆, 此标准将纯氢与双燃料氢内燃机也纳入了零排放范畴。

28 Zhun Hu 和 Ralph T. Yang, “Recent Progress and Future Challenges in Selective Catalytic Reduction of NO by H₂ in the Presence of O₂,” *Industrial & Engineering Chemistry Research* 58, no. 24 (2019年6月): 10140–53, 详见: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b01843>.

29 近零排放汽车定义为利用内燃机/热机以及可支持车辆完全依靠电力续航的外部可充电储能系统的混合动力道路车辆。

美国、欧盟与加州法规均不承认使用电子合成燃料的内燃机重型车为零排放车辆。欧盟委员会被要求于2025年前评估纯二氧化碳中性燃料重型车的注册方法³⁰。

监测、报告与违规处罚机制

管理部门需要定期开展合规监测并公开发布合规报告，这些监管措施是评估法规效力、建立制造商与消费者信任的重要手段。

在加州《先进清洁卡车法规》框架下，加州空气资源委员会要求年产量或销量超过500辆（车辆额定总质量超3856千克）的制造商提交年度报告，内容涵盖车辆动力系统、燃料类型、分类及售出新车的车型年信息³¹。基于此，加州空气资源委员会按车型年发布法规积分汇总，包括各制造商车辆销量与积分、跨厂商交易总量及总积分余额³²。原始法规（2019年）允许制造商用一年时间以零排放积分弥补上一年的积分赤字；2024年修订版将积分赤字清偿期延长至三年。未清偿积分赤字的制造商将面临每辆车最高37500美元民事罚款³³。截至2023车型年末，加州所有制造商均持有足够盈余积分以履行2024车型年合规义务。

欧盟与美国的排放标准因涵盖零排放与传统内燃机车辆，其合规监测与报告流程更为复杂。合规判定需在实验室条件下测试并认证单个车辆部件，随后通过物理模型模拟真实驾驶工况下的车辆纵向动力学特征，计算二氧化碳排放与燃油效率。

欧盟的监测机制自2019报告期（2019年7月至2020年6月）起，由欧洲环境署公开重型车性能与技术属性的详细认证数据，供行业分析师及第三方组织深度研究排放表现与技术应用³⁴。欧盟委员会每年据此发布“实施决定”，公布车队平均比二氧化碳排放值、减排轨迹线及制造商积分余额³⁵，首次决定中也包含各车辆子组的基准排放水平³⁶。欧盟积分与赤字系统分两阶段运行：2019至2024年与2025至2029年。第一阶段积分仅可用于抵消2025年积分赤字；第二阶段积分有效期为7年。积分耗尽后未清偿的积分赤字将被视为“超额排放”，制造商需按每超标克二氧化碳/吨公里4250欧元缴纳罚款。2040年后积分系统将退出，违规行为直接触发处罚。

30 欧盟法规(EU) 2024/1610 of the European Parliament and of the Council.

31 加州空气资源委员会, *Advanced Clean Trucks Reporting System (ACTRS) User Guide* (2023), 详见: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2023-03/ACTRS-UserGuide.pdf>.

32 加州空气资源委员会, *Advanced Clean Trucks Credit Summary Through the 2023 Model Year* (2024), 详见: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/ACT-Credits-Summary%202023>.

33 Article 2 Manufacturers and Dealers, 43212 Health and Safety § (2018), 详见: https://leginfo.ca.gov/faces/codes_displaySection.xhtml?lawCode=HSC§ionNum=43212.

34 Eamonn Mulholland, Pierre-Louis Ragon 和 Felipe Rodríguez, *CO₂ Emissions from Trucks in the European Union: An Analysis of the 2020 Reporting Period* (国际清洁交通委员会, 2023), 详见: <https://theicct.org/publication/hdv-co2-emissions-eu-2020-reporting-jul23/>; Pierre-Louis Ragon 和 Felipe Rodríguez, *CO₂ Emissions from Trucks in the EU: An Analysis of the Heavy-Duty CO₂ Standards Baseline Data* (国际清洁交通委员会, 2021), 详见: <https://theicct.org/publication/co2-emissions-from-trucks-in-the-eu-an-analysis-of-the-heavy-duty-co2-standards-baseline-data/>.

35 Commission Implementing Decision (EU) 2024/2165 of 1 July 2024 on the Publication of a List Indicating Certain CO₂ Emissions Values per Manufacturer as Well as Average Specific CO₂ Emissions of All New Heavy-Duty Vehicles Registered in the Union Pursuant to Regulation (EU) 2019/1242 of the European Parliament and of the Council for the Reporting Period of the Year 2021 (Notified under Document C(2024) 4474),” (2024年8月21日), 详见: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402165.

36 Ragon 和 Rodríguez, *CO₂ Emissions from Trucks in the EU*.

美国的监测机制由美国环保局主导，其不公开全部重型车认证数据，仅发布参与积分平均、存储与交易计划的制造商子类积分余额报告³⁷。截至2024年10月，已公开2014至2022车型年第一与第二阶段合规数据³⁸，其详尽程度较欧盟数据更为宏观。第三阶段标准允许积分赤字最长结转三年，逾期未达标车辆将被判定违规，制造商将面临每辆车最高45268美元的民事罚款³⁹。

供给侧法规对比分析

表2对比了性能标准与零排放车辆销售要求两类法规的核心差异。最终选择何种类型取决于市场的政治、法律与监管环境。

表2 性能标准与零排放车辆销售要求对比

	性能标准	零排放车辆销售要求
计量指标	多指标：如二氧化碳排放标准、污染物排放标准、燃油经济性标准。	单一指标：零排放车辆占生产/进口总量百分比。
监管资源需求	需硬件测试、数据采集及车辆模拟软件，行政与技术资源投入大。	仅需零排放认证，实施成本较低。
零排放部署确定性	不强制要求零排放车辆，可依赖传统技术达标。	通过时间线明确零排放产销比例，确保零排放产品一席之地。
内燃机车辆效率提升	可能成为制造商合规策略。	与合规无关。

性能标准与零排放车辆销售要求可结合为单一法规。国际清洁交通委员会（ICCT）曾提出“双平均集”方案⁴⁰：将重型车生产分为两组，第一组需满足零排放车辆销售要求，第二组通过内燃机减排标准管控。欧盟二氧化碳标准即采用此设计，对城市公交车设定零排放车辆销售比例，对其他车型设定减排目标，既保障零排放车型应用，又推动全车队减排。

37 美国环保局, *Final Phase 1 EPA Heavy-Duty Vehicle and Engine Greenhouse Gas Emissions Compliance Report (Model Years 2014-20)* (2022), 详见: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1016IH4.pdf>.

38 美国环保局, *EPA Heavy-Duty Vehicle and Engine Greenhouse Gas Emissions Compliance Report* (2024), 详见: <https://www.epa.gov/compliance-and-fuel-economy-data/epa-heavy-duty-vehicle-and-engine-greenhouse-gas-emissions>.

39 美国环保局, *Clean Air Act Vehicle and Engine Enforcement Case Resolutions* (2024), 详见: <https://www.epa.gov/enforcement/clean-air-act-vehicle-and-engine-enforcement-case-resolutions>; How to comply with the fleet average CO₂ standards, 40 CFR 86.1865-12 Code of Federal Regulations § (2024), 详见: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/part-86/section-86.1865-12>.

40 Ray Minjares 和 John Hannon, *Adapting U.S. Heavy-Duty Vehicle Emission Standards to Support a Zero-Emission Commercial Truck and Bus Fleet* (国际清洁交通委员会, 2022), 详见: <https://theicct.org/publication/us-hvs-standards-ze-fleet-feb22/>.

最佳实践建议

基于欧盟、美国及加州实例，设计供给侧法规时可参考以下原则：

- » **政策目标协同：**将供给侧法规与气候、空气质量或能源目标挂钩，增强政策连续性。例如欧盟二氧化碳法规与加州《先进清洁卡车法规》均以立法形式绑定长期减排目标。
- » **渐进式阶段目标：**从基准逐步提升的阶段目标有助于技术经验积累与规模经济形成。美国与加州的年度目标相比欧盟五年周期更利于减排进程监测。
- » **宽泛车型分类：**设定大类车型目标作为合规单位，无需细化至每类车辆。相比美国环保局的细化目标，欧盟与加州采用宽泛分类。此举赋予市场选择技术路径的灵活性。
- » **动态基准设定：**性能标准无需预先设定技术基准。欧盟在设定减排目标后，通过数据收集建立可靠基准，实现目标与数据导向结合。
- » **车队整体合规：**以车队平均值而非单车指标衡量合规，以降低行政成本并激励创新。美欧均采用车队平均机制，支持积分-赤字体系运行。
- » **积分存储时限：**允许积分存储可激励提前达标，但设置有效期能持续推动技术进步。加州与欧盟的早期积分价值等同常规积分，避免市场扭曲。
- » **积分交易与权重调节：**跨厂商积分交易可促进减排目标实现，同时需通过权重因子防止小型车过度用于积分生成。欧盟以里程与载重调节车型贡献度，美国以载重与寿命计算，加州通过质量等级系数区分车型排放强度，并单独管控7-8级牵引车积分池。
- » **审慎应用积分系数机制：**积分系数可激励早期技术投资，但长期过度使用将削弱法规效力。美国第三阶段标准将系数沿用至2027年（自第二阶段起共11年），欧盟超级积分机制则于2025年退出且贡献上限为3%。
- » **透明化执行监督：**政府数据收集与减排进度监测能力是执法基础，公开合规数据可增强政策公信力。欧盟领先发布详细认证数据供独立验证，美国环保局与加州空气资源委员会的报告则缺乏技术细节。



www.theicct.org.cn

communications@theicct.org

[@theicct.org](https://www.theicct.org)

icct
国际清洁交通委员会