

## 减少汽车空调系统排放： 中国的政策契机

作者：杨柳含子

关键词：汽车空调、温室气体排放、测试规程

### 背景

汽车空调系统是温室气体的重要排放源。根据评估，在全球轻型车队的燃料消耗总量中，有3%-7%的燃料是用于支持运行空调系统<sup>1</sup>。汽车空调系统的温室气体排放包括直接排放和间接排放两部分。如图1所示，直接排放指的是与空调制冷剂的生产、使用、维修以及报废相关的排放，主要包含了氢氟碳化物 (HFCs) 排放和氢氟烯烃 (HFOs) 排放。

间接排放方面，内燃机汽车空调的间接排放指的是空调运行过程中消耗燃料所带来的温室气体排放，包括二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)、甲烷 (CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮 (N<sub>2</sub>O) 和黑碳<sup>2</sup>。对于电动汽车来说，车辆开启空调系统也会消耗更多的电能，也就需要更频繁的为电池充电，从而会产生一些与电力生产相关的间接排放。

各国的管理部门已经采取了多种措施，来应对汽车空调系统产生的间接排放。美国实施了提高汽车空调系统能效的激励措施；欧盟将自2025年起为采用“生态创新”技术提升汽车空调能效的生产企业提供减排奖励积分<sup>3</sup>；中国则在乘用车燃料消耗量法规中为高效汽车空调系统提供了能耗激励措施。

1 Kate Blumberg、Aaron Isenstadt、Kristen N. Taddonio、Stephen O. Andersen和Nancy J. Sherman, “Mobile Air Conditioning: The Life-Cycle Costs and Greenhouse-Gas Benefits of Switching to Alternative Refrigerants and Improving System Efficiencies”, (国际清洁交通委员会, 华盛顿特区, 2019), 详见: <https://theicct.org/publication/mobile-air-conditioning-the-life-cycle-costs-and-greenhouse-gas-benefits-of-switching-to-alternative-refrigerants-and-improving-system-efficiencies/>

2 同上。

3 欧盟法规, “Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 Setting CO<sub>2</sub> 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”, Official Journal of the European Union, L 111/13 (25.4.2019), 详见: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/631/oj/eng>

鸣谢：作者在此首先感谢能源基金会对本次研究工作的慷慨支持。另外，希望向所有为本报告提供帮助和建议的外部审阅专家致以谢意，包括纪亮（中国环境科学研究院机动车排污监控中心）、赵立金（中国汽车工程学会）、陈敬良（中国制冷空调工业协会）、钱国刚（中汽中心天津汽车检测中心）。最后，感谢Lori Sharn和Valerie Sheckler为本报告提供的编辑和设计支持。能源基金会及所有外部审阅专家的支持协助并不代表完全认同本报告内容，任何错误疏漏，皆由作者承担。

[www.theicct.org](http://www.theicct.org)

[communications@theicct.org](mailto:communications@theicct.org)

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

在应对直接排放方面，美国和欧盟都已禁止在汽车空调系统中使用全球变暖潜能值 (GWP) 较高的制冷剂<sup>4</sup>。中国于2021年9月正式接受了《〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉基加利修正案》，根据该协议，中国将逐步减少HFCs的生产和使用<sup>5</sup>。通过出台相关政策，推动汽车空调系统技术进步，既能够助力中国实现碳中和目标，也能够为《基加利修正案》履约提供帮助。从目前的国际最佳实践经验来看，无论是对于传统燃油轻型车还是电动轻型车，都存在若干政策契机，可以从提升汽车空调系统能效和使用替代制冷剂两方面入手来减少温室气体排放。

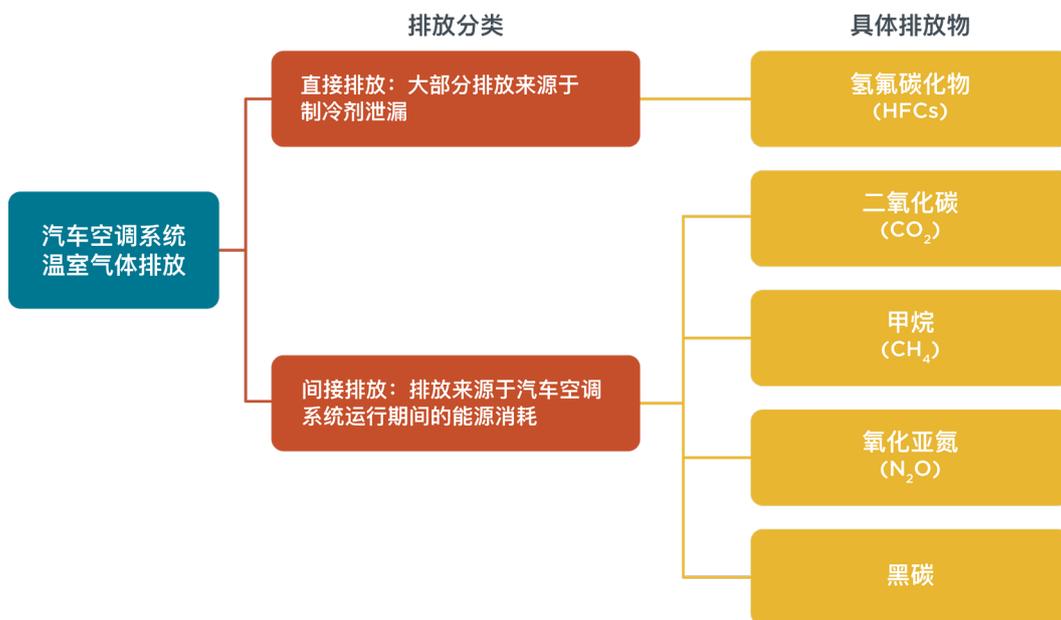


图1. 汽车空调系统温室气体排放组成

本文是国际清洁交通委员会 (ICCT) 在前期“中国汽车空调温室气体减排措施相关研究”基础上开展的后续研究。前期研究报告中介绍了汽车空调温室气体排放的类型和来源，详解了对应的减排措施，回顾了国际上控制直接和间接排放的政策法规，并总结了中国汽车空调技术和制冷剂的市场现状及发展挑战<sup>6</sup>。本报告将重点关注轻型乘用车，整理全球各地轻型车空调系统间接排放管理法规及测试规程，并分析其中的技术细节。结合国际最佳实践经验和中国的政策契机，我们将总结一些建议，以期为制定轻型车空调系统温室气体排放测试规程及管理法规提供一些参考助力。

4 杨柳含子、何卉、解奕豪、毛世越、任家宝、王超前、马冬、尹洁、吴倩，《中国汽车空调温室气体减排措施及政策建议》，（国际清洁交通委员会，华盛顿特区，2022），详见：<https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/China-MVAC-paper-1-working-paper-10-A4-CN-v5.pdf>

5 中华人民共和国生态环境部，《我国正式接受《〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉基加利修正案》》，2021年，详见：[https://www.mee.gov.cn/xxgk/hjyw/202106/t20210621\\_841062.shtml](https://www.mee.gov.cn/xxgk/hjyw/202106/t20210621_841062.shtml)

6 同脚注4。

## 汽车空调系统运行对CO<sub>2</sub>排放和电能消耗的影响

汽车空调系统相关的温室气体排放主要是间接排放，间接排放约占汽车空调系统温室气体排放总量的81%至88%<sup>7</sup>。在本研究中，我们主要通过文献综述评估了使用汽车空调系统对传统轻型车和电动轻型车造成的燃料消耗量和CO<sub>2</sub>排放影响。对于传统轻型车，空调系统只有在制冷运行时才会产生影响，因为内燃机产生的废热可以用于车内采暖。但对于电动轻型车而言，空调系统不仅需要用于车内制冷和采暖，还需要用于控制电池温度。此前关于汽车空调系统能耗的测试大多都是在实验室中进行的，在本次研究中，我们汇集了为数不多的研究成果，对汽车空调系统在实际道路工况下的能耗和排放影响进行了评估。

针对中国的内燃机轻型车，我们参考了Da Zhang等人的相关研究，该研究从一个燃料消耗量数据平台中收集了超过100万条实际行驶记录（数据信息由消费者上传），分析发现，在“炎热”天气条件下（>25°C），使用汽车空调会导致燃料消耗总量增加1.3%<sup>8</sup>。针对美国内燃机轻型车，我们参考了Tanzila Khan等人的相关研究，该研究采用便携式排放测量系统（PEMS）和车载诊断系统（OBD），在实际道路条件下对78辆未启动空调的车辆和55辆开启空调的车辆进行了燃料消耗量测试，测试涵盖了广泛的行驶工况，结果表明，使用空调系统对车队平均燃油能效的影响在1.3%到7.5%之间<sup>9</sup>。

电动轻型车方面，ICCT此前在相关研究中对2017至2021年间中国10款最畅销纯电动乘用车车型的实际能耗进行了分析<sup>10</sup>，在分析过程中评估了环境温度对实际道路能耗的影响。在“非常寒冷”条件下，能耗增幅可达40%到90%；在“寒冷”条件下，能耗增幅在30%到65%；“炎热”条件对能耗的影响较小，能耗增幅在20%以下。遗憾的是，该研究进行能耗数据分析时并未界定是否启动了空调系统。尽管如此，从分析结果中仍可以看出空调系统会对电动轻型车的实际能耗产生显著影响，并且在“寒冷”天气条件下，车辆采暖需求所带来的影响要比“炎热”天气条件下制冷需求所带来的影响更为显著。

上述研究表明，轻型车空调系统会产生相当可观的间接温室气体排放。此外，空调系统运行对于电动汽车的能耗影响比传统内燃机车辆更大（部分原因是因为空调系统需要支持电池温度控制）。

7 同脚注1。

8 Da Zhang、Jun Gao、Ding Tang、Xiaomeng Wu、Junye Shi、Jiangping Chen、Yinghong Peng、Shaojun Zhang、Ye Wu, “Switching on Auxiliary Devices in Vehicular Fuel Efficiency Tests Can Help Cut CO<sub>2</sub> Emissions by Millions of Tons”, *One Earth*, 4, No. 1 (2021年1月22日) : 135-145, 详见: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.12.010>

9 Tanzila Khan和H. Christopher Frey, “Effect of Air-Conditioning on Light Duty Gasoline Vehicles Fuel Economy”, *Transportation Research Record*, 2673, No. 5 (2019年5月), 详见: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0361198119838507?icid=int.sj-abstract.citing-articles.20>

10 金伶俐、王硕、何卉, 《中国纯电动乘用车实际道路性能》, (国际清洁交通委员会: 华盛顿特区, 2023年), 详见: <https://theicct.org/publication/%e4%b8%ad%e5%9b%bd%e7%ba%af%e7%94%b5%e5%8a%a8%e4%b9%98%e7%94%a8%e8%bd%a6%e5%ae%9e%e9%99%85%e8%a1%8c%e9%a9%b6%e6%80%a7%e8%83%bd-jun23/>

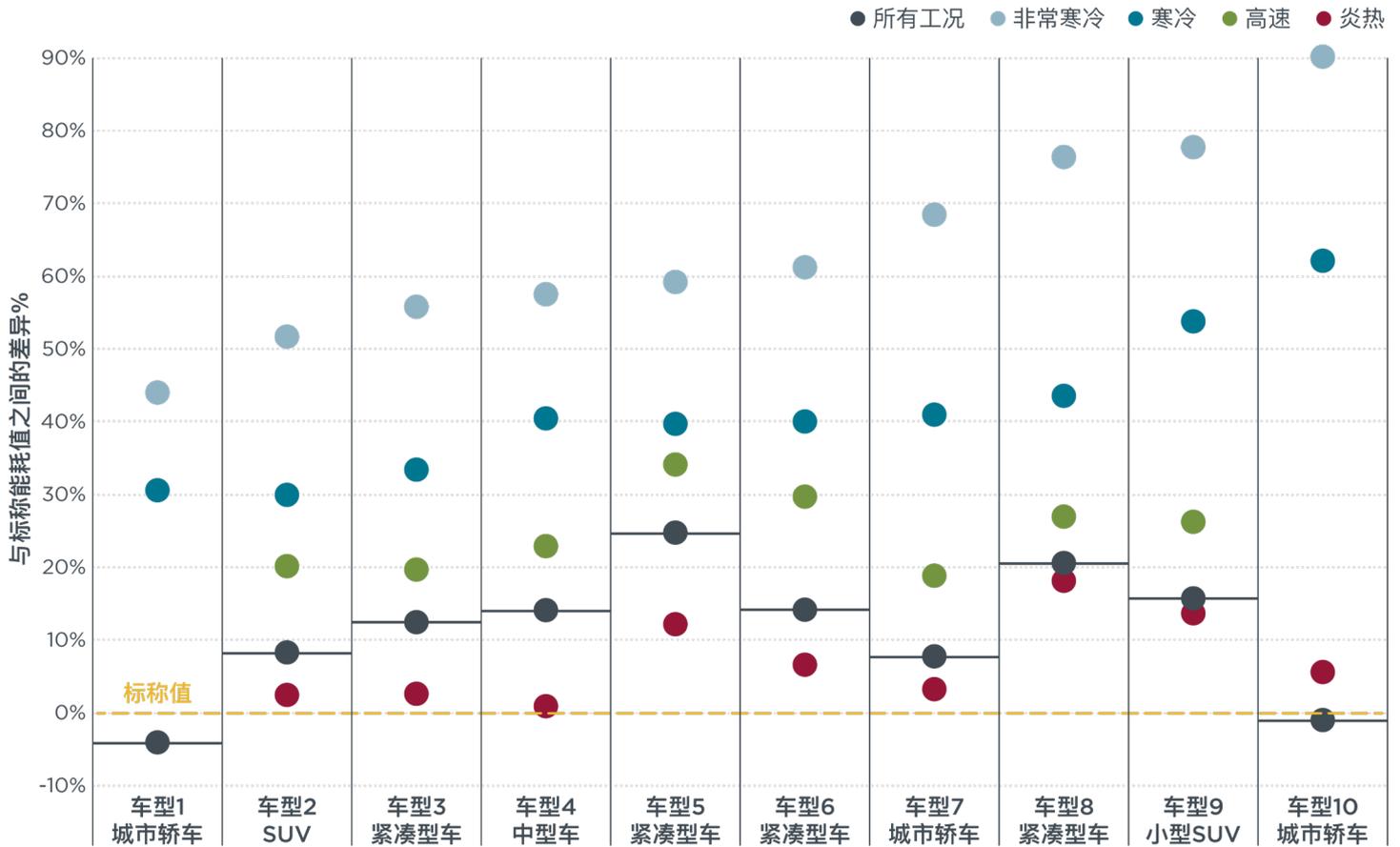


图2. 10款纯电动汽车在不同天气和不同行驶工况下的实际道路能耗

## 美国、欧盟和中国的政策进展

### 美国的汽车空调温室气体管理法规及测试规程

在美国，共有四项法规中包含有轻型车空调系统测试规程，分别为：车辆污染物排放标准、车辆温室气体排放标准、车辆燃油经济性标准和燃油经济性标识管理方案。由于本文重点关注的是控制汽车空调系统的温室气体排放，所以本节将重点介绍美国轻型车温室气体排放标准中的技术细节。

2009年，美国的《企业平均燃油经济性标准》在设定MPG（每加仑燃油行驶英里数）目标的基础上，进一步扩展纳入了轻型车温室气体排放要求，二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放限值由美国环保局（EPA）和美国交通部（DOT）联合制定，以克CO<sub>2</sub>/英里为单位。其中，一阶段管理标准于2012车型年实施；2021年，美国对轻型车温室气体排放标准进行了修订，修订后的标准于2023至2026车型年实施<sup>11</sup>；2024年3月，EPA发布了2027及以后车型年的轻型车多种污染物排放标准新规<sup>12</sup>。

11 美国环保局，“Revised 2023 and Later Model Year Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions Standards”，86 Fed. Reg. 74434（2021年12月30日），详见：<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2021-12-30/pdf/2021-27854.pdf>

12 美国环保局，“Multi-Pollutant Emissions Standards for Model Years 2027 and Later Light-Duty and Medium-Duty Vehicles; Correction”，2024年，详见：<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2024-06-13/pdf/2024-12590.pdf>

美国对甲烷 (CH<sub>4</sub>) 和氧化亚氮 (N<sub>2</sub>O) 是通过单车排放限值来进行管理的, 对二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 是通过企业平均限值来进行管理, 对氢氟碳化物 (HFCs) 则是通过法规和奖励积分的模式来进行管理。美国温室气体排放标准中包括有一套平均、储存和交易机制 (ABT机制)。设计ABT机制旨在为生产企业提供足够的时间, 可以在数年内逐步规划和推进排放控制技术的应用。ABT机制为生产企业额外提供了灵活性达标方案, 并能够激励生产企业加速应用减排技术。

## 为低泄漏率汽车空调系统、使用替代制冷剂和 应用高能效汽车空调技术提供的积分奖励

在2026车型年以前, 生产企业可以通过减少制冷剂泄漏、使用全球变暖潜能值 (GWP) 更低的制冷剂、提高空调系统能效以及减少制冷需求等方式来获得CO<sub>2</sub>减排积分, 助力其满足CO<sub>2</sub>排放限值要求 (克CO<sub>2</sub>/英里)。在新的多种污染物排放标准下, 减少制冷剂泄漏和使用低GWP制冷剂的积分奖励将自2027年起取消。表1展示了在美国轻型车温室气体排放标准下, 在2023到2026车型年通过减少制冷剂泄漏和使用低GWP制冷剂所能获得的积分最大值<sup>13</sup>。

表1. 美国轻型车温室气体排放标准下2023-2026车型年通过减少制冷剂泄漏和使用低GWP制冷剂所能获得的最高减排积分 (克/英里)

		乘用车 (克/英里)	轻型货车 (克/英里)
直接积分最大值: 减少泄漏和使用替代制冷剂	使用HFC-134a	6.3	7.8
	使用低GWP制冷剂	13.8	17.2
间接积分最大值: 使用空调能效改进技术		5	7.2
可获得积分最大值		<b>18.8</b>	<b>24.4</b>

为了减少汽车空调系统的直接排放, 美国实施了两项法规来管理氢氟碳化物 (HFCs), 分别为HFC-134a禁令和温室气体排放标准中的激励方案。自2021年以来, 美国已经全面禁止轻型车使用HFC-134a作为空调整冷剂。EPA在温室气体排放标准下实施了积分奖励方案, 来鼓励使用低GWP制冷剂和 应用减少制冷剂泄漏的技术。

生产企业要想获得减少制冷剂泄漏积分需要对汽车空调系统进行泄漏评分。评分基于汽车空调系统零部件、接头、密封件和软管的数量、性能及技术进行评定, 按照国际自动机工程师学会 (SAE) 标准J2727中的规程开展评估<sup>14</sup>。随后, 会根据制冷剂的GWP值, 将评分结果转换为减排积分 (以克CO<sub>2</sub>/英里为单位)。

在减少汽车空调系统间接排放方面, 生产企业可以通过应用更高效的压缩机、风扇、电机和更先进的控制系统来提高汽车空调系统的能效。对于配备有自动温

13 美国环保局、美国交通部, “2017 and Later Model Year Light- Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions and Corporate Average Fuel Economy Standards”, 77 Fed. Reg. 62624 (2012年10月15日), 详见: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2012-10-15/pdf/2012-21972.pdf>

14 国际自动机工程师学会, “Mobile Air Conditioning System Refrigerant Emission Charts for R-134a, R-1234yf, and R-152a”, SAE Standard J2727\_202011, 2020年, 详见: [https://www.sae.org/standards/content/j2727\\_202011/](https://www.sae.org/standards/content/j2727_202011/)

控系统的车辆，通过对空调系统进行多方位实时调整，也有助于提高制冷或采暖效率。表2展示了美国轻型车温室气体标准下应用空调系统技术的对应积分。通过提升汽车空调能效，乘用车最高可获得5克/英里的积分奖励，轻型货车最高可获得7.2克/英里的积分奖励。

EPA采用AC17测试规程来对汽车空调系统积分进行有效性验证。AC17测试规程在温度25°C、相对湿度50%的条件下进行，首先在联邦测试工况 (FTP 75工况) 下进行预处理，随后进行30分钟的热辐射 (850 W/m<sup>2</sup>)，接下来运行SC03 补充测试工况<sup>15</sup>和高速公路燃油经济性测试工况 (HFET工况)。AC17测试以克/英里 (g/mi) 为单位测量CO<sub>2</sub>排放量，需要在应用了改进技术和未应用改进技术的同款车辆上各进行一次测试，如果车辆在AC17测试下的CO<sub>2</sub>减排效果大于等于表2中列出的减排率，则生产企业可获得全额积分；如果减排量小于减排率阈值，则生产企业将根据AC17的测试结果获得对应的减排积分。

**表2.** 美国轻型车温室气体排放标准下2023-2026车型年应用汽车空调能效技术所能获得的最高减排积分 (克/英里)

技术类型	汽车空调CO <sub>2</sub> 减排率	乘用车空调最高积分值 (克/英里)	轻型货车空调最高积分值 (克/英里)
通过外控的可变容积式压缩机降低再加热	30%	1.5	2.2
通过外控的定量或气动可变容积式压缩机降低再加热	20%	1.0	1.4
当外部环境温度为24°C或更高时，默认使用再循环空气，并对空气供应进行闭环控制（通过传感器反馈控制内部空气质量）	30%	1.5	2.2
当外部环境温度为24°C或更高时，默认使用再循环空气，并对空气供应进行开环控制（无传感器反馈）	20%	1.0	1.4
通过鼓风机电机控制限制浪费电能（例如：脉冲宽度调制功率控制器）	15%	0.8	1.1
内部热交换器（或吸气管道热交换器）	20%	1.0	1.4
改进的蒸发器和冷凝器（性能系数COP提升>10%）	20%	1.0	1.4
油分离器（压缩机内部或外部）	10%	0.5	0.7
通过增加可变曲轴箱进气气门实现的先进、高效空调压缩机技术		1.1	1.1
可获得积分最大值		<b>5</b>	<b>7.2</b>

需要注意的是，高效空调系统积分也适用于电动汽车。电动汽车生产企业不需要进行AC17测试，但必须提交认证申请，申请中应包括一份对车辆空调系统的详细描述文件，用于证明空调能效技术能够满足获得积分的减排要求，EPA将根据生产企业的申请判定是否给予其相应的减排积分。

## CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放限值

在美国，无论新车还是在用车都必须满足CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的单车排放限值。在FTP和HFET工况下，单车N<sub>2</sub>O排放不得超过0.01克/英里，CH<sub>4</sub>排放不得超过0.03克/英里。

<sup>15</sup> FTP工况下的SC03补充测试规程用于体现使用空调系统时的发动机负载和排放情况。这是一项底盘测功机测试，在实验室温度为35°C并开启空调的条件下进行。自2008车型年起，SC03测试的结果已被用于判定道路车辆的燃油经济性。

如果汽车生产企业不想选择满足单车排放限值,也可以将CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放包含在车队平均温室气体排放中进行核算,生产企业必须将车辆整个使用寿命周期的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放换算为CO<sub>2</sub>当量排放,纳入到车队平均温室气体排放当中。通常,纳入CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放会使车队平均CO<sub>2</sub>排放增加3-4克/英里,而且对于采用这种方法的生产企业,在纳入CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放之后,CO<sub>2</sub>排放也必须遵守相同的限值。

所以,大多数生产企业会选择满足单车排放限值。对于一些在短时间内无法满足N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>限值的生产企业,管理法规也为他们提供了一些合规灵活性。如果车辆的CO<sub>2</sub>排放量足够低或采用了空调能效技术,则可以通过满足车队温室气体限值来实现合规。

## 美国管理法规的实施效果

在2013年到2021年期间,美国轻型车使用HFO-1234yf作为制冷剂的比例显著增加。2021年,已有95%的新生产轻型车采用HFO-1234yf作为制冷剂。其余5%的轻型车中,除了极少数车辆外,也都通过提高空调系统性能而获得了减少空调系统泄漏积分<sup>16</sup>。2021年,美国轻型车车队的平均空调减排积分为20.8克/英里,而车队的温室气体排放水平为239克/英里。相比之下,2012年轻型车车队的平均空调减排积分仅为6.1克/英里,而车队的温室气体排放水平为287克/英里。可以看到,从2012年到2021年,空调减排积分增加了14.7克/英里,温室气体排放减少了48克/英里,相当于空调系统减排贡献了30%的减排量。

自2012年首次引入空调系统减排积分以来,低GWP制冷剂和高效空调技术已经得到广泛应用,空调减排积分的获取率显著增加。然而,汽车空调系统的减排积分上限并未发生变化。由于空调能效技术的减排效果是按对燃油消耗量和CO<sub>2</sub>排放的影响百分比来判定的,随着车队排放水平的整体降低,固定的积分值对应的实际能效改善将变得越来越少。美国的空调系统减排积分于2011和2012年出台,是基于2009-2012车型年以及更早年份车辆的数据来设定的,而当时的车队平均CO<sub>2</sub>排放水平在300克/英里左右,这也就意味着要减排6%来获得积分相当于减少20克/英里的排放。随着时间的推移,相同减排量带来的减排占比变得越来越大。到2025年,车队平均CO<sub>2</sub>排放水平将达到173克/英里,20克/英里的减排量将占车队排放的12%。这就会令积分方案的影响作用较方案制定之初翻倍,相同的技术会获得越来越多的相对积分,并且空调积分整体上比较容易获得,相对其他的发动机燃油能效技术而言,空调技术似乎是一种更具成本效益的选择。

另一个令人担忧的问题在于汽车空调技术在实际应用中的影响具有较大的不确定性。空调系统减排积分主要是基于实验室测试确定的,缺乏可靠的实际收益验证。近期有数据表明,虽然获得了减排积分,但部分技术并未能在实际运行过程中带来切实的减排效果<sup>17</sup>。

16 美国环保局,“The 2022 EPA Automotive Trends Report: Greenhouse Gas Emissions, Fuel Economy, and Technology since 1975”, 2022年, 详见: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-12/42Or22029.pdf>

17 Nic Lutsey和Aaron Isenstadt,“How Will Off-Cycle Credits Impact U.S. 2025 Efficiency Standards?”(国际清洁交通委员会,华盛顿特区,2018年), 详见: <https://theicct.org/publication/how-will-off-cycle-credits-impact-u-s-2025-efficiency-standards/>

# 欧盟的政策进展

## 禁用氢氟碳化物

2006年，欧盟通过了《欧盟指令2006/40/EC》，这是欧盟第一项针对汽车空调系统制冷剂的管理政策<sup>18</sup>。根据该指令要求，自2017年开始，在欧盟销售的所有新车禁止使用GWP值高于150的制冷剂，空调系统中使用了GWP高于150制冷剂的新车不得在欧盟注册、销售或使用。

## 生态创新积分

自2025年1月1日起，欧盟轻型车二氧化碳排放标准将首次允许将空调系统改进视为生态创新技术之一（生态创新被定义为任何有助于显著减少实际道路二氧化碳排放的新型技术）。届时，生产企业可通过汽车空调系统减排申请生态创新积分<sup>19</sup>。

要想获得生态创新减排积分，生产企业须向欧盟委员会提交由具备资质的第三方机构出具的检验报告，且其中的测试方法必须能够证明生产企业采用的技术能够在实际道路条件下显著降低CO<sub>2</sub>排放。图3展示了技术验证的基本流程<sup>20</sup>。



图3. 如何测定生态创新技术所带来的CO<sub>2</sub>减排收益

18 欧盟法规，“Directive 2006/40/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 Relating to Emissions From Air Conditioning Systems in Motor Vehicles and Amending Council Directive 70/156/EEC”，Official Journal of the European Union, OJ L 161 (14.6.2006)，详见：<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:161:0012:0018:en:PDF#:~:text=This%20Directive%20lays%20down%20the,and%20refilling%20of%20such%20systems>

19 欧盟法规，“Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019”。

20 Uwe Tietge、Peter Mock、Jan Dornoff，“Overview and Evaluation of Eco-Innovations in European Passenger Car CO<sub>2</sub> Standards”，（国际清洁能源委员会，华盛顿特区，2018年），详见：<https://theicct.org/publication/overview-and-evaluation-of-eco-innovations-in-european-passenger-car-co2-standards/>

如上图所示，生态创新技术的CO<sub>2</sub>减排效果是通过测量相同车辆在使用和未使用该技术情况下的CO<sub>2</sub>排放差值来测定的。测试首先会在修订工况下进行，通过对工况参数进行有选择的修订，以确保创新技术在测试过程中可以启动。随后会在型式核准标准工况下再重复进行一次测试，并将标准工况测试中得到的CO<sub>2</sub>减排从修订工况测试结果中扣除，以避免重复计算减排量。最后，将测定结果乘以创新技术的使用因子，该因子体现的是创新技术在实际道路过程中的启动频率。

目前“生态创新”积分的上限为7克/公里；2025到2029年期间，上限将降至6克/公里；2030到2034年期间，上限将降至4克/公里；到2035年将逐步取消这项积分。在生态创新积分管理方案中，并没有对任何技术设定前置性定义条件，也没有针对任何技术设置对应的固定积分。

## 车载燃料及能源消耗量监测 (OBFCM) 管理要求

目前，实际道路CO<sub>2</sub>排放与型式核准认证值之间的差异正在日益扩大。为了应对这一问题，欧盟在型式核准法规中要求生产企业在所有新生产内燃机轻型车（包括插电式混合动力汽车）上安装车载燃料及能源消耗量监测（OBFCM）装置。OBFCM装置能够收集车辆的燃料和电能消耗量以及行驶距离数据。自2020年1月起，所有轻型车和大部分轻型商用车在新车型式核准阶段必须安装OBFCM装置；自2021年1月起，上述类别的新售车辆必须安装OBFCM装置<sup>21</sup>。欧盟委员会须按年度发布匿名的OBFCM整合数据，数据中应按生产企业、车辆类型和燃料类型分析实际道路CO<sub>2</sub>排放与型式核准认证值之间的差异。尽管OBFCM在收集数据时并不会区分车辆是否启动了空调系统，但我们可以通过实际道路排放数据来验证生态创新技术（包括高效汽车空调技术）是否切实能够带来生产企业申报的CO<sub>2</sub>减排收益。

## 欧盟经验带来的启示

目前，尚无法确定欧盟生态创新项目下的高能效汽车空调技术是否能够带来切实的CO<sub>2</sub>减排效果。生产企业需要通过可验证、可重复、可比较的测定方法来证明创新技术能够带来显著的CO<sub>2</sub>减排收益。一项创新技术是否能够获得减排积分以及可获得多少减排积分是由欧盟委员会判定的，随着技术的快速发展，欧盟管理方案应确保生态创新技术一旦广泛应用后，就不应再获得积分奖励。也就是说，当某项技术在新车中被广泛应用，该技术就不应再被视为生态创新技术，也不得再获得生态创新技术CO<sub>2</sub>减排积分，从而保障生态创新项目激励和推广的是最先进的新型技术，鼓励制造企业对创新技术的开发和应用。

目前，欧盟也有相关研究担心生态创新技术在实际道路条件下并不能产生其在型式核准阶段展现出的CO<sub>2</sub>减排效果，而生产企业却可以通过创新技术获得减排积

21 Jan Dornoff、Nikiforos Zacharof, “Coming back to reality: A Proposal for Real-World Accuracy Requirements for Vehicle On-Board Fuel And Energy Consumption Monitoring”, (国际清洁能源委员会, 华盛顿特区, 2022年), 详见: <https://theicct.org/publication/obfcm-accuracy-verification-feb22/>

分奖励<sup>22</sup>。收集OBFCM数据或将是确保创新技术在实际道路条件下实现CO<sub>2</sub>减排的一种方式。OBFCM数据可用于量化实际道路与型式核准CO<sub>2</sub>排放之间的差距，并用于重新评估生态创新技术的积分上限。不过，欧盟在OBFCM管理规定中并不要求报告空调系统的运行状态。对于考虑实施类似监测计划的国家和地区，可在其管理规定中要求生产企业在OBFCM监测时纳入空调系统使用数据。这样做能够助力管理部门了解使用汽车空调系统的影响，以验证或修正生态创新技术积分，了解使用和未使用创新技术的车辆在实际道路条件下的排放差异，为未来的政策制定提供参考依据。

## 中国的政策进展

### 内燃机汽车测试规程

目前，中国在乘用车油耗标准中针对具有节能效果的循环外技术和装置设有额外的油耗奖励，其中就包括高效汽车空调。对于采用了高效汽车空调的车辆，在计算企业平均燃料消耗量时，可根据其节能效果相应减少车型燃料消耗量。2022年5月1日，中国实施了《乘用车循环外技术/装置节能效果评价方法第3部分：汽车空调》<sup>23</sup>，不过该标准仅适用于内燃机乘用车，并不适用于插电式混合动力汽车和纯电动汽车。

中国的测试规程与美国类似，也是在不同的温度和测试工况循环下进行。测试的第一步是在开启空调的情况下测试车辆的燃料消耗量。在预处理阶段，环境温度会被设定为30±2°C，相对湿度设定为50±5%，打开全部车窗，空调空气循环开关置于外循环位置，风量调节开关置于中间位置，并保持压缩机关闭状态。随后，车辆以90±2km/h的速度等速行驶20分钟，之后关闭车辆动力系统和全部车窗，设定热辐射强度为850±45W/m<sup>2</sup>，静置30min。静置结束后开始对空调系统进行设置，对于自动控制式空调，应设定为“自动模式”，温度设置为不超过25°C，并选择内循环；对于手动控制式空调，应将温度条件开关置于到最大冷却模式位置，风量调节开关置于中间位置，并选择内循环。完成空调设定后，应立即按照《轻型车燃料消耗量试验方法》在中国乘用车行驶工况（CLTC-P工况）下对车辆进行油耗测试，并计算空调开启状态（FC<sub>ON</sub>）下的燃油消耗量。

在完成上述测试后，接下来将在关闭空调系统的条件下对车辆燃料消耗量进行测试。在关闭热辐射后，重复对车辆进行上述预处理操作。随后，关闭车辆动力系统和全部车窗后，不开启空调，立即进行油耗测试，并计算空调关闭状态（FC<sub>OFF</sub>）下的燃油消耗量。随后即可计算出汽车空调系统的燃油消耗量，即 $FC_{AC} = FC_{ON} - FC_{OFF}$ 。

标准中还为汽车空调系统设定了燃料消耗量目标值（TAC），具体计算公式如下：

<sup>22</sup> Tietge, Mock, and Dornoff, “Overview and Evaluation of Eco-Innovations in European Passenger Car CO<sub>2</sub> Standards.”

<sup>23</sup> 国家市场监督管理总局，《乘用车循环外技术/装置节能效果评价方法第3部分：汽车空调》，2021年，详见：<https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=04E008878873631389D108386A1FAD55>

$$T_{AC} \text{ (L/100 km)} = 0.000772 \times \text{车辆整备质量 (kg)} + 0.725 \text{ (L/100 km)}$$

如果 $FC_{AC}$ 大于目标值 $T_{AC}$ ，则说明该汽车空调系统不符合节能高效空调的要求。如果 $FC_{AC}$ 小于目标值 $T_{AC}$ ，生产企业则可根据测试结果获得相应的减排积分奖励。为促进节能技术计的多元化同步发展，节能高效空调技术的鼓励上限为0.2 L/100 km。

## 电动汽车测试规程

电动汽车方面，《电动汽车能量消耗量和续驶里程实验方法第1部分：轻型汽车》于2021年进行了修订，并自2021年10月1日起实施<sup>24</sup>。该标准规定了在低温条件下测试空调系统制热能耗以及在高温条件下测试空调系统制冷能耗的方法，不过标准中并没有规定这些测试条件下的排放限值。

低温条件下的空调系统制热能耗测试需要将环境温度设置在 $-7\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。测试过程中，车窗需要全部关闭，空调需要设置到外循环模式。对于自动控制式空调，应设定为“自动模式”，温度设定为 $22^{\circ}\text{C}$ ；对于手动控制的空调，应将温度调节开关置于最大加热模式位置，风量调节开关置于最大档位，在车内温度达到 $20^{\circ}\text{C}$ 后，将风量调节开关置于中档，使车内温度保持在 $20-22^{\circ}\text{C}$ 范围。

高温条件下的空调系统制冷能耗测试需要将环境温度设置在 $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，热辐射强度为 $850\pm 45\text{W}/\text{m}^2$ 。测试过程中，车窗需要全部关闭，空调设置到内循环模式，对于自动控制式空调，应设定为“自动模式”，温度设定为 $25^{\circ}\text{C}$ ；对于手动控制式空调，将温度调节开关置于最大冷却模式，风量调节开关置于最大档位，在车内温度达到 $25^{\circ}\text{C}$ 后，将风量调节开关置于中档，使车内温度保持在 $23-25^{\circ}\text{C}$ 的范围。

24 国家市场监督管理总局，《电动汽车能量消耗量和续驶里程实验方法第1部分：轻型汽车》，2021年，详见：<https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=018D351EFF1AACD87C5919DOF21BE EBE>

## 总结及为中国提供的政策建议

基于国际最佳实践经验和中国目前的管理方案，我们在表3中整理了中国推动汽车空调系统减排的政策契机，并将在后文中予以进一步讨论。

表3. 汽车空调系统减排方面的国际最佳实践经验及中国的政策契机

国际最佳实践经验	中国的政策契机
在汽车温室气体排放标准中，将汽车空调系统与车辆作为一个整体来管控。	中国尚未将汽车空调与车辆作为一个整体来管控，尚未制定针对特定汽车空调制冷剂的禁用及替代规定。
车辆生产企业必须在型式核准阶段提交汽车空调系统的相关信息，包括制冷剂、空调系统技术规格等。	中国缺乏汽车空调系统生产、使用和维修环节的数据统计。
对采用低GWP制冷剂、降低制冷剂泄漏率、提高汽车空调系统能效以及减少制冷需求技术的车型给予减排积分奖励。	中国已发布乘用车高能效空调油耗积分奖励政策，但尚未考虑对低GWP制冷剂和低泄漏率空调予以积分奖励。
汽车空调积分管理方案同样适用于电动汽车。	中国已在技术标准中发布了电动汽车空调系统能耗的测试规程，但并未规定能耗限值，且尚未出台针对电动汽车高能效空调系统的积分奖励方案。
在油耗标识中体现燃油车在空调开启状态下的油耗结果，并向公众公开。	中国尚未在轻型车油耗标识中体现空调开启状态下的油耗或能效测试结果。
欧盟最新的轻型车CO <sub>2</sub> 法规要求生产企业为所有新售轻型车安装OBFCM装置，以收集实际道路过程中的燃油能效和CO <sub>2</sub> 排放数据。	中国尚未要求收集车辆在实际道路过程中的CO <sub>2</sub> 排放或燃油消耗量数据。

对于内燃机汽车：

- » **考虑在2025年以前制定机动车温室气体排放标准并将空调系统测试纳入排放测试规程。**增加汽车空调系统测试可以帮助量化空调系统带来的温室气体和污染物排放影响。具体测试规程和空调系统创新技术积分细则还需根据中国实际情况进一步开展相关研究。
- » **考虑在中国机动车温室气体排放标准中建立积分管理体系。**为使用低GWP制冷剂、低泄漏率、高能效空调技术的车型提供减排积分奖励，从而鼓励生产企业开发应用替代制冷剂和可使用替代制冷剂的空调系统，加强高能效空调技术的研发应用。基于国际经验，可获得积分奖励的技术清单及相应积分应每年进行评估修订。例如，随着某种替代制冷剂或新技术的大规模应用，给予该制冷剂或技术的积分应逐步减少直至取消。在实施积分方案时，建议考虑设置减排比例形式的积分，这样能够比绝对减排量形式的积分更好地反馈减排收益。管理部门需要对能效技术的实际节能效果进行评估，以验证该技术能否达到生产企业申报的CO<sub>2</sub>减排收益。同时，每家企业和每款车型所获取的空调积分也应每年向公众公开。
- » **考虑在2025年以前要求生产企业为所有新生产轻型车安装OBFCM装置。**OBFCM应收集并报告空调系统的运行状态，包括空调系统开启/关闭的总时长和总行驶里程，其中空调开启和关闭状态下的燃油消耗量、行驶距离和时间应分别叠加统计。OBFCM数据可以用于评估轻型车实际道路油耗/CO<sub>2</sub>排放。如果能够收集掌握空调运行状态及对应的燃油消耗量数据，政策制定部门就可以利用这些数据了解汽车空调系统对实际道路CO<sub>2</sub>排放的影响。相关分析

可以为汽车空调系统温室气体排放控制政策的制定提供支撑，例如可基于分析结果重新评估空调系统奖励积分上限并确认高能效空调技术所能带来的实际减排收益。

- » **考虑公布在寒冷和炎热环境条件下的燃料消耗量测试结果，并将结果纳入现有的汽车燃料消耗量标识中。**

对于电动汽车：

- » **考虑在2025年以前制定电动汽车能耗限值，并将制热和制冷测试的结果纳入电动汽车能量消耗量标识。**这样做将有助于推动节能高效汽车空调系统的开发和应用。目前在电动轻型车测试中只规定了低温环境条件下制热系统和高温环境条件下制冷系统的测试规程，但并未设置能耗限值。
- » **考虑制定汽车空调系统积分管理方案并定义能耗阈值。**高能效空调技术可根据其优于能耗阈值的幅度获得对应的积分。提供减排奖励积分能够激励生产企业开发高能效空调技术并在电动汽车产品上应用。
- » **考虑要求生产企业报告空调运行数据，并进一步研究空调系统制冷和制热对电动汽车实际道路能效的影响。**相关信息可为未来的管理政策提供参考。尽管目前电动汽车实际道路续航里程和能效数据已经在收集并上传至国家平台，但这些信息并未包含汽车空调系统的使用状态。因此，目前关于空调系统对电动汽车实际能耗影响的相关数据和研究仍非常有限。