2020 年热推进系统路线图

陈述式报告

2021 年 2 月 | 版本 1.0

DISCLAIMER:
Translations of any materials into languages other than English are intended solely as a convenience to the non-English-reading public and are not legally binding. We have attempted to provide an accurate translation of the original material in English, but due to the nuances in translating to a foreign language, slight differences may exist. This translation is supplied to you on the understanding you have accepted this disclaimer and no liability is accepted by the APC for the use of the translation by you or any other party if the translation is found to contain inaccuracies.

免责声明：
将任何材料翻译成英文以外的其他语言仅为方便非英文阅读的公众，并不具有法律约束力。尽管我们已尝试提供英文原文的准确翻译，但是由于翻译成外语时的细微差别，因此可能会存在轻微的差异。向您提供本译文的前提是您接受本免责声明，如果发现译文有不准确之处，APC就您或任何其他方对本译文的使用情况概不承担任何责任。

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

概述：热推进系统

尽管自 20 世纪以来内燃机一直是汽车推进技术的基础，但为满足更严格的排放规定，需要集中精力提高热效率、系统优化、混合动力和新型净零碳燃料。

- 自 2017 年发布最新的 TPS 路线图以来，发动机效率（通常以制动热效率衡量）一直在提高。对于轻型汽车而言，预计到2025年将达到48%，2035年将达到53%，而对于重型汽车而言，预计到2035年发动机效率将提高到60%。
- 未来的热推进系统将包括一定程度的混合动力，以应对更严格的温室气体排放标准，并实现更高的整体系统效率。由化石燃料向其他绿色能源的彻底转型正在进行，净零燃料备受青睐。
- 轻型汽车的创新包括：采用先进的涂料和材料，减少热损失；更高效的燃烧，例如，稀薄燃烧和注水；结合集成混合动力引擎。
- 相反，对于重型汽车，由于其独特的工作周期和传统系统架构，废热回收、低温燃烧以及长期使用替代燃料等方面都可能带来创新。
- 内燃机车的主要优点是设备的高度可回收性、低生命周期评估（LCA）影响和成熟的再利用和再制造产业支柱。全球范围内，已经有碳中性工厂生产发动机。
- 有意义的研究正在展开，以寻找可持续的、净零的化石燃料替代品，以利用知名的生产系统、既有的材料供应和低成本的内燃机制造。这些燃料是 2020 年 TPS 路线图的新特征，是实现温室气体排放和长期空气质量目标的关键。
- 我们的专家调查显示，预计到 2035 年，内燃机车和纯电动车将达到成本平价，这将推动现有化石燃料向替代燃料（尤其是生物燃料和氢）的根本性转变。包括生物燃料和可再生燃料在内的几种燃料可以部分或完全取代现有发动机的燃料组合。发动机的改造使各种合成燃料的使用成为可能。行业专家非常有信心在近期内实现可持续净零能耗的新型内燃机车架构。
- 鉴于回收法规和对整个生命周期的影响，有必要就供应量采取多种方法，包括从面向拆卸和再制造的设计，到组件的回收和更高效的生产。重要的是，将生命周期原则纳入到新型净零燃料燃烧系统中。

前言和鸣谢

APC 感谢业界和学术界在制定和发布这一路线图方面提供的广泛支持。

我们非常感谢汽车协会委托我们更新产品和技术路线图以及他们提供的持续支持。

这项工作得到了商业、能源和产业战略部（BEIS）的大力支持。

Neville Jackson
英国汽车委员会代表

我很高兴与大家分享由先进推进中心与业界紧密合作开发的 2020 年汽车推进技术路线图。这些路线图确定了关键的未来目标和最有具发展前景的途径，以实现更低碳、更具可持续性的未来汽车。它们是制定重点研发议程的必要工具，对协同创新尤其重要。

路线图是在英国汽车委员会原路线图的基础上制定的， APC 在 2017 年对其进行了进一步的完善。我们已更新了路线图内容，以反映英国向 2050 年净零排放目标过渡的紧迫性。近年来，推进技术的变革速度突飞猛进，电动汽车的使用率不断攀升，电池价格的下降速度快于此前的预测，燃料电池等可替代的零排放技术正在迅速成熟，包括氢在内的清洁燃烧燃料正在取代现有的化石燃料。

然而，由于变革速度必须进一步加快，仍有重大挑战需要克服，需加大研发和商业化力度，从而向市场提供价格合理、对消费者更有吸引力的产品。由行业专家调查小组制定的 2020 年技术路线图对未来汽车推进的目标、技术和时间表提供了共识。

我们撰写本报告旨在通过分享行业洞见和共同技术重点来支持汽车行业的发展，从而加快提供世界级的汽车解决方案。路线图是建立合作研发机遇的重要信息来源，以应对未来的出行挑战、货物运输和非公路车辆研发。

Chris Brace教授
巴斯大学，
英国先进推进中心（APC）发言人

到 2040 年及以后，热推进系统仍将处于技术前沿。我们知道，在可预见的未来，发动机仍然很重要，但我们不太确定在这段时间里发动机会燃烧什么材料。

向净零耗能发展意味着燃料必须迅速脱碳。减少当前车辆的碳燃料是这项工作的重点。全新的可持续燃料将有可能取得进一步发展，为此，我们将开发新型高效发动机和推进系统技术。

我非常乐观地认为，工程和科学可以帮助我们让世界上更多的人享受清洁、可持续的出行带来的益处。

Rob Morgan教授
布莱顿大学，
英国先进推进中心（APC）发言人

与 2017 年的版本不同的是，本路线图旨在实现净零排放目标。在发展过程中，迅速过渡到可持续燃料至关重要。未来将会有一系列燃料解决方案，它们对未来的动力传动系统需求产生不同的影响，同时也为快速地、可持续地减少碳排放带来绝佳的机遇，特别是如长途货车等“难以电气化的领域”。

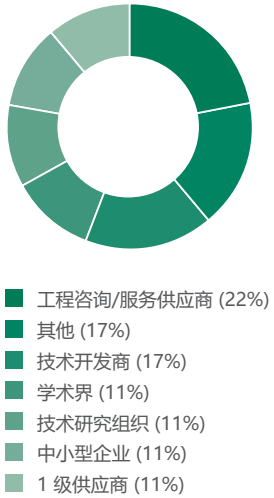
路线图的制定听取了各行业和学术专家的意见，并考虑到问题的挑战性和复杂性，因此取得了显著共识。我个人很荣幸能参与该项目，并希望这些路线图能够帮助引导行业实现清洁、可持续的未来。

2020 年行业专家在线调查深入分析

随着纯电动车和内燃机车有望在 2035 年实现成本平价，内燃机使用的燃料正在发生根本性转变。

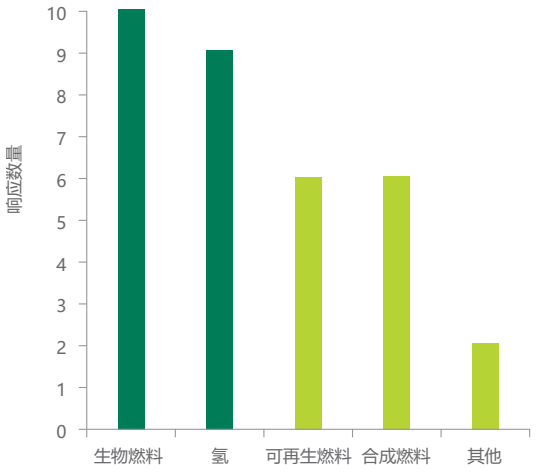
技术调研受访者

2020年9月展开的在线技术调研的行业专家受访者分布：



到 2040 年，哪些燃料将主导内燃机市场?

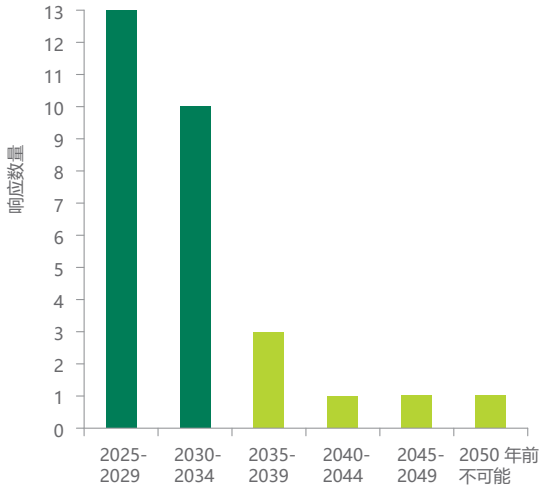
到 2040 年，最有可能主导轻型内燃机市场的燃料是生物燃料和氢。



备注：由于生物废物供应的限制，目前生物燃料无法大量供应。

BEV 和 ICE 什么时候可以实现成本平价?

当被问及 BEV 和 ICE 何时能实现成本平价时，近 80% 的受访者认为会在2035年前实现。



备注：对于大排量小型乘用车而言，这可能会更快实现。

轻型和重型应用的技术指标

行业在大众市场的竞争环境下可能实现的技术指标。

制动热效率 (BTE)

	2020	2025	2035
轻型	42%	48%	53%

	2020	2025	2035
重型	47%	55%	60%

注:

- BTE 是指峰值制动热效率。
- BTE 是衡量发动机效率的常用指标。所列数值均为最佳数字。
- 虽然显示的是单点峰值 BTE 数值，但这些并不是实际车辆效率的准确指标，对于不同的推进技术和产品应用，实际车辆效率会所有不同。

温室气体和空气质量法规驱动因素

已定义驱动因素　预计驱动因素

		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	…
轻型	二氧化碳排放	95 g/km (NEDC)	-15% (WLTP)	PC -37.5%，Van -31% (WLTP)	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性				
	污染和资源	欧洲 6d/EPA 等级 3	欧洲 7/EPA 等级 3	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性					
重型	二氧化碳排放	二氧化碳：VECTO 摄取	二氧化碳：-15%	二氧化碳：-30%	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性				
	污染和资源	欧洲 VI/EPA 2015 NRE 第5阶段	欧洲 VII/EPA 2015 NRE 第5+阶段	欧洲 VII +/EPA 2015 MY27 NRE 第5++阶段	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性				

轻型和重型应用的技术指标

行业在大众市场的竞争环境下可能实现的技术指标。

技术指标
2020 年，这些指标将取代路线图中制定的目标，提供出行方向和衡量该技术最佳性能的方法。

制动热效率 (BTE)

	2020	2025	2035
轻型	42%	48%	53%

	2020	2025	2035
重型	47%	55%	60%

制动热效率 (BTE)
由于轻型和重型车辆的工作周期和技术选择存在差异，因此指标各不相同。

温室气体和空气质量法规驱动因素

已定义驱动因素　预计驱动因素

轻型	二氧化碳排放	95 g/km (NEDC)	-15% (WLTP)	PC -37.5%，Van -31% (WLTP)	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性
	污染和资源	欧洲 6d/EPA 等级 3	欧洲 7/EPA 等级 3	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性	
重型	二氧化碳排放	二氧化碳：VECTO 摄取	二氧化碳：-15%	二氧化碳：-30%	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性
	污染和资源	欧洲 VI/EPA 2015 NRE 第5阶段	欧洲 VII/EPA 2015 NRE 第5+阶段	欧洲 VII +/EPA 2015 MY27 NRE 第5++阶段	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性

监管驱动因素
TPS 路线图显示了二氧化碳排放、污染和资源法规不断发展的情况。这些都极大影响着内燃机技术的发展和实施。

一般注意事项

虽然更高的峰值 BTE 是可能实现的，例如通过调整发动机到单一优化点，但这对于实现我们真正的目标（即提高"净"工作周期效率）是不切实际的。

最好采用平均驱动周期 BTE 值来量化系统效率，但该值不可用。峰值 BTE 提供了轨迹发展的创新的指标。

这些预测是由行业内部的高级专家通过 APC 促成的研讨会作出的。

轻型和重型应用的技术指标

行业在大众市场的竞争环境下可能实现的技术指标。

制动热效率 (BTE)

	2020	2025	2035
轻型	42%	48%	53%
重型	47%	55%	60%

轻型

为达到拟议的燃油经济要求，发动机必须更好地利用现有的燃料能源。无论发动机的效率有多高，仍有相当一部分燃料能量会被排放到排气和冷却剂流中。

自 2017 年发布最新的 TPS 路线图以来，发动机效率（通常以制动热效率衡量）一直在上升。到 2026 年，标准四冲程 BTE 有望达到 48% - 50%，通过应用有机朗肯循环 (OrganicRankinCycle，ORC)发电技术原理，BTE 有望进一步提高到 52%。目前的商用发动机能够达到 42% 或更高的峰值 BTE。

重型

重型传动系统的效率将继续提高 - 通过废热回收和先进的新引擎概念，有望取得重大进展。

对于部分重型车辆生产计划的案例，其目标是到 2026 年将 BTE 提高到 55%，采用注水技术减少压缩工作，以实现 Euro VII 排放标准和超低排放车辆 (SULEV) 标准。到 2030 年，一些发动机开发商通过增加 ORC、停缸技术和其他高效原理，将 BTE 提高到 60%。

				37.5%，Van -31% (WLT	
				整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性	
重型	二氧化碳排放	二氧化碳：VECTO 摄取	二氧化碳：-15%	二氧化碳：-30%	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性
	污染和资源	欧洲 VI/EPA 2015 NRE 第5阶段	欧洲 VII/EPA 2015 NRE 第5+阶段	欧洲 VII +/EPA 2015 MY27 NRE 第5++阶段	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性

一般注意事项

针对GhG定义和预测的驱动因素被罗列在二氧化碳当量（CO_2 e）部分。对于任何数量和类型的温室气体，CO_2 e 表示会对全球变暖产生同等影响的二氧化碳量。

NEDC：新欧洲行驶循环的最近一次更新是在 1997 年，旨在评估汽车发动机的排放水平和乘用车的燃料利用率（不含轻型货车和商用车）。

WLTP：《全球统一轻型汽车测试程序》是一项全球标准，用于确定污染物水平、二氧化碳排放量和传统和混合动力汽车的燃料消耗，及全电动汽车的行驶里程。

轻型

指标取自欧洲委员会二氧化碳排放汽车和厢式货车性能标准（2020 年起生效）法规文件。乘用车和厢式货车的标准分别列在路线图中。

污染和资源作为单独类别提供，以便考虑自然资源因素，这对汽车制造越来越重要。这包括空气、水、土地、生物和原材料。

从 2020 年 1 月开始，轻型车辆的欧 6d 排放标准要求所有新车必须通过型式认证，这包括实际驾驶排放对氮氧化物 (Nox) 的限制要求。三级标准是指美国环境保护署 (EPA) 采用的一套燃料和车辆标准，与加州 LEV III 标准保持一致，这些措施将在 2017-2025 年逐步实施。该法规还收紧了对汽油含硫量的限制。预计这类自然资源法规将日益严格和全面。

重型

重型车辆也需要采取类似的办法来减少 温室气体和污染。VECTO 是由欧洲委员会开发的一种新型模拟工具，用于确定二氧化碳排放量和总重量超过 3.5 吨的重型车辆（卡车、公共汽车和长途客车）的燃料消耗。

日本和美国等其他地区选择了燃料利用率或二氧化碳标准，类似于轻型汽车。以日本为例，该国要求到 2025 年将卡车的燃料利用率从 2015 年的基准提高 11.9%。

用于新型非道路移动机械的发动机（NRE 类）的欧洲排放标准具有逐渐严格的等级，称为第1阶段到第5阶段标准。五级标准法规引入了颗粒排放数的新限制。PN 限值的设计旨在确保高效的颗粒控制技术（如壁流颗粒过滤器）用于全部受影响的发动机类别。除其他变化外，第5阶段法规还对几类发动机以质量为基础的 PM 限值标准实施严格控制，PM 限值从 0.025 g/kWh 降至 0.015 g/kWh。

预计从 2035 年起，重型车辆和大型越野汽车的标准将逐步严格。

温室气体和空气质量法规驱动因素

轻型	二氧化碳排放	95 g/km (NEDC)	-15% (WLTP)	PC -37.5%，Van -31% (WLTP)	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性
	污染和资源	欧洲 6d/EPA 等级 3	欧洲 7/EPA 等级 3	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性	
重型	二氧化碳排放	二氧化碳：VECTO 摄取	二氧化碳：-15%	二氧化碳：-30%	接近净零二氧化碳和寿命周期评估（LCA）合规性
	污染和资源	欧洲 VI/EPA 2015 NRE 第5阶段	欧洲 VII/EPA 2015 NRE 第5+阶段	欧洲 VII +/EPA 2015 MY27 NRE 第5++阶段	整体环境影响法规（VOC、资源使用、土地使用）和寿命周期评估（LCA）合规性

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

2020-2035 年的技术指标参见第 1 页

automotive council UK

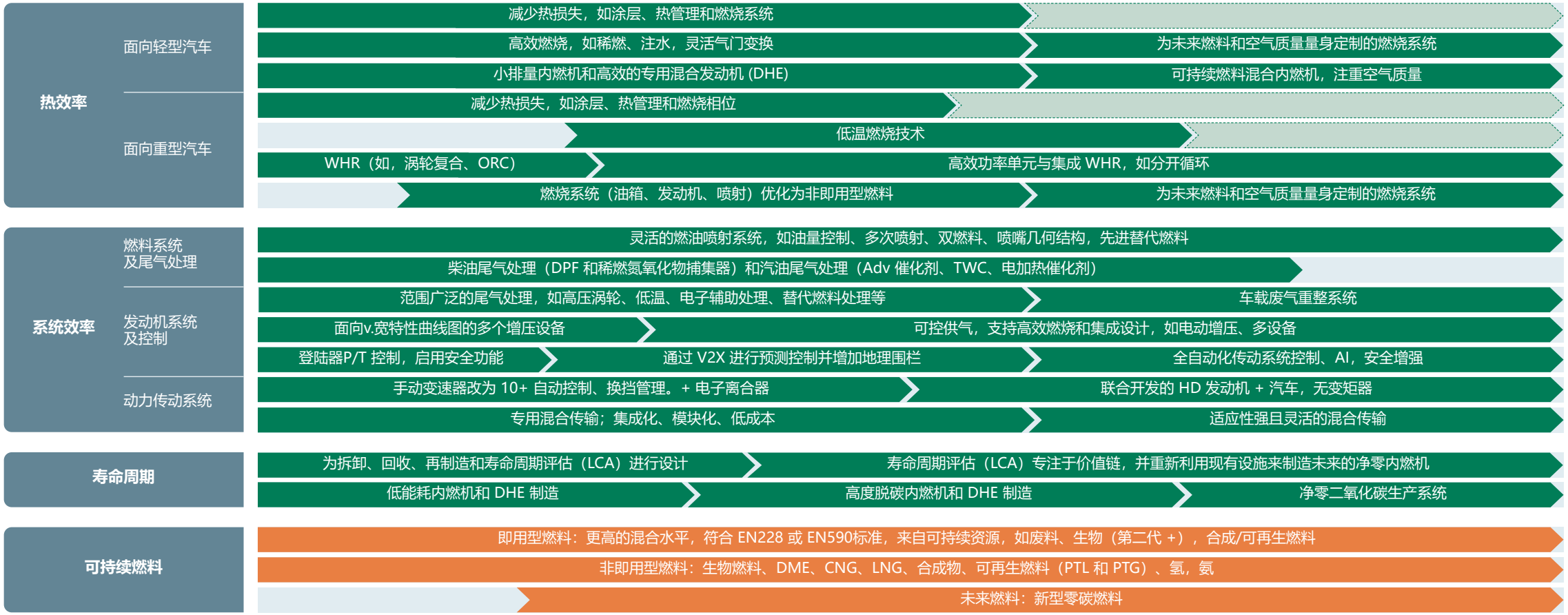
ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

本路线图展示了全球汽车工业推进技术预测在大众市场应用的实时概述。针对特定应用的技术因地区而异。

深色条：
技术是指在大众市场应用的技术。在这段时间内，将会带来重大创新

过渡：
过渡并不意味着逐步退出市场，而是改变研发重点

虚线条：
市场成熟 – 技术已经成熟。可能继续扎根大众市场，直到它消失并被取代



主要技术主题

2020 年路线图
热推进系统

技术路线图

热效率

- 面向轻型汽车
- 面向重型汽车

面向轻型汽车：该领域专为轻型汽车燃烧技术准备。小型内燃机和专用混合发动机 (DHE) 是这一领域的主要趋势。

面向重型汽车：重型汽车的工作周期和排放要求与轻型车辆有显著差异。有针对性地改进燃烧技术并重新设计驱动系统架构，为降低排放量并提高短途和长途的燃料利用率提供了机会。

系统效率

- 燃料系统及尾气处理
- 发动机系统及控制
- 动力传动系统

系统效率：

2020 年路线图中对**燃料系统及尾气处理**进行了专门规定，从而清楚阐车载燃料输送系统的技术变化和轨迹，以及二氧化碳和减轻污染的尾气处理技术。

发动机系统及控制涵盖通过空气，热量和废气管理、减少寄生损失并改善传动系统控制，以此提高效率。

动力传动系统降低热推进系统的速度/负载包线，显著改善效率和排放。集成变速器和混动变速器是关键。

寿命周期

生命周期包括 TPS 组件的能源强度、生命周期评估（LCA）影响、资源消耗和可回收性价值链。面向拆卸、回收和再制造的设计是当前的主题。专用混合发动机和新型净零燃料燃烧系统需要预先纳入的生命周期原则。

可持续燃料

可持续燃料：路线图中新增了一个关于可持续燃料的全新章节。内燃机是燃料的消耗载体，导致其相关的排放效应。解决发动机中使用的燃料问题有助于直接减少尾气排放，实现未来的净零排放目标。路线图中列出了 3 种燃料主题（即用型燃料、非即用型燃料和未来燃料），并举例说明了现有或正在开发中的低碳和净零碳方案。

热效率（轻型）

减少热损失、高效燃烧和混合动力是提高性能和满足法规要求的关键策略，特别是对城际车辆而言。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

- 面向轻型汽车
- 面向重型汽车

系统效率

- 燃料系统及尾气处理
- 发动机系统及控制
- 动力传动系统

寿命周期

可持续燃料

1. 减少热损失，如涂层、热管理和燃烧系统
2. 高效燃烧，如稀燃、注水，灵活气门变换 → 为未来燃料和空气质量量身定制的燃烧系统
3. 小排量内燃机和高效的专用混合发动机 (DHE) → 可持续燃料混合内燃机，注重空气质量

1 减少热损失

减少热损失，例如，从气缸内气体到燃烧室壁的热损失，是提高内燃机热效率的关键技术之一。

先进涂料和材料，如陶瓷和硅基涂料，有助于减少热损失，提高热效率。它们需要克服高温下的高附着力、而且要具备耐用性、耐腐蚀性和高负载能力。

2 高效燃烧

稀薄燃烧是指在内燃机中燃烧的燃料中含有过量的空气。稀薄燃烧可降低燃烧温度，从而减少热量损失，如果操作得当，氧化氮将降到非常低的水平。

在湿压缩过程中，由于空气压缩过程中的水滴蒸发，水被注入到提供连续冷却的入口。这有助于高效解决可能潜在的污染物排放问题。

通过灵活的气门动作使气缸停用，这对提高燃烧效率至关重要。

行业数据显示，目前可以实现 48-50% 的BTE。

随着软件和控制系统的改进，停缸策略将变得更加智能化。目前的方法是打开和关闭一个或两个气缸，这很可能会发展成多个气缸动态响应行驶状况。

3 内燃机小排量化和专用混合发动机

减小 ICE 尺寸已被认为是同时提高燃料转换效率和降低二氧化碳排放的合适方法。

混合技术正在集成到内燃机中，具备封装协同效应和灵活的性能优势。例如，Mahle 拥有一款完全集成的插电式混合动力驱动系统，它包含了一个高效的 2 缸或 3 缸涡轮增压汽油发动机。

在未来，这些混合动力系统将需要可持续燃料，以达到净零排放的要求。

2020 2025 2030 2035 2040 ...

热效率（重型）

凭借其独特的工作周期和动力传动系统架构，余热回收、低温燃烧和对未来燃料的适应性为内燃机技术带来机会。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

面向轻型汽车

面向重型汽车

1. 减少热损失，如涂层、热管理和燃烧相位
2. 低温燃烧技术
3. WHR（如，涡轮复合、ORC）；高效功率单元与集成 WHR，如分开循环
4. 燃烧系统（油箱、发动机、喷射）优化为非即用型燃料；为未来燃料和空气质量量身定制的燃烧系统

系统效率

燃料系统及尾气处理

发动机系统及控制

动力传动系统

寿命周期

可持续燃料

1 减少热损失

对于轻型车辆，先进的涂料和材料有助于减少热损失，提高热效率，但在重型车辆方面将特定于工作周期和应用。例如，目前正在开发中的陶瓷和硅基涂料需要克服高温下的高附着力、而且要具备耐用性、耐腐蚀和高承载能力。

2 低温燃烧技术

低温燃烧是一项最新的发动机技术，可以同时减少氮氧化物和烟气排放，同时保持更高的热效率。

例如，这可以通过在点火前预混合空气和燃料，并使稀释后的混合物发生反应来实现，将氮氧化物和颗粒减少到接近于零。

3 废热回收解决方案

大部分被燃烧的燃料能源在发动机系统中以热的形式被消耗。余热可以作为热能加以回收和再利用或转换成电力，例如，为车载电池充电。

利用余热回收可提高系统的功率输出和效率，并减少排放。涡轮复合和 有机朗肯循环(ORC)发动机均为热回收系统的典型例子。

4 燃烧系统

2020 年 TPS 路线图列出了可以减少内燃机碳足迹的非即用型燃料。

其中一些燃料需要对现有的燃烧系统进行轻度或中度的改造，例如，储罐、喷射系统或发动机内部组件。这为内燃机的脱碳和净零排放开辟了一条道路。

未来燃料的发展需要进一步调整或调适燃烧系统。

2020 2025 2030 2035 2040 ...

燃料系统及尾气处理

尾气处理技术继续发展，以减少颗粒物和氮氧化物的排放，但将转向应对未来的新燃料。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

面向轻型汽车

面向重型汽车

系统效率

燃料系统及尾气处理

发动机系统及控制

动力传动系统

寿命周期

可持续燃料

1 灵活的燃油喷射系统，如油量控制、多次喷射、双燃料、喷嘴几何结构，先进替代燃料

2 柴油尾气处理（DPF 和稀燃氮氧化物捕集器）和汽油尾气处理（Adv 催化剂、TWC、电加热催化剂）

1

燃油喷射系统

随着燃烧循环的改变，新燃料的引入和效率的提高，喷射系统将继续取得发展。下面列出了几个例子。

2

柴油和汽油发动机的尾气处理

废气后处理技术的进步是满足日益严格的氮氧化物（PM 和 PN）法规要求的办法之一。新的低碳和净零燃料预计将主导未来并使尾气处理技术需求在2040年起受到限制。

柴油尾气处理技术包括柴油微粒过滤器、稀油氮氧化物捕集器（lean NOx trap）、柴油氧化催化剂等。

除过滤功能外，汽油尾气处理技术还包括其他功能，例如，使用活性催化涂层，通过汽油微粒过滤器和三维催化剂，帮助减少气体排放。

2020 2025 2030 2035 2040 ...

发动机系统及控制

发动机系统和控制的各种改进将有助于现有发动机的发展和更多新颖设计的兴起。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

面向轻型汽车

面向重型汽车

系统效率

燃料系统及尾气处理

发动机系统及控制

动力传动系统

寿命周期

可持续燃料

1 宽频谱后处理

重点将转向能提高各种性能的系统，即使未来预热会下降（特别是对重型汽车来说）。从长期来看，车载重整和二氧化碳捕获等新型技术可发挥作用，这主要是对重型汽车而言。2025年以后，轻型汽车的侧重点将是在更窄的发动机工作范围下应对排放。

2 增压装置和技术

增压装置通过组合设备来实现一系列有效操作。这些设备通过材料和轴承的发展而不断获得改善（更高的温度，更低的摩擦）。因此，更高的电压（48V）使电动增压技术得到广泛的应用，从而成为多器件方法的补充。

3 控制系统（动力传动系统、预测控制，内嵌 AI）

更智能的传动系统管理改善了燃料消耗。基于 V2X 的预测控制、基于复杂模型的控制和已知的道路/出行条件将很快对此进行补充。确保城市零排放区合规的主动地理围栏，这可能会导致发动机暂时关闭或在超清洁模式下运行。此外，全自动控制系统可行，特别是与 CAV 结合。

1. 范围广泛的尾气处理，如高压涡轮、低温、电子辅助处理、替代燃料处理等 → 车载废气重整系统
2. 面向v.宽特性曲线图的多个增压设备 → 可控供气，支持高效燃烧和集成设计，如电动增压、多设备
3. 登陆器P/T 控制，启用安全功能 → 通过 V2X 进行预测控制并增加地理围栏 → 全自动化传动系统控制、AI，安全增强

2020 2025 2030 2035 2040 ...

动力传动系统

变速器和混合动力是提高推进系统效率的关键因素，通过联合开发，可使其运行效率接近峰值效率。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

面向轻型汽车

面向重型汽车

系统效率

燃料系统及尾气处理

发动机系统及控制

动力传动系统

寿命周期

可持续燃料

1 变速器和变矩器

通过智能手动变速器和代替手动变速器的自动变速器（特别是轻型车辆的多速和无级变速器），可使发动机的运行达到最佳状态。从长远来看，混合动力将改变轻型变速器的作用。对于重型车，联合开发的自动变速器将支持发动机的发展。

2 专用混合变速器

混合动力系统通过增加电力和机械存储以及推进辅助，将在短期内持续提供更大的能量回收。在更高混合动力水平上，为优化发动机运行而共同开发的发动机和混合动力系统能够实现低排放和高效率。

1 手动变速器改为 10+ 自动控制、换挡管理。+ 电子离合器 → 联合开发的 HD 发动机 + 汽车，无变矩器

2 专用混合传输；集成化、模块化、低成本 → 适应性强且灵活的混合传输

2020 2025 2030 2035 2040 ...

生命周期

环境可持续的制造对所有生产工艺、原材料和工厂运营的净影响评估至关重要。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

面向轻型汽车

面向重型汽车

系统效率

燃料系统及尾气处理

发动机系统及控制

动力传动系统

1 回收、再制造和生命周期评估

内燃机具有高度可回收性，并拥有成熟的再利用和再制造配套产业。与其他推进技术相比，内燃机生产对生命周期评估（LCA）的影响较小。

更严格的回收规定有助于设计时考虑到生命周期的终止。随着人们开始考虑生命周期这一因素，一系列的环境因素将影响材料选择（如用水、浪费、电力消耗等）。

再制造发动机在全球拥有很大的市场，其中美国和亚洲的市场份额最大，增长率也最高。这包括产品的拆卸、更换和部件修复，以及对整个产品和单个部件进行原始设计规范的测试。

此外，在未来 5 年里，对内燃机制造进行改造的速度可能会加快，以生产新的净零发动机或电气化系统。

2 节能和净零生产

除尾气排放外，脱碳的关键因素是动力传动系统生产对气候的影响。

制造工厂的能源消耗关乎碳足迹。大多数主机厂的共同长期战略是减少生产过程中的能源消耗并持续改进，实现净零二氧化碳生产。全球范围内，已经有碳中性工厂生产发动机。但对于电池和燃料电池等其他推进技术而言，情况并非如此。

这种方法需要推广到未来的净零发动机和混合动力发动机部件，因为它们具有独特的材料和生产/装配要求。

寿命周期

1 为拆卸、回收、再制造和寿命周期评估（LCA）进行设计 → 寿命周期评估（LCA）专注于价值链，并重新利用现有设施来制造未来的净零内燃机

2 低能耗内燃机和 DHE 制造 → 高度脱碳内燃机和 DHE 制造 → 净零二氧化碳生产系统

可持续燃料

2020 2025 2030 2035 2040 ...

可持续燃料

净零碳即用型燃料、非即用型燃料以及未来燃料的开发越来越重要，因为它有助于提供高性能和具有成本竞争力的解决方案，实现从现有的化石燃料向其他能源的过渡。

2020 年路线图

热推进系统

技术路线图

热效率

面向轻型汽车

面向重型汽车

系统效率

燃料系统及尾气处理

发动机系统及控制

动力传动系统

寿命周期

1

即用型燃料

这些低碳、净零碳燃料可以添加到现有燃料中或替代现有燃料，并在现有发动机系统中工作。

部分已知的燃料已列出，包括电子燃料（用电产生）和生活废料燃料。目前用于农业车辆的生物燃料（如生物甲烷）来自生物质能源，但需要开发可持续的食品和热供应。合成燃料和电子燃料是可行的替代品，但生产它们需要关注的是可再生能源。

2

非即用型燃料

此类燃料不能以替代品直接用于内燃机系统，因为它们要求必须对设备进行改造，包括对储罐或喷射系统进行简单的改造，或全面更换内燃机组件。

净零碳非即用型燃料提供了更广泛的燃料选择，包括二甲醚（DME），（一种甲醇制成的气体燃料）、氢（气态或液态）和其他几种合成燃料或电子燃料。

3

未来燃料

未来燃料主要是一些能实现零排放但尚未得到广泛使用的新燃料。

为寻找新的内燃机燃料，人们正研究如何获得化石燃料的替代品，以便充分利用知名的生产系统、既定材料供应和低成本的内燃机制造。

可持续燃料

1 即用型燃料：更高的混合水平，符合 EN228 或 EN590标准，来自可持续资源，如废料、生物（第二代 +），合成/可再生燃料

2 非即用型燃料：生物燃料、DME、CNG、LNG、合成物、可再生燃料（PTL 和 PTG）、氢，氨

3 未来燃料：新型零碳燃料

2020 2025 2030 2035 2040 ...

术语

缩写	说明
AI	人工智能。能够执行通常需要人类智慧的任务的智能机器和算法。
BEV	纯电动车
BTE	制动热效率是以百分比表示的，即基本发动机在曲轴处转化为有用机械功的能量（不含变速器和传动系统损失）。
CAV	互联自动驾驶汽车是一个概括性术语，用来描述与自动驾驶汽车有关的不同自主程度和技术。。
GhG	温室气体将热量积累在大气中。包括二氧化碳、甲烷、一氧化二氮和氟化气体。
HDV	重型汽车
ICE	内燃机
LCA	生命周期评估。评估产品生命周期所有阶段的环境影响（例如，从原材料提取，经过加工、制造、使用，最终回收/处置）。
ORC	有机朗肯循环。利用余热提供额外动力。这一原理与传统的蒸汽涡轮机相似，但使用有机流体而非水蒸气可以产生一些性能上的优势。
PM	颗粒物是指悬浮在空气中的有机物和无机物的固体和液体颗粒的复杂混合物。PM的数值范围表示污染物的浓度。
PN	微粒数表示不同大小微粒的数目，反映出微粒大小对所观察到的健康影响非常重要。
TPS	热推进系统。热推进系统是一款将发动机或燃料电池与热力系统/或电气系统进行集成的设备，用于管理向车轮输送的动力，并回收废弃物能源，以提高性能和效率。TPS 的主要特点是一次能量是通过化学方式储存的（而非像电池那样通过电化学方式储存）。
V2X	Vehicle-to-X 是指使所有车辆和基础设施系统互联互通的智能交通系统。

特别感谢 Spell Creative 和 Mindraft 帮助设计和撰写本报告，并感谢 BMG Research 代表 APC 执行并支持路线图的行业调查。

这是一个由 APC 促成的行业共识路线图

2020 年路线图更新期间的参与情况概览

参与更新的公司分布

109 个工业组织参加了研讨会和访谈

另有 38 个行业组织参与了网上调研

共有 147 个行业组织参与

国际参与情况

奥地利
比利时
英格兰
德国
荷兰
苏格兰
新加坡
瑞典
瑞士
美国
威尔士
日本