



Electric Machines
电机

Technology Roadmap

年技术路线图

2024



由英国先进推进中心代表英国汽车委员会制作。信息发布时正确无误。

Produced by the Advanced Propulsion Centre UK on behalf of the Automotive Council UK. Information correct at time of publication.



2024 年技术路线图介绍了汽车行业技术应用的情况。这些路线图有助于学术界、汽车行业和政策制定者了解研发 (R&D) 工作的重点，突出呈现了技术应用的关键里程碑，并通过支持性文件探讨了挑战和机遇。

各路线图的现有相关文件如下：

执行路线图

执行路线图总体概述了汽车行业大规模技术应用的预测。大规模技术应用需要在技术、供应链、制造和市场方面准备就绪，在某些情况下还需要做好监管准备。

叙述性报告

叙述性报告为执行路线图提供支持，介绍了路线图中各项技术的背景。该报告在介绍开发单项技术及其供应链所需进行工作的同时，还考虑了监管和市场驱动因素。

创新机遇报告

创新机遇报告旨在深入探讨实现路线图上涉及技术所需的研发步骤。



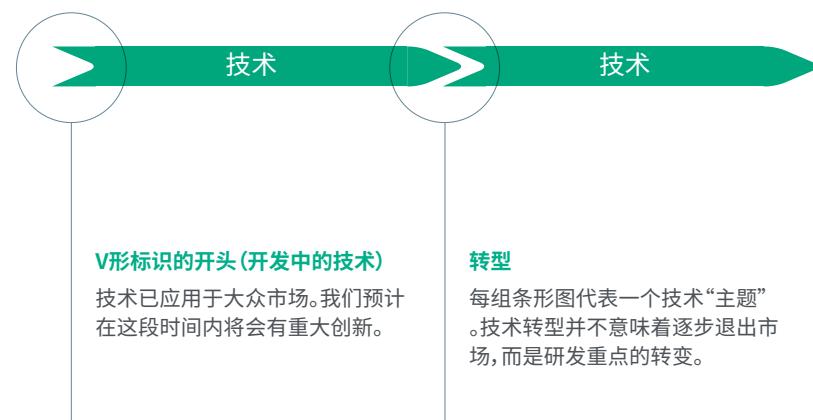
技术路线图



叙述性报告

技术路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测，即“时点快照”。

- 带技术说明的V形标识表示一项技术预计在汽车行业实现大众市场普及的时间。
- 技术的推广与落地往往呈现出地域差异，这一现象在执行路线图随附的叙述性报告里，得到了核实与深入的探讨。
- 汽车行业不同领域中技术的采用情况各不相同，路线图会对此进行相应说明，并在随附的叙述性报告中进行探讨。
- 部分技术在尚未被纳入路线图之时，便已然具备可行性；而诸多后来才出现的技术现在在技术层面已达可行标准。不过，路线图不仅考虑了技术成熟度，还考虑了市场、供应链和监管方面的影响。随附的叙述性报告对这些问题进行了探讨。
- 部分V形标识看似起始于代表 2025 年的时间刻度线处，这样的技术可视为现有技术。



	2025	2035	2040	
量产车技术	体积功率密度 (kW/l)	25	35	40
	重量功率密度 (kW/kg)	8	12	16
	峰值功率 (kW)*	120-250	>250	>250
	连续功率 (kW)*	50-150	150	≥150

	2025	2035	2040	
HDV	体积功率密度 (kW/l)	6	10	14
	重量功率密度 (kW/kg)	4	6	8
	峰值功率 (kW)*	250-500	300-500	400-500+
	连续功率 (kW)*	150-350	180-350	250-350+
	连续扭矩 (Nm)	480-800	800-1200	1000-1200+
	峰值扭矩 (Nm)	800-1500	1500-2000	2000+

	2025	2035	2040	
豪华车辆技术	体积功率密度 (kW/l)	35	50	60
	重量功率密度 (kW/kg)	8	14	18
	峰值功率 (kW)*	350	500	>500
	连续功率 (kW)*	230	400	>450

	2025	2035	2040	
非道路车辆(包括 NRMM) **	体积功率密度 (kW/l)	6	10	14
	重量功率密度 (kW/kg)	4	6	8
	峰值功率 (kW)*	<100	<150	<150
	连续功率 (kW)*	<55	<75	<75
	连续扭矩 (Nm)	480-800	800-1200	1000-1200+
	峰值扭矩 (Nm)	800-1500	1500-2000	2000+

	2025	2035	2040	
高性能车辆技术	体积功率密度 (kW/l)	35	50	65
	重量功率密度 (kW/kg)	10	15	23
	峰值功率 (kW)*	>500	500-800	>800
	连续功率 (kW)*	450	650	>650

*可能由多个电机提供

功率密度仅基于电机(包括电机的主动和被动质量)

连续功率和扭矩应至少持续 15 分钟(NRMM 为 260 分钟)

根据 ECE R85 的定义, 功率是指净功率

**叉车等功率要求较低的 NRMM

► 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

► 技术转型并不意味着逐步退出市场, 而是研发重点的转变。

► 流动时间部署: 这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识, 实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外, 它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测, 即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。

2025

2030

2035

2040

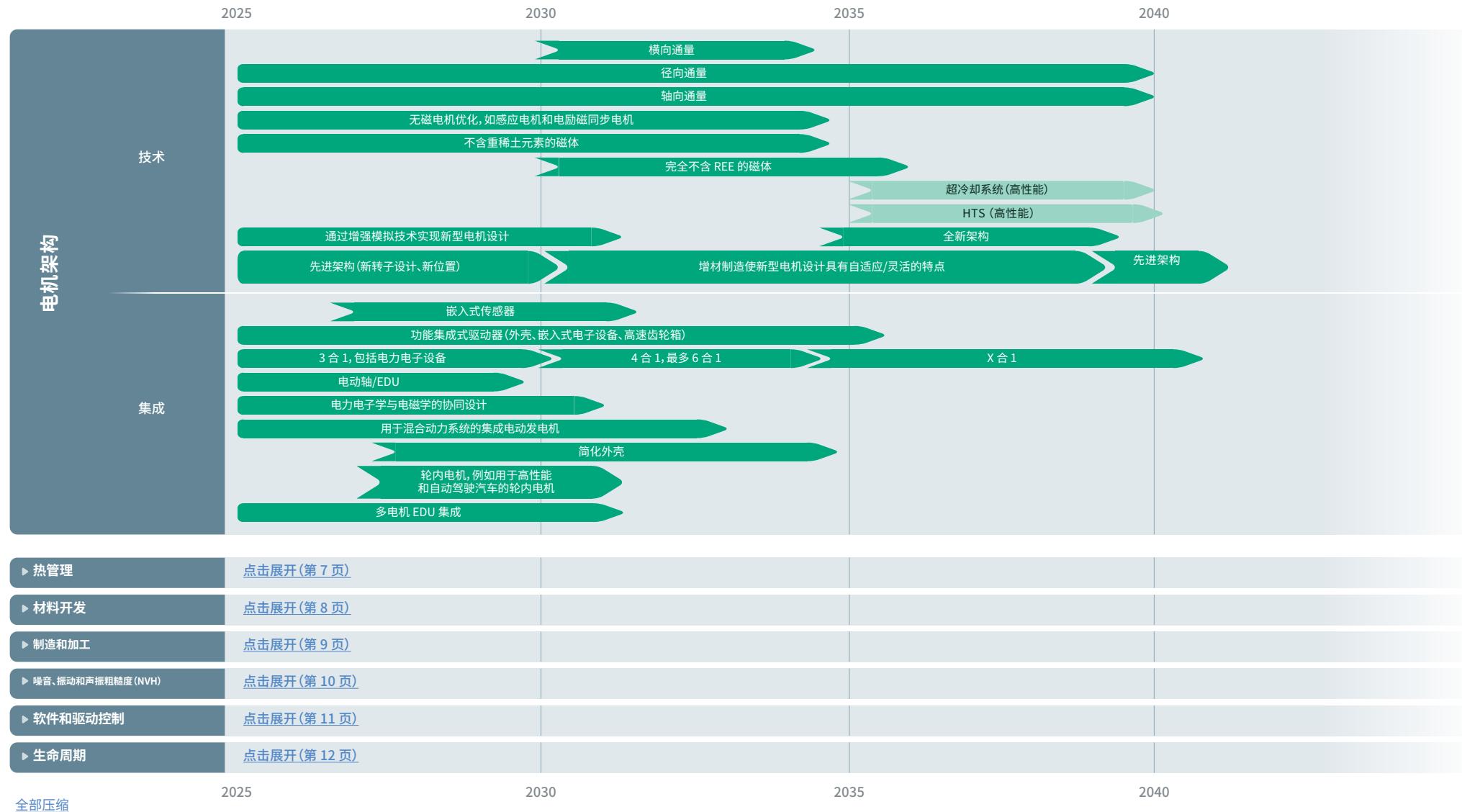
▶ 电机架构 - 技术 - 集成	点击展开(第 6 页)			
▶ 热管理 - 材料 - 设计	点击展开(第 7 页)			
▶ 材料开发 - 绕组 - 硬磁材料 - 软磁材料 - 其他	点击展开(第 8 页)			
▶ 制造和加工 - 外壳 - 绕组 - 定子/转子 - 其他	点击展开(第 9 页)			
▶ 噪音、振动和声振粗糙度(NVH)	点击展开(第 10 页)			
▶ 软件和驱动控制	点击展开(第 11 页)			
▶ 生命周期 - 生命周期影响 - 材料回收	点击展开(第 12 页)			
2025	2030	2035	2040	

 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

 技术转型并不意味着逐步退出市场，而是研发重点的转变。

 流动时间部署：这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识，实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外，它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测，即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。



► 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

► 技术转型并不意味着逐步退出市场，而是研发重点的转变。

► 流动时间部署：这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识，实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外，它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测，即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。

2025

2030

2035

2040

▶ 电机架构

[点击展开\(第 6 页\)](#)

▶ 材料开发

[点击展开\(第 8 页\)](#)

▶ 制造和加工

[点击展开\(第 9 页\)](#)

▶ 噪音、振动和声振粗糙度 (NVH)

[点击展开\(第 10 页\)](#)

▶ 软件和驱动控制

[点击展开\(第 11 页\)](#)

▶ 生命周期

[点击展开\(第 12 页\)](#)

2025

2030

2035

2040

[全部压缩](#)

▶ 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

▶ 技术转型并不意味着逐步退出市场, 而是研发重点的转变。

▶ 流动时间部署:这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识, 实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外, 它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测, 即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。

2025

2030

2035

2040

▶ 电机架构

[点击展开\(第 6 页\)](#)

▶ 热管理

[点击展开\(第 7 页\)](#)

绕组

增强型铜绕组, 如合金、层压和增强涂层

低成本成型 Litz 绕组, 如使用发夹式绕线工具

低成本、轻质绕组的替代材料, 如铝和镀铝层

高性能和高效绕组, 如石墨烯、HTS 等

碳纳米管或纳米材料

材料开发

硬磁材料

减少重稀土含量

不含重稀土元素的热压钕铁硼磁铁

原生稀土磁铁和次生稀土磁铁的混合物

高温弹性材料, 如铁氧体、氮化铁

烧结钕铁硼在大众市场应用中的替代品, 如铁氧体、SmCo 和粘结钕铁硼

聚合物粘结磁体

软磁材料

增强型电工钢, 如更高的硅含量

具有成本竞争力的新一代电工钢(具有本地化特性)

下一代电工钢, 如镍合金、CoFe 合金

为大批量汽车定制的 SMC, 如粒度小、饱和度低的 SMC

优化 SMC, 提高强度并降低损耗

用于高速电机的高强度钢

增材制造

其他

优化槽衬(减小厚度并增加传热量)

增材制造(外壳)

▶ 制造和加工

[点击展开\(第 9 页\)](#)

▶ 噪音、振动和声振粗糙度(NVH)

[点击展开\(第 10 页\)](#)

▶ 软件和驱动控制

[点击展开\(第 11 页\)](#)

▶ 生命周期

[点击展开\(第 12 页\)](#)

2025

2030

2035

2040

全部压缩

► 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

► 技术转型并不意味着逐步退出市场, 而是研发重点的转变。

► 流动时间部署:这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识, 实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外, 它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测, 即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。

2025 2030 2035 2040

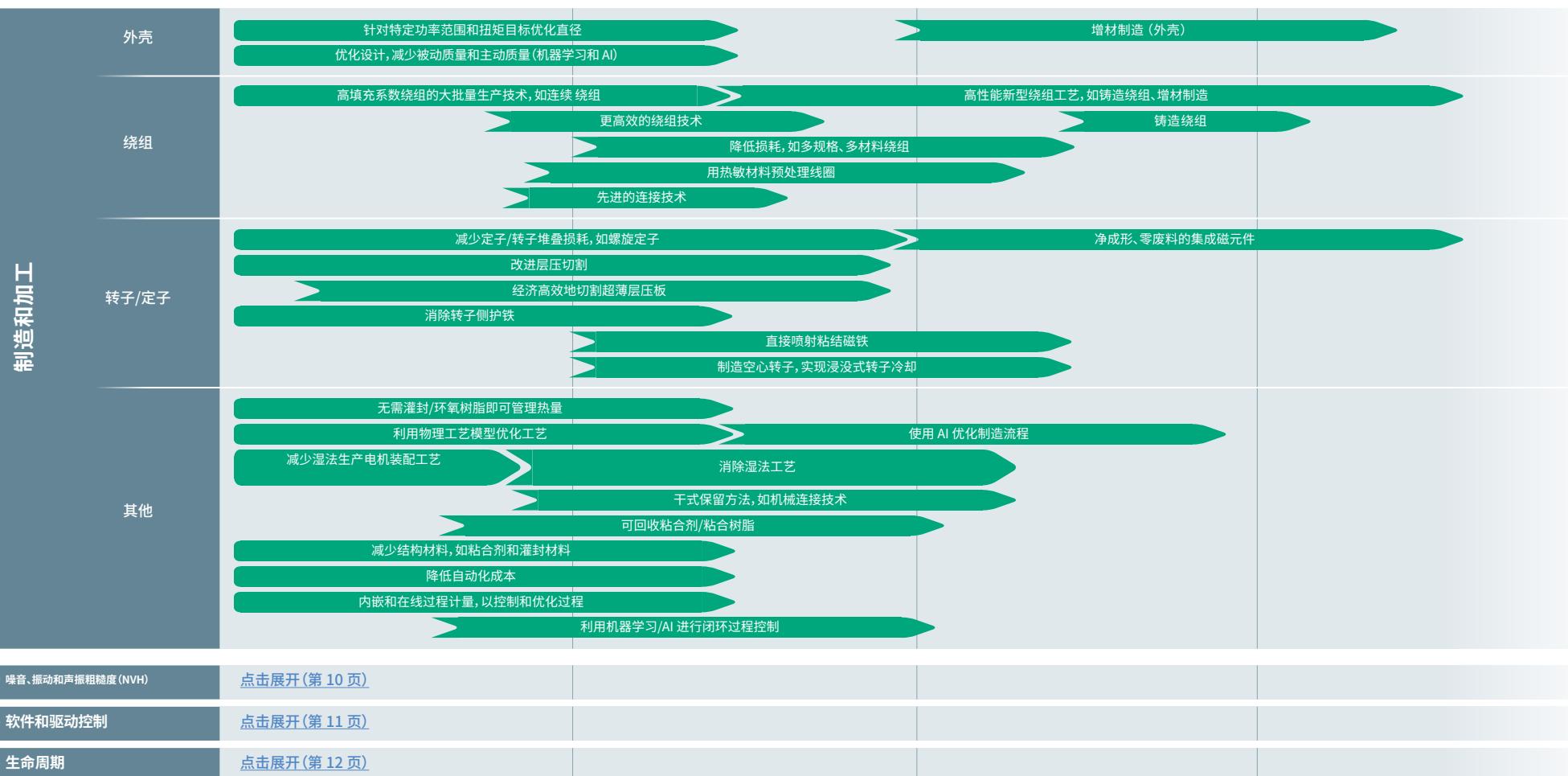
▶ 电机架构

[点击展开\(第 6 页\)](#)

▶ 热管理

[点击展开\(第 7 页\)](#)

▶ 材料开发

[点击展开\(第 8 页\)](#)

2025

2030

2035

2040

全部压缩

 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

 技术转型并不意味着逐步退出市场, 而是研发重点的转变。

 流动时间部署:这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识, 实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外, 它们可能会率先应用于小众车型。

 该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测, 即“时点快照”。
具体的应用定制技术因地区而异。

2025

2030

2035

2040

▶ 电机架构

[点击展开\(第 6 页\)](#)

▶ 热管理

[点击展开\(第 7 页\)](#)

▶ 材料开发

[点击展开\(第 8 页\)](#)

▶ 制造和加工

[点击展开\(第 9 页\)](#)
**噪音、振动
和声振粗糙度
(NVH)**

电机 NVH 管理 - 开关频率管理

摒弃 PWM 的先进控制技术

通过电机控制实现混合动力发动机振动的主动阻尼

NVH 优化设计

材料开发以优化性能, 如刚度、阻尼

轻质 NVH 减缓部件

与其他传动系统部件共同设计, 优化 NVH

基于物理模型和机器学习进行 NVH 模拟与设计优化

AI 优化 NVH 模拟和建模

利用 AI 优化 NVH 设计

▶ 软件和驱动控制

[点击展开\(第 11 页\)](#)

▶ 生命周期

[点击展开\(第 12 页\)](#)

2025

2030

2035

2040

全部压缩

 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

 技术转型并不意味着逐步退出市场, 而是研发重点的转变。

 流动时间部署: 这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识, 实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外, 它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测, 即“时点快照”。
具体的应用定制技术因地区而异。

2025

2030

2035

2040

▶ 电机架构

[点击展开\(第 6 页\)](#)

▶ 热管理

[点击展开\(第 7 页\)](#)

▶ 材料开发

[点击展开\(第 8 页\)](#)

▶ 制造和加工

[点击展开\(第 9 页\)](#)

▶ 噪音、振动和声振粗糙度(NVH)

[点击展开\(第 10 页\)](#)

软件和驱动控制



▶ 生命周期

[点击展开\(第 12 页\)](#)

2025

2030

2035

2040

[全部压缩](#)

▶ 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

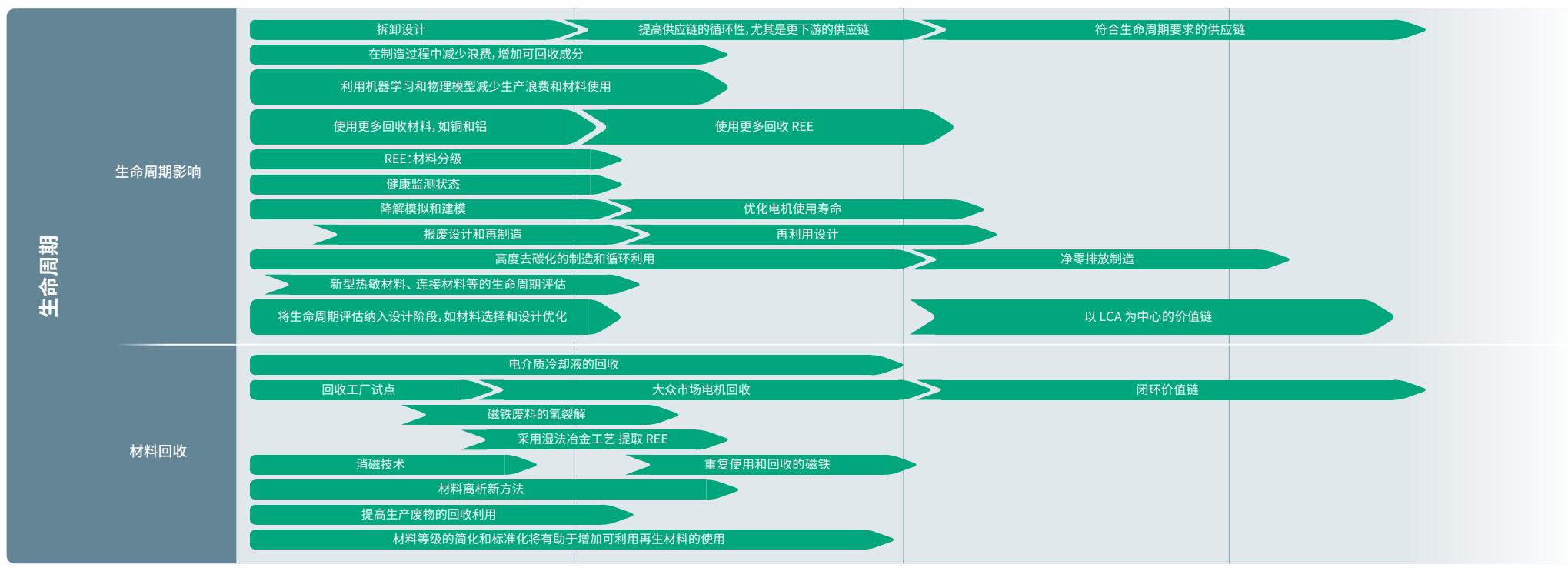
▶ 技术转型并不意味着逐步退出市场，而是研发重点的转变。

▶ 流动时间部署：这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识，实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外，它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测，即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。

2025 2030 2035 2040

▶ 电机架构	点击展开(第 6 页)			
▶ 热管理	点击展开(第 7 页)			
▶ 材料开发	点击展开(第 8 页)			
▶ 制造和加工	点击展开(第 9 页)			
▶ 噪音、振动和声振粗糙度 (NVH)	点击展开(第 10 页)			
▶ 软件和驱动控制	点击展开(第 11 页)			


[全部压缩](#)
 技术已应用于大众市场。我们预计在这段时间内将会有重大创新。

 技术转型并不意味着逐步退出市场, 而是研发重点的转变。

 流动时间部署:这些技术在时间轴上的出现时间尚未达成共识, 实施时间可能早于或晚于其出现的时间。此外, 它们可能会率先应用于小众车型。

该路线图展示了全球汽车行业驱动技术在大众市场普及中的时间节点预测, 即“时点快照”。具体的应用定制技术因地区而异。



APC	英国先进推进中心	LLM	大语言模型
AI	人工智能	LCA	生命周期分析
BEV	纯电动车	LDV	轻型车辆
BMS	电池管理系统	ML	机器学习
CO2	二氧化碳	MPC	模型预测控制
CO ₂ -eq	二氧化碳当量温室气体效应	NEV	新能源汽车
EDU	电驱动单元	NdFeB	钕铁硼
EESM	电励磁同步电机	NRMM	非道路移动机械
EV	电动汽车	NVH	噪音、振动和声振粗糙度
EU	欧盟	OEM	原始设备制造商
FOC	磁场定向控制	R&D	研发
FEP	氟化乙烯丙烯共聚物	REE	稀土元素
FCEV	燃料电池电动汽车	SMC	软磁复合材料
HDV	重型车辆	SmCo	钐钴
HTS	高温超导体	xEV	电动汽车
ICE	内燃机	ZEV	零排放车辆
IoT	物联网		

System-Level Roadmaps

系统级路线图



Mobility of People
人员交通



Mobility of Goods
货物运输

Technology Roadmaps

技术路线图



Electric Machines
电机



Power Electronics
动力电子设备



Electrical Energy Storage
电能存储



Lightweight Vehicle and
Powertrain Structures
轻型车辆和动力总成结构



Internal Combustion
Engines
内燃机



Hydrogen Fuel Cell
System and Storage
氢燃料电池系统和存储

Find all the roadmaps at

请访问以下网址, 查看所有路线图:

www.apcuk.co.uk/technology-roadmaps



Established in 2013, the Advanced Propulsion Centre UK (APC), with the backing of the UK Government's Department for Business and Trade (DBT), has facilitated funding for 304 low-carbon and zero-emission projects involving 538 partners. Working with companies of all sizes, this funding is estimated to have helped to create or safeguard over 59,000 jobs in the UK. The technologies and products that result from these projects are projected to save over 425 million tonnes of CO₂. The APC would like to acknowledge the extensive support provided by industry and academia in developing and publishing the roadmaps.

英国先进推进中心(APC)成立于2013年,在英国政府商业贸易部(DBT)的支持下,已为304个低碳和零排放项目提供了资金支持,涉及538个合作伙伴。通过与各种规模的公司合作,这笔资金估计帮助英国创造了或保障了59,000多个工作岗位。这些项目所产生的技术和产品预计可减排超过4.25亿吨二氧化碳。APC感谢业界和学术界为路线图的制定和发布提供的广泛支持。