白皮书

中国零排放中型和重型车的技术及商业化路径

Baha M. Al-Alawi, PhD. 博士
Owen MacDonnell
Cristiano Façanha, PhD. 博士
CALSTART

2022年3月

声明

本项工作得到了能源基金会（美国）北京办事处 (Energy Foundation China)、气候工作基金会（ClimateWorks Foundation)以及威廉和弗洛拉·休利特基金会（William and Flora Hewlett Foundation）的慷慨支持。作者感谢加州空气资源委员会（California Air Resources Board）在零排放重型车投资计划方面与CALSTART的通力合作，该合作为指导零排放技术的推广和使用的Beachhead Strategy奠定了基础。作者感谢CALSTART的Kevin Walkowicz, John Zhang和Justin Slosky对该报告早期版本的建议，还要感谢俞凌燕对报告中文版本的翻译，以及CALSTART的邱茵和宋舒涵的中英文校对。本报告的任何错误都归于作者自身。

全球商用车辆 Drive to Zero

www.globaldrivetozero.org
@TeamDriveToZero

CALSTART

www.calstart.org
@calstart

© Copyright 2022 CALSTART

目录

声明 ii
缩略语及定义 iv
图目录 v
表目录 vi
执行摘要 vii

1. 背景和研究动机 **1**
1.1. 中国的零排放MHDV市场 2
1.2. OEM领导力 3

2. 目标形成的方法论 **5**
2.1. MHDV分类 7
2.2. 零排放技术路径 10

3. 结果 **11**
3.1. ZE-MHDV在各车辆类别的销售目标 11
3.2. 中国销售目标与加州ACT和ICT法规的比较 14
3.3. B到2050年及以后的ZE-MHDV目标下的效益和避免的温室气体排放 15

4. 结论与对未来研究的展望 **17**

附录A：车辆分类 **18**
参考文献 **21**

缩略语及定义

ACT	《先进清洁卡车（ACT）法规》
CARB	加州空气资源委员会
COP 26	第26届联合国气候变化大会
GHG	温室气体
GVWR	车辆总重量等级
HVIP	混合动力及零排放卡车及客车代金券激励计划
ICT	《创新清洁运输规则》
MHDV	中重型汽车
MOU	谅解备忘录
NEV	新能源汽车
NGO	非政府组织
OEM	汽车制造商/原始设备制造商
PF	优选因素
PTO	动力输出单元
VMT	车辆行驶里程
ZE	零排放
ZEB	零排放客车
ZE-MHDV	零排放中型和重型车
ZEV	零排放汽车

图目录

图ES-1. 中国按车辆类别划分的ZE-MHDV新车销售市场份额目标

图2. The Beachhead Strategy

图3. 中国ZEB销量（单位：辆）

图4. Drive to Zero市场预测模型

图5. 中国的第二层级MHDV划分情况图

图6. 中国按车辆类别划分的ZE-MHDV销售目标

图7. 中国ZE-MHDV销售目标与加州ACT和ICT法规的比较

图8. 每年中国新ZE-MHDV运营所避免的原油消耗桶数

图9. 新ZE-MHDV运营下全球和中国避免的原油消耗桶数对比

图10. 第一层级（Tier 1）车辆划分

表目录

表1. OEM对ZEV销售和碳中和的承诺

表2. 分析模型参数

表3. 美国和中国之间的卡车分类比较（公吨）

表4. 车辆分类和层级划分

表5. 按参数划分的模型控制选项

表6. 全球MHDV分类（公吨）

表7. 车辆类型定义

执行摘要

本分析报告根据近期发布的全球卡车和公交车谅解备忘录（MOU），对中国到2050年的零排放中型和重型车（ZE-MHDV）销售目标进行了预测。认识到中重型汽车（MHDVs）在道路燃料消耗、温室气体（GHG）排放和绝大多数威胁健康的污染物中占很大比例，因此我们必须加紧行动，将柴油动力车转向更清洁的零排放汽车（ZEV）替代品。MHDVs不仅决定着货物和人员的运输方式，而且在全球市场上的数量预计将继续增加，其不利影响只会随着时间的推移和不作为而加剧。

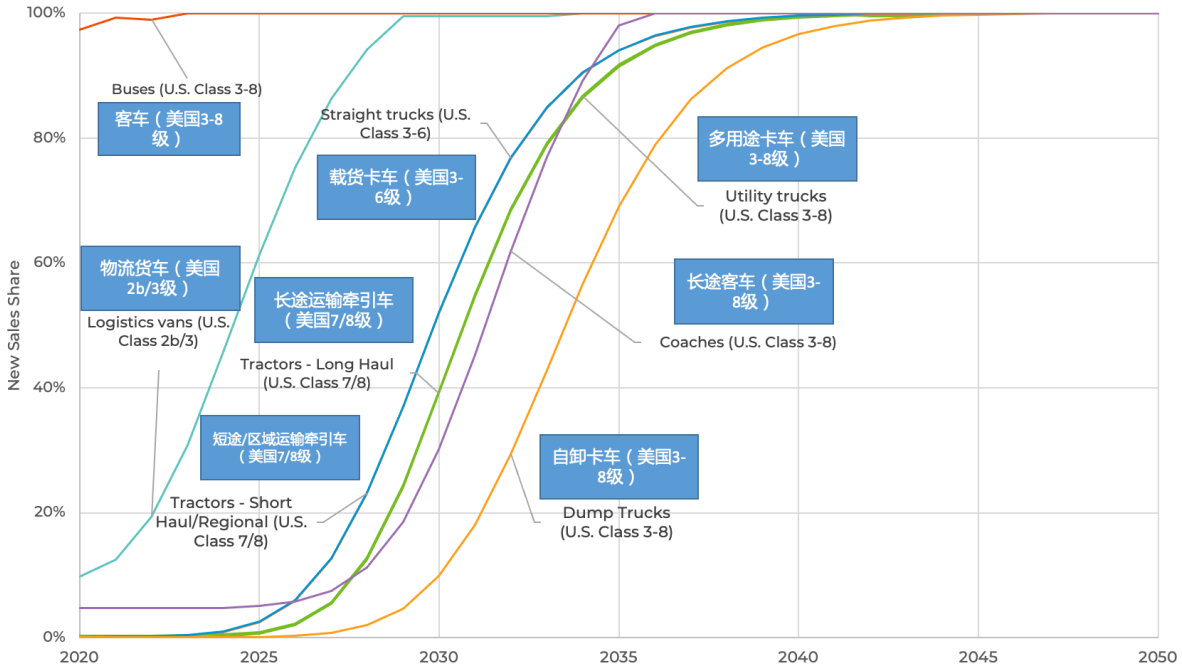
2020年9月，中国国家主席习近平宣布了力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标和战略部署。中国已经成功地推动了乘用车和客车的电动化，但在重型卡车方面却尚未取得同样的成功。值得注意的是，以柴油为动力的重型车是温室气体（GHG）排放和空气污染的主要贡献者。在中国，卡车占道路车辆的10.9%，但却占道路温室气体排放的46.9%，占所有道路车辆的氮氧化物（NOX）排放的83.5%以及颗粒物（PM）污染的90.1%（ICCT 2021）。

本文的分析预测认为中国有能力实现2021年格拉斯哥COP26会议上发起的ZE-MHDVs全球谅解备忘录（MOU）的宏伟目标。该MOU由荷兰政府和CALSTART牵头，由15个国家共同签署，目标是到2040年所有MHDV类别车辆的销售100%为零排放车辆，其中期目标是到2030年零排放车辆销售占比达30%。这份全球MOU在很大程度上借鉴了加州首个《先进清洁卡车（ACT）法规》所确立的雄心和具体目标，旨在协调和统一全球推进ZE-MHDVs的行动。

本分析报告使用CALSTART的 "Drive to Zero"市场预测模型来估计ZE-MHDV在中国的道路车辆采用率。该模型使用五个输入参数，即：技术成熟度、车队偏好、供应规模可扩展性、基础设施可用性和车队创新情况。本分析套用为全球MHDV市场搭建的框架，并使用中国车辆数量的最佳可用数据，将其应用于中国市场。销售目标预测根据车辆的用途、类型和重量分为八个类别（segments）。尽管本分析是技术中立的，但必须声明在建模中使用的假设是基于纯电池电动技术，主要是由于该技术在每个MHDV类别都有着较广泛的商业应用，而且这一技术在整个中国市场普及度较高。我们使用上述五个参数建模形成曲线，并且对每个输入参数进行调整，以反映基于现有信息预测的最快采用路径。

研究结果显示，零排放客车在早期被市场采用，进而确立了零排放车型在新车销售方面的全面渗透，反映了该技术的实际运营情况和有效激励措施在早期市场中起到的推动作用。虽然从销售的角度来看， 物流货车（logistics vans）的采用率远不及客车，但在脱碳道路上，物流货车仍然取得了重大进展，其销量预计在未来几年将迅速扩大。这种预计是基于一系列有利的条件，如在城市中运营、较低的行驶周期（duty cycles）要求和迅速追平的总拥车成本。下面的深蓝色曲线显示了载货卡车（straight trucks）和区域运输牵引车（regional haul tractors）的预计采用路径。这两种卡车都受益于在城市化环境中行驶相对较短的距离，通常与公交巴士类似在基地过夜充电，从而简化了配套基础设施开发要求。

图ES-1. 中国按车辆类别划分的ZE-MHDV新车销售市场份额目标



绿色曲线显示的长途运输牵引车（long-haul tractors）的电动化进度稍晚一些，与多用途卡车（utility trucks）非常接近。由于可用承重、续航里程和基础设施（主要是在基地中为私人所有）等条件的限制，目前市场上可用的电池技术最适合应用于中短距离的区域运输和短途拖车（drayage）。然而，来自全球汽车制造商（OEMs）的乐观情绪正在推动零排放长途卡车的创新，有迹象表明，这一领域的商用化速度将比预期更快，尤其是在中国。预计长途客车（coaches）的进度将略晚于多用途卡车和牵引车，并可能在2035年达到销售饱和。这一类别大大受益于现有的零排放公交客车的动力系统和电池技术发展，为Beachhead Theory of Change所提及的技术转移提供了一个良好的例子。最后一条橙色曲线代表了自卸卡车（dump trucks）的未来采用路径。这是一个在中国广泛存在的独特类别，覆盖了较轻的3级（class 3）车型一直到非常重型的8级（class 8）车型。由于该类别的运营和电力/能源需求有很大的可变性，其进度预计比其他类别车型要缓慢，但不排除在某些技术准备就绪的情况下局部地采用电动化。

以上结果展示了符合中国国情的汽车类别的电动化采用路径，尤其是强调了在车辆数量、行驶周期和用途（vocations）等特征方面的差异。该模型在数据充分的情况下可以实现较高水平的细节和精度。但是，该模型的固有局限性在于无法准确捕捉特定国家MHDV市场和形势的隐性变化和独特属性。缺乏更加详实的数据限制了本报告在八个车辆类别基础上进行更加精确的分类和建模，这是未来研究需求的重点。

该分析还量化了新的ZE-MHDV的运营所带来的温室气体排放减少和燃料节约以达到该模型中制定的销售市场份额目标。根据本分析中的中国ZE-MHDV销售目标，2050年新销售的MHDV的运营将减少16.2亿桶原油（约274万桶/日）耗用和2.01亿吨温室气体排放。

本分析中的ZE-MHDV销售目标预测提出了一种对中国市场零排放运输技术的未来愿景。尽管中国在零排放车辆的销售和采用上看处于领先地位，但中国政府目前制定的目标尚未准确反映零排放中重型汽车在该地区的技术、经济和运营可行性的现实。总而言之，本分析不仅说明了中国在零排放中重型车辆的销售上处于领先地位，同时证明中国有能力实现ZE-MHDVs全球谅解备忘录（MOU）的宏伟目标。模型中的发展路径将有助于中国保持在技术创新、气候变化和空气污染治理领域的前沿地位。

1

背景和研究动机

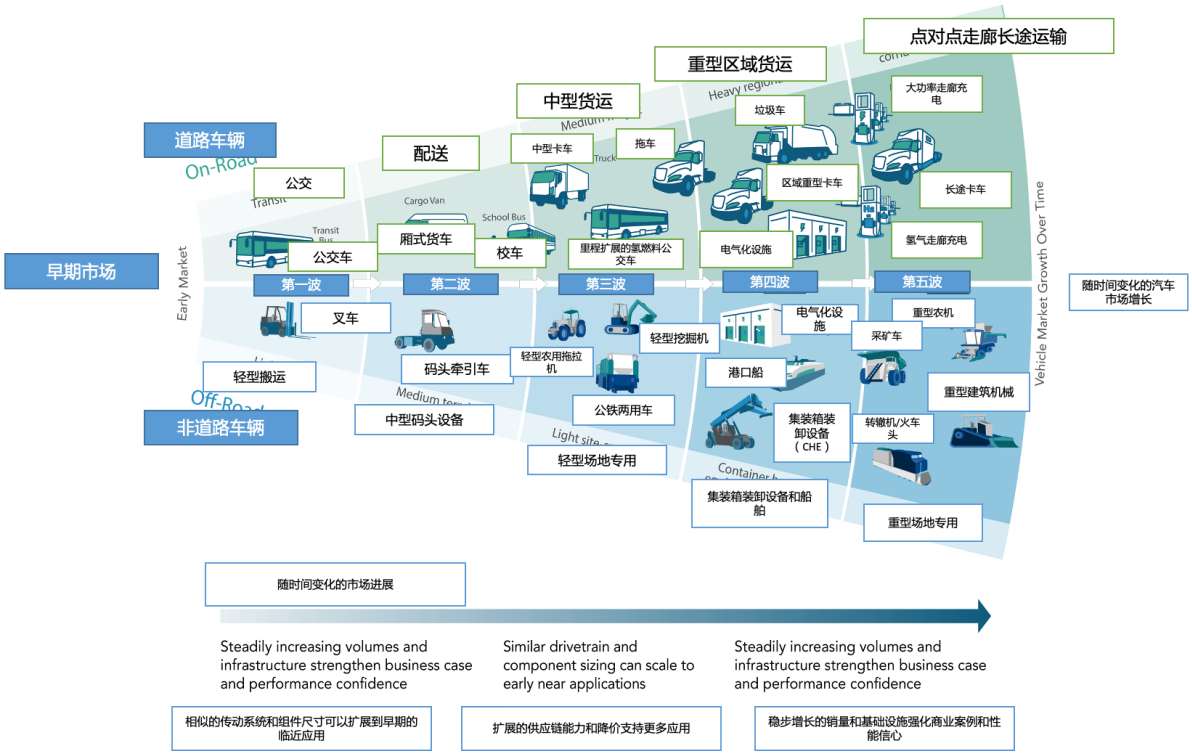
2020年9月，中国国家主席习近平宣布了力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标和战略部署。尽管中国已经成功地推动了乘用车和客车的电动化，但在重型卡车方面却尚未取得同样的成功。而以柴油为动力的重型车却是温室气体（GHG）排放和空气污染的主要贡献者。在中国，卡车占道路车辆的10.9%，但却占道路温室气体排放的46.9%，占所有道路车辆的氮氧化物（NOX）排放的83.5%以及颗粒物（PM）污染的90.1%（ICCT 2021）。

这些车辆对温室气体排放和其他有害污染物产生不成比例的影响，使它们对空气质量和气候都构成了威胁，因此也成为脱碳的一个主要目标。商用车辆特别是货车的排放，预计在未来几十年内也将显著增加。从2020年到2050年，货运的温室气体排放量预计将增加一倍，在此时间内，与燃烧柴油相关的有害颗粒物（PM2.5）预计将增加40%以上（CALSTART, 2020）。如果要对气候变化采取有意义的行动，就必须有协调一致的全球承诺，以减少道路MHDVs的影响，并确保未来的卡车运输和货物运输不会对环境和公共健康产生不利影响。

在推进交通运输部门的脱碳方面，乘用车（passenger vehicles）和轻型车一直是政策、激励措施和技术发展的优先事项。然而，考虑到道路车队中相对较小的份额所造成的不成比例的排放影响，在这些较为重型的车辆类别也需要得到更高的政策关注。对ZE-MHDV技术能力和车型可用性的认识滞后于目前市场上提供的产品，因此限制了决策者根据技术现实情况作出明智政策选择的能力。对于部分车辆类别，如公交车、城市配送（urban delivery）和区域运输等，已经在很大程度上克服了如续航里程和运营可行性等主要障碍，所有车辆类别均拥有可以满足或超过这些运营特征驾驶周期的车型(CALSTART, 2021)。大多数成本分析已经预测，所有的ZE-MHDV应用将在2030年之前实现成本平价。然而，一些拥有总成本（total-cost of ownership）分析显示，基于中国市场更先进的状况，中国几乎所有主要的重型车类别都可能在2030年之前达到成本平价，尤其是结合政策干预的情况下(ICCT 2021b)。

通过专注于目前可以电动化的ZE车型的车辆类别，生产规模可以更快地扩大，技术也可以通过跨平台转移。这种方法反映了Beachhead Theory of Change，一个由加州空气资源委员会和CALSTART合作开发的框架，以加速ZE-MHDV的战略部署（图2） (CALSTART, 2020a)。

图2. The Beachhead Strategy



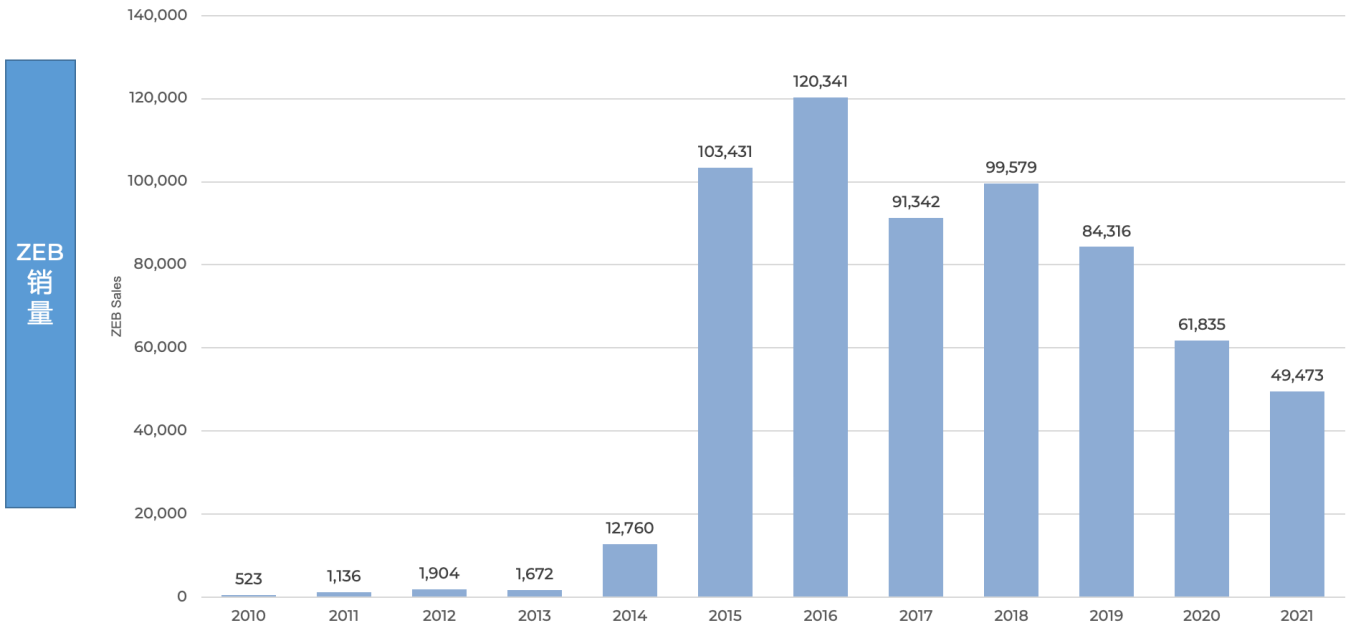
随着气候紧迫性不断增强且各国制定更高的目标，以实现巴黎气候协议目标，ZE-MHDVs可以带来关键的气候变暖减排，并帮助各国实现其气候承诺。尽管对于许多MHDV应用而言，ZE技术越来越具有商业可行性和成本竞争力，但仍需要各国政府发出更强大的信号来触发更快的车辆电动化。

在第26届联合国气候变化大会(COP26)的历史性声明中，15个主要国家和地区承诺支持一份全球谅解备忘录（MOU），目标是到2040年实现100%的ZE-MHDV销售，到2050年实现净零碳排放。该MOU的签署方包括各国家和地区政府以及来自私营部门和非政府组织（NGOs）的合作伙伴。奥地利、加拿大、智利、丹麦、芬兰、卢森堡、荷兰、新西兰、挪威、苏格兰、瑞士、土耳其、英国、乌拉圭和威尔士都承诺支持该MOU，同意到2030年实现ZE-MHDV销售占比30%，到2040年实现ZE-MHDV销售占比100%。这项具有里程碑意义的协议从加州首个《先进清洁卡车（ACT）法规》中获得了重要灵感，该法规同样要求在2035年之前，MHDV的销售份额逐步为零排放车辆(CARB，2021年)。

1.1. 中国的零排放MHDV市场

毫无疑问，作为新能源汽车(NEV)技术的先驱，中国在向新能源进行重要过渡方面取得了重大进展。目前，中国市场占全球ZE-MHDVs存量的近99%，主要集中在城市公交领域，这是实现清洁空气和城市的优先事项（ICCT，2021c)。中国制定了货币补贴体系，以刺激零排放公交车(ZEBs)的增长。ZEB在2013年至2016年实现明显增长，之后年销量逐步下降，但仍然比其他任何国家或地区高几个数量级（图3）。

图3. 中国ZEB销量（单位：辆）[1]



中国主要城市如深圳、广州和大连已经在中央、省级和地方政府的密切协调和国家补贴的协助下，完成了其公交车队的全电动化工作。在试点的高峰期，购置的ZEB可能有资格获得总计高达15万美元的补贴，这是这段时间公交车电动化的主要驱动因素 （WRI， 2018）。从2018年开始，公交车补贴收紧并退坡，以千瓦时容量为标准，最高为3000元/千瓦时。如果没有像加州ACT法规这样的严格规定，中国正失去一个巩固市场发展势头的重大机会，即要求汽车制造商不断提高NEVs的销售份额。虽然中国的《节能与新能源汽车技术路线图（2.0版）》提出了随时间推移的重型新能源汽车（HD-NEV）目标，但到2035年达到占比20%的峰值目标明显不如其他不如中国市场发达的地区的目标那样雄心勃勃，且该路线图没有对私营部门施加足够的压力，以加快新能源汽车的开发和采用。

1.2. 汽车制造商（OEM）的领导力

政府对ZE-MHDVs的推崇也因汽车行业的雄心而得到加强。例如，欧洲汽车制造商协会（包括斯堪尼亚（Scania）、戴姆勒（Daimler）、福特（Ford）、曼恩（MAN）、达夫（DAF）、依维柯（Iveco）等汽车制造商的联合组织）宣布到2040年所有新销售的商用车必须是非化石燃料的，以确保到2050年实现碳中和。表1突出展示了MHDV制造商迄今为止所做出的承诺，这些承诺与全球谅解备忘录的目标高度一致。

1 来源：EV Volumes

表 1. OEM对ZEV销售和碳中和的承诺(CALSTART 2021a)

OEM	承诺	日期
通用集团（GM Group）	在全球产品和运营中实现100%的碳中和	2040
斯特兰蒂斯（Stellantis）	欧洲市场低排放汽车销量占比70%，在美国占比40%	2030
福特集团（Ford Group）	100%非化石燃料新车销售	2040
戴姆勒集团（Daimler Group）	在欧洲、北美和日本的100%碳中和	2039
丰田集团（Toyota Group）	到2050年，全生命周期100%碳中和	2050
长安汽车集团	100%电动汽车销售	2025
长城汽车股份有限公司(GWM)	100%碳中和，中期目标是到2025年新能源汽车销量占比达到80%	2045
Mahindra & Mahindra	在运营中实现100%碳中和	2040
大众集团（VW Group）	资产负债表100%碳中和	2050
雷诺汽车（Renault）	全球100%碳中和，中期目标是到2040年欧洲市场率先实现100%碳中和	2050
尼桑（Nissan）	贯穿整个运营和产品生命周期的100%碳中和	2050
三菱（Mitsubishi）	100%碳中和，到2030年电动汽车销量占比达到50%	2050
五十铃（Isuzu）	在车辆运营和工厂表中实现100%碳中和	2050
Paccar	100%非化石燃料新车销售	2040
铃木（Suzuki）	在驾驶作业中减少90%的二氧化碳排放	2050
沃尔沃卡车集团（Volvo Trucks Group）	100%非化石燃料新车销售	2040
CNH Industrial	100%非化石燃料新车销售	2040
本田（Honda）	北美实现100%纯电动和燃料电池汽车销售，中期目标是到2030年达40%，到2035年达80%	2040
马自达汽车（Mazda）	在驾驶作业中减少90%的二氧化碳排放	2050
现代起亚汽车集团（Hyundai Kia Automotive Group）	在所有运营中实现100%碳中和	2050

研究包括所有2020年销量超过10万的原始设备制造商，以及公开可得的70%-100%ZEV销售或碳中和的承诺。根据截至2021年7月15日的公开信息

本报告接下来的部分对ZE-MHDV目标和特定车辆采用曲线的输入参数、假设和方法论进行阐述，以确定全球谅解备忘录中的目标。根据车辆的重量分类和用途，确定到2040年实现ZE-MHDV销售达100%的路径，以便在现有数据的基础上尽可能准确地代表各地区广泛的车辆群体。本研究通过建模形成预测，使用全球车辆数据和五个定量和定性参数，包括技术成熟度、车队需求、供应规模可扩展性、基础设施可用性和车队创新情况。

2

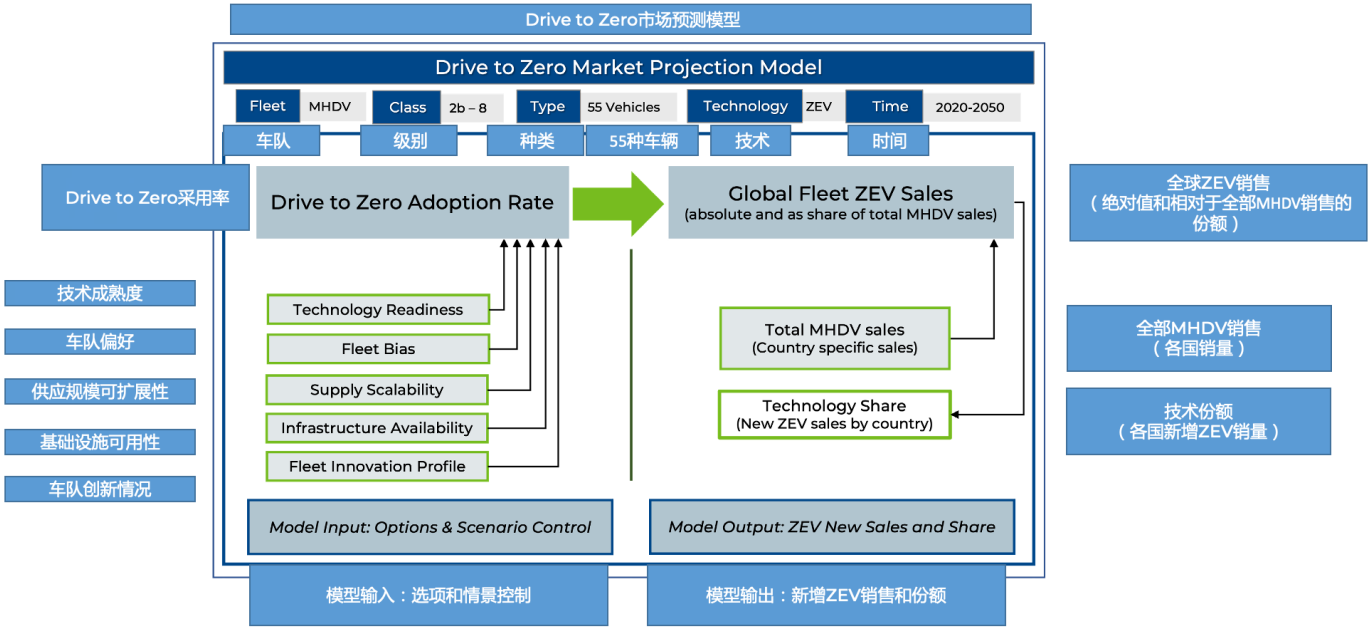
目标形成的方法论

对ZE-MHDV未来的采用情况进行预测，对于政策规划、车辆市场评估以及车队和基础设施战略规划及部署至关重要。对未来市场行为的预测取决于诸多假设，这些假设是受当前对市场可能采用ZE技术的速度的条件和期望所影响的。此外，这也是一个动态的、新兴的市场，因此本分析报告中的结果将随着技术的发展而经常修订。

本分析报告使用CALSTART的“Drive to Zero”市场预测模型来估计各国道路ZE-MHDV的采用率（Al-Alawi, 2021）。该模型是一个互动的、用户友好的投入/输出（I/O）模型，它结合了CALSTART的Beachhead Theory of Change来预测不同区域市场的ZE-MHDV（CALSTART, 2020a）。这意味着，该模型考虑了随着零排放技术不断成熟，各车辆类别的技术转移潜力。例如，由于公交车的用途使其能够更灵活地驾驭电动化中的挑战，使得零排放技术在公交车上更易获得和应用。公交车几乎总是沿着已知的、相对较短的城市路线行驶，并在夜间返回基地充电。随着零排放技术不断成熟，相关技术会转移到其他车辆类别，如城市配送车辆、中型卡车，并最终转移到沿较长路线行驶的重型车辆。该模型支持基础设施规划、政策规划和技术/燃料评估。该预测模型使用定量及定性方法模拟决策者（即车队所有者、汽车制造商和政策制定者）的技术采用情况。对这个模型和相关的方法论、参数和结果的更详细描述，已作为将全球预测应用于特定国家或地区的框架进行发表（CALSTART, 2022）。

图4说明了综合分析模型的组成部分和交互作用。该模型按车辆应用，估计了2020年至2050年间ZE-MHDV占MHDV总销量（产出）的份额（见结果章节）。

图4. Drive to Zero市场预测模型（CALSTART, 2022）



这些预测的目的是为ZE-MHDVs制定雄心勃勃且可行的目标，即达到2050年按应用和地区划分的新车销售份额。这样大胆的预测是为了与世界各国政府和全球制造商宣布的目标相一致，确保到2040年实现100%的新MHDV销售为零排放车，并在2030年达到30%的中期目标。同时，预测也是可行的，因为它们考虑了技术成熟度、供应规模可扩展性、车队对不同车辆类别新技术的偏好。

车队购置ZE-MHDV的决策在定量和定性上均有考虑。从预测总市场规模开始，对需求反应进行建模，包括表2所列五个参数中的三个，即 （1）技术成熟度（即技术的可用性和对特定应用场景的适用性）；（2）车队偏好（即对技术风险和可靠性的偏好，以及车队对一项新技术建立信心所需的时间）；（3）供应规模可扩展性（即制造商扩大生产规模的速度）。该模型还能够考虑基础设施的可用性和车队的创新情况，但为求精简和缺乏数据等客观因素，其余这两项未在本分析中明确使用。

表2. 分析模型参数（CALSTART, 2022）

参数	描述
技术成熟度	该技术的可用性和适用性，这取决于技术、位置、车辆类型、应用和时间。
车队偏好	个体对新技术的偏好（考虑到新技术的风险和可靠性），以及车队所有者对新技术建立信心所需的时间。
供应规模可扩展性	制造商能够扩大生产规模的速度，这取决于规模、采购能力和运营能力。
基础设施可用性	车队所有者对充电/加油的基础设施可用性的行为反应，这取决于私人和公共基础设施的使用。
车队创新情况	车队采用一种新技术的速度，基于用户行为理论（consumer behavior theory），基于技术采用情况（如创新者、早期采用者）对车队进行分层。

这些参数由基于市场和车队行为知识的概率曲线表示，以反映不同的ZE-MHDV采用率。虽然每个参数可以考虑一系列的采用情景，本分析仅考虑到2050年每个车辆类别的每个参数的最积极的全球情景。ZE-MHDV采用率基于表1中列出的五个参数，并在以下章节中更加详细描述。

2.1. MHDV分类

本分析按车辆类别确定了ZE-MHDV的销售目标，认识到零排放技术的采用率和时间框架因应用而异。例如，在早期，零排放技术在城市公交车上比在长途卡车上更容易应用。

MHDV分类因国家而异，通常基于车辆类型（如汽车、公交车、厢式货车、卡车）和车辆总重等级（GVWR）。表3比较了美国的MHDV分类系统与中国的对等分类，以增加本报告对各种车辆类型讨论的清晰度。

表3. 美国和中国之间的卡车分类比较

美国		中国	
		卡车	牵引车
级别	重量	重量	重量
2b	3.86 – 4.54	3.5 – 4.5	3.5 – 18
3	4.54 – 6.35	4.5 – 5.5	
4	6.35 – 7.26	5.5 – 7	
5	7.26 – 8.85	7 – 8.5	
6	8.85 – 11.79	8.5 – 10.5	
7	11.79 – 14.97	10.5 – 12.5	
8a	14.97 – 27.22	12.5 – 16	
		16 – 20	18 – 27
		20 – 25	
8b	> 27.7	25 – 31	27 – 35
		> 31	35 – 40
			40 – 43
			43 – 46
			46 – 49
			> 49

然而，由于车辆分类系统通常不包括用途（即车辆如何运营）或更详细的车辆类型，本分析和底层模型考虑到了不同层级的车辆分类方法以确保模型的有效性。在最笼统的分类系统中，车辆可分为轻型、中型和重型车辆三大类（表4中的第四层级）。在美国，道路商用机动车共分为七个级别（classes），其中LHDVs以2b级为代表，MHDV以3-6级为代表，HHDV以7-8级为代表（表4中的第三层级）。最常见的车辆分类系统类似于第三层级和第四层级（表4），但这不足以确定具体的车辆用途，以准确预测全球销量情况。例如，卡车和公交车可以归入同一级别（classes），配送和建筑卡车在第三层级（Tier 3）也可以归入同一级别（classes），尽管它们有明显不同的运行特点。这不足以准确预测细分市场的销售渗透率，因为车辆用途将极大地影响车辆的脱碳潜力。关于全球商用车分类系统划分的更多细节，请见附录A。对于本项分析，为了评估零排放技术的适用性，需要对车辆进行进一步的细分，即考虑汽车的用途而不仅仅是重量等级。根据加州混合动力和高效先进卡车研究中心(CalHEAT)的方法以及Beachhead Theory of Change的最新指导，第二层级（Tier 2）根据车辆类型和用途将车辆分为八类（categories） (CALSTART, 2013) (CALSTART, 2020a)。最细分的第一层级（Tier 1）仅适用于有逐个车型的车辆数据的情况（见附录A）。

表4. 车辆分类和层级划分

层级 （TIER）	描述	组
4	最笼统集中：将车辆分为三个不同的门类：轻型HDV（2b-3级）、中型HDV（4-6级）和重型HDV（7/8级）	3个门类
3	集中度减少：按级别定义车辆（2b-8级）	7个级别
2	细分减少：CalHeat的方法，根据车辆类型和用途将车辆分为8类	8个门类
1	最细分：仅适用于美国。在美国HDV注册数据允许进一步的信息分层，如制造商、车型、用途、运营商业务类型和级别。	77个细分类别

由于大多数国家的车辆数据只能按品牌而不是按型号提供，第二层级的方法最全面，也是本分析中应用的划分方式。图5描述了第二层级中的每个车辆类别，根据车辆类型、重量级、用途和技术适用性区分，并提供了每个类别的指示性车型。 由于该方法论最初是为美国市场开发的，第二层级中的一些原始类别必须依照中国占主导地位的MHDV细分类别进行调整。虽然主要是命名（nomenclature）问题，自卸车(dump trucks)和多用途卡车(utility trucks)是在中国市场重要的细分类别，但在美国却不那么突出。在美国，这些车辆被归为跨越多个用途的不同类别。图5展示了为中国市场建模的8个细分类别各自对应的指示性车型及其属性。

图5. 中国的第二层级MHDV划分情况图



2.2. 零排放技术路径

本分析所指的零排放车是尾气零排放的车辆，同时认识到能源生产和配送中产生的上游排放可能是相当大的，需要与车辆尾气排放同时进行去碳化。尽管本分析是技术中立的，但由于纯电动技术（battery-electric technology）在每个MHDV类别都有更广泛的商业应用，因此建模中使用的假设基于纯电动技术。然而，本分析中ZE-MHDVs的目标不仅包括纯电力技术，还包括其他实现零尾气排放的途径，如氢燃料电池驱动的车辆。

3

结果

本章得出了"Drive to Zero"市场预测模型的结果并预测了有雄心但可行的ZE-MHDV销售目标，概述了每个参数所使用的假设，并将这些预测与第一个也是唯一一个对ZE-MHDV有约束力的法规，加州《先进清洁卡车（ACT）法规》和《创新清洁运输（ICT）规则》进行了比较。本章还提供了一个案例研究，使用当前可用的数据，说明ZE-MHDV的销售目标如何适用于中国市场的具体属性。最后，本章估计了加快采用ZE-MHDV所带来的温室气体和化石燃料节约。

3.1. ZE-MHDV在各车辆类别的销售目标

本分析以Beachhead Theory of Change为基础，将其作为技术市场加速和未来技术可用性、车队行为和供应增长选项趋势的框架。本分析根据目前对技术成熟度和车型可用性的了解，对八类车辆中的每一类都应用了技术成熟度、车队偏好和供应规模可扩展性的参数选项 (CALSTART, 2022)。 基础设施可用性和车队创新情况参数没有明确地包括在本表中，因为针对这两个参数的适用性已经在所有车辆类别中做了统一假设。这些假设是：基础设施可供购置ZEV的车队使用，以及无论车队创新状况如何，都将满足全球谅解备忘录的规定，即到2040年ZE-MHDV销售占比达到100%（表5）。

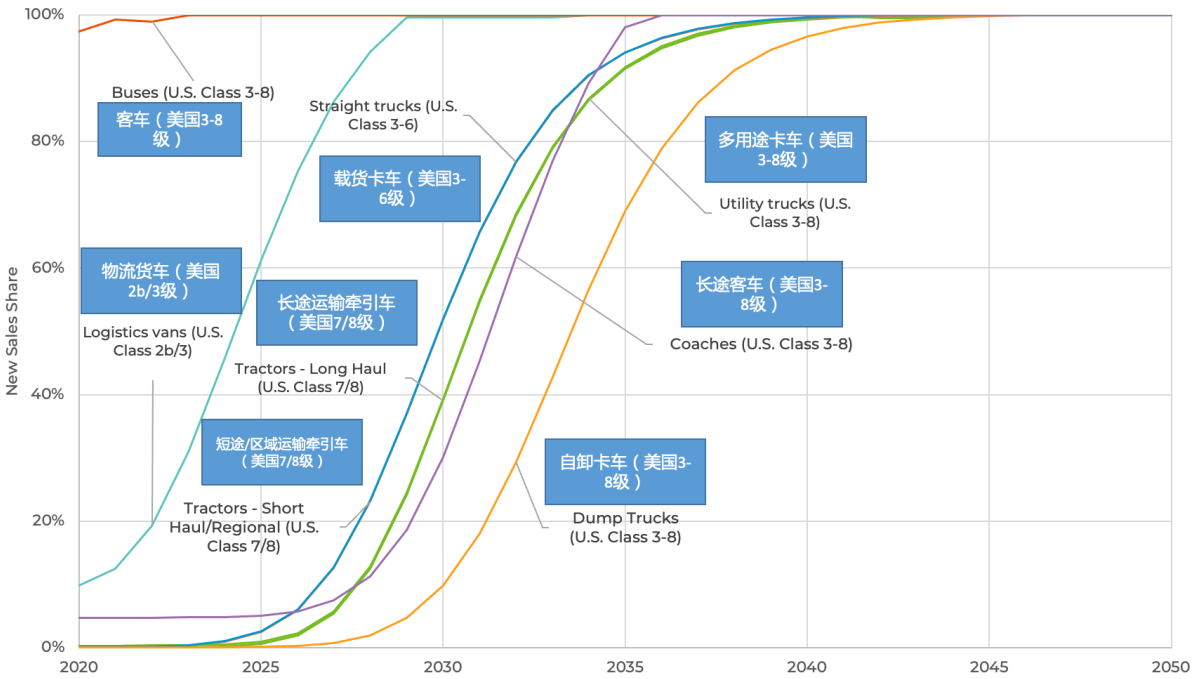
表5. 按参数划分的模型控制选项

车辆类别	技术成熟度	舰队偏差	供应规模可扩展性
长途牵引车（美国7/8级）	高成熟市场	一般	中
短途和区域运输牵引车（美国7/8级）	高成熟市场	加速	中
自卸卡车（美国3-8级）	高成熟市场	一般	中
物载货卡车（美国3-6级）	高成熟市场	加速	中
自卸卡车（美国3-8级）	中成熟市场	一般	中
远物流厢式货车（美国2b/3级）	非常高成熟市场	加速	非常高
客车（美国3-8级）	非常高成熟市场	加速	非常高
远途客车（美国3-8级）	高成熟市场	一般	中

*由于目前ZE长途客车的数量，以及该技术的运营可行性，市场上对长途客车的使用将被推迟。这一点反映在图8中

八类车辆的ZE-MHDV销售目标（图6）基于上述控制选项（表5）。结果显示，零排放客车在早期被市场采用，进而确立了零排放车型在新车销售方面的全面渗透，反映了该技术的实际运营情况和有效激励措施在早期市场中起到的推动作用。虽然从销售的角度来看， 物流货车（logistics vans）的采用率远不及客车，但在脱碳道路上，物流货车仍然取得了重大进展，其销量预计在未来几年将迅速扩大。这种预计是基于一系列有利的条件，如在城市中运营、较低的行驶周期（duty cycles）要求和迅速追平的总拥车成本。零排放物流货车能够满足车队的需求，并降低快速增长的电子商务部门的成本，这应该使其成为脱碳的高度优先事项。

图6. 中国按车辆类别划分的ZE-MHDV新车销售市场份额目标



深蓝色曲线显示了载货卡车（straight trucks）和区域运输牵引车（regional haul tractors）的预计采用路径，这两种卡车都受益于在城市化环境中行驶相对较短的距离，通常与公交巴士类似在基地过夜充电，从而简化了配套基础设施开发要求。对于区域配送牵引车，可以从国内OEMs处获得商业可行的车型，但直到最近才开始在技术运行可行的更具体的应用中采用。需要着重强调的是，中国市场上的卡车型号具有强大的可用性，能够满足传统卡车的行驶/工作周期（duty cycle）要求，并在车辆寿命期间节省车队运营费用。车队所有者才刚刚开始意识到这些现实，因此必须采取更有力的措施，通过有针对性的政策和激励措施来促进他们的理解。

绿色曲线显示的长途运输牵引车（long-haul tractors）的电动化进度稍晚一些，与多用途卡车（utility trucks）非常接近。由于可用承重、续航里程和基础设施（主要是在基地中为私人所有）等条件的限制，目前市场上可用的电池技术最适合应用于中短距离的区域运输和短途拖车（drayage）。然而，来自全球汽车制造商（OEMs）的乐观情绪正在推动零排放长途卡车的创新，有迹象表明，这一领域的商用化速度将比预期更快（Scania, 2021）。建设充电走廊（corridor charging），将逐渐增强人们对于中途充电/补给机会的信心，将有助于实现和加速长途卡车运输电动化。此外，燃料电池牵引车提供的续航里程足以满足长途应用，尽管尚未广泛商业化，但正在中国部分地区成功采用，为其后续的广泛采用奠定基础，特别是在长途运输和重重型（heavy heavy-duty）类别。

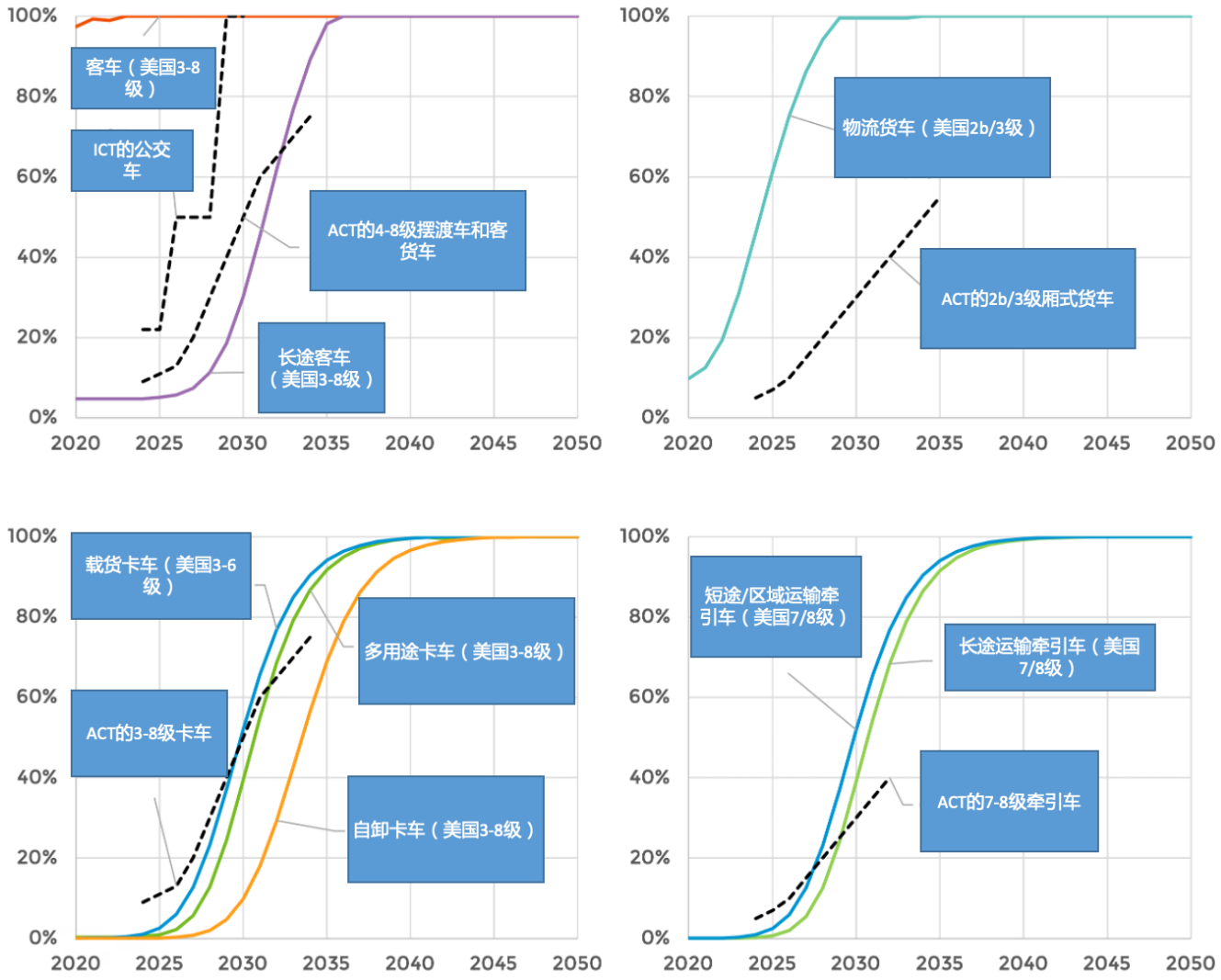
预计长途客车（coaches）的电动化进度将略晚于多用途卡车和牵引车，并可能在2035年达到销售饱和。这一类别大大受益于现有的零排放公交客车的动力系统和电池技术的发展，为Beachhead Theory of Change所提及的技术转移提供了一个良好的例子。与城市客车相比，这类客车用于区域旅行和行驶距离更长，因此渗透速度缓慢。随着充电走廊和城市基础设施的不断发展，长途客车的使用率将会增加，特别是在一些较短的城市间路线中使用。

最后一条橙色曲线代表了自卸卡车（dump trucks）的未来采用路径。这是一个在中国广泛存在的独特类别，覆盖了较轻的3级（class 3）车型一直到非常重型的8级（class 8）车型。由于该类别的运营和电力/能源需求有很大的可变性，其进度预计比其他类别车型要缓慢，但不排除在某些技术准备就绪的情况下局部地采用电动化。这些车辆通常装载非常重的负荷，并可能对PTO单元有额外的功率要求。

3.2. 中国销售目标与加州ACT和ICT法规的比较

本节将中国的ZE-MHDV预计采用率与加州的ACT和ICT法规进行比较，以便将这一全球宏大目标水平与美国加州进行比较，该州已经率先采用了加速ZE-MHDV市场所需的法规和激励措施。尽管上一节中概述的ZE-MHDV预测（图6）是具有雄心的，但它们整体与加州的ACT和ICT法规的严格程度相一致。在客车方面，中国的采用一直更具有雄心，并实现了新车销售的全面市场渗透。在一个零排放替代品不太饱和的市场，加州的ACT法规比预计的长途客车（coaches）曲线更具雄心。对于载货卡车和多用途卡车，模型曲线与ACT一致，而自卸卡车由于更密集的运营要求和技术准备多用途卡车而滞后。在物流货车方面，中国领先于加州，预计将超过ACT法规的要求。对于牵引车而言，ACT法规一开始提出了更具雄心的目标，但很快就被中国潜在的对最重型道路车辆脱碳的速度所超越（图7）。

图7. 中国ZE-MHDV销售市场份额目标与加州ACT和ICT法规的比较



3.3. 到2050年及以后的ZE-MHDV目标下的效益和避免的温室气体排放

本节估算了与2020年至2050年MHDV销售目标相关的预计年石油消耗量和温室气体排放量。[2]该分析假设了中国每个车辆类别的平均车辆活动（以车辆行驶公里为单位）和燃油经济性，以计算避免的总油耗（total avoided oil consumption）。该分析还假设了每单位柴油消耗所产生的二氧化碳尾气和温室气体排放系数，即每加仑柴油消耗产生0.010228吨二氧化碳和的0.01035温室气体(ANL, 2020)。

根据本项分析中中国ZE-MHDV的销售目标，2050年销售的MHDVs将避免16.2亿桶原油（约444万桶/日）和2.01亿吨温室气体。图8中的黑色竖条是基准情景，表示假设没有ZE技术渗透的MHDV油耗，而绿色竖条表示根据本分析的预测，与基准情景相比，引入ZE-MHDVs所节约的油量。

图8. 每年中国新ZE-MHDV运营所避免的原油消耗桶数

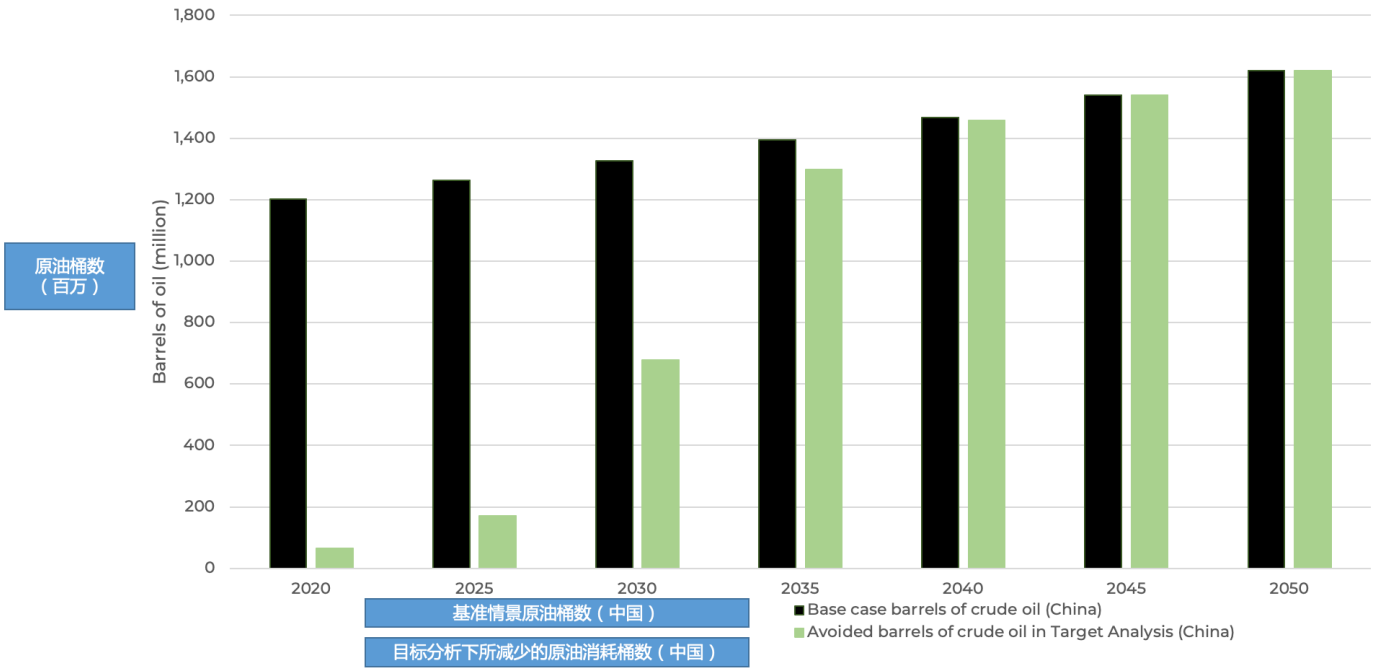
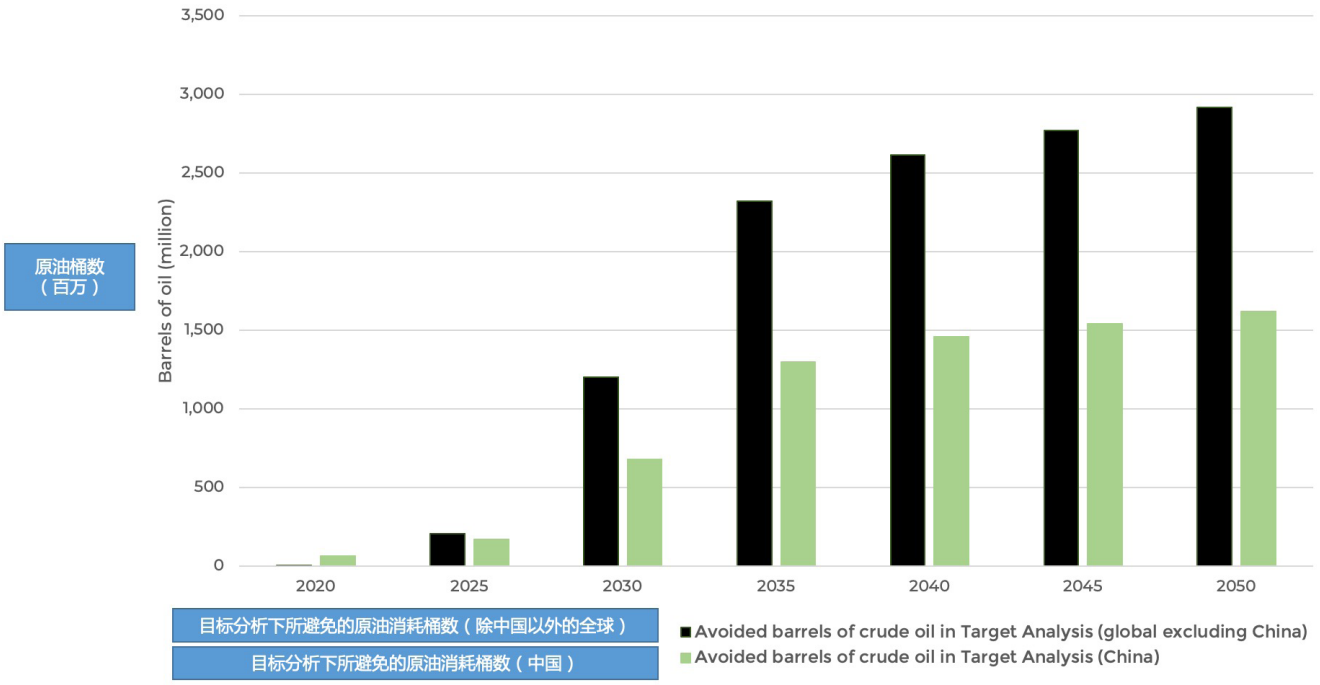


图9比较了目标分析下全球避免的石油消耗情景（图8）与中国市场避免的石油消耗情景。这意味着中国的石油使用总量超过了世界其他地区的总和，因此中国的MHDV电动化势在必行。

2 温室气体排放包括：（CO2）二氧化碳、（CH4）甲烷、(NOx) 氮氧化物、(VOC)挥发性有机化合物、(CO) 一氧化碳、(BC) 黑碳、(OC) 有机碳。

图9新ZE-MHDV运营下全球和中国避免的原油消耗桶数对比



4

结论与对未来研究的展望

在第26届联合国气候变化大会(COP26)上，全球谅解备忘录确定的目标是遏制全球有害的MHDV排放的一个关键里程碑，随着新国家加入全球谅解备忘录，以及现有国家将MOU的目标转化为具体政策，加速ZE-MHDV的势头只会进一步增强。本分析中介绍的方法论为持续的市场发展和加速提供了框架，通过有针对性的技术采用，确保车辆在目前工作的领域取得最大的成功。Beachhead Strategy的顺序方法表明，随着行业和市场的发展，像电池和电机这样的关键部件将变得更有效率，成本更低，从而使更多难以电动化的市场类别，如长途卡车，能够实现脱碳。

本分析中的ZE-MHDV销售目标预测为运输技术在中国市场的未来提供了愿景。在为每个车辆类别的采用曲线（adoption curves）进行建模时，"Drive to Zero "市场预测模型在准确捕捉特定国家的MHDV市场和形势的隐性变化和独特属性方面存在固有的局限性。目前可用的数据限制了可以精确建模的车辆类别数量（见第2节），并可能最终影响ZE-MHDV采用的实际轨迹。有了更详细的数据，可以对本模型的方法论进行修订。

本分析所使用的模型在数据充分的情况下可以实现较高水平的细节和精度。但是，该模型的固有局限性在于无法准确捕捉特定国家MHDV市场和形势的隐性变化和独特属性。缺乏更加详实的数据限制了本报告在八个车辆类别基础上进行更加精确的分类和建模，这是未来研究需求的重点。

本分析中的ZE-MHDV销售目标预测提出了一种对中国市场零排放运输技术的未来愿景。尽管中国在零排放车辆的销售和采用上看处于领先地位，但中国政府目前制定的目标尚未准确反映零排放中重型汽车在该地区的技术、经济和运营可行性的现实。总而言之，本分析不仅说明了中国在零排放中重型车辆的销售上处于领先地位，同时证明中国有能力实现ZE-MHDVs全球谅解备忘录（MOU）的宏伟目标。模型中的发展路径将有助于中国保持在技术创新、气候变化和空气污染治理领域的前沿地位。

本分析的结果概述了用于代表市场的八个车辆类别所采用ZE-MHDV的路径，确保正确考虑车辆重量、级别和用途。通过将本分析的框架适用于中国以外的其他主要国家/地区，可以更有效地构建政策生态系统，加快对ZE-MHDV的采用进程。正如加州所证明的那样，只有通过设定宏伟的目标、制定具有约束力的法规并引入有时效性的激励措施，才能加快实现全球气候协议的承诺（CALSTART，2022a）。

附录

车辆分类

表6. 全球MHDV分类（公吨）

美国		欧盟				中国				日本			
				挂车和半挂车		卡车		牵引车		卡车		牵引车	
级别	重量	级别	重量	级别	重量	级别	重量	级别	重量	级别	重量	级别	重量
		N1											
2b	3.86 – 4.54	N2	3.5 – 10	01	< 0.75		3.5 – 4.5		3.5 – 18	1 – 4	3.5 – 7.5	1	< 20.0
3	4.54 – 6.35						4.5 – 5.5						
4	6.35 – 7.26			02	0.75 – 3.5		5.5 – 7						
5	7.26 – 8.85						7 – 8.5			5	7.5 – 8		
6	8.85 – 11.79						8.5 – 10.5			6	8 – 10		
7	11.79 – 14.97			03	3.5 – 10		10.5 – 12.5			7	10 – 12		
8a	14.97 – 27.22	N3	> 12.0				12.5 – 16			8	12 – 14		
							16 – 20		18 – 27	9	14 – 16		
							20 – 25			10	16 – 20	2	> 20.0
8b	> 27.7			04	> 10		25 – 31		27 – 35	11	> 20		
							> 31		35 – 40				
									40 – 43				
									43 – 46				
									46 – 49				
									> 49				

图10. 第一层级（Tier 1）车辆划分

模型1	2b-8(77个细分类别)	技术	纯电动	市场	2020-2040

3级	4级	5级	6级	7级	8级
客车 城市客车 施工用卡车 应急卡车 房车 皮卡 垃圾车 区域卡车 校车 摆渡车 步入式厢式货车 SUV 厢式货车	客车 城市客车 施工用卡车 应急卡车 房车 皮卡 垃圾车 区域卡车 校车 摆渡车 步入式厢式货车	客车 城市客车 施工用卡车 应急卡车 房车 皮卡 垃圾车 区域卡车 校车 摆渡车 步入式厢式货车	客车 城市客车 施工用卡车 应急卡车 房车 皮卡 垃圾车 区域卡车 校车 摆渡车 步入式厢式货车	客车 城市客车 施工用卡车 拖车 消防车 长途卡车 房车 垃圾车 区域卡车 校车 摆渡车 步入式厢式货车 码头牵引车	客车 城市客车 施工用卡车 消防车 重型卡车 长途卡车 房车 垃圾车 区域卡车 校车 码头牵引车 长途客车

表7. 车辆类型定义

车辆类别	
客车 Bus	任何其他用来运送乘客的客车
厢式货车 Cargo Van	一体式车辆：装卸货物时，可以从车内方便地进入货物区
城市客车 City Bus	在城市内运营的城市客车（也包括大型客车、通勤客车、公交车、城镇客车、城市客车、短途客车、公共客车或客车）是一种用于短途公共交通的客车服务
长途客车 Coach	长距离服务用的客车
施工用卡车 Construction Truck	用于重型设备或重型机械操作的重型车辆，包括公用事业工作、专门为执行施工/维护任务而设计，如自卸/混凝土搅拌卡车
拖车 Drayage	拖车是在运输和物流行业中进行短距离货物运输。拖车通常是较长的整体移动的一部分，比如从船到仓库
应急卡车 Emergency Truck	紧急服务部门用于应对事故的车辆（例如，救护车）
消防车 Fire Truck	用来运送消防员及其设备的卡车——梯子、救援装备和电力设备
重型卡车 Heavy haul Truck	长途重型设备运输牵引车
长途卡车 Long haul Truck	长途运输用货运牵引车（在全国运输材料和货物）
房车 Motor Home	房车是一种自行式娱乐性汽车(RV)，它提供与汽车发动机相结合的生活住宿
客货车 Passenger Van	像厢式货车这样的一体式货车，但有载客座位
皮卡 Pickup	皮卡是一种轻型卡车，有一个封闭的驾驶室和一个开放的货物区，有低边和后挡板。
垃圾车 Refuse	专门设计用于收集城市固体废物并将其运到固体废物处理设施,如垃圾填埋场的垃圾车
区域卡车 Regional Truck	在特定区域内运行的配送卡车、箱式卡车、家具卡车或饮料卡车
校车 School Bus	用于接送学生往返学校的客车
摆渡车 Shuttle Bus	定期在两个地方之间行驶的客车（运送人员从一个主要地点（如机场、酒店、会议中心或体育场）到一个或多个卫星地点）
步入式厢式货车 Step Van	步入式配送货车
SUV	都采用了基于汽车的一体式设计，典型的是具有越野能力的汽车，SUV（运动型多用途车）。

参考文献

Al-Alawi, B.M. (Al-Alawi, 2021). CALSTART's Drive to Zero Market Projection Model Version 1.1.

Argonne National Laboratory (Argonne National Laboratory, 2020). GREET Model Platforms. Retrieved from: https://greet.es.anl.gov/greet.models

CALSTART (CALSTART, 2013). CalHeat Research And Market Transformation Roadmap For Medium- And Heavy-Duty Trucks. Retrieved from: https://calstart.org/wp-content/uploads/2018/10/CalHEAT-Roadmap.pdf

CALSTART (CALSTART, 2020). Moving Zero-Emission Freight Toward Commercialization. Retrieved from: https://globaldrivetozero.org/publication/moving-zero-emission-freight-toward-commercialization

CALSTART (CALSTART, 2020a). The Beachhead Model Catalyzing Mass-Market Opportunities For Zero-Emission Commercial Vehicles. Retrieved from: https://globaldrivetozero.org/publication/the-beachhead-model

CALSTART (CALSTART, 2021b). How Zero-Emission Heavy-Duty Trucks Can Be Part of The Climate Solution. Retrieved from: https://globaldrivetozero.org/site/wp-content/uploads/2021/05/How-Zero-Emission-Heavy-Duty-Trucks-Can-Be-Part-of-the-Climate-Solution.pdf

CALSTART (CALSTART, 2021a) Analysis of public sales commitments of medium- and heavy-duty vehicle manufacturers and expected volumes. Retrieved from: https://globaldrivetozero.org/publication/analysis-of-public-sales-commitments-of-medium-and-heavy-duty-vehicle-manufacturers-and-expected-volumes

CALSTART (CALSTART, 2022). Global Sales Targets For Zero-Emission Medium- And Heavy-Duty Vehicles – Methods And Application. Retrieved from: https://globaldrivetozero.org/publication/global-sales-targets-zemhdvs

International Council on Clean Transportation (ICCT, 2021). Zero-emission integration in heavy-duty vehicle regulations: A global review and lessons for China. Retrieved from: https://theicct.org/publication/zero-emission-integration-in-heavy-duty-vehicle-regulations-a-global-review-and-lessons-for-china

International Council on Clean Transportation (ICCT, 2021b). Total Cost Of Ownership For Heavy Trucks In China: Battery-Electric, Fuel Cell Electric, And Diesel Trucks. Retrieved from: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/ze-hdvs-china-tco-EN-nov21.pdf

International Council on Clean Transportation (ICCT, 2021c). Race to Zero: How Manufacturers are Positioned for zero-emission commercial trucks and buses in Europe. Retrieved from: https://theicct.org/sites/default/files/publications/race-to-zero-ze-hdv-eu-dec21.pdf

Scania (Scania, 2021). Scania Bets On BEVs, 40t Long-Range Truck Is Coming. Retrieved from: https://insideevs.com/news/481579/scania-commitment-bevs-40t-long-range-truck

参考文献

World Resource Institute (WRI, 2018). How Did Shenzhen, China Build World's Largest Electric Bus Fleet? Retrieved from: https://www.wri.org/insights/how-did-shenzhen-china-build-worlds-largest-electric-bus-fleet