



梦想照进现实：卡车净零转型之路

2022年4月

Rebecca Russell、Matthew Abel、Daniel Fernandez、Kayne Harwood、Matthew Leacht 和 Grant McCabe

矿用卡车和农用卡车多以柴油发动机作为动力来源，使用过程中会排放大量二氧化碳。
幸运的是，目前已有替代方案可供选择，但企业要充分了解不同方案的成本和效益。

在全球碳中和的大背景下，矿业、农业等重工业板块纷纷做出雄心勃勃的温室气体减排承诺。但这些行业使用的柴油卡车车队，从矿场的300吨巨型拖车到高速公路上奔驰的18轮牵引车，无一不是行走的“排碳巨兽”。这些卡车均以柴油为动力源，是重工业的一大碳排来源。因此重工企业唯有彻底舍弃或减少柴油燃料的使用，方有望实现净零目标。

近期，我们围绕柴油替代燃料展开分析，探索其在各类卡车和应用场景的运行效能。研究表明，物流运输等需要重型设备的行业要想淘汰柴油燃料绝非易事，但通过以下两条路径，亦有实现可能。企业既可任选其一，也可双措并举：

- **路径一简单高效，但成本高昂。**企业若想取得立竿见影的减排效果，且愿意支付不菲的燃料费用，可直接使用可持续生物燃料替代柴油，无需更换车队和基础设施。
- **路径二成本较低，但过程复杂漫长。**企业可以在维持较低成本的前提下逐步淘汰柴油，但过程更为漫长复杂，且非常依赖可替代燃料、基础设施和车辆的新技术支撑。

一家全球矿业公司就为旗下车队慎重评估了上述路径，同时积极与主机厂和能源供应商合作，探索在技术和商业层面切实可行的减排方案。经过分析，该公司发现每年有望减少600万吨碳排（相当于150万辆乘用车的碳排放量），比原计划进度提前了20年。

因此，企业不必等到2050年再彻底停用柴油。应对气候变化刻不容缓，企业一旦明确认识到这一点，就应当机立断，迅速行动。

柴油为何难以替代？

柴油作为一种成本低廉、能量密度高、可通过现有基础设施轻松获取的燃料，在重工业板块广为使用，能够满足不同应用场景及行业的卡车使用需求，普遍适用于不同的载荷量、行驶距离、公路或非公路。

作为众多行业的重要动力来源，柴油燃烧产生的二氧化碳在碳排放总量中占比巨大，例如，柴油燃烧占矿业二氧化碳排放总量的40%，农业的35%。企业若想替代柴油，需面临重重挑战：不仅要系统性引入多类型燃料、新动力系统和车载燃料检测系统，还需将运输管道、储油罐、加油站、充电站等燃料基础设施的全面升级换代纳入考量。

幸运的是，目前市场上已有多种柴油替代燃料，另有一些正在研发中。无论哪种替代品，车队运营商都需仔细权衡取舍，但总体而言益处良多，四类替代燃料尤其值得关注（[参阅下图](#)）。

四类替代燃料各有利弊

燃料

优点

弊端



绿色电力

- 为电池和直接电缆系统提供动力
- 如果投资到位，有望在2020年代末或2030年代初进入市场
- 成本为柴油的一半



- 需要全新的卡车设计、设备和基础设施
- 仅适合短距离（<50公里）和低载重（<5吨）运输
- 纯电动车和轻轨车辆可承担长距离、高载重固定线路运输
- 操作复杂度高



绿色氢能

- 可作为燃料电池车和特定类型内燃机的动力源
- 如果投资到位，有望在2020年代末或2030年代初进入市场
- 成本与柴油持平



- 需要全新的卡车设计、设备和基础设施
- 适合中等距离（50—100公里）和载重量（<50吨）
- 操作复杂度高



可持续生物燃料

- “即用型”燃料，无需改动卡车发动机、燃料加注设备和基础设施
- 适用于所有卡车
- 现成可用，但资源稀缺



- 成本至少为柴油的两倍
- 难以确保原料来源的采购符合伦理道德
- 受其它行业需求影响，供应可能受限



合成柴油

- “即用型”燃料，无需改动卡车发动机、燃料加注设备和基础设施
- 预计2030年大规模进入市场



- 成本为柴油的两倍
- 需要绿色氢能和去碳技术的大规模推广

来源：BCG 分析。

注：成本为2030年预测。

绿色电力。风能、太阳能等可再生能源产生的电力是一大潜在替代燃料。绿色电力既可以直接使用，也可以为生产其它替代燃料提供动力。可再生能源电池与私家乘用车的使用场景非常契合：私家车时常闲置，几乎很少会满载行驶，因此充电方便，装载较重的电池也不成问题。相比之下，重型设备和车辆所需电池重量大、充电时间长，对满载长距离运行要求高，采用电池供电是一大难题。

一些变通方案提供了应对之道。例如，深坑矿车等行驶路线相对固定的重型车辆可以采用与城市轻轨系统类似的架空接触网来供电，成功解决重型车辆供电难的问题。但这种方案不具备普适性，安装电缆也需要额外的资金投入。

绿色氢能。氢能以水为原料，通过电解工艺制备。当电解过程所需电力来自风能、太阳能等可再生能源时，生产的便是绿氢。绿氢可作为特定类型内燃机的燃料，或为氢燃料电池提供动力。氢燃料电池车现已问世，相较传统电动汽车续航里程更长、燃

料加注速度更快，成为高速长途货运的首选解决方案。然而，氢能的能量密度远低于可持续生物燃料和合成柴油，需要更大的燃料箱以及更长的加注时间，对于看重运行效率和装载能力的车辆及设备而言，还有很多挑战尚待解决。

可持续生物燃料。当下市场上出现了多种可持续生物燃料，包括以废弃植物油或动物脂肪为原料生产的氢化植物油（HVO），以及由作物残渣、木材、锯末等生物质废物加工而来的绿色柴油。二者均可作为车队所用柴油的替代物，而无需更换引擎和储能基础设施。可持续生物燃料的成本目前远高于柴油，但有望减少高达90%的碳排放。由于生产过程需消耗一定能源，可持续生物燃料尚无法达到零排放，但其产生的碳足迹大多已计入其它行业生命周期。

除成本问题外，可持续生物燃料的推广还存在另外两大挑战。其一，可持续生物燃料的原料来源必须符合道德规范，以带来可持续的积极影响。其二是供应端难题。到2030年，可持续生物燃料的产量预计将达到5.7亿桶，但仅能满足矿业、农业和公路运输业的一小部分燃料需求。与此同时，其它减排老大难行业对氢化植物油生产原料的争夺日趋激烈（如航空业对可持续燃料的需求不断增长），势必会限制生物燃料的大规模供应。

合成柴油。合成柴油是以二氧化碳和水为原料，使用可再生能源生产出的合形成态的碳中和柴油。由于原料较易获得，合成柴油有望在2030年代初期实现大规模生产，而不像可持续生物燃料一样面临诸多规模化生产问题。合成柴油兼容现有的内燃机和基础设施，可作为主机厂和车队运营商简单易行的减排解决方案。然而，正如氢化植物油和绿色柴油一样，合成柴油的成本较传统柴油更高，预计到2030年会高达后者的两倍。

综合来看，大多数绿色电力和绿色氢能解决方案所需的燃料加注频率更高、燃料箱容量更大。不仅如此，减排效果和实施复杂度之间呈反比关系，吨均二氧化碳减排成本越低的解决方案，实施难度可能越大。以氢燃料电池为例，当氢气制备流程由可再生能源供能时，氢燃料电池技术几乎可以达到零碳排，应用前景广阔；但另一方面，该技术需要全新的引擎设计以及燃料运输、储存和加注设施。

两大潜在脱碳路径

为探究在技术和商业层面均切实可行的柴油替代方案，BCG近期对多种替代能源进行了深入分析，围绕实施复杂度、燃料性能、财务指标（包括资本支出、运营支出和车队替换周期）以及综合环境绩效四个维度开展了详细评估。此外，我们还访谈了主机厂、发动机制造商、油气公司、车队运营商等有关部门人员，覆盖了矿业、农业、物流等众多行业。

从分析结果来看，我们认为柴油替代完全行得通，且落地速度有望快于业界预期，前提是企业能够以事实为依据作出明智取舍。具体而言，有两条可行路径供企业选择：一是快速摆脱对柴油的依赖，但前期投入较高；二是逐步过渡至替代燃料，但实施复杂度更高。



柴油替代完全行得通，且落地速度有望快于业界预期，前提是企业能够以事实为依据作出明智取舍。

路径一简单高效，但成本高昂。企业若想快速摆脱对柴油的依赖，可以通过符合道德规范的方式采购和使用生物燃料。如今，氢化植物油、绿色柴油等多种生物燃料已相继问世。生物燃料适用于现有的汽车引擎，无需改变车队和基础设施，仅需对人员队伍作出些许调整，带来的环境效益立竿见影。

然而，该方案的痛点在于成本：氢化植物油的价格是柴油的二至四倍。随着规模效应和效率的提升，加之部分市场上激励措施、税收和监管体系的不断完善，这一价格差异可能会逐渐缩小。但对于想要立即行动的公司而言，高成本在短期内仍然是一个挑战。

路径二成本较低，但过程复杂漫长。在能源生产商和主机厂的通力协作下，重卡的净零排放解决方案有望在未来10—15年正式投入市场。在此之前，企业可在方案面世之际就着手部署，但需面对多个维度的复杂问题。

首先，如果企业以追求最低成本为目标，或许很难对所有车辆和应用场景统一使用一种燃料。例如，轻型卡车或皮卡可使用传统电池提供动力，而重型车辆则需要采用氢燃料电池或其它解决方案。

其次，企业需厘清一些关键问题，评估不同解决方案的风险：哪些技术经过了实践检验？哪些燃料供应链较为安全？如何减少燃料加注时间？企业还需梳理不同技术所需成本和时间；哪些技术将会走向成熟？创新技术的成本如何随时间推移而逐渐降低？解决方案能否与车队替换周期保持同步？

企业如能妥善应对这些复杂问题，则有望通过真正的零碳产品向客户收取溢价，占得市场先机。

值得注意的是，这两条路径并不相互排斥。企业可以根据自己的时间安排、运营要求等因素，采取两种方案并行的策略（参阅专题“行业不同，解决方案各异”）。

行业不同，解决方案各异

为实现减碳目标，企业可以根据自身需求及行业情况，选择简单快速、成本较高的快捷路径，亦或是循序渐进、成本较低的复杂方案。

以两个虚构案例为例。某矿业公司致力于到2025年将柴油碳排放减半，到2030年实现净零排放。该公司主要依赖重型卡车，占公司总碳排的40%，亟需更新换代。效率提升仅能减少10%的排放量，不足以支撑公司的可持续发展目标。

该公司的矿场遍布陡长坡道，需要动力强劲的卡车。此外，公司可通过可再生能源协议为矿场直接供电。由于矿场位置偏远，电解所需水资源有限，通过公路或铁路运输氢能难度大，难以在矿场附近生产氢能。

在统筹考虑各方面因素的基础上，该公司明确，从控制总成本的角度出发，最优方案是分“两步走”完成车队大换血：初期阶段，将大部分柴油车更换为柴电动力系统，以氢化植物油代替柴油，车队其余车辆试行架空电缆直接供电；到2030年后不久，再将氢化植物油驱动的柴电动力系统转换为直

供电，打造一支全面电动化车队。借助“两步走”方案，该公司有望在2030年前减少高达90%的碳排放，有充足时间建立所需基础设施，同时安全有序地推行直供电卡车。

案例二是一家农业公司，希望减少拖拉机、喷灌机、收割机、卡车等非公路用移动和固定设备的碳排放。

该公司拥有完善的电力基础设施，可以为电动车辆充电，但农场用设备需保持较长的续航里程和运行时间，充电时间有限（虽然可再生能源可为部分固定设备和皮卡等轻型车辆供电）。在这种情况下，氢化植物油方案更具可行性。氢化植物油可以在不更新设备的情况下直接替换柴油，效果立竿见影。

经过综合研判，该公司决定，在2022年前将半数车辆转换为氢化植物油供能，到2025年完成转型过渡。长期来看，该公司计划自2030年起对部分车辆试点氢能技术，具体进程视技术发展情况而定。灌溉系统等固定设备将自2023年起推行可再生能源供电，2025年完成全面电动化。

重工企业在规划减碳路径时面临多种可选方案。企业可着重从物流运输和日常运营环节入手，构建更加绿色环保的未来。

积极协作势在必行

无论企业选择何种路径，与主机厂、能源供应商、政府、客户甚至竞争对手密切协作必不可少。对于车队所有者及运营商的管理团队而言，与合作伙伴共建市场需聚焦三大关键事项，并随着技术的发展，对优先议题进行重新评估。

立即采取行动。燃料和汽车技术的渐进式发展，意味着转向清洁燃料将循序渐进，无法一蹴而就。因此，企业需就如何实现中期和最终减排目标作出明智决策，将以下问题纳入考量：

- 采取何种策略：追求精简运营还是最低成本？

- 对于不同的车辆类型和应用场景，是否采用统一的解决方案，或是多方案并举？
- 考虑所需燃料、新车队、新人员技能、燃料储存和加注设施，各方案的总拥有成本分别是多少？如果将车辆运营时间等效率因素纳入考量，各方案的成本又是多少？
- 车队替换周期和中期减排目标如何与各类技术的发展阶段相匹配？

落实促成举措。企业选定技术方案后，仍需为转型过渡制定周密计划，涉及协调试点项目、人员再培训、建立新车队、签订燃料供应合同、建设燃料储存和加注设施等多项举措。例如，我们的分析表明，如果企业选择采用可再生能源电力或绿色氢能，平均每个车队或矿场的电力需求将随之激增十倍，企业必须慎重考虑如何获得如此大量的可再生能源电力。

建立合适的伙伴关系。为应对零碳转型挑战，企业需与能源供应商、油气公司、同盟甚至同行紧密合作，制定协同一致、契合目标的解决方案。沿重型车辆和设备价值链建立伙伴关系，有助于利益相关方整合资源，汇聚专长，通过联合投资降低高额固定投资风险，快速交付规模化的可持续发展成果。

诚然，工农业企业已争相掀起降碳减排热潮，但如果不彻底摆脱对柴油的依赖，宏伟的减碳目标也只是不可企及的空中楼阁。我们的研究发现，两条路径可助力企业实现柴油替代：路径一简单快速、成本较高，路径二循序渐进、成本较低但复杂漫长。无论选择哪条路径，企业管理者都必须深思熟虑，明智取舍，谨慎采取变革行动，避免操之过急。在正确的思维理念下，企业可进一步反思车队现状，采取相应行动，迈向更加可持续的美好未来。

关于作者

Rebecca Russell

董事总经理，全球合伙人

Matthew Abel

董事总经理，全球合伙人

Daniel Fernandez

首席知识分析师

Kayne Harwood

项目经理

Matthew Leach

合伙人

Grant McCabe

董事总经理，全球资深合伙人

中国区专家

许刚博士是波士顿咨询公司（BCG）董事总经理，全球资深合伙人，BCG工业品专项中国区负责人。

如需联络，请致信 GCMKT@bcg.com。

关于波士顿咨询公司

波士顿咨询公司（BCG）与商界以及社会领袖携手并肩，帮助他们在应对最严峻挑战的同时，把握千载难逢的绝佳机遇。自1963年成立伊始，BCG便成为商业战略的开拓者和引领者。如今，BCG致力于帮助客户启动和落实整体转型，使所有利益相关方受益——赋能组织增长、打造可持续的竞争优势、发挥积极的社会影响力。

BCG复合多样的国际化团队能够为客户提供深厚的行业知识、职能专长和深刻洞察，激发组织变革。BCG基于最前沿的技术和构思，结合企业数字化创新实践，为客户量身打造符合其商业目标的解决方案。BCG创立的独特合作模式，与客户组织的各个层面紧密协作，帮助客户实现卓越发展，打造更美好的明天。

如欲了解更多BCG的精彩洞察，请关注我们的官方微信帐号，名称：BCG 波士顿咨询；ID：BCG_Greater_China；二维码：



BCG 官微



BCG 报告集锦



BCG 微信视频号

© 波士顿咨询公司 2022 年版权所有
4/22