2024

大物流绿色转型·数智发展白皮书

LEAD the green wave, bring the DEEP impact

WESTWELL

Roland Berger

序 言:

绿色物流时代,数智加速未来

物流行业低碳转型大势已成,节点降碳是关键:自巴黎协定颁布,绿色低碳发展已成为人类社会发展共识。大物流行业是全球碳排放主要来源之一,一方面,政策端法规的逐渐完善,投资者明确的偏好为行业减碳注入了强大“推力”;另一方面,货主和终端消费者的期望也形成了有力“拉力”,减碳转型已然成为大物流行业的当务之急。聚焦中国,一系列政策措施为大物流行业的绿色智能化发展注入动力,2020年《关于进一步降低物流成本的实施意见》指导下,国务院常务会议提出“推进物流数智化发展、绿色化转型”的发展目标,为物流行业高质量发展指明方向,2023年提出的“绿色发展是高质量发展的底色,新质生产力本身就是绿色生产力”则进一步为物流绿色智能升级提出要求。在整个产业链中,节点减碳基于高可行性,成为产业链减碳不容忽视的重要环节。其中海港场景将率先引领绿色低碳转型。

节点绿色低碳并非一蹴而就,数字赋能是前提:物流节点降碳不应局限于能源转换或单一的设备改造,而需全面规划,系统实施,循序渐

进地实现目标。罗兰贝格携手西井科技，共同提出大物流减碳“LEAD”方法论，以海港为例，通过电气化改造（Electrification）、智能化升级（AI-driven Intelligence）和全局互联转型（Linked Ecology）三个阶段，创造减碳价值（Decarbonization）的同时，实现经济价值（Economical Friendly）、生态价值（Environment Friendly）和人本价值（People Friendly）的“DEEP”深远影响。值得关注的是，数字化（Digitalization）在大物流节点降碳中发挥的关键作用，通过数字化的手段在单点、系统、全场景中的智能化升级与数据流的贯通，是实现绿色降碳目标的必由之路。

低碳节点将互联互通持续迭代，共创零碳未来：大物流的绿色转型不仅依赖于单个节点的减碳，更需要整个生态圈的通力合作。以海港降碳为原型，“LEAD”方法论将逐步推广至其他物流节点，如空港地面物流、工厂园区物流，并通过公路运输中所应用的供应链数据整合平台，进行全盘的优化与链接。以此通过多节点、多环节的协同作用，实现全产业链条的全面绿色低碳转型。

目 录

第一章　势不可挡：全球大物流行业绿色浪潮 02

第二章　海港先行：数字赋能海港减碳方法论 15

第三章　复制延展：海港低碳实践跨场景拓展 47

第四章　立刻行动：对大物流企业的核心启示 58

第一章

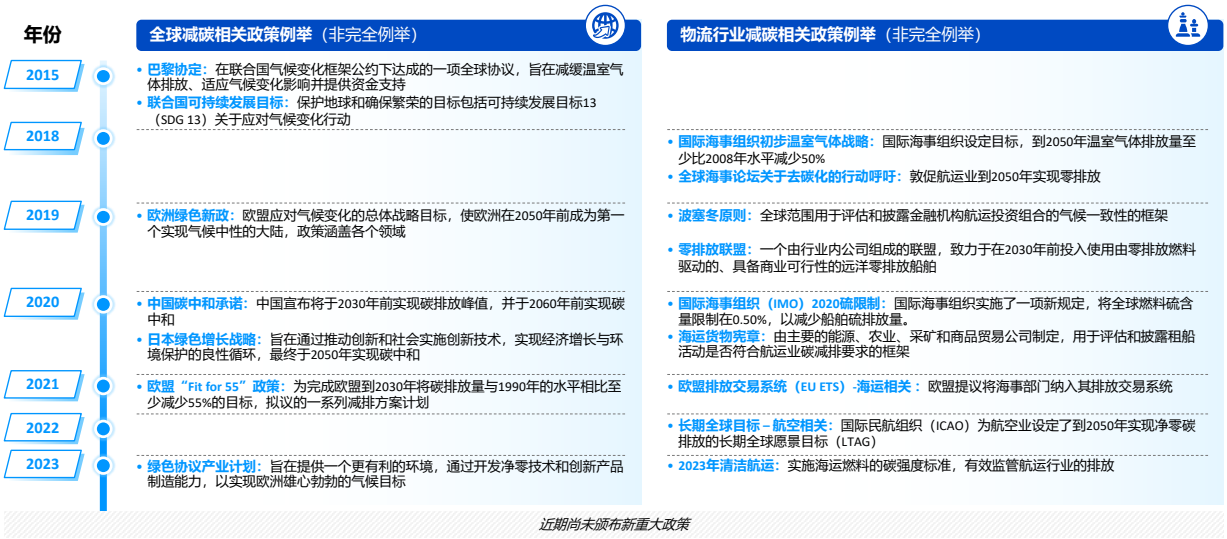
势不可挡：
全球大物流行业绿色浪潮

绿色低碳发展是当今国际社会的核心共识，也是驱动未来30年全球产业和技术发展的重要因素

绿色减碳作为未来30年全球产业与技术发展的必然趋势，已成为国际社会的核心共识。近年来，全球各国纷纷推出政策与措施推动减碳进程，并取得显著成果。为应对气候变化，197个国家于2015年在巴黎召开的第二十一界缔约方会议上通过了《巴黎协定》，旨在大幅减少全球温室气体排放，将本世纪全球气温升幅限制在2°C以内。随着《巴黎协定》的颁布，众多国际组织宣布一系列支持性政策以响应号召。

不仅如此，众多领先企业也纷纷投身于减碳事业，绿色浪潮下带来的技术创新、业务增长及重构竞争优势的机会不断涌现。通过将自身运营与减碳进程相结合，企业不仅能减少对环境的负面影响，还能开拓新的收入来源，提升品牌声誉，为企业在日益重视可持续发展的全球市场中铺就长远发展之路。 → 01

01 绿色减碳已经成为国际社会的核心共识，将主导未来30年全球产业和技术发展方向



资料来源：案头研究；罗兰贝格

政策先锋 引领绿色浪潮

欧洲作为全球减碳进程的先行者，已先后出台一系列顶层指导方针与配套实施政策，如“欧洲绿色新政”与“Fit for 55”等，引领全球绿色低碳发展新方向。

其中，“Fit for 55”作为欧洲绿色减碳的关键政策，设定了明确的减碳目标——至2030年，欧盟碳排放量需至少较1990年水平降低55%。该政策涵盖能源、交通、建筑等多个领域的减排措施，全面引导欧盟地区的绿色低碳转型。

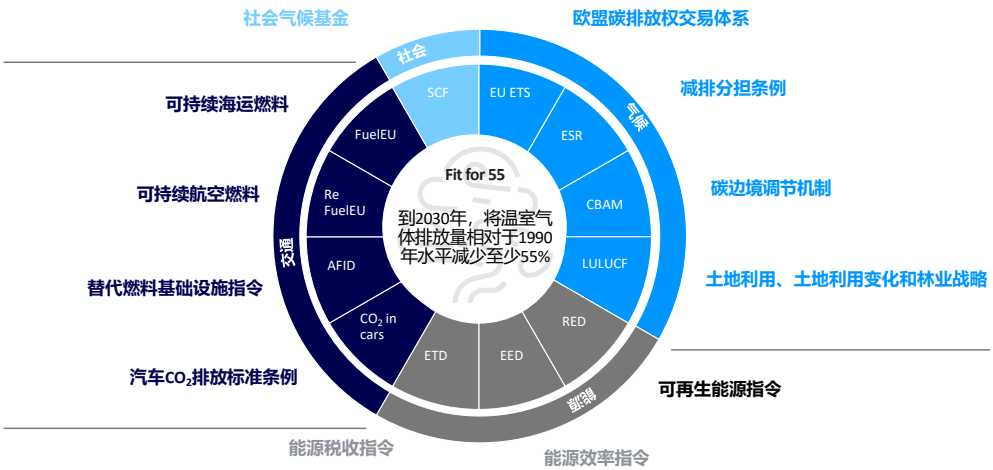
→ 02

具体在交通运输领域，“Fit for 55”政策包括多项重要措施：

- **公路运输：**小型轿车减排55%，箱式货车减排50%，重型重卡和公交车减排45%，并计划实施更为严苛的道路尾气排放标准；
- **铁路运输：**目标是在铁路燃料中混入14%的可再生燃料（以能量单位计算）；
- **航空运输：**预计到2050年，可持续航空燃料使用比例将增至70%，并进一步优化空中交通管理；
- **海运运输：**预计到2050年，船舶燃料使用产生的碳排放将降低80%，通过推广可再

02 政策端-欧洲是全球碳减排行动的先行者，发布了一系列纲领性政策和相关配套实施计划，如“Fit for 55”计划

“Fit for 55”计划设定了一个雄心勃勃的目标，即到2030年将碳排放量在1990年的基础上减少至少55%，重点关注能源、交通、建筑等领域



资料来源：案头研究；罗兰贝格

生能源，确保欧盟海港海运畅通；

- **多式联运**：致力于构建一个可靠、高效、无缝连接的欧洲运输网络，打通运输过程中的断点堵点，实现持续性连通。

市场需求 驱动低碳竞争

在市场层面，国际社会对减碳价值的认可度逐渐提高。这不仅体现在碳交易价格的稳定增长，也反映在消费者对低碳产品支付意愿的迅速提升。绿色减碳正逐渐成为新的竞争焦点。

全球碳交易市场规模和价值屡创新高。据伦敦证交所集团发布的《2023年碳市场年度回顾报告》，全球排放交易市场的碳配额成交量约为125亿吨，总价值高达8,810亿欧元，同比增长2%。其中，欧盟排放交易体系（EU ETS）的价值约为7,700亿欧元，同比增长2%。

同时，下游客户愈发倾向于选择和要求物流服务商提供绿色产品与解决方案。据一家全球领先的综合物流集团在六大市场（美国、德国、英国、中国、印度和巴西）针对1,800家企业客户和1,800名终端消费者进行的在线调查显示，超过半数企业客户认为，未来十年内，使用绿色物流运输产品将成为吸引客户的关键因素；并且，超过60%的终端消费者表示，在同等成本条件下，他们会要求物流公司提供绿色物流服务。→ 03

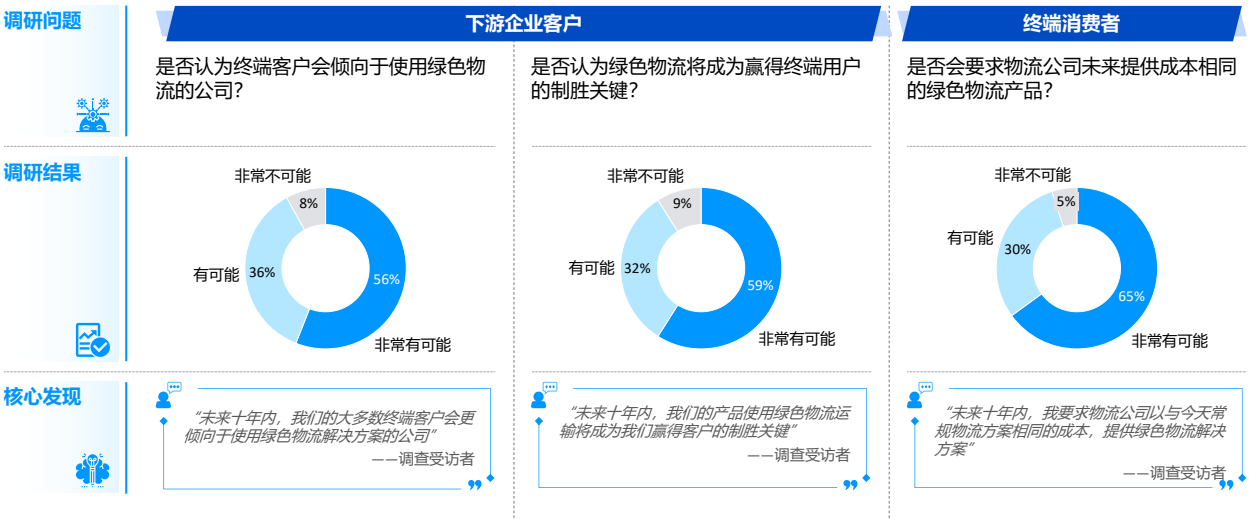
资本力量 推动绿色投资

近年来，“碳中和”理念在资本市场日益盛行，与可持续投资相关的标的受到投资者青睐，全球ESG投资的总规模和数量呈现显著增长趋势。

聚焦到不同地区，欧洲在ESG投资领域领跑全球。这不仅体现在投资规模层面欧洲的领先地位，同时在相关监管政策层面，欧洲也建立了完善且有力的监管框架，明确了可持续性的要求，仅2023年欧洲就颁布20多项ESG法律法规，以打击“漂绿”行为（Green-washing）。

03 市场端-在市场方面，下游客户和终端消费者对绿色减碳价值的认可日渐攀升，更加倾向使用和要求物流公司提供绿色产品与解决方案

客户脱碳偏好的调研结果



资料来源：DHL；案头研究；罗兰贝格

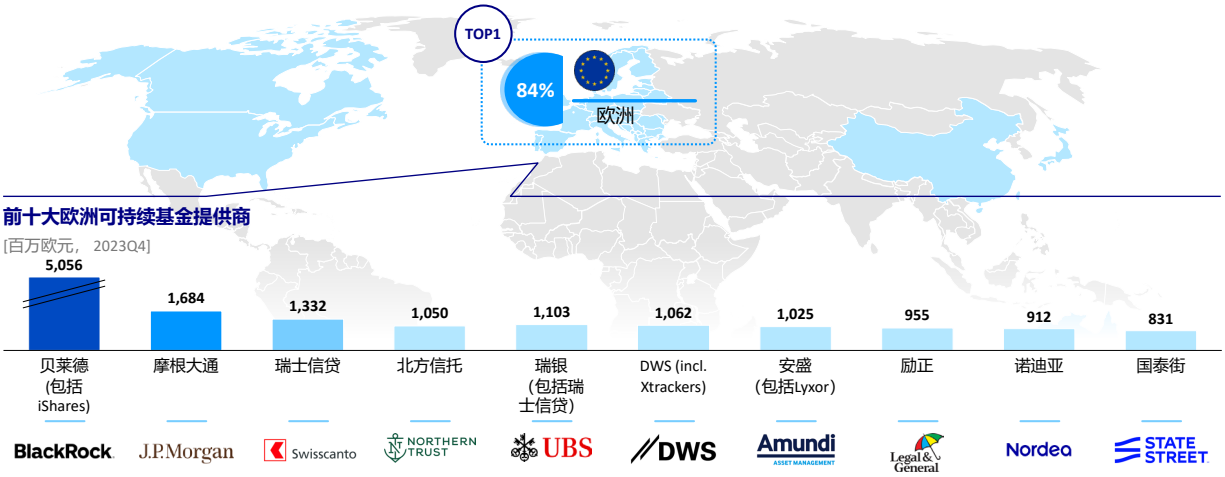
对于机构投资者，欧洲ESG投资热度持续上升，可持续基金资产规模远超其他地区，高达84%。领先投资机构如贝莱德等，积极关注可持续性投资机会，捕捉与可持续发展及向低碳经济转型相关的投资机遇。

对于个人投资者来说，与绿色相关的金融产品同样备受欢迎。欧洲发行的绿色债券，占全球绿色债券市场份额的45%，并且需求不断增长。 → 04-05

04 资本端-欧洲领跑全球ESG投资，可持续基金资产规模远超世界其他地区，多个头部基金机构致力于可持续行业投资

资本端 – 欧洲领跑全球ESG投资，可持续基金资产规模远超世界其他地区，多个头部基金机构致力于可持续行业投资

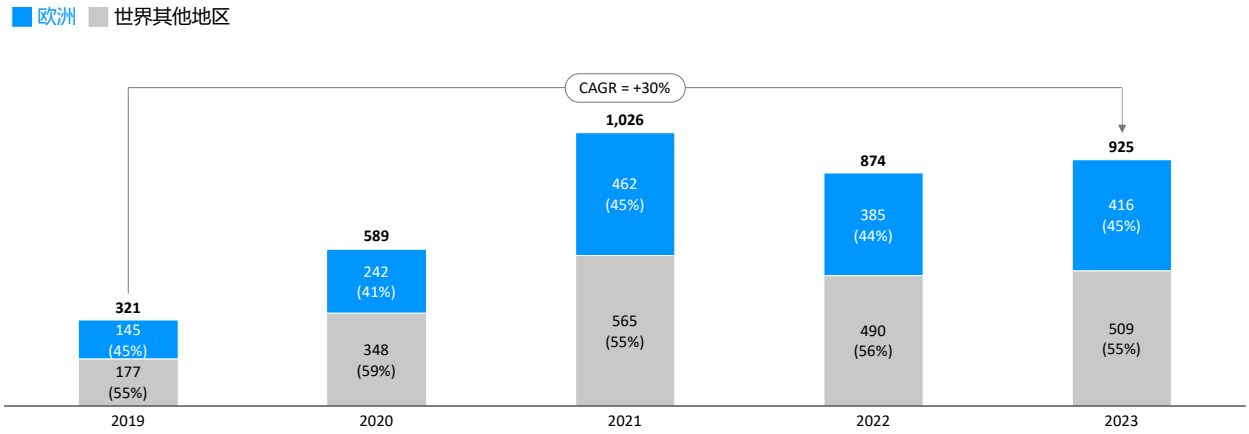
可持续基金规模（按地区）[%，2023年Q3]



资料来源：Morningstar，案头研究；罗兰贝格

05 资本端-欧洲发行了大量GSSSB债券，占据全球绿色债券市场近一半的份额

GSSSB债券[1] 发行规模（按地区划分）[十亿欧元，2019-2023]



1) GSSSB债券包含绿色债券、社会债券、可持续发展债券、转型债券、可持续发展挂钩债券等，其中绿色债券占比最高

资料来源：环境金融债券数据库，标普全球评级；罗兰贝格

在全球碳排总量中，大物流行业产生碳排放占比为23%，甚至在英国与法国等发达国家，该行业是碳排放占比最大的细分领域。面对严峻的气候变化挑战，大物流业的绿色低碳转型已是迫在眉睫

政策与市场双重驱动，推动大物流行业巨头低碳转型

大物流行业的绿色低碳转型，正受到政策和市场的双重推动。短期内，政府和投资者的顶层设计将形成自上而下的政策推动力；长期来看，下游客户对绿色产品和服务的需求，将产生自下而上的市场拉力。在双重动力的驱动下，大物流行业巨头们已经开始行动，纷纷开启了低碳转型之路。 → 06

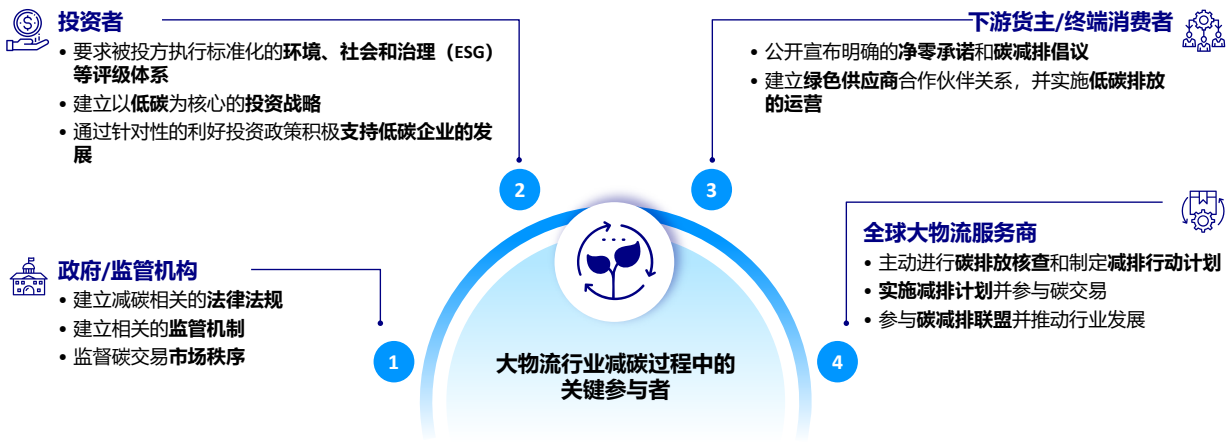
政府/监管机构

政府及监管机构在平台建设、生态系统规则制定以及市场行为引导方面发挥着重要作用。以欧盟排放交易体系（EU ETS）为例，大物流行业的各个子行业正逐步纳入交易体系。第二阶段（2008年-2012年）航空业已优先被纳入，第四阶段（2021年-2028年）海运业也将被逐步纳入。 → 07

投资者

绿色和“净零”发展已然成为大物流行业的主流趋势，与绿色减碳话题相关的标的企业正

06 大物流行业的减碳：全球大物流服务商的减碳过渡呈现出双重动能，即一方面来自政府、监管机构和投资者自上而下的“推力”，一方面来自客户需求的自下而上的“拉力”



资料来源：案头研究；罗兰贝格

07 政府/监管机构：欧盟排放交易体系（EU ETS）是全球最成熟的碳交易市场，经历了四大发展阶段，目前已经将大物流行业中的航空业和海运业纳入交易体系

欧盟碳交易市场发展阶段

	阶段一	阶段二（航空业）	阶段三	阶段四（海运业）
时间	2005 - 2007	2008 - 2012	2013 - 2020	2021 - 2028
覆盖行业	• 电力、水泥、钢铁、玻璃、造纸、陶瓷等	• 新增**航空业**（覆盖来往欧盟内部的航班，以及飞往瑞士和英国的航班）	• 新增石化业、铝业	• 新增**海运业** • 计划2023年起将海运业排放量的20%纳入，2026年实现完全纳入[1]
配额分配	• 95%无偿分配	• 90%无偿分配	• >50%配额通过拍卖发放	• 在欧盟境内港口挂靠的航程，需为100%船舶排放量缴纳碳配额；从非欧盟挂靠港出发抵达欧盟挂靠港的航程，该比例为50% • 免费配额从2026年后由30%逐步降低至2030年的0%
参与门槛	• **覆盖行业二氧化碳当量排放量>25,000吨企业强制参与** • **排放量较小企业根据所在国家的碳税制度征税，不纳入强制碳交易市场**			

1)欧盟计划以2023-2025年作为过渡期，从2023年开始，船东必须缴纳相当于其核定排放量20%的排放配额，此后缴纳比例逐年提高，到2026年实现100%

资料来源：案头研究；罗兰贝格

吸引着资本市场的密切关注。物流地产基金、绿色转型基金、基础设施基金等都在积极寻找与大物流行业绿色和“净零”倡议相关的潜在投资标的。以物流地产基金为例，该类基金会参考第三方绿色评价体系，从而评估目标公司“净零”倡议的表现情况。最终的评估结果将影响对标的公司的投资决策。

其中，GRESB是一个典型代表。作为一个为投资者和管理者提供标的的环境、社会和治理（ESG）绩效数据和同行基准的独立组织，物流地产基金等投资机构通常会参考其评级和信息输入来进行关键的投资决策。2023年，全球2,084个地产投资组合、172个基础设施基金和687个基础设施资产参与了GRESB的评级，总资产价值达到8.8万亿美元。

例如，作为领先的物流地产基金，普洛斯（GLP）高度重视ESG表现。普洛斯在全球范围内有18只基金参与了GRESB评级，覆盖亚洲、欧洲和美洲市场，参评资产占普洛斯全球资产管理规模的55%，占物业建筑面积的47%。→ 08

下游货主/终端消费者

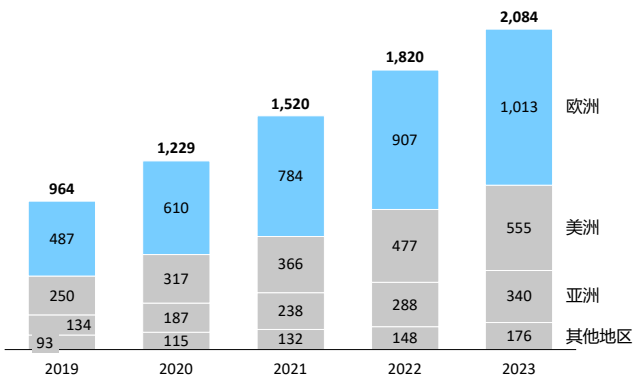
随着可持续发展观念的普及，大物流行业的大

08 投资者：一些物流地产基金可能会参考GRESB评级来评估物流地产投资项目的绿色表现

GRESB评级体系

- 自2010年推出以来，每年增长20%
- 到2023年，有2,084个地产投资组合、172个基础设施基金和687个基础设施资产参与了评级

GRESB评级体系参与者数量（按地区）（个，2019-2023）



领先物流地产基金的行动

GLP

18 个旗下基金参与

55% 全球资产管理规模占比

"今年（2022年），普洛斯向GRESB提交的基金数量显著增加，践行我们对将ESG纳入投资和资产管理流程的坚定承诺。这也是普洛斯作为行业领导者的责任"

——Meredith Balenske，普洛斯全球ESG负责人

资料来源：GRESB 2023地产评估结果，案头研究；罗兰贝格

型货主也会主动披露其碳足迹报告，也因此要求物流服务商提供绿色产品与解决方案。

以海运业为例，众多大型货主（如宝洁、联合利华等）纷纷提出明确的碳中和目标和行动计划，旨在2050年实现向净零物流的转型。此外，2021年，亚马逊、宜家、联合利华等全球知名企业联手成立了“零排放船东联盟”（coZEV），承诺在2040年前采用燃烧零碳燃料的船舶，引领海运业的绿色转型浪潮。→ 09

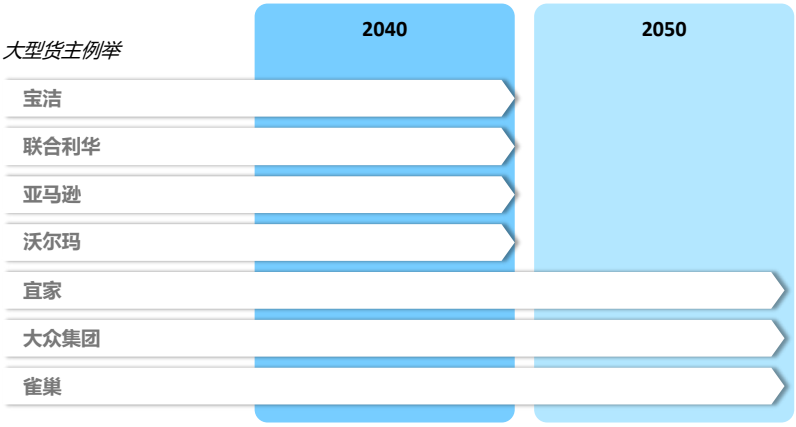
全球大物流服务商

在政策和投资者的“推力”以及下游客户和消费者需求的“拉力”双重动力叠加之下，大物流行业巨头纷纷作出碳中和承诺，将低碳转型提上重要日程，计划从过去碳排放的重要贡献方，转型成为实现减排目标的关键力量。

近年来，众多行业领先企业积极响应客户和监管要求，主动提出碳中和承诺目标，展现出减碳的坚定决心。值得注意的是，这些企业的减排计划正在加速实施。例如，马士基在2022年公布了新的减碳目标，计划在2040年实现全面运营零温室气体排放，比原定的2050年目标提前了十年。→ 10

09 下游货主/终端消费者：多个大型货主承诺在2050年实现碳中和，并做出实现净零物流的承诺

大型货主碳中和承诺时间表（例举）



零排放船舶货主联盟（CoZEV）

目标

- 旨在加速海运行业的脱碳进程，为关注气候的公司提供一个平台，让他们合作、开展倡议，并倡导零排放解决方案，搭建一个绿色物流资源平台

参与方

- 海运服务买家（货主/托运人）、船运公司和政策制定者等

资料来源：案头研究；罗兰贝格

10 全球大物流服务商：大物流行业多个服务商已经展现了明确的减碳决心，宣布了碳中和承诺

宣布碳中和承诺的海运业服务商（以营业额较大的领先企业为例）

码头运营商		混合业务[1]	海运承运方	
波洛莱物流 (Bolloré Ports)	国际集装箱码头服务公司 (ICTSI)	中远集装箱运输有限公司 (China Cosco Shipping)	长荣海运 (Evergreen)	日本邮船 (NYK Line)
招商局 (China Merchants Ports)	PSA国际港务集团 (PSA International)	达飞海运集团 (CMA CGM)	现代商船 (HMM)	万海航运 (Wan Hai)
迪拜环球港务集团 (DP World)	SAAM港口 (SAAM Puertos)	TIL码头投资公司 (Terminal Investment Limited)	商船三井 (MOL)	阳明海运 (Yang Ming)
Eurogate码头 (Eurogate)	SSA Marine码头运营商 (SSA Marine)	马士基码头公司 (APM Terminals)	地中海航运公司 (MSC)	ONE船公司 (Ocean Network Express)
汉堡港口与物流股份公司 (HHLA)	耶尔德勒姆集团 (Yildirim group)			
和记黄埔 (Hutchison Ports)	天津港 (Tianjin Port Group)			

1) 此类公司既开展码头运营业务，也开展货物海运业务

资料来源：案头研究；罗兰贝格

聚焦中国，“物流数智化发展、绿色化转型”“新质生产力”等一系列政策与指导意见为大物流行业的绿色智能化发展注入动力，进一步加速行业系统性绿色智能转型

2020年9月22日，习近平总书记在第75届联合国大会上承诺：“中国将于2030年前实现碳排放峰值，2060年前实现碳中和。” 在顶层规划层面，中国政府已将2030年碳达峰和2060年碳中和目标提升至国家战略高度。国务院发布的《2030年前碳达峰行动方案》覆盖了电力、钢铁、有色金属、石化化工、建材、建筑和交通等关键领域。其中，交通运输与物流作为碳减排的重点行业，绿色低碳变革势在必行，绿色智能化转型也自然成为行业领先企业的核心关注点。

“新质生产力”驱动下的设备绿色智能升级。2023年9月，习近平总书记在黑龙江考察期间首次提出“新质生产力”概念，并在中央政治局第十一次集体学习中强调“绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力”。随后，中国政府出台了一系列政策推动“新质生产力”的实施，促使企业淘汰落后设备，向绿色低碳转型。物流交运行业作为“新质生产力”政策明确提及的七个关键领域之一，绿色智能化升级迫在眉睫。同时，物流行业本身存在大量老旧燃油驱动设备，通过设备的电动化智能化升级改造，在实现绿色化转型的同时，将为生产运营效率全局优化提供执行基础。

同时，大物流行业也正步入“数智化发展、绿色化转型”的高质量发展阶段。2020年，国家发改委、交通运输部发布《关于进一步降低物流成本的实施意见》后，国务院常务会议提出“推进物流数智化发展、绿色化转型”的目标，为物流行业高质量发展提供了明确方向。有效降低全社会物流成本对构建高效流通体系、畅通国民经济循环、更好支撑现代化产业体系具有重要意义。这同样对大物流企业在如何通过智能化、绿色化措施提高行业运营效率、降低运营成本，实现行业的高质量发展方面，提出了更高的要求。 → 11

11 中国市场大物流行业的绿色智能转型趋势：一系列政策措施为大物流行业的绿色智能化发展注入动力，进一步加速行业系统性绿色智能转型

政策解读

新质生产力驱动下设备的绿色智能升级

- **2023.9** 习近平总书记这次在黑龙江考察调研期间，首次提出 *"新质生产力"*
- **2023.12** 习近平总书记在中央经济工作会议上指出，*"要以**提高技术、能耗、排放等标准**为牵引，推动**大规模设备更新**和消费品以旧换新"*
- **2024.1** 习近平总书记在主持二十届中央政治局第十一次集体学习时指出，*"绿色发展是高质量发展的底色，**新质生产力本身就是绿色生产力**"*
- **2024.3** 国务院正式印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》，聚焦工业、农业、建筑、交通、教育、文旅、医疗7个领域，提出 *"**实施设备更新、消费品以旧换新、回收循环利用、标准提升**"* 四大行动

有效降低物流成本，推动行业高质量发展

- **2020.6** 国家发展改革委、交通运输部发布**《关于进一步降低物流成本的实施意见》**，提出6方面24条具体举措
- **2022.12** 国家发展改革委召开新闻发布会，介绍《"十四五"现代物流发展规划》有关情况，提出 *"重点聚焦全链条降成本、系统性降成本，强调通过**提高物流发展质量、增进物流效率**来推动降低社会物流成本水平"*
- **2024.5** 李强主持召开国务院常务会议，研究有效**降低全社会物流成本**有关工作，会议提出 *"推进物流**数智化发展、绿色化转型**...统筹推进物流成本实质性下降"*

启示

- 物流交运行业作为"新质生产力"政策明确提及的七个关键领域之一，绿色智能化升级迫在眉睫
- 物流行业本身存在大量老旧燃油驱动设备，通过设备的电动化智能化升级改造，在实现绿色化转型的同时，将为生产运营全局智能化提供执行基础
- 降低全社会物流成本，对于构建高效顺畅的流通体系、畅通国民经济循环、更好支撑现代化产业体系具有重要意义
- 物流企业需要响应国家号召，通过推进物流数字化发展、绿色化转型的方式，提高行业运营效率、实现行业高质量发展

资料来源：案头研究；罗兰贝格

在"双碳"顶层框架指引下，以"物流数智化发展、绿色化转型"为目标，伴随着"新质生产力"政策红利的释放，中国的大物流行业将加速向绿色低碳、数字智能化的高质量发展阶段转变。

在大物流全价值链的诸多环节中，综合考量减碳吸引力与可行性，海港场景标准化程度高且具备极高的可行性，将是优先进行低碳化转型的领域之一

在吸引力方面，通过对比不同物流运输方式的二氧化碳排放比例与货物周转量比例，来评估其减排潜力。尽管海运环节在大物流行业的碳排放贡献相对较小，但作为全球货运的主要方式，若不采取减排措施，到2050年其碳排放量可能会达到17%，仍将成为重要的碳排放来源。

此外，作为关键的物流节点之一，海港也肩负着减排降碳的重任。船舶及与海港相关的活动不可避免地导致空气和水污染，对海港周边社区的健康构成威胁。因此海港减碳及污染治理带来的港区环境品质提升，可以有效激活港区周边的城市发展，形成港城联动的格局，为临近社区和周边经济发展注入新的活力。

在可行性方面，技术已成为碳减排的关键驱动力，不同物流场景的减排实施进程取决于作

业流程的复杂性和标准化程度。具体来说，工作场景越简单、标准化程度越高，减碳工作的实施进度则快。其中，海运业场景下的工作环节和模式相对简单、拥有标准化的集装箱运输模式，和高度重复的车辆行驶路线。这些特征，都使其成为最具减碳落地可行性的场景之一。 → 12

12 在整条大物流价值链中，高度标准化的海运行业将成为减碳转型的代表细分行业

大物流细分领域的碳减排潜力分析

	吸引力评估			可行性评估		
	碳排放占比 [%，2022]	全球货运吞吐量占比 [%]	综合评估结果	工作环境简单程度	工作流程标准化程度	综合评估结果
海运业	●●○ 14%	●●● ~85%	●●○	◑ • 工作高度重复 • 海港、空港为封闭节点场景	◕ • 以标准化的集装箱运输为主	◕
航空业	●●○ 14%	●○○ <1%	●●○		◑	◑
道路运输	●●● 71%	●○○ 8%	●●○	◔ • 工作重复度较低，干扰因素较多 • 运输过程为非封闭路段	◔	◔
铁路运输	●○○ <1%	●○○ 5%	●○○		◑	◔
其他	○○○ <1%	○○○ <1%	○○○	◔ • 短距离物流（比如工厂物流）适用性较高	◔	◔

吸引力 ○○○ → ●●● 低 → 高　　可行性 ○ → ● 低 → 高

资料来源：案头研究；罗兰贝格

第二章

海港先行：
数字赋能海港减碳方法论

海港减碳方法论：驭绿色浪潮，创深远影响（LEAD the green wave, bring the DEEP impact）

绿色减排是所有企业当前所面临的系统课题，需要对现状进行综合评估，并采取阶段性措施分步实施。同样，对于航运公司与海港运营商而言，低碳转型过程不是一蹴而就的，需要遵循“LEAD”方法论的系统性渐进路径。

在“LEAD”方法论中，海港低碳转型需运用三大关键手段：电气化改造（Electrification）、智能化升级（AI-driven Intelligence）及全局互联转型（Linked Ecology），其中数字化技术（Digitalization）为三大关键手段的基础要素。 → 13

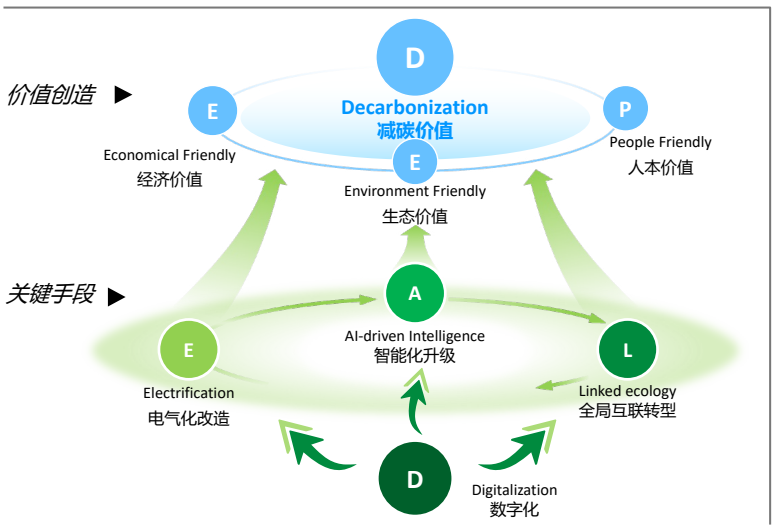
关键手段：减碳是一项系统性工程。对于海港运营商而言，实现最终的绿色转型目标需分阶段采取渐进式手段

第一阶段 - 电气化改造（Electrification）：设备能源转型

电气化是整个碳减过程的起点。它不仅包含能源系统的转换，还能实现设备精确控制及能源监测分析，为整体减碳过程奠定基础。

将传统燃油设备改为电动设备，可以显著降低海港的碳排放量。这种电气化转型适用于海港内的各类设备，如岸桥、场桥设备和运输车辆，既减少了碳排放，又提高了设备的效率和可持续性。

13 海港减碳方法论：驭绿色浪潮，创深远影响（LEAD the green wave, bring the DEEP impact）



关键手段解释

阶段一：电气化改造
- 转换为电动设备
- 新能源配套基础设施（包括充电、换电、储能）

阶段二：智能化升级
- 车辆智能化升级
- 智能管理系统（车辆、设备）
- 能源管理系统

阶段三：全局互联转型
- AI驱动的TOS系统
- 循环经济
- 清洁能源电站

基础要素：数字化
- 标准化和智能化运营活动
- 量化运营活动带来的碳足迹

资料来源：罗兰贝格

另外，海港还能从能源基础设施（如充电、换电和储能）的建设中受益。一方面，这些设施能为电动车辆提供稳定和持续的能源供应，支持其高效运行；另一方面，能源基础设施使海港能在谷时储存能源，并在峰时释放，利用峰谷电价差显著降低整体用能成本。

第二阶段 - 智能化升级（AI-driven Intelligence）：设备和系统的智能化

智能化是海港实现减碳的重要环节。它不仅能提升现有设施的用能效率，而且在完成局部的智能升级后，也可为未来不同管理子系统之间的互联和统一调度奠定基础。

海港可以运用智能技术提高现场设备的运行效率。例如，在海港车辆上安装人工驾驶辅助系统，配合灯杆上的传感器终端硬件，实时监测路况并预判拥堵，以此减少不必要的车辆制动和空转，降低能耗损失。

同时，海港还应采用先进的能源管理系统，从而实现对各类设备的智能监控和优化调度，提高能源利用效率。通过大数据分析和人工智能算法，能源管理系统能实时感知用能设备运行状态，并根据生产和运营计划，利用能耗模型对设备实现精确控制，最大程度减少能源浪费。

第三阶段 - 全局互联转型（Linked Ecology）：信息、能源和物料的循环互联

“全局互联”是海港实现减碳过程的最后闭环。在完成局部环节的智能化升级后，“全局互联”可实现海港整体减碳和运营优化。

在海港使用AI赋能的TOS系统（码头操作系统），一方面可以利用TOS系统联动各个子管

理系统，从而进行全面智能调度和布局优化。另外，也可以通过收集分析海港运营过程中的数据，将结果即时反馈给TOS系统，从而实现调度与计划的动态交互，在全局层面优化作业计划。

同时，海港应大力推行循环经济模式，回收和再利用海港运营过程中使用的材料、集装箱、电池等，延长其使用寿命，减少新材料消耗。

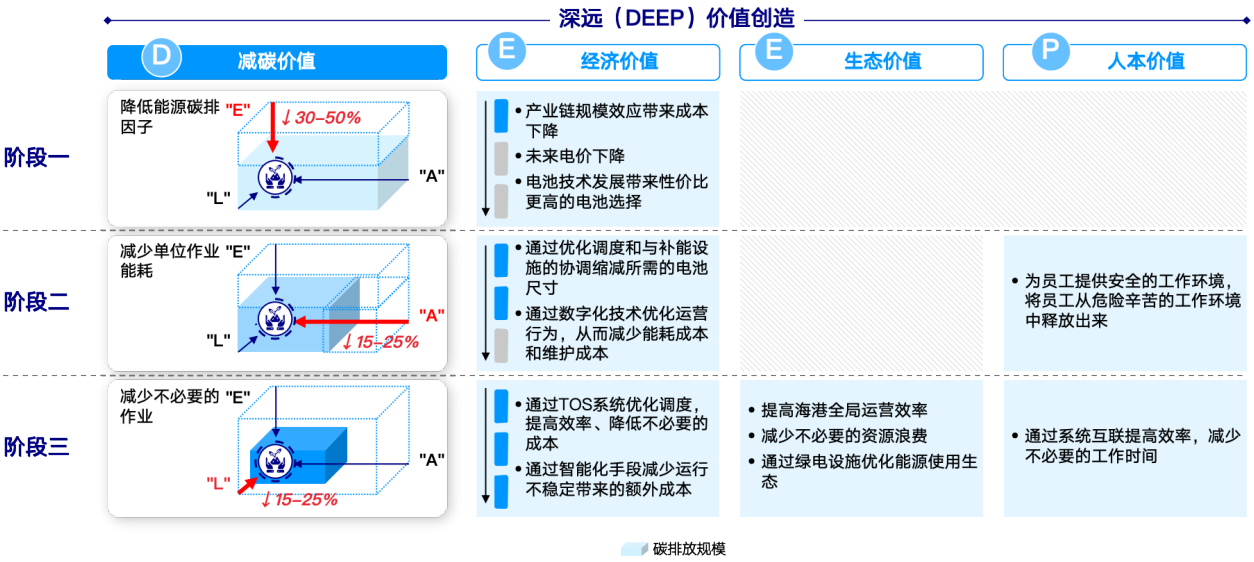
此外，分布式清洁能源站的建立也将助力海港进一步降低碳排。通过利用太阳能、风能甚至潮汐能，海港可完成电源侧降碳的闭环，同时大幅降低对电网售电的依赖，消除电网价格和电力负荷波动的潜在干扰。这不仅意味着更低的碳排放和能源成本，还增强了海港运营的韧性，确保海港作业的连续性。

基础要素：数字化技术是支撑关键手段实施的基础条件

数字化技术为各类减碳措施提供必要的先决条件及必经之路。从执行层面来说，数字化手段可以量化减碳效果、实现对碳排放全程的数据管控，并且能够通过量化的方式标准化运营操作，减少不必要、不规范的操作行为。从决策层面来说，借助前沿技术如人工智能、大数据分析、物联网等，能够辅助人工进行更智能、更高效的决策，从而进一步加速海港减碳的进程。

价值创造：虽然降碳是海港的核心目标，但转型所带来的价值远不止于此，通过“LEAD”方法论，在实现减碳价值的同时也可以实现经济价值、生态价值和人本价值，最终实现全面而深远“DEEP”的价值创造 →14

14 LEAD方法论不仅能够帮助海港加速绿色减碳过程，还带来一系列衍生价值

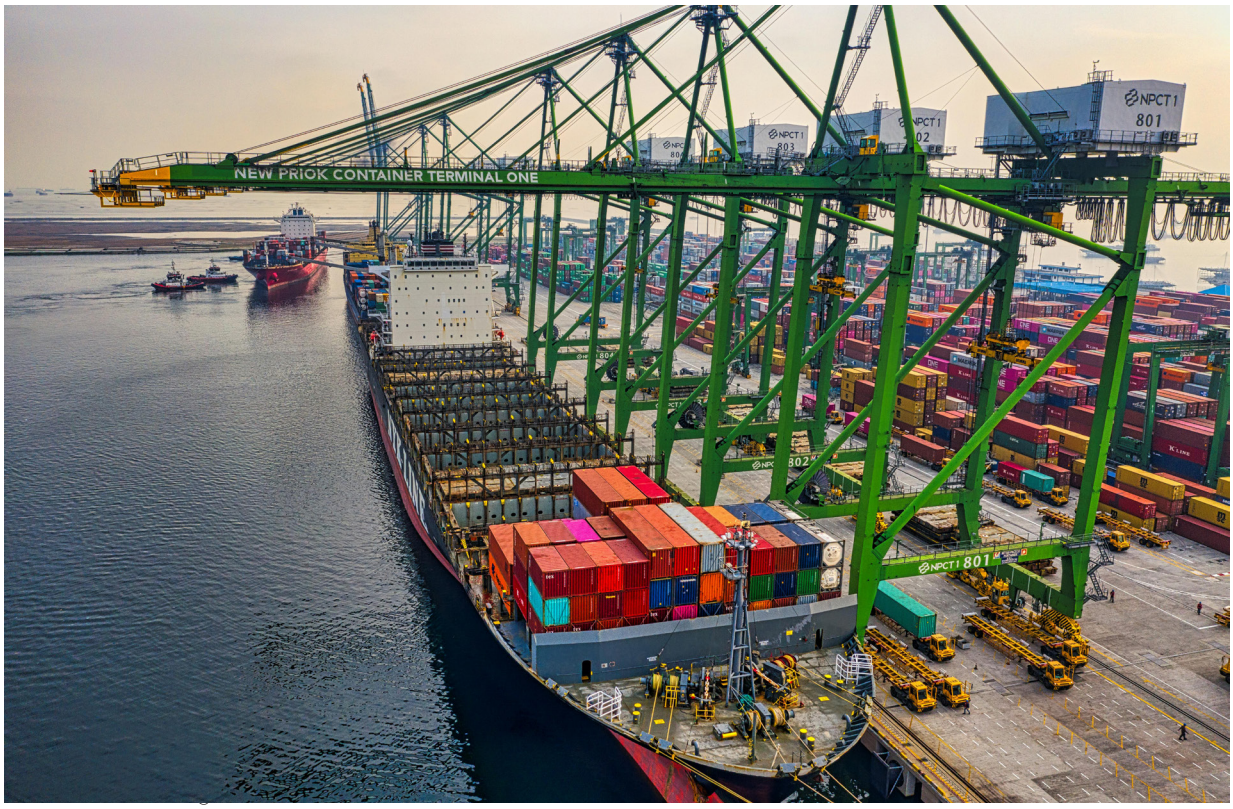


资料来源：罗兰贝格

减碳价值（Decarbonization）：“电气化改造”、“智能化升级”和“全局互联转型”三大手段将分别影响碳排放计算公式中的不同变量因素，从而实现不同程度的减排效果。具体而言，电气化主要通过替代传统化石燃料降低碳排因子，从源头减少碳排放；智能化则通过减少拥堵和空转，降低单位能源消耗，间接地减少碳排放；全局互联则通过提升整体海港运营效率，减少单位标箱所需的作业量（如车辆行驶里程），进一步摊薄单位碳排。

经济价值（Economical Friendly）：海港运营中存在众多依赖燃油驱动的设备，然而在全球燃油价格波动导致的经济压力下，向稳定的可再生能源转型势在必行，而电气化改造便是起点。同时，通过智能化等技术手段优化海港运营，可提高运营效率，实现经济效益。例如，利用车辆监控系统和驾驶行为分析算法，优化车辆驾驶行为，减少不必要的紧急刹车，从而降低单公里燃料消耗，节约成本。

生态价值（Environment Friendly）：连接海港内的各种生产要素，运用数字手段实现整体优化调度，可显著提高海港生态系统的运营效率。此外，大力推行循环经济模式，回收和重复利用海港运营过程中的材料、集装箱、电池等



物品，延长其使用寿命，减少新材料的消耗，海港可实现“零浪费”的生态友好发展。

人本价值（People Friendly）：智能技术可使海港工人避免恶劣的工作环境。同时，通过智能车辆、安全监控系统和远程控制技术等，可减少违规驾驶行为，提高工作安全性。

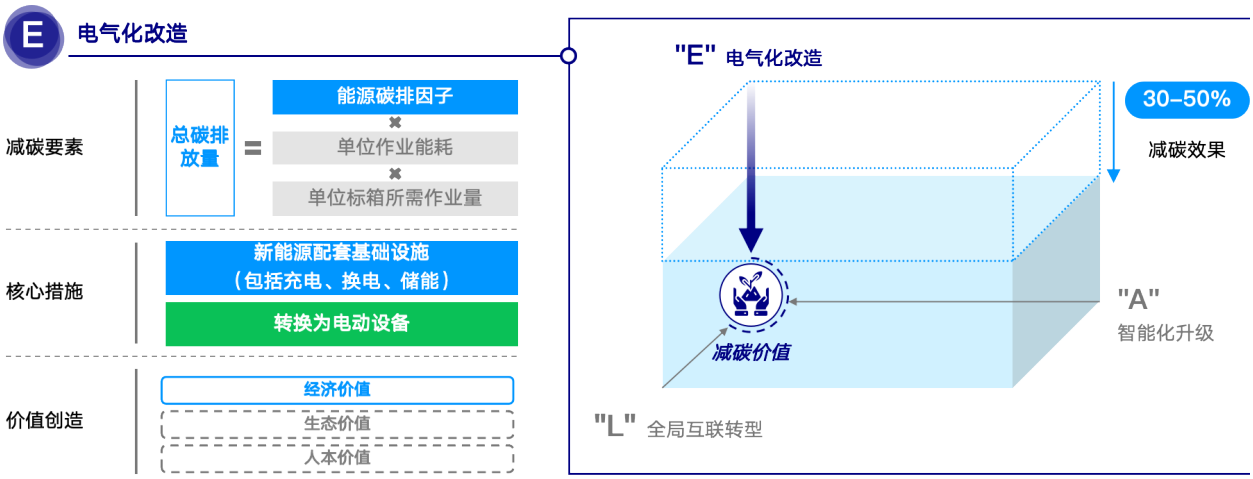
阶段一：电气化改造（Electrification）

主要集中在海港集装箱作业设备的电气化改造或替换，将设备从柴油驱动转变为电力驱动。→ 15

减碳要素：降低能源碳排因子。电力的碳排因子显著低于燃油，通过能源利用类型的转换可以降低设备在使用过程中的碳排放量。

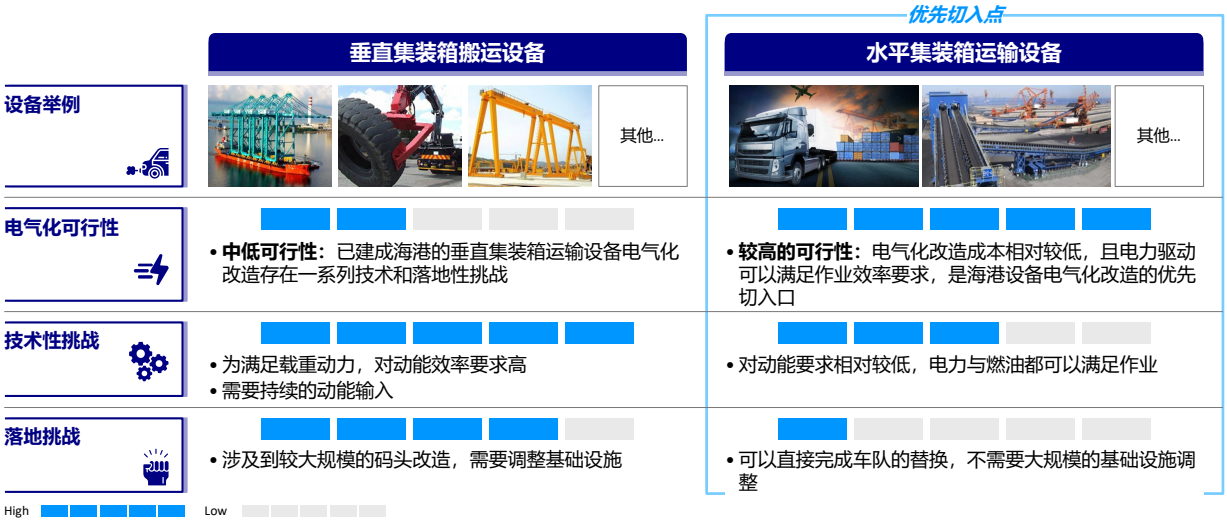
海港场景之内有诸多集装箱作业设备，从大类上可以分成以岸桥为代表的垂直搬运设备，和以重卡为代表的水平运输设备。在各种海港作业设备中，可将水平集装箱运输设备作为电气化的优先切入点。→ 16

15 阶段一：电气化改造（Electrification）
将设备从燃油驱动转变为电力驱动



资料来源：罗兰贝格

16 海港集装箱作业设备电气化改造潜力：目前水平运输设备最具备电气化改造可行性，可考虑水平集装箱运输设备作为电气化的优先切入点



资料来源：案头研究；罗兰贝格

- **对于垂直集装箱搬运设备而言，电气化改造面临诸多技术与实施难题。**岸桥等垂直设备需高功率支持，电池及充电基础设施负担沉重，且电动岸桥的效率可能不及柴油驱动设备。此外，垂直搬运设备的替换改造将牵涉到整个海港布局及基础设施的翻新，过程复杂且成本高昂。目前，中国海港的场桥和岸桥的电气化水平相对较高，但欧洲海港仍以传统柴油动力设备为主，电气化改造进展缓慢。

- **相较而言，水平运输设备（如重卡）的电气化改造或替换在技术上更为可行。**通过将老旧燃油设备更换为电动设备，并匹配相应的能源设施，即可实现电气化改造，无需大规模调整海港原有基础设施。同时，重卡等水平搬运设备对动能要求相对较低，电力可以满足作业需求。

核心措施：

- **设备的电动化：**从燃油动力转变为电力设备，直接实现碳排放降低。

- **新能源配套基础设施（包含充电、换电、储能）：**随着电动设备和车辆的引入，需建立与之匹配的充电桩、换电站、储能装置等基础设施，从而确保设备和车队的正常运行。此外，储能设施通过采取平谷时段充

电、尖峰时段放电的策略，在保障电力系统安全稳定经济运行的同时，也可以平滑电价，实现实质性的经济效益。

价值创造：

- **减碳价值：**采用电动设备将大幅降低碳排放，预计可以减少30%-50%的碳排放（一般情况下，柴油的碳排放因子是电力的2-4倍）。

领先案例：德国汉堡港

汉堡港将可持续发展作为核心战略，目标于2040年实现碳中和。据估算，通过引入电动化设备和海港岸电设施，汉堡港每年可减少三万吨二氧化碳排放。

17

领先案例：汉堡港

将可持续发展作为其核心战略的组成部分，通过引入电动化设备等一系列减碳措施，旨在2040年实现碳中和目标

简介

- 作为欧洲最大的海港之一，每年会产生较高的碳排放量

作业量

~630

千标准箱/月

减碳的关键措施举例

设备电气化改造

- **车队电气化改造：**CTA码头投入运营约100辆自动导引运输车，其中有一半已经使用锂离子电池，预计到2023将完全转向锂离子电池；并且，港口大部分集装箱龙门吊由绿色电力驱动
- 船队电气化改造：正在对穿过易北河（Elbe River）的渡轮进行电气化改造，目前这些渡轮使用柴油动力；Cöllni号是汉堡港首艘电力驱动的工作船

安装岸电供电系统

- **岸电供电系统安装的先行者：**自2018年起,汉堡港已在其集装箱码头和邮轮码头安装了岸电供电设施。
- **2025年启用11个配备岸电系统的泊位：**港口计划到2025年拥有总共11个配备岸电供电系统的泊位，包括7个集装箱船连接点，以及Steinwerder码头和HafenCity码头的岸电设施

引入氢燃料电池重卡

- **氢能替代和加氢站规划：**汉堡港正在用氢燃料重卡替代柴油货车，并计划安装5座氢气加注站和2座移动加注设施，以及一座电解槽设施
- **氢能转型获得财政支持：**港口通过HyPerformer II计划，为氢燃料重卡项目获得了1500万欧元的德国联邦资金支持

关键成果

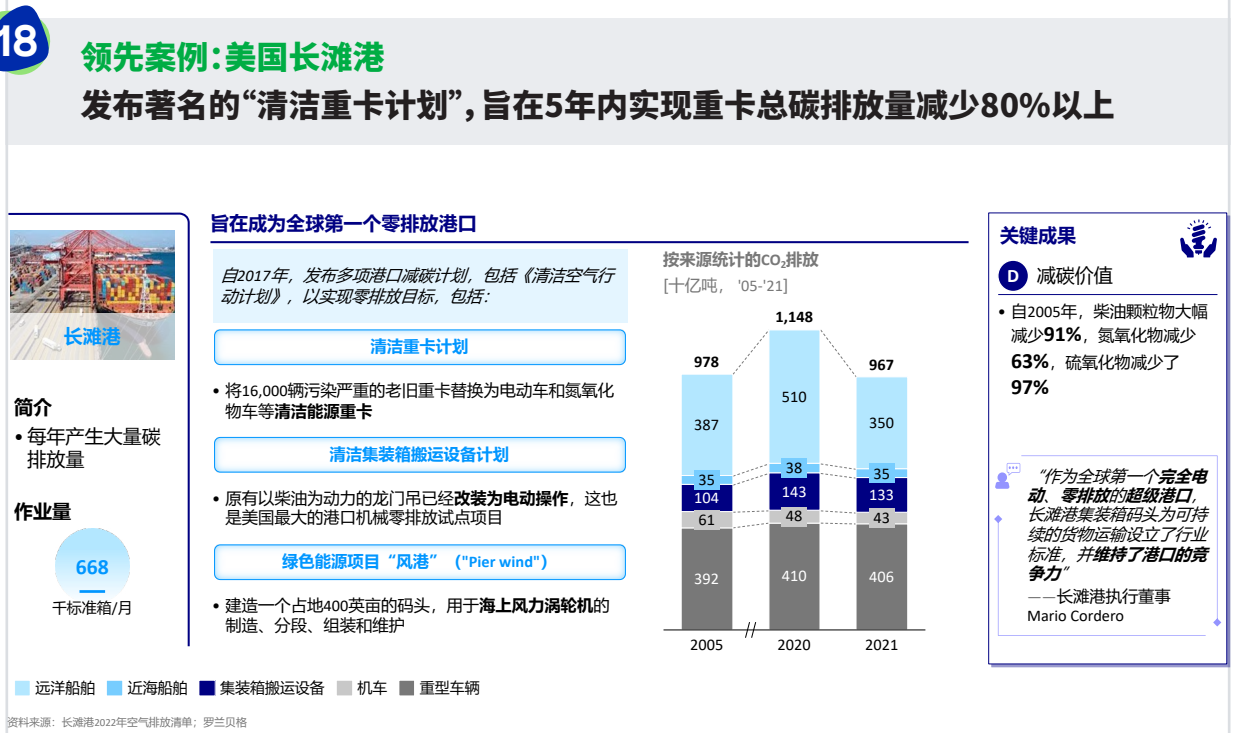
D 减碳价值

- 实现显著的减碳效果，例如岸电设施估计每年可减少**3万吨**二氧化碳排放

资料来源：汉堡港年报；罗兰贝格

领先案例：美国长滩港

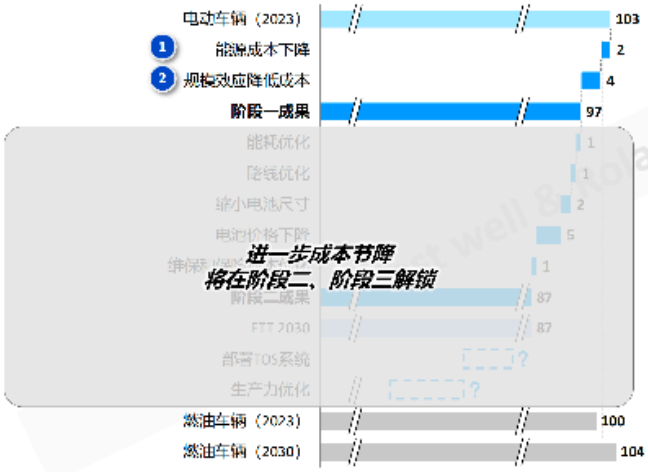
自2017年以来，长滩港已陆续公布多份海港减排计划，旨在达成零排放目标。其中，备受瞩目的“清洁重卡计划”预计在5年内将重卡总的碳排放量降低逾80%。



- **经济价值：** 海港通过采用价格更便宜的电力替代高价燃油，能够直接降低能源成本。此外，随着电动重卡产业链的成熟，规模经济效益将逐渐显现，从而实现电动重卡的全生命周期成本（TCO）降低。→19

- **能源成本下降：** 全球多数地区电力价格低于燃油价格，设备转向电力驱动将为能源成本提供更大降幅空间。随着电力装机容量的增加，电价有望持续下滑，进一步拉大电力与燃油价格差距。此外，分布式储能系统的应用将稳定海港电力供应，通过“削峰填谷”平滑电价，进一步降低能源使用成本。→20-21

19 在阶段一实现的经济效益：得益于能源成本的下降与规模效应带来的设备成本降低，未来电动设备的TCO相比于燃油设备将更低



成本节降关键因素

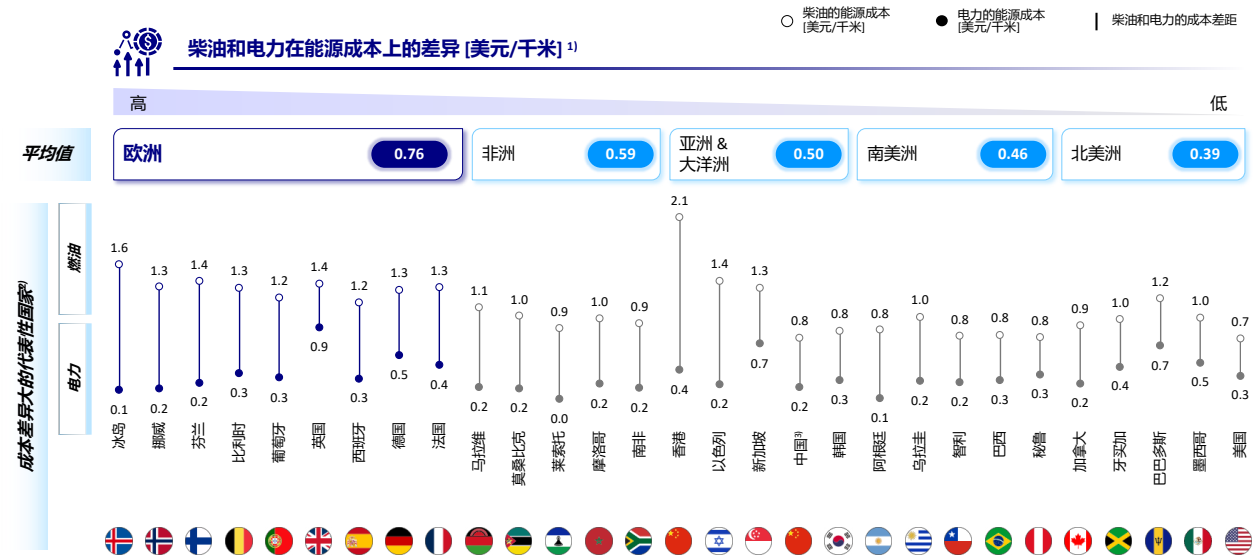
1 能源成本下降

- 预计未来几年电价将下降，整体能源支出成本将降低
- 实施储能系统，并结合分时电价（TOU），进一步降低电力成本

2 规模效应降低成本

- 未来电动车辆的大规模工业生产将降低各种设备成本，包括车辆和软件，从而实现大幅成本节降

20 能源成本下降：目前在全球大部分地区，电力价格通常比柴油价格更低

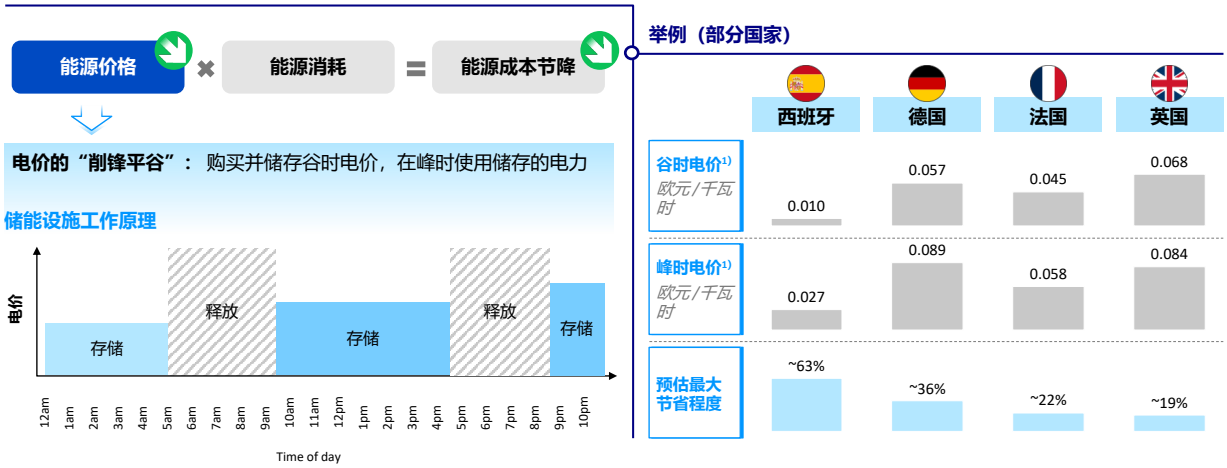


1）基于每公里的电力消耗为2.04千瓦时，柴油消耗为0.7升测算；2）数据来源于2023年第2季度到2024年第1季度；采用特定分时电价，可能根据一周中的具体天数、一天中的时段和不同季节的变化而变化；3）燃油价格来自GlobalPetrolPrices机构发布的2024年4月数据，电力价格来自该机构发布的2023年9月工业电价数据

资料来源：GlobalPetrolPrices；罗兰贝格

21 同时，如果海港配备储能设施，能够减少峰谷分时电价政策带来的成本波动，从而完成“削峰平谷”，进一步节省成本

能源存储设施将进一步降低电力成本



1）数据来源于2024年3月，采用工业批发价格，非最终用户价格

资料来源：国际能源署；罗兰贝格

- **产业链成熟带来规模效应：**随着新能源汽车产业链的日益成熟，生产效率提升带来规模效应，大量生产和销售可以分摊研发成本，促使新能源汽车及相关配套能源设施价格呈下降趋势。

关键考量因素及潜在挑战：

- **优化配套补能设施，减少时间损耗：**相较于传统燃油驱动设备，电力驱动设备需更长的补能（充电）时间。然而，通过合理的充电计划和基础能源设施设计，可以减少充电带来的时间损失，保证电动设备高效运行。因此，为确保运营连续性和成本效益，需根据海港实际情况，在前期定制化设计能源设施布局方案，以缩短充电时间。

- **预留智能化升级接口：**在采购电气化设备时，预留标准化接口以应对未来可能的智能升级则至关重要。选择模块化设计的产品，未来产生设备升级需求时，可以直接替换或升级功能模块，避免因智能升级不兼容带来的大规模设备更换，从而避免不必要的大量一次性资本支出（CAPEX）。

阶段二：智能化升级（AI-driven Intelligence）

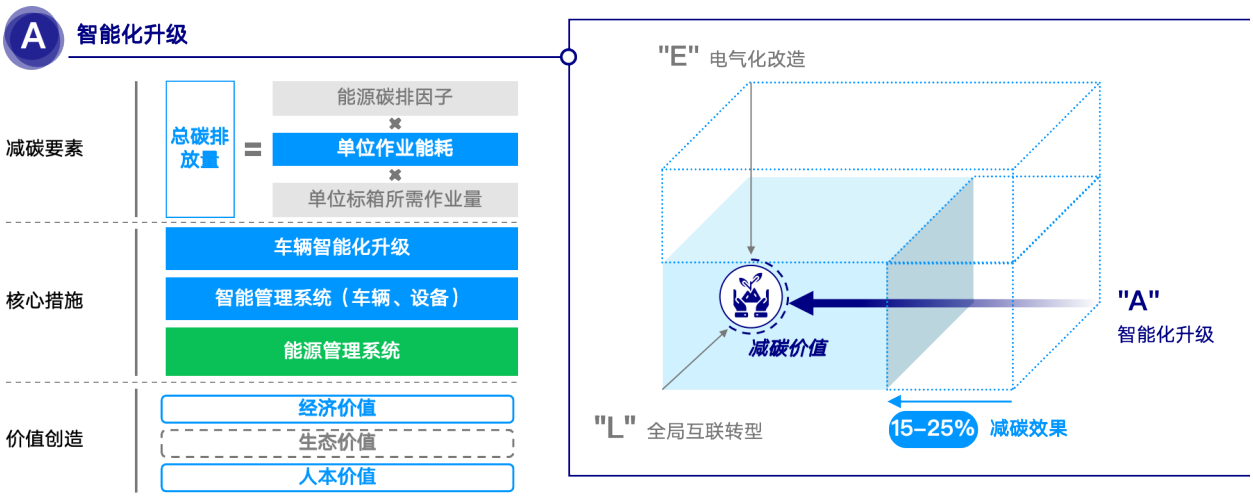
基于智能技术优化设备操作行为和能源管理，进一步降低碳排放并改善工作环境。 → 22

减碳要素：降低设备单位作业能耗。在单车层面，如果车辆搭载智能人工驾驶辅助系统，司机在驾驶过程中可以优化驾驶行为、减少紧急制动和刹车，从而有效降低每公里能源消耗。此外，数字化技术有助于车队实现智能调度与能源管理，减少车辆空转与不必要的能源损耗，提高能源利用效率。

核心措施：

- **车辆智能化升级：**智能驾驶/自动驾驶技术的应用和迭代，可以帮助有人车辆/无人车辆不断优化驾驶行为，同时与运营方的生产及管理系统实现更好的协同，并降低物流生产过程中的单位能耗。
- **智能管理系统（车辆、设备）：**通过协调和优化海港区域内的车辆和设备操作，能够实现碳减排与运营效率提升。例如，利用AI算法与物联网技术的应用，操作人员能够实时监控路况，预判不同线路的拥堵情况，根据实时状态优化车队的调度，帮助车辆优化行驶路径、减少空转等不必要的耗能行为，从而降低单位能耗。 → 23

22 阶段二：智能化升级（AI-driven Intelligence）
基于智能技术进一步减少碳排放，并改善工作环境



资料来源：罗兰贝格

23 智能化管理系统：通过智能辅助系统，帮助员工优化工作行为，避免作业过程中的资源浪费和不必要的碳排放，其中智能辅助驾驶技术为代表

资料来源：罗兰贝格

◇ **标准化司机驾驶行为：**通过智能车辆与路侧设备（摄像头、其他V2X感知器件）的交互，以及与系统间的协同，使车辆具备超过司机的视野，帮助车辆提前规避拥堵及紧急情况，减少紧急制动对于车辆的损耗。通过疲劳驾驶检测和注意力监控等技术手段，监测司机状态并发出提醒，提高驾驶安全性。还可以通过自动泊车和前后双向车辆检测等功能提高行驶精确度。

◇ **智能辅助决策：**路线优化，根据实时交通与货物分布情况，选择最佳路线，避免拥堵与延误，提高运输效率；调度优化，根据货物数量与目的地，合理安排车辆出发时间与路线，避免空载与重复运输。

◆ **能源管理系统：**智能的能源管理系统（EMS）协助海港运营商管理与监控电力设施、用能设备。通过能源管理系统，海港运营商可最大程度降低能源消耗与成本支出，提高能源使用效率，优化能源调度。

→ 24

24 能源管理系统：协助海港运营商管理与监控电力设施、用能设备，提高能源使用效率，优化能源调度

智能能源管理系统概览

资料来源：罗兰贝格

◇ **用能侧能源管理：**以重卡为例，利用制动能量回收系统，能够在车辆的制动过程中将车辆动能回收和存储为电能，以减少整体能量耗散。同时，在驾驶过程中，能源管理系统能够分析操作参数和能耗数据，从而诊断车辆驾驶行为、辅助人工平稳驾驶与减少能源损耗。此外，海港内电力、风能、太阳能等多种能源亦需监控，为能源分配提供参考。

◇ **能源供应管理系统：**通过统一的能源管理系统，能够监控、控制与优化各个子系统管理下设备的能源消耗。利用物联网、人工智能与大数据等前沿技术，实现能耗数据的智能化分析预测。例如，利用能耗数据，为未来海港部署清洁能源电站进行财务模型预测，辅助海港运营商优化部署方案。

◇ **灵活能源调度：**基于智能数据分析与需求预测，在高峰与平谷需求期间动态调整能源供应，减少能源损耗。

价值创造：

◆ **减碳价值：**运用智能技术和系统化的能耗数据收集，可以优化设备运行和标准化操作员行为，从而降低单位能耗。例如，在使用人工驾驶辅助系统后，智能化的电动重卡每公里能耗降低15%-25%。

领先案例：泰国林查班港

随着货运量增加，泰国林查班港近年出现海港操作人员不足的问题，同时员工的工作环境也存在安全隐患。为此，林查班港引入智能化方案，采用无人驾驶电动重卡、有人驾驶电动重卡、有人驾驶柴油重卡无隔离的混合作业模式，既降了低碳排放，节约能源成本，同时也优化了驾驶员驾驶体验。

25

领先案例：泰国林查班港

无人驾驶电动重卡、有人驾驶电动重卡、有人驾驶电动柴油重卡无隔离混合作业，在实现降低碳排放的同时，也帮助港口节约能源成本，提升员工驾驶体验

简介

- 司机招聘困难
- 存在安全隐患
- 高碳排放量

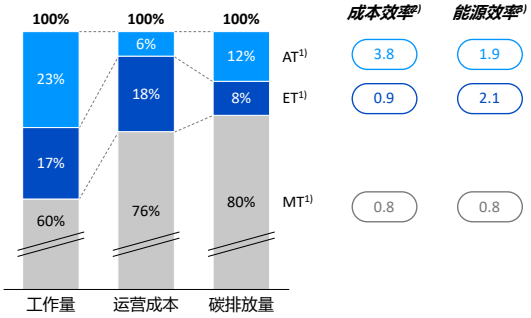
作业量

130

千标准箱/月

性能比较 – 传统柴油重卡vs. 新能源重卡

引入**24辆新能源重卡**（15辆新能源自动驾驶车辆，9辆新能源人工驾驶车辆）与**32辆柴油重卡**，实现100%无隔离混合作业



关键成果

D 减碳价值

如果100%使用绿电，每辆重卡每年减少约**45**吨碳排放

E 经济价值

每年减少 **111**4)千欧元的能源成本

P 人本价值

工作环境实现**零CO_2**排放

"电动重卡的驾驶舒适性高，行驶时更安静更平稳"
— 港口重卡司机

1) MT =人工驾驶燃油重卡, ET= 人工驾驶电动重卡, AT= 自动驾驶电动重卡; 2) 成本效率=工作量/运营成本; 3) 能源效率=工作量/碳排放量；4) Euro to RMB exchange rate = 7.66 (2023 averaged rate)；

资料来源：罗兰贝格

- **经济价值：**利用智能化技术升级设备和系统，多种因素共同推动成本降低。→ 26

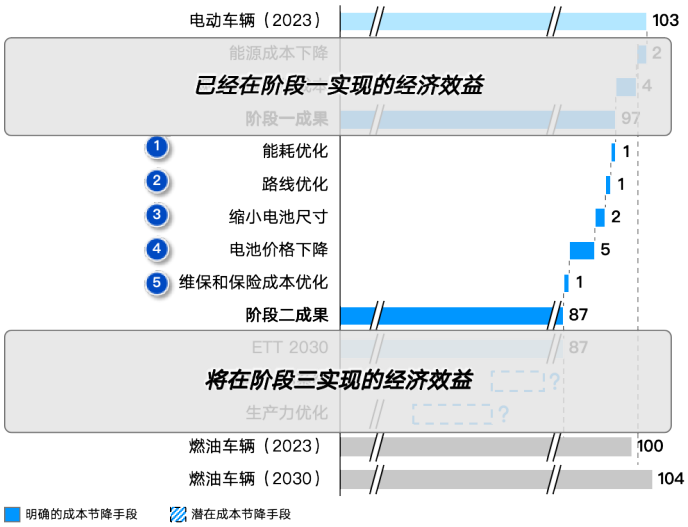
例如，电池技术改良将导致单位成本降低，进而降低电动车辆售价。通过电池尺寸和补能设施的协调设计，使较小容量电池亦能满足运营需求。持续优化智能车辆驾驶策略及行为，最大限度减少磨损、损坏及事故率，营造更安全、更高效的工作环境。车队管理系统（FMS）的部署应用，可以通过算法规划并缩短工作路线，减少空驶和绕道等行为，进一步降低电动车辆能耗。

- **人本价值：**为海港工人提供安全舒适的工作环境，保障员工安全与工作效率。

  - **更安全的工作环境：**协助工人远离危险的工作环境。岸桥与场桥在操作过程中，工人无需长时间高空作业。在车辆运输过程中，避免视野盲区，规范驾驶员行为，降低碰撞风险。

  - **更舒适的工作环境：**将工人从恶劣的户外工作环境释放出来，转至远程控制室等更为舒适的环境。简化界面与流程，减少流程步骤并降低复杂度，使操作员能够更轻松地完成任务，从而减轻工作人员负担，提升工作效率。

26 在阶段二实现的经济效益：利用智能化技术升级设备和系统，多种因素共同推动成本降低，包括能耗优化、路径优化等，电动设备的TCO将进一步降低，显著低于燃油车辆



成本节降关键因素

1 能耗优化
- 通过辅助驾驶系统，减少急刹等高能耗行为，从而降低电动车辆的能源消耗率

2 路径优化
- 车队管理系统（FMS）可以通过算法规划并缩短工作路线，减少空驶和绕道等行为

3 电池尺寸减小
- 通过电池尺寸和补能设施的协调设计，较小的电池即可满足相同的运行要求

4 电池价格下降
- 电池技术的进步将导致单位电池成本下降，同时优化电池使用习惯将提高电池性价比

5 维护成本优化
- 作业和驾驶的优化将减少磨损和事故率，从而降低常规维护和保险的费用

资料来源：罗兰贝格

领先案例：英国菲利斯杜港

英国菲利斯杜港作为英国最大且最繁忙的海港，对运营效率和稳定性的要求极高。然而近年来因重卡司机短缺，严重影响了海港的运行效率。

为了解决这一问题，目前该海港引入了自动驾驶新能源重卡，并配套了车队管理系统和能源智能管理系统，成功降低了碳排放，并填补了人力空缺，保证了海港的稳定运行。

27 **领先案例：英国菲利斯杜港**

通过集成自动驾驶新能源重卡、车队管理系统和能源管理系统的解决方案，减少碳排放

简介

- 英国最大、最繁忙的海港，对作业效率和稳定性有很高的要求

作业量

~320

千标准箱/月

能源管理系统

PowerOnair 电池换电生态系统

云平台

电动重卡 ⟷ 换电站

- 通过能源管理中心提高**能源效率**
- 通过大数据分析实现**全生命周期碳足迹**管理

极精准的定位系统

新一代融合感知架构

传感器
- AI摄像头
- 激光雷达

Q-truck

算法
- 全栈系统

- 实现车辆精确**厘米级**定位
- 实现转向偏差仅**0.5度**的高精度控制

车队管理系统

FMS

数据 ↑ 指令 ↓ 数据 ↑

重卡A　重卡B　重卡C　....

- 高效管理车队，进行一对一**任务分配**并**降低车辆闲置率**
- 先进的TOS使系统与设备实现**实时交互**

关键成果

D 减碳价值

每辆重卡每年减少**50**[1)]吨碳排放

P 人本价值

大约需要**5分钟**完成电池更换

弥补劳动力短缺，保证稳定作业

"新型重卡有助于提高港口集装箱作业效率，确保作业稳定性"

——港口执行董事

1) 基于100%绿电供应的情形

资料来源：案头研究；罗兰贝格

关键考虑因素及潜在挑战：

- **前瞻性规划部署：**硬件部署（如物联网终端传感器）、底层数据收集（数据标准化和清洗）以及基础设施建设（充电、换电、储能等补能设施）均需进行系统设计和规划。
  - **预留接口以连接不同系统：**将人工智能无缝集成至现有物流系统中可能面临兼容性问题、数据互联操作性以及人工智能平台与传统系统协同性等挑战。因此，智能化升级需提前规划系统接口，采用标准化数据格式，以实现未来更顺畅的系统集成。
  - **为未来设备升级做好准备：**通过应用标准化接口和数据协议，确保不同系统

间的无缝衔接，提高协同工作效率和数据共享能力。标准化不仅有助于降低技术壁垒，还能推动跨行业和跨平台的创新与合作，为智能化、自动化发展奠定基础。在此框架下，各系统可更加灵活地集成、扩展和升级，以更好地应对未来挑战和机遇。

阶段三：全局互联转型（Linked Ecology）

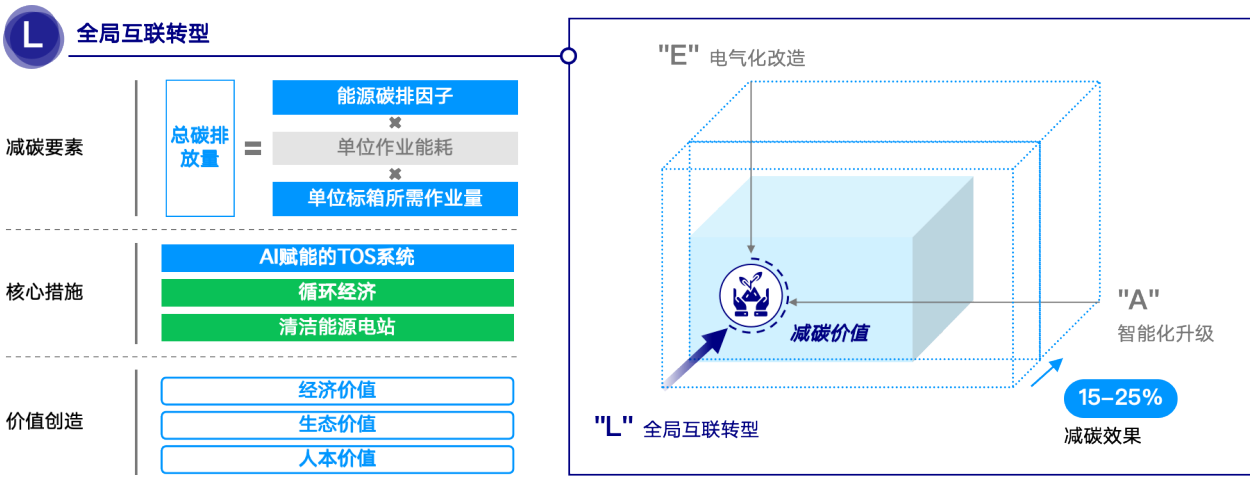
打造互联生态，整合海港内分散的设备、系统、能源与信息，构建高效的互联生态系统，在协助海港实现最终绿色转型的同时，提高海港全局的运营效率。 → 28

减碳要素：降低每标准箱作业量，以进一步降低能源碳排因子。

降低单位标箱所需作业量：通过TOS系统整合海港各要素，统一规划，在保持同等吞吐量的前提下，减少翻倒箱及非必要作业里程，提高运营效率。例如，针对重卡，根据海港作业实况，调整集装箱堆放位置，结合智能车队管理系统，缩短运输路线，降低碳排放。

- **降低能源碳排因子：**在海港周边部署绿色能源设施（如光伏、风能发电站等）是降低碳排放的有效手段。通过部署零碳排放的清洁能源供应，减少火电等高碳排放电源

28 阶段三 – 全局互联转型（Linked Ecology）
通过将海港内分散的系统、设备、能源和信息进行整合，构建一个互联的生态系统，提高全局运营效率



资料来源：罗兰贝格

的使用比例，进一步降低海港电力系统的碳排放强度，真正实现“零碳”运行。

核心措施：

- **AI赋能TOS系统（码头操作系统），协调海港关键要素**：将海港内系统、员工与各类基础设施进行互通连接，通过智能平台实现统一管理，提升海港整体运营效率。智能平台可远程监控与管理海港运营活动，包括员工工作情况、设备运行状况及能源使用情况，实现更高效的资源调度、更快速的货物处理、更少的能源浪费及更低的运营成本。

  - **AI赋能TOS系统重构：**在传统的TOS系统中，约有30%的计划工作依赖人工设置。同时，在调度层面，集装箱作业指令由计划模块向各设备管理系统（如车队管理系统）的调度模块单向流动。未来引入AI赋能优化的新TOS架构后，算法和策略可大幅降低人工干预的程度，实现自动规划、智能船舶配载、智能堆场分配。在新的调度过程中，各设备可以在TOS层面形成集成的调度模块，实现调度与计划的动态交互。这不仅有助于TOS与岸桥、场桥、车辆等执行设备间实现更紧密的协同，获取即时反馈，还能以调度反馈计划，在全局层面优化作业计划，优化箱位布置和作业路线，提升整体装卸效率，降低单位能耗，实现精益运营。

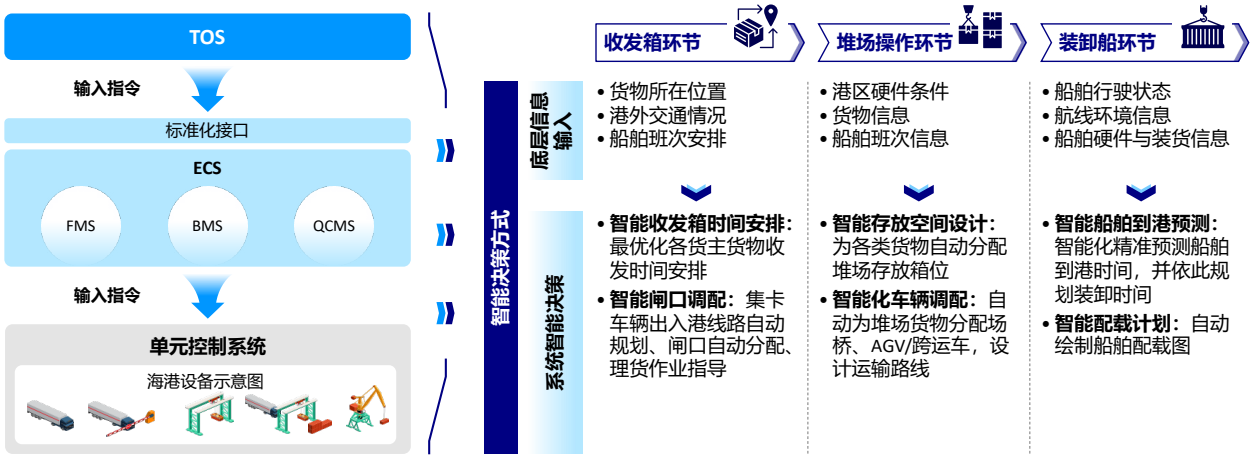
  - **AI赋能员工管理：**利用智能系统实现更动态、全面的劳动力分配优化，智能管理每项任务的劳动力需求，避免人员过度轮换。同时，智能监控加班情况，避免工人过度疲劳操作。

  - **基础设施（如集装箱）布局优化：**例如，优化集装箱堆放位置，根据船舶到达计划提前完成翻倒作业。通过AI算法，实现对多品种、小间距、不规则的集装箱货物的最优管理。优化进出口集装箱存储区布置，提高集装箱空间利用率。→ 29

展望未来，TOS系统的发展前景更为广阔。下一代码头管理系统，能够深度融合原来的TOS系统和ECS（设备控制系统），充分整合管理和控制业务，实现实时数据交互，并根据实时输入进行动态规划。

  - **实时数据交互：**新一代TOS系统将支持与ECS之间大量且双向的数据流交换。实时信息的持续交换，包括船舶入港及离港时间、集装箱与货物详情、设备状态与位置，以及环境条件（如天气、交通等），都将使升级后的TOS系统对海港运营状态保持全面且实时的把控。

29 AI赋能的码头操作系统（TOS）实现关键元素的联动：将各个管理子系统连接到TOS系统，并通过TOS系统实现统一的调度管理，以提高海港的整体运营效率



资料来源：罗兰贝格

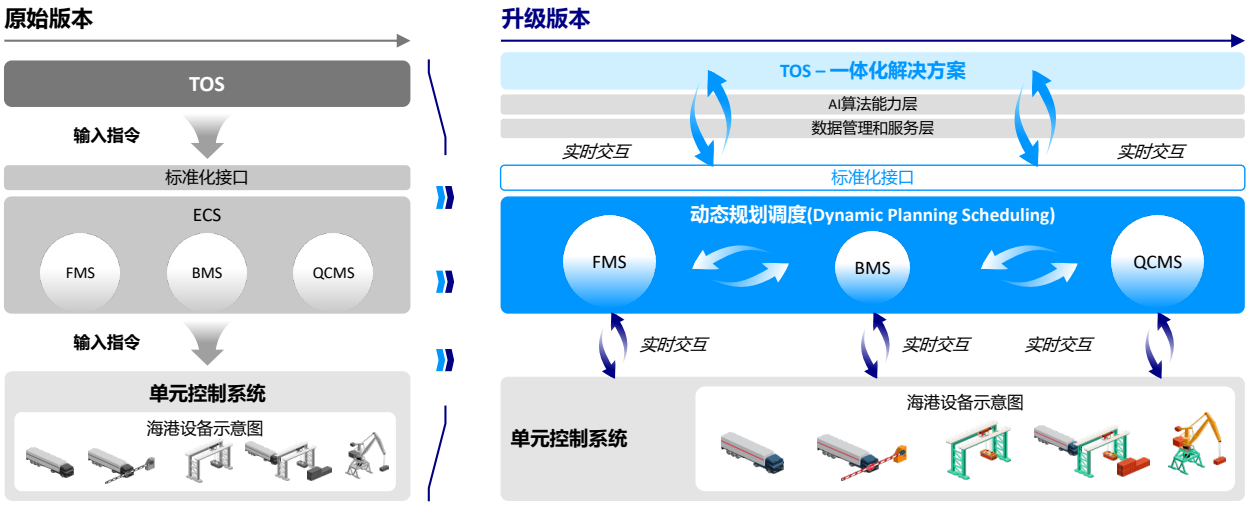
◇ **动态规划和优化：**升级后的TOS系统将具备高级数据分析及预测建模功能。TOS系统将能依据实时作业情况动态调整运营计划，如动态调整车辆行驶路径以应对突发事件，调配劳动力及资源以适应货物量波动，甚至优化船舶停泊与卸货顺序使海港运营效率最大化。

实时数据交互与动态规划的整合有望显著提升海港运营效率，包括减少停机时间，优化资源利用（设备、系统、人员、能源等），增强对变化条件的响应能力，以及加强对整个海港生态系统的可见性与控制力。通过无缝连接设备、系统、人员与能源等元素，TOS系统开启了智能海港管理的新时代。→30

◆ **循环经济：**在海港发展循环供应链，推动资源的回收利用，包括回收与再利用材料（如货物包装材料）、工程机械、旧集装箱、电池等。→31

◇ **海港材料与机械设备回收：**在海港运营过程中，可通过维护、重复使用、翻新与回收，实现材料与机械的循环经济。维护是循环利用的基本方式，可有效延长使用寿命。此外，部分海港固定资产（如码头装卸设备）在特许经营权结束后可被另一家经营者租赁与重复使用，实现循环利用。同时，升级现有海港设备

30 升级的TOS系统：通过智能算法的助力，升级后的TOS系统能够实现实时动态的数据传输，提升海港对变化条件的及时响应能力，从而进一步优化海港运营



资料来源：罗兰贝格

31 循环经济：建立海港循环经济机制，包括维护、再利用、升级和回收，实现海港“零浪费”目标

资料来源：案头研究；罗兰贝格

以改变其功能或操作特性亦为循环利用的一种形式。最后，报废的海港设备材料（如金属材料）亦可进行有效回收利用。

◇ **集装箱回收：**海港集装箱作为可用于市场交易的标准化设备，为保持其可用性，需进行清洁、维护与修理。使用15年后，海港集装箱可被回收用于组件或其他新用途。

◇ **电池回收：**电动重卡电池的回收或再利用取决于其状态、剩余容量及对二手电池的需求。金属可通过水冶冶金或火冶冶金工艺从废弃电池中提取回收。电池回收有助于回收有限资源、减轻采矿对环境的影响，并降低对新原材料的需求。若电池剩余容量与健康状况良好，可对其进行翻新，梯级利用于储能系统。一般情况下，替换下的电池还保有原来容量的80%，具备一定的回收再利用潜力。

领先案例：荷兰鹿特丹港

作为欧洲最具影响力的海港之一，鹿特丹港已明确设定减碳目标，即在2025年度碳排放比2019年削减75%，2030年达到90%，以期实现完全碳中和。

鹿特丹港致力于构建海港循环经济，具体措施包括建立物料循环利用系统与碳捕捉计划，以求降低材料消耗与加速碳中和进程。2018年启动物料循环利用项目，来减少材料消耗，2020年启动试点实施碳捕捉系统，来减少其运营产生的排放。

32 **领先案例：荷兰鹿特丹港**

通过有效的港口循环经济体系，实现海港物料循环和碳排放捕捉

资料来源：2023年度报告 – 鹿特丹港管理局；罗兰贝格

◆ **分布式清洁能源电站：**在海港周边配置绿色能源设施（如光伏、风能发电等），降低能源使用的碳强度，同时消除外部电网不稳定带来的风险，保障海港在运营过程中，持续稳定地获得电力供应。

◇ **降低电力碳排放因子：**当前许多地区电网仍高度依赖碳排放因子较高的热力发电形式。通过在海港内建设可再生能源发电厂，可以进一步降低电力碳强度，从而实现真正的零碳运营。

◇ **稳定电力供应及能源储存：**海港需稳定可靠的电力供应以支持运营。海港内的分布式电站有助于稳定电力供应，解决外部电网不稳定导致的能源供应波动风险。此外，储能系统与清洁能源电站的结合，可减少可再生能源的间歇性，确保电力供应持续可靠。

◇ **应用成熟技术优化能源来源：**近年来，绿色发电技术已相当成熟，海港本身广阔的土地资源与沿海地理位置，为安装风机和其他可再生能源基础设施提供了理想条件。通过建设独立的清洁能源电站，海港也可以将多余电能出售给电网，实现能源最大化利用。

◇ **依托能源管理系统优化能源使用：**海港还可考虑实施综合能源管理系统，将发电、配电和用电整合在一起。这将进一步优化能源使用，实现节能减排 → 33

价值创造：

◆ **减碳价值：**在局部环节实现智能化提升之后，通过设备、系统、人员以及能源的协调统一，海港能够实现整体减碳优化并降低运营成本。同时，建立海港循环经济模式能有效减少资源浪费，达到节能减排的效果。此外，建设清洁能源电站使海港能够

33 清洁能源电站：在港口周边建立分布式绿色电站（如光伏、风能发电等），能够进一步实现碳减排并优化运营

搭建绿色电站的优势举例

资料来源：案头研究；罗兰贝格

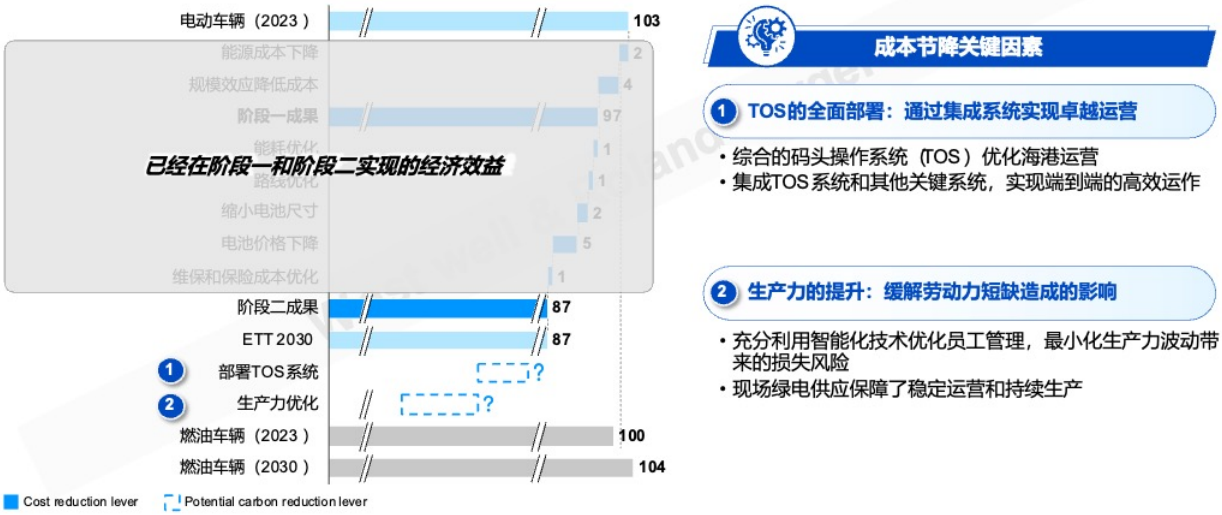
在能源利用过程中降低碳排放因子，进而实现真正的零排放。

- **经济价值：**第三阶段实现的经济效益主要源于TOS系统对海港整体调度的优化，同时TOS系统将收到的实时反馈数据进行整合分析，在全局层面优化作业计划。→34

  - **TOS系统的全面部署实现精益运营。**具体而言，海港可整合基础设施位置信息和车辆行驶数据，优化基础设施布局，从而缩短车辆工作距离，降低能耗成本。此外，TOS系统与其他系统的连接有助于全面提升海港运营效率，降低单位作业成本。

  - **生产力提升，缓解劳动力短缺造成的影响。**通过数据分析，减少工人等待起重机作业的时间，提高装卸效率，优化员工管理，实现船舶泊位和离港计划与海港作业的无缝衔接，最小化生产力波动带来的损失风险。此外，清洁能源电站的部署也为海港稳定作业提供持续性不间断的能源支撑。

34 在阶段三实现经济效益：随着TOS系统的全面部署和生产力持续提升，未来有潜力进一步降低总成本



资料来源：罗兰贝格

- **人本价值：**通过统一管理的海港TOS系统，智能整合船舶到港时间和货物特性，提前安排卸货等工作，实现更高效的员工轮班管理和工作协调。同时，操作人员只需通过系统界面发出指令，智能设备即可自主完成任务，大幅减少手动准备和重复劳动。该系统还具备人机交互功能，可根据员工习惯调整操作流程，提升工作体验。

- **生态价值：**将海港的各种核心要素，包括系统、设备、员工、能源基础设施等进行联动，并统一调度和管理所有系统。这一转变使单个操作优化升级为整体操作优化。统一调度所有系统可实现协同优化操作，提升整体运营效率。同时，建立循环经济模式，不仅能实现资源和能源的高效利用，还能减少对环境的负面影响，推动海港的可持续发展，实现生态友好。

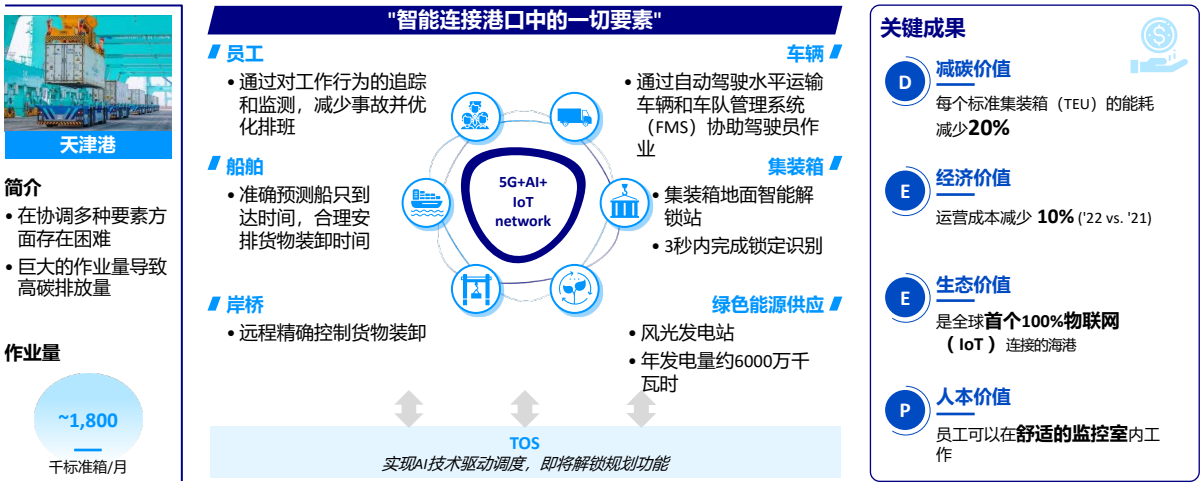
领先案例：中国天津港

作为国内领先的智能化绿色海港，天津港在低碳转型道路上走在前列。2021年，天津港成为全球首个智慧零碳码头。

35

领先案例：中国天津港

基于AI技术驱动的TOS系统，智能互联港口中的所有要素，实现“DEEP”价值创造



资料来源：案头研究；罗兰贝格

天津港智能方案的核心是基于AI驱动的先进码头操作系统。TOS系统集成全部海港活动，运用实时数据分析和优化算法，实现装卸和设备管理流程自动化，并计划在未来实现自动规划功能。

同时，为提升效率，天津港引进大量无人驾驶集装箱运输车辆（IGVs），助力海港每小时处理更多集装箱，同时改善操作人员工作环境及安全性。如今，海港工人可在舒适的控制室远程监控设备。

可持续发展亦是天津港的重点关注领域，其北疆港区C段智能化集装箱码头成为全球首个100%使用电能的码头，并配建风光电站。这降低了海港整体能耗及碳排放，同时保证了绿色能源的稳定供应。

关键考虑因素及潜在挑战：

- **以业务流程为导向，采用端到端解决方案：**实现海港全面减碳和运营优化的目标颇为复杂，仅靠个别环节的设备升级和系统建设难以达成的目标。为此需全面考虑实际问题，深入理解业务流程，从早期规划设计至后期运营维护，采用端到端的一

体化解决方案确保顺利转型。

- **持续提升信息识别精度与全面覆盖：**海港整体运营优化需采用更先进的自下而上信息识别解决方案，以实现全面覆盖和更高精度的信息输入。因此，需运用先进的技术和系统性数据收集、分析和利用能力，包括对传感器、监控设备和分析工具的应用，以及对信息管理系统和决策支持系统的部署实施。

- **与外部专业供应商合作寻求专业支持：**海港需寻求更多外部专业服务提供商提供技术和服务。海港涉及与多方面系统的互联互通，专业合作伙伴可协助海港建立具备强大兼容性的传输标准，确保系统间的顺畅通信和数据交换。同时，随着数据量增加，海港对计算能力的需求将更为显著，需借助外部合作伙伴的计算能力支持。

基础要素：数字化手段

数字化是实现低碳行动的必备基础，有助于量化降碳成效，规范运营操作，进而赋能加速减碳过程。

- **量化降碳成效：**数据的统计与贯通在碳足迹评估中至关重要，数字化的记录和分析将贯穿整个碳足迹核查过程。数据的准确性和全面性直接影响碳足迹评估的结果和后续的减排策略。因此，确保数据的可靠性和及时性，并采用科学有效的数据管理方法，对于实现精准的碳足迹评估和进一步实施有针对性的减排措施至关重要。

- **规范运营操作：**数据可用于规范海港各环节的操作。例如，通过收集和分析司机的驾驶行为数据，如驾驶速度、加速、制动等，海港运营方可制定标准化的驾驶行为指南和培训计划。此举不仅可提升重卡司机的驾驶安全性，降低事故风险，还可优化海港内部的物流流程，提高整体运营效率。通过数字化规范运营，海港可实现更

高效、更安全、更可持续的运营。

此外，借助AI、大模型和物联网等先进技术，可进一步推动海港低碳转型。例如，AI技术可实现智能化能源管理系统，实时监控海港能源消耗，并根据数据分析结果进行优化调整，从而减少碳排放。同时，AI技术也可通过预测需求和优化车队调度来提高海港物流的效率和准确性，减少车辆空载次数和等待时间，从而降低能源消耗和排放。 →36

两大关键因素，加速减碳进程

为加速推进海港的减碳进程，尽快实现全局绿色转型的终极目标，海港运营方需运用灵活模块化的可拓展平台和端到端的一站式方案这两大关键加速器。

应用可拓展平台：减碳往往是一个循序渐进的过程，设备和系统需要根据实际情况进行持续迭代更新。因此，一个模块化且灵活的产品组合平台至关重要，需要具备适应未来功能升级的能力，通过功能模块的升级或替换，允许局部环节的设备升级或者系统互通。

制定一站式方案：通过应用端到端的一站式方案，整合海港运营流程中的各个环节以实现全

36 数字化：实现绿色减碳的必经之路，通过数据和前沿技术能够量化减碳成效，标准化运营操作

1 数据记录和分析贯穿整个碳足迹核查过程

- 建立二氧化碳排放数据资产管理系统，量化减碳效果

定义碳排放边界	计算温室气体排放	建立数据管理系统	报告碳排放结果
• 从不同源头进行数据收集	• 基于计算结果进行数据分析	• 通过标签和分类进行数据管理	• 向相关利益相关者进行数据可视化呈现

2 利用先进技术赋能减碳过程

- 利用AI技术、大模型技术和物联网技术等前沿技术，帮助标准化运营操作，减少浪费，实现减少碳排放

AI技术 | 大模型技术 | 物联网技术 | V2X技术 | ...

资料来源：罗兰贝格

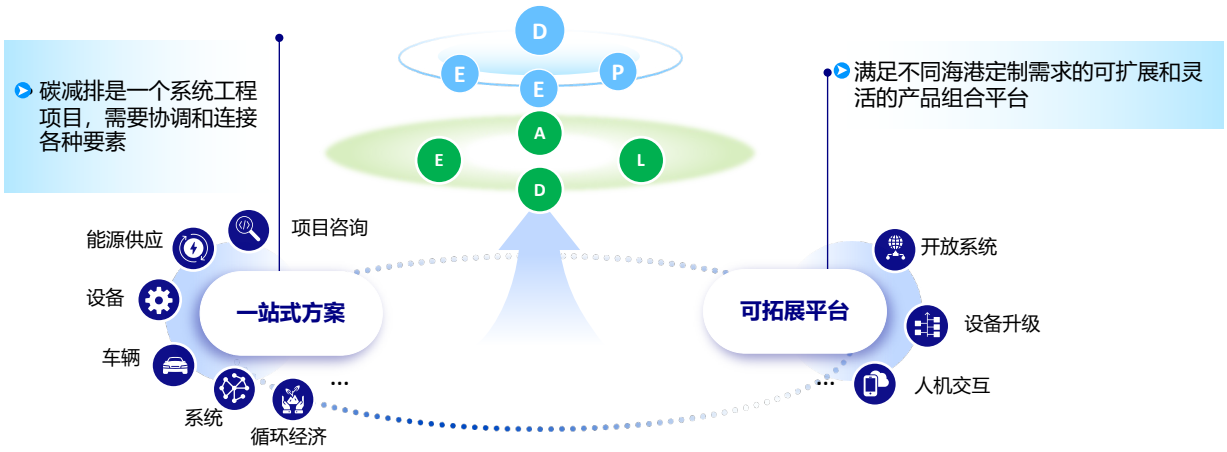
局减碳，达成可持续发展。通常，解决方案包括海港低碳化全生命周期服务，从前期的咨询规划、金融支持，到实施过程的产品交付、运营维护、系统优化（根据设备性能提供优化建议），以及后期的功能扩展和升级、材料回收和再利用（如电池回收），都将在该解决方案中进行通盘考虑。→ 37

应用可拓展平台

功能模块化、产品可扩展性和系统开放架构是可拓展平台的典型特征，通过应用这样的产品和技术，能够更好地支持海港的持续降碳和适应未来升级。

- **模块化：**采用松耦合设计，套装产品由多个功能模块组成，各模块负责特定功能，并通过标准化接口连接。因此，可以根据需求自由组合不同的功能模块。
- **可扩展性：**设备和系统的智能化升级是个持续迭代的过程，在海港不同的发展阶段可能需要不同的解决方案。因此，能够将新技术整合到现有基础设施中至关重要，设备和系统都需要具备高可扩展性，以保证在满足功能升级的同时，维持运营。
- **开放架构：**可扩展平台还应允许各种系统和设备之间无缝互通操作，不受限于单一

37 如何加速减碳过程：端到端解决方案和可扩展平台是实现“DEEP”价值创造的关键加速器



资料来源：罗兰贝格

供应商。通过促进不同技术解决方案之间的兼容性，该平台可确保海港运营的连续性和稳定性，降低对单一供应商的依赖风险。 → 38

制定一站式方案

鉴于各海港的发展情况各不相同，对减碳与智能化的需求及步伐亦存在差异，故需提供定制化咨询和实施方案，以寻找到最符合海港实际的升级策略。采用综合且定制化的解决方案，并尽早规划与协调海港各项元素。

- **规划周密：**海港低碳转型是一个复杂过程，需有前瞻性的咨询规划。从咨询规划、财务支持、产品交付、售后维护、运营赋能至功能扩展升级，再到物料回收利用，每个环节均需系统规划，以实现整体优化升级。如为缩短车辆行驶距离，需调整集装箱布局位置，此类设计应在项目早期阶段即予以规划。
- **连接协调：**同时，海港运营商需关注海港内各要素间的协同效应。因此，有必要构建端到端的绿色能源网络、整体的海港运营系统架构以及全生命周期的物料循环网络。通过这些系统化的网络，将各要素

38 可拓展平台：一个有效的可拓展平台，具备功能模块灵活性、设备可扩展性和系统兼容性

功能模块灵活性

灵活性
- 整个产品套件被划分为**多个功能模块**，每个模块负责特定功能，并通过**标准化接口**进行连接

设备可扩展性

适应性
- 能够将新技术，如智能化集装箱搬运设备，**整合到现有基础设施中**，同时确保持续运营

系统兼容性

标准化和开源
- 能够实现来自不同供应商的**设备和系统之间的衔接**，确保顺畅运行，并降低对同一供应商的过度依赖的风险

科来源：罗兰贝格

（包括机械设备、车辆运输、能源设施和软件系统等）连接起来，确保各要素和谐运作，对保障整个海港运营的效率和可持续性至关重要。 → 39

39 一站式方案：根据不同海港的特征采取集成的定制化解决方案，需要做好前瞻的早期规划和港口内各种要素的协调连接

规划周密

咨询服务

- 进行内部运营流程**诊断**
- **识别**二氧化碳排放的痛点
- 探索港口布局**优化潜力**
- 设计系统实施**路线图**

连接协调

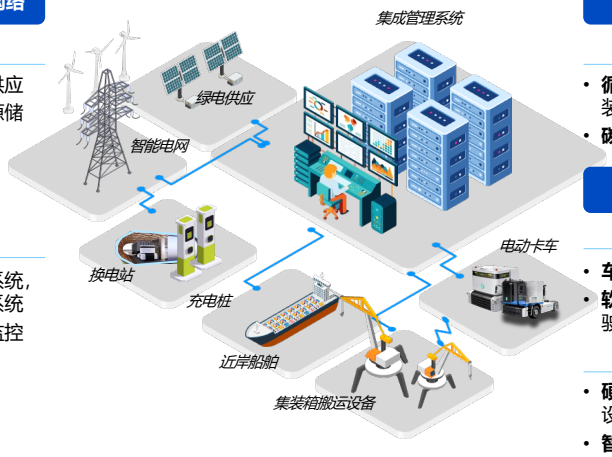
端到端绿色能源网络

电站

- **电站**：现场绿电供应
- **储存与传输**：能源储存，智能电网

能源管理系统

- **调度**：需求预测系统，负荷管理和调度系统
- **监控**：电力消耗监控



全生命周期材料循环网络

循环网络

- **循环**：材料、机械、电池、集装箱
- **碳捕捉**

整体海港运营系统架构

车辆

- **车辆**：电动集装箱搬运设备
- **软件**：车队管理系统，智能驾驶系统

设备

- **硬件**：物联网设备，数字基础设施
- **智能终端**：传感器和摄像头

资料来源：罗兰贝格

第三章

复制延展：
海港低碳实践跨场景拓展

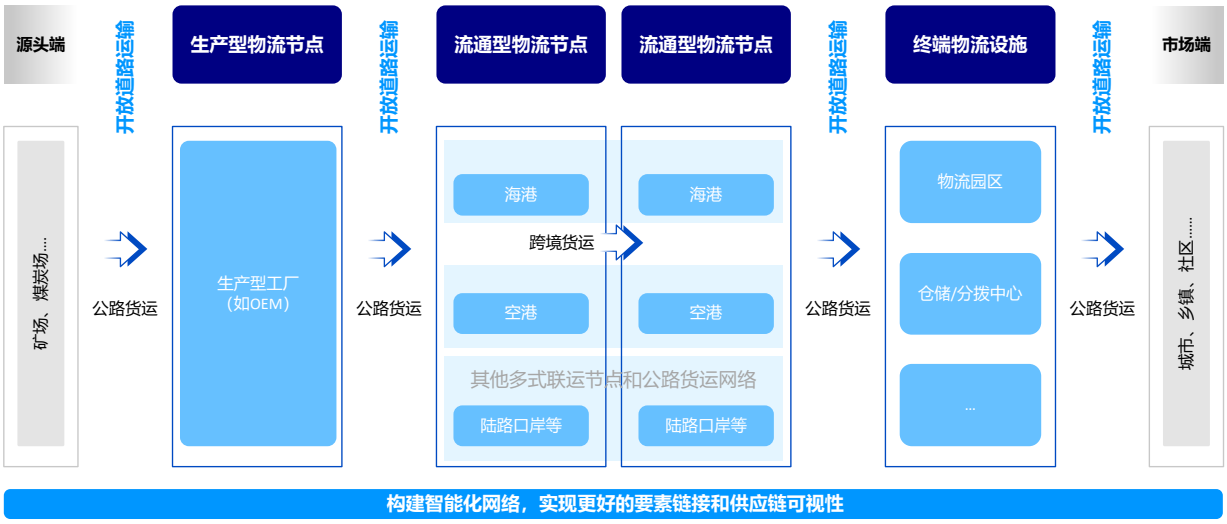
回顾大物流行业全产业链，除海港外还涵盖众多流通型物流节点，如空港和陆路口岸等，也包括其他生产型物流节点以及各物流节点间的公路运输。针对不同的细分场景，依旧可以“LEAD”减碳方法论为基石进行复制应用，但需要依据各节点特性和需求适度调整，实施定制化策略，实现“DEEP”的价值创造，共同推动大物流行业全局绿色转型。→ 40

向其他流通型物流节点（如空运货站）延伸：海港、空港、陆路口岸等均为关键的流通型物流节点，其运作流程和逻辑相似，这种相似性为“LEAD”减碳方法论的复制应用提供可能。尤其针对空港场景（空港地面物流），与海港类似，在大物流链上居关键枢纽位置，皆为货物分配与处理的重要场所。因此，空港场景（空港地面物流）对海港碳减排方法的复制与应用具备代表意义。

向生产型物流节点（如OEM）延伸：生产型工厂作为生产环节和物流环节的桥梁，直接影响整体物流效率，其厂内物流在大物流行业整条产业链中起关键作用。

向其他多式联运节点和公路货运网络延伸：相较于封闭的物流节点，物流运输网络面临更为开放和动态的环境，给数字化转型带来了诸多挑战，也带来了潜在机遇。以公路货运为例，作为连接各节点的纽带，通过搭建智能的公路货运网络，能够实现全产业链的运输能力和数据整合，提升全链路的连接性和可视性。

40 大物流全景图：构建基于网络智能平台的一体化多场景绿色大物流模式



资料来源：罗兰贝格

空港地面物流：通过构建综合地面物流网络实现减碳

全球气候变化危机日益加剧，航空业作为主要排放源之一，正面临巨大的减排压力。2022年，国际民用航空组织（ICAO）通过了一个新的全球长期愿景目标，即到2050年实现国际航空“净零”排放。作为航空业的核心环节之一，航空大物流需要进行结构性升级以达成这一目标。

空港物流业务（Air Cargo）作为空港的核心业务之一，需要通过持续转型升级以实现绿色减碳的目标。而其中空港地面物流服务作为空港物流业务中的重要保障环节，需要在航空公司、机场、空运货站等多个利益相关方的参与下，携手进行绿色转型。

空港地面物流的减碳过程可借鉴海港行业的减排策略，但仍面临一些独特挑战：

- **如何在保障安全的前提下进行转型。**空港重视安全，业务升级和转型必须确保空港运营安全不受影响。
- **业务转型升级如何适应空港灵活多变的物流计划。**空港物流作业计划灵活，传统方式中，工作人员依赖传呼机、手机等工具进行调度变更。因此，新型设备需具备适应调度计划灵活性的能力。
- **多角色参与让整体智能化升级充满挑战。**空港物流链中涉及众多角色，因此单个环节的智能化升级所带来的影响力不显著，需要通过系统化的实时路线图，协调工作流程和信息流，从而实现整体智能化升

级，串联各个相关参与方。

尽管海港“LEAD”减碳方法论可应用于空港地面物流，但其升级策略将有别于海港。与海港相比，空运货站涉及众多实体，连接这些实体并确保流畅、智能的操作是首要任务。因此，在部署智能设备前，应优先考虑“全局互联转型”（Linked ecology）。空运货站将先规划全链路的智慧化流程，在每一步进行前期设计以规避风险，尤其是在空侧区域，智能设备可能带来的风险不容忽视。

因此，空港大物流的绿色升级策略将有所调整：

- **油改电。**将空港地面物流运输设备（如货运/行李运输拖头车）从柴油动力转向电力驱动。同时，为未来的智能化升级提供接口，实现无缝集成，降低一次性资本支出。
- **升级系统，实现无缝信息交换。**通过系统连接，推动各环节的无缝信息交换，并从流程层面进行业务整合，减少不必要的碳排放。
- **引入智能化设备。**根据空港要求，对设备进行初步调整和可行性验证后，启动智能化设备的部署。这将推动整体绿色升级，实现可持续、低排放的空港物流。 → 41

因此，空港物流各角色在升级过程中，需提前规划与完善整体的实时路线图，如在第一阶段布局时就应为第二、三阶段系统和智能化设备的接入做好准备，以应对在未来进行持续的模块化升级需求。

41 空港地面物流减碳：通过构建综合地面物流网络实现脱碳

核心痛点

- 由于机场的高安全标准，**以安全为前提实现减碳**
- 在业务转型和升级过程中，**适应灵活动态的物流计划**
- **空港货运作业涉及多角色参与**，为整体智能化升级带来挑战

...

“LEA”手段及相应措施

手段	措施
E 电气化改造	• **从柴油动力过渡到电力驱动**（货运/行李运输拖头车） • 为未来智能化升级做准备，**提供预留接口**
L 全局互联转型	• **升级智能化系统，从而实现无缝信息交换**，减少不必要的碳排放
A 智能化升级	• 在完成系统升级之后，**智能化设备入场使用**，实现全场的智能化升级

资料来源：罗兰贝格

领先案例：香港某领先的空港货站运营商

这家领先的空运货站将与西井科技合作，引入下一代新能源自动驾驶货运拖头车以实现降碳目标。该解决方案包括两个关键步骤：

第一步：测试及验证

从传统燃油模式过渡至电动技术，融合自动驾驶及其他智能化技术，通过电气化和自动化升级，提升空港地面物流运输效率。此阶段将验证这种智能升级方法的可行性，为下一步落地和推广做技术准备。

第二步：落地和推广

基于第一阶段的可行性研究，未来将全方位部署智能化的解决方案，例如，将智能车辆应用在更多复杂的路线上。通过这一策略，可以实现空港地面物流的终极绿色转型目标。

42 领先案例：香港某领先的空运货站运营商
在空港物流环节引入智能运输解决方案

公司背景

- 香港某领先的空港货货站运营商之一
- 年设计处理能力350万吨
- 温室气体排放目标已通过SBTi验证，目标于2050年实现净零排放

关键措施

测试和验证

- **投放电动化和智能化设备**
  - 尝试电动化和智能化的地面运输设备（例如新能源自动驾驶货运拖头车）
- **为全流程各环节设计智能功能**
  - 接入智能化系统，辅助作业流程，保障场景运营的顺畅度
- **可行性验证**
  - 实现空港物流的货物在地面运输环节，实现电气化与智能化升级的可行性验证

落地和推广

- **更复杂的路线**
  - 新能源自动驾驶货运拖头车在完成可行性验证后将应用于更长、更复杂的路线
- **更广泛的应用**
  - 在更多应用和运营流程中实施智能化解决方案
- **更大范围的系统**
  - 与更广泛的系统整合，未来进行更加全面的自动化运输布局

终极目标

构建新一代清洁、安全、高效的物流地面网络

价值创造

- **减碳价值** 降低碳排放
- **经济价值** AI能力提升效率
- **人本价值** 技术带来安全防护

资料来源：罗兰贝格

工厂物流：协同入场物流配合生产节拍，实现全局减碳

工厂物流是制造与物流间的桥梁，直接影响整体物流效率，在大物流系统的绿色减碳中发挥着至关重要的作用。

工厂物流的减碳逻辑与海港类似，但从具体场景来看，对于需要精确协调物流与生产节奏的制造业，如汽车制造和电子制造，由于涉及众多生产工序和复杂的供应链，系统集成和协调的难度更大。因此，这些行业需要特别的系统规划和减碳解决方案的设计。

在借鉴海港“LEAD”减碳方法论的过程中，工厂物流减碳与海港减碳有诸多共通之处，如需对燃油车辆进行电气化改造等。然而，工厂物流亦面临独特挑战，例如，传统工厂高度依赖人工调度，各子系统间智能化连接程度低，智能化升级难度较大。

- **厂内物流调度常高度依赖人工指令，智慧调度能力有待增强。**相较于海港场景，工厂场景内往往缺乏全局化调度管理系统，过去常因人工调度车辆导致效率低下，产生额外碳排放。鉴于其数字化程度相对较低，智能升级更具挑战性和紧迫性。

- **各子系统需精确匹配生产节拍，系统与设备间联动难度大。**传统工厂物流常出现“信息孤岛”现象，系统间缺乏互联与信息共享。为避免此现象，需通过产业链上下游各环节数据集成实现。同时，生产节拍强调速度与灵活性，以满足多样化小批量需求，这便要求物流与生产系统之间形成高度集成与协调，原材料物流供应须与生产节奏精确同步，确保精准定位与及时交付。

将海港“LEAD”减碳方法论应用于工厂物流，需根据工厂特性调整相应减排措施。其中，通过全局互联实现系统集成与协调至关重要。因此，工厂物流的绿色升级方式将有所调整：

- **油改电。**对工厂内部用于运输材料和货物的传统燃油车辆进行电气化改造。

- **引入智能车队管理系统。**与传统的人工调度相比，智能车队管理系统能够运用数字化手段实现智能车辆调度和高效运营，从而减少了不必要的运输里程及能耗，在提高运营效率的同时降低碳排放。

- **完成系统联动与统一调度是重中之重。**考虑到各种制造系统之间协调的重要性，实现“全局互联转型”（Linked ecology）是工厂物流减碳最关键的一环。其中，核心在于集成化的工厂运输管理系统（PTMS）将车辆运输与工厂生产相结合。其一，PTMS系统向闸口管理系统、卸货平台管理系统和车队管理系统发布指令，实

现统一调度；其二，PTMS系统将与MES系统（制造执行系统）和WMS系统（仓库管理系统）连接，实现生产与物流信息的互通。通过与各系统的数据交互，运用智能算法，PTMS系统为供应链提供最优的运输解决方案，实现物流运输环节与生产制造环节的高效协同。 → 43

因此，智能化的工厂物流解决方案不仅直接减少了碳排放，还通过高效的系统协调，使生产材料的运输更为流畅，进一步提升了生产效率，在降低碳排放强度的同时，实现了工厂的绿色运营。

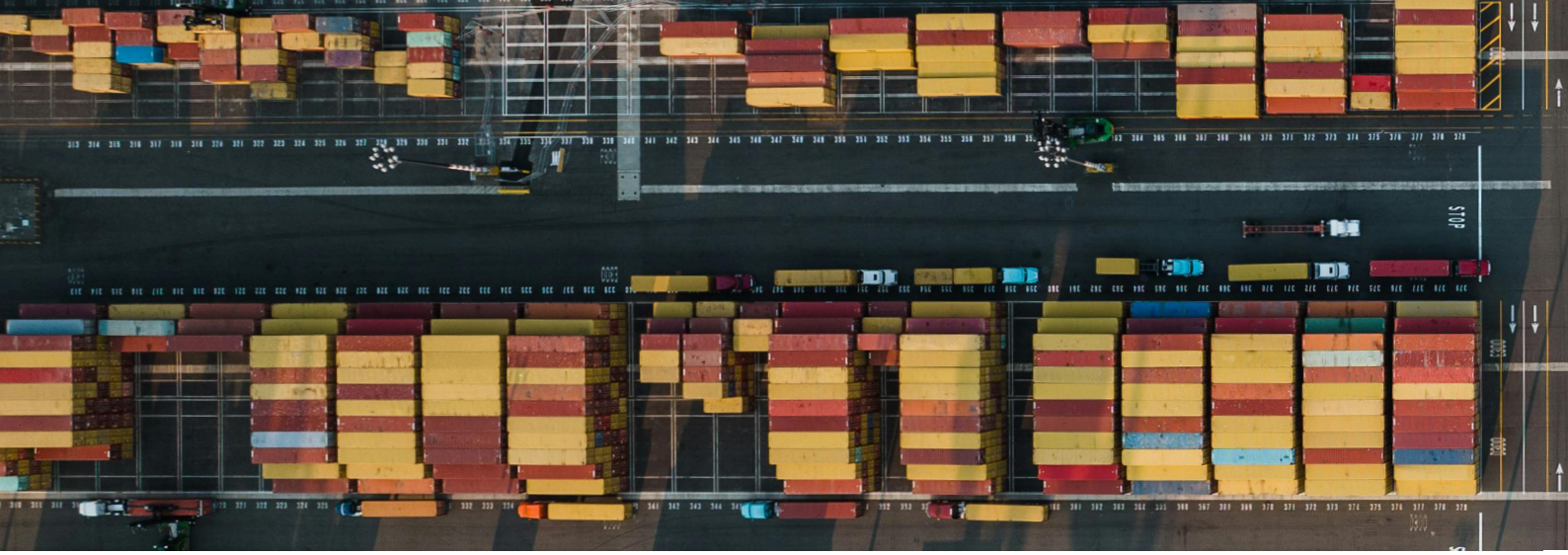
- 工厂场景内，智能化的调度系统相较于人工调度具有以下优势：
  - 提升了物流运输环节的效率，从而帮助场景内全局化效率提升。
  - 场景内物流运输环节中的碳排放下降（由于智能化的调度系统提高了物流运输环节的效率，因此减少了不必要的碳排放），从而实现场景全局化降碳。
- 工厂场景内，物流运输环节与生产环节的衔接融合，使整体运营效率得到进一步提升。

43 工厂物流减碳：协同入场物流（inbound logistics）配合生产节拍，实现全局减碳

"LEA" 手段及相应措施

手段	措施
E 电气化改造	• 对工厂内材料和货物运输所使用的传统燃油动力车辆进行电动化改造
A 智能化升级	• 采用比人工调度更高效的智能车辆调度系统
L 全局互联转型	• 系统之间的互联和统一调度是最关键的步骤，通过工厂运输管理系统（PTMS）实现车辆运输和工厂生产之间的协同

资料来源：罗兰贝格



领先案例：某领先的新能源汽车制造商

为实现减碳价值，某领先的新能源汽车制造商正通过技术创新提高能源效率，减少生产过程和供应链的碳排放。

在此案例中，物流减碳解决方案与工厂的生产系统完成集成，并与生产节奏精确同步，在减少碳排放的同时，实现了物流调度管理与生产系统之间的高度协同合作。

44 领先案例：某领先的中国新能源汽车制造商
采用与现有制造系统协同的整体智能解决方案

公司背景

- 中国领先的新能源汽车制造商
- 在2023年ESG报告中，该车企宣布到**2030年实现产品碳排放强度比2022年水平降低38%以上**的减碳价值

智能物流调度管理解决方案（某OEM工厂试点项目）

MES
制造执行系统

WMS
仓库管理系统

LES
物流执行系统

PTMS
工厂运输管理系统

- PTMS有助于规划物流运输路线、监控和跟踪货运状态、管理成本，从而协助工厂优化物流运营，并提供更全面的供应链执行视图

BMS
库位管理系统

- BMS简化了与生产线节奏协同的集装箱存取流程，最大限度提高了整车制造商的整体运营物流效率

智能闸口
- 实现人员和车辆识别
- 高效的出入管理

智能卸货平台
- 安全倒车辅助
- 精准卸货识别

车辆管理系统

电站 | 车辆

- 标准化流程以提高物流运营效率
- 降低事故率
- 提高作业标准化和精准度

垂直集装箱立体库
- 扩展垂直物流空间
- 实现协同高效调度

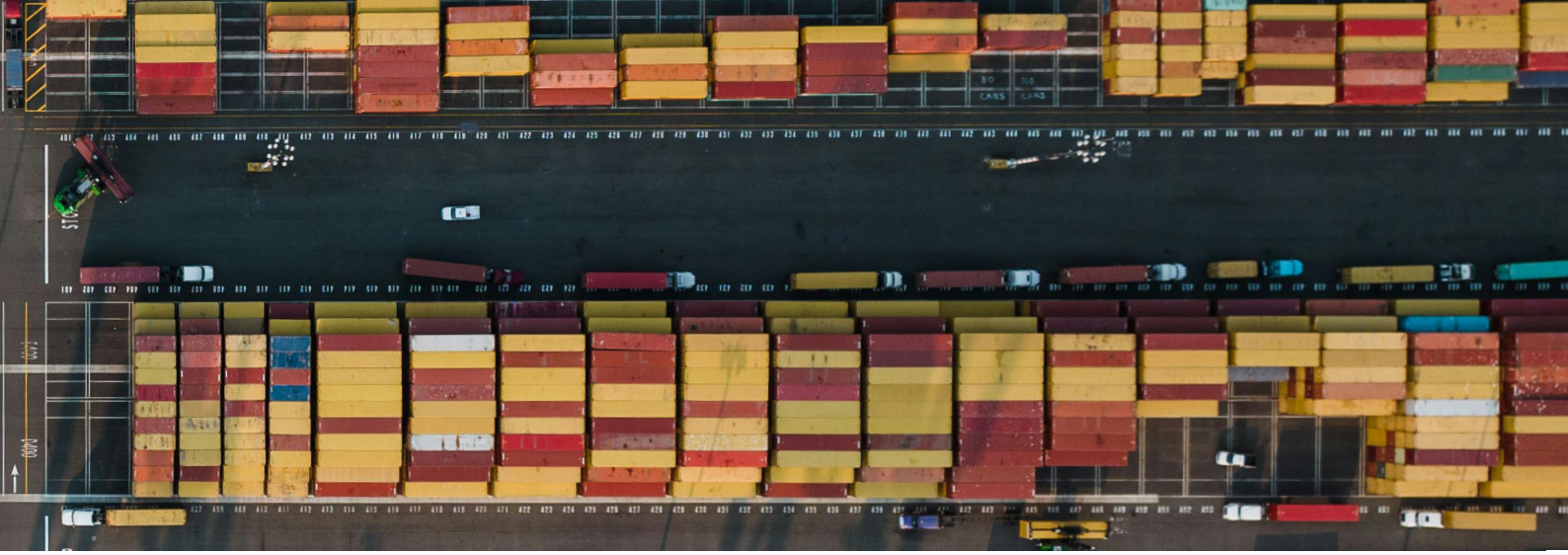
价值创造

减碳价值
显著降低碳排放

经济价值
提高空间利用率

人本价值
降低工厂内部事故率

资料来源：罗兰贝格



公路货运：通过智能化网络实现更好的要素链接和供应链可视性

从碳排放占比上看，公路货运是重要的温室气体排放来源。全球范围内，道路运输和货运部门占据了全球物流行业碳排放量的最大份额。

从整条大物流链路的站位上，公路货运对连接各物流节点具有关键性作用。除了自身的去碳化运营，当各局部节点完成减碳转型和智能化升级后，通过公路货运与数字化物流数据平台的结合，将具备整合物流产业链运力以及数据的能力，进而最终实现供应链端到端的去碳化。

然而，由于公路货运为开放式场景，与海港等封闭式场景相比，其选择数字化手段进行去碳化面临更大挑战。公路货运场景复杂多变（如路线、运输环境的变化），且受到基础设施限制所带来的“续航焦虑”等因素影响。

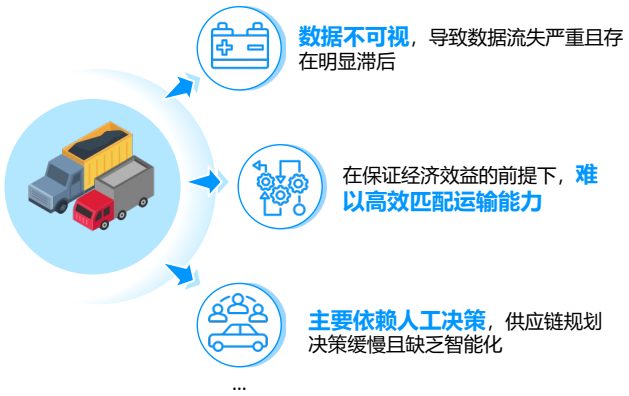
因此，在借鉴海港“LEAD”减碳方法论的过程中，公路货运去碳化虽与海港存在部分相似之处，但仍需应对诸多独特挑战。

- **数据可视化程度低，信息传递过程中有缺失且滞后。**当前公路货运缺乏有效的数据追踪方法，驾驶员与运营商间的通信存在延迟，导致数据查询不及时且信息缺失。此外，托运人和货运代理在运输过程中获取车辆、货物和集装箱信息也存在明显延迟。整体而言，公路货运数据呈现高度不可见性。

- **注重成本和经济效益，需高效匹配运输能力。**作为开放式场景，公路货运受市场供需波动影响大，导致常常出现运输能力不足的情况，运费波动也极为频繁。因此，对于拥有自有运输能力的参与者而言，在运价和订单需求频繁浮动的情况下高效匹配运力成为保证经济效益的关键。因此，要实现在一定范围内的人力投入下最大化效率，同时在紧急异常情况发生下还能为上

45 公路货运减碳：通过智能化网络实现更好的要素链接和供应链可视性

核心痛点



“LEA”手段及相应措施

手段	措施
E 电气化改造	• 从燃油转向电力驱动 • 同时，需要优化电池尺寸或匹配充电设施，从而缓解里程焦虑
A 智能化升级	• 利用物联网技术，部署终端硬件和车队管理系统，实现更好的管理和监控
L 全局互联转型	• 建立供应链数据共享平台，让更多利益相关方加入生态系统，实现车辆和货物的高效匹配以及可控的供应链预测

资料来源：罗兰贝格

下游提供好的服务，就必须借助智能化手段协助决策。

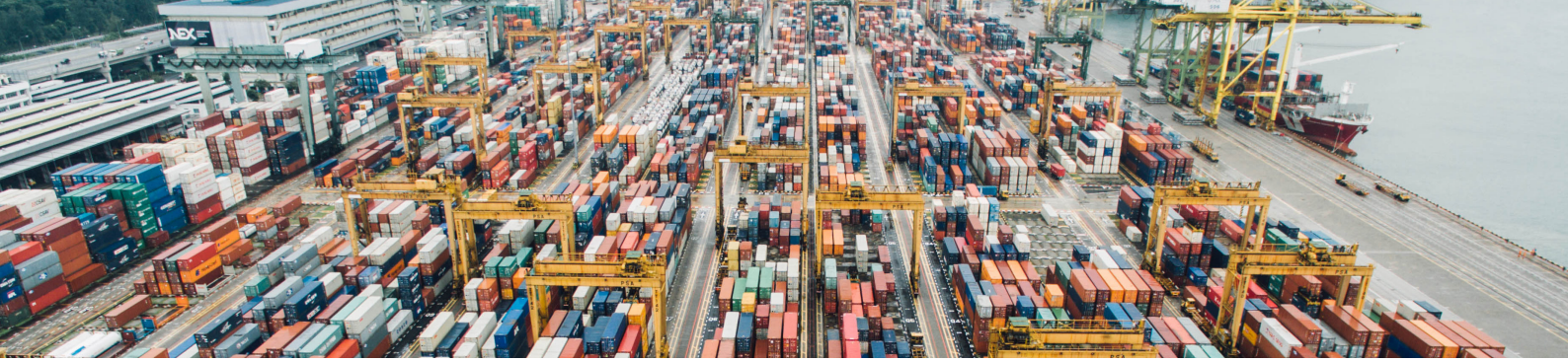
- **传统公路货运供应链规划依赖人工决策，决策过程缓慢。**传统供应链规划高度依赖人的经验和判断，难以实现精确规划和预测。利用数字化和智能化的手段来辅助决策，呈现日益迫切的趋势。→ 45

在将“LEAD”方法论复制到公路货运时，必须根据公路货运作为开放场景的特点，采取相应的减排措施。因此，公路货运的绿色升级策略将做出如下调整：

- **优化电气化方案以缓解续航焦虑：**电池续航是长途运输所需面临的重大挑战之一，一种可行方案是扩大电池容量来提升续航里程；另一种选项则是设立快速充电设施，如换电站，让车辆能在较短时间内替换电池组，从而延长总续航里程。

- **运用物联网技术，部署硬件终端和车队管理系统以提升管理和监控水平：**为实现对公路货运车辆的有效调度和管理，需采用全套解决方案，包含采集车辆和货物数据的硬件终端，车辆管理系统，智能用户终端等。这套方案能实现对车队效能的精准监测，货物状态的智能追踪，及物流资产的精良管理。

- **构建供应链数据分享平台，链接更多利益相关方，实现车辆和货物高效匹配，提升供应链预测能力：**为实现大物流产业各环节的高效连接，并有效整合物流、能源和

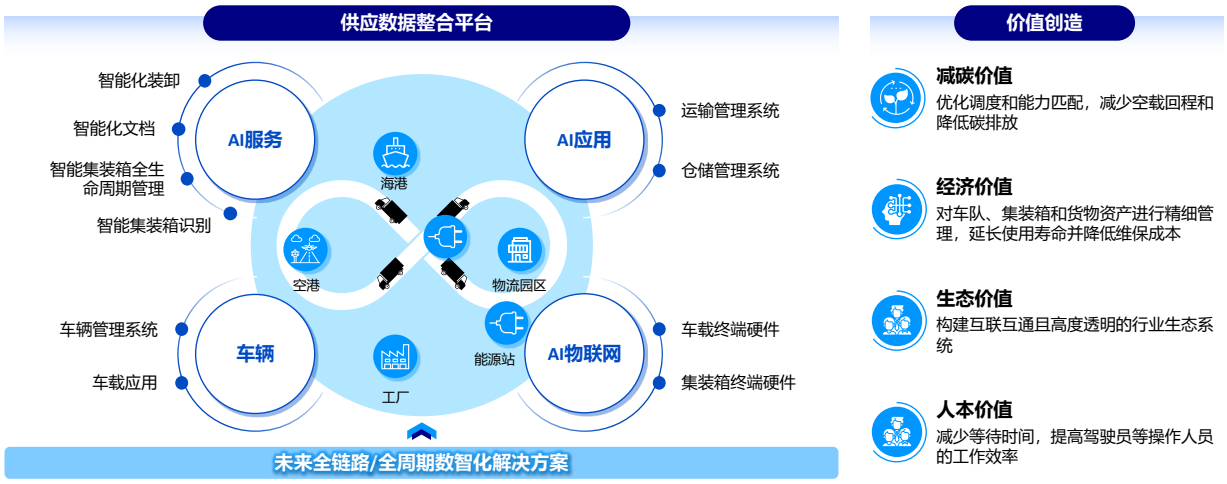


贸易业务数据，需借助数字化物流数据平台。

- **整合物流体系核心系统和数据：**将物流节点内部核心系统、在线货运平台和智能用户界面整合至统一的物流数据平台，实现数据互通和业务协同。
- **整合产业链体系上下游数据：**与上游供应商、下游客户和供应链其他利益相关方对接，实现订单、运输、仓储和交付信息流的无缝集成，提升供应链透明度和协作效率。
- 通过在公路货运环节建立物流数据平台，实现更高效的车辆和货物匹配、更精确的供应链预测（如预计到达时间）以及更智能化的整体供应链规划和调度。

因此，通过推动车辆电气化和智能系统部署，并在公路货运环节建立供应链数据整合平台，不仅可实现该领域的碳减排，还能为整个大物流产业构建一个相互连接、高度透明的生态系统，推动整体供应链的绿色转型。→ 46

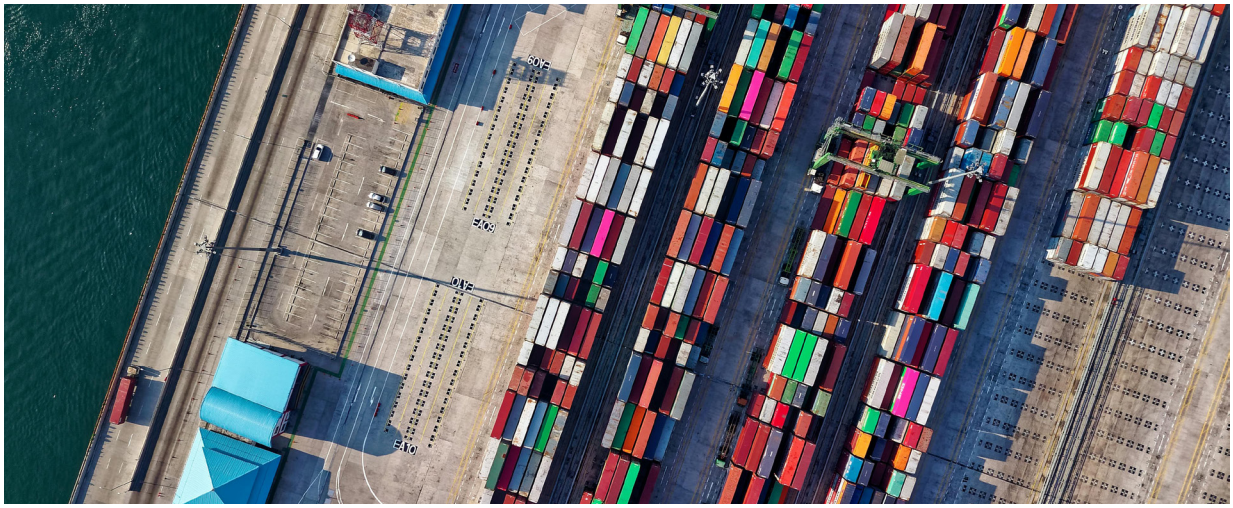
46 解决方案概览：供应链数据集成平台
定义未来大物流的数据流通



资料来源：西井科技；罗兰贝格

第四章

立刻行动：
对大物流企业的核心启示



全球绿色低碳发展已经成为不可逆转的大趋势，对于大物流行业企业而言，积极推进减碳转型不仅是履行社会责任的必由之路，也将成为未来发展的又一核心竞争力。

在实践低碳转型过程中，企业需进行全局统筹规划，其中数字化手段是降碳的关键基石与加速器。实施过程中，可借鉴系统化的“LEAD”减排方法论，结合自身业务特征设计路线，逐步推进。这就需要以数字化（Digitalization）为基础，通过“电气化改造”（Electrification）、“智能化升级”（AI-driven Intelligence）和“全局互联转型”（Linked Ecology）三个阶段，为企业勾勒出明确的分阶段减排路线图，引导其全面实施技术创新和运营优化，实现减碳业绩，创造“DEEP”价值。

在海港场景的成功验证基础上，“LEAD”方法论可进一步推广至大物流行业内的其他场景。但在过程中，需要仔细评估不同场景的痛点和企业差异化需求，对解决方案进行针对性优化调整，确保“LEAD”方法论的适用性和有效性。

千里之行，始于足下。对于大物流企业来说，开启去碳化之旅的时代已经全面到来。运用智能技术和创新解决方案，并通过多方的合力共进，大物流行业将共同迈向更加绿色、更可持续的零碳未来。

KT. BATAVIA III-16

关于西井科技

西井科技(Westwell)成立于2015年， 致力于通过先进的智能化能力为大物流行业客户提供数字化升级和绿色转型全局解决方案，做全球智能服务业的开疆者。

西井科技开发和部署智能新能源车辆产品矩阵和AI驱动的数智化行业场景解决方案。相关应用已服务包括海港、空港地面物流、工厂物流、铁路物流、跨境运输、公路货运和供应链平台等多个节点及网络场景。

当前，西井科技的业务已覆盖18个国家和地区，为不同客户提供多样化的价值主张。这些解决方案帮助客户实现了效率优化、 成本改善、工作环境提升等多重目标，坚定地致力于在大物流行业内进行环境可持续实践和ESG价值传播。

关于罗兰贝格

罗兰贝格（Roland Berger）是全球顶级咨询公司中唯一一家源自欧洲的管理咨询公司，具有强大的国际影响力。作为一家由合伙人共有的独立咨询机构，我们在全球主要市场设有50家分支机构。我们的3,000名员工真正理解客户，并为其提供独特的分析方法。

我们遵循三大核心价值观：创业之基、卓越之范、共赢之道，并且坚信世界需要一个可持续发展新模式，以将整个价值循环周期考虑在内。我们的跨职能团队来自所有相关行业与业务功能，为客户提供最佳专业知识以应对当今和未来的严峻挑战。

联系我们

我们的专家团队在为全球大物流行业公司实施智能化减碳解决方案方面拥有丰富的经验。

请随时联系我们以获取更多信息，并讨论适合贵组织的潜在解决方案。

作者

王 星

罗兰贝格全球合伙人
xing.wang@rolandberger.com

胡鸿远

西井科技副总裁
hongyuan.hu@westwell-lab.com

罗兰贝格傅强、王越、段静蔷、朱致远及西井科技孙驰、周兴睿、赵璟旖、何侃轩对本报告亦有贡献

欢迎您随时提出问题，以及宝贵的意见和建议！
www.rolandberger.com

本报告仅供一般性建议参考。
在未寻求专业建议的情况下，读者请勿根据报告中包含的任何信息采取行动。罗兰贝格对因使用报告中的信息而造成的损失不承担任何责任。
© 2024 罗兰贝格

罗兰贝格亚太总部

地址：上海市静安区山西北路99号苏河湾中心23层 | 邮编 200085

电话：+86 21 5298-6677

网址：www.rolandberger.com.cn

上海西井科技股份有限公司

地址：上海市长宁区武夷路155号D栋E栋 | 邮编 200050

电话：+86 21 3335-6855

网址：www.westwell-lab.com

联系邮箱：hello@westwell-lab.com