

当叉车遇见具身智能：智驾技术范式的迈进与跃迁

文：移动机器人产业联盟



从 AMR 到 EIMR（具身智能移动机器人）的范式跃迁！

2025 年，工业叉车销量达到 145 万辆；据新战略移动机器人产业研究所测算，其中无人叉车仅约 3.2 万辆，渗透率不足 3%。作为一个发展了三十多年的领域，即便在今天 3D 雷达已迈入“千元时代”的成本门槛下，这一行业仍未迎来真正意义上的爆发。

移动机器人行业，究竟困在何处？

对此，拥有 15 年从业经验的**杭叉集团首席科学家陶熠昆**一语道破症结所在：当前看似竞争激烈的移动机器人市场，实则由于渗透率极低，仍处于蓝海阶段；而产业破局的关键，正藏在**从 AMR 向 EIMR（具身智能移动机器人）的范式跃迁**新方向之中。



陶熠昆 杭叉集团首席科学家

“红海”假象与破局之路

在移动机器人产业，“红海”早已是行业挂在嘴边的高频词。价格持续下探、参数内卷加剧、交付周期一再压缩，种种行业表象，很容易让人得出“市场竞争过度、增量机会稀缺”的结论。但在陶熠昆看来，这是一种需要被打破的行业假象。

“一个整体渗透率尚不足 3% 的行业，本质上仍处于产业早期阶段，远没到真正意义上的‘红海’。”陶熠昆直言，行业普遍体感艰难，不是市场增量空间已经耗尽，而是整个产业仍被三重结构性约束牢牢困住——部署成本较高、场景适应性差、高度依赖结构化指令，这才是行业发展的真正瓶颈。



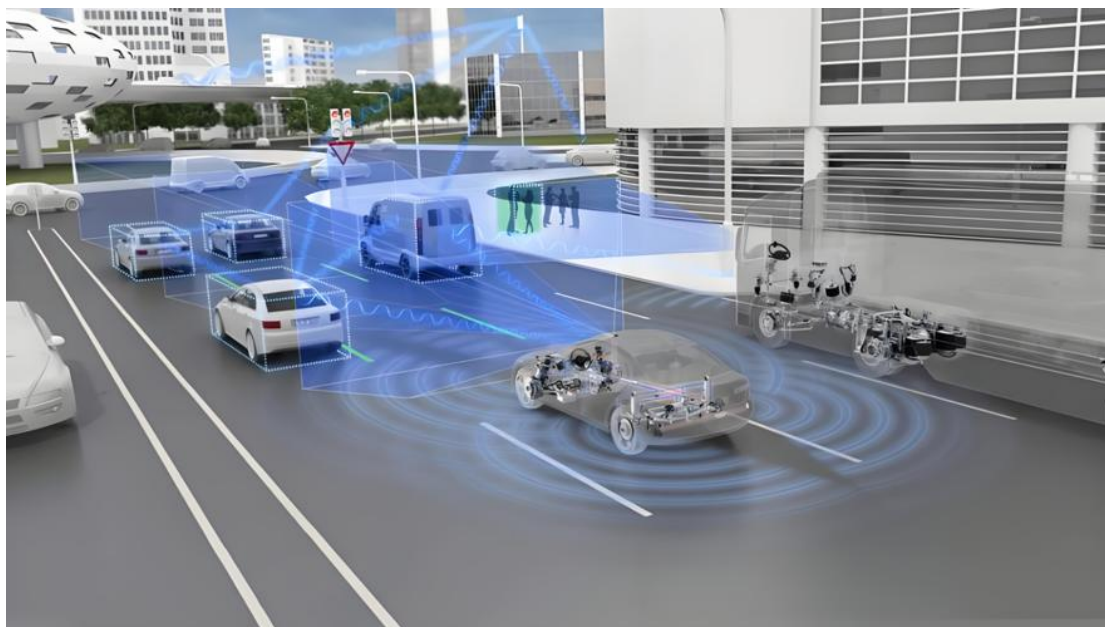
陶熠昆逐一拆解了这三重约束的核心影响。**首先是部署成本问题。**当前移动机器人在工业场景的落地模式，与早期智能驾驶高度依赖高精地图的阶段极为相似。其落地需要搭建类似“高精地图”的现场基础设施，这一过程产生的**高昂成本**也远超普通工厂的承受能力。

其次是非标化带来的系统复杂性。移动机器人产品本身趋于标准化，但实际应用场景却高度碎片化。一旦场景发生变化，就需要进行非标定制，而大量定制代码不断堆砌，极易引发“规则爆炸”，导致系统逻辑冲突、难以维护且无法复用，让行业陷入非标化困境，阻碍规模化发展。

此外，当前的移动机器人高度依赖结构化指令。自然语义指令只能通过 WMS 等上层系统解析为具体的物流任务，如货物搬运、存储、分拣等，明确任务优先级、时间要求和目标位置后，才能被移动机器人执行。

这三重约束叠加，构成了行业发展的“隐形天花板”，也正是智能叉车等核心产品渗透率长期难以提升的根源。**问题的关键从来不在市场需求，而在底层的技术与产业范式。**

也正是在这样的行业背景下，具身智能的产业价值被重新审视。过去两年，人形机器人概念带火了“具身智能”，但在陶熠昆看来，**真正实现具身智能大规模商业落地的场景是已经完成产业验证的智能驾驶。**



陶熠昆指出，“汽车产业以硬件为载体，持续出货获取数据，通过海量数据训练模型，再反过来提升系统能力，形成正向循环。”这无疑是一条已经被跑通的路径。智能驾驶的核心突破，不只是单点技术的升级，而是构建起了“**载体—数据—模型**”的完整正向闭环，让数据飞轮真正转动了起来。

他梳理了智能驾驶十年来的演进路径。智能驾驶从 2013 年发展至今，已完整经历四个阶段。**第一阶段**，依靠 SLAM、几何感知、传统规控，实现“能开”；**第二阶段**，依赖高精地图、图像领域语义感知、RuleBased 规划控制，实现有限区域（如高速）的智能驾驶；**第三阶段**，转向“重感知、轻地图”，城市智驾成为可能，但传统规控陷入规则爆炸，开得“不那么好”；**第四阶段**，端到端模型上车，在绝大部分路况下决策合理、安全，大规模商业落地成为现实。

历经这四个阶段，智能驾驶完成了一次关键跃迁——从“规则驱动”走向“数据驱动”。这一转变不仅是算法层面的升级，更意味着系统能力的生成方式发生了根本变化，不再依赖人为穷举规则去覆盖场景，而是通过数据训练模型，让系统具备在复杂环境中的泛化能力。这一拐点，决定了智能驾驶从“可用”走向“好用”，并最终走向规模化。

而移动机器人，目前仍停留在这一演进路径的前半段。无论是对环境的依赖程度，还是对规则系统的依赖方式，都与智能驾驶的早期阶段高度相似。这意味着，其下一阶段的发展方向并不模糊：**需要从“规则系统”走向“数据驱动”，从“场景适配”走向“能力泛化”。**

在他看来，具身智能正是这场范式切换的核心抓手。一方面，移动机器人要完成从 AMR 向 EIMR（具身智能移动机器人）的跃迁，必须靠具身智能赋予更强的感知、理解与决策能力，才能在更开放、更复杂的工业环境中稳定运行；**另一方面，具身智能的迭代，离不开能持续产生真实场景数据的落地载体，而工业移动机器人恰恰是工业领域少数具备规模化落地潜力的载体。**

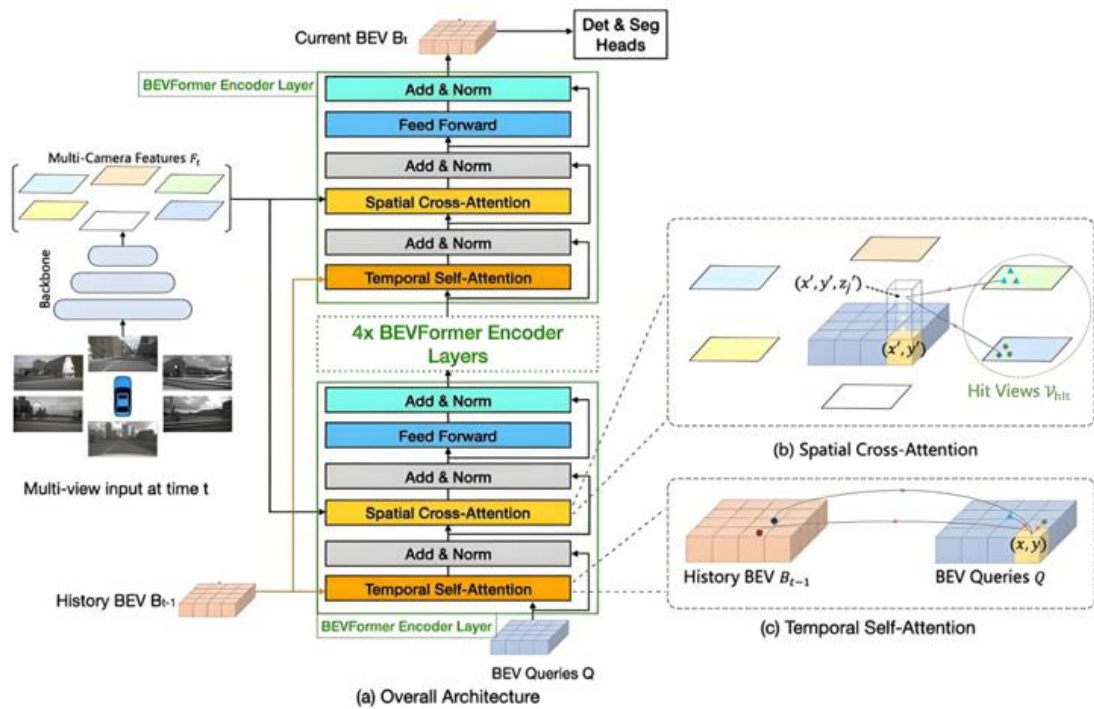
陶熠昆最终给出了他对行业破局的核心判断。**移动机器人的出路，从来不在继续压缩成本、优化局部性能的存量内卷里，而在完成一次底层的范式切换。**只有当行业真正摆脱对环境改造、人工规则、结构化指令的深度依赖，建立起以数据和模型为核心的能力体系，才有可能跨越当前的产业瓶颈，进入规模化发展的全新周期。

这条路，既有时间窗口，又有技术可行性，还有产业基础支撑。陶熠昆的判断冷静而务实，这并非赌未来的盲目探索，而是一条已被验证的可行之路。

智驾技术范式迁移的“甜点”与“硬菜”

论证了方向之后，陶熠昆将目光转向具体的迁移路径——**智能驾驶的技术成果，哪些能直接平移到工业移动机器人领域，哪些照搬会水土不服？**他用“甜点”和“硬菜”的形象比喻，清晰划分出这场跨界迁移中，确定性的机会与绕不开的硬核难题。

在陶熠昆看来，这场技术迁移里**最大的“甜点”**，无疑是“**重感知，轻地图**”的技术范式。他指出，当前移动机器人的部署落地，需要通过 SLAM 构建地图，标注路网拓扑与交通规则，再用精确 3D 坐标示教每一个作业点位。这套流程与早期自动驾驶高度依赖高精地图的范式如出一辙。而高精地图虽能弥补早期感知短板，但其**前后期制作与维护的成本，始终占据施工成本的核心部分**，成为行业规模化落地的最大掣肘。



这个行业难题，陶熠昆认为，智能驾驶行业已用数年探索蹚出了破局之路。他谈到，早年智驾同样困于高精地图与车路云协同的高成本，难以实现城市级落地，最终在城区智驾场景中找到了“重感知，轻地图”的路径——通过 BEV/OCC 等在线感知网络，实时生成局部环境信息，用在线感知替代对预绘高精地图的强依赖。“从高速驶入城市，智驾能力的规模化扩张，本质上就是‘重感知、轻地图’的胜利。”

陶熠昆判断，这套范式向移动机器人行业的迁移，价值是颠覆性的。它能大幅压缩部署成本，让机器人摆脱预绘静态地图的束缚即可稳定运转。这是当前技术迁移中，最易落地、确定性最高的一步，是当之无愧的核心“甜点”。

但技术迁移的路上，并非全是可以轻松摘取的“甜点”，还有**两道无法回避、必须沉下心啃透的“硬菜”**。

第一道需要啃下的硬菜，是智驾技术范式与工业具身感知之间，精度与粒度的量级差距。陶熠昆直言，汽车智驾的技术范式生来为道路场景设计，常规行驶中亚分米级精度已能满足安全需求，即便是精度要求最高的自动泊车，行业顶尖方案也仅能做到5厘米以内的控制精度。但在**工业作业场景**中，货叉插取托盘、精准对准库位这类高频操作，要求的是亚厘米级控制精度，1厘米的误差就可能導致作业失败，甚至引发安全事故。“整整一个数量级的差距，绝不是简单技术移植就能弥合的，这是行业必须直面的核心挑战。”**即便业界已在探索多条技术路线填补鸿沟，但并无现成方案可用，每一条路线都需要工程层面的持续突破。**

第二道绕不开的硬菜，是工业场景特有的数据效率难题。陶熠昆指出，工业车辆与移动机器人行业，天然具备**高定制、小批量**的行业属性，这让数据驱动的智能化工，从一开始就面临与智驾行业截然不同的底层困境。

一款热销的汽车，年销量可以达到数十万台，整车的传感器方案、车体构型高度统一，海量的路测数据可以快速摊薄采集与模型训练的成本；即便是当下火热的大语言模型，其训练所需的文本数据，也天然存在于互联网之中，采集成本极低。

但在**工业领域**，即便是叉车这类相对通用的品类，单款年销量也难与乘用车型比肩，更不用说大量定制化产品，不同场景下的车体、传感器、作业流程千差万别。这让企业始终面临两难：该选哪款产品、哪个场景采集数据？巨额成本换来的数据，一旦方案调整，还能否跨平台复用？

陶熠昆透露，杭叉的核心攻关方向，正集中在**构建跨设备平台的数据表示**。在他看来，跨平台数据复用的范式研究，必须提升到行业级的战略议题，而非各家企业各自摸索的技术细节，这也是工业移动机器人向具身智能转型必须攻克的核心关卡。

陶熠昆始终强调，从智驾到移动机器人，技术迁移的浪潮已然到来，但这场迁移从来不是简单的“拿来主义”。**唯有既抓牢可快速落地的“甜点”，也沉下心啃透属于工业场景的“硬菜”，才能让智驾的技术红利，真正在工业场景里落地生根。**

智驾技术范式跃迁带来产品形态跃迁

技术范式的转变，最终会兑现为产品形态的转变。**在陶熠昆看来，移动机器人行业对“产品”的核心认知，已经到了可以升级定义的时刻。**

“过去，行业习惯以导航方式、避障能力等细节差异区分 AGV 与 AMR，但这种表层的技术迭代，早已不足以定义从 AMR 到 EIMR（具身智能移动机器人）的范式跃迁。”陶熠昆直言，两代产品的真正分野，从来不在细枝末节的功能升级，而藏在底层逻辑的彻底重构之中。

他清晰地划定了**二者的本质边界**。AMR 是规则驱动，依赖高精度地图，执行的是坐标指令，本质是在构建一套自动化系统；而 EIMR 走向数据驱动或混合驱动，走“重感知、轻地图”的感知网络路线，靠语义指令运行，产品动机朴素得多——就是取代人工。放在车联网的语境下，AMR 离不开 WMS、RCS 这些上层

系统；而 EIMR 的目标，是把 V2X 里的那个“X”彻底拿掉，实现 X=ZERO 的单机自主。

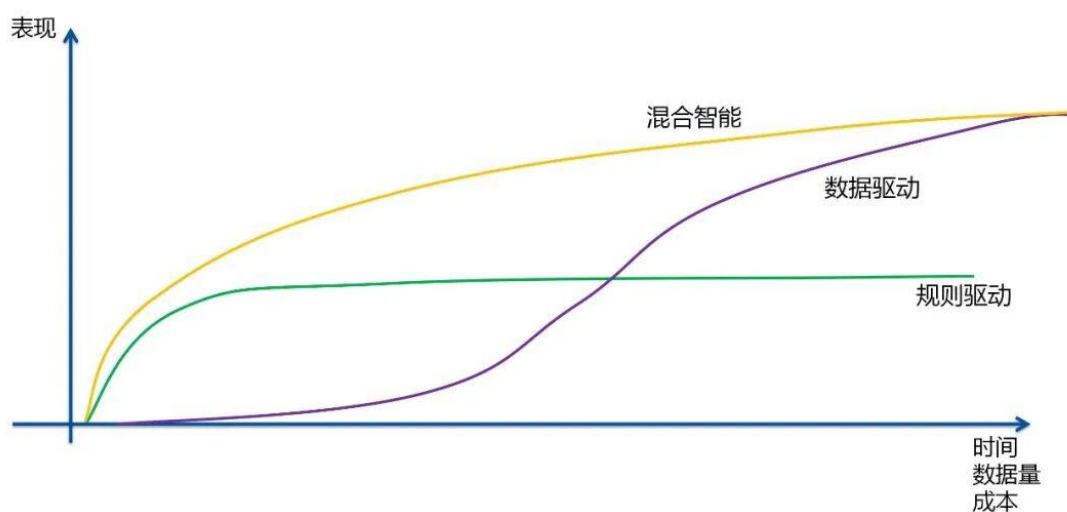
/	AMR	EIMR
技术范式	规则驱动	混合驱动 -> 数据驱动
场景理解	HDMaP	感知网络
指令形式	坐标指令	语义指令
产品动机	构建自动化系统	取代人工
V2x	WMS,RCS,信号系统...	x = zero

基于这一认知，陶熠昆抛出了颠覆行业固有认知的判断：**移动机器人的进化方向，是从群体（系统）智能走向单机（分布）智能。**

长久以来，数百台移动机器人的联网调度，一直被行业奉为技术实力的象征，可陶熠昆却发出了直击本质的追问：“我们反复提及的群体智能，到底代表的是高智能，还是高依赖？”在他看来，多机调度的本质是运筹学的指派问题，技术上限并不高，“真正难的，是让一台机器人不组网、不依赖任何外部系统，独立完成复杂作业。”他坦言，**只有具备真正单机智能的产品，才具备规模化复制的核心可能。**

要实现这场范式跨越，陶熠昆给出了一条极为务实的过渡路径：混合智能。他直言，行业迟迟难下决心全面转向数据驱动，核心困局在于起步门槛的两难。纯规则驱动 5 天就能做出 60 分的产品，但上限极低；纯数据驱动动辄需要千万级别的数据成本，短期效果未必优于规则方案，却拥有无限的成长空间。“**混合**

智能的价值，就在于既能靠规则快速落地，让产品先进入现场用起来，又能完整保留数据驱动的成长上限。”陶熠昆强调，只要产品进入真实场景运转，数据飞轮就能被撬动，因此数据工程绝不该是算法团队的内部事项，而必须上升为企业的顶层战略。



最后，陶熠昆还借用智能驾驶的分级体系，为行业画下了清晰的演进路线图。“现在行业里很多声音说，AMR 靠 V2X 实现了 L4 级无人化，可这本质上是‘高代价的伪 L4’，是靠外部系统堆出来的自主，而非机器人本身的能力。”

在他的判断里，**EIMR 的进化，反而要先主动“降级”**。先彻底打破对 V2X 的外部依赖，退回 L2 级实现可靠的人机协同；再凭借具身智能的持续迭代，攀升至 L3 级，实现常规场景完全无人作业，仅在特殊情况下需要稀疏人工干预；最终走向真正的 L4 级智能——具备极强的环境适应性，能理解并拆解自然语言指令，在密集、狭窄等非标准场景中实现全流程无人化作业。

陶熠昆直言，“当具身智能与移动机器人产品范式深度融合的那一刻，就是这个产业突破红海、走向蓝海的时刻。”

2026年，联盟将举办“2026（第二届）全球无人叉车应用场景大赛及具身轮式人形机器人物料搬运与分拣挑战赛”。在延续无人叉车赛项的基础上，首次引入轮式人形机器人赛道，回应产业对具身智能落地场景的现实需求，并进一步搭建连接技术创新与产业应用的桥梁。



新战略 | CMAA | AIAA

2026 (第二届) 全球无人叉车 应用场景大赛

参赛企业

 HANGCHA	 今天国际	 哈工库讯
 GALAXIS	 NOBLELIFT 诺力	 欧米欧克
 ANT RANGER	 MOOE ROBOT	 XGEN ROBOT 井松机器人
 KNEW3OTS 晓悟智能	 LGIM 临工智科	 寻迹智行

※ 参赛企业排名不分先后，持续更新中……

5.21-22 江苏·南通海门
平谦国际(海门)现代产业园

同期活动

- 2026具身轮式人形机器人物料搬运与分拣挑战赛
- 2026(第十五届)制造业物流与仓储智能化工程大会
- 专场会议：第四届全球叉式移动机器人产业生态峰会
- 2026首届具身轮式人形场景应用生态峰会



参会、参赛报名