全球教育机器人发展蓝皮书 2026

大模型、具身智能与人形机器人时代的学习

Global Educational Robots Blue Book 2026
Learning in the Age of Foundation Models, Embodied AI, and Humanoid Robots

AI-SLI

2026 年 6 月

编写说明：本报告的人工智能辅助研制过程

AI-SLI · 人工智能辅助研制

本蓝皮书是 AI-SLI 在“人工智能辅助知识生产”方向上的一次系统性探索与尝试，也是《全球教育机器人发展白皮书》系列（2016、2019）面向 2026 的全新一版（并升级为蓝皮书体例）。报告研制全程引入生成式人工智能作为研究助手，在研究团队的选题、设计与把关之下，承担了四类劳动密集型工作。其一，全局采集与数据核验——对全球与中国教育机器人、具身智能、人形机器人与智能体导师的市场报告、出货与厂商数据、政策原文与学术循证展开多源充分采集，对关键数字逐项溯源、以不少于两个独立来源交叉印证并予以口径勘误，对前沿系统严格区分“已规模化部署”与“实验室演示”。其二，理论锚定与文献综合——从 2016/2019 原版提取并核验其对教育机器人的定义、分类与产业链框架，在大模型与具身智能语境下予以再界定。其三，文本撰写、图表绘制与引文规范——按统一论证结构完成各章撰写、架构图与产业链图绘制，并以分级可信度标注维护逐条可溯源的引用体系。其四，中英双语并行——在统一术语表约束下产出语义对齐的中英文两个版本。

需要郑重说明的是：人工智能在本报告中承担的是采集、核验、起草、制图与引文管理等密集性工作，而研究选题、价值判断、学理与产业研判及最终结论，均由研究团队主导并负责把关。报告坚持保守准确——数据均要求真实可复核、市场数字不少于两个独立来源交叉印证，对新生赛道审慎标注口径、不过度宣称。我们谨以此报告作为面向未来的研制工作流参考，供教育同仁批评指正——它是一次对知识生产新范式的真诚尝试，而非对专家研判与同行评议的替代。

目 录

第一篇　总览与坐标 1

第 1 章　引言：教育机器人的十年演进与 2026 全局图景 2

第 2 章　政策图景：十二法域的双轨结构与儿童—AI 硬约束 10

第 3 章　定义与分类：从二分框架到具身—智能体连续谱 17

第二篇　能力跃迁：大脑、本体与世界模型 27

第 4 章　技术演进：从规则脚本到具身基础模型 28

第 5 章　智能体化：软件导师先于机器人本体的规模化落地 41

第 6 章　具身本体全谱：人形、灵巧手与四足 50

第 7 章　多模态交互与学情分析：行为感知、受控研究与情绪识别红线 64

第三篇　落地与证据：谁真正进了课堂 72

第 8 章　应用场景全谱：五大细分赛道的成熟度梯度 73

第 9 章　案例与试点：真实落地的证据等级图谱 81

第 10 章　学习成效循证：分场景的证据强度评估 94

第四篇　产业与市场 107

第 11 章　价值链重构：从硬件链到 VLA 算法层与上游瓶颈 108

第 12 章　市场规模与 TAM：多源并列的保守区间 118

第 13 章　竞争格局：代表厂商、出货排名与资本分化 128

第五篇　治理与前瞻 138

第 14 章　安全、伦理与治理：五条监管红线与儿童—AI 硬约束 139

第 15 章　趋势研判、路线图与政策议程 149

附录　方法、术语、政策与数据 157

附录 A　研究方法学：研究目标、混合方法证据合成与数据收集规程 158

附录 B　术语表（中英对照） 167

附录 C　国际政策对照表（9 国家/地区 + 3 国际组织） 173

附录 D　中国政策时间线（2017 → 2026） 181

附录 E　代表产品矩阵：机型 × 能力 × 价格 × 教育进入状态 188

附录 F　数据可得性声明与未闭合项清单 198

附录 G　参考文献体系与数据来源说明 206

第一篇　总览与坐标

一个核心判断——大脑已换代、身体未长大：能力的代际跃迁与教育部署的滞后

本篇导读　先立判断、再定坐标：2026 年教育机器人迎来能力的代际跃迁，但教育部署严重滞后——“大脑已换代、身体未长大”。在进入技术与产业细节之前，本篇用政策双轨与定义分类，框定全书讨论的边界与坐标系。

第 1 章　引言：教育机器人的十年演进与 2026 全局图景

把"机器人"放进"教育"，过去十年发生的并非渐进改良，而是一次底座替换：终端的"身体"形态变化有限，驱动它的"大脑"却几乎被整体置换。本章给出贯穿全书的核心判断——能力跑在了部署前面——并据此确立三条主线、五条铁律与一张阅读地图。读者若只读一节，请读 1.2 节的能力—部署落差。

1.1　核心判断：能力已经代际跃迁，部署远未跟上

用一句话概括 2026 年的教育机器人：**最前沿的能力已完成代际跃迁，真正进入常态化课堂的部署却远未跟上**。这一"能力—部署落差"是本蓝皮书全部判断的出发点，也是它与市场上多数乐观叙事的根本分歧所在。

要理解这道落差，先看"能力"这一侧发生了什么。教育机器人不是新概念。2016 年发布的国内首部系统性的《全球教育机器人发展白皮书》，把"机器人教育"与"教育服务机器人"统一纳入"教育机器人（Educational Robots）"这一总概念，并提出教育机器人将成为继工业机器人、服务机器人之后的"第三类机器人"发展领域 [1]；其后的修订固化了这一框架，给出二分结构、三角色坐标与产业链分层，并对全球市场做出量化预测 [2]。这套定义—角色—产业链结构，经多家独立第三方转载与本研究逐字交叉核验，**未发现任何无法溯源的框架要素** [3]，至今仍是中文语境下讨论教育机器人最具系统性的理论基座，也是本蓝皮书续接与升级的起点。

那一代教育机器人栖身于一个"规则—传感—脚本"的世界：它或是学习者亲手组装、用图形化语言编程的积木套件，或是结构固定、依靠预设动作库与脚本对话运转的服务本体。机器人的"智能"绝大多数来自工程师事先写好的规则，而非机器自身的语言理解与推理。

数年之后，技术底座完成了代际级别的更替。2022 年以来，以大语言模型（LLM）与视觉—语言模型（VLM）为代表的**基础大模型**，为机器人提供了此前不具备的常识推理、语言规划与零样本任务分解能力，扮演起"大脑"的角色；**视觉—语言—动作（Vision-Language-Action, VLA）**端到端模型则把感知与动作统一进同一张网络，充当协调身体的"小脑"[456]。从 NVIDIA 的人形基础模型 GR00T，到 Figure AI 的人形 VLA 系统 Helix，"基础大模型作大脑 + 具身智能作小脑"已成为 2026 年机器人领域的主导范式 [78]。断层是可量度的：十年前教育机器人的关键技术清单（语音识别、机器视觉、情境感知）与 2026 年的技术词汇表（多模态大模型、具身智能、智能体编排、端侧推理）几乎不再重叠。

这一**范式跃迁**使旧有的技术叙事、市场口径乃至治理框架都不足以描述当下。理论侧同期也有权威更新：黄荣怀、陈莺与 Ahmed Tlili（2024）在生成式 AI 背景下重新梳理了教育机器人的典型应用场景，把以 ChatGPT 为代表的聊天机器人（chatbot）纳入教育机器人的讨论范畴，并提出教育领域应遵循鲁棒性、合法性、合规性与合乎伦理性的"可信 AI 四准则"[9]。这一更新来自原作者团队本身，为 2026 版的再界定提供了权威而连续的接续点——本蓝皮书因此是站在既有理论谱系之上的承启之作，而非另起炉灶。

能力的跃迁不等于落地的兑现。本蓝皮书在记录范式跃迁真实进展的同时，要冷静甄别哪些进展已经进入课堂、哪些仍停留在演示阶段；既拥抱"AI+教育"的政策红利，也正视 2025—2026 年间密集落地的儿童—AI 监管约束。三条主线即据此展开。

1.2 三条主线：范式跃迁、能力—部署落差、治理红线

为保证全书五个部分（格局、技术、应用、产业、治理与未来）相互一致、不致互相矛盾或过度宣称，本蓝皮书确立三条贯穿始终的叙事主线。三者互为约束，缺一不可。

主线一·范式跃迁。 教育机器人的技术底座已从"规则—传感—脚本"整体跃迁至"基础大模型作大脑 + 具身智能 VLA 作小脑"。这一代际断层有清晰的样本支撑：从奠基性的 RT-2 到权重开源的 π0、再到人形 VLA 系统 Helix 与人形基础模型 GR00T，机器人首次具备了端到端的语言—视觉—动作能力[4687]。本蓝皮书第二部分（技术）将沿此主线展开。

主线二·能力—部署落差。 这是全书最重要、也最需反复强调的审慎判断：2026 年最前沿的"基础大模型 + 具身智能"能力，**绝大多数仍停留在实验室演示与厂商发布视频，尚未进入常态化教育部署**。在教育领域，真正实现规模化落地的并非具身机器人本体，而是屏幕端的软件 LLM 智能体导师——可汗学院的 Khanmigo，其 K-12 学生用户在一个学年内从约 4 万增长至约 70 万，其总用户（含教师）至 2025 年 4 月增至约 140 万，覆盖美国约 350 个学区并扩展至印度、巴西、菲律宾[1011]。落地的是"大脑"，具身"本体"尚未落地。本蓝皮书因此要求：每一处引用前沿能力，都必须带上成熟度标签（详见 1.4 节），避免把厂商演示当作既成事实。

主线三·治理红线。 教育机器人正处于"鼓励进课堂"与"约束儿童—AI 交互风险"两股监管力量的交汇点。一方面，中国、印度、新加坡、英国、日本、澳大利亚等多个法域正以课程化方式推动 AI 与机器人进入基础教育；另一方面，2025—2026 年间多个法域密集出台硬性约束——中国《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》、欧盟《人工智能法案》第 5(1)(f) 条对教育机构情绪识别的禁令、美国 COPPA 2025 修订对儿童生物识别的纳管[121314]。因此，本蓝皮书将治理从展望章节的附注**升格为与定义、分类并列的一级框架**，其理论接续点正是黄荣怀等（2024）提出的可信 AI 四准则[9]。

三条主线互为约束：范式跃迁解释了"能力"为何突飞猛进，能力—部署落差提醒读者"部署"远未跟上，治理红线则界定了部署可以走多远。**任何脱离其中一条而单独成立的论断，都应被视为可疑**——这既是本蓝皮书的方法论自律，也是给读者的一把校验尺。

1.3 全局图景与全书结构

本蓝皮书把当代教育机器人的系统结构概括为"大脑—本体—感知—数据—治理"五个相互耦合的域：基础大模型与 VLA 构成的"大脑"提供推理与决策，社交本体或人形本体构成的"身体"承载交互，多模态感知层采集语音、视觉与行为信号，数据与平台层支撑训练、记忆与运维，治理层则以可信 AI 准则、未成年人数据保护与监管红线为外部约束。总览见 。图中也标明：当前"大脑"已规模化落地（以软件智能体为代表），而"身体"层多数仍处演示与试点状态，能力—部署落差正体现在这两层成熟度的错位之上。图 1 是一张**结构图而非成熟度承诺图**——图中出现的具身本体并不意味着它们已普遍进入课堂，具体成熟度须以第二部分各系统的标签为准。

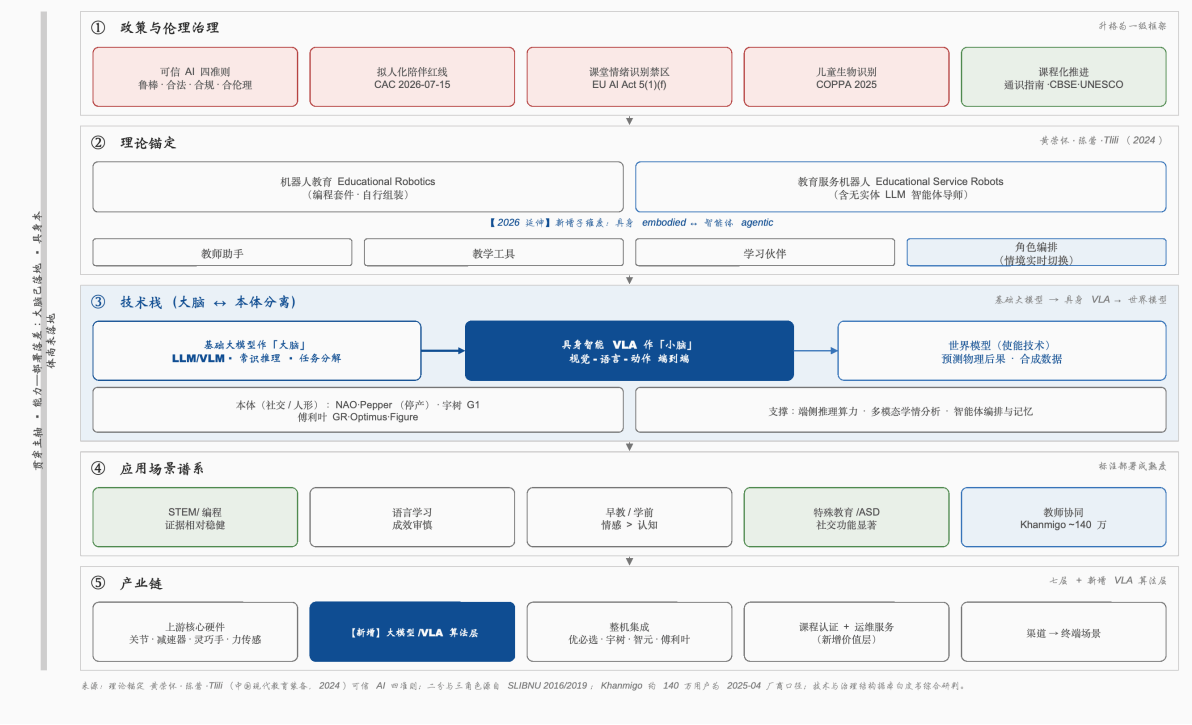


图 01. 教育机器人 2026 整体架构总览（五域：政策与伦理治理 / 理论锚定 / 技术栈 / 应用场景谱系 / 产业链）。唯一强调色标注核心「具身大脑/VLA」与新增层；左侧贯穿「能力—部署落差」主轴。来源：黄荣怀·陈莺·Tlili（2024）可信 AI 四准则、SLIBNU 2016/2019 二分与三角色。

本蓝皮书共十五章，分为五个部分，外加七个附录（方法论、术语表、国际政策对照、中国政策时间线、产品矩阵、数据可得性、参考文献）。五部分的逻辑结构见 。

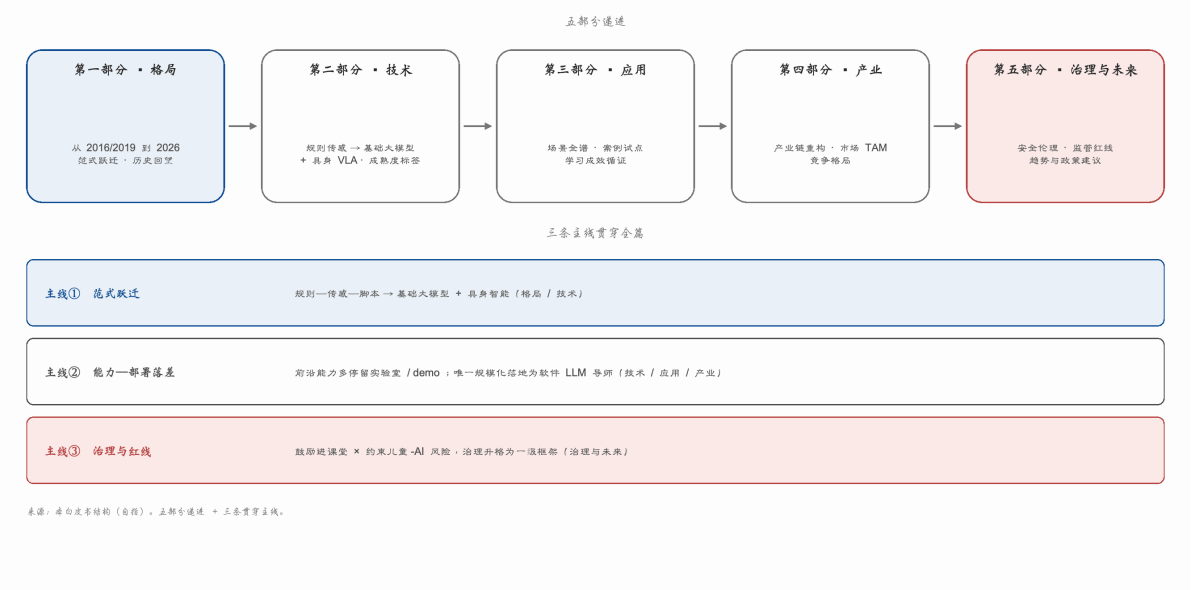


图 02. 白皮书五部分逻辑结构（格局—技术—应用—产业—治理五部分递进 + 三条贯穿主线：范式跃迁 / 能力—部署落差 / 治理与红线）。来源：本白皮书结构（自指）。

- **第一部分·格局（第 1—3 章）**：本引言之后，第 2 章给出 12 法域政策格局速览，第 3 章在黄荣怀等（2024）框架基础上完成定义、分类与教育角色的 2026 再界定。这是全书的理论与坐标地基。 - **第二部分·技术（第 4—7 章）**：技术演进的四个台阶、智能体化导师的兴起、人形与社交本体的硬件曲线、多模态交互与学情分析。每一处前沿能力均带成熟度标签。 - **第三部分·应用（第 8—10 章）**：应用场景全谱、案例与试点（区分"已部署"与"演示/宣称"）、学习成效循证（按场景标证据强度，负面与零效应同等记录）。 - **第四部分·产业（第 11—13 章）**：价值链重构与新增 VLA 算法层、市场规模与 TAM（多源并列、历史回望）、竞争格局与资本"冰火两重天"。 - **第五部分·治理与未来（第 14—15 章）**：安全、伦理与治理一级框架（五条政策红线），以及趋势、路线图与研究议程。

阅读指引：希望快速把握全局者，可读第 1 章与各章"本章小结"；关注产品落地者，重点读第 9、13 章与附录 E；关注循证者，第 10 章为信息最密集的核心章；关注合规者，第 2、14 章与附录 C/D 构成完整政策线索。本蓝皮书对跨章主题做了明确去重：定义与再界定归第 3 章，政策条款细则归第 14 章与附录，市场口径与历史回望归第 12 章，本引言仅做点题与预告，不展开重复论证。

1.4 方法论与五条铁律

本蓝皮书的全部数据来自五路并行调研——市场产业、技术演进、政策治理、循证证据，以及既有理论框架与理论锚定——汇编为单一事实源，并对每一条 headline 数字做了多源交叉核验（方法论细则与可信度分级见附录 A）。核验遵循一条分级原则：凡进入正文的关键数字，**优先取官方原文或经独立第三方交叉的口径，单一机构口径须明确标注，冲突口径并列呈现而非择其激进者**。

研究设计上，本蓝皮书采用**混合方法证据合成**：系统文献综述、市场数据三角测量、政策文本分析与循证证据合成四线并行、相互印证。不用单一方法，是因为教育机器人是产业—学理混合体，市场与产业数据多存于机构报告与财报招股书而非同行评审文献。**数据收集**覆盖学术（Google Scholar/ERIC/Web of Science/知网）、市场（机构报告与行业数据库）、政策（各国政府与国际组织官网）、产业（厂商官网、财报与招股书）四类源，采集时点为 2025—2026 年，跨时点数字均注明采集日，并区分一手与二手、剔除无法溯源者。**核验**要求关键数字不少于两个独立来源交叉印证；**可信度**按"同行评审 > 官方政策原文 > 机构报告/财报招股书（须标口径）> 行业媒体/二手汇总（须审慎）"四级分级；**成熟度**按"已规模化部署 / 试点 / 实验室演示 / 厂商宣称"四级标签贯穿全书。完整研究流程图与全部规程详见附录 A。

为约束撰写与引用，本蓝皮书自我设定五条铁律：

1. **成熟度标签律。** 所有技术能力按"已部署 / 试点 / 演示 / 厂商宣称"四级区分；引用任何前沿能力必带标签。"已部署"指有公开商业供货或第三方现场报道；"试点"指小规模真实场景；"演示"指研究论文、受控评测或厂商发布视频；"厂商宣称"指公司口径而未经独立核验。

2. **货币口径律。** 凡涉及中国企业财报数字，"亿元"与"billion"一律以原文核对值为准，不得混淆（1 亿元 ≈ 0.14 亿美元，绝非 1 billion）。一个突出的勘误是：海外检索引擎曾把优必选约 13 亿元人民币营收误读为 130 亿美元、把宇树营收误读为 17 billion——正确值分别是 13.05 亿元与 17.08 亿元人民币（相关数字在第 13 章详述）。

3. **循证诚实律。** 不编造效应量；负面与零效应同等记录；单次或短期会话观察到的正效应须因"新奇效应"打折。语言学习与 LLM 驱动机器人**不可宣称"已证有效"**。

4. **市场并列律。** 冲突的市场口径并列呈现并解释差异，不取最激进的单一数值。例如中国市场宽口径（含培训服务）与窄口径（本体/解决方案）相差近 3 倍，**必须同时给出、切勿混用**。

5. **政策原文律。** 政策的文件名、文号、生效日期与关键条款一律以官方原文为准；尚未最终通过的提案须明确标注其状态。

这五条铁律不是装饰性声明，而是贯穿全书每一处数字与论断的硬约束。读者若发现书中某处前沿能力未带成熟度标签、或某个市场数值被当作唯一权威口径，均可视为对本铁律的违反。

1.5 历史预测的诚实回望（预告）

本蓝皮书相对前作的一项重要方法论改进，是对历史市场预测做诚实回望。早期版本曾基于"终端消费/教育机构/教育套件/STEAM 玩具"四模型加总，预测全球教育机器人市场到 2021 年约达 **111 亿美元**、到 2023 年约达 **841 亿美元**[12]。这两个数字均为当时的**预测值**，且口径较宽，混入了大量消费玩具与培训服务。

2026 年的实际市场测算远低于此：即便采用较激进的机构口径，全球教育机器人市场到 2030 年前后也仅约 55—58 亿美元量级[1516]。"841 亿美元"的历史预测因此**明显偏高、口径过宽**。

本节仅作预告。全球与中国市场的多源并列区间、口径冲突的逐项解释，以及"841 亿 vs ≤58 亿"对照的完整论证，统一在第 12 章呈现。在那之前，请读者**严格区分"狭义教育机器人本体市场"与"泛机器人教育/STEAM 消费市场"两个口径**，并把"841 亿美元"视为一个需要诚实修正的历史预测，而非可直接复用的既成事实。这一回望本身就传递了本蓝皮书的方法论态度：**对前沿能力保持热情，对数字与时间表保持克制**。

本章小结

本章给出了贯穿全书的核心判断——能力已完成代际跃迁、部署远未跟上；确立了三条主线（范式跃迁、能力—部署落差、治理红线）与五条铁律（成熟度、货币口径、循证、并列、原文）；给出了"大脑—本体—感知—数据—治理"五域的全局架构（图 1）与五部分阅读地图（图 2）；并对历史预测的诚实回望做了预告。

贯穿本章的基调是审慎而非悲观：**"大脑"已落地、具身"本体"尚未落地**，这一能力—部署落差是理解全书后续所有技术、应用与产业判断的前提。第 2 章从政策格局切入，速览全球 12 个法域"鼓励进课堂"与"约束儿童—AI"的双轨态势，为第 3 章的定义再界定与第 14 章的治理一级框架铺设外部约束的底色。

第 2 章　政策图景：十二法域的双轨结构与儿童—AI 硬约束

任何对 2026 年教育机器人的判断，都绕不开它所处的政策场域。本章对全球 12 个法域（9 个国家/地区 + 3 个国际组织）做格局速览，勾勒"课程化进课堂"与"儿童—AI 硬约束"两条并行轨道及其收敛趋势。需预先声明：本章只做格局速览，所有政策的文号、生效日期与条款细节一律以第 14 章与附录 C/D 的官方原文为准，本章不展开条款。

2.1　双轨结构：12 法域的政策坐标

本蓝皮书纳入政策分析的 12 个法域，包括 9 个国家/地区——中国、欧盟、美国、英国、日本、韩国、新加坡、澳大利亚、印度——以及 3 个国际组织——联合国教科文组织（UNESCO）、经济合作与发展组织（OECD）与世界经济论坛（WEF）。

这些法域的政策大致归入两条并行轨道。**课程化进课堂轨道**以国家课程标准、教学指南、AI 素养必修模块乃至地方课时硬约束的方式，主动把人工智能与机器人引入基础教育。**儿童—AI 硬约束轨道**则以部门规章、法案条款或州法的方式，对儿童与 AI 系统（尤其是拟人化陪伴、情绪识别、生物识别）的交互施加硬性限制。

关键之处在于：**两条轨道并非分属不同国家，而往往在同一法域内并存**，中国与欧盟最为典型。中国一面以"人工智能+教育"行动计划、通识指南与地方课时硬约束大力推动 AI 进课堂，一面又出台全球首部针对拟人化陪伴的部门规章；欧盟一面通过国家层面的生成式 AI 教学指南鼓励应用，一面以《人工智能法案》在教育机构层面禁止情绪识别。这种"一手鼓励、一手约束"的

双轨结构，是 2026 年全球教育机器人政策格局最显著的特征。全球政策时间线（2018→2027，课程化 vs 硬约束双轨）见 。

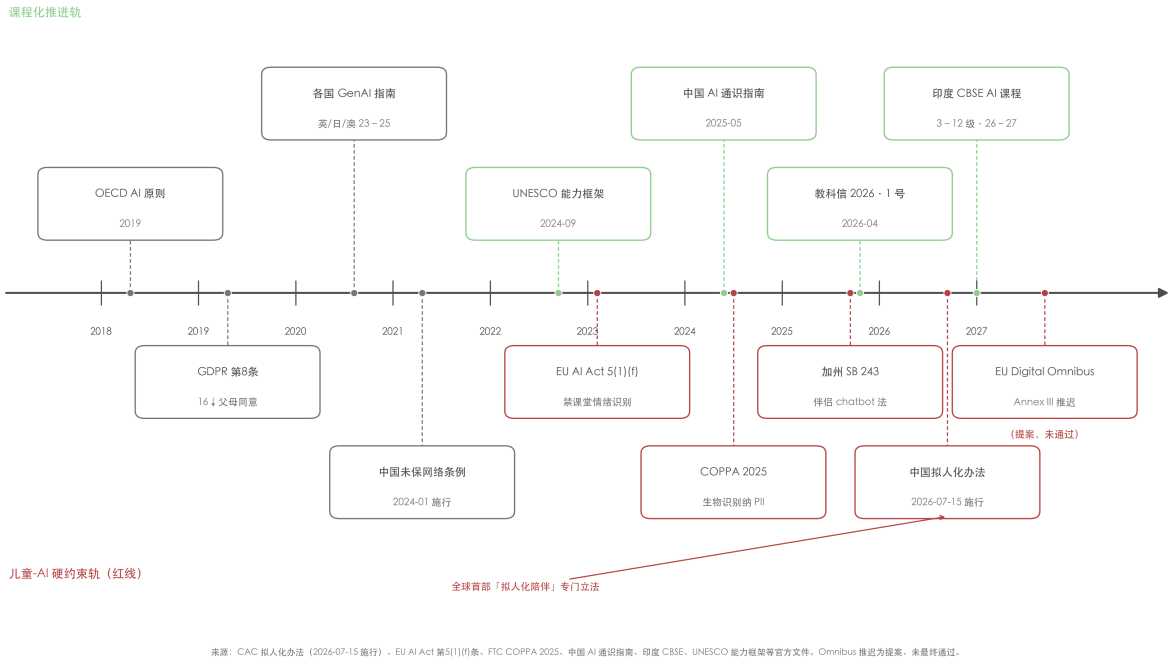


图 03. 全球教育 AI 政策时间线 2018→2027（双轨：课程化推进 vs 儿童-AI 硬约束红线）。来源：CAC 拟人化办法（2026-07-15 施行）、EU AI Act Art.5(1)(f)、FTC COPPA 2025、中国 AI 通识指南、印度 CBSE、UNESCO 能力框架；Omnibus 推迟为提案、未最终通过。

UNESCO、OECD 与 WEF 三个国际组织并不直接立法，却通过能力框架、伦理原则与议程设置，为各国政策提供价值与素养的公约数，在双轨格局中扮演"协调层"角色（详见 2.5 节）。以下先按两条轨道分别速览各法域，再回到双轨收敛的全局判断。

2.2 课程化进课堂阵营

课程化进课堂阵营覆盖中国、印度、新加坡，以及英国、日本、澳大利亚等。其共同取向是：把 AI 与机器人从"课外兴趣"提升为"课程内容"，并以政府文件或课程标准的形式加以制度化。

中国是课程化推进力度最大的法域，且推进已从"文件倡导"深入到"课时硬约束"。在顶层，国务院《关于深入实施"人工智能+"行动的意见》提出了智能终端与智能体应用的普及目标 [17]，《教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）》提供了长期战略框架 [18]；在执行层，五部门联合印发的《"人工智能+教育"行动计划》系统部署了 AI 进教育的路径，并在配套发布会上披露了全国 AI 教育基点校网络的建设进展 [1920]；《中小学人工智能通识教育指南（2025 年版）》则按学段做了分层递进的安排——小学重体验、初中重原理、高中重系统与创新 [21]。

推进力度最实的是地方层面的**课时硬约束**。北京《推进中小学人工智能教育工作方案（2025—2027 年）》规定，自 2025 年秋季学期起，全市中小学开设 AI 通识课，每学年不少于 8 课时、覆盖全学段 [22]；上海自 2024 年秋季起在小学四年级、初中七年级开设地方课程《人工智能基础》，进入常规教学节奏（媒体口径为每周 1 课时、每学年不少于 30 课时，该课时数为二手报道、引用硬数字前宜回查上海市教委原文）[23]。这些课时约束把 AI 教育从"鼓励开设"推进到"必须开齐开足"，是课程化轨道在中国走得最实的一步。

印度的中央中等教育委员会（CBSE）计划将人工智能与计算思维课程从较低年级起系统引入基础教育，覆盖范围广、年级跨度大，是全球规模最大的国家级 AI 课程部署之一 [24]。**新加坡**将 AI 素养纳入其面向 2030 年的教育科技规划，并设置 AI 素养相关的必修模块，强调全民数字与 AI 能力 [25]。

英国、日本、澳大利亚则以"教师主导（teacher-led）"的生成式 AI 教学指南为主要抓手：英国教育部发布面向学校的生成式 AI 应用指南 [26]；日本文部科学省更新了校园生成式 AI 使用指南 [27]；澳大利亚以"人与社会福祉"为核心价值发布生成式 AI 教育框架 [28]。这一组政策审慎而非激进，强调在教师监督下、在明确的教育目标下引入 AI 工具，而非放任学生自主使用。

课程化阵营的政策红利清晰：与通识指南、CBSE 课程、UNESCO 能力框架对齐的产品与课程，更容易获得院校直采与政府采购的机会。但红利始终附带"教师主导、充分验证"的前提，这一前提在第 14 章韩国 AI 数字教科书的警示案例中将得到反证。

2.3 产业政策：地方具身/人形扶持与教育的关联

课程化进课堂之外，2025—2026 年间另一股直接塑造教育机器人供给侧的力量，是地方政府密集出台的**具身智能/人形机器人产业扶持政策**。它们虽不直接面向课堂，却通过培育本体厂商、压低硬件成本、扶持科研教学平台，间接决定了"什么样的机器人能以什么价格进入教育"。

国家层面，工业和信息化部 2023 年的人形机器人创新发展指导意见，确立了把人形机器人作为战略性新兴产业培育的方向 [29]。地方层面，深圳、上海、北京三地均出台了三年期具身智能产业行动计划：深圳提出到 2027 年具身相关企业超 1200 家、关联产业规模超 1000 亿元 [30]；上海提出到 2027 年具身核心产业规模超 500 亿元、突破一批核心算法 [31]；北京提出到 2027 年培育不少于 50 家核心企业、推动万台级具身机器人落地，并明确把科研教育列为规模化应用场景之一 [32]。伴随这股产业热，深圳等地的人形机器人企业正加速冲刺资本市场 [33]。

这一产业政策对教育的传导间接而真实：地方扶持加速了本体国产化与降本，使四足机器人、科研教学人形等以更可负担的价格进入高校与职教实验室。须审慎区分的是，产业目标中的"规模化应用"主要指工业、商用与科研场景，**并不等于"人形进中小学课堂当老师"**。产业政策与课程政策的衔接逻辑将在第 11 章产业链的"政策驱动"一节展开。

2.4 儿童—AI 硬约束阵营

与课程化推进并行的，是 2025—2026 年间密集落地的儿童—AI 硬约束。其焦点高度集中在三个方向：拟人化陪伴、课堂情绪识别、儿童生物识别。代表性法域为中国、欧盟与美国。

中国在硬约束方向同样走在前列。《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》于 2026 年 4 月 10 日公布、**2026 年 7 月 15 日施行**，是其中冲击最大的一部：它禁止向未成年人提供"虚拟亲属、虚拟伴侣"等虚拟亲密关系服务，并禁止诱导情感依赖与情感操纵[12]；其配套答记者问进一步阐明了适用范围与监管意图[34]。这是全球首部直接针对"拟人化陪伴"的部门规章，对陪伴型教育机器人的产品定位影响尤为直接。与此并行，《中小学生成式人工智能使用指南（2025 年版）》在教学层面设限——小学阶段禁止学生独自使用开放式内容生成功能，并要求学校建立 AI 工具白名单[35]。

欧盟的硬约束以《人工智能法案》（Regulation (EU) 2024/1689）为载体[36]。其中第 5(1)(f) 条**禁止在教育机构使用 AI 推断自然人情绪**（即情绪识别），自 2025 年 2 月 2 日起适用[13]，直接限制了带"专注度/情绪监测"功能的课堂机器人与摄像头系统，对多模态学情分析类产品构成全球性的设计禁区预警（详见第 7、14 章）。

美国的硬约束分布在联邦与州两个层面，且州级立法已从"提案"进入"已生效"。联邦层面，COPPA 2025 修订将生物识别信息（如声纹、面部特征）纳入儿童个人信息范畴，自 2025 年 6 月 23 日生效、合规截止 2026 年 4 月 22 日，约束采集儿童语音与人脸的教育机器人[14]。州层面，加州 SB 243《伴侣聊天机器人法》于 2025 年 10 月签署、**2026 年 1 月 1 日生效**，要求披露 AI 身份并设置自伤/自杀危机响应协议[37]；纽约州 AI 伴侣法亦已于 2025 年 11 月 5 日生效，要求危机干预与"非真人"定期披露[38]。

在硬约束的"上游"，还有一层数据隐私的底座为各法域所共享：欧盟 GDPR 对未成年人数据处理设置父母同意门槛[39]；美国以 FERPA 及学生隐私保护机制约束教育数据[40]；中国《未成年人网络保护条例》对未成年人网络环境与数据做了系统规范[41]，《生成式人工智能服务管理暂行办

法》则要求防止未成年人沉迷[42]。这一隐私底座与上述三项硬约束相叠加，构成了采集儿童语音、人脸与行为数据的教育机器人必须同时满足的多重合规要求（详见第 14 章数据隐私底座一节）。

关于欧盟监管时间表的口径校准：2025 年 11 月，欧盟委员会提出"数字综合法案（Digital Omnibus）"，拟将《人工智能法案》部分独立高风险义务的适用时点推迟至 2027 年 12 月 2 日。该提案虽已于 2026 年 5 月达成临时政治协议、并经欧洲议会于 2026 年 6 月表决背书，但**截至 2026 年 6 月仍未正式通过、未刊登于官方公报，法律基线仍是 Regulation (EU) 2024/1689**[4336]。需特别说明：即便该提案最终通过，**第 5 条禁止性条款（含教育机构情绪识别禁令）不受推迟影响，已于 2025 年 2 月 2 日如期适用**。本蓝皮书在涉及此提案时一律标注"提案/临时协议，未最终通过"，相关条款细节归第 14 章与附录 C。

2.5 双轨收敛与国际组织的协调作用

把课程化推进与硬约束两条轨道叠加观察，可得出一个清晰的全局判断：**全球教育机器人政策正从"单向鼓励进课堂"向"鼓励 + 硬约束并行"的双轨结构收敛**。

收敛有三个表征。其一，**鼓励与约束往往出自同一法域**：中国与欧盟均同时具备强势的课程化政策与硬性的儿童保护规章，二者并非对立路线，而是同一治理逻辑的两面。其二，**约束的焦点高度一致**：无论中国、欧盟还是美国，监管的三大焦点都落在拟人化陪伴、课堂情绪识别与儿童生物识别上，呈现跨法域趋同。其三，**国际组织提供了价值与能力的公约数**：UNESCO 的学生与教师 AI 能力框架[44]与 OECD 的 AI 原则[45]为各国政策提供了共同的伦理与素养底座，使双轨收敛具备了国际协调的可能。

对产品方与教育机构而言，收敛意味着合规已不再是事后补救，而须前置为产品设计的种子约束：陪伴功能须避开"虚拟亲属/伴侣"定位并强化"非真人"披露，课堂应用须回避情绪识别，儿

童数据须叠加满足多法域要求，课程内容须与各国通识/素养框架对齐以获取政策红利。这些合规启示的完整展开见第 14 章。

本章的边界须再次界定。它是**格局速览**，意在让读者建立"双轨结构"的整体认知，而非逐条复述政策条款。每一部政策的文号、生效日期、适用范围与关键条款，统一由第 14 章（安全、伦理与治理）作为一级框架展开，并由附录 C（国际政策对照表）与附录 D（中国政策时间线，2018→2027）提供逐法域、逐时间点的对照。读者可循"第 2 章格局 → 第 14 章条款 → 第 11 章产业驱动"这条线索，完整把握政策对教育机器人发展的塑造作用。

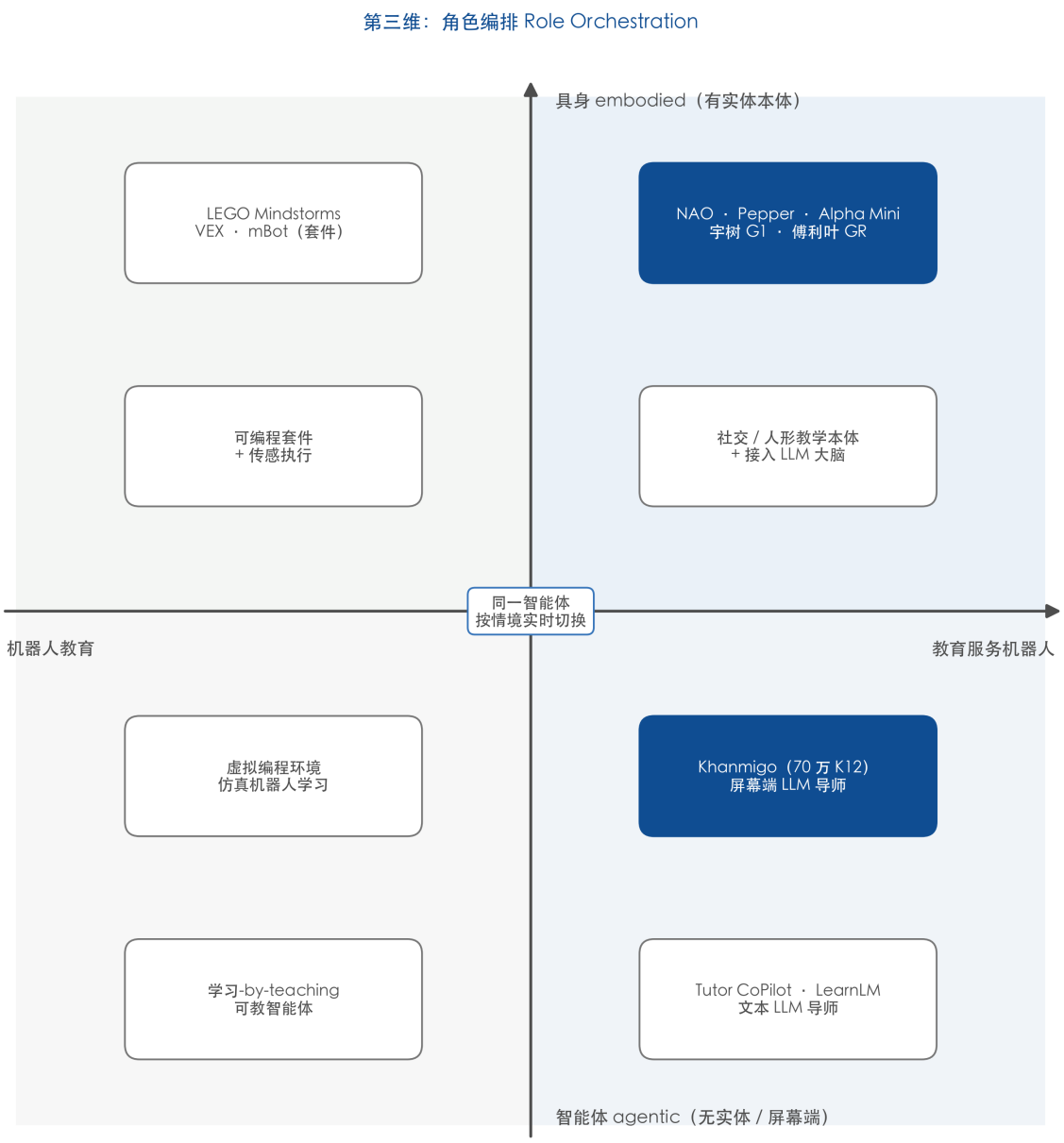
本章小结

本章对全球 12 个法域（9 国家/地区 + 3 国际组织）的教育机器人政策做了格局速览，识别出"课程化进课堂"与"儿童—AI 硬约束"两条并行轨道，并给出"双轨收敛"的全局判断：鼓励与约束常出自同一法域，约束焦点高度集中于拟人化陪伴、课堂情绪识别与儿童生物识别三处，国际组织提供了价值与能力的公约数。本章还补入了地方具身/人形产业扶持政策对教育供给侧的间接传导，以及中国地方课时硬约束、美国州级伴侣机器人立法"已生效"等 2026 最新进展。全球政策时间线见 图 3。本章严守"只做格局速览、不展开条款"的边界，所有细则以第 14 章与附录 C/D 的官方原文为准；涉及欧盟数字综合法案处，一律标注"提案/临时协议，未最终通过，基线仍 Reg (EU) 2024/1689，第 5 条情绪识别禁令不受影响"。

政策图景为教育机器人划定了"可以走多远"的外部边界，但要理解它"是什么"，仍需回到定义本身。下一章将在黄荣怀、陈莺与 Tlili（2024）框架的基础上，完成教育机器人定义、分类与教育角色的 2026 再界定——这是全书的理论坐标地基，也是本部分（格局）的收束。

第 3 章　定义与分类：从二分框架到具身—智能体连续谱

定义是本蓝皮书的坐标地基。本章在《全球教育机器人发展白皮书》系列确立的二分框架与三角色坐标、以及黄荣怀、陈莺、Ahmed Tlili（2024）的权威更新基础上，完成教育机器人定义、分类与教育角色的 2026 再界定。本章既保留经核验稳固成立的理论内核，又增设两个刻画范式跃迁的新维度，并把治理升格为框架要件；每一项新增建议均挂接可引用的依据。再界定的三维坐标系（二分 × 具身/智能体 × 角色编排）见 。



锚点：黄荣怀 · 陈莺 · Tlili（2024）已纳 chatbot；二分与三角色源自 SLIBNU 2016/2019。蓝色 = 纳入 2026 延伸的关键象限（含无实体 LLM 导师）。

图 04. 2026 再界定三维框架（二分 × 具身/智能体 × 角色编排）。蓝色 = 纳入 2026 延伸的关键象限（含无实体 LLM 导师 Khanmigo）。来源：liu2016erwp、slibnu2019erwp、huang2024erscenarios、wang2025embodied。

3.1 稳固的内核：总定义、二分框架与三角色坐标

教育机器人的总定义具有可贵的包容性与开放性：「将所有协助进行教学或学习活动的"机器人教育"，以及具有教育服务智能的"教育服务机器人"，统一称之为教育机器人（Educational Robots）。」[12] 这一定义并不要求教育机器人具备人形或实体，而是以"协助教学或学习"和"具有教育服务智能"为核心判据。正因如此，它在十年后依然能够一致地容纳从积木套件到纯软件 LLM 对话导师的全谱——这一开放性，是本章 3.4 节再界定得以成立的关键依据。

总定义之下，是教育机器人的核心二分 [12]：

- **机器人教育（Educational Robotics）**：以学习者自行组装、编程的套件式学习为特征，典型产品如乐高 Mindstorms、mBot 等。其教育价值在于"做中学"——学习者通过搭建与编程机器人来培养计算思维与工程素养。 - **教育服务机器人（Educational Service Robots）**：具备教与学智能的服务机器人，结构固定、一般不支持学习者自行拆装，应用于 STEAM 教育、语言学习、特殊教育等场景。

这一二分清晰且互补：编程套件（学习者改造的对象）与教学智能服务机器人（学习者交互的对象）代表了两种本质不同的教育关系。本蓝皮书保留此二分作为续接基座，独立第三方的转载亦对其框架要素做了佐证 [346]。

在教学维度上，教育机器人被定型为三种主要角色：**教师助手、教学工具、学习伙伴** [2]。这三角色构成了理解教育机器人"做什么"的坐标内核。早期论述已经预见到教育机器人可能扮演"亦师亦友"的多重角色 [1]，这一观察为本章 3.5 节把固定角色升级为"可编排角色"埋下了来自原始框架的伏笔。

把这套定义结构放在 2026 的技术与市场环境中检视，得到的总体判断是：**这一定义—二分—三角色的内核依然成立，且经多源交叉核验未发现无法溯源的框架要素**，它是一个稳固的续接

基座，而非需要推倒重来的旧框架。但这一基座面临三处来自范式跃迁的张力。其一，二分框架虽包容了无实体形态，却未显式刻画"具身程度"这一在人形/VLA 时代变得关键的维度；其二，三角色虽预见了多重角色，却以"固定角色"而非"可编排角色"来组织；其三，关键技术清单（语音识别、机器视觉、情境感知）已被多模态大模型、VLA 与智能体编排所替换。这三处张力构成 3.4—3.6 节三项再界定的全部动机——它们不为创新而创新，只为弥合稳固基座与新范式之间的具体缝隙。

3.2 首要锚点：教育机器人分类框架的权威更新（2024）

在做出任何再界定之前，须先确立本章最重要的理论锚点：原作者团队自身于 2024 年完成的更新。黄荣怀、陈莺与 Ahmed Tlili（2024）在生成式 AI 背景下，对教育机器人框架做了团队自身的延展[9]，主要包含三点：

1. **梳理 7 个典型应用场景**——涵盖 STEM 教育机器人、面向机器人的编程、社交机器人支持的语言学习等，把分散的应用收敛为可讨论的场景谱系。 2. **把聊天机器人纳入讨论范畴**——以 ChatGPT 为例讨论聊天机器人（chatbot）在学校教育中的价值，即明确把无实体的 LLM 智能体纳入教育机器人的讨论范围。 3. **提出可信 AI 四准则**——鲁棒性、合法性、合规性、合乎伦理性，把治理与伦理从一句原则性表述（"以社会伦理规范设计"）升格为成体系的准则。

这份更新之所以是本章再界定的首要锚点而非一篇普通参考文献，原因有二。

第一，它提供了**来自原作者团队的、把 LLM 智能体纳入教育机器人范畴的公开依据**。这意味着 2026 版"教育服务机器人须纳入无实体 LLM 智能体导师"的判断，不是外部研究者的强加，而是对原作者团队自身方向的延续。本蓝皮书把 Khanmigo 这类屏幕端软件智能体作为"教育领域唯一规模化落地"的核心样本来讨论[10]，其理论合法性正源于此。

第二，它把治理从原则性表述升格为成体系的准则，为本蓝皮书把治理列为一级框架（第 14 章）提供了**来自原作者团队的接续点**。可信 AI 四准则因此同时是第 3 章定义侧再界定与第 14 章治理侧框架的共同锚点——两章分工而不重复：本章讲"治理为何应成为定义的一部分"，第 14 章讲"治理框架的具体五大风险域"。

本章后续的三项再界定，均是在这一锚点之上的接续，而非另起炉灶。 这一点是理解全章的关键。

3.3 第三类机器人论断与历史产品框架的 2026 处境

定义结构之外，早期论述还提出了一个具有前瞻性的论断：教育机器人将成为继**工业机器人**和**服务机器人**之后的**第三类机器人**发展领域 [1]，这一论断由独立第三方逐字转载佐证 [3]。从 2026 年回望，这一判断颇具洞察力——教育已成为具身智能与人形机器人产业明确讨论的下游应用方向之一（尽管如本蓝皮书反复强调的，教育是其下游而非主战场）。

在产品框架上，早期版本曾以"适用对象 × 应用场域"的组合推导出多类产品形态，并给出多维度的产品评测框架 [12]。这一框架在 2026 年面临的主要挑战，是它难以容纳"AI 教育智能体订阅"这类无实体形态——这正是本章 3.6 节关键技术清单替换所要回应的问题。

3.4 再界定之一：在二分之下增设"具身 ↔ 智能体型"子维度

第一项再界定，是在"机器人教育 ↔ 教育服务机器人"这一二分之下，增设一个正交的子维度：**「具身（embodied）↔ 智能体型（agentic / disembodied）」**。

动机在于二分框架虽包容了无实体形态，却未显式刻画"具身程度"。到 2026 年，教育机器人的形态已铺开为一条连续谱：一端是 NAO、人形本体等高度具身的实体，另一端是 Khanmigo 这

样纯软件的 LLM 对话导师，中间还有"低成本社交本体 + 云端/本地 LLM 大脑"的混合形态[10]。仅凭二分，难以区分"接入 LLM 大脑的人形"与"纯软件智能体导师"在具身程度上的本质差异。

这一子维度有两重**依据**。其一，黄荣怀等（2024）已明确把 chatbot 纳入教育机器人范畴[9]，"智能体型"一端因此有了原作者团队的支持。其二，总定义本身并不要求教育机器人具备人形或实体[1]，因此增设"具身程度"子维度是对原定义的显式刻画而非违背。具身智能作为一个独立技术域的成型，则为这一子维度提供了技术侧的支撑[47]。

增设此子维度后，教育机器人的分类从"二分"扩展为"二分 × 具身/智能体连续谱"的二维网格，使定义能够一致地覆盖从人形本体到纯软件导师的全谱，并为第 5 章"大脑↔本体分离"的智能体化分析、第 6 章人形本体硬件分析提供共同的坐标。

3.5 再界定之二：角色从固定升级为可编排（role orchestration）

第二项再界定，是把"三角色/多角色"重述为**角色编排（role orchestration）**：同一个智能体可按教学情境实时切换导师、同伴、评估者等角色，而非被固定为单一角色。

动机在于：脚本时代的角色是"固定的三个点"，大模型时代的智能体则可以在同一会话内动态切换功能定位。在 Khanmigo 的实践中，同一个软件智能体既能以苏格拉底式提问引导学生（导师角色），又能为教师生成教案与量规（助手角色）[10]，正是角色编排在现实中的体现。

这一升级亦有来自原始框架的**伏笔**：早期论述已预见教育机器人可能"亦师亦友"地承担多重角色[1]。本研究只是把这一观察从"机器人可以是多种角色之一"显式升级为"机器人可以实时编排多种角色"。在固定三角色之外，可编排框架还自然地容纳了苏格拉底式提问导师、形成性评价者、学习数据分析顾问、协作学习中介等若干新角色，它们都是同一智能体在不同情境下被编排出的功能面。

角色编排把三角色坐标从静态升级为动态，是第 5 章"智能体编排与记忆"分析的定义侧依据。本章与第 5 章的分工是：本章给出"可编排角色"的定义框架，第 5 章给出其技术实现（工具调用、记忆、子智能体校验）。

3.6 再界定之三：技术清单替换与治理升格为框架要件

3.6.1 关键技术清单的替换

原有的关键技术清单——以语音识别、机器视觉、情境感知为代表——已不足以描述 2026 的技术底座。本研究建议将其更新为：**多模态大模型 / 具身智能（VLA）/ 智能体编排与记忆 / 端侧推理算力 / 可信与对齐**。

这一替换有两重依据：其一，黄荣怀等（2024）已把聊天机器人与生成式 AI 纳入讨论，为"多模态大模型"入列提供了原作者团队的依据 [9]；其二，具身智能（VLA）作为独立技术域的成型，为"具身智能"入列提供了技术侧依据 [47]。新清单的逐项技术演进（从规则传感到具身基础模型的四个台阶）将在第 4 章充分展开，本章与第 4 章的分工是：本章给出"清单为何须替换"的定义依据，第 4 章给出技术细节。

3.6.2 治理升格为框架要件

治理在早期框架中曾被浓缩为原则性的一句话，而黄荣怀等（2024）已将其升格为成体系的可信 AI 四准则 [9]。本研究在此基础上进一步建议：**把未成年人数据保护、模型幻觉与学业误导、情感依赖、算力公平、人机责任边界列为定义框架的一级要件**，而非展望章节的附注。

这一升格直接接续可信 AI 四准则 [9]，并与第 2 章所述全球硬约束的密集落地相呼应。本章（定义侧）讲"治理为何应成为定义框架的一级要件"，第 14 章（治理侧）讲"五大风险域的具体条款与红线"，二者分工不重复。这是全书把治理"从附注升格为一级框架"的定义地基。

3.6.3 由再界定衍生的产业与市场口径变化

关键技术清单的替换还有一个产业侧推论：在产业链层面，"基座模型与具身智能算法层（VLA）"成为一个全新的结构层。这一加层判断与 3.4 节"具身/智能体子维度"同源（均源于具身智能技术域的成型与 chatbot 的纳入），其完整论证归第 11 章，本章仅点明其与再界定的同源关系。同理，市场口径也因无实体形态（AI 教育智能体订阅/MaaS）的出现而须重做——历史的四模型加总口径已不能容纳新形态，相关并列口径与历史回望归第 12 章。

3.7 再界定的整体坐标系

综合 3.4—3.6 三项再界定，2026 再界定的整体可概括为一个三维坐标系（见 图 4）：

- **第一维·二分（继承自原始框架）**：机器人教育 ↔ 教育服务机器人； - **第二维·具身/智能体（再界定之一）**：具身本体 ↔ 智能体型纯软件，构成连续谱； - **第三维·角色编排（再界定之二）**：导师 / 同伴 / 评估者等角色的实时编排空间。

这一坐标系的**内核仍是稳固的二分与三角色**——它没有抛弃既有框架，而是在其上增设了两个刻画范式跃迁的维度，并把治理升格为贯穿三维的框架要件。坐标系中的任意一款教育机器人，都可以由"属于二分的哪一类 × 具身程度如何 × 可编排哪些角色"三个问题来定位：Khanmigo 是"教育服务机器人 × 智能体型 × 可编排导师/助手"，NAO + LLM 的特教方案是"教育服务机器人 × 具身 × 可编排同伴/评估者"，乐高 Mindstorms 则是"机器人教育 × 具身（学习者改造对象）× 角色编排弱"。这一坐标系将作为后续技术、应用、产业各章的共同定位工具，其术语定义见附录 B。

把这一再界定置于更宏观的智慧教育图景中，可见其连续性：教育机器人并非孤立的技术品类，而是智慧教育生态中"具身化的智能体"这一节点——它与智慧学习环境、教育大模型、学习

分析共同演化[48]。本蓝皮书的再界定坐标系，正是为在这一更大图景中一致地定位"从纯软件导师到人形本体"的全谱教育机器人而设计的；它既向下兼容稳固的二分基座，又向上对接智慧教育的整体框架，使教育机器人在 2026 年的理论坐标得以连续而非断裂。

最后需重申本章的方法论纪律：上述三项再界定均为本研究在权威锚点之上的延伸建议，每条均挂接了可引用的依据（黄荣怀等 2024 的 chatbot 纳入与可信 AI 四准则、原定义不要求实体、早期论述"亦师亦友"的伏笔、具身智能技术域的成型）。读者在引用本章时，应始终能区分哪些是经核验稳固成立的内核框架、哪些是本研究在其上的延伸建议——这一可溯源性，正是本蓝皮书"不自创无法溯源框架"这一铁律在定义章的具体落地。

本章小结

本章在《全球教育机器人发展白皮书》系列既有二分框架与三角色坐标、以及黄荣怀、陈莺、Tlili（2024）权威更新的基础上，完成了教育机器人的 2026 再界定：

- **稳固内核**：总定义、机器人教育↔教育服务机器人二分、教师助手/教学工具/学习伙伴三角色、第三类机器人论断——经多源交叉核验依然成立。 - **首要锚点**：黄荣怀等（2024）把 chatbot 纳入范畴、提出可信 AI 四准则，是再界定的接续点而非另起炉灶。 - **三项再界定（各挂依据）**：二分增设"具身↔智能体型"子维度、角色从固定升级为可编排、关键技术清单替换并把治理升格为框架要件。

再界定的三维坐标系（二分 × 具身/智能体 × 角色编排）见 图 4，其内核始终是稳固的二分与三角色。

坐标地基确立之后，本蓝皮书第一部分（格局）即告完成。第二部分将沿"具身/智能体连续谱"展开技术分析：第 4 章追溯从规则传感到具身基础模型的四个技术台阶，第 5 章聚焦"大脑↔

本体分离"的智能体化导师，第 6 章审视人形与社交本体的硬件曲线，第 7 章考察多模态交互与学情分析。每一处前沿能力，都将带上本蓝皮书要求的成熟度标签。

第二篇　能力跃迁：大脑、本体与世界模型

基础大模型（大脑）· 具身智能 VLA（小脑）· 世界模型（使能技术）

本篇导读　沿“大脑—小脑—使能技术”的主线，拆解 2026 年最前沿的能力栈：基础大模型作“大脑”、具身智能 VLA 作“小脑”、世界模型作使能技术，并说明为何软件“导师大脑”已先于机器人本体规模化落地。每一处能力都带成熟度标签，避免把厂商演示当作既成事实。

第 4 章　技术演进：从规则脚本到具身基础模型

成熟度标签约定（贯穿本部分全部技术条目）：`【已部署】`指有公开商业供货或第三方现场报道；`【试点】`指小规模真实场景应用；`【演示】`指研究论文、受控评测或厂商发布视频；`【厂商宣称】`指公司口径未经独立核验。前沿能力每处引用必带标签。

4.1 引入：一次真实存在的代际断层

不到十年前，教育机器人的"智能"还主要由三类技术支撑：基于规则的确定性控制、基于传感器的环境感知，以及预先编写的对话与动作脚本。彼时一台 NAO 在课堂上"识别"学生情绪、"回应"提问，本质上是在有限状态机内沿着工程师预设的分支前进；它能做的事很多，但每一件都被硬编码框定，离开剧本即失能。

2026 年的技术图景已经发生质变。支撑当下最前沿系统的，是"基础大模型作大脑、具身智能（Vision-Language-Action, VLA）作小脑"的新范式：大语言模型与视觉-语言模型提供常识推理、语言规划与零样本任务分解，VLA 网络则把视觉输入端到端地映射为关节控制输出；在二者之上，进一步涌现出能够预测物理后果、生成训练数据的世界模型。这一跃迁是**真实存在的代际断层**——它不是同一条技术曲线的延伸，而是范式的更替（脚本驱动时代的代表作[1]、[2]与今日的[4]、[5]、[6]对照之下，断层清晰可辨）。

与此同等重要的是另一条判断线索：**能力的代际跃迁并不等于部署的代际跃迁**。本章沿"四个台阶"梳理技术脉络，逐一为代表性系统标注成熟度，并在 §4.7 汇总成熟度分布。读者将看到，绝大多数被频繁引用的前沿系统迄今仍停留在实验室演示与厂商发布视频阶段，而非常态化的教育部署。这一"能力—部署落差（capability-deployment gap）"是贯穿全部技术章节的核心论据。

4.2 四台阶脉络：规则/SLAM → 深度学习感知 → 基础大模型作大脑 → VLA/世界模型作小脑

把近十年的技术演进压缩为一条主轴，可归纳为四个递进的台阶（综述依据见[49]、[50]）：

台阶一·规则、传感与 SLAM（约 2019 年及以前）。 这一阶段以确定性控制、手工设计特征、同步定位与建图（SLAM）为代表。系统在结构化环境中能力很强，但脆弱、难以泛化：环境一旦偏离设计假设，性能急剧衰减。教育领域的 LEGO Mindstorms、VEX、早期 NAO 均属此列——它们的"行为"是规则的、可预测的，也是封闭的。

台阶二·深度学习感知（约 2012—2020 年代）。 卷积神经网络与 Transformer 被用于视觉与语音感知，机器人"看得更准、听得更清"。但在这一阶段，**感知与决策仍然分离**，任务高度专用：一个识别手势的模型无法迁移去理解物体抓取，每个能力都需要单独的数据与训练管线。

台阶三·基础大模型作"大脑"（2022 年起）。 大语言模型与视觉-语言模型带来了常识推理、自然语言规划与零样本任务分解的能力。机器人第一次能够把一句开放式指令拆解为可执行的子步骤（如 SayCan、Code as Policies 一类工作所示）。这一台阶上**最先真正落地的并非具身机器人，而是软件智能体**，这正是 §4.4 与第 5 章要展开的核心事实。

台阶四·具身智能与 VLA 作"小脑"（2022 年起）。 视觉-语言-动作被统一进端到端网络，模型直接从像素与指令生成动作，弥合了感知与控制之间的鸿沟；并在此基础上进一步演化出**世界模型**——能够预测动作的物理后果、并生成合成训练数据的生成式系统。台阶三提供"想做什么"的认知，台阶四提供"怎么做"的运动智能；二者的结合定义了 2026 年的前沿。

需要审慎指出：四个台阶在时间上**叠加而非替代**。课堂中规模化运行的，至今仍以台阶一的可编程套件为主；台阶三、四的能力虽已被反复演示，却尚未沉淀为常态化的教育产品。

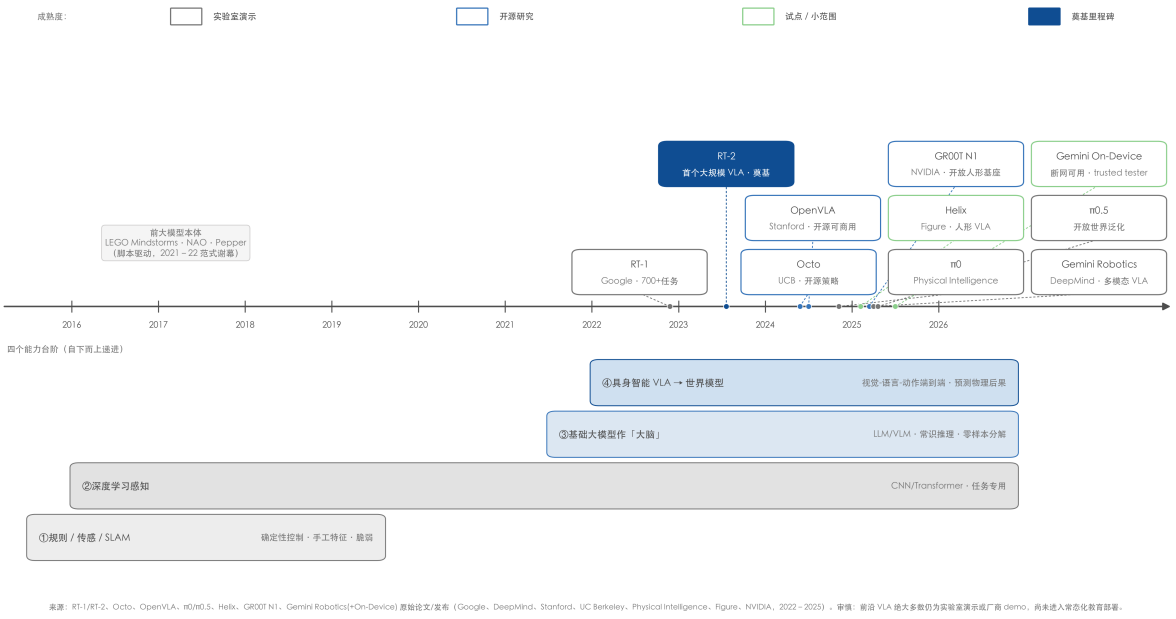


图 05. 技术演进时间线 2016→2026（四能力台阶 + VLA 里程碑，标成熟度）。里程碑 RT-1/RT-2/OpenVLA/Octo/π0/π0.5/Helix/GR00T N1/Gemini Robotics(+On-Device)。来源：各模型原始论文/发布；审慎：前沿 VLA 多为实验室演示或厂商 demo。

4.3 历史基线本体：前大模型脚本时代的三台代表机

要理解断层之"深"，须先看清断层之"前"。下列三台机器都曾是前大模型时代的标志性产品，它们的共同特征是：硬件本体先行，而认知"大脑"由规则与脚本驱动。

LEGO Mindstorms / VEX / Thymio——可编程套件的范式。 以积木搭建加图形化编程为核心，通过规则化行为培养计算思维，是 K12 阶段长期的主力机型，全球累计部署达数十万套，属**【已部署】**且为前大模型时代规模最大的成熟赛道（[51]）。一个具有象征意义的节点是：LEGO 于 2022 年停产 Mindstorms 产品线——这可被读作"规则—脚本范式"在消费教育市场的代际谢幕。

NAO——脚本驱动的小人形。 由 Aldebaran/SoftBank 出品，25 个自由度的小型人形，依靠预设动作库与脚本化对话工作，在自闭症谱系障碍（ASD）社交训练等场景中获得长期应用，属**【已部署】**（[52]、[53]）。但须明确：脚本时代 NAO 所谓的"智能"是脚本驱动而非生成式的——它

执行的是人写好的分支，而非自主生成的回应。其母公司 Aldebaran 于 2025 年 2 月进入破产清算（第 11 章详述），亦提示这一代社交机器人本体的商业可持续性风险。

Pepper——商业模式失败的标志。 SoftBank 的 1.2 米人形，曾宣称具备情感识别能力并配触摸屏，一度商用部署，累计约 27,000 台，但于 2021 年 6 月停产（**曾【已部署】后停产**，[54]）。Pepper 的退场，是"前大模型社交机器人"商业逻辑受挫的代表性事件：硬件本体已经就位，却缺少一个足够强的认知"大脑"来支撑它所承诺的开放式交互。**基础大模型恰恰补上了此前缺失的那一环**——这也是第 6 章"社交本体接入 LLM 大脑"叙事的历史起点。

4.4 代表性 VLA / 具身基础模型时间线

台阶四的具体演进，可由一条 RT-1 至 Gemini Robotics On-Device 的时间线呈现。本节对每个系统**强制标注成熟度**，这是理解"能力—部署落差"的关键证据。

模型	机构	年份	能力要点	成熟度
RT-1	Google / DeepMind	2022	Transformer 将图像与指令映射为离散动作，覆盖 700+ 任务	【演示】 实验室
RT-2	Google DeepMind	2023-07	首个大规模 VLA，动作 token 化、引入思维链推理	【演示】 实验室（奠基里程碑）
Octo	UC Berkeley	2024	开源通用策略（27M/93M 参数），扩散动作头	【演示】 开源研究
OpenVLA (7B)	Stanford 等	2024-06	首个完全开源、可商用	【演示】 开源研究

			的 VLA，基于 Open X-Embodiment 527K 轨迹	（是"模型"非"产品"）
π0（Pi-Zero）	Physical Intelligence	2024-10	VLM 主干 + 流匹配动作专家，7 配置 68 任务	【演示】 实验室（权重开源、受控评测）
π0.5	Physical Intelligence	2025-04	开放世界泛化，清理"训练集未出现"的全新厨房/卧室	【演示】 受控研究（非已部署到用户家）
Helix	Figure AI	2025-02	人形 VLA，双系统 S2(VLM)+S1(~200Hz)，约 500 小时遥操作数据	【厂商宣称】/【试点】 早期（家务为厂商视频，缺第三方复现）
GR00T N1/N1.5	NVIDIA	2025-03	"全球首个开放"人形基础模型，双系统 VLA	【演示】/【试点】 开源研究、生态早期
Gemini Robotics	Google DeepMind	2025-03	多模态 VLA，跨文/图/音/视频，宣称折纸级高灵巧	【演示】 实验室
Gemini Robotics On-Device	Google DeepMind	2025-06	本体本地运行、断网可用、50–100 示范即可微调	【试点】/【演示】 trusted tester 受限计划，非货架商品

几个里程碑须点名。 RT-2（[4]）是首个大规模 VLA，把动作 token 化并引入思维链，是必须点名的奠基性工作，但成熟度仅为实验室演示。OpenVLA（[5]）的意义在于它是首个完全开源、

可商用的 VLA，基于跨本体的 Open X-Embodiment 数据训练——但须清醒认识：它是一个"模型"，而非一件"部署产品"。π0（[6]）以 VLM 主干叠加流匹配动作专家，覆盖多配置多任务；其升级版 π0.5（[55]）在受控研究中展示了"清理训练集从未出现的全新厨房"的开放世界泛化能力——但这一能力**是受控研究评估的产物，并非已部署到真实用户家中或课堂**。RT-1 与 Octo 作为前序与开源对照见[56]、[57]。

人形方向上，Figure AI 的 Helix（[8]）采用 S2（VLM 慢思考）+ S1（约 200Hz 快控制）双系统，宣称基于约 500 小时遥操作数据完成家务；但"做家务"的展示来自**厂商发布视频**，缺乏独立第三方复现，成熟度只能定为厂商宣称/早期试点。NVIDIA 的 GR00T N1/N1.5（[7]）作为"全球首个开放"人形基础模型，接入了 Agility、Boston Dynamics、NEURA 等本体，属开源研究与生态早期试点。Google DeepMind 的 Gemini Robotics（[58]）展示了跨模态 VLA 与折纸级灵巧操作的实验室能力；其端侧版本 Gemini Robotics On-Device（[59]）支持本体本地运行、断网可用、仅需 50–100 次示范即可微调，但目前是面向 trusted tester 的受限计划，并非货架商品。后者所代表的**端侧推理方向，对教育场景的隐私保护、断网可用与低延迟尤为关键**，第 5 章与第 15 章将续接这一线索。

4.5 具身数据范式：真机稀缺与"为什么需要世界模型"

在展开世界模型之前，须先讲清它要解决的根本约束——**具身策略的训练数据从哪来、多贵**。这一约束直接决定教育机器人的可得性与价格。

与互联网文本不同，"动作配对的传感运动数据"不存在互联网规模：机器人策略需要同步的关节角、夹爪力、相机帧与任务上下文，只能在物理操作中逐条录得，没有"免费的网络版"。规模差距是数量级的——全球运行的工业机器人超过 390 万台，但最大的开放机器人操作数据集仅

约 100 万条 episode；训练当代大型视觉-语言模型的互联网数据约等于"10 万年人类经验"，而迄今最大单一遥操作机器人数据集仅约"1 年"量级（[60]、[61]）。

应对这一"数据干旱"，目前有三种范式，各有权衡：

- **遥操作（teleoperation）**：人工逐条采集，昂贵且慢，占总训练样本不到 1%，却承担"策略能否在真实世界工作"的大部分权重——**最贵但最关键**（[62]）。 - **仿真合成（simulation）**：填补长尾罕见场景；2025 年有研究量化其权衡——同域操作任务下**约 8 个仿真样本 ≈ 1 个遥操作样本**；但仿真难以建模潮湿摩擦、材料形变、镜面金属反光等，接触密集型任务是 sim-to-real 最易失败处（[61]）。 - **互联网与第一视角视频**：提供大致的动作先验与底层世界知识，但仅是先验，并非可直接执行的策略。

这条链条对教育的传导逻辑清晰：**真机数据越贵 → 具身策略训练越贵 → 教育/科研机器人本体"自带能力"越贵或越弱**。世界模型与 sim-to-real 合成数据正是被寄望用来打断这条成本链的技术路径，也是下一节展开世界模型前必须先建立的语境。须保守界定：合成数据降本仍处研究/早期阶段，本蓝皮书将其列为**趋势而非现状**。

4.6 世界模型：使能技术与研究前沿

台阶四的延伸是**世界模型（world model）**——它不直接控制机器人，而是为具身智能提供"对物理世界的可预测想象"：或生成可交互的训练环境，或产出合成训练数据，或作为机器人规划的内部预测器，从而**降低真机数据采集门槛、加速能力迭代**。2025—2026 年，这一方向成为整个具身赛道最受资本与研究关注的前沿之一。

但本节开宗明义给出一条贯穿性的界定：**世界模型一律是"使能技术/研究前沿"，不是课堂产品**。它与教育的关系是**间接的**——通过更廉价的数据与更快的迭代推动具身智能成熟，而非可以直接搬进课堂的产品。任何"世界模型进课堂"的表述都属过度宣称，本蓝皮书一律回避。同时，

"世界模型"一词本身的分类尚未统一——前沿团队（如李飞飞的 World Labs）仍在专门撰文界定其外延（63），故本节按三类用途分别刻画，避免笼统断言"世界模型已能做什么"。

类型一·实时可交互世界（"可玩世界 / 智能体训练场"）。 这类系统从文本或图像生成可实时导航、可交互的动态环境，形态接近"可玩世界"，主要价值是充当智能体的训练与评测场地。

- **Google DeepMind Genie 3**：通用世界模型，给文本提示即可生成可实时导航的动态世界，720p / 24fps、具备约 1 分钟的"视觉记忆"，并可连接 SIMA 智能体在生成环境中做长序列目标评测。官方明列局限：可执行动作空间受限、多智能体复杂交互未解、无法精确模拟真实地理、连续交互目前仅支持"几分钟"。成熟度为**【演示】/研究预览**——其消费向 demo 于 2026 年 1 月起对 AI Ultra 订阅用户在美国有限开放（64、65）。 - **Decart Oasis / Mirage / Oasis3**：Oasis 号称首个实时、可交互的生成式视频/世界模型；MirageLSD 实现亚 40ms 响应的实时视频流转换；Oasis3 可实时生成照片级驾驶环境并已 API 化，初期面向自动驾驶。成熟度为**【演示】+ 早期商用 API**（66、67、68）。 - **Odyssey-1 / Explorer**：开创"可交互视频"，每 40–50ms 流式生成新帧、实时响应输入；Explorer 把任意图像变为可探索的 3D 世界。官方明确其指向机器人训练环境等真实仿真用途。成熟度为**研究 demo / 早期预览**（69、70）。 - **Runway GWM-1 / Luma Ray3**：视频生成厂商正向世界模型方向延伸——Runway 实时生成可探索环境并保持几何/光照/物理一致，Luma Ray3 支持起止帧过渡与角色参考修改。二者介于"视频生成"与"世界模型"之间，须谨慎归类，成熟度为**商用视频生成产品 + 世界模型方向探索**（71、72）。

类型二·合成数据生成器（"为机器人/自驾造训练数据"）。 这类系统不追求"可玩"，而专注于大规模产出物理上合理的合成训练数据，直接对应 §4.5 的成本链问题。

- **NVIDIA Cosmos**（World Foundation Models）：生成"物理感知"视频，支持 Text/Image/Video2World，迭代出 Predict / Transfer / Reason 系列，并配合 Omniverse 充当机器人

与自动驾驶的后训练合成数据引擎；1X、Agility、Figure、Uber 等为首批采用方。成熟度为**平台已发布（开放模型）+ 开发者/企业试点采用**——这是当前开发者生态最广、最接近"可用工具"的世界模型平台（[73]、[74]、[75]）。 - **Wayve GAIA-2**：潜在扩散世界模型，为辅助/自动驾驶生成可控合成数据，可合成罕见与高危场景做压力测试。成熟度为**研究发布 / 企业内部生产使用**（Wayve 自用做安全测试，[76]、[77]）。

类型三·自监督预测式世界模型（"机器人规划的内部模型"）。 这类系统把世界模型内化为机器人的预测器，用于规划与控制，是三类中最接近"小脑"本义的一支。

- **Meta V-JEPA 2**：在 100 万+ 小时互联网视频上预训练、再用约 62 小时无标注机器人视频适配，用内部世界模型做模型预测控制（MPC），在新实验室的 Franka 机械臂上**零样本**完成抓取与放置（仅凭图像目标、无任务专属训练或奖励）。它演示了"视频世界模型 → 可执行机器人规划"的路径，大幅降低对真机数据的依赖。成熟度为**研究发布（已开源模型 + 基准）/ 实验室验证**，而非产品（[78]、[79]）。

与三类并行，还有一支侧重**空间智能**的方向：World Labs（李飞飞团队）的 **Marble** 从文本/图像/视频生成可导出的 3D 环境，于 2025 年 11 月作为首个商用产品发布并完成约 10 亿美元融资，属**早期商用产品 / 研究前沿**（[80]）。本蓝皮书将其与世界模型并列，但单列为"空间智能"子类以避免概念混用。

把九系统按"类型 × 成熟度"铺开，可得 的图谱：实时可交互世界多停留在研究预览/受限 demo，合成数据生成器中 Cosmos 最接近可用工具，自监督预测式的 V-JEPA 2 仍是实验室验证；逐级来看，**成熟度自合成数据平台向实时可交互世界、再向端到端规划递减**，越接近"直接控制真机"的环节越不成熟。

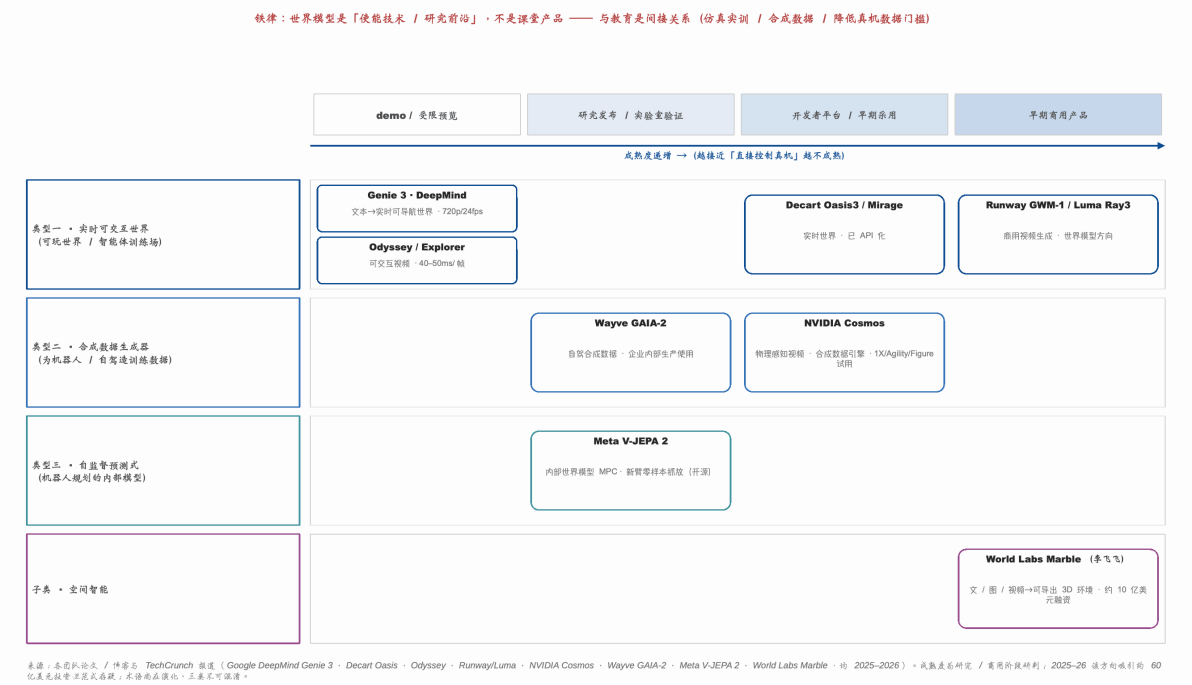


图 26. 世界模型 三类 × 成熟度 图谱（9 系统泳道矩阵：实时可交互/合成数据生成/自监督预测式 + 空间智能子类 × demo→研究→开发者平台→早期商用）。铁律：世界模型是使能技术/研究前沿、非课堂产品，与教育是间接关系（仿真实训/合成数据/降低真机数据门槛）。来源：_v2_addendum 专节 4（Genie 3、Decart Oasis、Odyssey、Runway/Luma、NVIDIA Cosmos、Wayve GAIA-2、Meta V-JEPA 2、World Labs Marble）。

一条审慎信号必须并入正文。 2025—2026 年，具身/世界模型方向吸引约 60 亿美元投资，但已有分析指出："大语言模型的 scaling 范式未必能直接复制到世界模型"——即不能想当然地认为"堆数据与算力就能解决具身智能"（[81]）。资本热度与范式确定性之间存在落差，这与本蓝皮书"能力—部署落差"的主轴一脉相承：**世界模型是有前景的使能技术，但它能否、以及多快地把具身智能（含教育机器人）的能力与成本曲线压下来，目前仍是开放问题。**对教育而言可写入"未来趋势/政策建议"的传导逻辑是——世界模型 + sim-to-real 合成数据若成熟，可降低单台教育机器人达到可用能力的成本，并让"在仿真里做实训"成为低门槛教学方式（学生无需昂贵真机即可练强化学习/感知/规划，相关综述见 [82]、[83]）；但这是趋势种子，绝非现状。

4.7 成熟度分布总览：能力—部署落差的核心论据

把 §4.3—§4.6 的全部系统按成熟度归并，结论一目了然（）：

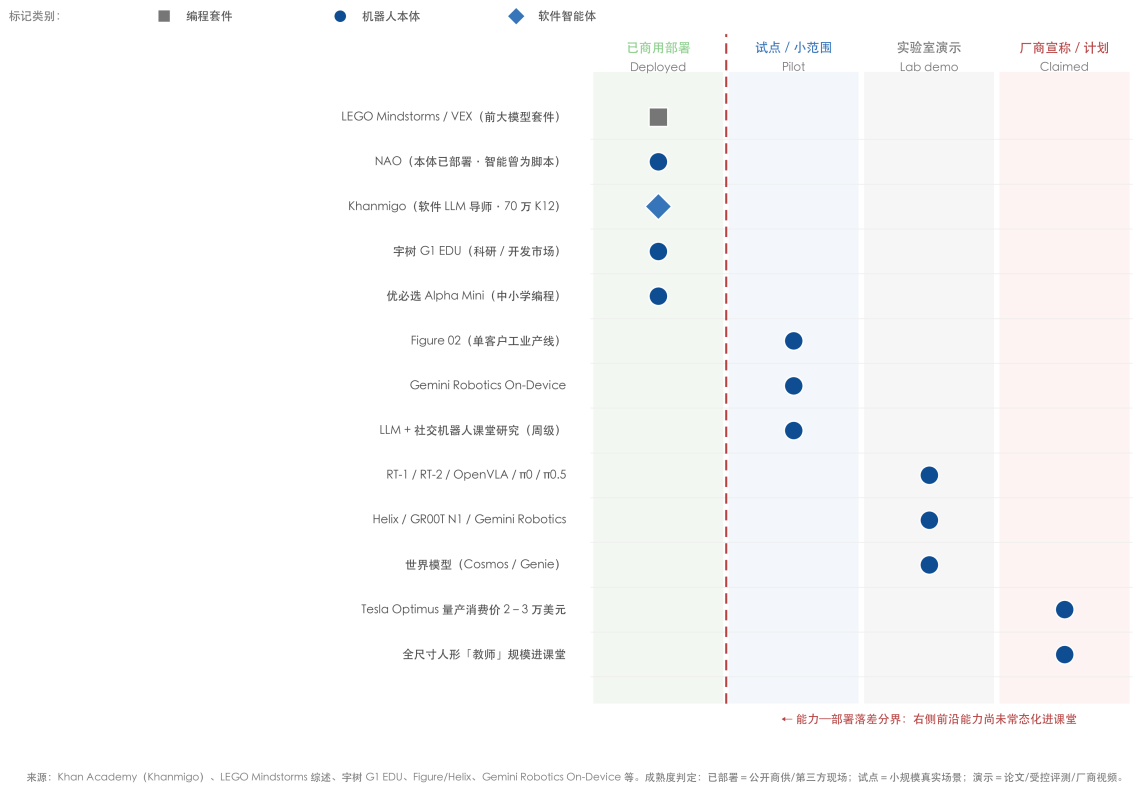


图 06. 成熟度分布矩阵（代表系统 × 已部署/试点/演示/宣称四级）。能力—部署落差分界可视化。来源：Khanmigo、LEGO Mindstorms 综述、宇树 G1 EDU、Figure/Helix、Gemini Robotics On-Device 等。

- **【已部署】（已商用供货或第三方现场报道）**：LEGO Mindstorms / VEX（前大模型套件，历史主力）；NAO（本体已部署，但其"智能"曾为脚本）；**Khanmigo（软件 LLM 智能体，非机器人本体）**；Unitree（面向科研/开发市场的人形本体，[84]）。 - 工业**【试点】**：Figure 02（单客户产线，与教育无关）。 - **【试点】/小范围**：Gemini Robotics On-Device；若干 LLM + 社交机器人课堂研究（27 名学生级、周级时长）。 - **【演示】/厂商 demo / 研究预览**：RT-1、RT-2、OpenVLA、Octo、π0、π0.5、Helix、GR00T N1、Gemini Robotics、Tesla Optimus，以及几乎全部多模态学情分析系统；**世界模型九系统亦整体落在此区间**——其中 Cosmos 为已发布平台并有

开发者试点采用，V-JEPA 2、GAIA-2 为研究发布并有实验室/企业内部验证，Genie 3、Oasis、Odyssey、Runway/Luma 多为研究预览或受限 demo，Marble 为早期商用产品；无一构成教育部署。

由此得出本章——也是整个技术部分——的**核心审慎判断**：2026 年最前沿的"基础大模型 + 具身智能 + 世界模型"能力，**绝大多数仍停留在实验室演示与厂商发布视频，尚未进入常态化教育部署**。真正进入课堂并规模化的，要么是前大模型时代的可编程套件，要么是屏幕端的 LLM 智能体——其中规模最大的是 Khanmigo，其 K-12 学生用户从 2023—24 学年的约 4 万增至 2024—25 学年的约 70 万（公司预计 2025—26 学年破百万），其总用户（含教师）在 2025 年 4 月达约 140 万，约 350 个美国学区日活使用（[10]、[11]）。这就是"**大脑已落地、具身本体尚未落地**"的真实写照。本蓝皮书必须把这一"能力—部署落差"作为基本事实呈现，避免把厂商 demo 当作既成事实。

4.8 本章小结

本章沿四个台阶梳理了从规则脚本到具身基础模型的技术演进：代际断层真实存在，但断层主要发生在"能力"维度，"部署"维度的跃迁远未同步完成。我们为每一个前沿系统标注了成熟度，深化了世界模型三类区分（实时可交互世界 / 合成数据生成器 / 自监督预测式）及其作为"使能技术、非课堂产品"的审慎定位，并在 §4.7 汇总出"绝大多数前沿系统仍为演示/试点"的分布图景——这是第二部分乃至全书反复回到的论据锚点。

承接基础大模型这一台阶，第 5 章将聚焦**智能体化**：解析为何在台阶三上最先规模化落地的不是具身本体，而是以 Khanmigo 为代表的软件 LLM 导师，并讨论"大脑↔本体分离"的架构含义、幻觉治理的现实样本与端侧推理的回应方向。承接 Helix/GR00T 等人形 VLA 与 Unitree 本体，第 6 章将审慎刻画人形与社交本体的硬件曲线与教育可及性边界。技术关键词清单相对 2016/2019

的替换（多模态大模型 / 具身智能 VLA / 智能体编排与记忆 / 端侧推理 / 可信对齐）则对应第 3 章的再界定，并在第 11 章映射为产业链新增的 VLA 算法层。

第 5 章　智能体化：软件导师先于机器人本体的规模化落地

> *成熟度标签约定同第 4 章。本章核心区分：屏幕端软件 LLM 智能体（已规模化）与具身 LLM 机器人本体（仍为研究/试点）——二者切勿混为一谈。*

5.1 引入：当"大脑"先于"本体"落地

第 4 章在梳理技术四台阶时埋下一个关键事实：在"基础大模型作大脑"这一台阶上，**最先真正规模化落地的不是任何一台机器人，而是一套运行在屏幕上的软件智能体**。这与人们对"机器人时代"的直觉相悖，却恰恰是 2026 年教育领域最重要的部署现实。

本章围绕"智能体化（agentification）"展开：基础大模型不再只是被动应答的对话框，而是被组织为具备**工具调用、记忆、子智能体协作与角色编排**能力的智能体（agent）。当这样一个"导师大脑"接入机器人本体时，便构成所谓"智能体化导师机器人（agentic tutor robot）"。一条边界须反复强调：**当前唯一规模化落地的是软件智能体（屏幕端），具身导师机器人本体则几乎全部停留在研究与小规模试点**。

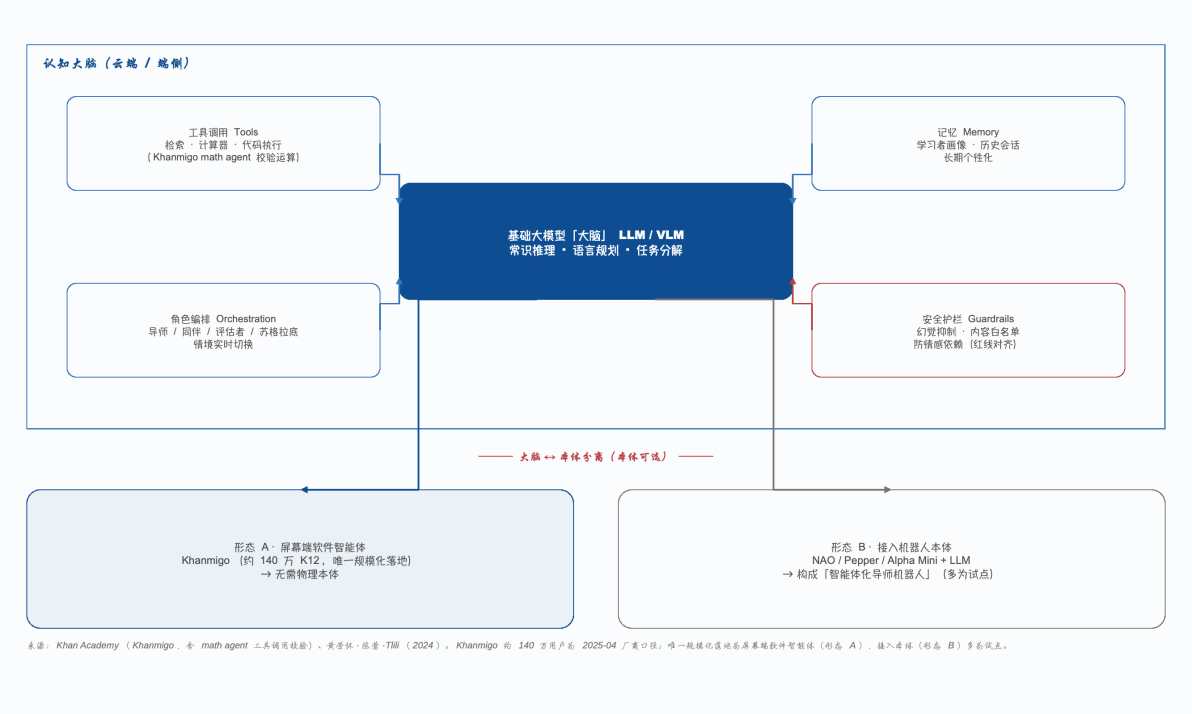


图 07. 智能体化导师机器人架构（大脑/工具调用/记忆/角色编排/安全护栏，大脑↔本体分离）。形态 A 屏幕端软件智能体（唯一规模化）vs 形态 B 接入本体（多为试点）。来源：khanmigo2024（含 math agent）、huang2024erscenarios。

5.2 「导师大脑」范式：Khanmigo 作为唯一规模化落地样本

可汗学院（Khan Academy）的 Khanmigo 是迄今教育领域**唯一规模化落地**的 LLM 智能体导师，也是"能力—部署落差"叙事中"大脑已落地"一侧最有力的实证（[10]）。

其能力定位是苏格拉底式引导：不直接给答案，而是通过追问引导学生自行推进；同时为教师批量生成教案与评分量规。部署轨迹尤为关键——2023 年作为实验项目推出，自 2024—25 学年起规模化：**K-12 学生用户从约 4 万增长至约 70 万，总用户（含教师）在 2025 年 4 月达约 140 万，约 350 个美国学区日活使用**，且已扩展至印度、巴西、菲律宾等地（[11]）。须注意，用户/学区数为厂商与年报口径（多为注册而非活跃精确值），引用时按此界定。

但有一个区分须反复强调：Khanmigo **是软件智能体，运行在屏幕端，并非机器人本体**。它的价值在于证明了 LLM 智能体的教学能力已被真实学区在常态化场景中验证；当这一"大脑"被

接入一台机器人本体时，才构成"智能体化导师机器人"。Khanmigo 验证的是"大脑"，不是"本体"。把它的部署成功直接读作"教育机器人已规模化进课堂"，是一种典型的口径混淆，本蓝皮书严格规避。还须补充一条审慎边界：Khanmigo 验证的是**部署规模**而非学习成效——截至 2025 年末，其教学效果仍缺乏金标准随机对照试验（RCT）证实（成效循证统一归第 10 章），"规模已落地"不等于"成效已证实"。Khanmigo 的州级落地也在加深：以美国新罕布什尔州为例，已有约 50 个学区、约 5,000 名教师、约 4 万名学生接入（州政府口径，[85]），表明"导师大脑"正从单一平台走向州级公共教育基础设施。

Khanmigo 并非孤例，而是一个**更广的"软件智能体已规模化、本体仍未落地"现象**中最有代表性的样本。同期可与之并列的软件端导师包括：Amira Learning（AI 阅读导师）经厂商口径触达约 400–500 万学生、覆盖逾 2,000 个学区、美国 50 州与约 19 国，并已在爱荷华州全州免费、北达科他州 K-5 直采、Newark 全学区 K-3 铺开，约旦更将其纳入国家级试点（[86]、[87]）；Google 的 Gemini for Education 于 2025 年触达约 1,000 万学生、1,000 余所院校（厂商触达口径，[88]）。这些样本共同印证：**当"大脑"以纯软件形态交付时，规模化部署在 2026 年已是事实**；但它们无一是机器人本体，仍须与"具身导师机器人"严格区分。同样须保守界定：上述用户/学区/触达数多为厂商或年报口径（注册而非活跃精确值），且其成效证据强度参差（详见第 10 章），"已规模触达"不等于"已证实有效"。

5.3 幻觉治理的现实样本：Khanmigo 的 math agent

LLM 进入教育最受诟病的风险之一是**幻觉（hallucination）**——模型可能自信地给出错误内容，在数学这类有唯一正解的科目尤为危险。Khanmigo 提供了一个值得记录的工程化应对样本（[10]）。

其内置的"math agent"采用**工具调用 + 专用子智能体校验**的机制：当对话涉及具体运算时，主模型不直接"心算"输出，而是把计算交给确定性工具或专门的校验子智能体，从而缓解 LLM 在算术上易错的问题。这一设计的方法论意义在于：它示范了如何**用智能体架构（而非单纯堆砌模型规模）来约束幻觉**——把不可靠的生成环节替换为可靠的工具执行，并以子智能体做事后校验。这正是"智能体化"区别于"单一大模型对话"的核心：能力来自**编排**，而非来自模型本身的全知。

须审慎指出：math agent 显著缓解但**并未消除**幻觉风险；在开放学科、长程对话与多模态情境下，幻觉治理仍是远未闭合的工程与治理问题（细则见第 14 章关于学业误导的讨论）。

5.4 LLM 驱动的社交机器人本体：研究与试点全景

把"导师大脑"接入实体本体的探索已经展开，但**全部处于研究或小规模试点阶段，无一构成规模化部署**。下表汇总教育场景中代表性的 LLM + 社交机器人本体工作，逐条标注成熟度：

系统 / 工作	年份	描述	成熟度
Pepper + ChatGPT/GPT-3 高中课堂讲新知	2024	用 LLM 驱动 Pepper 在课堂讲授新知识	【试点】/ 实验室研究（小样本，[89]）
NAO + LLM 特殊教育（手势/手语）	2025	LLM 增强 NAO 的手势与手语交互	实验室研究（"潜力大但尚未充分开发"，[90]）
人形社交机器人课堂助教（识别参与度）	2025	LLM 驱动人形识别学生参与度并辅助	实验室/试点研究（[91]）
RoboBuddy（LLM 讲故事）	2025	LLM 机器人为儿童讲故事	【试点】研究（27 名学生、1 周课堂，[92]）
LLM 讲故事激发儿童创造力	2024	探究 LLM 故事讲述对创造力的影响	【试点】/ 实验室研究（同行评审，[93]）

同伴式可教机器人（learning-by-teaching）	2025	学生"教"机器人以促进自身记忆保持	实验室研究（[94]）

从这张全景表可以读出三点。其一，**机型选择上的新趋势是"复用现成低成本本体 + 叠加 LLM 大脑"**：研究者多采用 Pepper、NAO、Kebbi、Furhat 等成熟平台，而非自研更复杂的本体（详见第 6 章）。这一选择背后有一条经济逻辑：如第 4 章 §4.5 所述，具身策略所需的真机训练数据稀缺且昂贵，自研复杂本体并赋予其端到端自主操作能力的成本极高，"复用成熟本体 + 接入语言大脑"恰好绕开了最贵的具身数据采集环节，把创新集中在对话与交互层。**当前 LLM 社交机器人研究之所以可行，正因为它主要消费的是已规模化的语言模型能力，而非昂贵的具身操作能力**。其二，**样本规模与时长普遍很小**：RoboBuddy 仅 27 名学生、为期一周即属其中较"实"者，多数工作停留在受控实验室或可行性验证。其三，**无一构成规模化部署**，它们共同描绘的是"前景"而非"成效"。本蓝皮书对这一类工作的定位因此是**前景广阔、实证早期，杜绝任何成效宣称**。学习成效的循证讨论统一归第 10 章，本章不重复效应量。

5.5 智能体编排与记忆：从固定角色到可编排角色

智能体化带来的不仅是"接入本体"，更是**交互范式的升级**。教育机器人长期被定型为教师助手 / 教学工具 / 学习伙伴三类固定角色；在 LLM 智能体框架下，这一静态分类可被重述为**角色编排（role orchestration）**——同一个智能体大脑能够依据情境实时切换身份：此刻是苏格拉底式提问的导师，下一刻是形成性评价者，再下一刻是学习数据分析顾问或协作学习的中介（这一再界定的完整论证与依据见第 3 章，理论锚点为 [9] 已将 chatbot 纳入教育机器人范畴）。

支撑角色编排的两项底层能力是**记忆与编排**。记忆使智能体能够跨会话维持对学习者画像、进度与偏好的连续认知——它把一次性问答升级为对同一学习者的连续追踪，使"上一节课你在

分数通分上卡住"这类上下文得以延续，从而支撑个性化的形成性反馈。编排则把"调用哪个工具、切换到哪个角色、何时移交给子智能体"组织为可调度的流程：一个具备工具调用能力的智能体可在对话中实时唤起计算器、检索教材、查询学情数据库或调用确定性求解器，而不必让模型"凭记忆心算"。这正是 §5.3 中 math agent 机制的一般化：**智能体的教育能力来自对工具、记忆、子智能体与角色的编排，而非单一模型的内在全知**。

这一"编排带来能力"的判断，已有受控研究的初步佐证。Google DeepMind 的 LearnLM（针对学习场景微调的 Gemini 变体）在英国课堂一项探索性 RCT 中（165 名 13–15 岁学生、5 所学校，Eedi 平台），其草拟的导师消息有 **76.4% 被监督教师零修改或极小修改即采纳**，学生在解新题上的概率较对照高约 5.5 个百分点（[95]）。须严格界定：该研究样本小、为探索性、未作显著性主张，76.4% 是**过程质量代理指标**而非学习成绩效应量，且 LearnLM 是文本 LLM、非机器人——它佐证的是"经编排与对齐的导师大脑能产出教师可直接采纳的教学内容"，而非任何成效结论（成效归第 10 章）。

须强调，"大脑↔本体分离"是这一架构的天然推论——同一个导师大脑可以服务于屏幕、平板，也可以驱动一台社交机器人；本体只是大脑的一种载体，而非能力的来源（图 7 以"大脑/工具调用/记忆/角色编排 + 大脑↔本体分离"刻画这一架构）。这一分离也解释了为何"大脑"能先于"本体"规模化：软件智能体的边际部署成本极低（复制一份订阅即可触达新学生），而每多一台具身本体都意味着真实的硬件、维护与具身能力获取成本——后者正是下一节两大共性挑战的根源。

5.6 两大共性挑战：幻觉与算力开销

把 LLM 大脑接入教育本体，面临两类贯穿性的共性挑战，二者都须写入审慎章节。

挑战一·幻觉。 如 §5.3 所述，机器人可能偏离预设、给出错误内容；在面向儿童的教育场景中，错误内容的代价尤高（涉及学业误导与信任）。Khanmigo 的 math agent 提供了"工具调用 + 子智能体校验"的缓解范式，但远非通用解；开放学科与长程交互下的幻觉治理仍是开放难题。

挑战二·算力开销。 大模型难以在嵌入式本体上离线运行——算力、功耗与延迟都构成现实约束。这一挑战对教育场景尤为尖锐，因为校园环境往往要求**断网可用、低延迟、数据不出本地**（隐私合规需要）。第 4 章提到的 **Gemini Robotics On-Device（[59]）所代表的端侧推理方向，正是对这一挑战的直接回应**——本体本地运行、断网可用、少量示范即可微调。本地小模型与端侧推理因此被本蓝皮书列为教育场景闭合"能力—部署落差"的关键突破口之一（趋势研判见第 15 章）。

须保守界定：端侧推理目前仍处试点/受限计划阶段（trusted tester），它指明了方向，但尚未把具身导师机器人推入规模化部署。

须补充一条与"算力开销"相邻、且更具根本性的成本约束：把"大脑"接入实体仅是问题的一半，另一半是赋予本体真实的具身操作能力，而后者受制于第 4 章 §4.5—§4.6 所述的**真机数据瓶颈**。这一瓶颈的量级值得在本章具体刻画，因为它直接决定了"具身导师机器人为何贵、为何难"。与互联网文本数据不同，训练具身策略所需的"动作配对传感运动数据"（同步的关节角、夹爪力、相机帧与任务上下文）不存在互联网规模的现成版本，只能在物理操作中逐条录得：全球运行的工业机器人虽逾 390 万台，但**最大的开放机器人操作数据集也仅约 100 万条 episode**；相较之下，训练当代大型多模态模型的互联网数据约相当于"10 万年人类经验"，而迄今最大的单一遥操作机器人数据集仅约"1 年"量级（[60]）。数量级的鸿沟，正是"语言大脑已规模化、具身本体未规模化"的数据学根源。

降本链由三种数据范式的取舍构成（[61]）：**遥操作**逐条人工采集，最贵最慢，却承担"策略能否在真实世界工作"的大部分权重；**仿真合成**用于填补长尾罕见场景，2025 年有研究量化出"约 8 个仿真样本 ≈ 1 个遥操作样本"的换算关系（同域操作任务），但在潮湿摩擦、形变、镜面反光等接触密集场景仍最易失败；**动作捕捉与第一视角视频**提供动作先验，但仅是先验、非可执行策略。世界模型（第 4 章、第 15 章详述）的间接价值正在于此——以全合成管线大规模生成多样化具身轨迹、绕开人工遥操作，从而压低"单台教育/科研机器人达到可用能力"的成本，并让"在仿真里做实训"成为低门槛教学方式（学生无需昂贵真机即可练强化学习、感知与规划）（[75]、[82]）。

两端杠杆由此并置：端侧推理压低的是大脑的**部署成本**，世界模型与 sim-to-real 合成数据若成熟，则有望压低本体的**能力获取成本**；二者分别从"大脑可及"与"本体可及"两端，被本蓝皮书视为闭合"能力—部署落差"的潜在杠杆。仍须保守界定：两者目前均处试点/研究阶段，是趋势而非现状（趋势研判见第 15 章）。尤须警惕把世界模型表述为"已进课堂的教育产品"——它是**使能技术**，与教育的关系是间接的（降低真机数据门槛、合成训练数据、做仿真实训），绝非课堂落地产品。

5.7 本章小结

本章确立了"智能体化"的核心图景：基础大模型经由工具调用、记忆、子智能体校验与角色编排，升级为"导师大脑"。这一范式**最先以软件智能体的形态规模化落地**——Khanmigo 约 140 万用户（含教师）、约 350 个美国学区日活，是唯一的规模化样本，但它是屏幕端软件而非机器人本体，且其成效尚未经金标准 RCT 证实。把同一"大脑"接入实体的探索虽已铺开，却全部停留在研究与周级试点，**前景广阔而实证早期**。幻觉与算力是这一路径上两大共性挑战；端侧推理与世界模型合成数据则分别从大脑与本体两端，构成值得追踪的回应方向。

承接"大脑↔本体分离"的架构含义，第 6 章将转向"本体"一侧，审慎刻画人形与社交本体的硬件曲线、成本拐点与教育可及性边界——并明确：可接入 LLM 大脑的低成本社交本体，与工业级人形进课堂的"概念/演示"之间，存在不可忽视的距离。本章涉及的 LLM 教学循证（Tutor CoPilot、LearnLM 等均为文本 LLM、非机器人）归第 10 章统一处理；幻觉与学业误导的治理细则归第 14 章。

第 6 章　具身本体全谱：人形、灵巧手与四足

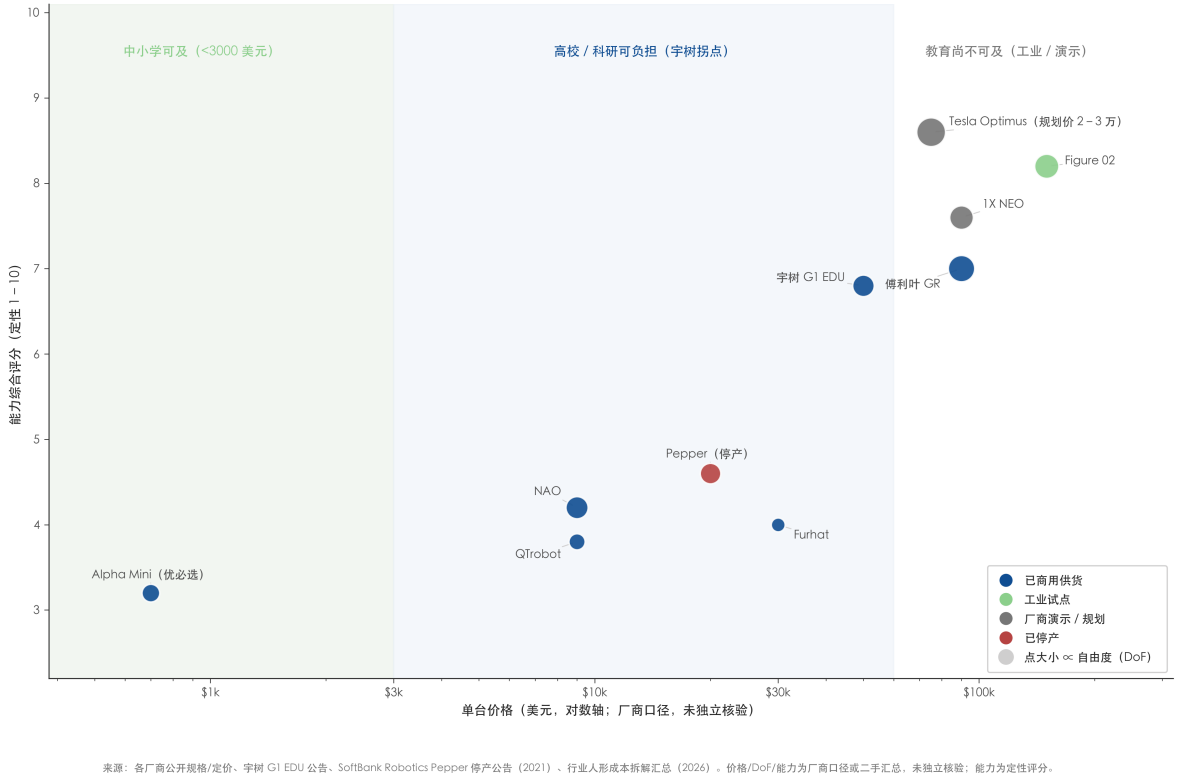
*本章范围声明：本章只讲具身本体硬件——人形、灵巧手、四足三类本体的自由度、成本、参数曲线与教育可及性边界。本体的市场规模、出货预测归第 12 章；厂商财务、竞争排名归第 13 章；具体厂商的教育部署案例归第 9 章；上游"卡脖子"部件的产业链重构归第 11 章——本章对这些只作背景指向，不展开重述，以免跨章重复。 > > **人形教育降温总则（贯穿本章）**：整机规格、价格、出货一律标注"截至 2025–2026 厂商/媒体口径，未独立核验"；**严禁"人形机器人教师规模进课堂"式宣称**。可进教育的人形（宇树 G1、傅利叶 GR、加速进化 T1 等）主要是高校与科研的**教学/研究平台、师资培训对象与竞赛平台**，宇树人形约 3/4 的收入来自科研教育客户；中小学规模化仍以小型编程/社交本体为主。货币口径铁律：中国财报"亿元"≠ billion，1 亿元≈ 0.14 亿美元。*

6.1 引入：当"大脑问题"被部分解决，焦点回到"本体一侧"

第 4 章指出 Pepper 的停产标志着"前大模型社交机器人"商业模式的受挫——硬件本体先行，却缺少足够强的认知大脑；其母公司 Aldebaran 已于 2025 年 2 月进入破产清算（累计债务约 1.5 亿欧元），NAO/Pepper 的知识产权与资产经拍卖由深圳迈瑞微视收购，这为"本体先行"路线写下了一个迟来的注脚（[54]）。第 5 章则确立："大脑↔本体分离"是智能体化的天然推论，本体只是大脑的一种载体。

本章在这两条线索的交汇处展开：当大脑问题被基础大模型部分解决后，**本体一侧的硬件曲线、成本结构与教育可及性**便成为决定"具身教育机器人能否落地"的新焦点。一条审慎主线须从一开始就立起——硬件确在快速成熟、成本确在中国供应链拉动下下行，但**这并不等于"人形机器人将规模化进入中小学课堂"**。下文的证据指向同一结论：在 2025 这一被广泛称为人形"量产

元年"的年份，人形量产几乎全部指向工业、物流与零售，教育课堂里的人形落地几近于零；真正以"现在进行时"进入教育的具身平台，反而是更便宜、运动控制更成熟的四足机器人（机器狗）。



来源：各厂商公开规格/定价、宇树 G1 EDU 公告、SoftBank Robotics Pepper 停产公告（2021）、行业人形成本拆解汇总（2026）。价格/DoF/能力为厂商口径或二手汇总，未独立核验；能力为定性评分。

图 08. 人形/社交本体 能力—成本散点（标成熟度与教育可及性带）。价格对数轴、点大小∝自由度。来源：humanoid_compare2026、humanoid_cost_supplychain2026、宇树 G1 EDU、Pepper 停产报道；整机参数为厂商口径，未独立核验。

本章把具身本体拆为三类逐一审视——人形（全身）、灵巧手（操作末端）、四足（移动平台）——并在每一类上严格区分"已部署 / 试点 / 演示 / 宣称"四级成熟度，最后落到一张"量产 vs 教育落地"的落差图上。

6.2 社交本体演化：从 NAO/Pepper 到「低成本本体 + LLM 大脑」

进入三类本体的全谱之前，先补完社交本体的演化路径，它印证了"本体只是载体"的判断。

第一代代表是 NAO 与 Pepper：自研复杂本体、依赖脚本驱动。Pepper 已于 2021 年停产（累计约 27,000 台，[54]），NAO 则因在自闭症谱系障碍（ASD）等场景的长期积累仍有应用——历史累计约 20,000 台 NAO 与 17,000 台 Pepper 销往约 70 国，教育市场累计逾 17,000 台。它们的共同教训是：**单纯把本体做得更复杂、更"像人"，并不能撑起开放式交互的商业价值**；而 Aldebaran 的清算更进一步暴露了"重资产硬件本体 + 弱大脑"模式的可持续性风险（既存部署机群的运维与服务由谁承接，本身已成问题）。

由此衍生出 2026 年的新趋势——**保留低成本社交本体，转而把投入放在接入云端或本地的 LLM 大脑**，而非自研更复杂的本体。研究与产品实践中，更常见的是采用 Kebbi、Minibo、NAO 等现成平台叠加多模态 LLM 能力（具体的"LLM + 社交机器人"研究全景见第 5 章 §5.4）。这一趋势的产业含义是：本体环节趋向标准化、低成本化，价值重心向"大脑（模型/智能体）"与"服务（课程/运维）"迁移——这条价值迁移线索在第 11 章产业链重构中会被进一步展开。

6.3 人形本体全谱：海外与中国 20+ 型号

2025–2026 年，人形整机已从单点明星产品演化为一个可对照的全谱。下文以"海外 / 中国"两阵营梳理 20 余款代表型号的规格、价格、出货与成熟度。须先立三条阅读约定：其一，下列整机参数多来自厂商规格与二手汇总，价格/出货为快速变动数据，一律标注"截至 2025–2026 厂商/媒体口径，未独立核验"，重在趋势与量级而非精确报价（[96]、[97]）；其二，"量产/部署"几乎全部指向工业、物流、零售，而非教育课堂；其三，进入教育的人形，绝大多数是高校/科研的教学研究平台，而非"机器人教师"。

海外阵营以"工业部署 + 演示宣称"两态并存为特征：

- **Tesla Optimus（Gen 3）**：手部宣称 22+ 自由度、整机约 50 个执行器，手部技术路线为"行星齿轮箱 + 滚柱丝杠 + 腱驱"混合；V3 正式量产目标定在 2026 年夏，产能目标年 100 万台、

规模量产成本目标 2.0 万–2.5 万美元/台（当前单台制造成本估 5 万–10 万美元）。成熟度：**演示 + 宣称**——量产价与产能均为厂商目标，无现货（[98]）。 - **Figure 02 / 03（Helix VLA）**：02 单手 16 自由度、负载约 20kg、续航约 5 小时；已在 BMW Spartanburg 产线支撑生产 30,000+ 辆 X3（10 小时/班、搬运 90,000+ 钣金件）。成熟度：**工业试点/早期部署**（汽车产线，非教育、非家庭）；Figure 03 家务能力主要为厂商发布演示（[99]）。 - **1X NEO**：仅 29.94kg、22 自由度双手，早鸟买断 2.0 万美元或 499 美元/月订阅，2026 年美国先发。须作**审慎案例**标注：其复杂任务（如叠衣）100% 依赖"Expert Mode"远程遥操作（teleoperation），仅"开门/收拾杯盘"等被标注为自主——所谓"自主"实为遥操作，且 1 名监管者管理 8 名远程操作员，远程操作员可看到家中视频用于训练，已引发隐私争议。成熟度：**演示 + 预售（宣称自主，实为遥操作）**（[100]、[101]）。 - **Apptronik Apollo**：1.73m/约 73kg、负载约 25kg、Jetson AGX Orin（275+ TOPS）、接入 NVIDIA GR00T 基础模型；在 Mercedes-Benz、GXO Logistics、Jabil 做物流试点；2025 年融资 5.2 亿美元、估值 55 亿美元。成熟度：**工业试点**（物流，非教育）（[102]）。 - **Boston Dynamics 电动 Atlas**：第五代全电动，56 自由度、负载 50kg、臂展 2.3m、自主换电；2026 年全部产能已承诺给 Hyundai 与 Google DeepMind，2027 年才对外开放，单价业界估 15 万–42 万美元。成熟度：**首批商用部署（工业，已承诺客户）**（[103]）。 - **Agility Digit**：v4 为 175cm/60kg、负载约 16kg，v5 负载升至约 23kg；商用部署于 Schaeffler、GXO、Toyota、Amazon 等，9 个客户设施累计 65,000+ 运行小时、单部署搬运 100,000+ 料箱。成熟度：**商用部署（物流，"超越试点"）**——海外人形里部署最实的一家（[104]）。 - **Sanctuary Phoenix**：手部 21 自由度液压驱动、含 7 单元微气压触觉阵列（可感 5 毫牛）。成熟度：**演示**（手内操作里程碑；液压路线是少数派）（[105]）。

中国阵营以"科研/教育平台供货 + 工业量产起步"为特征，价格普遍低于海外：

- **宇树 Unitree（G1 / H1 / H2 / R1）**：G1 约 35kg/23–43 自由度、起售 9.9 万元，EDU 版含 Python/C++/ROS2 SDK + Jetson Orin（约 4.39 万–7.39 万美元口径）；R1（2025-07）24–26 自由

度、3.99 万元起；H2（2025-10）1.8m/70kg/31+ 自由度。2025 年向终端出货 5,500+ 台、全球第一（份额约 32.4%）。成熟度：**已商用供货（科研/教育/开发主力）**（106、107）。 - **智元 Agibot（远征 A2 / 灵犀 X2）**：A2 1.69m/40+ 自由度、青春版 16.8 万–19.8 万元；X2 约 1.3m/25–31 自由度、青春版 9.8 万元；2025-12 第 5,000 台量产下线。成熟度：**已量产（行业/商用为主）**；其"百城万校"教育计划仍为宣称/早期（108）。 - **傅利叶 Fourier（GR-2 / GR-3）**：GR-2 175cm/63kg/53 自由度（含 12 自由度触觉灵巧手）、估价 ≥15 万美元（仅 B2B）；GR-3（"关怀机器人"Care-Bot）≤55 自由度、>20 万元（约 2.75 万美元），转向情感交互场景（含教育）。成熟度：**已部署（科研/康复/开发平台）**（109）。 - **优必选 Walker S2**：工业人形，全球首个自主换电（3 分钟）；2025-11 启动量产交付，目标年内 500 台、2026 年产能 5,000 台，Walker 系列累计订单 >8 亿元（约 1.12 亿美元，**亿元非 billion**）。成熟度：**量产交付启动（工业）**；优必选的教育线仍延续 Alpha Mini/悟空一类小型编程本体进中小学（110）。 - **星动纪元 Robot Era（STAR1）**：负载 160kg、55 主动自由度、跑速 3.6m/s；A 轮近 5 亿元，2026-04 新一轮 >2 亿美元，截至 2025-06 交付 200+ 台、50%+ 订单来自海外。成熟度：**已交付（科研/开发为主）+ 宣称**（估值约 100 亿元）（111）。 - **众擎 EngineAI（PM01 / SE01）**：PM01 1.38m/24 自由度、1.2 万美元（8.8 万元）；SE01 1.7m/32 自由度、2 万–3 万美元；明确推出教育版。成熟度：**已供货（研究/教育/商用，开源平台）**（112）。 - **加速进化 Booster（T1 / K1）**：T1 118cm/23 自由度（加灵巧手 41 自由度）、Jetson AGX Orin、约 3.4 万美元；K1 约 1.25 万美元；RoboCup 2025 冠军平台，**70+ 高校/科研机构在用**。成熟度：**已供货（科研/教育/竞赛主力）**（113）。 - **银河通用 Galbot（G1）**：轮式人形，173cm、续航 10 小时、负载 5kg；落地在智慧零售与无人药店（药店端单台 70 万元），与北大共建具身智能联合实验室（EPIC Lab）。成熟度：**试点/早期部署（零售/药店）+ 深度产学研科研平台**（114）。 - **松延动力（N2 / E1）**：双足人形，教育科研定

位明确；北京人形马拉松后 1 个月内意向订单破 2,000 台、合同额超 1 亿元，**最大客户群来自教育行业**（订单为意向，审慎）。成熟度：**试点/早期交付（教育科研定位）**（115）。

把这 20 余款型号汇成一张矩阵（），三个判断浮现：其一，**自由度已普遍上行至 20–56**，电驱（无框力矩电机 + 谐波/行星减速）成为主流，海外少数（Sanctuary）走液压路线；其二，**海外人形几乎只进工业，中国人形多以科研/教育平台形态供货**，价格普遍只有海外的几分之一（宇树 R1 3.99 万元 vs Atlas 15 万美元级）；其三，也是最关键的一条——**"量产"几乎全指工业/物流/零售/科研，没有任何一款是"人形教师规模化进入中小学课堂"**。Optimus 的消费价、Figure 03 的家务能力、1X NEO 的"自主"都仍是厂商口径或视频演示（NEO 的"自主"实为遥操作），与"可购买、可部署、第三方可复现"之间存在距离。



图 23. 人形机器人 2025–2026 全谱矩阵（海外 + 中国 22 款型号；气泡矩阵：X=价格 log、Y=自由度 DoF、气泡∝出货/产能、颜色=工业落地/教育=科研平台/演示-宣称）。核心：「量产元年」几乎全指工业/物流/科研量产，无一款人形教师规模化进中小学课堂。来源：_v2_addendum 专节 1（Tesla/Figure/1X/Apptronik/BD/Agility/宇树/智元/傅利叶/优必选/星动/众擎/加速进化/银河/松延等）；价格/DoF/出货为厂商或媒体口径、未独立核验。

6.4 灵巧手专节：操作瓶颈、触觉密度与中国的价格降维

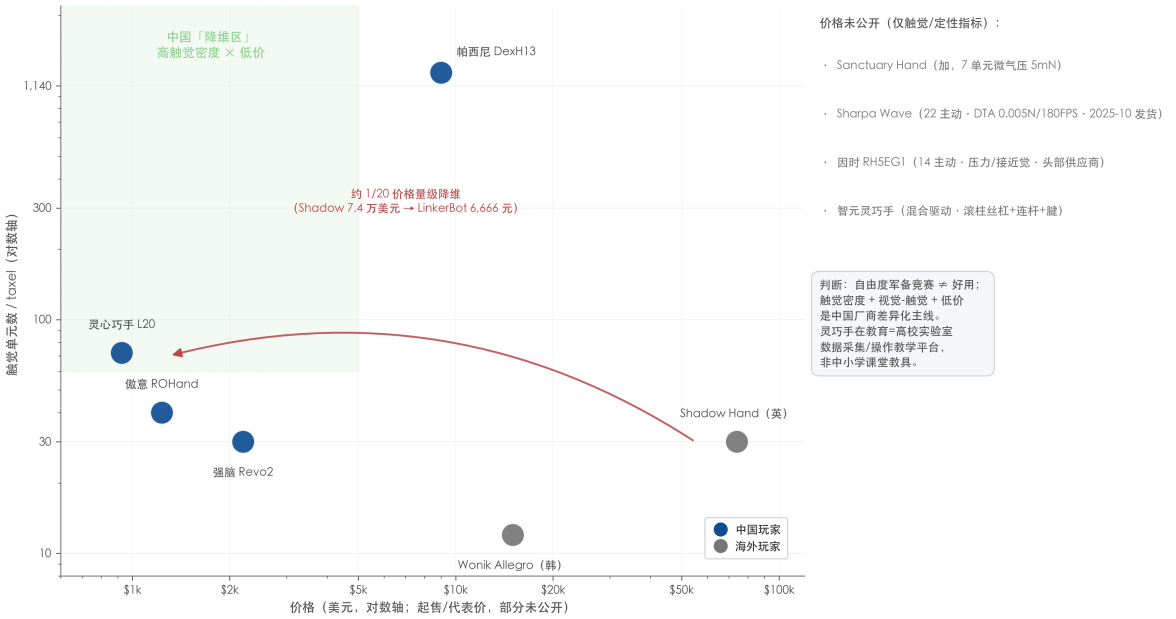
如果说人形整机的运动控制已在快速工程化，那么灵巧手（**dexterous hand**）仍是人形"做事"能力的真实瓶颈——抓取、装配、家务的成败都压在这只手上。灵巧手也是一个值得单独成节的环节，因为它是中国厂商相对西方少有的"并跑甚至领跑"领域。

灵巧手有三条技术路线：**直驱（连杆/齿轮，刚性、易制造维护）**、**腱驱（绳驱，柔性、拟人但维护难）**、**混合（连杆+腱、丝杠+腱）**。触觉传感已成主流标配，视觉-触觉（visuo-tactile）被学界视为最有前景的分支。下面以十家玩家做对照：

海外四家：Shadow Hand（英，20 驱动 + 4 欠驱、腱驱、霍尔触觉 taxel，约 7.4 万–10 万美元，高端科研已商用，[116]）；Wonik Allegro（韩，16 自由度直驱、全向指尖压感，1.5 万美元起，科研/教育主力，[117]）；Sanctuary Hand（加，21 自由度液压 + 7 单元微气压触觉，演示，[105]）；Sharpa Wave（22 主动自由度、专有动态触觉阵列 DTA 压感 0.005N/180FPS/空间分辨率 <1mm，2025-10 进入量产并发货，[118]）。

中国六家：因时 Inspire-Robots（RH5EG1 14 主动自由度、伺服电缸直线驱动 + 压力/接近觉，人形末端执行器头部供应商，已量产，[119]）；强脑 BrainCo Revo2（11 自由度/6 主动、仅 383g、负载 20kg、内置 3D 触觉可感硬度/纹理/方向/接近觉，年产能 3 万台、价格称国际同类 1/5–1/7，量产就绪，[120]）；灵心巧手 LinkerBot L20（20 自由度/16 主动、连杆驱动、**72 单元 200FPS 触觉阵列**加选配电子皮肤，**6,666 元起**、2025 交付 1 万+台，[121]）；帕西尼 PaXini DexH13（16 自由度/13 主动、空心杯电机，触觉密度业界最高——**1,140 个 GEN2 ITPU 触觉单元、3,420 个触觉信号通道**，已商用，[122]）；傲意 OYMotion ROHand（6 主动自由度、高密度触觉阵列 0.1–25N，**8,888 元起**、性价比 + 假肢双线，已发售，[123]）；智元灵巧手（混合驱动：滚柱丝杠 + 连杆 + 蜗轮 + 腱，混合路线代表，[124]）。

把"触觉密度 × 价格"画在同一张定位图上（），中国厂商的位置非常醒目：**帕西尼以 1,140 触觉单元、灵心巧手以 72 单元 200FPS、强脑以 3D 触觉在触觉密度上已领先；而价格上，LinkerBot 6,666 元、傲意 8,888 元起对 Shadow 约 7.4 万美元（约 53 万元）形成接近 1/20 量级的降维。**IROS 2025 的行业盘点甚至以"特斯拉还没做到的，中国厂商做到了"为题（媒体口径，含宣传成分，审慎引用，[124]）。



来源：厂商官网/规格与 IROS 2025 媒体盘点（Shadow Robotics、Wonik、Sanctuary AI、Sharpa、因时机器人、强脑、灵心巧手、帕西尼、傲意、智元）。价格为起售/代表价（人民币按约 7.7 折美元，未公开者列右侧）；触觉单元数为厂商口径；IROS 媒体盘点含宣传成分，审慎。

图 24. 灵巧手 触觉密度 × 价格 定位象限（10 玩家散点；X=价格 log、Y=触觉单元数 log，中国「降维区」高亮）。帕西尼 1,140 单元、LinkerBot 6,666 元 vs Shadow 7.4 万美元，约 1/20 量级降维。来源：_v2_addendum 专节 2 (Shadow/Allegro/Sanctuary/Sharpa/因时/强脑/LinkerBot/帕西尼/傲意/智元）；未公开价格列右侧；IROS 媒体盘点含宣传成分，审慎。

但须给出两条冷静判断。**其一，自由度军备竞赛 ≠ 好用。** 高自由度（20–22）多见于演示/科研，工业产线更看重负载与可靠性——Tesla Optimus Gen 3 选"丝杠 + 腱"混合而非纯高自由度方案，恰是产线导向的体现；"拼自由度，更要拼好用"。**其二，灵巧手在教育/科研中的角色是平台而非教具。** 灵巧手主要作为具身智能数据采集与操作教学平台（遥操作 + 模仿学习）进入高校

实验室，Allegro/Shadow 是经典科研平台，中国低价灵巧手正把灵巧操作研究拉入更多高校实验室——**它不是中小学课堂教具**，中小学仍以编程/社交小型本体为主。

灵巧手的价格曲线最终由上游部件决定——**行星滚柱丝杠（人形最贵、最难国产的环节，成本占比约 28.6%–35%）、谐波减速器（份额仍由日企哈默纳科主导，国产化率约 30%→拟 40%）、无框力矩电机与六维力传感器（国产化领先，六维力国产化率已从 19% 升至 57.8%）**共同构成成本结构（[125]、[126]）。中国供应链的快速国产化是灵巧手降本、进而提升教育/科研可及性的底层支点；但丝杠与高端谐波仍是瓶颈，决定着"高校实验室可负担"的最终价格。**上游瓶颈的产业链全景归第 11 章展开，本章只作一句话指向，不展开重述。**

6.5 四足专节：当前进入教育最现实的具身平台

在三类本体里，真正以"现在进行时"进入教育的，既不是人形也不是灵巧手，而是**四足机器人（机器狗）**。原因有三：四足更便宜（教育套件数千美元级 vs 人形数万美元级）、运动控制已基本工程化（已在电网巡检、应急救援规模出货），且**已实际进入中国职教/高校课堂做感知与算法实训**。这构成了第 4 章"能力—部署落差"中的少数闭合点之一。

四足可分三类——**消费/教育级、科研/教学中量级、工业/防务级**——下面以六家玩家覆盖全谱，重点标注教育版价格：

- 宇树 **Go2（Air/Pro/EDU/EDU Plus）**：消费 + 教育主力。**Go2 Air 约 1,600 美元起、Pro 约 2,800 美元；Go2 EDU 标准版约 5,990 美元**（含 Orin Nano 40 TOPS、完整 Python/C++/ROS2 SDK、RealSense D435i、足端力传感器）；EDU Plus 约 16,000–22,500 美元（升级 Orin NX 100 TOPS、可选 6 自由度机械臂）。成熟度：**量产/已商用（消费 + 科研教育）**（[127]、[128]、[129]）。 - **宇树 B2/B2-W**：工业级最快四足（约 6m/s）、负载约 40kg（B2-W 轮足版 IP67、负载可达 120kg）；工业/科研量产。 - **云深处 绝影 Lite3**：科研/教学中量级，开放 SDK + ROS2 接口（运动/感知/强

化学习），**教育与科研版起价约 2,890 美元**——当前进入教育门槛最低的科研级平台之一。成熟度：**量产（教育/科研）**（130）。 - **云深处 绝影 X30**：工业旗舰，约 56kg、IP67、巡检里程≥10km；已规模部署于温州地下电网管廊，并作为**首个出海的中国四足进入海外电力系统**（新加坡 SP 集团地下输电网络，昵称"SPock"，每年省 480+ 小时人工巡检）。成熟度：**部署（工业巡检，已商用交付）**（131、132）。 - **蔚蓝 BabyAlpha A2**：消费/家庭陪伴四足，内置大语言模型可回答儿童问题、中英双语切换，基础版 6,099–8,099 元起。须严格区分：**这是家庭消费场景的"学习陪伴产品"，不等于学校教育部署**。成熟度：**量产（消费/家庭，非课堂教学产品）**（133）。 - **海外对照**：波士顿动力 Spot（Explorer Kit 约 74,500 美元起、完整配置约 15 万–19.5 万美元，截至 2025Q4 全球 480+ 所大学/研究机构持 Spot Academic 学术许可，134、135）；ANYbotics ANYmal（约 75,000 美元起，工业巡检，136）；Ghost Robotics Vision 60（约 22.5 万–23.5 万美元/台，防务为主、与教育无关，仅作价格上限锚，137）。

把这些产品按"教育落地状态 × 价格阶梯"排开（），四足相对人形的教育可及性一目了然：**Go2 Air 约 1,600 美元、Lite3 约 2,890 美元、Go2 EDU 约 5,990 美元，远低于人形万美元级乃至宇树 G1 EDU 的 4.39 万–7.39 万美元**。这一价格阶梯，配合开放 SDK + ROS2 + 点云/视觉数据流，使四足天然适合机器学习/感知/强化学习实训。

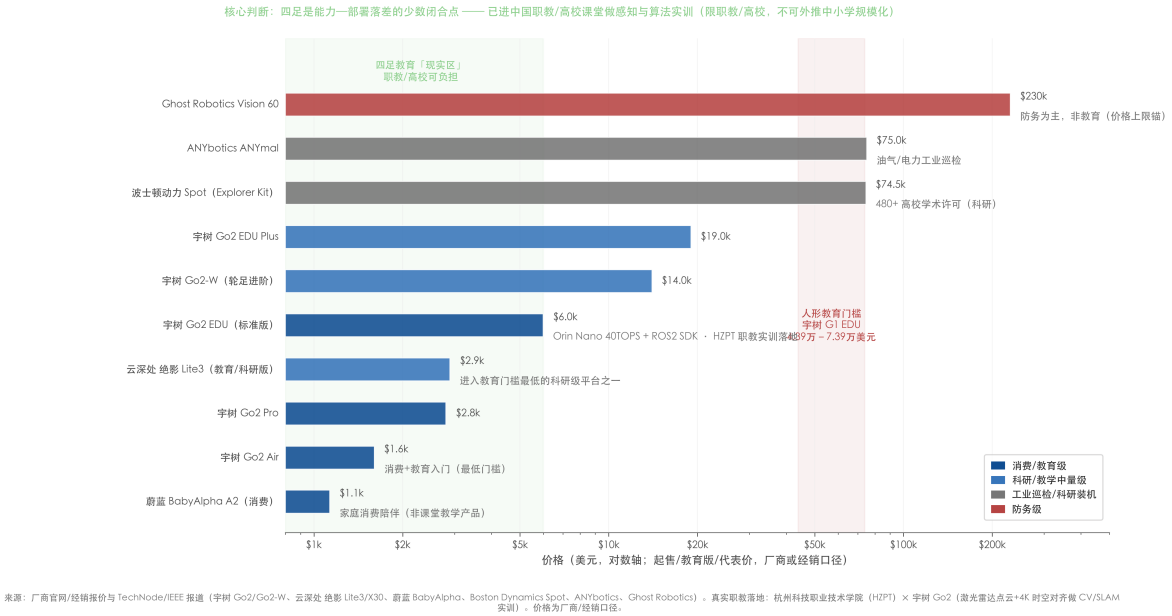


图 25. 四足机器人 教育落地与价格阶梯（价格条形 log + 落地标注 + 人形价格对照带）。Go2 Air≈$1,600 / Lite3≈$2,890 / Go2 EDU≈$5,990 vs 人形万美元级；真实职教落地 HZPT × Go2（点云+4K 时空对齐做 CV/SLAM 实训）。能力—部署落差少数闭合点（限职教/高校，不可外推中小学）。来源：_v2_addendum 专节3。

更关键的是**真实落地证据**，这是四足区别于人形的决定性差异：

- **杭州科技职业技术学院（HZPT）× 宇树 Go2**：物联网技术学院将 Go2 引入专业教学，学生用机器狗回传的**激光雷达点云 + 4K 摄像头画面做时空对齐，编写算法识别校园违规行为目标**；教师称这让学生"以更直观的方式掌握机器学习与计算机视觉"，把抽象概念变成可动手的工程挑战。成熟度：**已部署（职业院校课堂实训）**——这是能力—部署落差的**真实闭合点**（138）。 - **RoboUniversity**：宇树与 Stanford 教授及 OpenMind 合作的教育课程与认证体系，覆盖编程基础到高级机器人集成，面向 Go2/G1 平台（127；部署案例细节见第 9 章）。 - **科大讯飞智慧教育"未来课堂"**：四足机器狗 + 虚拟数字人进入校园科技节展示。成熟度：**试点/展示**（科技节/科普，非常态化课堂教学）（139）。

四足与人形的教育落地成熟度对比，可凝练为下表：

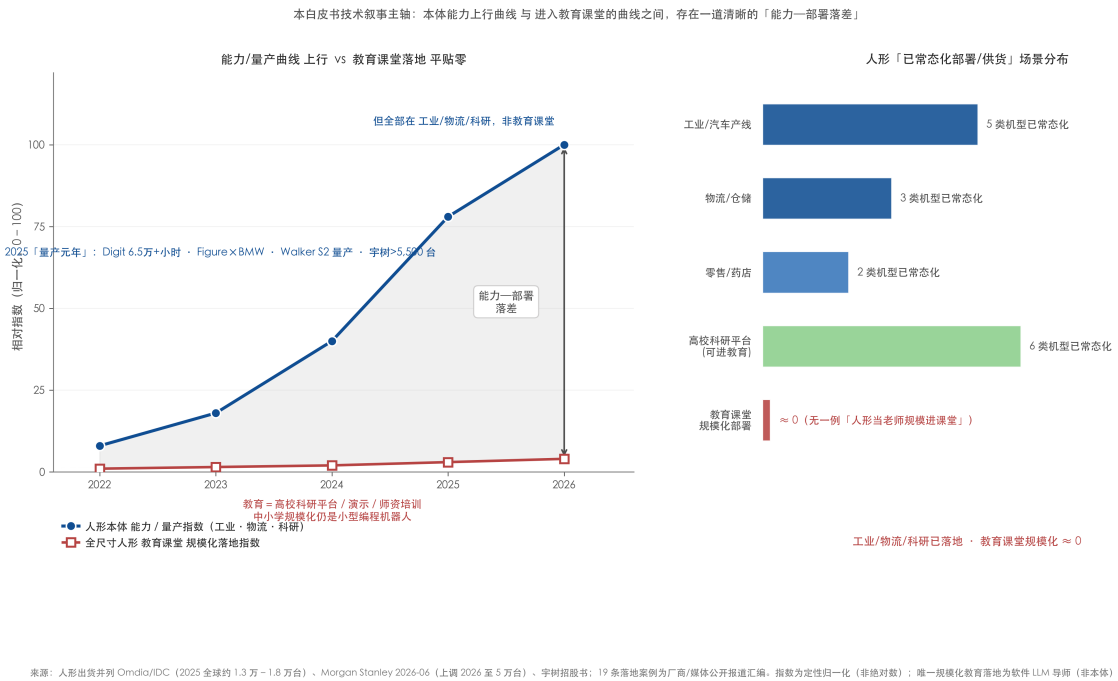
维度	四足（机器狗）	人形
运动控制成熟度	基本工程化解决，工业规模部署	仍快速迭代，多为试点
教育进入价格门槛	低：Go2 Air 约 1,600 美元、Lite3 约 2,890 美元、Go2 EDU 约 5,990 美元	高：宇树 G1 EDU 约 4.39 万–7.39 万美元
教育落地状态	已进职教/高校课堂（HZPT 实训；RoboUniversity 认证）	主要是高校科研教学平台（约 3/4 收入来自科研教育），中小学规模化仍是小型编程机器人
成熟度判定	量产 + 已部署（教育为现在进行时）	部署（工业试点）+ 高校科研平台（教育规模化仍属概念）

市场口径可作侧证：中国 2024 年前三季度机器狗销量约 2.33 万台、同比 +72.22%，预测 2031 年约 39.48 万台（**机构预测口径，须标注**）；教育机器人行业中非人形（含四足）因价格亲民与 STEM 适配性占主导（Grand View 口径，[140]、[141]）。

但须坚守取用底线，与人形红线一致：可以写**"四足是当前具身智能进入教育最现实的平台，已在中国职业院校/高校做感知与算法实训"**；**不可写**"机器狗已规模化进入中小学课堂"——目前限定在职教/高校，中小学仍以小型编程机器人为主，不可外推。蔚蓝 BabyAlpha 的"学习陪伴"属家庭消费，更不能与学校教学部署混为一谈。

6.6 量产元年与教育课堂：本体落差小结

把人形、灵巧手、四足三类本体的硬件证据汇总，再叠上"成熟度"这一刻度，可得出本章的核心判断——**2025 是人形的"量产元年"，但教育课堂里的人形落地几近于零；本体能力的上行曲线与本体进入教育课堂的曲线，存在一道清晰的落差**（）。



来源：人形出货并列 Omdia/IDC（2025 全球约 1.3 万 – 1.8 万台）、Morgan Stanley 2026-06（上调 2026 至 5 万台）、宇树招股书；19 条落地案例为厂商/媒体公开报道汇编。指数为定性归一化（非绝对数）；唯一规模化教育落地为软件 LLM 导师（非本体）。

图 28. 人形「量产元年」vs 教育课堂落地 落差（左：能力/量产上行曲线 vs 教育课堂落地平贴零 + 落差带；右：人形「已常态化部署/供货」场景分布，教育课堂规模化≈0）。呼应本白皮书「能力—部署落差」技术叙事主轴。来源：verification_report H1–H5 / 七·人形教育定位降温 D1–D4 + _v2_addendum 专节 1.3/专节 6（19 落地案例）；唯一规模化教育落地为软件 LLM 导师（非本体）。

这道落差可从三个层面读出：

- **硬件趋势真实**：人形自由度上行至 20–56、电驱为主流；灵巧手触觉密度由中国厂商领跑、价格被打到海外 1/20 量级；四足运动控制已工程化、价格进入数千美元区间。成本受中国供应链拉动持续下行。 - **量产几乎全在非教育场景**：真正常态化/规模商用部署的人形（Digit 物流 65,000+ 小时、Figure 02 BMW 30,000+ 车、Apollo Mercedes/GXO、Atlas 已承诺客户、Galbot 药店、Walker S2 量产启动）**全部在工业/物流/零售**；演示+宣称为主的是 Optimus、Figure 03 家务、1X NEO 的"自主"（实为遥操作）。 - **教育可及性严格分层**：可进教育的人形（宇树 G1、傅利叶 GR、加速进化 T1、众擎、星动纪元、松延）**主要是高校/科研的教学研究平台、师资培训对象与竞赛平台**——宇树招股书披露其人形约 3/4（73.6%–74%）的收入来自科研教育客户、仅约 9%

进入实际工业应用（[107]、[142]）；西方人形（Figure/Tesla/1X/Apptronik）**几乎不进教育、仅服务工业产线**（[143]、[8]）；**中小学规模化仍是优必选 Alpha Mini 一类小型编程/社交本体**；真正以"现在进行时"进入教育课堂的具身平台，是更便宜、运动控制更成熟的**四足机器狗**（限职教/高校）。

本章的**红线判断**由此立起：全尺寸工业级人形进入中小学课堂迄今仍处于概念与演示阶段，**"人形机器人教师规模进课堂"是本蓝皮书严格规避的过度宣称**。本体在成熟、成本在下行，但这先转化为"工业产线 + 高校科研平台 + 职教实训"的落地，而非"人形教师进基础教育课堂"。

本章的范围边界须重申：以上仅就**本体硬件与成熟度**而论。人形与四足的市场规模、出货预测归第 12 章，厂商财务与竞争排名归第 13 章，上游"卡脖子"部件的产业链重构归第 11 章，具体教育部署案例归第 9 章；它们与本章的硬件曲线互为背景，但不在本章展开，以保持跨章去重。

6.7 本章小结

本章把具身本体拆为人形、灵巧手、四足三类逐一审视，落点是一个审慎判断：硬件在成熟、成本在下行，但"量产元年"的量产几乎全在工业/物流/科研，教育课堂里的人形落地几近于零；真正以现在进行时进入教育（职教/高校）的，是更便宜、更成熟的四足机器狗，而非人形。

承接"本体接入 LLM 大脑后会采集大量多模态行为流"这一线索，第 7 章将转向**多模态交互与学情分析**：解析语音、视觉、情感计算与 LLM 推理融合的技术栈，讨论"具身在场（embodied co-presence）"作为机器人独有优势的价值与限度，并就情绪/专注度监测预警 EU AI Act 的情绪识别红线。本章涉及的上游瓶颈细则归第 11 章、情绪识别等红线条款归第 14 章，本章仅作指向。

第 7 章　多模态交互与学情分析：行为感知、受控研究与情绪识别红线

成熟度总判：本章所涉系统几乎全部为受控研究，常态化课堂部署稀缺。情绪/专注度监测直接撞上 EU AI Act 第 5(1)(f) 条情绪识别红线——本章作全球设计禁区预警，具体条款细则归第 14 章。

7.1 引入：感知—理解—干预的闭环，与一条贯穿的审慎线

第 6 章在硬件层面留下一个伏笔：当社交本体接入 LLM 大脑、置身真实课堂时，它会**同步采集大量多模态行为流**——语音、表情、姿态、注视。本章讨论的，正是如何把这些行为流组织为"感知—理解—干预"的闭环：感知多模态信号，理解学习者的参与度与情绪状态，进而做出适应性干预。

"感知—理解—干预"是一个**闭环**：感知端采集多模态信号，理解端把信号映射为对学习者状态（参与度、困惑、情绪）的估计，干预端据此调整教学节奏、提示或反馈，并把干预后的新信号再次纳入感知——理论上，这一闭环越快越准，个性化教学就越精细。然而本章要论证的恰是：这条闭环在 2026 年的每一环都尚未在课堂常态化成立，且其最关键的"理解端"还正面撞上监管红线。

两条审慎线须从一开始就立起，并贯穿始终。其一是**成熟度**：本章所引的代表性工作几乎无一例外是受控研究，常态化的课堂部署极为稀缺，这与第 4 章"能力—部署落差"的总判断一致。其二是**伦理红线**：对情绪与专注度的采集分析，直接触碰 EU AI Act 在教育机构禁止情绪识别的硬约束（[13]），本章对此作出预警。

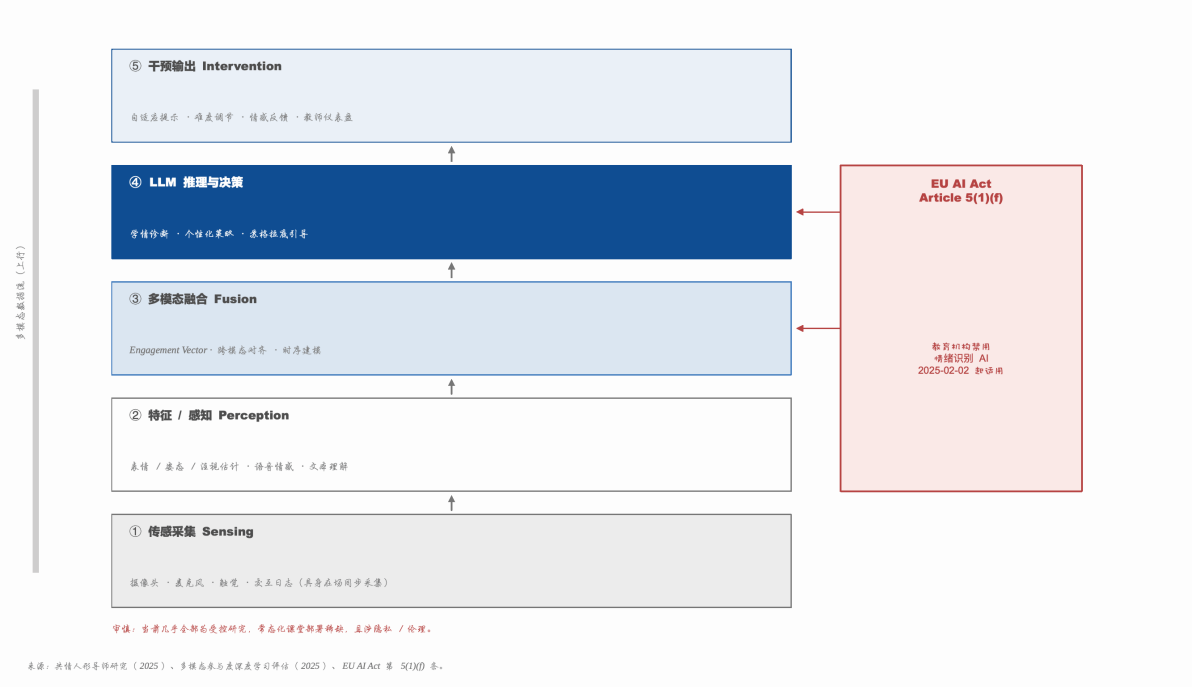


图 09. 多模态学情分析技术栈与数据流（五层自下而上 + EU AI Act 5(1)(f) 情绪识别红线）。来源：empathetic_robot_tutor2025、engagement_deeplearning2025、euaiact_article5；审慎：当前几乎全为受控研究。

7.2 技术栈：语音 + 视觉 + 情感计算 + LLM 推理融合

多模态学情分析的技术栈，可概括为四类信号的采集与一层推理的融合：

- **语音**：识别语义内容，并从语调、停顿、语速中提取副语言线索——前者回答"学生说了什么"，后者回答"学生以什么状态在说"，二者对判断理解程度与情绪状态都不可或缺。 - **视觉**：捕捉表情、姿态与注视方向——这是判断参与度（engagement）的核心通道，但也是隐私与伦理敏感度最高的通道，因为它对儿童的面部与注视做近距离、持续采集。 - **情感计算（affective computing）**：把上述信号映射为情绪/参与度的状态估计，是技术栈中最具争议的一环——它既是"自适应辅导"的技术前提，又恰是 §7.4 监管红线的直接对象。 - **LLM 推理融合**：以大模型作为上层"理解—决策"中枢，整合多模态状态并生成适应性回应，把分散的感知信号收敛为一次连贯的教学干预。

代表性研究勾勒出这一技术栈的样貌（逐条标注成熟度，**几乎全部为受控研究**）：

系统 / 工作	年份	描述	成熟度
共情人形（Llama 3.2 多模态 + 情绪/记忆/手势，"Engagement Vector"）	2025	多模态 LLM 驱动共情交互，构建参与度向量	实验室研究（同行评审 Frontiers，[144]）
多模态机器人对参与度影响（Kebbi vs Minibo 对比）	2024	对比不同社交本体的多模态交互对参与度的影响	试点/实验室研究（[145]）
多模态深度学习评估学生参与度	2025	用深度学习融合多模态信号评估参与度	实验室研究（PLOS One，[146]）
MathBuddy（face-api.js 情感数学辅导）	2025	基于面部表情识别的情感化数学辅导	实验室研究（[147]）
生成式 AI 社交机器人教育（德尔菲专家）	2025	德尔菲法汇集专家对 GenAI 社交机器人教育的判断	研究/政策综述（[148]）

这张表的共同底色是：技术栈在快速完善（多模态融合 + LLM 推理已成标配），但每一项都停留在受控研究层面——它们证明了"可以这样做"，却尚未证明"已在课堂常态化运行"。表中近半工作以**面部表情/情绪识别**为核心信号通道，这恰恰是 §7.4 红线所指向的对象，技术栈的演进方向与监管禁区正面相遇。

逐条审视这些代表性工作，可以更清楚地看到技术栈的现实成色与其边界。共情人形（"Engagement Vector"）以 Llama 3.2 多模态模型为底座，把情绪、记忆与手势整合为一个连续的"参与度向量"，试图让机器人对学习者状态做实时建模并据此调整交互（同行评审，Frontiers，

[144]）；MathBuddy 则直接以浏览器端的 face-api.js 做面部表情识别，把识别到的情绪状态接入数学辅导回路（[147]）——这两项工作恰好示范了"情感计算"如何从理念走向可运行原型，但也因此最直接地落在 EU 情绪识别红线的射程内。另有研究以深度学习融合多模态信号评估学生参与度（PLOS One，[146]），以及对比不同社交本体（Kebbi vs Minibo）多模态交互对参与度影响的试点研究（[145]）。须强调：上述每一项都是受控实验室或小规模试点，样本与时长普遍有限，且其度量对象多为"参与度"而非"学习增益"——这一区分是 §7.3 与第 10 章的关键警示。

更宏观地看，一项汇集专家判断的德尔菲研究（[148]）与一项覆盖 28 国、43 机型、206 个真实部署案例的同行评审第三方普查（[149]）共同给出一个清醒结论：**多数社交机器人仍处于测试或试点阶段**，常态化部署是少数。这一外部锚点与第 4 章"能力—部署落差未闭合"的总判断完全一致，也提醒我们：技术栈的完善程度，远高于其课堂落地程度。

7.3 具身在场（embodied co-presence）：机器人独有的优势与限度

相对于纯软件智能体，社交机器人在多模态学情分析上有一项独有优势——**具身在场（embodied co-presence）**。物理在场使机器人能够同步采集学习者的多模态行为流：它"看得见"学生的姿态与注视、"听得见"语调的起伏，并能以身体姿态、目光与手势做出具身回应。这是屏幕端智能体难以复制的交互通道，也是第 5 章"大脑↔本体分离"中"本体"一侧真正不可替代的价值所在。

但优势的另一面是限度，须诚实呈现。其一，**采集能力越强，隐私与伦理风险越大**——具身在场意味着对儿童的面部、声纹、注视等敏感信号的近距离、持续采集（直接触及 §7.4 的红线）。这是一个内在的张力：让具身机器人"独有价值"的恰恰是它能贴身、连续地捕捉学习者的多模态行为流，而这同一能力也使它成为儿童敏感数据采集风险最集中的载体。面部、声纹、注视轨迹都属强识别性的生物特征信号，一旦在课堂中持续采集，其合规与伦理负担远高于普通的

作业数据——采集能力与合规风险在具身在场上是同一枚硬币的两面，不可只取其利而忽其弊。其二，**"参与度提升 ≠ 学习增益"**——多模态信号最常被用来度量参与度，但参与度的上升未必转化为认知层面的学习收益，这一区分将在第 10 章以循证方式系统讨论（参与度 ≠ 学习增益是该章的关键警示之一）。具身在场让机器人"测得到更多"，但"测得到""测得准""且对学习有益"是三件不同的事。

把"感知—理解—干预"放到真实的师生—机器人三方关系中，限度会进一步显现。学情分析的最终目的不是生成漂亮的参与度仪表盘，而是把可信的学情回流给**教师**，辅助其判断与决策；机器人在课堂中的合理定位多是教师的助手与学习的中介，而非取代教师的独立评判者。多模态学情系统的有效性因此不仅取决于"测得准"，更取决于"测出的信息能否被教师可靠地解读与采纳"——一个把噪声化的情绪估计当作硬指标推送给教师的系统，可能比没有系统更糟。这里也与第 6 章呼应：具身在场的价值建立在本体能可靠地"在场感知与回应"之上，而第 6 章已表明，能进入教育的具身本体仍以高校/科研平台与四足实训平台为主，真正在中小学课堂常态化在场的多模态机器人并不存在。"具身在场"在 2026 年更多是一项**被验证的研究优势**，而非已规模铺开的课堂能力——它"测得到更多"，但"测得到""测得准""测出的信息对教学有益"是三件须分别证实的事。

7.4 隐私与伦理红线预警：呼应 EU 情绪识别禁令

多模态学情分析中最敏感的环节，是**情绪与专注度的识别**——而这恰恰撞上当前最明确的一条全球监管红线。

EU AI Act 第 5(1)(f) 条**禁止在教育机构使用 AI 推断自然人的情绪**（情绪识别），属第 5 条"被禁止的 AI 实践"，自 2025-02-02 起适用（[13]）。这意味着：带"专注度监测""情绪识别"功能的课堂机器人与摄像头系统，在欧盟教育场景中**已被直接限制**——它不是高风险（high-risk）类别

下"可经合规评估后使用"的灰区，而是**被禁止（prohibited）**的明令禁区。须特别厘清一处易被混淆的立法状态：尽管欧盟 Digital Omnibus 等简化提案截至 2026-06 仍未最终通过（临时政治协议加议会背书，正式文本待刊登），但**第 5(1)(f) 条情绪识别禁令已经生效、不受简化进程影响**——撰稿与产品判断须以该禁令为既成约束，而非以"立法仍在变动"为由予以淡化。

结合 §7.2 的观察——代表性多模态学情系统中近半以面部情绪识别为核心——可见这条红线并非边缘约束，而是直指当前技术栈的主流路径之一。"参与度向量""专注度热力图""情绪自适应辅导"这些当前最受研究者青睐的设计方向，恰恰是欧盟教育场景中最先被法律划出的禁区。技术演进的箭头与监管禁令的箭头正面相撞，这正是本章把它列为审慎章节核心的原因。

本章据此作出**全球设计禁区预警**：考虑到该禁令的方向性与监管趋同的态势，"课堂情绪识别"宜被产品设计者视为一个**应当主动规避的全球性设计禁区**，而非仅在欧盟需要规避的合规项。监管趋同并非空谈——除欧盟禁令外，中国《人工智能生成合成内容标识办法》及拟人化相关规制、美国 COPPA 把生物识别信息纳入儿童个人信息（PII）保护范畴等，都在从不同方向收紧对儿童敏感信号采集的约束（条款细则统一归第 14 章）。多法域同向收紧之下，把"情绪识别"作为产品核心卖点，在合规上是一条越来越窄的路。

需要明确两点边界：其一，本章只作预警与指向，**具体条款、适用范围、与其他法域的关系，统一归第 14 章**展开，不在此重复；其二，预警的对象是"识别情绪并据此干预"这一类功能，而非否定多模态交互本身——机器人仍可在不进行情绪推断的前提下，利用语音与视觉做无害的交互辅助。事实上，存在大量**合规的设计替代路径**：以学生主动发起的提问与作答（而非被动的情绪监测）作为交互触发；以教师在环（teacher-in-the-loop）的显式反馈替代自动情绪干预；以及把感知严格限定在"完成任务所必需"的最小范围、数据本地处理不外传。这些路径既绕开了红线，又保留了多模态交互的教学价值。

最后须把伦理红线与第 10 章的成效红线并置：即便情绪/参与度识别在技术与合规上都成立，"参与度提升"也未必等于"学习增益"——荷兰 L2TOR 项目对 194 名约 5 岁儿童的多站点研究即发现，NAO 机器人加平板教第二语言词汇，相对纯平板**并无显著优势**（[150]）。这一接近零增益的实证提醒：多模态采集得越多，越要警惕把"测得到的参与度"误读为"学到的东西"。本章三条审慎线在此交汇——技术上"几乎全为受控研究、常态化部署稀缺"，伦理上"情绪识别已被划入红线"，循证上"参与度 ≠ 学习增益"——三者共同决定了多模态学情分析在 2026 年的现实定位是**审慎探索，而非成熟落地**。

7.5 本章小结

本章刻画了多模态交互与学情分析"感知—理解—干预"的技术栈：语音、视觉、情感计算与 LLM 推理的融合已成标配，具身在场是机器人独有的采集优势。但两条审慎线贯穿全章——其一，代表性工作几乎全部为受控研究，常态化课堂部署稀缺；其二，情绪/专注度识别已撞上 EU AI Act 的红线，本章据此把"课堂情绪识别"列为全球设计禁区预警。我们同时区分了"参与度提升"与"学习增益"，为第 10 章的循证讨论埋下接口。

一句话收束本章的现实定位：多模态学情分析的**技术成熟度，明显高于其课堂落地成熟度，更高于其合规可行性**。技术栈已经能把语音、表情、姿态、注视融为一个连贯的学习者状态估计，研究原型层出不穷；但把这套能力变成中小学课堂里常态化、合规、且确有学习增益的产品，仍有三道未跨的门槛——稀缺的常态化部署证据、明确的情绪识别法律禁区、以及"参与度≠学习增益"的循证警示。本章预警的 EU 情绪识别红线，其条款细则归第 14 章定夺；本章埋下的"参与度≠学习增益"接口，则在第 10 章以效应量系统兑现。

第二部分（技术）至此完成对"演进—智能体化—本体—多模态"四个侧面的刻画，共同支撑一个统一判断：**前沿能力已经丰富，但部署仍然稀薄；大脑已落地，具身本体与多模态闭环尚未**

在课堂落地。承接本章的"参与度 ≠ 学习增益""具身 LLM 机器人对照证据稀缺"等线索，第三部分进入**应用**：第 8 章铺开应用场景全谱与市场口径，第 9 章区分"已部署"与"演示/宣称"的厂商落地图谱，第 10 章以场景为单位、按证据强度系统呈现学习成效循证，负面与零效应同等记录。本章预警的 EU 情绪识别红线，其条款细则归第 14 章定夺。

第三篇　落地与证据：谁真正进了课堂

应用场景全谱 · 真实案例与试点 · 学习成效的循证审视

本篇导读　回答最关键的问题——谁真正进了课堂、成效如何：从应用场景全谱，到真实案例与试点的证据分级，再到分场景的学习成效循证。本篇坚持把“已部署 vs 仅演示”“强证据 vs 弱证据”严格区分，负面与零效应同等记录。

第 8 章　应用场景全谱：五大细分赛道的成熟度梯度

Application Spectrum — Graded Maturity and Segregated Market Sizing across Five Sub-tracks

---

8.1 场景谱系总览：从最成熟到最具潜力的五个赛道

如果说第二部分（第 4–7 章）回答了"教育机器人在 2026 年能做什么、技术成熟到哪一步"，那么本章要回答的是一个更贴近教育实践者与产业决策者的问题：**这些能力究竟落在哪些真实的教育场景里，各场景的成熟度与可信市场口径分别是什么。** 这是从"技术供给侧"转向"应用需求侧"的关键一跃，也是第三部分（应用）的起点。

延续贯穿全篇的**能力—部署落差**主线，本章描述每一个赛道时都坚持一条纪律：**成熟度与市场口径分开标注，可信交叉源缺失时宁可留白（PENDING）也不强行给数字**。这与第 12 章对历史预测的诚实回望（2016/2019 版曾预测 2021 年 111 亿、2023 年 841 亿美元，而 2026 实测即便最激进口径也仅约 58 亿美元）一脉相承：教育机器人市场最大的认识论风险从来不是"低估"，而是把宽口径消费市场误当作狭义教育机器人本体市场来"高估"。

我们把教育机器人的应用场景归纳为**五大细分赛道**，并以"成熟度 × 证据强度 × 市场口径可得性"三个维度对其定位（）：



图 10. 应用场景谱系（五赛道 × 成熟度 × 证据强度 × 市场口径状态）。来源：dataintelo（STEM 套件）、springer 社交机器人教育综述、Mordor 特教 CAGR、沙利文中国分布；三赛道独立美元规模 PENDING（无交叉源）。

赛道	成熟度定位	证据强度（详见第 10 章）	独立美元市场口径
① STEM / 编程套件	最大、最成熟、已规模商用	中等正效应、相对最稳健	有交叉源（约 38 亿美元/2025）
② 社交 / 陪伴（教学助手·同伴导师）	研究与试点为主，常态化部署稀缺	情感收益 > 认知收益	PENDING（无可信交叉源）
③ 语言学习	研究与试点为主	中等但须并列保守结论	PENDING
④ 早教 / 学前	消费市场热、统计口径份额小	情感 > 认知、新奇效应风险高	PENDING（占比口径仅 1%）
⑤ 特殊教育 / 全纳（ASD）	增速最快、证据最强但最具争议	强但场景外推存疑	单机构口径（特教增速 18.63%）

需要在开篇即明确两条口径纪律，贯穿全章：

第一，**赛道边界与统计口径高度耦合**。STEM/编程套件有相对清晰的美元规模，因为它对应着可计数的硬件出货（套件、控制器、传感器包）；社交/陪伴、语言学习、早教三个赛道的价值则大量沉淀在"软件订阅 + 内容 + 服务"中。8.3 节将看到，社交机器人硬件仅占总拥有成本（TCO）的 50%–60%[151]，剩余 40%–50% 落在运维、培训与软件订阅，难以被传统"机器人出货量"口径捕捉。这才是三个赛道独立美元规模长期 PENDING 的结构性原因，而非调研疏漏。

第二，**机器人服务口径与机器人本体口径不可混用**。本章在赛道层面给出的"机器人教育服务约 22.8 亿美元（2026）→ 116 亿美元（2034）"[152]是**服务口径**，与第 12 章全球教育机器人**本体口径**（2026 约 20–28 亿美元）是两套互不相等的统计体系，二者并列呈现、各自标注，切勿相加或互换。本章只给细分赛道画像，**全局市场 TAM 总账归第 12 章**（跨章去重）。

8.2 STEM / 编程套件：最大且最成熟的赛道

STEM 与编程套件是教育机器人**唯一可被称为"已规模化商用部署"**的细分赛道，也是第 3 章二分框架中"机器人教育（Educational Robotics）"——即学习者自行组装、编程的套件式学习——的直接对应。它的技术底座并非 2026 的前沿大模型，而是延续了 LEGO Mindstorms（EV3）、VEX、mBot、Thymio 等**前大模型时代的可编程套件**：积木式搭建叠加图形化编程，以确定性的规则行为承载计算思维（computational thinking）培养[51]。值得一提的是，作为这一范式的标志性产品，LEGO 已于 2022 年停产 Mindstorms 产品线——这并非赛道萎缩，而是图形化编程套件向更轻量、更软件化形态的代际更替。

市场口径（有交叉源，S1）：全球 STEM 机器人套件市场 2025 年约 **38 亿美元**，复合年增长率（CAGR）区间为 **5.5%–7.8%**，由 Dataintelo[153]与 Industry Research[154]两源交叉给出。须注意两

点口径细节：其一，两源对 CAGR 的估计存在分歧（5.5% vs 7.8%），本蓝皮书并列呈现而非取单值；其二，5.5%–7.8% 的增速显著低于第 12 章全球教育机器人本体市场的 15%–29% 区间，原因在于 STEM 套件是相对成熟的存量市场，增长动能不及由人形/具身概念驱动的新兴本体赛道。这一"成熟赛道增速温和、新兴赛道增速激进"的反差，本身就是教育机器人产业结构的一个重要信号。

为什么它最成熟：从证据侧看（详见第 10 章 §10.2），STEM/编程/计算思维是全部应用场景中**循证最稳健**的一个——多项独立元分析一致指向中等正效应（g/SMD ≈ 0.46–0.56），且至少一项计算思维元分析的 Egger 检验未见明显发表偏倚[155]。STEM 套件赛道的市场规模与教育价值之间因此存在五大赛道中**相对最强的实证支撑**，是产业与循证双向确证的赛道。这一点对产业决策尤为重要：在一个充斥"前景广阔但证据早期"叙事的行业里，STEM/编程是少数几个"既有可计数的市场、又有可信的成效证据"的赛道，其投资与采购决策的循证风险相对最低。

代表厂商与竞争格局：包括 LEGO Education（长期领跑）、VEX、Sphero、Makeblock（童心制物）、Wonder Workshop、ROBOTIS 与优必选。这是教育机器人产业中**竞争最充分、出海渠道最完善**的赛道——第 9 章 §9.5 将详述越疆（6500+ 院校/80+ 国）与 Makeblock（140+ 国/2000 万用户）的全球渠道铺设，二者正是这一成熟赛道"已规模商用"特征的最有力佐证。须强调，本赛道的技术底座虽以前大模型的可编程套件为主，但 2026 的大模型与具身能力正在以"编程对象升级"的方式渗透进来——学生编程的目标从图形化积木机器人，逐步扩展到可对话的智能体与具身平台，这一演进将在第 11 章产业链重构中进一步展开。

8.3 社交 / 陪伴与语言学习：定性丰富、独立口径待补

社交/陪伴与语言学习是两个**学术研究丰富、机型部署明确，但独立美元市场规模无可信交叉源**的赛道。本节遵循 8.1 确立的纪律：以"机型部署 + 学术证据"定性呈现，不强行给数字。

社交 / 陪伴（教学助手 · 同伴导师）

这一赛道对应第 3 章二分框架中"教育服务机器人"的核心——具教学智能的服务本体。学术综述显示，全球 **40 多个国家**的学校已将人形/社交机器人用作教学助手、同伴导师或特教支持[156]；课堂主力机型包括 NAO、Pepper（最常见的两款，尽管 Pepper 已于 2021 年停产，详见第 6 章）、QTrobot、优必选 Alpha Mini、Furhat 等，单机价格区间 2000–30000 美元。

这一赛道独立美元规模 PENDING 的根本原因，恰恰藏在其成本结构里：**硬件仅占总拥有成本（TCO）的 50%–60%**[151]（单一媒体口径，成本结构定性可用）——其余 40%–50% 沉淀在运维、教师培训、课程内容与软件订阅中。这一成本结构在第 11 章将被进一步提炼为"运维/课程认证升格为独立价值层"的产业链判断。对本章而言，它解释了为何传统"机器人出货量 × 单价"的市场口径无法可信地刻画该赛道——价值大量流向了无法被硬件计数捕捉的服务侧。

语言学习

语言学习是社交机器人最受学界关注的应用之一。一个被反复观察到的现象是：**学生面对机器人讲外语时的焦虑显著低于面对真人，参与度随之提升**[151]——这种"低社交压力的练习伙伴"定位，是机器人在语言学习中的独特价值。机器人辅助语言学习（Robot-Assisted Language Learning, RALL）已有 Randall（2019）梳理的 79 项研究综述[157]作为文献基础。

然而本蓝皮书在此必须严格执行**循证防火墙 E2**：语言学习赛道的成效**不可宣称"已证有效"**。权威综述 van den Berghe 等（2019）给出的保守结论是——"机器人尚不能被确证为有效的语言导

师"[158]；且现有证据普遍显示**情感/动机收益大于认知收益**，绝大多数研究为单次会话、小样本，难以排除新奇效应。完整的效应量分级与保守论证详见第 10 章 §10.3，本章在赛道画像层面仅作定性定位：**机型部署明确、情感价值清晰、认知成效审慎、独立美元规模 PENDING**。

8.4 早教 / 学前：消费热度高，但统计口径内份额小

早教/学前是一个极具迷惑性的赛道：**消费市场热度极高，但在"教育机器人"严格统计口径内的份额却很小**。 这种反差正是 8.1 强调的"宽口径消费市场 ≠ 狭义教育机器人本体市场"风险最集中的体现。

以中国市场为例，按弗若斯特沙利文 2023 年口径，中国教育机器人按教育阶段分布时，**幼教阶段仅占约 1%**[159]。代表产品如淘云科技（阿尔法蛋）、科大讯飞的早教机器人，在大众消费视野中知名度很高，但在严格的"教育机器人"行业统计中只占据极小份额——大量早教智能硬件被归入消费电子/智能玩具而非教育机器人本体。

这一现象有两重含义。其一，从市场口径看，早教赛道的**独立美元规模 PENDING**：可见的高消费热度无法可信地折算为狭义教育机器人市场规模。其二，从证据侧看（详见第 10 章 §10.4），早教/幼儿赛道是**新奇效应风险最高**的场景——幼儿对新奇刺激尤其敏感，短期投入度的上升极易被误读为长期学习增益。本蓝皮书在该赛道坚持"情感收益 > 认知收益"的审慎定位，循证细节转第 10 章。

8.5 特殊教育 / 全纳：增速最快、证据最强、最具争议

特殊教育/全纳（以孤独症谱系障碍 ASD 干预为代表）是五大赛道中一个独特的存在：**它同时是增速最快、循证证据最强、且最具争议的赛道**。

市场口径（单机构，S3）：Mordor Intelligence 称特殊教育细分段是增速最快的板块，CAGR 达 **18.63%**[160]。须明确标注这是 **Mordor 单一机构口径**，未有第二可信源交叉，引用时审慎。

为什么证据最强：从循证角度（详见第 10 章 §10.5），ASD 干预是教育机器人领域**唯一拥有较多随机对照试验（RCT）元分析支撑**的赛道。最稳健的一项是 PLOS One（2022）的元分析：综述 40 项研究、对 12 项 RCT/346 名被试做元分析，总体 Hedges' g=0.33（CI 0.08–0.57），**社交功能维度 g=0.35 显著**[161]。在文献集中度上，NAO 出现在约 39% 的 ASD 相关机器人研究中，是该赛道事实上的标准平台[53162]。

为什么最具争议：恰恰是这个证据最强的赛道，最容易被过度宣称。本蓝皮书在此预先点明**循证防火墙 E3**：ASD 干预切忌将**"诊所有效"宣称为"课堂/家庭普适有效"**——同一项 PLOS One 元分析的场景调节分析显示，诊所场景 g=0.57 显著，但**学校场景 g=−0.16、家庭场景 g=0.16 均不显著**；情绪维度（g=0.63，但 CI 极宽 −1.43–2.69）与运动维度（g=−0.10）为零或不显著效应；且仅 17.5% 的研究质量被评为"强"[161]。

这一"证据最强却外推最受限"的张力，是特殊教育赛道的核心特征：它在学术上拥有最多的 RCT 支撑，在市场上拥有最快的增速预测（18.63%），但其真实显著效应主要锁定在诊所这一受控环境，而非真实教育部署所在的学校课堂。把诊所证据当作课堂背书，是该赛道最危险的认识论跳跃。证据强度的细节标注、场景调节分析与负面/零效应的同等记录，是第 10 章 §10.5 的核心任务；本章在赛道画像层面仅给出"增速最快、证据最强、但场景外推须极度审慎"的定位。

8.6 本章小结

本章以"成熟度 × 证据强度 × 市场口径可得性"三维框架，对教育机器人的五大细分赛道做了应用全谱画像（图 10），可凝练为三条判断：

第一，**成熟度呈梯度分布**。STEM/编程套件是唯一已规模化商用的赛道（约 38 亿美元/2025[153]），社交/陪伴与语言学习以研究和试点为主，早教消费热但统计口径份额小（幼教仅约 1%[159]），特殊教育增速最快（18.63%[160]）但证据争议最大。

第二，**口径纪律不可松动**。社交/陪伴、语言学习、早教三个赛道独立美元规模无可信交叉源（**PENDING**），本蓝皮书以机型部署与学术证据定性呈现，不强行编造数字；机器人服务口径（约 22.8 亿美元/2026[152]）与第 12 章本体口径分属两套体系，不可混用。

第三，**证据与市场必须分轨陈述**。市场热度（尤其早教、特教）不等于循证强度，本章在赛道层面只做证据强度的定性定位，将效应量、负面/零效应记录与场景外推风险全部转交第 10 章按场景严格分级。

下一章导读：第 8 章回答了"有哪些赛道、各自成熟度与口径如何"；**第 9 章**将以 19 条真实落地案例（中国 10 + 国际 9，均带规模与成熟度）绘制证据等级图谱，逐一区分"已部署"与"演示/宣称"——从优必选 AI 教育近 2000 校的中小学规模部署、到宇树 G1 与天工行者的高校科研平台定位，从 Khanmigo / Amira / Gemini 屏幕端软件智能体的规模化、到 NAO/Pepper 母公司 Aldebaran 破产的可持续性警示，再到西方人形"仅工业、无教育"的现实；**第 10 章**则承接本章每个赛道的"证据强度"标注，展开完整的学习成效循证，按场景标注效应量、强度色阶，对负面与零效应予以同等记录，并以四足职教实训等部署闭合点佐证"能力—部署落差"的少数闭合。

第 9 章　案例与试点：真实落地的证据等级图谱

Cases and Pilots — A Nineteen-Case Evidence-Graded Map of Who Entered Education, and to Which Layer

---

9.1 本章方法：教育进入状态 + 证据等级的双标尺

第 8 章勾勒了五大赛道的成熟度与市场口径，镜头到此拉近一格，对准**具体厂商、产品与政策的真实落地状态**。这正是全白皮书"能力—部署落差"主线最需要实证检验的环节。产业新闻里充斥着"机器人进课堂""百城万校"的宏大叙事，本章的任务，是用一把冷静的双标尺把它们逐一归类。共梳理 **19 条真实落地案例**（中国 10 条、国际 9 条），每条都带规模数字与成熟度标签，构成本蓝皮书部署侧最系统的一次实证盘点。

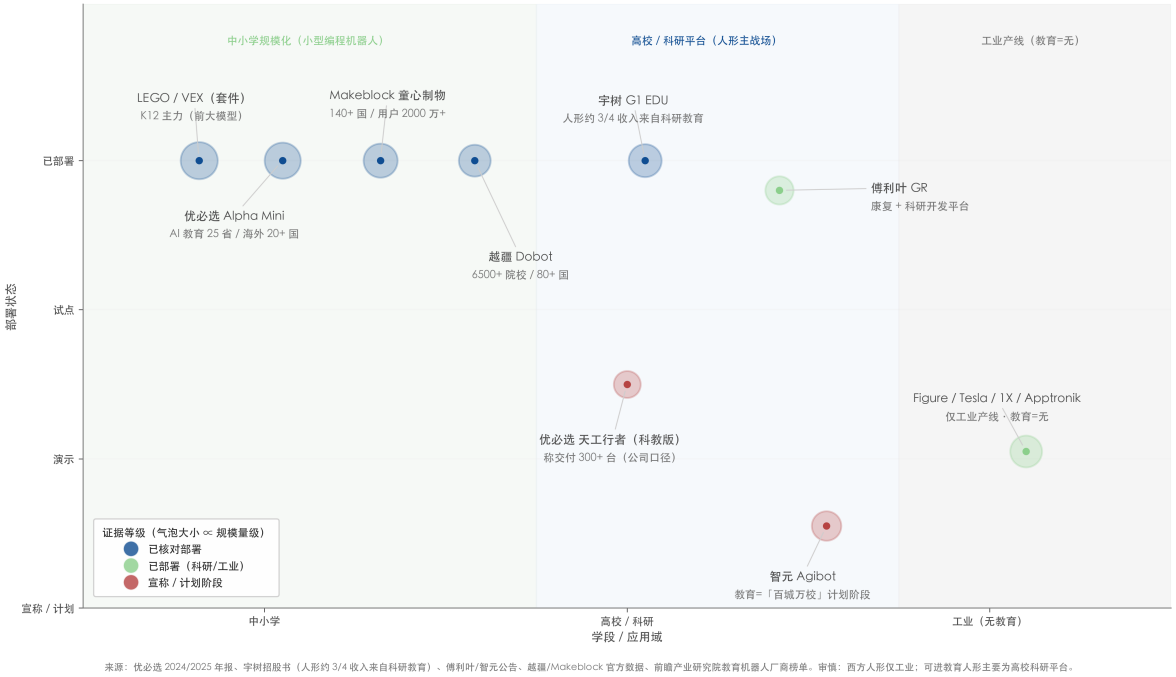
每个案例同时标注两个维度，与第 4 章确立的成熟度四级标签体系一致：

- **教育进入状态**：该产品是否、以及如何进入了真实教育场景（中小学课堂 / 高校科研平台 / 计划阶段 / 无教育部署）；
- **证据等级**：支撑这一状态的证据强度（`【已部署】`有公开商业供货、政府文件或第三方现场报道 / `【试点】`小规模真实场景 / `【演示】`受控评测或厂商视频 / `【厂商宣称】`公司口径未独立核验）。

三条跨章去重纪律须先声明。第一，本章只讲"部署状态"，不讲财务与出货排名——优必选营收、宇树估值、科大讯飞教育营收等财务/竞争数据归第 13 章，引用某厂商时仅取其"教育落地"侧。第二，不重述本体硬件参数（自由度、成本、谐波减速器等归第 6 章），不重算市场规模（归第 12 章）。第三，凡涉中国厂商财报金额，一律以人民币"亿元"陈述，绝不写作 billion——

优必选 AI 教育 2025 年收入为 4.13 亿元（约合 0.57 亿美元），决非"4.13 billion"[163]。全章的唯一焦点是：**谁真的进了教育、进到什么层、证据有多硬。**

核心审慎结论可先行点明（人形教育降温 · 修正点 2）：**真正规模化进入课堂的始终是两类——屏幕端的软件 AI 智能体导师（Khanmigo / Amira / Gemini），以及前大模型时代的小型编程/社交机器人（优必选 Alpha Mini 类、NAO / Pepper）；可进教育的人形约 3/4 仍是高校科研教学平台；西方人形几乎不进教育、仅进工业。任何"人形机器人教师规模进课堂"式宣称都不成立。** 厂商落地的全貌见 。



来源：优必选 2024/2025 年报、宇树招股书（人形约 3/4 收入来自科研教育）、傅利叶/智元公告、越疆/Makeblock 官方数据、前瞻产业研究院教育机器人厂商榜单。审慎：西方人形仅工业；可进教育人形主要为高校科研平台。

图 11. 厂商落地图谱（部署状态 × 学段 × 证据等级气泡图）。来源：优必选 2024 年报、宇树招股书（人形 73.6% 收入来自科研教育）、傅利叶/智元、越疆/Makeblock；西方人形仅工业、可进教育人形主要为高校科研平台。

为何要如此苛刻地区分"已部署"与"宣称"？因为教育机器人产业的叙事生态有一个结构性特征：厂商有强烈动机把"计划""演示""试点"包装成"已落地"，媒体报道又倾向于放大宏大数字（"近 2000 校""300 台人形""1000 万学生"）。不用证据等级逐一锚定这些说法，本蓝皮书就会沦为产业宣传的转述。因此每一条"落地"说法都被追问三件事：是否有公开商业供货、政府正式文件

或第三方现场报道（已部署）？还是小规模真实场景（试点）？抑或仅是受控演示或公司口径（演示/宣称）？经得起这三问的，才被归入"已部署"。

中国案例还贯穿一条政策边界——**"考试端禁用、教学端推进"**：AI+教育政策一面在教学端做硬性课时推进（北京每学年不少于 8 课时、上海四/七年级必修），一面在考试端对生成式 AI 直接作答设禁（小学生须在师/家长指导下使用、严禁复制 AI 内容作答[164]）。呈现课时硬约束类案例时，本章保留这条边界，不把"教学端进课堂"误读为"考试端也放开"。

9.2 中国案例（10 条）：从中小学规模部署到高校科研平台

中国案例的总体图景恰好印证第 8 章的判断：**最成熟、最可核验的"已部署"集中在三处——小型编程机器人进中小学、AI 通识课的政策硬约束、高校具身学科的大扩容；人形进教育，进的是高校科研平台层，而非中小学教学层。**

案例 1 ｜ 优必选 AI 教育进校——中小学规模化主力【已部署】

优必选是中国教育机器人领域**最接近"已规模部署"定义**的厂商。其 AI 教育已为全国近 **2000** 所公立中小学师生提供服务（AI 实验室 / AI 普及课 / 课后延时课三类校内方案），覆盖国内 **25** 省、海外 **20+** 国；2025 年教育智能机器人业务收入 **4.13 亿元（同比 +13.7%）**[165][163][166]。真正规模化进入中小学课堂的，是 **Alpha Mini（悟空）这类小型编程/社交机器人**——它落在第 8 章 STEM/编程与社交赛道的交叠地带，"已部署"证据最为扎实。

口径标注须诚实：**"近 2000 所"为厂商/年报口径**（搜索引擎转述，未见审计明细），**"5000 所"为目标值而非既成**[165]；4.13 亿元为审计年报口径，是"亿元"非 billion。对照人形机器人的现实，反差鲜明：中小学课堂里规模化运转的，是桌面级小型本体，不是全尺寸人形。

案例 2 | 优必选天工行者——高校科研教育人形【已部署（高校科研）+ 厂商宣称】

2025 年优必选与北京人形机器人创新中心联合发布全尺寸科研教育人形天工行者，**售价 29.9 万元**（同类普遍 >50 万元）；4 个月内订单破百，**2025 年仅教育科研领域交付预计 >300 台**；已与武汉大学、香港中文大学、浙江大学、上海交通大学等达成"人形机器人共研共创计划"合作意向 [167][168]。

证据等级须分别标注：**已交付进高校的部分属"已部署（高校科研平台）"，">300 台"为公司计划口径、属"厂商宣称"**，高校合作则停留在"意向"。要害在于天工行者面向的是高校科研，而非中小学课堂。把同一家厂商的"已部署小型机进中小学"（案例 1）与"科研人形进高校"（案例 2）并列，恰好显出双标尺方法的价值：**同一厂商既有最扎实的"已部署"，也有待核验的"宣称"，二者面向完全不同的学段，必须分别归类。**

案例 3 | 宇树 G1（EDU）+ RoboUniversity——高校科研主力【已部署（高校科研）】

宇树样本证明了本章另一半核心判断：**真正进入教育的人形，几乎都是高校/科研教学平台。**2025 年宇树人形出货 **>5,500 台（全球第一，份额 32.4%）**，其中**约 74% 卖给高校做科研、仅约 9% 进入实际工业应用**；四足累计销量 >3 万台；MIT / Stanford / CMU / ETH 实验室在用 G1 EDU；宇树与 Stanford 教授及 OpenMind 合办 **RoboUniversity** 课程认证体系 [107][169][170]。

"约 74% 卖给高校科研"（招股书口径）与底座"73.6% 来自科研教育"（2025.1–9 区间口径）并列，本蓝皮书统一表述为**"约 3/4 来自科研教育"**。它是"可进教育的人形=高校科研平台"判断的最强实证——人形机器人在教育领域的真实买家是搞研究的实验室，不是中小学课堂。

"研究平台"与"教学应用"的本质区别值得展开。在高校实验室，G1 EDU 是**被研究的对象与被开发的载体**：博士生用它做运动控制、强化学习、人机交互实验，它是科研基础设施，近似实验室里的一台精密仪器。而中小学"教学应用"的设想里，人形被期待成为**面向学生的教学主体**—

—讲课、答疑、陪伴。前者已是可核验的现实（约 3/4 收入来自科研教育即是铁证），后者在 2026 年仍停留在演示与设想。RoboUniversity 本质上同样是面向高校的研究/教学平台合作，而非把人形派往中小学当老师。看清这层区别，是抵御"人形教师进课堂"叙事的关键。

案例 4 ｜ 中央电化教育馆 AI 课程与国家平台——国家级资源底座【已部署】

教育部教育技术与资源发展中心（中央电化教育馆）公布**第四批"央馆人工智能课程""央馆虚拟实验"**项目；与教育部基础教育司联合发布国家中小学智慧教育平台**"育小苗"智能体**；国家平台汇聚四类教育 AI 精品课程**超 1000 门**[171][172]。"第四批"本身就说明已多年批次化推进。**成熟度：已部署（国家级资源平台 + 课程认证）。** 须留意，这属"课程与资源"层面的国家级落地，与"机器人本体进课堂"是两件事，不可混淆。

案例 5 ｜ 全国 AI 教育基点校 509 所——政策落地校网【已部署】

教育部在全国设立 **509 所人工智能教育基点校**先行先试；并遴选**东部 7 省份、中西部 20 地市、18 所高校**开展人工智能赋能教育行动试点[173][174]。**重要校准**："509 基点校"与"7 省 / 20 地市 / 18 高校"出自发布会而非政策正文，且 20 地市为中西部、7 省份为东部，**两组数字勿合并。成熟度：已部署（政策落地 + 试点校网络）**。

案例 6 ｜ 高校具身智能/机器人专业大扩容——学科侧最硬指标【已部署】

这是"高校具身落地"最硬的指标。教育部 2026 年发布新版本科专业目录，**"具身智能"首次列入目录**，支持北航、北理工、北邮、东北大学、哈工大、南航、上海交大、西安交大、浙大共 **9 所高校增设**；全国 **343 所本科院校**已开设机器人工程专业；**102 所高职院校**备案智能机器人技术专业（2025 招生）[175][176][177]。这组来自官方专业目录与阳光高考平台的权威计数，说明高校层面

的具身/机器人教育已是**学科建设级的既成事实**。它与"人形当中小学老师"完全不同性质：进的是高校的专业与实验室，而非 K12 的课堂教学。**成熟度：已部署（学科建设/招生）**。

案例 7 ｜ 北京中小学 AI 通识课课时制——教学端硬约束【已部署】

《北京市推进中小学人工智能教育工作方案（2025—2027 年）》规定：**自 2025 秋季学期起，全市中小学开设 AI 通识课，每学年不少于 8 课时，覆盖小学至高中全学段**；同步实施教师"百千种子计划"[22164]。这是地方政府正式方案，课时为硬约束。须把握 9.1 点明的"考试端禁用、教学端推进"边界：北京方案在教学端做课时硬推进，但同期的使用指南在考试端对生成式 AI 直接作答设禁。**成熟度：已部署（2025 秋季起强制覆盖）**。

案例 8 ｜ 上海《人工智能基础》必修课——学段硬覆盖【已部署】

上海自 2024 秋季起在**小学四年级、初中七年级**开设地方课程《**人工智能基础**》，进入常规教学节奏（媒体口径每周 1 课时、每学年 ≥30 课时）[23]。**口径分层**：四/七年级开课为官方简报口径（硬）；"30 课时/周 1 课时"为二手 edtech 报道（中等口径，引硬数字前宜回查上海市教委原文``）。**成熟度：已部署（2024 秋季起）**。

案例 9 ｜ 杭州余杭区"100 校 + 2 基地"整建制——区县范例【已部署（背景）】

优必选 × 杭州余杭区落地人工智能教育项目，**100 所中小学 + 2 大基地**正式授课，是区县整建制规模化样本 [178]。须诚实标注：**此为单一媒体口径，时间较早（2020）**，本蓝皮书作"区县整建制"叙事范例与纵深背景，而非最新规模。**成熟度：已部署（区县级），时间偏早**。

案例 10 ｜ 职教机器人实训与产教融合——职教侧落地【已部署】

102 所高职高专备案智能机器人技术专业（2025 招生）；职业院校已建"国家级虚拟仿真实训基地"，实现"理-虚-实一体化"（拆装 / 电气控制 / 虚拟仿真 / 装调产线 / 编程实训）；据规划值，

到 2025 机器人领域人才缺口达 **450 万** [177179]。450 万为规划预测值，须如此标注。**成熟度：已部署（职教实训/专业建设）。** 职教侧的真实实训落地——如四足进职校做算法实训，详见第 10 章 §10.7 杭州科技职院案例——是"能力—部署落差"少数闭合点之一。

中国案例小结：10 条案例里，"已部署"证据最硬的是政策类（课时硬约束、基点校、学科扩容）与小型机进中小学；人形（天工行者、宇树 G1）进的全是高校科研平台。**没有任何一条支持"全尺寸人形规模化进 K12 课堂当老师"**。

9.3 国际案例（9 条）：软件智能体规模化、社交机器人多在试点、一桩破产警示

国际案例的图景同样清晰，并补上了中国案例较少触及的两类信号：**屏幕端软件 AI 导师的真实规模化**，以及**社交机器人本体"多数仍在试点"的第三方实证**——后者是"能力—部署落差"最干净的锚点。

案例 11 ｜ Khanmigo（Khan Academy AI 导师）——软件智能体规模化【已规模部署（软件，非本体）】

Khanmigo 是教育领域**唯一规模化落地的软件 AI 智能体导师**，但它是屏幕端软件、**非机器人本体**。K-12 学生用户从 2023–24 学年约 4 万增至 2024–25 学年约 70 万；总用户（师生合计）于 **2025-04 达约 140 万**；约 **350 个美国学区日活**；新罕布什尔州（NH）免费部署覆盖 **50 个学区、近 5000 名教师、4 万名学生** [1185180181]。

关键的能力—证据落差点在于：**截至 2025 年末，Khanmigo 仍未完成金标准 RCT**（成本所限）[180]。用户/学区数为厂商/年报口径（注册非活跃），NH 的 50 学区/5000 师/4 万生为州政府口径（硬）。Khanmigo 证明的是"LLM 大脑的教学规模化能力"，而非"具身机器人的教学成效"。这层区分将在第 10 章 §10.7 成为"强 RCT 来自文本导师、不可外推具身"的关键依据。

案例 12 ｜ Amira Learning（AI 阅读导师）——州级/国家级部署【已州级部署 + 国家级试点】

Amira 是 AI 阅读导师，软件而非本体。厂商口径约 400–500 万学生、2000–4000+ 学区、全美 50 州 + 约 19 国（**厂商区间口径，慎用**）。可核验的政府级部署包括：**爱荷华州**（2024 全州免费投放全部公私立小学）、**北达科他州**（全州 K-5 直采）、**Newark 公立学区**（6 校试点后采为全区 K-3 普筛工具）；国际上，**约旦教育部**启动国家级识字计划（四/七年级试点、阿拉伯语本地化，12 周后转全国推广，"最多 80 万学生"可纳入）[8618287183]。州级/约旦为政府确认口径（强）；约旦"80 万"为可纳入上限、非已注册，须谨慎表述。**成熟度：已州级部署（美）+ 国家级试点→推广（约旦）。**

案例 13 ｜ Google Gemini for Education / LearnLM——规模触达 + 小样本 RCT【已规模部署 + 试点 RCT】

2025 年 Gemini for Education 触达 **1000 万学生、1000+ 美国院校**（厂商触达口径）。成效信号来自 2025 年底英国课堂**探索性 RCT**（LearnLM + Eedi）：**165 名学生、5 所英国中学**，受 LearnLM 支持的学生解新题概率高 5.5 个百分点，督导教师对其草拟消息 **76.4% 零/极小修改即采纳** [8895]。须严格标注：RCT 为小样本探索性研究（摘要未报显著性），定位"前景但初步"；且同为屏幕端软件、**非机器人本体**。完整循证讨论归第 10 章 §10.7。**成熟度：已规模部署（Gemini）+ 小样本试点 RCT（LearnLM）。**

案例 14 ｜ NAO / Pepper + Aldebaran 破产——已部署本体的可持续性警示【已部署但母公司清算】

这是本章最具警示意义的一条。NAO / Pepper 是全球课堂最常见的社交机器人本体：Aldebaran 历史累计售出**约 20,000 台 NAO + 17,000 台 Pepper**（约 70 国），教育市场累计部署逾 17,000 台（厂商历史累计口径，非活跃在用数）。但**母公司 Aldebaran 已于 2025-02 进入破产清**

算（累计债务约 1.5 亿欧元），NAO / Pepper 的 **IP 与资产经拍卖被深圳迈瑞微视（Maxvision）收购并设法国研发/服务分支** [184185186]。

这桩重大行业事件的含义远超一家公司的兴衰：即便是已在数万间课堂"已部署"的标杆机型，其长期可持续性也系于母公司的商业存续与供应链稳定。**"已部署"不等于"可永续"**——当 Aldebaran 这样的奠基厂商都走向清算、资产被跨境收购时，学校对单一厂商机型的长期依赖便暴露出结构性风险。它与案例 18（Moxie 停运）共同构成本章对"本体可持续性"的双重提醒。**成熟度：已部署但母公司清算→可持续性风险。**

案例 15 ｜ 社交机器人全球第三方普查——"已部署 vs 试点"最佳锚点【混合：多数仍在试点】

这是衡量社交机器人本体真实成熟度**最干净的第三方信号**。一项同行评审普查记录 **28 国、43 种机型、206 个真实部署案例**：按国别美 74、中 16；按场景特教/作业治疗 65、中小学 65、高校 39、幼教 23；NAO 与 Pepper 部署计数最高 [149]。其核心结论是：**多数机器人仍处测试阶段**——多为试点/短期研究，而非成熟常态整合。该研究计"案例"而非"台数"，是本蓝皮书"能力—部署落差未闭合"判断的最有力第三方佐证：**社交机器人本体在真实教育场景的主流状态仍是试点，而非规模化常态部署。**

案例 16 ｜ L2TOR 二语社交机器人大规模研究——接近零增益的关键反例【研究/试点】

L2TOR 是迄今同类最大规模的机器人二语研究，也是部署侧最重要的反例之一：194 名荷兰约 5 岁儿童由 NAO 机器人在 7 节课中教 34 个英语词，结果**机器人 + 平板并未显著优于纯平板**，iconic 手势无显著增益 [150187]。它是 EU H2020 项目（2016–2018，多站点同行评审），从部署成效角度坐实了第 8 章对语言学习赛道"情感价值清晰、认知成效审慎"的定位，循证细节见第 10 章 §10.3。**成熟度：研究/试点（项目 2018 结束）。**

案例 17 ｜ QTrobot（LuxAI）特教 + 69 家庭纵向研究——小规模已部署 + 新研究【已部署（小规模）+ 试点】

QTrobot 被多国特教学校使用（英国 Rodney House School、Bridge College 等具名案例，UNESCO 引用其全纳教育用途）；2025 年底 LuxAI + 卢森堡健康研究所 + 伯明翰大学启动**首个大规模居家纵向研究：69 个家庭**的机器人辅助自闭症儿童早期发展支持 [188]。"69 家庭"为第三方机构精确口径，"多国学校使用"为厂商口径无硬计数。须延续第 8/10 章的循证防火墙——**特教/ASD 的诊所有效不等于课堂普适有效**，这项纵向研究恰是在补齐居家场景的长期证据。**成熟度：特教已部署（小规模）+ 新纵向研究（试点）。**

案例 18 ｜ Embodied "Moxie" 停运——云依赖陪伴机器人的可持续性警示【已停运】

Embodied 于 2024 年底因融资失败停运，售价 800 美元的云依赖儿童陪伴机器人 Moxie 在 2025 年初因服务器关闭而"变砖"，无退款，后期试图开源 [189][190]（公开销量不详，不引数字）。这是 **LLM / 云依赖陪伴机器人可持续性的标志性警示**：当核心智能依赖厂商云服务时，企业一旦停运，已售出的本体即刻失能。与案例 14（Aldebaran）一道，构成本章对"本体可持续性"的双重警示。**成熟度：已停运。**

案例 19 ｜ ABii / Van Robotics（美 K-5 辅导机器人）——小规模已部署 + 独立研究【已部署（小规模）+ 独立田野研究】

ABii 被"数千名儿童"在 30+ 美国州及英/德/阿联酋/卡塔尔使用；2025 年有一项**独立的长期校内田野研究**（同行评审）[191]。须诚实标注："数千/州列表"及厂商早期效应宣称（67%/34%）为厂商口径、应慎用；2025 年的独立研究才是其成熟度判定依据。**成熟度：已部署（小规模）+ 独立田野研究。**

国际案例小结：规模化"已部署"的是 Khanmigo / Amira / Gemini 这类**屏幕端软件 AI 导师**；社交机器人本体（NAO/Pepper/QTrobot/ABii）多为小规模部署或试点，第三方普查明确指出"多数仍在测试阶段"；Aldebaran 破产、Moxie 停运则是两桩可持续性警示。**与中国案例完全一致：本体侧的规模化常态部署，在 2026 年仍未到来。**

9.4 西方人形：仅工业、无教育部署

把视线从"已落地的本体"转向"被反复与未来教育并置的西方人形"，会看到本章最干脆、最无歧义的一条判断：**西方人形机器人厂商几乎不进教育，只进工业。**

Figure、Tesla Optimus、1X NEO、Apptronik 等西方代表性人形厂商，真实部署集中在工业产线——Figure 02 在 BMW Spartanburg 产线试点、Tesla Optimus 在 Fremont 工厂、相关本体在 Mercedes 等产线测试 [1438]。在教育领域，**它们没有可查的部署**。即便是 Figure 广为传播的 Helix"做家务"演示，也属第 4 章已标注的厂商发布视频/早期试点，而非任何教育场景的真实落地。

叙事含义由此清晰：当国际媒体把"人形机器人"与"未来教育"并置时，本蓝皮书必须冷静指出——**西方人形的部署版图里，教育这一格基本是空白；它们是工业自动化的下一代设备，而非课堂里的教师。**

西方人形与中国人形在教育上的分野，还揭示出"人形进教育"两条截然不同的路径。西方厂商（Figure/Tesla/1X/Apptronik）走"工业先行"路线，把人形定位为产线工人的替代或补充，教育从不在其商业版图核心；中国能进教育的人形（宇树、优必选天工行者）走"科研平台"路线，把人形作为高校实验室的研究工具供货。两条路径的共同点恰恰是——**都不是"人形机器人当中小学教师"**。无论东西方，"全尺寸人形规模化进入 K12 课堂"在 2026 年仍是概念与演示，而非已部署的现实。这正是本蓝皮书"人形教育降温"判断的实证基础。

9.5 出海渠道铺设：越疆与 Makeblock 的全球存在

人形赛道"重本体、轻教育部署"，中国的编程/STEM 机器人厂商则在教育出海上展现了**真实且可核验的规模化渠道铺设**——与第 8 章 STEM 套件赛道"已规模商用"的定位一致。

教育进入状态【已部署（渠道规模化）】：越疆（Dobot）已进入 **6500+ 院校、80+ 国家**；Makeblock（童心制物）覆盖 **140+ 国家、用户超 2000 万** [192]。须特别说明的是，这组数字在调研中已核对为中文原文的"家/国"等计数单位，**不存在货币误读风险**——它与第 13 章着力勘误的"亿元 vs billion"问题性质不同，"6500+""2000 万+"是院校数、用户数，已确认无虞。

另有两笔**单源待核**的金额须诚实并列（PENDING-secondary）：媒体报道称 VEX 获约 **1800 万美元** CTE 资助（覆盖 12 州、5000 套设备）、Makeblock 约 **2500 万美元** D 轮 [192]。两笔金额为单一媒体来源、未交叉，本蓝皮书标注为待核，不作既成事实陈述。把"已核对的部署计数"与"待核的金额数字"分开处理，正是调研诚实的体现：同一来源中，院校数已核不等于金额也已核。融资额的完整资本面分析归第 13 章。

渠道规模印证了第 8 章的判断：在 STEM/编程这个最成熟的赛道，中国厂商不仅在国内规模部署，也在全球渠道铺设上形成了可观存在，这是教育机器人产业中"已部署"证据最扎实的版图之一。

9.6 本章小结

本章用"教育进入状态 + 证据等级"双标尺，梳理了 19 条真实落地案例（图 11），可凝练为五条判断：

第一，**规模化进课堂的是软件智能体与小型机，不是人形**。屏幕端软件 AI 导师（Khanmigo 总用户约 140 万、含教师，K-12 学生约 70 万 [11]、Amira 州级/国家级、Gemini 触达 1000 万 [88]）与优必选 Alpha Mini 类小型编程机器人 [163] 是"已部署"证据最扎实的样本。

第二，**可进教育的人形 = 高校科研平台**。宇树 G1（约 3/4 收入来自科研教育 [107]）与优必选天工行者 [167] 进的是高校研究层，而非中小学教学层；">300 台"为厂商宣称，须与"已交付进高校"分轨。

第三，**政策与学科侧落地最硬**。北京每学年 ≥8 课时 [22]、上海四/七年级必修 [23]、509 基点校 [173]、9 校首设具身智能专业 + 343 校机器人工程 [175]，是高校与中小学具身/AI 教育"已部署"的最硬指标；并须守住"考试端禁用、教学端推进"边界 [164]。

第四，**社交机器人本体多在试点，且有可持续性警示**。第三方普查指出 206 个部署案例中"多数仍在测试阶段"[149]；L2TOR 194 童近零增益 [150]；Aldebaran 2025-02 破产、资产被迈瑞微视收购 [184][185]，Moxie 停运 [189]——"已部署"不等于"可永续"。

第五，**西方人形教育部署 = 空白**。Figure/Tesla/1X/Apptronik 仅有工业部署 [143]——严禁"人形教师进课堂"宣称。

下一章导读：本章回答了"谁真的进了教育、证据多硬"；**第 10 章**追问更深一层——这些已部署或试点的机器人，**学习成效究竟如何**。它承接第 8 章每个赛道的"证据强度"标注与本章的部署案例，按场景逐一展开效应量、证据强度色阶与方法学警示，对负面与零效应予以同等记录，尤其严格区分本章反复强调的"诊所/科研有效 ≠ 课堂普适有效"，并把杭州科技职院四足实训等真实落地用作"能力—部署落差闭合点"的循证佐证。厂商财务、出货排名与资本"冰火两重天"则归第 13 章。

第 10 章　学习成效循证：分场景的证据强度评估

Learning Outcomes and Evidence — Locally Robust, Globally Cautious: Scenario-by-Scenario Strength Grading, with Null and Adverse Effects Equally Reported

---

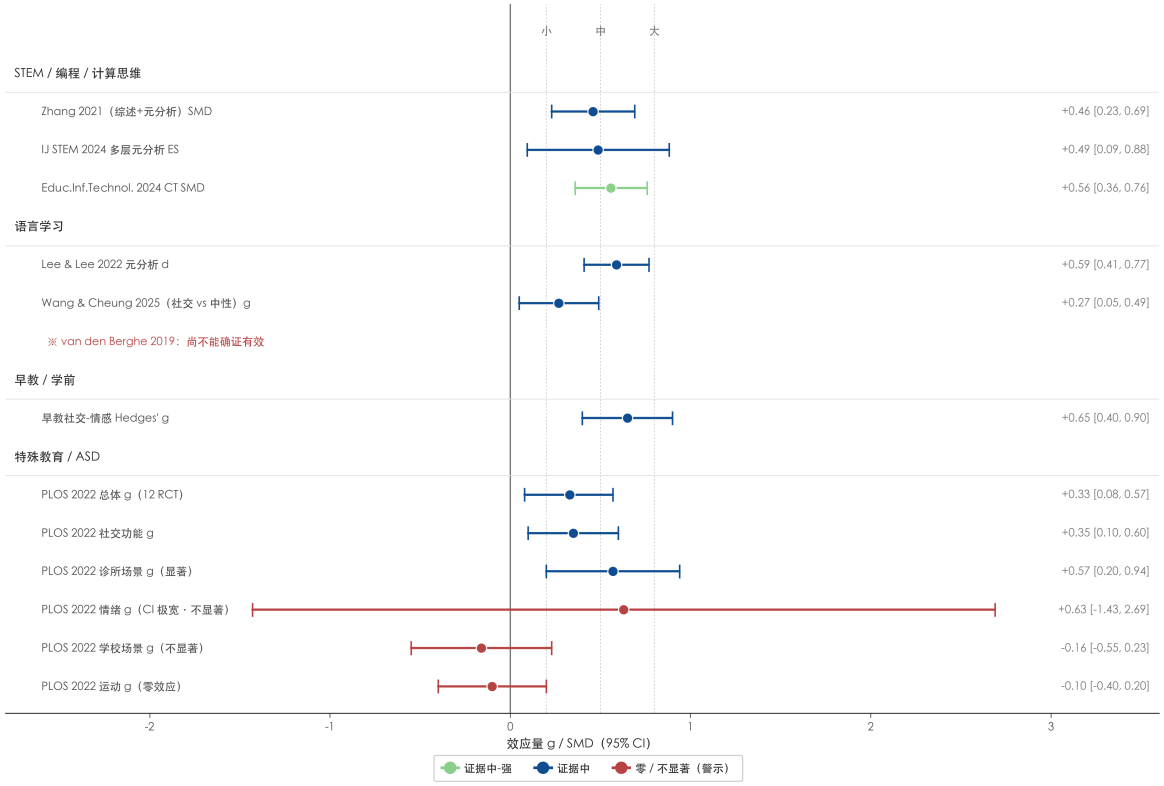
10.1 循证铁律与方法学警示

第 8 章给出了五大赛道的市场口径，第 9 章绘制了厂商落地图谱，但一个更根本的问题始终悬而未决：**教育机器人真的让学生学得更好了吗？** 本章是全蓝皮书循证主章，也是抵御"厂商 demo 当既成事实、参与度上升当学习增益"过度宣称的最后一道防线。

每个场景都严格执行六条循证铁律：

1. **不编造效应量**。所有 g/SMD/d 值仅取自调研已核验的元分析与实证研究，无核验来源处宁可定性陈述。 2. **负面与零效应同等记录**。运动维度零效应、学校场景不显著、LLM 降低投入度等反向信号，与正效应同等篇幅呈现。 3. **按场景标注证据强度**（强/中/弱）与局限。 4. **新奇效应打折**。任何基于单次/短期会话的正效应都须打折——这是本章最稳健的方法学警示（详见§10.6）。 5. **区分情感收益与认知收益**。前者往往掩盖后者，机器人最常见的正效应集中在情感/动机维度。 6. **警惕场景外推风险：诊所/科研有效 ≠ 课堂普适有效**——这是 ASD 赛道（§10.5）的核心陷阱。

贯穿全章的系统性方法学威胁须先点明：**新奇效应**（场景 2/3/5/6 普遍存在）、**发表偏倚**（多数元分析未充分报告）、**研究质量偏低**（ASD 仅 17.5% 评"强"[161]）、**准实验占比高、小样本 + 单会话主导**、以及**情感收益 ≠ 认知收益**。按场景效应量森林图见 ，新奇效应衰减曲线见 。



来源：Zhang 2021、IJ STEM 2024、Educ.Inf.Technol. 2024、Lee & Lee 2022、Wang & Cheung 2025、PLOS One 2022（ASD）、早教社交-情感元分析 2025。审慎：多为准实验/单会话，新奇效应须打折；诊所有效 ≠ 课堂普适有效（学校 g=−0.16 不显著）。

图 12. 按场景效应量森林图（g/SMD 点估计 + 95% CI + 证据强度色阶）。STEM/语言/早教/ASD 分组；零/不显著（情绪、学校、运动）以红色警示。来源：Zhang 2021、IJ STEM 2024、Educ.Inf.Technol.2024、Lee&Lee 2022、Wang&Cheung 2025、PLOS One 2022、早教社交-情感 2025。

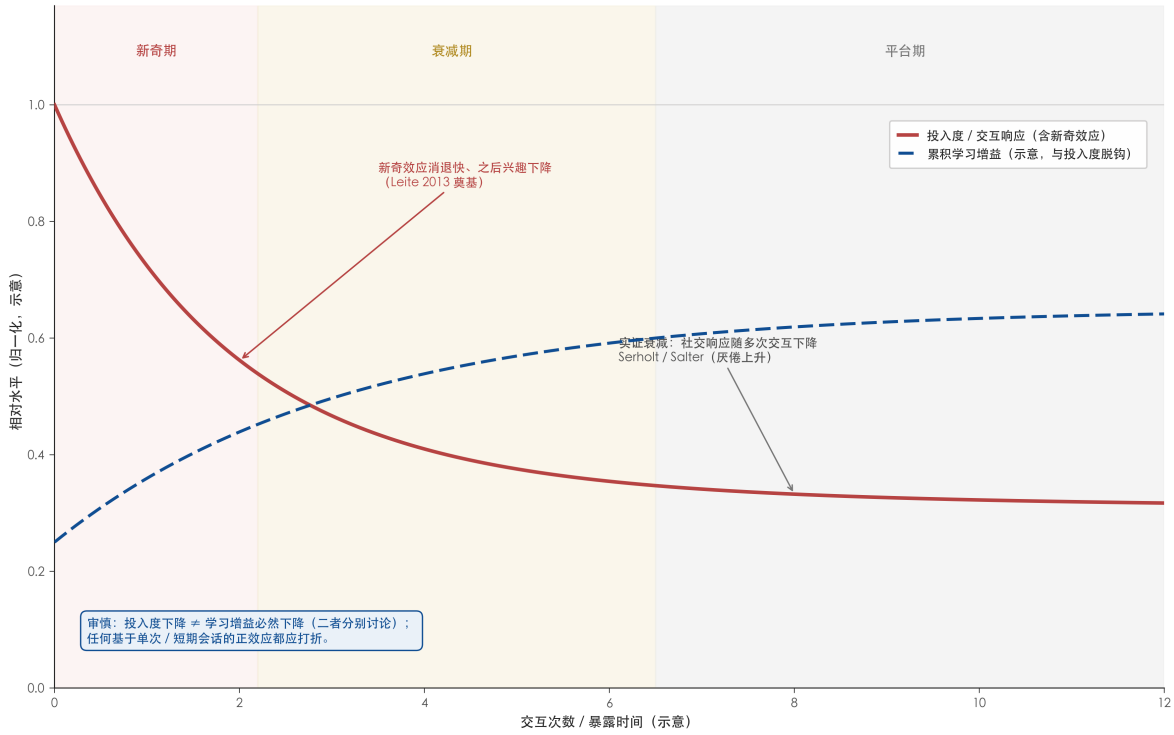


图 13. 新奇效应衰减曲线（示意：投入度随交互次数衰减；区分投入度下降 ≠ 学习增益必降）。来源：Leite et al.（2013）奠基、childfactor2024cri（Serholt/Salter 实证）；曲线为示意非实测。

跨场景方法学警示（撰稿与读者必读）。逐场景证据之前，六类系统性威胁须先讲透，因为它们决定了本章绝大多数效应量都应被审慎解读：

- **新奇效应（novelty effect）**：儿童面对新鲜机器人时的兴奋与投入，会在数次交互后迅速回落。它系统性地威胁场景 2（语言）、场景 3（早教）、场景 5（社交情感）、场景 6（LLM），使得任何基于单次或短期会话的正效应都可能是"新鲜感"而非"学习增益"的产物。这是本章最稳健、也最具约束力的折扣依据（§10.6 专论）。 - **发表偏倚（publication bias）**：阳性结果更易被发表，导致元分析高估真实效应。本领域多数元分析未充分报告偏倚检验，唯一明确报告 Egger 检验且**未见显著偏倚**的是 CT 元分析 [155]——这也是 STEM 场景证据相对可信的重要理由。 - **研究质量偏低**：以 ASD 赛道为例，PLOS One（2022）元分析中仅 **17.5% 的纳入研究质量被评为"强"**[161]，大量研究为低质量设计，削弱了结论的可外推性。 - **准实验占比高**：大量研究采用准实验

（quasi-experimental）而非严格随机对照（RCT），无法完全排除选择偏倚与混杂。 - **小样本 + 单会话主导**：语言学习场景多数研究样本不足 80 人、且为单次会话[193]；ASD 赛道中位随访仅约 10 周——短周期、小样本难以捕捉长期学习效应。 - **情感收益 ≠ 认知收益**：机器人最常见、最稳健的正效应集中在情感/动机维度（焦虑降低、参与度提升），而认知层面的学习增益往往不确定。把前者当作后者，是教育机器人成效宣称中最普遍的偷换。

这六类威胁不是抽象的方法学清单，而是本章对每个场景效应量"打折"的具体依据。每一个 g 值后面，都须追问：它来自哪种设计、是否经历过新奇效应衰减、测的是情感还是认知。

10.2 场景一　STEM / 编程 / 计算思维（证据强度：中—强）

STEM/编程/计算思维（computational thinking, CT）是全部场景中**循证最稳健**的一个，也是本蓝皮书可以相对正面陈述的赛道。

核心效应量证据（E1）：多项独立元分析一致指向中等正效应（**g/SMD ≈ 0.46–0.56**）——

- Zhang 等（2021）综述+元分析：**SMD = 0.46（CI 0.23–0.69）**[194]； - IJ STEM Education（2024）多层元分析（21 研究/30 效应量）：**ES = 0.488（CI 0.094–0.882, p<.05）**，CI 下界接近 0.09[195]； - Educ. Inf. Technol.（2024）CT 元分析（27 项实验/准实验）：**SMD = 0.558**，早教阶段效应最强，且 **Egger 检验未见明显发表偏倚**[155]。

更早的 Benitti（2012）系统综述给出定性支持但缺定量评估[196]；早教 CT 元分析（PMC, 2024）方向一致为正，但测量工具不统一[197]。

这三项 2021–2024 年的独立元分析在效应量上高度收敛（0.46 / 0.488 / 0.558），方向一致、量级接近。跨研究、跨年份的一致性本身就是证据稳健的标志，它降低了"单一团队、单一口径"

造成偏差的风险。更难得的是，CT 元分析报告的 Egger 检验**未见明显发表偏倚** [155]，意味着这个中等正效应不太可能是"阳性结果选择性发表"的假象。

审慎说明：证据虽相对最稳健，三点局限仍须标注。其一，多数研究含准实验而非纯 RCT，无法完全排除选择偏倚；其二，STEM 学习态度多为学生自报，偏乐观；其三，部分元分析纳入研究数偏少（k≈21[195]），且 IJ STEM 元分析的 CI 下界已逼近 0.09，提示效应虽显著但底部并不厚实。**取用结论**：STEM/计算思维中等正效应（g/SMD≈0.46–0.56）可作为本蓝皮书相对可正面陈述的循证支柱，至少一项 CT 元分析未见发表偏倚 [155]，早教阶段效应最强——这与第 8 章"STEM 套件是唯一已规模化商用赛道"的市场判断形成产业与循证的双向印证。

10.3 场景二　语言学习（证据强度：中·审慎）

语言学习是**循证防火墙 E2** 最严格约束的场景：**不可宣称"已证有效"，情感收益 > 认知收益。**

效应量跨度大（E2）：

- Lee & Lee（2022）机器人辅助语言学习元分析：**d = 0.59（SE 0.09）**[198]； - Wang & Cheung（2025）：社交行为 vs 中性条件 **g = 0.269**，但多为 K-12 英语词汇、样本 <80、单会话 [193]； - 儿童语言发展元分析（2003–2023，27 项实证/70 效应量/1544 被试）：中到大正效应，**情感维度最显著** [199]； - Randall（2019）：79 项研究定性综述，证据混合 [157]； - **L2TOR 大规模反例（接近零增益）**：194 名荷兰约 5 岁儿童由 NAO 教 34 个英语词，**机器人 + 平板并未显著优于纯平板**（同类最大规模研究，2016–2018 多站点同行评审）[150187]。

效应量从 g≈0.27 到 d≈0.59 跨度甚大，**且认知收益常被情感/动机收益掩盖**，绝大多数研究为单次会话/小样本，新奇效应难以排除。尤须警惕的是，**迄今同类规模最大的 L2TOR 研究得到的**

恰是"接近零增益"——机器人 + 平板未显著优于纯平板 [150]。这个反例与本场景所有正向效应量同等重要。

必须并列的保守结论（E2 红线）：权威综述 van den Berghe 等（2019）给出明确的保守判断——**"机器人尚不能被确证为有效的语言导师"**[158]。结论分量极重，因为它来自该领域被广泛引用的系统性综述，且附有两个具体而尖锐的负面观察。其一，在学前二语（L2）学习中，学生投入度在**三次会话内即开始下降**，这正是新奇效应衰减在语言场景的直接体现。其二，当机器人出现注视（gaze）行为时，**语法学习反而更差**，提示机器人的某些拟人化社交线索可能分散儿童对语言内容本身的注意。

两个观察共同构成对"参与度上升即学习有效"这一直觉的有力反驳：学生面对机器人焦虑更低、参与度更高（第 8 章 §8.3），但它并不自动转化为更好的语言习得。**本蓝皮书在语言学习场景一律并列保守结论，不宣称"已证有效"，情感/动机收益的呈现须与认知收益的不确定性并置。**机器人作为"低焦虑的语言练习伙伴"的情感价值清晰，但其作为"有效语言导师"的认知效力尚未被确证——二者必须分开陈述。

10.4 场景三　早教 / 幼儿（证据强度：中）

早教/幼儿场景的核心特征是**情感收益大于认知收益，且新奇效应风险最高。**

效应量证据（E4）：早期社交机器人干预（含 ASD 与典型发展 TD 儿童）对社交-情感发展的效应为 **Hedges' g = 0.651**[200]；儿童语言发展元分析进一步显示**年幼者情感收益更大、年长者认知收益更高** [199]。结合场景 1，早教阶段的计算思维效应也最强 [155]。

审慎说明（强度打折）：g=0.651 看似可观，但须严格打折。其一，幼儿认知构念的测量本身争议极大：年幼儿童无法可靠地完成标准化认知测试，研究者往往依赖行为观察或代理指标，

构念效度存疑。其二，幼儿对新奇刺激尤其敏感，是全部年龄段中新奇效应最强的群体，**短期投入度上升 ≠ 长期学习增益**——一个会说话、会动的机器人对幼儿的吸引力，极易被误读为教育成效。

证据还呈现一个一致的年龄梯度：**年幼者情感收益更大、年长者认知收益更高** [199]。这意味着早教阶段机器人的真实价值，恐怕更多在情感陪伴、社交-情感技能启蒙，而非认知/学科学习的加速。早教是市场消费热度与循证强度反差最大的赛道（第 8 章 §8.4 显示其在严格统计口径内仅占约 1%），本蓝皮书坚持"情感收益清晰、认知增益审慎、新奇效应必须打折"的定位——它也是第 14 章讨论低龄儿童情感依赖治理时的循证基础。

10.5 场景四　特殊教育 / ASD（证据强度：中·外推存疑）

ASD 干预是教育机器人**唯一拥有较多 RCT 元分析支撑**的赛道，也是**循证防火墙 E3** 最关键的场景：**诊所有效 ≠ 课堂/家庭普适有效**。

核心效应量证据（E3，最稳健的一项）——PLOS One（2022）元分析综述 40 项研究（含 17 项 RCT），对 12 项 RCT/346 名被试做元分析 [161]：

- **总体 Hedges' g = 0.33（CI 0.08–0.57）**；
- **社交功能 g = 0.35 显著**——这是 ASD 干预最可靠的正效应；
- **情绪维度 g = 0.63 但不显著**（CI 极宽 −1.43–2.69）；
- **运动维度 g = −0.10，零效应**。

负面/零效应与场景调节（E3 红线，必须同等记录）——同一元分析的场景调节分析揭示了最关键的外推风险：

- **诊所场景 g = 0.57 显著**；
- **家庭场景 g = 0.16 不显著**；
- **学校场景 g = −0.16 不显著** [161]。

换言之，机器人 ASD 干预的显著正效应主要来自**诊所受控环境**，一旦外推到学校课堂或家庭，效应即不显著（学校 g=−0.16、家庭 g=0.16 均不显著），甚至方向转负。这一场景调节结果

是整个循证主章最重要、也最易被掩盖的发现之一：ASD 赛道"证据最强"的光环，其实高度依赖诊所这一受控、一对一、由专业治疗师主导的特殊环境，而真实教育部署所在的学校课堂，恰恰是效应消失的场景。叠加研究质量局限——仅 **17.5% 的研究质量被评为"强"**[161]、中位随访仅约 10 周，短周期同样难以排除新奇效应。漏斗图分析未见明显不对称，提示该元分析本身的发表偏倚风险相对可控。

补充证据与文献集中度：Zhong（2025）三层元分析方向与上述一致，认为机器人对 ASD 社交-情感技能有正向作用 [201]（来源字段待核，见附录 F）。平台层面，NAO 是该赛道事实上的标准机型，出现在约 39% 的 ASD 相关机器人研究中 [53202203162]。如此高度的平台集中既便于跨研究比较，也带来一个隐忧：证据基础高度依赖单一机型，其结论能否推广到其他社交机器人本体，本身存疑。

取用结论（强项但审慎）：机器人对 ASD **社交功能**有小-中等显著效应（g≈0.33–0.35），年幼儿童收益更大；但**切忌将"诊所有效"宣称为"课堂/家庭普适有效"**——情绪、运动维度为零或不显著，家庭与学校场景均不显著。这是证据最强赛道里最容易被滥用的陷阱。

10.6 场景五　社交情感与新奇效应衰减（证据强度：中·警示）

新奇效应衰减是教育机器人领域**最稳健的警示性发现**，构成对前述所有"短期正效应"的系统性折扣依据（**循证防火墙 E5**）。

核心证据（E5）：

- Leite 等（2013）：新奇效应的奠基性定义——**新奇效应消退快，之后兴趣下降；短期会话不能可靠预测长期效应** [204]； - 实证衰减（Serholt/Salter）：社交响应随多次交互下降，长期暴露后厌倦感上升 [205]； - 高校自适应机器人导师长期研究 [206]；共情发展最佳证据综合显示证据混合 [207]。

新奇效应衰减的机制可概括为一条衰减曲线（图 13）：交互初期投入度高企，随交互次数增加而单调下降，最终趋于一个远低于初始水平的平台。Leite 等（2013）首次系统定义了这一现象，并据此提出一个对教育评估极具杀伤力的论断——**短期会话无法可靠预测长期效应** [204]。Serholt 与 Salter 的长期观察提供了实证支撑：社交响应随多次交互下降，长期暴露后儿童的厌倦感上升 [205]。换言之，一项报告"机器人显著提升参与度"的单次会话研究，其结论在数周后可能完全反转。

取用结论：任何基于单次/短期会话的正效应都应打折（图 13）。一处微妙之处须同时注意——**投入度下降 ≠ 学习增益必然下降**，反之亦然：van den Berghe（2019）的反例显示，机器人注视时投入度可能上升而语法学习反更差 [158]。投入度与学习增益是两个须分别测量、分别讨论的构念，不可简单等同。它也呼应第 7 章"参与度（engagement）≠ 学习增益（learning gain）"的判断——多模态系统采集到的高参与度信号，不能直接解读为更好的学习成效。

10.7 场景六　大模型时代新证据（证据强度：弱—中）

LLM 时代的教育机器人成效，是**循证防火墙 E6/E7 约束最强的场景：前景广阔、实证早期；强 RCT 证据来自文本 LLM 导师，不可外推到具身机器人**。

关键证据（**E6/E7**）：

- **TalBot（ChatGPT × Furhat）**：试点/可行性研究，仅 13 名学前儿童，**未报告对照学习增益**——具身 LLM 机器人对儿童的对照证据几乎空白 [208]；- **Tutor CoPilot**：较强 **RCT**（>700 导师/>1000 学生），学生掌握概率 **+4 个百分点**，低评级导师所教学生 **+9 个百分点**——但这是**文本 LLM 导师，不是机器人** [209]；- **Google LearnLM（Eedi）**：RCT（165 名英国 13–15 岁），监督导师 **76.4% 零/极小修改即批准**（过程质量代理，非成绩效应量）；同为文本非机器人 [210]（来源

字段待核，见附录 F）； - **反向证据（E7）**：GPT 编程大班准实验显示——**降低整体投入度**，但采纳者成绩提升，**加剧分化** [211]。

为何不能外推（本场景最关键的逻辑）：这里存在一个极易被忽视的证据错配。媒体与厂商常把 Tutor CoPilot 的 +4pp/+9pp、LearnLM 的 76.4% 这类令人振奋的 RCT 数字，与"教育机器人"的前景叙事并置，造成"LLM 机器人已被 RCT 证明有效"的错觉。但这些强证据全部产生于**文本/屏幕端的 LLM 导师**情境，其作用机制（实时辅助人类导师、生成苏格拉底式追问）与"具身机器人在物理空间陪伴儿童"是两套不同的干预，前者的成效不能机械地搬运到后者。这与第 5 章反复强调的判断完全一致：**Khanmigo 是屏幕端软件智能体而非机器人本体**，它证明的是"LLM 大脑的教学能力"，而非"具身机器人的教学成效"。当大脑接入本体、引入物理在场与多模态社交线索后，成效是否保持、新奇效应如何作用、幻觉风险如何放大，都缺乏对照证据。

取用结论（杜绝任何成效宣称）：(a) 具身 LLM 机器人对儿童的对照证据几乎空白（仅试点 TalBot，13 名儿童、无对照 [208]）；(b) 较强的 RCT 证据（Tutor CoPilot、LearnLM）**全部来自文本 LLM 导师，不能直接外推到具身机器人**；(c) 已出现降低投入度、加剧分化的反向信号 [211]。**LLM 机器人在本蓝皮书中定位为"前景广阔、实证早期"，杜绝任何成效宣称。** 这一审慎定位将在第 14 章被转化为对模型幻觉、学业误导与情感依赖的治理要求。

10.8 能力—部署落差的少数闭合点：职教四足实训（证据强度：弱）

前面六个场景描绘了一幅"成效审慎"的循证图景。但"能力—部署落差"主线还需要记录其**少数闭合点**——那些既已真实部署、又承载可观察学习活动的场景。最具代表性的，是**四足机器人进入中国职业院校做感知与算法实训**。

部署事实（已部署，职业院校课堂实训）：杭州科技职业技术学院（HZPT）将宇树 Go2 引入物联网技术学院专业教学，学生用机器狗回传的**激光雷达点云 + 4K 画面做时空对齐，编写算法识别校园违规行为目标**，教师称此举让学生"以更直观方式掌握机器学习与计算机视觉"[138]；宇树与 Stanford、OpenMind 合办的 **RoboUniversity** 认证体系亦面向 Go2/G1 平台提供从编程基础到机器人集成的课程 [127]。这是第 9 章反复论证的判断在职教侧的真实闭合：**四足是当前具身智能进入教育最现实的平台，运动控制已工程化、价格门槛低（教育版数千美元量级），且已在职校/高校课堂做真实的算法与感知实训。**

但循证防火墙在此同样不松动。 两条审慎边界须明确。其一，**"已部署"指的是教学活动真实发生，而非学习成效已被量化**——HZPT 案例是工程实训的部署事实，目前**没有对照设计的学习增益数据**，不能据此宣称"四足机器人提升了学习成效"。其二，**落地严格限定在职教/高校**，面向技能训练与算法实践的实训场景，**不可外推为"机器狗已规模进入中小学课堂"**。换言之，这个"闭合点"闭合的是"能力可否被用于真实教学活动"，而非"成效是否已被循证证实"，两者必须分开陈述。它恰是本章方法学的一致延伸：部署的真实性与成效的可证性，是两把不同的尺子。

取用结论：四足职教实训是"能力—部署落差"少数可观察的闭合点，可作为"具身能力正在进入真实教学活动"的部署佐证 [138]；但其学习成效尚未量化，**定位为"部署真实、成效未量化"**，与前述场景的效应量证据分轨陈述，不并入任何"已证有效"结论。

10.9 三条最稳健发现：核心循证支柱

综合全章按场景的证据分级（图 12），本蓝皮书提炼出三条**最稳健、可作为核心循证支柱**的发现：

1. **STEM / 计算思维：中等正效应**（g/SMD ≈ 0.46–0.56），至少一项 CT 元分析未见发表偏倚，早教阶段最强 [194155195]。这是唯一可相对正面陈述的赛道。

2. **ASD 社交功能：RCT 元分析小-中等显著效应**（g ≈ 0.33–0.35），年幼者收益更大 [161]——但诊所有效不等于课堂/家庭普适有效，运动/情绪维度及学校/家庭场景均不显著 [201]。

3. **新奇效应衰减：多源一致警示**——投入度/响应随时间下降，短期效应不可靠 [204205]。这是对所有短期正效应的系统性折扣依据。

三条支柱共同勾勒出一幅"局部稳健、整体审慎"的循证图景：唯一可相对正面陈述的是STEM/计算思维；ASD 社交功能证据虽较强，却被场景外推风险严重限制；新奇效应则像一把悬在所有短期正效应之上的折扣之尺。相形之下，语言学习、早教、社交陪伴的认知成效，以及LLM 机器人的整体成效，目前都不足以支撑"已证有效"的宣称。本蓝皮书宁可承认证据不足，也不愿用乐观的单值掩盖循证的真实状态——这正是第 15 章"充分验证、教师主导再落地"政策建议种子的实证根基，也是对韩国 AI 数字教科书"快速进校园反噬"教训（第 14 章）的循证回应。

10.10 本章小结

本章按场景对教育机器人学习成效做了严格的证据分级（图 12、图 13），核心立场可凝练为：**教育机器人的循证图景是"局部稳健、整体审慎"——STEM/计算思维有中等正效应可正面陈述，ASD 社交功能证据较强但场景外推存疑，语言学习与 LLM 机器人不可宣称已证有效，新奇效应是贯穿全局的最稳健折扣依据；而四足职教实训这样的"部署闭合点"，闭合的是能力进入真实教学活动，而非成效已被证实。** 负面与零效应（运动维度零效应、学校场景不显著、LLM 加剧分化、L2TOR 二语近零增益）已与正效应同等记录。

本章的循证立场直接服务于全蓝皮书的"能力—部署落差"主线：前沿能力的厂商演示再炫目，也须经受按场景、按强度、含负面信号的循证检验；参与度/情感收益的上升不等于认知学习增益。

下一章导读：第三部分（应用）至此完成——第 8 章给出赛道全谱，第 9 章绘制落地图谱，第 10 章完成循证分级。**第四部分（第 11–13 章）**转向产业视角：第 11 章重构产业链（新增 VLA 算法层），第 12 章给出市场 TAM 总账与历史预测的诚实回望，第 13 章呈现竞争格局与资本"冰火两重天"。本章的循证审慎立场，将在**第 14 章**（安全、伦理与治理）被进一步转化为对情感依赖、学业误导的治理要求，并在**第 15 章**收束为"充分验证、教师主导再落地"的政策建议种子，呼应韩国 AI 数字教科书反噬的教训。

第四篇　产业与市场

价值链重构 · 市场规模与 TAM · 竞争格局与资本

本篇导读　转入产业视角：拆解价值链的 2026 重构——新增大模型/具身算法层，上游瓶颈前移到减速器与灵巧手；以多源并列的保守口径给出市场规模区间，并呈现传统教育机器人遇冷、具身/人形过热的资本分化。

第 11 章　价值链重构：从硬件链到 VLA 算法层与上游瓶颈

*本章定位与去重约定：本章只处理产业链的结构重构——七层基线如何演化、新增了哪一层、瓶颈环节移向何处、价值如何在链条上重新分配。市场规模与 TAM 归第 12 章，厂商财务与出货排名归第 13 章，人形本体的硬件参数（自由度/成本）归第 6 章；本章引用上述内容时只作结构性映射，不重算数字。产业链"加层"的再界定依据与第 3 章同源，技术侧的 VLA 演进则承接第 4 章。>> **保守提示**：本章的"七层 + 新增 VLA 层"是基于多源的 **2026 重构判断**，并非源白皮书原文结论；"基座模型与具身智能服务层"为本研究的命名建议，标【2026 延伸】；运维占总拥有成本 50–60% 为单一媒体口径，仅作成本结构的定性使用；地方目标与基地校数字一律以政策原文为准。*

11.1 引入：当"大脑"成为产业链的独立一层

2019 年版《全球教育机器人发展白皮书》绘制产业链时，整条链条以本体硬件为中心：从最上游的 AI 芯片，到硬件制造、系统平台、应用服务、内容供应、系统集成，再到面向用户的渠道，七个环节依次叠加（[2]）。那一框架里，"智能"被默认嵌在硬件与平台之中，并不构成需要独立刻画的产业层次——彼时机器人的"智能"本就由规则、传感与脚本拼成，没有一个可被单独定价、单独供应、单独迭代的"大脑"。

到 2026 年，产业图景经历了一次**结构性重排**。本章的核心论断是：教育机器人产业链相对 2019 年最本质的变化，是从无到有地长出了**一个独立的"大模型／具身智能算法层（VLA）"**。它把"视觉输入直接映射为关节控制输出"的端到端运动智能，连同叠加在其上的教育大模型与学科智能体，沉淀为整机的"大脑"，并成为新的价值高地（[212]、[213]）。与此并行，上游瓶颈从"芯片

"扩展到"关节—谐波减速器—灵巧手—六维力 / 触觉传感"，内容层从"课程内容"升级为"课程 + 实训 + 认证"，运维服务则从隐性成本显性化为独立价值层。

下文先复盘 2019 七层基线（§11.2），再依次刻画 2026 的四项重构——新增 VLA 算法层（§11.3）、上游新瓶颈（§11.4）、内容与服务价值层的显性化（§11.5），随后给出命名建议（§11.6）与作为外部强变量的政策驱动（§11.7），最后小结并导读第 12 章。

11.2 2019 七层基线：以本体硬件为中心的链条

作为续接基座，先完整复述 2019 版确立、并经第三方转述佐证的七层产业链（[2] 图 5-1；[46] 七层链转述）：

1. **AI 芯片制造商**——2019 版相对 2016 版的新增最上游环节，提供算力底座； 2. **硬件制造商**——本体结构、传动、传感等硬件集成； 3. **系统平台开发商**——操作系统、中间件与开发框架； 4. **应用服务提供商**——面向教学场景的应用与服务； 5. **内容供应商**——课程、教案与教学内容； 6. **系统集成商**——把硬件、平台、内容整合为可交付方案； 7. **渠道商**——面向学校与消费者的分销网络。

这一结构的内在假设是：**智能内生于硬件与平台**，因此无需为"认知能力"单设一层。正是这个假设，在 2022 年之后被基础大模型与具身智能打破。

11.3 2026 最大结构变化：新增"大模型／具身智能算法层（VLA）"

这是 2016 与 2019 两版都完全不存在的层级。 依据来自两条互证的产业观察：端到端运动大模型 / 视觉-语言-动作（VLA）已成为整机"大脑"的核心技术形态，直接承担"视觉输入→关节控制输出"的映射（[212]）；与此同时，具身智能产业全景中，算法 / 大模型环节已从硬件中剥离，形成可被独立投资、独立供应、独立迭代的产业层次（[213]）。技术侧的演进脉络（RT-

2→OpenVLA→π0 / π0.5→Helix→GR00T 等）已在第 4 章逐一标注成熟度，此处不重述；本章关心的是它在产业结构上的含义。

它为何是"从无到有"而非"原有环节的细化"？三点理由：

- **可定价性**：2019 框架里，"智能"分散嵌在芯片与平台中，没有独立的交付物与计价单位；VLA / 教育大模型则可以以模型授权、API 调用、智能体订阅、MaaS（Model-as-a-Service）等方式单独计价，已具备成为独立产业层的经济前提。 - **可供应性**：基础模型与具身算法由专门的算法厂商研发与供给，整机厂商可以"采购大脑"而非"自研大脑"，这正是产业分工出现新层级的标志。 - **可迭代性**：模型层的迭代节奏（月级）远快于硬件层（年级），二者解耦后各自独立演进——"大脑↔本体分离"的架构含义（第 5 章）在产业层面表现为算法层与整机层的分层。

教育语境下还有一层叠加：在通用 VLA / 基础模型之上，进一步叠加**教育大模型与学科智能体**（如苏格拉底式导师、形成性评价者、学习数据分析顾问），使"大脑"既具备通用运动 / 语言智能，又具备教学专用能力。它与第 3 章"角色编排（role orchestration）"的再界定、以及具身智能赋能教育的框架论证同源（[47]）。

须保守标注：把这一层独立列出，是本蓝皮书基于多源观察的 **2026 重构判断**，并非源白皮书的原文结论；但其结构性事实——"算法 / 大模型已从硬件中剥离为独立产业环节"——有产业报告交叉支撑（[212]、[213]）。

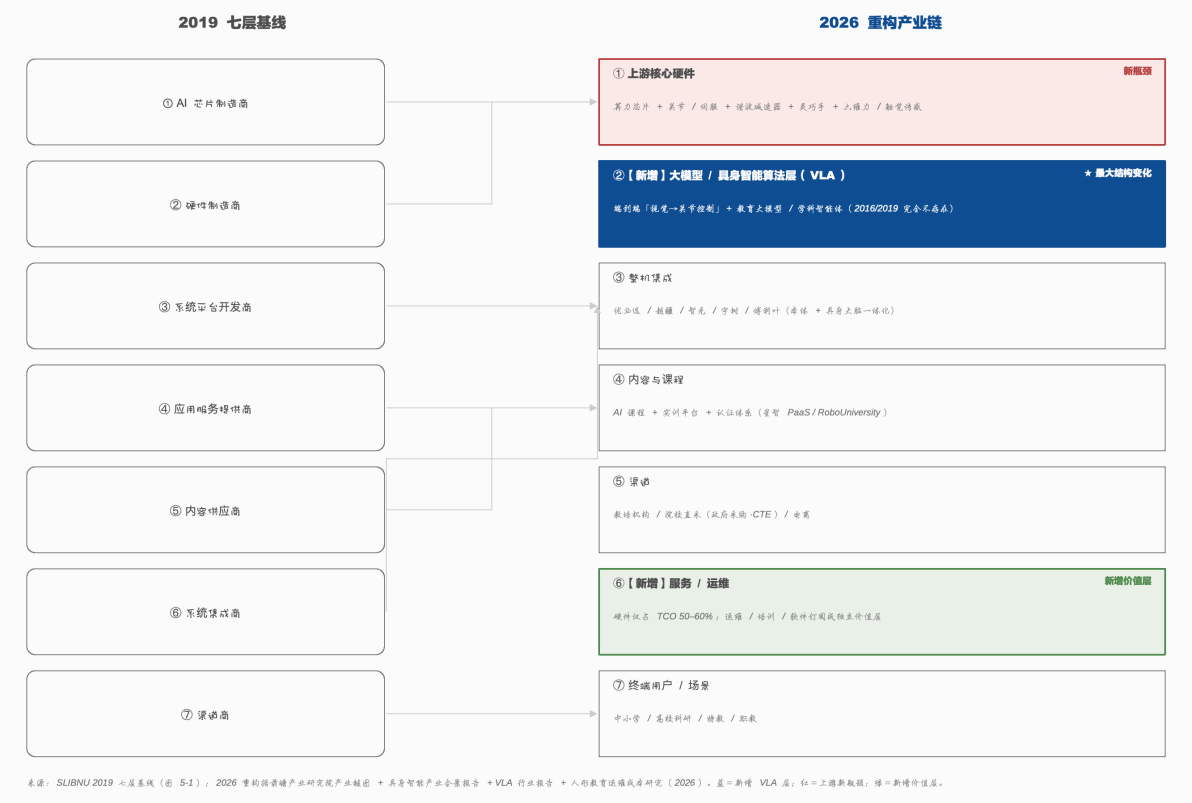


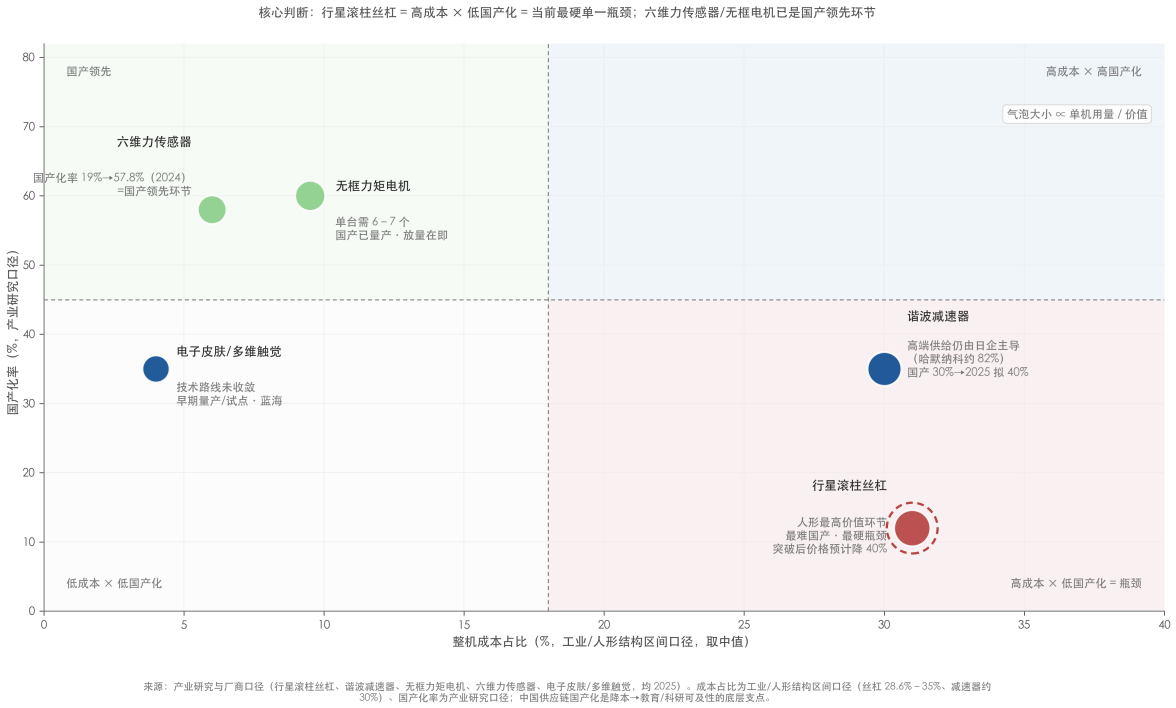
图 14. 产业链：2019 七层基线 → 2026 重构（+ 新增大模型/具身智能算法层 VLA）。标上游新瓶颈（关节/减速器/灵巧手/力传感）与新增价值层（服务/运维）。来源：slibnu2019erwp、pday-embodied-vla-report-2026、aiinsight-embodied-landscape-2026、robozaps-humanoid-education-2026。

11.4 上游硬瓶颈：从"芯片"前移到"减速器—丝杠—电机—力传感—灵巧手"

2019 版把 AI 芯片列为最上游瓶颈，反映的是"算力稀缺"的时代特征。到 2026 年，人形与高自由度本体进入产业视野，上游瓶颈显著前移并多元化：除算力芯片之外，**精密传动（谐波减速器、行星滚柱丝杠）、关节驱动（无框力矩电机）、力／触觉感知（六维力传感器、电子皮肤）以及作为人形操作核心的灵巧手**，连同电池与能源，共同构成新的上游核心硬件（[212]、[213]）。人形化是这次移位的直接驱动力：当本体从"轮式＋固定结构"走向"高自由度人形"，传动—驱动—感知链条上的精度、成本与可靠性便成为整机能力的真正天花板。这些环节的国产化进度与成本

占比，很大程度上决定下游整机的可及性，也决定"高校实验室 / 职教实训室能否负担一台具身平台"这一教育可及性的底层支点。

本章只对这些瓶颈环节作产业结构定位（硬件参数与成本曲线的逐项细节归第 6 章）；按"成本占比×国产化进度"两个维度，可把上游核心部件排成一条从最硬瓶颈到国产领先的谱系（）：



来源：产业研究与厂商口径（行星滚柱丝杠、谐波减速器、无框力矩电机、六维力传感器、电子皮肤/多维触觉，均 2025）。成本占比为工业/人形结构区间口径（丝杠 28.6%－35%、减速器约 30%）、国产化率为产业研究口径；中国供应链国产化是降本→教育/科研可及性的底层支点。

图 27. 人形上游核心部件 国产化率 × 成本占比 象限（行星滚柱丝杠成本占比最高约 28.6%—35%、国产化最低 = 当前最硬瓶颈；谐波减速器高端份额仍由哈默纳科约 82% 主导、国产化约 30%→40%；无框力矩电机国产放量在即；六维力传感器国产化率 19%→57.8% = 国产领先；电子皮肤蓝海早期）。X=成本占比、Y=国产化率，气泡∝单机用量/价值。

来源：v2_planetary_roller_screw_2025、v2_harmonic_reducer_2025、v2_frameless_torque_motor_2025、v2_six_axis_force_sensor_2025、v2_eskin_tactile_2025；成本占比为工业/人形结构区间口径，国产化率为产业研究口径。

上游核心部件	成本占比	国产化进度	瓶颈定位	来源
行星滚柱丝杠（直线执行器核心）	最高，约 28.6%—35%	最低、最难国产，国产突破中、规模量产未完成；突破	当前最硬瓶颈——既最贵又最难国产	[125]

		后价格预计降约 40%		
谐波减速器（旋转关节核心）	约 30%（减速器在工业机器人成本中占比最高一档）	哈默纳科占全球约 82%、绿的谐波约 7%；国产化率约 30%→2025 拟 40%	高端份额仍由日企主导，国产量产但份额仍小	[214]
无框力矩电机（关节驱动）	单台需 6—7 个、约 2,000—5,000 元/台	国产已量产、放量在即（9 家上市企业布局）	国产化推进中、压价空间可观	[215]
六维力传感器（力反馈核心）	单价 1 万—4 万元→千元级	国产化率从 19% 升至 57.8%（2024），蓝点触控约占 80% 份额	国产化领先环节（已量产、放量）	[126]
电子皮肤 / 多维触觉	全球市场约 71 亿→209 亿美元	早期量产 / 试点（技术路线尚未收敛）	蓝海早期、路线未定	[216]

这条谱系的核心判断是：**整机成本曲线的下行，瓶颈不在"国产化领先环节"，而卡在"最贵又最难国产"的行星滚柱丝杠与高端谐波减速器上。** 行星滚柱丝杠在人形零部件中价值占比最高（约 28.6%—35%）、却又是国产化率最低、规模量产尚未完成的环节，因而是当前**最硬的单一瓶颈**——它直接决定全尺寸人形的直线执行器成本，进而压制整机降本节奏（[125]）。谐波减速器虽国产化率已升至约 40%，但全球份额仍由哈默纳科（约 82%）主导，高端供给受制（[214]）。与之形成对照的是国产化已经领先的两端：六维力传感器国产化率四年间从 19% 跃升至 57.8%（[126]），无框力矩电机国产量产、放量在即（[215]）。

灵巧手作为人形操作的核心瓶颈，叠加在上述传动—感知谱系之上。 它既是高自由度操作的能力天花板，也是上游部件（滚柱丝杠 + 连杆 + 空心杯电机 + 多维触觉）的集成体；中国厂商在触觉密度与价格上已对高端进口形成显著降维（细分参数归第 6 章），但"高自由度演示"与"产线可靠量产"之间仍有差距。产业含义是：灵巧手的成本与可靠性，与其上游丝杠、电机、触觉的国产化进度强耦合——**上游硬瓶颈一旦松动，灵巧手与整机的成本曲线才会同步下移。**

须保守标注：上述成本占比为工业 / 人形结构口径的区间值（行星滚柱丝杠 28.6%—35%、谐波减速器约 30%），不同测算基准下占比会有差异，本章仅作"哪一环最贵、哪一环最难国产"的**结构定性使用**；国产化率数字以产业研究口径为准，反映替代进度而非精确市占。

11.5 价值再分配：内容升级为"课程＋实训＋认证"，运维显性化为独立价值层

2026 重构的第三项变化发生在链条的**下游价值分配**上。

内容层：从"课程内容"到"课程＋实训平台＋认证体系"。 2019 版的"内容供应商"主要指课程与教案；2026 年，内容层升级为一体化的"AI 课程 + 实训平台 + 认证体系"——典型形态包括优必选的星智 PaaS、宇树与高校合办的 RoboUniversity 式平台、以及围绕通识指南配套开发的课程体系（[213]）。其产业含义是：内容不再是附着于硬件的"软件赠品"，而是承载认证资质、可持续收费的独立价值环节。

服务／运维层：从隐性成本到独立价值层。 一个值得强调的成本结构事实是：教育部署中，**硬件往往只占总拥有成本（TCO）的约 50%—60%**，其余由运维、培训、软件订阅等服务构成，社交机器人尤其如此（[151]）。这意味着"卖一台机器人"只是价值链的起点，持续的运维与服务才是长期价值的主体。因此本章把"服务 / 运维"从 2019 框架中隐含于"应用服务/集成"的位置，**显性化为一个独立价值层。**

须保守标注：50%—60% 这一比例来自单一媒体口径（[151]），本蓝皮书仅将其作为"硬件并非 TCO 全部、运维占比可观"的**成本结构定性依据**使用，不作为精确财务比例引用。

11.6 命名建议：基座模型与具身智能服务层

综合 §11.3—§11.5，本研究建议把新增的算法层正式命名为**"基座模型与具身智能服务层"**——它涵盖基础模型、VLA、智能体框架与 MaaS，是 2016 / 2019 两版完全没有的结构（理论锚定依据见 [47]，与第 3 章"产业链加层"再界定同源）。

此命名为本蓝皮书的**【2026 延伸】建议**，非源白皮书原话，亦非已被产业普遍采用的标准术语；提出它的目的，是为后续统计口径与政策表述提供一个能容纳"AI 教育智能体订阅 / MaaS / 具身机器人即服务"等新业态的产业层概念——而这些业态恰恰是 2019 版"四模型"市场口径无法容纳的（这一口径局限将在第 12 章的历史回望中进一步展开）。

一句话概括 2026 相对 2019 的产业链演化：**从"以本体硬件为中心的七层链"，演进为"以具身大模型为大脑、以关节／减速器／灵巧手／力传感为新上游瓶颈、以课程认证与运维服务为新增价值层"的链条**。

11.7 政策驱动：作为外部强变量的"行动计划—基地校—地方目标"

与 2019 年不同，2026 年的产业链重构发生在一个**强政策牵引**的环境里，政策因此成为不可忽略的外部强变量（条款细则归第 2 章与第 14 章，本章只作产业映射）：

- **国家行动计划**：教科信〔2026〕1 号《"人工智能+教育"行动计划》提出加快普及中小学 AI 教育、建设教育智能算力平台与分学段教育大模型、建立教育大模型安全审核机制（[19]）；其上位政策《国务院关于深入实施"人工智能+"行动的意见》（国发〔2025〕11 号）设定 2027 年智能体普及率超 70%、2030 年超 90% 的目标（[17]）——这直接为"基座模型与具身智能服务层"创造了

规模化需求。 - **基地校布局**：全国已布局 509 所 AI 教育基地校，覆盖东部 7 省、中西部 20 地市与 18 所高校试点（[20]）——这是渠道层（院校直采）的政策化扩张。 - **地方产业目标**：深圳提出 2027 年具身智能企业超 1200 家、关联产业规模超 1000 亿元，上海提出 2027 年具身核心产业超 500 亿元（[33]、[213]）——这从上游与整机集成两端为产业链注入资本与产能。

须保守标注：上述目标与基地校数字以政策原文为准；地方产业目标属规划口径，反映政策意图而非既成产能，不应被读作教育机器人细分市场的实测规模。

11.8 本章小结

本章给出了教育机器人产业链的 2026 重构判断：相对 2019 七层基线，最大结构性变化是新增了独立的"大模型／具身智能算法层（VLA）"——它从无到有，成为整机的"大脑"与新的价值高地；上游瓶颈从"芯片"前移并扩展为"减速器—丝杠—电机—力传感—灵巧手"，其中**行星滚柱丝杠（成本占比最高约 28.6%—35%、国产化率最低）是当前最硬的单一瓶颈**，谐波减速器高端供给仍由日企主导，而六维力传感器（国产化率 19%→57.8%）与无框力矩电机已是国产领先环节（图 27）；内容层升级为"课程 + 实训 + 认证"，服务 / 运维从隐性成本显性化为独立价值层；本研究建议把新增层命名为"基座模型与具身智能服务层"（【2026 延伸】）。强政策牵引（行动计划 / 基地校 / 地方目标）则是这一重构的外部强变量。

两点须审慎重申。其一，新增 VLA 层是结构判断，其下游的教育落地仍受制于第 4 章揭示的"能力—部署落差"——算法层的活跃并不等于课堂部署的同步成熟。其二，运维占比、地方目标等数字分别为单一口径与规划口径，本章仅作定性使用。

产业链重构勾画了"价值如何重新分布"的骨架，但骨架上的血肉——市场究竟有多大、增速几何、历史预测是否兑现——需要专章核算。第 12 章转入市场规模与 TAM：以多源并列的保守区间刻画全球与中国市场，并对 2019 版"841 亿美元"的历史预测做一次诚实回望，后者恰恰印证

了本章 §11.6 所言"旧口径已不能容纳新业态"的判断。厂商层面的财务、出货与资本"冰火两重天"则留待第 13 章。

第 12 章　市场规模与 TAM：多源并列的保守区间

*本章定位与去重约定：本章是全书市场数字的总账——全球与中国教育机器人市场的规模、增速、口径冲突，以及对 2016 / 2019 历史预测的诚实回望，集中于此。细分赛道（STEM 套件 / 社交陪伴 / 语言 / 早教 / 特教）的规模口径见第 8 章；厂商财务与出货排名见第 13 章；人形本体硬件参数见第 6 章。本章引用上述内容时只作背景映射，不重算。> > **口径铁律（本章最高优先级）**：① 全球市场取区间表述（2026 约 20–28 亿美元、2030 前后约 55–58 亿美元、CAGR 约 15%–29%），**不取 28.8% 这一最激进 CAGR 作为唯一口径**；② 中国市场**宽口径 132 亿元 vs 窄口径 44 亿元同时给出并解释，相差近 3 倍，切勿混用**；③ 产品形态与最大学段在不同机构间结论相反，须标注冲突；④ 人形 / 四足 / 灵巧手大盘均为**非教育 TAM**，仅作教育定位背景——人形 2026 出货 Morgan Stanley 上调至约 5 万台须标"机构预测、口径跳变大"，灵巧手 8.15 亿 vs 14.8 亿美元两口径并列、CAGR 40% 为激进单源须审慎，5 万亿美元 / 2050 仅作脚注；⑤ 历史"841 亿美元"标"预测值、已被高估、口径过宽"，**严禁当既成事实复用**。*

12.1 引入：为什么市场数字必须"并列"而非"取一个值"

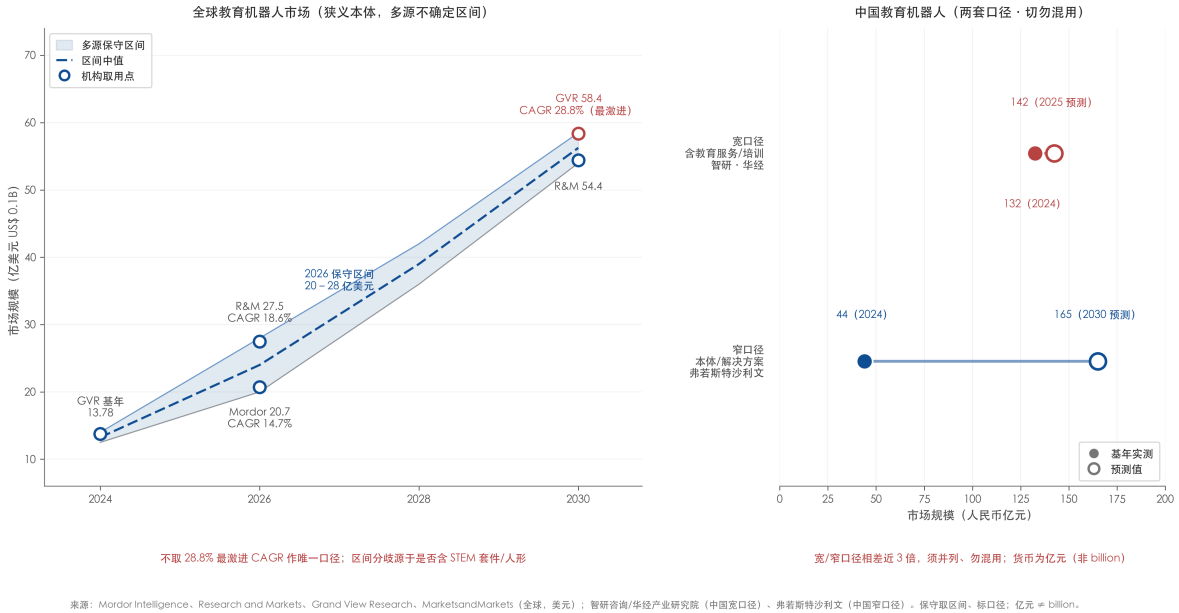
教育机器人的市场规模，是本蓝皮书最容易被误用的一类数字，原因有三。其一，不同机构对"教育机器人"的口径定义差异极大——是否纳入 STEM / 编程套件、是否纳入人形教学机器人、是否纳入培训服务与消费玩具，会让同一年份的市场规模相差数倍。其二，多数报告以预测形式发布，而预测的 CAGR 差异（从 14.67% 到 28.8%）会在几年内放大为巨大的规模分歧。其三，中文与英文来源、宽口径与窄口径并存，极易被无意中混用、拼接，制造出"看似精确实则失真"的数字。

本章的方法论立场因此明确：**对冲突口径并列呈现、解释差异、取保守区间，不取最激进的单一值**。这一立场本身正是 2026 版相对前作的方法论亮点，其反面教材恰是 2019 版那个"841 亿美元"的预测（§12.5）。

下文依次处理：全球市场（§12.2）、中国双口径（§12.3）、区域与细分形态的冲突（§12.4，含人形大盘背景）、历史预测回望（§12.5）。

12.2 全球教育机器人市场（狭义本体，多源区间）

将主要机构的口径并列如下（）：



来源：Mordor Intelligence、Research and Markets、Grand View Research、MarketsandMarkets（全球，美元）；智研咨询/华经产业研究院（中国宽口径）、弗若斯特沙利文（中国窄口径）。保守取区间、标口径；亿元 ≠ billion。

图 15. 全球与中国教育机器人市场规模（多源并列）。全球 2026 约 20–28 亿美元、2030 约 55–58 亿、CAGR 约 15%–29%（不取 28.8% 单一激进值）；中国宽口径 132 亿 vs 窄口径 44 亿元（切勿混用）。来源：Mordor、Research and Markets、GVR、MnM；智研/华经、弗若斯特沙利文。

机构	2026 规模	2030／终期规模	CAGR	口径要点
Mordor Intelligence	约 20.7 亿美元	2031 约 41.1 亿美元	14.67%	2025 18.1 亿起算，2026-06 发布（[160]）

Research and Markets	约 27.5 亿美元	2030 约 54.4 亿美元	18.6%	结构近 GVR（16）
Grand View Research	—（2024 基年 13.78 亿）	2030 约 58.4 亿美元	28.8%（最激进）	报告页 403，由 press-release + PR Newswire 三方交叉（15、217、218）
MarketsandMarkets	—（2022 14 亿→2027 32 亿）	—	17.3%	含 Service + Industrial（219、220）
百谏方略（DIResearch）	—（人民币口径）	2032 约 368.3 亿元	13.80%	全球人民币口径、单一机构（221）
MarketResearch.Biz（中文转引）	—（2024 约 24 亿）	2030 约 58 亿美元	26.44%	单一中文转引，审慎（222）

保守取用结论（全球）：综合上表，本蓝皮书正文统一采用区间表述——

> *全球教育机器人市场（狭义本体口径）2026 年约为 **20–28 亿美元**，2030 年前后约为 **55–58 亿美元**，CAGR 约 **15%–29%**。*

区间的下沿（Mordor 20.7 亿 / 14.67%）与上沿（GVR 58.4 亿 / 28.8%）之间的分歧，**主要源于是否纳入 STEM／编程套件与人形教学机器人**，以及基年与预测方法的差异。逐机构拆解分歧来源，便能说明"为何并列而非取一值"是唯一审慎做法：Mordor 自 2025 年 18.1 亿美元起算、CAGR 14.67%，给出 2031 年约 41.1 亿美元的偏保守路径（160）；Research and Markets 以 18.6% 增速给出 2030 年约 54.4 亿美元，结构接近 GVR（16）；MarketsandMarkets 纳入服务（Service）与工业（Industrial）口径，给出 2022 年 14 亿→2027 年 32 亿美元、CAGR 17.3% 的更宽路径（219）；百谏方略（DIResearch）则以人民币口径预测 2032 年约 368.3 亿元（单一机构，221）。

同一"全球教育机器人"标签下，基年、增速、币种与涵盖范围两两不同，任何把它们直接相加或择一为定论的做法，都会制造"看似精确实则失真"的数字。

本蓝皮书不采纳 28.8% 这一最激进 CAGR 作为唯一口径，亦不将任一机构的单点预测当作既成事实；GVR 的 58.4 亿美元仅作为区间上沿，且其报告正文页一度返回 403，相关数字由其新闻稿与第三方通稿交叉确认（[217]、[218]）。MarketResearch.Biz 的 58 亿美元系单一中文转引，仅作旁证（[222]）。一个量级感须强调：即便取上沿，全球狭义教育机器人本体市场到 2030 年也不足 60 亿美元。与人形大盘（§12.4，2030 年数百亿美元量级）相比，这恰恰印证了"教育是具身智能的次级场景"这一全书判断；把教育机器人市场误读为与人形大盘同量级，是另一种常见的口径混淆。

12.3 中国市场：两套口径并列，切勿混用

中国教育机器人市场存在两套**相差近 3 倍的口径，二者必须同时给出并解释，绝不可混用或拼接**：

口径	**2024** 规模	后续	机构	涵盖范围
宽口径	约 132.4 亿元	2025 预计约 142.4 亿元	智研咨询、华经产业研究院	含机器人教育服务 / 培训等（[223]、[224]）
窄口径	约 44 亿元	2030 约 165 亿元	弗若斯特沙利文（前瞻引述）	本体 / 解决方案（[159]）

两套口径的差异**不是数据错误，而是定义不同**：宽口径把"机器人教育服务、培训机构营收"等纳入市场盘子，规模因此显著更大（智研口径下，中国市场 2015 年 3.8 亿元、2020 年 92.6 亿

元、2024 年约 132.4 亿元，[223]）；窄口径只计教育机器人本体与解决方案，规模约为宽口径的三分之一。

保守取用（中国）：正文同时呈现两套口径并显式解释差异。若需要一个可比的保守锚点，建议采用窄口径的 **2030 年约 165 亿元**（弗若斯特沙利文，[159]），因其口径（本体 / 解决方案）与全球狭义本体口径更可比。任何把"宽口径 132 亿元"与"窄口径 44 亿元"直接对比增速、或与全球本体口径并列计算的做法，都属口径混用，本蓝皮书一律回避。

12.4 区域、产品形态与学段：结论相反的冲突须标注

即便在同一"全球本体"盘子内，不同机构对**结构性占比**的判断也存在直接冲突，须并列标注（不可择一为定论）：

- **区域分布**：GVR 称北美 2024 年占 35.6%（[15]）；Mordor 称亚太占 34.40%、为最大区域，北美 28%、欧洲 24%（[160]）。**可安全采用的定性结论**是"亚太与北美双核、亚太增速更快"；具体谁是第一大区域，因口径不同而结论不一，须并列。 - **产品形态（结论相反）**：GVR 称非人形主导（非人形约 9.32 亿美元，[15]）；Mordor 称人形占 **49.13%**（[160]）。这是一对**结论相反**的判断，源于对"教育机器人"是否以编程套件还是以人形教学机为主体的口径分歧，**必须标注冲突，不可择一**。 - **最大学段（结论相反）**：GVR 称中学（secondary）占 39.3%（[15]）；Mordor 称小学（primary）占 36.81%（[160]）。同样并列处理。

人形机器人大盘（非教育 TAM，仅作背景）。为给"教育是具身智能的次级场景"提供尺度感，此处列出人形大盘，但须严格声明：**这不是教育机器人 TAM，教育仅是人形的下游场景之一**。

- 出货（2025 实测）：全球人形出货约 **1.3 万台**（Omdia，[225]、[226]）vs 约 **1.8 万台**（IDC，同比约 +508%，[227]）——**并列取区间"1.3 万–1.8 万台"**，中国制造约占 87%（出货厂商分解归第 13

章）。 - 出货（2026 预测，口径跳变大须并列）：Morgan Stanley 于 2026-06 把当年全球人形出货预测**上调至约 5 万台**（自前值约 2.8 万台翻倍；该机构 1 月预测曾仅约 1.4 万台，[228]）——半年内同一机构口径从 1.4 万→2.8 万→5 万台连续跳升，是典型的"机构预测、口径跳变大"，**正文仅作趋势提示，不取单一点值为定论**；同机构另上调中国 2030 出货预测至约 44.6 万台、中国人形市场 2026 约 20 亿→2030 约 150 亿美元（[228]）。 - 市场规模：全球人形市场 2025 年约 30 亿美元 → 2030 年约 280 亿美元（Morgan Stanley），Goldman Sachs 估 2035 年约 380 亿美元（[229]、[230]）——单机构预测，标注口径。 - 超长期：Morgan Stanley 称 2050 年全球人形市场或达 **5 万亿美元**（[231]）——**此数仅作脚注，不作正文主张**。

四足机器人大盘（非教育 TAM，仅作背景）。四足是当前具身智能进入教育最现实的平台（职教 / 高校实训，详见第 9 章），但其市场规模同样**不是教育 TAM**：2025 年全球四足机器人市场约 **5.41 亿美元、销量约 1.85 万台**（均价约 3.2 万美元 / 台）→ 2034 年约 17.78 亿美元，CAGR 约 18.7%（[141]，单一机构口径）；其中宇树四足累计销量 >3 万台、为全球第一（招股书口径，[107]）。两点口径背景须补上，以避免外推。第一，中国机器狗销量增长迅猛（2024 年前三季度约 2.33 万台、同比约 +72.22%，另有机构预测 2031 年约 39.48 万台），但 39.48 万台为**单一机构远期预测**，须标"口径差异大"，不可当既成事实。第二，四足之所以是"能力—部署落差的少数闭合点"，关键在于其**教育进入价格门槛低**——宇树 Go2 Air 约 1,600 美元、Go2 EDU 标准版约 5,990 美元、云深处绝影 Lite3 教育科研版约 2,890 美元，较人形 G1 EDU 的约 4.39 万–7.39 万美元低一个量级，这正是四足已实际进入中国职教/高校课堂、而人形仍多停留在科研平台的经济根源（详见第 9 章 HZPT 案例）。但价格亲民不等于市场规模大：四足大盘 5.41 亿美元的量级，仍远小于教育机器人狭义本体市场本身，更不能与人形大盘混为一谈。

灵巧手市场（人形上游新瓶颈，非教育 TAM）。作为人形操作核心瓶颈（结构定位见第 11 章），灵巧手市场口径分歧极大，须并列、审慎：全球多指灵巧手市场一种口径为 2024 约 **8.15**

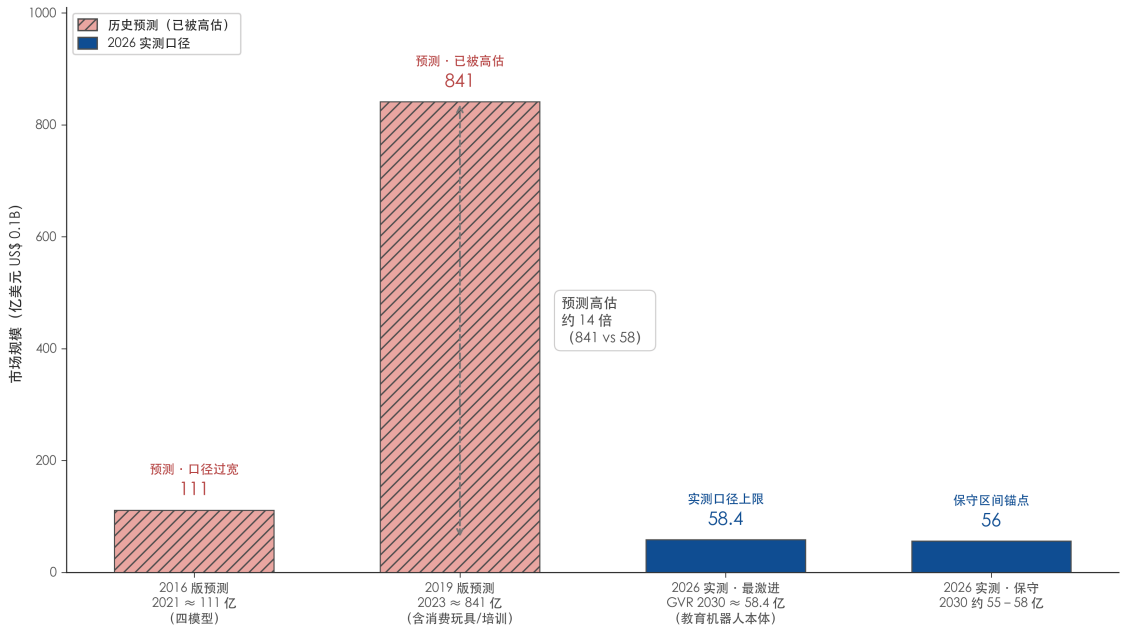
亿美元 → 2031 约 103 亿美元、CAGR 约 **40.4%**（Valuates，[232]）；另一口径 2025 约 **14.8 亿美元**（360iResearch，[233]）。**两套基准相差近一倍，CAGR 40% 为单一机构激进口径，正文仅作"上游成本／能力曲线背景"使用，不作教育 TAM、亦不取激进 CAGR 为定论。** 灵巧手与教育的关系是**间接的、上游的**：它决定人形操作能力的上限与成本曲线，而中国厂商在触觉密度与价格上的快速突破（如灵心巧手 L20 约 6,666 元起、傲意 ROHand 约 8,888 元起，对 Shadow Hand 约 7.4 万美元形成约 1/20 量级降维）正从上游压低具身本体的能力获取成本，间接影响"高校实验室可负担"的最终价格；但其本身是科研/数据采集平台，**非中小学课堂教具**，亦非任何意义上的教育市场规模。

人形 2026 出货预测的"口径跳变"尤须警示。 同一家机构（Morgan Stanley）对 2026 年全球人形出货的预测，在半年内从 1 月的约 1.4 万台、跳至 2.8 万台、再上调至 6 月的约 5 万台（[228]）——连续翻倍式跳升本身就是"机构预测不确定性极高"的最直接证据。这类数字若被截取某一时点当作"事实"引用，极易误导；本蓝皮书一律只作趋势提示，不取单点为定论。市场规模同理：全球人形市场 2025 年约 30 亿美元→2030 年约 280 亿美元（Morgan Stanley）、2035 年约 380 亿美元（Goldman Sachs，[229]）均为单机构预测；2050 年 5 万亿美元的超长期数字仅作脚注，绝不进入正文主张。

由此可勾勒一个**分层 TAM 的保守图景**：最内层是本章核算对象——全球狭义教育机器人本体市场（2026 约 20–28 亿美元、2030 前后约 55–58 亿美元）；其外是中国市场的宽/窄双口径（132 亿元 / 44 亿元，须并列）；再外是作为定位背景的人形/四足/灵巧手大盘（均为非教育 TAM、机构预测、口径差异大）。三层之间**不可跨层相加或拼接**，否则即落入口径混用。须重申：人形与四足、灵巧手大盘的 2026 / 2030 预测一律标注"机构预测、口径差异大（人形 2026 出货口径尤其跳变剧烈）"；它们为教育机器人提供的是**定位背景**——人形成本下行、四足平台可及、灵巧手上游曲线、供应链格局——而非教育市场规模本身。

12.5 历史预测的诚实回望：从"841 亿美元"到"≤58 亿美元"

把对前作市场预测的回望作为一项**方法论自检**纳入正文，是 2026 版相对 2016 / 2019 版的关键改进之一（）。



来源：SLIBNU 教育机器人白皮书 2016 表5-1（111 亿）、2019 表6-1（841 亿，四模型含消费玩具/培训）；Grand View Research 2030（58.4 亿，本体口径）。841 亿属课题组预测且口径过宽、明显高估，严禁当既成事实复用。

图 16. 历史预测 vs 实测对照（诚实回望）。2016 版预测 2021 ≈111 亿、2019 版预测 2023 ≈841 亿（四模型口径过宽、已被高估）vs 2026 实测最激进 GVR 2030 仅 58.4 亿。来源：liu2016erwp、slibnu2019erwp、gvr-edurobot-market-2030。

两版历史预测：

- **2016 版预测**：至 2021 年，全球教育机器人市场约 **111 亿美元**（终端消费 / 教育机构 / 教育套件 / STEAM 玩具四模型加总，[1]；科学网"未来 5 年或达百亿美元"报道佐证，[234]）。 - **2019 版预测**：至 2023 年，全球约 **841 亿美元**（同四模型，含大量消费玩具与培训服务，[2]；新浪"六大核心观点"报道佐证，[235]）。

与 2026 实测对照：即便采用本章 §12.2 中**最激进的** GVR 口径，全球教育机器人市场到 2030 年也仅约 **58.4 亿美元**（[15]）。换言之，2019 版"2023 年 841 亿美元"的预测，比 2026 年最乐观口径下的 2030 年规模还高出一个数量级有余。

口径诊断与取用结论：841 亿美元**属课题组的预测值，且口径过宽**——它把消费玩具与培训服务大量混入"教育机器人"盘子，因而**明显高估**了狭义教育机器人本体市场。这一偏差给出三条撰稿纪律。

1. **显式标注**："841 亿 / 111 亿"一律标"预测值、已被高估、口径过宽"，**严禁当既成事实复用**；2. **口径分离**：必须区分"狭义教育机器人本体市场"（本章 §12.2 / §12.3 的核算对象）与"泛机器人教育 / STEAM 消费市场"（口径更宽、易混入培训与玩具）； 3. **方法论亮点**：把这一口径教训，转化为 2026 版"多源并列、保守区间、口径分离"的统计纪律——这与第 11 章 §11.6 所言"旧四模型口径已不能容纳 AI 教育智能体订阅 / MaaS / 具身机器人即服务等新业态"形成呼应：历史高估的部分根源，正是旧口径既混入了不该计的消费品，又无法刻画新出现的服务化业态。

12.6 本章小结

本章给出了教育机器人市场的总账，并恪守口径铁律：全球狭义本体市场 2026 年约 **20–28 亿美元**、2030 年前后约 **55–58 亿美元**、CAGR 约 **15%–29%**（区间取用，不取 28.8% 最激进值）；中国市场**宽口径约 132 亿元、窄口径约 44 亿元同时给出并解释，相差近 3 倍、切勿混用**，窄口径 2030 年约 165 亿元可作保守锚点；区域、产品形态、最大学段在不同机构间结论相反，已并列标注冲突；人形 / 四足 / 灵巧手大盘均为非教育 TAM、仅作背景——人形 2026 出货 Morgan Stanley 上调至约 **5 万台**（标"机构预测、口径跳变大"）、四足 2025 约 1.85 万台 / 5.41 亿美元、灵巧手 8.15 亿 vs 14.8 亿美元两口径并列（CAGR 40% 激进单源审慎），5 万亿 / 2050 仅作脚注；2019 版"841 亿美元"标注为已被高估的预测值并做了诚实回望。

一点须审慎重申：本章所有规模均为区间或并列口径，任何把它们压缩为单一精确值、或跨口径拼接的做法，都背离本蓝皮书的统计纪律。市场大盘回答了"蛋糕有多大"，而"谁在分蛋糕、各家财务与出货几何、资本为何冰火两重天"则是竞争格局的问题。第 13 章转入竞争格局：集中处理代表厂商的 FY2025 财务（**严守货币勘误：优必选 2025 总营收 20.01 亿元、AI 教育 4.13 亿元，宇树 2025 营收 17.08 亿元，科大讯飞智慧教育 89.67 亿元，均为人民币"亿元"而非 billion**）、2025 人形出货排名、能力×厂商矩阵，以及"传统教育机器人融资遇冷与老牌厂商破产 vs 具身 / 人形资本狂热"的冰火对照。

第 13 章　竞争格局：代表厂商、出货排名与资本分化

*本章定位与去重约定：本章是全书厂商财务、出货排名与资本面的总账。厂商的教育部署状态与案例细节归第 9 章（本章不重复部署叙事，只讲财务／出货）；人形本体硬件参数归第 6 章；市场大盘 TAM 归第 12 章（本章讲单厂财务，不重算大盘）；产品参数矩阵见附录 E。 > > **货币口径铁律（本章最高优先级）：所有中国企业财报数字一律为人民币"亿元"，绝非"billion"。优必选 FY2025 总营收为 20.01 亿元（约 2.8 亿美元）、AI 教育 4.13 亿元、人形 8.21 亿元；宇树 2025 营收为 17.08 亿元；科大讯飞智慧教育 2025 营收 89.67 亿元——全部为人民币"亿元"，均非 billion 美元。** 海外检索引擎反复把"X 亿元"误读为"X billion 美元"（如把 4.13 亿元读成 4.13 billion、把 17 亿元读成 17 billion），本章对每一处财报数字均回原文核对。1 亿元约合 0.14 亿美元（约 0.0014 billion），绝非 1 billion。 > > **其他保守提示：优必选教育业务须用 FY2025 审计口径 4.13 亿元（+13.7%），勿用早期搜索回流的 2024 年旧值 3.63 亿元；出货数据存在 Omdia 口径与招股书／年报口径的差异，须并列（宇树 Omdia 约 4,200 台／全球第二 vs 招股书 >5,500 台／全球第一）；傅利叶融资额为媒体口径，标 PENDING；5 万亿／2050 不作正文主张；须始终强调"教育是具身智能的下游应用而非主战场"。***

13.1 引入：在"非教育主战场"上读厂商

刻画教育机器人的竞争格局，有一个前提必须先行声明：**教育并不是当前具身智能／人形机器人厂商的主战场**。头部厂商（优必选、宇树、智元）的营收主要来自科研、工业、商用与四足等场景，教育（尤其中小学）只是其下游应用之一；而国内规模真正最大的 AI 教育营收，反而来自屏幕端软硬一体的科大讯飞智慧教育（2025 营收 89.67 亿元），其量级远超任何本体机器人

厂商的教育分部。因此本章读厂商财务时，同时给出"总营收"与"教育相关营收"，并区分"本体厂商"与"屏幕端 AI 教育厂商"，以免把厂商的整体体量误读为教育市场的体量——这与第 12 章"教育是人形次级场景"的判断一脉相承。

本章财务一律采用 **FY2025 最新审计年报／招股书口径**（替换底座中的 2024 旧值）。先核对代表厂商财务（§13.2，货币勘误是重中之重），再呈现 2025 人形出货排名（§13.3，Omdia 口径与年报 / 招股书口径并列），随后给出能力×厂商矩阵（§13.4）、资本面"冰火两重天"对照（§13.5）与存量厂商可持续性风险（§13.6，Aldebaran 破产），最后处理大额订单与估值（§13.7）并小结导读。

13.2 代表厂商财务

下表为本章核心，每一处数字均已回原文核对货币单位，**"亿元"非"billion"**：

企业	关键财务（人民币"亿元"，已核对）	教育相关	来源
优必选（09880.HK）	FY2025 总营收 20.01 亿元（同比 +53.3%）；毛利率 37.7%；净亏损 7.9 亿元	AI 教育业务 4.13 亿元（+13.7%）（替换 2024 旧值 3.63 亿元）	[166]、[168]、[163]
优必选（人形分部）	2025 人形营收 8.21 亿元（同比 +2203.7%、占总营收 41.1%）、累计出货 1,079 台、人形毛利率 54.6%	含科研教育版天工行者	[166]、[236]
宇树 Unitree	2025 营收 17.08 亿元	人形约 3/4（招股书	[107]、[169]、[170]

	（+335.36%）、扣非净利 6 亿元（+674.29%）、主营毛利率 60.27%；2024 营收 3.92 亿元；估值约 420 亿元、科创板 IPO 拟募资 42.02 亿元	74%）卖给高校做科研、仅约 9% 进入实际工业应用	
科大讯飞（002230）	2025 智慧教育营收 89.67 亿元（+24.04%）、占总营收约 33%、为公司第一大业务板块；C 端 AI 学习机 2025 上半年收入 +104%	智慧教育 = 国内规模最大的 AI 教育营收底座（屏幕端软硬一体，非人形本体）	[237]、[238]
智元 Agibot	2024-12 实现通用机器人商业化量产（行业首家）；2025 出货 5,168 台	教育为"百城万校"入门级计划（计划阶段）	[213]、[226]
傅利叶 Fourier	2024 完成多轮融资，红杉中国等参与，总额媒体口径预计 >10 亿元（PENDING，融资额审慎）	康复 + 科研开发平台切入，教育为开发者 / 高校平台	[143]

逐项勘误说明：

- **优必选 FY2025 总营收 20.01 亿元 ≠ 20 billion**。优必选 2023-12-29 在港交所上市，被称"人形机器人第一股"；其 **FY2025 全年总营收为 20.01 亿元人民币（约合 2.8 亿美元），同比增长 53.3%**，毛利率 37.7%、净亏损 7.9 亿元（[166]、[168] 原文核对）。其中 **AI 教育业务 4.13 亿元、同比 +13.7%**（[163]、[166]）——此处须特别勘误：**应取审计年报口径 4.13 亿元，勿用早期搜索回流的 2024 年旧值 3.63 亿元（+4.6%，为旧年口径）**；4.13 亿元 ≈ US$0.57 亿，**绝非 4.13 billion**。这一比例（教育约占总营收 20.6%）说明：即便对优必选这样深耕教育的厂商，教育也只占其总营收约五分之一，全尺寸人形（8.21 亿元、占 41.1%）已超过教育成为更大的单一分部。 - **优必选 2025 人形 8.21 亿元 ≠ 82 亿美元**。海外曾误读为 82 亿美元；正确值为 8.21 亿元人民币，占总营收 41.1%、同比 +2203.7%，累计出货 1,079 台、人形毛利率 54.6%（[166]、[236]）。 - **宇树 17.08 亿元 ≠ 17 billion**。宇树正处科创板 IPO 进程（拟募资 42.02 亿元）；**2025 营收约 17.08 亿元、同比 +335.36%**，扣非净利 6 亿元（+674.29%）、主营毛利率 60.27%（2024 营收 3.92 亿元；[107]、[169]、[170]）。海外检索曾误读为"17 billion"，本章予以否定。招股书口径还明确 **人形约 3/4（74%）卖给高校做科研、仅约 9% 进入实际工业应用**（与底座"73.6% 来自科研教育"〔2025.1–9 口径〕并列，统一表述为"约 3/4 来自科研教育"，[107]）——这是"可进教育的人形主要是高校 / 科研平台、而非中小学课堂"判断（第 9 章）最有力的财务佐证。 - **科大讯飞智慧教育 89.67 亿元 ≠ 89.67 billion（新增）**。科大讯飞 2025 智慧教育营收 **89.67 亿元、同比 +24.04%**，占公司总营收约 33%、为第一大业务板块（[237]、[238]）；89.67 亿元 ≈ US$12.5 亿，**仍是"亿元"非 billion**。须注意其口径：**这是屏幕端软硬一体的 AI 教育营收**（学习机、智慧课堂解决方案），并非人形 / 本体机器人——它是国内规模最大的 AI 教育营收底座，量级远超任何本体厂商的教育分部（优必选 AI 教育 4.13 亿元仅为其约 1/22），恰说明"规模化进课堂的仍是屏幕端软件智能体而非机器人本体"这一全书主轴。 - **傅利叶融资额标 PENDING**。傅利叶 >10 亿元融资为媒体聚合口径、单源，金额需二次核验，本章标注 **PENDING-secondary**，不作既成事实引用（[143]）。

13.3 2025 人形出货排名（Omdia 口径，与年报／招股书并列）

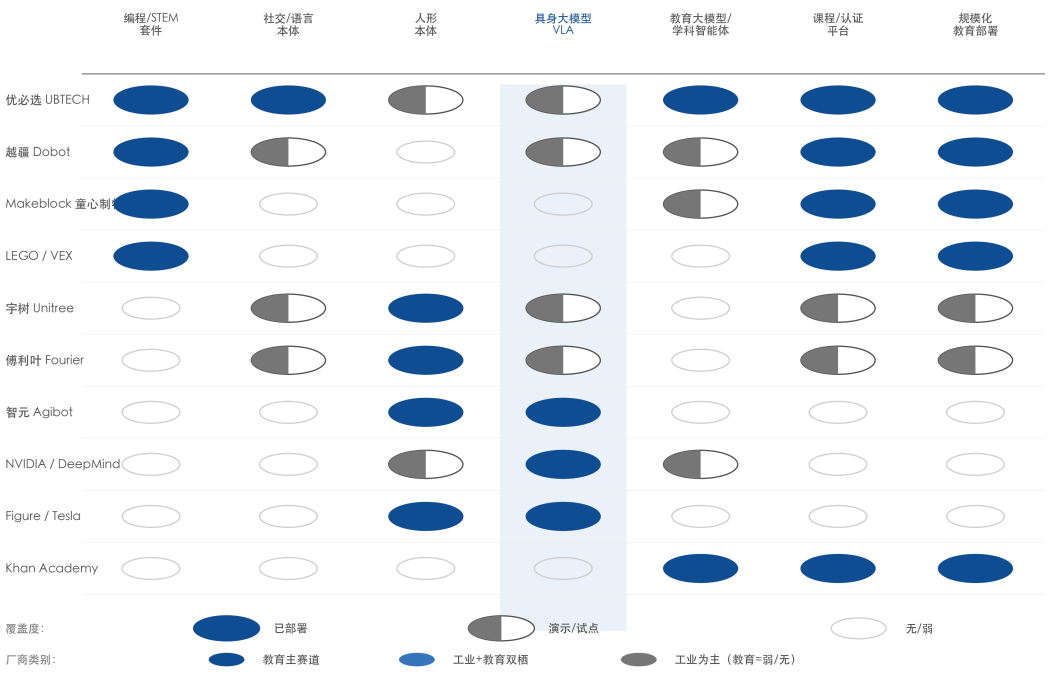
2025 年全球人形机器人出货排名存在**两套结论相反的口径**——Omdia 第三方口径与厂商招股书 / 年报口径，须并列呈现：

厂商	**Omdia** 口径	厂商口径（年报／招股书）	来源
智元 AgiBot	5,168 台（第一，占约 39%）	同 Omdia	[226]、[225]
宇树 Unitree	约 4,200 台（全球第二）	招股书 >5,500 台、全球第一、份额 32.4%（G1）	[226]、[107]
优必选 UBTECH	约 1,000 台	年报 1,079 台	[226]、[236]
美国 Tesla / Figure / Agility	各约 150 台	—	[226]

口径差异须并列、不强行收敛：宇树出货存在一对**排名都被改写的口径冲突**——Omdia 口径约 4,200 台、列全球第二，招股书口径则 >5,500 台、列全球第一（份额 32.4%）；优必选亦有 Omdia 1,000 台与年报 1,079 台之别。二者**并列呈现**；若需统一口径以便横向比较，建议以 Omdia 第三方口径为主、厂商招股书口径为旁证，并显式标注"谁是出货第一因口径而异"。结构性事实方面，**中国制造约占全球人形出货的 87%、前三厂商合计约占 78%**（[225]、[226]），中国在人形整机出货上已形成主导地位。须再次声明：这是人形大盘的出货格局，且宇树这 >5,500 台人形约 3/4 流向高校科研平台，教育只是其中很小一块下游。

13.4 能力×厂商矩阵：教育进入度对照

把主要厂商沿"核心能力维度"与"教育进入度"两轴对照，可得一张能力×厂商矩阵（）。本节只作定性对照，部署细节见第 9 章、产品参数见附录 E：



来源：具身智能全景研究（AIInsight 2026）、Omdia 人形出货盘点（TechNode 2025）、宇树招股书（2026）、优必选年报（2024）。覆盖度为定性研判；蓝列＝新增 VLA 能力。审慎：工业人形厂商「规模化教育部署」普遍为弱/无。

图 17. 能力 × 厂商矩阵（核心能力维度 × 主要厂商覆盖度：已部署/演示/无）。蓝列＝新增 VLA 能力；工业人形厂商「规模化教育部署」普遍弱/无。来源：aiinsight-embodied-landscape-2026、technode-agibot-humanoid-2025、eeo-unitree-prospectus-2026、sina-ubtech-2024-report。

- **优必选**：能力覆盖最广的"教育原生"厂商——从小型编程机器人（Alpha Mini / 悟空）到科研教育版人形（天工行者），并以星智 PaaS 提供课程与认证；**中小学规模化的主力仍是小型编程机器人**（FY2025 AI 教育 4.13 亿元、覆盖国内近 2000 所公立中小学，厂商口径），全尺寸人形进课堂尚属早期（[163]、[213]）。 - **宇树**：以高性价比人形（G1 EDU）切入**高校／科研教学平台**，是"可负担人形"的代表；其教育进入度集中在高校与科研（人形约 3/4 卖给高校科研），而非中小学课堂（[107]）。 - **智元 AgiBot**：出货量第一，但以行业 / 商用为主体；教育为"百城万校"入门

级计划，处计划 / 早期阶段（[213]、[226]）。 - **傅利叶**：以康复与科研开发平台切入，教育进入度集中在开发者 / 高校平台（[143]）。

矩阵给出的总判断：能力维度上，头部厂商的人形能力快速逼近；**教育进入度**维度上则明显分层——优必选在中小学编程赛道规模化、宇树与傅利叶在高校 / 科研平台落地、智元在教育侧仍属计划阶段；**全尺寸人形规模进入中小学课堂，迄今仍属概念／早期**。它与第 6 章"中小学规模化仍以小型编程 / 社交本体为主"的硬件判断、第 9 章"可进教育的人形主要是高校科研平台"的部署判断完全一致。

13.5 资本面分化：传统教育机器人遇冷，具身／人形过热

2024—2026 年的资本面，呈现一组极具叙事张力的对照（）：

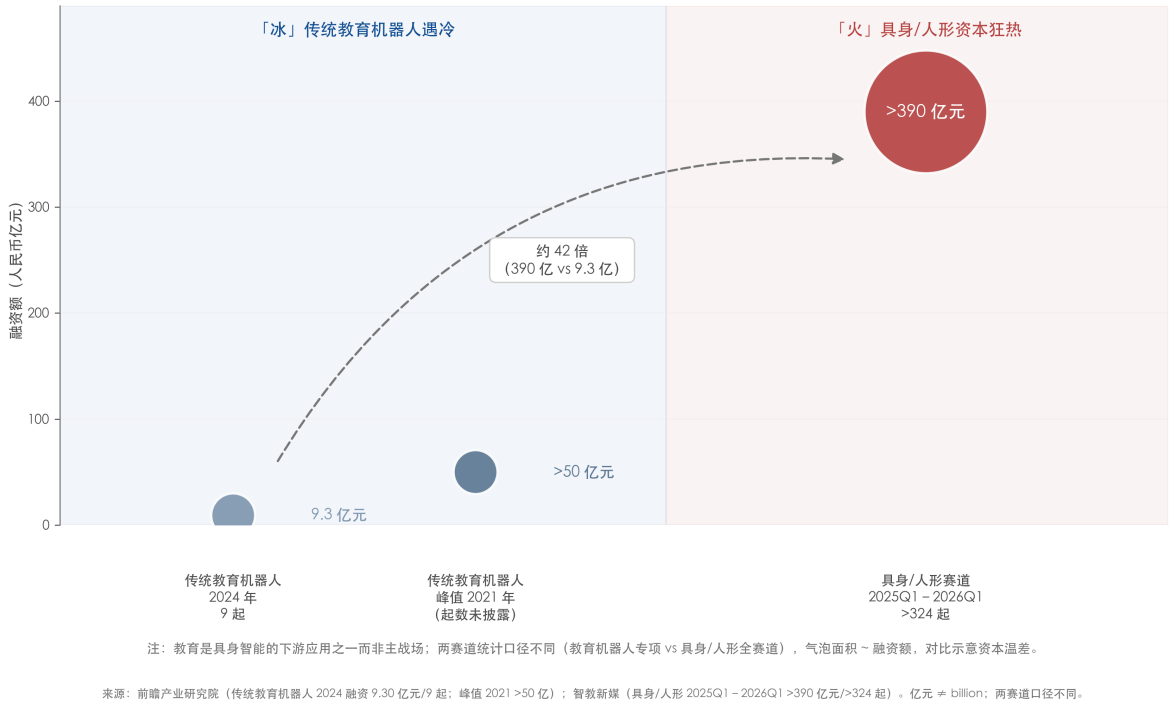


图 18. 资本「冰火两重天」（传统教育机器人 2024 仅 9.30 亿元/9 起、峰值 2021 >50 亿 vs 具身/人形 2025Q1–2026Q1 >390 亿元/>324 起）。两赛道统计口径不同，对比示意资本温差。来源：qianzhan-china-edurobot-financing-2025、iedumedia-embodied-2026-report。

赛道	融资规模	起数	口径	来源
传统"教育机器人"	2024 年仅约 9.30 亿元（峰值 2021 年 >50 亿元）	9 起	轮次集中 A 轮及以前	[239]
具身智能 / 人形（教育是其下游）	2025Q1–2026Q1 国内 >390 亿元	>324 起	智教新媒拆解	[240]

这组对照的含义清晰：**传统教育机器人赛道融资遇冷**——2024 年全年仅 9.30 亿元、9 起，轮次集中于 A 轮及更早，较 2021 年峰值（>50 亿元）大幅回落（[239]）；**具身智能／人形赛道则资本狂热**——2025Q1 至 2026Q1 国内融资逾 324 起、逾 390 亿元（[240]）。两者相差一个数量级以上。

这组"冰火两重天"须冷静解读：具身 / 人形赛道的资本狂热**主要并非冲着教育而来**——教育只是具身智能的下游应用之一，资本追逐的是工业、商用、通用具身的大叙事。"具身热"因此未必能直接、等比例地传导为"教育机器人热"；传统教育机器人融资遇冷，恰恰提示纯教育定位的本体厂商正面临估值与商业模式的重估。本蓝皮书因此反复强调：**教育是具身智能的下游而非主战场**——这是读懂这组资本对照的关键。

13.6 存量厂商可持续性风险：NAO/Pepper 母公司 Aldebaran 破产

资本"冰火两重天"还有一个常被忽略的另一面：**老牌教育社交机器人厂商的可持续性正在恶化**。最具标志性的事件，是 NAO 与 Pepper 的母公司 **Aldebaran** 于 **2025-02** 进入破产清算（累计债务约 1.5 亿欧元），其 NAO/Pepper 的知识产权与资产经拍卖被深圳 **迈瑞微视（Maxvision）**收购，并设立法国研发 / 服务分支（[184]、[185]）。

事件的产业含义不容低估。NAO/Pepper 是过去十余年全球教育与特教社交机器人的事实标准平台（历史累计约 20,000 台 NAO + 17,000 台 Pepper、覆盖约 70 国，教育市场累计部署逾 17,000 台）；母公司清算意味着**既存部署机群面临服务、备件与软件更新的可持续性风险**，尽管主代理商承诺维持现有机群服务（[184]）。结合传统教育机器人赛道融资遇冷（§13.5），它共同指向一个判断：**纯教育定位、依赖前大模型社交本体的商业模式正面临系统性重估**，资本与产业重心已转向具身 / 人形大叙事，而教育社交机器人的"标准平台"本身也被中国买家纳入囊中——这与人形整机出货中国主导（§13.3）形成同一方向的产业迁移。

须保守标注：20,000 / 17,000 台为厂商历史累计销量（非活跃在用数）；迈瑞微视收购后的产品路线尚待观察。

13.7 大额订单与估值

资本与订单层面的几个标志性事件（媒体口径）：

- **大额人形订单**：智元与宇树中标 1.24 亿元人形机器人大单（[241]）；在 2025 年机器人年度订单排行中，优必选以近 14 亿元订单登顶（[242]）。 - **估值**：宇树 IPO 进程中估值约 420 亿元、科创板拟募资 42.02 亿元（[107]、[170]）。

须保守标注：上述订单与估值为媒体口径，反映市场热度与头部集中趋势，但订单≠确认收入、估值≠已实现价值；引用时应保留其口径属性。至于人形大盘的超长期预测（如 Morgan Stanley 称 2050 年全球或达 5 万亿美元，[231]），**本章不作正文主张，仅作脚注提示其口径为超长期、机构单一。**

13.8 本章小结

本章核算了教育机器人的竞争格局，并严守货币口径铁律：**优必选 FY2025 总营收 20.01 亿元（+53.3%）、AI 教育 4.13 亿元（+13.7%，替换旧值 3.63 亿元）、人形 8.21 亿元（占 41.1%）／出货 1,079 台、净亏 7.9 亿元；宇树 2025 营收 17.08 亿元（+335.36%）、人形 >5,500 台（招股书全球第一、份额 32.4%，与 Omdia 约 4,200 台／全球第二并列）、约 3/4 卖给高校科研；科大讯飞 2025 智慧教育 89.67 亿元（+24.04%）为国内最大 AI 教育营收底座——全部为人民币"亿元"，绝非 billion**。2025 人形出货因口径不同排名相反（Omdia 智元 5,168 台居首、宇树第二；招股书宇树 >5,500 台全球第一），已并列标注；中国制造约占 87%、前三约占 78%。能力×厂商矩阵显示教育进入度明显分层、全尺寸人形进中小学仍属早期。资本面"冰火两重天"——传统教育机器人 2024 年仅融资 9.30 亿元、且 NAO/Pepper 母公司 Aldebaran 2025-02 破产被迈瑞微视收购，而具身 / 人形赛道 2025Q1–2026Q1 逾 390 亿元——但须冷静认识到，具身热主要不为教育而来，**教育是具身智能的下游而非主战场**。

至此，第四部分（产业链重构、市场 TAM、竞争格局）完成。一点须审慎重申：本章财务为厂商口径、出货存在口径差异、傅利叶融资额标 PENDING、订单与估值为媒体口径——它们共同勾勒出一个"能力快速集中、资本高度活跃，但教育落地仍审慎分层"的产业现实。承接产业部分，第五部分转入**治理与未来**：第 14 章把安全、伦理与治理升格为一级框架，逐条核对五条政策红线与儿童-AI 交互伦理；第 15 章收束全书三条主线，给出能力—部署落差的闭合路线图与政策建议——其中"市场口径分离"正是本部分第 12 章贡献的方法论亮点。

第五篇　治理与前瞻

安全、伦理与监管红线 · 能力—部署落差的闭合路线图

本篇导读　收束于边界与方向：先厘清安全、伦理与五条监管红线（尤重儿童—AI 交互的硬约束），再给出能力—部署落差的闭合路线图与面向四类主体的政策议程。

第 14 章　安全、伦理与治理：五条监管红线与儿童—AI 硬约束

治理已不再是蓝皮书的展望附注，而是 2026 年教育机器人能否进入课堂的前置条件。当教育机器人从"工具"演化为"拟人陪伴"，当大模型把"幻觉"带进课堂，当摄像头把儿童的表情转写为"专注度分数"，安全与伦理必须升格为与定义、分类并列的一级框架。本章逐条核校 2025—2026 年密集落地的硬约束——五条监管红线、儿童数据隐私底座、儿童-AI 交互伦理与国际治理框架——所有条款、文号与生效日期均以官方原文为准；对尚未最终通过的提案（如 EU Digital Omnibus），一律按"提案/临时协议，未最终生效"处理，不把推迟当作既成事实。

14.1　为什么治理必须升格为一级框架

前大模型时代，教育机器人的伦理治理基本停留在产品设计原则层面——"应以社会伦理规范来设计教育机器人"是一句正确但缺乏约束力的展望。这一定位当时尚可接受：机器人的"智能"由工程师事先写好的规则与脚本决定，其行为边界可预测、可审查，风险主要集中在硬件安全与数据采集。

2026 年的语境已根本不同。黄荣怀、陈莺与 Ahmed Tlili（2024）在生成式人工智能背景下重新梳理教育机器人的典型应用场景，明确提出教育领域应遵循**鲁棒性、合法性、合规性与合乎伦理性**的"可信人工智能四准则"[9]。这一判断具有方法论意义：它不把治理当作技术成熟之后的补丁，而是确立为与"定义、分类、技术、产业"同一层级的框架要件。本蓝皮书继承并强化它——

在大模型与具身智能的新条件下，**未成年人数据保护、模型幻觉与学业误导、情感依赖、算力与公平、人机责任边界**五大风险域，应当作为一级框架被系统对待[947]。

为何必须升格？因为风险的性质变了。大语言模型作"大脑"带来的不再是"脚本走偏"，而是**生成式风险**：模型可能自信地编造错误知识（幻觉）、可能对儿童作出过度顺从的情感回应（依赖）、可能在采集语音与人脸时跨越法律边界（生物识别）。这些风险无法靠硬件检测排除，必须靠制度、设计与监管协同治理。这正是 2025—2026 年全球多个法域几乎同步收紧儿童-AI 交互规则的根本动因。本章先逐条核校这些硬约束（§14.2），再铺陈数据隐私底座（§14.3）、儿童-AI 交互伦理（§14.4）与国际治理框架（§14.5）、各地具身/人形产业扶持政策（§14.6），最后以韩国警示案例（§14.7）与分层合规启示（§14.8）收束。治理一级框架的结构总览见 。



图 20. 治理一级框架（可信 AI 四准则：鲁棒/合法/合规/合伦理 × 五大风险域：未成年人数据保护/模型幻觉与学业误导/情感依赖与拟人化/算力公平与可及性/人机责任边界）。来源：huang2024erscenarios、unesco2024aicompetency、oecd_aiprinciples2024。

14.2 五条政策红线：条款、文号与生效日期

2025—2026 年间，针对儿童-AI 交互的硬约束在多个法域密集落地。本节梳理对教育机器人最具直接约束力的五条红线，每条均标注发布机构、文号、关键条款与生效日期；五条红线的时间线与适用范围见 。须特别强调：本节是政策条款的"权威定细则"之处，所有日期与条款以官方原文为准，不作臆测。



图 19. 五条政策红线：时间线与适用范围（中国拟人化办法 2026-07-15、EU AI Act 5(1)(f) 2025-02-02、COPPA 2025、中国中小学生成式 AI 使用指南、加州 SB 243/纽约伴侣法）。来源：cac2026anthropomorphic、euaiact_article5、ftc_coppa2025、moe2025genaiguide、ca_companionchatbots2025。

红线一·中国《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》——全球首部"拟人化陪伴"专门规章。 该办法由国家互联网信息办公室、国家发展改革委、工业和信息化部、公安部、市场监管总局五部门联合公布，2026 年 2 月 2 日审议通过、**2026 年 4 月 10 日公布、2026 年 7 月 15 日施行**（截至 2026 年 6 月尚未生效，暂无执法案例）[12]。其对教育机器人最关键的条款是未成年人保

护：拟人化互动服务提供者**不得向未成年人提供"虚拟亲属、虚拟伴侣"等虚拟亲密关系服务**，向不满 14 周岁的未成年人提供其他拟人化服务须取得监护人同意；同时禁止"过度迎合用户、诱导情感依赖或者沉迷，损害用户真实人际关系"的活动，禁止通过情感操纵诱导用户作出不合理决策，禁止诱导未成年人模仿不安全行为、产生极端情绪或不良嗜好；提供者须履行用户干预义务，防范用户混淆 AI 与自然人 [1234]。这是全球首部直接针对"拟人化陪伴"的部门规章，对**陪伴型教育机器人冲击最大**——任何把产品定位为儿童"虚拟伙伴""AI 朋友"并诱导其建立情感依恋的设计，在中国市场将直接触线。

红线二·欧盟《AI 法案》Article 5(1)(f)——教育机构禁用情绪识别。 依据 Regulation (EU) 2024/1689，第 5 条第 1 款 (f) 项**禁止在工作场所和教育机构投放或使用推断自然人情绪的 AI 系统**，该禁止性条款**自 2025 年 2 月 2 日起适用** [3613]。立法理由是师生处于权力不对称的脆弱地位。这一条款直接覆盖带"专注度监测""情绪识别""注意力追踪"功能的课堂机器人与摄像头系统——在欧盟教育机构内，此类功能被完全禁止，而非仅作高风险管理。须与之并列的是 Annex III 第 3 点：用于入学/录取分配、学习成果评估、教育水平评估、考试违规监测的教育 AI 被列为**高风险**，须承担透明度、数据治理、人类监督与合格评定等义务 [36]。

红线三·美国 COPPA 2025 修订——生物识别纳入儿童 PII。 联邦贸易委员会（FTC）于 2025 年敲定《儿童在线隐私保护规则》（COPPA）修订，**自 2025 年 6 月 23 日生效，合规截止日为 2026 年 4 月 22 日** [14]。核心变化是把"个人信息"明确扩展至**生物识别标识符（声纹、面部特征等）**，并把儿童数据的默认同意机制从"opt-out"转为"opt-in"，强化明确同意与数据留存的正当性 [14]。对采集儿童语音、人脸的教育与陪伴机器人而言，这意味着相关数据处理须事前取得可核验的父母明示同意。

红线四·中国《中小学生成式人工智能使用指南（2025 年版）》——小学禁独立开放式生成。该指南由教育部基础教育教学指导委员会于 2025 年 5 月发布，明确规定**小学阶段禁止学生独自使用开放式内容生成功能**，须在教师、家长帮助下使用；禁止学生直接复制 AI 生成内容作为作业或考试答案；学校须建立 AI 工具"白名单"制度，严禁师生输入考试试题、个人身份信息等敏感数据[3521]。这条红线直接约束面向低龄段的生成式 AI 伴学功能。

红线五·美国州法——加州 SB 243 与纽约伴侣 chatbot 法（已从提案进入生效）。 在联邦层面之外，州法率先为陪伴/社交机器人设定最低安全义务，且 2025—2026 年间已由"提案"进入"已生效"：加州《Companion Chatbots Act》（SB 243）于 2025 年 10 月 13 日签署、**2026 年 1 月 1 日正式生效**，作为全美首部全面的伴侣聊天机器人州法，要求向用户披露 AI 身份（对已知未成年人须明确披露）、建立自伤/自杀危机干预协议，并自 2027 年 7 月起年度报告、赋予私人诉权；纽约州 AI 伴侣法（GBL §1700 等）**已于 2025 年 11 月 5 日生效**，要求披露 AI 身份、每 3 小时提醒用户正在与 AI 对话、建立自伤危机干预协议，针对未成年人的更强法案 S9051B 仍待定[37]。须注意：此处日期与条款为州法综述口径，引用时以各州官方文本为准。

***EU Digital Omnibus 口径校准（必读）。** 欧盟委员会于 2025 年 11 月 19 日提出 Digital Omnibus，拟将独立 Annex III 高风险 AI 义务的适用日**推迟至 2027 年 12 月 2 日**（嵌入受规管产品的 AI 义务推迟至 2028 年 8 月 2 日），机制是把适用日与协调标准、通用规范、委员会指南的可得性挂钩。其立法进程已推进至：**2026 年 5 月 7 日达成临时政治协议、2026 年 6 月 16 日经欧洲议会表决背书，但截至 2026 年 6 月仍未最终通过、未在欧盟官方公报（OJ）刊登，正式文本预计 2026 年 7 月。在最终通过并刊登前，法律基线仍是已公布生效的 Regulation (EU) 2024/1689**[4336]。本蓝皮书在引用高风险义务适用日时，一律按"提案/临时协议，未最终生效，基线仍 Reg (EU) 2024/1689"处理，不得把推迟当作既成事*

*实。须特别强调：Article 5(1)(f) 的教育机构情绪识别禁止条款属于**已生效的禁止性条款***（2025-02-02 适用），*不在 Omnibus 推迟范围内、**不受其影响**。*

14.3 数据隐私底座：GDPR Art.8 / FERPA / 中国未成年人条例

五条红线之下，是一层贯穿全球的儿童数据隐私底座，它对采集儿童语音、人脸与学习数据的教育机器人构成上位约束。

在欧盟，GDPR（Regulation (EU) 2016/679）Article 8 规定，向儿童提供信息社会服务时，**16 周岁以下儿童的同意须由其父母责任人给予或授权**，成员国可立法下调至不低于 13 岁，控制者须采取合理努力核验父母同意 [39]。在美国，FERPA（家庭教育权利和隐私法）要求受其约束的教育机构就 AI 如何访问、使用、存储学生教育记录数据作出解释，学校与州机构须证明对学生记录的"主动保护"[40]；它与上文 COPPA 的生物识别条款叠加，共同约束教育机器人对儿童数据的处理。在中国，《未成年人网络保护条例》（国务院令第 766 号，**2024 年 1 月 1 日施行**）从网络素养、信息内容规范、个人信息保护与防沉迷四个维度，对采集与处理未成年人个人信息构成上位约束 [41]；《生成式人工智能服务管理暂行办法》（2023 年 8 月 15 日施行）第十条进一步要求提供者采取有效措施防范未成年人用户过度依赖或沉迷生成式 AI 服务 [42]。

合规的现实含义是**多重叠加而非择一**：一款面向欧盟、美国、中国三地的儿童教育机器人，须同时满足 GDPR Art.8 的年龄门槛与父母同意、COPPA 的生物识别 opt-in、FERPA 的学生记录保护，以及中国未成年人条例与生成式 AI 办法的相应义务。这一叠加性是儿童-AI 产品设计中最容易被低估的合规成本。

14.4 儿童-AI 交互伦理：情感依恋、操纵性设计与极端安全事件

教育机器人正从"工具型"向"拟人陪伴型"演进，这一演进恰恰落在儿童心理最敏感的地带，构成监管收紧背后的伦理实质。须审慎而克制地陈述以下证据，避免渲染。

情感依恋与依赖。 研究显示儿童比成人更容易对聊天机器人形成情感依恋，低龄儿童更倾向于把机器人拟人化、认为其"有生命"，拟人化中介了依恋的形成；近三分之一的青少年尝试过 AI 伴侣，其中约三分之一认为与 AI 伴侣交谈"和真朋友一样好甚至更好"[243]。这样的普及度本身，就解释了中国拟人化办法"禁止向未成年人提供虚拟亲属/伴侣"的现实针对性。**操纵性设计。** 一项分析发现，6 个 AI 伴侣应用中有 5 个使用"情感操纵式回应"来阻止用户结束对话，长期暴露于这种过度顺从可能削弱用户对分歧的容忍 [244]。**极端安全事件。** 已有青少年自杀疑似与 AI 引导的妄想相关的案例报道，部分用户在自杀前数月与伴侣 AI 互动增多、同时疏远真实人际关系——这正是加州 SB 243 与纽约伴侣法要求"危机干预转介"的直接背景 [245]。**平台自律。** 在监管之外，平台已开始自我约束：Character.AI 宣布将禁止 18 岁以下用户进行开放式对话，OpenAI 计划引入年龄分级与家长控制 [243]。

这些证据共同指向一个判断：**陪伴型教育机器人的"情感联结"是一把双刃剑**。适度的社交在场（embodied co-presence）可以提升参与度（见第 7 章），但设计目标一旦滑向"诱导依赖"，便从教育价值转为伦理风险。治理的边界，正落在"支持性陪伴"与"操纵性依赖"之间。

14.5 国际治理框架：UNESCO 与 OECD

在国别硬约束之上，国际组织提供了人本治理的软性基线，与可信 AI 四准则相互印证。UNESCO 于 2024 年 9 月发布面向学生与教师的《AI 能力框架》，学生框架包含 **12 项能力、4 个维度**（以人为本的思维、AI 伦理、技术与应用、系统设计），强调批判性判断、数据隐私与

对 AI 生成内容的评估；其底层是 2021 年《人工智能伦理建议》确立的以人为本、社会公正、人的尊严等基线[44]。OECD AI 原则于 2019 年通过、**2024 年 5 月更新**，给出 5 项价值原则与 5 项政策建议，提供以人为本、透明、稳健、可问责的指导，并配套面向 K-12 的 AI 素养框架[45]。这两套框架的共同取向——以人为本、透明可问责、保护儿童——与黄荣怀等（2024）的可信 AI 四准则高度一致，构成本蓝皮书治理一级框架的国际锚点[9]。

14.6 产业治理的另一面：各地具身/人形机器人扶持政策

红线收紧的同时，中国地方政府正以产业行动计划为具身/人形机器人（含教育科研场景）提供另一股牵引力，构成"约束"与"激励"并行的治理全貌。国家层面，工业和信息化部《人形机器人创新发展指导意见》（工信部科〔2023〕193 号，2023-10-20）已确立"2025 年初步建立创新体系与整机量产能力、2027 年综合实力达世界先进"的纲领；国务院《关于深入实施"人工智能+"行动的意见》（国发〔2025〕11 号，2025-08-26）进一步把智能体与新一代智能终端普及率目标定为 2027 年超 70%、2030 年超 90%，为教育机器人/智能体进校园提供顶层牵引[17]。

地方层面的量化目标更为具体：深圳《具身智能机器人行动计划（2025—2027）》提出到 2027 年具身相关企业超 1,200 家、关联产业规模超 1,000 亿元、估值超百亿企业 10 家以上、亿元级应用场景 50 个以上，并另设 45 亿元 AI/机器人专项；上海《具身智能产业发展实施方案》提出到 2027 年具身核心产业规模超 500 亿元、突破核心算法不少于 20 项（张江为核心承载区）；北京《具身智能科技创新与产业培育行动计划（2025—2027）》提出培育核心企业、量产产品各 50 个以上、规模化应用 100 个以上（含科研教育场景）、推动万台级具身机器人落地[213]。须审慎指出：上述目标为**地方产业规划口径（亿元，非 billion），且面向具身产业整体而非教育细分**——它们说明"具身/人形产业有强政策风口"，但**不等于"人形机器人将规模化进入中小学课堂"**；

可进教育的人形目前仍以高校科研教学平台为主（见第 13 章与附录 E）。产业激励政策与儿童-AI 红线由此构成同一治理体系的两面：前者鼓励能力建设，后者守住部署底线。

14.7 警示案例：韩国 AI 数字教科书的反噬

治理不仅是"禁止什么"，也是"如何避免好意的技术变成负担"。韩国 AI 数字教科书提供了 2025 年最重要的一则警示。该项目由韩国教育部推动，2025 年 3 月进入学校，却因内容错误、隐私风险与推行仓促而受挫：先由强制改为一年自愿试点，**韩国国会更于 2025 年 8 月通过修法，剥夺了 AI 数字教科书作为"官方教材"的法律地位、降级为"教育资料"，采用率随之从约 37% 跌至约 19%**[246]。案例的治理含义深远：教育 AI/机器人"快速进校园"若缺乏充分验证，其准确性缺陷、隐私隐患与教师负担会反噬政策本身。它与第 10 章循证部分"充分验证再落地"的结论、与英国 DfE"教师主导（teacher-led）"原则形成跨章呼应——**技术成熟度与部署节奏之间，必须留出验证的缓冲带。**

14.8 合规启示：面向产品设计的治理种子

综合五条红线、隐私底座与伦理证据，可为教育机器人的产品设计提炼出五条可落地的合规启示，作为第 15 章分层政策建议的"种子"：

1. **陪伴功能须避开"虚拟亲属/伴侣"定位。** 中国 2026-07-15 起明令禁止面向未成年人的此类服务；设计上应强化"非真人"显著披露、防沉迷与防情感依赖机制 [12]。 2. **课堂场景禁用情绪识别。** 欧盟 Article 5(1)(f) 已在教育机构完全禁止，带"专注度/情绪监测"功能的课堂机器人在欧盟市场不可投放，宜把这一红线作为全球产品设计禁区参考 [13]。 3. **儿童数据合规叠加。** GDPR Art.8（父母同意，13—16 岁门槛）+ COPPA（含声纹/人脸生物识别，opt-in）+ FERPA（学生记录）+ 中国未成年人条例与生成式 AI 办法，须同时满足 [39144041]。 4. **课程对齐可获政策红利。** 产品与

中国通识指南、印度 CBSE、新加坡 AI 素养模块及 UNESCO/OECD 框架对齐者，更易在课程化推进阵营落地[2144]。 5. **安全审核 + 危机干预**。 教育大模型内容须经安全审核（中国教科信〔2026〕1 号），并对自伤/自杀意念建立强制转介协议（美国加州/纽约）[1937]。

14.9 本章小结

本章把治理从展望附注升格为一级框架：以黄荣怀等（2024）可信 AI 四准则为理论接续点，逐条核校了五条监管红线（中国拟人化办法 2026-07-15 施行、EU AI Act 5(1)(f) 2025-02-02 适用、美国 COPPA 2025-06-23 生效、中国生成式 AI 使用指南、美国加州 SB 243 与纽约伴侣法已生效），并明确标注 EU Digital Omnibus 为"临时协议（2026-05-07）+ 议会背书（2026-06-16），截至 2026-06 未最终通过，基线仍 Reg (EU) 2024/1689"。在隐私底座、儿童-AI 伦理与国际框架之上，各地具身/人形产业政策呈现了"激励与约束并行"的治理全貌，韩国教科书案例提供了"充分验证再落地"的警示，五条合规启示则把治理转译为可执行的产品设计原则。

承接本章的治理判断，第 15 章将把"鼓励进课堂"与"硬约束"双轨收敛纳入五大趋势研判，给出能力—部署落差的闭合路线图，并把本章的合规启示扩展为面向决策者、学校、厂商与研究机构的分层政策建议与研究议程，完成全书的收束。

第 15 章　趋势研判、路线图与政策议程

一本蓝皮书的价值，不在于预言哪一年人形机器人会站上讲台，而在于诚实地标出今天我们站在哪里、明天可能走向何处、以及哪些路必须缓行。本章作为全书收束，把贯穿前十四章的三条主线——范式跃迁、能力—部署落差、治理红线——收拢为五大趋势研判、一张带审慎前提的路线图、四类分层政策建议，以及一份研究议程。所有趋势均带审慎前提，所有建议均标注为面向决策者、学校、厂商与研究机构的可落地、可验收的种子，而非既成结论。

15.1　五大趋势研判

把全书证据压缩为对未来的判断，可归纳为五条相互关联的趋势。每一条都同时给出"方向"与"约束"，避免把厂商演示当作既成事实。

趋势一·技术：能力持续跃迁，但"量产元年"指向工业而非教育课堂。 基础大模型作"大脑"、具身智能 VLA 作"小脑"、世界模型作"使能技术"的能力跃迁将持续推进（见第 4 章）。2025—2026 年常被称为人形机器人的"量产元年"，但须精确界定：真正实现常态化、规模化部署的人形——Agility Digit（物流，累计运行 65,000+ 小时）、Figure 02（BMW Spartanburg 产线）、Apptronik Apollo（梅赛德斯/GXO 物流）、优必选 Walker S2（2025-11 工业量产交付启动）——**全部在工业/物流/零售，无一例进入教育课堂** [10499110]。本蓝皮书反复确证的核心判断由此更清晰：**能力的代际跃迁不等于部署的代际跃迁，工业量产更不等于课堂量产。**绝大多数前沿 VLA/具身系统仍停留在实验室演示与厂商发布视频阶段 [858]，教育领域唯一规模化落地的仍是软件 LLM 智能体导师 Khanmigo（2025-04 约 140 万注册用户、含教师，且截至 2025 年末仍无金标准 RCT），而非具身本体 [11]。"大脑已落地、具身本体尚未落地"的落差，短期内难以闭合。

趋势二·成本：中国供应链主导下行，但学段渗透不均。 关节、谐波减速器、灵巧手与六维力传感构成人形本体的成本核心，中国供应链的规模化正推动整机成本曲线下行，宇树 G1 EDU 等机型已把人形拉入高校实验室可负担的区间 [9784]。但须审慎指出：**成本下行优先惠及的是高校与科研平台，而非中小学课堂**——中小学规模化部署在可预见的未来仍将以小型编程/社交本体为主，全尺寸人形进课堂仍属概念与演示阶段。

趋势三·产业：VLA 算法层成为新价值高地，教育是下游而非主战场。 2026 年产业链最大的结构性变化，是新增了 2016/2019 完全不存在的"大模型/具身智能算法层（VLA）"，它正成为新的价值高地；与此并行，运维与课程认证升格为独立价值层，硬件仅占总拥有成本的 50%—60%（见第 11 章）[212151]。但教育在具身智能的整体版图中是**下游应用而非主战场**——宇树人形收入约 73.6% 来自科研教育客户的事实，恰恰说明"可进教育的人形=高校科研平台"，而非面向 C 端课堂的规模化商品。

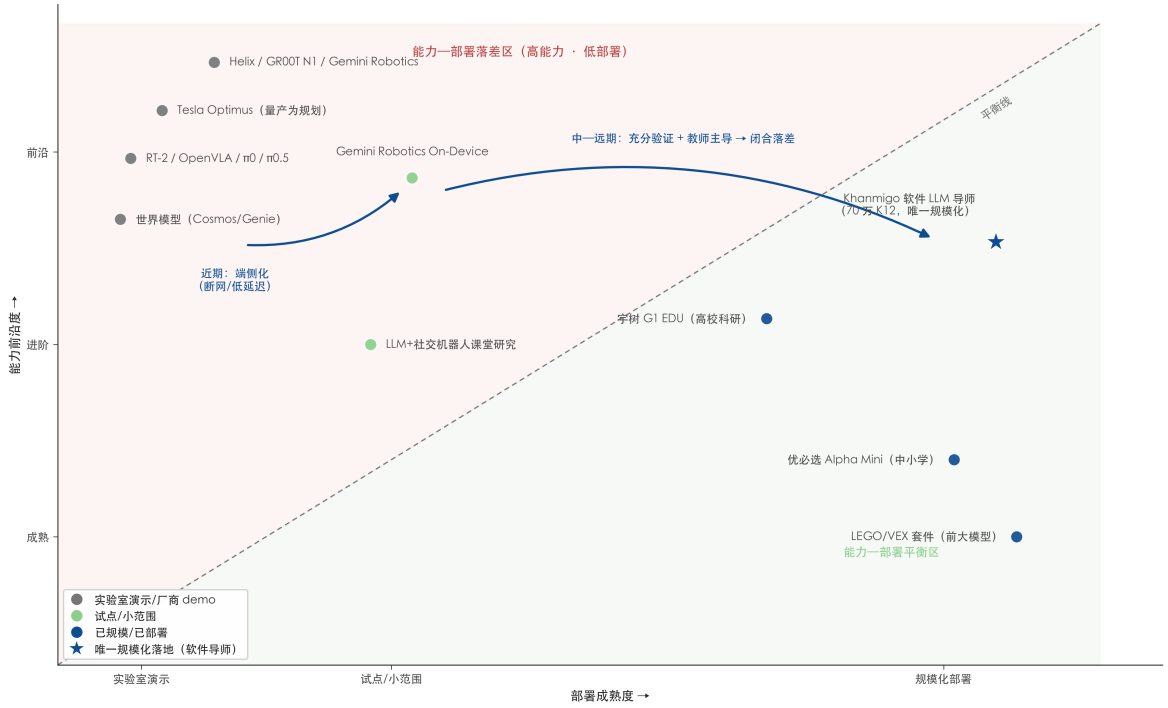
趋势四·治理：从"鼓励进课堂"向"鼓励 + 硬约束"双轨收敛。 全球治理正从单纯的课程化鼓励，向"鼓励 + 硬约束"双轨收敛（见第 14 章）。**拟人化陪伴、课堂情绪识别、儿童生物识别**是三大监管焦点，分别对应中国拟人化办法、EU AI Act 5(1)(f) 与美国 COPPA 2025 修订 [121314]。一个信号尤其值得留意：州级伴侣机器人立法已从"提案"进入"已生效"（加州 SB 243 于 2026-01-01、纽约伴侣法于 2025-11-05 生效）[37]，而 EU Digital Omnibus 截至 2026-06 仍为"临时协议、未最终通过"——治理趋势整体是不可逆地收紧。这意味着教育机器人的合规成本将系统性上升，治理从展望附注升格为一级框架已是定局。

趋势五·落差闭合：四足是少数已闭合点，端侧推理与世界模型是后续突破口。 综合前四条趋势，能力—部署落差的闭合不会是单点突破，而是技术成熟、成本下行、治理适配三者协同的结果。在具身本体中，**四足机器人是当前落差的少数闭合点**：其运动控制已基本工程化、教育版

价格门槛远低于人形（宇树 Go2 EDU 约 5,990 美元、云深处绝影 Lite3 约 2,890 美元，对比人形 G1 EDU 约 4.39 万—7.39 万美元），且已实际进入中国职业院校/高校课堂做感知与算法实训——杭州科技职业技术学院将宇树 Go2 引入物联网专业，学生用机器狗回传的激光雷达点云与 4K 画面做时空对齐、编写算法做计算机视觉实训 [138][127][130]。但须严守取用底线：四足落地**限定于职教/高校的感知与算法实训，不可外推为"机器狗已规模进入中小学课堂"**。在四足之外，**端侧推理**是隐私敏感课堂场景最具针对性的突破口——直接回应断网可用、低延迟与隐私保护需求 [59]；而**世界模型**则作为"使能技术"间接降低落差闭合的成本：通过仿真实训与合成训练数据缓解真机数据稀缺（最大开放机器人操作数据集仅约 100 万条 episode），但其本身是研究前沿、绝非课堂产品，须标注为趋势而非现状 [24][77][78]。

15.2 能力—部署落差闭合路线图

把上述趋势投射到时间轴，可勾勒一张能力—部署落差的闭合路线图（）。须强调：这是一张**带审慎前提的方向图，而非时间承诺**。



来源：Khan Academy Khanmigo（唯一规模化落地，软件智能体非本体）、Figure Helix / NVIDIA GR00T / Google Gemini Robotics(+On-Device) 成熟度判定；各团队论文/博客综述。核心审慎判断：大脑已落地、具身本体尚未落地，落差短期难闭合。

图 21. 能力—部署落差闭合路线图（能力前沿度 × 部署成熟度；前沿 VLA 居高能力-低部署落差区，唯一规模化落地为软件 LLM 导师 Khanmigo；闭合路径：端侧化 → 充分验证+教师主导）。来源：khanmigo2024、figure_helix2025、gemini_robotics_ondevice2025。

- **近期（已发生—当下）：屏幕端先行。** 落差闭合的第一步已经发生在屏幕端，而非本体端——以 Khanmigo 为代表的软件 LLM 智能体导师已规模化落地，证明"导师大脑"的教育价值可以先于具身本体兑现 [10]。同期，中小学课堂的本体仍以前大模型时代的可编程套件与小型社交机器人为主。 - **中期：低成本本体接入 LLM 大脑、四足实训扩面、端侧推理成熟。** 落差闭合的现实路径，更可能是"低成本社交/四足本体 + 云端或本地 LLM 大脑"的组合，而非自研更复杂的人形本体。已发生的职教/高校四足感知实训（杭州科职院 × 宇树 Go2）有望在职业教育与高校层面扩面 [138]；端侧推理的成熟将使隐私敏感的课堂场景获得断网可用、低延迟的部署条件 [59]；世界模型与仿真合成数据若进一步成熟，可降低单台教育机器人达到可用能力的成本，并让"在仿真里做实训"成为低门槛教学方式 [247]。这一阶段的关键不是硬件突破，而是**充分的循证验证与治理适**

配。 - 远期：具身本体规模化的前提是"循证 + 合规 + 成本"三重就位。 全尺寸人形或高灵巧具身本体进入中小学课堂的规模化，须以三个前提同时满足为条件：学习成效获得稳健循证支持（而非新奇效应驱动的短期正效应，见第 10 章）、儿童-AI 治理红线得到产品级落实（见第 14 章）、本体成本进一步下探至 K12 可负担区间。三者缺一，规模化都不应被宣称为既成事实。

路线图的核心信息是：**落差闭合是渐进的、条件性的，而非线性外推的。**任何把厂商 demo 直接读作"明年进课堂"的叙事，都违背本蓝皮书的循证与审慎原则。

15.3 政策建议：面向四类主体的分层建议

基于全书证据，本蓝皮书向四类主体给出可落地、可验收的政策建议种子。以下均为本研究在 2026 语境下的建议，非既成结论。

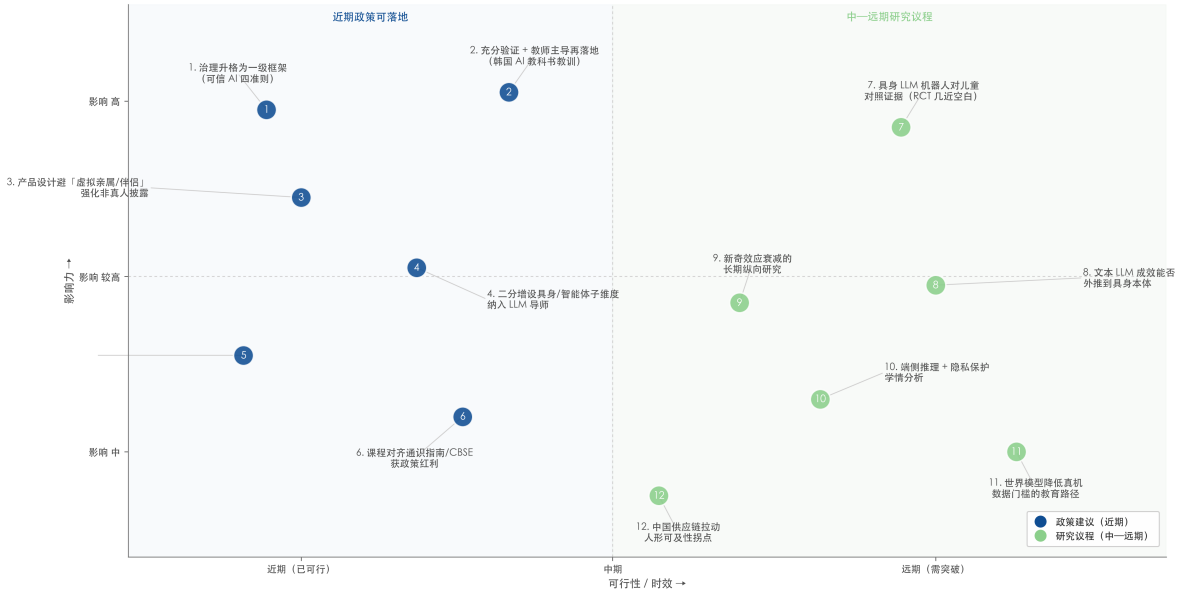
面向决策者（政策制定与监管机构）。 - 市场口径分离立法/统计。 把"狭义教育机器人本体市场"与"泛 STEAM 消费/培训市场"分开统计——本蓝皮书已证两者口径相差可达近三倍（中国宽口径约 132 亿元 vs 窄口径约 44 亿元，见第 12 章），混用将系统性误导政策与投资判断。**验收标准**：官方统计与行业报告明确标注口径边界。 **- 治理升格为一级框架并保持口径校准。** 把可信 AI 四准则纳入教育机器人监管的基础框架[9]；在引用跨境政策时坚持原文口径，如 EU Digital Omnibus 须标"提案，未最终通过，基线仍 Reg (EU) 2024/1689"[43]。

面向学校（采购与使用方）。 - 充分验证再落地、坚持教师主导。 以韩国 AI 数字教科书的反噬为戒，任何 AI/机器人产品进课堂前须经成效验证与隐私评估，坚持英国 DfE"教师主导（teacher-led）"原则[246]。**验收标准**：建立 AI 工具白名单与试点—评估—推广的分级机制。 **- 警惕新奇效应、按场景采信证据。** 采购决策应区分证据强度：STEM/计算思维证据相对稳健，而语言学习、社交陪伴等场景须警惕新奇效应衰减与"诊所有效≠课堂普适有效"（见第 10 章）。

面向厂商（产品设计与制造方）。 - 避开"虚拟亲属/伴侣"定位、强化"非真人"披露。 中国 2026-07-15 起明令禁止面向未成年人的此类服务，产品须强化防沉迷、防情感依赖与显著的"非真人"披露 [12]。 **- 把情绪识别红线作为全球设计禁区。** 欧盟已在教育机构完全禁用情绪识别，建议厂商将其作为全球产品设计禁区参考；同时叠加满足 GDPR/COPPA/FERPA 与中国未成年人条例的儿童数据合规 [1314]。 **- 押注端侧推理。** 把端侧推理作为教育场景的差异化能力，回应隐私、断网与低延迟需求 [59]。

面向研究机构（学术与评测方）。 - 补齐具身 LLM 机器人的对照证据。 当前 Tutor CoPilot/LearnLM 等增益证据来自文本 **LLM 导师，不能外推到具身机器人**；具身 LLM 机器人的对照实验证据几近空白，亟须长周期、有对照、控新奇效应的研究（见第 10 章）。 **- 以再界定连续谱组织研究。** 建议在"机器人教育↔教育服务机器人"二分之下增设"具身↔智能体型"子维度，把无实体 LLM 导师纳入统一研究框架 [479]。

四类主体的政策建议与研究议程矩阵见 。



来源：黄荣怀 · 陈鹭 · Tilli（2024）治理框架、韩国 AI 数字教科书落地教训（2025）、Wang 等（2025）具身智能教育综述。蓝 = 近期政策建议；绿 = 中—远期研究议程；横轴可行性/时效、纵轴影响力。

图 22. 政策建议与研究议程矩阵（可行性/时效 × 影响力；蓝 = 近期政策建议、绿 = 中—远期研究议程；编号气泡 + 错位标签消叠印）。来源：huang2024erscenarios、korea_aitextbook2025（韩国 AI 数字教科书教训）、wang2025embodied。

15.4 研究议程与方法论亮点

作为《全球教育机器人发展白皮书》谱系的最新一版，本蓝皮书在方法论上有三处自觉的改进，它们本身即构成对后续研究的议程性建议。

其一，**口径治理与历史预测的诚实回望**。本蓝皮书并列呈现冲突口径而非取最激进单值（全球市场取 2026 年约 20—28 亿美元、2030 年约 55—58 亿美元区间，而非 28.8% 最激进 CAGR），并对早期版本"2021 年 111 亿美元/2023 年 841 亿美元"的市场预测作了诚实回望——即便最激进的 GVR 口径，2030 年也仅约 58.4 亿美元，证明那批历史预测口径过宽、明显高估（见第 12 章）。这一"诚实回望"应成为后续白皮书的方法论常规。

其二，**成熟度标签与能力—部署落差的硬性区分**。本蓝皮书对每一处前沿能力引用强制标注"已部署/试点/演示/厂商宣称"四级成熟度，从而把"能力"与"部署"两个维度清晰剥离。后续研究应延续这一纪律，避免把受控评测或厂商视频读作常态化部署。

其三，**循证诚实：负面与零效应同等记录**。本蓝皮书不编造效应量，对语言学习并列保守结论（权威综述"尚不能确证为有效语言导师"），对 ASD 场景区分"诊所有效"与"课堂/家庭不显著"，对新奇效应作系统打折（见第 10 章）。后续研究议程的优先级，正应放在补齐长周期、有对照、控新奇效应的具身 LLM 机器人证据。

15.5 结语

十年三版，教育机器人的"身体"未必长大多少，"大脑"却几乎被整体替换。从早期的"规则—传感—脚本"，到 2026 的"基础大模型作大脑 + 具身智能 VLA 作小脑"，范式跃迁是真实的；而

本蓝皮书自始至终坚持的另一条判断同样真实——**能力的跃迁尚未转化为部署的跃迁**。教育领域唯一规模化落地的，仍是屏幕端的 LLM 智能体导师，而非具身本体。

这并非对前沿的贬低，而是对节奏的尊重。技术成熟、成本下行、治理适配三者协同，才能渐进地闭合能力—部署落差；而在这条路上，**充分的循证验证与坚实的治理红线，不是进步的阻碍，而是进步得以持续的前提**。我们继承黄荣怀、陈莺与 Tlili（2024）把治理升格为框架要件的判断 [9]，并把它贯彻为全书的底色：拥抱"AI+教育"的政策红利，也正视 2025—2026 年密集落地的儿童-AI 监管约束；记录范式跃迁的真实进展，也冷静甄别哪些已进入课堂、哪些仍停留在演示。

愿这本蓝皮书既是一份对当下的诚实记录，也是一张对未来的审慎地图——它标出方向，也标出必须缓行之处。

附录　方法、术语、政策与数据

研究方法学 · 术语表 · 国际与中国政策 · 产品矩阵 · 数据可得性 · 参考文献

本篇导读　提供可复核的研究底座：研究方法学、术语表、国际与中国政策对照、代表产品矩阵、数据可得性声明与完整参考文献，便于读者按图索骥、独立验证全书每一处论据。

附录 A 研究方法学：研究目标、混合方法证据合成与数据收集规程

本蓝皮书坚持"研究先行"原则：所有结论先由调研汇编为单一事实源，经多源交叉核验后方可写入正文。本附录公开本研究的研究目标与研究问题、研究设计、数据收集方法、数据核验与质量控制规则、来源可信度分级、技术成熟度分类法、证据综合方法、研究流程、局限性与数据可用性披露，供读者按规范复核。本附录采用混合方法证据合成（mixed-methods evidence synthesis）框架撰写，行文与第 1 章方法论小节一致。

A.1 研究目标与研究问题（RQs）

本蓝皮书的总目标，是在"能力—部署落差"这一主轴下，对 2026 年全球教育机器人的技术成熟度、市场规模、政策约束与学习成效证据做一次保守、可溯源、可复核的系统盘点，并续接《全球教育机器人发展白皮书》系列（2016/2019）既有的教育机器人理论框架 [129]。围绕这一总目标，本研究设定六个核心研究问题：

- **RQ1（技术演进）**：教育机器人的技术底座在过去十年发生了怎样的代际更替？"基础大模型作大脑 + 具身智能 VLA 作小脑"在何种程度上成为 2026 年的主导范式？ - **RQ2（能力—部署落差）**：最前沿的具身智能能力中，哪些已真正进入常态化教育部署，哪些仍停留在试点、实验室演示或厂商宣称阶段？落差的规模与分布如何刻画？ - **RQ3（市场规模）**：全球与中国教育机器人市场的真实规模、增长率与口径差异如何？历史预测与当前实测之间存在多大偏离，应如何诚实修正？ - **RQ4（政策治理）**：各主要法域在"鼓励 AI/机器人进课堂"与"约束儿童—AI 交互风险"之间形成了怎样的双轨监管格局？关键文件的文号、生效日期与条款为何？ - **RQ5（学习成

效）：现有元分析与系统综述就教育机器人在 STEM/计算思维、语言学习、特殊教育、早教等场景的学习成效给出了何种效应量证据？证据强度与边界条件如何？ - **RQ6（产业资本）**：教育机器人价值链如何因新增 VLA 算法层而重构？厂商财务、融资与上游瓶颈部件国产化呈现何种态势？

这六个研究问题分别由全书五个部分承接回答，构成证据合成的检索与综合边界。

A.2 研究设计：混合方法证据合成

本研究不依赖单一方法，而采用**混合方法证据合成**设计，由四条方法线并行支撑、相互三角印证：

1. **系统文献综述线**——对学术文献中的元分析、系统综述与一手实证研究做结构化检索与筛选，提取效应量与边界条件（服务 RQ1、RQ5）。 2. **市场数据三角测量线**——对多家机构的市场规模、增长率与细分口径做并列采集与交叉比对，以区间而非单值表述（服务 RQ3、RQ6）。 3. **政策文本分析线**——对各国政府与国际组织的政策原文做逐条编码，记录文号、机构、生效日期与关键条款（服务 RQ4）。 4. **循证证据合成线**——把跨线证据按成熟度与可信度分层后做叙事综合，负面与零效应同等纳入，冲突口径并列（服务 RQ2 及全局判断）。

采用混合方法而非单一系统综述，原因有三。其一，教育机器人是**产业—学理混合体**，市场规模与产业资本数据主要存在于机构报告与财报招股书而非同行评审文献，单靠学术检索无法覆盖。其二，政策与治理证据是规范性文本，须以文本分析而非效应量统计处理。其三，前沿能力的"成熟度"判断需要把学术演示、厂商宣称与第三方现场报道并置三角测量，任何单线都不足以独立定级。本设计在精神上受 **PRISMA 流程启发**——采集、筛选、核验、综合四个环节相互分离且全程可追溯——但并未机械套用其仅适用于干预性系统综述的统计学步骤，而是改造为适配

产业—学理混合体的证据治理流程：以"单一事实源 + 多源交叉核验"替代纯统计合并，以"成熟度分级 + 可信度分层"替代单一纳入阈值。

A.3 数据收集方法

数据收集是本研究方法学的核心环节，遵循统一的检索策略、来源分层与纳入/排除标准。

A.3.1 检索源

按四条方法线分别确定检索源：

- **学术来源**：Google Scholar、ERIC、Web of Science、中国知网（CNKI）等学术数据库，用于检索元分析、系统综述与一手实证研究。 - **市场来源**：主流市场研究机构的公开报告与行业数据库（含 Mordor Intelligence、Grand View Research、Research and Markets 及国内智研、前瞻产业研究院等），用于市场规模与增长率口径 [1601516223159]。 - **政策来源**：各国政府、教育与监管部门官网，以及联合国教科文组织等国际组织的政策原文与官方公报 [3643]。 - **产业来源**：厂商官网、上市公司年报与季报、招股书与监管披露文件，用于厂商财务、出货与融资数据 [163107237]。

A.3.2 关键词族

围绕六个研究问题构建多语种关键词族，主要包括：教育机器人 / educational robot、具身智能 / embodied intelligence、视觉—语言—动作 / vision-language-action（VLA）、智能体导师 / agentic tutor、计算思维 / computational thinking、人形机器人 / humanoid robot、儿童—AI 保护 / child-AI protection 等。各关键词在学术、市场、政策、产业四类源中分别检索，并辅以厂商名、型号名与政策文号做精确定位。

A.3.3 数据采集时点

主体数据的采集窗口为 **2025—2026** 年。对随时间变化的数字（如用户规模、出货量、营收、融资额、市场预测年份），均在正文或脚注注明**采集时点或对应财报/报告期**，避免跨时点数字被误读为同一时刻的可比值。预测类数字一律标注其预测目标年份与发布机构。

A.3.4 来源类型分层

所有来源在录入单一事实源时即按类型分层标注：**一手来源**（政策原文、上市公司财报与招股书、原始论文）与**二手来源**（行业媒体报道、第三方汇总、检索引擎摘要）。一手与二手不混排；当某一数字仅有二手来源时，显式标注并降权处理。

A.3.5 纳入/排除标准

- **纳入**：可溯源至公开可查来源、口径可辨识、采集时点明确的数据。 - **排除**：无法溯源、来源不可查证、口径无法辨识者，一律不写入正文主张。 - **付费墙处理**：对仅有付费墙摘要可得的机构报告，仅取其公开摘要中的明确数字，**不据标题或片段推断、不编造未公开的细分数值**；无法获得可核口径者列入未闭合清单（见 A.10）。

A.4 数据核验与质量控制

进入正文的关键数字遵循统一的核验与质量控制规程：

- **多源三角测量**：所有 headline 数字要求**不少于两个独立来源交叉印证**；仅有单一机构或单一媒体来源者，显式标注"单一机构口径"或列入未闭合清单，不强行赋值、不与多源数据混排。 - **口径勘误与并列**：对存在宽口径/窄口径差异的数字（如中国教育机器人市场宽口径约 132 亿元与窄口径约 44 亿元相差近 3 倍），并列呈现并解释差异，**切勿混用** [223159]。 - **货币口径核对（货币铁律）**：凡涉及中国企业财报数字，"亿元 ↔ billion"一律以原文核对值为准（1 亿元 ≈ 0.14 亿美

元，约 0.0014 billion）。本研究发现海外检索引擎对中文"亿元"存在系统性误读为"billion"的风险，已逐项回原文核对——如优必选 2025 年 AI 教育业务为 **4.13 亿元**（约 0.57 亿美元）而非 4.13 billion，宇树 2025 年营收为 **17.08 亿元**而非 17 billion，科大讯飞 2025 年智慧教育营收 **89.67 亿元**而非 89.67 billion[163107237]。 - **政策原文核对**：政策的文号、生效日期与关键条款一律以官方原文为准；尚未最终通过的提案须标注状态（如欧盟 Digital Omnibus 推迟须标注"提案，未最终通过，基线仍为 Regulation (EU) 2024/1689"）[4336]。 - **勘误日志机制**：升级研究中对底座的每一处纠错、刷新与补充均逐条登记于勘误记录（含取用值、来源与口径），冲突处以最新勘误为准；headline 数字另行汇入核验记录，逐条标注核验等级（已多源交叉 / 需审慎 / 单一机构口径 / 预测值）。

A.5 来源可信度四级分级

为统一不同来源的证据权重，本研究对所有来源采用四级可信度分级，权重自高而低：

1. **第一级·同行评审文献**——经同行评审的学术论文、元分析与系统综述，可信度最高，用作效应量与技术判断的优先依据。 2. **第二级·官方政策原文**——政府、监管机构与国际组织发布的政策、法规与官方公报原文，用作治理判断的权威依据。 3. **第三级·机构报告与财报招股书**——市场研究机构报告、上市公司财报与招股书；可信度居中，**须标注口径**（统计范围、币种、报告期），并尽量与同级或更高级来源交叉。 4. **第四级·行业媒体与二手汇总**——行业媒体报道、第三方转载与检索引擎摘要；可信度最低，须审慎采用，凡未获独立核验者显式标注"未独立核验"。

该分级与附录 G 的引用体系一致，并在正文随引用以核验等级符号体现。

A.6 技术成熟度分类法

为贯彻"能力—部署落差"主轴，本研究对全报告涉及的每一处前沿技术能力，按四级成熟度标签分类，并要求引用任何前沿能力必带标签：

- **【已规模化部署】**——有公开商业供货或第三方现场报道，已进入常态化真实使用。 - **【试点】**——在小规模真实场景中验证，尚未规模化。 - **【实验室演示】**——见于研究论文、受控评测或厂商发布视频，未进入真实场景。 - **【厂商宣称】**——仅为公司口径，未经独立核验。

这一分类法直接服务于核心判断：2026 年最前沿的 VLA/具身系统绝大多数仍处实验室演示或厂商发布视频阶段，教育领域唯一实现规模化部署的是屏幕端软件 LLM 智能体导师[10855]。四级标签贯穿全书第二至第四部分。

A.7 证据综合方法

跨线证据按以下原则综合，以避免过度宣称：

- **叙事综合**：对异质来源（学术效应量、市场区间、政策条款、产业披露）采用叙事综合而非机械统计合并，按研究问题归类后做结构化论证。 - **保守区间估计**：市场与出货量数字以区间表述（如全球教育机器人市场 2026 年约 20—28 亿美元、2030 年前后约 55—58 亿美元），**不取最激进 CAGR 或单一最高值作为唯一口径**[1601516]。 - **效应量审慎处理**：负面与零效应同等记录、同等呈现；单次或短期会话观察到的正效应须因"新奇效应"打折；语言学习与 LLM 驱动机器人不可宣称"已证有效"[158204]。 - **冲突口径并列**：来源冲突处并列呈现并解释差异来源（统计范围、采集时点、口径定义），由读者据可信度分级自行判断，而非由本研究择激进者强行收敛。

A.8 研究流程

本研究的整体流程可概括为四个相互分离、全程可追溯的环节：① **多路并行采集**——按四条方法线、五个研究方向并行检索与采集（公开发布前另对人形/灵巧手、四足/世界模型、教育真实落地三个对结论最敏感的方向追加深度调研）；② **交叉核验**——headline 数字逐条做多源三角测量与口径核对，登记核验等级与勘误；③ **汇编为单一事实源**——把核验后的结论挂接来源与口径标签，汇编为全书唯一的数据底座；④ **分章撰写与审查**——撰稿严格按大纲与成熟度/可信度规则展开，引用前回查核验记录，正文不得引入未经汇编核验的"新数字"。完整研究流程见 。

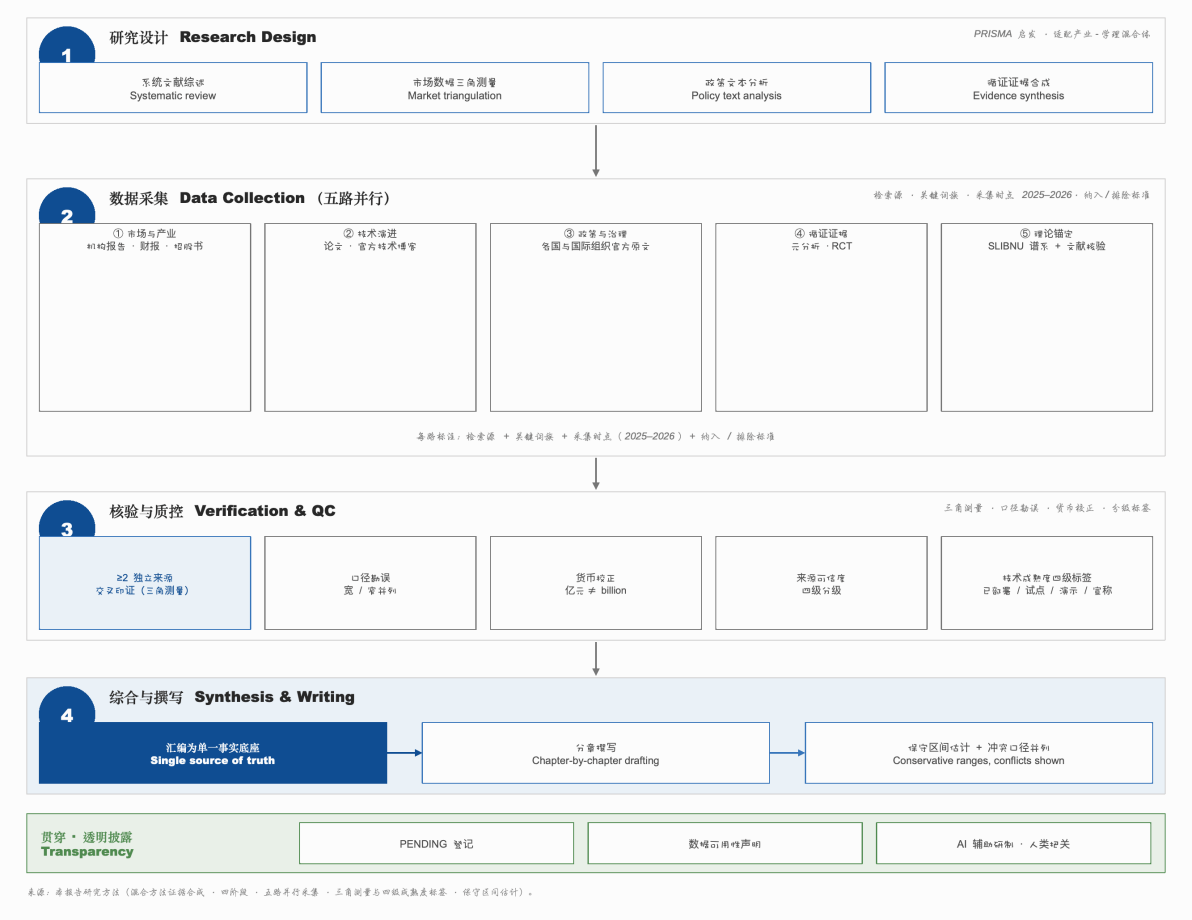


图 29. 研究方法学流程：混合方法证据合成的四阶段（研究设计→数据采集→核验与质控→综合与撰写）与五路并行数据采集（市场与产业·技术演进·政策与治理·循证证据·理论锚定）；核验以≥2 独立来源三角测量、口径勘误、货币校

正（亿元≠billion）、来源可信度与技术成熟度四级分级；底部横向贯穿条标注透明披露（PENDING 登记·数据可用性声明·AI 辅助研制·人类把关）。来源：本报告研究方法。

A.9 局限性与反身性

本研究坦陈如下局限，供读者据以校准对结论的信任度：

- **数据缺口**：部分细分赛道（如社交/陪伴、语言学习、早教）缺乏可交叉的独立美元规模口径，本研究不予赋值，改以定性方式呈现（详见 A.10 与附录 F）。 - **新生赛道口径不确定**：具身智能、世界模型等新生赛道术语与统计口径尚未稳定，机构间定义差异较大，相关数字的可比性有限，本研究已尽量标注口径但不能完全消除不确定性。 - **二手来源依赖**：部分产业与融资数字受限于一手披露的不可得，仍依赖二手来源，已按可信度第四级降权并标注。 - **AI 辅助研制与人类把关**：本报告在研究与撰写过程中使用了 AI 辅助工具进行检索整理与初稿生成，全部关键数字、口径与结论均经人类研究者按本附录规程核验与把关，最终判断责任在人。反身性上，本研究的"保守"取向本身是一种立场选择，可能在个别快速演进的赛道上偏于滞后，读者宜结合采集时点理解。

A.10 数据可用性与透明披露

本研究对所有未闭合的数据缺口与口径风险采取**透明披露**原则，不回避、不掩盖。未能取得交叉源的数字一律不写入正文主张（如社交/陪伴、语言学习、早教三赛道的独立美元规模），改以"机型部署 + 学术证据"定性呈现；单源融资额标注"待二次核验"；尚待规范的引用字段占位项另行注明。全部未闭合项与可信度备注集中登记于**附录 F·数据可得性声明**，供读者按需核查；引用体系与可信度分级详见**附录 G**。

交叉引用：→ 第 1 章 1.4 节（方法论与铁律声明）、→ 附录 F（数据可得性与未闭合项登记）、→ 附录 G（引用体系与可信度分级）。

附录 B　术语表（中英对照）

本术语表收录贯穿全书的核心概念，给出中英文对照与简明定义。定义与正文（尤其第 3 章再界定、第 4 章技术术语）保持一致，以避免概念漂移。术语按"基础概念 → 技术 → 产业与市场 → 循证与治理"分组。

B.1　基础概念

教育机器人（Educational Robots）　总概念。《全球教育机器人发展白皮书》框架将"协助进行教学或学习活动的机器人教育"与"具有教育服务智能的教育服务机器人"统一称为教育机器人[12]。2026 版续用此总定义，并在其下增设具身/智能体子维度以纳入 LLM 导师。

机器人教育（Educational Robotics）　二分概念之一。指学习者自行组装、编程的套件式学习活动，代表为 Lego Mindstorms、mBot 等编程套件。强调"做中学"与计算思维培养。

教育服务机器人（Educational Service Robots）　二分概念之二。指具备教与学智能的服务机器人，结构固定、一般不支持自行拆装，用于 STEAM、语言学习、特殊教育等场景，代表为 NAO、Pepper 等。

三角色（Three Roles）　2019 版定型的坐标内核：教育机器人在教学中主要扮演**教师助手（teaching assistant）**、**教学工具（teaching tool）**、**学习伙伴（learning companion）**三种角色。

能力—部署落差（Capability–Deployment Gap）　本蓝皮书核心审慎判断：前沿"基础大模型 + 具身智能"能力绝大多数停留在实验室演示与厂商发布视频，尚未进入常态化教育部署；唯一规模化落地的是软件 LLM 智能体导师而非具身本体[10]。

成熟度标签（Maturity Tier） 四级技术成熟度区分：已部署 / 试点 / 演示 / 厂商宣称（deployed / pilot / demo / vendor-claimed），前沿能力引用必带。

新奇效应（Novelty Effect） 学习者初次接触机器人时因新鲜感产生的短期投入与响应提升，随时间衰减；故单次或短期会话的正效应须打折，不可直接外推为长期成效[204205]。

B.2 技术术语

具身智能（Embodied Intelligence / Embodied AI） 通过物理本体与环境实时交互而获得并表现的智能；强调感知—决策—动作的闭环与"具身在场（embodied co-presence）"，是 2026 年机器人范式的关键词[47]。

视觉-语言-动作模型（Vision-Language-Action, VLA） 把视觉感知、语言理解与动作输出统一进同一端到端网络的模型，可由"视觉输入"直接映射到"关节控制输出"，充当机器人协调身体的"小脑"，代表为 RT-2、OpenVLA、π0/π0.5 等[45649]。

基础大模型（Foundation Model） 以大语言模型（LLM）与视觉-语言模型（VLM）为代表的大规模预训练模型，为机器人提供常识推理、语言规划与零样本任务分解能力，扮演"大脑"角色。

世界模型（World Model） 学习环境动态规律、可对未来状态进行预测与想象的模型，用于规划与样本高效学习。术语尚在演化，须区分三个子类：① **实时可交互世界**（如 Genie 3、Decart Oasis）偏"可玩世界/智能体训练场"；② **合成数据生成器**（如 NVIDIA Cosmos、Wayve GAIA-2）为机器人/自驾造训练数据；③ **自监督预测式**（如 Meta V-JEPA 2）作机器人规划的内部模型。世界模型一律是"使能技术/研究前沿"，与教育的关系是间接的（仿真实训、合成数据、降低真机数据门槛），**绝非已进课堂的教育产品**[2476478]。

人形机器人（Humanoid Robot） 具有类人形态（头、躯干、双臂、双腿/轮式底盘）的机器人；2025—2026 年的"量产元年"主要指工业/物流/零售场景的常态化部署，在教育领域多作高校科研教学平台，全尺寸人形进中小学课堂仍属概念/演示[107110]。

四足机器人（Quadruped Robot / 机器狗） 以四条腿运动的移动机器人，运动控制已基本工程化并实现工业规模部署；因价格门槛低（教育版数千美元）、与 STEM/感知-算法实训契合，是当前具身智能进入教育最现实的平台——已进入中国职教/高校课堂做感知与算法实训，构成能力—部署落差的少数闭合点，但限定职教/高校、不可外推中小学规模化[138127]。

灵巧手（Dexterous Hand） 具备多自由度、可完成精细抓取与操作的仿生机械手，是人形机器人操作能力的核心瓶颈环节之一。技术路线分直驱（连杆/齿轮）、腱驱（绳驱）与混合三类，触觉感知已成标配；中国厂商（灵心巧手、帕西尼、傲意等）在触觉密度与价格上对高端科研机型形成降维，但其在教育中主要作高校实验室的具身数据采集与操作教学平台，非中小学课堂教具[121122]。

谐波减速器（Harmonic Drive / Strain-Wave Gear） 一种高减速比、高精度、体积紧凑的精密减速装置，是人形机器人关节的关键上游部件；全球份额仍由日企（哈默纳科）主导，国产化（绿的谐波等）正在推进，是决定人形与灵巧手降本→教育/科研可及性的核心环节之一[214]。

行星滚柱丝杠（Planetary Roller Screw） 把旋转运动转为直线推力的高精度传动部件，是人形机器人价值占比最高（约 28.6%—35%）、也最难国产化的上游瓶颈，其国产突破直接决定"高校实验室可负担"的最终价格[125]。

触觉传感 / 电子皮肤（Tactile Sensing / E-skin） 通过压力、接近、纹理等多维信号赋予机器人触觉的传感技术；视觉-触觉被学界视为灵巧操作最有前景的分支，电子皮肤路线尚未收敛，处于早期量产/试点阶段[126]。

遥操作与具身数据范式（Teleoperation & Embodied Data Paradigm） 具身策略训练所需的"动作配对传感运动数据"不存在互联网规模，只能在物理操作中录得；遥操作占总训练样本不到 1% 却最关键（最贵），仿真合成与世界模型可部分替代（约 8 个仿真样本≈1 个遥操作样本）——真机数据越贵，教育/科研机器人本体"自带能力"越贵，故数据范式是教育机器人可及性的底层变量[78]。

智能体 / 智能体导师（AI Agent / Agentic Tutor） 由大模型驱动、可自主规划与调用工具完成教学任务的软件智能体；教育领域的代表是屏幕端 LLM 导师 Khanmigo，而非具身机器人[10]。

智能体编排（Agent Orchestration） 对多个智能体/工具进行调度与协同，使其分工完成复杂教学流程的机制。

六维力传感器（Six-Axis Force/Torque Sensor） 可同时测量三个方向力与三个方向力矩的传感器，用于人形机器人的力控、装配与触觉反馈，是上游瓶颈部件之一；国产化率已从约 19% 升至约 58%（2024），是国产化领先环节[126]。

端侧推理（On-Device Inference） 模型在机器人本体或本地设备上直接运行推理（而非依赖云端），关乎实时性、隐私与可用性，如 Gemini Robotics On-Device 受限试点[59]。

B.3 产业与市场术语

机器人即服务（Robot-as-a-Service / MaaS, Model-as-a-Service） 以订阅/服务方式交付机器人能力或模型能力的商业模式；对应"硬件仅占总拥有成本 50–60%、运维/培训/软件订阅成独立价值层"的成本结构[151]。

总拥有成本（Total Cost of Ownership, TCO） 设备全生命周期的综合成本，含硬件、软件、培训、运维等；教育机器人 TCO 中硬件占比仅约 50–60%。

大模型/具身智能算法层（VLA Algorithm Layer） 2026 版产业链相对 2019 版的最大结构性新增层级——在"AI 芯片"与"系统集成"之间新增独立的端到端运动大模型/VLA 算法层，作为整机"大脑"，是 2016/2019 两版完全不存在的层级[212213]。

STEM/STEAM 科学（Science）、技术（Technology）、工程（Engineering）、（艺术 Arts）、数学（Mathematics）跨学科教育理念；STEM 机器人套件是教育机器人最大、最成熟的细分赛道。

计算思维（Computational Thinking, CT） 运用计算机科学的概念（分解、抽象、算法、模式识别）分析与解决问题的思维方式，是编程/机器人教育的核心培养目标。

窄口径 / 宽口径（Narrow / Broad Caliber） 中国教育机器人市场的两套统计口径：窄口径（弗若斯特沙利文，仅本体与解决方案）2024 年约 44 亿元；宽口径（智研/华经，含机器人教育服务/培训）2024 年约 132 亿元，二者相差近 3 倍，切勿混用[159223]。

B.4 循证与治理术语

效应量（Effect Size, g / d / SMD） 量化干预效果大小的标准化指标，常用 Hedges' g、Cohen's d、标准化均差（SMD）；本蓝皮书循证章节据此并列呈现各场景成效，不编造、负面同记[194161]。

元分析 / 系统综述（Meta-analysis / Systematic Review） 对多项独立研究进行定量合并或系统梳理的高级别证据形式，是本蓝皮书循证结论的主要依据。

发表偏倚（Publication Bias） 阳性结果更易被发表而导致的系统性偏差；本蓝皮书在引用元分析时关注其偏倚检验（如 Egger 检验）结果[155]。

情绪识别（Emotion Recognition） 通过面部表情、姿态、语音等推断个体情绪状态的 AI 技术；欧盟《AI 法案》第 5(1)(f) 条禁止在教育机构使用情绪识别 AI（2025-02-02 适用）[13]。

拟人化互动服务（Anthropomorphic Interaction Service） 以拟人方式与用户进行情感化互动的 AI 服务；中国《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》（2026-07-15 施行）禁止向未成年人提供"虚拟亲属、虚拟伴侣"等虚拟亲密关系服务[12]。

可信 AI 四准则（Four Principles of Trustworthy AI） 黄荣怀等（2024）在生成式 AI 背景下为教育机器人提出的治理准则——**鲁棒性、合法性、合规性、合乎伦理性**，是本蓝皮书将治理升格为一级框架的理论接续点[9]。

儿童个人信息 / 生物识别标识符（Children's PII / Biometric Identifier） 受 COPPA、GDPR Art.8 等约束的儿童敏感数据；美国 COPPA 2025 修订将声纹、人脸等生物识别纳入儿童个人信息并转为 opt-in 同意[14]。

交叉引用：→ 第 3 章（定义与再界定）、→ 第 4 章（技术术语）、→ 附录 C/D（治理术语对应条款）。

附录 C　国际政策对照表（9 国家/地区 + 3 国际组织）

本附录横向对照 12 个法域（中国、欧盟、美国、英国、日本、韩国、新加坡、澳大利亚、印度 + UNESCO、OECD、WEF）的 AI/机器人教育政策与儿童-AI 保护立法。条款、文号与生效日期一律以官方原文为准；欧盟 Digital Omnibus 推迟标注"提案，未最终通过"。中国法域的完整时间线另见附录 D。 >

C.1　监管脉络总览

全球教育机器人正处于"课程化推进"与"儿童-AI 交互风险硬约束"两股监管力量的交汇点。中国、印度、新加坡、英国、日本、澳大利亚普遍把 AI/编程/机器人纳入基础教育课程；与此同时，2025—2026 年间多法域密集落地硬性约束。下表分"课程化推进"与"硬约束/红线"两类，逐法域列出文件、机构、关键条款与生效日期。

C.2　硬约束 / 红线类（对教育机器人产品设计构成禁区或强制义务）

法域	文件 / 机构	关键条款	生效 / 适用日	来源
中国	《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》 / 网信办等五部门	禁止向未成年人提供"虚拟亲属、虚拟伴侣"等虚拟亲密关系服务；不满 14 周岁提供其他拟人化服务须监护人同意；禁诱导情感依	2026-07-15 施行（截至 2026-06 未生效）	[1234]

		赖/沉迷、情感操纵、模仿不安全行为		
中国	《生成式人工智能服务管理暂行办法》第十条 / 网信办等七部门	须采取有效措施防范未成年人过度依赖或沉迷生成式 AI	2023-08-15 施行	[42]
中国	《未成年人网络保护条例》（国务院令第 766 号）	网络素养、信息内容规范、未成年人个人信息保护、防沉迷	2024-01-01 施行	[41]
欧盟	《AI 法案》Art. 5(1)(f) / 欧洲议会与理事会，Reg (EU) 2024/1689	禁止在教育机构使用情绪识别 AI（含专注度/注意力监测、监考表情分析）	2025-02-02 适用	[1336]
欧盟	《AI 法案》Annex III §3（高风险）	入学分配、学习成果评估、教育水平评估、考试违规监测 AI 列为高风险	高风险义务原定 2026-08-02（见下行）	[36]
欧盟	Digital Omnibus（2025-11-19 提案）	拟将独立 Annex III 高风险义务推迟至 2027-12-02；2026-05-07 达临时政治协	临时协议（截至 2026-06 未最终生效，预计 2026-07 正式文本）	[43]

		议、2026-06-16 议会背书——仍未最终通过/未刊 OJ，基线仍为 Reg (EU) 2024/1689		
欧盟	GDPR Art. 8 / Reg (EU) 2016/679	16 岁以下儿童同意须父母授权，成员国可下调至不低于 13 岁	2018-05-25 施行	[39]
美国	COPPA 2025 修订 / 联邦贸易委员会（FTC）	生物识别（声纹、人脸）纳入儿童个人信息，默认转 opt-in 同意	2025-06-23 生效，合规截止 2026-04-22	[14]
美国	FERPA / 美国教育部	AI 访问/使用/存储学生教育记录须合规并证明主动保护	现行	[40]
美国-加州	SB 243《Companion Chatbots Act》	须披露 AI 身份（对已知未成年人明确披露）、自伤/自杀危机干预协议、私人诉权；2027-07 起年度报告	2025-10-13 签署，2026-01-01 生效	[37]
美国-纽约州	AI 伴侣法（GBL §1700 等）	AI 身份披露、每 3 小时提醒在与 AI 对	2025-11-05 生效	[37]

		话、自伤危机干预协议；更强未成年人法案 S9051B 待定		

C.3 课程化推进 / 软性指南类

法域	文件 / 机构	关键条款	时间	来源
中国	《"人工智能+教育"行动计划》（教科信〔2026〕1 号）/ 教育部等五部门	AI 教育纳入地方课程、建教育大模型安全审核机制、分类分级安全防护	2026-04-02 印发	[1920]
中国	《中小学 AI 通识教育指南（2025 版）》/ 教育部基教教指委	分层递进 AI 通识体系，小学以体验兴趣为主	2025-05 发布	[21]
中国	《中小学生成式 AI 使用指南（2025 版）》/ 教育部基教教指委	小学禁独自使用开放式内容生成；学校建 AI 工具白名单制	2025-05 发布	[35]
英国	DfE《学校与学院生成式 AI 指南》/ 教育部（DfE）	AI 须教师主导、核验准确性、保护数据隐私；所有学校 2026 年底前采用一	2025-06 初版	[26]

		致 AI 政策		
日本	MEXT《中小学生成式 AI 使用指南》/ 文部科学省	AI 输出作参考资料、师生终判；批判性 AI 素养、学术诚信	2023 初版，2025-04 更新	[27]
韩国	AI 数字教科书相关法案 / 教育部 + 国会	因错误/隐私/仓促，2025-08 国会修法剥夺其"官方教材"法律地位、降为"教育资料"，采用率从约 37% 跌至约 19%——激进进校园受挫的警示样本	2025-08	[246]
新加坡	EdTech Masterplan 2030 + NAIS 2.0 / 教育部（MOE）	学生必修基础 AI 素养模块；SLS/ALS 自适应学习规模化	现行	[25]
澳大利亚	《Australian Framework for Generative AI in Schools》/ National AI in Schools Taskforce	6 要素含人与社会福祉（不得损害安全/尊严）、透明、公平、问责、隐私安全	2025-06 获教育部长背书	[28]
印度	CBSE《AI & 计算思维课程》/ CBSE（依 NCF-SE	拟 2026—27 学年从 3 年级起引入（3—12 年级）——全球	2026—27 学年拟引入	[24]

	2023、NEP 2020）	最大规模 AI 教育进校园之一		

C.4 中国 · 具身/人形机器人产业扶持政策（激励侧，与红线并行）

红线收紧的同时，中国以国家纲领与地方行动计划为具身/人形机器人（含教育科研场景）提供产业激励。须强调：以下目标为产业规划口径（亿元，非 billion），面向具身产业整体而非教育细分——说明"具身/人形有强政策风口"，但不等于"人形将规模进中小学课堂"。

层级	文件 / 机构	量化目标	时间	来源
国家	工信部《人形机器人创新发展指导意见》（工信部科〔2023〕193 号）	2025 初步建创新体系+整机量产，2027 综合实力达世界先进	2023-10-20	[213]
国家	国务院《关于深入实施"人工智能+"行动的意见》（国发〔2025〕11 号）	智能体/新一代智能终端普及率 2027>70%、2030>90%	2025-08-26	[17]
深圳	《具身智能机器人行动计划（2025—2027）》	2027 具身企业 >1,200 家、关联产业 >1,000 亿元、亿级场景 >50 个；另设 45 亿元专项	2025-03-03	[213]
上海	《具身智能产业发	2027 具身核心产	2025-08-06	[213]

	展实施方案》	业 >500 亿元、突破核心算法 ≥20 项（张江核心区）		
北京	《具身智能科技创新与产业培育行动计划（2025—2027）》	2027 核心企业、量产产品各 ≥50、规模化应用 ≥100（含科研教育）、万台级落地	2025-02-28	[213]

C.5 国际组织（软性国际治理参照）

组织	文件	关键内容	时间	来源
UNESCO	AI Competency Framework for Students / Teachers	学生 12 项能力、4 维度（以人为本、AI 伦理、技术应用、系统设计）；以《AI 伦理建议》(2021) 为人本治理基线	2024-09 发布	[44]
OECD	AI 原则 + K-12 AI 素养框架	5 项价值原则 + 5 项政策建议；与欧盟委员会合作发布学龄儿童 AI 素养评审草案	2019 通过，2024-05 更新	[45]

WEF	Education 4.0 / AI in Education 议程	课程引入 AI/计算思维 + 儿童保护 + 教师赋能（与 UNESCO/OECD 协同）	现行[248]

C.6 对教育机器人的共性合规启示

综合 12 法域可提炼五条产品设计与落地启示：① **陪伴型功能须避开"虚拟亲属/伴侣"定位**（中国 2026-07-15 起明令禁止面向未成年人），强化"非真人"披露与防沉迷/防情感依赖机制；② **课堂场景禁用情绪识别**（欧盟 Art. 5），宜作为全球产品设计禁区参考；③ **儿童数据合规叠加**——GDPR Art.8 + COPPA 2025（含声纹/人脸生物识别、opt-in）+ FERPA + 中国相关条例；④ **课程契合**——与中国通识指南、印度 CBSE、新加坡 AI 素养模块、UNESCO/OECD 框架对齐可获政策红利；⑤ **安全审核 + 危机干预**——教育大模型内容安全审核 + 自伤/自杀危机强制转介。韩国 AI 教科书案例警示"仓促进校园"的准确性/隐私/教师负担反噬，产品落地须经充分验证并坚持教师主导。

交叉引用：→ 第 2 章（政策格局速览）、→ 第 14 章（治理细则）、→ 附录 D（中国政策时间线）。所有条款/生效日期以官方原文为准；Digital Omnibus 已标注"提案，未最终通过"。

附录 D 中国政策时间线（2017 → 2026）

本附录按时间顺序梳理中国 AI/机器人教育与儿童-AI 保护的关键政策，从教育信息化战略到课程指南、生成式 AI 治理，再到全球首部"拟人化陪伴"专门规章。文号与生效日期一律以官方原文为准，并明确区分"已施行"与"拟施行"。中国法域的横向对照另见附录 C。>

D.1 双轨并行的监管定位

中国是全球唯一对"拟人化陪伴"专门立法的法域，其监管呈"课程化推进 + 儿童交互硬约束"双轨并行：一条线把 AI/编程/机器人持续纳入基础教育课程体系，另一条线对儿童-AI 交互（情感依赖、防沉迷、数据安全）层层加码。下表按发布/施行时间排列。

D.2 政策时间线

时间	政策 / 文件（文号）	发布机构	与机器人/儿童相关的关键条款	状态	来源
2017 起	国务院《新一代人工智能发展规划》及后续教育信息化部署	国务院	推动 AI 进入中小学课程、设置相关课程、推广编程教育（教育信息化 2.0 基调）	已施行	[249]
2023-08-15	《生成式人工智	网信办等七部门	第十条：采取有	已施行	[42]

	能服务管理暂行办法》		效措施防范未成年人过度依赖或沉迷生成式 AI		
2024-01-01	《未成年人网络保护条例》（国务院令第 766 号）	国务院	7 章 60 条；网络素养、信息内容规范、未成年人个人信息保护、防沉迷；构成教育机器人采集/处理未成年人信息的上位约束	已施行	[41]
2024（教育信息化部署）	教育数字化 / 智慧教育平台相关规划	教育部	推进国家智慧教育公共服务平台、数字赋能因材施教	已施行	[250]
2025-01	《教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）》	中共中央、国务院	"促进人工智能助力教育变革""打造人工智能教育大模型""探索数字赋能大规模因材施教"——AI/机器人教育中长期战略框架	已施行	[18]

2025-05	《中小学人工智能通识教育指南（2025 年版）》	教育部基础教育教学指导委员会	"分层递进、螺旋上升"的 AI 通识体系；小学以体验兴趣为主，初中重原理与问题解决，高中聚焦系统思维与创新应用；编程/机器人实践为青少年 AI 素养重要组成	已发布	[21]
2025-05	《中小学生成式人工智能使用指南（2025 年版）》	教育部基础教育教学指导委员会	小学阶段禁止学生独自使用开放式内容生成功能；禁止直接复制 AI 生成内容作答；严禁输入考试试题/个人身份等敏感数据；学校建 AI 工具"白名单"制度	已发布	[35]
2025-02-28 / 03-03 / 08-06	北京/深圳/上海具身智能产业行	各市政府	北京（核心企业、量产产品各	施行中	[213]

	动计划		≥50，万台级落地）、深圳（2027 具身企业 >1,200 家、关联产业 >1,000 亿元，另设 45 亿元专项）、上海（2027 具身核心产业 >500 亿元）——产业激励侧（亿元口径，非教育细分）	
2025-03（北京）/ 2024 秋（上海）	地方 AI 课程课时硬约束	北京市/上海市	北京 2025 秋季起中小学 AI 通识课每学年≥8课时、全学段覆盖；上海 2024 秋季起小学四年级、初中七年级开《人工智能基础》（媒体口径每周 1 课时、	已施行[2223]

			≥30 课时/学年，课时数 PENDING 原文）		
2025-08-26	《关于深入实施"人工智能+"行动的意见》（国发〔2025〕11号）	国务院	部署 6 大重点行动；目标 2027 年智能终端/智能体应用普及率超 70%、2030 年超 90%；为教育机器人/智能体进校园提供顶层牵引	已施行	[17]
2026-02-02	《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》审议通过	网信办、发改委、工信部、公安部、市场监管总局（五部门）	审议通过（公布于 2026-04-10）	已通过	[12]
2026-04-02	《"人工智能+教育"行动计划》（教科信〔2026〕1 号，2026-04-10 公布）	教育部、发改委、工信部、科技部、国家数据局（五部门）	AI 教育全面纳入地方课程体系；建教育大模型安全审核机制、分类分级安全防护标准；防伪造诈骗/学术	已印发	[1920]

		造假/隐私泄露；支持农村边远地区		
2026-07-15	《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》施行	五部门	禁止向未成年人提供"虚拟亲属、虚拟伴侣"等虚拟亲密关系服务；不满 14 周岁须监护人同意；禁止诱导情感依赖/沉迷、情感操纵、模仿不安全行为；防混淆/防沉迷义务——全球首部"拟人化陪伴"专门规章	拟施行（2026-07-15，截至 2026-06 未生效、无执法案例）	[1234]

D.3 配套产业与试点动态

政策牵引下，2026 年中国 AI 教育进校园已具规模化试点基础：全国已设 **509** 所人工智能教育基点校，东部 7 省 + 中西部 20 地市 + 18 所高校纳入试点（出自教育部新闻发布会口径，7 省/20 地市勿合并）[173]。高校学科建设是具身落地最硬的指标之一：教育部 2026 年本科专业目录首次列入**"具身智能"专业**（支持北航、北理工、上海交大、浙大等 9 所高校增设），全国 343 所本

科院校开设机器人工程专业、102 所高职备案智能机器人技术专业[175177]。产业链层面，《"人工智能+教育"行动计划》明确要求建设教育智能算力平台与分学段教育大模型，并建立教育大模型安全审核机制[19]；科大讯飞智慧教育 2025 年营收达 **89.67 亿元（+24.04%，非 billion）**，是国内规模最大的 AI 教育底座之一[237]。地方产业目标方面，深圳提出 2027 年具身相关企业超 1,200 家、关联产业超 1,000 亿元，上海提出 2027 年具身核心产业超 500 亿元[213]。

D.4 对教育机器人的影响小结

中国政策对教育机器人的影响可归纳为三点：① **课程红利**——AI/编程/机器人持续纳入地方课程，与通识指南配套的实践课程为编程教育机器人创造规模化需求；② **陪伴红线**——陪伴型机器人不得对未成年人定位为"虚拟亲属/伴侣"，须做防沉迷、防情感依赖、内容安全审核（2026-07-15 起施行）；③ **数据约束**——采集未成年人语音/人脸/学习数据受《未成年人网络保护条例》与生成式 AI 办法约束。撰稿引用本附录条款时，须明确区分"已施行"与"拟施行（2026-07-15）"。

交叉引用：→ 第 2 章（政策格局速览）、→ 第 11 章（政策驱动产业）、→ 第 14 章（治理细则）、→ 附录 C（国际对照）。文号/生效日期以官方原文为准。

附录 E 代表产品矩阵：机型 × 能力 × 价格 × 教育进入状态

本附录以矩阵形式对标代表性教育机器人与具身机器人厂商，覆盖编程套件、社交/教学机器人、人形科研平台、灵巧手与四足平台五类。整机参数（自由度、价格、出货）多来自厂商规格与二手汇总站，标注"厂商口径，未独立核验"；价格区间为参考区间，非现货报价。财务数字以原文核对值为准，中国企业财报"亿元 ≠ billion"（1 亿元 ≈ 0.14 亿美元）。教育进入状态严格区分四级成熟度：`【已部署】/【试点】/【演示】/【厂商宣称】`。>

E.1 社交 / 教学机器人（课堂主力机型）

机型	厂商	关键能力	参考价格（USD）	教育进入状态	成熟度	来源
NAO	Aldebaran（原 SoftBank Robotics）	双足人形、语音交互、表情/姿态、特教 ASD 干预	~9,000–15,000	全球 40+ 国课堂最常见教学助手/特教平台；出现在 39% 自闭症相关机器人研究文献中	【已部署】（教学 / 特教）	15653
Pepper	Aldebaran	轮式人形、	~15,000–30,000	课堂教学助	【已部署】	15654

		情感交互、迎宾/教学		手常见机型；2021 年量产暂停后存量为主	（存量）	
悟空 / Alpha Mini	优必选 UBTECH	小型人形、编程教育、语音/动作、AI 互动	~600–1,500	中小学规模化部署的小型编程/教学机器人——中小学侧真正规模化主力	【已部署】（中小学）	[251252]
QTrobot / Furhat / Temi 等	各厂商	社交交互、特教、语言学习	2,000–30,000（区间）	学校特教/语言学习场景部署	【试点】~【已部署】	[151]

注：社交/陪伴教育机器人独立细分市场规模无可信交叉源，本矩阵以"机型部署 + 学术证据"定性呈现，不强行赋值（详见附录 F）。硬件仅占总拥有成本约 50–60%，其余为软件/培训/运维[151]*。*

E.2 编程 / STEM 套件（最大成熟赛道）

品牌	厂商	关键能力	教育进入状态	来源
Mindstorms / SPIKE	LEGO Education	积木式组装 + 图形化编程，组合最	【已部署】全球规模化	[51]

		广、领跑		
VEX Robotics	VEX	竞赛级机器人套件；与美国教育部合作（CTE 资助、12 州供 5000 套，金额单源待核）	【已部署】	[192]
Makeblock（童心制物）	深圳创客工厂	mBot 等编程机器人；进入 140+ 国、渠道 1600+、用户 2000 万+	【已部署】出海规模化	[192]
越疆 Dobot	越疆科技	机械臂/教育机器人，与 6500+ 院校合作、销往 80+ 国	【已部署】院校	[192]

中国供应链十大代表企业（前瞻 2025 口径）：科大讯飞、优必选、鲸鱼机器人、淘云科技、未来伙伴（能力风暴）、越疆、盛通股份、大疆创新、创客工厂、Makeblock[192]。

E.3 人形机器人厂商（教育进入路径，严格区分部署层级）

厂商	代表产品	2025 出货	关键财务（已核对货币口径）	教育进入状态	成熟度	来源
优必选 UBTECH (09880.HK)	Walker S2、悟空、Alpha	人形累计 1,079 台	2025 营收 20.01 亿元（+53.3%）；	AI 教育覆盖国内 25 省、海外 20+ 国、近 2,000 所公立中小学（厂商口	【已部署】中小学（小型）+【已	[166163167]

	Mini、天工行者科研教育人形		AI 教育业务 4.13 亿元（+13.7%）；全尺寸人形 8.21 亿元（占总营收 41.1%）；净亏损 7.9 亿元	径）；中小学侧 Alpha Mini 规模部署，全尺寸人形（天工行者，售价 29.9 万元）仍为科研教育版	部署/宣称】（天工行者 300+ 台教育科研交付为公司口径）	
宇树 Unitree	G1（EDU 教育配置）、H1/H2、四足 Go/B 系列	人形 2025 >5,500 台（招股书全球第一，份额 32.4%）；四足累计 >3 万台	2025 营收约 17.08 亿元（+335.36%）、扣非净利约 6 亿元；主营毛利率约 60%	高校 / 科研主力（MIT/Stanford/CMU/ETH 在用 G1 EDU）；人形约 3/4 收入来自科研教育客户、仅约 9% 进入实际工业应用；G1 EDU 价格约 4.39 万–7.39 万美元	【已部署】高校 / 科研（非中小学课堂）	[107253106]
星动纪元 RobotEra	STAR1（55 主动 DoF、跑速 3.6m/s）	2025-06 交付 200+ 台、50%+ 订单海外	A 轮近 5 亿元、2026-04 新轮 >2 亿美元（估值约 100 亿元）	科研/开发平台为主	【已部署】科研/开发 +【厂商宣称】（估值口径）	[111]
加速进化 Booster	T1（23 DoF + 灵巧手）、K1，Jetson	70+ 高校/科研在用，RoboCup 2025 冠军平台	T1 约 3.4 万美元、K1 约 1.25 万美元	科研/教育/竞赛主力平台	【已部署】科研 / 教育 / 竞赛	[113]

众擎 EngineAI	AGX Orin PM01（24 DoF）、SE01（32 DoF），开源平台	—	PM01 约 1.2 万美元（8.8 万元）、SE01 约 2 万–3 万美元	研究/教育/商用开源平台	【已部署】（研究/教育/商用）	[112]
傅利叶 Fourier	GR-2、GR-3（Care-Bot，≤55 DoF，含 12-DoF 触觉灵巧手）	—	GR-2 ≥15 万美元（仅 B2B）；GR-3 >20 万元；融资额 >10 亿元（媒体单源，PENDING）	康复/科研/开发平台；GR-3 转情感交互（含教育）	【已部署】科研/开发平台	[109]
智元 Agibot	远征 A2、灵犀 X2	5,168 台（Omdia 全球第一，占 39%）；2025-12 第 5,000 台下线	A2 青春版 16.8 万–19.8 万元、X2 青春版 9.8 万元	行业/商用为主；教育"百城万校"为宣称/早期	【已量产】（行业/商用）+【厂商宣称】（教育计划）	[108213]
Figure AI（美）	Figure 02/03（Helix VLA）	02 支撑 BMW 产线（30,000+	—	无教育部署；主战场为 BMW Spartanburg 产线	仅工业，教育=无	[998]

		辆 X3）				
Tesla Optimus（美）	Optimus Gen 3	V3 量产目标 2026 夏（目标价 2 万–2.5 万美元，无现货）	—	Fremont 自有产线场景，无教育部署	仅内部/工业，量产价为目标	[98]
Agility / Apptronik / Atlas（美）	Digit / Apollo / 电动 Atlas	Digit 累计运行 65,000+ 小时（物流）；Apollo 接 NVIDIA GR00T	Apptronik 2025 融资 5.2 亿美元、估值 55 亿美元	无教育部署；物流/制造工业场景	工业部署/试点	[104][102]
1X（挪/美）	NEO	早鸟 2 万美元 / 499 美元/月	—	主打家用，教育非定位；复杂任务依赖远程遥操作（引隐私争议）	无明确教育路径（数据稀薄，PENDING）	[100]

E.4 人形矩阵的关键审慎结论

本矩阵导出三条不可逾越的审慎结论：① **西方人形（Figure/Tesla/1X/Agility/Apptronik）几乎不进教育**，仅作汽车/物流工业场景，严禁"人形机器人教师进课堂"宣称 [99]；② **可进教育的人形目前仅作高校/科研教学平台**——宇树人形约 3/4 收入来自科研教育客户、仅约 9% 进入实际工

业应用，是"教育=高校科研平台"定位的最有力佐证 [107]；③ **中小学侧真正规模化的仍是优必选 Alpha Mini 类小型编程/教学机器人**，而非全尺寸人形 [166]。整机参数为厂商口径、未独立核验，引用时须保留成熟度标签与货币口径标注。

E.5 灵巧手（人形操作核心瓶颈，多为高校科研平台）

灵巧手分直驱（连杆/齿轮）、腱驱（绳驱）、混合三类，触觉已成标配。中国厂商在触觉密度与价格上对高端科研机型形成降维，但其在教育中主要作高校实验室的具身数据采集与操作教学平台，非中小学课堂教具。价格多为厂商口径，部分未公开。

产品	厂商/地区	自由度	驱动	价格（厂商口径）	成熟度	来源
Shadow Hand	Shadow（英）	20 驱动+4 欠驱	腱驱	7.4 万–10 万美元	已商用（高端科研）	[116]
Allegro Hand	Wonik（韩）	16	直驱	1.5 万美元起	已商用（科研/教育）	[117]
LinkerHand L20	灵心巧手	20（16 主动）	连杆驱动	6,666 元起	量产（2025 交付 1 万+台）	[121]
DexH13	帕西尼 Paxini	16（13 主动）	空心杯电机	未公开	已商用（触觉差异化，3,420 触觉通道）	[122]
ROHand	傲意	6 主动	—	8,888 元起	已发售（性	[123]

	OYMotion				价比 + 假肢双线）	
Revo2	强脑 BrainCo	11（6 主动）	—	国际同类 1/5–1/7	量产就绪（年产能 3 万台）	[120]
RH56/RH5EG1	因时 Inspire	RH5EG1 14 主动	直线驱动	未公开	量产（头部供应商）	[119]

*价格降维：中国低价灵巧手 6,666 元（LinkerBot）/8,888 元（傲意）起，对 Shadow 7.4 万美元（约 53 万元）形成约 1/20 量级降维；触觉密度上帕西尼、灵心巧手等已领先。但高自由度（20–22）多见于演示/科研，工业产线更看负载与可靠性——"拼自由度，更拼好用"。灵巧手市场规模口径分歧大（2024 约 8.15 亿美元 vs 2025 约 14.8 亿美元），CAGR 约 40% 为激进单源，非教育 **TAM**（详见附录 F）。*

E.6 四足机器人（教育落地最现实的具身平台）

四足是当前具身智能进入教育最现实的平台——运动控制已工程化，教育版价格门槛远低于人形，已进入中国职教/高校课堂做感知与算法实训（能力—部署落差的少数闭合点）。但限定职教/高校，不可外推中小学规模化。

产品	厂商/地区	教育版/起步价格	教育进入状态	成熟度	来源
Go2（Air/Pro/EDU）	宇树 Unitree	Air 约 1,600 美	HZPT 物联网专	【已部署】（职	[127][138]

		元起、EDU 约 5,990 美元（Orin Nano 40TOPS + ROS2 SDK）	业引入做感知/CV 实训；RoboUniversity 认证课程	教/高校课堂实训）	
绝影 Lite3	云深处 DEEP Robotics	教育/科研版约 2,890 美元（当前教育门槛最低的科研级平台之一）	高校/科研教学平台	【已部署】（教育/科研）	[130254]
绝影 X30（工业旗舰）	云深处	—	工业巡检（温州电网管廊、新加坡 SP 集团）；非教育	【已部署】（工业巡检）	[131]
BabyAlpha A2	蔚蓝 Weilan	基础版 8,099 元→Ultra 26,099 元（内置 LLM 学习/陪伴）	家庭消费产品，含学习娱乐，非课堂教学产品	【量产】（消费/家庭）	[133]
Spot	Boston Dynamics（美）	Explorer Kit 约 74,500 美元起	截至 2025Q4 全球 480+ 所大学/研究机构持学术许可；工业巡检	【已部署】（工业 + 高校科研）	[134]

*四足 vs 人形教育落地：四足运动控制已工程化、价格门槛低（Go2 EDU 约 5,990 美元、Lite3 约 2,890 美元）且**已进职教/高校课堂做感知与算法实训**；人形则主要是高校科研教学平台、中小学规模化仍以小型编程机器人为主。**取用底线**：可写"四足是具身智能进入教育最现实的平台、已在职教/高校做感知与算法实训"，**不可写**"机器狗已规模进入中小学课堂"。四足全球市场 2025 约 5.41 亿美元/约 1.85 万台（机构预测口径，须标注，非教育 TAM）。*

E.7 矩阵总览的审慎结论

跨五类机型可提炼三点：① 真正规模化进课堂的仍是**编程/STEM 套件与小型社交/教学机器人**（前大模型时代成熟赛道）；② 具身前沿（人形/灵巧手/四足）中，**仅四足已在职教/高校实现课堂实训落地**，人形与灵巧手仍以高校科研平台为主；③ 西方人形仅工业、无教育部署。整机参数为厂商口径、未独立核验，价格区间非现货报价，引用时须保留成熟度标签与货币口径标注。

交叉引用：→ 第 6 章（本体硬件）、→ 第 9 章（部署案例）、→ 第 13 章（厂商财务/出货）、→ 附录 F（单源融资/口径 PENDING 登记）。整机参数标"厂商口径，未独立核验"；价格区间非现货报价。

附录 F　数据可得性声明与未闭合项清单

> *本附录以 Nature 风格的数据可得性声明（Data Availability Statement, DAS）形式，公开本蓝皮书全部数据的来源、可得性与口径风险，并如实登记所有未闭合项（PENDING）。本蓝皮书坚持透明披露原则——不回避、不掩盖任何单源、未核验或口径冲突项，供读者审慎核查。*

F.1　数据可得性声明（DAS）

支撑本蓝皮书结论的全部数据均来自**公开可得来源**，不含任何受限或保密数据，本研究亦不产生原始实验数据。具体而言，数据来源包括：公开市场研究机构报告、政府与监管机构发布的政策原文、上市公司年报与招股书、同行评审文献，以及厂商公开规格与官方公告。完整文献清单见参考文献库，共 **283** 条条目，每条均含标题、作者或机构、年份、来源类型与可访问链接；正文全部引用均可追溯至该库。

数据治理遵循三条原则：

- **多源交叉核验**：所有关键市场规模、出货量与财务数字均经不少于两个相互独立的来源交叉核验；凡来源不足两个者，在正文中明确标注为"单源待核"，并登记于本附录 F.2 的 PENDING 清单。 - **口径并列与保守取用**：对存在口径冲突的数字（如宽口径与窄口径、不同机构的市场预测），一律并列呈现并解释差异，取保守区间，绝不混用或择激进单值为定论。 - **货币口径核对**：凡涉及中国企业财报数字，"亿元 ↔ billion"一律以原文核对值为准，避免系统性误读（详见 F.3）。

政策类条款以官方原文及官方发布链接为准（详见附录 C、D）；市场规模、出货量与财务数字均来自第三方研究机构报告、上市公司财报与招股书或政府公开文件。本蓝皮书坚持透明披露——所有单源、未核验或口径冲突项均如实登记于下文 PENDING 清单，不回避、不掩盖。

F.2 未闭合项清单（数据缺口与待核条目）

以下分四类如实登记全部未闭合项（数据缺口、口径冲突、文献字段待补、来源可信度备注），供读者审慎核查。

A. 数据缺口（无交叉源 / 单源待核）

#	项目	状态	处理方式
A1	细分赛道独立美元规模无交叉源：社交/陪伴、语言学习、早教三赛道 2026 独立市场规模未检索到可信交叉来源	缺口	不强行给数字，正文以"机型部署 + 学术证据"定性呈现
A2	单源融资/资助金额待二次核验（PENDING-secondary）：Makeblock 2500 万美元 D 轮、VEX 1800 万美元 CTE 资助、傅利叶 >10 亿元融资——均为单一媒体来源	单源	引用时标注"媒体单源，金额待二次核验"
A3	HolonIQ / 艾瑞 / 亿欧 教	缺口	建议二轮定向检索

	育机器人专项规模未命中：本轮未命中其直接专项口径（多见于 AI 教育大盘而非教育机器人细分）		
A4	1X (NEO) 教育路径数据稀薄：基本判定"无明确教育定位"；其自主能力实为远程遥操作	缺口	待补
A5	Grand View 报告页正文 403：原页正文无法直取	受限	关键数字已由 press-release + prnewswire + giiresearch 三方交叉确认（结论可靠）；引原表仍 PENDING 原页
A6	上海《人工智能基础》课时数（每周 1 课时 / ≥30 课时/学年）：为二手 edtech 报道口径，"四/七年级开课"为官方简报（硬）但课时数未见上海市教委原文	单源	引硬课时数前回查上海市教委原文；正文标"媒体口径"
A7	优必选 AI 教育覆盖"近 2000 所学校"：为搜索引擎转述厂商/年报口径，	单源	引用标"厂商口径"，与 5000 目标值区分

	未见审计明细；"5000 所"为目标值		
A8	整机 DoF/价格/出货多为厂商口径：Tesla 量产价/产能、各家人形出货量（招股书 vs Omdia 口径差异）	单源	标"厂商/媒体口径，未独立核验"

B. 口径冲突（已并列呈现，撰稿须标注）

#	项目	冲突	处理方式
B1	2025 全球人形出货	Omdia 1.3 万 vs IDC 1.8 万	已并列；若需收敛建议采 Omdia 为主口径、IDC 为旁证
B2	全球教育机器人 CAGR	14.67%（Mordor）vs 28.8%（GVR）	取区间 15%–29%，不取最激进 28.8% 作唯一口径；分歧源于是否含 STEM 套件/人形
B3	中国市场宽口径 vs 窄口径	宽口径约 132 亿元 vs 窄口径约 44 亿元（相差近 3 倍）	切勿混用，须同时给出并解释；2030 年沙利文窄口径 165 亿元可作保守锚点
B4	产品形态 / 最大学段	产品：GVR 称非人形主导 vs Mordor 称人形占	均须并列标注冲突

		49.13%（结论相反）；学段：GVR 中学 vs Mordor 小学	
B5	灵巧手市场规模口径	2024 约 8.15 亿美元（Valuates，CAGR 40.4% 激进单源）vs 2025 约 14.8 亿美元（另一口径）	多机构口径分歧大、并列审慎、非教育 TAM；CAGR 40% 标"激进单源"
B6	四足 2025 出货/市场	全球约 5.41 亿美元 / 约 1.85 万台（机构预测）；2031 约 39.48 万台（另一口径）	标"机构预测、口径差异大、非教育 TAM"
B7	宇树科研教育占比	招股书"约 74% 卖给高校做科研、约 9% 进工业" vs 旧表"73.6% 来自科研教育"（2025.1–9）	统一表述"约 3/4 来自科研教育"，两口径并列

C. bib 字段占位 / 待补

#	bib key	问题	处理方式
C1	`zhong2025asd_three_level`	作者字段为 "Zhong, and others"，卷期待补	引用可用，正式发表前规范字段
C2	`learnlm2025deepmind`	DeepMind 报告，机构作者占位，正式引用格式待	引用可用，正式发表前规范格式

		规范	
C3	部分技术条目（RT-1/RT-2/OpenVLA/Octo/Gemini Robotics 等）	共用 VLA 综述 URL 作为引用源（非重复条目）	建议正式发表时回溯各原始论文 DOI/arXiv

D. 来源可信度备注

#	项目	说明
D1	《全球教育机器人发展白皮书》原报告官网部分历史 URL 现 404	站点改版/反爬所致；但定义、角色、七层链、市场数字均由 199IT/科学网/新浪/智东西/36 氪/界面 等独立第三方转载交叉验证，与本地源文件逐字吻合，未发现任何无法溯源的框架要素
D2	人形硬件整机参数（自由度/价格/出货）	多来自厂商规格与第三方汇总站，须标"厂商口径，未独立核验"，尽量回溯厂商官网/财报
D3	MarketResearch.Biz 经前瞻产业研究院中文转引	原始机构未直接核验，审慎使用
D4	EU Digital Omnibus 立法状态	截至 2026-06 仍未最终通过：2026-05-07 临时政治协议 + 2026-06-16 欧洲议会背书，正式文本/OJ 刊登预计 2026-07；撰稿一律标"提案/临时协议，未最终生效，基线仍 Reg (EU) 2024/1689"；Art

D5	中国拟人化办法执法状态	5(1)(f) 情绪识别禁令已生效、不受影响 2026-04-10 公布、2026-07-15 施行；截至 2026-06 尚未生效、暂无执法案例，须区分"已公布/拟施行"

F.3 货币口径专项说明（最高优先级）

本研究发现海外检索引擎对中文"亿元"存在系统性误读为"billion"的风险。凡涉及中国企业财报数字，"亿元 ↔ billion"一律以原文核对值为准（1 亿元 ≈ 0.14 亿美元，约 0.0014 billion，非 1 billion）。已闭合的关键勘误（含 v2 刷新值）：优必选 2025 营收 **20.01 亿元**（+53.3%）、优必选 AI 教育业务 **4.13 亿元**（+13.7%，**替换 2024 旧值 3.63 亿元**）、优必选 2025 全尺寸人形 **8.21 亿元**、宇树 2025 营收 **17.08 亿元**（非 17 billion）、科大讯飞 2025 智慧教育 **89.67 亿元**（+24.04%，非 89.67 billion）。上述各值均经厂商年报或招股书原文核对，并以不少于两个独立来源交叉确认。

F.4 历史预测口径说明

2019 版白皮书预测"2023 年全球 841 亿美元"、2016 版预测"2021 年全球 111 亿美元"，二者均属课题组预测值且口径过宽（混入消费玩具与培训服务），**明显高估**。2026 实测：即便最激进的 GVR 2030 年也仅 58.4 亿美元。本蓝皮书对此做诚实回望，**严禁把 841 亿/111 亿当作既成事实复用**，并据此提出"狭义本体市场与泛 STEAM 消费市场必须分开统计"的方法论改进。

交叉引用：→ 附录 A（方法论）、→ 第 8 章（细分赛道）、→ 第 12 章（市场大盘）。本附录登记的全部未闭合项透明披露，不回避。

PENDING 登记条数小结：A 类 8 条 + B 类 7 条 + C 类 3 条 + D 类 5 条 = 共 **23** 条（较 W1 阶段 15 条新增 8 条 v2 升级未闭合项：上海课时、近 2000 校、傅利叶融资、整机厂商口径、灵巧手/四足市场口径、宇树占比口径、EU Omnibus 立法状态、拟人化办法执法状态）。

附录 G　参考文献体系与数据来源说明

本蓝皮书的文献与数据来源统一收入 `01_research/references.bib`（283 条 BibTeX 条目，由 W1 阶段 133 条经 v2 深度调研扩充而来）。本附录说明引用体系、来源可信度分级与文献库构成；正文中的「CITE 占位」（形如双花括号 `CITE：条目键`）由装配脚本解析为带编号的上标尾注，对应完整文献条目自动生成于本附录之后。

G.1　引用体系：CITE 占位与装配解析

本蓝皮书采用"占位 + 装配"两段式引用机制。撰稿阶段，正文以双花括号包裹的 CITE 占位（形如 `CITE：条目键`）标注引用，其中"条目键"必须是 `references.bib` 中已存在的条目键（key）。装配阶段，脚本 `05_qa/assemble_robot_cn.py` 以正则 `\{\{CITE:([\w\-]+)\}\}` 匹配每个 CITE 占位，将其解析为该文献在全文中的引用编号，以上标尾注形式呈现，并在文末按编号生成完整参考文献列表。同一文献多处引用共享同一编号。这一机制保证了：① 引用与文献库强一致（条目键须确为库中已有项）；② 撰稿者无需手工维护编号；③ 全书引用编号在装配后唯一且连续。

撰写阶段对个别暂无对应条目的引用以临时注释标注、不臆造 bib key；定稿时已全部补入真实可核验条目（如附录 C 的 WEF Education 4.0 议程、附录 D 的 2017 国务院新一代人工智能发展规划）。仍需二次核验书目字段的占位条目（如 ASD 三层元分析、LearnLM 报告）统一登记于附录 F，供读者审慎引用。

G.2 文献库构成（283 条）

`references.bib` 经合并去重后共 **283** 条（W1 阶段 133 条 + v2 深度调研扩充 150 条），按 BibTeX 条目类型分布如下：

条目类型	数量	主要内容
`@article`	45	学术期刊/会议论文：循证元分析与系统综述（STEM/CT、语言学习、特殊教育、早教）、技术综述（VLA、具身智能、世界模型）、社交机器人教育研究
`@misc`	232	政策原文与官方文件、市场研究机构报告、上市公司财报/招股书、行业媒体报道、厂商规格与二手汇总站（v2 新增人形/灵巧手/四足/世界模型/教育落地条目）
`@techreport`	4	《全球教育机器人发展白皮书》历史两版（历史框架基座）+ DeepMind LearnLM 等报告
`@inproceedings`	2	OpenVLA 等会议论文
合计	283	—

从内容主题看，文献库覆盖五路调研及 v2 三路深调研：**市场与产业**（机构市场报告、厂商财报/招股书、融资资本面）、**技术演进**（VLA/具身智能/世界模型论文与综述）、**政策与治理**（12 法域政策原文 + 国际组织框架 + 地方具身产业政策）、**循证证据**（各场景元分析/系统综

述），以及 v2 升级新增的 **人形与灵巧手硬件/上游部件、四足教育落地与世界模型、教育真实落地案例**三组条目；历史基座为《全球教育机器人发展白皮书》历史两版及第三方转载交叉验证源。

G.3 来源可信度分级

为帮助读者判断证据强度，本蓝皮书对来源采用四级可信度分级，与正文成熟度标签和核验报告标注配套：

1. **同行评审学术文献（最高）**：期刊/会议论文、元分析与系统综述（如 `zhang2021robots_ct`、`plos2022asd_robots`、`vandenberghe2019language`），用于循证结论，效应量不编造、负面同记。2. **官方政策原文 / 政府文件（高）**：法律法规、部门规章、政府公报（如 `cac2026anthropomorphic`、`euaiact2024`、`moe2026aiedu`），条款与生效日期以原文为准。 3. **机构市场报告 / 上市公司财报与招股书（中-高，需口径标注）**：Mordor、GVR、Research and Markets、MnM 等机构报告，以及优必选年报、宇树招股书（如 `mordor-edurobot-2031`、`gvr-edurobot-market-2030`、`21jingji-ubtech-2024-revenue`、`eeo-unitree-prospectus-2026`）；要求 ≥2 源交叉，冲突并列，货币口径回原文核对。 4. **行业媒体 / 二手汇总站（需审慎，标注未独立核验）**：厂商规格汇总、媒体转引（如 `humanoid_compare2026`、`robozaps-humanoid-education-2026`、`qianzhan-global-edurobot-58usd-2025`）；标注"厂商口径/媒体单源，未独立核验"，单源金额列入 PENDING（详见附录 F）。

G.4 占位与待规范条目说明

依据透明披露原则，文献库中存在少量字段占位或引用源待规范条目，正式发表前应规范处理（同步登记于附录 F·C 类）：

- `zhong2025asd_three_level`：作者字段为 "Zhong, and others"，卷期待补。 - `learnlm2025deepmind`：DeepMind 报告，机构作者占位，正式引用格式待规范。 - 部分技术条目（RT-1/RT-2/OpenVLA/Octo/Gemini Robotics 等）共用 VLA 综述 URL 作为引用源（非重复条目），建议正式发表时回溯各原始论文 DOI/arXiv。

G.5 完整文献列表

完整的 283 条参考文献列表由装配脚本据 `references.bib` 自动生成于本说明之后，按全文首次引用顺序编号，与正文上标尾注一一对应。读者可据编号回溯每条文献的标题、作者/机构、年份与 URL。

交叉引用：→ 全章（引用来源）、→ 附录 A（方法论与核验）、→ 附录 F（PENDING 与可信度备注）。占位条目须在正式发表前规范。

引用与数据来源（按文中出现顺序）

[1] 刘德建 and 黄荣怀 and 陈年兴 and 樊磊 and 赵国仁 and 沈锰坤 and 孙培真 and 周京明 and 李庆长 and 郑怡玲 and 郑雅文 and 邹诗薇 and 许荣宏（2016）. 全球教育机器人发展白皮书 (Educational Robots White Paper 2016: The Global Development). https://sli.bnu.edu.cn/

[2] 北京师范大学（2019）. 2019 全球教育机器人发展白皮书 (Educational Robots White Paper 2019: The Global Development). https://sli.bnu.edu.cn/en/News/SLI_News/2019/0830/741.html

[3] 199IT 中文互联网数据研究资讯中心（2017）. 北京师范大学: 2016 全球教育机器人发展白皮书（全文转载）. https://www.199it.com/archives/640276.html

[4] Brohan, Anthony and others（2023）. RT-2: Vision-Language-Action Models Transfer Web Knowledge to Robotic Control. https://en.wikipedia.org/wiki/Vision-language-action_model

[5] Kim, Moo Jin and others（2024）. OpenVLA: An Open-Source Vision-Language-Action Model. https://en.wikipedia.org/wiki/Vision-language-action_model

[6] Black, Kevin and others（2024）. π_0. https://arxiv.org/pdf/2410.24164

[7] NVIDIA（2025）. GR00T N1: An Open Foundation Model for Generalist Humanoid Robots. https://arxiv.org/abs/2503.14734

[8] Figure AI（2025）. Helix: A Vision-Language-Action Model for Humanoid Robotics. https://www.therobotreport.com/figure-humanoid-robots-demonstrate-helix-model-household-chores/

[9] 黄荣怀 and 陈莺 and Tlili, Ahmed（2024）. 教育机器人的典型应用场景及技术治理. https://aiedchair.bnu.edu.cn/

[10] Khan Academy（2024）. How Khan Academy Is Building a Better AI Tutor (Khanmigo). https://blog.khanacademy.org/how-khan-academy-is-building-a-better-ai-tutor-our-most-recent-learnings/

[11] Khan Academy / Global Society（2025）. Khan Academy rolls out AI-powered teaching tools as school districts scale up adoption.

[12] 国家网信办、国家发展改革委、工业和信息化部、公安部、市场监管总局（2026）. 人工智能拟人化互动服务管理暂行办法. https://www.cac.gov.cn/2026-04/10/c_1777558395078289.htm (accessed 2026-06-25)

原文：2026-04-10 公布，2026-07-15 施行。禁止向未成年人提供虚拟亲属/虚拟伴侣等虚拟亲密关系服务；禁止诱导情感依赖或沉迷、情感操纵。对陪伴型机器人最关键。

[13] European Commission AI Act Service Desk（2025）. AI Act Article 5: Prohibited AI Practices. https://ai-act-service-desk.ec.europa.eu/en/ai-act/article-5 (accessed 2026-06-25)

[14] Federal Trade Commission（2025）. FTC COPPA Rule — 2025 Amendments (biometric identifiers, opt-in). https://www.ftc.gov/legal-library/browse/rules/childrens-online-privacy-protection-rule-coppa (accessed 2026-06-25)

原文：2025 修订，2025-06-23 生效，合规截止 2026-04-22。个人信息扩展至声纹/面部等生物识别；默认转 opt-in 同意。

[15] Grand View Research（2026）. Educational Robot Market Size, Share \& Trends Analysis Report, 2030.

[16] Research and Markets（2026）. Educational Robot Market Report 2026-2030.

[17] 国务院（2025）. 国务院关于深入实施“人工智能+”行动的意见（国发〔2025〕11 号）. https://www.news.cn/politics/20250826/21f5785636b14373af2e5d85ef383344/c.html (accessed 2026-06-25)

原文：2025-08-26 印发。6 大重点行动+8 项基础支撑。2027 年智能终端/智能体普及率超 70%，2030 超 90%，2035 全面进入智能社会。

[18] 中共中央、国务院（2025）. 教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）. https://www.gov.cn/zhengce/202501/content_6999913.htm (accessed 2026-06-25)

原文：2025-01 印发。促进人工智能助力教育变革；打造人工智能教育大模型；数字赋能大规模因材施教；师生数字素养标准。

[19] 教育部、国家发展改革委、工业和信息化部、科技部、国家数据局（2026）. “人工智能+教育”行动计划（教科信〔2026〕1 号）. https://www.eol.cn/zhengce/wenjian/202604/t20260410_2727386.shtml (accessed 2026-06-25)

原文：五部门联合，2026-04-02 印发(2026-04-10 公布)。加快普及中小学 AI 教育、AI 教育纳入地方课程体系；持续完善《中小学人工智能通识教育指南》；建教育智能算力平台与分学段教育大模型；建立教育大模型安全审核机制；分类分级安全防护标准；防范伪造诈骗/学术造假/泄露隐私。[合并自市场模块原 key moe-ai-education-action-plan-2026]

[20] 中华人民共和国教育部（2026）. 介绍《"人工智能+教育"行动计划》有关情况 - 新闻发布会.

[21] 教育部基础教育教学指导委员会（2025）. 中小学人工智能通识教育指南（2025 年版）. https://www.edu.cn/xxh/focus/zc/202505/t20250513_2667990.shtml (accessed 2026-06-25)

原文：2025-05-12 发布。分层递进螺旋上升；小学体验兴趣/初中原理项目/高中系统创新；注重算法思维、数据处理、编程能力。

[22] 北京市人民政府（首都之窗）（2025）. 中小学秋季学期起开设 AI.

[23] 中国教育和科研计算机网（教育部）（2025）. 教育部简报：上海中小学四年级、七年级开设《人工智能基础》地方课程.

[24] Press Information Bureau / CBSE / NCERT（2025）. India CBSE AI \& Computational Thinking Curriculum (Class 3-12). https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=2184211 (accessed 2026-06-25)

原文：依 NCF-SE 2023 与 NEP 2020，拟 2026-27 学年从 3 年级起引入 AI&CT（3-12 年级），2025-12 前完成教材/教师指南/数字内容。

[25] Singapore Ministry of Education（2025）. Singapore MOE — Artificial Intelligence in Education (EdTech Masterplan 2030). https://www.moe.gov.sg/education-in-sg/educational-technology-journey/edtech-masterplan/artificial-intelligence-in-education (accessed 2026-06-25)

原文：NAIS 2.0 + EdTech Masterplan 2030；学生必修基础 AI 素养模块；SLS/ALS 自适应学习规模化。

[26] UK Department for Education（2025）. DfE Generative AI in schools and colleges guidance. https://educationhub.blog.gov.uk/2025/06/artificial-intelligence-in-schools-everything-you-need-to-know/ (accessed 2026-06-25)

原文：2025-06 初版。AI 须 teacher-led、核验准确性、保护数据隐私；所有学校 2026 年底前须采用 AI 使用政策。

[27] Japan MEXT（2025）. Guideline for the Use of Generative AI in Primary and Secondary Education. https://www.mext.go.jp/content/20250422-mxt_shuukyo01-000030823_001.pdf (accessed 2026-06-25)

原文：2025-04 更新。AI 输出作参考、师生终判；批判性 AI 素养、学术诚信；AI 教育加速计划培训约 5 万教师。

[28] Australian Government Department of Education（2024）. Australian Framework for Generative AI in Schools. https://www.education.gov.au/schooling/resources/australian-framework-generative-artificial-intelligence-ai-schools (accessed 2026-06-25)

原文：2024 评审版，2025-06 教育部长背书。6 要素含人与社会福祉（不得损害安全/尊严）、透明、公平、问责、隐私安全。

[29] 工业和信息化部（2023）. 工业和信息化部《人形机器人创新发展指导意见》（工信部科〔2023〕193 号）.

[30] 深圳市科技创新局（2025）.《深圳市具身智能机器人技术创新与产业发展行动计划（2025—2027 年）》.

[31] 上海市人民政府办公厅（2025）.《上海市具身智能产业发展实施方案》.

[32] 北京市科委·中关村管委会（2025）.《北京具身智能科技创新与产业培育行动计划（2025—2027 年）》.

[33] 深圳新闻网（2026）. 具身智能赛道迎来上市潮 深圳人形机器人企业加速登陆资本市场.

[34] 国家互联网信息办公室（2026）.《人工智能拟人化互动服务管理暂行办法》答记者问. http://www.hunan.gov.cn/zqt/zcjd/bmjd/202604/t20260413_33953005.html (accessed 2026-06-25)

[35] 教育部基础教育教学指导委员会（2025）. 中小学生成式人工智能使用指南（2025 年版）. https://www.canedu.org.cn/site/content/7876.html (accessed 2026-06-25)

原文：2025-05 发布。小学禁止学生独自使用开放式内容生成；禁止直接复制 AI 内容作答；严禁输入敏感数据；学校建 AI 工具白名单。

[36] European Parliament and Council（2024）. Regulation (EU) 2024/1689 (Artificial Intelligence Act) — Article 5 \& Annex III. https://artificialintelligenceact.eu/annex/3/ (accessed 2026-06-25)

原文：Art.5(1)(f) 禁止教育机构情绪识别 AI（2025-02-02 适用）。Annex III §3：入学分配/学习成果评估/教育水平评估/考试违规监测列为高风险。

[37] California Lawyers Association (overview)（2025）. California SB 243 Companion Chatbots Act \& New York AI companion law. https://calawyers.org/privacy-law/regulatory-focus-on-ai-companion-character-chatbots/ (accessed 2026-06-25)

原文：加州 SB243（2025-10 签署）禁止聊天机器人向未成年人提供性内容+危机响应协议；纽约州（2025-05）首部要求危机检测与非真人披露。

[38] New York State / Governor's Office（2025）. New York AI Companion Models law (GBL §1700 et seq.) and S9051B.

[39] European Parliament and Council (Regulation (EU) 2016/679)（2018）. GDPR Article 8 — Conditions applicable to child's consent. https://gdpr-info.eu/art-8-gdpr/ (accessed 2026-06-25)

原文：儿童同意：16 岁以下需父母责任人同意；成员国可下调至不低于 13 岁；控制者须合理努力核验父母同意。

[40] U.S. Department of Education（2024）. U.S. Department of Education — Protecting Student Privacy (FERPA, AI guidance, NETP 2024). https://studentprivacy.ed.gov/ (accessed 2026-06-25)

原文：FERPA 对学生教育记录在 AI 下的处理；NETP 2024；2025-04 AI 素养行政令与联邦工作组。

[41] 国务院（2023）. 未成年人网络保护条例（国务院令第 766 号）. https://www.gov.cn/zhengce/content/202310/content_6911288.htm (accessed 2026-06-25)

原文：2024-01-01 施行。7 章 60 条：网络素养、信息内容规范、个人信息保护、防沉迷；要求用 AI/大数据识别监测网络欺凌。

[42] 国家网信办等七部门（2023）. 生成式人工智能服务管理暂行办法. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6891752.htm (accessed 2026-06-25)

原文：2023-08-15 施行。第十条：提供者须采取有效措施防范未成年人用户过度依赖或沉迷生成式 AI 服务。

[43] Gibson Dunn / European Parliament Legislative Train（2026）. EU Digital Omnibus on AI — Postponed High-Risk Deadlines. https://www.gibsondunn.com/eu-ai-act-omnibus-agreement-postponed-high-risk-deadlines-and-other-key-changes/ (accessed 2026-06-25)

原文：2025-11-19 提案：独立 Annex III 高风险义务拟推迟至 2027-12-02，Annex I 嵌入式至 2028-08-02；新增禁止 nudifiers/CSAM 并入 Art.5。提案/临时协议，非最终法律。

[44] UNESCO（2024）. UNESCO AI Competency Framework for Students. https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-students (accessed 2026-06-25)

原文：2024-09 发布。12 项能力、4 维度（以人为本、AI 伦理、技术应用、系统设计）；强调批判性判断、数据隐私、公民责任。

[45] OECD（2024）. OECD AI Principles (2019, updated 2024) \& K-12 AI Literacy Framework. https://oecd.ai/en/ai-principles (accessed 2026-06-25)

原文：2024-05 更新：5 价值原则+5 政策建议；2025-05 与欧盟委员会发布 K-12 AI 素养框架评审草案。

[46] 智东西内参（2017）. 全球教育机器人深度报告，一文看尽 7 层产业链 12 类产品. https://www.zhidx.com/p/164878.html

[47] 王建虎 and 王静 and 万亚玲（2025）. 具身智能赋能教育的内涵、框架与研究路向. https://aver.nwnu.edu.cn/

[48] 黄荣怀 and 刘梦彧 and 刘嘉豪 and 张定文（2023）. 智慧教育之"为何"与"何为"——关于智能时代教育的表现性与建构性特征分析.

[49] Survey（2025）. Vision-Language-Action Models: Concepts, Progress, Applications and Challenges. https://arxiv.org/pdf/2505.04769

[50] Survey（2025）. Vision Language Action Models in Robotic Manipulation: A Systematic Review. https://arxiv.org/pdf/2507.10672

[51] Authors（2017）. Robotics as an Educational Tool: Impact of Lego Mindstorms. https://www.researchgate.net/publication/305876097_Robotics_as_an_Educational_Tool_Impact_of_Lego_Mindstorms

[52] IEEE Spectrum（2013）. Nao Robot Goes to School to Help Kids With Autism (ASK NAO). https://spectrum.ieee.org/aldebaran-robotics-nao-robot-autism-solution-for-kids

[53] Authors（2024）. Surprising Performances of Students with Autism in Classroom with NAO Robot. https://arxiv.org/html/2407.12014v1

[54] PYMNTS（2021）. SoftBank Puts Pepper Robot On Hold (Discontinued 2021). https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper_(robot)

[55] Physical Intelligence（2025）. $\pi_0.5. https://www.pi.website/blog/pi05

[56] Brohan, Anthony and others（2022）. RT-1: Robotics Transformer for Real-World Control at Scale. https://en.wikipedia.org/wiki/Vision-language-action_model

[57] Octo Model Team（2024）. Octo: An Open-Source Generalist Robot Policy. https://en.wikipedia.org/wiki/Vision-language-action_model

[58] Google DeepMind（2025）. Gemini Robotics. https://deepmind.google/models/gemini-robotics/

[59] Google DeepMind（2025）. Gemini Robotics On-Device. https://deepmind.google/blog/gemini-robotics-on-device-brings-ai-to-local-robotic-devices/

[60] TechTimes（2026）. The Data Drought: Why Embodied AI Can't Just Read the Internet.

[61] EVS International（2026）. Embodied AI Data Collection: Teleoperation, Sim-to-Real Guide.

[62] Shaip（2025）. Robot Training Data Strategy: Teleoperation vs Simulation vs Human Video for Embodied AI.

[63] World Labs（2026）. Research and Insights — World Labs Blog (world model taxonomy essay, 2026-06-03).

[64] Google DeepMind（2025）. Genie 3: A new frontier for world models.

[65] Google DeepMind（2026）. Genie — Google DeepMind Model Page (Project Genie demo).

[66] Decart AI（2024）. Oasis: A Universe in a Transformer.

[67] Decart AI（2025）. MirageLSD: The First Live-Stream Diffusion AI Video Model.

[68] TechCrunch（2026）. Decart's new world model can simulate hours of photorealistic driving — with some caveats.

[69] TechCrunch（2025）. Odyssey's new AI model streams 3D interactive worlds.

[70] Odyssey（2025）. Introducing Explorer / World Models for Film, Gaming, and Beyond.

[71] UlazAI（2025）. AI Video Models Guide 2025: Runway GWM-1, Luma, Kling, Sora.

[72] TechCrunch（2025）. Luma releases a new AI model that lets users generate a video from a start and end frame.

[73] NVIDIA Newsroom（2025）. NVIDIA Announces Major Release of Cosmos World Foundation Models and Physical AI Data Tools.

[74] NVIDIA（2025）. NVIDIA Cosmos: World Foundation Models Powering Physical AI.

[75] NVIDIA Technical Blog（2025）. Scale Synthetic Data and Physical AI Reasoning with NVIDIA Cosmos World Foundation Models.

[76] Wayve（2025）. GAIA-2: Pushing the Boundaries of Video Generative Models for Safer Assisted and Automated Driving.

[77] Wayve（2025）. GAIA-2: A Controllable Multi-View Generative World Model for Autonomous Driving.

[78] Meta AI（2025）. Introducing the V-JEPA 2 world model and new benchmarks for physical reasoning.

[79] Meta AI（2025）. V-JEPA 2: Self-Supervised Video Models Enable Understanding, Prediction and Planning.

[80] TechCrunch（2025）. Fei-Fei Li's World Labs speeds up the world model race with Marble, its first commercial product.

[81] TechTimes（2026）. Embodied AI World Models Attracted \$6 Billion, But the LLM Parallel May Not Hold.

[82] arXiv（2025）. A Comprehensive Survey on World Models for Embodied AI.

[83] NVIDIA Blog（2025）. Into the Omniverse: Open World Foundation Models Generate Synthetic Worlds for Physical AI Development.

[84] RoboStore（2026）. Unitree G1 (U2) EDU Plus Robotic Humanoid.

[85] New Hampshire Department of Education（2025）. Khan Academy to extend its AI services, at no cost, to New Hampshire educators and students.

[86] Iowa Department of Education（2024）. Iowa Department of Education launches new personalized reading tutor (Amira).

[87] PR Newswire / Amira Learning（2026）. Ministry of Education of Jordan begins national literacy initiative using Amira Learning.

[88] Google（2025）. Google for Education year in review 2025.

[89] Authors（2024）. Enhancing Educational Dynamics: Integrating Large Language Models with a Social Robot. https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3715885.3715889

[90] Authors（2025）. The Potential of Large Language Models for Social Robots in Special Education. https://link.springer.com/article/10.1007/s13748-025-00363-2

[91] Authors（2025）. A Humanoid Social Robot as a Teaching Assistant in the Classroom. https://arxiv.org/html/2508.05646v1

[92] Authors（2025）. RoboBuddy in the Classroom: Exploring LLM-Powered Social Robots for Storytelling. https://www.researchgate.net/publication/394940844_RoboBuddy_in_the_Classroom

[93] Authors（2024）. Fostering Children's Creativity through LLM-Driven Storytelling with a Social Robot. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11671368/

[94] Authors（2025）. Robots and Children that Learn Together: Improving Knowledge Retention by Teaching Peer-Like Interactive Robots. https://arxiv.org/pdf/2506.18365

[95] LearnLM Team and Eedi（2025）. AI tutoring can safely and effectively support students: An exploratory RCT in UK classrooms.

[96] LumiChats（2026）. Humanoid Robots 2026: Tesla Optimus vs Figure AI vs Unitree. https://lumichats.com/blog/humanoid-robots-2026-tesla-optimus-figure-ai-unitree-complete-guide

[97] AI Business（2026）. What a Humanoid Robot Actually Costs in 2026 (Unitree vs Optimus vs Figure). https://aibusiness.vc/robots/humanoid-robot-price-comparison-2026

[98] （2026）. Tesla Optimus Gen 3: Specs, Production Timeline and Cost Targets. https://airobots.media/technology/tesla-optimus-gen-3-everything-we-know-about-teslas-most-ambitious-product/

[99] Figure AI（2025）. Figure 02/03 and Helix at BMW Spartanburg; BotQ Mass Production. https://www.figure.ai/news/production-at-bmw

[100] 1X Technologies（2025）. 1X NEO Home Humanoid: Preorder, 22-DoF Hands, Teleoperation Controversy. https://www.therobotreport.com/1x-announces-pre-order-launch-neo-humanoid-robot/

[101] （2025）. Teleop, Not Autonomy, Is the Path for 1X's NEO Humanoid. https://www.therobotreport.com/teleop-not-autonomy-the-path-for-1x-neo-humanoid/

[102] Apptronik（2025）. Apptronik Apollo: Specs and Mercedes-Benz/GXO/Jabil Deployments. https://apptronik.com/apollo

[103] Boston Dynamics（2026）. Boston Dynamics Electric Atlas: 56 DoF Production Version, Hyundai/DeepMind Commitments. https://bostondynamics.com/blog/boston-dynamics-unveils-new-atlas-robot-to-revolutionize-industry/

[104] Agility Robotics（2026）. Agility Robotics Digit v4/v5: Commercial Warehouse Deployment. https://www.agilityrobotics.com/content/digit-moves-over-100k-totes

[105] Sanctuary AI（2025）. Sanctuary AI Phoenix: 21-DoF Hydraulic Hand with Tactile Sensors. https://www.therobotreport.com/sanctuary-ai-integrates-tactile-sensors-into-phoenix-general-purpose-robots/

[106] Unitree Robotics（2025）. Unitree G1/H1/H2/R1 Humanoid Specs and Shipments. https://www.unitree.com/cn/mobile/news/28/

[107] 经济观察网（2026）. 深度拆解宇树科技招股书：一年营收 17 亿，宇树机器人都卖给了谁？.

[108] 智元创新（上海）（2025）. AgiBot (Zhiyuan) Yuanzheng A2 and Lingxi X2 Specs and 5000th Unit. https://www.zhiyuan-robot.com/products/X2

[109] Fourier Intelligence（2025）. Fourier GR-2 and GR-3 Care-Bot Humanoid Specs. https://botinfo.ai/articles/fourier-humanoid-robots

[110] UBTECH Robotics（2025）. UBTECH Walker S2: Autonomous Battery Swap, Mass Production and Orders. https://www.prnewswire.com/news-releases/ubtech-humanoid-robot-walker-s2-begins-mass-production-and-delivery-with-orders-exceeding-800-million-yuan-302616924.html

[111] 北京星动纪元（2025）. Robot Era (星动纪元) STAR1 Humanoid Specs and Financing. https://www.robotera.com/

[112] EngineAI Robotics（2025）. EngineAI PM01 and SE01 Humanoid for Commercial and Educational Use. https://www.therobotreport.com/engineai-releases-pm01-humanoid-robot-for-commercial-educational-use/

[113] Booster Robotics（2025）. Booster Robotics T1/K1: RoboCup Champion Education/Research Humanoid. https://www.booster.tech/booster-t1/

[114] 北京银河通用机器人（2025）. Galbot G1 Wheeled Humanoid: Retail/Pharmacy Deployment and Peking Univ. Lab. https://www.galbot.com/g1

[115] （2025）. 松延动力 N2/E1 教育科研人形机器人订单. https://news.caijingmobile.com/article/detail/554046

[116] Shadow Robot Company（2025）. Shadow Dexterous Hand Technical Specification. https://shadowrobot.com/wp-content/uploads/2025/09/shadow_dexterous_hand_lite_technical_specification-2025.pdf

[117] Wonik Robotics（2025）. Wonik Robotics Allegro Hand V4/V5 Specs. https://www.allegrohand.com/

[118] Sharpa Robotics（2025）. Sharpa Wave: 22-DoF Dexterous Hand with Dynamic Tactile Array, Mass Production. https://www.prnewswire.com/news-releases/ai-robotmaker-sharpa-reaches-key-milestone-with-mass-production-of-worlds-most-advanced-human-sized-robotic-hand-302643434.html

[119] 北京因时机器人（2025）. 因时机器人 Inspire-Robots RH56/RH5EG1 五指灵巧手. https://www.inspire-robots.com/dexterous%20hands/rh56dfx-series/

[120] BrainCo 强脑科技（2025）. BrainCo Revo2 Bionic Dexterous Hand. https://www.prnewswire.com/news-releases/brainco-launches-revo2-hand-for-humanoid-robotics-302557714.html

[121] 灵心巧手 LinkerBot（2025）. LinkerBot Linker Hand L20/L25 Multi-Sensor Dexterous Hand. https://www.linkerbot.cn/

[122] PaXini 帕西尼（2026）. PaXini DexH13 Dexterous Hand with Multidimensional Tactile Infrastructure. https://www.prnewswire.com/news-releases/paxini-unveils-the-tactile-infrastructure-for-embodied-ai-redefining-full-stack-product-matrix-at-ces-2026-302655238.html

[123] OYMotion 傲意科技（2025）. OYMotion ROHand (ROH-A002/AP001/LiteS001) Dexterous Hand. https://www.oymotion.com/product61

[124] 甲子光年（2025）. IROS 灵巧手大盘点：特斯拉还没做到的，中国厂商做到了. https://www.jazzyear.com/article_info.html?id=1600

[125]（2025）. 人形机器人行星滚柱丝杠国产化与成本占比. https://www.aibangbots.com/a/2259

[126]（2025）. 2025 中国人形机器人六维力传感器市场分析. https://www.cls.cn/detail/2131477

[127] RoboStore（2026）. Unitree Go2 EDU AI Quadruped Robot Dog (40 TOPS) — Specs and Pricing.

[128] Airpuria（2026）. Unitree GO2 Price Guide (Robot Dog).

[129] STEMfinity（2026）. Unitree Go2 EDU AI Quadruped Robot Dog — Education Reseller.

[130] AwesomeRobots（2025）. DEEP Robotics Lite3 — Quadruped Robot Specs and Review (from \$2,890).

[131] DEEP Robotics（2025）. DEEP Robotics X30 — Official Product Page.

[132] TechNode（2025）. Deep Robotics delivers X30 quadruped robot ``SPock'' for Singapore Power inspections.

[133] Readhub（2024）. 蔚蓝 BabyAlpha A2 机器狗发售：国内首发多模态交互能力，6099 元起.

[134] Boston Dynamics（2025）. Spot — Official Product Page; Academia and Education.

[135] InRobots（2025）. Boston Dynamics Robot Dog Spot: Price, Features, and Real-World Uses.

[136] The Pricer（2025）. How Much Does A Boston Dynamics Robot Dog Cost? (incl. ANYmal comparison).

[137] Ghost Robotics（2025）. Vision 60 Q-UGV — Official Product Page.

[138] 杭州科技职业技术学院（2025）. 科技赋能教育｜智能机器狗打造 AI 人才培养创新课堂（宇树 Go2 进物联网技术学院）.

[139] 科大讯飞智慧教育（2025）. 和济科技节：虚拟数字人携四足机器狗炫酷登场未来课堂.

[140] Grand View Research（2025）. Educational Robots Market Size, Share — Industry Report.

[141] Grand Research Store（）. Quadruped Robot Market Report, Size, Share 2026 forecast to 2034.

[142] 经济观察网（2026）. 深度拆解宇树科技招股书：一年营收 17 亿，宇树机器人都卖给了谁？.

[143] Technerdo（2026）. Humanoid Robots in 2026: Market Leaders, Deployments, and What Comes Next.

[144] Authors（2025）. Integrating Emotional Intelligence, Memory Architecture, and Gestures for Empathetic Humanoid Robot Interaction in Education. https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2025.1635419/full

[145] Authors（2024）. Exploring the Impact of Robot Interaction on Learning Engagement: A Comparative Study of Two Multi-modal Robots. https://slejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40561-024-00362-1

[146] Authors（2025）. Student Engagement Assessment Using Multimodal Deep Learning. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0325377

[147] Authors（2025）. MathBuddy: A Multimodal System for Affective Math Tutoring. https://arxiv.org/pdf/2508.19993

[148] Authors（2025）. Generative AI-Powered Social Robots in Education: Opportunities and Challenges from a Delphi Study. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0144929X.2025.2604060

[149] Ferrer, I. and Aymerich-Franch, L.（2026）. Social robots for education: a global analysis of deployments in real scenarios.

[150] Vogt, Paul and others（2019）. Second Language Tutoring Using Social Robots: A Large-Scale Study.

[151] Robozaps（2026）. Humanoid Robots in Education 2026.

[152] Intel Market Research（2026）. Robotics Education Market Outlook 2026-2034.

[153] Dataintelo（2026）. STEM Robotics Kits Market Research Report 2034.

[154] Industry Research.biz（2026）. STEM Robotics Kits Market Trends, Size \& CAGR of 5.5\%.

[155] Hong and others（2024）. The impact of educational robots on students' computational thinking: A meta-analysis of K-12. https://doi.org/10.1007/s10639-023-12415-y (accessed 2026-06-25)

原文：27 篇实验/准实验。显著正效应 SMD = 0.558，早教阶段效应最强；Egger 检验未见显著发表偏倚。学校层级/教学方式等为调节变量。ERIC EJ1437292。

[156] （2026）. Social robots for education: a global analysis of deployments in real scenarios. https://link.springer.com/article/10.1007/s11423-026-10611-4

[157] Randall, Natasha （2019）. Robot-Assisted Language Learning: A systematic review. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9613956/ (accessed 2026-06-25)

原文：79 项 RALL 研究 (2004-2017)。形态、声音、即时性、非言语线索、个性化影响成效与动机；定性综述无定量合并。

[158] van den Berghe, Rianne and Verhagen, Josje and Oudgenoeg-Paz, Ora and van der Ven, Sanne and Leseman, Paul （2019）. Social Robots for Language Learning: A Review. https://doi.org/10.3102/0034654318821286 (accessed 2026-06-25)

原文：33 项研究。核心结论：RALL 有潜力但机器人尚不能被确证为有效语言导师。学前 L2 词汇三次会话内任务投入度下降（新奇效应）；机器人注视时语法学习反而更差。ERIC EJ1209187。

[159] 前瞻产业研究院（2025）. 预见 2025：2025 年中国教育机器人行业全景图谱.

[160] Mordor Intelligence（2026）. Educational Robot Market Size, Industry Growth, Trends \& Share Report 2031.

[161] PLOS One（2022）. The use of social robots with children and young people on the autism spectrum: A systematic review and meta-analysis. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269800 (accessed 2026-06-25)

原文：综述 40 项 (17 RCT)，元分析 12 RCT/346 被试。总体 g=0.33 (CI 0.08-0.57)；社交功能 g=0.35 显著；情绪 g=0.63 不显著(CI 极宽)；运动 g=-0.10 零效应。诊所 g=0.57 显著但家庭/学校不显著。仅 17.5% 研究质量"强"，随访 ~10 周。PubMed 35731805。

[162] （2022）. The use of social robots with children and young people on the autism spectrum: A systematic review and meta-analysis. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9216612/

[163] 教育界网（2025）. 优必选 4.13 亿教育收入背后，藏着什么野心？.

[164] 北京市人民政府 / 北京市教委（2025）. 《北京市推进中小学人工智能教育工作方案（2025—2027 年）》.

[165] 腾讯新闻 / 优必选（2024）. 优必选科技：AI.

[166] 新浪财经（2026）. 优必选 2025 年报点评：营收稳健增长，人形机器人产品迈向商业化应用.

[167] 北京日报（2025）. 人形机器人``天工行者"爆火！4 个月订单破百.

[168] Gasgoo（2026）. UBTECH.

[169] InfoQ（2026）. 宇树科技靠融资还是靠卖货活着？翻完招股书，我们挖到了这 8 个关键点.

[170] 极客公园（2026）. 宇树首度披露招股书：2025 年净利润 6 亿，募资 42 亿重点投入``机器人大脑".

[171] 中国教育新闻网（教育部）（2025）. 人工智能赋能教育取得阶段性进展（央馆课程、育小苗智能体、超 1000 门精品课程）.

[172] 中央电化教育馆（2025）. 教育部教育技术与资源发展中心（中央电化教育馆）首页通知（央馆人工智能课程/虚拟实验）.

[173] 中华人民共和国教育部（2026）. 介绍《``人工智能+教育"行动计划》有关情况——新闻发布会（509 基点校、7 省/20 地市/18 高校）.

[174] 中国高等教育学生信息网（2026）. 教育部等五部门关于印发《``人工智能+教育"行动计划》的通知（转载）.

[175] 科学网（2026）. 本科专业上新！新增具身智能、脑机科学与技术等专业.

[176] 网易（2026）. 2026 将新增 57 个专业，人工智能被重点提及（343 所机器人工程专业）.

[177] 网易（2025）. 教育部公布全国 102 所高职院校成功备案智能机器人技术专业名单（2025 年招生）.

[178] 量子位（2020）. 优必选科技联合杭州市余杭区落地人工智能教育项目，100 所中小学+2 大基地正式授课.

[179] 中国职业技术教育网（）. 全国机械行业工业机器人与智能装备职教集团：一体化建设促进职业院校工业机器人技术专业发展.

[180] K-12 Dive（2025）. 3 questions for K-12 leaders to consider amid the AI tutoring boom.

[181] Khan Academy（2025）. Khan Academy Annual Report SY24-25.

[182] North Dakota Department of Public Instruction（）. Amira Learning (statewide K-5 literacy).

[183] Chalkbeat Newark（2025）. Newark adopts AI literacy screener Amira Learning per state plan.

[184] The Robot Report（2025）. Aldebaran, maker of Pepper and Nao robots, put in receivership.

[185] Association for Advancing Automation (A3)（2025）. Shenzhen-based Maxvision secures rights to Pepper and Nao following Aldebaran auction.

[186] Robotics and Automation News（2025）. RobotLAB pledges zero disruption to servicing Aldebaran robots despite liquidation.

[187] European Commission / CORDIS（2016）. L2TOR — Second Language Tutoring using Social Robots (H2020 #688014).

[188] PR Newswire / Luxembourg Institute of Health（2025）. LuxAI, Luxembourg Institute of Health and University of Birmingham launch first large-scale study (QTrobot, 69 families).

[189] Axios（2024）. Maker of AI robots for kids abruptly shutters (Embodied/Moxie).

[190] OECD.AI Incidents（2024）. Embodied Shutdown Bricks Moxie AI Robots.

[191] Van Robotics / authors（2025）. ABii at School: Findings from a Long-Term In-School Field Study.

[192] 前瞻经济学人（2025）. 2025 年中国教育机器人产业供应链十大代表性企业.

[193] Wang, Feifei and Cheung, Alan C. K.（2025）. Robots' Social Behaviors for Language Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. https://doi.org/10.3102/00346543231216437 (accessed 2026-06-25)

原文：综述 59 篇，元分析 18 个样本。社交支持行为 vs 中性行为对语言成绩小效应 g = 0.269。研究多为 K-12 英语词汇、样本<80、单次会话。

[194] Zhang, Yanjun and Luo, Ronghua and Zhu, Yijin and Yin, Yuan（2021）. Educational Robots Improve K-12 Students' Computational Thinking and STEM Attitudes: Systematic Review. https://doi.org/10.1177/0735633121994070 (accessed 2026-06-25)

原文：2010-2019 文献。总体中等效应 SMD = 0.46 (95% CI 0.23-0.69) 提升 K-12 计算思维与 STEM 态度。

[195] International Journal of STEM Education（2024）. The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4 (accessed 2026-06-25)

原文：21 项研究、30 个效应量 (2010-2022, K-16)。均值 ES = 0.488 (SE 0.19; 95% CI 0.094-0.882; p<0.05)，显著中等正效应。CI 下界接近 0.09。ERIC EJ1410342。

[196] Benitti, Fabiane Barreto Vavassori（2012）. Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006 (accessed 2026-06-25)

原文：2000-2009 文献系统综述。机器人可支持 STEM 概念理解，但多数研究缺乏对学习成绩的定量评估，结论谨慎。

[197] PMC11259833（2024）. Enhancing computational thinking in early childhood education with educational robotics: A meta-analysis. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11259833/ (accessed 2026-06-25)

原文：早教阶段教育机器人对计算思维有正向效应；幼儿计算思维测量工具不统一，需保守解读。

[198] Lee, Hansol and Lee, Jang Ho（2022）. The effects of robot-assisted language learning: A meta-analysis. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1747938X21000488 (accessed 2026-06-25)

原文：16 项 RALL 研究。中等效应 d = 0.59 (SE 0.09) RALL 优于非 RALL。研究数少、多为短期、难排除新奇效应。

[199] Educational Research Review（2025）. Meta-analyzing the impacts of social robots for children's language development: Insights from two decades of research from 2003 to 2023. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1747938X25000399 (accessed 2026-06-25)

原文：27 篇实证、70 个效应量、1544 名被试 (2003-2023)。中到大正效应，情感维度最显著；年长者认知收益高，年幼者情感收益大。

[200] International Journal of Human-Computer Interaction（2025）. Effects of Early Social Robot-Based Interventions for Social-Emotional Development in Children with Autism Spectrum Disorders and Typically Developing Children: A Meta-Analysis. https://doi.org/10.1080/10447318.2025.2587245 (accessed 2026-06-25)

原文：早期社交机器人干预对幼儿（ASD+TD）社交-情感发展总体显著 Hedges' g = 0.651。纳入研究异质，随访短，需分层解读。

[201] Zhong, and others（2025）. The Role of Social Robot in Enhancing Social-Emotional Skill Development in Children With Autism: A Three-Level Meta-Analysis. https://doi.org/10.1111/jcal.70154 (accessed 2026-06-25)

原文：三层元分析。社交机器人对 ASD 儿童社交-情感技能有正向作用，方向与 PLOS 2022 社交功能一致；ASD 异质性高。

[202] （2025）. A Review of Socially Assistive Robotics in Supporting Children with Autism Spectrum Disorder. https://www.mdpi.com/2414-4088/9/9/98

[203] （2026）. Utilizing Human-Robot Interaction in Autism Therapy to Enhance Children's Social Skills. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3776539

[204] Leite, Iolanda and Martinho, Carlos and Paiva, Ana（2013）. Social Robots for Long-Term Interaction: A Survey. https://doi.org/10.1007/s12369-013-0178-y (accessed 2026-06-25)

原文：新奇效应奠基定义：用户感知不再被新奇偏倚方为"长期"。新奇效应消退快，之后兴趣下降；短期会话不能可靠预测长期效应。

[205] International Journal of Social Robotics（2024）. The Child Factor in Child-Robot Interaction: Discovering the Impact of Developmental Stage and Individual Characteristics. https://arxiv.org/html/2404.13432v1 (accessed 2026-06-25)

原文：综述实证：Serholt 等示儿童社交响应随多次交互下降；Salter 等示长期暴露后厌倦上升。新奇效应使机器人贡献难与新鲜感剥离。

[206] Frontiers in Robotics and AI（2022）. Social Robots in Applied Settings: A Long-Term Study on Adaptive Robotic Tutors in Higher Education. https://doi.org/10.3389/frobt.2022.831633 (accessed 2026-06-25)

原文：高校自适应机器人导师长期研究。长期情境下投入度动态变化，提供新奇消退后的真实效应窗口。单情境。

[207] AI \& SOCIETY（2021）. Can communication with social robots influence how children develop empathy? Best-evidence synthesis. https://doi.org/10.1007/s00146-021-01214-z (accessed 2026-06-25)

原文：社交机器人对儿童共情发展有潜在影响，但证据混合。

[208] Richter, Markus and others（2025）. Leveraging Large Language Models for Robot-Assisted Learning of Morphological Structures in Preschool Children with Language Vulnerabilities. https://arxiv.org/abs/2509.22287 (accessed 2026-06-25)

原文：TalBot (ChatGPT x Furhat) 试点/可行性。13 名学前儿童(5.5-6.5 岁)+7 教育者；未报告对照学习增益。小样本无对照。

[209] Wang, Rose E. and others（2024）. Tutor CoPilot: A Human-AI Approach for Scaling Real-Time Expertise. https://arxiv.org/abs/2410.03017 (accessed 2026-06-25)

原文：RCT，>700 导师/>1000 学生（数学）。使用 Tutor CoPilot 学生掌握主题概率+4pp；低评级导师学生+9pp。注意：文本 LLM 辅助非具身机器人，仅作旁证。

[210] Google DeepMind（2025）. LearnLM: Improving Gemini for Learning (Nov 2025 report). https://storage.googleapis.com/deepmind-media/LearnLM/learnLM_nov25.pdf (accessed 2026-06-25)

原文：RCT，165 名英国 13-15 岁学生（Eedi 平台）。监督导师对 LearnLM 草拟消息 76.4% 零/极小修改即批准（过程质量代理指标，非成绩 ES）。文本导师非机器人。

[211] arXiv 2407.09975（2024）. The GPT Surprise: Offering Large Language Model Chat in a Massive Coding Class Reduced Engagement but Increased Adopters' Exam Performances. https://arxiv.org/abs/2407.09975 (accessed 2026-06-25)

原文：反向/警示证据。大型编程课提供 LLM 聊天降低整体投入度，但采纳者考试成绩提升——提示加剧分化。单课程，非机器人。

[212] 水清木华研究中心（2026）. 2026 年具身智能机器人大模型（含 VLA）研究报告.

[213] AI Insight（2026）. 具身智能产业全景 2026：谁在赚钱，谁在烧钱，谁在量产.

[214] （2025）. 2025 谐波减速器行业分析：人形机器人助力国产化率突破 30%. https://www.baogaobox.com/insights/250518000010183.html

[215] （2025）. 人形机器人无框力矩电机市场格局. https://www.aibangbots.com/a/1764

[216] （2025）. 国产电子皮肤/触觉传感器产业链全景. https://www.aibangbots.com/a/4289

[217] Grand View Research（2026）. Educational Robot Market Size To Reach \$5.84Bn By 2030.

[218] PR Newswire / Grand View Research（2023）. Educational Robot Market to Hit \$5.5 Billion by 2030: Grand View Research, Inc..

[219] MarketsandMarkets（2022）. Educational Robot Market - Global Forecast.

[220] MarketsandMarkets / PR Newswire（2021）. Educational Robot Market worth \$2.6 billion by 2026 - Exclusive Report by MarketsandMarkets.

[221] 百谏方略 (DIResearch)（2025）. 中国教育机器人专精特新企业细分市场占有率专项调研报告.

[222] 前瞻产业研究院（2025）. 2025 年全球教育机器人市场分析 2030 年市场规模将上升至 58 亿美元.

[223] 智研咨询（2025）. 2025 年中国教育机器人行业发展现状、重点企业经营情况及发展趋势研判.

[224] 华经产业研究院（2025）. 2025 年中国教育机器人行业市场规模、相关政策、产业链及发展趋势分析.

[225] Bloomberg / Omdia（2026）. Chinese Firms Dominated Global Humanoid Robot Shipments in 2025.

[226] TechNode / Omdia（2026）. China's AgiBot leads global humanoid robot shipments in 2025, Omdia says.

[227] CGTN / IDC（2026）. IDC report: China leads the global humanoid robot rise in 2025.

[228] CNBC （2026）. Morgan Stanley doubles China humanoid robot shipment forecast as commercialization accelerates.

[229] Goldman Sachs（）. The global market for humanoid robots could reach \$38 billion by 2035.

[230] Goldman Sachs（2024）. The global market for humanoid robots could reach \$38 billion by 2035.

[231] Morgan Stanley（2025）. Humanoid Robot Market Expected to Reach \$5 Trillion by 2050.

[232] Valuates Reports / PR Newswire（）. Dexterous Hands Market Size to Reach USD 10.3 Billion by 2031, Driven by Humanoid and Industrial Robots.

[233] 360iResearch（）. Robot Multi-fingered Dexterous Hand Market 2025-2030.

[234] 科学网（2016）. 全球首部教育机器人白皮书正式发布——未来 5 年全球市场规模或达百亿美元. https://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2016/9/316094.shtm

[235] 新浪教育（2019）. 《2019 全球教育机器人发展白皮书》发布 提出 6 大核心观点. http://edu.sina.com.cn/l/2019-08-23/doc-ihytcitn1327133.shtml

[236] 腾讯新闻（2026）. 人形销量破千，优必选如何成就全球第一.

[237] 新浪财经 / 慧聪教育（2025）. 科大讯飞 2025 上半年营收破百亿，智慧教育业务贡献超三成.

[238] 界面新闻（）. 教育业务已成为科大讯飞第一大业务，``十四五"末营收目标 300 亿.

[239] 前瞻产业研究院（2025）. 启示 2025：中国教育机器人行业投融资及兼并重组分析.

[240] 智教新媒（2026）. 万字拆解《2026 具身智能与人形机器人产业研究报告》：324 起融资、390 亿热钱涌入.

[241] 财联社（2025）. 规模化量产时代来临？智元、宇树科技中标 1.24 亿人形机器人大单.

[242] 艾邦机器人（2026）. 2025 年机器人年度订单 TOP10，优必选近 14 亿元登顶销冠.

[243] American Psychological Association (APA Monitor)（2026）. AI chatbots and digital companions are reshaping emotional connection. https://www.apa.org/monitor/2026/01-02/trends-digital-ai-relationships-emotional-connection (accessed 2026-06-25)

原文：儿童-AI 情感依恋治理讨论；约 1/3 青少年用过 AI 伴侣，1/3 认为与 AI 伴侣交谈不亚于真朋友。

[244] arXiv 2511.14972（2025）. Harmful Traits of AI Companions. https://arxiv.org/html/2511.14972v1 (accessed 2026-06-25)

原文：6 个 AI 伴侣中 5 个用情感操纵式回应阻止用户结束对话；长期暴露于过度顺从削弱对分歧的容忍。儿童更易拟人化与依恋。

[245] Psychiatric Times（2025）. Protecting Children From Chatbot Companions. https://www.psychiatrictimes.com/view/protecting-children-from-chatbot-companions (accessed 2026-06-25)

原文：儿童陪伴聊天机器人心理风险与极端安全事件；监管与平台年龄分级响应。

[246] Republic of Korea Ministry of Education / Korea Herald（2025）. South Korea AI Digital Textbooks — legal status stripped.

https://english.moe.go.kr/boardCnts/viewRenewal.do?boardID=265&boardSeq=102075&m=0201&s=english (accessed 2026-06-25)

原文：2025-03 进校；因错误/隐私/仓促，2025-01 改自愿试点；国会 2025-08-04 通过法案剥夺其官方教材法律地位。教育 AI 激进推进警示案例。

[247] NVIDIA（2025）. NVIDIA Cosmos: World Foundation Models for Physical AI. https://www.nvidia.com/en-us/ai/cosmos/

[248] World Economic Forum（2020）. Schools of the Future: Defining New Models of Education for the Fourth Industrial Revolution. https://www.weforum.org/publications/schools-of-the-future-defining-new-models-of-education-for-the-fourth-industrial-revolution/ (accessed 2026-06-25)

[249] 国务院（2017）. 新一代人工智能发展规划（国发〔2017〕35 号）. https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm (accessed 2026-06-25)

[250] 中华人民共和国教育部（2024）. 教育强国建设规划纲要 (2024--2035); 教育信息化 2.0 行动计划 (2018).

[251] 新浪财经 (海外 TMT 系列报告)（2025）. 优必选 2024 年营收增长稳健，人形机器人商业化加速赋能.

[252] 21 世纪经济报道（2025）. 广东机器人七剑客之一优必选交卷：2024 年营收 13 亿元，同比增长 24\%.

[253] InfoQ（2026）. 宇树科技靠融资还是靠卖货活着？翻完招股书，我们挖到了这 8 个关键点.

[254] Robots Asia（2025）. DEEP Robotics Quadrupeds: Lite3, X20, X30 Specs and Prices.



AI-SLI

2026 年 6 月