天立国际 TIANLI INTERNATIONAL　启鸣达人 —QiMing DaRen—　天立启鸣AI研究院 TianLi QiMing AI Research Institute　Artificial Intelligence International Institute　杭州市北京航空航天大学国际创新研究院（北京航空航天大学国际创新学院）

世界模型驱动的教育 AGI 白皮书

从认知仿真到教育智能体的范式跃迁



序言一

从信息高速公路到认知重构的深水区

教育与技术的关系，从来都不是简单的工具叠加，而是一场关于“人如何成为人”的深层对话。从苏格拉底助产术到印刷术的普及，从广播电视到互联网，每一次技术革命都在重新定义知识传递的边界。然而，当我们站在人工智能的第三个十年回望，一个令人警醒的事实浮现眼前：过去二十年的教育数字化，本质上完成的是一场“信息迁移”——我们将黑板搬上了屏幕，将纸质作业搬进了数据库，将课堂讲授录制为视频流。我们建造了宏伟的信息高速公路，却鲜少追问：学习究竟是如何在个体心智中发生的？

这一追问的缺失，导致了当前教育技术面临的深层结构性困境。现有系统能够精确记录学生“做了什么”，却无力回答学生“为什么这样想”；能够推荐下一道练习题，却无法推演何种干预最能促成概念的根本转变；能够模拟物理实验的表象，却难以仿真认知冲突、迷思重组与概念跃迁的内在动力学。换言之，教育数字化在信息层取得了巨大成功，却在认知层遭遇了瓶颈。当工具红利逐渐耗尽，行业亟需一次从“信息传递”向“认知仿真”的底座替换。

世界模型（World Models）的兴起，为这一替换提供了关键的技术杠杆。在自动驾驶领域，世界模型使机器得以在内部构建环境动力学、推演反事实未来并规划最优行动。当我们将这一思想从物理空间迁移至认知空间，一种全新的可能性便豁然开朗：我们能否构建一个“认知世界模型”，使其在内部仿真学习者的知识演化、预测迷思的消解轨迹、并自主生成最优的教学干预？这正是本白皮书所探讨的通向教育 AGI（Educational AGI）技术路线的核心旨归。

通向教育 AGI 的探索并非现有大语言模型的线性延伸，而是一场底层范式的跃迁。它要求智能系统实现三重跨越：从内容生成到机制理解，从被动响应到主动干预，从局部推荐到全局规划。本白皮书系统阐述了以认知世界模型（CWM）为底座、以 LAM（Learning-Assessment-Modeling）闭环为范式、以教育仿真器—规划器—渲染器为三位一体的工程架构。我们提出“涌现式教育”（Emergent Education）的愿景：理想的学习路径难以被完全先验设计，而是在系统与学习者的持续交互中实时生长。我们也提出“认知共生”（Cognitive Symbiosis）的人机关系主张：技术的终极使命不是替代人类的思考，而是与人类结成可持续的认知协同伙伴关系，唤醒学习者的元认知，使其成为自我驱动的认知主体。

必须坦承，这一愿景的实现道阻且长。认知状态的不可直接观测性、概念转变的非线性、教学干预的长期延迟反馈，以及认知数据隐私的伦理边疆，构成了教育 AGI 必须跨越的深水区。但正如教育本身是一项面向未来的事业，技术的探索亦需保持对长期价值的坚守。我们相信，未来三年将是基于教育世界模型的智能系统从概念验证走向规模化落地的关键窗口期。

本白皮书旨在为政策制定者、教育机构、技术企业与研究者提供一份可参考的蓝图。我们期待，这份文档不仅传递技术架构，更传递一种教育哲学：教育的本质，从来不是知识的单向灌输，而是学习者在与世界互动中通过试错、反思与重组完成的主动建构。当人工智能真正理解这一本质，它便不再是冰冷的工具，而是延伸教育智慧边界的认知伙伴。

让我们共同迈入这场认知重构的新纪元。

刘志毅
天立国际控股有限公司首席科学家
天立启鸣 AI 研究院院长

序言二

当 AIII 人工智能国际研究院和天立启鸣 AI 研究院探讨此次《世界模型驱动的教育 AGI 白皮书》项目合作时，一种久违的兴奋感油然而生。在 AI 领域耕耘四十载，我见证过人工智能几轮的兴起与寒冬，也见证过太多将“智能”简化为“效率”的工具主义叙事。但这份白皮书不同——它触及了一个根本性的追问：当我们谈论“智能教育”时，我们究竟在谈论什么？是更快的知识传递，还是更深的人性唤醒？

答案在这份文献的字里行间清晰浮现。我们提出，过去二十年教育数字化的本质是“信息迁移”——将黑板搬上屏幕，将纸质作业搬进数据库。我们建造了宏伟的信息高速公路，却很少追问：学习究竟如何在个体心智中发生？这一追问的缺失，导致了教育技术长期停留在“电子教辅”与“内容推荐”的表层逻辑，无法穿透认知的深水区。而“认知世界模型”的引入，正是对这一困境的釜底抽薪。

作为“人本人工智能为联合国第 18 可持续发展目标”（AI for Humanity as UN SDG #18）的倡导者，我在这份白皮书中看到了“人本人工智能（AI for Humanity）与“人机共生共存智能”（Human-AI Symbiotic Intelligence HASI） 理念最完整的教育实践。它提出了“认知共生”的人机关系主张——硅基算力与碳基心智结成协同伙伴，而非替代关系；它设计了“共享能动性”与“不对称共享”机制——技术承接计算密集型推演，教师聚焦价值密集型引领，学生从被动接受者转变为自我驱动的认知建构者；它前瞻性地提出了“认知主权”概念——学习者对其认知画像的掌控权，应超越传统的数据隐私框架，上升为一种基本权利。

尤其令我振奋的是，白皮书并未止步于理念倡导，而是将其转化为可计算、可验证的工程架构。LAM 闭环统合了知识追踪、认知诊断、智能导学与学习分析四大技术脉络；教育仿真器、规划器与渲染器三位一体，共享统一的潜空间表征；“教育智价比”（Edu-Token ROI）将 Token 从成本中心重新定义为价值生产要素。这些不是空中楼阁式的畅想，而是正在构筑中的产业基础设施。

当然，前路依然漫长。认知状态的可辨识性、反事实推演的有效性、Goodhart 效应的规避、冷启动与隐私保护的矛盾——白皮书坦率地列出了七大核心技术挑战，没有丝毫避重就轻。但正是这种清醒的自我认知，让我对这份蓝图的可信度倍增。正如白皮书所言：“道阻且长，行则将至。”

教育是国之大计，AGI 是时代引擎。当二者在世界模型的统一框架下深度融合，开启的不仅是一场技术革命，更是一场关乎未来认知能力的文明升级。我期待看到这份白皮书所描绘的“涌现式教育”愿景在全世界的教育热土上生根发芽——让每个学习者都拥有属于自己的认知伙伴，让每位教师都能从重复性劳动中解放，让教育的本质——学习者在与世界互动中通过试错、反思与重组完成的主动建构——真正得以回归。

翁家良博士（Dr. James Ong）
AIII 人工智能国际研究院创始人、院长
《人本人工智能》（AI for Humanity）合著者，Wiley 与中国人民大学出版社发布
《人本人工智能为联合国第 18 可持续发展目标》（AI for Humanity as UN SDG #18）倡导者
2026 年 7 月 14 日

执行摘要

战略背景

现代教育长期受困于“个性化、高质量、普惠性”的结构性不可能三角。据联合国教科文组织预测，至 2030 年全球中小学教师缺口将达 4400 万[1]。传统的一对一教学受制于高昂成本难以规模化，而现有教育 AI 工具（无论是自适应题库还是对话式大模型）大多停留在内容分发的表层逻辑，难以对学习者内在的认知状态进行深度建模与干预。如今，世界模型（World Models）技术的成熟，正为打破这一历史僵局提供关键杠杆。

核心观点

●**范式跃迁：构建统一的认知世界模型。**通向教育 AGI 的核心在于构建学习者、知识与环境的统一认知世界模型，推动 AI 教育应用从统计关联向因果推理的跨越。

●**工程闭环：LAM 元框架统合技术脉络。**LAM（Learning-Assessment-Modeling）主循环构筑了统合知识追踪、认知诊断、智能导学与学习分析的底层框架，其工程展开为观测、建模、规划、渲染、评估五环节，将碎片化的 AI 应用整合为完整的工程链路。

●**人机协同：走向共享能动性与对等队友。**智能系统旨在通过动态协商机制与人类形成能力互补：人类主导价值判断与共情引导，AI 承担计算密集型推演与认知漏洞识别，形成一种健康的不对称共享机制。

●**商业路径：Token 经济下的“智价比”运营。**新一代教育智能体的商业可持续性，深度取决于算力时代的“智价比”（即单位算力成本下的教育效能增益）。教育场景独有的长上下文、深推理与多模态特征，使 Token 成本管理与模型推理优化成为产业化的核心命题。

●**伦理边疆：从数据合规迈向认知主权。**认知数据隐私正成为比行为数据隐私更紧迫的新议题。智能系统对学习者心智状态的深度推断能力，呼唤建立从传统数据保护向捍卫认知主权升级的全新治理框架。

行动倡议

这一阶段性技术探索并非对现有工具的渐进式改良，而是教育基础设施的代际升级。本文倡议：政策制定者将教育世界模型等前沿探索纳入教育新基建规划；教育机构启动 LAM 闭环试点并沉淀教育数据中台；技术企业开放智能体协同协议，共建认知世界模型生态；学术界聚焦认知动力学建模等基础科学难题。未来三年，将是基于教育世界模型的智能系统从概念验证走向规模化落地的关键窗口期。

---

[1] UNESCO & International Task Force on Teachers for Education 2030. (2024). Global Report on Teachers: Addressing Teacher Shortages and Transforming the Profession. Paris: UNESCO.

目录

序言一 01

序言二 02

执行摘要 03

01 趋势与破局：从物理世界走向认知世界

1.1 教育数字化转型的深水区挑战 05

1.2 从物理世界模型到认知世界模型 06

1.3 面向教育 AGI：教育世界模型的提出与定义 08

1.4 全球教育智能体及底层技术发展态势 09

02 愿景与蓝图：迈向涌现式认知共生

2.1 从工具到协同者：人机协同的新范式 11

2.2 涌现式教育：新范式的三层机制与成熟度模型（L1-L4） 11

2.3 核心愿景：新一代教育智能体的“三极三易”主张 13

2.4 演进路线：从域内自智到群体智能 15

03 总体架构：面向教育 AGI 的“4+1”框架模型

3.1 架构总览：四层一总线的全栈设计 17

3.2 架构设计原则：支撑范式跃迁的工程准则 19

3.3 形式化基础：认知世界模型（CWM）的数学骨架 19

04 核心引擎：教育仿真器·教育规划器·教育渲染器

4.1 教育仿真器：动力学引擎 22

4.2 教育规划器：决策中枢 23

4.3 教育渲染器：感官界面 24

4.4 三引擎协同机制 25

05 工程落地：业务闭环与技术攻坚路径

5.1 业务引擎：LAM 闭环范式 27

5.2 核心载体：学习者数字孪生 28

5.3 跨越深水区：七大核心技术挑战 29

5.4 落地路径：从数据飞轮到教育仿真沙盒的四大工程手段 30

06 体验重构：新一代教育智能体四大核心价值场景

6.1 场景一：个性化学习路径生成 32

6.2 场景二：认知诊断与精准教学 33

6.3 场景三：自适应评估与能力画像 34

6.4 场景四：多智能体协作学习环境 35

07 产业生态：Token 经济与商业路径

7.1 计价燃料：新一代教育智能体的 Token 消耗特征 37

7.2 商业量化：以“智价比”为核心的商业模式 38

7.3 竞争格局：破局 Token 困境的中国路径 38

08 伦理治理：认知主权的确立与制度保障

8.1 风险识别：面向教育 AGI 演进的伦理风险金字塔 40

8.2 核心准则：建议遵循的四条伦理原则 41

8.3 体系建设：技术与价值融合的四维治理框架 41

8.4 伦理愿景：服务 SDG 4 目标，从技术特权走向认知算力普惠 42

09 聚力共创：迎接智能教育的下半场

9.1 趋势洞察：技术演进与产业跃迁的未来图景 44

9.2 行动倡议：面向政策、机构、企业与学界的四方呼吁 44

结语：迈向认知重构的新纪元 46

附录：术语表（Glossary） 47

01 趋势与破局：从物理世界走向认知世界

1.1 教育数字化转型的深水区挑战

教育数字化已走过两个阶段。第一阶段**信息化**，计算机与互联网铺就信息“高速公路”，解决知识的记录、存储与传递，但数据多为静态，价值挖掘有限。第二阶段**数字化**，传感器、学习管理系统与在线课堂实现了学习行为的“数字化映射”，数据开始驱动流程优化，但底层分析依赖预设规则与统计模型，教育 AI 在很大程度上仍停留在“电子教辅”与“内容推荐”层面。

当前，教育数字化正进入第三阶段——**认知智能化**。但传统技术路径在此面临三重结构性困境，已触及能力天花板。

质量困境：统一进度与异质认知的矛盾

传统班级授课制隐含着“同一年龄段学习者认知节律同质”的假设。然而，认知科学证实，由于个体知识网络、错误前概念及认知负荷承受力的差异，统一基准的教学设计往往导致“均值陷阱”：大量学生长期处于缺乏挑战的“舒适区”，或在远超能力的“恐慌区”中产生习得性无助，仅有极少数能精准落入最优的“学习区”。在统计意义上，这种模式不可避免地牺牲了多数个体的认知发展效率。

成本困境：深度个性化伴随的高昂边际成本

真正的个性化教学，要求教育者持续诊断学习者的认知状态、动态调整路径，并精准干预错误认知。在传统人力框架下，这种高密度的交互极大依赖于“缩小班额”或“一对一辅导”。受制于优质师资的物理稀缺性，此类模式的边际成本难以随规模递减。这使得“普惠的个性化”在经济可行性上成为悖论，难以实现广泛的规模化普及。

技术困境：认知黑箱局限与工具模式陷阱

当前主流教育 AI（如自适应题库或对话式大模型），在底层机制与交互范式上均触及瓶颈。一方面，受限于认知黑箱，现有技术的本质仍是“标签匹配”或“概率文本生成”。大模型具备苏格拉底式的对话能力，但缺乏对学习者内部状态的持续建模，难以解答关于学习机制的核心追问：学生为什么这样想？接下来最可能在哪里卡住？什么干预最能促进概念转变？另一方面，现有教育 AI 在交互设计上普遍停留在人发指令、机器输出的被动工具模式。这种单向响应机制存在天然的教育缺陷：极易诱发学习者的认知外包，导致学生将本应经历的独立思考与艰难探索过程直接让渡给机器。

这三重困境共同揭示了一个深层逻辑：若教育数字化无法从“信息层”下穿至“认知层”，现有工具的边际效用将触达极限。行业亟需一种全新的技术底座——它能够在其内部仿真学习者的认知动力学，推演教学干预的长期演化，并自主规划最优策略。这正是世界模型（World Models）技术向教育领域迁移的必然逻辑与时代契机。



图 1　教育数字化三阶段演进与三重困境

1.2 从物理世界模型到认知世界模型

正如自动驾驶系统需依赖“物理世界模型”来预测车辆碰撞、摩擦力与行驶轨迹，教育智能同样亟需一个“认知世界模型”，来预测知识的碰撞、概念的转变与心智的演化。

世界模型（World Models）的思想源头，可追溯至人类认知科学领域的“心理模型”（Mental Models）假说。在人工智能领域，其工程化落地经历了清晰的演进：2018 年，Ha 与 Schmidhuber 提出基于深度生成模型的世界模型框架，将变分自编码器（VAE）与循环神经网络（RNN）结合，实现了在隐式状态空间中的决策规划 [2]。2022 年，Yann LeCun 在其经典立场论文中提出 JEPA（联合嵌入预测架构），主张通过潜空间预测来构建世界模型，以突破大语言模型在物理世界常识理解上的瓶颈 [3]。

伴随技术演进，当前世界模型已分化为三大主流技术流派。将这些前沿探索投射于教育领域，各自展现出了独特且高度互补的映射价值：

生成式像素预测流派（以 Sora、Cosmos 为代表）

该流派通过大规模时序数据的无监督拟合，涌现出空间智能与物理直觉。例如，OpenAI 在发布 Sora 时即明确将其定位为“世界模拟器”（World Simulator），并逐步将其技术路线从消费者视频生成转向机器人世界模拟，标志着该路线从“内容生成”向“世界建模”的战略深化。

教育场景映射：具象化教学情境渲染。依托该能力，教育系统可构建高保真虚拟实验、再现历史情境或生成动态几何空间，使晦涩的知识从抽象符号转化为可观察、可交互的情境体验。

[2] Ha, D., & Schmidhuber, J. (2018). World Models. arXiv preprint arXiv:1803.10122. https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.10122

[3] LeCun, Y. (2022). A Path Towards Autonomous Machine Intelligence. Open Review, 1-62. https://openreview.net/pdf?id=BZ5a1r-kVsf

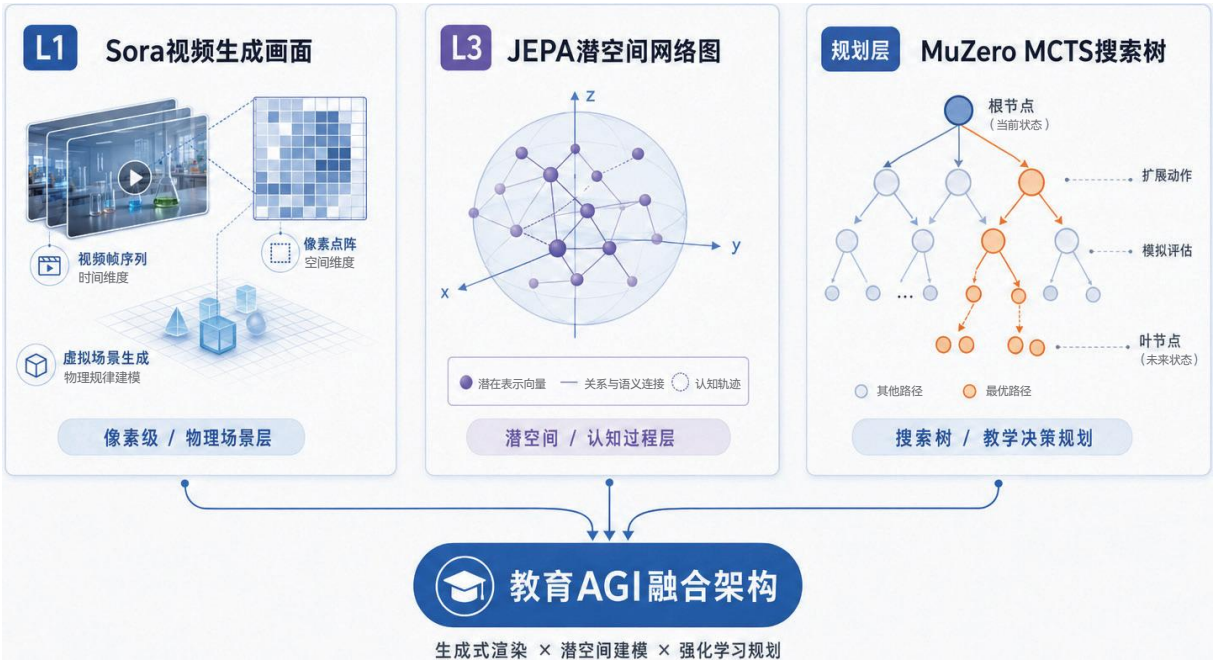


图 2　世界模型三大流派教育映射图

潜空间状态预测流派（以 JEPA 系列为代表）

遵循 LeCun 的自监督预测范式，该流派聚焦于抽象的潜空间（Latent Space）进行预测，有效规避了像素级重建带来的计算冗余。实证数据显示（如 2025 年发布的 V-JEPA 2[4]），潜空间模型在多步规划任务中展现出显著的效率优势（其规划速度比基于视频生成的模型快约 15 倍），并在零样本控制中具备强大的跨场景迁移能力。

教育场景映射：隐性认知动力学仿真。学习者的知识图谱、迷思概念（Misconceptions）、认知负荷与动机情感，本质上均是不可直接观测的“潜状态”。JEPA“关注抽象概念而非表层像素”的方法论，与推演学习者内在认知状态的需求达到了哲学与工程上的高度契合。

强化学习与规划流派（以 MuZero、Dreamer 为代表）

该流派擅长在隐式状态空间中结合蒙特卡洛树搜索（MCTS）等算法，实现多步最优序列决策。MuZero 在不依赖预设领域知识的情况下即可精通复杂棋盘与雅达利游戏，印证了其在长路径规划任务中的通用性。

教育场景映射：全局教学策略规划中枢。系统能够以学习者当前的认知“潜状态”为起点，在内部推演不同教学干预序列可能带来的长期认知增益，从而在庞大的策略空间中求解出最优的个性化导学路径。

将上述三大技术流派投射于教育领域，并非机械拼接，而是将构成一种全新的融合架构：以“潜空间状态预测”作为认知仿真的核心引擎，以“生成式像素预测”作为教学体验的渲染界面，以“强化学习规划”作为教学干预的决策中枢。这一“感知—建模—规划—行动”的完整闭环，不仅是世界模型与智能体（Agent）技术深度结合的产物，更是教育系统跨越“认知黑箱”、实现代际跃迁的核心分水岭。

[4] Assran, M., et al. (2025). V-JEPA 2: Self-Supervised video models enable understanding, prediction and planning. arXiv preprint arXiv:2506.09985.

1.3 面向教育 AGI：教育世界模型的提出与定义

当前，世界模型技术正跨越从实验室技术验证走向垂直场景落地的历史拐点。将其系统性地引入教育领域，将催生出一个全新的技术与产业探索方向——**面向教育 AGI 的演进路线**。

本文在此对这一愿景做出界定：**理想状态下的教育 AGI，是指以认知世界模型为核心底座的通用人工智能教育系统。**它突破了传统大模型的表层文本交互，具备三项标志性的核心能力：**学习者内部状态仿真**、**反事实教学推演**以及**自主规划决策**。该系统能够持续维护学习者“认知信念态”的动态概率模型，在系统内部模拟不同教学干预可能产生的长期后果，并据此生成全局最优的个性化学习路径与教学体验。

维度	传统教育软件	教育大模型 (LLM)	教育智能体 (Agent)	教育 AGI （本文愿景）
核心能力	内容呈现与静态存储	文本生成与语义对话	任务执行与工具调用	认知仿真、反事实推演、自主规划
交互深度	单向信息灌输	单轮 / 多轮问答交互	基于规则的流程交互	闭环认知干预，跨会话长期记忆
个性化层级	无个性化或浅层分类	粗粒度用户标签画像	规则引擎驱动的条件分支	潜空间动态建模， 真正实现千人千面
对认知过程的理解	缺失	仅依赖统计层面的语义关联	依赖外部预设规则与流程	具备内生认知动力学模型
技术底座	关系型数据库 +UI 界面	大语言模型 (LLM)	LLM+ 外部工具集 (API)	世界模型 + 智能体协同架构

注：表中“教育 AGI”列所描述的特征，代表本文提出的行业愿景与技术终局能力，非当前已全面普及的技术水平

表 1-1　面向教育 AGI 的探索与现有教育技术形态的差异化定位



图 3　教育 AGI 代际跃迁与 AEI 定位

通过上述多维对比可以看出，通向教育 AGI 的探索并非现有技术路径的线性延伸，而是一场底层的代际跃迁。它要求智能系统实现三大维度的能力跨越：

- **从内容生成到机制理解：**不只能“生成教学内容”，更能“理解学习是如何发生的”
- **从被动响应到主动干预：**不只能“响应提问”，更能“预测认知阻塞点并提前介入干预”
- **从局部推荐到全局规划：**不只能“推荐下一题”，更能“规划中长期最优的概念建构序列”

需要指出的是，教育 AGI 的愿景并非指向单一的软件产品，而是一种系统性的智能能力。当这种能力走向规模化部署时，它将从根本上重塑现有的教育信息化底座，催生出一种全新的基础设施形态——**智能体化教育基础设施（Agentic Educational Infrastructure，简称 AEI）**。

如果说理想的教育 AGI 是具备深度认知共情能力的“大脑”，那么 AEI 就是遍布教学场景的“神经系统”。AEI 具备三大核心特征：

- **认知原生（Cognitive-Native）：**从底层数据与算力架构上，支持对学习者认知状态的连续建模与高效计算。
- **自智教学（Autonomous Instruction）：**教学决策不再依赖人工预设规则，而是基于环境反馈实现策略的自主生成与动态优化。
- **群体智能（Collective Intelligence）：**打破“单机对抗”模式，构建教师、学生与多个 AI Agent 共生协同、持续演化的微生态。

AEI 的出现，意味着教育信息化正从“工具辅助”时代，迈向“智能体自治”的新阶段。

1.4 全球教育智能体及底层技术发展态势

向教育 AGI 演进的技术浪潮并非停留在理论推演，而是已切实拉开帷幕。驱动这一范式跃迁的底层技术（如世界模型与高级认知仿真），正迅速成为全球科技与教育战略的新高地，并在全球范围内加速重塑非对称竞争格局。据行业智库预测，未来三到五年，具备高级认知仿真能力的智能教学系统将在全球教育体系中加速渗透。从产业生态来看，当前全球格局已初步呈现出三大差异化的演进模式：

美国模式：底座驱动的技术领跑

美国科技巨头的技术哲学在于“底层基建主义（Infrastructure-first）”——坚信通过更大规模的算力投入与物理 / 认知规律模拟，在底层解决传统 AI 的幻觉与长程规划问题，其能力将自然溢出并颠覆包括教育在内的垂直场景。

- **OpenAI** 以 Sora 探索通用时空动力学仿真的潜在路径，其技术报告提出视频生成模型可能成为物理世界模拟器的一种实现方式 [5]；
- **Google DeepMind** 将 Gemini 的多模态表征与 Alpha 系列的强化学习规划深度融合，推进教育 Agent 的复杂逻辑推理；
- **Meta** 依托 JEPA 架构深耕潜空间预测，并通过开源策略吸引全球研究者共建认知模型生态；
- **NVIDIA** 则通过 Cosmos 平台构建物理 AI 基础设施，其庞大的算力与渲染技术栈正为教育空间的虚拟仿真提供底层支撑。

[5] OpenAI. (2024). Video Generation Models as World Simulators: Technical Report for Sora.

中国路径：场景驱动的产业化追赶

中国凭借全球最庞大的教育市场、最丰富的交互场景以及最完备的智能硬件供应链，构筑了独特的差异化竞争优势。

- **垂直模型深耕：**作业帮“银河”、好未来“九章”、网易有道“子曰”、科大讯飞“星火”等垂直大模型，正依靠海量的高质量本土教育数据构筑专业壁垒。

- **端侧智能（Edge AI）融合：**更具中国特色的是，AI 能力正被深度植入学习机、词典笔、教育机器人等终端硬件，实现从“软件工具箱”到“伴学智能体”的升级。

中国路径的核心逻辑是“数据飞轮效应”——依托真实教育场景中的高频交互，持续获取高质量的反馈数据，进而反哺并逼近认知大模型的性能极限。

欧洲模式：规则驱动的伦理先行

相较于中美在底层模型与应用生态上的双雄争霸，欧洲呈现出另一种不可或缺的独特范式。在全球教育智能技术的角逐中，欧洲将战略重心偏移至数字人权与算法治理。通过联合国教科文组织（UNESCO）《人工智能伦理建议书》及欧盟《人工智能法案》（AI Act）中针对教育应用的专项条款，欧洲对教育 AI 的算法透明度、数据隐私及未成年人认知权益保护提出了极其严苛的要求。尽管欧洲在底层算力与市场规模上暂居次席，但其构建的伦理治理框架，正在实质性地成为全球教育 AI 合规运营与产品出海的事实标准。

三种模式并非零和博弈

美国的底层创新、中国的场景落地、欧洲的规则治理，共同构成了全球教育智能体生态演进的底层张力。但对于中国教育产业而言，这一格局也敲响了警钟：在享受场景应用繁荣的同时，中国必须加速向产业链上游攻坚，尽快建立自主可控的“认知世界模型”技术栈。唯有如此，才能避免在核心的底层引擎上形成对外部架构的依赖，从而防范国家教育数字基础设施陷入技术空心化的战略被动。



图 4　全球教育 AI 产业格局：非对称三足鼎立

02 愿景与蓝图：迈向涌现式认知共生

2.1 从工具到协同者：人机协同的新范式

通向教育 AGI 的技术探索不仅是计算架构的跃迁，更是教育生态中人机关系的深刻重构。教育科技的长远目标不再局限于提升信息传递效率，而是走向建立一种平等、双向的“认知共生”（Cognitive Symbiosis）伙伴关系。技术的重心不在于替代人类思考，而是作为深度介入的协同者，从学习者与教育者两个维度重塑教育机制：

1. 面向学习者：确立共享能动性，构筑认知外骨骼

在全新范式下，智能系统与学习者将逐步确立“共享能动性”（Shared Agency）。系统有望超越被动响应的工具定位，成为能敏锐识别学习者最近发展区的智慧主体。一方面，它可以在关键节点通过启发反问或引入反例，制造适度的“建设性摩擦”（Constructive Friction）以激发深度思考；另一方面，它能够根据学情在引导者、提问者与共创者之间动态流转，逐步成为包裹在学习者思维外围的认知外骨骼，辅助其向高阶能力攀登。

2. 面向教育者：构建不对称共享，实现角色升维

机器在认知计算能力上的提升，反而日益凸显出人类教师在情感与价值维度的不可替代性。人机之间有望形成一种健康的“不对称共享”（Asymmetric Sharing）机制，实现硅基算力与碳基心智的有效互补：

- **AI 分担计算密集型建模：**高效处理高频的学情追踪与个性化路径生成，填补人类受限于生理带宽而难以兼顾的微观计算空白。

- **教师聚焦价值密集型引领：**化身为教育生态的意义架构师，将精力更多地向机器难以触达的深水区转移，如心理洞察、动机激发、价值观引导，以及提供充满人伦温度的关怀。

3. 长远图景：唤醒元认知

在认知共生愿景下，技术的核心追求并非让机器表现得多聪明，而是通过协同让人类变得更加睿智。教育 AGI 的核心价值不在于交付完美的答案，而在于通过持续的动态支架调节，逐步唤醒学习者的“元认知”（Metacognition），使其更好地具备自我规划、自我监控与自我复盘的能力。

2.2 涌现式教育：新范式的三层机制与成熟度模型（L1-L4）

当人机协作逐步指向学习者元认知的觉醒时，教育的宏观系统也将迎来深刻转型。传统标准化教育多依赖强预设逻辑，教学大纲、知识序列与评价标尺均由人工刚性设定，学习者被置于单一的线性流水线上。这种工业化范式虽实现了教育的大规模普及，却以牺牲学习者异质化的认知节律为代价。

本文提出的涌现式教育（Emergent Education）则转向动态生成逻辑。其核心产业假设在于：理想的学习路径难以被完全先验设计，而是在系统与学习者的持续交互中实时生长出来的。依托底层的认知世界模型，新一代教育智能体能够在闭环中持续感知、推断与规划，促发知识、社区与能力三个维度的自然涌现。

维度	标准化教育 （强预设逻辑）	涌现式教育 （动态生成逻辑）
教学目标	统一大纲， 固定终点，全员达标	动态演进， 开放终点，潜能最大化
内容组织	预设序列， 统一教材，线性推进	实时生成， 网状图谱，千人千面
师生角色	知识灌输， 单向传授，被动接收	智能支架， 人机共创，主动建构
评价方式	总结性评价， 阶段考试，事后筛选	过程性诊断， 预测干预，伴随评估
知识形态	离散静态， 刚性结构，脱离语境	具身动态， 持续演化，情境化激活
学习社区	静态编排， 固定分组，规则预设	多智能体协同， 角色自然演化，自组织
认知能力	机械记忆与规则执行， 元认知外置	概念建构与高阶迁移， 元认知内生

注：标准化教育列描述的是传统模式的典型局限，涌现式教育列则代表本文提出的系统级愿景能力

表格 2-1　标准化教育与涌现式教育的底层逻辑对比

需要厘清的是，涌现并非无序发散，而是建立在底层规则与伦理护栏之上的自发秩序。涌现式教育将重点驱动以下三层机制的演化：

1. 知识结构涌现：从线性序列到动态图谱

在涌现式教育中，知识网络是一张随认知状态动态生长的柔性拓扑图谱。系统持续追踪学习者的状态概率，当感知到其具备某种直觉理解时，可跨域激活高阶节点；若暴露出底层迷思，则临时插入外围脚手架精准修补。每一次成功的意义建构都会强化节点间的连接权重，促使个性化的知识网络自然生长。

2. 学习社区涌现：从固定分组到多智能体社会

涌现式教育中的学习社区，实质是由人类学习者与 AI 同伴共同构成的多智能体（Multi-Agent）社会。系统基于学习者的即时状态动态调配 AI 角色：面对过度自信者引入“质疑者 Agent”触发认知冲突，面对退缩者则调动“共建者 Agent”提供温和支架。通过精细调节交互氛围，使学习群体保持在建设性不适区，平衡认知挑战与协作效率。

3. 认知能力涌现：从被动接受到元认知内生

最高层级的涌现是学习者底层认知能力的跃迁。为促发元认知内生，系统突破了传统的单调递减教学法，转而采用非线性振荡的支架退场机制。系统会适时触发撤除探测，刻意抽离辅助以检验学习者的真实迁移能力；并根据探测结果弹性回调或进一步放权。这种动态博弈能持续施加适度压力，稳固夯实元认知的内生基础。

4. 演进路线图：涌现式教育成熟度模型（L1-L4）

教育范式的跃迁是一个渐进过程。为指导产业平滑演进，本文构建了**涌现式教育成熟度模型**（Emergent Education Maturity Model, EEMM），为各方提供清晰的战略路径参考。

级别	名称	核心特征	系统角色	人的角色	关键指标
L1	辅助级 (Assistive)	静态内容推荐与基础答疑，遵循固化线性路径	智能工具	教学规划者与全盘执行者	推荐匹配度、答疑响应率
L2	自适应级 (Adaptive)	基于规则的路径与难度调节，局部动态适配学情	辅导支架	教学监督者与过程微调者	路径诊断精度、学习效能增益
L3	涌现级 (Emergent)	动态生成柔性图谱与智能体社区，数据飞轮闭环	协同伙伴	目标架构师与伦理把关者	知识拓扑涌现 度、CAI 指数

续表

级别	名称	核心特征	系统角色	人的角色	关键指标
L4	自治级 (Autonomous)	跨场景生态闭环与全局自进化，实现终身认知伴随	智能自治体	价值锚定者与终极仲裁者	生态自优化率、全域认知进化度

注：L1 至 L2 代表当前教育科技产业正着力普及的技术水位；L3 至 L4 则为本文定义的教育 AGI 愿景目标与终局形态

表格 2-2　涌现式教育成熟度模型（L1-L4）

产业战略进阶建议：

- **L1 向 L2 跨越（数据化与自适应）**：重点部署静态知识图谱与基于规则的自适应引擎，打通学情数据，实现个性化推荐的基础跨越。

- **L2 向 L3 跃迁（模型化与涌现化）**：核心在于引入“教育世界模型”，全面启动大模型驱动的系统闭环，实现教学策略动态生成与多智能体社区的自发演化。

- **L3 向 L4 演进（生态化与自治化）**：建立跨机构、跨场景的全域数据飞轮与底层协同协议，最终实现系统级教育智能体的全局自治与终身陪伴。

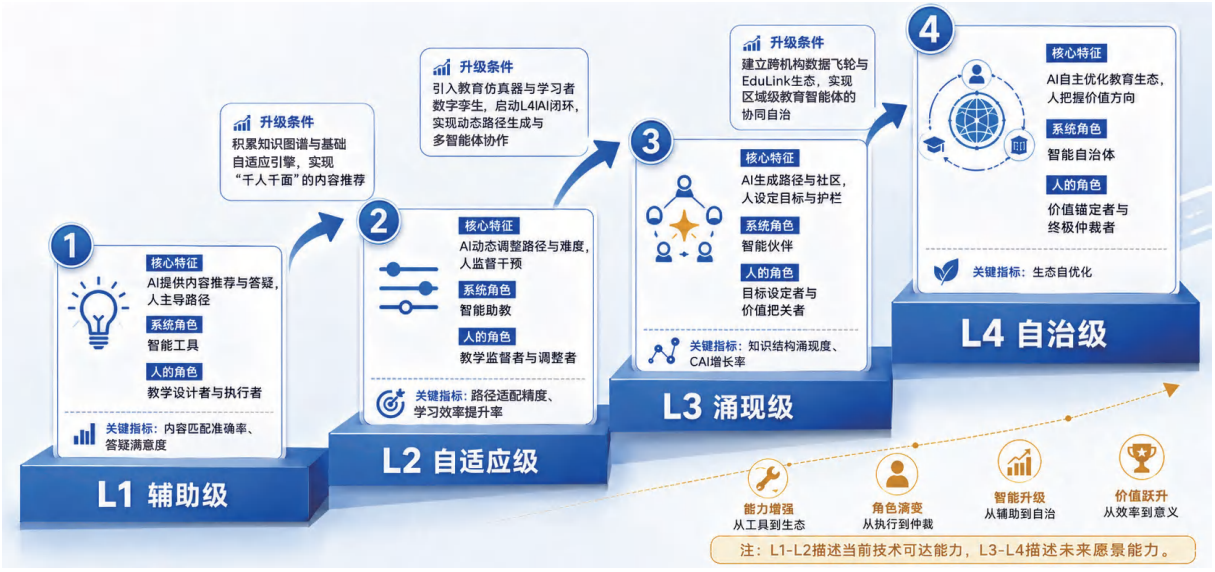


图 5　涌现式教育成熟度进阶路径

2.3 核心愿景：新一代教育智能体的“三极三易”主张

面向教育 AGI 的愿景旨在构建人机协同的新型教育生态：AI 系统作为底层基础设施，承接海量、高频的认知仿真等计算密集型任务；教师得以专注于情感陪伴与价值引领；学生则从被动的知识接收者，转变为自我驱动的认知建构者。

为此，本文从业务价值与工程实施两个维度，提出驱动新一代教育智能体的“三极”价值主张与“三易”使能主张。



图 6　新一代教育智能体“三极三易”愿景

【三极价值主张——业务视角】

新一代教育智能体紧扣教育教学的核心业务流，向教育者与学习者力求实现三个维度的极致体验：

- **极高个性化（Hyper-Personalization）**：系统突破静态规则限制，基于高维潜空间对学习者进行连续、动态的认知建模。通过深度挖掘知识盲区与学习瓶颈，努力确保教学内容始终贴合学习者最近发展区的最优挑战点，实现个性化学习路径的全面覆盖。

- **极优体验流（Optimal Cognitive Flow）**：系统内置教育仿真器，实时测算学习者的认知负荷与情感张力。在面临认知超载或动机衰退风险时，系统能够即时动态调节任务粒度与反馈支架，提供早期干预，助力学习者保持沉浸式的心流（Flow）体验，保障学习进程的平滑推进。

- **极简轻运营（Frictionless Operations）**：大幅减轻教师在作业批改、数据统计等事务性工作中的负担，赋能其聚焦教学设计创新与高阶思维启发。教师可通过自然语言交互，便捷获取班级或个体的动态学情全景图，实现学情洞察的即时响应。

【三易使能主张——实施视角】

为了让教育行政部门、学校及产业生态伙伴能够低门槛、高效率地拥抱新一代教育智能体，系统在底层架构上严格遵循以下实施原则：

- **易集成**：提供高度的生态兼容性。依托标准化 API 与泛在数据协议，AGI 底座能够与现有的学习管理系统（LMS）、学生信息系统（SIS）及教务平台高效对接，推动教育 IT 资产的平滑演进而非推倒重来。

●**易部署**：采用自适应的云边端协同架构。核心认知大模型与复杂仿真任务驻留云端，高频推理与反馈逻辑下沉至边缘节点，轻量级交互界面嵌入终端设备。这种弹性架构能灵活适配各类教育机构的网络带宽约束与算力预算。

●**易运维**：系统内生的教育智能体具备自诊断与自优化能力，能够主动识别运行异常、模型性能衰减与数据分布漂移，从而切实降低教育机构的 IT 运维门槛，保障系统长效稳定运行。

2.4 演进路线：从域内自智到群体智能

面向教育 AGI 的阶段性探索与落地是一项深刻的系统性工程。基于对技术成熟度与教育基础设施就绪度的综合研判，本白皮书将该技术路线的演进路线划分为三个递进阶段，勾勒出人机协同关系的演进图谱。

第一阶段：域内自智（单场景闭环与工程验证期）

本阶段聚焦从概念构想向真实场景的工程验证。系统不追求全面覆盖，而是切入数学、编程等单一学科或特定辅导场景，跑通教育世界模型的底层逻辑。技术重心在于构建特定学科的认知世界模型，实现从多模态数据采集、状态推断到个性化路径生成的业务闭环。其标志性进展是在受控教学场景中部署学习者数字孪生原型，并通过实证数据验证动态路径规划相较于传统静态题库的认知增益与效率提升。同时，初步确立数据安全与隐私保护规范，为后续拓展奠定合规基础。

第二阶段：跨域自智（多学科融合与多智能体协同期）

随着单点闭环的达成，系统将打破学科与物理空间的边界，向泛在协同拓展，逐步形成家校社协同的智能教育网络。技术层面，认知世界模型将发展出跨学科的知识关联与推理能力（例如在底层打通物理力学与数学微积分的认知状态）。同时，单体 AI 辅导角色演进为多智能体（Multi-Agent）协作网络，教师、同伴与评测等各类智能体开始在统一协议下协同运转。在此期间，区域级教育平台有望实现规模化部署，多智能体协作

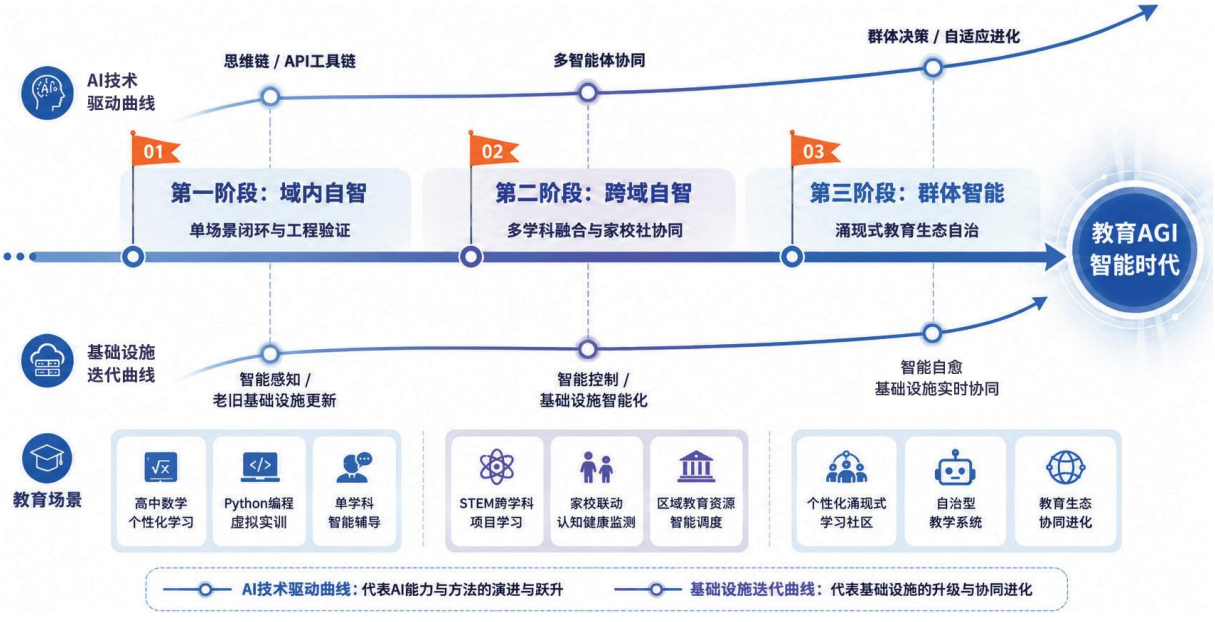


图 7　教育 AGI 分阶段演进路线

环境将广泛融入跨学科项目式学习（PBL），智能副驾驶（Copilot）也将深入主流教学流程，有效分担重复性的评测与统计工作。

第三阶段：群体智能（涌现式教育生态自治期）

在此长远形态下，基于教育世界模型的智能系统将从外部辅助工具内化为区域乃至国家级教育新基建的标准配置，具备较高的自我进化与自治能力。技术层面，认知世界模型展现出强大的跨域泛化能力，能够灵活应对新学科与新技能。系统运作步入涌现式教育范式，学习路径与协作社区结构不再依赖人工预设，而是基于群体动力学自然生成。最终，在完善的伦理护栏与价值观对齐机制下，系统可在特定边界内实现课程生成、教学实施到动态评估的全生命周期自治，形成算力、数据、算法与真实教学反馈之间可持续运转的飞轮效应，推动教育生态平稳迈入认知共生时代。



03 总体架构：面向教育 AGI 的的“4+1”框架模型

3.1 架构总览：四层一总线的全栈设计

构建面向教育 AGI 的基础设施并非单点技术的突破，而是对底层教育计算范式的系统性重塑。本文提出“4+1”目标架构模型：自下而上包含四大核心层级，并由一条智联总线贯穿始终。

L1：智能基础设施层（Intelligent Infrastructure）

作为新一代教育智能体的硬件与数据底座，负责多模态数据的采集、传输、存储与计算支撑。

- **教育数据中台：**整合学习管理系统、在线课堂、作业与考试系统等多源异构数据，构建统一的数据湖与特征仓库。
- **多模态感知终端：**拓展传统输入方式，引入智能笔迹捕捉、视线追踪、非接触式情绪感知与语音微特征提取等设备，实现对学习者行为低干扰、高密度的多维采集。
- **算力集群：**采用智算、通算与边缘协同的三级架构。智算中心承载大规模认知世界模型的训练与全量推理；通算中心支撑常规业务逻辑；边缘节点保障低延迟的实时交互响应。

L2：认知世界中台层（Cognitive World Model Platform）

系统的核心能力层，负责构建与维护关于学习者认知机制的内部模型。

- **教育仿真器（Educational Simulator）：**基于潜空间预测等技术实现跨维度系统级仿真。在物理维度运行高保真虚拟实验；在群体维度推演多智能体协作与博弈；在个体维度持续追踪知识建构、迷思演变与认知负荷的动态轨迹。
- **学习者数字孪生（Learner Digital Twin）：**为每位学习者构建基于动态概率信念态的数字分身，支持跨学期、跨学科、跨模态的长期认知演化追踪。
- **学科知识图谱：**不仅编码知识点的前修后继关系，更深度编码概念转变的典型路径、常见迷思模式，以及不同知识表征形式（符号、图形、情境）间的映射关系。

L3：LAM 引擎层（LAM Engine Layer）

底层架构的操作系统，负责运行观测、建模、规划、渲染与评估的完整业务闭环。

- **观测引擎：**实时清洗、降噪并提取多模态特征（如答题反应时、视线停顿、语音迟疑等隐性线索）。
- **建模引擎：**融合贝叶斯推断、认知诊断模型（CDM）与潜空间状态预测，高频刷新学习者数字孪生的认知信念态。
- **规划引擎：**以当前认知态为起点，利用蒙特卡洛树搜索（MCTS）与强化学习（RL），在内部仿真

海量干预路径并推演长期认知增益，求解最优的下一步干预动作（如追问、举例、降级提示或建议休息）。

●**渲染引擎：**将抽象的教学策略解码为具象的多模态体验（如即时生成三维几何拆解动画，或触发同伴协作指令）。

●**评估引擎：**闭环量化干预效果，计算模型预测与实际发生的偏差，触发仿真器的参数微调与自适应对齐。

L4：智能业务应用层（Intelligent Application Layer）

面向最终用户的价值呈现层，基于底层能力构建具体的教学场景应用。

●**原生个性化学习系统：**突破预设路径限制，动态生成千人千面的流式学习体验。

●**教师副驾驶（Teacher Copilot）：**为教师提供实时的认知态势洞察与教学决策建议。

●**自适应评估系统：**推动评价方式从事后打分向过程诊断与预测干预转型。

●**认知健康管理：**动态监测认知负荷与情感张力，前置预防学习倦怠与厌学情绪。

贯穿全栈的神经中枢：EduLink 教育智联总线

在复杂的教育生态中，教师 Agent、学生 Agent 与评测 Agent 等多智能体将长期共存。EduLink 作为贯穿四层架构的协同总线协议，统一定义了意图接口、能力协商机制、任务分解标准与结果反馈规范，确保各组件在统一语义空间内高效协同，打破系统间的信息孤岛。

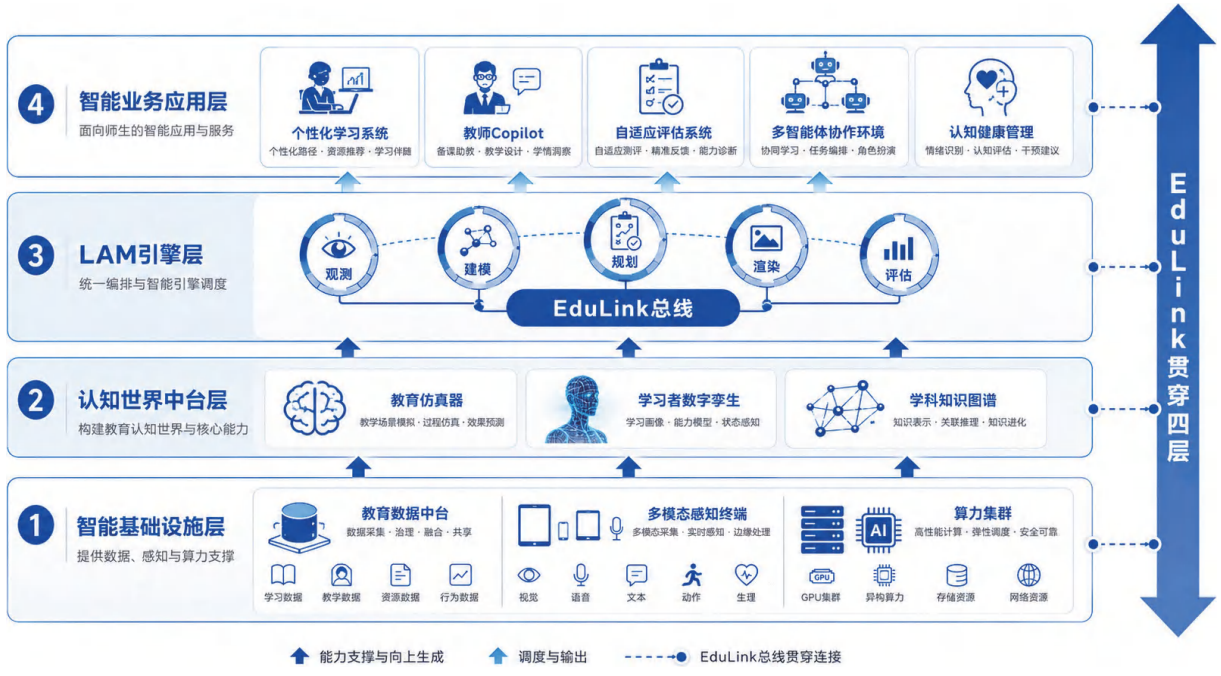


图 8　面向教育 AGI 的目标架构（四层架构）

3.2 架构设计原则：支撑范式跃迁的工程准则

为在底层落实认知原生、自智教学与群体智能的基础设施愿景，面向教育 AGI 的“4+1”架构需突破传统软件工程的线性耦合思路。在系统拓扑与工程设计上，本白皮书提出三大核心架构原则，以确保系统兼具深度的认知计算能力与广阔的生态延展性。

1. 认知与交互解耦原则（内核推演与表现层分离）

传统教育软件常将核心逻辑与前端界面深度绑定，导致系统臃肿且跨端迁移困难。新一代教育智能体架构要求将底层的认知推演与前台的教学呈现实施解耦。

- **机制重构：**后台的认知世界模型专注处理高并发的学情计算与策略规划；前端渲染器则独立负责将策略解码为文本、语音或 3D 交互等多模态表征。

- **架构价值：**这一设计实现了“底层一脑，多端同构”。同一底层认知模型无需修改核心代码，即可通过标准接口驱动手机、教室大屏、VR 头显及教育机器人等泛在设备，确保学习者获得连贯的认知伴随体验。

2. 伴随式闭环原生原则（从离散响应到持续导航）

当前主流大语言模型多采用“指令—生成”的单向流水线模式，任务随问答结束而终止。然而，教育场景需要将持续反馈闭环确立为底层的原生机制。

- **机制重构：**架构设计需从被动应答转向主动导航。系统不仅在接收提问时响应，更要在后台持久化维护学习者的认知状态机，持续异步运行“观测学情—预测迷思—动态干预—效果评估”的完整循环。

- **架构价值：**闭环原生是实现涌现式教育的工程前提。它赋予系统长效记忆与主动干预能力，使其能精准把控智能支架的提供与撤除时机，超越用完即走的检索工具定位。

3. 总线统合与插件化原则（柔性扩展与生态互联）

面对高度异质化的教育场景，单一系统难以覆盖所有学科与干预维度，架构需摒弃封闭设计，转向高度开放的柔性组装模式。

- **机制重构：**底层铺设标准化的教育事件总线，构建高兼容性数字底座。各类专精智能体（如虚拟实验 Agent、心理疏导 Agent 或教师控制台），均可作为独立的能力插件，遵循统一通信协议（如 EduLink）接入总线。

- **架构价值：**该原则为群体智能构筑了工程底座，支持学校、科研机构与开发者以“热插拔”的方式低成本、高敏捷地部署新能力，进而孕育出能力互补、持续演进的多智能体教育生态。

3.3 形式化基础：认知世界模型（CWM）的数学骨架

通向教育 AGI 的探索并非对传统教育信息化的渐进式修补，而是一场从“信息层”向“认知层”的底层逻辑重构。其核心在于建立一套全新的技术体系：在内部仿真学习者的心智动力学，前置推演教学干预的长效收益，并据此生成动态寻优的教学决策。

在具身智能与自动驾驶领域，“世界模型”已具备成熟的数学表达——部分可观测马尔可夫决策过程（POMDP）。本文提出，将这一严密的数理骨架适度跨域映射至教育场景，构建“认知世界模型”（Cognitive World Model, CWM），实现建模对象从外部物理空间向学习者内部认知空间的范式跃迁。

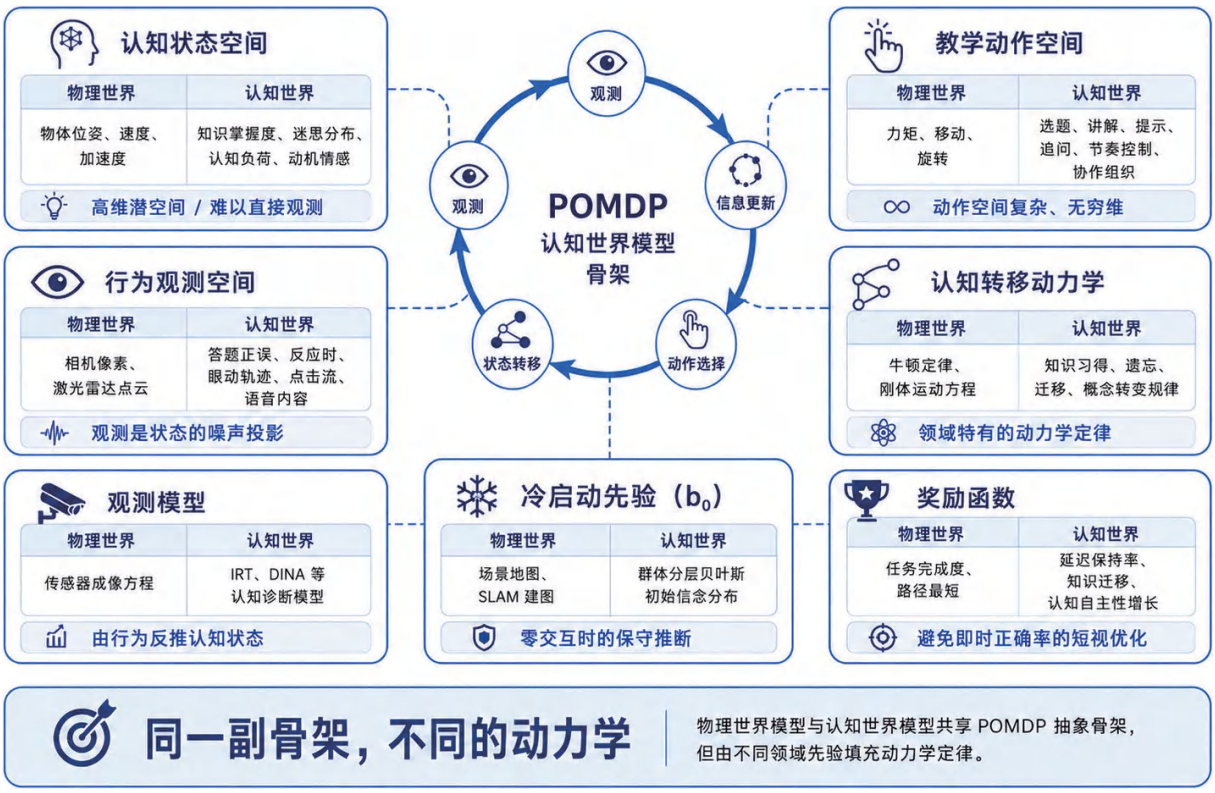


图 9　认知世界模型七元组教育映射

认知世界模型可被形式化定义为一个七元组 **<S, A, Z, T, O, R, b_0>**:

- **S (State, 认知状态空间)**：学习者的知识掌握度、迷思概念分布、认知负荷及动机情感状态。这是一个高维的潜空间。
- **A (Action, 教学动作空间)**：系统可执行的干预手段，如选题分发、提示追问、节奏控制与协作组织。其高维特性构成了教育规划的核心挑战。
- **Z (Observation, 行为观测空间)**：答题正误、反应时、眼动轨迹、交互点击与语音内容。这些外显观测是内隐认知状态在现实中的噪声投影。
- **T (Transition, 认知转移动力学)**：知识习得、遗忘规律、跨域迁移与概念转变的演化路径，即教育领域的动力学机制。
- **O (Observation Model, 观测模型)**：依托 IRT、DINA 等认知诊断模型（CDM），实现由外显行为向内隐认知状态的统计学映射。
- **R (Reward, 奖励函数)**：衡量系统干预成效的标尺。聚焦延迟保持率、知识迁移能力与认知自主性增长，规避对即时正确率的短视优化。
- **b_0 ((Belief, 冷启动先验)**：基于群体分层贝叶斯的初始认知信念分布，确保系统在零交互冷启动时能做出合理的基线推断。

维度	物理世界模型（自动驾驶 / 机器人）	认知世界模型（教育 AGI）
状态空间 (S)	物体位姿、速度、加速度、环境几何	知识掌握度、迷思分布、认知负荷、动机情感
动作空间 (A)	转向力矩、油门、机械臂旋转与位移	选题分发、讲解 / 提示 / 追问、节奏控制、协作组织
观测空间 (Z)	相机像素、激光雷达（LiDAR）点云	答题正误、反应时、眼动轨迹、点击流、语音内容

维度	物理世界模型 （自动驾驶 / 机器人）	认知世界模型 （教育 AGI）
转移动力学 (T)	牛顿定律、 刚体运动学方程	知识习得、 遗忘曲线、跨域迁移、 概念转变规律
观测模型 (O)	传感器成像方程、 光电转换模型	IRT、DINA 等 认知诊断模型 (CDM)
奖励函数 (R)	任务完成度、 无碰撞、路径最短	延迟保持率、 知识迁移能力、 认知自主性增长
冷启动先验 (b_0)	场景高精地图、 SLAM 初始建图	群体分层贝叶斯 (Hierarchical Bayes) 初始 信念分布

表格 3-1　物理世界模型与认知世界模型的跨域形式同构

这种跨域同构性表明，物理世界模型与认知世界模型共享基于 POMDP 的抽象决策骨架，核心差异在于注入的先验动力学。物理世界依赖牛顿力学，而认知世界依托知识图谱结构与认知科学规律。这意味着，前沿 AI 在状态估计、蒙特卡洛树搜索（MCTS）与长程规划等领域的算法资产，具备向教育场景平移的潜力。其关键前提是，产业界需以教育科学为锚点，重构契合人类心智发展规律的转移矩阵（T）与奖励机制（R）。

为将上述数理骨架转化为产业基础设施，需将这七个抽象符号解耦并映射为具体系统组件。基于此，本白皮书进一步提出新一代教育智能体架构的三大核心引擎：教育仿真器（接管 T、O、S、b0）、教育规划器（接管 A、R）与教育渲染器（负责 Z）。三者遵循“状态推演—策略寻优—感官表征”的闭环逻辑，共同构筑下一代教育系统的物理底座。



04 核心引擎：
教育仿真器·教育规划器·教育渲染器

4.1 教育仿真器：动力学引擎

作为认知世界模型的核心动力源，教育仿真器在工程上承接了认知转移动力学（T）与观测模型（O）的实现，并负责持续更新认知状态（S）与先验信念（b_0）。它赋予了系统在内部仿真学习者心智演化的能力，是新一代教育智能体的核心差异化优势。

技术底座：潜空间预测架构

仿真器底层依托以 JEPA（联合嵌入预测架构）为代表的潜空间预测技术。相较于传统自回归模型，该架构规避了表层重建的庞大算力损耗，直接在高维潜空间中进行状态预测。这种设计在规划效率与跨域泛化上具备显著优势，为低延迟、长程的教学推演提供了算力可行性。

跨尺度仿真架构：从物理时空到心智动力

仿真器并非单一维度的演算，而是在三个尺度上同步展开推演：

- **物理环境仿真（情境层）**：承载虚拟教学情境中的客观规律推演（如模拟实验中的物理变化）。该维度可复用成熟的物理世界引擎，确保虚拟情境的一致性。
- **群体交互仿真（社会层）**：推演多智能体（如学生、同伴与教师 Agent）间的社会动力学。在协作任务中，前置预测角色分配对群体知识建构的影响，以及同伴交互引发的认知与情感波动。
- **个体认知仿真（心智层）**：作为仿真器的核心维度，致力于追踪学习者心智状态的动态演化，涵盖知识从程序性记忆向概念性理解的深化、认知负荷在任务难度博弈下的波动，以及学习动机受反馈机制影响的起伏。

核心难点：非线性概念转变的刻画

个体认知仿真的关键挑战在于刻画学习者的概念转变（Conceptual Change）。教育科学表明，从迷思（错误直觉）向科学概念的跃迁通常不是知识的线性累加，而是经历冲突、困惑、重组到理解的非线性过程。为此，教育仿真器需内置基于知识图谱的典型迷思模式库（如“运动需要力维持”等常见误区），并测算反例呈现、类比迁移、脚手架提示等不同干预策略触发认知重组的概率分布。

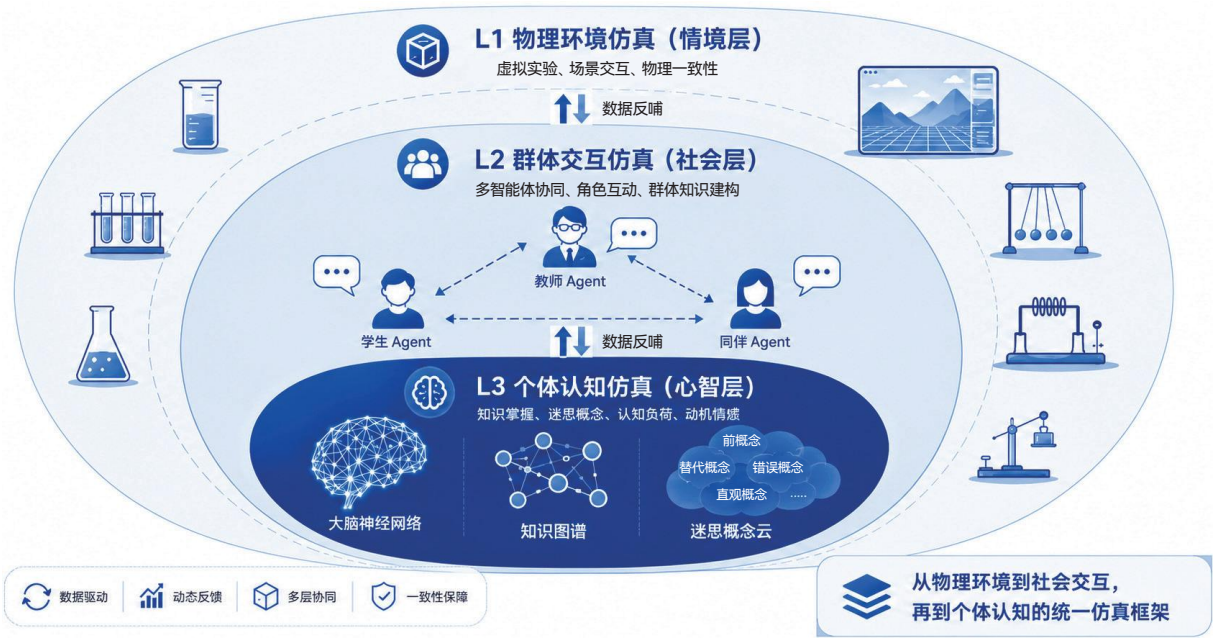


图 10　教育仿真器三层仿真架构

4.2 教育规划器：决策中枢

承接仿真器输出的认知状态预测，教育规划器在工程上负责在动作空间（A）中执行策略寻优，以最大化长期的教育奖励函数（R）。作为系统的决策中枢，其核心使命是超越单步问答的局限，求解长效的教学干预路径。

技术底座：MCTS 与强化学习的深度融合

规划器以蒙特卡洛树搜索（MCTS）与强化学习（RL）为底层技术栈。该架构避免了对即时正确率的单一依赖，使系统能在广阔的策略空间内，通过前置推演评估不同干预组合的长效认知增益。

机制重构：以认知状态为根节点的搜索树

不同于传统 MCTS 以物理局势（如棋盘状态）为根节点，规划器对 MCTS 核心元素进行了教育场景的跨域重构：

- **根节点**：映射为学习者当前的内隐信念态（如概念掌握度、认知负荷与动机水平）。
- **分支动作**：具象为具体的教学干预策略（如直接讲解、脚手架提示或组织讨论）。
- **叶节点价值**：定义为延迟测试表现与知识迁移能力等长效认知增益。

破局关键：高维动作空间的降维与参数化

真实的教学动作空间维度极高——针对同一知识点，存在海量的讲解变式、题目编排与反馈话术。若直接在此高维空间运行 MCTS，极易引发搜索爆炸。为此，本白皮书提出将非结构化的教学动作，解耦为有限维度的参数向量组合：

参数维度	设定取值示例
目标知识点	分数通分、一元二次方程求根、牛顿第二定律
认知操作类型	记忆、理解、应用、分析、评价、创造

续表

参数维度	设定取值示例
呈现模态	视觉动画、符号推导、情境叙事、操作实验
支架强度	直接讲解→渐进提示→完全自主探索
社会配置	个体独立学习、同伴协作、角色扮演、全班讨论
节奏控制	加速推进、标准进度、暂停反思、回顾巩固

表格 4-1　教学动作的有限维参数化分解

通过降维与参数化处理，规划器将高维策略探索转化为可计算的组合优化问题。这一设计不仅保障了长程规划算法的收敛效率，也在数学层面上保留了真实教学设计的丰富度与弹性。

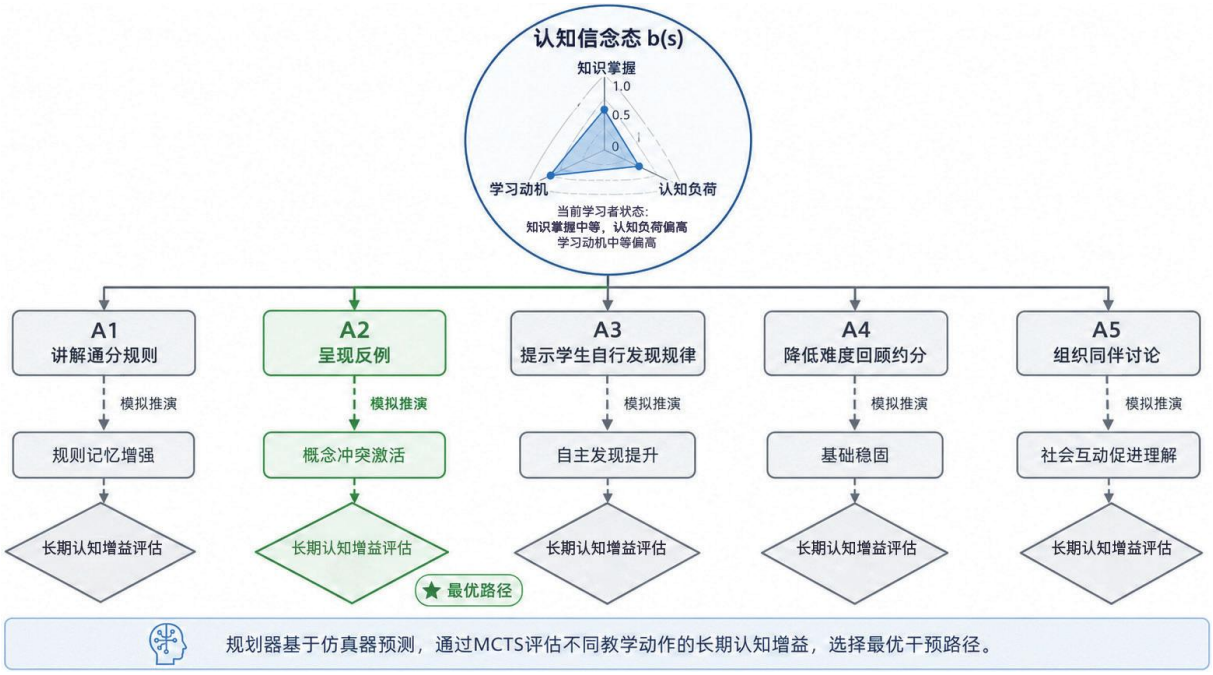


图 11　教育规划器：以认知状态为根节点的 MCTS 搜索

4.3 教育渲染器：感官界面

作为触达学习者感官通道的“最后一公里”，教育渲染器在工程上负责生成行为观测空间（Z），将潜空间中的高维策略指令解码为人类可感知的多模态物理表征。其核心使命并非单纯的内容生成，而是实现与学习者当前认知状态高度适配的动态渲染。

技术底座：多模态生成式范式

以扩散模型（Diffusion Models）与自回归生成技术为核心，支持高保真虚拟情境的实时生成、动态可视化推演以及多模态自然交互界面的构建。

核心功能矩阵：从抽象解码到动态适配

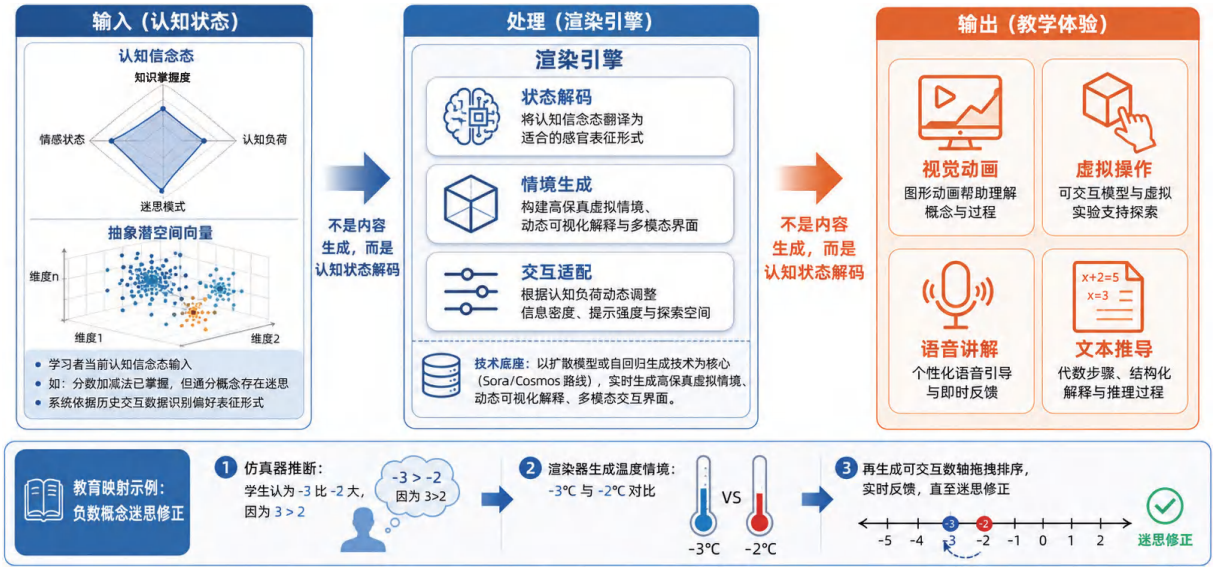


图 12　教育渲染器：从认知状态到教学体验

●**认知状态解码（表征寻优）**：将规划器输出的抽象策略转化为最匹配的感官表征。例如在诊断出特定迷思时，结合学生的交互偏好，动态决定采用图形动画、三维教具或代数推导进行干预，实现个性化的内容呈现。

●**虚拟情境构建（物理仿真）**：在环境维度渲染高保真的实验与交互空间。以酸碱滴定为例，渲染器不仅生成烧杯与滴管的三维形态，更能模拟液滴下落的流体力学、指示剂变色的化学渐变，甚至还原操作失误引发的物理后果。

●**交互界面动态适配（负荷调节）**：基于对学习者认知负荷的实时监测，智能调节界面的信息密度。当负荷趋于超载时，系统自动执行视觉降噪、简化元素并增强脚手架提示；当负荷较低时，则适时引入开放性挑战，拓展探索空间。

教育场景映射：以“负数大小比较”为例

当系统通过观测推断出学生陷入绝对值迷思（如误认为 -3 大于 -2）时，渲染器不会机械地输出数学法则，而是动态生成一个符合生活直觉的温度情境：并列展示 -3℃与 -2℃的温度计，引导学生调用生活经验进行自我纠偏。随后，系统无缝切入可交互的虚拟数轴，让学生在拖拽排序中获取实时反馈，直至确认该迷思被有效修正。

4.4 三引擎协同机制

教育仿真器、规划器与渲染器并非孤立组件，而是依托统一的底层数据总线，构成了一个深度耦合的“感知—决策—执行”闭环系统。

协同工作流：高频教学闭环

在真实的教学交互中，三引擎按以下逻辑高速流转：

●**策略寻优（规划器）**：基于学习者当前的认知状态，规划器在策略库中快速检索，输出最优的教学动作参数。

- **前置推演（仿真器）**：在动作执行前，仿真器在内部沙盘中推演该动作可能引发的认知演化（如预判特定提示对迷思修正率的提升幅度）。

- **感官解码（渲染器）**：策略经仿真器验证有效后，渲染器立即接管，将其解码为多模态、高保真的沉浸式教学界面。

- **数据反哺（全局进化）**：学习者与界面交互产生的真实行为数据，将实时回流至系统底座，用于校正仿真器的预测偏差、优化规划器的奖励函数，并提升渲染器的解码精度。

核心架构：统一潜空间表征

三引擎高效协同的前提，是共享同一个高维潜空间（Latent Space）。传统技术常需将 AI 决策先转化为文本，再由文本生成画面，易带来延迟与信息损耗。在本架构中，三引擎使用统一的向量表征：规划器在潜空间中生成的教学策略，可直接被仿真器读取并推演后果，进而被渲染器无缝转化为感官体验。这种表征对齐，有效规避了跨模块显式翻译带来的算力与时间损耗。

工程挑战：权衡算力、数据与延迟

三引擎的深度协同本质上是一个复杂的多目标博弈：渲染器追求视觉与物理的高保真（消耗算力）；仿真器追求心智演化的预测精度（依赖高质量教育数据）；规划器则要求低延迟的实时响应。因此，新一代教育智能体走向产业落地的关键，不在于追求单一模块的技术极限，而是在算力分配、数据流转与响应延迟之间，寻找契合真实教学场景的动态平衡点。

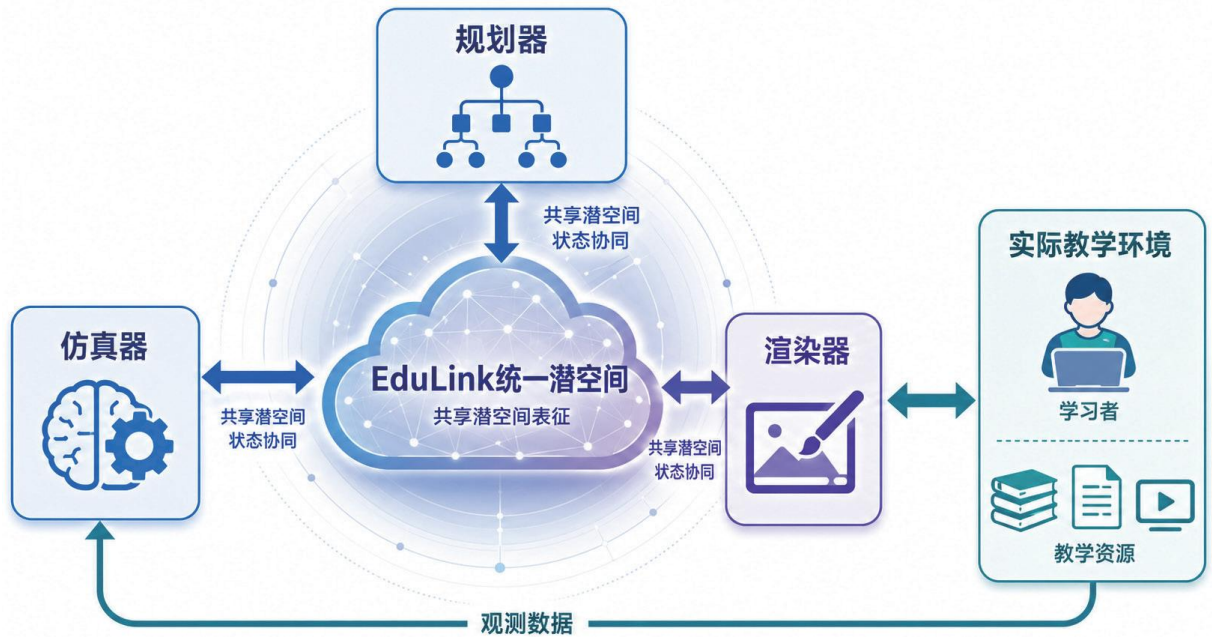


图 13　三引擎协同架构与 EduLink 总线

05 工程落地：业务闭环与技术攻坚路径

5.1 业务引擎：LAM 闭环范式

LAM（Learning-Assessment-Modeling）元框架基于教育 POMDP（部分可观测马尔可夫决策过程），构筑了“感知—推断—规划—行动”的业务闭环。它为长期并行发展的四大教育技术脉络——知识追踪（KT）、认知诊断（CD）、智能导学（ITS）与学习分析（LA），提供了统一的顶层架构定位。

本文提出，LAM（Learning-Assessment-Modeling）作为教育业务的主循环框架，其在工程落地上具体展开为五大核心环节：

- **观测（Observation）**：多模态交互特征的高分辨提取。输入多维行为痕迹（如答题日志、眼动轨迹、语音特征等），输出标准化的状态特征向量。
- **建模（Modeling）**：内隐认知状态的动态重构。基于特征向量融合潜空间预测技术，输出实时更新的学习者信念态 b(s)。

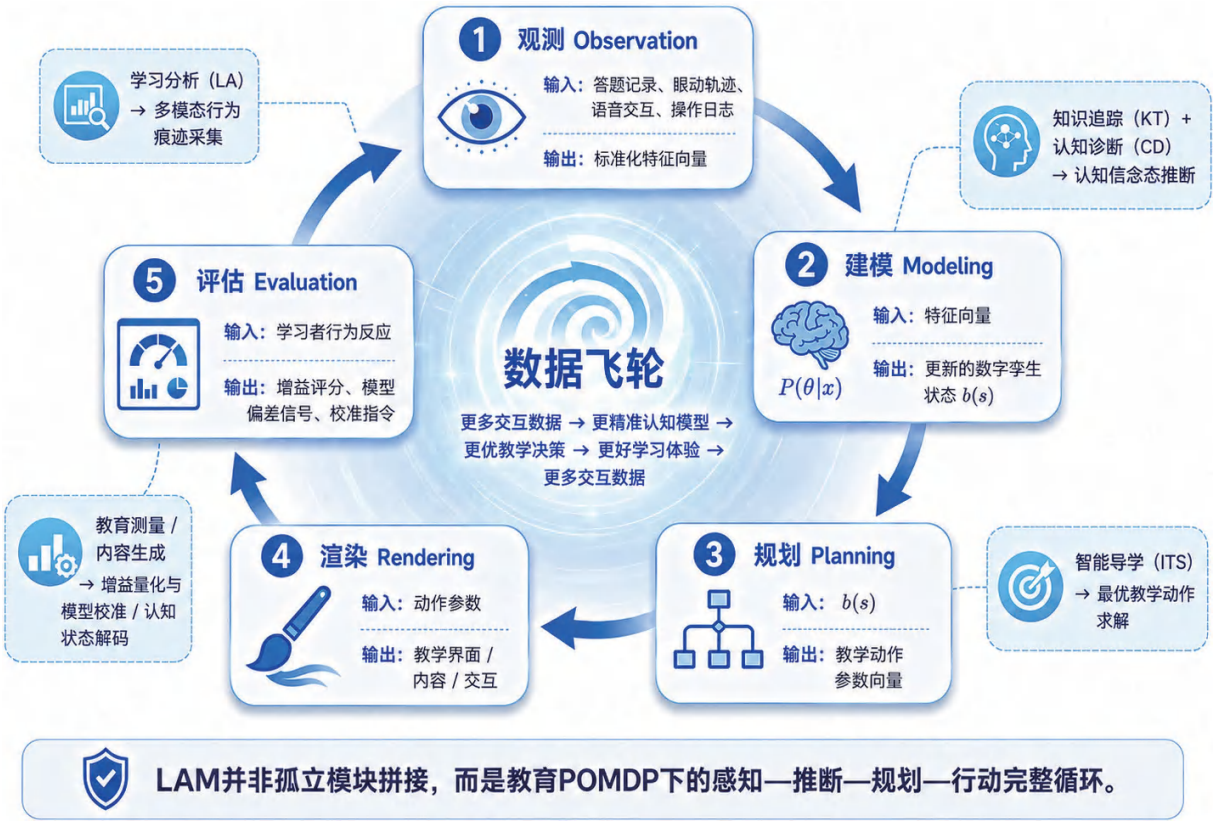


图 14　LAM 闭环五环节数据流与统一技术定位

●**规划（Planning）**：全局最优教学策略的推演寻优。以当前信念态为起点，通过 MCTS 等算法，输出最优教学动作参数向量。

●**渲染（Rendering）**：教学策略的多模态表征解码。将抽象的动作参数实时转化为学习者可感知、可交互的动态教学界面与内容。

●**评估（Evaluation）**：认知增益量化与系统自校准。基于学习者对渲染内容的真实反馈，输出预测偏差信号，触发底层模型的闭环校准。

LAM 环节	传统技术	统一价值	技术升级
观测	学习分析（LA）	多模态行为痕迹采集	从单一日志分析走向眼动 / 语音等多维高精度感知
建模	知识追踪（KT）+认知诊断（CD）	认知信念态推断	从离散知识点标签走向潜空间连续概率分布
规划	智能导学（ITS）	最优教学动作求解	从静态规则引擎走向基于 MCTS 的反事实长程推演
渲染	内容生成	认知状态解码	从静态资源调用走向高度适配认知的动态个性化渲染 *
评估	教育测量	增益量化与模型校准	从事后总结性打分走向过程性预测与实时验证

注：LAM 的“渲染”环节有别于通用 AIGC，其核心壁垒不在于内容的华丽，而在于对当前“认知状态”的精准适配与解码

表格 5-1　LAM 闭环与四大传统技术脉络的统一定位

LAM 主循环构筑了智能系统的自进化数据飞轮：多维交互数据累积 → 认知建模精度提升 → 教学决策更趋优 → 学习体验改善 → 诱发更高质量的交互。该飞轮的迭代效率，是决定模型演进速度与智能上限的关键要素。

5.2 核心载体：学习者数字孪生

学习者数字孪生（Learner Digital Twin）是认知信念态 b(s) 的工程化载体。它摒弃了传统静态档案的范式，呈现为一个持续演进的动态概率分布：系统无法直接观测学生的真实心智，而是通过持续交互，维持一个带有不确定性的置信度集合。这一高维信念态是智能系统全链路决策的核心基准。

人机对齐：信念态的高维有损投影

机器决策依赖高维潜空间，而人类教师需要可解释的学情。为此，系统将复杂的高维信念态降维投影为四个可读的慢变量维度。这种投影是面向人类的翻译界面，系统的核心决策仍基于完整的潜空间信念态。

●**知识演化状态**：各知识节点在程序性记忆与概念性理解间的掌握概率分布。

●**底层认知特征**：工作记忆容量、信息加工速度、逻辑推理能力等相对稳定的心智特质。

●**表征交互偏好**：对图文、视频、交互推导等不同信息表征形式的响应模式。

●**情感与动机倾向**：即时情感状态（如困惑、心流、焦虑）与长效动机取向的波动。

生命周期管理：孪生系统的工程架构

学习者数字孪生的维护依赖无缝运转的闭环数据流：

●**多源数据接入**：整合 LMS、课堂交互、作业系统等多模态行为日志。

●**认知特征工程**：将原始动作转化为高阶认知特征

（如反应时变异系数、错误模式编码）。

- **状态后验推断**：运行认知诊断或潜空间预测模型，输出当前认知状态的后验分布。

- **信念态持续更新**：借助贝叶斯滤波（如粒子滤波、变分推断）实现跨会话、跨学期的平滑迭代。

- **动态分级风控**：根据推断数据的敏感度，实施分层隐私保护。

级别	数据类型涵盖	敏感度	业务使用边界	核心保护与脱敏措施
一类	基础行为数据（点击流、停留时长、答题正误）	低	常规学习支持、系统 UI 优化	标准加密传输、去标识化处理
二类	浅层认知画像（知识点掌握度、能力常模评估）	中	辅助个性化教学、教师学情看板	差分隐私、严格的访问审计
三类	深层心智推断（迷思溯源、心理脆弱性、动机风险）	极高	仅限闭环内的即时教学干预	联邦学习、端侧本地推理、用户强授权、定期物理擦除

表格 5-2　认知数据分级保护框架

科技伦理的跃迁：确立认知主权

传统数据隐私框架在通向教育 AGI 的时代面临新挑战：即便底层行为数据的收集合规，系统仍能通过算法推断出学习者的厌学趋势、思维短板或心理脆弱性等深层心智特征。这些高阶推断的敏感度远超原始数据，若被滥用，易导致教育歧视与标签固化。

因此，新一代教育智能体的伦理设计须实现从数据隐私向认知主权（Cognitive Sovereignty）的跃迁。学习者及其监护人应拥有对数字孪生的掌控权，核心包括：

- **知情权**：系统正在推断什么；

- **查询权**：查看当前认知画像；

- **纠错权**：对错误推断提出异议并修正；

- **删除权**：要求清除特定时段的认知推断记录；

- **用途控制权**：禁止将认知画像用于商业画像或长期标签化。

5.3 跨越深水区：七大核心技术挑战

基于教育世界模型的系统从理论构想到规模化应用，需跨越可学习性（能否精准建模）、优化正确性（能否科学决策）与落地可行性（能否安全部署）三重递进式考验。本文将其拆解为七大核心技术工程挑战，并绘制了相应的攻关路线图与标志性阶段目标。

层级	挑战	核心问题	候选攻关路线	标志性阶段目标
可学习性	认知状态可辨识性	知识盲区、认知迷思与偶然失误的状态混叠（State Aliasing）	①主动诊断探测 ②多模态特征融合 ③动力学特征判据	**概念验证期**：在结构化知识域内，实现对三类认知状态的有效分类与实证校验
	反事实有效性	同一学生只能接受一种教法，无法观测反事实	①渐进式部署闭环校验 ②因果推断方法 ③多学习者聚合因果效应估计	**原型跑通期**： 支持反事实模拟的“教育认知仿真校验平台”原型跑通，实现基于学习者数字孪生的策略验证

续表

层级	挑战	核心问题	候选攻关路线	标志性阶段目标
优化正确性	Goodhart 效应规避	即时正确率优化可能催生学习依赖或表面掌握	①测量与优化分离 ②多维向量奖励 ③人工审核短期策略质量	**系统商用期**：建立并部署多维奖励验证系统，实现长期认知增益与短期正确率的平衡
	教学诊断对偶控制	教学增益与信息增益的资源冲突	信念 MDP 联合优化 （将信息价值纳入动作价值函数）	**架构验证期**：诊断—教学联合优化框架在受限场景下完成有效性验证
落地能力	非平稳性与异质性	学习率在“学会学习”过程中漂移不同学生认知动力学差异巨大	①分层贝叶斯 ②元学习 ③在线自适应	**技术突破期**：特定结构化知识域内，通过元学习实现小样本（如极少次交互）下的策略自适应
	冷启动与隐私约束	新用户零数据 vs 隐私最小化要求的矛盾	联邦分层贝叶斯架构 （利用群体先验，本地更新个体）	**生态试点期** 联邦学习架构原型上线，实现“数据不出域”的群体经验共享
	无穷维动作规划安全	大语言教学动作的空间爆炸；生成内容的安全与正确性	动作结构化参数化 + 安全过滤层 + 人在回路审核	**合规部署期** 完成动作空间安全约束机制验证，并在试点场景中引入人在回路机制

表格 5-3　七大核心技术挑战研究地图

5.4 落地路径：从数据飞轮到教育仿真沙盒的四大工程手段

新一代教育智能体的规模化部署需跨越从实验室概念验证（PoC）到生产环境的鸿沟。为此，本文提出四条核心工程路径，旨在驱动系统从技术展示走向规模商用。

路径一：构筑自进化的数据飞轮

系统的长期壁垒在于闭环迭代的数据飞轮。脱敏后的多模态交互数据持续回流，驱动认知动力学模型微调。其迭代势能取决于数据接入广度（多学科与多场景覆盖）、数据质量（认知科学对齐度与信噪比）及反馈回路速度（端到端更新延迟）的三位一体协同演进。

路径二：部署教育仿真推演平台（EduArena）

本白皮书提出构建教育专属的仿真校验环境——EduArena（教育演练场）概念框架。系统依据真实学情分布生成认知替身（Cognitive Avatar），在不干预真实教学的前提下，低成本开展反事实推演、A/B 测试与长程策略预演，有效化解真实教学中试错成本高昂的伦理与工程难题。

路径三：构建云边端协同的异构算力架构

为平衡大模型的计算密集性与课堂交互的低延迟约束，宜采用分层计算范式：云端承载全量模型训练与复杂长程规划；边缘侧部署轻量化诊断模型以保障高频推断响应；终端设备聚焦多模态观测采集与沉浸式渲染。此架构在满足实时响应的同时，有效控制了单次交互的算力成本。

路径四：建立应对分布漂移的动态校准机制

学习者的认知动力学特征会随年龄、文化及学科演进而客观变迁。系统需建立严密的预测偏差监控体系，一旦监测到数据分布漂移（如预测掌握度与实际表现背离）超过安全阈值，即自动触发模型微调或引入人在回路（HITL）审核，确保底层模型始终与真实学情保持对齐。

四条路径的闭环协同

数据飞轮沉淀高质量数据，EduArena 机制提供无损试错沙盒，云边端架构保障算力经济与实时性，动态校准机制维持系统准确率。四者相互赋能，共同驱动智能系统从受控运行向智能自治跨越。预计至 2030 年，上述路径将全面完成商用就绪（Ready-for-Commercial）验证，助推新一代教育智能体迈入规模化部署深水区。

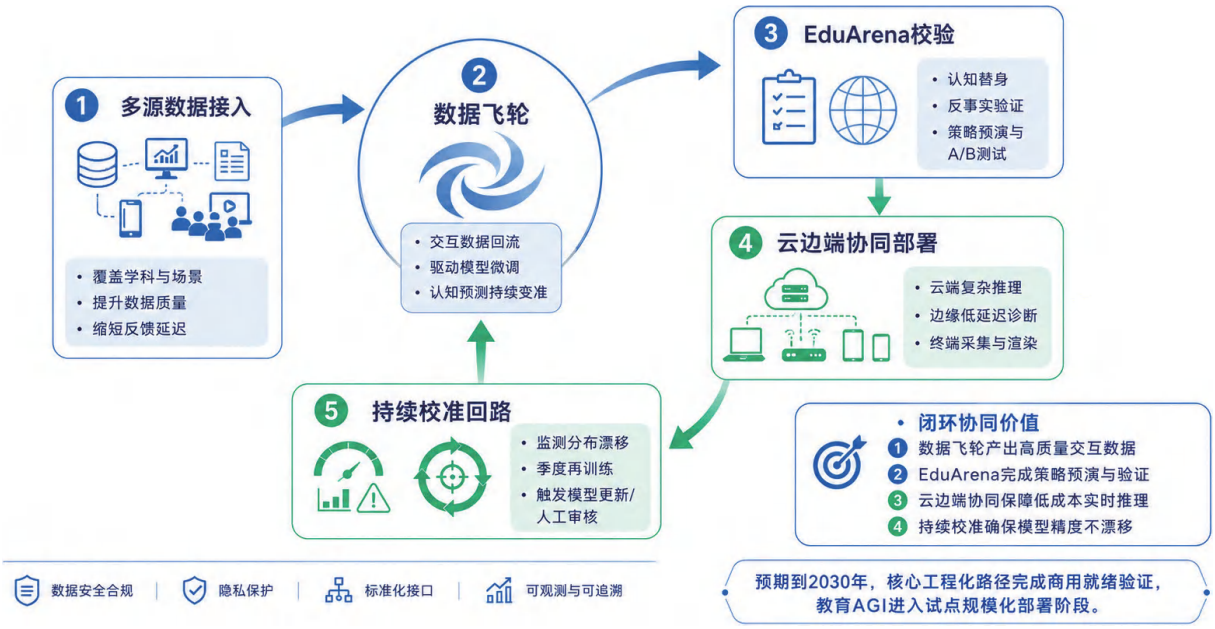


图 15　新一代教育智能体工程化路径：从数据飞轮到持续校准

06 体验重构：新一代教育智能体四大核心价值场景

6.1 场景一：个性化学习路径生成

【行业痛点】

传统班级授课制的刚性进度易引发认知错配：学困生因进度超前陷入“恐慌区”，学优生则因低效重复滞留“舒适区”。现有自适应系统多局限于单一知识点内的难度微调（局部寻优），缺乏跨知识边界的全局规划能力，更难以诊断并修补错误背后的深层认知迷思。

【解决方案】

本文提出基于 LAM 架构的动态路径规划系统。该系统以学习者数字孪生为基座，通过教育仿真器推演候选路径的认知演化轨迹，利用规划器求解全局最优序列，并由渲染器输出具象化的交互体验，实现从千人一面到千人千轨的教学模式升级。

LAM 闭环运作流（以“异分母通分”为例）：

1. 观测：采集历史答题日志、反应时、求助信号等多维交互数据。

2. 建模：推断当前认知状态，精准识别学生是否存在概念理解偏差（如误将通分视为机械寻找公倍数，而未掌握统一分数单位的本质）。

3. 规划：在后台推演多条候选路径的长期效果。通过对比直接强化公式、回溯分数单位概念或跳过当前知识点的长期增益，系统最终锁定能根治迷思的最优路径。

- **路径 A：**直接强化通分公式练习（推演结果：迷思未除，易遗忘）。
- **路径 B：**回溯至“分数单位”，引入数轴进行直觉重建（推演结果：根治迷思，长效增益最高）。
- **路径 C：**跳过通分进入下一章（推演结果：地基不稳，后续学习崩溃）。

系统最终锁定全局最优的“路径 B”。

4. 渲染：将最优路径解码为数轴切分动画、可拖拽虚拟模型与苏格拉底式追问相结合的沉浸式体验。

5. 评估：单元学习后触发无辅助探测，验证迷思修正程度，并回流数据校准底层模型。

【关键技术能力】

- **潜空间认知诊断：**突破表层正误判断，精准区分知识缺漏、迷思模式与粗心失误。
- **反事实路径推演：**在内部沙盘中模拟不同教法的长期后果，降低真实环境下的试错风险。
- **多目标帕累托寻优：**摒弃对即时正确率的单一追求，综合优化学习效率、知识保持率、认知负荷与学习动机。

【预期业务价值】

依托上述技术底座，系统有望在多维度重塑教学价值：于学生端，减少无效重复与认知过载，力求缩短学习周期并促进知识长效内化；于教师端，大幅分担机械

性学情诊断，释放师资产能以回归高阶思维引导与情感陪伴；于宏观层面，则通过提供稳健的认知脚手架兜底学困生，降低掉队风险，为兼顾规模化与个性化的教育普惠探索出可行路径。

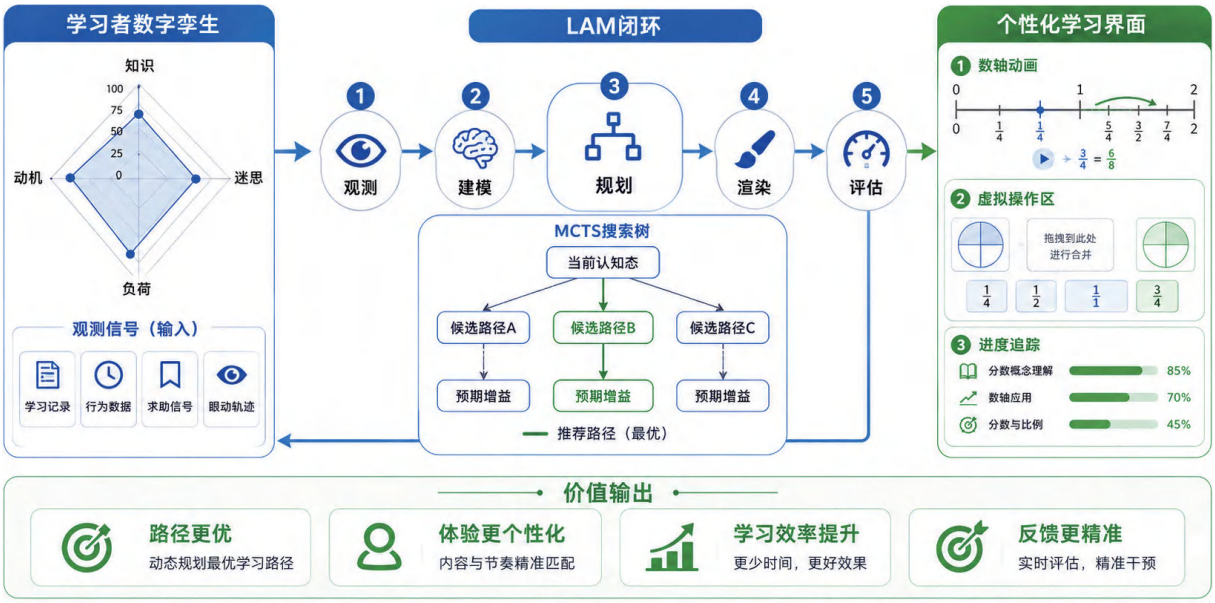


图 16　个性化学习路径生成方案架构

6.2 场景二：认知诊断与精准教学

【行业痛点】

传统学情诊断依赖阶段性测试与作业批改，面临时间、粒度与干预三重滞后：不仅难以即时发现问题，诊断颗粒度也常停留在章节层面而无法触及步骤级迷思，导致教师难以追溯错误的认知根源。在实验类学科中，学生可能表面操作正确但底层逻辑存在缺陷，这类隐性错误在传统评价中往往难以被有效捕捉。

【解决方案】

依托教育仿真器实现实时过程性认知诊断。以“酸碱滴定虚拟实验”为例，LAM 闭环运作流如下：

- **观测：**完整记录学生的仪器选择、试剂添加顺序、滴定速度控制等全过程操作序列。
- **建模：**将操作序列映射至认知维度。系统不仅评估表层操作，更推断深层素养（例如，识别出学生甲操作精准但缺乏误差分析意识；学生乙观察细致但步骤组织不稳定）。
- **规划：**基于诊断结果生成差异化干预策略。针对甲推送误差传播微课与计算任务，针对乙推送实验流程图设计与自检任务。
- **渲染：**将干预策略转化为交互式误差可视化或步骤排序游戏等具象体验。
- **评估：**在后续实验中对比操作序列的认知维度得分，验证诊断与干预的有效性。

【关键技术能力】

- **多模态过程性采信：**超越单一的结果判别，精准捕获操作序列、犹豫模式等高维过程性行为信号。
- **深层迷思图谱映射：**结合领域知识图谱与典型迷

思库，将表层错误精准映射至底层认知根源。

●**亚知识点级精准定位：**将诊断颗粒度细化至步骤级与认知维度层面，确保教学干预有的放矢。

【预期业务价值】

依托上述高维诊断与定位技术，系统有望实现学情反馈机制的质变：在诊断端，力求打破传统滞后性评价，实现亚知识点级的“边学边诊”与即时反馈，大幅消除评价盲区；在评估端，助力将实验设计与逻辑推演等隐性高阶素养显性化，拓展规模化评价的边界；在干预端，则通过直击底层认知病灶替代机械性刷题，有望稳步提升深层概念转变的成功率与整体教学效能。

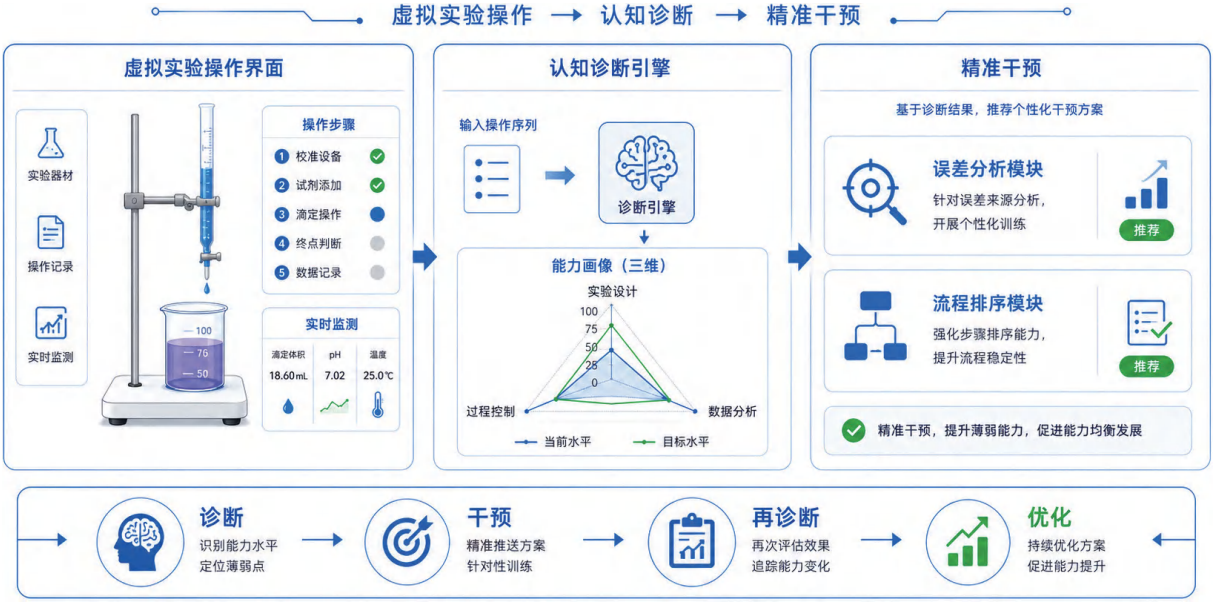


图 17　认知诊断与精准教学闭环

6.3 场景三：自适应评估与能力画像

【行业痛点】

传统评估多为事后检验，常在单元或学期末进行，结果主要用于排名与筛选，难以对学习风险进行前置干预。现有的形成性评价也往往停留在当前掌握度的静态快照，缺乏对未来学习困难的预测能力，导致教师难以预判学生后续的认知卡点。

【解决方案】

基于教育仿真器实现预测性评估。系统不仅诊断当前认知状态，更通过认知动力学推演未来学习轨迹中的潜在风险，并提前触发干预。

以阅读理解为例，若系统识别出学生在从句识别、逻辑连词等微观技能上存在系统性薄弱，仿真器会推演这些缺陷可能在后续议论文单元中引发论证结构理解困难。在风险暴露前，系统即刻触发预警：向学生端推送针对性的句法拆解微训练，并向教师端建议在后续教学中预留时间进行逻辑衔接的专项铺垫。这种预测性干预机制有效将评估从滞后的结果反馈转变为前置的风险预警。

【关键技术能力】

●**认知缺陷早期预警：**基于微观技能缺陷，推演其在宏观任务中的级联失效风险。

●**学习轨迹预测：**利用认知动力学模型，预测未来一定周期内的学习表现与潜在卡点。

●**前置性干预推荐：**在风险暴露前，自动生成并推送针对性的预防性训练。

【预期业务价值】

依托上述预测与预警技术，系统有望从根本上重塑教学干预的时间窗：在机制层面，将风险识别节点大幅前置，通过提前扫除微观认知障碍，力求稳步提升后续复杂学习任务的首次成功率；在教师端，助力教育者从滞后的“问题补救者”向从容的“预防性导师”转型，有效缓解教学压力；在学生端，则有助于阻断因知识连环崩塌引发的连续挫败感，系统性地呵护学习内驱力，降低习得性无助的发生风险。

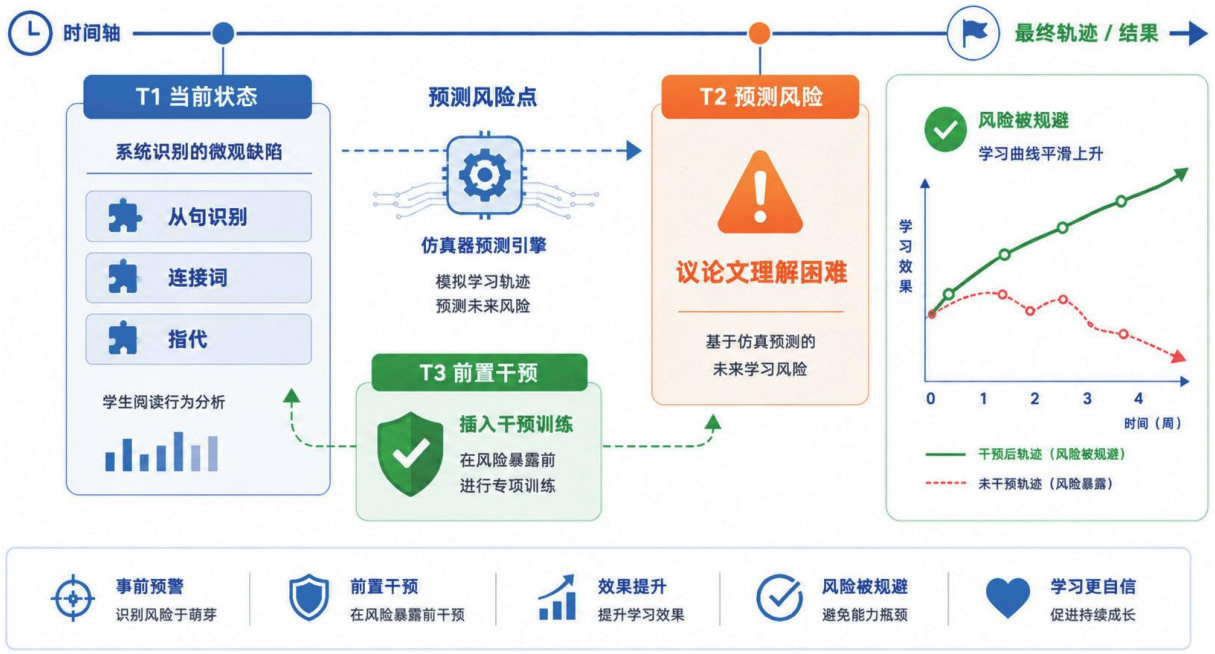


图 18　自适应评估：从诊断到预测

6.4 场景四：多智能体协作学习环境

【行业痛点】

传统协作学习高度依赖人工物理分组，面临多重局限：分组固定难以动态调整，无法基于实时认知状态匹配最优伙伴；角色分配多由教师预设，难以激发自然社会性；协作过程缺乏实时监测，教师难以辨别讨论的真实效能，更难以及时介入认知冲突或社会惰化现象。

【解决方案】

依托多智能体架构构建协作学习环境。以跨学科项目（如未来城市设计）为例：

●**情境渲染：**教育渲染器生成高保真交互沙盘，直观呈现不同决策（如交通布局、能源结构调整）带

来的系统级演变。

●**角色匹配：**系统基于学生认知状态与社交倾向，动态配置个性化 AI 同伴 Agent（如为数据分析偏好者引入提供批判性视角的专家 Agent，为认知负荷高者匹配协助整合信息的共建者 Agent）。

●**群体监测：**实时追踪小组的认知冲突密度与知识流动速率。若群体思维趋同则派遣质疑者 Agent，若讨论陷入僵局则适时提供整合框架。

●**动态评估：**不仅评估最终产出方案，更量化追踪观点贡献度、冲突参与度、知识整合质量等过程性指标。

【关键能力】

●**多智能体角色分配：**基于学习者认知与社交特征，动态生成最优的 AI 同伴角色组合。

●**群体认知动态监测：**实时追踪小组层面的认知冲突、知识流动与社会惰化风险。

●**协作冲突智能调解：**在认知冲突与社会冲突间建立动态平衡，维持适宜的探索空间。

【预期业务价值】

依托上述多智能体与动态监测技术，系统有望全面重构协作学习的生态与效能：在教学端，将小组协作过程由“黑盒”转化为全息透视，助力教师精准把握干预时机；在协作机制上，通过全过程数据采信与 AI 角色的动态补位，力求有效缓解社会惰化与“搭便车”现象；在学生素养端，不仅使批判性思维等高阶能力的规模化培育成为可能，更有助于潜移默化地塑造人机协同心智，为学习者适应未来社会的新范式奠定前瞻性基础。



图 19　多智能体协作学习环境架构

07 产业生态：Token 经济与商业路径

7.1 计价燃料：新一代教育智能体的 Token 消耗特征

随着大模型产业重心向推理调用规模转移，Token 已成为衡量 AI 经济形态的基础单位。基于教育世界模型的智能系统具备高频互动、长上下文依赖与多模态交织等特征，其商业落地与 Token 经济的底层效率密切相关。

新一代教育智能体的 Token 消耗呈现三大核心特征：

- **长上下文驱动的“高输入成本”**：个性化教育依托学习者数字孪生，系统在每次交互前需加载历史学习轨迹、知识图谱与长期记忆等庞大上下文。例如，跨周期的学情诊断，其单次请求的输入 Token 量通常处于较高水位。

- **深层推理驱动的“高计算成本”**：区别于简单问答检索，新一代教育智能体中的启发式追问、MCTS（蒙特卡洛树搜索）路径推演及认知状态推断，

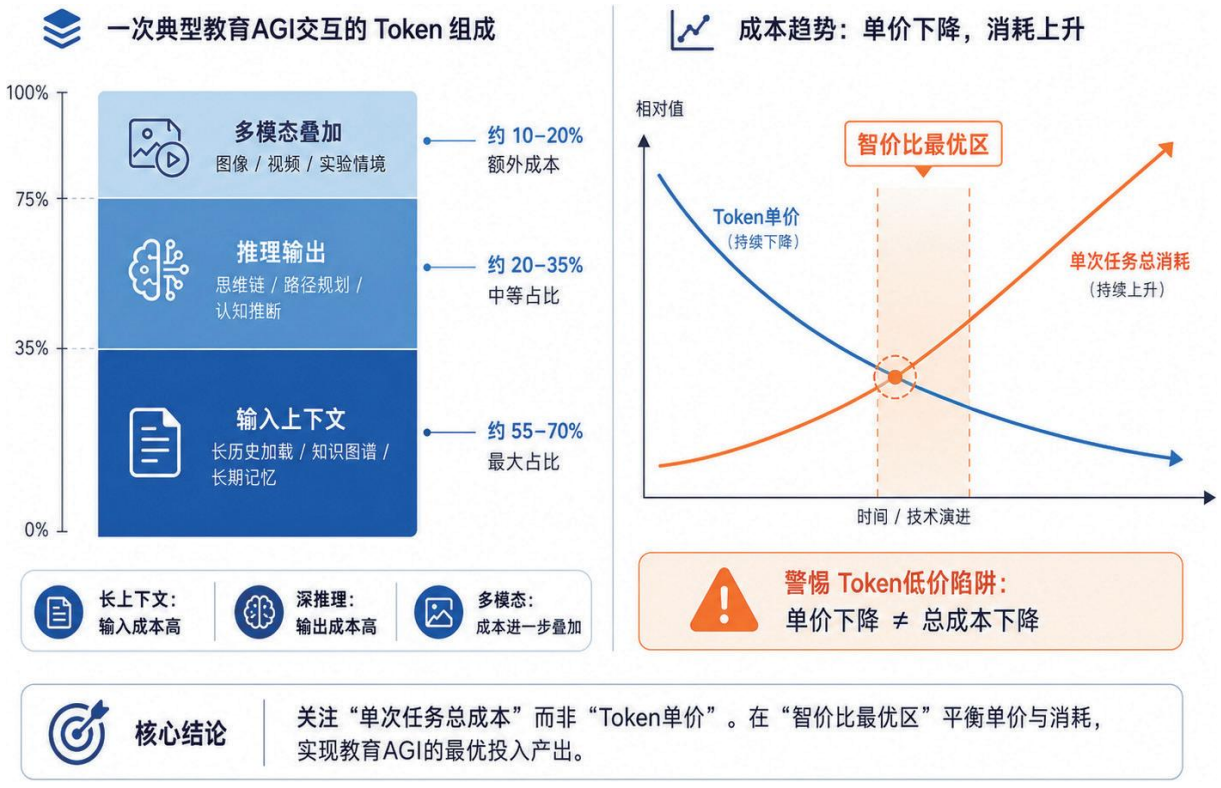


图 20　新一代教育智能体 Token 消耗特征与成本结构

均需模型进行多步推理，产生大量思维链（CoT）Token。一次完整的动态路径规划，往往伴随较高的输出 Token 消耗。

●**多模态交互的“成本乘数效应”：**教育场景高度依赖视觉与空间交互（如题目诊断、图表解析、3D 虚拟情境）。图像与视频流的 Token 消耗通常是纯文本的数十倍，多模态演示内容的等效 Token 成本显著增加。

产业洞察：关注智价比核心指标

尽管当前基础模型的 API 定价持续下行，但随着应用向系统 2（慢思考）演进，单次教育任务所需的 Token 消耗量正随模型能力的增强而显著增加。调用量与并发量的上升，往往会部分抵消单价下降带来的红利。因此，未来该技术赛道的商业竞争焦点，将逐渐从底层的 API 价格战，转向应用层的智价比（即单位算力成本下的教育效能增益）之争。

●**SaaS 订阅制。**将波动的 Token 消耗转化为固定费用，以降低用户的决策门槛。主要面向学校或机构的常态化使用，按学期或年度收取包含固定 Token 配额的订阅费。其关键在于精准预测用户的消耗分布并控制超额成本。

●**效果计费制。**按可量化的教学结果（如知识掌握度提升、技能认证通过率）付费，实现风险转移。适用于考试辅导、职业认证等高附加值场景。其关键在于建立客观、可信的第三方效果评估体系以保障数据透明。

●**平台分润制。**构建新一代教育智能体能力中台，向教育 SaaS、内容开发商或硬件厂商开放智能服务。主要按 API 调用量或 GMV 进行抽成。其关键在于确立标准化的接入协议，有效降低合作方的集成壁垒。

7.2 商业量化：以“智价比”为核心的商业模式

承接上述产业洞察，在此引入新一代教育智能体的核心商业指标——**教育智价比（Edu-Token ROI）**，其定义为：

教育智价比 = 综合教学价值增益 /Token 总成本（其中：综合教学价值增益 = 知识掌握度提升系数 × 学习效率优化系数 × 认知自主性增长系数）

该指标的本质，是将 Token 从单纯的 IT 成本中心重新定义为核心教育价值生产要素。未来相关企业的竞争壁垒，不再取决于底层算力的消耗规模，而在于单位 Token 成本能够撬动的真实教学效能。

基于 Edu-Token ROI，新一代教育智能体的商业变现路径预计将演化出三大核心形态：

7.3 竞争格局：破局 Token 困境的中国路径

在全球教育智能技术的发展中，面对 Token 成本与智价比的挑战，中国正依托独特的产业禀赋，探索出一条“场景驱动、端侧突围、生态反哺”的差异化发展路径。

四大产业赋能优势：

●**端侧算力突围，引领教育智能硬件生态：**中国企业已将 AI 能力深度植入学习机、词典笔等硬件终端。这种模式不仅创造了多模态交互入口，更通过端侧边缘计算（Edge AI），将大量高频、轻量级的认知推理留在本地完成，有效降低对云端模型的调用依赖，从硬件层面提升了智价比。

●**高密度场景红利，提供广阔商业验证土壤：**中国拥有庞大的学习群体与多样化的学习场景（覆盖基础教育到职业实训）。这种高密度的场景特征，为新一代教育智能体在订阅制、效果计费等不同商业模式下的试错与快速迭代提供了丰富的实践基础。

●**数据飞轮势能，沉淀海量交互数据：**训练认知世界模型面临较高的数据门槛。而国内在线教育多年来沉淀了海量的真实学习行为记录（如答题序列、错因分布）。这些数据经高质量清洗与对齐后，可有效驱动教育仿真器的动力学推演，构筑起底层数据壁垒。

●**政策与资本协同，推动教育新基建：**在国家教育数字化战略等顶层设计下，教育世界模型基础设施已成为教育新基建的重要组成部分。政府引导、产业资本与公立校示范区的多方协同，正加速推动新一代教育智能体从单点技术向基础设施跃迁。

核心挑战与战略应对：

●**底层算力约束：**面对 AI 芯片供应链的不确定性，本土企业需加速向低算力、高效能的潜空间预测架构（如 V-JEPA 路线）转型，并深化与国产算力生态的融合。

●**同质化竞争风险：**当前教育大模型应用层功能存在趋同现象，易引发价格战。企业需逐步超越表层的对话交互，向认知世界模型与数字孪生等底层技术寻求核心竞争壁垒。

●**合规与伦理要求：**教育场景具备高度的未成年人保护属性。系统需在工程层面建立安全过滤、人工审核与价值观对齐的多重防护机制，确保教学干预内容符合本土教育伦理与合规标准。



08 伦理治理：认知主权的确立与制度保障

8.1 风险识别：面向教育 AGI 演进的伦理风险金字塔

新一代教育智能体对学习者心智状态的深度建模与干预能力，使其伦理风险超越了传统教育技术的范畴。除了防范常规的数据泄露，行业还需面对一个核心科技伦理命题：当机器具备推演并影响人类认知的潜能时，如何界定并保障学习者的认知主权。

为此，本白皮书提出面向教育 AGI 演进过程中的三层伦理风险金字塔模型：

- **底层：**数据合规风险。涉及学习轨迹、多模态交互等行为数据的采集、存储与传输边界。相关操作需严格遵循《个人信息保护法》等法律框架，构成新一代教育智能体落地的基础合规底线。

- **中层：**算法公平风险。聚焦模型是否因地域、性别、文化背景等训练数据的失衡，在教育资源分配与成果评估中产生系统性偏见，进而影响教育公平。

- **顶层：**认知主权风险。相比原始行为数据，AGI 基于推理生成的高阶心智画像（如学习倦怠倾向、心理抗压阈值等）具有更高的敏感性。由机器生成的数字标签可能引发教育学上的自我实现预言（Self-fulfilling Prophecy）。例如，若系统将某学生判定为数学高焦虑者，并持续提供降维的学习路径，这种干预可能会减少学生挑战困难的机会，客观上限制其认知发展潜力。

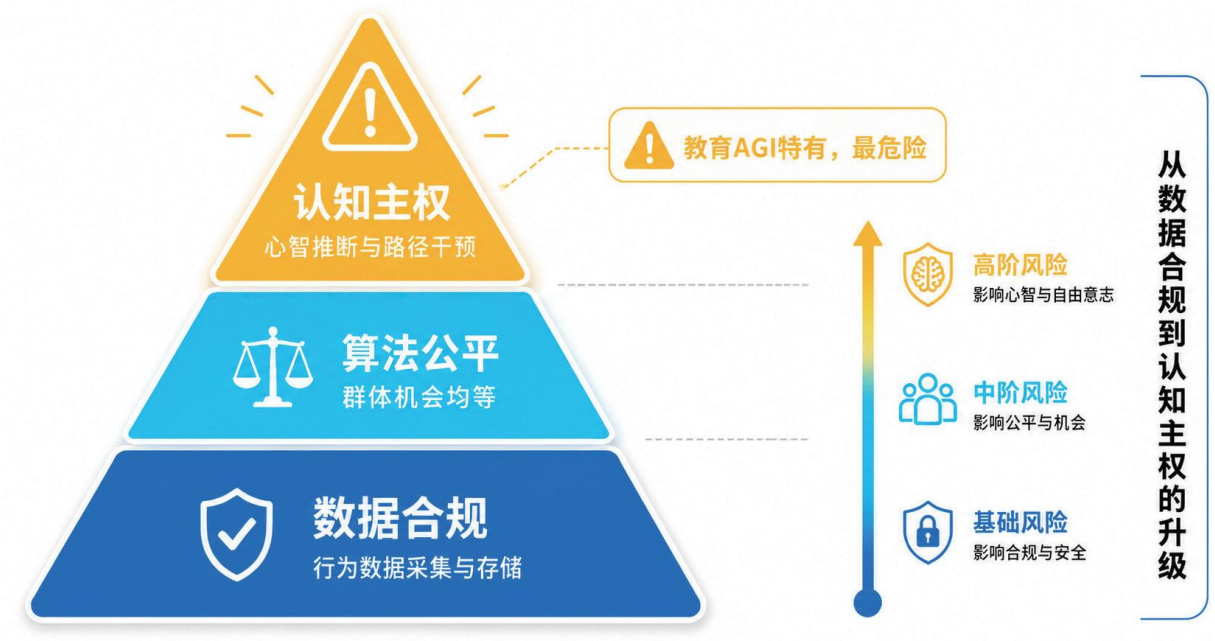


图 21　新一代教育智能体的伦理风险金字塔

因此，新一代教育智能体的治理重心应逐步从规范数据使用，向规范心智解释的更高维度拓展。由系统反演生成的认知推断数据（涉及深层心理与认知状态），在未来的技术标准与治理框架中，需被探讨并赋予更高层级的隐私保护权重。

8.2 核心准则：建议遵循的四条伦理原则

基于前述风险金字塔模型，本白皮书提出新一代教育智能体在研发与应用中建议遵循的四条核心伦理准则。为避免伦理倡导流于形式，本文针对每条准则提出了具体的治理落点与机制建设方向，力求构建技术与制度双轮驱动的有效约束框架。

伦理原则	核心含义	治理落点	建议违规后果
学生权益与认知数据保护	学习者对自身认知画像享有知情、查询、纠错与用途控制权	认知推断仅限学习支持场景，避免用于商业画像或第三方评估；建立认知数据分级保护机制（L1/L2/L3）	视情节给予取消备案、限制准入或行政处罚
学生发展与主体性优先	模型应服务学生长期发展，保护其自主选择与探索空间	保留学生对学习路径的选择权与AI辅助的关闭权；避免阶段性错误记录影响后续教育机会分配	视情节要求产品下架整改或承担相应民事责任
公平包容与算法非歧视	避免因地域、性别、社会经济地位等因素导致系统性的资源分配偏差	建立算法公平性审计机制；持续评估不同群体的学习增益差异，扩大弱势群体推荐覆盖面	视情节给予行政处罚、公开通报或限制市场准入
透明可解释与责任追溯	关键教育判断需具备可解释性与可复核性，并保留审计记录	向用户说明建议依据与模型不确定性；关键决策保留人工参与确认机制；建立防篡改决策日志	视情节追究相应合规与法律责任（含重大伤害场景）

注：表中的“建议违规后果”为本白皮书基于行业健康发展提出的前瞻性治理建议，供监管机构与行业组织参考

表格 5-2　认知数据分级保护框架

8.3 体系建设：技术与价值融合的四维治理框架

伦理准则需转化为工程可执行、制度可落地的治理体系。本白皮书提出“技术—价值—创新—秩序”四维协同治理架构，旨在为新一代教育智能体构筑全生命周期的安全防线。

技术维度：界定技术边界

- **认知数据分级：**建立L1（行为轨迹）、L2（认知画像）、L3（心智推断）三级保护体系。高阶认知数据需匹配更高级别的加密存储、访问审计与授权删除机制。

- **隐私保护架构：**采用联邦学习等技术，使数字孪生的核心建模在本地或边缘节点完成，原始行为数据不出域 在群体级认知报告中引入差分隐私技术，防止个体逆向推断。

- **模型可解释性：**关键教学决策（如调整学习路径难度）需提供可追溯的推理链条，避免黑箱输出。

价值维度：明确优化导向

- **积极目标：**聚焦提升学习者的深度理解、知识迁移能力与认知自主性，同时有效降低教师工作负担。

- **负面清单：**避免诱导过度使用（防沉迷）、基于能力标签限制学习机会，或利用认知短板进行不当的商业引导。

- **价值对齐：**建议将教育目标函数的设定权向多元主体开放，由教育专家、伦理学者与家长代表联合参与，确保技术演进符合教育本心。

创新维度：规范试错机制

- **沙盒验证：**新算法与新功能需先在隔离沙盒中运



图 22　新一代教育智能体四维治理架构

行，利用合成数据验证安全性与公平性后，方可进入真实场景。

●**可控试点：**涉及认知推断的新功能，应在获取明确知情同意的前提下开展小规模试点。

●**综合评估：**试点期间需独立评估学习增益、认知自主性指数（CAI）及群体公平性等指标，达标后方可逐步推广。

秩序维度：构建约束体系

●**准入与监测：**探索专属的认知数据安全审查机制，并建立常态化运行监测平台，追踪认知推断的分布、异常预警与公平性指标。

●**纠偏与追溯：**当发现算法对特定群体产生系统性偏差时，及时触发模型回退与人工审核；建立防篡改的决策日志，关键教学决策保留算法与人工双重确认，确保责任可追溯。

8.4 伦理愿景：服务 SDG 4 目标，从技术特权走向认知算力普惠

教育 AGI 的长远发展，期望能深度呼应联合国可持续发展目标（SDG 4）——“确保包容和公平的优质教育，让全民终身享有学习机会”。我们认为，教育世界模型的初衷并非旨在替代人类教师，而是期望作为底层基础设施，辅助提升高质量教育支持的可获得性。如何让技术红利广泛惠及各类群体，避免因技术门槛产生新的认知壁垒，是行业需共同面对的命题。为此，本白皮书提出认知算力普惠的伦理愿景：

关注并弥合潜在的认知鸿沟

过去的教育信息化重在解决硬件与网络的物理连接，而迈向教育 AGI 的进程中应更关注认知资源分配的均衡性。

行业应倡导在教育新基建规划中，逐步探索将认知算力纳入基础公共服务范畴，推动优质 AI 教育资源向更广泛群体倾斜，切实降低使用门槛。

探索兼顾隐私与资源下沉的普惠模式

技术的普及不应以妥协数据安全为代价。面向资源相对欠发达地区，鼓励产业界研发与部署轻量化的端侧与边缘侧模型。这不仅能降低对高速网络和云端算力的依赖，还能为基层学习者提供本地化、高隐私安全等级的认知诊断支持。

构建以人为本的长远生态

新一代教育智能体应成为学习者的智慧引导者，而非全天候的干预者。理想的系统应在学习者面临认知瓶颈的关键节点提供精准支持，同时在学习者需要独立探索时给予充足的留白与容错空间。

技术的最终目标在于跨越教育资源的时空限制，辅助下一代培养独立的思考与创新能力。坚守科技向善的初心，让 AI 真正服务于人的全面发展，是新一代教育智能体迈向成熟生态的必由之路。



09 聚力共创：迎接智能教育的下半场

9.1 趋势洞察：技术演进与产业跃迁的未来图景

通向教育 AGI 的探索并非单一算力指标的线性外推，而是技术演进与产业变革深度交织，推动整个教育生态实现范式跃迁的过程。

一、技术演进：从单点突破到生态涌现

未来的教育世界模型基础设施，将沿着三条核心轴线深化演进：

- **从单模态解析到全模态统一融合。**未来的基础模型将打破文本、图像、视频与行为序列的模态壁垒。在统一的语义空间中，系统能够同源编码物理情境、社会交互与认知过程，实现对教学讲解、面部表情、行为轨迹等复杂场景的无缝融合感知与联合建模。

- **从二元交互到多智能体协同。**突破传统人机单线交互的局限，未来的学习生态将演变为混合智能网络。人类师生与 AI 教师、AI 同伴及 AI 评测官在统一框架下协同交互，推动教育从孤立的个体学习拓展为丰富的社会化知识建构。

- **从认知仿真到深层价值对齐。**新一代教育智能体不仅要理解学习者如何思考，更要明确教育的长远导向。行业面临的核心挑战，在于将教育哲学、发展心理学与伦理学的深层诉求转化为可计算的价值约束，使系统的优化目标从单纯提升测试分数，全面转向培养学习者的批判性思维、创造力与认知自主性。

二、产业展望：从工具附庸到基础设施

伴随技术的成熟，新一代教育智能体的产业形态与竞争逻辑也将发生深度重构：

- **定位跃迁：从外挂工具走向基础设施。**如同电力从前沿发明演变为公用事业，新一代教育智能体将逐步泛在化，成为各类教育机构赖以运行的底层基座。未来的教育场景将像今天依赖网络一样，深度依赖认知算力的无感支撑。

- **竞争升维：从参数竞赛转向“教育智价比”。**随着模型压缩、端侧推理等技术的普及，算力成本将持续下降。产业的核心壁垒将不再是追求庞大的模型参数，而是比拼“教育智价比”——即在特定教育目标下，单位算力所能交付的实质性教学价值。

- **商业重塑：从算力贩卖走向成长交付。**未来的行业领先者，将是能够将底层技术、教育场景、数据运营与伦理治理深度融合的生态组织者。新一代教育智能体的商业模式，也将顺势从传统的软件授权与服务调用，逐步进化为交付可量化的认知成长。

9.2 行动倡议：面向政策、机构、企业与学界的四方呼吁

新一代教育智能体的稳健落地与繁荣发展，离不开政策制定者、教育机构、技术企业与学术界的四方协同。为此，本白皮书提出以下具体行动倡议：

面向政策制定者：强化顶层设计与底线护栏

- **纳入新基建规划**：将教育世界模型等前沿探索融入国家教育数字化战略与教育新基建顶层规划，并设立专项基金予以支持。
- **完善监管框架**：建立认知数据安全专项监管机制，清晰界定相关数据的权利归属、流转规则与使用边界。
- **设立准入门槛**：健全服务质量标准与伦理审查机制，防范低劣或伪智能产品扰乱教育市场。
- **推进算力普惠**：统筹实施认知算力普惠行动，保障资源欠发达地区优先获得基础设施与模型能力支持。

面向教育机构：稳步试点与重塑师生角色

- **稳步推进前沿试点**：依托现有数字化系统，选取特定学科场景探索模型应用闭环，验证认知诊断与个性化路径的落地实效。
- **升级教师 AI 素养**：将其纳入教师继续教育核心模块，培养具备理解、评估与干预模型建议能力的新型人机协同教师。
- **保障学生数据权益**：建立健全认知数据权益保障机制，赋予学习者对自身认知画像的知情、查询、纠错与退出权。
- **共建区域共享联盟**：倡导组建区域性教育智能联盟，通过脱敏数据的合规共享与模型共建分摊技术成本，发挥规模效应。

面向技术企业：攻坚硬核科技与践行科技向善

- **开放生态接口**：推动构建统一的教育智能体协议，降低第三方开发者的接入与创新门槛，繁荣应用生态。
- **攻坚底层核心技术**：加大对认知世界模型等基础研究的投入，突破认知动力学建模、概念转变机制等关键技术。
- **践行伦理前置设计**：落实伦理前置理念，将数据分级、价值对齐与公平性审计深度融入研发全生命周期。
- **创新商业交付模式**：探索以可量化的教学增益，而非单纯的算力资源消耗，作为核心价值交付与商业结算依据。

面向学术界：深化跨学科融合与主导国际标准

- **攻坚基础科学难题**：深入探究认知状态可辨识性的理论边界、概念转变的非线性动力学以及教学诊断的优化控制模型。
- **深化跨学科模型转化**：将认知科学、发展心理学与教育测量学的深厚理论积累，转化为可计算、可验证的机器形式化模型。
- **共建评测基准与数据集**：推动建设大规模教育认知公开数据集，打造具有行业公信力的教育世界模型评测榜单。
- **参与全球伦理治理**：积极参与全球人工智能治理对话，将中国教育实践中沉淀的伦理经验转化为国际标准制定的重要参考。

结语

▸迈向认知重构的新纪元

站在人工智能与教育融合的历史性节点，世界模型驱动的教育 AGI 已成为教育范式深刻转型的重要探索方向。其核心突破，在于构建了涵盖学习者、知识与真实世界的统一认知模型，推动教育 AI 从表层的渲染呈现，向深层的规律仿真与干预规划跨越。

教育渲染器、教育仿真器、教育规划器三位一体的架构，不仅是底层技术的升维，更是教育哲学的具象化：教育并非知识的单向灌输，而是学习者在与世界互动中通过试错、反思与重组完成的主动建构。LAM（Learning-Assessment-Modeling）主循环、学习者数字孪生、涌现式教学等前沿创新，正将这一宏大理念转化为可计算、可验证的工程现实。

立足当下，展望未来，面向教育 AGI 的演进将沿着三大维度纵深拓展：

- **迈向深层认知共情：**系统不仅能推荐适配内容，更能理解学习者的认知冲突、知识缺口与情感状态，在恰当的时刻提供精准支持。
- **推动底层认知重构：**新一代教育智能体将参与塑造新一代的模型思维、反事实推理与系统决策能力，培养能够驾驭复杂未来的认知工程师。
- **构建可持续智能生态：**产业将以高智价比的绿色算力替代盲目的参数堆砌，全面拥抱联合国 SDG 4 可持续发展目标，将“公平、包容与赋能人类教师”确立为价值锚点，让伦理治理成为系统的内生约束。

通向教育 AGI 的长远愿景并非替代教师，而是延伸人类教育的智慧边界。它旨在将教师从重复性劳动中释放，使其专注于情感陪伴、价值引领与创造性教学设计；同时将学习者从被动接受者转变为积极的认知主体，在模拟与现实中反复锤炼思维模型。

教育是国之大计，人工智能是时代引擎。当二者在世界模型的统一框架下深度融合，开启的不仅是一场技术革命，更是一场关乎未来认知能力的文明升级。

道阻且长，行则将至。各方理应携手，共同迈入这场认知重构的教育新纪元。

附录：术语表（Glossary）

术语	英文	定义
教育 AGI	Educational AGI	教育人工智能发展的长期愿景，指以认知世界模型为底座，具备学习者内部状态仿真、反事实教学推演与自主规划决策能力的通用人工智能教育系统。本白皮书聚焦于迈向该愿景的阶段性技术架构与智能体落地探索
认知世界模型	Cognitive World Model (CWM)	对学习者的知识状态、认知负荷、动机情感进行内部建模与预测的形式化框架，教育场景下的 POMDP 实例
世界模型	World Model	智能体对环境的内部表征，包含状态预测、反事实推理与长期规划三大核心功能
物理世界模型	Physical World Model (PWM)	对物理环境（物体位姿、运动、场景几何）进行内部建模与仿真的世界模型
智能体	AI Agent	能够感知环境、进行自主决策并执行动作的软件实体，具备规划、记忆与工具使用能力
LAM 主循环	Learning-Assessment-Modeling Loop	以 Learning-Assessment-Modeling 为顶层范式的教育业务主循环，其工程展开为观测（Observation）、建模（Modeling）、规划（Planning）、渲染（Rendering）、评估（Evaluation）五环节，统合 KT/CD/ITS/LA 四大技术脉络
教育渲染器	Educational Renderer	将抽象认知状态解码为可感知、可交互教学体验输出的技术模块，技术底座为生成式 AI
教育仿真器	Educational Simulator	在三层世界（L1 物理 /L2 社会 /L3 认知）中进行状态推演与动力学模拟的核心引擎，技术底座为 JEPA
教育规划器	Educational Planner	基于 MCTS 与 RL，在认知信念空间中求解最优教学动作序列的决策中枢
学习者数字孪生	Learner Digital Twin	学习者认知信念态的工程化身，动态概率分布，非静态台账
认知信念态	Cognitive Belief State	系统对学习者真实认知状态的概率置信判断，POMDP 中的信念分布
EduLink	EduLink	教育智能体协同总线协议，使教师 Agent、学生 Agent、同伴 Agent 在统一语义空间交互
涌现式教育	Emergent Education	学习路径、知识结构、认知能力在 LAM 闭环中动态生成、实时适配、自然演化的教育范式
撤除辅助探测	Scaffold Withdrawal Probing	周期性突然撤除 AI 辅助，探测学习者纯自主认知表现的机制，用于防止学习依赖
认知自主性指数	Cognitive Autonomy Index (CAI)	综合无辅助正确率、知识保持率、迁移能力与自我纠错率的认知自主性量化指标
认知主权	Cognitive Sovereignty	学习者对其认知画像、心智推断数据的知情、查询、纠错、删除与用途控制权
认知数据分级	Cognitive Data Classification	将教育数据按敏感度分为 L1 行为数据（低敏）、L2 认知画像（中敏）、L3 心智推断（高敏）三级
迷思概念	Misconception	学习者在科学概念建构过程中形成的与科学共识不一致的直觉理解

续表

术语	英文	定义
概念转变	Conceptual Change	学习者从错误概念向科学概念的认知跃迁过程，通常经历冲突→困惑→重组→理解
支架 / 脚手架	Scaffold/Scaffolding	为学习者提供的临时性支持结构，随能力增长逐步撤除，最终目标是认知自主
最近发展区	Zone of Proximal Development (ZPD)	学习者独立解决问题的实际发展水平与在成人指导或同伴合作下达到的潜在发展水平之间的差距
信息增益	Information Gain	执行某教学动作后，系统对学习者认知状态不确定性的降低程度
教学增益	Teaching Gain	执行某教学动作后，学习者预期认知能力提升程度
教学诊断对偶控制	Teaching-Diagnosis Duality Control	在诊断（信息增益）与教学（教学增益）之间动态平衡的资源分配策略
数据飞轮	Data Flywheel	交互数据→模型优化→体验提升→更多数据的自我强化循环
EduArena（教育演练场）	EduArena	本白皮书提出的教育 AGI 仿真校验平台概念架构。通过合成学习者数据测试教学策略，支持反事实验证
Token 经济	Token Economy	以 Token 为计量单位的 AI 推理服务经济体系，教育 AGI 的产业化基础
教育智价比	Edu-Token ROI	单位 Token 成本所能交付的教学价值增益，教育 AGI 的核心商业指标
认知算力普惠	Cognitive Computing for All	让每个学习者在需要时获得适当认知支持的技术公平愿景
联邦学习	Federated Learning	数据不出域的分布式机器学习架构，保护学习者隐私的同时实现模型协同训练
差分隐私	Differential Privacy	在数据查询结果中注入 calibrated noise，防止个体信息从群体统计中泄露
价值对齐	Value Alignment	确保 AI 系统的目标函数与人类社会的长远价值一致的技术与治理过程
JEPA	Joint Embedding Predictive Architecture	LeCun 提出的联合嵌入预测架构，在抽象潜空间中进行预测，避免像素级重建
MCTS	Monte Carlo Tree Search	蒙特卡洛树搜索，通过随机模拟评估动作序列价值的规划算法
POMDP	Partially Observable Markov Decision Process	部分可观测马尔可夫决策过程，教育认知世界模型的数学骨架
CDM	Cognitive Diagnosis Model	认知诊断模型，由行为观测反推认知状态（如 IRT、DINA、NeuralCD）
IRT	Item Response Theory	项目反应理论，经典认知诊断模型，建模题目难度、区分度与学习者能力的关系
Goodhart 效应	Goodhart's Law	当一个指标成为目标时，它就不再是一个好的指标；教育 AGI 中需防止对即时正确率的过度优化
元认知	Metacognition	对自身认知过程的认知与调控，包括计划、监控、评估等能力