

# 试论生成式人工智能的科学基础和科学范式

## ——关于教育智能化新阶段的战略思考

桑新民 余中 李曙华

**摘要：**从生成式人工智能引发人工智能领域爆发性发展的原因入手，分析其与传统人工智能的本质区别，比较 OpenAI 与 DeepSeek 的差异，针对目前人工智能大模型经常出现的“AI 幻觉”现象，归纳其缺陷和不足之处产生的原因。在进一步深入探讨中提出生成式人工智能未来发展的科学观、科学研究方法论，揭示了技术路径选择受文化价值观与资源背景影响且具互补性，阐述了中西方科学携手共创生成式人工智能的现实探索与未来前景。在此基础上提出了创建“智能教育大学堂”和作为智能教育“大脑”的高质量信息资源库，由此冲破工业文明“三中心”教育模式的牢笼，在信息时代的教育哲学和智能教育理论与实践探索中开创健康、可持续发展的教育新生态。

**关键词：**生成式人工智能；OpenAI；DeepSeek；系统生成论；智能教育

**中图分类号：**G520.1 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-6024(2025)03-0003-13

近几年人工智能（Artificial Intelligence，简称 AI）在各领域的应用步入快速发展的快车道，在大模型、多模态、元宇宙、深度学习、机器人、人机结合的增强智能等人工智能的不同生长点上齐头并进。尤其是生成式人工智能（Generative AI）异军突起，将整个人工智能领域引入颠覆性发展的新阶段，以迅雷不及掩耳之势震动了全世界，并在各行各业的具体应用中攻城略地，不仅在金融、商业、艺术、娱乐乃至决策管理等领域展现出巨大的应用潜力，而且正在教育领域引发一场极其深刻的变革。与此同时，这也引起围绕人工智能前景和人类文明危机的各种担忧、恐惧和争论。科技的迅速发展从来都是“双刃剑”，面对这场超乎人类想象的人工智能风暴，各种混乱、危机、陷阱甚至灾难的出现都是难以避免的。当前迫切需要凝聚国内外各行各业专家学者和决策者的智慧，共同迎接这场史无前例的时代挑战。

### 一、生成式人工智能为何能引发 AI 领域的爆发性突破

长期以来，中国的人工智能技术始终步世界科技前沿后尘，处于追随西方的状态。然而令世界

**基金项目：**教育部在线教育研究中心在线教育研究基金（全通教育）项目“网络课程与现实课堂双向生成的理论与实践探索”（2016ZD107）。

**作者简介：**桑新民，南京大学教育研究院教授、博士生导师（南京 210093）；余中，国家卫生健康委员会科学技术研究所人工智能重点实验室首席科学家，清华大学人工智能国际治理研究院专家（北京 100040）；李曙华，南京大学哲学学院教授、博士生导师（南京 210093）。

震惊的是，引领世界生成式人工智能历史性突破、雄踞 AI 竞争丛林榜首的大语言模型 ChatGPT 诞生不到三年，孕育和扎根于中国科技、文化土壤中的 DeepSeek 就横空出世，以其独特的高性能、低成本、开源式等特色与优势，登上世界 AI 激烈竞争的前沿舞台，大大降低了体验和生成式人工智能大模型的门槛，给中国从行业应用到普通百姓都带来了巨大的冲击和吸引力。中国是全世界最大的互联网和手机应用国家，几乎每个人每天都要在手机上工作、学习、生活、娱乐，现在这样的机遇从天而降，海量用户带着好奇、惊喜、怀疑、恐惧等复杂心态迅速涌入。每当时代变革的潮流突然降临，特别是关系到每个人生存发展的现实与未来的时候，马上就会成为社会普遍关注的焦点和热点。当前中华大地上对人工智能的关注以及公众的广泛参与和疑问，堪称史无前例。究竟什么是人工智能？为什么会如此爆发式发展？对每个人的工作、学习、生活会产生什么样的影响？这几乎成为全社会每个人无法回避的时代叩问。人工智能如此专业的问题，如何能让不同背景、层次的非专业人士尽快了解、参与并防范可能的风险，这一时代难题摆在全社会，尤其是在超越学校教育的广大教育工作者面前。能否用既科学又雅俗共赏的语言，回答这些时代难题？怎样才能最快、最深入地研究和了解一门学科？史论结合是最好的研究方法，用哲学的语言表述就是历史与逻辑的统一。因此，我们首先需要了解和探究人工智能的历史、现实，把握人工智能的理论、技术、实践应用。在此基础上，才有可能理智、清醒地研究和把握人工智能发展的现实困惑、内在规律和未来趋势，由此确立正确的目标和价值导向。

#### （一）什么是人工智能，当前为什么会人工智能爆发性发展

这是一项追根溯源式的研究。要深入回答这类问题涉及多学科、多重视角、多种研究方法和方法论之间的对话与融合。研究和反思人工智能的历史，大多数人都会从 1956 年美国达特茅斯会议上首次提出人工智能这一概念开始。但如从源头追溯，则必须认识和研究人工智能的两位思想先驱——控制论之父维纳、信息论之父香农，还必须了解冯·诺依曼和图灵等人的贡献；接着展开论述人工智能发展进程中不同流派的兴衰、总体的三起三落和由此形成的三大主要人工智能流派；最后聚焦于当前基于复杂神经网络的“深度学习”。这其实是狭义的人工智能技术发展史。要真正理解和解读“智能”这一最基本的概念，还必须追溯人类对智力的认识和研究，并在人工智能专家与系统科学、心理学与教育学专家的对话交流中，对基本概念进行反思，澄清许多混乱和模糊的认识。这些方面的研究和思考，我们在本刊 2022 年发表的论文中已经做过详尽的论述<sup>①</sup>，无须重复。

但短短两年来，人工智能及其在各领域的应用出现了爆发性的发展，原因何在？这就需要深入探讨以 ChatGPT 和 DeepSeek 为代表的大语言生成式人工智能，其核心算法 Transformer 大语言模型被认为是当今人工智能领域最具颠覆性的技术。<sup>②</sup> 但它和以往传统的“决策式”人工智能 (Decision-making AI) 有什么重大区别？

总体来讲，生成式人工智能的爆发是数据形态、计算能力、算法模型、应用需求协同进化发展的结果。

1. 数据形态的扩展：从标注驱动到自监督学习。传统人工智能的瓶颈是依赖结构化数据（如表格、标注图像），难以处理非结构化数据（文本、音视频）；生成式人工智能的突破在于 Transformer 大语言模型架构和自监督学习能使模型利用海量无标注文本、图像等非结构化数据，大幅度扩展不

---

<sup>①</sup> 桑新民. 教育视野中的人工智能与人工智能教育：理念、战略和工程化设计 [J]. 中国教育科学, 2022 (3): 3-8, 9-12.

<sup>②</sup> VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need [DB/OL]. (2023-03-27) [2025-03-28]. <https://arxiv.org/abs/1706.03762>.

同数据形态在 AI 机器学习中的可用性。

2. 计算能力的飞跃：从 CPU 到超算集群。在硬件支撑方面，通过 GPU（Graphics Processing Unit）集群与 TPU（Tensor Processing Unit）加速使训练千亿参数模型成为可能；在分布式训练技术方面，通过模型并行、数据并行与混合精度训练，降低大模型训练成本。此二者的结合，在大大提高算力的同时降低了成本。

3. 算法模型的革新：从局部拟合到全局建模。从判别式人工智能到生成式人工智能建模，实现从传统人工智能学习  $P(y|x)$ （给定数据  $x$  预测标签  $y$ ）到生成式人工智能学习  $P(x)$  或  $P(x|y)$ （生成数据  $x$  或条件生成）的拓展；Transformer 大语言模型突破 RNN/CNN 的序列处理限制，支持长文本生成，创生了 AI 的自注意力机制和相应算法；提出扩散模型理论，将生成过程转化为逐步去噪的数学优化问题，提升了生成质量；建立 MoE（Mixture of Experts）架构，通过混合专家系统实现万亿参数模型的高效训练能力。

4. 应用需求的升级：从“分析过去”到“创造未来”。传统人工智能是在预测与分类中选择问题的答案，例如“这是什么肿瘤”，而生成式人工智能则进一步生成提出问题的解决方案，例如“如何设计抗癌药物分子”。这不仅更复杂，而且更具有应用价值。生成式人工智能在多个维度实现了生成能力的革命性突破，重新定义了内容创造的能力边界，突出表现在以下四个方面。（1）内容创作的创新：实现文字、图片、音视频的内容创作，并可在不同模态之间进行自由转换、映射和生成。例如，可生成创意文字和图像、重新为矢量图稿上色、为文本添加插图效果。这种能力不仅提高了创作效率，还降低了创作门槛，使更多非专业人士能够参与到高质量内容的创作中。（2）多模态融合生成：实现跨模态转换和混合模态输出，实现“文生图”的精准语义对齐，支持“文本生成视频”“文本生成音乐”，可同步生成文本、语音、图像。（3）专业领域生成深化：科学发现、预测蛋白质—配体结合结构，覆盖 98.5% 人类蛋白质组，助力药物设计，生成新型材料分子式；代码生成能自动补全复杂算法，独立完成全栈开发任务。（4）形成行业解决方案：生成式人工智能在多个行业的应用逐渐从辅助工具向核心生产力转变。医疗领域可辅助医疗决策、精准诊断、医学影像分析、个性化医疗、药物研发、公共卫生与疫情监测、智能咨询与患者教育。教育领域可在人机结合中创建个性化学习材料和教学方案，创生新一代课程与教学设计模式；智能辅导与答疑，生成海量教育资源，模拟各种科技和生活场景，在游戏化教学中激发学习兴趣的内在动力；快速即时反馈与评估，彻底超越传统教育评价与考试模式。广告和营销方面，生成式人工智能能够自动化生成视频、图像等营销内容，实现个性化和高效的内容创作。生产制造业方面，AI 可用于生产流程的智能化重构、供应链的韧性升级，以及推动产品智能化迭代。

总体来讲，生成式人工智能实现了对传统人工智能的范式升级。其一，从“单一任务”到“通用能力”的扩展。传统人工智能需针对特定任务定制建模，而生成式人工智能通过 Transformer 大语言模型，可以将不同模态的数据（如文本、图像、音频等）映射到一个统一的特征空间中，使得模型能够在同一个框架下处理多种模态的数据，并凭借其强大的并行处理能力和对长距离依赖的捕捉能力，对超大规模多模态数据建立深度关联和高效融合，在处理海量文本数据时，发现词语之间的潜在关联和模式，从而生成看似新颖但符合语境的内容。这种能力超越了传统人工智能的局限，使其在自然语言处理、图像生成等多个领域取得了重大突破，实现了从单一任务到通用能力的扩展。其通用性源于对语言本质规律的抽象建模（捕捉数据中的长距离依赖关系），这就向通用人工智能（AGI）迈出了重大的一步。其二，从“理解世界”向“创造世界”的跨越。传统决策式人工智能，是对已有数据的归纳与模式匹配，本质是执行预设规则或分类/聚类预测的“自动化工具”，而当今

的生成式人工智能，通过大语言模型 Transformer 架构或扩散模型实现了对文本、语音、图像甚至跨模态内容的原创性生成，展现出类人的联想与创新等通用能力（既能够进行文学创作，又能够辅助编程等）。这种从“分析既有模式”到“创造新生内容”的升级标志着从“理解世界”向“创造世界”的跨越，在输出端产生新内容、解决新问题。AI 不再仅是被调用的工具，还是能够主动提出创意、参与决策的“智能伙伴”。

人工智能的演进本质上是人类对“智能”认知边界的不断突破：从早期基于规则的专家系统到数据驱动的深度学习，再到如今以生成式人工智能为代表的创造型智能，AI 技术不仅重塑了机器解决问题的能力，还重新定义了人机关系的边界。这些多维突破推动了生成式人工智能技术的快速发展，加速其在各个领域的广泛应用。生成式人工智能正在从人类的“工具”演变为人类的“协作者”，重塑人类创造力的表达方式和运行模式。这标志着 AI 从工具属性向协作者属性的本质转变。

## （二）DeepSeek 和 OpenAI 生成式人工智能的异同

OpenAI 是成立于 2015 年的美国科技公司，其目标是创建通用人工智能（AGI）。OpenAI 在生成式人工智能领域的突破性进展始于 2018 年发布的 GPT-1 模型。该模型通过无监督预训练和有监督微调训练两个训练步骤，标志着生成式人工智能在自然语言处理（NLP）领域的重大突破，并进入快速迭代的发展。2020 年发布的 GPT-3 模型拥有 1 750 亿个参数，能够生成高质量的文本内容。2022 年，OpenAI 推出的 GPT-3.5 模型在对话能力上有了显著提升，发表的 ChatGPT 引领了生成式人工智能的全球爆发。2023 年发布的 GPT-4 不仅在文本生成上表现更出色，还具备了多模态处理能力。<sup>①</sup> 2024 年 2 月，OpenAI 又发布了 AI 视频生成模型 Sora，标志着 AI 视频生成领域迎来了类似 ChatGPT 的突破。<sup>②</sup>

DeepSeek 是成立于 2023 年的中国科技公司，专注于生成式人工智能基础模型的研发及应用，它在世界激烈竞争的 AI 大舞台上横空出世，显示出其在生成式人工智能技术创新和应用拓展方面的强大能力和潜力。DeepSeek 的核心技术之一是高效的模型架构和训练方法，通过优化算法和算力分配，能够实现轻量化模型的高效运行。<sup>③</sup> 这种技术优势能使其在高性能芯片资源等有限的设备上运行，降低了部署门槛，推动了生成式人工智能在更多场景中的应用。

OpenAI 与 DeepSeek 的技术基础架构均采用 Transformer 大语言模型，依赖自注意力机制（Self-Attention）处理长距离依赖关系；两者的预训练-微调范式均通过大规模无监督预训练，结合下游任务微调提升性能；两者均为数据驱动，依赖海量数据，训练语料涵盖互联网公开文本（书籍、网页、学术论文等），多语言支持（覆盖主流语言英、中、西、法等）。两者的核心能力包括文本生成（支持文章创作、对话生成、代码编写等任务）、多任务泛化（通过提示工程适配不同场景，如翻译、摘要、问答）、上下文理解（可处理长文本输入）。

DeepSeek 与 OpenAI 的差异主要有以下三点。其一是推理模型与算法的差异。DeepSeek 采用 MoE 模型架构时，通过动态路由等技术创新对大模型进行了拆分，选择激活最合适的“专家子模型”，节省了计算资源，提高了推理效率。另外，OpenAI 采用的 CoT（Chain of Thoughts）思维链

---

<sup>①</sup> ACHIAM J, ADLER S, AGARWAL S, et al. GPT-4 technical report [DB/OL]. (2023-05-15) [2025-03-28]. <https://arxiv.org/abs/2303.08774>.

<sup>②</sup> LIU Y X, ZHANG K, LI Y, et al. Sora: a review on background, technology, limitations, and opportunities of large vision models [DB/OL]. (2024-02-27) [2025-03-28]. <https://arxiv.org/abs/2402.17177>.

<sup>③</sup> LIU A X, FENG B, WANG B X, et al. DeepSeek-V3 technical report [DB/OL]. (2023-12-27) [2025-03-28]. <https://arxiv.org/abs/2412.19437>.

算法，适用于目标明确、路径单一的推理任务，而 DeepSeek 采用的 ToT (Tree of Thoughts) 思维树算法，适用于更复杂的开放性问题或多解推理任务。其二，OpenAI 强调模型泛化能力与跨领域适应性与全球生态构建。DeepSeek 更注重行业落地的垂直深耕，折射出两者从技术探索到商业落地的多元路径，分别代表了“广度优先”与“深度优先”的战略选择。其三，OpenAI 是闭源模型，而 DeepSeek 是开源模型，后者性能达到世界前沿水平<sup>①</sup>，经受了全世界同行的专业研究和评判，获得广泛认可，同时模型训练和推理成本都大大降低，其他大模型或用户可免费或以极低的价格接入，大大降低了使用生成式 AI 大模型的门槛，应用场景和前景更加广阔。

人工智能技术路径的选择显然要受到文化价值观与资源背景、应用市场环境等差异的影响和制约。但深入研究会发现，诞生于美国土壤的 ChatGPT 和诞生于中国土壤的 DeepSeek 虽然存在明显的语言文化基因、生存发展背景与环境的差异，表现了各自的优劣，但正是这些差异，使二者具有重要的互补性。未来 AI 技术的进步需在三个维度取得平衡：技术性能的卓越性、文化语境的适配性、社会治理的包容性。这是智能时代人类智力与 AI 双向提升、携手共创“增强智能”、引领人类文明健康发展的必由之路。

### (三) 生成式人工智能大模型存在哪些局限性

用户在与生成式人工智能 (OpenAI 或 DeepSeek) 对话时有一个强烈的感觉，就是这种新一代 AI 大模型经常会“一本正经地胡说八道”，即输出看似合理但实际错误、虚构或与现实不符的内容。专业人士将此称为“AI 幻觉” (AI hallucination)。总结归纳起来，造成 AI 幻觉的主要原因包括以下几点。

1. 底层逻辑和算法的偏颇。生成式人工智能大语言模型本质上是一个基于统计概率的文本生成系统，而非具备认知能力的知识主体。大语言模型采用的是基于概率的文本生成机制——通过预测下一个词的概率分布生成内容，其目标是“生成符合上下文语境的流畅文本”，而非“确保事实准确性”。模型更关注词与词之间的统计关联性，AI 仅通过文本符号学习，没有物理世界的感知能力，无法直接验证生成内容的真实性，无法区分“文本描述的事实”与“虚构情节”，也无法通过现实经验纠正这一错误。模型虽然可以通过海量数据学习到大量文本模式，但可能将局部模式泛化为普遍规律，导致虚构关联。这是其产生“AI 幻觉”的最主要根源。

2. 缺乏常识与因果推理。尽管模型能模仿常识推理，但其本质是文本模式的复现，而非基于物理规律的深度理解，模型的优化目标是降低文本预测的困惑度，而非追求事实正确性，因此输出的结果经常会完全违背事实。另外还有，数据库中知识覆盖存在缺口，模型的知识截止于训练数据的时间点，且对某些领域覆盖不足。面对未知领域时，模型倾向于通过“想象力”填补空白，编造一个看似合理的输出结果。AI 大模型不具备人类意义上的“意识”，更谈不上“自我意识”，无法判断自身生成内容的可信度，也无法通过逻辑链回溯验证事实。

3. 受到数据库中急剧增长的“垃圾信息”噪声干扰。对生成式人工智能大模型的训练，绝不仅限于专业的程序员和开发管理部门，还包括全体用户。这样的数据库时刻都在以难以想象的速度增长、膨胀，导致训练数据库中包含大量错误信息、过时知识、虚构内容 (小说、谣言) 和主观偏见，甚至大量人为的造假和故意破坏。模型无法迅速识别和过滤这些噪声。这样的技术就像无数脱缰的野马，在没有任何缰绳的束缚下狂奔，进入了多元创造的时代，也进入了善与恶、美与丑、真与假混杂的多样化人性驱动下纷繁复杂的发展道路。

---

<sup>①</sup> GUO D Y, YANG D J, ZHANG H W, et al. DeepSeek-R1: incentivizing reasoning capability in LLMs via reinforcement learning [DB/OL]. (2025-01-22) [2025-03-28]. <https://arxiv.org/abs/2501.12948>.

从以上分析不难看出，所谓生成式人工智能的“AI幻觉”，是由其底层逻辑、推理过程算法规则和严重的噪声干扰等因素决定的，这是当前生成式人工智能大模型无法避免的缺陷。尽管通过工程优化可以部分缓解这个问题，但彻底消除“AI幻觉”必须突破当前生成式人工智能范式的限制（例如，实现符号逻辑与神经网络的深度融合）才有可能。因此，现在的生成式人工智能离“真实内容生成”还有很长一段距离。若要对此作出更深入的研究和解读，需要进一步寻根究底，探讨人工智能的科学基础与科学研究方法论。

## 二、生成式人工智能的科学范式探索

在信息技术领域创生的人工智能，其科学来源不是西方经典科学，而是当代系统科学。系统科学开辟了以信息技术为前导的当代高新技术，信息技术的根基是微电子技术，其前沿正是人工智能。目前人工智能的发展突飞猛进，惊世骇俗，社会各领域皆面临前所未有的挑战和机遇，人类社会已处于从工业时代走向信息时代的突变点上，呼唤新的科学范式。

### （一）系统科学——现代西方科学的重大转向

以牛顿力学为代表的西方经典科学，在非生命的物理学、化学等领域取得了显著成就，创生了三百年来西方工业文明的辉煌。然而，随着科学的发展，经典科学在各个领域日益遇到了复杂性、生命性问题，自19世纪始，关于世界是演化的、相互联系的思潮开始兴起。

20世纪下半叶，系统科学应运而生。系统科学的发展，尤其是对西方经典科学的超越，先后经历了三个主要阶段。

第一阶段以系统论、控制论、信息论（俗称“老三论”）的创立为代表。系统论创始人贝塔朗菲首先提出“科学应该重新定向”，并试图以“整体论”超越经典科学的“还原论”。他揭示了系统作为整体的突现性、层次性与不可分性。由此，科学开始重新认识部分与整体之间的关系，结构与功能成为描述系统的最基本概念。与此相应，在技术理论方面，信息论与控制论先后崛起，香农首先将信息概念引入科学，研究了通信与控制系统中信息处理和传递的共同规律，并运用数理统计方法给出了信息量的定量计算方法，这正是当前人工智能机器算法之滥觞。控制论则通过信息变换与反馈控制规律揭示了系统作为整体稳定与演化的内在机制。维纳用黑箱方法以及学习机等模型将人、生物与以传递信息为主的机器进行类比，找到了自动控制装置模拟人的目的性行为的机制，为计算机乃至人工智能的发明提供了基本理论依据与技术规范。系统科学的诞生，标志着科学发展的新方向，开创了人类社会发展的新时代——信息时代。

第二阶段以20世纪60年代自组织理论的诞生为标志，包括耗散结构、协同学、突变论（俗称“新三论”）。系统科学研究的重点从系统的整体稳定转向系统的整体进化，即新结构如何产生的问题。虽然耗散结构、协同学仍以西方经典科学中的化学、物理学为基础，却从中发现了经典科学不存在的“活”结构，证明了系统整体进化过程必然经过不稳定的突变点，并进一步揭示了系统生成新结构的重要机制——系统内部的自组织。与机械性的“他组织”不同，自组织不是通过外部指令和力量，而是在与环境的相互作用中，通过系统内各种“参量”的竞争、协同，生成代表系统新秩序的“序参量”，并遵循“伺服原理”，完成系统的整体进化。突变论则以数学方法给出了系统突变的不同方式与不同类型。

显然，自组织理论虽揭示了与经典科学不同的系统整体进化规律，但停留于对既成系统的唯象描述，未能从发生学的角度揭示系统生成的根源与机制，其各部分之间的关系是构成性的，因此在原则上仍是可还原的，可谓“构成整体论”或“整体还原论”。

第三阶段以非线性科学的兴起为里程碑，这里以超循环理论、分形几何、混沌动力学为主要代表，推动系统科学从构成整体论走向生成整体论，突破经典科学还原论，真正完成了科学的整体论转向。与此同时，系统科学不仅突破了经典的线性数学，而且“完成了数学的重大转向——从公理化演绎体系转向程序化算法体系”<sup>①</sup>。

我们将超循环理论作为非线性科学兴起的标志，因为该理论并不采用线性的科学与数学方法来研究，是系统科学从构成整体论走向生成整体论的转折点。<sup>②</sup>首先，它超越了经典科学的物理学、化学基础，转而以信息为基础，以信息选择原理为基本原理，破译了无生命的化学分子进化为生物大分子的奥秘，由此突破了非生命与生命的界限，表明“自然进化的过程总是选择更高的选择价值”，第一次将价值引入了科学，证明了自然进化“一旦—永恒”的必然趋势，破解了热力学熵增原理的难题。进而，艾根提出了关于信息量的阈值关系，证明了信息进化何以可能及其限度，并给出了信息进化的超循环机制。显然，超循环理论不仅丰富和发展了信息论与自组织理论，而且为科学对生命性系统的研究开辟了全新的道路。

1977年，曼德勃罗创立分形几何学，代表了欧氏几何以来几何学最重大的转向。分形几何不是根据人类需要而构建的公理化演绎体系，而是直接效法、模拟大自然万物生长的“活”图形，摒弃形式化定理证明方法，而选择源多边形作为图形生长的元激发，然后规定图形变化的简单法则，不断重复，直至生成层层嵌套、具有自相似性的复杂结构（如科克雪花）。分形（fractal）意味着不规则和支离破碎，彻底颠覆了规则图形的欧式测度（如长度、面积、体积等），乃至自古以来关于空间具有正整数维数的传统观念。曼德勃罗采用分数维数作为度量分形的定量标准，其所量度的不再是与欧式测度相关的距离、高度、质量等，而是分形占有空间的大小及其复杂性程度，并进一步发现分形中的空隙是生长的活跃区，可用负的分数维数描述，而这种空隙正是与系统内部时间相应的“信息空间”。自此，人们开始运用“大自然的分形几何学”设计模型，展示自然界的各种生长过程与现象。<sup>③</sup>与经典科学、数学所描述的物质运动不同，分形以数学的内齐次性所描述的不是物质运动的确定性，而是系统生成不同层次的自相似性，它具有跨越尺度的对称性。借助计算机，人们看到了神奇变幻、绚丽多彩的分形图，数学直觉终于突破了形式主义的牢笼，它使几何学从线性转向非线性，从静态转向动态，从度量物体空间大小与位移转向描述系统的世界演化与形态生长。

几乎同时（20世纪60至70年代），科学与数学的众多领域围绕系统演化及其突变点附近的问题，形成了“条条大路通混沌”的浩荡潮流，其研究成果恰为分形几何提供了代数学与动力学基础，并进一步揭示了形态生长的信息来源。

“理解混沌的关键在奇怪吸引子。”<sup>④</sup>与经典科学的平庸吸引子不同，它是非线性非平衡系统演化的结果。奇怪吸引子不是通过微积分的线性求解，而是在非线性方程迭代或迭代方程的大量计算中涌现的。根据混沌学的研究，奇怪吸引子对初始条件高度敏感，即具有蝴蝶效应。由于迭代，初始的微小误差会迅速放大，由此产生的几何图像不是欧式几何，而正是具有分数维数、无穷嵌套的分形图。因此，奇怪吸引子正是混沌与分形的统一。费根鲍姆的重大突破在于：不仅发现通过迭代方程产生的倍周期分岔实际上是奇怪吸引子，而且根据迭代生成的大量数据发现了深藏其中的“标

① 李曙华. 论系统科学的数学转向 [J]. 系统科学学报, 2023 (4): 7-12.

② 李曙华. 生成的逻辑与内涵价值的科学：超循环理论及其哲学启示 [J]. 哲学研究, 2005 (8): 75-81.

③ 李曙华. 潜在存在与发展的新视野：曼德布罗特空集之科学价值与哲学启示 [J]. 哲学研究, 1999 (10): 44-50.

④ 李曙华. 奇怪吸引子及其哲学启示 [J]. 自然辩证法研究, 2018 (7): 83-88.

度律”与“普适性”；不仅证明了系统何时分岔与相似结构生成的比例遵循定量的规则，而且进一步运用重整化群理论给出了尺度变换规律；由此，不仅证明了不同系统走向混沌具有共同的道路，而且揭示了系统在生成过程中所有层次及其变换所共同遵循的普遍规律。

其后，信息论与混沌动力学结合，进一步发现奇怪吸引子是“信息发动机”。从信息的角度，如果将迭代方程所表达的函数关系与分形的变化法则看作信息，那么混沌便意味着信息的生成与传递，分形则意味着信息的表达与储存。奇怪吸引子正是信息由小尺度传向大尺度，能量从大尺度传向小尺度的通道。如果说计算是复杂系统为了成功适应环境而对信息的处理，那么迭代计算便是一种信息反馈。由此可以说，正是由于信息反馈，系统才深藏蝴蝶效应与尺度变换的奥秘。从实验、数学到科学，非线性科学创立了关于系统生成的完整科学体系（见表1）。

表1 非线性科学与系统生成规律

非线性科学	超循环	分形	混沌
系统生成	化学与生物学	几何学与形态学	代数学与动力学
逻辑起点（生成元）	突变体	分形元	非线性迭代方程
生成方式	超循环	变化法则不断重复	方程迭代
基本原理与规律	信息选择原理	自相似生长律	尺度变换规律
生成系统	生物大分子	分形图	奇怪吸引子

综上所述，非线性科学在根本上乃是研究系统生成信息规律的科学。在系统生成的过程中，是信息为主导，信息支配物质运动与能量转换，物理与化学规律服从信息规律。从信息的创生与传送到系统生长的内在动力，再到系统的形态生长，真正揭示了系统生成的因果律。而奇怪吸引子正是系统内在生命动力与空间形态生长的统一。由此，系统科学才真正超越还原论，并在完成“整体论转向”的同时，实现了“生成论转向”与“信息论转向”。科学研究的基础从实体转向信息，从非生命转向生命，而数学也从传统的公理化演绎体系转向以现代计算机建模与计算为基础的程序化算法体系。这一重大突破为今天人工智能的诞生与发展开辟了道路，也为当今与未来通信系统、生命系统，以及社会、文化、教育等以信息创生、传送（传播）与处理为基础的系统研究提供了不可或缺的重要科学与数学基础。

## （二）系统生成论——在中西科学文化对话中创建新的科学范式

系统科学从诞生之初就蕴含着一种新的科学范式。从系统论到混沌学，这一新兴科学群的各论都提出了令人振聋发聩的新概念、新问题，创立了一系列整体研究与整体简化的新方法，揭示了以往科学未曾发现的新原理、新规律，影响着科学的思维方式与方法论、认识论乃至科学观与价值观。<sup>①</sup>所有这一切都是在不断突破和超越西方经典科学的自然观、世界观、思维模式的基础上艰难前进的，而许多在这些领域有所成就的中国学者，有形无形中都受到中华传统科学与思维方式的启示，由此也引发了对中国传统科学文化的关注和重新认识。

### 1. 中国传统科学精髓的重新发现与现代转型

中国传统科学曾经创建了灿烂的中华古代文明，在世界科学史上具有独特的地位和价值。但随着西方经典科学引领工业文明席卷全球，西方中心主义的权威地位得以确立。西学东渐以来，全盘

<sup>①</sup> 李曙华. 从系统论到混沌学：信息时代的科学精神与科学教育 [M]. 桂林：广西师范大学出版社，2002：24-25, 332-342.

西化的思潮几乎斩断了中国科学文化的根脉。随着西方科技的迅猛发展，国人在亦步亦趋中不仅丧失了对中国科学文化的自信，而且对于创造了中国文化的独特思维方式——象思维，“集体失去记忆”。

然而，人类的文明之光不会被永远遮蔽。唤起世界重新认识和研究中国古代科学的，始于英国科学家李约瑟。他从大量中国古代经典与文献中梳理出了中国古代科学的脉络，撰写了《中国科学技术史》巨著，展示出中国独特的古代天学、地学、数学、农学、医学等科学文化瑰宝，揭示了蕴含于其中的文化思想和研究方法。例如，强调人体的生成整体性以及与自然环境和諧统一的中医理论，体现了中华文明对宇宙、生命、人生的独特理解与智慧。

中国著名科学家钱学森不仅最早将西方系统工程引入中国，而且大力倡导、推广系统科学，推动对中国传统科技文化思想的挖掘和继承创新，提出了“大成智慧学”和“大成智慧教育”。这些在现在和未来都将产生深远而重大的影响。

著名数学家吴文俊揭示和证明了中国传统数学的独特性和先进性，指出中国传统数学是机械化算法体系，在历史的长河中，与西方数学的公理化演绎体系“交替成为数学发展中的主流”。他还通过对比中西数学，指出中国传统数学注重从实际问题出发，以算法为中心，强调构造性和计算性，在算法和几何代数化等方面都具有优势，可谓“古代计算机数学”。这对现代计算机和数学机械化领域具有重要的启示和应用价值，必将“以另一种崭新面貌在未来的数学发展中扮演重要角色”<sup>①</sup>。

这些有代表性的研究，为重新认识和评价中国传统科学提供了坚实的依据，也为推动中国传统科学的现代转型和创新发展奠定了基础。

## 2. 系统生成论——探索新的科学范式

系统生成论正是在系统科学的基础上，受中华科学文化生成论思想的启发，试图会通中西，构建新的科学范式。并以系统科学各论为成功范例，从系统生成论的视野，重新理解、阐释各论本来具有的内涵和意义，梳理、展示系统科学作为系统整体的生成过程与发展脉络。进而由各论相对独立的新兴科学群，构建逻辑一致的系统科学体系——系统学。

首先，系统生成论作为一种新的科学范式，颠覆了经典科学的机械论、构成论世界观，系统科学展示的世界图景，不再是不变“原子”的组合与分解，或无生命物质的机械运动，而是系统从原始整体——生成元，到系统整体的诞生、生长与完成的过程。<sup>②</sup>

这里，“元”即开始，生成元也可谓种子，就生命言，DNA、细胞、胚胎、幼雏等便是系统生长不同阶段或层次的生成元。

众所周知，经典科学的方法论原则是“还原论”，即将物体分解为最小的不可再分与变化的物质实体——“原子”，具体如分子、原子、基本粒子、夸克等，探索物质构成与运动的原因与规律。而系统生成论则以生成元为科学研究的逻辑起点。生成元与“原子”的根本区别在于：（1）生成元是整体，不是部分，而部分恰恰是由生成元分化生长出来的；（2）生成元以信息为主导，具有内在生长机制，不是无生命的物质实体，而是信息载体；（3）生成元是系统生长的时间最初（始元），不是物质构成的空间最小（本原）。

进而，系统生成论提出以“还原论”为方法论原则，即要求不分解系统整体而追寻、探究系统生成的最初根源——生成元。其主要原则如下。（1）整体性。基于生成元的系统生成过程是一个从整体到整体，而不是从部分到整体的过程，自始至终具有不可分解的整体性。根据超循环生长机制，下一层次生成的系统，正是上一层次再生长的生成元，因此系统“不仅同层次各部分不可分解，而

<sup>①</sup> 吴文俊. 吴文俊论数学机械化 [M]. 济南: 山东教育出版社, 1996: 44.

<sup>②</sup> 李曙华. 系统科学: 从构成论走向生成论 [J]. 系统辩证学学报, 2004 (2): 5-9.

且具有层次间的不可分割性”，与构成性整体不同，它们在原则上是不可还原的。(2) 时间性（过程性）。“还原论”探究生成元如何生成为新的整体，因此必然是一种动态研究。在系统生成过程中，正是系统内在的时间节律决定空间的形态生长节律，系统生成的内部时间及过程不仅不可逆，也不可分。“还原论”关注系统生成的全部时间过程，而不是物体运动的瞬时状态。与此相应，不是还原到基本层次，而是探索贯通所有层次的“尺度变换”规律，因而具有比还原论更大的普适性。(3) 信息性。“还原论”关注系统生成的信息源，或支配系统生成的“信息中心”与“组织中心”，探寻“生成元”的目的在破译和掌握生成元含有的信息，而非其物质成分。系统科学业已证明，在系统生成过程中，信息是自组织催化的命脉，信息是基本的，起主导作用的，也是相对稳定的。正是信息选择、组织、调动物质和能量，信息规律才是系统生成的第一规律，不能还原为物理化学规律。总之，“还原论”的方法论原则，正是不可还原性。

需要强调的是，正是系统科学各论为“还原论”提供了具体而重要的科学与数学研究方法，从语言、逻辑的整体思考与设计到计算机建模与数值实验，从借助经典数学进行定性分析、整体简化到方程迭代由简单性生成复杂性，从通过计算画出相图、寻找奇怪吸引子到发现标度律、给出尺度变换的数学模式、创立普适性理论，系统科学开创了全新的整体研究与整体简化的科学研究方法，彻底超越了经典科学的分析—还原方法。

而数学从根据规律计算数据，发展到根据数据寻找规律，正是 AI 大数据时代研究方法的开端。

在科学探索的过程中，“还原论”与还原论是既互斥又互补的，而生成整体论与构成整体论则源于不同的科学与数学基础及其对系统科学的不同理解。从生成演化的角度，两者可看作系统科学“整体转向”的不同发展阶段，也可看作“整体转向”过程的不同进路与分岔（见图 1）。

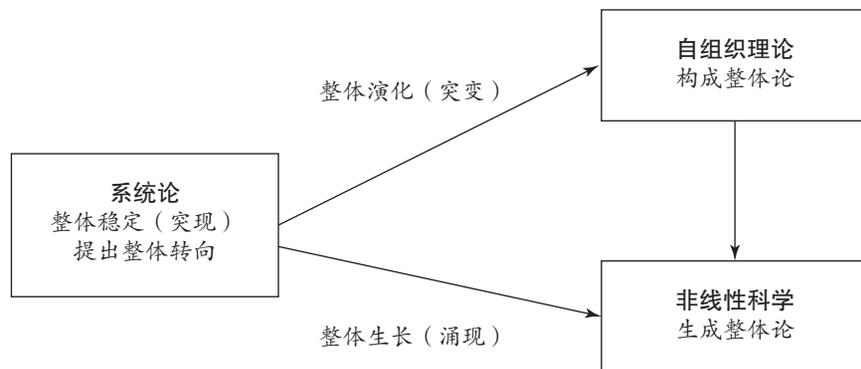


图 1 “整体转向”过程的不同阶段或分岔

至此，系统生成论已提出作为新的科学范式的世界观或自然观，新的科学规律与数学，新的科学方法与方法论。而新的认识论、价值观则尚有待人工智能、认知科学、脑科学与生命科学等进一步发展，及其与中华科学文化更深层的对话、比较与会通。

从科学的发展与应用角度看，还原论、构成论与生成论可适用于不同的研究层次与对象。系统生成论可将还原论作为信息趋于零、忽略生命存在的特例包容在内，而将构成整体论作为不考虑系统如何发生、忽略系统生成关系的特例包容在内。目前，复杂性科学正在将系统科学的思想与研究成果广泛应用于科学的各个学科和领域。系统科学带来的技术创新已经突飞猛进，其中，作为系统科学技术理论的信息论与控制论为人工智能计算与建模两大方向开辟了道路，而构成整体论与生成整体论则分别为传统人工智能与生成式人工智能提供了思想启发与理论来源。

### 3. 构建中华科学体系与范式

系统科学的发展与系统生成论的探索，为中西科学文化的交流与互通架设了桥梁，也为构建中华科学范式、实现中华科学文化的现代转型提供了重要启发与历史契机。

如何从根上疏导出中国自身科学的基本精神与思想，阐释以“本体论、价值论、实践论”为本的中国自然哲学，建立其知识大厦的科学体系？中国学者从各个方面进行了不懈的探索。几十年来，董光璧对易学与中华科学文化史进行了深入研究，提倡“当代新道家”，认为新道家思想体系既是解决当代“文明危机”的一条出路，也是重整中国传统文化的一个方案。王树人在中西方哲学思想史的比较研究中，提出了与西方概念思维不同的中国“象思维”，指出象思维是关于“整体流动与转化”的思维方式，其特点是非实体性、非既成性、非对象性、原发创生性，明确了中西思维方式的分界<sup>①</sup>。而刘长林则从中医和中国古典经典出发，提出了中国的“象科学观”。

正是在众多学者研究成果的基础上，李曙华提出了中国自然哲学以及源于易道的象数算法与象数逻辑，试图沿自然哲学—思维方式与逻辑—科学范式进路，厘清中华科学的根源与脉络，证明中华科学何以可能，发掘并创建植根于中国自身文化与历史的科学体系与科学范式<sup>②</sup>，为中国科学文化的现代转型与创新开辟道路，也为现实与未来中西合璧的生成式人工智能的创新提供科学与方法论基础。

### 三、关于创建生成式人工智能教育“大学堂”的战略思考

随着生成式人工智能在全球范围的火爆，中国 DeepSeek 在世界人工智能激烈竞争的舞台上异军突起，在中国语言文字处理能力方面具有突出优势，其独特的低成本和开放性吸引了原来国内“百模大战”中的人工智能企业争先恐后接入。这种在百花齐放中快速迭代生长的局面，不仅为大量涌入 DeepSeek 的用户分流，避免过于拥堵、浪费时间，而且为各类用户提供了多元选择的机遇。在这场前所未有的人工智能风暴席卷之下，一个无门槛普及人工智能的“大学堂”自发地迅速创生。正如当年恩格斯所深刻揭示的：“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”<sup>③</sup>那么，教育系统如何面对这种千载难逢的时代挑战和创新发展机遇？

#### （一）健康高效地普及人工智能教育新模式

人工智能在教育领域的普及和应用，已成为各级教育决策管理者、研究者、各级各类学校和广大师生、家长的共识。国家教育行政部门不仅高度重视，而且做了全方位部署。<sup>④</sup>但很多行政部门、学校、各类培训机构，仍习惯于按照传统模式按部就班地开设人工智能培训课程，而且大多数都是技术导向的专业化课程，这种思维和模式必须尽快改变。人工智能大学堂一定要突破“三中心”的桎梏，创建具有生命活力、全民参与，且沿着低成本（特别要减少大量低水平重复学习、机械训练中师生精力的耗费）、高效能（摆脱厌学情绪、激发内在学习兴趣和动力）、健康可持续发展轨道快速迭代生长的新生态，并由此引领整个教育系统走出工业文明，步入信息时代。<sup>⑤</sup>

其实，线上线下早已创造出各类超越传统培训课程的多样化新模式，迫切需要采集、归纳、筛

<sup>①</sup> 王树人. 回归原创之思：象思维视野下的中国智慧 [M]. 南京：江苏人民出版社，2005.

<sup>②</sup> 李曙华. 当代科学的规范转换：从还原论到生成整体论 [J]. 哲学研究，2006（11）：89-94.

<sup>③</sup> 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局. 马克思恩格斯全集：第39卷 [M]. 北京：人民出版社，1974：198.

<sup>④</sup> 2025年3月5日，教育部长怀进鹏在全国两会“部长通道”宣布，我国将正式发布《人工智能教育白皮书》。这标志着中国教育在AI深度赋能的新时代迈出了重要一步。这份白皮书不仅是国家层面的战略布局，还系统地从事技术赋能、伦理治理和体系重构三个维度，规划了AI技术将如何重塑基础教育、职业教育和高等教育的全链条。

<sup>⑤</sup> 桑新民. 学习科学与技术：信息时代学习能力的培养 [M]. 北京：高等教育出版社，2017.

选、提炼。在此仅抛砖引玉提出一些思路。

1. 需求导向、问题导向、应用导向，聚焦和破解长期困扰教育系统健康发展的各种难题和顽症。

2. 自主学习、团队学习、对话式学习，包括师生、人机多元对话，这是培养和提升人机协同“增强智能”最重要的增长点和最现实的途径。其中的难点和关键在于：如何在实践中不断总结、快速迭代，培养教师、学生与生成式大模型对话的能力与智慧。结合这一段时间我们的体验，提出以下几点与 AI 对话的建议。(1) 对话前必须做好充分准备和整体设计，并作出清晰、精确的表达（提出问题的背景、期望、内容、要求等必须简明扼要，清晰明确），对话不可太频繁，更不可太滥，要珍惜每一次对话的机会；(2) 提出的问题要由简单到复杂，层层深入，越来越具体；(3) 快速阅读和思考 AI 给出的回答，发现其中的问题和漏洞，指导 AI 在反思中纠正错误，不断消除“AI 幻觉”；(4) 在多次对话中携手深化对主题的理解，提升增强智能；(5) 用师生团队的形式与 AI 对话，有助于凝聚集体的智慧，克服个体的认知局限，每次对话之后必须认真分析、总结、反思，这样才能步步提升，避免形成对 AI 的过度依赖，要培养对 AI 的控制和驾驭能力。以上这些方面许多都是目前教育体系中的薄弱环节，也是步入智能化时代必须重点培养的学习能力和生存能力。

3. 学校、家庭、社会、企业协同创新，把线上线下各种自发、分散的人工智能培训和应用模式逐步引导、纳入健康高效的学习与课程轨道，在超循环快速迭代中创生多样化普及人工智能新生态，由此指导和创建各行各业的实践创新体系和产业链，并建立健全相应的政策法规、体制机制、道德规范、理论与实践目标和价值导向。

## (二) 共创共享智能教育的“大脑”：高质量信息资源库

在信息时代，信息资源已上升为超越物质资源和能源的首要战略资源。人工智能的“大脑”和“心脏”是处理海量大数据的“智能”。显然，这与海量数据库本身的优劣，尤其是急剧膨胀的巨型数据库自筛选、自控制、自主高效优化的“智能”密切相关（这只能是人机结合共生共长的“增强智能”），这正是生成式人工智能趋利避害、健康发展的难点和关键，也是人类文明在信息时代预警和防范各种危机、陷阱、灾难的航标和灯塔。

如今世界各类大模型拥有的和急剧增长的海量数据库，不仅是古今中外最丰富的文化资源库，也是最庞杂、浑浊、混乱的文化垃圾库，面对全球各层次、各种不同类型用户的涌入，在急速膨胀的海量数据库中，低层次、重复性乃至垃圾数据的增长，显然要比优质数据的增长大亿万倍。人工智能的算力在迅速增长，谁跑得更快？更明智的选择是在提升算力的同时优化算法，这绝不是单纯的人工智能技术问题，其背后是复杂的文化资源评价、筛选标准难题，也是引导人类文明向何处去的历史哲学、科技哲学、文化哲学、教育哲学难题。这里充满了古今中外多元文化价值观的矛盾、冲突、博弈。但在信息时代人类新文明的探索追求中，更需要的是在平等对话中相互理解、沟通、妥协、互补、交融。这是西方文明、中华文明乃至世界各民族、各国传统和现代多元化文明体系共同承担的历史使命。在当前急剧发展变革的信息化、智能化历史潮流中，这种历史使命的一项重要基础工程，正是携手共创共享高质量的多元文化—教育海量信息资源库。舍此不可能有信息时代人工智能和智能教育的健康发展。

## (三) 探索和创建信息时代的教育哲学、教育智慧、教育生态

当前社会正在迅速由信息化向智能化攀升。人工智能绝不仅是一种新技术，其本质是在对人类智力进行深入研究、深刻反思基础上的科技创新、文化创新、文明觉醒。<sup>①</sup>

<sup>①</sup> 桑新民. 人工智能教育与课程教学创新 [J]. 课程·教材·教法, 2022 (8): 69-77.

很多人担心机器人未来的发展会超过人、取代人、毁灭人类。研究和防范人工智能技术的风险，无疑非常重要，但破解这一时代难题的方向和出路还必须回到人类对自身的自我意识和自我超越。如果未来机器人毁灭人类的悲剧真的发生，其罪责也绝不在机器人，而在人类本身，因为善与恶、真与假、美与丑，都存在于人类自身之中。今天地球上的原子弹、氢弹已具有多次毁灭地球的能力，但没有背后疯狂的恶人操控，这种悲剧不会发生。为避免世界的灾难和悲剧，人类必须根据人工智能的发展，不断制定和完善相应的法律法规，提升人类在智能化时代的道德水准、自我约束和控制能力，尤其要在不同民族传统文化传统、宗教信仰、政治、经济、军事冲突之间开展对话沟通，相互理解包容，管控分歧，遵守和维护国际公约，倡导和强化“人类命运共同体”的理念与价值导向，传播和遵循经过历史筛选、获得多元文化认同的“普世价值”与社会公德，使之成为具有更强内外约束力的国际法律、道德、经济、外交手段和准则，并建立全球化线上线下防范“智能风险”的快速预警机制和高效“防火墙”。显而易见，在广义的人工智能教育体系中，最重要、最根本的内容，是充分借助人工智能数据“深度学习”，不断提升人类辨真伪、明善恶、识美丑的能力、素养、智慧。这迫切需要在信息时代的教育哲学探索中开创健康、可持续发展的教育新生态。

在决策管理者和社会全体成员中普及人工智能教育，应该成为一场深刻的时代反思、自我意识和步入智能化时代的文化启蒙运动，给新一代公民进入信息时代发放通行证和护照。这场思想启蒙不仅能为公民提供理解算法社会的认知框架和参与数字治理的实践能力，也将重塑社会对技术进步的价值判断——从工具理性转向人本导向，从而消除智能化浪潮中的认知鸿沟与权力失衡，为构建包容、可持续的数字文明奠定认知基础。

(责任编辑 李 冰)

### **Scientific Basis and Paradigm of Generative Artificial Intelligence: Strategic Consideration About the New Phase of Educational Intelligence**

Sang Xinmin, Yu Zhong, Li Shuhua

**Abstract:** Starting from the reasons behind the explosive development in the field of artificial intelligence driven by generative AI, the paper analyzes the fundamental differences between generative and traditional AI, compares OpenAI with DeepSeek and summarizes the cause of the shortcomings and deficiencies of AI hallucination that frequently occurs in large AI models. Furthermore, the paper proposes the scientific outlook and research methodology for the future development of generative AI, revealing how the choices of technological path are complementary and influenced by cultural values and resource background and discusses the exploration and prospect of the collaboration between Eastern and Western scientific communities in advancing generative AI. Based on these insights, the paper advocates the establishment of Intelligent Education Grand Academy and high-quality information resource repository as the brain of intelligent education, aiming to break free from the constraints of the “three-center” educational pattern of industrial civilization and construct new, healthy, and sustainable educational ecology through the theory and practice exploration of educational philosophy and intelligent education in the information age.

**Key words:** Generative AI; OpenAI; DeepSeek; system generation theory; intelligent education