

DOI:10.13288/j.11-2166/r.2026.11.001

学术探讨

复杂性科学思想指导下人工智能驱动 中医药守正创新的研究路径探讨

任丽江¹, 李龙飞², 陈进凯³, 何庆勇^{1✉}

1. 中国中医科学院广安门医院, 北京市西城区北线阁5号, 100053; 2. 清华大学; 3. 北京科技大学智能科学与技术学院

[摘要] 复杂性科学与中医药具有高度的内在契合性。针对还原论难以指导动态整体中医药理论与实践的局限, 以复杂性科学为指导思想, 以开放复杂巨系统为实践框架, 构建一种守中医药特色之正、创人工智能数据融合之新的研究路径。该路径以真实世界数据的客观化与标准化、确定性关系与结构化诊治体系的数字化、复杂性中医药大模型的构建为主要任务; 基于此进一步明确数据架构设计与强化学习训练路径, 并基于人脑与计算机信息处理机制的差异, 提出减少“证候”人工标注, 聚焦“人-药相互作用→证候表现→剂量调整”的训练思路。在复杂性科学理论指导下, 中医药有望与人工智能技术深度融合, 实现数据驱动与算力赋能的技术革新。

[关键词] 复杂性科学; 开放复杂巨系统; 中医药; 人工智能

新中国成立以来, 还原论研究范式在中医药领域取得诸多成果^[1-2]。然而面对复杂的真实诊疗环境与庞大的经验基数, 其“重机制分解、轻整体效用”的弊端不断显现, 难以充分解释中医药临床疗效, 导致经验传承与诊疗现代化面临发展瓶颈。钱学森先生提出的开放复杂巨系统(open complex giant systems, OCGS)理论^[3]与国际科学界兴起的复杂性科学, 为中医药研究提供了超越还原论的新视角。人工智能(artificial intelligence, AI)具有处理高维异构数据的技术优势, 为复杂性科学指导下的中医药研究提供了关键方法和技术支撑。本文旨在以复杂性科学为指导思想, 以OCGS为实践框架、以AI技术为主要工具, 构建中医药数字化传承与智能化诊疗的创新研究路径。

1 复杂性科学与中医药的理论契合

1.1 OCGS与复杂性科学的内涵

钱学森定义OCGS为“如果子系统种类很多并有层次结构, 它们之间关联关系又很复杂, 这就是

复杂巨系统”, 并将其描述为一种具有动态演化特性的可与外部环境持续进行物质、能量和信息交换的系统架构^[3]; 同时认识到“人体就是开放的复杂巨系统”, 并将中医药理论与实践作为OCGS的主要研究方向^[4-5]。复杂性科学作为系统科学的新形态, 与OCGS密不可分^[6-7], 为突破还原论局限提供了方法论支撑。

1.2 复杂性科学与还原论研究路径的差异

复杂性科学认为复杂系统的整体行为无法通过拆解组分推导, 还原论科学则主张先还原简单、再重构复杂^[8]。复杂性科学和还原论二者与AI技术结合时呈现显著差异, 以脉诊数字化研究为例, 还原论导向的AI模型具有显著的工具性, 追求输入与输出之间明确的、可解释的映射关系, 试图寻找特定波形与解剖结构的严格对应; 而复杂性科学导向的脉诊模型, 则聚焦心脏搏动、血管弹性、血液黏稠度等多因素复合影响下的证候特征提取与预后分析。在方法论上, 还原论期望对AI工具进行绝对控制与精准分析, 而复杂性科学则追求模型与真实世界的高拟合度与疾病认识的准确度。因此, 在中医药研究中, 还原论路径适用于作用机制阐明, 而复杂性科学更契合诊疗经验的传承与发展需求。

基金项目: 国家科技重大专项(2024ZD0528200); 北京市科技新星计划(20240484704); 中国中医科学院卓越青年科技人才培养专项(CI2023D004)

✉ 通讯作者: heqingyong@163.com

1.3 中医药的复杂性科学特征

中医药学天然具备复杂性科学的核心特征^[9], 这些特征是 AI 赋能中医药时需遵循的本质规律, 也是构建符合中医药复杂性特征模型的重要支点。

1.3.1 非线性和涌现性 非线性是指系统中输入与输出不成比例的关系, 某个角度的微小变化可能借助反馈回路和时间的延长引发指数级变化^[10]。如附子小剂量使用仅能在内伤杂病中温阳散寒, 但当剂量跨越特定阈值 (如 30 g 以上), 其主导功效则“相变”为回阳救逆并可用于危急重症的治疗^[11]。涌现性指复杂系统中各组分通过非线性相互作用涌现出无法从个体行为推导的模式^[12], 如补中益气汤中诸药单味均无退热作用, 当按照特定君、臣、佐、使配伍后, 应用于证候辨证或气血升降的理论模型中, 便可涌现出“甘温除大热”这一全新的、超越单药功效之和的治疗功能。

1.3.2 自组织性和不确定性 自组织性是指系统内的有序结构或这种有序结构的形成过程。不确定性则是对还原论由基础原理架构反推真实世界产生偏差的一种理论解释, 例如海森堡测不准原理^[13]。中医药理论体系中, “方”体现自组织性, 药代表不确定性。古人通过君、臣、佐、使的组方理念, 使药物成分波动等无序变量形成协同制约关系, 如桂枝汤中, 桂枝与白芍的“散敛互制”、生姜与大枣的“刚柔相济”, 并非依赖医生对难以确定的“桂枝中桂皮醛含量”“白芍中芍药苷浓度”等的精准控制, 而是通过药物自身性味的相互作用, 自组织成“调和营卫”的有序功能, 符合自组织性“无序到有序”的核心特征。

2 复杂性科学指导下的 AI 驱动中医药守正创新研究路径

国际上复杂性科学的实践方法尚未统一, 钱学森先生针对 OCGS 提出的“从定性到定量综合集成方法”较为成熟, 在复杂性科学研究中应用较为广泛^[14]。该方法有机结合了数据信息、专家体系与计算机技术, 通过人机结合, 以人为主, 再进行定性、定量相结合综合集成^[15-16]。本文以复杂性科学与 OCGS 为理论基础和原则, 构建以“综合集成方法”为框架, 以守正 (尊重中医药发展规律、学科特点与 AI 技术要求) 和创新 (现代传感、AI 等新技术赋能) 为指导思想, 以复杂性科学特征为评价标准, 融合强化学习、混合专家模型、记忆模块等 AI 理念的研究路径, 实现理论与实践的衔接。该

路径是一项复杂的系统工程, 主要包含以下三部分任务体系。

2.1 真实世界临床数据的数字化、标准化、客观化

数据质量决定模型的性能, 现有医学 AI 研究常受困于数据标准化不足、准确度不高等问题^[17]。真实世界临床数据的数字化、标准化、客观化是中医学与 AI 结合的必由之路。中医辨证以望、闻、问、切为核心, 其中, 问诊信息的文本处理、术语标准化可借鉴现代医学与 AI 融合的经验, 且实验室检查结果可作为问诊的现代化延伸; 闻诊在古籍记载与现代临床研究中均不足; 望诊与脉诊是中医信息富集的重要途径与主要发展方向, 但现有设备在光源、传感器精度、采集流程等方面标准不一^[18]。

未来应在以下方面深耕: 在面诊设备中, 尽可能统一采集光源的色温、亮度等参数, 确定灯源与人脸的相对位置范围, 明确摄像头参数, 优化并开源现有望诊分割算法, 从微表情及皮肤纹理等角度对“华”和“神”的本质进行数字化探索。在脉诊设备中, 尽可能采用更高精度的压力传感器, 统一机械加压模块的下压流程与诊断用波形区段的划分方法。此外, 应当对滤波方式、数据库管理、通道数目与寸、关、尺定位等关键问题进行进一步探索。高质量四诊客观化数据与现代实验室检测指标的融合, 将为复杂性模型的构建提供基石, 也为模型能力的涌现提供数据支撑。

2.2 确定性关系与结构化诊治体系的数字化构建

数字化采集后可进行模型的构建工作。复杂性科学思想要求研究者同时注重子系统的细致分析与宏观系统的整体考量。中医理论浩繁复杂, 不同理论与学派的思想应当分开讨论, 中医药体系中的确定性关系与结构化诊治体系的数字化构建是复杂性诊疗体系中的重要骨架。

2.2.1 中医理论中确定性关系的数字化 中医理论大多源于《黄帝内经》等经典的认识, 如十二经脉相连关系等为中医界的整体共识。钱学森先生较早提出了将中医药理论与数学模型相结合的唯一中医学概念^[16], 但并未在行业内进行广泛实践, 现有研究中的数学公式与中医理论的贴合度、准确性与复杂性往往有限。

中医理论的数字化, 一方面应聚集行业内各子学科的有关专家, 以历代经典古籍为核心, 梳理不同学派医家的共识观点并搭建中医经典理论体系, 同时串联不同理论间的确定性共同关系, 如经络学说与脏腑学说的内外相连属性; 另一方面应与理论

数学家进行合作,以数学为核心抽象中医理论关系并形成可验证的数学公式^[19],以数字化采集后的真实世界中医数据验证公式的有效性与可行性。这两个方面融合了“综合集成方法”中的“研讨厅”与人机结合部分,能较好地为人用经验进行数字化抽提。

2.2.2 结构化诊治体系的数字化构建 《伤寒杂病论》等中医古籍重视结构化方证诊断,这类诊治体系结构清晰简单,在某种角度贴近于现代医学的诊断思路,存在建立专家系统与简单模型的可能。在这类诊治体系的数字化转型中,复杂性AI模型并不适宜。应当以基于规则的推理为主要方法,结合知识图谱与基于案例的推理技术建立诊断模型,并在临床中与专家经验进行比较验证。规则推理能直接将古籍中的适应症转化为“若满足A、B、C症状,则推荐X方”的逻辑,充分发挥理论结构清晰简单的特点,避免复杂性AI模型对数据量的过度依赖和解释性差的问题。

知识图谱技术可将古籍中的“证-方-药-加减”关系可视化,也有助于解决古籍知识抽提与古今语义匹配的难点;而基于案例的推理则能调用古籍验案,通过相似案例匹配辅助诊断弥补规则推理在复杂兼证下的局限性。二者结合既保留了方证对应的结构化优势,又能应对临床中“同病异治”“异病同治”的灵活场景,与这类诊治体系依赖古籍经验、重视案例传承的特点高度契合。这些数字化后的确定性关系与简单辨证模型,参考静态记忆设计理念^[20]可与大模型进行有机结合,根据临床真实需要由综合集成后的复杂性模型动态平衡简单模型或复杂性模型的输出路径,可在不确定性的人体系统中实现简单与复杂的对立统一。

2.3 复杂性中医药大模型的构建

DeepSeek模型兴起后,引发中医领域对大模型的广泛关注与尝试。这类方案将生成式AI模型本地化部署,并通过检索增强生成(retrieval-augmented generation, RAG)技术构建本地中医知识库,以期实现智能问答与辅助诊疗。但这一发展路径忽略了生成式大模型的核心应用场景是基于大规模文本数据库的通用语义生成与上下文对话任务,其模型架构与训练目标并非针对临床医学中高风险、需精准推理的诊断与治疗决策任务。以通用语言模型为基础的RAG方案,并不适用于中医领域对辨证施治的核心需求,尤其缺乏对个体化诊断逻辑、治疗风险控制与药物相互作用等临床关键环

节的建模能力。因此,在模型的构建中应当紧扣中医药的数据特点与理论体系,以复杂性科学和OCGS理论为指导,守正创新建立复杂性中医模型。

2.3.1 复杂性中医模型数据层级的构建思路 在构建复杂性中医模型时,我们提出了一种三层数据处理模式,在保证模型训练效率的基础上兼顾模型的进一步修正与升级。

一级数据层:以OCGS为理论指导,根据中医传统认识纳入尽可能多的数据维度,使模型拟合人体真实情况,例如外界环境、工作类型等。具体采集的数据类型应包括但不限于:1)外源信息:就诊时间、出生地、居住地、饮食结构、社会职能、家庭关系、工作环境等;2)体质信息:出生年月、幼年疾病史、基因异常情况、家族病史、营养情况、畏寒畏热情况、过敏情况等;3)医诊信息:寸关尺脉搏波形、舌质舌苔颜色、面部颜色与区块分布、既往史与用药情况、发病过程与症状演变、刻下症状、异常语音与气味等。

二级标准化层:参考2.2中的数字化构建方案,引入人机协同机制以应对标准化中医数据中的语义噪声。以《黄帝内经》《伤寒杂病论》等古籍为核心理论来源,以历代医家有效医案集为古代标准病历集,通过自然语言处理技术,对古籍中的传统表达与现代临床症状学描述进行语义对齐,并在此基础上构建结构化的中医学术语本体库。

三级队列层:建立多中心“病-证-效”长期随访队列,按国家公共卫生需求与疾病类型分层,至少包括肿瘤队列、外感病队列、内伤慢性病队列、危急重症队列,长期观察患者疾病发展过程中的中医体征信息变化,有效记录中西医用药后中医维度的改变。

复杂性模型的有效性取决于对真实世界多源异构信息的充分整合,唯有尽可能多地纳入来自临床、文献、用药改变等多维度数据,才有可能建立具有解释力、预测性和指导意义的中医复杂性模型。

2.3.2 弱化概念标注、贴合计算机逻辑的强化学习训练路径 传统中医理论源于历代中医的朴素经验总结,其真实性与实用性的基石是每位医生面对的大样本真实世界数据,其分析的载体为人脑,其中医理念的运用以人脑理解与学习方式进行。当运用AI技术对中医诊疗过程进行模拟时,应当依据计算机运行的逻辑进行架构,这也是中医学守正创新理念的体现。正如杰弗里·辛顿(Geoffrey Hinton)教授所言,计算机的软件模型与硬件设备是分离

的,同一软件能在不同二进制设备中运行,因此很容易进行知识共享;而人脑是模拟计算,其依赖电荷在不同突触结构中的移动进行运算,但不同个体的神经元连接方式不同,这种软件与硬件一体的记忆与思考结构决定了知识在人脑间的传播效率远低于 AI 模型间的传播^[21]。

这也能解释,为何人脑在学习中医学等复杂性学科时往往要求学习者有“悟性”,即通过悟性模拟教授者的思维链条,建立类似结构的神经突触。而 AI 模型由于不受硬件的限制,往往可以采用迁移学习、联邦学习等方法共享所学的知识。当师徒相授中每句话只有 100 比特信息的时候,计算机可以快速对上亿比特数据进行学习。但计算机也因此有着较为明显的短板,即难以准确理解人脑总结的抽象概念,导致监督学习中的数据标注会存在大量偏差。例如,腻苔与非腻苔准确的图像分割点是什么? A1+A2+A3 的 A 证候诊断逻辑中若出现伴随 B1 症状或数据库中未标注的罕见症状,是否仍归入 A 的标注集? 现有 AI 技术在以上情境下,并不能泛化地进行辨证或推理。基于当前技术水平期望模型实现精确的辨证分型缺乏科学依据,仅依靠有限数据集或对话形式进行知识蒸馏以复制专家经验,亦难以实现可靠转化。

综上,为了保证模型训练的连贯性与准确性,在模型训练过程中应避免直接使用基于人脑抽象概念(如具体舌脉名称或辨证分型)进行人工标注,也不对舌脉进行二次人工描述,而是采用强化学习框架进行顶层设计,模拟“人-药相互作用→证候内涵变化(舌-脉-症状)→剂量调整”的动态闭环。整合外源信息、体质信息、医诊信息等多维异构数据,通过参数化的方式嵌入模型架构中,以大样本高标准的真实世界数据库为训练集,以实现疾病状态、预后的准确诊断与用药有效模拟为目标,建立多中心的长期疗效与“舌-脉-症状”评估随访的队列性训练集,用以验证模型的有效性和鲁棒性,并最终实现模型开源。

相较于还原论指导下的模型构建,该中医复杂性模型的核心优势是信息维度的提升与人工标注误差的排除,且额外关注了中医临床“人-药相互作用”环节,将避免模型与真实世界的差异随着样本量的增加而指数级增大,为复杂性模型的自组织方向提供真实世界的引导。

2.3.3 针对中医学派与专家经验传承的迁移学习方法 针对中医学派与各专家团队辨证思路的差

异,可通过调整模型参数权重,并依托统一的信息采集平台搭建标准化私域数据库,对开源模型进行本地化训练。模型的非线性架构在来自不同地域与疾病群的数据加持下将有望涌现出与标准化数据集不同的模型能力,复现不同学派与专家经验的产生过程。通过专家团队与系统的反复比较验证、逐次调参修正模型,获得较为完善且能反映真实诊疗场景的私域化传承大模型,从而真正实现中医药的现代化传承。未来在该复杂性模型不断优化、逐渐与真实世界充分拟合之后,也可在更加先进的可解释性分析基础上,进一步探索模型内部的内在逻辑,助力中医药有效性内在机制的说明。

以上过程虽融合了最新的 AI 技术,但又恰恰是综合集成方法的具体实现,即用“结构化序列去逼近非结构化问题”^[22],同时也呼应了中医药的复杂性特征。其中大模型的多层非线性结构能拟合“病-证-药-效”间的非线性关系;强化学习将以奖励函数引导系统自组织的方向;三层异构数据为涌现提供结构化基础;大样本与专家系统则从统计认知与逻辑约束两方面处理系统的不确定性。

3 结语

本文分析了 OCGS 与复杂性科学的关系以及中医药理论中的复杂性特点,结合 AI 技术对中医复杂性大模型的数据结构、模型方法、训练方法、迁移学习应用等进行了论述。复杂性科学为理解中医药提供了超越还原论的理论框架,AI 为实践中医药打造了破解复杂性的技术工具。通过该研究路径,中医药将在复杂性科学研究的指导下与 AI 技术深度融合,实现数据驱动与算力赋能的技术革新。

参考文献

- [1]李梢,王永炎.医学研究中系统论与还原论的关联关系[J].北京中医药大学学报,2005,28(5):1-5.
- [2]王永炎.中医药研究中系统论与还原论的关联关系[J].世界科学技术-中医药现代化,2007,9(1):70-73,79.
- [3]钱学森,于景元,戴汝为.一个科学新领域:开放的复杂巨系统及其方法论[J].自然杂志,1990(1):3-10,64.
- [4]涂元季.钱学森书信2[M].北京:国防工业出版社,2007:435.
- [5]冯承飞.钱学森中医观研究[D].广州:广州中医药大学,2015.
- [6]齐磊磊.系统科学、复杂性科学与复杂系统科学哲学[J].系统科学学报,2012,20(3):7-11.

- [7]齐磊磊. 论“系统科学”与“复杂性科学”之异同[J]. 系统科学学报, 2008, 16(4): 31-35.
- [8]祝世讷. 中医系统论基本原理阐释[J]. 山东中医药大学学报, 2021, 45(1): 7-21.
- [9]林欣, 李洁, 朱佩枫, 等. 复杂性科学视角下中医药知识组织方法研究[J]. 中医杂志, 2022, 63(21): 2009-2013, 2018.
- [10]KOITHAN M, BELL I R, NIEMEYER K, et al. A complex systems science perspective for whole systems of complementary and alternative medicine research [J]. Forsch Komplementmed, 2012, 19(Suppl 1): 7-14.
- [11]李婷, 程发峰, 张晓乐, 等. 附子的历代临床用量探析[J]. 中医杂志, 2022, 63(10): 983-988.
- [12]吴双, 彭鹏. 超越还原论范式: 涌现对科学图景的重构[J]. 自然辩证法研究, 2025, 41(5): 101-107.
- [13]蒋士会, 郭少东. 复杂性科学的方法论探微[J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版), 2009, 45(3): 33-37.
- [14]安小米, 马广惠, 宋刚. 综合集成方法研究的起源及其演进发展[J]. 系统工程, 2018, 36(10): 1-13.
- [15]于景元, 周晓纪. 从定性到定量综合集成方法的实现和应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 20(10): 26-32.
- [16]钱学森. 创建系统学[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2001: 290-415.
- [17]GÜELL E. Criteria for implementing artificial intelligence systems in reproductive medicine [J]. Clin Exp Reprod Med, 2024, 51(1): 1-12.
- [18]焦逸, 何庆勇, 曾凤, 等. 人工智能实现中医四诊的发展现状、问题及解决路径[J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(11): 16-20.
- [19]唐恒安, 唐志书, 李鹏. 数学中医学[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(1): 15-20.
- [20]CHENG X, ZENG W, DAI D, et al. Conditional memory via scalable lookup: a new axis of sparsity for large language models[EB/OL]. (2026-01-12) [2026-04-17]. <https://arxiv.org/abs/2601.07372>.
- [21]王方玉. 辛顿、闫俊杰 WAIC 完整演讲: 一个预警, 一个拥抱[EB/OL]. (2025-07-28)[2026-01-07]. <https://www.163.com/dy/article/K5H1DF7D05118DFD.html>.
- [22]于景元. 系统科学和系统工程的发展与应用[J]. 科学决策, 2017(12): 1-18.

An AI-Driven Research Pathway for Upholding Fundamental Principles and Breaking New Ground of Traditional Chinese Medicine Under the Guidance of Complexity Science

REN Lijiang¹, LI Longfei², CHEN Jinkai³, HE Qingyong¹

1. Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing, 100053; 2. Tsinghua University; 3. School of Intelligent Science and Technology, University of Science and Technology Beijing

ABSTRACT Complexity science and traditional Chinese medicine (TCM) share a profound intrinsic compatibility. To address the limitations of reductionist approaches in guiding the dynamically holistic theory and practice of TCM, this paper develops a novel research pathway under the guidance of complexity science, using the open complex giant systems (OCGS) theory as its practical framework, upholding the fundamental principles of TCM and breaking new ground of artificial intelligence (AI). The core tasks of this pathway involve the objectification and structured diagnosis-treatment systems, and the construction of a complex, large-scale TCM model. The paper further delineates the data architecture design and reinforcement learning training pathway. Acknowledging the differences in information processing between the human brain and computers, it proposes a training strategy that minimizes manual labeling of "syndromes" and instead focuses on the training paradigm of "herb-human interaction → syndrome manifestation → dosage adjustment". Under the guidance of complexity science theory, TCM is poised for deep integration with AI technology, driving technological innovation powered by data and computational capabilities.

Keywords complexity science; open complex giant systems; traditional Chinese medicine; artificial intelligence

(收稿日期: 2025-10-27; 录用日期: 2026-02-25; 修回日期: 2026-04-18)

[编辑: 李媛]