

大语言模型驱动的智能法律合约：技术路径、研究进展与法律挑战

崔驰¹, 王星星^{*2}

1 郑州师范学院信息科学与技术学院, cuichi0713@hotmail.com

2 澳门科技大学商学院, 2109853gbb30039@student.edu.mo

摘要：随着生成式人工智能尤其是大语言模型的迅速发展，利用自然语言自动生成智能合约，已从概念探索走向可实验、可评测、可验证的研究阶段。近年来的研究表明，大模型不仅能够从业务需求、法律文本乃至合同条款中生成 Solidity 等智能合约代码，还能够参与条款抽取、形式化建模、安全审计与合规评估等环节。然而，现有成果也一致显示：大语言模型生成的智能合约虽然在语法正确性和初步功能实现方面已有显著进步，但在法律语义忠实性、安全漏洞控制、形式化验证与可直接部署性方面仍存在明显不足。因此，大语言模型在该领域的现实定位更适合被理解为智能法律合约的辅助生成与验证工具，而非完全替代法律专业人员与开发审计人员的自治系统。本文从智能合约与智能法律合约的概念区分出发，系统梳理大语言模型驱动智能法律合约的主要技术路径和近年来的代表性研究进展，并在此基础上分析该领域面临的主要法律挑战。本文认为，未来研究的关键不在于模型是否能够写出代码，而在于其能否在法律文本、计算逻辑与执行后果之间建立可验证、可解释、可归责的对应关系。

关键词：大语言模型，智能法律合约，法律科技，区块链

1 引言

随着区块链技术、生成式人工智能和法律科技的持续发展，合同的数字化、结构化与自动化执行正成为法学与计算机科学交叉研究的重要议题。在这一背景下，智能合约 (Smart Contract) 逐渐从技术概念，演变为兼具制度意义、交易意义与治理意义的复合型研究对象。尤其是在大语言模型快速演进之后，研究者开始重新审视：法律文本能否被机器有效理解，合同条款能否被自动转换为可执行规定，以及人工智能是否能够在合同订立、履行和监督过程中承担更大程度的辅助功能。

智能合约通常是指部署在区块链或类似分布式环境中的自动执行程序。其核心不在于合同文本本身，而在于通过代码预先设定交易规则、状态变化和执行条件，一旦触发条件满足，系统便能够自动完成付款、转移、记账、清算或权限变更等操作。其主要优势表现为执行自动化、过程可追踪、记录难篡改以及对高频、标准化交易具有较高的效率适配性。

与之相比，智能法律合约 (Smart Legal Contract) 并非单纯强调代码自动执行，而是更关注

作者简介：崔驰，男，郑州师范学院信息科学与技术学院讲师、博士，主要研究方向为人工智能与信息安全。

王星星，女，澳门科技大学商学院工商管理博士研究生，主要研究方向为政府招商引资政策，人工智能法学，资本市场合规，基层社会治理，企业管理等。

本课题得到河南省重点研发专项(项目编号: 261111520800)、河南省科技攻关项目(项目编号: 262102210003)资助。

*通讯作者

自然语言法律文本、交易数据与机器可执行逻辑之间的有机衔接^[1]。根据 Accord Project (针对智能法律合约的生态系统和开源工具) 的定义, 智能法律合约是同时具有人类可读与机器可读属性的数字协议, 由自然语言与可计算组件共同构成^[7]。它可以将协议中的部分条款构造为机器可执行组件, 并通过外部系统触发付款、更新发票或执行其他合同动作。由此可见, 智能法律合约并不试图以程序彻底取代传统合同, 而是保留自然语言合同在权利义务解释、风险分配、争议处理和救济安排中的基础地位, 同时将其中可形式化、可参数化的条款转化为机器可读甚至机器可执行的规定。因此, 智能法律合约更适合标准化程度较高但仍需保留法律解释空间的商事交易。正是在这一意义上, 大模型介入后真正值得研究的对象, 并非狭义的代码生成, 而是更广义的智能法律合约生成^{[7][11]}。

在此背景下, 大模型驱动的智能法律合约生成问题迅速成为研究热点。一方面, 大模型在自然语言理解、信息抽取和代码生成方面具备通用能力, 为法律文本到可执行逻辑的自动转换提供了新的技术可能; 另一方面, 智能合约的不可逆部署特征又使大模型的任何语义偏差、建模遗漏与安全缺陷, 都可能被放大为实质性法律风险。因此, 本文以下将围绕大模型驱动智能法律合约生成的技术路径、最新研究进展及主要法律挑战三方面展开探讨。

2 主流技术路线

从现有研究看, 大模型驱动的智能法律合约生成并不存在单一路径, 而是沿着不同程度的结构化、约束化与协同化方向展开。不同技术路线在生成效率、法律语义保真、可审查性与风险控制能力上各有取舍。

2.1 自然语言到代码的直接生成

自然语言到代码的直接生成是用大模型生成智能法律合约最直观的技术路线。用户直接输入业务需求、合同条款或法律文本, 由模型输出智能合约代码。该方法门槛较低, 也最符合大众对 AI 自动写合约的直观期待, 因此在早期研究中最常被采用, 但研究显示其在复杂法律语义映射和安全细节处理方面存在明显局限。以 Barbara 等 (2024) 的研究为例, 该研究以租赁协议为案例, 利用 GPT-4 将法律文本翻译为智能合约代码, 并通过多轮提示优化生成结果。该研究认为, 该版本的 GPT-4 模型尚不足以生成可直接进入生产环境的智能合约, 其主要问题在于模型未能稳定识别编码缺陷, 且提示内容与最终代码之间仍存在显著偏差^[8]。

从法律技术结合的角度看, 直接生成路径的根本问题在于其默认法律语言能够被近乎无损地压缩为程序逻辑。但法律合同中的大量条款具有开放纹理、情境依赖和补充解释空间, 例如“合理努力”“重大不利变化”“诚信履行”等概念, 本身并不适合被简单二值化为触发条件。由此可见, 直接生成路径更适合作为草拟工具、原型工具或教育工具, 而不应被视为智能法律合约生成的最终方案。

2.2 基于中间表示的结构化转换

相比之下, 基于中间表示的结构化转换是更符合智能法律合约逻辑的一条技术路线。其基本思路是先从法律文本中抽取主体、义务、条件、期限和违约事件, 再形成数据模型、模板变量、状态机或领域专用语言, 最后生成机器可执行代码, 从而减少语义漂移与逻辑遗漏。Accord Project 所采用的 Cicero、Concerto 与 Ergo 等模块化框架, 即体现了这种先结构化后执行的思路^[7]。Chen 等 (2022) 的研究利用命名实体识别 (NER) 与问答式信息抽取, 将法律协议自动转换为 Accord Project 所需的 Concerto 模型。结果表明, 对 Accord Project 合约模板文本中的 CiceroMark 识别准确率可达到 0.8。虽然这距离高度自动化仍有差距, 但其意义在于证明: 法律文本向智能法律合约中间模型的转换, 并不必然依赖完全人工建模, 自然语言处理和大模型相关方法可以显著降低这一过程的知识门槛和劳动成本^[9]。

中间表示路线的重要价值,在于它更容易接受法律审查,也更容易纳入后续验证流程。自然语言合同中的许多问题,并非通过代码就能自动解决,而是需要在数据结构、变量命名、条件关系和触发机制层面进行逐层审查。对于律师和法务人员而言,可审查的中间层既能帮助识别合同意义是否被忠实保留,也能帮助发现哪些条款适合自动化,哪些条款必须继续保留在自然语言层。对技术研究而言,中间表示则为后续编译检查、规则验证和自动修正提供了明确接口。因此,中间表示是实现法律语义可控转换的必要桥梁。

2.3 验证增强型生成

近两年最值得关注的进展,是研究者开始将大模型嵌入生成、编译、分析、修正的闭环流程,而不再将其视为一次性文本生成器。该路径通常结合有限状态机、编译反馈、静态分析、安全扫描或形式化验证等外部工具,对模型输出进行多轮迭代优化。其基本思想是:智能合约的质量不应仅依赖模型自身概率生成能力,而应通过外部约束与反馈机制持续校正。FSM-SCG (2025)是这一方向的代表性成果。该研究先将需求抽象为有限状态机,再用状态机引导模型生成代码,并根据编译与安全检查结果持续修正。实验显示,该方法最高可将编译成功率提升48%,并使平均漏洞风险分数下降约68%^[13]。由此可见,智能法律合约的可用性提升,并非只依赖模型参数规模,在相当程度上也依赖外部约束、反馈回路与验证工具。

综合现有研究可以发现,法律文本不仅需要转换,更需要解释、核对与归责。技术上越复杂、价值越高的交易场景,越难以由纯粹的端到端生成承担全部职责。因此,大模型嵌入复合型 workflow 是当前技术路线的主要方向。在这种 workflow 中,模型负责需求理解、条款抽取、模板填充、草稿生成与候选性质提议,而数据模型、状态机、静态分析器、证明器和人工复核则负责约束、验证与最终决策。

3 最新研究进展

近两年来,大模型驱动智能法律合约生成的研究重心已经发生明显转移。相较于早期主要围绕模型生成智能合约代码展开的原型性探索,当前研究更关注如何对生成结果进行系统评测、比较不同方法的性能边界,并将安全性、法律合规性与可部署性纳入统一分析框架。换言之,学界的关注正在从生成合约本身转向“生成的合约是否可靠”“是否符合法律语义”“是否能够进入真实应用场景”等问题。这一变化标志着该领域正在由概念验证阶段逐步迈向更具方法论自觉和工程可比性的研究阶段。

在这个转变中,基准评测体系的建立尤为关键。以 SolEval (2025) 为代表的研究不再满足于展示个别模型在特定提示下成功生成某段 Solidity 代码,而是尝试构建面向仓库级任务的统一测试框架,将真实代码仓库、Gas 成本、漏洞率以及通过率等因素一并纳入评估。其结果表明,即便是当前表现较好的模型,在复杂智能合约生成任务中的总体通过率仍然有限,这说明大模型距离稳定生成高质量、可直接应用的智能合约代码尚有明显差距^[14]。然而,这类研究的价值更在于它为不同模型、不同训练策略以及不同工具链方案提供了可比较的评价基准。值得注意的是,该研究还发现,经过监督微调 and 领域适配后,一些较小规模模型在 Solidity 任务上的表现可以得到显著提升^[14]。这表明,智能法律合约生成并不是一般代码生成任务的简单延伸,而是高度依赖领域知识、漏洞模式、执行环境与成本约束的专门问题,未来围绕专门模型、专门数据集和专门工具链展开研究,将成为重要趋势。

与此同时,研究评价的维度也正在由代码正确进一步扩展到法律合规。传统意义上的代码评估,通常关注是否能够通过编译、是否满足功能要求以及是否存在安全漏洞等。但对于智能法律合约而言,仅有这些指标仍然不足,因为其根本问题并不只是代码能否运行,而在于代码是否忠实表达了原合同中的权利义务安排。正是在这一背景下,近期的研究开始尝试对法律忠实性进行量化分析。Wijayakoon 等 (2025) 通过比较自然语言法律合同与生成智能合约在行为过程、条

件关系和义务后果上的一致性，提出了一组基于过程建模的评价指标。研究结果显示，虽然不同模型普遍能够生成语法上可接受的代码，但其在法律合规性方面存在显著差异，规模更大、推理能力更强的模型通常表现更优，但仍不足以脱离人工审查而独立承担起草责任^[17]。这意味着，法学期关注的“代码是否准确体现法律意图”问题，正在从抽象争论逐步转化为可以被结构化分析和经验检验的研究对象。

除生成本身外，大模型在智能合约领域的用途也正在迅速向全生命周期扩展。最新研究越来越多地表明，大模型的最佳角色未必是直接产出最终代码，而更可能是嵌入需求分析、性质归纳、漏洞识别、候选修复和审计解释等多个环节之中^{[12][15]}。无论是利用检索增强和证明器生成验证性质的工作，还是将大模型与静态分析结合以检测逻辑漏洞的研究，都反映出同一趋势：智能合约的开发和治理不是单一的代码生成任务，而是覆盖文本理解、逻辑建模、实现验证和运行审查的闭环过程。

基于上述研究进展，尽管模型在语法生成、结构补全和模式学习方面已取得显著进步，但最新安全研究普遍指出，这些由模型生成的合约代码仍频繁暴露严重漏洞，难以满足真实场景尤其是高价值场景中的部署要求^[10]。由于智能合约一旦部署往往具有较强不可逆性，生成错误的后果会被迅速放大，并可能直接演化为履约异常、资产损失乃至大规模争议。因此，现阶段更稳妥的结论是：大模型已经能够显著提高合约草拟、验证与审查效率，但其使用必须嵌入严格的人机协同和验证增强框架之中。只有将大模型与中间表示、评测基准、静态分析、形式化验证及人工复核结合起来，智能法律合约生成才可能从实验室原型走向可被法律和工程实践同时接受的应用形态。

4 主要法律挑战

对于智能法律合约而言，真正决定其能否进入现实交易和争议解决场景的，往往不是代码能否运行，而是其是否能够与现行法律兼容。目前，大模型驱动的智能法律合约仍面临着以下主要法律挑战。

4.1 法律语言与代码之间的非同构问题

在法律层面的首要挑战，在于法律语言与程序代码之间并不存在完全同构关系。传统合同法中的许多概念具有明显的开放纹理和事实依赖性，例如“诚信原则”“合理注意义务”“重大不利变化”“商业合理努力”等，本质上需要在具体交易背景、证据结构和解释规则中获得意义。而代码则依赖预设变量、确定条件和刚性触发机制，更适于表达高度结构化、客观可验证的规则。

因此，当大模型将自然语言合同直接压缩为代码时，在提高自动化程度的同时，很可能也把本应保留于法律解释层面的开放性条款过度刚性化。这在标准化支付或托管释放场景中或许可控，但一旦进入保险理赔、劳动用工、消费者交易或复杂跨境商事合同，便可能会实质性偏离当事人真实意思表示。因此，智能法律合约研究真正要解决的，是准确识别哪些条款适合编码、哪些条款必须保留解释空间。这一边界识别能力，正是当前大模型仍然相对薄弱的部分。

4.2 自动订约的法律承认与责任归属问题

自动订约在制度上正逐步获得更明确的承认。联合国国际贸易法委员会《自动订约示范法》（2024年）明确建立了自动化系统和人工智能参与合同形成与履行的法律承认框架，并在第5条、第6条中规定，合同不得仅因缺乏自然人逐项审阅或因合同条款以代码形式存在而被否认效力^[17]。在中国内地，《中华人民共和国电子签名法》^[2]和《中华人民共和国电子商务法》^[3]等法律已为电子记录、电子签名及电子合同的形式效力提供制度基础，香港特别行政区《电子交易条例》^[5]也明确，电子记录用于合同成立时，不得仅因其电子形式而否定合同的有效性或可执行性。这些规范说明，自动化本身并不构成否定合同效力的理由。

但与此同时,法律承认自动订约,并不意味着责任归属问题已经解决。对大模型驱动的智能法律合约而言,若合同草案由模型生成、由开发者部署、由当事人签署并由链上代码自动履行,一旦发生语义偏差、逻辑漏洞或误触发事件,究竟应由模型提供者、部署者、审查律师、合同相对方还是其他主体承担责任,现行制度并无统一答案。在司法实践中,对区块链和智能合约的使用并非放任其自动执行自治运行,而是在司法程序框架内通过业务规则和程序监督控制风险。例如,中华人民共和国最高人民法院《关于加强区块链司法应用的意见》提出在调解与审判、审判与执行衔接中探索智能合约程序^[4]。其制度逻辑并非放任自动执行自治运行,而是在司法程序框架内通过业务规则和程序监督控制风险。因此,未来相关实践很可能需要通过合同条款、技术治理和职业注意义务共同分配风险,例如要求明确披露模型参与范围、保留人工复核程序、设置暂停或升级机制,并通过日志和版本记录增强事后可追溯性。

4.3 安全风险、注意义务与专业责任

在智能合约领域,技术风险与法律风险高度耦合。代码漏洞不仅意味着程序缺陷,更可能意味着资产被盗、履约错误、治理被操纵或市场秩序受损。最新研究显示,大模型生成的智能合约即便在语法上看似正确,也可能包含严重可利用漏洞。最新研究也表明,仅靠模型生成代码远不足以满足智能合约开发的安全要求,必须通过性质验证、逻辑漏洞分析与静态确认来形成更稳健的质量控制机制^{[12][15]}。从监管实践看,香港证券及期货事务监察委员会在《适用于虚拟资产交易平台的指引》中明确要求,平台在准入基于智能合约的虚拟资产前,应以应有技能、审慎和勤勉委任独立评估人进行智能合约审计,并持续监测相关资产^[6]。这说明,针对智能合约的审计和持续监测已经开始被具体化为可识别的监管要求。

这一事实在法律上意味着,未来关于智能法律合约的合理注意义务标准,可能将发生新的变化。若开发者、平台、法务人员或部署主体明知大模型生成结果存在较高漏洞风险,却仍未经审计和验证即投入使用,其行为是否构成过失,值得认真讨论。相反,若其已经采取了充分的编译检查、静态分析、形式化验证、人工审计和紧急暂停设计,则其责任判断可能与完全放任模型自动生成并部署的情形不同。也就是说,大模型的引入并不会消解人的责任,反而可能提高对相关主体专业谨慎义务的要求。在这一点上,中国内地司法实践中对智能合约程序的受控使用,以及香港在监管层面对独立审计和持续监控的要求,均体现出同样的制度倾向,即在承认技术便利的同时,将风险控制和人工监督置于更核心的位置。

4 结论

总体而言,大模型驱动的智能法律合约已经从早期的概念性讨论进展到以原型系统、基准评测、验证框架和制度回应为特征的实质性发展阶段。现有研究表明,大模型已能够在自然语言理解、条款抽取、结构化建模、代码草拟、漏洞识别和性质生成等方面发挥显著作用,技术路线也逐渐由直接生成合约演化为中间表示与验证增强相结合的复合式方案。同时,自动订约、AI辅助履约与智能法律合约的法律可承认性也逐渐被确认,为该领域的进一步发展提供了基础规则支撑。

另一方面,从当前发展情况来看,学术层面上的判断仍较为谨慎。大模型可以生成智能法律合约的候选方案,却尚不足以在高价值、强监管或高争议场景中独立承担从法律文本到最终部署代码的全部任务。决定该技术能否真正进入法律实践核心环节的关键,不在于模型是否可以生成智能合约代码,而在于其能否在法律语义、执行逻辑与制度责任之间建立可靠的一致性关系。鉴于此,未来研究应着眼于以下三个重点:第一,构建兼顾法律语义忠实性、安全性与可解释性的综合评测体系;第二,强化中间表示、形式化验证与审计反馈在生成链条中的制度化作用;第三,围绕责任分配、消费者保护、跨境适用与司法救济建立与技术发展相匹配的法律规则。只有在这一意义上,智能法律合约才可能真正发展为可信任的法律基础设施。

参考文献:

- [1] 王迪,朱岩,陈娥,郭倩,李冀宁,孙贻滋,伊然.智能法律合约及其研究进展[J].工程科学学报,2022,44(1):68-81.
- [2] 中华人民共和国电子签名法[EB/OL].(2019-05-07).
- [3] 中华人民共和国电子商务法[EB/OL].(2018-08-31).
- [4] 中华人民共和国最高人民法院.关于加强区块链司法应用的意见[EB/OL].(2022-05-25).
- [5] 香港特别行政区.第 553 章《电子交易条例》[EB/OL].(2025-05-22).
- [6] 香港证券及期货事务监察委员会.适用于虚拟资产交易平台运营者的指引[EB/OL].
- [7] ACCORD PROJECT.Smart legal contracts[EB/OL].
- [8] BARBÀRA F, NAPOLI E A, GATTESCHI V, et al. Automatic smart contract generation through LLMs: when the stochastic parrot fails[C/OL]//Proceedings of the Sixth Distributed Ledger Technology Workshop (DLT 2024).Turin,Italy,2024.
- [9] CHEN E, ROCHE N, TSENG Y H, et al. Conversion of legal agreements into smart legal contracts using NLP[C/OL]//Companion Proceedings of the ACM Web Conference 2023. New York:ACM,2023:1112-1118.
- [10] DO H L, SOHRABI N, HASSAN M U. Evaluating the vulnerability landscape of LLM-generated smart contracts[EB/OL].
- [11] LAW COMMISSION OF ENGLAND AND WALES. Smart legal contracts: advice to Government[R/OL].2021.
- [12] LIU Y, XUE Y, WU D, et al. PropertyGPT: LLM-driven formal verification of smart contracts through retrieval-augmented property generation[C/OL]//The 32nd Network and Distributed System Security Symposium (NDSS 2025).San Diego,US,2025.
- [13] LUO H, LIN Y, YAN X, et al. Guiding LLM-based smart contract generation with finite state machine[C/OL]//Proceedings of the Thirty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-25).Montreal,Canada,2025:5869-5877.
- [14] PENG Z, YIN X, QIAN R, et al. SolEval: benchmarking large language models for repository-level Solidity code generation[C/OL]//Proceedings of the 2025 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Suzhou,China,2025:4388-4411.
- [15] SUN Y, WU D, XUE Y, et al. GPTScan: detecting logic vulnerabilities in smart contracts by combining GPT with program analysis[C/OL]//ICSE'24:Proceedings of the IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering. New York:ACM,2024:1-13.
- [16] UNITED NATIONS COMMISSION ON INTERNATIONAL TRADE LAW. Model law on automated contracting[R/OL].2024.
- [17] WIJAYAKOON C, DONG H, BANDARA H M N D, et al. Legal compliance evaluation of smart contracts generated by large language models[C/OL]//2025 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC).Pisa,Italy,2025:1-9.

Large Language Model – Driven Smart Legal Contracts: Technical Routemap, Research Progress, and Legal Challenges

Cui Chi¹, Wang Xingxing^{*2}

1 School of Information Science and Technology, Zhengzhou Normal University,
cuichi0713@hotmail.com

2 School of Business, Macau University of Science and Technology,
2109853gbb30034@student.edu.mo

Abstract: With the rapid development of generative artificial intelligence, especially large language models (LLMs), the automatic generation of smart contracts from natural language has evolved from a conceptual exploration into a field that can now be experimentally implemented, systematically evaluated, and technically verified. Recent studies show that LLMs are capable not only of generating smart contract code such as Solidity from business requirements, legal texts, and contractual clauses, but also of assisting in clause extraction, formal modeling, security auditing, and compliance assessment. At the same time, existing research consistently indicates that, although LLM-generated smart contracts have made notable progress in syntactic correctness and preliminary functional implementation, they still exhibit significant limitations in legal semantic fidelity, vulnerability control, formal verification, and production-level deployability. Accordingly, the role of LLMs in this domain is more appropriately understood as that of auxiliary tools for the generation and verification of smart legal contracts, rather than autonomous systems capable of fully replacing legal professionals and smart contract developers or auditors. Starting from the conceptual distinction between smart contracts and smart legal contracts, this paper systematically reviews the principal technical paths through which LLMs drive the development of smart legal contracts, as well as the representative research advances in recent years, and on that basis analyzes the major legal challenges confronting this field. It argues that the key issue for future research does not lie in whether LLMs can generate code, but in whether they can establish a verifiable, interpretable, and accountable correspondence among legal texts, computational logic, and the consequences of execution.

Keywords: Large Language Models, Smart Legal Contracts, Legal Technology, Blockchain

*Corresponding Author