融合网页多源数据治理的规则增强 RAG 用于电力市场风险决策支持研究

史墨轩
广州工商学院，广东 佛山 528138

DOI: 10.61369/TACS.2026090053

摘　　要： 针对电力市场风险决策中多源信息分散、领域知识注入不足、推理可解释性弱等问题，提出融合网页多源数据治理的规则增强检索增强生成（RAG）方法。构建覆盖采集、清洗、实体对齐、知识抽取的数据治理流水线；设计规则前置过滤、规则引导检索、规则约束生成三级增强机制，将电力市场风控规则贯穿检索与生成全流程。在验证集上通过网格搜索完成超参数调优后，测试集结果表明 MRR 达0.87，风险识别准确率达92.1%，事实性错误率仅3.2%，均显著优于基线模型。

关 键 词： 电力市场；风险决策；检索增强生成；多源数据治理；规则增强

Research on Rule-enhanced RAG Integrating Web Multi-source Data Governance for Power Market Risk Decision-making Support

Shi Moxuan
Guangzhou College of Technology and Business, Foshan, Guangdong 528138

Abstract: Aiming at the problems of scattered multi-source information, insufficient injection of domain knowledge and poor reasoning interpretability in power market risk decision-making, this paper proposes a rule-enhanced Retrieval-Augmented Generation (RAG) method integrated with web multi-source data governance. A data governance pipeline covering collection, cleaning, entity alignment and knowledge extraction is constructed. A three-level enhancement mechanism including pre-rule filtering, rule-guided retrieval and rule-constrained generation is designed to embed power market risk control rules throughout the whole process of retrieval and generation. After hyperparameter tuning via grid search on the validation set, the test-set results show that the MRR reaches 0.87, the risk recognition accuracy is 92.1 %, and the factual error rate is only 3.2 %, which are significantly better than those of baseline models.

Keywords: power market; risk decision-making; Retrieval-Augmented Generation; multi-source data governance; rule enhancement

引言

我国电力市场化改革持续深化，现货市场建设范围不断扩大，中长期交易与辅助服务市场机制逐步完善。与此同时，高比例新能源并网规模快速增长，极端天气事件频发，多重因素交织导致市场运行不确定性显著增强，价格异常波动、供需动态失衡、政策规则迭代等风险因素相互叠加，对市场主体的风险研判能力提出更高要求。谢敬东等从市场主体、市场运营、市场价格、市场交易、市场管理五个层面构建了包含16项指标的电力市场风险评估体系[4]。丁红坚等针对抽水蓄能电站竞价场景，采用条件风险价值方法度量现货市场风险[5]；加鹤萍等在综述中系统梳理了基于机器学习方法的现货电价预测研究进展，指出融合多源信息是重要方向[6]。

传统风险决策方法以结构化交易数据为核心，难以全面覆盖政策调整、行业舆情、气象扰动等多元化风险驱动因素。检索增强生成（Retrieval-Augmented Generation，RAG）技术由 Lewis 等[1]于2020年提出，通过在生成前检索外部知识片段引导模型基于权威知识输出，有效缓解大模型幻觉问题。Gao 等[2]将 RAG 优化归纳为检索优化、生成增强、知识融合三类。赵俊华等指出 RAG 与知识图谱结合是解决电力领域大模型知识准确性的重要路径[8]。晋良海等构建了融合 LLM-RAG-KG 的电力安全问答模型，验证了知识图谱增强检索的作用[10]。然而，将 RAG 应用于电力市场风险决策仍面临三方面挑战：通用 RAG 未充分嵌入业务规则，领域适配性差；决策推理缺乏可解释性；网页非结构化数据尚未有效治理。针对上述问题，本文提出融合网页多源数据治理的规则增强 RAG 方法[11-12]。

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

一、规则增强 RAG 框架设计

本文框架采用五层架构（图1），自上而下依次为数据层、治理层、知识层、推理层与应用层。数据层对接电力交易中心官网、能源主管部门平台、行业资讯网站与气象数据平台等多类网页数据源；治理层执行清洗、标准化、知识抽取与质量校验全流程；知识层包含向量数据库、规则库与电力市场知识图谱三类存储组件；推理层集成规则增强检索与规则约束生成模块，实现“规则引导检索、规则约束生成”的全链路增强[3]；应用层面向终端用户提供风险预警、决策建议生成与风险溯源查询功能。领域规则分为政策法规类、市场机制类、风险预警类三类，采用“结构化逻辑 + 自然语言描述”双轨表示方式[7]。

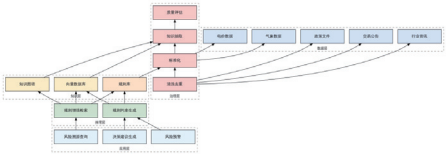


图1 规则增强 RAG 框架总体架构

三级规则增强机制为：第一级规则前置过滤，在检索执行前根据用户请求的场景类型匹配对应规则类目，限定检索的数据范围与知识类型，缩小检索空间；第二级规则引导检索，将核心规则文本向量化后参与混合检索的相似度匹配，使检索结果同时满足语义相关性与规则符合性；第三级规则约束生成，在生成阶段的系统提示词中注入匹配到的核心规则条目，明确要求模型输出必须符合规则约束，且结论需标注对应的规则依据，从源头抑制领域幻觉。

二、关键技术实现

网页采集基于 Playwright 框架，适配 JavaScript 动态渲染页面，官方站点每日采集2次、资讯站点每日1次，上述频率系数据时效性与服务器负载的工程权衡。实体对齐构建涵盖市场主体、政策名称、交易品种、风险术语共4大类约1 200个实体的领域词典，采用编辑距离与语义相似度双重匹配策略，阈值在300对人工标注实体上通过网格搜索确定。

混合检索采用“BM25+ 向量检索 + 规则匹配”三路融合。BM25得分计算为 $Score=\sum IDF(qi)\times f(qi,D)\times(k1+1)/[f(qi,D)+k1\times(1-b+b\times|D|/avgdl)]$，其中 k1控制词频饱和，b 控制文档长度归一化。向量检索采用 bge-large-zh-v1.5嵌入模型（维度1024），并使用领域对照语料以对比损失微调以提升领域适配性。重排序采用 bge-reranker-large 交叉编码器模型。RAG 生成采用 Qwen2-72B-Instruct 大语言模型，固定 temperature=0保证结果可复现。知识图谱定义4类核心实体与6类核心关系，存入 Neo4j 图数据库，每日增量更新。

三、实验与结果分析

数据集覆盖山西省电力交易中心官网等6个核心站点（2024年1月至2025年6月），含政策文件320份、交易公告1 860份、行业资讯10 220篇、日前电价与气象时序数据各547条。由3名电力领域专家人工标注200条风险决策类问答，每条标注标准答案、相关文档列表与风险判定结果。200条标注数据按7:3随机划分为验证集（140条）与测试集（60条），验证集仅用于超参数搜索与模型选择，测试集仅用于最终性能报告，两者完全不重叠。主指标为平均倒数排名 $MRR=(1/|Q|)\times\sum(1/rank_i)$。基线包括：纯大语言模型（Qwen2-72B-Instruct）、基础 RAG（未微调嵌入）、传统知识库问答。

所有超参数在验证集上通过网格搜索确定，结果如表1所示。BM25的 k1=1.8、b=0.62均偏离默认值1.5和0.75，表明电力领域语料需独立调优：k1增大说明本语料词频信息丰富，适度提高饱和阈值有助于区分文档相关性；b 降低说明政策类长文档含更全面规则信息，不宜过度惩罚。分块512 token、重叠10% 时检索效果最优。融合权重0.18/0.57/0.25表明向量检索贡献最大，规则匹配权重高于关键词检索，验证了规则引导的有效性。注入规则 Top-3优于 Top-5，过多规则引入噪声反而降低生成质量。无参 RRF 融合 MRR 为0.84，略低于学习权重，可作为轻量化替代。

表1 超参数搜索范围与最优值

超参数	搜索范围	最优值	验证集 MRR
BM25 k1	0.5~2.5	1.8	0.82
BM25 b	0.2~0.9	0.62	0.83
分块大小 /token	256~1024	512	0.85
分块重叠率 /%	0~30	10	0.86
融合权重 α / β / γ	约束和为1	0.18/0.57/0.25	0.87
注入规则条数	1~10	3	0.87
实体相似度阈值	0.70~0.90	0.82	0.85

测试集结果如表2所示。本文方法 MRR 达0.87，风险识别准确率92.1%，事实性错误率仅3.2%，均显著优于基线模型。消融实验中，移除规则增强后准确率降至83.4%，嵌入不微调 MRR 降至0.77，验证了规则增强机制与领域微调的独立贡献。案例分析：2025年6月18日山西省发布高温橙色预警（38.2℃），本文方法同时召回气象预警数据、电价历史波动规律与需求响应政策规则，准确识别出“高温负荷激增 + 电价上行”叠加风险，风险等级判定为高，并给出提高中长期合约比例、参与需求响应获取补偿等决策建议，均标注规则依据与数据来源。

表2 测试集性能对比

模型	MRR	准确率 /%	错误率 /%
纯大语言模型	0.54	70.6	15.8
基础 RAG	0.69	80.8	9.6
传统知识库问答	0.61	75.5	11.4
本文方法	0.87	92.1	3.2
移除规则增强	0.76	83.4	9.6
嵌入不微调	0.77	84.1	7.8

四、结论

本文面向电力市场风险决策场景，提出融合网页多源数据治

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

理的规则增强 RAG 框架。构建了覆盖采集、清洗、知识抽取的网页多源数据治理流水线，设计了贯穿检索与生成全流程的三级规则增强机制。通过验证集网格搜索完成7项超参数的系统调优，测试集结果表明 MRR 达0.87，风险识别准确率92.1%，规则增强机制贡献8.7个百分点，事实性错误率从9.6% 降至3.2%。方法的局限性在于核心规则初始构建依赖人工梳理，未来可融合多模态数据、开展领域大模型微调并优化实时处理能力。

参考文献

[1] LEWIS P, PEREZ E, PIKTUS A, et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks[C]//NeurIPS. 2020: 9459-9474.
[2] GAO Y, XIONG Y, GAO X, et al. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey[J]. arXiv:2312.10997, 2023.
[3] LUAN Y, EISENSTEIN J, TOUTANOVA K, et al. Sparse, Dense, and Attentional Representations for Text Retrieval[J]. TACL, 2021, 9: 329-345.
[4] 谢敬东，陆池鑫，鲁思薇，等 . 基于序关系 - 熵权法的电力市场风险评估 [J]. 中国电力，2021, 54(6): 71-78.
[5] 丁红坚，辛诚，李沐阳，等 . 考虑电力现货市场风险的抽水蓄能电站竞价策略 [J]. 电力建设，2024, 45(5): 150-158.
[6] 加鹤萍，郭宇辰，马乾鑫，等 . 基于机器学习方法的现货电价预测研究综述 [J]. 电力建设，2025, 46(2): 160-179.
[7] 黄莹，薛禹胜，谢敏，等 . 价格接受模式下发电集团电 - 碳协同交易决策优化方法 [J]. 电力系统自动化，2023, 47(21): 25-35.
[8] 赵俊华，文福拴，黄建伟，等 . 基于大语言模型的电力系统通用人工智能展望：理论与应用 [J]. 电力系统自动化，2024, 48(6): 13-28.
[9] 李子骏，肖辉，李雪峰 . 面向知识密集型任务的检索增强生成技术综述 [J]. 微电子学与计算机，2025, 42(10): 48-65.
[10] 晋良海，张倩，徐童欣，等 . 融合 LLM-RAG-KG 的电力生产安全事故问答大模型 [J]. 中国安全科学学报，2026, 36(3): 66-73.
[11] 张犬俊，谢杨，房春荣，等 . 检索增强生成在软件工程中的应用综述 [J]. 软件学报，2026, 37(3): 1316-1339.
[12] 陈晓红，傅文润，刘朝明，等 . 人工智能大模型在电力设备运维场景中的应用探讨 [J]. 中国工程科学，2025, 27(1): 180-192.

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License