

陕西省教育厅自然科学研究项目

可行性研究报告

项目名称：面向电力安全规程的检索增强生成智能问答关键技术研究

项目负责人：陈婉莹

所在单位：西安电力高等专科学校

申请日期：2026 年 7 月 1 日

陕西省教育厅

面向电力安全规程的检索增强生成智能问答关键技术研究

1.项目背景与国内外研究现状

1.1 项目背景及意义

电力安全规程是保障电网安全运行的核心技术依据，涵盖设备操作、检修维护、事故处置等全业务流程。随着新型电力系统建设深入推进，规程文档的规模与复杂程度持续增长，一线运维人员对规程知识的精准查询需求明显上升。当前，电力行业规程知识服务主要依赖关键词检索与人工经验传授两种方式——前者要求用户准确输入术语，难以处理自然语言提问；后者知识传递效率低、覆盖面有限，均无法满足基层班组对便捷、精准、可溯源的知识获取需求。

大语言模型在通用文本理解与生成上表现突出，但直接用于电力规程问答时存在两个明显短板。其一，模型对跳闸、重合闸、保护压板等专业术语缺乏准确认知，回答中常出现概念混淆。其二，通用模型倾向于在信息不足时自行补全，编造不存在的条款或操作步骤，这一缺陷在安全规程场景中构成实质性风险。

检索增强生成（Retrieval-Augmented Generation, RAG）技术通过“先检索、后生成”的双阶段机制，将外部知识库与 LLM 相结合，有效约束模型基于事实文本作答。GridCodex 框架利用 LLM 和 RAG 技术实现了电网规程的自动化解读，通过多阶段查询优化和增强检索，在答案质量上取得了 26.4%的提升。SPR-RAG 框架通过语义解析检

索器与知识图谱的融合，在真实电力政策语料上实现了 90.01% 的忠实度。基于 RAG 的电力交易智能客服系统在国网电力交易中心对比测试中，准确率达 81%，响应时间缩短 20%。面向电网调度规程的 RAG 问答模型通过自动化高质量数据集生成与鲁棒微调，在准确率上显著优于基线模型。

综合来看，RAG 在电力知识问答方向已有初步探索，但已有工作大多面向政策解读或交易客服场景，对规程文档自身的层级结构特点考虑不足，也缺少针对术语增强和溯源机制的系统方案。本项目以电力安全规程为对象，围绕上述空白开展 RAG 适配研究，在技术方法和应用场景两个维度上均有明确切入点。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 RAG 技术研究进展

RAG 技术由 Lewis 等人于 2020 年首次提出，经过数年发展已从“检索-生成”两阶段框架演进为包含查询改写、多路召回、重排序、上下文压缩等模块的复杂流水线。在检索策略方面，主流方法采用“稀疏检索+稠密检索”的多路召回策略——利用 BM25 等传统词匹配算法与基于 Embedding 的向量检索相结合，再通过交叉编码器重排序，实现术语精确匹配与语义相似度计算的协同优化。

面向电力领域，VM-PowerQA 框架提出了向量检索与多任务微调协同驱动的智能问答系统，围绕数据库表选取、SQL 生成、SQL 纠错及结果总结四个核心任务完成模块设计，在端到端准确率上比现有最佳方法提高了 12.1 个百分点，尤其在复杂查询上提升显著达 21.0

个百分点。**SPR-RAG** 引入基于社区检测的实体消歧技术，将自然语言查询转化为逻辑形式，在领域知识图谱上进行结构化查询，在真实电力政策语料上实现了 90.01% 的忠实度。

1.2.2 RAG 在电力规程问答中的应用

GridCodex 是一个端到端的电网规程推理与合规性审查框架，利用 LLM 和 RAG 技术实现了电网规程的自动化解读，通过多阶段查询优化和增强检索（**RAPTOR**）提升答案质量。实验表明，该框架在答案质量上实现了 26.4% 的提升，召回率提升超过 10 倍。

面向电网调度规程，有研究提出了基于检索增强的问答模型，通过解析调度规程条款自动生成高质量微调数据集，并采用低秩适应（**LoRA**）方法进行鲁棒微调，增强了模型对无关信息的抵抗能力。面向电力政策分析，**SPR-RAG** 通过融合结构化和非结构化证据，有效缓解了模糊实体名称、文本冗余和检索内容不相关导致的幻觉问题。

在电力交易领域，基于 RAG 的智能客服系统通过文档预处理、文本块分割、向量化存储、文本检索、动态选择器和回答生成等步骤，在国网电力交易中心对比测试中准确率达 81%，较未改进系统（62%）提升显著。

1.2.3 电力规程知识服务研究进展

在电力安全领域，有研究提出了面向电力安全领域的通用知识库构建方法，结合电力行业本质安全分析框架与大语言模型的信息抽取优势，涵盖安全制度与操作规程的结构化处理。国网信通股份中电飞华前瞻性提出了“电力安全规章制度智能检索工具的研制”课题，旨在

构建专为电力安监领域设计的智能问答与溯源大模型。该小组创新性结合 NLP 与机器学习技术，提出融合 Bce 和 BM25 的智能检索算法，在国网无锡供电公司试点应用中，将单个问题的查询时间从 20 分钟以上缩短至 1 分钟以内。有研究构建了包含 429 万个图谱节点和 98 万个向量数据的标准知识库，具备标准知识问答、标准辅助生成和标准差异比对等功能。

1.2.4 现有研究的不足

尽管上述研究取得了积极进展，但面向电力规程的 RAG 智能问答仍存在以下不足：（1）规程文档解析深度不够：电力规程具有“章-节-条-款”的强层级逻辑和大量嵌套条款，现有研究多采用固定长度切片，导致语义碎片化，影响检索效果；（2）电力术语语义增强不足：通用 Embedding 模型对跳闸、重合闸、保护压板等电力专业术语的语义区分能力有限，现有研究缺乏针对性的术语增强方案；（3）溯源机制关注不足：现有研究多关注检索精度和回答准确率，对问答结果的可追溯性关注不够，而溯源能力是电力行业对知识服务的刚性要求；（4）系统化适配方案缺失：面向电力规程的 RAG 应用研究整体尚处于起步阶段，缺乏从文档解析、语义检索到可信生成的完整技术方案。

1.3 研究意义

本项目针对上述不足，聚焦电力安全规程的智能化问答需求，围绕规程文本的结构化治理、领域语义检索与可信问答生成开展系统研究，旨在形成一套面向电力规程的 RAG 智能问答完整技术方案，为

电力企业规章制度智能解读、安全知识培训等场景提供技术参考。

2.项目研究内容、关键技术和研发目标

2.1 项目研究内容

本项目以电力安全规程文本为研究对象，针对规程文档结构复杂、专业术语密集以及通用大模型在垂直领域问答中容易产生幻觉等问题，围绕非结构化文本的语义表征与精准问答开展研究，主要包括以下四个方面。

（一）电力安全规程文本的预处理与语料库构建

电力规程文档具有强层级逻辑和大量嵌套条款，直接切分会导致语义碎片化，影响后续检索效果。本研究将解析规程的章节结构和条款标号，识别条件状语、操作步骤等语义单元，设计基于逻辑边界的智能分块策略，使每个文本片段保留完整的上下文信息。同时针对规程中的表格数据，研究表格结构与正文内容的关联方法，将表格信息有效纳入检索范围。

（二）面向电力术语的语义向量检索方法研究

通用 Embedding 模型对电力专业术语的语义区分能力有限。本研究拟收集电力行业公开的技术词典与术语库，对开源语义模型进行术语增强训练，提升模型对电力词汇的敏感度。在此基础上设计稠密向量检索与稀疏关键词匹配相结合的双路召回策略，通过领域术语的精确匹配修正纯语义检索的偏差，提高条款召回准确率。

（三）基于检索增强生成的问答实现研究

通用大语言模型直接回答专业问题容易编造不存在的条款，这在电力安全场景中不可接受。本研究构建检索-增强-生成的处理流水线：将用户问题向量化后在语料库中检索相关条款，将检索结果作为外部知识注入大语言模型，通过约束性提示词引导模型仅依据提供的条文作答。当检索结果与问题相关性不足时，模型直接输出无法回答的提示，从机制上避免幻觉产生。

（四）问答溯源机制验证与原型系统搭建

建立回答结果与引用来源的自动关联机制，使每条输出结论均可回溯至具体的规程条款编号和原文片段，满足电力行业对信息可追溯的要求。在此基础上利用轻量化 Web 框架搭建原型验证系统，选取规程典型章节构建测试集，通过对比实验评估检索精度、回答质量和响应效率。

2.2 关键技术

（1）规程文档的层级解析与智能分块技术

针对电力规程文档“章-节-条-款”的强层级逻辑，研究基于树状结构的文档解析算法和基于语义边界的自适应切块策略，确保每个知识块保留完整的逻辑上下文，避免关键安全措施在切片中被截断。

（2）面向电力术语的双路混合检索技术

设计“BM25 稀疏检索+向量稠密检索”的多路召回策略，利用交叉编码器进行重排序，实现电力专业术语精确匹配与语义相似度计算的协同优化。

（3）带约束的 RAG 生成与幻觉抑制技术

设计带引用约束的提示词模板，强制模型基于检索事实生成带出处标注的答案。当检索证据不足时执行“拒答”机制，从源头控制回答的准确性。

• 2.3 研发目标

(1) 形成一套面向电力安全规程的 RAG 智能问答技术方案，涵盖规程文本结构化治理、领域语义检索、可信问答生成与溯源验证完整流程；

(2) 搭建基于轻量化 Web 框架的原型验证系统，支持自然语言提问、规程条款检索、答案生成与引用溯源功能；

(3) 发表论文 1 篇，登记计算机软件著作权 1 项，提交项目技术研究报告 1 份。

3.技术方案及创新点

本章围绕“数据怎么来—数据怎么存—知识怎么查—答案怎么出”四条技术主线，逐层阐述系统设计方案，并在此基础上提炼三个创新点。

3.1 整体技术路线

本项目采用“数据治理→语义索引→检索生成→溯源验证”四层递进式架构。整体设计理念是：以数据治理为根基，以语义索引为桥梁，以检索生成为核心，以溯源验证为保障，四层之间通过标准化数据接口衔接，形成从“原始规程文档”到“精准可溯源答案”的完整处理流水线。整体技术路线如图 3-1 所示。

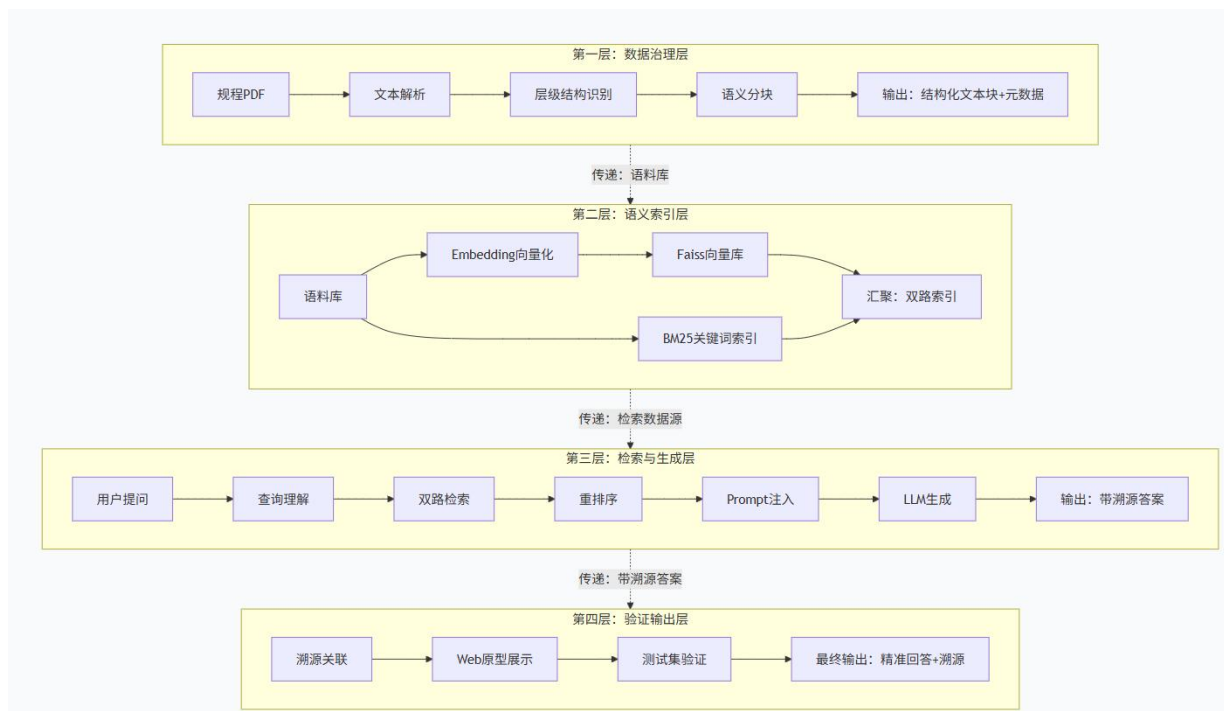


图 3-1 面向电力规程的 RAG 智能问答系统整体技术路线图

本项目采用四层递进式架构，以数据治理为根基、语义索引为桥梁、检索生成为核心、溯源验证为保障。各层级通过标准化接口单向传递核心数据物料，层间仅保留主数据流，逻辑简洁清晰。数据治理层完成原始规程结构化处理，输出结构化文本元数据至语义索引层；语义索引层构建向量与关键词双路索引库，作为检索数据源交付检索生成层；检索生成层融合用户提问与索引库，基于约束提示词完成可信问答生成，输出带溯源标记的答案；溯源验证层完成条款来源绑定、前端展示与性能测试，输出可溯源、可验证的电力规程问答结果。整套技术链路覆盖层级感知智能分块、双路混合检索、约束式幻觉抑制与可信溯源三大创新点。

各层功能与数据传递关系如下表 3-1 所示。

表 3-1 各层级传递关系

层级	核心功能	输入	输出	传递给下层
第一层：数据治理层	将非结构化规程文档转化为结构化语料	PDF/Word	结构化文本块+元数据	第二层（语料库）
第二层：语义索引层	构建双路索引，支撑语义与关键词检索	结构化文本块+元数据	双路索引（Faiss 向量库+BM25 索引）	第三层（检索数据源）
第三层：检索与生成层	理解用户提问，检索相关条文，生成可信答案	双路索引+用户提问	带溯源标注的答案	第四层（待验证答案）
第四层：验证输出层	溯源关联验证、原型展示、性能评估	带溯源标注的答案	精准回答+条款编号+原文片段	最终输出

3.2 各模块详细方案

3.2.1 第一层：数据治理层-规程文档结构化

（1）本层解决的核心问题

电力规程文档具有“章-节-条-款”的强层级逻辑和大量嵌套条款，通用固定长度切分会导致语义碎片化——例如将一条完整的安全操作步骤从中间切断，后续检索时只能召回片段而非完整条款，导致 LLM 无法获取完整上下文。

（2）处理流程

图 3-2 是数据治理层处理流程。

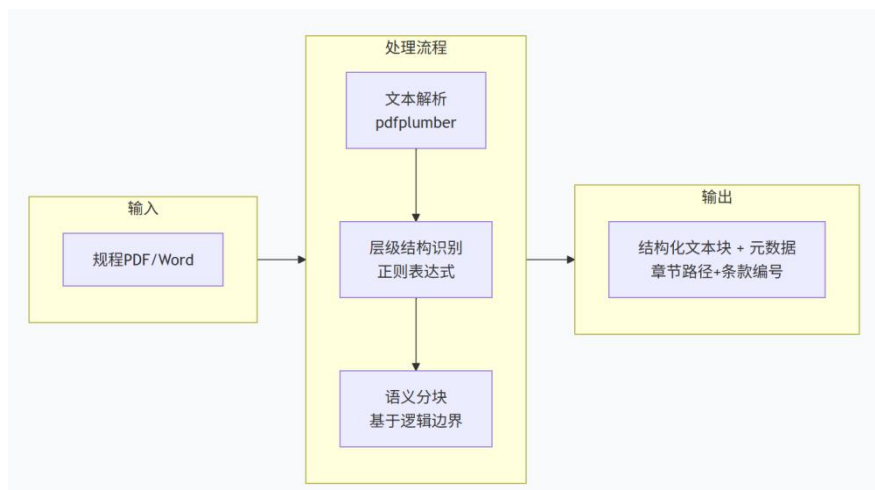


图 3-2 数据治理层处理流程

(3) 关键技术步骤

步骤一：文本解析：利用 Python 的 pdfplumber 库读取电力规程 PDF 文件，提取正文文本、表格、章节标题等信息。针对扫描版 PDF，采用 Tesseract OCR 进行文字识别。解析后的文本保留原始页码和位置信息，为后续表格与正文关联提供依据。

步骤二：层级结构识别：基于正则表达式匹配规程的编号体系（如 15.2.3、第 15 条等），构建树状层级索引，建立条款之间的父子关系。以某规程为例，第 3 章高压设备巡视下的第 15 条变压器巡视会被记录为第 3 章→第 15 条的父子关系，该元数据将在溯源阶段用于定位条文来源。

步骤三：语义分块：现有方案的不足在于，通用 RAG 系统多采用固定长度切片（如按 512 字符切分）或简单按段落切分。对于电力规程这类具有条件→操作→判断逻辑结构的专业文档，前者会切断因果链条，后者会丢失条款间的层级关系。

本项目的策略是以条款为基本切分单元，进一步按语义边界细分。

具体做法是：首先识别规程中的条件状语（如“当...时”）、操作指令和判断结论，将这些逻辑单元独立成块。每个分块不仅包含文本内容，还携带完整的层级路径元数据——包括章节名称、条款编号、层级深度和分块类型（如处置流程、故障判断）。这样既保证了每个分块的逻辑完整性，又保留了溯源所需的全部路径信息。以变压器轻瓦斯动作处理条款为例，系统会将其拆分为记录汇报和现场检查两个独立分块，各自携带相同的层级元数据，确保后续检索时既能精准匹配具体操作步骤，又能追溯其所属的完整条款上下文。

步骤四：表格处理：规程中包含大量巡视项目表、操作条件表等结构化信息。本项目通过识别表格边界和表头结构，将表格内容转换为键值对形式的文本描述（如“油温：每日检查，标准 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ”），与正文内容关联存储，确保表格信息在向量检索中同样可被召回。

3.2.2 第二层：语义索引层——双路索引构建

（1）本层解决的核心问题

通用 Embedding 模型对电力专业术语的语义区分能力有限——“变压器跳闸”和“断路器跳闸”在通用语义空间中距离较近，但在电力场景中分属不同设备类型，纯粹依赖语义检索会造成混淆。同时，纯粹的关键词检索又无法理解“主变”和“变压器”是同一概念。因此，本项目采用双路索引并行构建的策略，让语义检索和关键词检索各自发挥优势。

（2）处理流程

如图 3-3 所示。

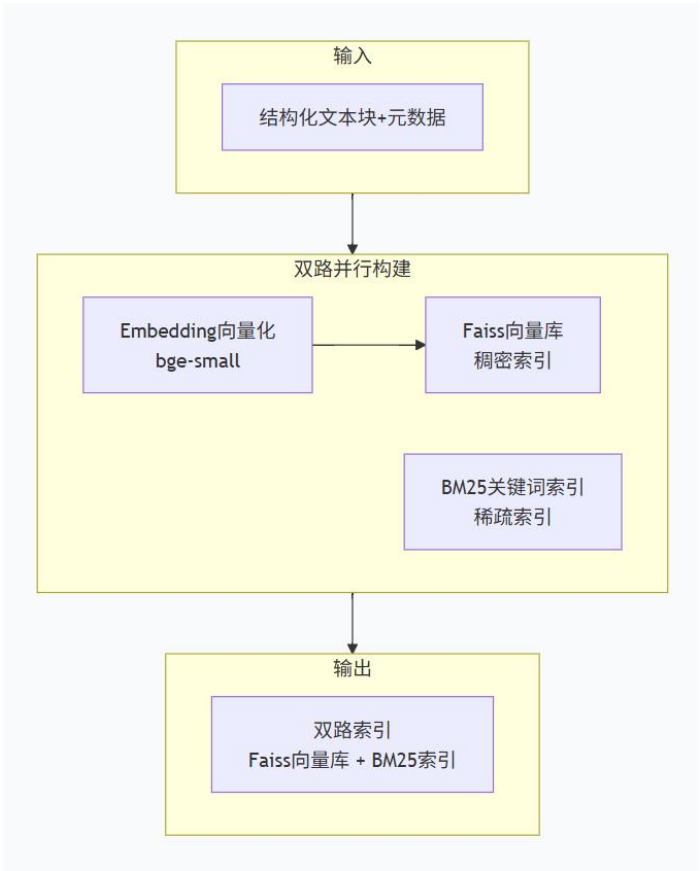


图 3-3 双路索引构建流程

（3）关键技术步骤

步骤一：Embedding 向量化：采用 BAAI/bge-small-zh-v1.5 轻量级中文 Embedding 模型，将每个文本块转换为 768 维稠密向量。该模型在 C-MTEB 中文语义检索基准上表现优异，且可在普通 CPU 环境下运行。为提升模型对电力专业术语的语义区分能力，在上述通用模型基础上进行术语增强训练：首先收集电力行业公开术语词典（DL/T 标准术语、国家电网术语库）中的术语对（如主变→主变压器、跳闸→断路器跳闸），构建电力领域术语同义词表；然后采用对比学习方法，将同义术语对的向量距离拉近、异义术语对（如轻瓦斯→重瓦斯）的向量距离推远，对 bge-small 模型进行微调，使其在经过术语增强

后能够更准确地区分电力场景中的相似但不同义的术语。语义相似度采用余弦距离度量——用户问题向量与文档向量夹角越小，表示语义越相近。

步骤二：向量索引构建：使用 Faiss 向量数据库构建稠密向量索引，采用 IVF（倒排文件索引）加速检索，将检索时间复杂度从 $O(n)$ 降至 $O(\log n)$ ，确保在大规模语料下的检索效率。

步骤三：BM25 关键词索引构建：同时构建 BM25 稀疏关键词索引，用于术语精确匹配。BM25 是一种基于词频的排序函数，能够评估文档与查询关键词的匹配程度。当用户输入包含轻瓦斯、重瓦斯等精确术语时，BM25 索引能够直接定位到包含这些词汇的条文，弥补语义检索在专有名词匹配上的不足。

两条索引独立构建、并行存储，在查询时分别返回结果后合并，形成互补。语义检索擅长理解用户意图、召回同义表述，关键词检索擅长精确匹配术语、不漏专有名词。

第二层输出的双路索引将作为第三层检索模块的数据源。

3.2.3 第三层：检索与生成层-核心处理流水线

（1）本层解决的核心问题

通用大模型直接回答规程问题容易产生“幻觉”——编造不存在的条款或操作步骤，这在电力安全场景中不可接受。本层通过“检索约束生成”机制，先检索到真实条文，再强制模型基于条文作答，从源头控制回答的准确性。

（2）处理流程

如图 3-4 所示。

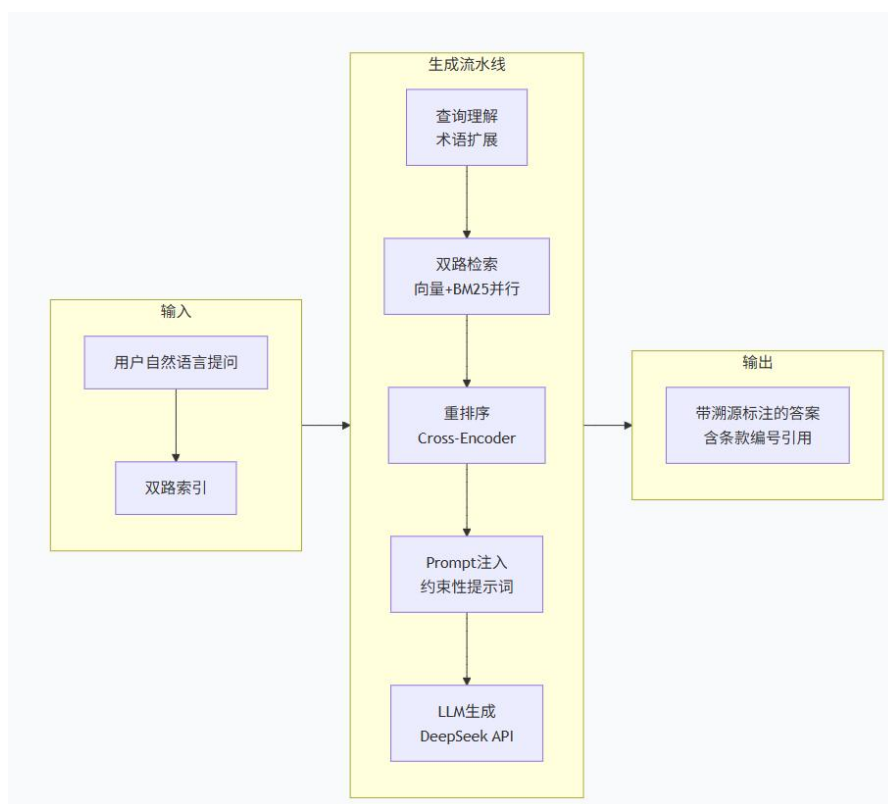


图 3-4 RAG 生成流水线

（3）关键技术步骤

步骤一：查询理解与术语扩展：收集电力行业公开术语词典（DL/T 标准术语、国家电网术语库），对用户问题中的专业词汇进行识别和扩展。例如，用户输入“主变跳闸怎么办”，系统识别“主变”为“主变压器”的简称，“跳闸”为“断路器跳闸”的口语表达，自动扩展为“主变压器跳闸处理措施→故障判断→应急处置流程”的完整语义路径，用于后续检索。

步骤二：双路检索：将用户问题同时通过两条路径检索：

稠密向量检索：将问题向量化后，在 **Faiss** 向量库中检索语义最

相似的 Top-20 文本块；（2）稀疏关键词检索：使用 BM25 算法进行关键词精确匹配检索，同样返回 Top-20 结果。

两路检索并行执行，互不依赖，各自发挥优势。

步骤三：重排序：合并两路检索结果（共 40 条候选条文），使用交叉编码器（Cross-Encoder）进行精细排序。与向量检索采用的“双塔”架构不同，交叉编码器将问题和候选文档拼接后共同输入模型进行联合编码，能够捕捉问题和文档之间的深层交互信息，排序精度更高。最终输出经过精细排序的 Top-5 条文。

步骤四：约束性 Prompt 注入：设计带三层约束的提示词模板：

（1）来源约束：强制模型仅依据提供的规程条文作答，不得引入外部知识；（2）格式约束：要求每条结论必须标注引用来源（条款编号）；（3）拒答约束：当检索条文与问题无关时，模型必须执行“拒答”，严禁编造。

若检索到的 Top-5 条文中最高相似度得分低于预设阈值（本项目取 0.7），则判定为证据不足，直接触发拒答，不进行生成。这避免了 LLM 在证据不足时自行发挥。

完整的提示词模板：你是一个电力规程问答助手。请仅依据以下提供的规程条文回答问题。如果以下条文无法回答问题，请直接回答“未找到相关依据”，严禁编造。【规程条文 1】（来源：第 X 章第 X 条）[检索到的条文内容]；【规程条文 2】（来源：第 X 章第 X 条）[检索到的条文内容]。问题：[用户问题]。请基于上述条文作答，并在每条结论后标注引用来源（条款编号）。重要：如果上述条文内容

与问题无关或无法回答问题，请直接回答："未找到相关依据，建议查阅规程原文。"

步骤五：LLM 生成：将 Prompt 发送至大语言模型 API（采用 DeepSeek-V3，备选通义千问-Qwen-Max）获取回答。模型在严格的 Prompt 约束下生成的答案，每条结论均附带条款编号引用。

第三层输出的“带溯源标注的答案”将传递至第四层进行溯源验证和原型展示。

3.2.4 第四层：验证输出层-溯源与评估

（1）本层解决的核心问题

电力行业在知识服务中明确要求信息可追溯——回答不仅要给出结论，还需注明依据来源。本层确保每条结论都能回溯到具体的规程条款原文，实现“句句有依据，条条可溯源”。

（2）处理流程

如图 3-5 所示。

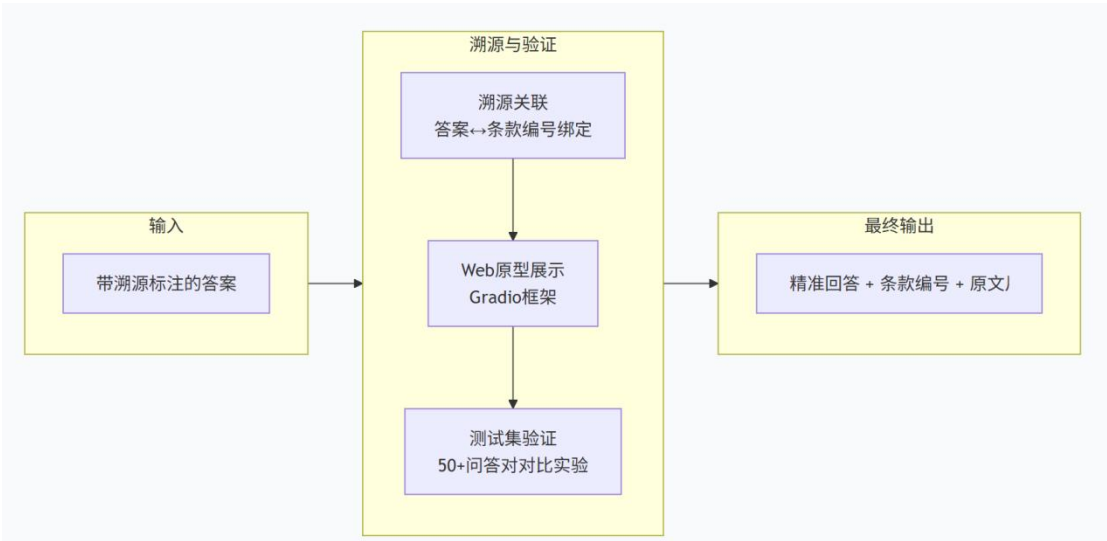


图 3-5 溯源验证与系统输出流程

（3）关键技术步骤

步骤一：溯源关联：解析 LLM 输出的答案，提取其中的条款编号引用（如“第 3 章第 15 条”），在语料库中定位对应的原文片段，建立答案片段与原文之间的映射。前端展示时，用户点击条款编号即可弹出原文弹窗，实现“点击即见原文”的可追溯展示。

步骤二：Web 原型系统：搭建轻量化 Web 界面，包含输入区（文本框+提交按钮）、回答展示区（关键结论加粗显示，溯源链接可点击）、溯源展示区（卡片形式展示引用来源，点击弹出原文）和置信度指示器（低于阈值时标注“仅供参考”）四个功能区。

步骤三：测试集构建与评估：选取规程中的典型章节（高压设备巡视、倒闸操作、事故处理等），人工构建不少于 50 组问答对的标准测试集。测试集覆盖三种类型：单条款问答（答案集中在一个条款中）、跨条款推理问答（答案需要综合多个条款）、拒答场景（规程中不存在正确答案的提问）。

评估指标包括：（1）检索命中率：Top-5 检索结果中包含正确答案的比例，目标值 $\geq 85\%$ 。该指标衡量检索模块“有没有把正确答案捞回来”。（2）事实准确率：生成答案中无幻觉、与检索条文一致的比例，目标值 $\geq 90\%$ 。该指标衡量 LLM“有没有照着条文说”。（3）溯源准确率：引用来源与答案内容一致的比例，目标值 $\geq 95\%$ 。该指标衡量溯源机制“有没有张冠李戴”。（4）端到端响应时间：从用户提问到答案输出的总耗时，目标值 ≤ 5 秒。

3.3 创新点

本项目围绕规程问答的完整链条，在文档处理、检索策略和生成控制三个环节分别形成技术特色，三者前后衔接，共同支撑从输入到输出的全流程：

创新点(1)：规程文档层级感知智能分块策略

针对通用 RAG 系统固定长度切片导致语义碎片化的问题，本项目基于规程“章-节-条-款”的树状结构，设计了层级感知的智能分块策略。以条款为基本单元，按语义边界（条件状语、操作指令、判断结论）进行细分，每个分块携带完整的层级路径元数据。这一策略从数据源头保障了知识块的逻辑完整性，为后续检索精度和溯源能力奠定了基础。

创新点(2)：面向电力术语的双路混合检索机制

针对通用 Embedding 模型对电力术语区分度不足的问题，本项目设计了“向量语义检索（bge-small）+ BM25 关键词检索”并行、经 Cross-Encoder 重排序的双路混合检索机制。语义检索召回同义表述，关键词检索锁定专有术语，两者互补，有效提升了规程条款的召回准确率。

创新点(3)：基于检索约束的幻觉抑制与可信溯源机制

针对通用大模型在电力安全场景中的幻觉风险，本项目设计了“来源约束+格式约束+拒答约束”三层 Prompt 机制，强制模型仅依据检索条文作答、每条结论标注引用来源、证据不足时执行拒答。同时建立答案与条款编号的自动关联，实现了“句句有依据，条条可溯源”

的可信问答。

3.4 可行性分析

从技术可行性来看，RAG 技术路线已在金融、法律、医疗等多个垂直领域得到验证，各模块均有成熟开源工具支撑（pdfplumber、Faiss、Gradio 等），大模型 API 服务稳定可用。本项目不涉及模型训练，无算法不收敛的风险。

从数据可行性来看，电力规程为国家及行业公开发布的标准文件（《电力安全工作规程》GB 26860 等），可通过中国电力标准数据库、百度文库等公开渠道获取，数据来源合法合规，不涉及企业涉密生产数据。

从资源可行性来看，本项目为纯软件算法研究，开发调试对硬件要求适中（主流配置计算设备即可支撑），无需采购专用 GPU 服务器。大模型推理采用 API 服务调用，相关费用已列入经费预算。

4.工作进度安排和阶段目标

表 4-1 工作进度表

序号	开始日期	结束日期	工作内容
1	2026 年 9 月	2026 年 10 月	文献调研与需求分析，确定技术选型， 收集电力规程原始文本
2	2026 年 11 月	2027 年 1 月	规程文本解析与结构化处理，设计分块 策略，完成语料库构建
3	2027 年 2 月	2027 年 4 月	语义模型术语增强训练，搭建向量库， 实现双路检索模块

4	2027 年 5 月	2027 年 7 月	构建 RAG 生成流水线，设计约束性提示词，完成问答模块开发
5	2027 年 8 月	2027 年 10 月	搭建轻量化 Web 原型系统，实现答案溯源与展示功能
6	2027 年 11 月	2028 年 1 月	构建测试集，开展对比实验，评估检索与问答性能指标
7	2028 年 2 月	2028 年 5 月	撰写论文并投稿，申请软件著作权，完善系统
8	2028 年 6 月	2028 年 9 月	整理研究成果，撰写技术报告，准备结题验收材料

5.经费预算

科目名称	预算金额	备注
（一）直接费	2 万元	
1.人工费		
(1)专职研究人员费		
(2)临时性研究人员费		
2.设备费		
(1)仪器设备使用费		
(2)软件使用费		
3.业务费	1.7	
(1)材料费		
(2)资料费		
(3)印刷出版费		
(4)专利与知识产权事务费		
(5)会议费		
(6)差旅费		
(7)培训费		

4.场地使用费		
(1)场地物业费		
(2)场地使用租金		
5.专家咨询费	0.3	
(二) 间接费		
(三) 外委支出		
1.外委研究支出		
2.仪器设备租赁费		
3.外协测试试验与加工费		
(四) 税金		
合计	2 万元	

6.6.预期成果形式及先进程度

6.1 预期成果形式

本项目围绕面向电力安全规程的检索增强生成智能问答关键技术展开研究，预期取得以下成果：

- (1) 《面向电力安全规程的检索增强生成智能问答关键技术研究》技术报告 1 份；
- (2) 发表或录用高水平学术论文 1 篇；
- (3) 提交计算机软件著作权登记申请 1 项。。

6.2 先进程度

当前，RAG 技术在电力领域的应用正处于快速发展阶段。GridCodex 框架通过多阶段查询优化和增强检索实现了 26.4%的答案质量提升；SPR-RAG 在真实电力政策语料上实现了 90.01%的忠实度；

VM-PowerQA 框架在电力数据库查询任务上实现了端到端准确率 12.1 个百分点的提升；基于 RAG 的电力交易智能客服系统准确率达 81%，响应时间缩短 20%。

本项目在借鉴上述研究的基础上，聚焦电力规程文档的层级结构特性与专业术语特征，在文档解析策略、术语增强检索和溯源机制三个方面进行针对性优化，形成一套面向电力规程的 RAG 智能问答完整技术方案。研究成果可为电力行业规程知识智能化服务提供技术参考，推动电力规程知识服务从传统检索模式向智能化、可信化的方向演进。

7.推广应用前景分析

本项目研究成果可直接服务于电力行业规程知识的智能化应用。随着国家电网“人工智能+”专项行动的深入推进，基层班组对精准、便捷、可溯源的规程知识查询需求明显上升。

应用上，本项目的技术成果可落地三个方向。面向基层班组，辅助运维人员在作业现场快速查阅安全操作依据；面向培训考核，为安全培训教材的智能化检索提供底层支持；面向企业制度管理，可用于规章文档的自动解读和合规性比对。

从技术可迁移性来看，本项目形成的规程文档解析、语义检索与可信问答生成方法，不仅适用于电力安全规程，还可迁移至电力行业的其他规程规范文档（如调度规程、检修规程、技术标准等），具有良好的扩展性。

从推广基础来看,国家电网公司已发布“光明电力大模型”并在 27 家省公司全面部署,覆盖电网规划、运行、运检、客服等 17 类 100 余个核心场景。国网信通股份中电飞华已前瞻性提出“电力安全规章制度智能检索工具的研制”课题,并在国网无锡供电公司实现了将单个问题的查询时间从 20 分钟以上缩短至 1 分钟以内的应用效果。本项目的研究成果可与其现有技术体系对接,具备良好的推广应用条件。

综上所述,本项目研究成果具有良好的推广应用前景,可为电力行业规程知识智能化服务提供有力支撑。