AI赋能配电网数字化转型

从状态感知到智慧决策

国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目录

CONTENTS

1 配网AI应用背景与关键问题

2 配网AI核心技术及典型场景

3 AI赋能配网可靠性管理实践

配网AI应用背景与关键问题

近期，国家密集出台了配电行业发展指导文件，印发《关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》、《关于做好新能源消纳工作保障新能源高质量发展的通知》、《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》等文件，打造新型配电系统，着力提升配电网可靠性、承载力和灵活性。

- **2025.07** **《国家发展改革委 工业和信息化部 国家能源局关于开展零碳园区建设的通知》（发改环资〔2025〕910号）**
  ……支持有条件的地区率先建成一批零碳园区，逐步完善相关规划设计、技术装备、商业模式和管理规范，有计划、分步骤推进各类园区低碳化零碳化改造，助力园区和企业减碳增效，为实现碳达峰碳中和目标提供坚实有力支撑。
- **2024.07** **《关于印发加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）的通知》（发改能源〔2024〕1128号）**
  四、配电网高质量发展行动（七）组织编制建设改造实施方案……（八）健全配电网全过程管理……（九）制定修订一批配电网标准……（十）建立配电网发展指标评价体系……。
- **2024.05** **《关于做好新能源消纳工作 保障新能源高质量发展的通知》（国能发电力〔2024〕44号）**
  ……组织电网企业统筹编制配电网发展规划，科学加强配电网建设，提升分布式新能源承载力……全面提升配电网可观可测、可调可控能力。
- **2024.02** **《关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》（发改能源〔2024〕187号）**
  ……打造安全高效、清洁低碳、柔性灵活、智慧融合的新型配电系统。
- **2023.06** **《新型电力系统发展蓝皮书》**
  ……基于分布式新能源的接入方式和消纳特性，以实现分布式新能源规模化开发和就地消纳为目标的智能电网，主要领域在配电网。

配网AI应用背景与关键问题

随着碳达峰、碳中和进程加快推进，新能源开发集中式与分布式并举，电能替代的广度和深度不断拓展， 电力负荷持续增长，配电网**可调负荷、电动汽车、分布式光伏、新型储能、微电网、资源聚合商**等新要素进入规模化发展阶段，**数据**是新型电力系统的重要**生产要素**，**“碳”和“数”**是配电网发展不同阶段必须要考虑的要素，配电网新兴要素、多元主体高速发展。

承载力提升　　**电力电量平衡**　　**台区自治管理**

负荷



电动汽车



光伏



储能



配网AI应用背景与关键问题

配电网作为新型电力系统的关键领域和直面终端用户的主要环节，面临**管理体系、网架结构、技术水平、服务能力**的全面变革。

配电网基础建设水平有待提升

01

2024年底达到**13亿kW**，预计2030年将超过**16亿kW**。

配电网建设成效有待提升

02

运行指标提升成效不明显，配电工程全过程管理合规性存在风险。

配电网差异化运维有待提升

03

运维标准贯彻执行不到位、业务管控穿透力不足。

建设改造投资精准度有待提升

04

规划类、运维问题类（如频繁停电、低电压）和营销业扩类项目投资安排缺少统筹。

配电网管理业务链条长

05

配网规划、工程建设、运行维护不能形成推动配网发展的合力，部分环节管理责任不清。

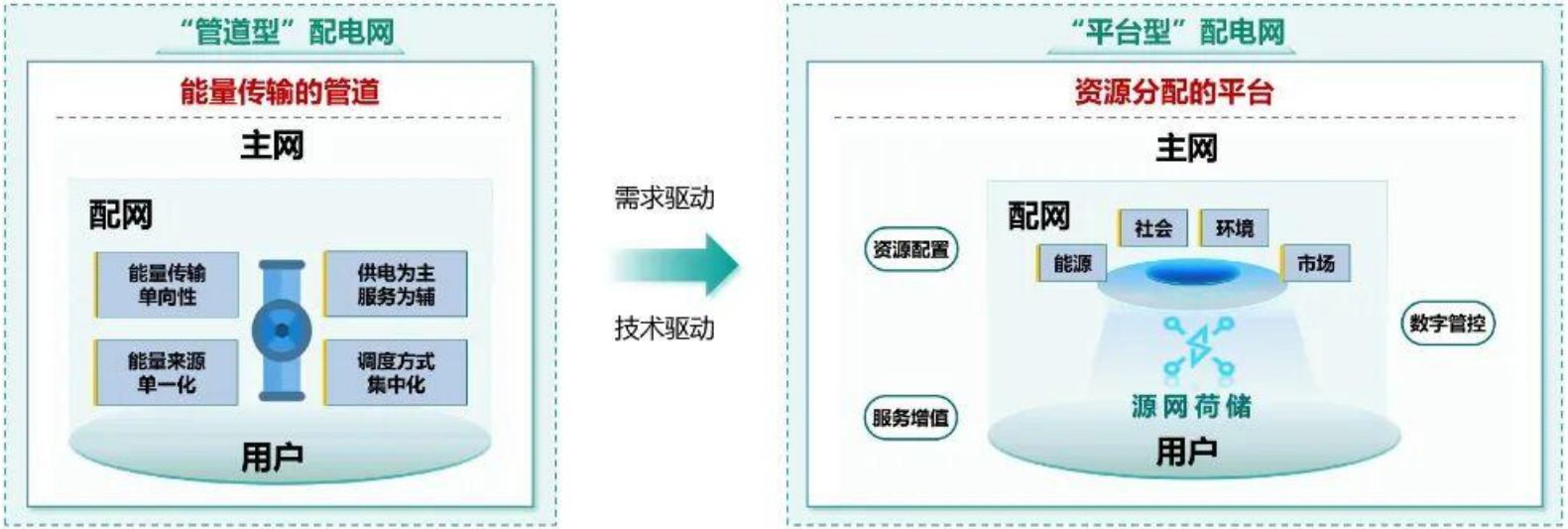
数字化管理水平有待深化

06

生产管理系统基础数据不完整，配电自动化系统、供电服务指挥平台功能应用不规范。

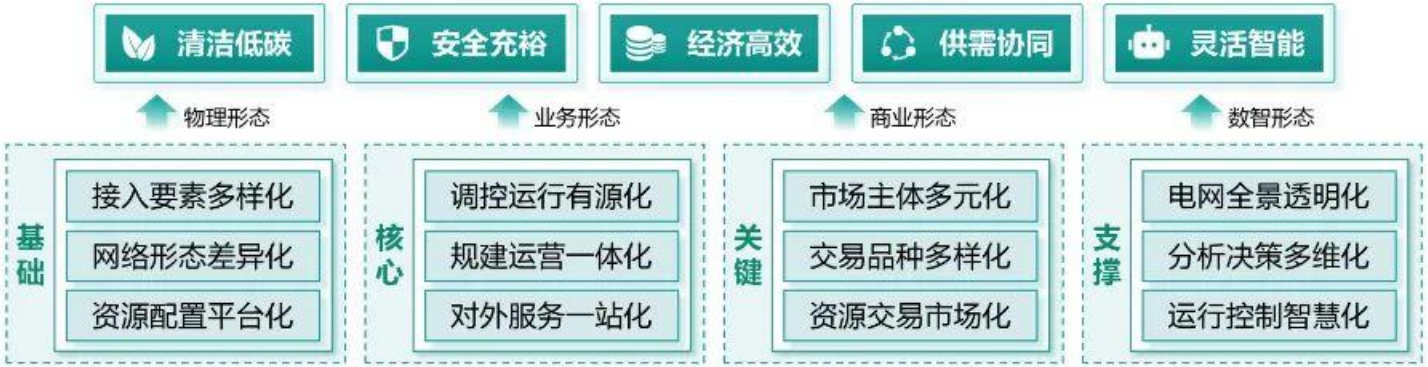
配网AI应用背景与关键问题

“双碳”背景下，配电网作为新型电力系统的关键领域和直面终端用户的主要环节，接入分布式电源、储能、充电桩等大量**非电网资产新要素**，催生了微电网、资源聚合商等新业态，逐步由单向供电的**“管道型”**传统配电网演化为资源配置的**“平台型”新型配电系统**，配电网承上启下，对下汇聚并灵活调控管理各类分布式资源，实现分层分级消纳与自治平衡，对上通过**主配微协同**及电力市场交易机制，发挥电力电量平衡与电力保供的支撑作用。



配网AI应用背景与关键问题

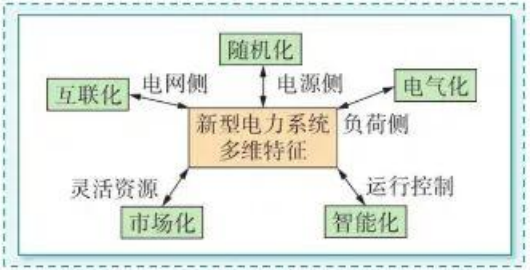
新型配电系统是典型的**信息物理社会系统**，统筹源-网-荷-储-微（聚）**多元灵活性资源**，贯通**规建运营业务环节**，基于“知识+数据+模型+算法+算力”等**数智技术**，协同感知、分析、决策等运行控制环节，实现多元负荷等要素的时空互补控制与调节，形成**大电网-配电网-微电网**协同的主配微控制调节新模式。

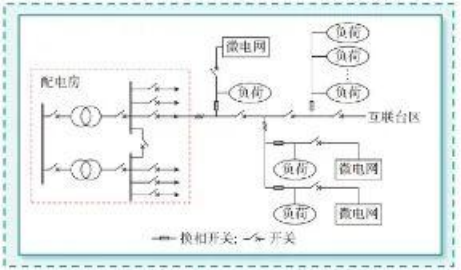


新型配电系统支撑各类主体深度参与、高效协同、共治共享，有效保障优质电力供应，具有**清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能**等特征，其**物理形态、业务形态、商业形态和数智形态**正在发生深刻变革。

配网AI应用背景与关键问题

新型配电系统接入**分布式电源、储能、充电桩**等大量非电网资产新要素，涵盖公司内外部资产，在物理形态上已由**“大电网主导、终端电能配送”**的传统特性向**“大电网支撑、分布式能源高渗透接入、柔性负荷参与互动”**的新型特性加速转变，业务形态上呈现**规建运营一体化**趋势，商业形态上商业模式在配电网分布式资源互动中成为主导因素。







数智化是新型配电系统发展的重要特征和主要手段，亟需在**算力底座、模型标准、通信网络**等方面夯实基础，打破专业界限、打破电网公司内外边界，以全量电力系统思维，实现发输变配用全环节一体化模式在统一平台上进行物理电网和基础数据呈现，实现**“资源接得进、电网稳得住、电力供得好、系统管得好、安全守得牢、业务质效高”**。人工智能是赋能新型配电系统数字化转型支撑的核心引擎。

配网AI应用背景与关键问题

配电网作为联系能源生产与消费的关键枢纽，在“双碳”目标下，呈现高渗透可再生能源、高比例电力电子设备、高增长电力负荷需求等特征，未来配电网关键特性将发生深刻变化，人工智能技术可以更好地**契合新态势下配电网智能发展需求**。

数据处理

随着新型电力系统的建设，电气设备、发电机节点、负荷节点数量都成倍增长，随之而来的海量数据对计算、储存的要求越来越高。且配电网的复杂性、分布式电源的不确定性也对数据的辨识处理有了更高技术的要求。

配电网态势推演

大量分布式新能源、储能和电力电子装备的广泛接入，使得电力系统故障的随机性和非线性性大大增强，故障特征不再明显，建立故障诊断的机理模型及寻找判据日趋困难。

配网全景感知

为实现配网全景感知，传统方法需要加装大量量测装置，配网点多面广，若都安装量测装置，所需投资巨大。

配网运行与运维

新型电力系统配电网的其他方面，如巡检、图像识别等、电力市场中电价预测等、配电网的调度控制等也需要针对算法以及技术手段不断完善。

配网AI应用背景与关键问题

痛点

◆ 跨专业模型不统一

调度依托IEC61970、IEC61850，设备专业主要依托SG-CIM，营销专业主要依托SAP公用模型,各专业主要通过模型实现贯通，各类数据在专业间共享需要多重转换。

◆ 基础数据质量不高

人工智能算法的训练需要大量的高质量数据，然而，配电网的数据来源多样化，质量参差不齐，数据采集和清理是一个复杂的任务。

◆ 业务融合深度不够

人工智能技术与电力业务深度融合、电力大模型与成熟小模型有机结合等方面尚有欠缺。

挑战

◆ 数据采集与处理

电网中各种设备、传感器和信息系统会产生大量的数据，**处理这些数据需要高效的算法和计算资源**。

◆ 模型训练

电网数据标记成本高，**需要探索有效的数据标注方法来增加可用数据量**。

◆ 算法选取与优化

人工智能不同算法特点各异，**将人工智能算法与传统控制方法有机结合是应用关键**。

国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目录
CONTENTS

1 配网AI应用背景与关键问题

2 配网AI核心技术及典型场景

3 AI赋能配网可靠性管理实践

传统人工智能应用架构

（小模型+样本）
定制高、复用少

配电网各应用系统（配电自动化、配网管控微应用群）

专业小模型：
- 设备缺陷识别
- 设备故障诊断
- 配网风险预测
- 智能负荷转供

样本：
- 图像样本
- 缺陷样本
- 历史数据
- 典型方案

新一代人工智能应用架构

（专业大小模型+专业知识底座+角色智能体）
会推理、角色化、可复用

角色智能体：
- 配网运营智能体
- 配网运检智能体
- 配网调度智能体

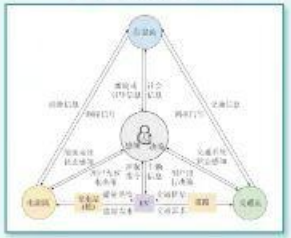
专业大小模型：
- 配电网大模型
- 专业小模型
- 专业小模型
- 专业小模型

专业知识底座：
- 配电网知识底座
- 通用知识
- 配网规范
- 故障缺陷
- 供服流程
- 典型经验

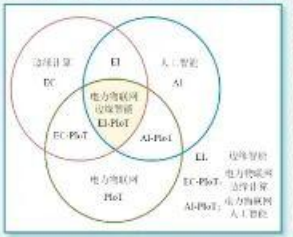
配网AI应用背景与关键问题

新型配电系统呈现出**高比例新能源、高比例电力电子、高比例交直流、高增长负荷需求**等特征。传统技术手段已无法应对高比例新能源接入的**动态平衡**、电力电子化带来的**稳定性控制**、高增长负荷下的**精益化运维**等强非线性问题。配网从 **“静态确定性系统”** 转向 **“动态随机性系统”**，人工智能的**非线性建模、实时决策、全局优化**能力成为破解这些难题的关键路径。

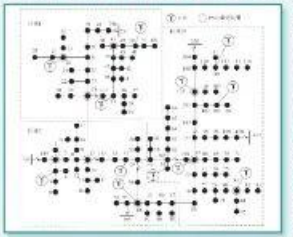
多信息流引导下带来的复杂决策难题



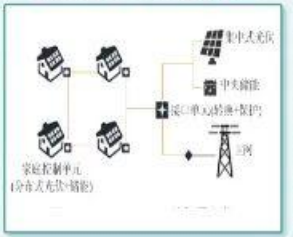
大量数据传输带来的边缘计算和就地决策问题



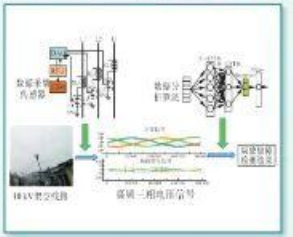
复杂拓扑变化带来的状态估计与优化运行问题



强随机性带来的新能源功率预测问题



复杂运行工况下带来的状态感知和故障诊断问题



业务层面问题

- 基层老龄化—**信息化能力下降**
- 复杂运维态势—**主动运维积极性不高**
- 复杂业务场景—**自动化工具迭代升级**

数据层面

- **高维度、强随机性**数据的处理困境。

拓扑变化层面

- **动态重构与关联耦合**的复杂性。

调控策略层面

- **非线性与多目标优化**的冲突。

云边协同层面

- **实时性与安全性**的矛盾。

随着新型配电系统建设加速推进，大量的分布式新能源广泛接入，配电网面临**数据激增与处理瓶颈、复杂性升级、韧性要求提升**等现实挑战，有必要利用人工智能的高维数据学习能力解决各种非线性问题。配网人工智能核心是通过 AI 技术解决配网运行、管理、决策中的痛点，主要关注感知和决策任务，涉及4种典型技术发展和6类关键技术。



时序预测技术发展 | 自然语言处理技术发展 | 语音信号技术发展 | 流程自动化技术发展

时间序列预测是通过分析**按时间顺序排列**的**历史观测**数据，建立**数学模型**预测未来趋势的**统计学**方法，涉及**统计学和数理模型**两大领域。预测技术经历了**统计模型—机器学习融入—人工智能**突破三个主要阶段。随着大语言模型的普及，基础预测模型逐渐在电力、气象等各领域得到深度应用。**集成模型与因果推断**成为主要演进方向。



从本质上看，时间序列预测主要有三个角度的分析视角

- 针对序列趋势的拟合，涉及整合历史数据信息输出**最大似然估计**。
- 马尔可夫估计，利用**状态转移矩阵**实现信息迁移和预测。
- 基于历史先验信息实现预测的**最大后验估计**。多数方法的数学基础都可以追溯到**统计理论**的三种视角。

早期传统 NLP 依赖**人工规则与统计**方法（如隐马尔可夫模型），需**手动设计特征**，仅能处理简单任务；大语言模型通过**海量文本预训练**与千亿级参数规模，实现**跨任务通用**能力。

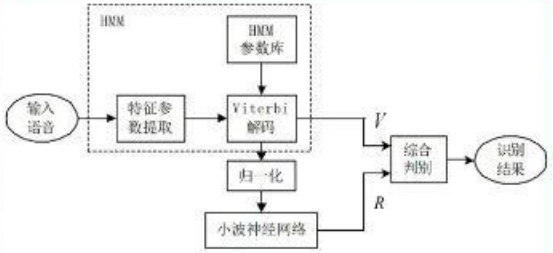
	传统NLP模型	大语言模型
常用方法	N-gram算法 朴素贝叶斯算法 隐马尔可夫模型 条件随机场	GPT系列 BERT及其变体 PaLM Llama
主要特征	依赖人工特征 结构化输出模式 适合短上下文信息 无法捕捉长距离依赖	端到端学习，无需手工特征 处理复杂上下文，多任务一体 强大的上下文理解能力 强大的跨领域泛化能力

维度	传统NLP模型	大语言模型
架构	规则、统计、浅层神经网络	自注意力深度网络
数据需求	小规模、任务专用、数据标注	海量信息、跨领域、自监督无需标注
任务适应性	任务专用、单独设计	一模多用
上下文理解	局部信息、短文本	长文本、全局上下文、强推理能力
资源消耗	低、易部署、适合嵌入式	高、需GPU、部署和维护成本高
生成能力	单一领域弱生成能力	跨领域信息强理解与生成能力
典型应用	局部文本翻译、文本分类	对话、写作、代码生成、问答等

大模型技术在自然语言理解上产生了巨大变革。**传统 NLP** 依赖**局部匹配**，处理歧义句、长文本推理时准确率低，而**大模型**靠**全局语义关联**，复杂场景理解准确率大幅提升；实现从机械匹配到类人认知的跃升。

早期语音处理技术依赖**高斯混合模型**等统计方法，需**人工设计**声学特征，仅能实现**简单语音识别**；随后深度学习利用**神经网络**实现**特征自动提取**，提升了噪声环境下的**鲁棒性**，但局限于单一语音任务。随着**大模型技术**的发展，基于**自注意力架构**的语音大模型通过**海量语音—文本**数据预训练，依赖**全局语义建模**，实现**“语音 - 语义 - 响应”**的端到端处理。

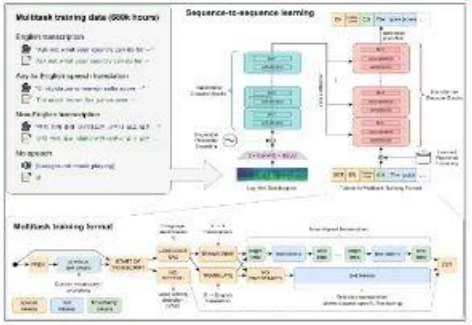
传统方法—隐马尔可夫语音识别模型



鲁棒性差、语义割裂、泛化能力弱

依赖人工设计的声学特征，仅适用于单一场景

whisper音频大模型



- 强大的跨领域理解能力
- 准确的复杂场景建模能力
- 深入的语义理解能力
- 突出的跨场景泛化能力

语音交互

更流畅、更连贯、更准确

同时支持语音识别、语音翻译、语种检测和语音活动检测等多任务的通用音频模型

RPA（**机器人流程自动化**）依托固定规则模拟人类重复性操作，仅能处理结构化、标准化任务；而 APA（**认知流程自动化**）通过构建流程智能体调用**大模型底座能力**和**RAG知识库**能力完成任务输出，实现对复杂场景的**逻辑推理**和**自主学习优化**，将自动化从**机械执行**转向**智能决策**。APA 实现流程处理能力的全面突破。突破 RPA 对结构化数据的依赖，实现跨模态数据的深度理解，跳出 RPA 的固定规则束缚，通过机器学习应对动态变化的场景

RPA—流程自动化



规则驱动—固定逻辑
模拟操作—简单动作
效率聚焦—解决重复流程

复杂推理

自主学习

APA—认知流程自动化



认知赋能—逻辑决策
自主决策—复杂场景
流程重塑—主动优化过程

检索能力

知识互补

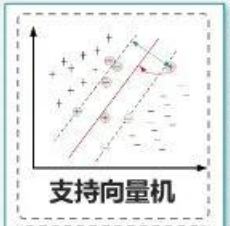
RAG（检索增强生成）通过结合外部知识检索与生成模型，为智能体提供精准、动态的知识支持。精准调用电力专业知识，保障流程合规性，并且灵活适配电网动态变化，优化实时决策流程。

APA 实现**跨模态数据**的深度理解，利用大模型**深度语义能力**应对动态变化场景，从“流程自动化”转变为“认知自动化”。

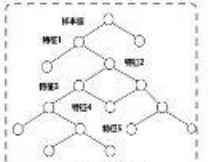
配网AI应用背景与关键问题

人工智能技术发展大致经历**传统统计机器学习-深度学习-大模型**三个主要阶段，主要涉及六项技术算法模型。传统统计学习通过**手工设计特征与数学模型**拟合数据规律，但非线性关系的建模能力较弱。深度学习通过**多层非线性变换**自动提取特征，突破了传统方法的特征依赖。大模型是深度学习的规模化延伸，通过**海量数据自监督**预训练与**微调**模式实现跨任务泛化。整体演进过程是 **“数据驱动 - 算力支撑 - 模型规模”** 的协同升级，也是**“人工设计-特征自适应-规模效应”**的任务突破。

传统统计机器学习

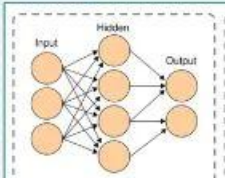


支持向量机

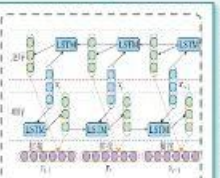


决策树

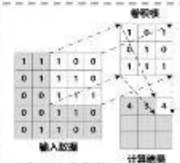
深度学习典型架构



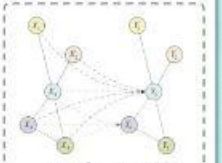
多层感知机



循环神经网络

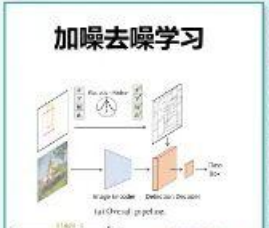


卷积神经网络



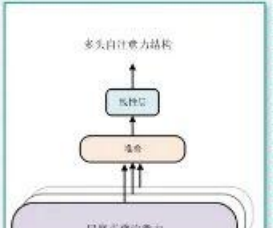
图卷积网络

扩散模型



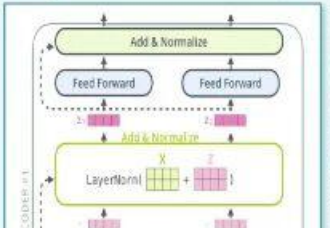
扩散去噪模型

自注意力模型



多头自注意力

大语言模型架构



DeepSeek 混合专家模型

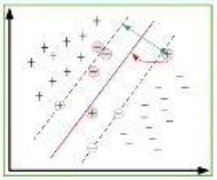
传统机器学习 > 深度学习 > 深度扩散技术 > 自注意力技术 > 强化学习技术 > 智能体构建技术

传统机器学习依托**统计学**和**计算机科学**基础理论，从数据中学习规律并做出**预测或决策**。特点是依赖**人工设计特征**工程，模型结构简单。可解释性较强，适用于处理**结构化数据**；但对**高维非结构化数据**处理能力有限，**泛化性能**受特征质量影响大，难以应对大规模**复杂数据**场景。

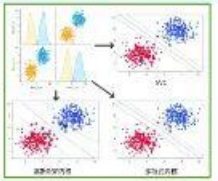
支持向量机

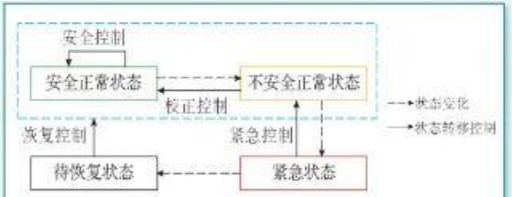
- 最大化分类间隔
- 支持向量决定边界
- 结构风险最小化

线性可分情况 → 分类决策函数



非线性可分 → 核方法 非线性扩展





微网集群状态评估—分类问题

梯度提升方法

加法模型+前向分步算法（平方损失和指数损失）

初始化提升树 → 计算残差 → 残差回归树 → 更新树模型 → 回归提升树

初始化提升树	计算残差	残差回归树	更新树模型	回归提升树
切分变量+切分点 二叉回归树 $f_1(x)=T_1(x)$	$r_{mi}=y_i-f_{m-1}(x)$ $i=1,2,...M$	利用残差数据 形成二叉回归树 $T(x;\theta_m)$	$f_m(x)$ $f_{m-1}(x)+T(x;\theta_m)$	$f_M(x)=\sum_{m=1}^{M}T(x;\theta_m)$

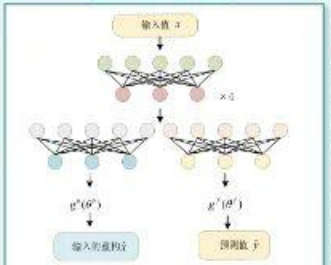
短期负荷预测
（历史用电数据+气象特征预测）

配电变压器故障诊断
（气体成分特征分类识别故障）

传统机器学习 > 深度学习 > 深度扩散技术 > 自注意力技术 > 强化学习技术 > 智能体构建技术

多层感知机（MLP）是一种由**输入层、隐藏层和输出层**构成的前馈神经网络，其核心思想是通过**多层非线性变换**对输入特征进行**逐步抽象**，从而学习数据中复杂的非线性关系。相较于传统方法，其优势在于**自动特征学习、更强的非线性拟合能力、强大的可扩展性**。

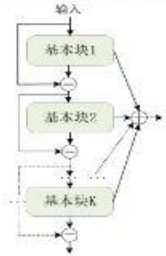
基础块



初始输入为**原始序列**
输出分别为**预测值**和输入值的**重构值**

聚合 / 堆叠

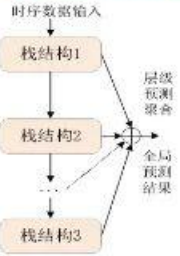
基础块堆叠-残差块



输入为模块**残差值**
输出为模块**预测值**之和

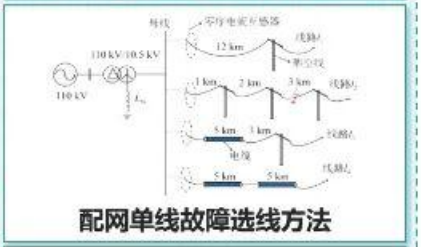
聚合 / 堆叠

残差块堆叠-栈级结构

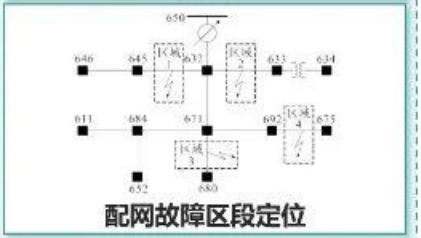


输入为**残差重构值**
输出为多个**残差块预测值**之和

多层感知机在配电网中典型应用



配网单线故障选线方法



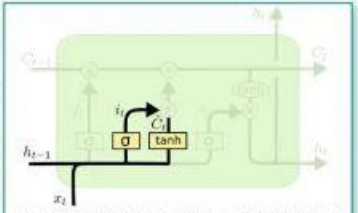
配网故障区段定位

重构输入可以**拟合缺失的特征**信息。由浅入深预测可以充分**保留电力信息多维特征**。

简单通用，深度表达能力，可解释性

循环神经网络（RNN）主要用于处理具有**时间序列特性**的数据，其通过**隐藏层**之间的**循环连接**，让网络在不同时刻能够**传递和记忆信息**，从而捕捉数据中的**时序依赖关系**，以适应**电力系统数据**随时间变化的特点。

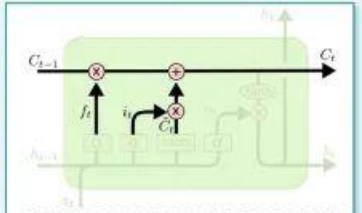
遗忘门



$$i_t = \sigma(W_i \times [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$
$$\hat{C}_t = \tanh(W_C \times [h_{t-1}, x_t] + b_C)$$
$$\sigma(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$$

双曲函数-调整数据分布
Sigmoid-改变特征权重

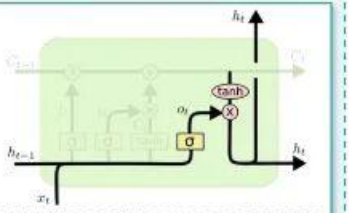
输入门



$$C_t = f_t \times C_{t-1} + i_t \times \hat{C}_t$$

历史状态保留信息
新状态候选保留信息

输出门



$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o)$$
$$h_t = o_t \times \tanh(C_t)$$

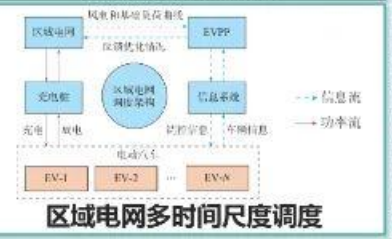
新状态过滤历史状态
形成长短时记忆

长短期记忆网络作为循环神经网络重要改进，有效解决了标准RNN存在的**长程依赖和梯度消失 / 爆炸问题**。

循环神经网络在电力领域的应用



短期电力负荷预测

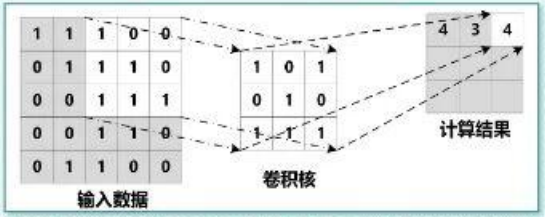


区域电网多时间尺度调度

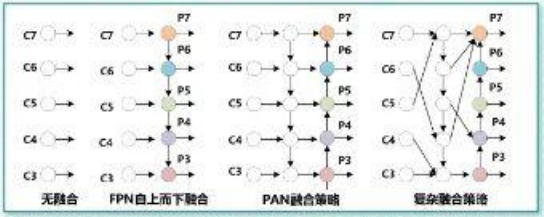
配网AI应用背景与关键问题

卷积神经网络（CNN）以**局部感受野、参数共享**和**池化**操作为核心思想，通过卷积层对输入数据的**局部特征**进行提取，利用**权值共享**减少参数规模并增强泛化能力，多层**卷积堆叠**实现**高维特征交互**。擅长处理图像等**网格结构**数据。广泛用于电力系统的**图像故障识别、运方调整、网络重构决策**等关键场景。

基础卷积操作



多尺度特征融合

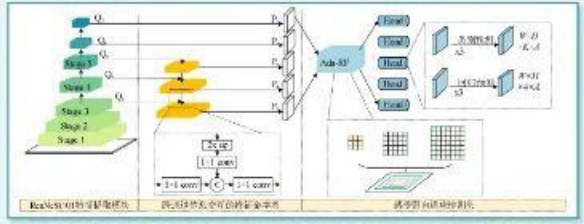


无人机巡检



- 目标分类
- 设备定位
- 缺陷识别

电力场景典型应用：故障检测网络

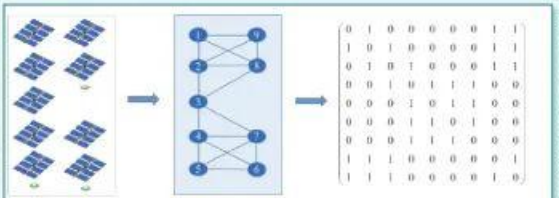


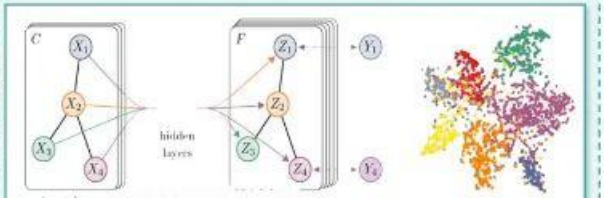
绝缘子缺陷检测



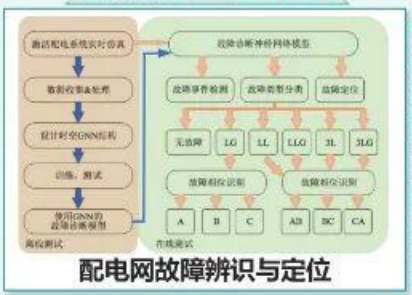
配网AI应用背景与关键问题

图神经网络的核心是通过节点间的**信息传递与聚合**，将配电网的**拓扑结构**编码到**节点特征**中，从而将节点的原始特征与**配电网拓扑信息融合**，最终输出包含结构信息的**节点嵌入向量**，可用于**配电网拓扑**相关的问题场景。

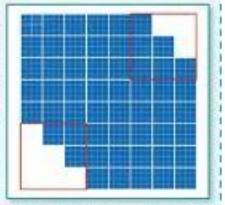




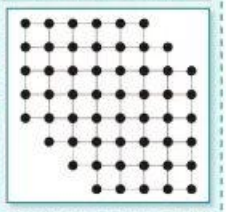
图网络典型场景应用



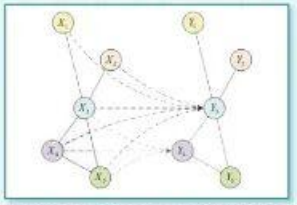
光伏阵列排布



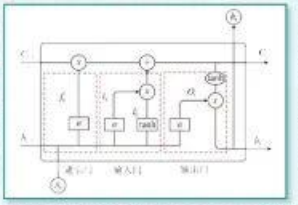
图结构抽象



图神经网络特征提取



拓扑辨识+状态估计





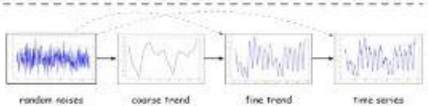
传统机器学习 > 深度学习 > 深度扩散技术 > 自注意力技术 > 强化学习技术 > 智能体构建技术

电力数据可以视为是**无序噪声**不断去噪得到的结果。如果**扩散模型**能学习到**电力去噪模式**，理论上就可以**拟合电力数据的概率分布**，模拟生成过程。

扩散模型在电力预测的典型应用



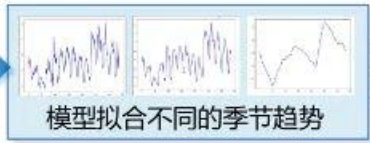
扩散模型去噪随机噪声



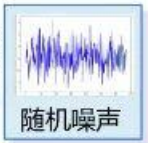
多分辨率扩散模型去噪随机噪声

季节性趋势分解 → 级联扩散模型分解为若干子目表 → 重建多分辨率趋势

子目标对**应从细到粗的季节性**序列中提取的趋势


模型拟合不同的季节趋势

重建


随机噪声

扩散模型基础

$$q(x_{1:T} \mid x_0) = \prod_{t=1}^{T} q(x_t \mid x_{t-1})$$

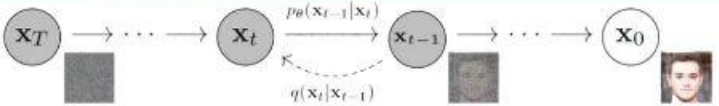
加噪模型的条件概率分布彼此独立

$$q(x_t \mid x_{t-1}) = N(x_t; \sqrt{\alpha_t} x_{t-1}, (1-\alpha_t)\mathrm{I})$$

每个条件概率分布都是高斯分布的采样

$$p(x_{0:T}) = p(x_T) \prod_{t=1}^{T} P_\theta(x_{t-1} \mid x_t)$$

加噪过程和去噪过程是可逆的



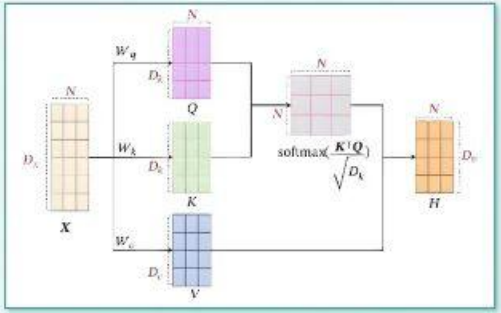
经过复杂的**模型推导**，神经网络最终的**优化目标**在于最小化**加噪和去噪**的概率分布**KL散度**。也即是使加噪过程和去噪过程的**概率分布尽可能相似**。

确定超参数 → 确定任意时刻噪声采样值 → 神经网络拟合噪声模型 → 神经网络生成噪声进行逆扩散

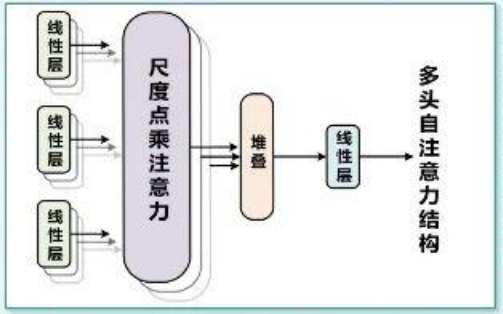
- 配电网量测数据补全
- 配网无人机智能巡检
- 电力负荷跨时空预测
- 配网状态估计
- 数据驱动的配网故障识别

自注意力模型通过计算序列不同元素间的**注意力权重**，捕捉**全局依赖**关系，无需依赖**循环或卷积**操作即可**建模长距离依赖**。其中的**多头注意力**设计思想**并行学习**多组注意力权重，捕捉不同角度的**关联特征**，增强模型对复杂依赖的表达能力。在配电网**潮流优化、新能源功率预测、配电网状态估计**中得到广泛应用。

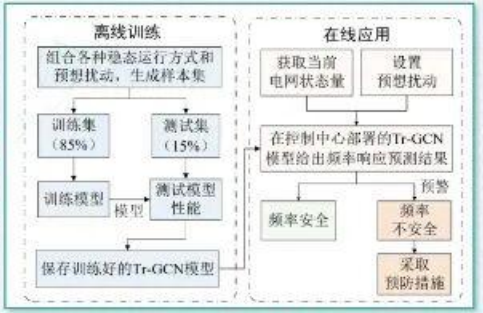
自注意力全局感知



多头自注意力—高维多特征空间映射



电力系统扰动下频率分析



自注意力的重要性在于提供了**全范围感知**的基础计算范式，在大规模**电力数据分析**中可以实现**长距离的信息感知和建模**，提供了**高度可扩展性**，并行扩展可以感知不同特征，串行扩展可以提高学习能力，是大模型的**核心理论基础**。

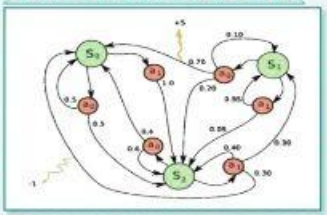
传统机器学习 > 深度学习 > 深度扩散技术 > 自注意力技术 > 强化学习技术 > 智能体构建技术

强化学习通过与环境的**持续互动**，在 **“尝试 - 获得奖励 / 惩罚”** 的循环中**学习最优行为策略**，以最大化**长期累积奖励**，本质是对**动态决策过程**的建模与优化。**深度强化学习**利用深度网络的**表征能力**和强化学习的**决策能力**快速从高维动作空间中找到局部最优解，形成覆盖**大规模搜索空间**的高性能智能体。

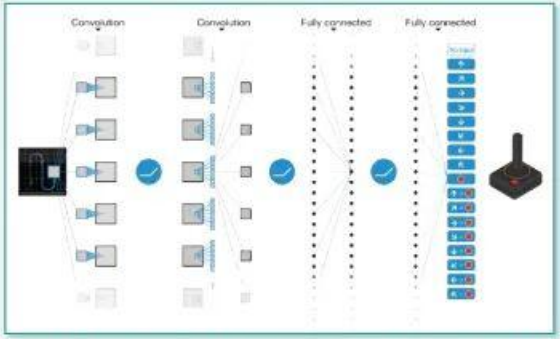
强化学习—接收环境信息、采取动作改变状态



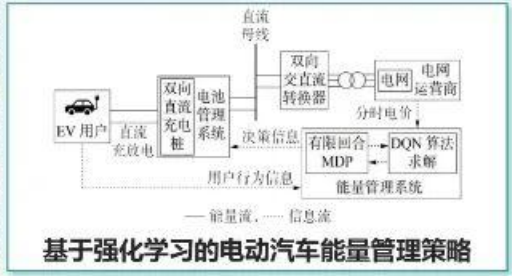
马尔可夫状态转移过程



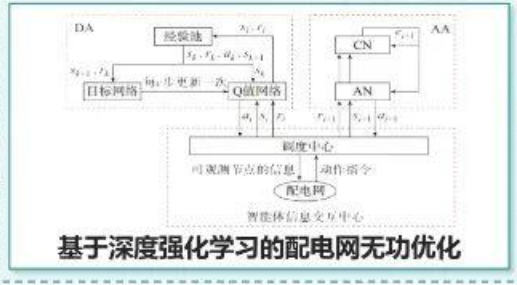
深度强化学习



AlphaZero在大范围的围棋动作空间中，通过**深度强化学习**和**蒙特卡洛树搜索**不断模拟对局，找到局部最优解。



基于强化学习的电动汽车能量管理策略

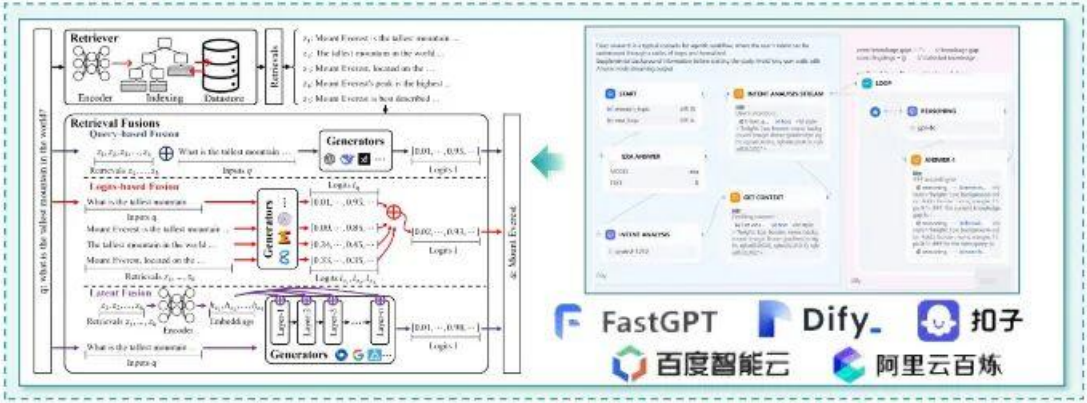


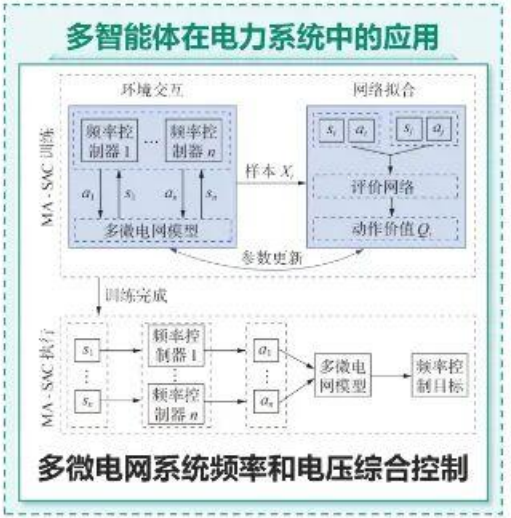
基于深度强化学习的配电网无功优化

传统机器学习 > 深度学习 > 深度扩散技术 > 自注意力技术 > 强化学习技术 > 智能体构建技术

在电力系统中，大模型以**智能体**的形式发挥着重要作用，融合**检索增强生成（RAG）**和**多智能体协作规划（MCP）**技术，助力电力系统的智能化升级。**RAG 技术**能够实时准确地从**海量电力数据**中提取相关信息，与模型自身的**知识储备**结合，生成更可靠的回答或决策建议。对配电网典型场景各环节进行综合优化。

知识增强检索（RAG） ⟷ 电力知识信息嵌入 / 向量知识库检索匹配 ⟷ 智能体构建





电力智能体：智能问答+智能问数+自主决策

国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目录
CONTENTS

1 配网AI应用背景与关键问题

2 配网AI核心技术及典型场景

3 AI赋能配网可靠性管理实践

新型电力系统下，**海量分布式资源**接入加剧配网复杂性。针对配网**需求失准、规划粗放、运维被动**等瓶颈。结合**多头自注意力**的**数据深度聚合**与**动态决策**能力，构建**“事前-事中-事后”**全链条智能决策闭环。该体系包括**多模态数据融合、深度网络特征聚合、强化学习决策反馈**，对故障前后全流程展开分析，支撑**规划-投资-运维**精准协同。



事前多维诊断

基础数据核查治理 + 一二次协同诊断+ “一线一案”

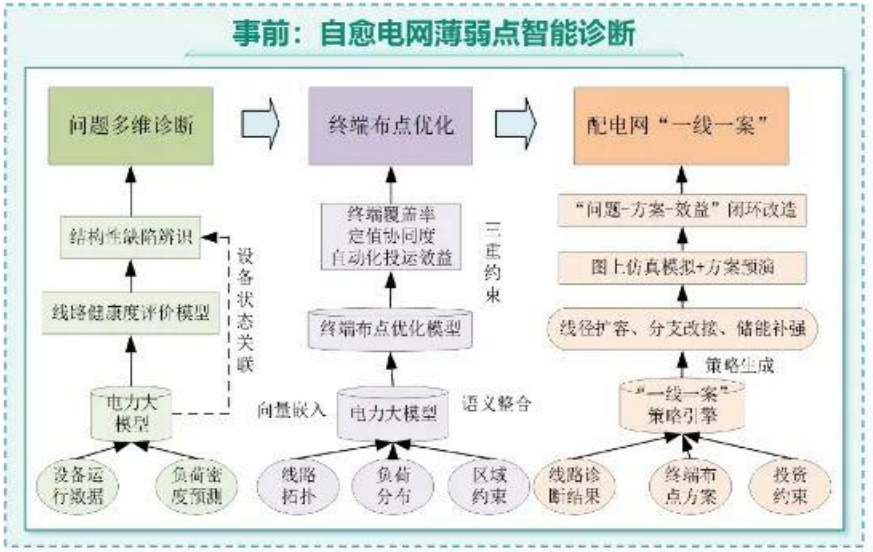
事中自主决策

故障研判+全景感知+负荷转供

事后因果溯源

FA事件感知+FA结构化报告+配自成效评估

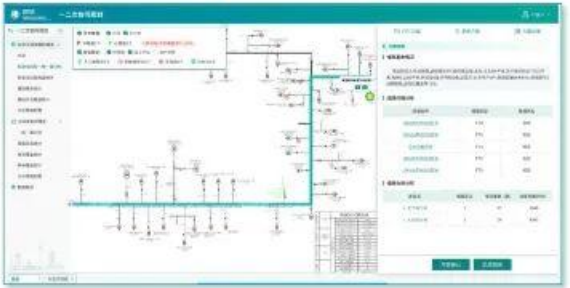
构建大模型驱动的**自愈电网薄弱点智能分析体系**。基于**一二次设备协同诊断**与负荷密度预测，精准识别线路线径不足、分段配置缺陷及转供能力短板等薄弱环节，同步融合**终端布点优化**与**定值合理性校验**，量化评估馈线自动化投运可行性，依托**“一线一案”**框架生成靶向改造方案，实现精准投资决策与资源优化配置。



薄弱点多维统计



“一线一案”分析



基础数据核查助手 > 可靠性数据治理 > 线路问题多维诊断 > 终端布点优化 > 一线一案智能改造方案

聚合营配数据、可靠性台账、停电事件三大核心数据域，利用**嵌入式向量模型**构建融合数据库。打造配网数据治理**智能体**，实现一致性核查。利用**卷积神经网络**开展图模相似度对比，结合**对比学习**提升实现图模数量监护质量。通过**强化学习**反馈构建可靠性数据问答**智能体**，自动周期性排查**基础图模问题、跨专业一致问题**。

图数一致率校验

按照图形台账的对应关系，对图形台账一致率进行检查。

低压线路设备校验

校验低压线路的数据完整性，检查线路拓扑完整性、拓扑连通性。

营销设备图形校验

检查计量箱重复建模，计量箱重复建模的判断。

图形属性类校验

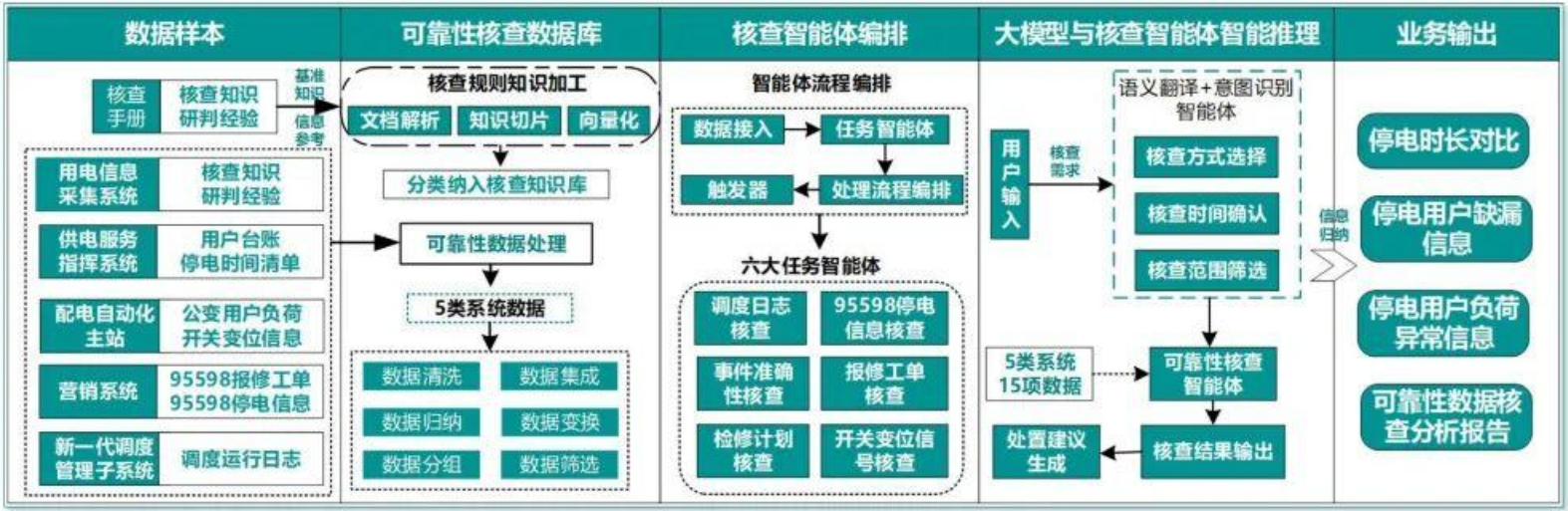
校验台账与图形共有属性的一致性；图形单位检查，图形完整性检查。



设备图形合理性校验

设备电压等级合理性，校验拓扑相邻设备电压等级是否相同。图形位置合理性，图形的坐标超出运行单位的坐标范围。

可靠性数据核查通过整合**运行数据、核查手册**和**专家经验**等结构化与非结构化信息，构建完整的核查知识体系。主要采用**自然语言大模型**进行**文档解析**，利用**相似度匹配**实现数据**智能分块**，结合**提示词优化**和**增强检索**功能，实现数据智能化核查。通过六大**智能体协同**和**联合强化学习优化**生成**文本报告、数据图表**和**决策建议**，显著提升**基础数据准确性**。



基础数据核查助手 > 可靠性数据治理 > 线路问题多维诊断 > 终端布点优化 > 一线一案智能改造方案

基于**嵌入式向量模型**实现**一二次设备运行数据融合**，基于融合数据实现**负荷密度时空预测**。构建**多头自注意力模型**实现**线路健康度评价**，精准识别线径容量不足、分段开关配置失当、转供路径缺失等**结构性缺陷**。通过**自注意力模型**构建**因果推理**引擎关联设备状态、环境因素与历史故障库，量化薄弱环节风险等级，生成**优先级排序**清单。

指标基础

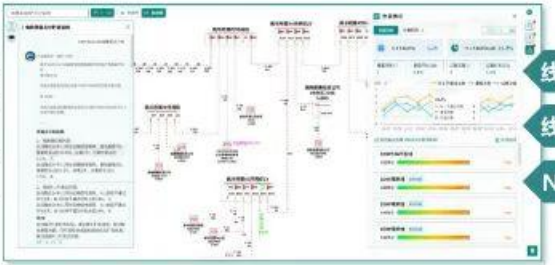
52个配电网健康评估指标分析和统计如下：

- **供电能力**：户均配变容量、负载率、N-1通过率等。
- **新型承载**：分布式渗透率、反向重过载、储源比等。
- **网架韧性**：联络率/分段合理率、自动化覆盖率、故障自愈率等。
- **装备水平**：绝缘化率/老旧设备比、灾害设防达标率等。
- **运行效率**：设备利用率、线损工单数、缺陷隐患数等。
- **供电质量**：可靠率、频繁停电、电压合格率等。
- **协调能力**：就地消纳率、自平衡率、储能利用小时数等。

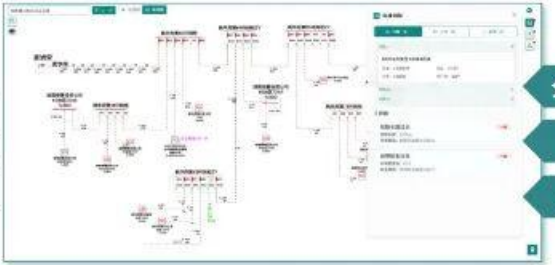
增量开发

- 构建薄弱点多维诊断
- 完善薄弱点分析服务
- 构建薄弱点智能问诊

负载情况分析

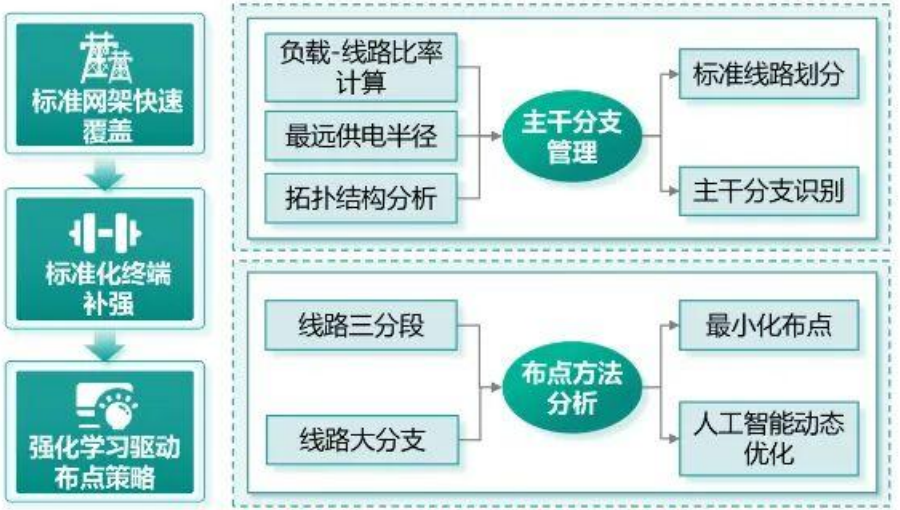


网架问题分析



基础数据核查助手 > 可靠性数据治理 > 线路问题多维诊断 > 终端布点优化 > 一线一案智能改造方案

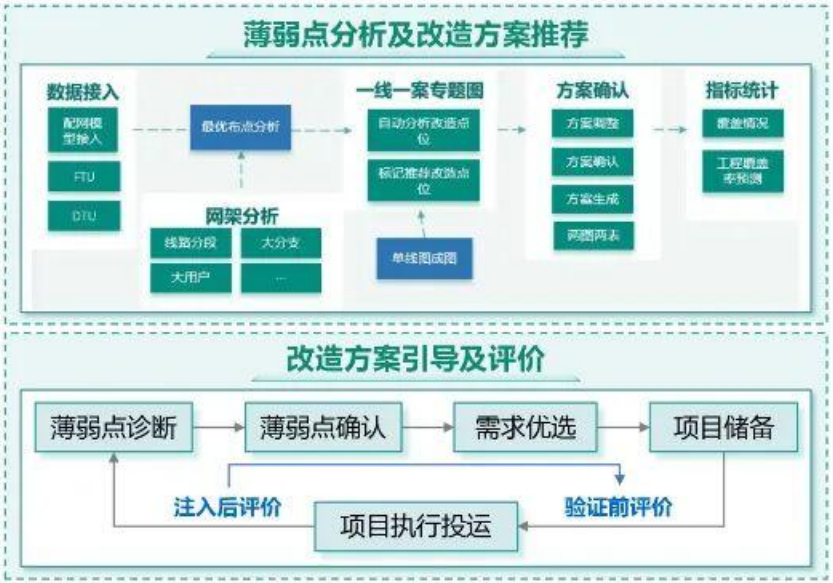
结合**供区要求、线路拓扑、负荷及分布式电源**接入情况，利用**强化学习+场景迁移**动态优化**终端布点密度与位置**，构建**“终端覆盖率-定值协同度-FA投运效益”**多目标评估模型，自动生成**高价值线路**标准化**改造方案**，实现方案可量化、可追溯、可闭环。

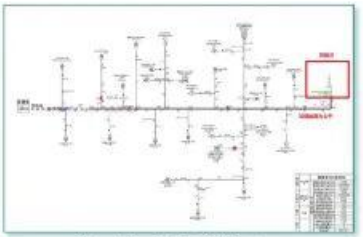


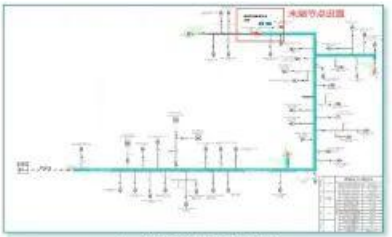
基础自动化覆盖+标准化终端补强+网架一二次提升

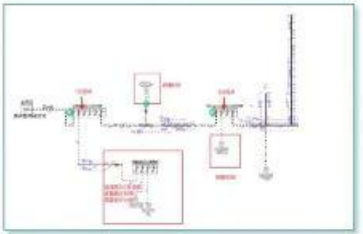


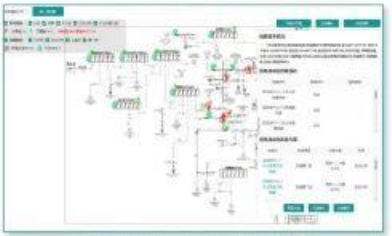
基于AI驱动的“一线一策”生成引擎，利用**电力大模型**的**上下文感知**能力集成线路诊断结果、终端布点方案与投资约束条件，结合**强化学习反馈**自动输出**差异化改造**策略，利用**仿真模拟**对比改造成效，形成“问题-方案-效益”全链条闭环决策。




主干分支自动判定


自定义分段逻辑


一线一案分析


改造方案调整及确认

构建**“故障精准研判-态势全景感知-负荷柔性转供”**协同响应体系。集成调控侧跨域数据，实现**多源故障研判**与**故障区段精准定位**；依托营配调信号数据动态集成，实时感知停电范围、用户影响及复电进度；融合负荷预测及分布式电源出力特性，通过智能运方动态重构电网运行方式，支撑主变承载平衡与电网自主消纳，提升复杂配网态势下的故障协同处置效率与供电韧性。



故障录波分析

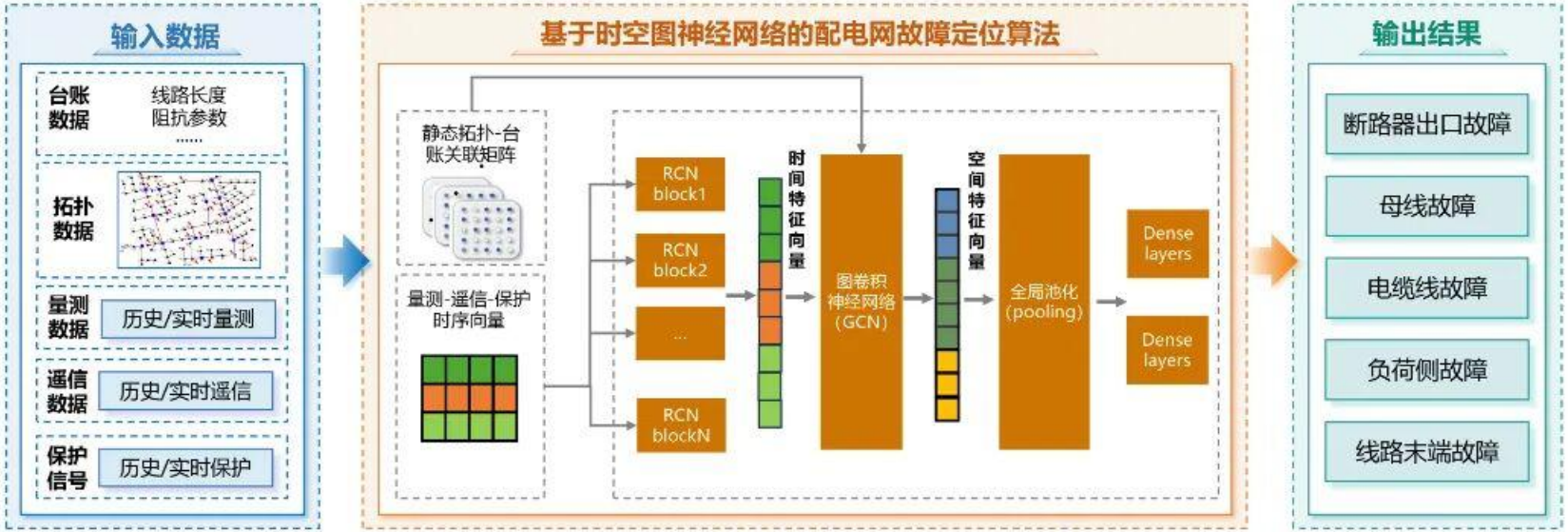


运行方式调整



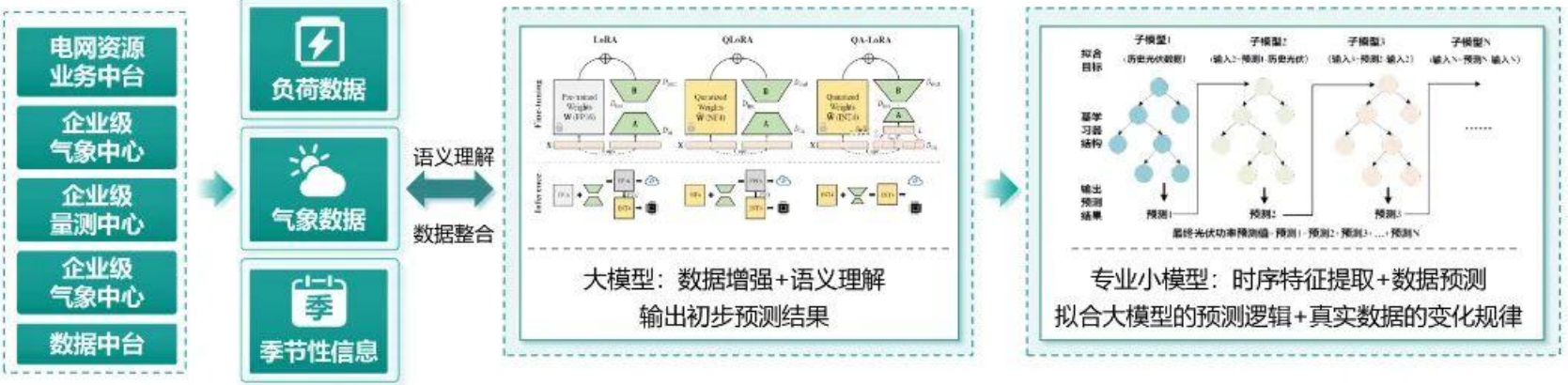
有源故障精准研判 > 配电网态势感知 > 负荷柔性转供策略智能生成

构建**循环神经网络**和**图卷积神经网络**提取配电网故障样本中的时空间特征，学习拓扑连接关系、量测、保护信号之间的潜在关联；采用**迁移学习+微调**提高模型的跨任务迁移能力，实现快速准确的**故障分类和故障定位**。



有源故障精准研判 > 配电网态势感知 > 负荷柔性转供策略智能生成

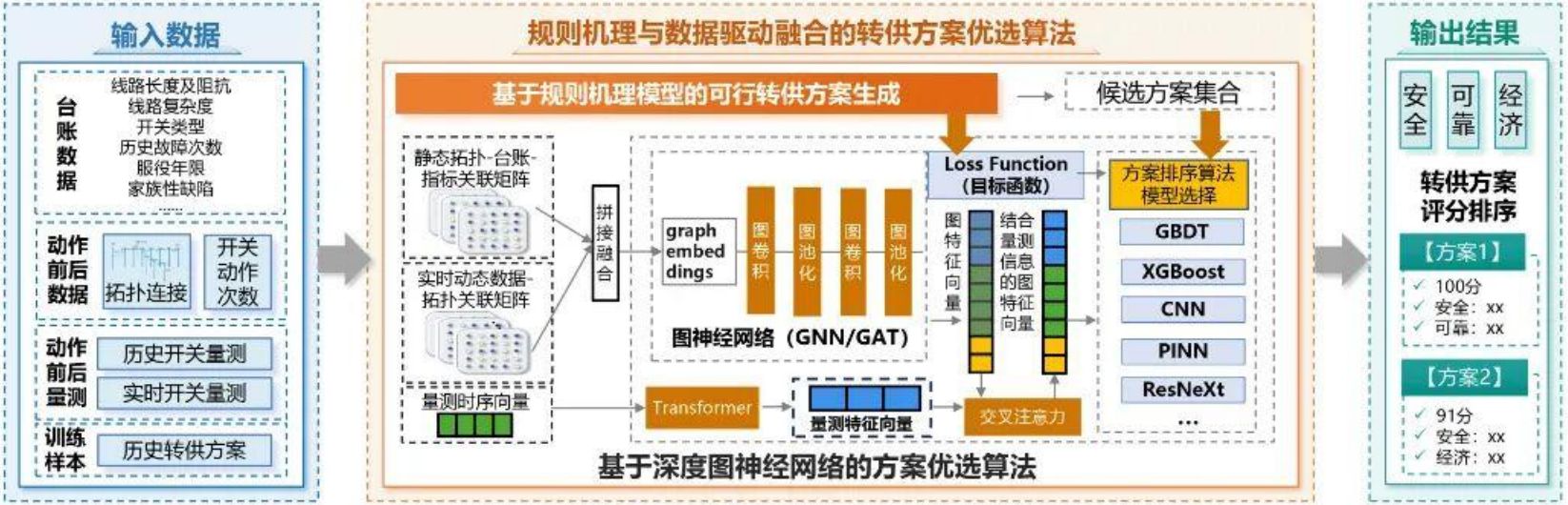
由于电力市场改革进一步深化，**需求响应、共享经济、虚拟电厂**等新技术新角色不断出现，电力负荷呈现出更加复杂多变的新特性。受**极端气象**等因素影响，负荷波动难以预测和调节。以电动汽车、 柔性建筑等为代表的**多元灵活性负荷**具有更高的调节潜力，增加了负荷的**随机性和不确定性**。**数据聚合和信息提取能力**亟待提高。



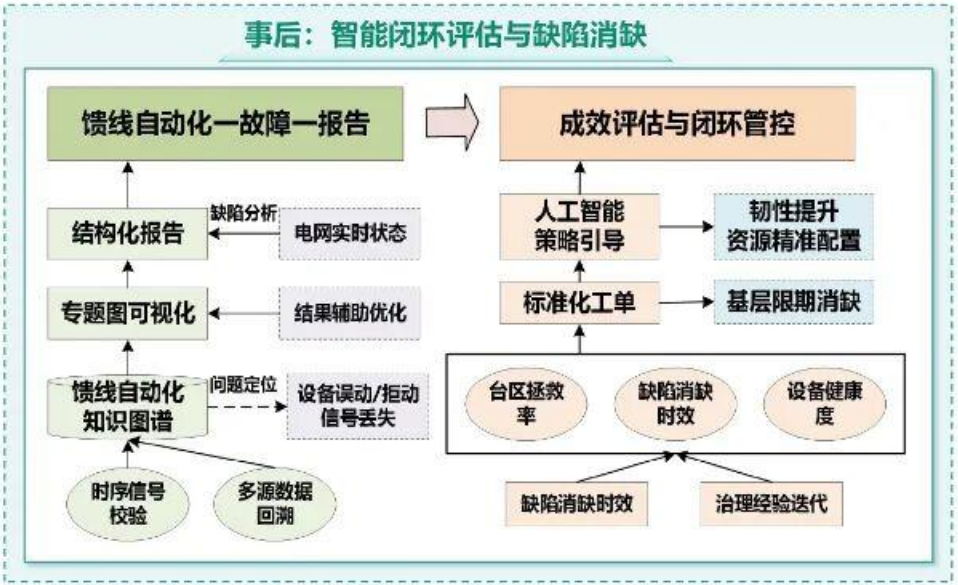
整合大模型的**上下文理解**能力和**数据泛化**性能，丰富多源数据特征。利用**专业小模型**迁移大模型的场景预测模式，提高台区-馈线级的负荷预测精度，改善**小模型**对不同场景的泛化性能。

有源故障精准研判 > 配电网态势感知 > 负荷柔性转供策略智能生成

采用**深度图神经网络**对关联矩阵进行**图特征向量表示**，学习配网拓扑、开关动作、量测等数据间的隐含知识。针对不同规模的配电网与历史数据集，将**安全校核**等机理模型结果加入**惩罚函数**，采用**深度学习算法**训练转供数据集，输出转供方案评分排序及其**安全-可靠-经济指标**。



打造**“FA一故障一报告”**与**“配自成效评估与自主管控”**全流程事后闭环体系，基于**强化学习评价引擎**驱动**缺陷精准治理**与**经验持续迭代**。融合时序信号校验、多源数据回溯，自动识别**FA误动/拒动**、**信号丢失**等隐性缺陷，结合**对比学习**标注优化判定阈值，生成**根因分析、责任归属、防治建议**的结构化报告，实现资源精准配置。



FA事件总览



FA事件反演



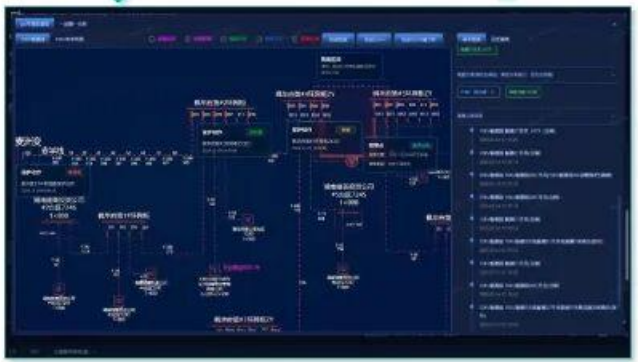
FA一故障一报告 | 配自成效评估与自主管控

构建后评估图形化分析，基于专题图组件，实现FA动作、终端信号、故障区间的自动标注，形成故障全过程复盘；基于自然语言大模型构建**报告生成智能体，效率生成FA问题分析报告**，生成多维指标报表，构建高效管控手段，为配网自动化建设与运维管理提供数据支撑。

FA智能分析结果

回归分析

图上确认

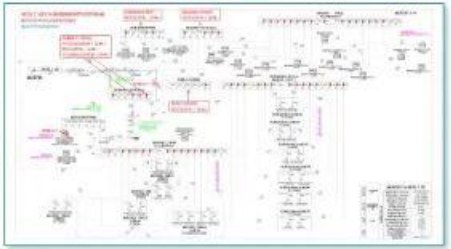


图上可视化

FA分析报告



FA分析专题图



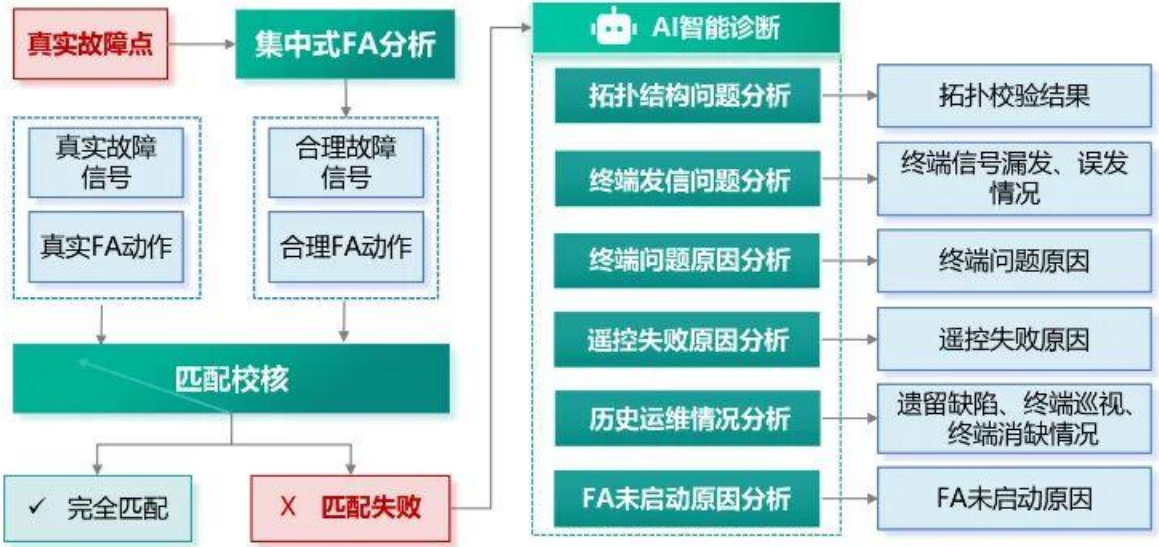
智能指标统计报表



线路跳闸次数、FA启动正确率、终端发信正确率、FA动作成功率、FA完整动作成功率、FA台区挽救率、继电保护台区挽救率、总台区挽救率、供电可靠性贡献。

FA一故障一报告 > 配自成效评估与自主管控

基于**电网拓扑结构**与**FA动作**数据，构建**集中式FA动作研判**体系，基于**大模型知识关联**能力，结合**RAG知识向量库**实时更新，对FA动作、故障信号进行匹配校核，基于**AI智能诊断**能力，精准分析**FA未启动原因**，针对终端信号漏发、误发情况，分析**终端问题原因**，追踪遥控动作过程，实现**故障溯源**，助力电网智能化升级与高可靠性运行。







总结

报告主要介绍新型配电系统中人工智能应用背景、关键问题、核心技术和典型实践。首先介绍配电行业的宏观发展形势，全面剖析新型配电系统的主要特征，明确配电网发展现状，突出人工智能在配网中应用的必要性和主要难点。最后，以配电网**全过程可靠性管理**实践为载体，详细介绍各环节人工智能技术方案和应用方式，助力实现**配电网全过程精准分析与辅助决策**。

目前，人工智能在赋能新型配电系统数字化进程中仍有许多问题悬而未决，国网电科院配电公司人工智能应用团队将持续深化研究应用，助力新型配电系统从“**经验驱动**”迈向“**智慧驱动**”。

国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA



感谢聆听！