

人工智能在发电领域的融合创新模式

文/崔灿 郭跃龙 郝强
国家电力投资集团有限公司

通过机器学习预测电力负荷，利用深度强化学习进行发电设备故障诊断与维护，运用人工智能优化发电机组的运行效率等，在以数据驱动的基础上，融入知识驱动，利用知识、数据、算法和算力等四要素构造更强大的AI+发电融合创新模式，显著提升发电系统的可靠性和经济性，有效降低运营成本并提高能源利用效率。

人工智能（Artificial Intelligence，AI）是一种利用机器来模拟、延伸和扩展人类智能的科学技术，我国将人工智能发展列为国家重要战略计划之一，对于未来人工智能技术的发展方向，我国学术界正在开展积极的讨论，以张钹院士为代表的清华大学提出，未来人工智能技术应用将在以数据驱动的上一代人工智能的基础上，融入知识驱动，利用知识、数据、算法和算力等四个要素构造更强大的AI。未来，人工智能将全面从AI大模型迈向通用人工智能，利用合成数据打破训练数据瓶颈，大力发展量子计算机在AI领域的应用从而解决算力问题，人工智能将继续引领未来国际竞争的焦点，成为我国新质生产力发展的新引擎。

当前我国能源行业正处于转型升级的关键期，以“大云物移智”等为代表的能源科技创新方兴未艾，人工智能技术正在不断重塑能源行业商业模式，推动能源市场开放和产业升级，形成新的创新模式和经济增长点。为此，将人工智能与发电领域各种应用场景进行融合、挖掘、重塑和再造，构建基于“AI+”的发电领域融合创新模式，以发电领域大数据为基础底座，全面通过人工智能技术进行

融合创新，以机器学习、深度学习、模式识别、知识驱动和智能决策为技术支撑，利用知识、数据、算法和算力为要素，构造更强大的“AI+发电”融合创新模式，统筹构建国际领先的发电领域商业模式势在必行。

人工智能现状

人工智能试图通过计算机来模拟人的思维过程和行为，从机器学习到深度学习再到大模型技术不断演进，通过运用包括图像识别、自然语言处理、预测算法、智能决策和知识图谱等关键技术，基于数据、算力、算法三要素，人工智能可以进行自我学习和优化，发现隐藏在数据背后的模式、关联和趋势，从而做出较为准确的推理、预测和决策，并能够与人或其他系统进行有效沟通和协作，自动执行重复、繁琐和耗时的任务，从而提高工作效率。当前人工智能技术主要如下。

1. 计算机视觉技术

用机器代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量，并进一步做图形处理分析。目前在电力的缺陷识别、隐患监测、安全监控等领域得到应用。

2. 自然语言处理与知识图谱

自然语言处理是一种实现人与计算机间用自然语言沟通的技术，包括分词、词性标注、实体识别、句法分析等。基于自然语言处理的知识图谱技术是一种结构化的语义知识库，以符号形式描述物理世界中的概念及相互关系，主要应用于语义搜索、智能问答、知识推理等任务。

3. 智能语音与声纹识别

智能语音是实现人机语言通信的技术，包括语音识别和语音合成技术。语音识别的技术分支之一声纹识别是指识别声波频谱所属发声个体或状态，在变压器（电抗器）缺陷与故障诊断、电网智能生产指挥等领域进行探索应用。

4. 数据智能

数据智能是指基于大数据引擎，通过机器学习和深度学习技术，对海量数据进行处理、分析和挖掘，提取数据中有价值的信息和知识，建立模型寻求问题解决方案以及预测。

“AI+电力”典型场景

随着人工智能技术与电力行业的深度融合，目前以“通用+专业场景融合”模式开展应用，分为感知智能、认知智能、生成式智能三个层次，技术成熟度逐层递减，感知智能是通过图片识别和预测算法等，通过样本数据学习建立算法模型，通过输入的信息匹配相应结果，应用有故障识别、功率预测等；认知智能是通过深度学习令模型具备推理和预测能力，进而辅助决策者；生成式智能是通过训练使其产生自主推理和进化，应用有大模型。人工智能在电力行业的应用已经从初步探索进入到深度融合的阶段，人工智能技术可以自动化开展繁琐重复的任务，从而提升电力生产力和效率；可以创造出更多可能性、更多产品、服务和模式，“AI+电力”展现出一定的经济、社会和环境效益，AI赋能能源电力行业将是未来发展的必然方向，目前在发电企业主要有以下几类典型的应用场景。

1) 新能源发电功率预测。人工智能利用历史时

间序列数据和天气数据大幅提升对光伏、风电出力的预测准确性，在保证电网安全运行的同时，提高新能源利用率，减少资源浪费。

2) 预测性维护。通过机器学习、主成分分析等方法分析多源复杂时空数据，如设备信息、使用数据、天气和历史记录等，预测设备寿命或维护周期，最大限度地减少停机时间。

3) 辅助电力现货交易。AI技术通过对历史数据和市场情况的深度学习，预测电力市场的走势和价格波动，根据预先设定的规则和算法执行高频自动化报价和交易。

4) 辅助虚拟电厂调控管理。虚拟电厂运营中的协调控制技术需要联通源网荷储多个环节，并做出对于发电量、用电量、电价等多个数据的判断，AI的接入提升分析效率和准度。

5) 无人值守智慧场站。在深入应用AI技术可实现智慧电厂的无人值守运行，通过智能监控系统和自动控制技术实现自动化控制和管理，从而实现电厂的高效、安全运行。

国家电网、南方电网、国家能源集团等已经在智慧电网、智能电厂等方面开展了一系列应用实践。国家电网攻关人工智能图像识别技术，形成覆盖输电线路巡视的8大类29小类缺陷智能分析模型，发布巡视图像人工智能识别模型服务，已在27个省约300个地市级单位试点应用。南方电网发布行业电力大模型“大瓦特”，通过学习大量的电力专用语料，在预训练过程中吸收了电力基础知识和千百万电力专家的经验。国家能源集团打造风电机组功率曲线图像识别AI模型，通过收集标注上万张典型功率曲线异常图片，使模型的正样本分配策略达到最优，实现针对不同机型风电机组功率曲线8类典型问题的识别，准确率超过80%，工作效率提升3倍以上。

人工智能在发电领域商业模式分析

在能源电力领域，我国目前面临着清洁低碳转型、清洁能源消纳、新型电力系统建设以及全国

统一电力市场建设等重要战略方向，电力企业在生产、经营和运行维护等方面正面临如下挑战：一是国家提出“双碳”目标后，新能源产业投资“过热”，导致同质化竞争严重；二是电力央企数字化转型任重道远，数字化的思维体系亟需建立，电力的生产、经营和运维等各环节数据尚未被打通，严重影响整体效率；三是随着全国统一电力市场逐步建立，未来各类电源和用户将全面参与电力交易市场，大量数据的涌入使得预测和定价难度呈指数级增加，在盈利方面出现诸多不确定性。由此本文提出研究人工智能在发电领域的融合创新商业模式，为技术形成新质生产力进而创造具体价值实现商业闭环。

研究商业模式实际解决的是企业如何赚钱的根本问题，优质和创新的商业模式造就了全球众多知名品牌，目前市场主流商业模式包括服务提供模式、订阅模式、免费增值模式（Freemium）、广告模式、互联网中介模式、数据销售模式、共享经济模式、直销模式、平台即服务（PaaS）和软件即服务（SaaS）模式等。随着人工智能产业的不断渗透，部分能源电力企业在“AI+电力”的实践中运用优质商业模式，已逐步开始产生真实价值和经济

效益，国家电力投资集团围绕新能源主业开展如下商业模式研究与分析，使人工智能成为保持集团公司新能源先发优势的一剂“良方”。

1. 商业模式总体架构

商业模式总体架构如图1所示。

2. 人工智能即服务（AIaaS）模式

（1）模式背景与痛点需求

AI在发电领域缺少便捷可获取的服务，发电企业员工、客户、服务商想要使用发电领域的AI服务需要巨大的成本构建应用，并且缺少发电样本数据，不熟悉发电领域内部流程、业务等，难以应用。很多技术服务型公司即使有能力构建AI模型也难以与发电领域的实际结合，急需由发电企业构建AI即服务模式，面向相关企业提供发电AI个性化服务。

（2）模式方案与盈利模式

人工智能在发电领域以人工智能即服务（AIaaS）的模式可以增强发电企业的竞争力，并通过AIaaS服务云平台提供对人工智能工具和技术的便捷访问。借助AIaaS商业模式，发电企业可以将强大的人工智能功能融入其工作流程中，使各种规模的组织都可以应用。

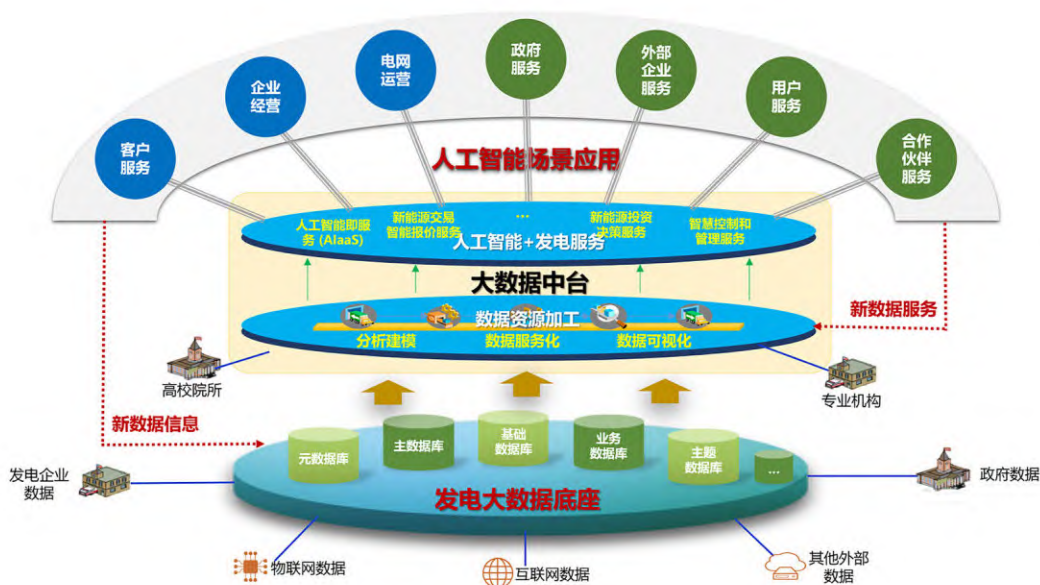


图1 总体架构

模式方案：充分发挥发电集团电力基础设施、客户、数据、品牌等独特优势资源，构建人工智能即服务（AIaaS）的云产品，允许便捷使用AI工具和服务，而无需在内部构建和维护AI基础设施和专业知识。借助 AIaaS，发电集团公司提供发电AIaaS服务平台，用户通过 API 或图形界面访问预构建的 AI 模型、算法和工作流程。发电集团将自主构建的 AIaaS 平台形成开放平台能力，提供的关键功能包括：预先训练的AI 模型—访问可立即部署的计算机视觉、NLP、建议、预测等模型，消除了对数据科学专业知识的需求，将AIaaS服务平台上的能力面向投资、第三方、发电运营、电网、政府、综合能源服务商、用户、装备制造企业开放，支持开展规划服务、金融服务、运营托管、设备管理、集中监控、功率预测、能耗监测的应用定制，支持通过可视化界面自主生成应用和服务，如图2所示。

盈利模式：一方面提供API服务。通过提供应用程序接口，发电集团生态链中的企业可以在 AIaaS 平台上自主定制应用或进行二次开发应用于生产。这涵盖一系列服务，包括基于计算机视觉、知识图谱和自然语言处理、机器/深度学习的规划服务、金融服务、运营托管、设备管理、集中监控、功率预测、能耗监测等。每个个体或企业都有能力从非结构化发电信息中产生商业价值，作为发电集团获得利润。另一方面，机器人和数字协助。这是当前大模型应用最常见的模式，即开放各类机器人、AIGC产品。AIGC包括文生文、文生图、图生图、文生视频、图生视频等，并且可以赋能和激发发电甚至电力培训、知识付费的商业模式，形成 StoBtoC 的超级生态盈利模式，发电集团作为基础平台S的构建和运营角色，通过AI赋能各个B端客户从而服务海量的C端客户。第三方面，完全托管的机器学习服务。面向需要完全托管模型的企业或个人用户，这些服务提供客户模板和预构建模型。

3. 新能源市场交易智能报价模式

（1）模式背景与痛点需求

2023年9月以来，我国电改迎来新的机遇，但



图2 AIaaS服务模式

伴随产生的是交易主体、交易策略、量价分类方式、业务范围等方面的变革，使得计算量呈指数级增长。在过去，电力市场定价主要依靠传统的统计方法和经验判断，一位交易员每天需要处理大约3 000万个数据点，极易受到人为因素的影响。如何做出最佳的交易策略，成为发售电企业的关键挑战。

（2）模式方案与盈利模式

利用人工智能开发智能交易辅助决策系统成为最优解决方案。经过市场调研，目前国内外致力于开发电力现货交易系统的公司大约十几家，市场规模较小，而针对新能源参与电力现货交易的辅助决策系统尚未出现代表性企业，对于发售电企业旺盛的需求和昂贵的交易系统价格，国家电投具有长期积累的新能源发电数据优势，且新能源参与电力交易是较好的细分领域赛道。运用AI及数据分析技术，对区域、电厂负荷和各相关参数、指标的大数据进行分析，通过机器深度学习，发掘掌握与负荷相关大数据的内在规律，利用电厂已有的大量数据，结合市场报价历史数据，制定出基于成本、竞争对手、博弈论等方面的竞价策略，使新能源在电力交易市场提升决策速度和盈利能力，如图3所示。

模式方案：在发电集团内部组建研究中心或并购具有高度专业能力但缺乏足够资源的研发中心或团队，自主研发一套集新能源数据申报、交易

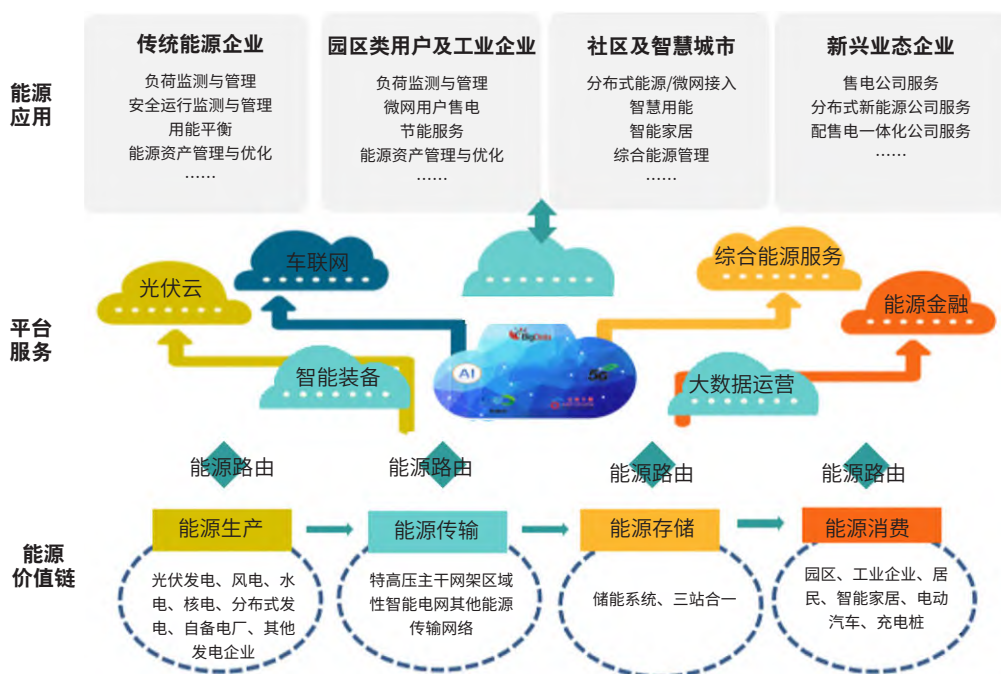


图3 人工智能交易辅助决策

撮合、交易管理、合同的分解与管理、市场信息发布、结算管理、市场预测及决策分析等核心功能于一体的辅助交易决策软件，同时使其具备市场化潜力。

1) 数据集成与预处理。收集并整合电厂的运行数据，包括发电量、负荷变化、设备状态、环境条件、维护记录等。获取电力交易市场的历史交易数据，包含不同时间段、不同区域的电价、交易量、市场需求等信息。同时收集竞争对手的相关数据，如发电类型、装机容量、历史交易行为等。

2) 特征工程构建。对上述原始数据进行特征提取，构建反映电厂运营状况、市场需求、竞争态势等多维度特征变量。可能的特征包括：负荷季节性、工作日/节假日模式、天气影响因素、市场价格波动周期、供需关系、竞争对手报价策略等。

3) 深度学习与模式挖掘。利用深度学习技术（卷积神经网络、循环神经网络、长短时记忆网络）对海量数据进行训练，发现负荷与各种内外部因素之间的非线性复杂关系。分析市场报价的历史数据，寻找隐藏的规律和模式，构建预测模型来估计未来的电价趋势。

4) 竞价策略建模。结合成本分析模型，计算电厂的边际发电成本，确保在报价时能够覆盖成本并获得利润。

应用博弈论原理建立竞争者互动模型、趋势预测模型；利用机器学习算法、深度学习方法预测未来的价格走势、策略生成模型；基于强化学习或者组合优化理论设计投资策略，如Q-learning、遗传算法等用于生成交易信号和买卖点、风险评估模型；通过VaR、CVaR等方法评估资产组合的风险，模拟市场参与者的行为及其对自身报价的影响。

设计优化算法，强化学习，让系统在仿真环境中学习最佳竞价策略，该策略不仅要考虑成本，还要应对市场波动和竞争对手的动态反应。

(3) 决策支持系统

根据深度学习模型预测的负荷变化和市场价格走势，以及优化后的竞价策略模型，实时生成适合于特定交易场景的竞价策略。具有高度灵活性，能在市场规则变化时快速调整策略，并对新的市场环境做出响应。最终，通过智能决策系统，新能源电厂能够在电力交易市场上更高效地制定竞价策略，提高决策速度，有效提升盈利能力，更好地适应市

场竞争环境。

盈利模式：一方面，发电集团运用自主研发的新能源参与电力市场交易及决策平台能够为集团公司自身提高交易、风险控制和管理能力，依靠人工智能自主计算、智能评估和决策，形成最优定价策略，最大程度上为集团获取利润，减少人工成本并提高盈利水平。另一方面，为其他新能源发电企业提供现货交易辅助决策服务，收取服务费、策略制定费和软件服务费等，第三方面，通过集团日新月异训练的智能交易辅助决策模型、算法直接作为产品由集团下属产业单位形成产品在其他发电集团、售电公司、咨询服务公司等企业推广形成盈利。

4. 新能源智慧场站“变身”定制化模式

4.1 模式背景与痛点需求

新能源电厂存在风光功率预测误差大，安全事故发现不及时、设备故障定位不准确等运营问题，以及人工巡检难度大、风险高、记录难、缺乏有效的数据分析和预测能力等问题^[6]。

4.2 模式方案与盈利模式

模式思路：运用“大云物移智链”等先进技术手段实现发电过程智能控制、智能安全管控、智能

巡检等全过程自动化，建设无人值守/少人值守智慧电厂成为发电企业的主攻方向之一。截至2023年底，我国已拥有新能源场站20余万座，相比新建智慧电厂，对传统新能源电厂进行智慧化改造，使其更高效、安全和环保，具有更强烈的需求和市场规模。

模式方案：首先对于集团公司自有新能源场站进行试点改造，利用人工智能算法、大数据技术、机器学习、知识图谱、多目标寻优等技术，对运行管理、设备管理、安全管理、仓储管理等进行智能化改造，形成整套解决方案，在集团内部进行推广，构建成熟的电厂智慧化改造技术与解决方案，实现新能源场站智慧运行管理，并为更多新能源场站提供相关服务，如图4所示。

(1) 运行管理智能化

风光功率预测优化：运用深度学习和时间序列分析技术，结合气象预报、地理信息、历史发电数据等多元信息，精确预测风力发电和光伏发电功率，提高电力调度和交易的准确性。

智能调度决策：基于机器学习算法构建优化模型，综合考虑电网调度要求、电价市场变化、设备运行状态等因素，制定科学合理的发电计划和市场



图4 智慧场站定制化服务模式

交易策略。

(2) 设备管理智能化

通过物联网技术收集设备运行数据，结合AI算法实时分析设备性能参数，识别异常状态，提前预警可能的故障，实现设备健康管理。利用知识图谱和深度学习，关联设备间的关系和历史故障案例，实现快速、准确的故障诊断与定位。依据设备状态监测结果，结合设备寿命模型，运用多目标优化算法制定预防性维护计划，降低运维成本，延长设备使用寿命。

(3) 安全管理智能化

安全隐患预警：借助视频智能分析、红外热成像等技术，配合AI图像识别算法，对现场进行实时监控，自动识别并预警潜在的安全隐患。应急响应决策支持：建立应急预案库，通过AI决策支持系统，在事故发生时快速启动最优应急方案。

(4) 物料仓储管理智能化

库存预测：运用大数据分析和机器学习预测物料消耗趋势，合理安排采购和存储，避免物料短缺或过度库存。智能仓储物流：使用RFID、二维码等技术实现物料的自动化跟踪与盘点，结合智能调度算法优化仓库空间利用率和物料配送效率。

盈利模式：为新能源厂站提供厂站改造解决方案和定制化服务，利用智慧电厂收集的大数据，提供数据分析、预测和咨询服务，帮助其他企业优化运营，并积累更多数据使模型和算法更加准确，掌握核心数据资源，具体措施如下。

智慧数据中心搭建：整合厂站内的各类数据，建立统一的数据采集与分析平台，通过物联网技术实时获取和传输风力、光伏、储能等设备的运行数据，利用大数据技术进行深度挖掘和分析。大数据分析预测：运用先进的机器学习算法和AI技术，对收集到的大量数据进行处理，实现风光资源的精细化预测、设备状态监测、故障预警、发电效率优化等功能，为企业提供详尽的数据报告和决策支持，优化运营策略，降低成本，提升发电效益。咨询服务：基于智慧电厂的运营经验和积累的丰富数

据，为合作企业提供针对性的咨询服务，包括但不限于优化资源配置、改进运行策略、提升设备利用率、开展节能降耗等。

通过能源管理合同模式，预先投资新能源电厂改造，第三方机构或能源服务公司可以先期垫资对新能源厂站进行智能化改造，改造项目可能涉及硬件设备升级、软件系统的安装调试以及整体运营流程的再造。完成改造后，双方按照约定的方式分享节能量所带来的经济效益，如通过节省的能源费用按比例回收成本，或是根据提升的发电量进行分成。

这样做的好处在于，既解决了新能源厂站改造升级的资金和技术难题，也使得服务提供方与客户利益深度捆绑，共同致力于能源利用效率的提升，形成了互利共赢的局面。同时，随着更多实际运行数据的不断积累和反馈，智慧电厂的预测模型和算法将持续迭代优化，不断提升其精准度和实用性。

5. AI大模型辅助新能源投资决策模式

5.1 模式背景与痛点需求

模式背景与痛点需求：通过传统的人工分析进行投资决策具有主观性，局限性和滞后性，由于目前新能源投资受多变的政策环境、技术进步快、市场波动性大、环境与资源约束、资金与回报周期长、风险管理难度增大，对风险管理的要求更高等影响，决策复杂性陡增。

采用人工智能和大数据分析技术，可以克服传统方式局限性，通过实时分析海量数据，预测市场动态、发展趋势、政策影响，并量化各类风险因素，从而为新能源投资决策提供更为客观、精准的支持，降低主观判断带来的偏差和滞后效应。此外，AI技术还可以协助优化运营管理，提升资产绩效，助力企业在新能源投资领域取得更好的经济效益和社会效益。

5.2 模式方案与盈利模式

模式方案：人工智能具有高速的计算和分析能力，能够在瞬间处理大量案例、市场信息等数据，快速地识别市场动态和趋势，同时能够进行复杂的

模型构建和实时调整，提供更精准的投资建议。人工智能通过大数据分析和机器学习算法，根据海量的历史数据进行模型构建，挖掘出市场的潜在规律和趋势，提高决策的准确性和可靠性。阿里、百度和科大讯飞等企业均发布了开源大模型，通过与其开展合作，发挥集团公司新能源领域的经验优势，打造和培育在新能源领域辅助投资决策的AI大模型，利用“通用大模型+垂直领域专业知识”开展应用，推动大模型产业化落地，如图5所示。

(1) 数据收集与整理

收集涵盖全球新能源市场的各类数据，包括但不限于新能源技术发展趋势、政策法规变化、企业财报、产业链上下游动态、市场价格和交易数据、天气以及地理数据等。整理并清洗数据，将其转化为适合机器学习算法处理的格式。

(2) 特征工程

构建与新能源投资相关的多维度特征，如技术成熟度、市场规模、竞争格局、市场需求预测、项目收益率、政策补贴力度等。时间序列分析，提取历史数据中的周期和趋势性特征。

(3) 模型构建

使用机器学习算法（如回归分析、决策树、随机森林、神经网络、深度学习等）构建投资决策模型，预测新能源项目的收益、风险和成长潜力。利用强化学习方法，模拟投资策略在不同市场环境下的

长期表现，寻求最优投资组合和动态调整策略。

(4) 实时监控与智能决策

实时抓取和更新市场动态数据，利用流式计算框架进行实时分析，以便在市场变化时快速调整投资策略。利用人工智能进行事件驱动型投资决策，如政策出台、重大技术突破、公司新闻发布等事件发生时，立即进行影响评估并提出相应投资建议。

(5) 风险评估与管理

基于历史数据和模型预测，进行概率风险评估，包括技术风险、市场风险、政策风险等。利用蒙特卡洛模拟等，进行压力测试和分析，为投资者提供应对不同风险场景的策略选择。

(6) 优化投资组合

结合资产配置理论，构建跨区域、跨技术类型的多元化投资组合，最大限度地分散风险和捕捉收益机会。不断通过模型自我学习和迭代优化，提升投资策略的有效性和稳健性。

盈利模式：短期来看，通过该模型能够辅助集团公司制定更准确的新能源投资计划，进行合理的结构优化，通过深入挖掘并分析新能源行业的海量数据，模型可以揭示潜在的市场规律和趋势，降低投资决策中的不确定性，辅助集团制定更具前瞻性和适应性的投资布局，同时此模型封装形成产品可推广至其他发电集团。通过开放模型源代码或API接口吸引合作伙伴，可以有效地构建新能源行业生

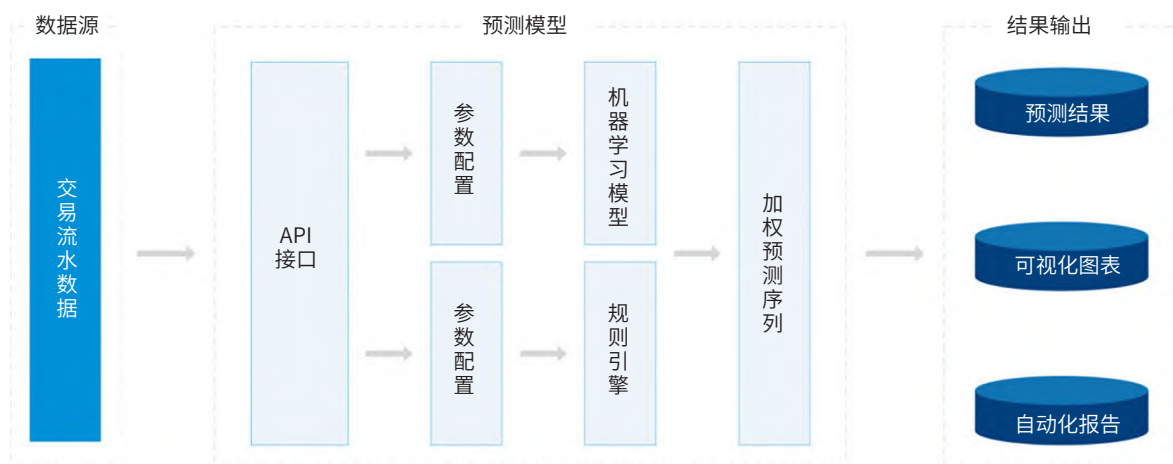


图5 AI大模型辅助新能源投资决策

态，整合资源，共享数据，促进技术创新和应用推广。远期来看，将智能投资模型作为一种SaaS产品，可以针对B端客户按月或年收取订阅费用，既能保障公司的稳定收入来源，又能满足客户持续获得最新投资策略的需求。

应用案例

1) 通过对人工智能融合创新商业模式的研究和实践，在国家电力投资集团某新能源发电公司，采用AI算法构建智能交易与调度平台，该平台基于大数据分析和机器学习技术，实时监测风电、光伏等新能源电站的出力情况、天气预报、电价波动等多维度信息。通过精准预测未来的发电量和市场价格走势，智能系统能够自动制定最优的发电计划和电力销售策略，参与电力现货市场、辅助服务市场等多种交易方式，提高新能源消纳率的同时最大化收益。

2) 另一家大型发电集团应用人工智能，在新能源交易中强化了省间、区域间的电力交易能力。通过AI技术，实时计算不同地区电力供需平衡状况，并根据预设的交易规则，智能匹配交易双方的需求，协助新能源发电企业在多个交易市场中无缝对接，灵活参与跨省区的电力直接交易，甚至开发出绿色证书、碳排放权等相关衍生品交易业务，从而创造额外的商业价值。

结束语

本文深入探讨和研究人工智能技术在发电领域的融合创新商业模式及其所带来的深刻影响，随着人工智能技术的飞速发展，其在各行各业的应用日益广泛，尤其在发电领域，人工智能凭借其强大的数据分析、智能决策以及优化控制能力，为发电系统的智能化转型提供了新的可能。结合我国电力行业的发展现状与未来趋势，本文进一步对人工智能在发电领域的融合创新商业模式的发展前景进行了前瞻性的思考，探讨了如何通过人工智能在发电领域的具体应用推动人工智能与发电产业深度融合，

以期实现发电行业的高质量、可持续发展。EA

参考文献

- [1] 陈其祥，程明，李欣. 以客户服务为导向的供电服务指挥系统关键技术及建设思路研究[J]. 电气时代，2018(12): 20-22.
- [2] 马仲雄. 浅谈电气自动化控制中的人工智能技术[J]. 电子技术与软件工程，2014(11): 246-247.
- [3] 薛飞，刘家旗，付雅梅. 人工智能技术对碳排放的影响[J]. 科技进步与对策，2022，39(24): 1-9.
- [4] 齐明利. 我国人工智能上市企业经营效率及其影响因素研究[D]. 太原：中北大学，2020.
- [5] 孙一民，刘宏君，姜健宁，等. 继电保护模型文件管控策略完备性分析[J]. 电力系统自动化，2014，38(16): 105-109.
- [6] 靳龙. 人工智能AI技术在电力系统的应用[J]. 集成电路应用，2018，35(11): 72-74.
- [7] 闫湖，黄碧斌，刘龙珠. 人工智能在新一代电力系统中的应用前景分析[J]. 电力信息与通信技术，2018，16(11): 7-11.
- [8] 王刘旺，周自强，林龙，等. 人工智能在变电站运维管理中的应用综述[J]. 高电压技术，2020，46(1): 1-13.
- [9] 赵晋泉，夏雪，徐春雷，等. 新一代人工智能技术在电力系统调度运行中的应用评述[J]. 电力系统自动化，2020，44(24): 1-10.
- [10] 王玉萍，李明莉，高芳萍，等. 人工智能在电力市场中的应用分析与架构设计[J]. 电力大数据，2021，24(10): 79-85.
- [11] 冯国礼. 人工智能技术在电力系统中的应用[J]. 中国新通信，2020，22(8): 142.
- [12] 张立慧，张健华，苏立伟. 论人工智能技术发展及在电力客服系统的应用[J]. 电子世界，2019(2): 76+78.
- [13] 刘威，陈睿欣，高洪达. 人工智能的应用及“数字新基建”实施路径[J]. 国家电网，2020(8): 51-53.