

基于知识图谱的“企业-电网-政策”碳管理系统与应用研究

王炳文¹ 刘正英¹ 余洁² 郭泰蓓²

1. 国网甘肃省电力公司发展事业部(经济技术研究院) 甘肃兰州 730000

2. 甘肃同兴智能科技发展有限责任公司 甘肃兰州 730050

摘要:“双碳”战略的落实对中国能源系统的低碳转型形成了全方位的挑战。当前,高能耗企业碳排放量计算准确性不足、电网端新型绿色能源以及企业用电量的时间空间分布不一致、以及相关政策激励措施与企业实际减排需求的错位等三个方面问题逐步浮现,主要原因就为“企业-电网-政策”跨界信息没有建立起来有效连接,严重阻碍地区碳减排目标的准确制定。即,现有碳管理规划大多都属于独立管理的单一领域,缺乏跨领域之间的协作功能,导致碳足迹追踪断点、调度优化错位、政策反馈难评价等问题。本文针对此难题,在“企业-电网-政策”协同知识图谱结构下,提出多领域相互连接、高效工作的碳管理框架以实现“企业-电网-政策”三者的跨界碳管理的协同优化与循环控制。具体地,本文的研究知识图谱的构建步骤包括:首先利用命名实体识别和关系提取技术,从不同的信息资源中进行知识的获取;其次,利用自然语言处理的辅助技术使语意理解水平得以提高;最后基于 Neo4j 图形数据库构建协同知识库。研究表明,该图谱可对高耗能企业进行精准碳核算并反馈碳需求调度策略,并能对供电体系进行碳流量追踪和电-碳混合调度优化,还可作为减碳路径模拟器测算相关执行政策的落地成效。综上所述,本研究通过知识图谱实现了三者的关联信息链接和决策链条,是实现全覆盖智能一体化碳管理体系框架构建的有效技术路径和实施指南。

关键词:高能耗企业;碳排放量;电网;政策激励;知识图谱;协同管理

引言

“双碳”战略是引领我国经济 and 能源转型的国家顶层设计,在其推动下,国内能源结构的绿色化低碳化转型正在加速,对各领域以及包括能源行业等细分领域的碳管理智能化产生更高技术标准与要求^[1]。在这一背景下,为确保我国节能减排工作顺利推行,必须扫清关键的信息藩篱,实施高效的综合碳管理,实现跨系统多维度的互联。然而,当前中国能源各领域实际运行的碳管理工作中仍存在一些不足,尤其是以冶金为主的高能耗企业更为明显。这源于“企业-电网-政策”三方面数据无法在关键信息上相互联动。对高能耗企业微观层面的管理而言,碳排放往往不能和电网侧不断变化的实际碳强度形成直接关联,碳足迹管理缺失全局性,甚至可能出现 15% 以上的计算偏差,严重影响低碳管理执行。另一方面,对于电力系统运行控制而言,由于难以获取高能耗企业柔性负荷的精准数据与调节意愿,调度系统难以对具备强波动性的新型绿色能源发电和实际工业符合形成精准匹配。造成大量绿色能源的浪费,且部分地区的电网由于调度能力限制,导致出现高二氧化碳排放问题。另外,在政府

部门的政策制定与执行层面,难以将大部分鼓励减排的政策手段与企业的真实减排曲线价格变化、企业的减排能力以及实时电网运行情况及其二氧化碳排放特点匹配起来,政策刺激信息不准确,降低了政策的有效性和投资使用效率。

归根到底,传统研究方法以单领域优化或单流程改进为主,比如对某公司能源使用情况的分析,或电力网内的发电计划安排等。由于只优化一端数据,表面改善,无跨领域数据互通及跨方协作,无法形成三方主体协作的整体解决方案。

近年来,一种新型的人工智能工具——知识图谱可以将多种数据融合得到强大的一体化数据^[2],有望打破阻碍企业、电网和政策之间互通的数据壁垒,为三者实现智能化协同运作打开大门。以此为导向,本文致力于开展“企业-电网-政策”协同的碳管理知识图谱构建,对相关关键技术和系统应用做了深入研究。在此过程中,将总结和提炼命名实体、关系抽取等构建方法,并积极探索大语言模型等新兴技术在知识获取和逻辑推理中的协同方式,最后构建一个高效可用的协同碳管理系统框架,以实现区域内碳管理效率提升,并

提供理论支撑和技术路线。具体的面向“企业-电网-政策”的协同碳管理目标见图1。

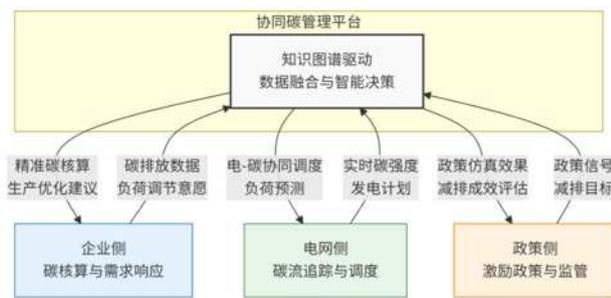


图1 面向“企业-电网-政策”的协同碳管理目标

1 相关研究现状

自第一个知识图谱技术概念被提出后，得益于其自身强大的语言理解能力、知识管理和关联挖掘能力，知识图谱技术展现出广阔应用空间和潜在价值^[4]。近年来随着“双碳”目标提出及其促进能源结构转型作用的加深，知识图谱技术应用也逐步延伸至双碳环保和能源电力的交叉领域以及其他的领域研究当中。目前，不少学者已尝试采用不同方式验证知识图谱在提升碳信息质量和处理效率方面的效果，部分前沿研究以通过知识图谱技术优化处理火电厂碳排放信息真实性及标准化水平为主攻方向。例如孙尊强团队^[5]发现火电企业碳排放数据存在虚报或误报问题，应用以知识图谱与大数据技术相结合的方式构建一套碳排放量可信检查体系，可构建数据项的关系规则和约束条件，有效提升碳排放数据的真实性及透明度，也为之后的碳排放相关管理工作及政策制定提供更为科学有效的碳排放数据基础。另一部分研究以如何将政策知识转化为智能化的服务为主要目标。如吕涛团队^[6]发现由于“双碳”政策发布的频次多、涉及层面广、内容多的特点，传统的关键词检索方式不能满足研究人员及决策者对于数据的深度检索以及内部关联的挖掘需求。因此他们设计并探索了基于自然语言技术实现的“双碳”政策知识图谱方法，提升了政策推荐系统的高智能化与政策回答系统的交互精确性。另外，针对电力系统细分业务场景的知识图谱研究也在不断涌现，例如，熊亮等^[7]针对电力通信运维部门信息化程度和体系化程度不足这一现状，全面开展了该方向知识图谱构建技术研究工作，为电力通信运营管理的智能化转变提供一个理论基础；马天霆^[8]则基于发电站关键污染源稳定运行的需求出发，创造性地将静态知识图谱结合动态视频监控信息构建，提出了应用在发电站动态安全报

警的综合体系，充分体现了知识图谱在结合多种数据上的优异表现；武艺^[9]和周顺骥^[10]等人的研究也证明了知识图谱方法在城市规划、物流巡检等方面的适用性和潜在价值。综上所述，基于现有大量的研究成果，可以印证知识图谱技术的特点是突破以往数据处理技术存在两大难题，即“关系断裂”和“语义模糊”。有分析可得出该技术可提升决策效率、提升用户体验、实现数据深度价值应用。然而，目前大部分的应用研究仅限于聚焦单一领域，比如企业的低碳数据管理，对政策文件的结构化挖掘分析，电力运营维护管理等。因此，本文从全局出发，以“企业-电网-政策”这三大关键领域的高效协同碳管理为研究目标，构建具备跨域推理能力的协同知识图谱网络，从而填补前述的研究空白，提供具有核心创新性的解决方案。

2 知识图谱构建过程

最初的图谱是手工构建的，往往导致规模和精确性无法满足相关技术的要求。随着机器学习的发展，自上而下与自下而上两条主流的构建路线不断成熟并开始在实践中融合两者的优点。其中，自上而下的方法先定义领域的主体(例如类别、特性、关系等)，然后附加实例完善，而自下而上的方法则是从数据中抽取实体和关系，再总结归纳成主题，两方法都往往在一起实践使用。

在本文中，协同碳管理知识图谱的构建主要分为三个阶段。首先是数据收集与整理阶段，先从政策法规(国家发改委、生态环境部官网等)、企业生产(工信部绿色制造体系、上市公司ESG报告等)、电网运行(国家能源局、国网/南网年报等)三类数据源中识别并采集大量数据，再通过格式统一化(统一日期格式、单位换算等)、缺失值处理(插值法或行业平均值填补)、异常值检测(3 σ 原则)、数据标准化(归一化处理不同量纲数据)完成数据清洗与标准化。接着是知识图谱模式设计阶段，一方面以Python定义包含根节点、一级分支、二级子节点、三级子节点、叶子节点的节点类型schema，明确各节点属性。最后是Neo4j数据库构建阶段，先通过Cypher语句创建约束以确保各节点唯一性，再用Cypher脚本创建“‘企业-电网-政策’协同碳管理框架”根节点及“企业生产”“电网运行”“政策法规”三个一级分支节点，并建立根节点到一级分支的“包含”关系，同时可使用LOADCSV方法批量导入nodes.csv文件中的数据来创建节点。具体参考图2和图3。

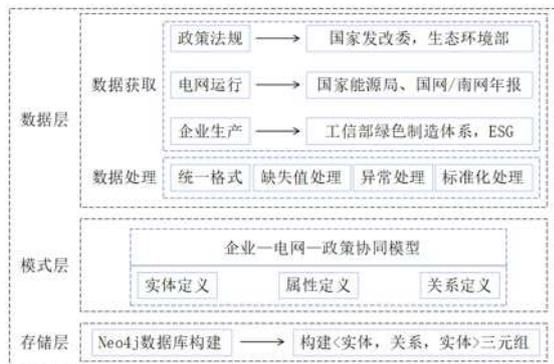


图2 知识图谱构建流程

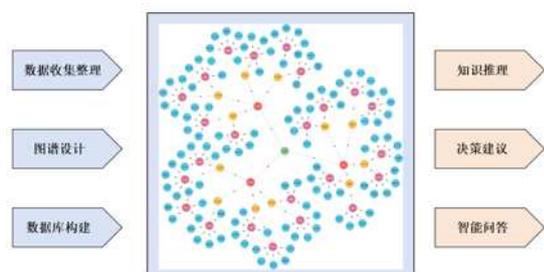


图3 面向“企业-电网-政策”协同的碳管理知识图谱

3 知识图谱在“企业-电网-政策”协同跨域应用

该图谱能够针对整体性问题，通过“企业-电网-政策”间的协同作用来全面提升碳管理效率，具体的优化过程可用图表4表示。具体地，在决策与政策规划方面的应用中，可以帮助政府机构建立一个监督和政策模拟工具，利用图表中三者之间的相关信息对碳减排途径进行模拟，观察不同政策搭配对地域碳排放的影响，同时还能够监视政策实施后的相关指数的变化情况以精准量化政策效果。其次，在高能耗企业的碳管理方面，通过图表中收集的碳排放因子和计算模型，可实现企业碳核算流程，并自动生成企业碳报告，大幅提升碳核算效率与精度。此外，企业也可根据图谱中电网的碳强度信息以及政策变动及时调整生产计划，实现需求响应优化。最后，在电网运营优化方面，该知识图谱还可用于智能电网上实时的由发电到用电的全流程碳足迹监测，亦可在此基础上进一步结合实时碳强度值，对电网调度策略进行优化，使其在满足电力调度的政策前提下更合理高效地利用资源减少碳排放。

4 总结

本文针对当下的碳管理体系的“企业-电网-政策”间数据断联问题，构建了一个跨域协同碳管理的知识图谱，完整阐述了通过获取多元数据、语义建模、使用 Neo4j 数据库管理系统，完成构建的全过程。研究结果显示，该知识图谱

可用于企业，电网和政策在精确计算和需求响应、碳统计与节能调控以及政策模拟和效益分析等多方面的应用，实现企业、电网与政策间的全方位协同碳管理，为实现系统性协同碳管理提供了坚实的技术路径与实践方式。

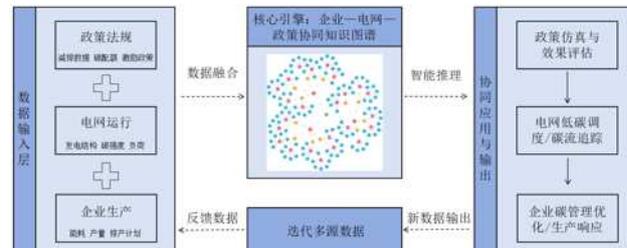


图4 面向“企业-电网-政策”协同知识图谱的应用

参考文献:

- [1] 黄玲, 邓婉秋, 帅青红. 基于知识图谱的“碳减排”研究脉络可视化分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2024, 50(06): 617-625.
- [2] 单瑞, 司冰心. 以能源转型驱动绿色升级以系统创新共建低碳未来[N]. 华兴时报, 2025-09-18(004).
- [3] 刘焱琪. 基于知识图谱的电力数据库模式链接研究与实现[D]. 东华大学, 2025.
- [4] 鲁艳旭, 张雪英, 张春菊. 事件视角下的行政区划沿革知识图谱构建方法[J]. 地球信息科学学报, 2025, 27(10): 2440-2452.
- [5] 孙尊强, 陆茂荣, 苏楠, 等. 基于大数据分析和知识图谱的碳排放数据可信校验系统[J]. 电站系统工程, 2025, 41(03): 67-70.
- [6] 吕涛, 王青山, 张紫玉, 等. 基于自然语言处理的“双碳”政策知识图谱构建及应用[J]. 煤炭经济研究, 2025, 45(02): 122-132.
- [7] 熊亮, 林泽兵, 周腾. 电力通信运维领域知识图谱构建技术研究[J]. 通讯世界, 2025, 32(01): 122-124.
- [8] 马天霖. 基于知识图谱和视频监控的火电厂动态安全预警系统研究[J]. 工业控制计算机, 2025, 38(07): 84-85+166.
- [9] 武艺, 吴安杰. 知识图谱在城乡基础设施规划课程中的应用与反思[J]. 科教文汇, 2025, (17): 134-137.
- [10] 周顺骥. 基于多源数据融合的快递违禁品知识图谱构建方法[J]. 品牌与标准化, 2025, (05): 63-67.

作者简介: 王炳文(1989—), 男, 汉族, 大学本科, 研究方向: 电气工程及其自动化。