

数字智能

# 人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用研究

徐伟 何坤 谷琳

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 节能降耗是有色冶金企业重点关注的问题,加强企业能源管控水平是实现企业节能降耗的重要途径,但由于有色冶金企业生产流程长、工序多、工艺过程复杂,有色冶金企业的能源管控难度较大,利用人工智能技术实现企业合理的能源管控是未来的发展方向。基于此,本文在研究目前有色冶金企业能耗现状和能源管控特点的基础上,分析人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用场景和关键技术,为人工智能技术与有色冶金行业的结合提供了基础。

**[关键词]** 人工智能; 有色冶金; 能源消耗; 能源管理; 关键技术; 应用场景

**[中图分类号]** TF808; TP18

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 2097-2423(2024)01-0078-05

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2024.01.013

## 0 前言

有色冶金行业属于能源密集型行业,2021年中国有色金属冶炼及压延加工业能源消费占全国工业能源消费总量的7.6%<sup>[1]</sup>。在我国提出碳达峰、碳中和目标的大背景下,有色金属冶炼行业是国家重点关注的减碳行业,因此,加强能源管控水平、提高能源利用效率成为新时代有色冶金行业的必然发展趋势<sup>[2-3]</sup>。

有色冶金企业生产过程的本质是物质流、能量流及相应的信息流协同的过程。有色冶金企业的能源管控是一个集过程监控、能源调度、能源管理为一

体的复杂过程,是生产系统、设备系统、信息系统等各子系统的融合。但由于有色冶金企业具有生产流程长、工序复杂的特点,很难建立准确的数学模型对其能源使用进行优化管理<sup>[4-7]</sup>。

人工智能技术与工业生产过程相结合是目前重要的发展趋势,也是有色冶金企业关注的热点问题<sup>[8-12]</sup>。此外,在多年的生产过程中,有色冶金企业积累并不断采集、监测到大量的生产数据信息,虽然这些数据信息的深层价值目前尚未被充分挖掘,但却为人工智能技术在有色冶金企业能源管控中的应用提供了重要基础。

在未来,有色冶金企业的能源管控逐步向智能化、无人化发展是必然的趋势。因此,明确目前存在的问题,探究人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用场景和关键技术,对促进有色冶金行业人工智能技术的应用和智慧能源系统的建设有重要意义。

## 1 有色金属冶炼行业能耗情况

过去20年间,我国有色金属行业快速发展,2001—2021年,我国十种常用有色金属产量增长约5570万t,涨幅超过600%;2021年,我国十种常用有色金属产量达到6454.3万t,其中铝行业和铜行

**[收稿日期]** 2023-09-14

**[作者简介]** 徐伟(1981—),男,浙江温州人,硕士,高级工程师,主要从事矿山冶金与节能环保领域数智化、绿色化方面的研究工作。

**[引用格式]** 徐伟,何坤,谷琳. 人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用研究[J]. 绿色矿冶,2024,40(1): 78-82.

XU Wei, HE Kun, GU Lin. Research on the application of artificial intelligence technology in energy management of nonferrous metal smelting [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024,40(1):78-82.

业产量占比超过70%<sup>[1]</sup>。

有色金属冶炼属于能源密集型产业,在产量快速增长的同时,其能源消耗也随之大幅增加。2001—2021年,中国有色金属冶炼及压延加工业能

源消费总量增长22 103万tce,涨幅超过500%;2021年,中国有色金属冶炼及压延加工业能源消费总量达到26 413万tce,占全国工业能源消费总量的7.6%<sup>[1]</sup>。

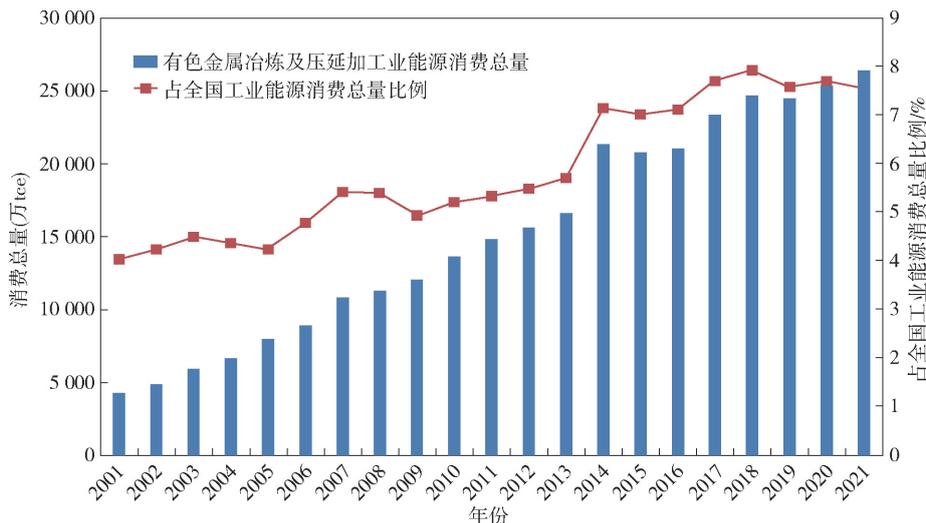


图1 2001—2021年中国有色金属冶炼行业能源消耗情况

从能源结构的角度看,在2021年有色金属冶炼及压延加工业能耗中,电力占比达到68%,煤炭、天然气和油类占比分别为15%、6%和3%,还有8%的能耗来自其他能源(图2)<sup>[13]</sup>。可以看出,目前电力是我国有色金属冶炼最主要的能源来源。

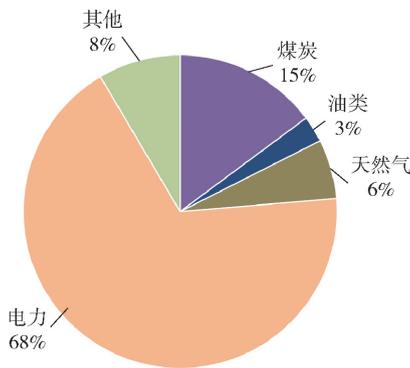


图2 2021年中国有色金属冶炼工业能源结构

## 2 有色冶金企业能源管控特点及应用人工智能技术的意义

### 2.1 有色金属冶炼行业能源管控特点及现状

大型有色金属冶炼企业的能源管控是一项非常复杂的工作,体现在以下几个方面:

1)能源强度高,能源设备杂,介质种类多,分布范围广。有色金属冶炼工业生产能耗高、生产流程复杂,涉及的能源利用设备种类繁多(如冶炼炉、锅炉、搅拌器、反应釜、换热器等),厂区内涉及的能源

种类多种多样(如汽、电、煤、余热等),且由于大型有色冶炼企业占地面积较大,各类装备和能源介质分布较为分散。

2)工艺过程复杂,“黑箱”问题严重。有色冶炼过程同时涉及多种物理和化学过程,通常难以用准确的数学模型描述,且可测参数仅为有限的表观参数,对内部参数通常无法进行实时测量,存在较大的信息缺口,导致生产工艺“黑箱”问题严重。

3)能源综合协同管控集成度低,存在信息孤岛现象。有色金属冶炼企业各工艺流程间协同能源管控集成度较低,通常几个区域内的能源管控信息没有实现联通互动,跨区域、多流程、多介质协同的能源调度优化较少。

4)大量历史数据信息未能有效利用。经过长时间的累计,大型有色冶炼企业均积累了大量的历史数据,但目前这些历史数据中相当一部分并未被处理或使用,部分甚至成为了垃圾数据,造成了大量的信息浪费。

### 2.2 应用人工智能技术的意义

人工智能是利用信息技术等来模拟、扩展人的智能,包括模糊逻辑、专家系统、机器学习(图3),研究的领域主要包括智能控制、智能优化、语音识别、自然语言处理、图像识别等<sup>[14-16]</sup>。

有色冶金生产过程的能源管控是生产系统、设备系统、能源系统等多系统的融合,包括复杂的物质

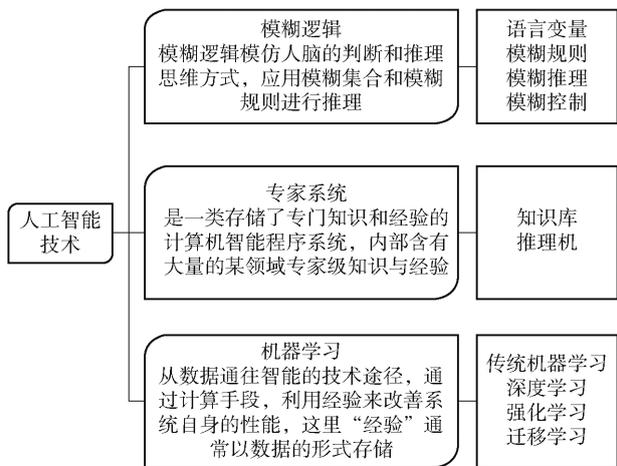


图3 人工智能技术

流、能量流和信息流,影响一个决策的变量众多,且很难有准确的机理模型能够描述。例如,铜吹炼过程中需要控制的参数非常多,包括熔剂加入量、冷料加入量、鼓风量、吹炼时间、吹炼控制温度等,供决策使用的数据也众多,包括各类在线检测参数(测点的温度、风量等)、离线获取的参数(铜品位、渣成分等),且由于恶劣的工作环境,有些检测出的数据还存在噪声,这种情况下很难从工艺原理的角度对该过程实现精准控制。

而人工智能技术可根据大量历史数据建立综合考虑各类因素的高维度复杂模型,进而获得能源管控过程决策或控制中的一些规则或模型,帮助解决多参数“黑箱”复杂过程的决策或控制。因此,人工智能在有色冶金企业能源管控过程中的应用对改变传统能源管控方式、提高管理时效性和有效性、实现各生产单元间能源综合协同优化管控有重要意义。

### 3 人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用场景

#### 3.1 设备用能计划预测与调度

有色冶金企业的生产计划与能源调度对企业的节能降耗有重要意义,但对于集多种设备、多重工序于一体的有色冶金生产流程而言,用能调度难度较大。在这种场景下,使用人工智能算法强大计算能力可以有效解决用能计划预测与调度中的复杂问题。通过人工智能算法建立精准的预测模型,对用能设备产量、能源需求进行预测,可为能源管控系统提供可靠的决策依据,并可基于预测结果,制定能源调度方案,优化能源采购策略,保证生产的连续性,实现控制风险和降低成本。

#### 3.2 用能设备智能控制

有色冶金过程机理复杂,影响因素众多,同时涉及传热、传质、相变、化学反应等复杂过程,通常具备复杂程度高、多目标性与不确定性等特点,这种问题采用传统方法很难找出最优解。因此,对如锅炉、反应釜、冶金炉等常见设备,即使积累了大量的历史监测数据,也很难建立准确的数学模型,实现对设备的准确控制。针对这种“数据丰富”而“知识贫乏”的状态,使用传统机器学习和深度学习等算法,可有效解决生产过程中的“黑箱”问题,实现用能设备的优化控制,并达到降低生产能耗的目的。

#### 3.3 智慧能源管控系统

有色金属冶炼过程包含一系列工业设备和生产工序,涉及的能源种类包括汽、电、煤、余热等,借助人工智能技术、智能优化算法构建智慧能源管控系统,协同各个生产工序的产量、消耗、成本等综合生产指标,可实现生产全厂能源系统整体优化运行。此外,智慧能源管控系统能够实时感知市场信息、生产条件以及运行工况,实现企业目标、计划调度、运行指标、生产指令与控制指令一体化优化决策。

#### 3.4 能源审计对标评价

能源审计主要关注用能单位能耗状况、能效水平、节能潜力等,是企业能源管理与节能工作开展的基础。有色金属冶炼行业由于其用能设备多、能源种类多、能耗影响因素多、评价指标多、指标间关联性复杂等特点,导致能源审计工作复杂度较高,且评价指标所包含的信息存在冗余;此外,受到技术条件和人为因素等影响,收集的数据中还存在数据噪声,影响能源审计结果的准确性。

在能源审计工作中,使用人工智能技术可实现对数据的预处理,如去除噪声数据、填充缺失数据等功能;此外,降维技术(如PCA、Lasso等)能够对数据进行冗余性剔除,对提取的大量特征进行层层选拔,最终得到更加具有代表性的关键特征,并可创造新的更有针对性的评价指标,并找出指标间隐藏的关系,有助于构建节能策略,提高能源利用率<sup>[17]</sup>。

#### 3.5 异常用能检测

因受违章操作、设备故障、气候变化等影响,有色冶金企业会出现异常用能的特殊情况。针对异常用能情况要及时发现处理,否则可能造成能源浪费现象,甚至引发严重的生产事故。针对这种问题,可应用人工智能技术建立设备能耗模型,并提取异常

用能数据中的特征,帮助企业辨识异常用能现象,并能判断可能原因及相应的概率,实现对异常用能现象的准确识别和分析<sup>[18]</sup>。

### 3.6 用能设备预测性维护

用能设备在使用一段时间后,其性能和状态会不可避免下降和变差,特别是一些在高温或腐蚀性条件下工作的设备,出现损坏现象的概率更大,如不及时进行维护或处理,可能造成工业事故甚至人员伤亡。针对以上问题,可使用人工智能技术通过历史监测数据建立模型,并根据设备运行的监测数据和退化机理模型及时检测到异常并预测设备剩余使用寿命,实现用能设备的预测性维护。

## 4 关键技术

为实现人工智能技术在有色冶金企业能源管控中的应用,需要的关键技术如图4所示。

1)工业数据采集技术。数据是人工智能技术的基础,关键参数的精准采集对提升算法精度有明显的效果,但在一些工作环境比较恶劣的条件下,采集参数的难度较大,这是需要解决的问题。

2)工业数据传输网络。将采集的数据及时、准确地传递是人工智能技术应用的重要保障。随着近年来5G网络、工业互联网技术的快速发展,为工业数据的传输提供了解决方案。

3)人工智能算法。算法是人工智能技术的核心,模型架构的合理性决定了其使用效果,此外为了保证决策的实时性,在保证精度的前提下,还要加快计算速度。

4)硬件算力。深度学习技术的出现使得模型的训练对计算能力的要求越来越高,对于需要实时监测实时控制的应用场景,对计算速度的要求更高,因此需要充足的硬件算力作为保证。

5)数据安全性保障。在人工智能时代,数据的安全现在已经受到越来越多的关注,且数据和模型参数涉及有色冶金企业的核心参数,必须采取严格的措施以防止安全隐患或者意外结果的发生。

## 5 结论

1)能源优化管控是有色冶金企业实现节能降耗的重要途径,但由于能源设备杂、介质种类多、工艺过程复杂等问题,大型有色金属冶炼企业的能源管控是一项非常复杂的工作。

2)人工智能技术利用收集的数据,通过算法建

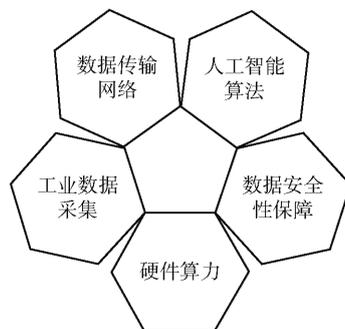


图4 人工智能关键技术

立高维度复杂的模型,根据数据实时做出相应决策,可帮助有色冶金企业实现智慧能源管控,对提高企业能源管控管理时效性和有效性、实各生产单元间能源综合协同优化管控有重要意义,是大型有色冶炼企业向低碳化、智能化发展的必然方向。

3)根据有色冶金企业能源管控中的实际需求,人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用场景主要包括用能计划预测与调度、用能设备智能控制、智慧能源管控系统、能源审计对标评价、异常用能检测和用能设备预测性维护等。

4)为实现人工智能技术在有色冶金企业能源管控中的应用,需要的主要关键包括工业数据采集技术、工业数据传输网络、人工智能算法、硬件算力、数据安全性保障等。

### [参考文献]

- [1] 国家统计局. 统计数据[DB/OL]. [2023-09-01]. <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0EOH&sj=2023>.
- [2] 刘晓龙,崔磊磊,李彬,等. 碳中和目标下中国能源高质量发展路径研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2021,23(3):1-8.
- [3] 谷琳,何坤,马明生. 基于能源结构视角的有色金属冶炼行业低碳发展分析[J]. 中国有色冶金,2022,51(3):1-7.
- [4] 沈洪远. 有色冶金过程数据挖掘及其在铜钨吹炼中的应用研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [5] 袁小锋,桂卫华,陈晓方,等. 人工智能助力有色金属工业转型升级[J]. 中国工程科学,2018,20(4):59-65.
- [6] 鄢铁强. 探讨人工智能技术在有色行业智能制造中的应用[J]. 世界有色金属,2019(22):11-13.
- [7] 方刚,王静,张波波. 工业企业智慧能源管理技术研究[J]. 能源研究与利用,2023(2):43-48.
- [8] 杨挺,赵黎媛,王成山. 人工智能在电力系统及综合能源系统中的应用综述[J]. 电力系统自动化,2019,43

- (1):2-14.
- [9] 袁焯,张永,丁汉. 工业人工智能的关键技术及其在预测性维护中的应用现状[J]. 自动化学报,2020,46(10):2013-2030.
- [10] 焦洪硕,鲁建厦. 智能工厂及其关键技术研究现状综述[J]. 机电工程,2018,35(12):1249-1258.
- [11] 李新创,栾治伟,施灿涛. 人工智能技术在钢铁行业中的应用研究[J]. 冶金自动化,2020,44(1):1-7.
- [12] 高仕斌,高风华,刘一谷,等. 自感知能源互联网研究展望[J]. 电力系统自动化,2021,45(5):1-17.
- [13] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2022 [M]. 北京:中国统计出版社,2023.
- [14] 张馨月. 人工智能技术的发展与应用研究[J]. 数字通信世界,2022(10):133-135.
- [15] 蔡静颖. 计算机人工智能技术的应用与发展[J]. 产业创新研究,2022(14):78-80.
- [16] 赵臻. 浅析人工智能技术在制造业中的应用框架思路构建[J]. 信息系统工程,2022(4):59-62.
- [17] 党银宁. 基于PCA数据降维和神经网络的能源审计对标评价方法的研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [18] 赵文恺,潘智俊,谢邦鹏,等. 基于人工智能算法的异常用能分析及应用[J]. 电力与能源,2019,40(6):715-716.

## Research on the Application of Artificial Intelligence Technology in Energy Management of Nonferrous Metal Smelting

XU Wei, HE Kun, GU Lin

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Energy conservation and consumption reduction is a key concern for non-ferrous metallurgical enterprises. Strengthening the level of enterprise energy management and control is an important way to achieve energy conservation and consumption reduction. However, due to the long production process, multiple processes, and complex process of non-ferrous metallurgical enterprises, energy management and control are more difficult. Utilizing artificial intelligence technology to achieve reasonable energy management and control for enterprises is the future development direction. On this basis, this article analyzed the application scenarios and key technologies of artificial intelligence technology in energy management of non-ferrous metal smelting based on the current energy consumption status and energy management characteristics of non-ferrous metallurgical enterprises, providing a foundation for the combination of artificial intelligence technology and the non-ferrous metallurgical industry.

**Key words:** artificial intelligence; non-ferrous metallurgy; energy consumption; energy management; key technologies; application scenarios