

基于大数据分析的火力发电厂节能减排技术研究

刘庆凤 杨笑宁

新疆华电高昌热电有限公司 新疆 838000

摘要: 文章对火力发电基本原理进行了阐述,分析了当前火力发电厂的能耗现状,在此基础上,重点论述了基于大数据分析的多项节能减排关键技术,包括燃烧优化技术、设备状态监测与故障预警技术、余热回收利用技术、负荷预测与优化调度技术等,它们共同运用大数据分析手段,致力于实现能源的精细化管理,从而显著提升能源利用效率,加强污染治理的效果,通过这些技术的应用,火力发电厂能更有效地减少能耗,实现绿色、可持续的发展。

关键词: 大数据分析;火力发电厂;节能减排技术

引言

随着全球环境问题的日益严峻以及能源资源的逐渐匮乏,节能减排成为各个行业发展的关键任务。火力发电厂作为能源转换的重要部门,在国民经济发展中起着举足轻重的作用,但同时也是能源消耗和污染物排放的大户。在我国,一系列的政策文件不断强调节能减排在火力发电领域的重要性,例如,《电力发展“十三五”规划》明确提出要提高火力发电效率,降低煤耗、减少污染物排放等要求。《“十四五”节能减排综合工作方案》进一步要求推动火力发电行业的绿色低碳转型,实施节能降碳重点工程,加强能源资源的高效利用。从国际上来看,应对气候变化的《巴黎协定》也促使各国积极探索火力发电厂节能减排的有效途径。大数据技术的飞速发展,为火力发电厂节能减排提供了新的机遇,通过对发电厂运行过程中产生的海量数据进行分析,可以精准地挖掘设备运行的潜在优化空间、实现能源的精细化管理、提升污染治理的效率等。因此,基于大数据分析的火力发电厂节能减排技术研究具有重要的现实意义,有助于火力发电厂在满足电力供应需求的同时,实现可持续发展的战略目标。

一、火力发电的基本原理

火力发电的基本原理是一个能量转换的过程,具体是通过煤、石油、天然气等燃料的燃烧来加热锅炉内的水,使水温升高转变为高压水蒸气,这些高压水蒸气具有巨大的热能,通过特定的管路被输送到汽轮机组^[1]。在汽轮机中,高温高压的水蒸气推动汽轮机叶片转动,将热能转换为机械能,汽轮机的轴与发电机的轴是相连的,因此汽轮机的转动会带动发电机转子一同转动。发电机内部有转子和定子,转子转动时在定子内产生磁场,利用电磁感应原理,定子线圈切割磁力线,从而产生电

流,实现机械能向电能的转换。最后,产生的电能被输送到电力系统中,供用户使用,同时做功后的蒸汽会进入冷凝器,通过冷却水将其冷凝为水,冷凝水被抽送回锅炉继续加热形成蒸汽,从而形成一个封闭的循环系统。此外,燃烧产生的烟气在排放前会经过脱硫、除尘等净化处理,以减少对环境的污染。

二、火力发电厂能耗现状

根据国家统计局发布的最新数据,2024年每千瓦时火力发电标准煤耗下降了0.2%,这一数据反映了火力发电行业在节能减排方面取得的积极进展。尽管新能源装机占比不断突破,火电仍承担着60%以上的电力供应任务,在应对极端天气与电网调峰方面发挥着关键作用。从装机容量来看,2024年1-11月,我国火力发电累计装机容量达143426万千瓦,同比增长4%,这表明火力发电在电力供应中的基础性作用依然不可撼动(如图1)。不过,随着可再生能源的快速发展,火力发电发电量在全国总发电量中的占比呈现出逐渐下降的趋势。

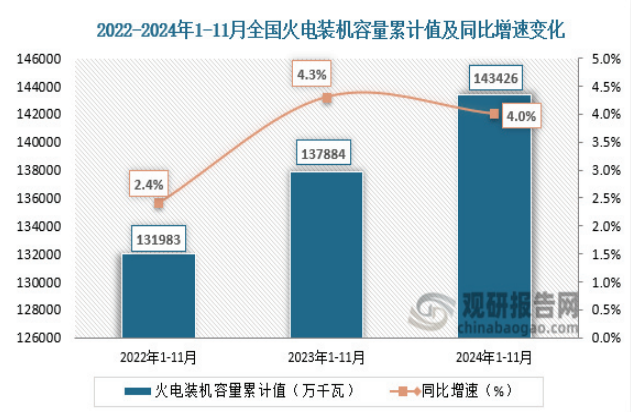


图1 2022-2024年1-11月全国火电装机容量累计值及同比增速变化

在能耗方面，火力发电厂面临着多方面的挑战，一方面，煤炭作为火力发电的主要燃料，其质量参差不齐，不同批次的煤炭发热量、挥发分等指标存在差异，影响了燃烧的稳定性，导致部分煤炭未能充分燃烧，造成能源浪费。另一方面，锅炉、汽轮机等关键设备的运行效率也直接影响着能耗水平，例如，锅炉的燃烧设备和控制技术有待优化，汽轮机的叶片在长期高速旋转过程中会受到磨损和腐蚀，这些都会影响设备的能效。此外，火力发电厂的厂用电也是能耗的一个重要组成部分，厂内众多的辅助设备，如给水泵、送风机、引风机等，无时无刻不在运转，消耗着大量的电能，而部分设备由于老化，效率降低，需要消耗更多的电能来维持正常运行^[2]。

三、基于大数据分析的火力发电厂节能减排技术

(一) 燃烧优化技术

燃烧过程在火力发电中处于核心地位，其效率决定了能源利用的有效性以及污染物的排放水平，基于大数据分析的燃烧优化技术是一个综合性的系统工程。

首先，数据的采集是基础，火力发电厂需要安装众多高精度的传感器，来获取与燃烧相关的各类参数。煤质数据方面，除了挥发分、灰分和热值，还包括含硫量等，这些参数影响着燃烧的基本特性和污染物的生成。燃烧器运行数据中的一次风、二次风比例对燃料与空气的混合效果有着关键影响，而喷口的偏斜角度等几何参数也会影响火焰的形状和传播路径，进而影响燃烧效率。炉膛内的温度场和压力场分布数据反映了燃烧的空间特性，不均匀的温度和压力分布会导致局部燃烧不充分^[3]。

在数据采集的基础上，大数据分析算法发挥着核心作用，火力发电厂可以通过数据挖掘技术，对海量的历史和实时数据进行分析，找出隐藏在数据中的规律。如采用关联规则挖掘算法，发现不同参数之间的关联关系，像煤质中的灰分增加时，需要调整一次风的风速以保证良好的燃烧效果。

其次，建立燃烧模型是燃烧优化的关键步骤，这个模型应结合物理原理和数据驱动的方法，模拟真实的燃烧过程，通过输入煤质、燃烧器运行等参数，模型就可以输出燃烧效率、火焰温度分布等结果。

最后，在实际操作中，火力发电厂需要根据大数据分析的结果，动态调整燃烧器的配风方案，当机组负荷发生变化时，系统要能根据预先建立的模型调整一次风和二次风的风速、风量以及风温等参数，确保燃料在炉膛内的各个角落充分、稳定地燃烧。这不仅提高可以发电

效率，降低煤耗和二氧化碳排放，还有助于减少氮氧化物（NO_x）等污染物的生成，实现节能减排的双重目标。

(二) 设备状态监测与故障预警技术

设备状态监测与故障预警技术的实施，离不开传感器网络的广泛部署，它们如同电厂的“神经末梢”，可以实时捕捉设备运行数据。在火力发电厂中，锅炉、汽轮机和发电机等关键设备均需被纳入这一监测体系，对于锅炉而言，可以将温度传感器、压力传感器以及流量传感器等安装在炉管、汽包等关键部位，实时反馈锅炉内部的运行状态。在汽轮机方面，可以将振动传感器部署在轴承部位，监测汽轮机的振动情况，同时将高精度传感器安装在叶片附近，捕捉叶片在高速旋转下的微小变化。发电机则通过监测绕组温度、电流、电压等参数，确保其电气性能的稳定。这些传感器所采集的海量数据，能被大数据平台所接收并管理，在数据存储环节，大数据平台应充分考虑数据的规模、类型、存储的安全性和可扩展性，确保数据的完整性和可靠性。

在数据清洗过程中，大数据平台需要通过一系列技术手段，去除噪声数据、异常数据和重复数据，进一步提升数据的质量。进入数据分析环节，大数据平台可以采用多种先进算法，如利用主成分分析（PCA）算法对高维数据进行降维处理，提取出关键特征；再采用基于深度学习的卷积神经网络（CNN）或循环神经网络（RNN）对设备的正常运行模式进行学习。这些算法通过对大量正常运行数据的训练，能准确识别设备在不同工况下的正常特征模式，为故障预警提供有力支持。当设备出现故障时，数据中的特征将发生明显变化，以汽轮机的轴承故障为例，当轴承内部出现磨损或润滑不良时，振动传感器所采集的数据会表现出振动幅值增大、频率成分变化等特征。此时，故障预警系统能迅速捕捉到这些变化，并与正常模式进行对比分析，从而准确判断故障的类型和严重程度。这种早期的故障预警可以为维修人员提供充足的时间进行准备和采取措施，避免设备故障的进一步恶化以及因设备突然停机而造成的能源浪费^[4]。同时由于及时进行针对性的维修，能够减少维修的盲目性，降低维修成本，提高设备的整体使用寿命和可靠性，间接地为节能减排做出贡献。

(三) 余热回收利用技术优化

余热回收利用涉及多个维度的数据采集与分析，其中锅炉排烟余热与汽轮机排汽余热尤为关键。对于锅炉排烟而言，除了基本的排烟温度、流量及湿度监测外，还需细致考量排烟中的粉尘含量，因其直接关系到余热

回收设备的换热效能。同样汽轮机排汽的余热回收也不仅限于温度和压力的控制，排汽的品质，尤其是含气量，同样对回收效率有着不可忽视的影响。此外，环境温度与湿度等外部环境因素，也是影响余热回收系统性能不可忽视的一环。大数据分析技术的引入，为揭示余热产生量、品质与多种影响因素间的复杂关联提供了有力工具。通过对历史数据的深度挖掘，火力发电厂可以发现机组负荷与排烟余热之间存在非线性关系，这种关系在高负荷运行时尤为显著，伴随着排烟温度和流量的上升，以及可能的粉尘含量变化，对余热回收策略的制定提出了更高要求。同时环境温度的季节性波动也对汽轮机排汽余热回收构成了直接影响，冬季低温环境下，排汽余热的回收潜力虽大，但也需警惕凝结水结冰的风险。

基于上述分析，优化余热回收系统的运行策略成为节能减排的关键所在，大数据分析助力确定不同负荷、煤种及环境条件下的最优经济回收温度区间，据此调整余热回收装置的设计参数，如换热器面积、介质流量等，以实现能效最大化。例如，在冬季高负荷且排烟粉尘含量较低的理想条件下，适度扩大换热器面积，可显著提升余热回收效率。此外，大数据分析还可以用于对余热回收设备的性能进行实时监测与评估，通过对比设备进出口的温度差、压力差等数据，及时发现并预警设备结垢、腐蚀等问题，确保余热回收设备持续高效运行。一旦发现换热效率下降的迹象，如换热器进出口温度差缩小，即可迅速安排清洗维护，有效避免能源浪费，助力火力发电厂实现节能减排的长远目标。

（四）负荷预测与优化调度技术

负荷预测的准确性在很大程度上依赖于多源数据的整合，电力系统的历史负荷数据，如日、周、年负荷曲线，可以揭示用户用电的基本规律。气象数据中的气温、湿度等因素也对负荷产生显著影响，夏季的高温导致制冷设备的大量使用，从而推高用电负荷，而风速的变化则影响分布式能源的接入和电网的稳定性，进而间接影响火力发电的负荷需求。此外，用户侧的用电习惯数据也是负荷预测不可或缺的一部分，涵盖了不同类型用户的用电时间分布、用电设备类型等多元化信息。为了建立精确的负荷预测模型，火力发电厂需要对这些海量数据进行深度挖掘。采用神经网络算法时，网络结构的设计至关重要，包括输入层、隐藏层和输出层的节点数量以及激活函数的选择。输入层节点的数量需根据输入数据的维度来确定，如历史负荷数据、气象数据和用户用

电习惯数据等。隐藏层的层数和节点数量则需通过反复试验和优化，以提高模型的预测精度。而支持向量机算法则需要根据数据的分布特点选择合适的核函数，如线性核函数、多项式核函数或高斯核函数等。

基于准确的负荷预测结果，优化调度成为实现节能减排的关键，在机组的启停安排上，火力发电厂可以根据负荷预测曲线，提前安排部分机组在负荷低谷期停机，避免机组在低负荷下长时间低效率运行。对于调峰性能较好的小机组，可以在夜间等负荷低谷时段停机，从而节约能源消耗。在负荷分配方面，当有多台机组同时运行时，火力发电厂应根据各机组的能耗特性曲线，将负荷合理分配到不同机组上^[5]。对于能耗较低的高效机组，可以分配更多的负荷，确保整个发电厂在满足电力需求的同时，尽可能地减少能源消耗。通过与电网的协同调度，火力发电厂能够更好地适应电网的需求变化，提高电力系统的整体运行效率，这不仅可以减少因供需不匹配导致的能源浪费，还能有效推动节能减排目标的实现。

结语

在火力发电厂中，基于大数据分析的节能减排技术有着巨大的提升空间，未来，随着大数据技术不断发展、数据挖掘算法不断创新、数据安全不断完善，火力发电厂能够更加精准地运用大数据，在节能减排方面实现深度突破。这不仅有助于削减发电成本、提升电厂的经济效益，还能更好地满足日趋严格的环保标准，在推动能源转型的过程中发挥更为重要的作用。

参考文献

- [1] 张晓辉, 胡晓芬, 梁文. 大数据分析在发电厂设备缺陷管理中实践[J]. 云南水力发电, 2022, 38(01): 259-261.
- [2] 刘伟, 王刚, 张晓峰, 等. 大数据分析在火力发电厂节能降耗中的应用分析[J]. 电气时代, 2024, (11): 47-50.
- [3] 张正樵. 大数据技术在发电厂环保对策中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(05): 370-371.
- [4] 宋得瑞, 关婷, 何熙南, 等. 基于大数据技术的燃煤发电厂运行风险评估方法[J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2025, 30(01): 16-20.
- [5] 王成. 基于大数据的发电厂设备智能无线点巡检管理系统研究[J]. 大众标准化, 2024, (13): 170-172.