

[大数据]

大数据分析在火力发电厂节能降耗中的应用分析

文/刘伟 王刚 张晓峰 李维
华能荆门热电有限责任公司

伴随社会经济和科学技术快速发展与不断创新，大数据、人工智能等诸多更具先进性和精准性的技术得到科学改进和进一步完善，充分考虑到大数据分析技术在厂级快速性、经济性以及环保性方面具有的优势和特点，将其与火力发电厂节能降耗以及构建智能化机组等工作进行有机融合，是现阶段火力发电厂实现可持续健康发展的关键前提和重要路径。基于此，就火力发电厂能耗现状进行简要分析，并针对以大数据分析为支撑和依据的模型构建以及大数据分析在火力发电厂节能降耗中的具体应用展开深入探讨。

火力发电厂在全球能源结构中占据着极为重要的地位，有效保证其运行的稳定性、高效性以及安全性，是现下日益增长的能源需求得到充分满足的关键。作为传统能源的主要生产形式，火力发电厂在生产稳定且高效能源的同时，其在能源消耗以及环境污染等方面也存在诸多不足有待进一步完善。对此，实现火力发电厂各项能源最大化利用，极大降低并有效控制其对环境造成的影响和破坏，已成为现下火力发电厂发展工作的重中之重。在此背景下，大数据技术的合理引进与规范应用，让整体数据处理以及分析能力得到进一步强化，为推进火力发电厂节能降耗提供强劲助力和强有力保障。

火力发电厂能耗现状

在全球能源转型脚步不断加快以及环境保护理念持续深入的影响下，对火力发电厂能源效率和环境污染管控方面提出更为严苛的要求和标准。首先，部分发电厂所采用的技术整体先进性和精准性不足，致使燃烧效率难以得到进一步提升，能源转换率低下，从而让燃料消耗量急剧上升的同时，还加剧了CO₂及其他污染物的排放。其次，“3060”

的提出以及“碳交易”在火电企业的实行使得火力发电厂在减排方面面临更多技术和经济的挑战。

以大数据分析为支撑和依据的模型构建原理

1. 基于大数据分析的多目标负荷分配模型

以电网发电控制系统（AGC）作为媒介和枢纽，将目标负荷指令传递给电厂，并以电厂各机组实际运行情况以及历史数据作为依据和参考，针对相关数据进行预处理工作后并选取稳态运行数据，然后合理借助并规范操作模糊粗糙集以获取最优、最简数据属性集，进而对机组可控运行参数进行科学设定和进一步明确，同时也完成供电、煤耗以及环保指标目标工况数据集的构建工作。与此同时，以PSO-SVA优化模型作为依据和支撑，并加之并行化NSGA-II算法予以辅助和配合，以此作为雏形开展快速性、经济性、环保性多目标复合优化计算工作，并针对机组整体可调控负荷程度展开深入分析和进一步明确，同时针对其能耗减污染性能展开综合考量和科学评估，制定出最具合理性与可行性的负荷分配策略，以实现在极短时间内完成负荷分配工作的同时，进行再次优化负荷分配，让电力

系统整体能耗以及运行成本得到有效控制和极大降低。对于负荷优化分配的实际状况，如图1所示。

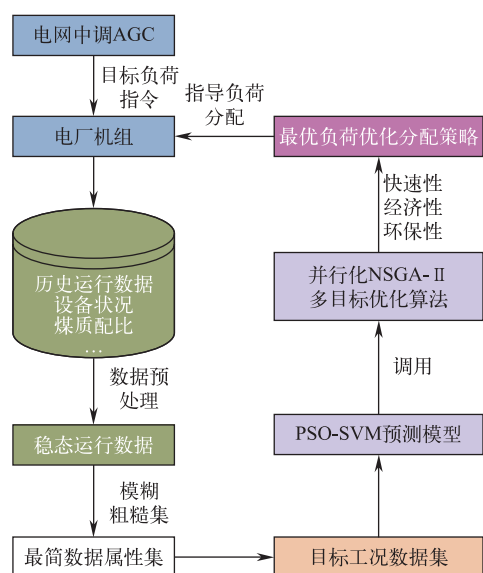


图1 大数据方法的负荷优化分配示意图

2. 火力发电厂负荷分配的物理模型

负荷多目标优化工作的实质在于，实现对机组负荷分配快速性得到充分满足的同时，以设计变量取值范围作为依据选取并明确最佳设计点，在确保机组供电煤耗得到有效控制的基础上，针对污染物指标最优分配方案展开深入探索。

首先，充分结合负荷与供电，煤耗以及污染物指标之间的关联，构建离散模型

$$f(P_i) = (b_i, \bar{s}_i), i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中， i 为机组工况点个数； p_i 为机组负荷； b_i 为供电煤耗； $\bar{s}_i$ 为污染物指标， $\bar{s}_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}\}$ ； m 为污染物指标个数。

负荷优化分配经济性是指，在以负荷指令和机组出力限制条件作为依据和参考，确保总体供电煤耗量得到尽可能降低，以供电煤耗与负荷作为主体和核心，构建二次拟合曲线

$$B_i = a_i p_i^2 + b_i p_i + c_i \quad (2)$$

式中， B_i 为供电煤耗； p_i 为机组负荷； a_i 、 b_i 、 c_i 为第 i 台机组的供电煤耗特性系数。

其中需要格外注意的是，本文以MATLAB所具备的polyfit多项式拟合函数计算作为依据和支撑获取供电煤耗特性系数值。

除此之外，负荷优化分配环保性与经济性存在

一定相似性，在实现负荷需求以及机组功率限制条件得到充分满足的基础上，实现机组污染物排放量得到有效控制和尽可能降低，构建污染物排放表达式为

$$\bar{s}_i = \alpha_i p_i^3 + \beta_i p_i^2 + \gamma_i p_i + \lambda_i \quad (3)$$

式中， $\bar{s}_i$ 为污染物指标； p_i 为机组负荷； α_i 、 β_i 、 γ_i 、 λ_i 为第 i 台机组的污染物特征参数。

而对于机组负荷分配快速性来说，其是指在极短时间内完成负荷调整工作，换言之，机组负荷分配应与其响应负荷变化能力维持正比关系，快速性可描述为

$$i / P_{i-1} \geq V_i / V_{i-1} \quad (4)$$

式中， P_i 为分配给第 i 台机组的负荷； V_i 为第 i 台机组的实际变化速率， $V_i \geq V_{i-1}$ 。

倘若负荷分配与上述要求和限制条件存在较大差距，则可以夏氏作为依据和支撑，针对分配方案最优的前 k 名进行合理筛选

$$\Delta = \max_{j=1}^k \left(\sum_{i=2}^n \Delta_i \right) \quad (5)$$

式中， $\Delta_i = P_i / P_{i-1} - V_i / V_{i-1}$ ； n 为机组台数。

3. 并行NSGA-II多目标优化路径

本文以MapReduce编程模型作为媒介和支撑，对NSGA-II算法做出必要调整和科学创新，同时加之并行化计算予以辅助和配合，全过程秉持“分而治之”理念和思想，以此让传统NSGA-II算法在大规模数据计算过程中存在的收敛时间长、计算效率低等问题得到合理优化。与此同时，也让NSGA-II算法在进行大数据计算过程中形成的托帕累托前沿问题发生的可能性得到有效控制和极大降低，以此让此因素对计算过程以及最终决策造成的影响和阻碍得到极大降低。完成调整与优化后的算法计算流程如图2所示，从整体角度来看可划分为四大部分。

1) 数据输入阶段。将多重负荷下稳定运行期间所产生的参数划分成 m 个子集，并与相应的HDFS工作节点进行有机结合。同时，合理借助并规范应用java程序对相关数据进行初始化处理，以完成NSGA-II初始进化种群构建工作。

2) Map函数阶段。Map函数阶段工作的核心在于，围绕NSGA-II进化方向以及途径展开科学计算，并对种群个体适应度值以及供电，煤耗等相

关数值进行进一步明确。除此之外，也针对种群个体非支配排序Rank值以及种群交叉率 P_c 等进行严格计算。在实际过程中需要格外注意的是，应以初始参数种群文件形式进行输入，以<reducer id, (individual, fitness)>为输出。

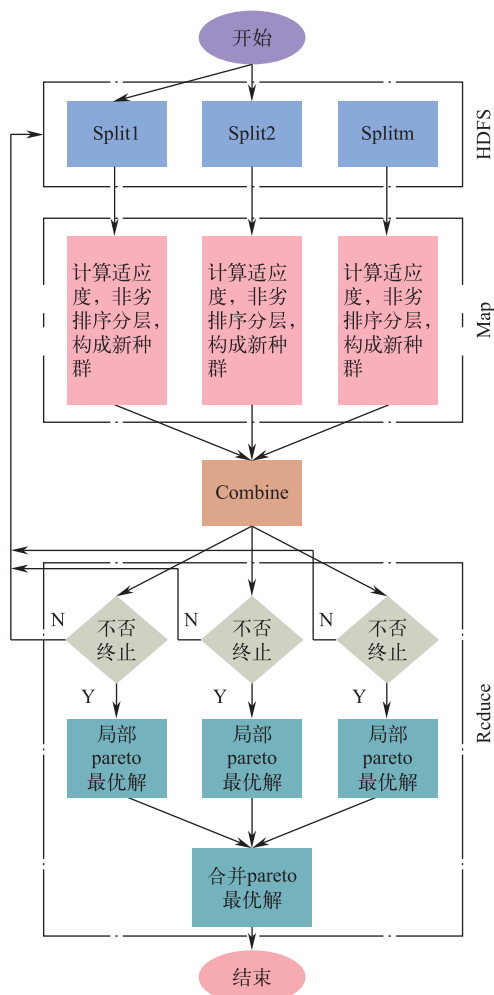


图2 并行式NSGA-II 算法流程图

3) Combine函数阶段。此函数阶段工作针对Map函数的输出值进行精细划分和必要处理，并将Map函数种群根值key进行科学合理配置，将其与相应的Refuce函数进行挂钩，确保各Reducer所具备种群数量的一致性。

4) Reduce函数阶段。此阶段工作的核心在于对各节点能否满足终止条件进行判断和评估，输入为<reducer id, (individual, fitness)>。其中，针对能够充分满足终止条件的帕累托解进行整合汇总并得到最终结果；而对于未能充分满足终止条件的，如需再次选择、交叉、变异返回HDFS

中，以上述工作流程作为依据和参考进行函数计算。

大数据分析在火电厂节能降耗中的具体应用

1. 磨煤机数据监测与石子煤自动搬运模型的建立

火力发电厂的运行过程中，磨煤机的效率和石子煤的处理直接影响整体的能耗与生产效率。围绕磨煤机的运行数据进行大数据分析，可以建立一个精准的石子煤自动搬运模型，从而提高搬运的及时性和准确性。假设磨煤机的运行状态变量及参数为： $X(t)$ 表示磨煤机在时间 t 的运行负荷； $Y(t)$ 表示磨煤机在时间 t 的石子煤产生量； $Z(t)$ 表示磨煤机煤斗中石子煤的累积量； $M(t)$ 搬运设备在时间 t 的搬运能力。

此外，以 T 表示搬运周期 α, β, γ 分别表示模型调整参数。

基于上述变量和参数，可以构建石子煤自动搬运模型，表达式为

$$Z(t) = Z(t-1) + Y(t) - M(t) \quad (6)$$

$$M(t) = \gamma(\alpha Z(t) + \beta X(t)) \text{ if } Z(t) > Z_{\text{threshold}} \quad (7)$$

式中， $Z_{\text{threshold}}$ 为触发搬运设备启动的石子煤累积量临界值； α 和 β 为权重参数，用于平衡磨煤机负荷和石子煤累积量在搬运决策中的作用；搬运效率参数，即搬运设备根据当前情况调节的实际搬运能力。

上述模型的核心原理是，通过实时监测磨煤机的运行负荷 $X(t)$ 和石子煤的产生量 $Y(t)$ ，动态调整煤斗中石子煤的累积量 $Z(t)$ 。当 $Z(t)$ 超过临界值 $Z_{\text{threshold}}$ 时，搬运设备将启动进行搬运。针对搬运能力 $M(t)$ 进行计算时，不仅依赖于当前的石子煤累积量 $Z(t)$ ，还需考虑磨煤机的运行负荷 $X(t)$ ，从而确保搬运的及时性和准确性。

假设磨煤机在某段时间内的运行数据如下为： $X(t)$ 为80%的负荷； $Y(t)$ 为每小时产生50 kg 石子煤；初始石子煤累积量 $Z(0)$ 为200 kg；临界值 $Z_{\text{threshold}}$ 为300 kg；参数 α, β, γ 的具体值分别为0.6、0.4、0.5。在第一个小时结束时： $Z(1) = 200 + 50 - M(1)$ ； $M(1) = 0.5 \times (0.6 \times 250 + 0.4 \times 80) = 0.5 \times (150 + 32) = 91$ kg，所以， $Z(1) = 200 + 50 - 91 = 159$ kg。

通过这种方式，可以持续监测和调整煤斗中的石子煤量，确保搬运设备在合适的时间启动，优化

搬运效率，实现节能降耗的目标。

2. 搬运设备运行优化与效率提升

在上述分析过程中可以发现，火力发电过程中，石子煤的搬运效率直接影响到整体生产的连续性和能耗水平。通过大数据分析搬运设备的运行情况，可以优化其运行策略，从而提高搬运效率并减少不必要的能耗。假设搬运设备的运行状态变量及参数为： $E(t)$ 表示搬运设备在时间 t 的能耗； $C(t)$ 表示搬运设备在时间 t 的搬运量； $P(t)$ 表示磨煤机在时间 t 的生产需求； $R(t)$ 表示磨煤机在时间 t 的石子煤产生速率。

δ ， ϵ ， η 均为模型调整参数，具体来说： δ 表示基础能耗参数，即单位搬运量的能耗； ϵ 表示搬运量对能耗影响的指数，反映搬运量与磨煤机生产需求的关系； η 表示石子煤产生速率对能耗影响的指数，反映搬运量与石子煤产生速率的关系。

基于上述变量和参数，可以构建搬运设备运行优化模型为

$$E(t) = \delta \frac{C(t)^\epsilon R(t)^\eta}{P(t) C(t)} \quad (8)$$

模型（7）的核心原理是，通过分析搬运设备的能耗 $E(t)$ 、搬运量 $C(t)$ 、生产需求 $P(t)$ 以及石子煤的产生速率 $R(t)$ ，优化搬运设备的运行策略。通过调整参数 δ ， ϵ ， η ，可以找到能耗最低的运行方案，从而提升整体搬运效率。

假设在某段时间内的运行数据如下： $P(t)$ 为1 000 kg/h； $R(t)$ 为100 kg/h；初始搬运量 $C(t)$ 为90 kg/h；参数 $\delta=1.2$ ， $\epsilon=0.8$ ， $\eta=0.6$ 。在第一个小时内，能耗计算如下： $E(1)=1.2 \times (90/1000)^{0.8} \times (100/90)^{0.6} \approx 0.247$ 。

根据上述结果，可以发现，能耗与搬运量和石子煤产生速率的关系是非线性的。通过调整和的值，可以进一步优化搬运设备的运行策略，达到最低能耗的目标。

3. 堆场石子煤动态管理与处理策略

火力发电厂堆场的石子煤管理是确保煤炭供应链稳定的重要环节。通过动态管理与科学的处理策略，可以有效地控制堆场石子煤的数量，避免资源浪费和环境污染。结合磨煤机的生产需求，优化搬运设备的运行机制，可以制定出一套更高效率的堆场石子煤动态管理机制。具体来说：

1) 实时监控与预测。通过传感器和大数据分析技术，实时监控堆场石子煤的储量，结合磨煤机的生产需求和历史数据，预测未来一段时间的石子煤产生量和消耗量。

2) 优先级处理。根据石子煤的堆放时间和煤质情况，设置处理优先级。先处理堆放时间较长的石子煤，防止长期存放导致质量下降。

3) 分区管理。将堆场划分为多个区域，每个区域对应不同的煤质或堆放时间，方便分类管理和调度。

4) 联动调度。结合搬运设备的运行优化模型，动态调整搬运设备的调度策略，确保石子煤能够及时运输到需要的地方。

5) 环境保护措施。在堆场管理过程中，采取防尘、防火等措施，减少对周边环境的影响。

总之，火力发电厂针对堆场石子煤进行动态管理，不仅能提高生产效率，还能实现资源的最优配置，推动可持续发展。

结束语

大数据分析技术的合理引进与规范应用，为现阶段火力发电厂实现节能降耗目的提供有力的技术支持。伴随时间的不断推移，科学技术将得到实时创新与进一步完善，大数据技术在整个能源领域中占据的地位以及发挥的作用将日益显著。为有效保证并适时强化大数据应用成效，要求火力发电厂在实际发展中进一步提升对数据管理体系的关注力度和重视程度，合理调整对相关技术研发以及人才培养等工作的投入力度，同时针对与环境保护以及可持续发展相结合的新路径展开不断探索和深入挖掘。EA

(收稿日期：2024-07-24)

参考文献

- [1] 吕晓娟，张博．大数据分析在火力发电厂节能降耗中的应用研究[J]．电气技术与经济，2024，(6)：81-83.
- [2] 席宇伟．大数据分析在火电厂燃料库存管理与调配中的应用[J]．电气技术与经济，2024，(6)：285-288.