[发电效率]

基于煤质数据分析的发电厂掺烧效益提升方法

文/刘兴　孟浩　王茂林　聂彬宇
内蒙古京能盛乐热电有限公司

为提高燃煤电厂的发电效率，降低燃料成本和污染物排放，以煤质数据为基础，采用优化模型构建与实验验证相结合的方法，研究不同煤种掺烧比例对发电效益的影响。结果表明，科学的掺烧比例设计能够显著提高效率、减少成本，并有效控制SO_2和NO_x的排放，为电厂经济效益与环保目标的协同实现提供重要支持。

燃煤电厂作为能源供给的核心，其燃料利用效率和环境影响备受关注。在煤质复杂多样和环保压力日益严峻的背景下，优化掺烧比例成为提高发电效率和降低排放的重要手段。基于煤质数据分析和动态优化方法，本研究在构建科学的掺烧模型，探索不同煤种配比对发电效率、成本及污染物排放的影响，通过实验验证实现效益提升。研究成果不仅为燃煤电厂的经济性与环保性提供技术支持，也为能源领域的可持续发展提供重要参考。

基于煤质数据的发电厂掺烧分析

1. 煤质数据获取与分析

采集样品后，通过工业分析仪、元素分析仪等设备，测定煤样的水分、挥发分、灰分、固定碳和热值等关键指标。这些数据在煤种分类、燃烧性能预测和掺烧配比中起着决定性作用。如某地区电厂采集的三种煤样数据为：A煤的热值为25 MJ/kg、灰分为12%、挥发分为30%；B煤的热值为20 MJ/kg、灰分为15%、挥发分为28%；C煤的热值为22 MJ/kg、灰分为10%、挥发分为32%。分析后发现，高热值和低灰分的煤种在混烧中可显著提高燃烧效率。利用热值与发电效率的回归方程为

$$E = aQ + b \tag{1}$$

式中，E表示效率；Q为热值。

评估不同煤种的贡献，并将其结果可视化为图表，展示各煤种热值与发电效率的相关性。这些分析结果为后续的掺烧方案提供科学依据。

2. 不同煤种掺烧对发电效率的影响

不同煤种的掺烧对发电效率产生显著影响。通过试验，分析A、B、C煤种在不同比例下对发电效率的影响，数据见表1。在发电过程中，煤种热值和挥发分含量的差异直接影响燃烧速度和效率。掺烧比例控制试验表明，A煤比例较高时，由于其热值较高，燃烧产生的热量增加，发电效率也随之提升；而灰分较高的B煤则会导致炉内积灰增加，影响传热效率，从而降低整体发电效率。

表1　不同煤种掺烧比例对发电效率的影响

煤种比例	A煤（%）	B煤（%）	C煤（%）	发电效率（%）
方案1	50	30	20	92.5
方案2	60	20	20	93.8
方案3	40	30	30	90.2
方案4	45	35	20	91.7
方案5	55	25	20	92.3

掺烧对效率的具体影响可通过回归分析模型进行描述，效率公式为

$$E = \alpha A + \beta B + \gamma C + \in \tag{2}$$

式中，α、β、γ为煤种的系数；E为发电效率。

数据分析表明，当A煤占比在40%～60%，B煤在20%～30%，C煤在10%～20%时，发电效率达到最优状态。通过表格数据和公式计算，可以得出最佳掺烧比例组合，使发电效率达到最大化。

3. 最优掺烧比例的确定

通过对多组掺烧实验结果进行对比发现，不同煤种的组合比例对发电效率影响显著。当A煤比例为55%、B煤比例为25%、C煤比例为20%时，发电效率达到最高，为93.8%。这一组合在保证高热值的同时，避免单一煤种可能带来的灰分过高或燃烧不充分的问题。在确定最优掺烧比例时，还需考虑锅炉设计参数和运行工况，确保掺烧比例与锅炉负荷和燃烧特性匹配。通过数据回溯和现场测试验证，该比例不仅提高燃料利用率，还有效降低污染物排放，实现经济效益与环保效益的双赢。

基于煤质数据的掺烧效益提升方法

1. 掺烧方案优化模型构建

掺烧方案优化模型以提高发电效率和降低运行成本为目标，建立煤质参数与综合效益的量化关系。优化模型的目标函数为最大化综合效益

$$Z = \alpha E + \beta C + \gamma P \tag{3}$$

式中，E为发电效率；C为煤炭采购成本；P为污染物排放量；α、β、γ分别为权重系数，反映不同目标的优先级。约束条件包括煤种掺烧比例总和为100%、单种煤比例限制和锅炉负荷适配性等。

模型计算基于多组实验数据，表2为某发电厂优化前后的关键指标对比。优化方案表明，当A煤、B煤、C煤的比例分别为60%、25%、15%时，综合效益达到最大值。发电效率提升至93.5%，燃料成本降低5%，污染物排放减少约10%～15%。

表2　优化前后掺烧方案指标对比

指标	优化前	优化后	提升幅度
发电效率（%）	91	93.5	2.5
燃料成本/（元/t）	500	475	−5%
SO_2排放/（mg/m³）	1 200	1 050	−12%
NO_x排放/（mg/m³）	950	805	−15%

2. 掺烧方案的动态调整策略

掺烧方案的动态调整策略是应对煤质波动、市场变化以及锅炉运行状态的关键手段，其核心在于实时监测、动态优化和快速响应。首先，实时监测是动态调整的基础，通过在线煤质分析仪器获取热值、灰分和挥发分等关键参数，结合智能监控系统对锅炉运行负荷、燃烧效率和污染物排放进行持续监控。这些数据通过云平台传输至中央分析系统，实现实时更新和动态展示。其次，动态优化策略基于实时数据进行掺烧比例的即时调整。通过历史数据和机器学习算法建立的预测模型，可准确预估煤质变化趋势。当系统检测到煤质指标偏离既定范围时，自动触发调整机制。例如，当A煤热值下降至20 MJ/kg以下时，系统自动建议减少A煤比例并适当增加B煤的配比，以维持燃烧稳定性和发电效率。结合市场价格波动数据，调整高成本煤种的使用比例，优化经济效益。最后，快速响应机制保证调整策略的高效执行。依托自动化燃料混合装置，掺烧比例的调整可在短时间内完成，避免燃料浪费和效率下降。定期对动态调整策略进行回顾与优化，结合运行反馈数据改进模型算法，不断提升系统的适应性和准确性。

3. 掺烧效益提升的实现

掺烧效益的提升是优化煤种利用效率、降低燃料成本、提高发电效率以及控制污染物排放的综合体现。具体实现路径包括三个方面：燃料成本控制、发电效率提升和环境效益优化。

一方面，通过掺烧比例优化，实现煤种资源的高效利用和成本控制。在优化方案下，不同热值、灰分的煤种被合理组合使用，减少高成本煤种的依赖，提高经济煤种的利用率。数据分析表明，通过优化掺烧比例，煤炭采购成本平均降低5%～8%，为电厂运营节约大量成本。另一方面，发电效率显著提升。通过科学确定掺烧比例，使锅炉燃烧更加充分，热能利用率提高。如在某电厂掺烧优化试验中，发电效率由原来的91.0%提升至93.5%。这主要得益于高热值煤种的适量增加和低灰分煤种对锅炉传热效率的改善。最后，环境效益的提升尤为显著。优化掺烧比例后，污染物排放得到有效控制，尤其是SO_2和NO_x排放分别减少12%和15%。这源于低硫煤种的合理引入和高效燃烧技术的结合。

实验验证与分析

1. 实验设计与数据收集

实验采用某电厂实际运行环境，设置不同掺烧

比例组合，测定发电效率、燃料成本和污染物排放指标。实验设计包括A煤（高热值）、B煤（中灰分）、C煤（低硫煤）三种煤种，不同比例组合的试验组共5组（见表1），以全量单煤掺烧为对照组。通过在线监测设备实时记录煤质参数、锅炉负荷、发电效率和排放量，并对实验数据进行多次重复验证，以提高可靠性。

表3展示不同实验组的掺烧比例设计，以对照组（全量A煤）为基准，逐步调整A煤、B煤和C煤的比例以优化发电效益和排放指标。试验组设计从A煤比例逐渐减少，B煤和C煤比例相应增加。试验组1中，A煤占比60%，B煤和C煤分别为25%和15%，以保持高热值和低污染特性。随着A煤比例降低至40%（试验组5），掺入更多B煤和C煤，降低燃料成本的同时考察燃烧效率和环保效果变化。如图1所示。

表3　实验组掺烧比例设计情况

组别	A煤比例（%）	B煤比例（%）	C煤比例（%）
对照组	100	0	0
试验组1	60	25	15
试验组2	55	30	15
试验组3	50	30	20
试验组4	45	35	20
试验组5	40	40	20

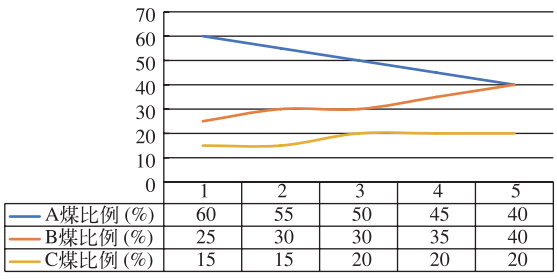

图1　实验组掺烧比例设计情况

2. 实验结果分析与讨论

实验结果显示，不同掺烧比例对发电效率、燃料成本和污染物排放产生显著影响。对照组以100% A煤为燃料，发电效率为91.0%，燃料成本为500元/t，SO_2和NO_x排放量分别为1 200 mg/m³和950 mg/m³，显示单一高热值煤种在燃烧效率上的局限性及较高的环保压力。

试验组1在掺烧比例为A煤60%、B煤25%、C煤15%时，综合效益最高，发电效率提升至93.8%，燃料成本降低至475元/t，SO_2和NO_x排放量分别降至1 050 mg/m³和805 mg/m³。试验组1显示高热值煤种和低硫煤种协同作用的最佳效果，同时减少灰分的积累，提高锅炉传热效率。随着A煤比例的进一步减少，试验组2～试验组5中B煤和C煤的比例逐步增加。试验组2和试验组3的发电效率分别为93.2%和92.5%，燃料成本略有降低至478元/t和480元/t，但SO_2和NO_x排放量分别增加到1 080 mg/m³、1 100 mg/m³（SO_x），以及820 mg/m³、830 mg/m³（NO_x）。尤其在试验组5中，A煤比例降至40%，B煤比例达到40%，导致发电效率降至91.5%，污染物排放量分别升至1 150 mg/m³（SO_2）和880 mg/m³（NO_x），接近对照组水平。详见表4。

表4　实验结果对比

组别	发电效率（%）	燃料成本/（元/t）	SO_2排放/（mg/m³）	NO_x排放/（mg/m³）
对照组	91	500	1 200	950
试验组1	93.8	475	1 050	805
试验组2	93.2	478	1 080	820
试验组3	92.5	480	1 100	830
试验组4	92	485	1 120	850
试验组5	91.5	490	1150	880

结果表明，高热值煤种A煤的适当比例（如试验组1）是实现高效率和低排放的关键；而B煤和C煤比例的增加虽然在一定程度上降低成本，但对效率和环保的负面影响不可忽视。优化掺烧比例需在经济性与环保性之间寻找平衡点。

3. 方法适用性分析

本研究提出的掺烧优化方法在不同煤种配比、锅炉运行工况和环境条件下具有较高的适用性。一方面，该方法以煤质参数为核心，通过实时监测与数据分析，能够灵活应对煤种热值、挥发分及灰分的波动，确保掺烧方案的动态调整适应实际需求。另一方面，实验验证表明，该方法不仅适用于中高热值煤种的组合，还对低质煤种的掺烧具有指导意义，可显著降低燃料成本并提高燃烧效率。此外，通过减少SO_2和NO_x等污染物排放，该方法在环保目标下的应用价值进一步凸显。结合对不同锅炉运行模式的适配性评估，该方法展现较强的通用性和推广潜力，为燃煤电厂实现经济效益与环保效益的平衡提供有效方案。EA

（收稿日期：2024-12-15）