

# 煤质变化对火电厂锅炉燃烧效率的影响分析

王晓雷

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

**摘要:**煤质核心指标包括工业分析、元素分析和热工特性指标,其变化表现为单一指标波动、多指标耦合变化及时间分布差异。锅炉燃烧效率受自身结构、运行参数、煤质特性及燃烧调整方式影响。单一煤质指标如水分、灰分、挥发分、固定碳及发热量变化均会影响燃烧效率。煤质多指标耦合变化对燃烧效率的综合影响显著,如水分与灰分耦合波动加剧不利影响,工业分析与元素分析指标耦合变化使燃烧效率大幅降低且波动明显,多指标波动还会破坏炉膛工况,增加不完全燃烧损失。

**关键词:**煤质变化;火电厂;锅炉;燃烧效率

引言:煤质特性对锅炉燃烧效率有着至关重要的影响,是保障能源高效利用的关键因素。煤质核心指标包含工业分析指标、元素分析指标和热工特性指标,其变化有单一指标波动、多指标耦合变化及时间分布差异等表现形式。锅炉燃烧效率受自身结构、运行参数、煤质特性及燃烧调整方式等多种因素影响。深入探究单一煤质指标变化以及多指标耦合变化对锅炉燃烧效率的影响,有助于优化燃烧过程,提高能源利用效率,减少能源浪费与环境污染。

## 1 煤质核心指标及变化特征

### 1.1 煤质核心指标界定

煤的工业分析指标是评判煤质的基础,主要包含水分、灰分、挥发分、固定碳。水分影响煤的干燥效果与燃烧状态,灰分反映煤的纯度,挥发分决定煤的着火难易,固定碳则是煤燃烧放热的核心部分,三者共同构成工业分析的核心内容。煤的元素分析指标主要针对煤中关键化学元素含量,涵盖碳、氢、氧、氮、硫。碳是最主要的可燃元素,直接影响煤的发热量,氢燃烧释放热量,氧会降低可燃成分比例,氮和硫的燃烧产物则会对燃烧系统产生一定影响<sup>[1]</sup>。煤的热工特性指标是衡量煤燃烧表现的关键,包括发热量、可磨性指数、结渣指数。发热量是评价煤质优劣的核心,可磨性指数关系到煤粉制备效率,结渣指数则影响燃烧系统的安全稳定运行,三者均与燃烧过程密切相关。

### 1.2 煤质变化的主要表现形式

单一指标的波动范围及规律是煤质变化的基础形式,各类煤质指标都有正常波动区间且呈现特定规律。波动源于煤的形成与加工差异,幅度受多种因素影响,并非无序变化,明确其规律是分析煤质对燃烧效率影响的基础。多指标耦合变化的特征体现为各类煤质指标并

非孤立变化,而是存在相互关联的耦合关系。一种指标变化往往伴随其他相关指标同步变动,形成协同波动态势,这种耦合变化更为复杂,对燃烧效率的影响也更为突出。煤质变化的时间分布特点表现为不同时间段煤质指标的波动存在差异,随时间推移呈现特定分布规律。不同周期内,指标波动幅度和趋势有所不同,这种差异与煤的供应、加工储存等相关,影响燃烧系统稳定运行。

## 2 锅炉燃烧效率的核心影响因素及评价指标

### 2.1 锅炉燃烧效率的评价指标

燃烧效率的计算方式及核心参数是评价燃烧效果的基础,计算需依托煤的热量释放情况与输入热量的对比,核心参数涵盖煤的总输入热量、燃烧后未利用热量等。通过合理选取核心参数,可精准计算出燃烧效率,直观反映锅炉燃烧过程中热量的利用程度,为效率优化提供数据支撑。衡量燃烧效率的关键表征参数是判断效率高低的重要依据,主要包括排烟温度、烟气中可燃成分含量等。这些参数能间接反映燃烧完全性和热量损失情况,参数数值的合理波动范围对应不同的燃烧效率水平,通过监测表征参数可及时掌握燃烧效率的变化态势。

### 2.2 影响锅炉燃烧效率的内在及外在因素

锅炉自身结构及运行参数的基础影响是决定燃烧效率的内在前提,自身结构包括炉膛设计、受热面布置等,直接影响燃烧空间和热量传递效果。运行参数涵盖送风风量、煤粉细度、炉膛温度等,参数的合理匹配的能保障燃烧充分,参数偏离合理范围会显著降低燃烧效率。煤质特性对燃烧效率的基础性作用体现在燃烧全过程,煤质的各项指标直接影响煤的着火、燃烧速度和燃尽程度<sup>[2]</sup>。不同煤质特性的煤在燃烧时表现差异较大,适宜的煤质特性能促进燃烧充分,减少热量损失,煤质特性的波动会直接导致燃烧效率发生相应变化。燃烧调整

方式对效率的调控影响是优化燃烧效率的关键手段，通过调整燃烧相关操作可适配不同工况下的燃烧需求。合理的调整方式包括优化送风配比、调整燃烧器运行状态等，能有效改善燃烧工况，减少不完全燃烧损失，不合理的调整则会加剧热量浪费，降低燃烧效率。

### 3 单一煤质指标变化对锅炉燃烧效率的影响

#### 3.1 水分变化的影响

水分升高对煤的着火性能及燃烧温度的影响较为显著，水分升高会增加煤的干燥所需热量，导致煤的预热时间延长，着火延迟，着火性能下降。同时，水分蒸发会吸收炉膛内大量热量，降低炉膛整体燃烧温度，减缓燃烧反应速度，使煤的燃烧过程变得缓慢，进而影响燃烧的充分性，间接降低锅炉燃烧效率，这种影响会随水分升高程度逐渐加剧。水分变化对锅炉排烟热损失及燃烧效率的量化影响体现在，水分升高会使烟气中水蒸气含量增加，排烟体积随之增大，排烟带走的热量增多，排烟热损失上升。水分降低则会减少烟气中水蒸气含量，降低排烟热损失，有利于提升燃烧效率。水分的每一次波动都会对应排烟热损失的相应变化，进而对燃烧效率产生可量化的影响，二者呈现明显的关联性。水分过低对燃烧稳定性及效率的潜在影响不可忽视，水分过低会使煤的颗粒度变小，煤粉流动性增强，容易出现煤粉堆积或悬浮不均的情况，导致炉膛内燃烧分布不均。

#### 3.2 灰分变化的影响

灰分升高对煤的发热量及燃烧放热效率的影响直接且明显，灰分属于不可燃成分，灰分升高会降低煤中可燃成分的比例，导致煤的发热量下降。单位质量的煤燃烧释放的热量减少，同时灰分在燃烧过程中会占据一定的燃烧空间，阻碍可燃成分与氧气的充分接触，减缓燃烧放热速度，降低燃烧放热效率，最终导致锅炉燃烧效率随之下降。灰分沉积对锅炉受热面传热效率及燃烧工况的影响较为突出，燃烧过程中产生的灰分颗粒会附着在锅炉受热面表面，形成灰垢层。灰垢层的导热系数较低，会阻碍炉膛内热量向受热面的传递，导致受热面传热效率下降，为维持正常输出负荷需消耗更多燃料。灰分沉积还会改变炉膛内流场分布，破坏稳定的燃烧工况，进一步影响燃烧效率。灰分特性变化对燃烧完全性及效率的关联影响主要体现在，灰分特性的变化会影响其在燃烧过程中的行为，若灰分的熔融温度降低，容易形成结渣，包裹住未燃烧的可燃成分，阻碍其进一步燃烧，降低燃烧完全性。若灰分颗粒度过大，会加快其沉降速度，减少与氧气的接触时间，同样影响燃烧完全性，这些都会直接关联到锅炉燃烧效率的高低。

#### 3.3 挥发分变化的影响

挥发分含量对煤的着火速度及燃烧稳定性的影响至关重要，挥发分含量越高，煤在加热过程中释放可燃气体的速度越快，着火所需时间越短，着火速度越快，有利于煤的快速引燃。适量的挥发分能维持炉膛内稳定的火焰，保障燃烧过程持续平稳，减少灭火、断火等不稳定现象的发生。若挥发分含量过低，着火速度缓慢，燃烧稳定性变差，容易出现燃烧不充分的情况。挥发分释放特性对燃烧阶段划分及效率的影响体现在，挥发分的释放速度和释放量会决定煤燃烧过程的阶段划分，挥发分释放快且量大时，会使燃烧前期的放热速度加快，明确燃烧前期与后期的界限。合理的挥发分释放特性能使各燃烧阶段衔接顺畅，确保可燃成分充分燃烧，减少各阶段的热量损失。若挥发分释放特性异常，会导致燃烧阶段紊乱，影响燃烧效率。挥发分波动对炉膛燃烧均匀性及效率的影响较为明显，挥发分含量的波动会导致煤的着火速度和燃烧强度随之波动，进而使炉膛内不同区域的燃烧温度、放热速度出现差异，破坏炉膛燃烧的均匀性。局部区域可能出现燃烧过于剧烈、局部区域燃烧不足的情况，导致不完全燃烧损失增加，排烟热损失也会随之变化，最终影响锅炉整体燃烧效率。

#### 3.4 固定碳及发热量变化的影响

固定碳含量对煤的燃尽时间及燃烧完全性的影响直接，固定碳是煤燃烧放热的核心可燃成分，其含量越高，煤的燃尽所需时间越长。若固定碳含量过高，煤粒内部的可燃成分难以与氧气充分接触，容易出现燃尽不彻底的情况，增加不完全燃烧损失。若固定碳含量过低，虽然燃尽时间缩短，但单位质量煤释放的热量不足，且燃烧强度较低，同样会对燃烧完全性和效率产生不利影响。发热量波动对锅炉负荷匹配及燃烧效率的影响显著，发热量是煤质优劣的核心评价标准，其波动会直接影响锅炉的负荷匹配能力。发热量升高时，单位质量煤释放热量增加，若负荷调整不及时，会导致炉膛温度过高，增加排烟热损失；发热量降低时，需增加燃料供应量才能维持额定负荷，可能导致燃烧不充分，增加不完全燃烧损失，二者都会影响燃烧效率<sup>[1]</sup>。固定碳与挥发分比例变化对燃烧效率的综合影响体现在，二者的合理比例能保障煤的着火、燃烧和燃尽全过程顺畅。固定碳与挥发分比例适宜时，挥发分能快速引燃，为固定碳燃烧提供充足热量，促进固定碳充分燃尽，减少各类热量损失。若比例失衡，要么着火困难，要么燃尽不彻底，都会破坏燃烧过程的协调性，导致燃烧效率下降。

#### 4 煤质多指标耦合变化对锅炉燃烧效率的综合影响

#### 4.1 工业分析指标耦合变化的影响

水分与灰分耦合波动对燃烧效率的协同影响更为显著,二者并非单一作用的简单叠加,而是形成相互关联的协同效应。水分升高会增加干燥热量消耗、降低燃烧温度,而灰分升高会减少可燃成分比例、阻碍氧接触,二者耦合时会加剧这种不利影响。水分蒸发吸收的热量会进一步降低炉膛温度,使灰分更易沉积,双重作用下燃烧反应速度大幅减缓,不完全燃烧损失和排烟热损失同步增加,对燃烧效率的抑制作用远大于单一指标波动的影响。挥发分与固定碳比例变化的综合效应直接决定燃烧全过程的协调性,二者比例失衡会破坏着火、燃烧与燃尽的衔接逻辑。比例适宜时,挥发分快速引燃为固定碳燃烧提供充足热量,促进固定碳充分燃尽,减少各类热量损失。若比例偏高,挥发分燃烧过快易导致前期热量浪费、后期固定碳燃尽不足;若比例偏低,挥发分引燃能力不足,固定碳难以充分燃烧,两种情况都会破坏燃烧过程的稳定性,显著降低锅炉燃烧效率。

#### 4.2 工业分析与元素分析指标耦合变化的影响

发热量与灰分硫含量耦合变化的影响呈现复杂的协同关系,三者共同作用于燃烧效率的变化。发热量降低会直接减少单位质量煤的热量输出,而灰分升高会进一步降低可燃成分比例、阻碍传热,硫含量升高会腐蚀受热面、抑制燃烧反应,三者耦合时不利影响相互叠加。发热量不足需增加燃料供应,灰分和硫含量的升高会加剧受热面腐蚀与灰分沉积,导致传热效率下降、燃烧不充分,最终使燃烧效率大幅降低且波动更为明显。挥发分与氢碳元素含量协同变化对燃烧效率的作用主要体现在燃烧反应的充分性上,三者共同决定煤的可燃特性与燃烧强度。挥发分负责快速引燃,碳元素是放热核心,氢元素能提升燃烧热值,三者协同匹配时,燃烧反应快速且充分,热量损失较少。若挥发分与氢碳元素含量协同波动,会导致着火速度、燃烧强度与放热效率失衡,要么引燃困难,要么燃烧强度不足,要么放热不均,都会破坏燃烧工况的稳定性,增加不完全燃烧损失,影响

燃烧效率。

#### 4.3 煤质耦合变化对燃烧工况的整体影响

多指标波动对炉膛燃烧温度场及流场的影响显著,各类煤质指标的耦合波动会破坏炉膛内原有的温度与流场平衡。不同指标的协同变化会导致炉膛内局部温度出现偏差,有的区域温度过高、有的区域温度不足,同时改变烟气流动速度与方向,破坏流场均匀性。温度场失衡会影响煤的着火与燃尽速度,流场紊乱会阻碍可燃成分与氧气的充分接触,二者共同作用导致燃烧工况不稳定,间接降低锅炉燃烧效率。耦合变化下燃烧不完全损失的综合变化规律呈现明显的关联性,各类煤质指标的耦合波动会导致不完全燃烧损失呈现协同变化态势。多指标耦合波动会加剧煤的着火延迟、燃尽不足等问题,使固体不完全燃烧损失和气体不完全燃烧损失同步增加。这种损失的变化并非单一指标导致的线性变化,而是多指标相互作用后的综合结果,其变化幅度与耦合波动的强度、方向密切相关,最终对锅炉燃烧效率产生综合性的不利影响。

结束语:煤质指标对锅炉燃烧效率影响深远且复杂。单一指标如水分、灰分、挥发分、固定碳及发热量等,各自以独特方式影响燃烧效率;多指标耦合变化时,协同效应更为显著,工业分析指标、工业分析与元素分析指标间的耦合波动,会打破炉膛燃烧温度场与流场平衡,加剧不完全燃烧损失。深入理解这些影响机制,有助于精准调控煤质与燃烧工况,提升锅炉燃烧效率,实现能源的高效利用与节能减排目标。

#### 参考文献

- [1]王喆平,张敦韬,孟贺,依斌,杨一鸣.火电厂锅炉燃烧优化的关键技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(10):0032-0035.
- [2]张永生.火电厂锅炉燃烧过程中的热力效率分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(9):0013-0016.
- [3]姜志强.火电厂锅炉受热面失效原因及防治措施探讨[J].科技创新与应用,2020,(18):145-146.