# 高原燃煤改生物质锅炉运行优化方法分析

于吉明[1] 李 江[2] 吴营磊[3]
1. 低碳热力发电技术与装备全国重点实验室 国家市场监管重点实验室（特种设备安全与节能） 中国特种设备检测研究院 北京 100029
2. 青海省特种设备检验检测院 青海 西宁 810003
3. 徐州龙兴泰能源科技有限公司 江苏 徐州 221300

**摘 要：**生物质燃料作为可再生能源，可替代传统化石能源，青藏高原部分地区层燃链条锅炉燃料由煤改为生物质，不改变运行方式的情况下，受锅炉使用地海拔高度及燃料特性影响，燃料效率较低，对锅炉运行方式进行优化可有效提高燃料效率，降低锅炉运行成本。

**关键词：**高原；燃煤锅炉；生物质；燃料效率

## 前言

我国地形地貌环境复杂多变，西部地区很多城市海拔在2000米以上，尤其是青藏高原地区平均海拔在3000米以上[1]，青藏高原地区位于中国西部，地形复杂，其平均海拔远远超过同纬度周边地区，受地形条件限制，部分地区天然气管道未铺设，燃煤工业锅炉为工业和民用领域的主要热力设备。

近年来，中央高度重视能源结构调整及环境保护工作，明确提出减少煤炭消耗，提高清洁能源使用比例。生物质作为可再生能源，在青藏高原地区具有分布广泛、资源丰富的特点，成为该地区实现能源结构优化的途径。

已有研究表明，对于固体燃料低环境压力有利于减小挥发份逸出的阻力，缩短其在颗粒内部的停留时间。挥发份的析出燃烧过程中，挥发份的析出时间占绝大多数，而燃烧是在瞬间完成，因此低环境压力将使挥发份的析出加快，并使挥发份产物有所增加，使燃烧过程加快和更趋于激烈[2]。

本文基于高原环境下固体燃料燃烧的特点，燃料由煤改为生物质后对锅炉燃烧系统进行运行优化方法进行研究，为高原燃生物质锅炉高效运行提供参考。

## 1 高原条件对固体燃料燃烧的影响

有关高原的低气压条件对固体燃料燃烧的影响，此前的研究报导仅限于对煤燃烧的影响。从理论上分析，气压的降低会导致煤中水分和挥发分析出加快。虽然同时氧气分压的降低也会导致挥发分燃烧速率下降，但对挥发分而言，从煤中的析出是整个反应的速率控制步骤，所以最终气压下降倾向于加速挥发分的燃烧过程。这会造成煤燃烧初期挥发分反而消耗的氧气更多，导致扩散到煤焦表面的氧量下降，再加之低气压下氧气分压本身就低于平原地区，进一步降低煤焦的反应速率。由于煤焦燃烧是整个煤燃烧过程的速率控制步骤，所以总体来说，气压降低会延迟固体燃料的燃尽[3]。

## 2 煤与生物质燃烧特性分析

典型的II类烟煤与生物质燃料组分比对见表1。

**表1 II类烟煤与生物质组分比对表**

| 序号 | 名称 | 单位 | II类烟煤 | 生物质 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 收到基碳 | % | 51.40 | 42.63 |
| 2 | 收到基氢 | % | 3.38 | 5.72 |
| 3 | 收到基氧 | % | 7.00 | 40.60 |
| 4 | 收到基硫 | % | 0.40 | 0.09 |
| 5 | 收到基氮 | % | 0.94 | 0.51 |
| 6 | 收到基灰分 | % | 29.88 | 4.35 |
| 7 | 收到基水分 | % | 7.00 | 6.10 |
| 8 | 干燥无灰基挥发分 | % | 40.89 | 81.24 |
| 9 | 收到基低位发热量 | kJ/kg | 19550 | 15640 |

燃料的燃烧特性与其成分与物理形态有直接关系。煤与生物质均为固体燃料，主要由碳、氢、氧、氮和硫等元素组成。

相对于生物质燃料，煤中的含碳量较高，水分及挥发分较低。

生物质燃料中水分较高，与煤相比，燃烧速率降低，燃烧过程燃料颗粒内部未燃尽的部分增多，炉渣及飞灰中可燃物含量增大，锅炉固体未完全燃烧损失增大。生物质燃料中挥发分较高，燃料进入炉膛后，随着燃料的温度升高，挥发分如氢气、一氧化碳、甲烷等气

**第一作者简介：**于吉明（1982-），男，高级工程师，硕士，主要从事锅炉能效测试、锅炉系统能效评价、锅炉燃烧调整工作。

**基金项目：**市场监管总局科技计划项目（2022MK119）。

体析出，可燃性气体与氧气混合迅速燃烧，快速释放出热量。生物质燃料中碳含量较低，燃料低位发热量较低，与煤相比，炉膛内温度较低，燃烧过程中产生的氮氧化物较低，降低了氮氧化物的排放。

由于燃料特性不同，生物质燃料与煤的燃烧过程有些区别，在高原低气压条件下，燃烧过程的差异性更大，在生物质燃烧过程中，燃烧调整方式与燃煤有明显的区别，如出现燃料层过厚，空气量不足等问题，燃料燃烧不完全现象更加明显。因此优化运行燃烧系统对提高生物质燃料的燃尽率至关重要。

## 3 生物质层燃锅炉燃烧调整

对位于青藏高原海拔3600米位置一台SZL25-2.5-AⅡ锅炉改烧生物质后进行燃烧调整。

### 3.1 锅炉简介

锅炉系统由燃料供给燃烧系统、烟风系统、汽水系统、除尘系统组成。

#### 3.1.1 燃料供给燃烧系统

燃料供给燃烧系统由燃料斗、链条炉排组成。

#### 3.1.2 锅炉烟风系统

锅炉烟风系统由鼓风机、二次风机、引风机组成。

#### 3.1.3 锅炉汽水系统

锅炉汽水系统由锅炉水处理系统、进水管道、锅炉、蒸汽管道、给水泵组成。

### 3.2 锅炉运行性能分析

燃烧调整前，对锅炉运行状态进行分析。

#### 3.2.1 锅炉水质

锅炉运行过程中，水处理设备未投运，水中镁钙离子附着在受热面管子内壁形成水垢，随之水垢的增厚，管内水与管壁之间的换热能力变差，管壁温度升高超过管子材质的极限值，造成爆管现象。

#### 3.2.2 锅炉燃料系统

锅炉运行过程中，炉排中间位置燃料层较厚，未燃尽燃料较多。

炉排燃料分布不均匀，中间位置粉状小颗粒燃料较多，在同样燃料层厚度的情况下，燃料的堆积密度较大，炉排下方风室内热空气穿透煤层的阻力增大；粉状小颗粒燃料较多位置，炉排运行过程中漏料严重，造成炉排下方灰斗中积灰严重，加重了热空气穿透阻力。热空气自阻力较小的位置穿透燃料层，粉料较多的位置空气较少，造成燃料燃烧不充分，烟气中一氧化碳含量很大、炉渣中的可燃物含量较高，锅炉热效率降低。

#### 3.2.3 锅炉燃烧系统

炉渣中可燃物含量高是由于燃料在炉排上未完全燃烧，燃料燃烧需要燃烧周围一定的温度环境、一定的氧气浓度、燃烧反映的时间。锅炉能效测试过程中，锅炉控制系统中显示炉膛出口位置烟气温度700℃左右，远低于链条炉排炉膛出口温度的设计值约900℃，无法满足燃料燃烧对温度的要求，锅炉尾部烟气中氧气含量约为9.5%，过量空气系数为1.80，高于链条炉排运行过量空气系数推荐值1.65，炉排上燃料层分布不均，大量的空气在炉排两侧位置进入炉膛，空气流速较快，燃烧反应时间较少，燃料无法完全燃烧，炉排中间位置粉料较多，可穿透燃料层的空气较少，燃烧周边缺少一定的氧气浓度，燃料无法完全燃烧。

炉渣中有大量的燃料无燃烧的痕迹，为炉排在运行过程中通过炉排间隙及炉排与炉墙未完全密封位置空隙落入炉渣中造成的。

#### 3.2.4 锅炉烟风系统

（1）锅炉漏风

炉排前部盖板等处于打开状态，空气漏入严重。

由于锅炉运行时间较长，炉门等有损坏，空气漏入严重。

锅炉排渣位置水封高度不够，空气漏入严重。

（2）鼓引风机运行状态

锅炉配套鼓风机、二次风机、引风机，二次风机未投运。

### 3.3 燃烧调整内容

#### 3.3.1 燃料入炉后炉排上燃料层分布均匀

通过调整燃料的颗粒度要求，使购买的燃料颗粒度更加适合链条炉排燃烧；燃料通过铲车加入燃料斗时尽量两侧均匀，避免大颗粒燃料在两侧滑落，粉状小颗粒燃料积压在中间位置的现象。

#### 3.3.2 提高炉膛内的炉温，减少炉渣中可燃物含量

通过在调整燃料层厚度、炉排转速，让燃料在炉排上充分燃烧，提高炉膛内的温度，优化燃料燃烧的外界环境，减少炉渣中可燃物含量。

#### 3.3.3 优化锅炉烟风系统

锅炉燃烧调整前配套鼓风机、二次风机、引风机，通过实际测试锅炉、除尘设备阻力及燃料燃烧产生的烟气量，在保障锅炉最优化燃烧状态的前提下，合理控制风机的运行频率，达到节能降耗的效果。

#### 3.3.4 锅炉燃烧优化调整

锅炉运行过程中通过调节燃料层厚度、炉排运行速度、鼓风机风量、引风机风量、炉排各风室进风口开启度，实现燃料在炉膛中充分的燃烧，保证锅炉高效运行。

#### 3.3.5 燃烧调整过程

（1）检查锅炉的运行状态，检修门、炉门、观火孔都处于关闭状态，炉门变形位置用耐火材料压实，锅炉排渣位置加水至可实现水封的功能。

（2）炉排进风口空气挡板可以调节，锅炉自前至后，7个空气挡板开度调节至50%、50%、50%、100%、100%、50%、50%开启的状态。

（3）调整锅炉的负荷至最常用的状态，锅炉负荷约为20t/h，司炉人员根据运行经验设定好燃料层厚度、链条炉排转速、鼓风机、引风机的变频频率。

（4）锅炉配套辅机的参数设定后，首先查看锅炉炉膛出口烟气压力，锅炉配套鼓风机、引风机正常运行时，炉膛出口烟气压力一般在-50Pa左右，保证炉膛内为微负压的状态。如果炉膛出口烟气压力为正值，说明锅炉处于正压燃烧的状态。锅炉正压燃烧时，炉排得不到良好的冷却，炉排运行过程容易产生卡死、甚至炉排片破裂的现象。锅炉微正压状态燃烧适用于锅炉需要紧急提升负荷的状态，为一种非常规运行状态。如果炉膛出口烟气压力＜-100Pa时，负压太大，导致炉膛内及尾部受热面漏风加大，如果此时控制尾部受热面位置烟气中烟气含量，造成炉排上燃料不充分，炉渣中可燃物含量升高，锅炉热效率降低；炉膛内烟气流速过快，减少烟气在炉膛内的辐射换热时间，锅炉辐射换热量减少，造成锅炉排烟温度较高，锅炉热效率减低。

（5）观察锅炉负荷，锅炉负荷处于稳定的状态，说明输入燃料量与锅炉出力相匹配。

（6）检测锅炉最后一级受热面后烟气中氧气的含量，对于该锅炉，烟气中氧气浓度在8%以下，如超过此数据，降低鼓风机频率，炉膛出口位置负压增大，根据炉膛出口负压参数调整引风机频率，保证炉膛出口烟气压力在-50Pa左右。

（7）根据炉排的转速估算燃料自进入炉排位置至落渣口位置运行需要的时间，此时间一般情况下为40-60min，锅炉运行30min后，查看锅炉炉膛出口烟气压力为负值，打开锅炉两侧的炉门门，观察炉排上燃料是否平整，如果炉排面上横向出现沟陇的状态，中间有未燃尽的粉状小颗粒，说明燃料进入燃料斗内左右未混合均匀，上料是需要注意燃料混合均匀；如果有个别位置出现横向沟陇，燃料颗粒物未有明显变化，说明锅炉燃料斗下方燃料闸板位有变形，锅炉正常运行过程中炉排面上燃料平整。

（8）观察炉排上燃料的着火位置，一般情况下燃料着火位置在第二个空气挡板位置，如果燃料着火位置靠前，需要减小第一空气挡板的开度，增加第二空气挡板的开度。

（9）待锅炉炉排运转一个周期后，观察炉排上燃料的的燃尽程度，一般情况下在落渣口前1米位置，燃料燃烧无明显的火焰产生，如果燃尽位置距离出渣口位置较近，炉渣中可燃物含量较高，需要加大第二空气挡板，第三空气挡板的开度，使该位置区域燃料尽快的燃烧，同时缓慢调慢炉排转速，观察锅炉的负荷的变化情况，如锅炉负荷没有增大，可以继续调慢炉排转速，第一空气挡板开度调回50%，观察燃料燃尽的位置直至燃尽位置在落渣口前1米左右。如果燃尽位置距离出渣口位置太远，燃料在炉排上燃尽度较高，炉渣中的可燃物含量较低，有利于锅炉效率的提升，但燃料燃尽后炉渣在炉排面上空气的穿透性更好，大量的过剩空气通过此位置进入炉膛，导致烟气中过量空气系数增大，不利于锅炉效率的提升。

燃烧状态的调整需要根据燃料的燃烧状态，对炉排转速、各风门的开度综合考虑，协调配合。

燃烧调整前后，对炉渣中的可燃物含量进行化验分析，结果见表2。

**表2 燃烧调整前后炉渣中可燃物含量对比**

| 名称 | 单位 | 调整前 | 调整后 |
|---|---|---|---|
| 炉渣可燃物含量 | % | 21.7 | 15.8 |

燃烧调整后，炉渣中可燃物含量明显降低，锅炉热效率提高。

## 4 结论

本文基于青藏高原海拔3600米位置一台SZL25-2.5-AⅡ锅炉，燃料有煤改为生物质，理论分析高原环境对固体燃料燃烧的影响，煤与生物质燃料燃烧特性，对该锅炉进行燃烧调整结论如下：

（1）高原环境下气压降低会延迟固体燃料的燃尽。

（2）相对于煤，生物质燃料水分高、挥发分高锅炉运行调整中需要增加生物质燃料层厚度，增加炉排转速，使燃料进入炉膛后烘干、挥发分析出、燃料燃烧的位置在第二个风门位置。

（3）通过燃烧调整，锅炉炉渣内可燃物含量又21.7%降为15.8%，燃料燃尽率明显提高。

## 参考文献

[1]于吉明,刘超,王玉涛,李娟.海拔高度对燃气锅炉烟气中水分冷凝率的影响[J].节能技术,2023,6:523-525

[2]赵应团.高海拔、低气压对循环流化床燃煤锅炉炉内燃烧的影响[C].2006云南电力技术论坛优秀论文集,2006.124-127

[3]李锦宏.高原环境对链条燃煤锅炉燃烧的影响与锅炉结构优化[J].工业锅炉,2019(3)28-30