

高原条件下风机性能对生物质锅炉燃烧效率的影响分析

于吉明¹ 刘超¹ 李江²

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

摘要: 本文基于生物质层燃锅炉在高原地区实际运行情况及实验数据分析,研究了风机性能对生物质层燃锅炉燃烧效率的影响。并且对高原现存生物质层燃锅炉烟风系统情况进行分析,研究改变海拔和风机参数,对比生物质层燃锅炉燃烧状况。

关键词: 生物质锅炉; 海拔高度; 烟风系统; 风机; 燃烧状态

西藏自治区平均海拔在3000米以上^[1],高海拔条件下空气及烟气密度下降。虽然不同的大气压力下,锅炉燃料燃烧所需要空气质量不变,但锅炉燃烧所需空气或者烟气的体积随大气压力的降低而增大。因此当锅炉在高原地区运行时,所选风机的容量需要按大气压力(与平原地区相比)降低的比例而增大。此外锅炉的烟风阻力与空气和烟气的密度成正比,与空气和烟气的气体流速的平方成正比。因此在保持气体质量和烟道横截面积不变的情况下,烟气的阻力也按气压降低的比例而增大,所以在选择风机时,风机的压头也需要相应增加。一般来说,为了降低烟气流动过程中的磨损和阻力,在高原地区都会适当增大风道尺寸。这会导致电动机专用风扇叶轮的质量流量和实际压力都减少,导致冷却效果恶化,所以高海拔风机电动机订货应该考虑定子线圈的通风冷却问题。

1 锅炉烟风系统存在的问题

本文针对青藏高原地区海拔约4200米位置某QXL7.0-1.0/115/70-S(G)的生物质层燃锅炉为例,分析高原地区此类锅炉烟风系统普遍存在的问题。

1.1 锅炉漏风

该公司的三台锅炉能效测试过程中,司炉工为操作便利等原因,炉排前部盖板一直处于打开状态,空气漏入严重。另外,排渣位置水封高度不足,也导致空气漏入严重。

存在运行负荷较低、排烟中CO含量严重超标等问题。

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)

1.2 锅炉鼓引风机效率低

该三台锅炉所配鼓引风机型号参数如下:

表1 锅炉配套风机型号电机功率表

序号	名称	风机型号	电机功率(kW)
1	鼓风机	9-19NO6.3	7.5
2	引风机	Y9NO11.2	45

在锅炉能效测试期间,鼓风机变频为13Hz,引风机变频为38Hz,锅炉处于微正压状态,测试引风机进出口烟气温度分别为47℃、58℃,进出口温差为11℃,其温差增大、效率较低。

由于锅炉处于低负荷状态运行,导致锅炉排烟温度较低,烟气中极易产生水蒸汽凝结,致使生物质燃料燃烧未完全的颗粒物极易附着在布袋除尘器中,增大了布袋除尘器中布袋的排烟阻力。加之被测锅炉布袋除尘器未投用,使得引风机吸入的烟气的颗粒物浓度较大,对引风机叶轮磨损较大,造成其动平衡被破坏,当引风机负荷增大时,出现引风机震动的情况。另外,引风机叶轮磨损大也造成了引风机进出口温差较大、效率较低。

2 海拔变化对风机性能的影响

2.1 风量

风机的风量与空气密度相关。高海拔下空气密度低,根据风机风量计算公式,在转速不变时,实际输送的空气质量流量会减少,可能导致生物质燃料燃烧不充分,降低锅炉热效率。

2.2 风压

风压与空气密度成正比。海拔升高使得空气密度减小,从而导致风机风压降低。这会使通风系统克服阻力的能力下降,影响锅炉内部的空气流动,如在炉膛内可能造成燃料和空气混合不均匀。

2.3 功率

风机功率与风量和风压相关。在高海拔地区,由于风量、风压变化,风机所需的轴功率也会改变。若不进行调整,可能出现电机过载或风机效率低下等问题。

3 改变风机对生物质锅炉燃烧状况对比

3.1 不同海拔条件下风机性能参数对生物质锅炉燃烧效率影响对比

本小节以海拔分别为3900米及4500米的同型号锅炉

为例,被测锅炉型号为DZL2-1.25-T,配套风机参数如表2所示:

表2 锅炉配套风机型号电机功率表

序号	名称	风机型号	电机功率(kW)
1	鼓风机	4-72NO3.6A	3
2	引风机(3900米)	Y7-41-11NO5.6	11
3	引风机(4500米)	Y5-47NO5.4	7.5

表3 DZL2-1.25-T测试数据表

序号	海拔(米)	排烟温度(°C)°C	过量空气系数	折算热效率(%)
1	3900	147.5	3.86	69.51
2		144.8	3.10	72.73
3	4500	114.9	2.62	79.31
4		175.8	1.86	80.07
5		178.8	1.88	79.77

按照平原条件为生物质锅炉设计选配风机,原则上过量空气系数和压力随海拔升高而降低,两者协同作用影响锅炉实际燃烧效率及排烟温度。

根据实测锅炉的情况如表3所示,对比海拔3900米及4500米锅炉的鼓引风机配置(表2),海拔3900米的锅炉引风机和鼓风机功率及风量差距大,反而增大了锅炉的过量空气系数,从而导致锅炉热效率偏低。固考虑到高原风机选用需增大风压及风量,需鼓引风机同时增大,不能只考虑增大引风机。

被测锅炉1、2鼓引风机均为工频运行,调节进风挡板全开,微负压运行。被测锅炉1存在炉门、落渣等部位漏风严重的情况,导致其燃烧效率低。

被测锅炉3~5鼓引风机均为工频运行,且炉排转速调至最大、正压运行。4号被测锅炉热效率最高(80.07%),其在能效测试期间,引风机及鼓风机挡板开均至最大,在中间人孔门位置进行辅助进料。3号及5号被测锅炉热效率区别不大,其中3号被测锅炉在能效测试期间,风机挡板打开比例约为60%,存在进料闸门位置卡死现象,无法多进料,使得炉排上料层很薄,且无法多进料,燃料在中段位置即燃尽。5号被测锅炉比3号锅炉料层稍厚,可在人孔门位置进行补料,且鼓引风机挡板开至最大,其燃烧效率比3号被测锅炉稍高。

由表2及表3数据分析可知,对于同型号的生物质锅炉而言,正压状态运行的锅炉热效率比微负压运行的锅炉高,海拔对锅炉热效率的影响对比锅炉鼓引风机参数(风量及电机功率)对其影响而言不太大。由于1、2号被测锅炉引风机配型参数比3~5号被测锅炉大,而鼓风机参数一致,导致1、2号被测锅炉一直处于微负压运行状态,其过量空气系数过大。对于生物质锅炉而言,其过量

空气系数在1.2~1.5范围内为最佳,由数据分析可以得出,鼓引风机功率及风量等参数配型相差不应过大,否则会造成过量空气系数过大,从而导致锅炉燃烧效率低。

3.2 同一海拔条件下改变风机频率对生物质锅炉燃烧效率对比

本小节以海拔为4200米同型号为QXL7.0-1.0/115/70-S(G)的7台生物质锅炉为例,此两地区海拔均为4200米。通过改变鼓引风机频率,对比分析不同频率对锅炉燃烧效率的影响。此6台锅炉风机型号参数如表4所示。具体风机参数为:引风机风量30500m³/h、风压3347Pa;鼓风机风量2300m³/h、风压5886Pa。

表4 锅炉配套风机型号电机功率表

序号	名称	风机型号	电机功率(kW)
1	鼓风机	—	7.5
2	引风机	—	45

1号锅炉鼓风机变频43Hz,引风机变频41Hz,锅炉微负压运行。

从表4可以看出,5号锅炉的燃烧热效率最高,为84.60%,高于锅炉设计热效率82.12%;7号锅炉的燃烧热效率最低,为78.86%,两台锅炉在能效测试期间均处于微正压状态运行。根据测试结果,5号锅炉输出热量(6.90MW)高于7号锅炉,测试过程中黑烟较多,故提高了5号锅炉的鼓引风机频率。但是由于风机频率的增加,会导致过量空气系数急剧增大,使更多的冷空气进入锅炉,与高温烟气进行热交换,反而导致锅炉热量损失增大。此外,风机频率增大还可能导致锅炉内部温度分布不均,进一步影响热效率。所以司炉人员在调整风机频率时,需要综合考虑排放和热效率两个方面的因素,以寻求最佳平衡点。

表5 QXL7.0-1.0/115/70-S(G)测试数据表

序号	风机频率 (Hz)		排烟温度 (°C) °C	过量空 气系数	折算热效 率 (%)
	鼓风机	引风机			
1	43	41	177.2	1.73	83.58
2	45	44	179.2	1.73	83.91
3	44	43	175.8	1.71	83.27
4	38	36	190.9	1.90	82.07
5	43	39	195.2	1.61	84.60
6	47	42	198.2	2.05	79.45
7	48	43	199.6	2.29	78.86

4 应对措施

4.1 风机选型调整

在高海拔地区安装生物质锅炉时，应根据当地海拔高度对风机进行重新选型。

气压大小与海拔高度、大气温度、大气密度等有关，一般随着海拔高度的升高按指数规律递减。大气压力与海拔高度的关系如式(1)所示^[2]：

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{R_0T}\right) \quad (1)$$

式中：P为当地平均大气压，kPa；P₀为海平面处的大气压，取101kPa；h为当地海拔高度，m；M为空气的摩尔质量，取29g/mol；g为重力加速度，取9.8m/s²；R₀为通用气体常数，取8.314 J/(mol·K)；T为空气温度，K。

中国国际科技合作网给出的标准大气(国际民航组织采用的“1964, ICAO标准大气”在海拔32公里以下，它与“1976, U.S.标准大气”相同)的高度和气压的关系如表5-5所示^[3]，由表可知，在海拔1000m及以下，大气压变化幅度最大在10%左右，在选用风机时的余量一般大于这个值，因此可以认为在海拔1000m及以下，海拔高度引起的大气压变化对选型的影响不大。

风机选用风量与当地大气压力的二次方成反比，而风机选用风压则与当地大气压力的二次方成反比，即在高海拔地区，风机的选用风量和选用风压均需增加，而风压增加的幅度更大一些，这正是选用高原生物质锅炉鼓引风机的要点^[4]。

由于海拔升高，气压降低，电机(定频和变频电机)的外绝缘强度、温升、灭弧能力、电机寿命和动作特性等都会不同程度地受到影响，这是不利影响，是客观存在、不容忽视的。高原环境对电机的影响，应根据

受影响程度，有针对性地采取防护措施，确保产品的可靠运行^[5]。高原地区的电机选择与平原地区有很大区别，在海拔高于1000m时，需要采用高原电机，高原气候对电机有很大影响^[6]。

4.2 转速调整

可通过调整风机转速来补偿因海拔高度引起的风量和风压变化。采用变频调速等技术，根据实际运行情况合理调整转速。

4.3 系统优化

对整个通风系统进行优化，如适当增大通风管道直径，减少系统阻力，以适应因海拔变化带来的风机性能改变。

5 结论

海拔高度对生物质锅炉风机的风量、风压和功率等性能参数有着不可忽视的影响。为保障锅炉在不同海拔地区的正常运行，必须充分考虑这些影响并采取相应的调整措施，包括风机选型、转速调整和系统优化等，从而提高生物质锅炉的运行效率和可靠性。当地大气压强对煤粉燃烧速度和着火影响甚微；在平衡通风下对辐射和对流换热无影响。高海拔地区锅炉的低气压效应，实质上是因风机参数的选择与锅炉不匹配所致，它使锅炉出力不足，运行效率低。因此，高海拔地区应正确选择锅炉送、引风机这对保证锅炉出力、提高运行效率至关重要。

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]辛嵩.高原矿井通风[M].北京:煤炭工业出版社,2015:

[3]中国国际科技合作网.标准大气的高度和气温、气压的关系[EB/OL].http://www.cistc.gov.cn/Concept_Info.htm?id=33&column=242.

[4]陆化生.高海拔地区锅炉出力的修正和鼓引风机的选择 甘肃科技第22卷第9期

[5]国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20626.2-2018特殊环境条件 高原电工电子产品 第2部分:选型和检验规范[S].2018.

[6]马廷强.高原地区给水水泵与电机选型设计[J].净水技术,2018,37(06):104-107.