

Analysis on Thermal Efficiency Test for Kinds of Biomass Fuel Boiler

Kailong He, Zhixiong Liao, Senxiang Liu

Yunfu Detection Institute, Guangdong Institute of Special Equipment Testing, Yunfu Guangdong
Email: kironho@163.com

Received: Jun. 22nd, 2017; accepted: Jul. 9th, 2017; published: Jul. 12th, 2017

Abstract

Thermal efficiencies of Biomass fuel boilers of model DZG4-1.25-BMF and model DZL4-1.25-BMF were tested, respectively. Both of the thermal efficiencies were analyzed by methods of positive balance and counter balance. It was resulted that thermal efficiency of model DZL4-1.25-BMF (78.75%) was higher than the model DZG4-1.25-BMF (70.10%). According to the experimental data, an overhigh content of carbon monoxide in the exhaust gas was found in the model DZG4-1.25-BMF as shortage of oxygen occurred in the flame. But lower gas incomplete combustion loss was found in model DZL4-1.25-BMF though it performed a higher excess air factor during the test. It is suggested that it needs methods to decrease the excess air factor in order to increase the thermal efficiency of model DZL4-1.25-BMF.

Keywords

Biomass Fuel Boilers, Thermal Efficiency, Content of Carbon Monoxide, Excess Air Factor

两种生物质燃料锅炉能效测试对比分析

何凯龙, 廖志雄, 刘森祥

广东省特种设备检测研究院云浮检测院, 广东 云浮
Email: kironho@163.com

收稿日期: 2017年6月22日; 录用日期: 2017年7月9日; 发布日期: 2017年7月12日

摘要

分别对型号为DZL4-1.25-BMF以及DZG4-1.25-BMF的生物质颗粒锅炉进行能效测试, 并对其进行正反平衡测试的结果进行分析。测试结果表明型号为DZL4-1.25-BMF的链条炉锅炉热效率(78.75%)相比型号为

DZG4-1.25-BMF的固定炉排锅炉(70.10%)具有更高的热效率。在燃烧参数分析下发现,固定炉排锅炉在燃烧中存在排烟中一氧化碳含量过高,氧气量供应不足的情况;而链条炉排在燃烧过程中虽然有过量空气系数过高的情况出现,但相比固定炉排锅炉,改善了燃烧状况,降低了气体未完全燃烧损失。就型号为DZL4-1.25-BMF的锅炉能效测试数据情况而言,建议在运行过程中适当调节鼓引风量,降低过量空气系数,减少排烟损失,有利于提高锅炉热效率。

关键词

生物质燃料锅炉, 热效率, 一氧化碳含量, 过量空气系数

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

工业锅炉为工业生产提供工艺蒸汽和热量,是工业生产中必不可少的组成部分。我国锅炉主要以燃煤为主,其煤炭消耗量远高于其他高能耗行业,能源浪费相当严重[1]。目前,我国工业燃煤锅炉的实际运行热效率只有65%左右,远低于国际标准[2],燃煤产生的废气以及排出的高温烟气,成为污染环境和能源浪费的重要源头。生物质颗粒燃料除了其挥发分含量高,着火容易、燃烧性能好、热效率高的优点外,还具有灰分小、燃烧时几乎不产生二氧化硫,不会造成环境污染等优点,是一种较为理想的清洁燃料,有着广阔的市场开发前景。目前,已有对生物质燃料燃烧特性进行相关研究工作,分析一次风量及二次风量不同配比、不同位置及不同料层厚度等参数对燃烧和排放性能影响[3]。同时,国内也有针对生物质燃料进行锅炉设计制造以及燃煤锅炉改造成燃生物质锅炉的研究工作[4][5]。为研究生物质燃料在锅炉燃烧时热量损失的情况,分别对型号为DZG4-1.25-BMF以及DZL4-1.25-BMF的生物质颗粒锅炉进行能效测试。锅炉使用的燃料为生物质颗粒燃料。按照GB/T10180-2003《工业锅炉热工性能试验规程》[6]中锅炉热效率详细测试的具体要求,利用正反平衡法分别对两种形式的锅炉进行详细测试。从测试数据分析生物质燃料在两种炉型中的燃烧特点,总结各项热损失的原因,为改善燃生物质颗粒锅炉能效状况提供相关依据。

2. 生物质燃料锅炉能效测试

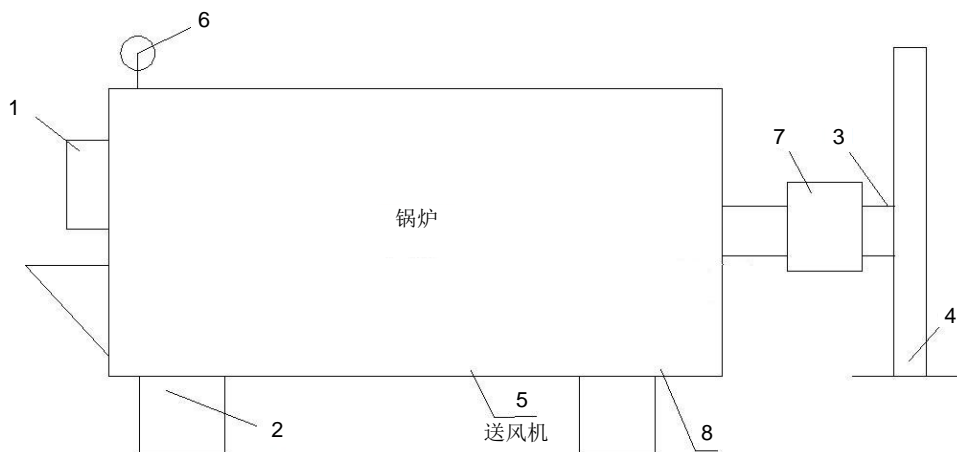
2.1. 能效测试示意图

图1所示为锅炉能效参数测量点的布置图,按照正反平衡测试的要求,分别要测量锅炉的燃料消耗量、漏煤量、烟气温度、入炉冷空气温度、蒸汽压力、蒸汽温度等参数。

2.2. 两种炉型的工作原理

图2所示固定炉排锅炉示意图。锅炉的炉排为固定不可活动式,燃料依靠人工直接投入炉膛中。鼓风机通过炉排下面的风口进风为燃料提供燃烧所需的氧气参加燃烧反应。这种炉排结构简单,操作较为简便。缺点是燃烧生物质颗粒时,司炉的工作量大,燃料不断地堆积在已燃烧的颗粒上,且不能保证燃料在炉膛里均匀分布,容易造成受热不均,燃料难以和氧气充分接触。

图3所示为链条炉排工作原理[7]:通过减速机带动链条炉排转动,使燃料从前方着火,到锅炉尾部



1. 燃料计量 2. 漏煤计量 3. 烟气成分分析 4. 飞灰取样 5. 入炉冷空气温度测量 6. 饱和蒸汽压力测量 7. 给水温度、给水压力、给水流量测量 8. 炉渣计量

Figure 1. Test point of thermal efficiency test

图 1. 锅炉能效测试测点布置图

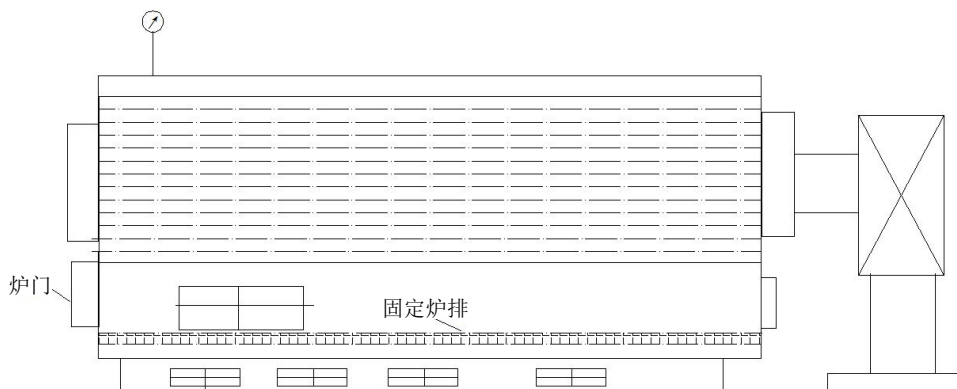


Figure 2. Illustrative diagram of fixed grate boiler

图 2. 固定炉排锅炉示意图

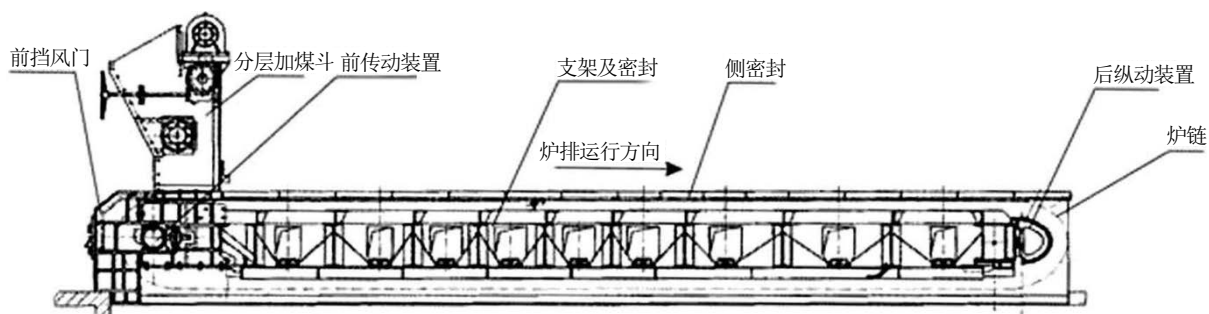


Figure 3. Illustrative diagram of endless grate

图 3. 链条炉排示意图

燃尽，较固定炉排能够提高燃烧效率，同时链条转到下方时，风冷降温，能够保护炉排片不烧损。这种炉排添加燃料时，只需把燃料添加到煤斗上，由炉排以一定的速度把燃料带进燃烧区域，同时把燃尽的颗粒带走，不影响其他燃料的燃烧。这种炉排可保证燃料被均匀的输送到炉排里，受热均匀且能保证燃料与氧气充分接触，使燃烧反应能顺利进行。

3. 锅炉能效测试结果分析

3.1. 正平衡测试结果

表 1 所示为两台锅炉正平衡的能效测试结果。从两项数据可知, 两者的测试出力分别为 2.18 t/h 和 2.19 t/h, 热负荷率为 54.5% 和 54.7%。由于现场生产需要, 两者的热负荷均处于较低水平。按照介质的进口压力和温度, 其进口焓值分别为 111.75 kJ/kg 和 118.47 kJ/kg, 而饱和蒸汽出口焓值分别为 2767.8 kJ/kg 和 2761.5 kJ/kg。在燃料发热量、蒸发量和介质进口焓值都较为相近的情况下, 链条炉排锅炉消耗的燃料量为 495 kg/h。相比固定炉排所消耗的燃料量(540.4 kg/h)更少, 因而链条炉排锅炉测试结果的热效率更高(76.98%)。

3.2. 反平衡测试结果

表 2 显示为两台锅炉的反平衡测试结果。固定炉排锅炉的反平衡测试效率为 69.15%, 而链条炉排锅炉的效率为 80.52%。由各项热损失的情况来看, 链条炉排锅炉的主要热损失为排烟损失 q_2 (13.27%); 而固定炉排的热损失主要有排烟损失 q_2 和气体未完全燃烧损失 q_3 , 分别为 13.78% 和 10.89%。在其他热损失项相当的情况下, 可见固定炉排效率较低的主要原因在于气体未完全燃烧损失 q_3 处于较高水平。

综上所述, 链条炉排锅炉的平均热效率为 78.75%, 能满足 TSGG0002-2010《锅炉节能技术监督管理规程》[8]对能效限定值(76%)的要求, 相比固定炉排锅炉(70.10%)具有更高的热效率。

4. 锅炉燃烧参数分析

由《GB/T10180-2003 工业锅炉热工性能试验规程》[6]中可以知道锅炉能效详细测试中排烟损失 q_2 可由式计算:

$$q_2 = \frac{K_{q_4}}{Q_r} \cdot (H_{py} - H_{lk}) \times 100 \quad (1)$$

$$K_{q_4} = 1 - \frac{q_4}{100} \quad (2)$$

Table 1. Result of positive balance test

表 1. 正平衡测试结果

锅炉型号	出力/t/h	测试出力/t/h	负荷率/%	介质压力/MPa		介质温度/°C		燃料消耗/kg/h	热效率/%
				进口	出口	进口	出口		
DZG4-1.25-BMF	4	2.18	54.5	0.70	0.69	26.5	169.9	540.4	71.05
DZL4-1.25-BMF	4	2.19	54.7	0.97	0.58	28.1	163.5	495	76.98

Table 2. Result of counter balance test

表 2. 反平衡测试结果

锅炉型号	DZG4-1.25-BMF	DZL4-1.25-BMF
η_2 /%	69.15	80.52
q_2 /%	13.78	13.27
q_3 /%	10.89	0.07
q_4 /%	0.06	0.76
q_5 /%	6.10	5.31
q_6 /%	0.02	0.07

其中:

K_{q_4} —修正系数;

H_{py} —排烟处烟气焓值, kJ/kg;

H_{lk} —入炉冷空气焓值, kJ/kg;

$$H_{py} = V_{py}c_{py}t_{py} + V_{H_2O}c_{H_2O}t_{py} \quad (3)$$

V_{py} —排烟处干烟气体积, m^3/kg ;

$$V_{py} = V_{RO_2} + (\alpha_{py} - 1)V^0 \quad (4)$$

V_{RO_2} —排烟处 RO_2 体积, m^3/kg ;

α_{py} —排烟处过量空气系数;

$$\alpha_{py} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2' - (0.5CO' + 0.5H_2' + 2C_mH_n')}{100 - (RO_2' + O_2' + CO' + H_2' + C_mH_n')}} \quad (5)$$

气体未完全燃烧损失 q_3 由下式计算:

$$q_3 = \frac{V_{py}K_{q_4}}{Q_r} \times (126.36CO' + 107.98H_2' + 358.18C_mH_n') \times 100\% \quad (6)$$

CO' —排烟处 CO 含量, %;

H_2' —排烟处 H 含量, %;

C_mH_n' —排烟处 C_mH_n 含量, %。

由排烟损失 q_2 和气体未完全燃烧损失 q_3 的计算公式可以知道, 两项损失的大小均与排烟处干空气体积 V_{py} 中的过量空气系数 α_{py} 有关, 而排烟处的 O_2 以及 CO 含量为影响过量空气系数的重要参数; 而排烟温度与排烟处烟气焓值有关, 故对排烟处的 O_2 、CO 含量以及排烟温度变化进行分析。

对于固体燃料在空气中燃烧, 假设燃料为物质 A、氧化物为物质 B, 生成物为物质 G 与 H, 燃烧的反应方程式可以用下式表示:



燃烧反应的氧化剂是空气中的氧气, 反应过程中这不会发生改变。因此, 燃烧反应的速率可用消耗掉的氧量来表示, 设空气中氧含量为 C_B , 燃烧过程中氧气含量减少的, 则其含量变化可表示为

$$\omega_B = -\frac{dC_B}{d\tau} \quad (8)$$

因为 ω_B 是 C_B 对时间 τ 的导数, ω_B 可表征燃烧反应的反应速率。

图 4 为固定炉排锅炉过量空气系数和排烟处氧气含量随时间的变化曲线。烟气中氧含量在 7.2%~12.4% 之间变化, 而过量空气系数则为 1.34~2.36。可以看到排烟氧含量与过量空气系数呈相似的变化趋势。当过量空气系数减少, 烟气中氧气含量的减少, dC_B 的瞬时绝对值在增大, 参与反应的氧气比例增大; 而过量空气系数增大时, 烟气中氧含量也随之增大, 相对地, dC_B 的绝对值减少, 参与反应的氧气比例降低。

由于过量空气系数为 1.34~2.36, 供给炉膛里参加燃料燃烧反应的氧气量在相对合理的区间, 排烟处氧气含量为 7.2%~12.4%, 这说明送进炉膛的氧气量约 50% (空气中氧气含量约为 21%) 参与了燃烧反应。这是因为生物质燃料的挥发分较高, 容易着火, 而且点燃过程中反应迅速, 瞬间消耗大量的氧气, 因此排烟处的氧气含量减少。

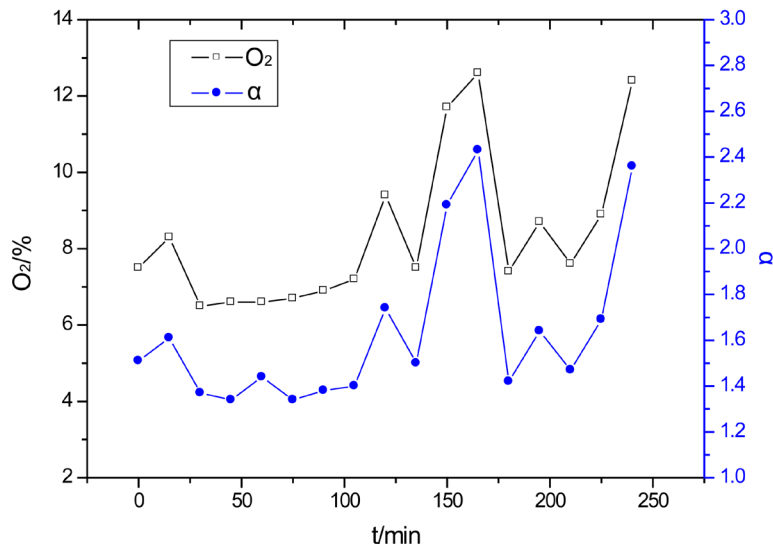


Figure 4. Curve of oxygen content and excess air coefficient during the testing for DZG4-1.25-BMF

图 4. DZG4-1.25-BMF 排烟处 O₂ 含量和过量空气系数

从图 5 中排烟处 CO 含量变化曲线来看, 排烟处的 CO 含量在 3000 ppm 以上, 最高达 30,418 ppm。这说明炉膛中燃料反应不完全, 而产生大量的一氧化碳, 同时一氧化碳尚未燃烧则随着烟气排出炉外, 造成较大的气体未完全燃烧损失(q_3 为 10.89%)。由排烟处 CO 含量和过量空气系数的变化曲线来看, 排烟处 CO 含量并不与过量空气系数有相似的变化趋势, 而是在一些时刻出现突变的情况。

由于生物质燃料挥发分高, 容易燃烧的特点, 在着火阶段燃料便消耗大量氧气, 表层燃料迅速与氧气发生反应, 燃烧完全的生成 CO₂, 而反应不完全的则生成 CO。由于表层燃料着火时消耗了大量的氧气, 剩下的燃料则不能充分地跟氧气接触, 因而反应不完全, 产生大量的 CO。同时 CO 来不及燃烧就随着烟气排出了炉外导致排烟处 CO 含量过高的情况。

另一方面, 由于固定炉排的关系, 投放生物质燃料时只能依靠人工往炉排里面投放。因此, 燃料层的厚薄无法控制, 同时燃料无法准确的均匀分布在炉排上。这样, 在投放燃料的时候, 表层燃料瞬间着火, 消耗大量氧气, 而剩余的燃料则与氧气得不到充分接触, 燃烧不完全而产生大量 CO, 随着烟气排出炉外, 造成排烟处 CO 含量骤然升高的结果。

图 6 为链条炉排锅炉过量空气系数和排烟处氧气含量随时间的变化曲线。烟气中氧含量在 15.1%~16.8% 之间变化, 而过量空气系数则为 3.34~5.00。与固定炉排锅炉相似, 排烟处氧气含量与过量空气系数呈相似的变化趋势。按照平均过量空气系数(4.12)计算, 供给炉膛里参与 1 kg 燃料燃烧反应的氧气量约 0.77 m³/kg, 满足燃烧所需氧气量的理论值要求。然而过量空气系数的偏高, 使排烟损失 q_2 增加至 13.27%, 有必要调节鼓引风机的风量, 降低过量空气系数, 减少排烟热损失。

图 7 为能效测试过程中, 链条锅炉的过量空气系数与排烟处 CO 含量随时间的变化曲线。烟气中 CO 的含量在 48~91 ppm 之间变化, 随着过量空气系数的变化, CO 含量呈相似的变化趋势。当 CO 含量变化相对过量空气系数具有滞后性, 当过量空气系数上升时, 炉排内燃烧状态发生变化, 燃料与氧气的接触减少, 当反应进行了一段时间后, CO 含量才跟随过量空气系数呈上升的趋势; 反之, 过量空气系数减少后, 燃料与氧气的接触增加, CO 含量跟随过量空气系数呈下降趋势。

相比生物质固定炉排, 链条炉排由于能效调节燃料层的高度和送料速度, 能够使生物质燃料均匀地送进炉膛内, 使燃料和氧气接触均匀, 加上炉膛里供氧量能满足燃烧反应的需求。燃料在炉膛里更容易

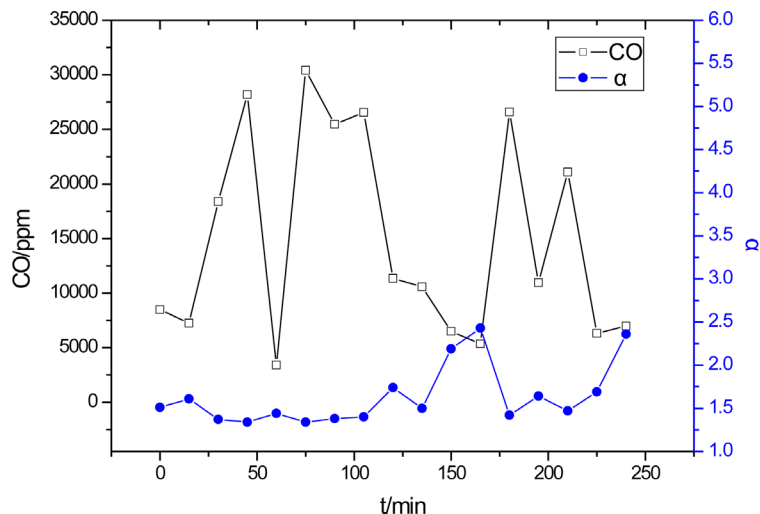


Figure 5. Curve of carbon monoxide content and excess air coefficient during the testing for DZG4-1.25-BMF

图 5. DZG4-1.25-BMF 排烟处 CO 含量和过量空气系数

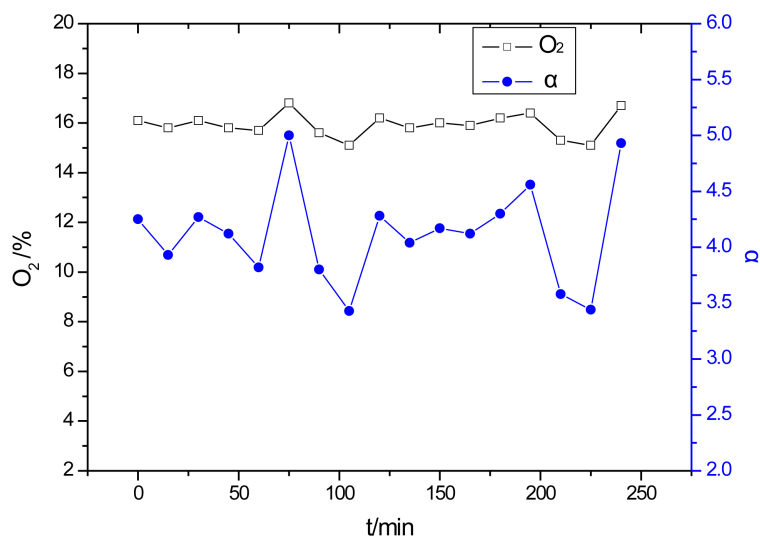


Figure 6. Curve of oxygen content and excess air coefficient during the testing for DZL4-1.25-BMF

图 6. DZL4-1.25-BMF 排烟处 O₂ 含量和过量空气系数

着火并发生燃烧反应，CO 气体几乎在炉膛里燃尽。因此，其烟气中一氧化碳的含量较固定炉排明显减少。所以， q_3 气体未完全燃烧损失较少，为 0.07%。

图 8 为固定炉排和链条炉排锅炉排烟温度的对比，在能效测试过程中，固定炉排锅炉的排烟温度在 163℃~196.1℃ 之间变化；而链条炉排则在 102.5℃~115.7℃ 之间。测试中，固定炉排锅炉平均排烟温度为 181.3℃，其排烟处烟气焓值为 2700.54 kJ/kg；链条炉排锅炉的平均排烟温度为 108.45，其排烟处烟气焓值为 2529.66 kJ/kg。在两者均安装了省煤器的情况下，由于链条炉排锅炉的过量空气系数较高，增强了换热面之间的对流换热，因而排烟温度较低。但由于链条炉排的过量空气系数较大，排出炉外的空气量也随之增大，带走的空气热量也会增加。此消彼长之下，两者的排烟损失 q_2 处较为接近的数值，分别为 13.78% 和 13.27%。

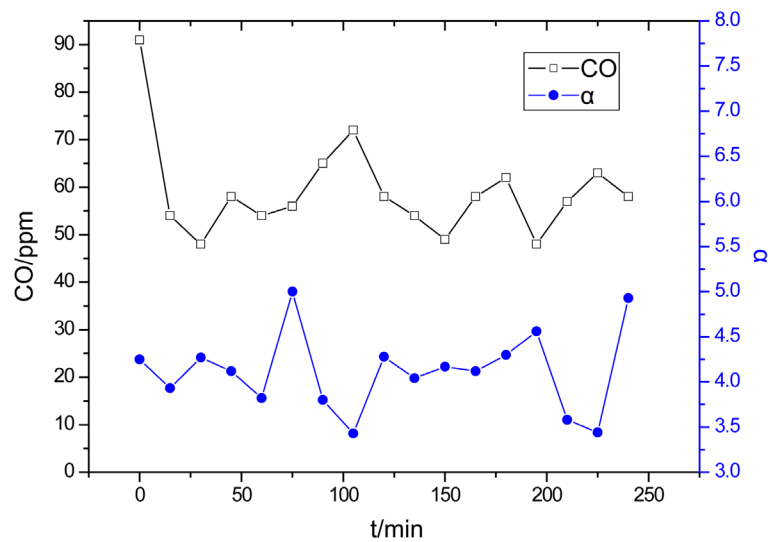


Figure 7. Curve of carbon monoxide content and excess air coefficient during the testing for DZL4-1.25-BMF

图 7. DZL4-1.25-BMF 排烟处 CO 含量和过量空气系数

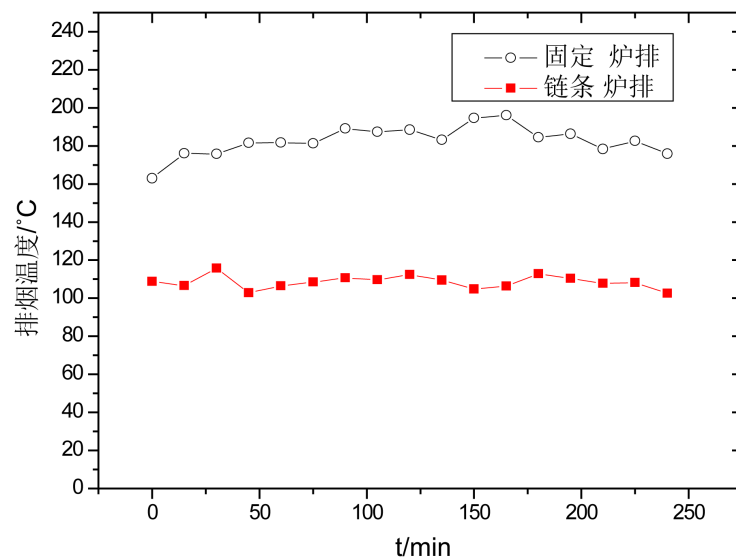


Figure 8. Comparison between DZG4-1.25-BMF and DZL4-1.25-BMF

图 8. 排烟温度对比

5. 结论

1) 就实验结果而言, 在相近的负荷量、燃料发热量以及运行工况情况下, 型号为 DZL4-1.25-BMF 的生物质燃料锅炉热效率(78.75%)相比型号 DZG4-1.25-BMF (70.10%)更高, 消耗的生物质燃料更少。

2) 型号 DZL4-1.25-BMF 的锅炉由于链条炉排的特点, 能灵活控制生物燃料的输送量以及使燃料在炉排中能均匀分布, 相比 DZG4-1.25-BMF 的固定炉排能更好地控制燃烧, 减少排烟处 CO 含量, 降低气体未完全燃烧损失。

3) 型号 DZL4-1.25-BMF 的锅炉, 按照其测试数据情况来看, 建议在运行过程中适当调节鼓引风量, 降低过量空气系数, 减少排烟损失。

基金项目

云浮市锅炉能效检测与评价公共(技术)服务示范平台, 基金项目号: 2015A040404019。

参考文献 (References)

- [1] 李斌东, 魏保杨. 工业锅炉的能效测试[J]. 化工装备技术, 2011, 32(6): 29-31.
- [2] 王才卓. 浅谈工业锅炉水质对锅炉的影响及防护措施[J]. 科技资讯, 2011(6): 112.
- [3] 苏俊林, 罗小金, 矫振伟, 黄海珍. 燃用生物质颗粒燃料锅炉的燃烧及排放特性[J]. 吉林大学学报(工学版), 2010, 40(4): 953-958.
- [4] 徐永前. 生物质颗粒燃料及直燃式生物质锅炉[J]. 工业锅炉, 2013(6): 34-38.
- [5] 李刚, 马孝琴, 张百良, 杨群发, 李保谦. 小型燃煤锅炉改造为生物质成型燃料锅炉的研究[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(3): 266-268.
- [6] 刘复田, 李之光. GB10180-2003《工业锅炉热工性能试验规程》[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [7] 周强泰. 锅炉原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [8] 管坚, 刘晓波. TSGG0002-2010《锅炉节能技术监督管理规程》[M]. 北京: 中华人民共和国国家质量技术监督检验检疫总局, 2010.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org