

在用生物质层燃锅炉热效率偏低原因探析

郭勇 刘善民 李静 朱丽华 廖子先

摘要 生物质层燃锅炉具有平均容量小，布点分散，难以集中管理等特点。随着 TSG 91-2021《锅炉节能环保技术规程》的实施，对在用生物质层燃锅炉的热效率指标提出了更高要求。在用生物质层燃锅炉热效率普遍偏低，本文对引起生物质层燃锅炉热效率偏低的原因进行分析，提出相应的改进建议，有助于提高锅炉整体热效率水平，促进节能减排。

关键词 生物质 层燃锅炉 热效率

生物质能具有二氧化碳零排放、可再生等特点^[1-2]，发展生物质能是我国实现能源转型的重要途径之一。锅炉是国民经济发展中的重要热能转换设备，能够为工业生产提供热水或蒸汽。在提供相同热量的情况下，燃生物质锅炉的燃料费用高于燃煤锅炉，但低于燃油（气）锅炉、电加热锅炉^[3]。在燃煤锅炉使用受到限制的背景下，以生物质为燃料的锅炉有很大的市场前景。但生物质锅炉在实际运行中热效率普遍偏低，平均热效率不到 69%^[4-5]。随着 TSG 91-2021《锅炉节能环保技术规程》^[6]的实施，对在用生物质锅炉的热效率指标提出了更高要求。为提高生物质层燃锅炉的整体热效率水平，满足 TSG 91-2021《锅炉节能环保技术规程》的新要求，必须要对导致生物质层燃工业锅炉热效率偏低的原因进行分析，提出相应的改进建议。

1 热效率偏低原因

1.1 锅炉结构不合理

锅炉结构设计中风室密封性不高，会导致串风、漏风问题，进而增大锅炉热损失，降低锅炉热效率。燃煤锅炉一般采用传统的“八”字型炉膛结构，见图 1。现有敞开式炉膛结构存在“烟囱流”，导致 CO 体积分数较高，燃料燃烧不充分，影响锅炉燃烧效率^[7]。生物质燃料挥发分高达 70% 以上^[8]，为避免实际燃烧过程中冒黑烟现象的发生，通常采用大流量送风，但 CO 排放量高、能效低等问题难以避免。究其原因，传统“八”字炉膛结构设计不合理是关键，不能够满足生物质锅炉分区分段燃烧，导致锅炉燃料燃烧效率偏低。锅炉结构不合理是有多方面原因造成的，一是锅炉使用单位盲目将燃煤锅炉改造燃用生物质成型燃料，造成炉膛设计参数与生物质成型燃料不匹配，积灰和结渣严重，排烟热损失大，降低了锅炉热效率。二是锅炉设计制造单位设计时未根据生物质燃料高挥发分的特性对锅炉结构进行优化，仍采用传统的“八”字型炉膛结构。

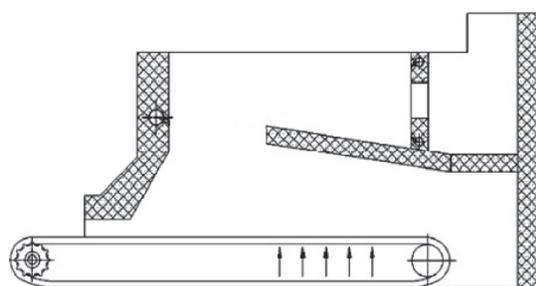


图 1 传统八字型炉膛结构

1.2 长期低负荷运行

一般认为运行负荷达到额定负荷 70%~80% 时，热效率最高。实际运行负荷只能达到额定负荷的 40%~60%^[4]，严重背离额定负荷。锅炉长期低负荷运行，增加锅炉热损失，降低锅炉热效率。低负荷运行的主要原因，一是不少使用单位在选购锅炉产品时，不能很好的结合实际工艺需求，来选择合适容量的锅炉，常常选择大容量的锅炉，“大马拉小车”现象比较严重。另外，锅炉操作人员技术水平有限，不能做到及时监控、调整锅炉运行工况，导致锅炉运行负荷经常或长时间偏离经济负荷区间。

1.3 排烟热损失偏大

排烟热损失是锅炉最主要的热损失之一，占到总损失的 50% 以上^[9]。影响排烟热损失的主要参数是排烟温度和过量空气系数。排烟热损失随过量空气系数的增大而单调递增，过量空气系数是影响锅炉整体热效率的重要因素。一般过量空气系数每提高 0.3，锅炉热效率会降低约 1%^[5]。以生物质层燃锅炉为例，标准规定额定工况下的过量空气系数不超过 1.65^[6]，但是在实际运行当中，过量空气系数往往控制很差，平均能达到 3.0 以上。引起过量空气系数偏高原因主要有配风不合理、系统漏风严重、调风方式落后等。

实际运行过程中生物质锅炉排烟温度也存在一定的偏高，最高排烟温度达到 350℃ 以上。经验表明，一般

排烟温度每提高 15℃，排烟热损失增加 1%，耗能提高 1.4%^[10]。引起排烟温度过高的原因主要有未装设尾部受热面、尾部受热面积灰与结垢、锅炉设计的尾部受热面过小以及运行负荷改变导致配风不匹配等。另外，小容量的层燃锅炉往往保温效果不好，散热损失比较大，也会导致锅炉热效率偏低。

1.4 锅炉水质不合格

水质检测指标是评价水质质量的重要因素，常规性能指标主要包括总碱度、总硬度，pH 值、溶解固形物以及相对碱度等。锅炉给水和锅水性能指标不符合 GB/T 1576-2018《工业锅炉水质》^[11] 规定，可能会导致锅炉受热面出现水垢。在锅炉受热面产生任何的水垢均会增大传热热阻，导致传热能力下降，燃料燃烧所放出的热量不能很快地传递到锅炉水中，大量的热量被烟气带走，造成排烟温度升高，排烟热损失增加，锅炉的热效率降低。在这种情况下，为保证锅炉的参数，就必须增加燃料投放，来提高炉膛的温度和烟气温度，因此造成燃料浪费。据估算，锅炉受热面上结有 1mm 厚的水垢，能效降低约 3%~5%^[12]。

引起锅炉给水和锅水不合格的原因，一是锅炉使用单位自认为当地水质良好，未安装与锅炉相匹配的水处理装置。二是锅炉使用单位虽然安装了水处理装置，但是未按照设计要求配备与锅炉参数、数量、水源情况相适应的水处理装置，导致水处理设备能力无法满足锅炉实际的需要。另外，使用单位未配备与锅炉相匹配的锅炉水处理人员，锅炉水处理方式不当也是一个重要的原因。

2 提高锅炉热效率的建议

2.1 提高锅炉设计制造水平

(1) 锅炉设计应考虑有效利用烟气余热，可以通过增大锅炉尾部受热面或者采用多种换热方式，来尽可能的降低排烟温度。保证额定负荷下，生物质成型燃料层燃锅炉最后一级尾部受热面处的排烟温度不高于 160℃^[13]。锅炉设计时，应提高锅炉的保温性能，保证锅炉炉墙、烟风道、各种热力设备以及热力管道具有良好的密封和保温性能，降低散热损失。

(2) 根据生物质燃料高挥发分的特性，对锅炉结构进行优化，同时采用空气分级技术。研究表明，针对生物质燃料特性进行锅炉结构优化，同时采用空气分级技术，不但能提高锅炉热效率，还可以实现氮氧化物的低排放。罗永浩等^[7]提出“之”字形炉拱与空气分级相结合的改进方案。数值模拟结果表明，锅炉燃烧效率得到提高，排放浓度控制效果显著。朱复东等^[14]设

计了带有 J 型炉拱的新型造粒生物质锅炉炉膛，通过燃烧试验得出，J 型炉能有效地分配一二次风，延长高温烟气行程，一二次风配比优化可极大提高锅炉燃烧效率。

2.2 完善使用环节节能管理制度

(1) 明确规定节能环保管理人员、燃料检验与分析人员、锅炉操作人员、水（介）质处理作业人员等岗位职责；明确将锅炉燃料消耗量、排烟温度、炉墙表面温度、过量空气系数等项目纳入日常检查范围，发现异常情况及时处理。

(2) 建立锅炉燃料入场检验分析与管理制度，明确燃料入场检验的项目、内容、方法和合格标准。生物质自然堆积密度小及热值低，为满足燃烧量，需要提高料层厚度和炉排速度，但过高的炉排速度会直接影响生物质中固定碳的燃烧，降低锅炉热效率^[15]。生物质成型燃料能解决上述问题。应加强生物质成型燃料的品质管理，禁止掺烧和改烧煤炭、垃圾、工业固废等其它高污染类型物料以及非成型燃料，保证使用的生物质成型燃料与锅炉设计相匹配。

(3) 定期巡回检查锅炉燃料供应系统、烟风系统、汽水系统、灰渣系统，以及仪表、阀门、保温结构等，杜绝跑、冒、滴、漏，尽可能的减少漏风，提高保温性能。在日常运行管理中应定期进行锅炉受热面的清灰，提高传热性能。加强锅炉的水质管理，明确水（介）质取样位置、频次、化验项目和合格标准，依据水质监测情况，合理安排锅炉排污，降低因锅炉结垢而引起锅炉热效率下降的风险。

2.3 提高锅炉作业人员技术能力水平

(1) 加强锅炉作业人员节能培训考核，明确锅炉操作人员、水（介）质处理作业人员培训考核方法、内容和要求。定期开展锅炉操作人员燃烧测试和燃烧调整试验培训，以便运行中能通过监视锅炉运行情况，做到及时调整配风量，合理控制炉膛燃烧温度，防止受热面高温腐蚀、炉膛结焦现象的发生。

(2) 应尽量采用薄生物质燃料层，低风操作方式。在负荷变化频繁或炉子前拱温度太低，引燃有困难的情况下，应适当加厚生物质燃料层的厚度。如负荷变化，生物质燃料层层厚度不变，靠改变炉排速度调节负荷。

3 结语

工业锅炉是国民经济中的重要热动力设备，也是能耗大户。生物质层燃工业锅炉具有平均容量小，布点分散，难以集中管理等特点，锅炉运行热效率也普遍不高。对生物质层燃锅炉热效率偏低的（下转第 17 页）

表1 钢和各种水垢的平均导热系数

名称	导热系数 λ [W/(m·℃)]
钢材	46.40--69.6
碳黑	0.069--0.116
氧化铁垢	0.116--0.230
硅酸钙垢	0.058--0.232
硫酸钙垢	0.58--2.90
碳酸钙垢	0.58--6.96

(3) 燃烧器与锅炉炉胆不匹配。该锅炉所配燃烧器为利雅路 HTP91A 燃烧器, 满负荷运行时其火焰长度可达到 4m, 而波形炉胆长度为 3.5m, 火焰长度超出炉胆长度 0.5m, 造成火焰直接冲刷回燃室前管板, 使管板和烟管管端长期处于过烧状态, 容易产生热应力裂纹。

3 修理方案及结果

(1) 对锅炉进行化学清洗, 彻底清除水垢。选择有资质的化学清洗单位, 制订好清洗方案, 清洗中严格监督, 确保锅炉内部水垢清除干净。

(2) 调整燃烧器, 使其火焰长度缩小, 与炉胆尺寸相匹配。降低炉胆容积热负荷, 使回燃室前管板不直接接触火焰, 避免超温运行。

(3) 更换全部出现裂纹及管端超长的烟管。请锅炉制造厂制订修理方案, 拆除出现裂纹和管端超长的烟管 16 根, 严格控制烟管管端伸出焊缝长度在 5mm

以内, 焊接前预胀, 然后再焊接, 焊接完成后实施渗透检测合格。

(4) 启用全自动水处理设备并进行有效监测。由水质化验人员对水质实施定期监测, 锅炉的给水、锅水均应符合 GB/T 1576《工业锅炉水质》标准的相关要求。

(5) 经上述修理, 按照《锅炉安全技术规程》TSG 11-2020 第 7 章及第 9 章相关要求, 进行锅炉重大修理监督检查验收合格。该台锅炉运行正常。

4 结束语

通过本次锅炉修理过程分析, 锅炉的设计、制造、安装及使用管理直接影响着锅炉的安全运行, 只有严格控制制造质量, 切实加强使用管理, 才能有效地避免锅炉事故的发生, 保证锅炉安全经济的运行。

参考文献

- [1] 黄祥新, 燃油燃气锅炉 [M] 西安交通大学出版社.
- [2] GB/T 16508《锅壳锅炉》[S].
- [3] TSG 11-2020《锅炉安全技术规程》.

作者 林海¹ 胡勃²

1 湖北特种设备检验检测研究院

湖北·武汉 邮编 430077

2 湖北特种设备检验检测研究院黄石分院

湖北·黄石 邮编 435000

(上接第 7 页)

原因进行分析, 并提出相应的可行化建议, 一定程度上可解决生物质层燃锅炉运行中能耗较大的问题, 促进我国的节能减排。

参考文献

- [1] 张东旺, 史鉴, 杨海瑞, 等. 碳定价背景下生物质发电前景分析 [J]. 洁净煤技术, 2022, 28 (3): 23-27.
- [2] RAMOS M, DIAS A P S, DGNA J F, et al. Biodiesel production processes and sustainable raw materials [J]. Energies, 2019, 12 (23): 4408.
- [3] 邵帅, 曹有为, 李欣, 等. 燃生物质锅炉与燃传统化石燃料锅炉的经济性对比分析 [J]. 林业机械及木工设备, 2022, 50 (1): 68-70.
- [4] 赵辉, 年征宇, 汪宏, 等. 工业锅炉运行能效分析与研究 [J]. 节能技术, 2018, 36 (02): 67-71.
- [5] 邱征宇, 熊伟东, 赵辉. 杭州市工业锅炉运行现状及能效状况分析 [J]. 工业锅炉, 2017, (4): 42-46.
- [6] TSG 91-2021.《锅炉节能环保技术规程》[S].
- [7] 罗永浩, 张敏, 邓睿梁, 等. 生物质层燃锅炉低 NOX 燃烧技

Energy Reviews, 2011, 15 (5): 2262-2289.

- [9] 杨志灿, 李仁义, 李炎, 等. 锅炉排烟热损失的精确计算方法研究 [J]. 锅炉技术, 2019, 50 (2): 6-10.
- [10] 刘雪敏, 常勇强, 管坚. 工业锅炉定型产品能效数据统计与分析 [J]. 西部特种设备, 2018, (2): 65-69.
- [11] GB/T 1576-2018.《工业锅炉水质》[S].
- [12] 范北岩, 管坚. 工业锅炉节能技术培训教材 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2009.
- [13] NB/T 47062-2017.《生物质成型燃料锅炉》[S].
- [14] 朱复东. 配风对新型造粒生物质锅炉炉膛 NOX 生成特性影响研究 [J]. 环境生态学, 2021, 3 (10): 63-69.
- [15] 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.

基金项目: 河南省锅炉压力容器安全检测研究院基本科研支持项目 (2020ky31); 河南省地方标准制修订计划项目 (20211110147)

作者 曹勇 刘善民 李静 朱丽华 糜子生

南省锅炉压力容器安全检测研究院
河南·郑州 邮编 450016



微信扫一扫
微信搜一搜
舜业之声

1. 用微信扫描识别上图中左上角公众账号二维码或在微信中搜索公众账号“舜业之声”关注神州热电、天下热力设计圈、神州热电联盟群公众账号。
2. 进入公众账号“舜业之声”找到左下角“会员中心”, 点击注册会员, 注册注册会员时信息尽可能详尽, 专业特长写上, 联系方式、照片等, 这样好友更容易找到自己, 同时也有利于单位根据会员注册信息进行成员推送、行业专家及行业“家”推荐服务。
3. 未加入神州热电、天下热力、设计圈、神州热电产业联盟群的朋友申请加群请联系群经办人张敏18325411666