

基于 BCS 技术的生物质循环流化床锅炉燃烧优化控制系统 研发应用技术及推广

高 伟¹, 胡 越¹, 张卫东¹, 吴以军¹, 于现军², 李 鹏²

(1.中节能(宿迁)生物质能发电有限公司, 江苏 宿迁 223800;

2.北京和隆优化控制技术有限公司, 北京 100096)

摘 要: BCS 技术能在不进行锅炉设备改造的前提下, 利用锅炉运行数据和集散控制系统(DCS), 通过一系列先进建模、优化和控制技术的应用, 提高锅炉燃烧效率, 降低 NO_x 排放。由于这种技术投资少, 能够充分挖掘机组运行的节能潜力, 使机组始终处于最佳的运行工况, 因而提高了企业的核心竞争力, 并代表了下一代热工自动化发展的方向。本文针对国内生物质直燃发电锅炉运行燃烧现状, 阐述了 BCS 技术特点, 介绍了中节能(宿迁)生物质能发电有限公司及和隆优化公司共同在国内首次采用 BCS 燃烧优化技术对生物质直燃发电领域进行探索、研发实践及应用。分析了 BCS 技术在生物质直燃 CFB 锅炉燃烧中应用效果和发电领域有着积极的推广作用。

关键词: BCS; 生物质直燃 CFB; 燃烧优化; 自动控制

0 引言

中节能宿迁生物质直燃发电项目是我国首批建设投产的生物质能直燃示范项目, 国内第一个采用完全自主知识产权秸秆燃烧技术的生物质发电项目, 也是国内第一个在联合国成功注册 CDM 的项目, 在引领我国生物质能大规模转化利用、在产业内推广应用自主核心技术方面起了举足轻重的作用。宿迁生物质燃烧发电项目于 2006 年 5 月开工建设, 2007 年 6 月投入商业运营。项目建设规模为 2×75t/h 生物质直燃循环流化床锅炉, 配置 2 台 12MW 汽轮发电机组。项目所用锅炉采用由浙江大学与中国节能联合开发、南通万达锅炉有限公司制造的全部国产化的循环流化床炉型。现国内生物质发电遍地开花蓬勃发展, 已投产发电生物质电厂达一百多家, 但都普遍存在核心设备--锅炉运行参数不稳, 燃烧效率不高, 热损失较大等问题, 直接影响了可再生燃料利用效率和电厂效益, 若能改善和提高锅炉运行质量, 则节能增效潜力巨大。为此中节能宿迁公司于 2012 年与北京和隆优化科技股份有限公司共同探讨研发生物质锅炉燃烧优化控制技术。经两年多对各种燃料燃烧所体现的特性不断总结、分析、改进优化, 最终可以适应的生产要求,

达到预期目标。

1 生物质直燃锅炉运行现状

生物质直燃发电作为一种新型能源的发电技术, 发展只有几年时间, 其核心设备是锅炉。主要炉型有水冷振动炉排、复合往复联合炉排、循环流化床等。现国内生物质发电锅炉燃烧可以说全部是手工操作调节, 燃烧与整体系统运行不是一直最佳。中节能宿迁公司当然也不例外。主要存在问题如下:

(1) 锅炉运行全部为手动操作, 工人劳动强度很大。

(2) 部分关键仪表性能较差, 原控制方案抗干扰能力有限, 使得控制回路无法实现自控。

(3) 燃料复杂, 热值变化大, 燃料输送经常发生燃料断堵现象, 导致锅炉运行状态稳定性差, 手动操作队不断变化的工况操作不及时, 严重影响了锅炉效率。

(4) 锅炉没有实现经济运行, 不能够及时寻找最佳运行状态。

2 BCS 燃烧优化控制技术概述

2.1 BCS 技术定义

BCS 是“通用燃烧优化控制技术”的英文缩写。

BCS 是基于先进的、高可靠性的 DCS 系统或高端 PLC 产品及国际通用的 OPC 标准通讯协议, 立足于各种燃烧器最基本的测控仪表, 采用先进的软测量技术、过程优化控制技术与大系统协调优化技术、安全控制技术、先进的软件接口技术及科学的运行数据挖掘、处理与统计技术来实现燃烧器及多燃烧器系统的全自动协调优化控制, 从而达到其安全运行、稳定运行和经济运行的所有目标。图 1 为 BCS 技术与各种燃烧器的关系图。

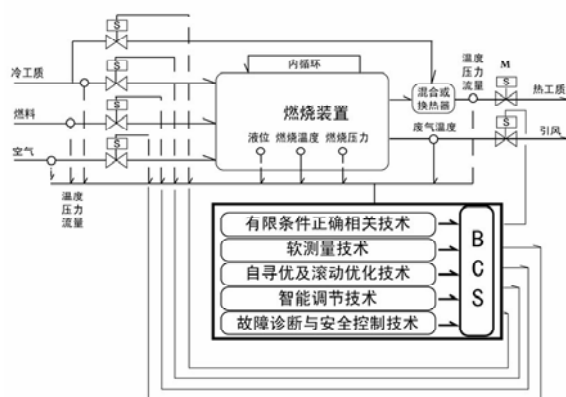


图 1 BCS 技术与各种燃烧器的关系图

BCS 是集科学性、通用性、先进性、实用性、安全性与经济性于一身的燃烧优化控制技术。

2.2 BCS 技术理论依据

BCS 技术立足于各种燃烧装置现有的工艺、设备、操作条件, 在不进行锅炉设备改造的前提下, 通过实施优化控制来使其燃烧效率 η 最大。其理论根据有三:

(1) 能量平衡与热量平衡

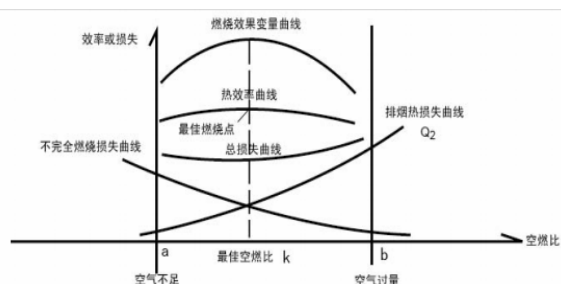


图 2 固体燃料燃烧热平衡曲线

如图 2 所示, 固体燃料燃烧的热平衡方程式:

$$Q_r = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$\eta(\%) = (Q_r - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6)) / Q_r$$

其中: Q_r — 1m^3 煤气带入燃烧装置的热量 (kJ/m^3);

Q_1 —燃烧装置有效利用热量 (kJ/m^3);

Q_2 —排出烟气所带走的热量 (kJ/m^3);

Q_3 —气体不完全燃烧热损失 (kJ/m^3);

Q_4 —固体不完全燃烧热损失 (kJ/kg);

Q_5 —燃烧装置的散热损失 (kJ/m^3)。

如果想使加热炉燃烧效率最大, 我们必须让 Q_2 、 Q_3 、 Q_5 三项损失最小, 而 Q_2 、 Q_3 两项占了加热炉损失的绝大部分份额并与燃烧效果有着密不可分的关系。

很显然如果空气过量会造成 Q_2 增大, 空气欠量会使 Q_3 增大。

因此我们的工作重点: 通过实施燃烧优化策略来实现—— $Q_2 + Q_3 \rightarrow \min$ 。

(2) 华罗庚的《优选学》—瞎子爬山法

将华罗庚的“瞎子爬山法”优化策略用在了智能优化控制器设计上。

(3) 软测量技术

由于大多数场合没有安装煤气热值在线分析仪、废气流量仪表等, 造成燃烧效率不能在线实时计算出来, 这就给根据燃烧效率寻找最佳燃烧效果造成了难以逾越的困难。但我们根据可测的一些变量或一些变量的变化趋势采用软测量技术得到了一个非常重要的中间变量—加热炉燃烧效果。

2.3 BCS 八大核心技术

有限条件正确相关技术、扰动观测器模型和智能控制器、燃烧效果软测量技术、最佳运行工况的自寻优及滚动优化技术、安全控制技术、智能软伺服接口技术、运行数据挖掘、处理与统计技术

3 BCS 燃烧优化实现的主要功能

针对宿迁地区不同燃料表现出不同燃烧特性, 通过一年多锅炉燃烧数据监测、统计、分析, 经多次筛选、验证、优化, 可以并实现以下功能。

(1) 汽包液位自动控制功能: 带专家算法的三冲量汽包水位控制, 可以实现汽包水位长期稳定可靠的自动控制。

(2) 主汽温度自控控制功能: 带燃烧因素前馈和专家控制的主汽温度控制回路, 可以实现主汽温度长期稳定的自动控制

(3) 一次风自动控制功能: 根据负荷及流化风量自动调整一次风量的大小。

(4) 二次风自动控制功能: 根据负荷燃料情况自动调整二次风量的大小, 配合二次风量的寻优,

使二次风量更加合理, 燃烧情况最佳。

(5) 引风自动控制功能: 根据炉膛压力情况自动调整引风机挡板或者变频的开度。

(6) 负荷自动控制功能: 根据发电机组及燃料的情况自动调整锅炉的给料量。配合燃料寻优模块, 使燃料量更加合理, 燃烧情况最佳。

(7) 最佳燃烧优化: 最少燃料量优化、最佳二次风量自寻优

(8) 料仓下料故障诊断及全自动处理: 协调螺旋给料机与拨料器的协同工作, 避免搭桥, 架空现象。

(9) 断料故障诊断与全自动处理: 根据给料机的电流判断是否断料, 断料后自动智能分配多股给料机的料量, 达到给料总量的稳定且不会造成烧偏的现象。

(10) 床温测量失效故障诊断与全自动处理: 利用床温测点偏移度, 来衡量当前床温测点是否正常, 在判断为异常后, 自动剔除。

(11) 左右床温纠偏: 根据左右两侧床温的均值偏差情况, 微调左右两侧的上料量, 使床温达到平衡状态。

(12) 左右氧量纠偏: 根据左右两侧的氧量测量偏差, 结合床温偏差情况, 协调左右两侧的上料量。

(13) 锅炉运行考核功能: 包括流量的统计、电耗的统计、均值统计、自控率、料耗的考核、床温考核、汽温考核、可以定制其他参数的考核。

(14) 锅炉效能评价功能: 包括通过汽温、气压、水位、负压、氧含量参数统计出来的稳定性考核以及通过平均蒸汽量、床温、热效率、用料量、排烟温度统计出来的经济型考核。

4 中节能宿迁公司生物质 CFB-BCS 运行效果

生物质直燃锅炉与燃煤锅炉相比燃料品种、热值、水分、灰分变化非常大且频繁。是锅炉燃烧波动重要原因。也是国内生物质锅炉都存在的问题。

2012 年 12 月在宿迁公司生物质直燃循环流化床锅炉#1 炉上进行首次进行试验。经两年多的不断调整、总结、分析、优化。实践证明与人工操作相比锅炉整体运行工况更加稳定效率更高。

(1) 可以实现的控制指标

1) 长期自控率大于 90%时间。

2) 汽包水位控制精度 $R \pm 3\%$;

3) 主汽温度控制精度 $R \pm 5^{\circ}\text{C}$;

4) 主汽压力控制精度 $R \pm 0.15\text{MPa}$;

5) 炉膛负压控制精度 $R \pm 50\text{Pa}$;

6) 左右侧氧量控制 $3\% \pm 1\%$;

7) 断料自动处理率大于 90%(需要料量称重信号或断料信号)。

上述控制指标实现后, 锅炉运行稳定性大幅提高, 安全性明显改善; 锅炉主要运行参数长期保持在最佳经济运行区域, 通过计算实现 1%-3%以上的经济节能效益。

运行情况见图 3。



图 3 #1 炉采用 BCS 技术运行截图

(2) 各回路自动和手动的情况对比, 如图 4~6 所示。

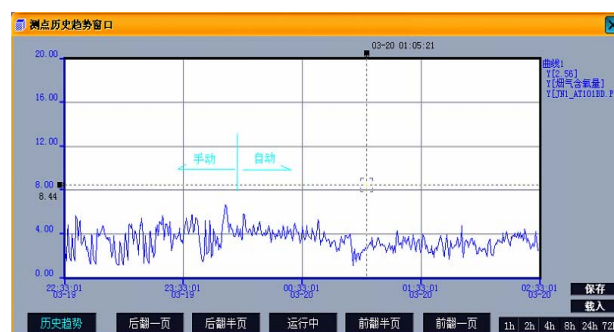
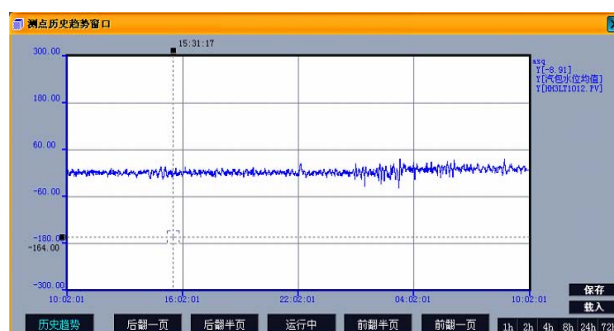
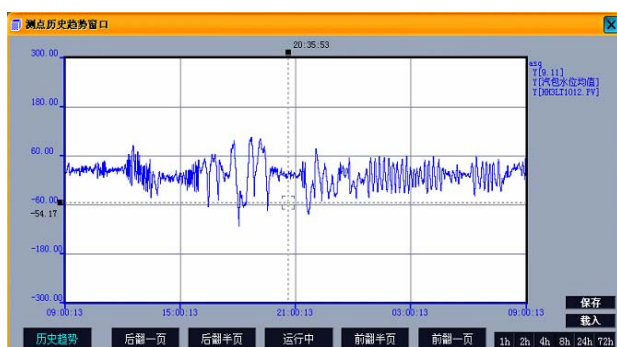


图 4 烟气含氧量手自动对比

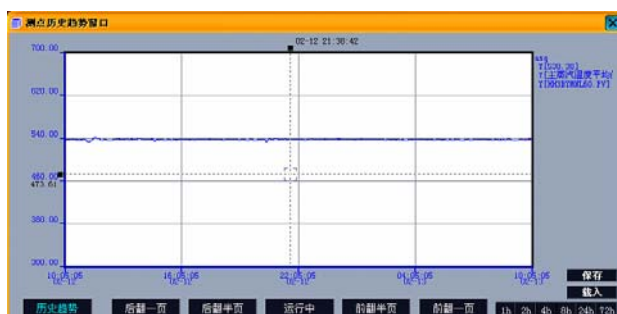


(a) BCS 控制汽包水位

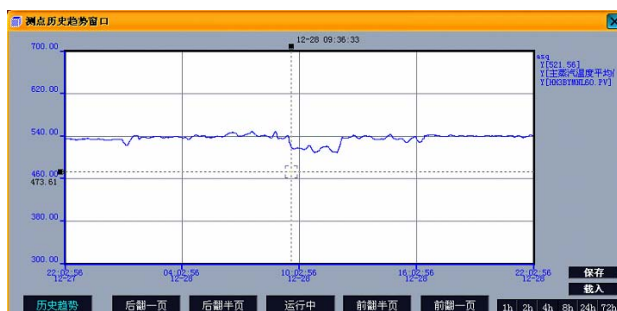


(b) DCS 控制汽包水位

图 5 控制汽包水位对比图



(a) BCS 控制主汽温度



(b) DCS 控制主汽温度

图 6 控制主汽温度对比图

5 效益分析

BCS 燃烧优化控制技术的使用，极大地降低了工人的劳动强度——它打破了 CFB 锅炉长期以来基本处于人工操作的局面，实现了准无人化操作，生产效率显著提高，降低管理成本，人力成本；明显地延长了 CFB 锅炉的大修周期——BCS 技术使锅炉生产运行更加平稳和更加安全，降低了企业的维修成本。

5.1 经济效益

按一个生物质电厂 $2 \times 75\text{t/h}$ 配套 24-30MW 机组全年消耗 30 万 t 燃料，料价按 300 元/t 计，料耗下降 1.5% 计算。

则年节约燃料量为：

$$30 \times 1.5\% = 0.45 \text{ 万 t}$$

节约燃料成本为：

$$0.45 \times 300 = 135 \text{ 万元}$$

其他的经济效益如：节电效益、提高锅炉运行稳定性所带来的设备运行寿命的延长等不计算在内。

5.2 环保效益

0.45 万 t 生物质燃料约合 1500t 标准煤，

可减少二氧化碳： $1500 \times 2.62 \text{ (t/t)} = 3930 \text{ (t)}$

可减少二氧化硫： $1500 \times 0.0085 \text{ (t/t)} = 12.75 \text{ (t)}$

可减少氮氧化物： $1500 \times 0.0074 \text{ (t/t)} = 11.1 \text{ (t)}$

5.3 社会效益

(1) 提高电厂安全性和稳定性，降低了发电成本；增强了电厂的市场竞争力。

(2) 提升生物质 CFB 锅炉国产自控水平，使企业成为在生物质 CFB 锅炉自动化电力企业行业的标杆企业。

6 推广价值

当今社会，能源储量急剧下降、污染严重、雾霾横行，节能减排成为亟待解决的社会问题。如何降低成本也成为企业生存发展急需解决的问题。

现国内生物质发电遍地开花蓬勃发展，根据国家战略性新兴产业发展“十二五”规划到 2015 年，生物质发电装机将达 1300 万千瓦。BCS 燃烧优化技术可以解决在现有条件下如何使 CFB 锅炉燃烧效率最大的问题——全自动燃烧优化技术可使锅炉燃烧效率提高 1~3% 以上，并明显降低飞灰量和飞灰含碳量。在一定程度上解决了 CFB 锅炉对环境的污染问题——它既满足了燃料的充分燃烧，也保证了锅炉的稳定燃烧，在一定程度上解决了烟囱冒黑烟和 SO_2 、 NO_x 因燃烧温度控制不稳而过量生成的环保问题。BCS 燃烧优化技术符合节能环保社会发展、可以为企业和社会创造极大经济效益和节能环保效益，具有巨大的推广意义。

作者简介：

高 伟 (1969—) 男，江苏宿迁人，电厂生产管理，E-mail: gw_srd018@163.com。