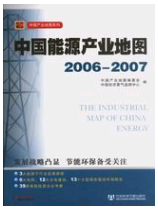
2008 第四届中国(成都)分布式能源国际研讨会
——推广分布式能源，促进节能减排，加强区域能源供应安全
2008.5.28-29 四川·成都

新书推荐

可持续能源发展战略

(2006年版)中国企业投资分析报告

大规模煤气化技术

中国能源产业地图 2006-2007

循环流化床锅炉热效率计算探讨

何勇超 卢刚 [河北热电有限责任公司] 2006-01-25

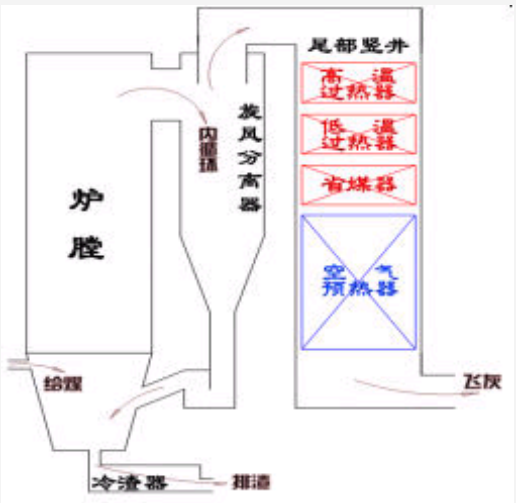
摘 要

河北热电有限责任公司八期技改工程安装了四台东方锅炉（集团）股份有限公司引进FW技术生产的410t/h循环流化床锅炉，该工程为国内设计、制造和安装的总装机容量最大的循环流化床锅炉群。本文利用反平衡热效率法，通过测取循环流化床锅炉的各项热损失值，来确定锅炉的反平衡热效率。目的就是通过分析热损失偏差的原因，寻求降低热损失的方法和确定对设备进行改进、完善的途径，为循环流化床锅炉的安全、稳定和经济运行提供相关的理论依据。

主题词：流化床 锅炉 热效率

1、概述

河北热电有限责任公司新近投产了四台循环流化床锅炉，型号为DG410/9.81-9，其主要参数为蒸发量410t/h,主汽压力9.81MPa，主汽温度540℃，给水温度225℃，汽包压力11.08 MPa，床温896℃，给煤量46.93 t/h，石灰石量4.8 t/h，总空气量361000Nm^3/h。DG410/9.81-9型循环流化床锅炉炉膛宽13716mm，深6705mm；前墙设4台给煤机，每台出力为36 t/h，左右各设有2台风水冷联合冷渣器；点火方式采用床下风道点火器点火，床下风道点火器设2台，出力为1650kg/h，床上油枪设4台，出力为500kg/h。锅炉结构如右图所示。



自2002年11月30日投入运行以来，经过运行人员不断的摸索，总结经

国外生物质能的政策与实践

中国能源网论文库是中国最大的能源专业论文库，现收集论文几千 篇，涉及到能源政策、环境保护、电力工业、热电冷联供、燃汽轮机、石油天然气、节能与新能源、循环流化床等多个方面。

敬侯读者对我们的工作提出宝贵意见。

希望作者与我们联系，我们可以免费为作者建立个人主页 。

版权声明

验教训，锅炉的运行水平不断提高，现今已顺利通过调试期，进入试生产运行阶段。下面就简单讨论一下DG410/9.81-9型循环流化床锅炉的热效率计算。

2、问题提出及分析

2．1　为了研究循环流化床锅炉的热效率计算，首先要了解循环流化床锅炉与煤粉炉的差异。循环流化床锅炉与煤粉炉相比，存在以下几大不同：

1、 燃烧及换热的机理的差异：循环流化床燃烧具有低温、强化燃烧的特点，它的基本原理是床料（8mm以下）在流化状态下进行燃烧。粗颗粒在密相区的床上燃烧，细颗粒在稀相区燃烧，被烟气夹带出炉膛的细颗粒采用旋风分离器收集下来，通过“J”阀返送回床内循环燃烧。由于燃烧机理的差异，传热过程也存在不同，它主要包括3个过程：气体对流传热、辐射传热和颗粒对流传热。其中由于气体中混有了固体颗粒，悬浮物的比定容热容必然比单纯是气体时大，因此颗粒对流传热占的比例较大。

2、 设计结构的不同：根据燃烧及换热机理的差异，循环流化床锅炉与煤粉炉相比，以我公司为例，又增加了汽冷式旋风分离器、“J”阀回料器和风水冷联合冷渣器等配套设备。其中汽冷式旋风分离器和“J”阀回料器的主要作用是构成锅炉内部的物料循环；风水冷联合冷渣器的主要作用是通过冷渣器排出炉膛下部床上的物料，以维持合理的床层压差，保证物料在床上的正常流化。

3、 脱硫过程的不同：循环流化床锅炉是将脱硫剂（石灰石）直接送入炉膛，煅烧出的氧化钙与燃烧产生的二氧化硫气体反应，生成的硫酸钙通过冷渣器排出炉膛，从而达到脱硫的目的。由于锅炉的正常床温正好是脱硫的最佳温度范围（850℃至900℃），同时由于物料在炉内的多次循环，又延长了脱硫剂在炉内的停留时间，使脱硫效率可达90%左右。

2．2　下面就以我公司DG410/9.81-9型循环流化床锅炉为例，来讨论它的热效率计算。

锅炉在稳定状态下，相对于1Kg燃煤的热平衡方程式如下：
$Q_r=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5+Q_6$　(KJ/Kg)，相应的百分比热平衡方程式为：
$100\%=q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6$　(%)
其中

1、Q_r是伴随1Kg燃煤输入锅炉的总热量，KJ/Kg。
$Q_r= Q_{ar}+h_{rm}+h_{rs}+Q_{wl}$
式中Q_{ar}--燃煤的低位发热量，KJ/Kg；是输入锅炉中热量的主要来源。
h_{rm}--燃煤的物理显热量，KJ/Kg；燃煤温度一般低于30℃，这一项热量相对较小。
h_{rs}--相对于1Kg燃煤的入炉石灰石的物理显热量，KJ/Kg；这一项热量相对更小。
Q_{wl}--伴随1Kg燃煤输入锅炉的空气在炉外被加热的热量，KJ/Kg；如果一、二次风入口暖风器未投入，这一部分热量也可不计算在内。

2、Q 是锅炉的有效利用热量，KJ/Kg；在反平衡热效率计算中，是利

用其它热损失来求出它的。

3、Q_4是机械不完全燃烧热损失量，KJ/Kg。

$Q_4= Q_{cc}(M_{hz}C_{hz}+M_{fh}C_{fh}+M_{dh}C_{dh})/M_{coal}$

式中Q_{cc}--灰渣中残余碳的发热量，KJ/Kg。

M_{hz}、M_{fh}、M_{dh}--分别为每小时锅炉冷渣器的排渣量、飞灰量和底灰量，t/h。

C_{hz}、C_{fh}、C_{dh}--分别每小时锅炉冷渣器的排渣、飞灰和底灰中残余碳含量占冷渣器的排渣、飞灰和底灰量的质量百分比，%。

M_{coal}--锅炉每小时的入炉煤量，t/h。

$q_4= 100Q_4/Q_r$（%）

4、Q_2是排烟热损失量，KJ/Kg。

$Q_2=(H_{py}-H_{lk})(1-q_4/100)$

式中H_{py}--排烟焓值，由排烟温度θ_{py}（℃）、排烟处的过量空气系数α_{py}（$\alpha_{py}=21.0/(21.0 - O_{2py})$）和排烟容积比热容$C_{py}$（KJ/(Nm^3℃)）计算得出，KJ/Kg。

H_{lk}--入炉冷空气焓值，由排烟处的过量空气系数α_{py}、冷空气容积比热容C_{lk}（KJ/(Nm^3℃)）、冷空气的温度θ_{lk}（℃）和理论空气量V^o($V^o=0.0889(C_{ar}+0.375 S_{ar})+0.265H_{ar}-0.03330_{ar}$，Nm^3/ Kg)计算得出，KJ/Kg。

$q_2=100Q_2/Q_r$（%）

5、Q_3是化学不完全燃烧热损失量，KJ/Kg。

$Q_3=236(C_{ar}+0.375S_{ar})(M_{co}/28)/(M_{so2}/64+M_{nox}/46)(1- q_4/100)$

式中M_{co}、M_{so2}、M_{nox}--分别为排烟烟气中CO、SO_2、NO_X所含的质量，mg/Nm^3。

$q_3=100Q_3/Q_r$（%）

6、Q_5是锅炉散热损失量，KJ/Kg。

$q_5=(0.28*410.0)/H$

式中H--锅炉的实际运行时的蒸发量，t/h。

7、Q_6是锅炉的灰渣物理热损失量，KJ/Kg。

$Q_6=(H_{hz}M_{hz}*100/(100-C_{hz})+H_{fh}M_{fh}*100/(100-C_{fh})+ H_{dh}M_{dh}*100/(100-C_{dh})) / M_{coal}$

式中H_{hz}、H_{fh}、H_{dh}--分别为锅炉冷渣器的排渣、飞灰和底灰的焓值，KJ/Kg，由各自对应的平均比热容和温度计算得出。

$q_6=100Q_6/Q_r$（%）

8、**η**是锅炉的反平衡热效率，%。

$\eta=100-(q_2+q_3+q_4+q_5+q_6)$

3、结论

结合现场实际运行数据，计算的锅炉热效率与厂家提供的设计数据比较如下：（额定工况）

序号	项目	符号	单位	实际数据	设计数据
1	排烟热损失	q_2	%	5.19	5.1
2	化学不完全燃烧热损失	q_3	%	0.43	0.1
3	机械不完全燃烧热	q_4	%	3.30	2.5

	损失				
4	散热损失	q_5	%	0.28	0.14
5	灰渣物理热损失	q_6	%	0.77	0.70
6	反平衡热效率	η	%	90.03	91.46

根据实际运行数据与设计数据的差异，为了降低各项热损失指标，提高锅炉热效率，我们在以下几个方面做出了改进：

1、尽量降低排烟温度。在尾部受热面已经确定的情况下，根据需要适当增加尾部受热面的吹灰次数。通过吹灰，减少尾部受热面上的积灰程度，避免局部堵灰现象，以此加大尾部受热面的传热温压，降低排烟温度，减少排烟热损失。

2、根据循环流化床锅炉的燃烧机理，一定要保证床内物料的充分流化。最主要的两方面就是，首先要保证稳定的床压波动范围，根据入炉煤质的变化和石灰石量的投入多少，及时投入相应数量的冷渣器，避免床压上升过高；同时在床压下降到较低时，也要及时停运冷渣器进行吹扫。其次要保证一次流化风量大于最小流化风量，并根据床温情况，适当加大。只有保证了床内物料的充分流化，才能避免发生床内局部结焦、床温偏差大和局部产生流化死区等不良现象，使入炉煤在炉膛得到充分的燃烧，以此减少锅炉冷渣器排渣中残余碳的质量含量C_{hz}，降低机械不完全燃烧热损失。

3、对冷渣器的可靠运行要足够重视。一方面，要保证冷渣器的可靠排渣，能够控制炉膛床压；另一方面，要控制冷渣器的运行参数，降低排渣温度，以此减少灰渣物理热损失。

4、对炉膛内一、二次风的配比做进一步调整。一次流化风在保证物料充分流化的同时，也要保证炉膛密相区有一定的燃烧份额，使密相区的实际过量空气系数接近1，在欠氧燃烧状态。二次风从炉膛密相区和稀相区的分界处进入，根据O_2%控制燃烧所需的总风量，保证细颗粒在稀相区的充分燃烧。另外，一、二次风共同作用，保证物料在炉内的循环倍率，提高细颗粒再燃烧的机率，降低飞灰中的残余碳含量C_{fh}，进一步减少机械不完全燃烧热损失。

5、加强对锅炉外部保温材料的完善，发现缺陷及时检修，减少锅炉的散热损失。

参考文献：

1 岑可法，倪明江等。循环流化床锅炉理论设计与运行。北京：中国电力出版社，1997。

2 刘德昌主编。流化床燃烧技术的工业应用。北京：中国电力出版社，1998。

燃气轮机设备推荐 招聘栏目开通 能源行业投资咨询报告

Copyright © 1999-2006 Falcon Power Ltd. All rights reserved. 群鹰公司 版权所有

地址：北京市海淀区北蜂窝8号中雅大厦A座14层 邮政编码：100038

电话：010-51915010,30 传真：010-51915237 Email: china5e@china5e.com

支持单位： 中国企业投资协会|中国动力工程学会| 中国电机工程学会|中国城市燃气协会 承办单位：群鹰公司 免责声明

京ICP证040220号