

# Research and Practice of Reconstructing a Thermal Power Plant 130t/h Coal-Fired Boiler to Natural Gas-Fired Boiler

Shuheng Sheng<sup>1</sup>, Wei Xin<sup>1</sup>, Weimin Zhou<sup>1</sup>, Yaning Zhu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Thermoelectric Department, Sinopec Tianjin Branch, Tianjin

<sup>2</sup>North China Electric Power University, Baoding

Email: \*[827154603@qq.com](mailto:827154603@qq.com)

Received: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2014; revised: Sep. 21<sup>st</sup>, 2014; accepted: Sep. 28<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 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

---

## Abstract

A city based on production and environmental requirements, for the purpose of improving the quality of urban environment and reducing environmental pollutant emissions, decided partial boilers changing from coal to gas. This paper takes a thermal power plant 130t/h boiler as an example, getting on the research and practice of reconstructing boiler from coal-fired to gas-fired.

## Keywords

Environment, Reconstructing Boiler from Coal-Fired to Gas-Fired, Research and Practice

---

# 某热电厂130t/h燃煤炉改燃气研究与实践

盛叔衡<sup>1</sup>, 昕 炜<sup>1</sup>, 周伟民<sup>1</sup>, 朱亚宁<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>中石化股份天津分公司热电部, 天津

<sup>2</sup>华北电力大学, 保定

Email: \*[827154603@qq.com](mailto:827154603@qq.com)

收稿日期: 2014年9月2日; 修回日期: 2014年9月21日; 录用日期: 2014年9月28日

---

\*通讯作者。

## 摘要

某市根据生产及环保要求，以改善城市环境质量，减少环境污染物排放为目的，决定将部分燃煤锅炉改为纯烧天然气的燃气锅炉。本文以某热电厂130t/h燃煤锅炉为例，展开燃煤改燃气方案研究与实践。

## 关键词

环境，燃煤改燃气，研究实践

## 1. 前言

能源是经济发展的基本保证，经济快速发展的中国正面临着十分严峻的挑战——能源问题。能源问题不仅仅指能源短缺，还包含环境问题。为实现我国走可持续发展战略道路，必须合理利用能源，而近期温室效应、大气污染、固体废弃物等环境污染问题越来越严重，尤其是秋冬季节，我国大部分城市会经常出现雾霾天气。我国长期将煤炭作为第一能源，在为经济发展做出贡献的同时，也造成了严重的大气污染，燃煤不仅能量利用率低，而且排放的烟气中含有大量有害物质(如 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、烟尘等)，导致生态环境污染严重[1]。为缓解能源问题，我国2009年底在全国能源工作会议中指出：“在大城市和沿海地区原则上不再布局新的纯燃煤电站，根据天然气资源条件，在特大城市和大城市等负荷中心，适度布局和有序开工建设一批燃气调峰机组，改善城市空气质量。”并且国家在“十二五”能源发展规划中，将目前天然气在我国能源消费结构中的比重由4%提高到8%，将适时调整天然气利用政策[2]。

某热电厂积极响应国家政策号召，根据生产及环保要求，为改善城市环境，减少环境污染物排放，决定将燃煤锅炉改为燃气锅炉。

## 2. 燃煤锅炉改燃气方案研究

在理论上分析，燃煤锅炉改成燃气锅炉是可行的。在同等发热量的情况下，作为多相反应的煤燃烧比均相反应的气燃烧的燃烧时间长。一般说来，燃气锅炉容积热强度比燃煤锅炉高2~3倍，因此，燃煤锅炉改燃气后能使燃气完全燃烧。

### 2.1. 燃煤锅炉改燃气原则

在对燃煤锅炉进行改造前需进行价值评估，首先要检测其热效率并评估剩余使用时间，分析其改气后的使用年限和热效率，然后将改气后总费用(包括改造费用和年运行费用)与新置燃气锅炉对比，据此判断其改气价值。在制定改造方案时应保持以下改造原则。

- 1) 锅炉原设计参数(蒸汽温度、蒸汽压力、给水温度)基本不变；
- 2) 锅炉受热面改动较少或不变；
- 3) 通过改造使锅炉烟气排放达到环保要求；
- 4) 通过改造方案简单易行、投资少、见效快、工期短。

根据以上改造原则，首先要对原锅炉参数进行了解，进行原锅炉参数与改造后锅炉参数对比，如表1和表2所示。

通过锅炉改造前和改造后参数的对比，根据不同燃料的发热量可计算出锅炉受热面改造后所需的面积，表3为天然气组成成分。

Table 1. The parameters of original coal-fired boiler

表 1. 原燃煤锅炉参数

名称	符号	单位	数值
额定蒸发量	D	t/h	130
过热蒸汽压力	$P_{gr}$	MPa	3.82
过热蒸汽温度	$T_{gr}$	°C	450
锅筒工作压力	$P_{gt}$	MPa	4.3
给水温度	$T_{gs}$	°C	170
排烟温度	$T_{py}$	°C	141.7

Table 2. The parameters of reconstructed boiler

表 2. 改造后锅炉参数

名称	符号	单位	数值
额定蒸发量	D	t/h	130
过热蒸汽压力	$P_{gr}$	MPa	3.82
过热蒸汽温度	$T_{gr}$	°C	450
锅筒工作压力	$P_{gt}$	MPa	4.3
给水温度	$T_{gs}$	°C	170

Table 3. Natural gas composition (unit: %)

表 3. 天然气气体组成(单位: %)

成分	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	I-C <sub>4</sub>	N-C <sub>4</sub>
含量	93.3623	1.3988	1.0826	3.3185	0.5302	0.0807	0.1023
成分	I-C <sub>5</sub>	N-C <sub>5</sub>	C <sub>6+</sub>	合计			
含量	0.0338	0.0221	0.0687	100			

## 2.2. 燃煤锅炉改燃气方案及热力计算

### 2.2.1. 燃煤锅炉改燃气方案

根据燃煤锅炉燃气改造原则,改造时涉及面越小越好,且改造部分不超出炉膛本体结构范围,所以锅炉本体尺寸及设备不作改动;为了避免调整水冷壁,仍采用四角布置的多管式天然气燃烧器;过热器、省煤器、空气预热器等受热面保留不动;燃煤系统推出运行并进行隔离,锅炉汽水系统保持原状,送风机、吸风机以及管道阀门的调节装置仍然留用。

经过理论分析,燃煤锅炉改烧天然气后,相关锅炉设备从以下三部分实施改造:

- 1) 燃煤改燃气锅炉需拆除磨煤机,一次风、除尘器、脱硫、脱销设备、冷灰斗;
- 2) 燃煤改燃气锅炉需对燃烧器、鼓风机、引风机、三次风口进行改造;
- 3) 燃煤改燃气锅炉需增添炉膛底部蓄热稳燃装置、天然气预热器、辅助控制系统。

### 2.2.2. 燃煤锅炉改燃气热力计算

燃煤锅炉改燃气热力计算主要是针对锅炉炉膛和受热面。根据以上参数,经过计算可得知锅炉炉膛的蒸发吸热量大,省煤器内的工质不会沸腾,故原锅筒及锅筒内部装置完全利用,可不做任何改动。

- 1) 炉膛传热分析

根据原燃煤锅炉设计煤种和天然气成分，在保持原锅炉出力相同的工况下对炉膛辐射传热部分进行计算，得出基本参数如表 4 所示。

由以上分析可知：由于天然气燃烧时只产生  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，减少了焦炭和飞灰对火焰黑度及炉膛黑度的影响；但是水蒸汽份额会增加，因此通过计算来看其火焰黑度和炉膛黑度较原设计锅炉稍有减小；同时由于天然气的理论燃烧温度较原锅炉又有所增加，因此根据辐射传热计算公式可知：原燃煤锅炉进行燃气改造之后，炉膛与凝渣管部分传热量相差不大，根据锅炉改造基本原则应保持炉膛水冷壁及炉膛断面基本不变，整个水循环回路及流通截面不变。

### 2) 水冷壁改造部分

炉膛水冷壁改造：前后水冷壁原倾斜的冷灰斗膜式水冷壁保留，但为了保证锅炉低负荷下的稳定燃烧，提高锅炉负荷的调整幅度能最大限度的适应天然气的增减变化，提高锅炉炉膛内的辐射换热，保证天然气完全燃烧，在炉膛下部，即燃烧器以下到炉底铺垫耐火砖卫燃带，形成一个高温区。根据计算和运行实践，铺设耐火砖后水冷壁虽然不能直接从燃烧的烟气中吸收热量，但炽热的耐火砖仍然会把热量传给水冷壁。

### 3) 炉膛封底(图 1)

锅炉燃煤时炉渣从炉底排出，全燃天然气时，不产生炉渣，为了防止冷风从炉底漏入，影响炉内燃烧动力场，应将炉底用耐火砖封堵。为了便于检修时人与工具材料的出入应留一人孔，运行时人孔门闭，检修时打开。为了尽量蓄积热量，炉底封闭时可以适当抬高中心位置，但一定注意不能影响到锅炉的自由膨胀。

## 2.3. 燃煤锅炉改燃气燃烧系统的改造方案(图 2)

燃煤锅炉改燃气时，燃烧器的选择是关键。选择燃烧器的原则：燃烧完全且稳定运行，燃烧温度高，炉内火焰充满度好，过剩空气系数可调节，而且满足锅炉负荷调节要求。燃烧器的布置与锅炉炉膛大小、形状、燃料性质有很大的关系，应以保证火焰在炉膛中心，炉内火焰充满度好，火焰冲刷不到水冷壁为原则，一般布置在锅炉前墙底部，若烟气出口处在炉膛底部，燃烧器可以布置在炉顶。

根据以上原则，方案决定原煤粉燃烧器全部取消，改成天然气燃烧器，但不涉及水冷壁弯管的变动，燃烧器喷口的宽度、高度与原设计一致。新增的天然气燃烧器呈正四角布置，保证了天然气完全燃烧所需的温度场及燃烧工况，上下两层共 8 台平流式天然气燃烧器，点火枪采用气动执行机构进退方式，以

Table 4. Part parameter comparison of furnace heat transfer  
表 4. 炉膛传热部分参数对比

名称	符号	原燃煤锅炉(烟煤)	改造锅炉(天然气)
三原子气体总分压	$r_z$	0.231	0.262
水蒸汽容积份额	$r_{n2o}$	0.089	0.1726
三原子气体份额	$r_{Ro2}$	0.142	0.0894
三原子气体辐射减弱系数	$kq$	0.8	1.0063942
飞灰辐射减弱系数	$k_{flufh}$	0.292153	0
焦炭辐射减弱系数	$k_{jt}$	1.02	0
火焰黑度	$a$	0.518217	0.43397
炉膛黑度	$a$	0.628498	0.543687
理论燃烧温度	$^{\circ}\text{C}$	1932.7	2096.689

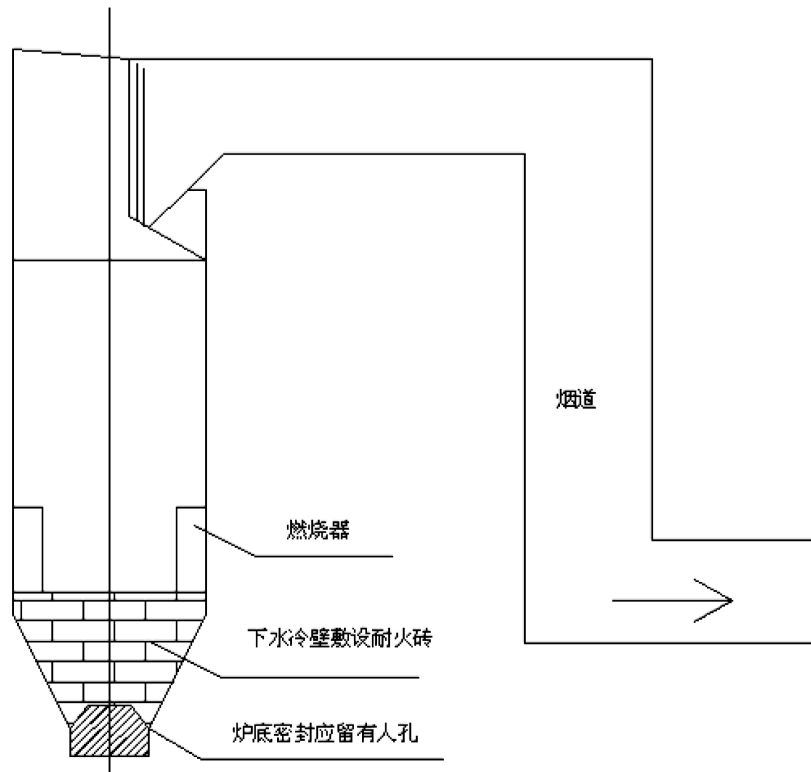


Figure 1. The schematic of furnace bottom laying refractory belts

图 1. 炉膛封底及敷设卫燃带示意图

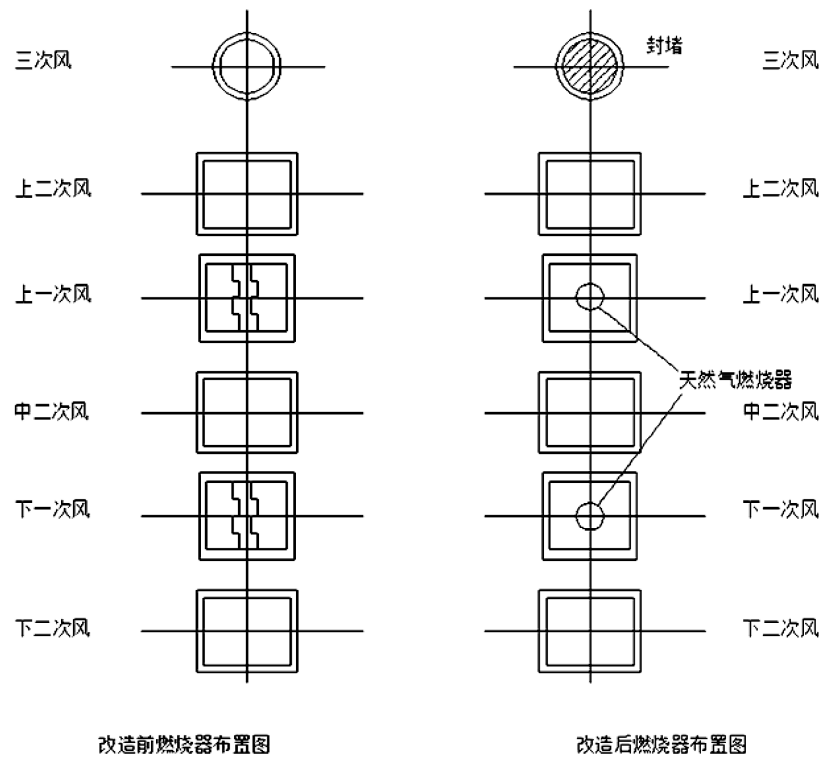


Figure 2. The schematic of burner layout transformation

图 2. 燃烧器改造布置示意图

免点火枪始终在燃烧区里导致烧坏。每台燃烧器配一套紫外火焰检测器，用于检测燃烧器火焰状态。燃烧器采用独立配风形式，并设置调节挡板控制进风量。单独配风能满足燃气燃烧所需氧量，同时燃气燃烧器又分别与其相邻的二次风喷口组合配风，使燃气燃烧器的配风灵活且可增大燃气燃烧器的调节比。每只燃烧器为  $1309.63 \text{ m}^3/\text{h}$  (炉前压力  $5 \text{ KPa}$ )，安装位置在原燃烧器上一次风、下一次风位置，将原三次风喷口进行封堵，保留二次风口，但需加装调节挡板用来调整风量。

#### 2.4. 过热器及汽温调节、省煤器、空气预热器

由于锅炉对流受热面传热影响因素主要为对流传热系数和传热温压，因此根据原锅炉设计参数和天然气成分在受热面改动较少的工况下进行计算，得出相应参数如表 5 所示。

由原锅炉设计参数和改造后锅炉热力计算对比可知，锅炉改造前后在对流受热面的烟气总量及烟气流速基本一致，因此对流受热面传热系数基本保持一致，根据传热学计算公式可知：当传热面积一定，传热系数和传热温压基本一致时，传热量则保持一致。因此，保留蒸汽温度调节方式、省煤器、空气预热器不变。

#### 2.5. 炉内压力调节及烟风系统

根据原锅炉设计煤种热力计算以及天然气成分参数进行热力计算，得出锅炉改造前后参数如表 6 所示。

热风自空预器出口后分为两个支路，一路进入燃烧器，一路进入磨煤机；改烧天然气后拆除原进入磨煤机的热风管道，以及原燃煤锅炉制粉系统，用于输送煤粉的一次风系统也对应拆除，故风道阻力降低，但通过热力计算结果可知，锅炉改造前后所需空气量基本不变，燃煤单位小时供空气量为  $117,275.688 \text{ m}^3/\text{h}$ ，燃气为  $110,732.052 \text{ m}^3/\text{h}$ 。因此考虑到输送阻力发生变化，鼓风机需做相应调整。

Table 5. Convection heating surface parameter comparison  
表 5. 对流受热面参数对比

名称	原燃煤锅炉			改造后锅炉		
	烟气体积	烟气总量	烟气流速	烟气体积	烟气总量	烟气流速
符号	$V_0$	$V$	$v_j$	$V_0$	$V$	$v_j$
单位	$\text{m}^3/\text{kg}$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m/s}$	$\text{m}^3/\text{m}^3$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m/s}$
炉膛、凝渣管	6.263	34.984	6.2	11.734	33.722	6.678
高温过热器	6.325	35.330	7.3	11.858	34.078	7.738
低温过热器	6.449	36.023	9	12.105	34.788	9.106
高温省煤器	6.56	36.643	9	12.328	35.429	8.528
高温空预器	6.732	37.604	13.1	12.674	36.423	11.641
低温省煤器	6.905	38.570	7.5	13.020	37.418	6.803
低温空预器	7.078	39.536	10.3	13.366	38.412	9.283

Table 6. The parameter comparison of flue gas system  
表 6. 风烟系统参数对比

名称	符号	原燃煤锅炉(烟煤)	改造锅炉(天然气)
低位发热量	$Q_{dw}$	4385 kcal/kg	8701 kcal/m <sup>3</sup>
计算燃料消耗量	$B_j$	20,109 kg/h	10,345.9955 m <sup>3</sup> /h
理论空气量	$V_0$	4.86 m <sup>3</sup> /kg	9.7299 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
过量空气系数	$a$	1.2	1.1
单位小时供空气量	$V_g$	117,275.688 m <sup>3</sup> /h	11,380.551 m <sup>3</sup> /h

改烧天然气后,通过分析天然气成分可知,其中不包含污染性气体  $\text{SO}_2$ 、氮的氧化物、固体颗粒等,原脱硫、脱销、除尘器需拆除,因此烟道阻力降低,故从降低厂用电率的角度考虑,建议电厂采用变频式引风机(或根据电厂原引风机参数,采用变转速或调整级数来控制引风机出力),并通过引风机与鼓风机的协调控制,保证锅炉炉膛在微负压状态运行。在原除尘设备处可增设天然气预热器,提高天然气进入炉膛的温度。

## 2.6. 天然气、热风系统

天然气管道引入热电厂,经调压站计量调压后,经总关断阀、流量测量装置以及眼镜阀送入炉膛左右两个母管,在左右两侧母管上分别装有电动快关阀。然后由两个母管再分别引接出两个直管送入燃烧器。在每个燃烧器支管上均装设有电动天然气调节阀、电动快关阀、手动关断阀和以及膨胀节等,以保证安全运行与检修;其它配套部件还包括疏水、天然气吹扫、压力测量、流量测量等。计算燃料量为  $2.873876 \text{ m}^3/\text{s}$ ,设计天然气管管径为  $\Phi 1000$ (天然气速度为  $3.60 \text{ m/s}$ );自天然气管管而来在两侧分出两  $\Phi 800$ (天然气速度为  $2.86 \text{ m/s}$ )支管进入锅炉两侧,再分两个  $\Phi 500$ (天然气速度为  $3.66 \text{ m/s}$ )的分支管到每个角上,由于每个燃烧器口径为  $\text{DN}400$ ,在入口处增设变径管。

热风管:锅炉助燃用风由原送风机供给,冷风进入空气预热器后经出口的热风全部送入燃烧器,在分支热风管上装设热风调节阀,原制粉热风管拆除不用。

## 3. 总结

从理论上讲,燃气和燃煤相比,释放单位热量需要的空气量和产生的烟气量基本相同,但由于燃气的过量空气系数较小,燃烧产生的实际烟气量会小很多。所以若是改气后锅炉的出力保持不变,则可以极大地降低烟气的流速,反过来说,适当增加燃气供应,则可使锅炉的出力明显提高。燃煤锅炉改气后,由于极大限度的减轻了受热面的污染,改善了炉内的传热条件,加上燃气的不完全燃烧损失很小,所以锅炉热效率至少可以提高  $10\% \sim 15\%$ 。燃煤锅炉炉膛容积很大,改气后适当增加辐射受热面,可以使锅炉的出力明显提高。对在用燃煤锅炉的改气操作,应拆除原有的煤斗、炉排等燃烧设备,尽量保留原送引风系统,节省改气费用。当锅炉出力改变较大导致原送引风系统能力不足时,优先考虑提高其转速。燃气燃烧产生的水蒸气比燃煤多  $1 \sim 3$  倍,充分利用其气化潜热,能使锅炉的热效率达到  $90\%$  以上。

## 参考文献 (References)

- [1] Hansen, J. (2006) Global temperature Change. *PNAS*, **103**, 14288-14293.
- [2] 葛生群 (2009) 浅谈工业锅炉的节能减排. *工业锅炉*, **6**, 28-31.