

冬季采暖用燃煤锅炉的运行经济性分析

陈曦

(上海兴海陆锅炉有限公司, 上海 200060)

摘要: 根据我国国情, 北方地区的冬季采暖仍然以燃煤为主. 针对前段时期兴起的以煤粉炉替代层燃炉作为冬季供暖锅炉有利于节能和环保的说法, 以 58 MW 燃煤热水锅炉为例, 从设备基建投资、能源综合利用率、运行经济性等方面对煤粉炉和层燃炉进行了分析比较, 结果表明, 无论从燃料的选择范围、运行经济性、维修保养还是从供热负荷适应性和运行安全性角度来说, 就应用于冬季采暖的锅炉而言, 层燃炉仍优于煤粉炉.

关键词: 燃煤锅炉; 冬季供暖; 运行; 经济性分析

中图分类号: TK 223

文献标志码: A

Economic Analysis of Winter Heating with Coal-fired Boiler

CHEN Xi

(Shanghai Xing Hailu Boiler Co., Ltd., Shanghai 200060, China)

Abstract: According to the situation of our country, it was still the priority of using coal for winter heating in north China. Based on the earlier idea that it was helpful to energy saving and environmental protection by replacing grate-fired boiler with pulverized-coal boiler for winter heating, the comparisons were made by taking 58 MW coal-fired hot water boiler as an example, in terms of equipment and basic construction investment, comprehensive energy utilization degree, economy of running, and so on. It was found that the grate fired boiler was superior to pulverized-coal boiler for winter heating in the respect of fuel selection, economy of running, maintenance, heating load adaptability and running safety.

Keywords: coal-fired boiler; winter heating; running; economic analysis

我国淮河以北处于寒温带, 冬季严寒, 人们通过燃烧化石燃料获取其蕴含的热能. 而化石燃料燃烧必定会产生温室气体(CO_2)和粉尘排放, 即使是燃用气态或液态燃料也会产生这两种物质,

对环境造成负面影响. 从以更好的经济性、更有利于环境保护的前提出发, 采用何种方法取暖才有利于提高能源利用率、减少温室气体和降低粉尘排放、改善生活环境, 这是个值得探讨的问题.

随着经济发展,现在普遍采用区域式供暖.即在较大的居民小区(100万 m^2 及以上)中建设一个容量较大的供暖点,配置1~2台燃煤热水锅炉,向周边居民和商用、办公场地供热.层燃式燃煤锅炉(简称层燃炉)的热效率在80%左右,还伴有一定的粉尘排放,因此,近来又提出采用煤粉炉替代层燃炉作为供暖锅炉,这样可以提高锅炉效率约10%.

但是能源利用率是一个综合性指标,包括燃料的前期、中期、燃后处理.煤粉炉要将煤粉碎,并磨成很细的煤粉,才能送入炉内实现良好的燃烧,燃烧后需要将烟气中更细小的粉尘分离出来,这些过程都要耗费电能.本文认为,煤粉炉能源利用率的提高,是以消耗更多电能为代价的,其表现在:需要将含有坚硬灰渣的煤块磨制成很细的煤粉以及将灰渣从烟气中分离出来的除尘设备,因此,煤粉炉的实际能耗可能比层燃炉更高^[1].本文将从多方面分析煤粉炉和层燃炉的特性.

1 工作原理

虽然煤粉炉和层燃炉都以煤炭作为燃料,但是两者的工作原理不同.由于煤已磨成很细的颗粒,其燃烧采用室燃,煤粉在炉膛内作悬浮燃烧,并且需要在炉膛内停留一定时间(一般设定为2~3s).因此,煤粉炉有一个较大的用于煤粉燃烧的空间,通常称作炉膛.煤粉通过风力较高的送粉机送入炉膛后,被炉内的高温引燃、燃烧直至燃尽.所以,煤粉炉一般较高,目的就是确保煤粉在炉内有足够的停留时间,使煤粉充分燃烧,释放出全部化学能.

层燃炉使用的块煤基本上是原煤,颗粒较大,质量也较大,风力无法将其托在空中燃烧,因此需要有一个火床,使煤块在火床上燃烧.虽然煤粉燃烧仍然需要一个空间,使其释放热量并完成与工质的热交换,但需要的燃烧空间相对较小,因为煤块在完全燃烧、燃尽时始终停留在火床上.只有非常细小的煤粉会随着高温烟气飘走.因此,相同容量的煤粉炉要比层燃炉高许多.以58MW燃煤热水锅炉为例,根据文献[2-3]提供的计算方法得出的煤粉炉和层燃炉炉膛参数如表1所示,其中,炉膛高度指锅筒中心线的标高.

表1 58MW煤粉炉和层燃炉炉膛参数
Tab.1 Size of 58MW pulverized-coal boiler and grate-fired boiler

参数名称	煤粉炉	层燃炉
炉膛高度/m	25.1	13.5
炉膛深度/m	5.8	7.8
炉膛宽度/m	8.4	8.4
锅炉本体金属耗量/t	370	350

一般来讲,煤粉炉以追求锅炉的热效率为主要目的,而层燃炉是以在达到较高热效率的基础上尽可能地简化锅炉配套设备和降低基建投资为目的.因此,对于大型发电锅炉多采用煤粉炉,以追求更高的能源利用率.而层燃炉则多用于工矿企业生产所需的工业锅炉和冬季采暖.

2 锅炉设备配置

煤粉炉需要一套煤粉制备系统^[4],将煤块磨制成煤粉并将其分离,即煤粉炉需配备磨煤机,煤粉粗、细粉分离器,煤粉仓,煤粉输送管道,送粉机等.当煤粉进入炉膛后,为了确保煤粉悬浮燃烧,还需配置一次、二次风机,以组织煤粉在炉内良好燃烧的空气动力场.在粗、细粉分离器分离煤粉的同时,空气中还会携带一些极为细小的煤粉,通常称作乏气.为了充分利用这些可燃物,有的煤粉炉还装有三次风机,将乏气送入炉膛燃烧.这些设备的投入不仅增加了基建投资,还增加了使用过程中的运行维护费用.

而层燃炉使用的块煤由输煤系统送入煤仓,通过溜煤管输送到炉排,由传动装置送入炉膛进行燃烧.这些设备都较简单,一般采用铸铁件制造,耐磨性能好,而且造价低,使用方便,维修简单.

3 经济性分析

3.1 基本建设投资分析

由于相同容量的煤粉炉要比层燃炉高些,锅炉高度增加,锅炉房也相应抬高,锅炉房墙面的抗风载荷增加,承载锅炉重量基础加深,其锅炉房造价按高度以几何级数递增.显然,煤粉炉的基建投

资远高于层燃炉。

煤粉炉除煤粉制备设备外,还需要输送设备,因此煤粉炉需要配备制粉系统和送粉系统,而层燃炉只需助燃用的鼓风机。因此煤粉炉增加了场地需求,其全部建设投资规模及费用远高于层燃炉。以 58 MW 燃煤热水锅炉为例,层燃炉的全部建设投资约为 1 000 万元,而煤粉炉的高达 1 500 万元。

3.2 燃料选用和前期处理费用

在燃料方面,小型取暖用的煤粉炉与发电用的煤粉炉不同,它要求燃用煤种的单位质量的含灰量(质量分数)在 10% 以下,这是为了简化尾部烟气含灰量的处理,降低烟气后期处理成本。因此,取暖用煤粉炉需要选用优质的Ⅲ类烟煤,其燃料选择面小且价格高。而层燃炉由于燃用原煤,只要燃料低位发热值在 $16\ 000\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上即可,对燃料的含灰量也无特殊要求。因为燃料燃烧是在炉排面上进行,大量灰渣将落入设置在炉膛后部的渣坑,其燃料选择面大而且价格更低。

我国煤蕴藏量虽大,但大多是发热值低于 $18\ 000\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的Ⅱ类烟煤,Ⅲ类烟煤的蕴藏量并不多。长期以来,经过对劣质煤的燃料特性研究以及烟气对流热传导与辐射传热相结合的层燃技术研究,已经成功地解决了劣质煤的燃烧问题,我国层燃炉的燃烧技术已十分成熟^[5]。

表 2 为沈阳某供热站 58 MW 煤粉炉和层燃炉的运行数据,其中层燃炉选自Ⅱ类标准烟煤,煤粉炉选自陕西Ⅲ类烟煤。由表 2 可知,除锅炉效率外,无论是燃料品位、价格还是粉尘排放量,煤粉炉都不占优势。

3.3 供暖锅炉运行特点及运行费用分析

在整个采暖期内,每月、每日供热量都不相同。由于热水锅炉负荷随着供热量的大小而采取间断运行,有时需满负荷运行,有时又处于热备用状态。对于层燃炉,当锅炉处于热备用状态(俗称压火)时,鼓风机、引风机调至最小档,煤的强烈燃烧已经削弱,但炉内温度不会很快降低,燃料层、炉墙和受热面之间仍会继续进行热量交换使锅水发生汽化现象,尤其在辐射受热面部分。当供热量大时,鼓风机、引风机启动,加大风量后,燃料很快就会恢复强烈燃烧,炉膛温度迅速上升,锅炉在 1~2 h 内即可达到满负荷,从而使锅炉满足供热

负荷频繁变换的运行状态。

表 2 58 MW 煤粉炉和层燃炉的运行数据

Tab. 2 Run data from 58 MW pulverized-coal boiler and grate-fired boiler

参数名称	煤粉炉	层燃炉
燃料价格/(元·t ⁻¹)	1 150 (外购)	400
燃料低位发热值/(kJ·kg ⁻¹)	22 493	18 810
燃料挥发分/%	32.08	12
燃料灰分(应用基)/%	11.71	32.48
锅炉热效率/%	89.9	82.2
燃料消耗量/(kg·h ⁻¹)	10 522	13 757
烟气携带粉尘份额/%	90	10
烟尘处理方式	电除尘+布袋	布袋
除尘器总效率/%	99	98
锅炉粉尘原始排放量/(mg·Nm ⁻¹)	112	8.936

煤粉炉在启动时需投油助燃,加热炉膛温度达到 700 ℃ 以上,使煤粉可以稳定燃烧时才能撤出。在供暖初期及后期,由于取暖量不大,锅炉热备用的时间较长,当炉膛温度低于 700 ℃,不能引燃煤粉时,应该投油助燃。因此,煤粉炉还必须配备一套燃油装置。而层燃炉就不一样,锅炉启动时只需木柴或沾上油的棉纱即可。

此外,热水锅炉必须解决的现实问题是热水锅炉必须考虑诸如突然停电、负荷频繁变化等一系列运行安全性问题^[6]。

3.3.1 燃料价格比较

虽说现在有专业制粉厂供应煤粉,但其所需制粉设备的投资费用及运输费用已经摊派在售价中。另外,运输需要槽罐车,槽罐内和煤粉都要保持一定的干度,与原煤运输相比,煤粉运输的费用高很多,并且还需要注意在制粉、运输、卸车时的安全性。本文中 58 MW 燃煤热水锅炉安装在沈阳,使用陕煤(Ⅲ类烟煤),由专业制粉厂提供细度为 R200 的煤粉,其售价(含运输费)约为 1 150 元。而层燃炉使用Ⅱ类烟煤,售价(含运输费)约 400 元。以 58 MW 燃煤热水锅炉为例,根据锅炉燃烧效率、燃料消耗量以及我国 2014 年动力煤供应价格,列出了沈阳某供热站使用的煤粉炉和层燃炉的燃料费用,如表 3 所示。

表3 煤粉炉和层燃炉燃料价格比较

Tab. 3 Fuel price comparison between pulverized-coal boiler and grate-fired boiler

参数名称	层燃炉	煤粉炉
每小时燃料费用/万元	0.55	1.21

从表3中可以看出,尽管层燃炉的用煤量大于煤粉炉,但由于煤的品位低,在同样供热量下层燃炉的燃料消耗费用远低于煤粉炉。

3.3.2 耗电量分析

在对锅炉运行采取强制通风过程中,煤粉炉与层燃炉相比,其采用的鼓风机、引风机功率虽有增大,但基本上在同一量级。两者的除尘器的电机功率也很接近。

煤粉炉和层燃炉的差别是:煤粉炉的磨煤机功率为250 kW;而层燃炉在燃煤进给时,齿轮变速箱的传动功率仅为 2×4 kW。显然,煤粉炉在耗电量上远大于层燃炉。

3.3.3 燃料(飞灰)后期处理费用

煤粉燃烧后产生的灰粒中有90%(质量分数)会随烟气流动,在锅炉尾部将对这些粉尘进行处理。对层燃炉采用常规的方法已经达不到预期除尘效果,需要采用更加严格的方法进行除尘处理,其除尘费用也会更高。煤粉炉和层燃炉烟尘排放量计算如表4所示^[7]。

表4 煤粉炉和层燃炉烟尘排放量计算

Tab. 4 Dust emissions of pulverized-coal boiler and grate-fired boiler

参数名称	层燃炉	煤粉炉
单位燃料粉尘排放量/($\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$)	47.74	112
每小时粉尘排放量/($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	8.936	11.089

每 kg 燃料的烟尘排放量为

$$G_{\text{fc}} = \frac{A_{\text{ar}} d_{\text{f}} (1 - \eta)}{V_{\text{y}}} \quad (1)$$

每小时的烟尘排放量为

$$G_{\text{tc}} = B A_{\text{ar}} d_{\text{f}} (1 - \eta) \quad (2)$$

式中: A_{ar} 为燃料中的含灰量(收到基); B 为每小时燃料消耗量; d_{f} 为粉尘排放量; η 为除尘器除尘效率; V_{y} 为烟气排放量。

从表4中可以看出,尽管煤粉炉中选择了低灰分燃料,但由于烟气中飞灰浓度较大,烟气中携

带灰分的质量分数达到90%,其烟尘的原始排放浓度仍远高于层燃炉。而层燃炉中由于大量灰渣进入尾部的渣坑,被烟气带走的细小灰量较小,故排放浓度较低。

3.4 停炉保养

在完成一个采暖期的采暖后,锅炉停炉,等待下一个采暖期再采暖。其间,需要对锅炉进行维修保养。由于煤粉炉需要维修保养的设备较多,不仅需对水侧进行保养,制粉系统、送风系统、燃油系统等均需进行保养。而层燃炉的保养就简单得多,仅需对水侧进行保养。从燃料的前期处理、运行过程中的投入、烟尘的后期处理以及停炉保养等方面,煤粉炉的使用成本均高于层燃炉。

4 结 论

尽管煤粉炉的热效率很高,但它也存在粉尘排放问题。采用煤粉炉供暖,其实际能耗可能会更高。用煤粉炉取代层燃炉,不仅增加了基建投资费用、人员培训费用、维修保养费用,提高了运行成本,而且无益于环境的改善。因此,不推荐将煤粉炉作为冬季取暖用的热水锅炉。

参考文献:

- [1] 范从振. 锅炉原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 43-66.
- [2] 古尔维奇·库茨涅佐夫. 锅炉机组热力计算标准方法[M]. 马毓义, 译. 北京: 机械工业出版社, 1976: 28.
- [3] 《工业锅炉设计计算标准方法》编委会. 工业锅炉设计计算标准方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 50-62.
- [4] 林宗虎, 张永照. 锅炉手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989: 182-198.
- [5] 陈红娟, 张贤凯. 角管式锅炉煤种适应性研究[J]. 能源研究与信息, 2006, 22(4): 236-239.
- [6] 袁伟明. 燃煤热水锅炉运行安全性探讨[J]. 能源研究与信息, 2014, 30(2): 84-87.
- [7] 王世昌. 电厂煤耗节能计算——锅炉损失对凝汽式燃煤电厂供电煤耗的影响[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 28-52.