

中小型锅炉的化学清洗与节能

吴承康 方铎荣

(中国科学院力学研究所)

一、前言

我国中小型锅炉(从工作压力来分类,一般是低压锅炉,即 $p < 20\text{kg/cm}^2$) 数量庞大,全国约 20 万台,耗煤量大,每年耗煤近 2 亿吨。它们的运行效率很低,造成能源的巨大浪费,其重要原因之一,是锅炉的受热面上,常沉积着导热系数很低的水垢,它导致锅炉传热效率的下降,从而使锅炉热效率下降,煤耗量增大。根据我国有关单位对六省三市九万台工业锅炉的调查情况看,大部分锅炉水垢厚度为 $1 \sim 2\text{mm}$,有的甚至达到 10mm 以上。产生锅炉严重结垢的原因是,有相当数量的中小型锅炉缺乏软化水处理设备;有的虽然有给水处理设备,但管理不善,不能有效地发挥软化水处理设备的作用。如日本的低压锅炉几乎都设置了软水装置的给水处理设备。但目前存在结垢危害的约占 30%。有的小型锅炉,从技术经济上看,建立软化水处理设备,不一定合理,又没有及时清洗水垢的措施,这样造成结垢严重,直至烧坏。美国对具有完善水处理设备的大中型锅炉,规定了化学清洗水垢的周期。可见,清洗水垢,是锅炉运行与维护中的一个重要环节,是保证锅炉运行在额定效率,节约能量的一个重要措施。

在清除锅炉水垢的各种方法中,化学清洗是保持传热装置额定效率的一个有效方法^[1]。我国虽也采用化学清洗方法,但在酸洗缓蚀剂方面还存在着一些不足之处。最近,科学院长春应化所研制了新型的酸洗缓蚀剂 IMC-5,其缓蚀率可达 98~99%,而且,无毒、无臭味,是目前我国较好的缓蚀剂之一^[2]。

本文主要对中小型锅炉的化学清洗与节能作一些分析,它是在文献[3,4]和水垢导热系数的初步测定等工作基础上进行的,并且对锅炉化学清洗前后进行了热效率的测定试验。以期得到化学清洗中小型锅炉与节能的关系。

二、水垢导致锅炉耗煤率增加的概算方法

水垢导致中小型锅炉热效率下降的数学模型的基本出发点是,水垢增加了从烟气到水蒸气的传热热阻,导致换热器(水冷壁、过热器、省煤器)效率的下降,从而使锅炉的有效利用热量减少,而导致排烟损失增加,增加了燃料的消耗量。假定锅炉在稳定热力状态下工作,它的蒸汽有效热主要是由对流受热面得到的,同时忽略水垢对省煤器传热效率的影响。因此,可得到:

$$Q_s/Q = K_s(t_{1s} - t_2)/K(t_1 - t_2) \quad (1)$$

$$K_s/K = \{1 + \alpha_1 \delta_{sg}/[\lambda_{sg}(1 + \alpha_1 \epsilon)]\}^{-1} \quad (2)$$

$$t_{1s} = (t'_{1s} + t''_{1s})/2 = (t'_1 + t''_1)/2 \quad (3)$$

本文曾于 1982 年 10 月在无锡中国工程热物理学会第三届年会上宣读。

$$t_{1s}' = t_2 + (t_1' - t_2) \exp(-K_s F / G_1 c_{p1}) \quad (4)$$

$$\Delta B / B = \eta_{gl} / \eta_s - 1 = Q / Q_s - 1 \quad (5)$$

式中 Q 、 Q_s 为单位时间由烟气传给水蒸汽的热量 [J/h] 或 [W]; K 、 K_s 为烟气到蒸汽(或水)的总传热系数 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]; t_1 、 t_{1s} 为烟气的平均温度 [$^\circ C$]; t_1' 、 t_{1s}' 为烟气的进口温度 [$^\circ C$]; t_{1s}'' 为烟气的出口温度 [$^\circ C$]; 下标 s 为有垢时的参数; t_2 为锅炉蒸汽温度 [$^\circ C$]; α_1 为烟气对管壁的放热系数 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]; δ_{1g} 为水垢的厚度 [m]; λ_{1g} 为水垢的导热系数 [$W/m \cdot ^\circ C$]; ε 为烟管的灰污系数 [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]; F 为换热面积 [m^2]; G_1 为烟气的质量流量 [kg/h]; c_{p1} 为烟气的比热 [J/kg \cdot $^\circ C$]; ΔB 为结垢后锅炉每小时耗煤增加量 [kg/h]; B 为无垢时锅炉每小时耗煤量 [kg/h]; η_{gl} 为无垢时锅炉的热效率; η_s 为有垢时锅炉的热效率。

据上述模型,只要已知锅炉的一些工作参数,并给出水垢导热系数范围,则从上述方程就能概算出水垢厚度与燃料消耗增加量的关系曲线。同时,从方程(5)可以看出,只要测定锅炉在化学清洗前后的热效率,就可确定结垢与燃料消耗增加量关系的一个试验点。

文献[4]已对一台卧式内燃链条锅炉 WNL4-B-3 型计算了水垢与燃料消耗增加率的关系。本文计算结果表明,硅酸盐水垢 1mm 就增加燃料消耗量 20%; 油垢 1mm, 增加 16%; 碳酸盐水垢 1mm, 增加 0.8~3.3%; 混合水垢 1mm, 增加 2.4%; 硫酸盐水垢 1mm, 增加 1.7%。

三、化学清洗与节能效果的试验

目前,我们清洗的锅炉多数是采暖用的小型锅炉,采用正平衡或接近正平衡热效率试验方法来测定锅炉清洗前后的热效率。我们选了一台断续运行两年的 LHG0.4-5-A 型立式锅炉进行了试验。并把文献[3,4]给出热效率试验结果及文献[1]给出的美国中西部公共事业公司的三个热交换装置的化学清洗前后热交换效率的试验结果,由表 1 给出。

表 1 锅炉(或换热器)化学清洗前后的热效率

装置名称		清洗前[%]	清洗后[%]	新[%]	节能效果	资料来源
LHG0.4-5-A 型立式锅炉		26.4	39.5	—	49.7%*	本文
WS (兴开夏)型锅炉		42.5	63.0	—	48.3%	[3]
LHG0.4-5-A 型立式锅炉		43.2	51.4	—	18.8%	[4]
换热器	装置 1	28	58	60	78831\$†	[1]
	装置 2	32	51	60	41495\$	[1]
	装置 4	42	65	—	160622\$	[1]

* 指清洗前锅炉比清洗后锅炉燃料消耗的增加率为 49.7%

† 根据 1977 年燃料节约而回收到的燃料费用。

从表 1 可以看出,化学清洗对于恢复小型锅炉或换热器热效率的效果是非常显著的。

四、技术经济评价

化学清洗除垢对于中小型锅炉热效率的恢复与节能效果是显著的。但在酸洗过程中也消耗了人力与物力,在经济上是否可行,能否很快推广,还应该通过技术经济评价得出

合理的结论。文献[3]经过分析指出,化学清洗所化费用在锅炉无垢运行 50 天所节约的燃料中就可以收回。本文对 LHG0.4-5-A 型立式锅炉酸洗前后节能效果与清洗费用作了经济分析后表明,锅炉无垢连续运行 10 天,把带垢运行所浪费的燃料节约下来,就能回收酸洗中所化的费用。

五、结论

本文依据水垢导致中、小型锅炉耗煤率增加的概算方法,对于不同成份类型的水垢,得到了水垢厚度与燃料损失的关系,为化学清洗水垢与节能的评价给出了概算的依据。

从 3 台小型锅炉化学清洗前后的热效率试验看出,化学清洗对于小型锅炉恢复热效率的作用是非常显著的,它是一项有效的节能措施。

参 考 文 献

- [1] P. E. Davis, W. Diet: "Energy Conservation Through Chemical Cleaning", The International Corrosion Forum Devoted Exclusively to the Protection and Performance of Materials, Atlanta Hilton, Atlanta Georgia, March 12—16, 1979.
- [2] 陈家坚、曹家绶: "酸洗缓蚀剂 IMC-5 的研究",《中小型锅炉清洗技术》,能源出版社,北京,1982.
- [3] 中国科学院清洗技术协作组: "锅炉酸洗技术中间试验及技术经济评价",同上。
- [4] 方铎荣: "水垢导致工业锅炉效率下降的概算方法",同上。

CHEMICAL CLEANING OF MIDDLE OR SMALL BOILERS AND ENERGY CONSERVATION

Wu Chengkang Fang Duorong

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

According to the situation of low efficiency and wasting energy of middle or small boilers in our country, this paper proposes the estimable method of wasting energy for scales. This paper also obtains the relations between various scales and wasting fuel. The tests of chemical cleaning boiler and energy saving have been accomplished. This paper also gives the technical and economical analyses. Chemical cleaning of middle or small boilers is becoming more recognizable as a method to improve heat transfer efficiency and conserve energy.