

文章编号: 1006-4729(2002)01-0009-04

汽包式锅炉炉水含硅量变化的影响因素及暂态过程分析

孙玮恒¹, 杨 桦¹, 马 晖¹, 姚秀平², 王 啸²

(1. 嘉兴发电厂, 浙江嘉兴 314201; 2. 上海电力学院, 上海 200090)

摘 要: 对炉水含硅量随各种影响因素变化的规律进行分析, 指出影响炉水含硅量的主要因素是给水的含硅量和锅炉的排污率, 在不同压力等级的锅炉中, 两者对炉水含硅量的影响程度有很大差别; 若某一时刻锅炉的给水硅、给水量、排污量之中的任一指标或全部发生了变化, 炉水硅将按照指数规律向新的平衡值过渡, 过渡时间长达 3~5h。

关键词: 锅炉; 炉水; 排污; 含硅量; 暂态过程

中图分类号: TM621 文献标识码: A

引 言

火力发电厂炉水的水质是影响电厂热力设备安全经济运行的重要因素, 如果炉水水质不良, 锅炉、汽轮机等热力设备的安全性和经济性将受到较大影响。

为了保证炉水水质合格, 机组在运行中必须从锅炉汽包中连续和定期地排除一部分炉水, 称为连续排污和定期排污。连续排污的目的是防止炉水中的含盐量和含硅量过高, 清除炉水中细微的或悬浮的水渣等杂质。连续排污量过小时, 炉水中的含盐量和含硅量可能会超过容许值, 水渣有可能增加, 这会引起炉管积垢、腐蚀、堵塞, 并导致蒸汽品质不良, 危及锅炉、汽轮机的安全经济运行。连续排污量过大时, 大量的高温高压炉水被排掉, 势必造成不必要的热量和工质损失。为了在运行中合理地进行排污, 有必要掌握炉水水质随各种影响因素变化的规律, 特别是随连续排污量变化的规律。

对于亚临界压力、采用磷酸盐处理的汽包式锅炉, 反映炉水水质是否正常的指标有 pH 值、含盐量、含硅量、磷酸根浓度、氯离子浓度等。^[1,2] 作用于这些指标的因素相当复杂, 理论上, 对这些指标随各种影响因素变化的规律进行分析非常困难。但对个别指标, 如含硅量, 这是可以做到的, 本文将作尝

试。

1 炉水含硅量与各影响因素之间的稳态关系

所谓稳态关系是指锅炉的汽水系统达到平衡、炉水水质达到稳定时, 炉水的含硅量与各种影响因素之间的关系。汽包锅炉汽水系统一般如图 1 所示。设锅炉的给水量为 D_{GE} , 给水的含硅量(即给

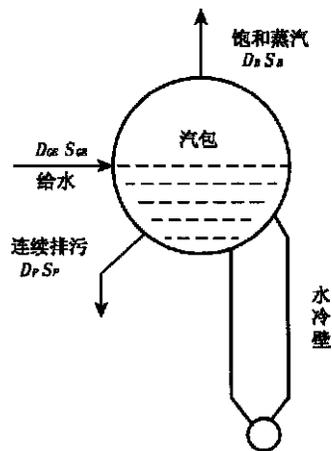


图 1 锅炉汽水系统示意图

水中硅的质量浓度,以下简称给水硅)为 S_{GE} ; 锅炉蒸发量为 D_B , 饱和蒸汽的含硅量(以下简称蒸汽硅)为 S_B ; 连续排污的流量为 D_P , 排污水含硅量(以下简称炉水硅)为 S_P . 由物量平衡关系可知

$$D_{GE} S_{GE} = D_B S_B + D_P S_P \quad (1)$$

$$D_{GE} = D_B + D_P \quad (2)$$

由式(1)和式(2)得

$$S_P = \frac{D_B + D_P}{K D_B + D_P} S_{GE} \quad (3)$$

$$\text{或 } S_P = \frac{1+P}{K+P} S_{GE} \quad (4)$$

式中: $K = S_B / S_P$ —— 硅的溶解携带系数;

$P = D_P / D_B$ —— 锅炉的排污率.

一般情况下, 排污率 P 值在 0.01 以下, 远比 1 小, 所以式(4)又可以简化为

$$S_P \approx \frac{1}{K+P} S_{GE} \quad (5)$$

由式(5)可见, 在锅炉的汽水系统达到平衡, 炉水水质稳定时, 炉水硅只受给水硅和排污率的影响(在汽包内的压力恒定时, 硅的溶解携带系数 K 基本上是常数, 视锅炉压力高低, K 值在 0.0005~0.1 之间). 对式(5)进行微分并整理可得

$$\frac{dS_P}{S_P} = c_1 \frac{dS_{GE}}{S_{GE}} - c_2 \frac{dP}{P} \quad (6)$$

式中: 给水硅影响系数 $c_1 = 1$; 排污率影响系数 $c_2 = \frac{P}{K+P}$. 显然, 式(6)中的 c_1, c_2 的大小反映了给水硅和排污率对炉水硅影响的相对大小.

应该指出, 由于硅的溶解携带系数 K 和排污率影响系数 c_2 随压力而异, 所以, 对不同压力等级的锅炉, 给水硅和排污率对炉水硅的影响程度并不相同. 假设排污率 P 为 0.01, 对不同压力等级的锅炉, K, c_1, c_2 的值如表 1 所示. 由表 1 可见: 对中压和高压锅炉, 给水硅和排污率对炉水硅的影响基本上处在同一个数量级; 但对超高压和亚临界锅炉, 排污率对炉水硅的影响则比给水硅对炉水硅的影响小. 例如, 对压力为 3.92MPa 的中压锅炉, $c_1 = 1, c_2 = 0.95$, 这意味着: 若给水硅相对变化 1%, S_P 相对变化 1%; 若排污率 P 相对变化 1%, S_P 相对变化 0.95%. 但是对压力为 19.6MPa 的亚临界压力锅炉, $c_1 = 1, c_2 = 0.09$, 这意味着: 若给水硅相对变化 1%, S_P 相对变化 1%; 若排污率 P 相对变化 1%, S_P 相对变化 0.09%.

表 1 不同压力等级锅炉的 K 及 c_1, c_2 的典型数值

MPa

典型数值	汽包压力							
	3.92	7.84	10.78	12.74	14.70	15.19	17.64	19.60
硅的溶解携带系数 K	0.0005	0.005	0.01	0.028	0.043	0.05	0.08	0.10
给水硅影响系数 c_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
排污率影响系数 c_2	0.95	0.67	0.5	0.26	0.19	0.17	0.11	0.09

2 炉水含硅量随各种影响因素变化的暂态过程

式(3)至式(6)所描述的是当锅炉的汽水系统达到平衡, 炉水水质稳定时, 炉水硅与给水硅和排污率之间的关系. 假若某时刻给水硅和排污率(排污率又同时取决于给水量和排污量)之中的一个或全部发生了变化时, 前述的平衡状态就会被破坏. 在这种情况下, 炉水硅将向新的平衡值过渡, 以下对该暂态过程中炉水硅随时间变化的特性进行分

析.

假设给水硅、给水量、排污量在某一时刻都发生了变化, 从而导致炉水硅随时间变化. 根据微分原理, 可以写出其变化的规律为

$$M \frac{dS_P}{dt} = (D_{GE}^0 + \Delta D_{GE}) (S_{GE}^0 + \Delta S_{GE}) - (D_B^0 + \Delta D_B) S_B - (D_P^0 + \Delta D_P) S_P \quad (7)$$

式中: M 为锅炉汽包及水冷壁所有管道内所储存的炉水量(可看做常数); t 为时间; 其余各物理量的意义同前, 上标“0”表示前一个平衡状态, 上标

“ Δ ”表示变化量(增量).

利用式(2)至式(4), 可将式(7)改写为

$$b \frac{dS_P}{dt} = a - (S_P - S_P^0) \quad (8)$$

式中:

$$a = \frac{(K+P^0)(D_{GE}^0 + \Delta D_{GE}) \Delta S_{GE} + P^0(1-K)S_{GE}^0 \Delta D_{GE}}{(K+P^0)[K(D_{GE}^0 + \Delta D_{GE}) + (1-K)(D_P^0 + \Delta D_P)]} - \frac{(1-P^0)(1-K)S_{GE}^0 \Delta D_P}{(K+P^0)[K(D_{GE}^0 + \Delta D_{GE}) + (1-K)(D_P^0 + \Delta D_P)]} \quad (9)$$

$$b = \frac{M}{[K(D_{GE}^0 + \Delta D_{GE}) + (1-K)(D_P^0 + \Delta D_P)]} \quad (10)$$

将式(8)积分并整理得

$$S_P = S_P^0 + a[1 - e^{-t/b}] \quad (11)$$

由式(11)可见, 炉水硅由一个平衡值向新的平衡值过渡的过程将按照指数规律过渡, 式中的 a 是炉水硅增量的最大值, b 是过渡过程的时间尺度, b 越大, 过渡过程的时间越长. 当 $t = b, 2b, 3b \dots, \infty$ 时, 炉水硅的增量分别达到 $0.632a, 0.865a, 0.950a \dots, a$. 图 2 对该结果作了更为直观的描述.

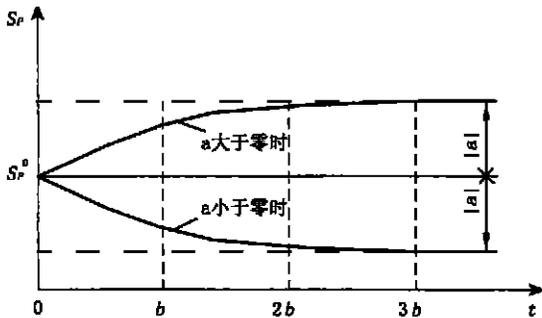


图 2 炉水硅的动态特性

将某 300MW 亚临界机组锅炉的典型数据 M

$= 100t, D_{GE}^0 = 1\ 000(t/h), S_{GE}^0 = 14\ \mu\text{g}/l, P_0 = 0.01, K = 0.08$ 等(此时, 炉水硅 S_P^0 约为 $155\ \mu\text{g}/l$)代入式(9)和式(10)得

$$a = \frac{0.09 \Delta D_{GE} \Delta S_{GE} + 90 \Delta S_{GE} + 0.129 \Delta D_{GE} - 12.75 \Delta D_P}{8.03 + 0.0072 \Delta D_{GE} + 0.083 \Delta D_P}$$

$\mu\text{g}/l$

$$b = \frac{100}{89.2 + 0.08 \Delta D_{GE} + 0.92 \Delta D_P} \quad \text{h}$$

结果讨论:

1 $\Delta S_{GE} = 7\ \mu\text{g}/l, \Delta D_{GE} = 0, \Delta D_P = 0$, 即给水硅浓度相对增加 50%, 给水量和排污量均不改变. 在此情况下, 求得 $a = 78.4\ \mu\text{g}/l, b = 1.12\text{h}$;

2 $\Delta D_{GE} = -400t/h, \Delta S_{GE} = 0, \Delta D_P = 0$, 即给水量减少 40%, 给水硅浓度和排污量均不改变(此时, 排污率相对增加 67%). 在此情况下, 求得 $a = -10.7\ \mu\text{g}/l, b = 1.75\text{h}$;

3 $\Delta D_P = -5t/h, \Delta S_{GE} = 0, \Delta D_{GE} = 0$, 即排污率相对减少 50%, 给水量和给水硅浓度均不改变. 在此情况下, 求得 $a = 8.4\ \mu\text{g}/l, b = 1.18\text{h}$.

分析以上结果可以看出:

1 对所研究的亚临界压力锅炉而言, 给水硅对炉水硅的影响较为显著, 相比之下, 排污率对炉水硅影响较小, 这一点与稳态分析得出的结论相一致;

2 在受到扰动情况下, 炉水水质由一个平衡态向另一个平衡态过渡所需的时间相当长, 假若经过 $3b$ 的时间后过渡过程结束, 那么整个过渡过程所需时间大约 $3 \sim 5\text{h}$.

3 试验检验

由以上分析可知, 影响炉水硅的主要因素有给水硅、给水量和排污量, 研究这些影响因素的规律时, 只能对它们逐一进行研究. 这需要大量试验. 限于条件, 我们仅仅在某 300MW 亚临界机组上, 对排污量的影响情况作了验证性的试验. 试验时, 用在线硅表测量炉水的含硅量. 试验中, 该机组的负荷保持在 230MW 左右, 给水量和给水硅基本稳定, 在此条件下, 我们以 $2t/h$ 左右的变化量, 将连排流量从 $2t/h$ 递增到 $12t/h$, 又从 $12t/h$ 递减到 $2t/h$, 反复多次, 发现该机组的炉水硅只在 $25 \sim 33\ \mu\text{g}/l$ 范围内变化. 在变化的规律上, 虽然多数情况下呈现出炉水硅随连排流量增大而降低的趋势, 但也有不一致的情况. 究其原因, 可能是排污率的影响比给水硅的影响小, 排污率变化所引起的炉水硅的变化为给水硅波动所引起的炉水硅

的变化所淹没,这也从另一个侧面验证了前面的理论分析得出的结论.

4 结 论

本文对炉水含硅量随各种影响因素变化的规律进行了深入的研究,通过理论分析和试验检验得出以下几点结论:

- 1 当锅炉的汽水系统达到平衡,炉水水质稳定时,炉水硅与给水硅和排污率有关;
- 2 在不同压力等级的锅炉中,给水硅和排污率对炉水硅的影响程度是不同的,对中压和高压锅炉,给水硅和排污率对炉水硅的影响基本上处

在同一个量级,对超高压和亚临界锅炉,排污率对炉水硅的影响则比给水硅的影响小;

- 3 若某一时刻给水硅、给水量、排污量之中的任意一个或全部发生了变化,炉水硅将按照指数规律向新的平衡值过渡,过度时间长达3~5h.

参考文献

- [1] 肖作善等. 火力发电厂水处理, 下册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB12145—89. 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [3] 水利电力部. 化学监督制度. 北京: 水利电力出版社, 1988.

Investigation of the Temporary Characteristics of the Silica Concentration of Boiler-water in Drum-boiler

SUN Wei-heng¹, YANG Hua¹, MA Hui¹, YAO Xiu-ping², WANG Xiao²

(1. Jiaxing Electric Power Plant, Zhejiang 314201, China;

2. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The effects of various factors on the silica concentration of boiler-water are analyzed. It is indicated that the silica concentration of boiler-water mainly is determined by the silica concentration of feed-water and the blow-down ratio of boiler. At different pressure grade, the influence extent of the silica concentration of feed-water and the blow-down ratio could be very different. If one or all of the factors, including the silica concentration of feed-water, the feed-water rate, the blow-down rate is changed at a time, the silica concentration of boiler-water will transit to a new value exponentially. The transition time could vary from 3 to 5 hours.

Key words: boiler; boiler-water; blow-down; silica concentration; temporary characteristic