

## 超临界机组汽水系统蒸汽加氧吹扫钝化工艺应用

郭江滨<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 王璞<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省火电第三工程公司, 黑龙江 哈尔滨 150016; 2. 哈尔滨第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

**摘要:** 根据亚美尼亚国拉兹丹电厂5号锅炉机组的系统布置特点, 采用临炉蒸汽加氧技术, 对机组进行汽水系统的清洗、钝化, 取代了传统的化学清洗加点火吹扫工艺。在具体实施中取得了良好的效果, 减少了能源浪费, 避免了化学药品对环境的污染。本文通过传统清洗工艺与此工艺的对比, 介绍了其清洗、钝化的理论依据与实施工艺, 为国内同类技术提供了参考资料, 具有较大的推广价值。

**关键词:** 超临界; 蒸汽; 吹扫; 钝化

中图分类号: TK224.9 文献标识码: B

## 1 前言

亚美尼亚拉兹丹电厂5号机组为前苏联产300 MW超临界机组, 锅炉参数为蒸发量1 000 t/h的直流锅炉。

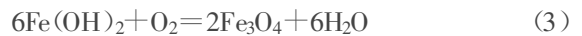
在投标工作中, 参照俄罗斯火电设计院的《火电设备汽水系统启动前蒸汽加氧清洗和钝化说明书》, 采用临炉蒸汽加氧定压吹扫、钝化技术方案, 取代了常规的化学清洗、钝化外加点火吹扫的工艺, 在清洗的同时形成保护膜。参加吹扫的范围扩大到包含高压给水、锅炉省煤器、水冷壁等的全部汽水系统。由于具有工艺简单、易于控制、技术经济性好的特点, 此工艺得到了业主及亚美尼亚电力部专家组的高度好评, 并在实际工作中予以全部采用, 取得了良好的效果。本工艺适用于超临界机组的扩建工程, 有锅炉的各类型锅炉在进行部分工艺改进后也可使用。

## 2 原理

通过对机组汽水系统进行合理的划分, 利用相邻锅炉的过热蒸汽和氧气同时作用于受腐蚀、污染的汽水系统管路内表面, 使腐蚀物氧化, 降低其在金属表面的附着力, 在足够动力的过热蒸汽作用下, 将

内壁污染物吹掉, 同时在管道的内表面形成保护膜。

蒸汽加氧工艺对金属管内壁锈蚀物清洗的基本原理, 是基于金属管壁上的锈蚀物一般为热不稳定的二价氧化铁(FeO), 二价铁的氧化物在高温、浓氧条件下, 与氧继续发生化学反应, 使FeO转变为性质稳定的Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>或Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。二价氧化铁与氧发生下列化学反应:



在高温条件下, 由于二价铁反应(1)~(3)的进行, 金属管壁上的锈蚀产物氧化铁发生了组成和结构上的变化, 致使其原结构被破坏, 从而变的疏松易于脱落。

在清洗过程中, 金属表面由于反应(4)~(5)的进行在金属表面生成Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>或Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的保护膜。

从管道吹下锈蚀物的速度取决于管道中蒸汽的速度和氧气的浓度, 一般蒸汽速度选用600~800 kg/(m<sup>2</sup>·s), 氧气浓度选用0.5~1.0 kg/t(过热蒸汽)。清洗时间取决于管道的腐蚀程度, 一般取0.5~2.0 h。

清洗的效率按如下公式计算

$$\vartheta = (q_{\text{H}} - q_{\text{h}}) / q_{\text{H}} \times 100\%$$

其中:  $\vartheta$ —清洗效率;

$q_{\text{H}}$ —原来污染程度, g/m<sup>2</sup>;

$q_{\text{h}}$ —清洗后额定允许污染程度, g/m<sup>2</sup>。

## 3 系统布置

## 3.1 减温减压站的布置

收稿日期: 2002-04-01; 修订日期: 2002-08-03

作者简介: 郭江滨(1969-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 黑龙江省火电第三工程公司工程师。

减温减压站布置根据计算蒸汽量进行布置,适当考虑余量。

拉兹丹电厂原有 4 台 200 MW 机组,已经投产,具备供汽能力,在蒸汽加氧清洗过程中利用其 3、4 号锅炉提供蒸汽,在其减压站平台上布置两台出力为 150 t/h 的减压站。

### 3.2 取样装置设置

根据系统划分情况安装取样装置,取样装置包括流量、温度、余氧、压力取样等。

### 3.3 系统划分

按照管道内部的污染程度及减压站的供汽量,进行系统的划分,主要采取串并联结合的形式将整个系统化分为 7 个流程,分别为:

- (1) 省煤器和省煤器吊挂管;
- (2) 给水管道和高压加热器;
- (3) 下辐射区水冷壁;
- (4) 顶棚过热器、再热器、热段;
- (5) I 级费斯顿管、上辐射区水冷壁;
- (6) 过热器、主蒸汽管;
- (7) 再热器、冷段。

## 4 有关计算

### 4.1 流通面积的计算

根据系统划分,计算得最大流通面积为 0.098 m<sup>2</sup>。

### 4.2 清洗效率的计算

根据取样得到锅炉受热面原始腐蚀量为 200 g/m<sup>2</sup>。

直流锅炉要求受热面内壁腐蚀量不大于 50 g/m<sup>2</sup>。

$$\eta = (q_h - q_n) / q_h \times 100\% = (200 - 50) / 200 \times 100 = 75\%$$

即当效率 75% 时,清洗后氧化铁的标准数量可以小于 50 g/m<sup>2</sup>。

### 4.3 蒸汽流速的选择

根据图 1 蒸汽加氧清洗时间和蒸汽速度与清洗管道原始和额定污染程度关系曲线,可以得出当效率为 75%,取每个流程清洗时间为 1 h,流速应当大于 750 kg/(m<sup>2</sup>·s)。

### 4.4 最大蒸汽流量计算

$$Q = 750 \times 0.098 \times 3.6 = 264 \text{ t/h}$$

## 5 操作

### 5.1 割管检查

清洗前的进行割管检查,主要目的是检查各部位垢量,确定清洗的时间和次数(经检测最大垢量为 200 g/m<sup>2</sup>)。

### 5.2 系统试运和水压

对参加清洗的系统进行试运和水压。

### 5.3 预热

打开减压站的阀门,给整个锅炉系统进行通汽预热。汽水系统通汽预热过程中要根据不同管道及设备的壁厚控制预热速度。加热速度参见图 2 和图 3。

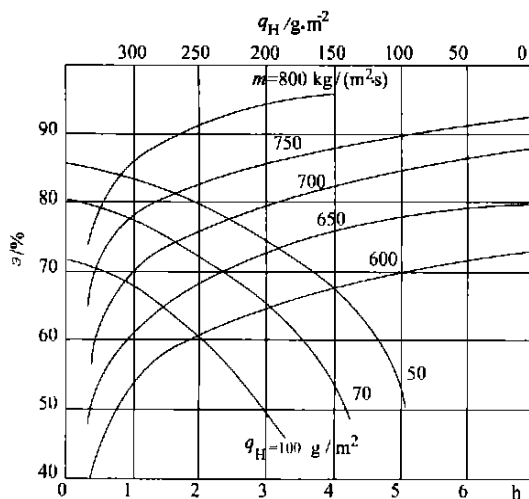


图 1 蒸汽加氧清洗时间和蒸汽速度与清洗管道原始和额定污染程度关系曲线

### 5.4 通汽吹扫

在锅炉预热结束后根据系统的截面积,调整减温减压站的蒸汽流量,进行蒸汽吹扫,在吹扫过程中采取分阶段进行吹扫的方法,在每一阶段吹扫合格后进入下一段进行吹扫。

### 5.5 加氧

在吹扫同时分回路加入氧气,加氧的部位为各个回路的排空气管或者疏水管。

### 5.6 监测

采取在线监测及事后割管监测的方式,即:在锅炉参加清洗部位设置取样点,在清洗的同时进行取样,当进出口的含氧量基本一致时,认为氧气已经不

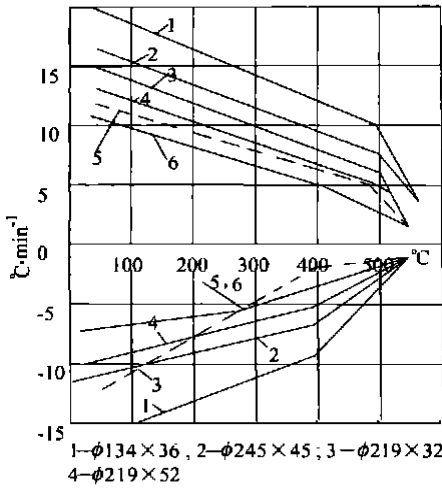


图 2 不同直径主蒸汽管道允许加热和冷却速度

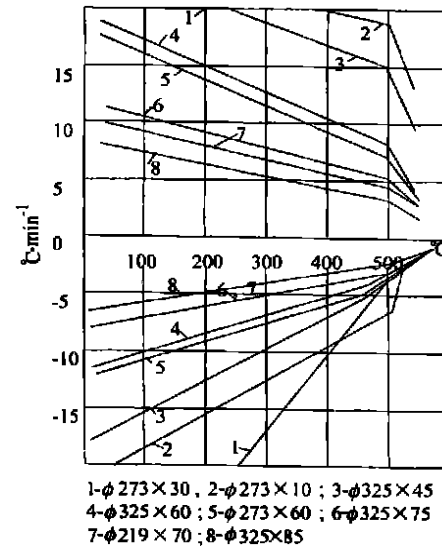


图 3 不同直径锅炉母管允许加热和冷却速度

再起作用, 可以停止加氧, 进行下一阶段的清洗。清洗结束后采取割管检查的方式, 检查垢量, 检验保护膜的质量, 判断清洗效果。

本方案中入口氧气浓度设为 1.0 kg/t 蒸汽, 出口取 0.6 kg/t 蒸汽。

### 5.7 过热蒸汽中氧浓度测定方法

#### 5.7.1 原理

在温度低于 20℃ 时, 压力低于 0.1 MPa 时, 水中氧的溶解性将降到 44 mg/kg 以下, 其它数量的氧从试样中分解出且可以收集在计量容器中。

#### 5.7.2 方法

仪器为容量 1.0~1.5 L 的带两根胶皮管的烧杯见图 4(a)。

将 1 号导管连接到取样点上, 通过容器放出 2~3 倍的试样溶剂, 然后翻转烧杯使其气体积累达到 150~300 mm 的位置, 见图 4(b), 在翻转烧杯的同时计量出通过的试样的数量;

气体部分累计增加后, 将烧杯翻转到原始位置, 见图 4(c)。

氧气浓度计算公式为:  $C_o = 1.59 V_2 / V_B$

其中:  $V_2$ —气体的体积;  $V_B$ —放出试样的体积。

### 5.8 氧化膜测定方法

在试样的表面滴试剂, 通过试剂颜色改变时间长短来判定稳定程度。

试剂的成分: 20 cm<sup>3</sup>, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (0.5 Mol/L) + 10cm<sup>3</sup>, NaCL (10%) + 2 cm<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.1 Mol/L)。

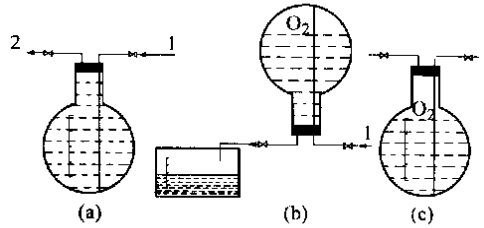


图 4 氧气抽样系统图

## 6 技术经济性分析

### 6.1 经济性分析

本方案在实施中取得了较好的经济效益, 具体分析结果见表 1。

表 1 经济性分析

	传统工艺	现代工艺
蒸汽费/t <sup>3</sup> 万元 <sup>-1</sup>	2 500/24.25	2 700/26.19
电费/kWh <sup>3</sup> 万元 <sup>-1</sup>	150 000/6	不计
水费/m <sup>3</sup> 万元 <sup>-1</sup>	30 000/15	500/0.25
化学药品费/万元	50	不计
氧气费/万元		1
系统布置费/万元	100	90
排污费/万元	10	无
人工费/万元	4.5	1.5
费用合计/万元	325.75	119.48
时间/h	540	200

### 6.2 技术性分析

割管取样分析表明, 受热面的垢量均小于 50 g/m<sup>2</sup>, 并且形成了致密的 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 保护膜, 超过传统化学清洗加点火吹管工艺的效果。

实践证明, 采用蒸汽加氧吹扫工艺可以减少机组设备的磨损, 节约能源, 减少化学药品对环境的污染, 并且可以取得良好的清洗效果, 具有良好的经济技术性能。本工艺可以在我国今后发展超临界机组广泛采用, 经过部分调整后可以用于有锅筒的各类型锅炉的清洗, 有助于在电站清洗方面技术的提高。

### 参考文献:

[1] 俄罗斯火电设计院. 火电设备汽水系统启动前蒸汽机氧清洗和钝化方法说明书[R]. МоскBa: 俄罗斯火电设计院, 1986.

( 辉 编辑 )

Under this method the copper tube end and tube sheet are coated with XZ-A toughness-enhancement and corrosion-prevention glue along with the introduction of cathode protection. Other parts of the copper tube are plated with a  $\text{FeSO}_4$  film (including the film replenishment conducted periodically) combined with the use of sponge-ball cleaning. Practice has shown that this type of combined protection is highly effective in preventing condenser copper tube corrosion. **Key words:** condenser copper tube, corrosion, combined protection

**湿法烟气脱硫系统对发电机组运行的影响研究= Research on the Influence of Wet-process Flue Gas Desulfurization (FGD) System on the Operation of a Power Plant** [刊, 汉] / ZENG Ting-hua, MA Bin, LIAO Yong-jin, et al (Guangdong Provincial Electric Power Test and Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510600) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 93 ~ 96

The influence of a flue gas desulfurization system on the operation of a power plant was investigated on a limestone/gypsum wet-process flue gas desulfurization (FGD) system installed at Lianzhou Power Plant in Guangdong Province. Mainly analyzed is the influence of the FGD system on the following items: boiler furnace negative pressure, corrosion of flue-pass at the boiler tail section, industrial water system, steam turbine operation. The impact of mixed drainage of desulfurization gypsum and plant ash-slag water on the existing drainage system has also been investigated. The results of the investigation may serve as reference data for the design and operation of the wet-process FGD system. **Key words:** wet-process flue gas desulfurization, power plant, influence

**基于能量价值分析的给水泵驱动方式的技术经济论证= Technico-economic Argumentation of a Feedwater Pump Drive-mode Based on an Energy Value Analysis** [刊, 汉] / CHEN Guo-nian (Jiangsu Provincial Electric Power Co., Nanjing, China, Post Code: 210024) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 97 ~ 100

Through the value analysis of various forms of energy produced by a power plant the authors have put forward a principle of "energy value analysis". On the basis of this theory deduced is a calculation formula for "comprehensive cost-based coal consumption rate". Under this approach it is possible to overcome the limitation of a traditional thermodynamics-based analytical method. By way of organically integrating the theory of thermodynamics with economics a scientific method is found for the technico-economic analysis of power plants under market-economy conditions. Moreover, an effective approach for cost reduction at power plants under market-economy conditions and the criteria for analyzing energy savings have also been identified. All the above has been successfully applied in the technico-economic argumentation concerning the drive mode for a feedwater pump. **Key words:** electric power plant, energy value, comprehensive cost-based coal consumption rate, electric-drive pump, steam-drive pump, argumentation

**超临界机组汽水系统蒸汽加氧吹扫钝化工艺应用= The Application of Steam-plus-oxygen Purging and Passivation Technology for the Steam-water system of a Supercritical Boiler Unit** [刊, 汉] / GUO Jiang-bin (Heilongjiang No.3 Thermal Power Plant Construction Co., Harbin, China, Post Code: 150016), ZHANG Yong, WANG Ying (Harbin No.703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 101 ~ 103

In accordance with the layout features of a boiler unit at Lazidan Power Plant in Armenia, boiler steam-plus-oxygen technology instead of the traditional chemical washing plus ignition purging technique was introduced for the purging and passivation of the steam-water system of the boiler unit. Good results have been achieved in the practical use of the above-mentioned technology with energy loss being reduced and pollution of environment by chemicals avoided. Through a comparison of the technology under discussion with traditional ones the authors describe the theoretical basis of the recommended washing and passivation techniques. The latter are worthy of a wider popularization and can serve as additional reference data and information for analogous domestic techniques. **Key words:** supercritical parameter, steam, purging, passivation