

一种新型锅炉给水除氧器的研究

张林华¹, 崔永章², 曲云霞², 刘学亭²

(1. 西安建筑科技大学 环境工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 山东建筑工程学院 空调与制冷工程系, 山东 济南 250014)

摘要: 研究了一种新型锅炉给水除氧器—加氢除氧器。介绍了该除氧器的原理和主要构成, 分析影响除氧效果的因素, 并与其它除氧方式进行了比较。实验表明, 加氢除氧器设备运行稳定可靠, 除氧效果好, 出水残留溶解氧含量完全达到锅炉水质标准要求, 可广泛用于蒸汽锅炉的给水及热水锅炉和供热系统的补水。

关键词: 除氧; 除氧器; 催化; 加氢; 溶解氧

中图分类号: TK223 文献标识码: A

1 前言

随着软化水处理技术的普及和发展, 锅炉及供热系统除氧问题变得日益重要。每年因氧腐蚀而对锅炉及换热设备造成的严重损失, 已引起人们越来越多的注意。为此, 国家有关部门对锅炉给水标准进行了多次修订。GB1576—2001《工业锅炉水质标准》规定, 对于蒸汽锅炉, 当额定蒸发量大于或等于 6 t/h 时应除氧, 当小于 6 t/h 时如发现局部腐蚀应采取除氧措施。对于热水锅炉, 锅炉额定热功率大于或等于 4.2 MW 时应除氧, 额定热功率小于 4.2 MW 的锅炉应尽量除氧。标准还规定了锅炉给水溶解氧含量要达到表 1 和表 2 的要求。

表 1 蒸汽锅炉锅外化学处理

	给水	锅水
额定蒸汽	≤1.0 > 1.0 > 1.6	≤1.0 > 1.0 > 1.6
压力/MPa	≤1.6 ≤2.5	≤1.6 ≤2.5
溶解氧/mg·L ⁻¹	≤0.1 ≤0.1 ≤0.05	

表 2 热水锅炉

	锅内加药处理		锅外化学处理	
	给水	锅水	给水	锅水
溶解氧/mg·L ⁻¹			≤0.1	≤0.1

传统的除氧方式有很多, 如大气式热力除氧、真空式除氧、解吸除氧、钢屑除氧、氧化还原树脂除氧

和亚硫酸钠化学除氧等, 但都存在着许多问题, 尤其在热水锅炉上的应用更是受到限制。因此, 虽然国家有关部门制定了严格的水质标准, 但由于缺乏使用方便、效果良好的除氧设备, 而使这些规定不能很好地贯彻执行。

本课题旨在研究一种新型除氧器, 既能满足不同类型锅炉给水的要求, 又能达到节能及环保的目的, 从而减少因氧腐蚀而造成的金属大量损耗及更换设备造成的人力、物力的浪费, 使其具有良好的推广前景。

2 不同除氧方式的特点比较

大气式热力除氧方式广泛应用于蒸汽锅炉的给水中, 它具有以下特点: (1) 不仅能除氧, 而且能除去二氧化碳及氮气; (2) 除氧效果稳定可靠, 易于控制, 管理方便; (3) 除氧水中不增加含盐量, 也不增加其它气体的溶解量; (4) 用蒸汽量多, 设备体积大; (5) 负荷变动时不易调整; (6) 无法用于热水锅炉。

真空式热力除氧器构造与大气式热力除氧器相同, 只是在系统上多一套抽真空的装置。由于这种除氧器要求系统严密性强, 给管理带来很大不便, 因此已很少采用此法。

解吸除氧是 20 世纪 50 年代由原苏联引进^[1], 反应剂为木炭, 由烟气对其加热。存在的主要问题是: 受锅炉负荷变化的影响很大, 而工业锅炉热负荷波动较大, 难以调整, 效果不稳定; 反应温度较高, 安装维修很不方便。另外, 虽运行费用较低, 但除氧后水中 CO₂ 含量有所增加, pH 值降低 0.2~0.3, 在存在 CO₂ 的情况下, 溶解氧腐蚀会大大加速, 且管理复杂, 易造成除氧效果不佳。因此国内、外已基本不采用此法。20 世纪 70 年代机械部设计研究总院对此进行了改进, 反应剂仍为木炭, 加热改为电加热, 虽解决锅炉负荷波动的问题, 但电阻丝及热电偶易被

收稿日期: 2002-09-23; 修订日期: 2003-03-05

基金项目: 山东科技发展规划基金资助项目(J00E52)

作者简介: 张林华(1965—), 男, 山东高唐人, 西安建筑科技大学博士生, 现在山东建筑工程学院工作。

烧坏,且耗电量大,因而也未广泛推广。以后清华大学、哈尔滨建筑工程学院等单位又对其进行了不同思路的改进,但由于存在问题,仍未被大量使用。

钢屑除氧投资小,操作简便,但更换钢屑劳动强度大,除氧效果达不到水质标准要求,一般作为其它方法的预处理。还原铁粉过滤除氧方式^[2],适用于工业锅炉,可常温下除氧,运行费用也较低,需适时补充除氧剂。

加化学除氧剂的方式,通常情况下可达到水质标准要求,但运行成本较高,会增加水中含盐量,使锅炉排污量加大,从而增加热损失,如亚硫酸钠除氧^[3]。加化学除氧剂方式,一般用于小型锅炉。

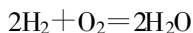
载体型除氧树脂,如 Y-12-06 树脂(电子工业部第十二研究所研制)^[4],除氧效果很好,但出水含微量胨,不可用于饮用,其再生液及清洗的水中含胨较多,排放后对环境有污染;LHY 树脂,除氧效果能达到水质标准要求,再生工艺简单,但树脂价格高,初投资大,还原用亚硫酸钠量较多。

触媒型除氧树脂,就是以树脂为载体,将经过活化处理的金属钯粒子(做催化剂)吸附在其表面上。采用触媒型树脂除氧的方式,又称催化加氢除氧技术,是一种新型除氧方式,它通过一定条件使氢与氧发生反应变成水,从而达到除去溶解氧的目的。由于这种方式不使用蒸汽,反应生成物为水,不增加水中含盐量,因此是一种节能、环保的除氧方式。美国最早用于核电站除氧问题,最近几年我国台湾地区也有应用的例子,但国内还未发现研究及应用的报道。由于国外的报告缺乏关键资料,我们有必要做这方面的研究工作,使之尽早用于工程实践中。

3 加氢除氧器的研究

3.1 加氢除氧器的工作原理及研制

加氢除氧方式属于化学除氧,其工作原理十分简单,反应方程式为:



但是,这种反应在通常条件下是不能进行的,必须使用催化剂,触媒型除氧树脂可以实现此目的。这种树脂是以坚实骨架的树脂或其它物质为载体,再将金属钯粒子牢固地吸附其表面,最后进行催化活性的活化处理而制成,向待除氧的水中通入氢气,水中的溶解氧与氢气经除氧树脂中钯的催化作用化合成水。除氧过程中树脂只起催化作用,本身不消耗,不变形,也不需要还原再生。

加氢除氧器关键技术有两方面,一是寻找合适的实现氢气与氧气化学反应的催化剂及其载体;二是实现氢气与水的充分混合。根据有关文献[1],我们采用 Lewatit OC1045 触媒型除氧树脂。由于氢气在水中溶解度很小,必须向水中加入适量的氢气且与水充分混合。氢气量不足,除氧效果不好,出水不合格;氢气量过多,会使出水带氢。本装置采用了静态混合器来实现氢气与水的充分混合。混合器中的流体是一个气液两相流混合问题,通过 CFD 数值计算,确定了各方面结构尺寸。实验表明,该混合器混合效果良好。

本实验设计的除氧器出水量为 0.8 m³/h,罐内速度 50 m/h,实验用水为济南市自来水。

3.2 加氢除氧器的实验测试

3.2.1 测试设备及仪表

溶解氧测试——意大利哈纳仪器 HANNA instruments,型号 Hi9143,该仪器通过 CE EN50081-1 和 EN50082-1 认证。

水流量测试——(1)称重法:电子秤;(2)超声波流量计:日本富士电机株式会社,型号 FLB20004。气体流量测试:国产玻璃转子流量计,型号 IZB-2,浙制 02810103,精度:4 级;时间测量:瑞士 SEWAN 电子秒表,(96)量制粤字 03000172。水泵:中外合资 WILO-LG 水泵,流量:37 L/min,扬程:~40 m,功率:420 W。压力测量:国产压力表;氢气:瓶装,纯度 99.9%。

3.2.2 测试系统流程

实验系统如图 1 所示。

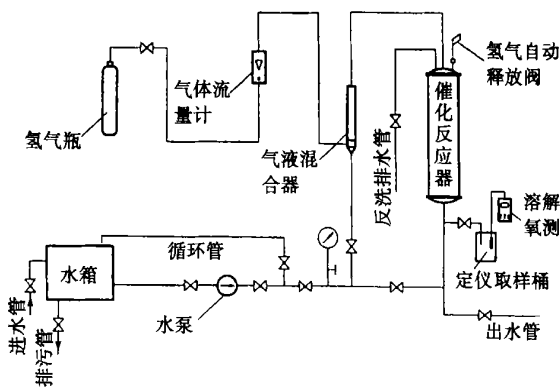


图 1 实验系统图

3.3 加氢除氧器影响除氧效果的因素

3.3.1 氢气量对除氧效果的影响

在氢气压力 0.22 MPa(表压),除氧器进口水压

为 0.22 MPa, 水流量 726 L/h 情况下, 根据实验测试结果绘制出氢气量与除氧效果的关系, 如图 2~图 4 所示。

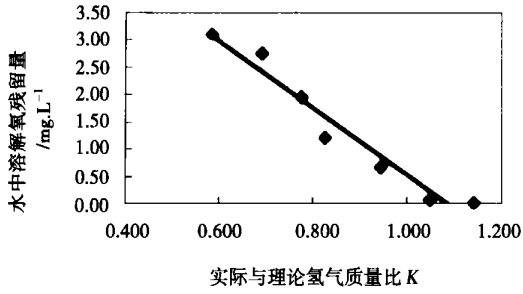


图 2 加氢量与除氧效果关系

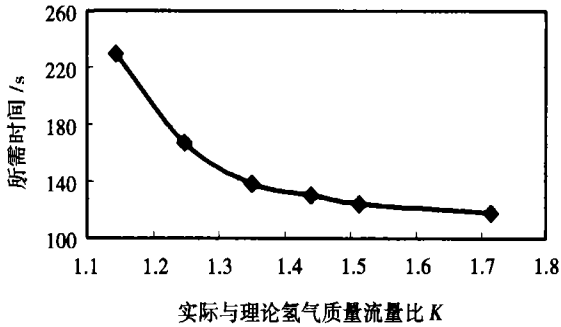


图 3 加氢量与反应时间(出水残留氧量 0.1 mg/L 时)的关系

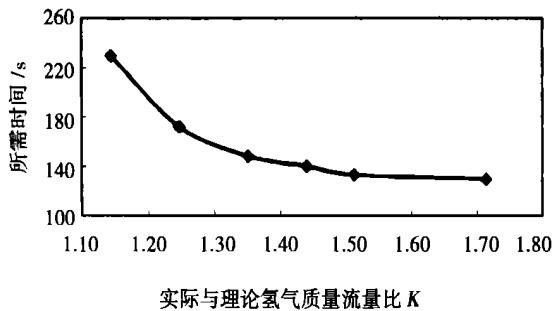


图 4 加氢量与反应时间(出水残留氧量 0.05 mg/L 时)的关系

从测试数据及图 2 可以看出, 氢气量与除氧效果有很大关系。

K 等于实际氢气量除理论氢气需要量

当 $K < 1.05$ 时, 出水中残余溶解氧含量大于 0.1 mg/L, 不符合水质标准要求。从图 3 和图 4 可以看出, 当 $K = 1.05 \sim 1.25$ 时, 虽出水合格, 但从反应开始到出合格水所用时间较多, 不适用于工程实际。 $K > 1.35$ 时, 到出合格水所用时间变化不大, K 值过大会使出水含氢, 因此, 工程应用中建议 K 取

1.25~1.35。

3.3.2 氢气压力对除氧效果的影响

氢气压力对除氧效果的影响, 根据实验测试数据绘制出关系曲线图 5 和图 6。

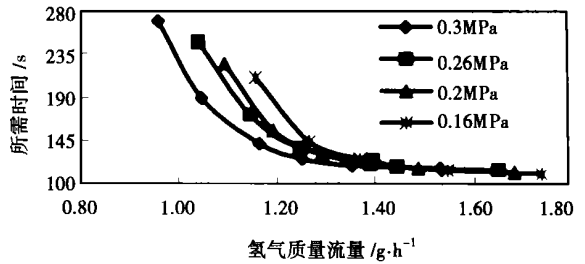


图 5 不同压力下加氢量与反应时间(出水残留氧量 0.1 mg/L)的关系

氢气压力不同, 在气体流量计相同刻度下, 流过的氢气质量不同。从图 5 和图 6 中可以看出, 不同压力下, 曲线的变化趋势是相同的。图中左半部分曲线分开, 此时通入的氢气量尚未达到反应所需理论氢气量。压力越高, 反应时间越短。当加氢量超过所需理论量时, 不同压力下的曲线几乎重合在一起, 不受氢气压力变化的影响。这说明氢气量是影响除氧效果的关键因素。实际工程使用中为了安全考虑, 氢气压力调至与除氧器进口水压相当即可, 不必过高。

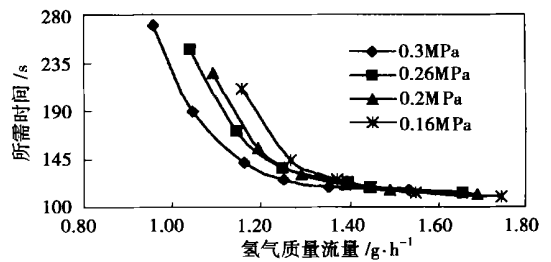


图 6 不同压力下加氢量与反应时间(出水残留氧量 0.05 mg/L)的关系

3.3.3 给水温度对除氧效果的影响

在氢气压力为 0.2 MPa, 给水压力为 0.22 MPa, 氢气质量流量为 0.838 g/h 条件下, 考察给水温度对除氧效果的影响, 根据实验测试数据绘制出关系曲线, 如图 7 和图 8 所示。

锅炉房中待除氧水一般在 5~40 °C 之间。从图 7 和图 8 中可以看出, 在相同水压、氢气压力及氢气质量流量条件下, 给水温度与到出合格水所用时间呈线性关系, 且斜率很小。这说明不同温度下, 水中溶解氧含量不同, 反应所需的氢气量也不同; 当通入

的氢气的量超过理论需要的氢气的量一定值($K > 1.20$)时,到出合格水反应所用时间基本不变。即水温只是影响了加入除氧器中的氢气的量,水温越高,所需的氢气的量越少。

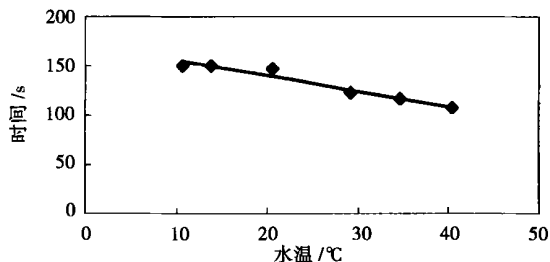


图 7 给水水温与反应时间
(出水残留氧 0.1 mg/L)的关系

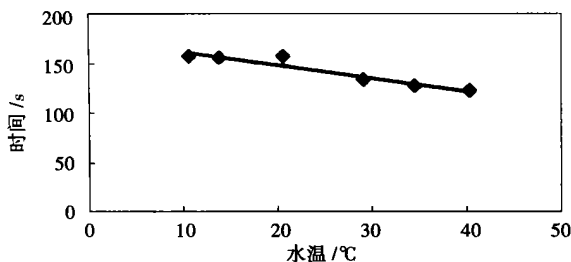


图 8 给水水温与反应时间
(出水残留氧 0.05 mg/L)的关系

4 加氢除氧器经济效益分析

为了简便,在进行经济效益分析比较时仅考虑初投资及运行费用,暂不计及资本利息及不同除氧器导致的土建费用的不同。

加氢除氧设备包括:除氧器、两只氢气瓶、氢气瓶室、20 m 氢气管及阀门附件等。加氢除氧器的初投资可估算为 1.3 万元/吨水出力,年折旧率按 10% 计算,氢气价格 120 元/瓶,每瓶装 8 m^3 。

通过计算,几种不同除氧方式的比较见表 3。

表 3 几种不同除氧方式的比较

	大气式热力除氧		真空除氧	解吸除氧	氧化还原树脂除氧		加氢除氧
	水合胍型	亚硫酸钠型			水合胍型	亚硫酸钠型	
投资运行费用 /元·t ⁻¹	1.07	0.58	0.75	0.58	0.45	0.60	
除氧水质	无污染	无污染	含 CO ₂	含毒性水合胍	无污染	无污染	
设备布置特点	高位布置、占地大	高位布置、占地大	设备高度 ≥6 m	低位布置、占地大	低位布置、占地大	低位布置、占地小	

注:设备折旧费包括除氧系统内的所有设备的折旧费及每年需向罐体内补充的树脂费用,设备年折旧率大气式热力除氧、水合胍型树脂除氧取 5%,其余取 10%;设备年运行时间取 6 000 h,电费取 0.5 元/(kW·h),每吨蒸汽成本取 50 元。

从表 3 中可以看出,大气式热力除氧方式投资运行费用最高,加氢除氧的费用与其他除氧方式相当。值得说明的是加氢除氧器初投资大,主要是因为进口除氧树脂价格较高。随着我国入世,进口关税的降低,会使设备成本进一步下降。

5 工程实例

某单位使用两台 DRZS1800—1.0/95 及两台 DRZS1380—1.0/95 电热水锅炉用于冬季办公楼、宾馆及宿舍区的供热。为了防止锅炉、管道及附属设备的腐蚀,选用了一台出水量为 4~8 t/h 的催化加氢除氧器,锅炉水泵与除氧器工作时联动,并实现自动控制,为供热系统补充除氧软化水。经过两个采暖期的运行,该除氧器工作可靠,使用效果完全达到设计要求。

6 结 论

(1) 加氢除氧器在通入适量氢气后,反应较快,除氧效果好,完全达到水质标准(GB1576—2001)要求。

(2) 通入的氢气的量是影响除氧的关键因素。当 $K < 1.05$ 时,出水水质不符合标准;K 值过大,不仅增大运行成本造成浪费,而且会使出水带氢。建议工程中取 $K = 1.25 \sim 1.35$ 。

(3) 氢气压力不同,在氢气的量未达到理论量时,对除氧效果有一定影响。当氢气的量超过所需理论量时,对除氧效果影响很小。建议工程中氢气压力调至与除氧器进口水压相当。水温只是影响了水中溶解氧的含量,使需要加入的氢气的量发生变化,水温越高所需氢气的量越少。

(4) 加氢除氧方式,虽初投资较高,但综合费用较低,再考虑操作运行,节能环保等因素,这是一种推广价值很高的新型除氧方式,可用于蒸汽锅炉的给水及热水锅炉和供热系统的补水。

参考文献:

[1] 解鲁生. 锅炉水处理原理与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社 1997.
 [2] 王蒙聚, 赵宗敏. 海绵铁粉过滤除氧工艺[D]. 武汉: 水利电力学院, 1984.
 [3] 张林华, 解鲁生. 低压锅炉给水采用亚硫酸钠除氧的研究[J]. 工业水处理, 1991, 11(3): 14—17.
 [4] 霍银坤, 霍明仙, 韩淑梅, 等. Y—12—06 氧化还原树脂用于锅炉补给水系统除氧研究[J]. 工业水处理, 1986, 6(5): 23—26

(辉 编辑)

The heat resistance losses of working mediums in high and low temperature-side heat exchangers, regenerative heaters and intercoolers have been taken into account for an endoreversible closed Brayton cycle under constant-temperature heat source conditions. With power output serving as an objective of optimization the authors have optimized the distribution of thermal conductivity values and intermediate pressure ratios for the above-mentioned items. Through the use of numerical calculations analyzed is the impact of several main cycle characteristic parameters on the distribution of maximum power, corresponding magnitudes of thermal conductivity, intermediate pressure ratios and the double maximum power. **Key words:** finite time thermodynamics, Brayton cycle, intercooling and regenerative heating, power optimization

光管和斜槽管降膜吸收数学模型及实验研究 = **Mathematical Model for and Experimental Study of the Falling Film Absorption of Bare Tubes and Skewed-slot Low-ribbed Tubes** [刊, 汉] / WANG Mei-xia, ZHOU Qiang-tai (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), LIU Cun-fang (College of Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 486 ~ 489

A mathematical model dealing with the falling film absorption of bare tubes and skewed-slot low-ribbed tubes has been set up. A numerical calculation method was used to solve for the outer layer model of bare tubes and skewed-slot low-ribbed tubes while an analytical method employed to solve for the velocity, temperature and concentration equation of the inner layer of the above-mentioned tubes. The calculated results were compared with those of tests, revealing a basic agreement between them with all errors being assessed at less than 10%. Causes leading to the errors were analyzed. It is concluded that the skewed-slot low-ribbed tubes can serve as intensification tubes suitable for use in absorption devices. **Key words:** skewed-slot low-ribbed tube, absorption, mathematical model, numerical calculation

热力学焓函数的基本微分关系与特征函数 = **The Basic Differential Equations of Thermodynamics Exergy Function and Its Characteristic Functions** [刊, 汉] / HAN Guang-ze, WANG Xiao-wu, XIE Xin-an, et al (Department of Applied Physics, South China University of Science & Technology, Guangzhou, China, Post Code: 510640) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 490 ~ 492, 511

Proceeding from a universal expression of exergy, the authors have derived the first and second basic differential equations for the exergy function of a thermodynamics system. These two equations make it possible to change the exergy unfit for direct measurement into a function of measurable parameter. Through the use of basic differential relations the characteristics of system exergy function can be studied by experimental means. Moreover, it is also feasible to solve for the exergy function of a system. After a proper selection of free variables the exergy function of a system can serve as a characteristic function, from which all other thermodynamic functions may be determined. **Key words:** thermodynamics, exergy, basic differential equation, characteristic function

一种新型锅炉给水除氧器的研究 = **A Study of a New Type of Boiler Feedwater Deaerator** [刊, 汉] / ZHANG Lin-hua (College of Environmental Engineering under the Xi'an University of Architectural Science & Technology, Xi'an, China, Post Code: 710055), CUI Yong-zhang, QU Yun-xia, et al (Department of Air Conditioning & Refrigeration Engineering, Shandong Institute of Architectural Engineering, Jinan, China, Post Code: 250014) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 493 ~ 496

The study results of an innovative boiler feedwater deaerator, which removes oxygen by a process of hydrogenation, are presented. Its operation principles and main components are described and compared with those of other deaeration methods. The factors affecting deaeration effectiveness are analyzed. Tests have shown that the hydrogenated deaerator features a stable and reliable operation and high deaeration effectiveness with the content of residual dissolved oxygen in the outgoing water fully complying with boiler feedwater quality standards. Such deaerators can be widely used in boiler feedwater systems and for supplying make-up water to hot water boilers and heat supply systems. **Key words:** deaeration, deaerator, catalysis, hydrogenation, dissolved oxygen

循环流化床锅炉 J 形返料阀的设计 = **Design of a J-shaped Refeed Valve for a Circulating Fluidized Bed Boiler**