

# 新型真空电化学除氧器的新型结构技术

田龙科  
(海力源(天津)工程技术有限公司 天津 301800)

**摘要:** 除氧器能有效降低锅炉系统内的氧腐蚀,是保障大中型锅炉系统正常运行的必要设备,GB1576-2018《工业锅炉水质》也对锅炉水的溶解氧含量做出相应的规定,一般不大于 0.1mg/l。因此除氧器的作用尤为为重要。鉴于除氧器形式随着时代的发展和科技的进步,文章介绍了一种新型真空电化学除氧器独特的结构设计与工艺。

**关键词:** 除氧器; 真空容器; 电化学; 新除氧结构; SolidWorks

传统除氧器主流为有头热力除氧器、无头热力除氧器,热力除氧器需要消耗大量的蒸汽热源,既不经济,也受到蒸汽热源的波动影响,操作来说也不稳定。而真空电化学除氧器以其独特的除氧方式和结构特点,彻底规避了上述传统除氧器的不足之处,尤其可以巧妙地规避有头除氧器的容器大开孔、除氧头占地空间高的的尴尬处境。

本实用新型真空电化学除氧器,在除氧器壳体内部集成真空、电化学和化学三种除氧方式于一体,有效提高除氧效率,具有除氧彻底的优点。文章将以处理量 300t/h 规格除氧器为例介绍其新型的独特结构。

## 1 筒体结构设计

整体除氧设备采用全密闭结构,运行期间自始至终处于真空负压状态。给水首先通过喷淋雾化装置,在真空负压作用下被除去 70% 的溶解氧。该设备的设计压力按 0MPa (绝压),设计温度 80℃,利用专业的压力容器计算软件例如 SW6-2011 或 PV-Elite 进行壁厚计算。由于该设备的设计使用寿命较传统的热力除氧器更长,选用 06Cr19Ni10 不锈钢作容器材质,抗腐蚀性能更优异,但为了降低制造成本,可采用减小壁厚、进行“外压圆筒加强筋的设计”的方案(如图 1),既降低了设备的重量,也减少了材料的浪费。

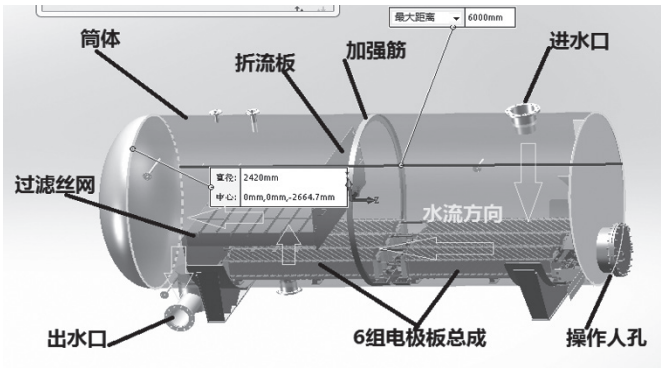
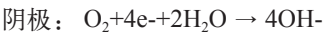
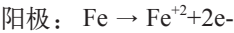


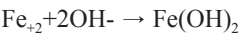
图 1 300t/h 处理量的真空电化学除氧器结构

## 2 内件电化学集成板的新结构设计

给水经真空除氧后,进入由铁板阳极和阴极极板总成组成的电解池除氧装置。在外接直流电源作用下,溶解氧在电解池中被消除。其原理如下:



水中: 电化学产物为:



随后进行化学除氧

给水经电化学除氧后,产生了活性强的除氧剂  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 。 $\text{Fe}(\text{OH})_2$  以炉内除氧方式消耗水中残余溶解氧。



有试验论证:在以下条件中:阳极板有效面积总计为 1.57m<sup>2</sup>,阴阳极板间距为 20mm;极板间的通电源电压为 5V 直流,电流 25A(±5A);进水含氧量在 1.683mg/L (常温水可在真空状态下获取该标定含氧量值);水流量 2t/h。可取得 0.1mg/l 以下的含氧率。

依据上述试验,将设备转化到工业应用当中,可将 4mm 厚的冷轧 Q235 铁板利用等离子切割的加工工艺进行定型、割孔等制作成正六边形结构作为阴、阳极。再采用 40Cr 棒料将极板串联定位、锁紧;中间利用尼龙等高硬度工程塑料将阴阳极板隔开、绝缘以及等间距定位,从而形成电极板总成模块(结构如图 2)。由于电解的作用,阴极板需要定期更换,为此,还需要将总成模块下安装承重万向脚轮,实现方便移动装填到容器内的功能,互换性能得到较好的运用,降低了维保的操作难度。

此外,极板的外形尺寸尤其需要考究,若单张极板的面积过大,则会造成容器封头开孔过大,这势必会难以满足容器设计制造标准、并且致使制造成本增加等问题;若单张极板面积过小,由于极板内通孔占据极板面积,会造成极板面积利用率过低而导致用材浪费、极板总成占据容器内的空间比例太高的问题。鉴于人孔尺寸一般不超过 DN600 的情况下,将正六边形的极板的外接圆直径定为 500mm,利用达索 SolidWorks 进行三维仿真,模拟与干涉检查,该尺寸的极板总成在进行装填的过程中恰好没有干涉。如此一来,则高效的利用了容器的内部空间,将除氧器的尺寸得到了很好的优化。

而在应力方面,以 100 张极板总成的结构为例,将极板总成对称分布的 4 根定位杆端头进行固定,该结构经过 SolidWorks2018 Simulation 应力分析,在重力作用下,最大应力处为 85MPa (如图 2 所示),低于材料的许用应力 220MPa,最大应变为 0.04mm,故满足材料使用需求。(此

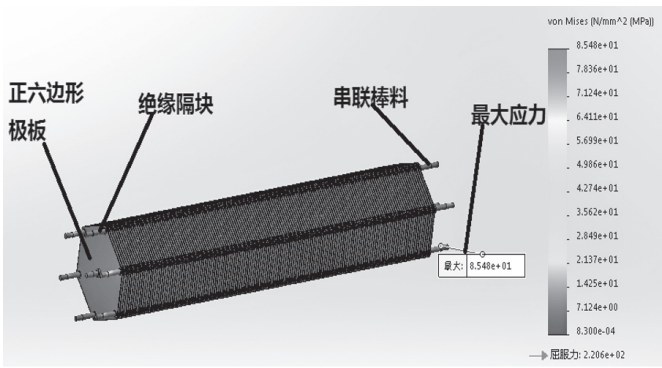


图 2 100 块电极板总成的最大应力分析图

极板总成可满足 50t/h 处理量真空除氧器的脱氧工作。)

3 300t/h 处理量除氧器系统总成的创新布局

将 6 组 100 块电极板总成串联、并联布局到罐体底部，使水的电化学反应过程时间最大化，配套 3.6 平米的不锈钢过滤网可充分过滤絮凝铁化合物；以及 DN600 人孔最大化电极板总成的接触面积，方便电极板总成进行维保拆卸。最

(上接第 35 页)

机械手激光熔覆齿形：机械手根据汇编的程序一步一步进行熔覆，在齿轮基层形成熔覆层，每熔覆一层都必须通过人工手动均匀敲击来释放焊接材料的内应力，并检验外形尺寸，保证齿形有加工的余量。

对激光熔覆成型的齿条进行手工打磨：齿条外形加工是机械手无法完成的一步，打磨齿形必须要人工精细研磨，维修技术人员依据齿形样板、平面板、刀口尺等测量工具，在作业中确保齿形轮廓的几何尺寸在允许范围内。

齿面啮合测试：①用红丹粉在小齿轮上均匀的涂抹薄薄一层，盘动小齿轮带动大齿圈运转，观看熔覆的齿条与小齿轮接触的情况，保证沿齿长方向接触面积不小于 70%，齿宽方向接触面积不小于 60%，且接触部位偏齿条中部；②使用压铅丝的方法测量齿面啮合间隙，以熔覆齿为起点，将齿圈圆周均匀分三等分，测量各点的数值，并对比检修前的原始数据，要求熔覆的齿条的啮合间隙与检修前的数据误差不超过 15%（见表 1）。

4 运用效果

经激光熔覆修复的断齿已恢复原样，齿轮的尺寸、性能、强度和啮合都符合要求，先让磨机空负荷运行 3 小时，测量

表 1 齿轮啮合数据

| 2# 球磨机齿轮啮合间隙 |       |      |      |       |      |      |
|--------------|-------|------|------|-------|------|------|
| 位置           | 东侧    |      |      | 西侧    |      |      |
|              | 齿顶    | 侧隙   | 背隙   | 齿顶    | 侧隙   | 背隙   |
| 检修前数据        |       |      |      |       |      |      |
| 1（裂纹点）       | 12.66 | 0.16 | 3.32 | 12.68 | 0.13 | 3.41 |
| 2            | 12.6  | 0.17 | 3.28 | 12.55 | 0.14 | 3.5  |
| 3            | 12.78 | 0.17 | 3.03 | 12.70 | 0.16 | 3.10 |
| 检修后数据        |       |      |      |       |      |      |
| 1（修复点）       | 12.66 | 0.19 | 3.27 | 12.56 | 0.14 | 3.38 |
| 2            | 12.52 | 0.17 | 3.21 | 12.44 | 0.15 | 3.26 |
| 3            | 12.72 | 0.16 | 2.96 | 12.63 | 0.15 | 3.04 |

终经过三维绘图软件装配仿真，以筒径  $\phi 2420\text{mm}$ ，直筒长度  $L=6000\text{mm}$  的卧式真空容器集成。如图 1。此设备相对于占地更小的无头热力除氧器  $\phi 2624\text{mm}$ ， $L=8800\text{mm}$  的尺寸来讲，体积更为小巧，结构更为合理、新颖。操作更为便捷，除氧效果更为充分，完全能将除氧水含氧率降低到  $0.1\text{mg/l}$  以下，符合国家相关规定的锅炉给水的水质要求。

4 结语

此种除氧器设计新型，不需要被热源的稳定性所牵制，适用范围广泛，适用蒸汽和热水锅炉，投资比较省，使用期限较长，而且运行温度，负荷适应远远优于传统的热力除氧器性，设备体积相对较小，占地面积小，是理想的除氧设备。

参考文献：

[1] Water quality for industrialGB1576-2018《工业锅炉水质》。  
[2] Standard Title in English: Pressure vessels - Part 3: Design GB150.3-2011 第三部分：设计。  
[3] 杨明华. 电化学除氧器 [J]. 工程设计与应用研究,1999, (1):20-22.

的振动数值都在  $1\text{mm/s}$  内，再逐步负荷开车，检测出小齿轮轴承振动、齿面温度数据（见表 2），通过与行业标准数据对比，磨机经激光熔覆后其运行参数一切正常。

表 2 齿轮检测数据

| 2# 球磨机小齿轮轴承振动、温度检测数据  |             |      |      |       |       |       |       |
|-----------------------|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 测量时间（12 月 29 日）       |             |      | 9:30 | 10:30 | 14:30 | 15:30 | 17:00 |
| 小<br>齿<br>轮<br>轴<br>承 | 进<br>料<br>端 | 轴向速度 | 2.4  | 2.2   | 2.1   | 2.1   | 2.2   |
|                       |             | 水平速度 | 1    | 1.2   | 1     | 1.1   | 1.1   |
|                       |             | 垂直速度 | 4.7  | 4.2   | 4.4   | 4.3   | 4.5   |
|                       |             | 温度   | 44   | 46    | 49    | 50    | 50    |
|                       | 出<br>料<br>端 | 轴向速度 | 3.4  | 3.3   | 3.4   | 3.5   | 3.4   |
|                       |             | 水平速度 | 1.3  | 1.3   | 1.2   | 1.2   | 1.2   |
|                       |             | 垂直速度 | 4.7  | 4.5   | 4.5   | 4.6   | 4.6   |
|                       |             | 温度   | 44   | 46    | 48    | 49    | 49    |
| 齿轮副温度                 |             | 1（东） | 47   | 49    | 53    | 53    | 54    |
|                       |             | 2    | 48   | 51    | 54    | 54    | 55    |
|                       |             | 3（中） | 48   | 50    | 54    | 55    | 56    |
|                       |             | 4    | 46   | 49    | 53    | 53    | 54    |
|                       |             | 5（西） | 44   | 47    | 51    | 52    | 53    |

5 结语

激光熔覆修复技术能大大降低客户运输风险、节约运输和备件成本，缩短修复运作周期，再从一些企业运用此技术修复成功的案例来看，激光熔覆修复技术是行之有效、可靠、且能充分展示现场在线修复实用性的先进技术手段。

参考文献：

[1] 邹辉. 激光熔覆技术在进口 SO2 风机齿轮轴修复中的应用 [J]. 硫酸工业, 2006, (4).  
[2] 周同磊, 潘明春. 着色渗透探伤法在焊接检测中的应用 [J]; 现代零部件; 2006, (10).  
[3] 张庆茂, 钟敏霖, 杨森. 送粉式激光熔覆层质量与工艺参数之间的关系 [J]. 焊接学报, 2001, 22(4).