

# 新型给水自动加氧设备性能分析及应用

顾大鹏

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司, 江苏 盐城 224553

DOI: 10.61369/ETQM.12240

**摘 要：**近年来，随着科技不断进步，进一步提高对环保的要求，新型给水自动加氧设备逐渐进入火电厂的视野。本文深入探讨了锅炉加氧系统中溶氧值稳定性的关键因素，分析了加氧点和采样点距离、负荷变化对溶氧值稳定性的影响，并提出了相应的优化措施。本文详细介绍了智能给水处理工况算法及控制逻辑的研究，提出了加氧装置运行维护升级改造的研究，包括元件健康度状态评价、设备预维护、故障预警功能。通过这些研究，本文旨在提高锅炉系统的运行效率，推动相关技术的可持续发展。

**关 键 词：**溶氧稳定；自动加氨冷态参数试验；自动加氨热态参数试验；全保护加氧处理技术

## Performance Analysis and Application of New Automatic Oxygenation Equipment for Water Supply

Gu Dapeng

National Electric Power Investment Group Jiaxin Binhai Power Co., Ltd. Yancheng, Jiangsu 224553

**Abstract:** This paper deeply explores the key factors affecting the stability of dissolved oxygen value in boiler oxygenation system, analyzes the influence of the between oxygenation point and sampling point, load change on the stability of dissolved oxygen value, and proposes corresponding optimization measures. This paper introduces in detail the research on intelligent water treatment condition algorithm and control logic, and proposes the research on operation and maintenance upgrade transformation of oxygenation device, including equipment health status evaluation, equipment pre-main, fault early warning function. Through this research, this paper aims to improve the operation efficiency of boiler system and promote the sustainable development of related technology

**Keywords:** dissolved oxygen stability; automatic ammonia addition cold-state parameter test; automatic ammonia addition hot-state parameter test; full oxygenation treatment technology

新型给水自动加氧设备通过在给水中加入适量的氧气，不仅能够有效防止锅炉金属材料的腐蚀，还能提高锅炉的热效率<sup>[1]</sup>。与传统方法相比，新型加氧设备具有操作简便、处理效率高、环保性能好等显著优势。本文旨在对火电厂锅炉新型给水自动加氧设备的性能进行详细分析，并探讨其在实际应用中的效果。通过对比传统方法与新型设备的优缺点，本文将展示新型加氧设备在提高火电厂运行效率和环保性能方面的潜力。同时，本文还将结合实际案例，分析新型设备在不同工况下的应用效果，为火电厂的现代化改造提供参考。

### 一、给水加氧处理条件

第一，凝结水精处理。凝结水是直流锅炉给水的重要组成部分，其质量直接影响到锅炉的安全运行，凝结水系统应配备100%全流量精处理设备，全面提高凝结水的高纯度。在运行过程中，应采取措施保证精处理设备有足够的缓冲能力，避免因水质波动引起的不良影响；定期检测树脂特性，确保净化效果，是保证凝结水质量的关键。第二，保证给水水质的高纯度性。给水的高纯度性是直流锅炉给水加氧处理的前提条件，给水的氢电导率应小于0.15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (25℃)，如果检测到氢电导率超标，应尽快查找异常原因，并采取相应措施恢复正常水汽品质<sup>[2]</sup>。此外，给水的

pH值也不能过低或过高，否则会影响加氧处理的效果。第三，防止凝汽器和凝结水系统漏入部分空气。空气中的二氧化碳会使水的pH值下降，此时加入氧化剂反而会加速金属的腐蚀，防止凝汽器和凝结水系统漏入部分空气是直流锅炉给水加氧处理的重要条件之一，通过优化凝汽器和凝结水系统的密封性能，可以有效减少空气的漏入，从而保证加氧处理的效果。

### 二、智能给水处理工况算法及控制逻辑的研究

基于本方案第2部分影响溶氧稳定性的主要因素，为科学控制溶氧的稳定性，本文进行自动加氨冷态参数试验和自动加氨热态

参数试验,给热力设备水系统全覆盖防治处理工艺及装置研究打下坚实基础,保证热力设备水系统全覆盖防治处理工艺效果达到预期要求。试验流程如下:

### (一) 自动加氨冷态参数试验

1) 电导率远传信号校准。通过给定电导率表电流信号模拟值,查看对应电导率的数值,确保校准结果正常,能达到控制要求。

2) 自动加氨程序模拟。通过上位组态软件对程序进行模拟实验,查看各个数据是否对应,程序功能是否存在问题,对各个给定值和反馈值进行模拟输入输出,确保模拟结果正常,能达到控制要求。

### (二) 自动加氨热态参数试验

1) 试验条件。通过与电厂各部门协调,确定热态参数试验前机组的基本条件。

2) 前馈参数整定。在一定负荷区间内,运行人员根据负荷手动调节加氨泵频率,维持除氧器入口电导率在 $2.7\mu\text{S}/\text{cm}$ ,记录调整前后频率值和调整时间平均值,通过前馈输出

频率的采集,确定前馈参数。

3) PID调节参数整定。在一定负荷区间内,给PID设置初参数:将微分时间写为0,比例:0.02,2积分时间:200s。根据系统设定确定调节器的作用方向。在除氧器入口电导率设定值为 $2.7\mu\text{S}/\text{cm}$ 情况下,根据电导率变化趋势,计算曲线衰减率,摸索PID控制参数,确定最终的PID设置参数。

4) 基于多因素的自动加氨控制方法。确定影响除氧器入口电导率控制效果的所有影响因素:a.机组负荷(给水流量);b.氨计量箱氨水浓度;c.计量泵的行程;d.电导率设定值。

当a机组负荷(给水流量)变化时,通过“前馈+PID”进行调节。当b、c、d变化时,通过调节系数进行校正,最终输出频率=“前馈”×调节系数+“PID”调节。设置b氨水浓度、计量泵的行程和电导率设定值的基准值分别为0.51%、30%和 $2.7\mu\text{S}/\text{cm}$ ,建立调节系数的模型,通过实际的浓度调整和定值扰动,验证此控制模型的准确确定。本方案基于加氨控制大滞后、多因素的特点,采用负荷前馈调节+PID调节的控制方式,可以有效确保负荷变化时加氨量的精确自动控制。

## 三、热力设备水系统全覆盖防治处理工艺及装置的研究

### (一) 全保护加氧处理技术研究

全保护加氧工艺加氧点需要实现给水、凝结水和高加疏水的全面保护,因此对于加氧量控制及加氧点的设置均有严格要求(如图1所示)。

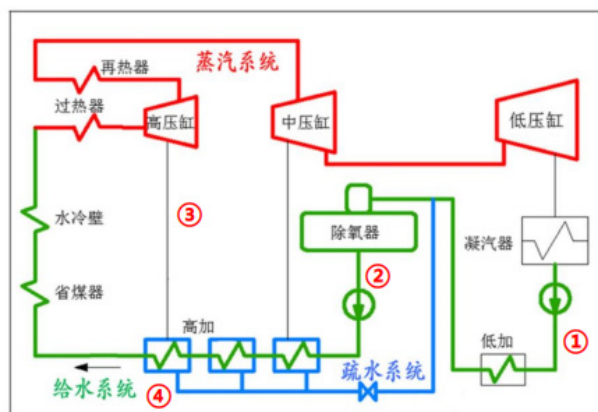


图1 加氧处理工艺原理示意图

(①凝结水加氧点;②给水加氧点;③、④高加疏水可供选择的加氧点)

加氧量控制应满足水汽系统防腐要求,且需要精确控制给水加氧量,从而避免蒸汽系统氧化皮剥落风险。随着对加氧工艺原理的深入研究和设备的更新换代,加氧工艺也经历了“高氧→低氧→全保护加氧”的数次更新,目前全保护加氧工艺加氧量控制有着更严格的要求<sup>[3]</sup>。通过控制凝结水加氧量为 $10\sim 150\mu\text{g}/\text{L}$ 、给水加氧量为 $10\sim 30\mu\text{g}/\text{L}$ 、高加疏水加氧量为 $10\sim 150\mu\text{g}/\text{L}$ ,可以实现给水、疏水系统有氧。而蒸汽系统无氧的全保护工艺路线,确保蒸汽系统基本无氧;其次,全保护加氧工艺给高加疏水系统单独加氧,实现了蒸汽系统无氧而高加疏水系统有氧,有效遏制高加疏水系统的流动加速腐蚀<sup>[4]</sup>。

加氧点设置应具备以下条件:1)加氧点设置以功能实现为导向,为实现低压给水系统的保护,普遍将加氧点设置在凝结水精处理出口母管上;想要保护高压给水系统,普遍将加氧点设置在除氧器下降管上;为了实现保护高加疏水系统,普遍将加氧点设置在1号高加抽汽管道上;2)加氧点设置尽可能保护易腐蚀、堵塞设备,如给水加氧点设置在汽泵前置泵入口之前,用于保护汽动给水泵;3)加氧点设置兼顾经济性和可操作性,由于加氧点之后需要设置一、二次门,因此加氧点设置在易于操作的地方,也要考虑加氧经济性,如给水加氧点设置在汽泵前。

#### 1. 加氧量控制

按照DL/T805.1-2021《火电厂汽水化学导则第1部分:锅炉给水加氧处理导则》要求<sup>[5]</sup>,给水的溶解氧控制值为 $10\sim 30\mu\text{g}/\text{L}$ ,期望值为 $10\sim 20\mu\text{g}/\text{L}$ ,高加疏水溶解氧控制值 $\geq 10\mu\text{g}/\text{L}$ 。本方案采用精确控制方式,将给水加氧量控制在 $10\sim 20\mu\text{g}/\text{L}$ ,高加疏水加氧量控制在 $10\sim 100\mu\text{g}/\text{L}$ ,可以满足给水及高加疏水防腐钝化要求。同时,精确控制方式加氧量降低,加氧介质使用量低、设备使用时长低,从而带来加氧介质购置费用和设备维护保养费用降低等显著优势。

#### 2. 加氧点设置

本方案将高加疏水加氧点设置在1号高加抽汽管道上,具有以下优点:1)从1号高加抽汽管道加氧,实现对1号高加汽侧的保护,从而全面保护整个高加疏水系统;2)从1号高加抽汽管道加氧,采用空气作为加氧介质,电厂仅用压缩空气为介质来源,空

压机直接压缩空气作为介质来源，介质来源价廉易得，且不受外界因素干扰。

## （二）全保护加氧装置研发

加氧介质应具备以下条件：1）加氧介质加入不会对热力系统造成影响，不会增加设备故障几率；2）加氧介质的加入不会对水汽品质造成影响，不会导致热力设备产生结垢、积盐等不良后果；3）介质应该价廉易得，且加氧量易于控制。全保护加氧装置是为实现全保护加氧工艺而研制的加氧装置，本方案以空气作为加氧介质进行加氧设备研发。空气由78%的氮气、21%氧气、还有1%的稀有气体和杂质组成<sup>[6]</sup>。此前，由于空气中存在微量CO<sub>2</sub>（体积分数约0.03%–0.04%），因此采用空气作为加氧介质存在CO<sub>2</sub>腐蚀的顾虑。然而，工业试验和科学研究已经证明，采用空气作为加氧介质，由于加氧后OT工况时给水的pH值控制在8.9–9.1，加氧前AVT(O)工况下给水的pH值更是控制在9.2–9.6，因此其中的CO<sub>2</sub>并不会对热力设备产生影响<sup>[7]</sup>。此外，空气中氮气含量78%，性质十分稳定，不会对水汽系统造成影响。基于空气加氧介质研制全保护加氧装置，采用高效空压机将经过过滤的洁净空气加压至一定压力（>加氧点系统压力），开发加氧气控装置和电控装置，利用微量调节阀、减压阀、稳压阀、电动调节阀等装置，采用给水流量前馈+溶氧反馈的调节方式，实现给水、凝水和高加疏水的精确加氧；自动控制技术，控制给水加氧精度达到目标值 $\pm 5 \mu\text{g/L}$ ，让蒸汽系统始终处于无氧状态，彻底消除加氧处理与蒸汽系统氧化皮的矛盾。

## （三）加氧装置运行维护升级改造研究

为响应工业4.0号召，本研究设备过程中，通过数据边缘计算，旨在形成具备健康状态评估、设备预维护、故障预警和安全监控等功能的智能化设备。

### 1. 元件健康度状态评价功能

拟采用健康度和维护倒计时等指标对设备重要元件状态进行实时评价，具体如下。

$$\text{健康度} = \left(1 - \frac{t}{T_i}\right), T_i = t * f(i), f(i) \text{ 表示第 } i \text{ 次维护后设备}$$

元件性能衰减函数，各元件有所不同，具体衰减函数参考元件说明书。

### 2. 设备预维护功能

以元件健康度状态评价结果为基础，实现设备的自动生成设备预维护清单功能，具体实现方案如下：

- （1）在设备测建立设备元件型号数据库；
- （2）根据元件状态实时评价，识别出需要维护的设备元件；
- （3）将元件名称及型号生成预维护清单；
- （4）通过按钮一键导出该预维护清单；
- （5）观看人机界面中各元件的维护演示视频，对元件进行维护。

### 3. 故障预警功能

机组仪表异常是影响设备正常运行的主要因素，针对该部分工作人员增设故障预警功能，当信号超过正常限值时，延时后，超过异常特征值报警，则对应仪表信号自动投入至设定值，保持

开度不变<sup>[8]</sup>；当实测值小于正常限值时，解除设定值切换至仪表实际测量值（如图所示）。具体实现方案如下。

（1）识别仪表异常，提取仪表异常特征值（异常限值，从正常限值到异常限值的时长），若仪表信号超过正常限值后，且在时长内超过异常限值，则诊断为仪表异常<sup>[9]</sup>；

（2）仪表异常处理方法，仪表异常时，切换数据来源，用程序设定值或发生异常前正常测量平均值（12h）代替仪表实测值，并给出仪表预警提示，直到实测值小于正常限值，解除设定值切换仪表实际测量值<sup>[10]</sup>。

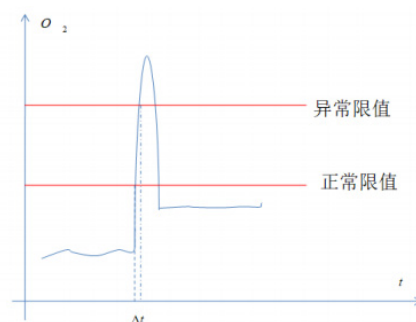


图2 在线化学仪表异常诊断示意图

## 四、总结

综上所述，本文通过对锅炉加氧系统中溶氧值稳定性的深入分析，揭示了影响溶氧值稳定的主要因素，并提出有效优化措施，智能给水处理工况算法及控制逻辑研究为实现自动加氨精确控制提供了技术支持。未来，随着技术不断发展，锅炉系统运行将向智能化方向发展。

## 参考文献

- [1] 张宁, 谢鹏飞, 王一鸣, 等. 基于 Citespace 的给水加氧处理技术研究进展分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(9): 136–142, 202.
- [2] 彭吉伟. 全保护自动加氧技术的研究及应用 [J]. 电气技术与经济, 2022(4): 66–68.
- [3] 山西三合盛智慧科技股份有限公司. 一种发电厂给水自动加氧加氟协同控制装置及其控制方法: CN202111461475.7[P]. 2022–03–25.
- [4] 华能烟台八角热电有限公司, 华能山东发电有限公司, 西安热工研究院有限公司. 电厂化水系统中氨氧的控制方法、装置及电子设备: CN202410230084.1[P]. 2024–05–28.
- [5] 靖煤(白银)热电有限公司, 南京翔能环保科技有限公司. 一种本质安全的锅炉给水自动加氧设备: CN202420837261.8[P]. 2024–06–14.
- [6] 袁达. 660MW 超临界机组给水加氧新工艺介绍 [C]. //2020 年清洁、高效热电联产及智慧供热技术交流研讨会论文集. 2020: 67–70.
- [7] 湖南省湘电试验研究院有限公司. 一种给水自动加氧系统及方法: CN201810213715.3[P]. 2021–01–29.
- [8] 程兆光. 变压吸附制氧装置运行优化研究 [D]. 山东: 山东建筑大学, 2021.
- [9] 廖洪峰. 1000MW 超超临界机组锅炉给水自动加氧技术研究与应用 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(8): 28–41. DOI: 10.13726/j.cnki.11–2706/tq.2021.08.028.14.
- [10] 高起升. 660 MW 超临界直流火电机组给水采用全自动保护加氧的优点 [J]. 今日自动化, 2021(9): 82–83.