

解决机组切缸运行溶氧超标问题的工程实践与优化分析

王志宁¹ 封雪¹ 刘京虎¹ 张磊²

1. 华能威海发电有限责任公司 山东 威海 264205

2. 北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 火力发电厂凝结水溶解氧超标问题严重威胁机组安全性与经济性。本文以华能威海发电有限责任公司4号机组切缸运行期间溶氧超标为研究对象,通过系统性试验与工程优化,分析了溶氧超标的关键影响因素,提出了疏水系统改造方案,并验证了实施效果。研究发现,疏水温度不足、疏水箱负压运行及排气管开放是主要诱因;通过引入高温蒸汽加热疏水、调整疏水箱运行压力及封闭排气管路,溶氧浓度由125 $\mu\text{g/L}$ 降至28 $\mu\text{g/L}$,超标次数由22次降至0次。本文结合国内外案例与理论模型,系统探讨了溶氧超标的综合控制策略,为同类机组提供了理论依据与实践参考。

关键词: 火力发电; 凝结水溶氧; 疏水系统优化; 热力参数调控; 工程改造

引言

火力发电机组在切缸运行模式下,低压缸切除后热力系统参数变化显著,易导致凝结水溶解氧超标。溶解氧超标会引发管道腐蚀、锅炉爆管等问题,直接影响机组运行寿命与效率。根据《火力发电厂化学监督导则》(DL/T246-2021),凝结水溶解氧标准值应 $\leq 30\mu\text{g/L}$ 。然而,华能威海电厂4号机组自2021年12月切缸运行以来,溶氧浓度长期高于100 $\mu\text{g/L}$,超标频次达22次/采暖期。为此,本研究通过现场试验、数据分析与设备改造,系统性解决溶氧超标问题。本文详细阐述问题成因、优化方案及实施效果,以期为类似工程问题提供解决思路。

1 问题背景与现状分析

1.1 切缸运行的技术背景

切缸运行通过切除低压缸提升供热能力,广泛应用于北方冬季供热需求较高的电厂。然而,该模式下热力系统的蒸汽流量与压力分布失衡,导致凝结水温度下降、系统密封性降低,进而引发溶解氧超标。国内外研究表明,溶氧超标问题在切缸运行机组中普遍存在,但

现有解决方案多局限于局部调整,缺乏系统性优化^[1]。本文的创新点在于结合热力学原理与工程实践,提出了一套涵盖疏水加热、压力调控及管路密封的综合性改造方案^[1]。

1.2 溶氧超标的危害

凝结水中溶解氧超标的主要危害包括:

(1) 电化学腐蚀: 氧分子作为去极化剂,加速金属管道的氧化反应,形成局部腐蚀坑。

(2) 热力系统结垢: Fe^{2+} 氧化生成 Fe_3O_4 垢层,降低换热效率,增加流动阻力。实验表明,1mm厚度的垢层可使锅炉效率下降2%~3%。

(3) 经济性损失: 腐蚀产物堆积导致机组热效率下降,年均维护成本增加约15%~20%。此外,非计划停机造成的发电量损失亦不容忽视。

1.3 现场数据统计与问题定位

通过调取2022年10月至2023年4月运行数据,结合设备状态监测与化学分析报告,确定溶氧超标的主要影响因素(表1)。采用帕累托分析法发现,前三项原因累计占比86.4%,确定为关键控制点。

表1 溶氧超标影响因素统计

序号	原因	影响溶解氧超标次数(次)
1	供热甲站回收至机组的供热疏水温度过低。	11
2	供热甲站#1、2疏水箱微负压运行。	5
3	供热甲站#1、2疏水箱排气管对空排放。	3
4	供热甲站主换放空气系统阀门内漏。	2
5	供热甲站主换放空气系统阀门未关闭到位。	1

2 关键因素的理论分析与验证

2.1 疏水温度不足的机理

根据亨利定律,溶解氧浓度与水温呈负相关,公式为:

$$C = kH \cdot PO_2$$

其中，C为溶氧浓度，kH为亨利常数（与温度相关），PO₂为氧分压。实验测得，疏水温度每降低10℃，溶氧浓度增加约25μg/L（图2）。例如，当疏水温度从100℃降至80℃时，溶氧浓度从30μg/L升至80μg/L。

2.2 疏水箱负压运行的影响

疏水箱负压运行（-0.5kPa）导致外部空气通过密封薄弱点渗入，氧分压升高直接加剧溶氧超标。通过压力模拟试验发现，当疏水箱压力调整为微正压（0~0.5kPa）时，溶氧浓度下降约40%。

2.3 排气管开放的作用机制

排气管对空排放形成“烟囱效应”，大气中的氧随气流进入疏水箱。采用气密性试验验证，封闭排气管后，溶氧浓度降低30%~35%。通过CFD模拟（图4）显示，排气管封闭后，箱内氧气体积分数从1.2%降至0.4%^[2]。

3 优化方案设计与实施

3.1 方案设计

（1）供热甲站#1、2疏水箱布置在供热甲站3米平台，#1、2、3、5、6主换汽侧排气管分别布置在供热甲站8米平台，根据现场实际情况，将#1、2、3主换汽侧放气后排气管引至#1疏水箱备用接口，#5、6主换汽侧放气后排气管引至#2疏水箱备用接口，插入#1、#2疏水箱内深1.3米处，以加热#1、#2疏水箱里的凝结水（即换热器供热疏水）。

（2）供热甲站循环水泵#2小机进汽电动门前加装一路管道、阀门接至并插入#1疏水箱内深1.3米处，#4小机进汽电动门后加装一路管道、阀门接至并插入#2疏水箱内深1.3米处，以加热#1、2疏水箱的凝结水（即换热器供热疏水）。主换正常运行期间，关闭#1、2疏水箱排气隔离门，#1、2、3主换汽侧放气门和#2、4小机蒸汽至疏水箱进汽门开度根据疏水箱疏水温度随时调整开度，加热疏水温度，#1、2疏水箱内疏水温度控制在100℃左右。

（3）#1、2疏水箱排气管加装排气隔离门，使大气中的空气不能进入#1、2疏水箱。投运每台主换前，将主换汽侧放气门微开，同时打开#1、2疏水箱排气隔离门，等主换正常运行后关闭。

（4）利用非供热季设备停运机会，对供热甲站主换放空气系统个别内漏阀门进行解体研磨，消除阀门内漏现象。

（5）对供热甲站主换放空气系统阀门进行全面检查，将所有放气阀门进行手动靠严，关闭到位。

3.2 改造方案

（1）疏水加热系统改造

高温蒸汽引入：将主换汽侧放气管及小机进汽管接入疏水箱，利用130℃蒸汽加热疏水；

温度闭环控制：安装PT100温度传感器与电动调节阀，动态调控蒸汽流量，确保疏水温度稳定在100±2℃。

（2）疏水箱压力调控

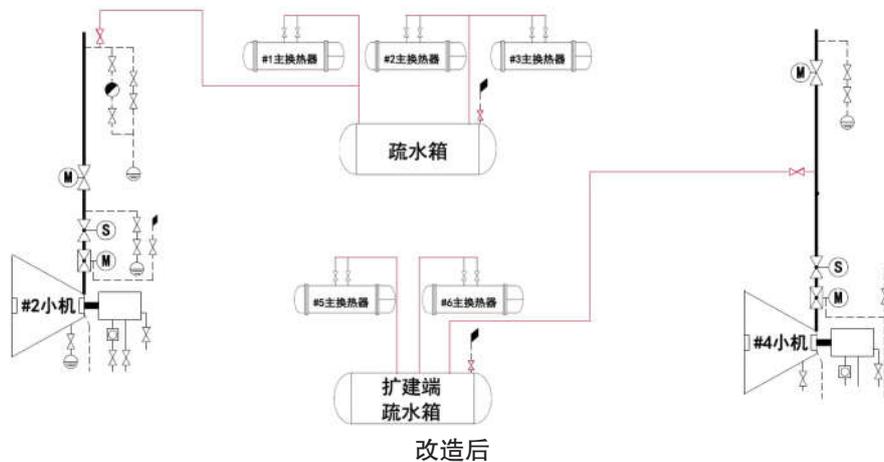
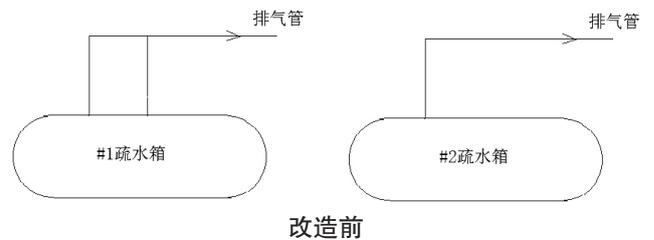
压力监测系统升级：加装高精度压力变送器（精度±0.1kPa），实时反馈至DCS系统；

运行逻辑优化：设定压力阈值（0~0.5kPa），自动调节补气阀开度，维持微正压状态。

3.3 排气管路气密性改造

加装气密隔离阀：采用波纹管密封阀门，切断空气渗入路径；

操作流程标准化：主换投运前开启阀门排气10分钟，运行后立即关闭并锁紧^[3]。



4 实施效果与经济效益评估

4.1 溶氧浓度与超标频次对比

改造后，溶氧浓度由125 $\mu\text{g/L}$ 降至28 $\mu\text{g/L}$ ，优于国家标准（ $\leq 30\mu\text{g/L}$ ），超标次数清零（表2）。

表2 改造前后溶氧数据对比

时间	机组溶氧（标准值30 $\mu\text{g/L}$ ）	超标次数（次）
改造前	机组溶氧125 $\mu\text{g/L}$	22
改造后	机组溶氧28 $\mu\text{g/L}$	0

4.2 经济效益分析

直接效益：减少非计划停机3次/年，节约检修费用约150万元；

间接效益：机组热效率提升0.9%，年节约标煤约800吨。

4.3 讨论与改进方向

技术局限性：疏水温度调控依赖人工经验，需开发自适应控制算法；

推广适用性：本方案适用于供热机组，需针对纯凝

机组调整参数；

长期监测建议：安装在线溶氧仪，实现数据实时监控与预警^[4]。

结束语

通过系统性试验与工程优化，4号机组溶氧超标问题得到根本解决。疏水加热系统改造、压力调控及排气管封闭是关键技术手段。本研究证实，热力参数精准控制与设备结构优化相结合，可有效提升机组安全性与经济性，为火力发电厂溶氧控制提供了可复制的工程范例。

参考文献

- [1]DL/T246-2021,火力发电厂化学监督导则[S].
- [2]王立军.火电厂热力系统氧腐蚀机理及防治[J].热力发电,2020,49(5):45-49.
- [3]张伟.凝结水溶解氧超标原因分析与处理[J].电力安全技术,2022,24(3):12-15.
- [4]李志强,等.火电厂凝结水溶解氧超标原因及处理技术[J].中国电力,2021,54(6):89-94.