

# 火电机组热网回水品质优化研究与应用

宋智鑫

阳城国际发电有限责任公司 山西 晋城 048102

**摘要:**某发电公司1、2、3、5、6号机组已完成抽汽供热改造,在供热投运初期,蒸汽及疏水流量偏小,管道疏水水质不合格,尤其是疏水含铁量严重超标,含铁量最大135 $\mu\text{g/L}$ ,严重影响了机组汽水平衡。技术人员创新引入热网回水品质优化装置,缜密制定了一套实施方案。经水质取样后,热网回水品质有很大提升。通过对火电机组热网回水品质差的大胆探索,研究出一套确实可行的水质优化装置。本文重点介绍了工程策划、实施流程、应用效果和经验总结等,该项目成功实施,是国内火电机组热网回水品质优化的一次创新突破,为大范围推广应用提供了成熟的工程案例,为国内同行提供了实用参考素材。

**关键词:**热网回水净化装置;疏水氧腐蚀;钎铁硼磁铁;自动冲洗;永磁过滤器

## 1 引言

我厂1、2、3、5、6号机组已完成抽汽供热改造,1、2、3号机组抽汽合并为1号蒸汽母管进入阳城首站,5、6号机组抽汽合并为2号蒸汽母管进入晋城首站,1、2号蒸汽母管中间设置联络门。相应阳城首站引出1号疏水母管接入1、2、3号机组凝结水系统,晋城首站引出2号疏水母管接入5、6号机组凝结水系统。1、2号疏水母管设置联络门。1、2号疏水母管设计流量各为1000t/h。

## 2 基本情况

某火力发电公司是山西省最大的发电企业,全厂装机402万千瓦,其中火电330万千瓦,光伏72万千瓦。火电安装6台35万千瓦机组和2台60万千瓦机组,以点对点、专线直供的方式向江苏电网送电,年输送电量约170亿千瓦时。6台35万千瓦机组汽轮机为西门子设计制造的KN型反动式、单轴、双缸双排汽、亚临界、一次中间再热、湿冷凝汽式汽轮机;锅炉为福斯特惠勒设计制造的双拱型炉膛(W火焰)、自然循环燃煤锅炉;发电机为西门子设计制造的全氢冷发电机。主辅设备配置整齐、性能保持良好,建厂以来35台次机组获可靠性金牌机组称号,硬件条件过硬。

1-6号机供热抽汽疏水管道从首站至汽机房全长约700米。在供热投运初期,蒸汽及疏水流量偏小,管道疏水水质不合格,尤其是疏水含铁量严重超标,含铁量最大135 $\mu\text{g/L}$ ,需长时间进行管道冲洗排入循环水管道,不仅影响机组汽水平衡,且造成大量除盐水产、热量浪费。冲洗合格后,正常运行中疏水含铁量在20 $\mu\text{g/L}$ 以

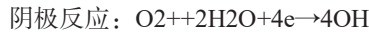
下,但由于供热高峰期疏水量增大、流速变快,氧化腐蚀作用增强,部分氧化产物脱落,疏水会短时超标。

## 3 热网回水品质差的原因及危害

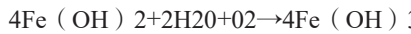
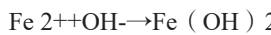
### 3.1 超标原因

#### 3.1.1 正常运行氧腐蚀

正常运行中,热网回水中氧腐蚀的形式都是氧去极化腐蚀,其腐蚀产物是铁的氧化物,其反应方程式如下:



以上反应的产物 $\text{Fe}^{2+}$ 在水中会与其他相关物质进一步进行反应,其过程为



氧腐蚀的影响因素很多,影响疏水氧腐蚀的因素主要有:PH值、溶解氧浓度、水流速、温度等,当PH低,溶解氧浓度高,水流速快和温度高,腐蚀速度都会加快。

#### 3.1.2 间断供热氧腐蚀

我厂为间断供热,即非供暖期停运,此时管道放空,空气中的氧气进入管线发生表面的氧腐蚀;当管道再次使用时,表面氧化腐蚀产物脱落,回水中铁离子浓度升高,超过标准值。

### 3.2 危害

未经过品质优化的热网疏水含铁量超标,进入锅炉后会在锅炉传热面发生二次结垢及垢下腐蚀,造成以下危害:

#### 3.2.1 浪费燃料,降低出力

锅炉结垢后将严重影响受热面传热,降低热效率,降低蒸汽出力,增加燃料消耗。

**作者简介:**宋智鑫(1995-),男,汉族,山西晋城人,工程师,本科,现从事火电机组设备管理工作。

### 3.2.2 易引起事故,影响安全运行

受热面结垢后,金属的热量由于受水垢的阻碍而难于传热给炉水,致使金属壁温急剧升高,当温度超过了金属所能承受的允许温度时,金属强度显著降低,从而导致金属过热变形,严重时将造成鼓包、裂缝,甚至爆管等事故。

### 3.2.3 堵塞管道,破坏水循环

如果水管内结垢,就会减小流通截面积,增大水的流动阻力,破坏正常的水循环,严重时还会完全堵塞管道,或造成爆管事故。

### 3.2.4 引起垢下腐蚀,缩短锅炉寿命

锅炉结垢后还会引起垢下腐蚀等危害。一旦受热面结垢,就极难清除,严重时只好采用挖补、割换管子等修理措施,不但费用大,而且还会使受热面受到严重损伤。大大缩短锅炉的使用寿命。另外,锅炉结垢后,将增加清洗和维修的时间、费用及工作量等,影响生产,减小锅炉的有效利用率,降低经济性。

### 3.2.5 高品质疏水外排

供热初期或者热网加热器泄漏等工况下,由于水质铁含量超标或其它质标超过标准时,热网疏水水质不满足回收至除氧器的要求,疏水不能排入凝结水管道,而是排入循环水管道,造成高品质疏水和热量的浪费,同时各机组补水容量受限,疏水不能全部外排。因此,需限制供热或部分不合格疏水排入凝结水管道,进而进入给水系统、锅炉汽水系统,在锅炉传热面发生二次结垢及垢下腐,给机组安全运行带来隐患。目前,系统内外已发生多起疏水水质不合格影响供热事件。

## 4 水质标准

根据GBT 12145-2016火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准中疏水和生产回水质量标准,有凝结水精除盐装置的机组,回收凝汽器的疏水和生产回水质量可按下表控制:

名称	硬度/( $\mu\text{mol/L}$ )		铁 $\mu\text{g/L}$	TOCi $\mu\text{g/L}$
	标准值	期望值		
疏水	$\leq 2.5$	$\approx 0$	$\leq 100$	--
生产回水	$\leq 5.0$	$\leq 2.5$	$\leq 100$	$\leq 400$

从目前供热系统运行水质监督报告记录来看,热网疏水冲洗合格回收后,含铁量基本在5-30 $\mu\text{g/L}$ 之间波动,但仍存在短期超标的问题( $> 100\mu\text{g/L}$ )。为彻底消除水质含铁量超标问题,需要进行必要性改进。

根据DL/T 561-2013火力发电厂水汽化学监督导则3.6:

为了降低锅炉水冷壁管内的结垢速率和缩短机组的启动时间,必要时可在热网回收水设置水质优化装置。

## 5 热网回水品质优化装置的研究

在火力发电厂中凝结水、生产返回水中,90%以上杂质是金属腐蚀产物,其中绝大多数是四氧化三铁。现阶段除铁技术有粉末树脂过滤器、粉末树脂过滤器+混床、前置阳床+混床、阳床+阴床等技术。原理为用离子交换除盐的方式除去铁离子,由于金属腐蚀产物是分子状的颗粒物质,不能有效去除,实际是靠树脂颗粒的过滤,因此除铁效率较低。

经查阅资料,发现一种永磁过滤技术。可结合新式永磁过滤技术。由于电磁除铁过滤技术之前处于初级阶段,一直有能耗较高、材料贵且操作相对复杂等缺点,一直在我国火力发电厂中凝结水过滤处理系统中应用的范围较小。近年来,永磁过滤技术受到了广泛的关注和研究,相比其他技术不需要消耗动能及电能,运行时清理金属腐蚀产物效果明显,且具有节水、节能的效果。

研究永磁过滤技术对强磁材料、除垢机理等方面进行了研究,材料方面:材料的要求为剩磁( $B_r \geq 10\text{KGs}$ ;  $B_r \geq 10\text{T}$ );磁感矫顽力( $H_{cb} \geq 8\text{KOe}$ ;  $H_{cb} \geq 700\text{KA/m}$ );内禀矫顽力( $H_{cj} \geq 13\text{KOe}$ ;  $H_{cj} \geq 1100\text{KA/m}$ );最大磁能积( $BH_{\text{max}} = 280\sim 300\text{KJ/m}^3$ );工作温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ 。在以上的条件下我们选择强磁材料NdFeB材质,此材质具有磁力强(可吸起自身重量的640倍),耐高温(可耐 $120^\circ\text{C}$ ),长期使用不退磁,不腐蚀(316不锈钢制作),运行中不需要任何操作等优点。钕铁硼磁铁(NdFeB材质)是目前发现商品化性能最高的磁铁,拥有极高的磁性能。其最大磁能积( $BH_{\text{max}}$ )高过铁氧体(Ferrite)10倍以上,工作温度最高可达500摄氏度,质地坚硬,性能稳定,性价比高。设备可选用8000~20000高斯的永磁材料,磁通密度约0.4T。结合高密度错磁技术可以保证磁性颗粒去除率达到90%以上。除垢机理反面:采用电动清除结构,实现自动冲洗功能。利用永磁过滤器提升技术,将永磁棒提起,让磁棒外面的导杆杂质掉落在水中。利用系统的压力将杂质冲洗。其中磁棒提升部分包括:提升板、磁棒、丝杠、导杆、减速机、电机、上筒体、顶板、上限位、下限位等。提升板与磁棒连接,需实现磁棒整体提升和插入;提升板通过丝杠和导杆控制完成提升和下降,需保证升降平稳;丝杠通过减速机和电机驱动,需保证合理的升降速度;磁棒提升装置,需通过改变电机的转向完成升降功能。自动冲洗功能使设备运行中不需要消耗动力及电能,运行时没有压差上升问题,可随时清理,仅需要少量的水,具有节水、节能效益。

自动清洗型热网回水净化装置串接在管道上,由许

多根除铁棒组成，水是沿着除铁棒纵向流过，因此，接触面积大，除铁效率高。而传统的除铁棒不但不能串接在管道上，并且水是横向流过，接触面积很小，除铁效率低。自动清洗型热网回水净化装置另一个特点是，与普通的覆盖过滤器相同，投运一个周期后可随时“反洗”。可自动控制，也可手动控制。

热网回水净化装置在120℃以下长期使用不退磁，不腐蚀（不锈钢制作），10年不用更换磁芯。设备运行过程中，从进水阀下部进水，出水阀上部出水；反洗时，从出水阀进水，从排污阀排出铁锈。以下为设计及运行情况。



设计图片

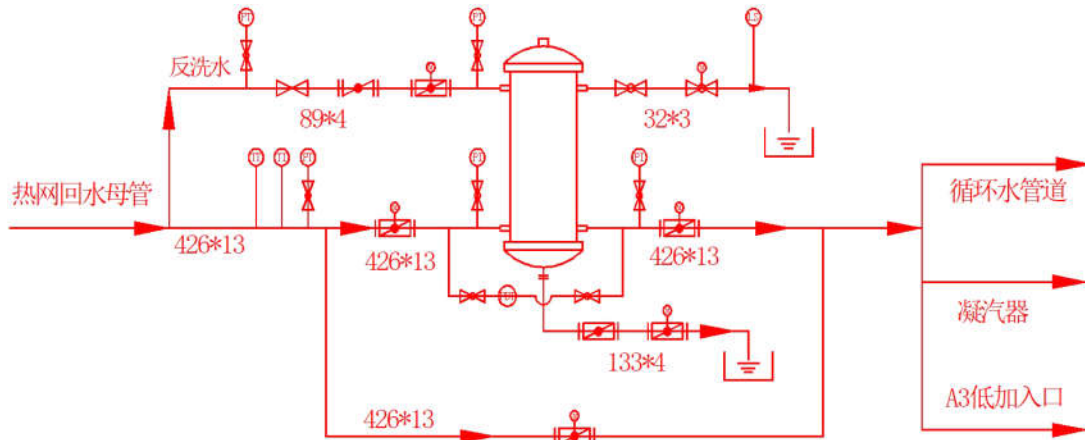


设备运行效果图

## 6 热网回水品质优化装置的应用

根据现有供热系统运行情况，我们可在1、2号热网

疏水母管上各加1套除铁过滤装置，系统如下（以设计图为准）：



热网回水系统图

供热投运时，在供热管道预暖、供热系统管道冲洗阶段，除铁过滤装置。除铁过滤器前后电动门开启、旁路门关闭，供热疏回水通过除铁过滤器，除去回水中携带的含铁杂质，促使回水品质快速达到回收值，缩短冲洗时间，加速供热投运进程。除铁过滤器装置能连续吸附疏回水中的微米级杂质铁。

提高再生吸附能力。同时设置反洗和旁路功能，当吸附达一定程度时还能通过在线冲洗。

防止供热加热器等设备突然泄漏等突发事件。降低水质不合格风险、限供热事件发生，保障供热安全稳定。

保证供热初期系统投运时机组汽水平衡。后续方案

设计中可以将冲洗期间的疏水直接接入凝汽器。综上所述，在供热机组增加除铁过滤器效果较为显著，优势较为明显，可在同类型机组或结合机组实际进行改进、具备推广价值。

## 7 预期效果

### 7.1 含铁量参数预期

将热网疏水含铁量控制在 $10\mu\text{g/L}$ 以下，达到稳定除铁的目的。

### 7.2 经济性预期（节能降耗）

#### 7.2.1 节约除盐水。

除铁器装置安装前，冲洗水外排。从往年投运经



验, 供热疏水回收管路从预暖到冲洗完成48小时, 冲洗流量约400t/h, 则需外排水量:

$$Q1 = q \cdot t = 400 \text{t/h} \cdot 48 = 19200 \text{t};$$

除铁器装置安装后, 供热疏水回收供热疏水回收管路从预暖到冲洗完成12小时, 冲洗流量约400t/h, 则需外排水量:

$$Q2 = q \cdot t = 400 \text{t/h} \cdot 12 = 4800 \text{t};$$

反冲洗一次约30min, 反冲洗流量约30t/h, 即反冲洗需用水:

$$Q3 = q \cdot t = 30 \text{t/h} \cdot 0.5 \text{h} = 15 \text{t}。$$

由上可知, 除铁器投运可节约外排水 $\Delta$ :

$$Q = Q1 - Q2 - Q3 = 19200 \text{t} - 4800 \text{t} - 15 \text{t} = 14385 \text{t};$$

除盐水按20元/t计算, 可节省直接经济成本:

$$E1 = 14385 \text{t} \cdot 20 \text{元/t} = 28770 \text{元};$$

7.2.2 减少热能损失。

因管道冲洗使用的供热疏水为80°C左右, 可减少热能损失:

$$\Delta W = cm \Delta t = 4200 \text{J} / (\text{kg} \cdot \text{C}) \cdot 14385 \text{t} \cdot (80 \text{C} - 60 \text{C}) = 3.74 \text{GJ};$$

折合标煤为:

$$M = 3.74 \text{GJ} / 29271 \text{kJ/kg} = 127.8 \text{kg};$$

即可节省标煤127.8kg。

## 8 结束语

该发电公司通过大胆探索实践, 对火电机组热网回水品质优化开展了研究并在公司内部应用, 总结出一套确实可行的工程案例, 不仅减低了热网回水的含铁量, 而且防止高品质水质外排, 实现了火电机组汽水平衡。该工程的成功实施, 是国内火电机组热网回水品质优化的一次创新突破, 为大范围推广应用热网回水净化装置提供了成熟的工程案例, 为国内同行提供了实用参考素材。

## 参考文献

- [1] 《水处理设备 技术条件》JB 2932-1999;
- [2] 《钢制焊接常压容器》NB/T 47003.1-2009;
- [3] 《电厂用水处理设备验收导则》DL/T 543-2009;
- [4] 《水处理设备性能试验》GB/T 13922-2011;
- [5] 《化工设备、管道外防腐设计规范》HG/T 20679-2014;
- [6] 《压力容器涂敷与运输包装》JB/T 4711-2003;
- [7] 《橡胶衬里化工设备设计规范》HG/T 20677-2013;
- [8] 《发电厂化学设计规范》DL 5068-2014;