



移动扫码阅读

徐科,韦康,唐桦,等.数据可视技术在1 000 MW机组高加水位波动分析中的应用[J].能源环境保护,2022,36(2):15-21.

XU Ke, WEI Kang, TANG Hua, et al. Application of data visualization technology in analysis of level variation of HP Heater of 1 000 MW supercritical unit[J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(2): 15-21.

数据可视技术在1 000 MW机组高加水位波动分析中的应用

徐科,韦康,唐桦,陈斌,李峥磊,刘建东,杜洋洋

(上海外高桥第三发电有限责任公司,上海200137)

摘要:针对上海外高桥第三发电有限责任公司#8机组六号高压加热器在低负荷工况的水位波动问题,利用Python的Pandas模块将厂级信息监控系统(SIS)中10年的运行数据按照年份分组并进行可视化处理,通过水位、进水温度、出水温度、疏水温度等参数的变化趋势分析了六号高加水位的变化规律。结果表明:疏水温度、进水温度是影响液位波动的主要因素,进水温度过高是低负荷工况下高加水位波动的主要原因。为有效解决低负荷工况下的六号高加水位波动问题,建议在实际运行中减少给水泵入口的热源引入以降低进水温度。

关键词:数据可视化技术;高加;疏水温度;进水温度;水位波动;Pandas

中图分类号:X773

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)02-0015-07

Application of data visualization technology in analysis of level variation of HP Heater of 1 000 MW supercritical unit

XU Ke, WEI Kang, TANG Hua, CHEN Bin, LI Zhenglei, LIU Jiandong, DU Yangyang

(Shanghai Waigaoqiao No.3 Power Plant Co., Ltd., Shanghai 200137, China)

Abstract: In order to study the level variation of No.6 HP (high pressure) Heater in Unit 8 during low load in the Shanghai WaiGaoQiao No.3 Power Plant, the Pandas module of Python was introduced to group and visualize the 10-year operation data from supervisory information system(SIS) in plant level. The variation law of water level of No.6 HP Heater was analyzed based on the variation trends of parameters such as water level, inlet temperature, outlet temperature, and drainage temperature. The results showed that the drainage temperature and inlet temperature were the main factors affecting water level fluctuation. The increased inlet water temperature was the main reason of water level fluctuation under low load. In order to effectively solve the problem of water level fluctuation under low load conditions, it was suggested to reduce the introduction of heat at the inlet of feed pump during operation to reduce the inlet temperature.

Key Words: Data visualization technology; HP Heater; Drainage temperature; Inlet temperature; Level variation; Pandas

0 引言

回热系统是火电厂热力系统的核心,其运行可靠性和经济性直接影响整个机组的经济性^[1-6]。

加热器作为回热系统的主要设备,分为混合式(接触式)和表面式两类。在现代火电厂中,除氧器采用混合式加热器,高压加热器和低压加热器一般采用表面式加热器^[7-8]。

1 给水系统介绍

上海外高桥第三发电有限责任公司#8 机组于2008年6月投产,建设期间集成了众多创新技术,其中包括单列高压加热器布置、单台给水泵布置等技术,详见图1。

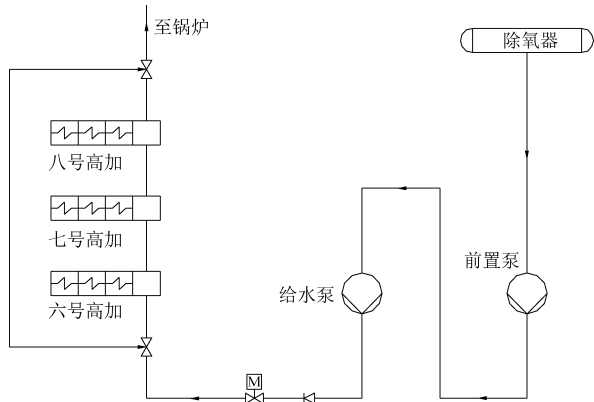


图1 给水系统图

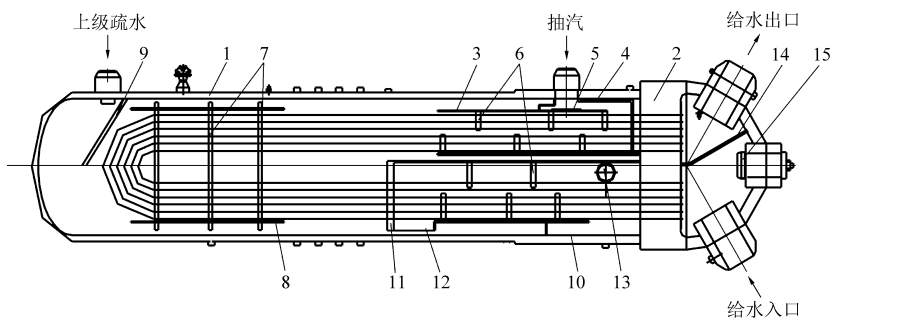
Fig.1 Diagram of feed water supply system

给水从除氧器出发,经过前置泵、给水泵升压后,依次经过六号高加、七号高加、八号高加,在这些高加内部给水被对应的抽汽加热,最终流向锅炉。

1.1 高加结构介绍

高加分水侧和汽侧两部分,水侧由受热面管束的管内部分和水室所组成,汽侧由加热器外壳及管束外表面空间组成。水侧介质为给水,其压力、温度参数为给水泵出口的参数;汽侧介质为抽汽以及其冷却产生的疏水,其压力、温度参数为抽汽运行参数,因此汽侧压力大大低于水侧压力。加热蒸汽进入汽侧后,在导流板引导下成S形均匀流经全部管束外表面进行放热,最后冷凝成疏水由加热器疏水口排出。

外三#8 机组三台高加都采用U型管板式换热器,这种结构的换热器结构简单,外形尺寸小,水阻小。



1—筒体;2—管板;3—过热段包壳;4—过热段外包壳;5—不锈钢防冲板;6—导流板;7—支撑板;8—拉杆;
9—防冲板;10—疏水段包壳;11—疏水段端板;12—疏水段入口;13—疏水段出口;14—水室分隔板;15—人孔

图2 高加结构示意图^[1]

Fig.2 Schematic diagram of HP Heater^[1]

1.2 高加水位测量原理

外三高加采用单室平衡容器测量高加水位,差压计的测量值按图3为^[9]:

$$\Delta p = \rho_1 g L - [\rho' g H + \rho'' g (L - H)] \quad (1)$$

由此可计算得到高加水位 H 为:

$$H = \frac{[(\rho_1 - \rho'') g L - \Delta p]}{[(\rho' - \rho'') g]} \quad (2)$$

Δp ——高加水位的差压,Pa;

L ——高加水位最大测量范围,m;

H ——以最低水位为基准的高加水位高度,m;

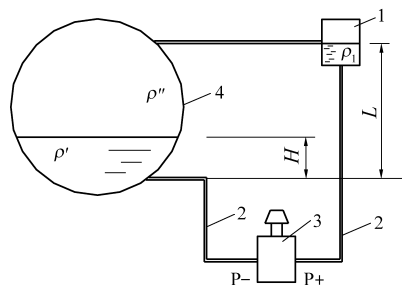
ρ' 、 ρ'' 、 ρ_1 ——分别为高加内饱和水、饱和蒸汽

和平衡容器内水的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 。

1.3 高加水位控制

高加设备在运行中需要控制水位。水位过



1—单室平衡容器;2—取压导管;3—差压计;4—高加

图3 高加水位测量图

Fig.3 The measuring principle of water level of HP Heater

低,疏水无法淹没疏水段入口,此时饱和蒸汽将进入疏水段和管道,会造成疏水段和管道的振动,影响设备和系统的安全运行,也影响机组的经济性。

水位过高,一方面造成换热管束的淹没,减少了饱和蒸汽和给水的换热面积;另外一方面也不利于汽轮机的防进水保护^[10-17]。因此制造厂一般都会给出一个合理的水位运行区间。

2 #8 机组六号高加水位波动缺陷

2.1 六号高加正常运行水位

根据制造厂提供的设计资料(图 4),将正常水位设置为 0 水位,按此设置,低水位为-38 mm,高Ⅰ水位为 38 mm,高Ⅱ水位为 88 mm,高Ⅲ水位为 138 mm。

2.2 六号高加实际水位运行情况

图 5 为#8 机组 2021 年 7 月 4 日至 2021 年 7 月 6 日期间的负荷和六号高加运行水位曲线。不

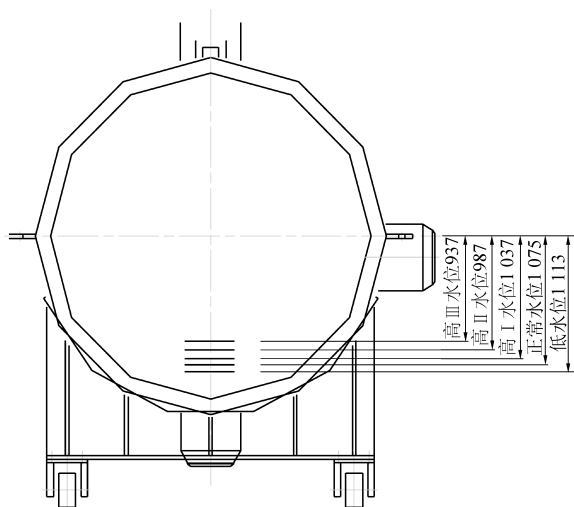


图 4 六号高加水位设置图

Fig.4 Level design of No.6 HP Heater

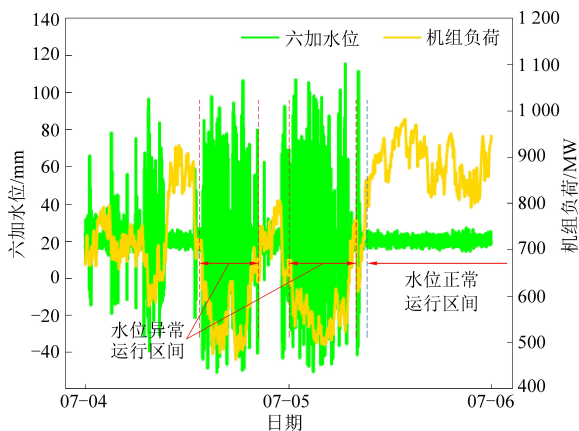


图 5 2021 年 7 月 4 日~7 月 6 日期间六号高加水位随负荷波动曲线

Fig.5 The level variation of No.6 HP Heater with load during 2021.07.04~2021.07.06

难发现,高负荷阶段(800 MW 以上)时六号高加水位控制比较正常,在+20 mm 左右波动。但是当负荷降低至 800 MW 以下后,六号高加水位马上出现大幅波动情况(-50 mm~+100 mm),严重影响设备的安全运行。

3 六号高加水位变化数据分析

汽机专业利用 SIS 系统汇总了 2011~2020 年的运行数据,通过 Python 的 Pandas 模块将这些运行数据按照年份切块及可视化处理^[18],找出水位变化的起始年份以及引起水位波动的原因。

3.1 六号高加水位波动的发生时间

根据 2011~2020 年六号高加水位变化(图 6),不难发现从 2015 年开始 400 MW 负荷阶段六号高加水位出现发散,从 2017 年开始加剧,而且年份越往后,发散程度越加剧。随着时间的往后,出现水位波动的负荷也逐渐增加,2017 年时,发生水位波动的最大负荷约为 650 MW,至 2020 年时,发生水位波动的最大负荷约为 800 MW。

3.2 六号高加相关温度参数变化情况

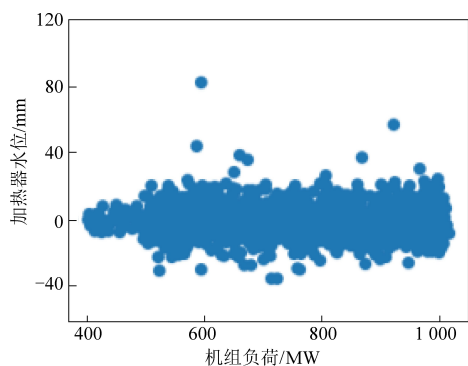
进一步分析,由于六号高加水位只是在低负荷阶段呈现发散的情况,因此可以排除换热管泄漏,而且每次检修都会检查高加换热管的泄漏情况,一旦发现,都会及时封堵。

因此分析主要针对六号高加相关的进水温度、出水温度、疏水温度、七号高加疏水温度等参数展开。

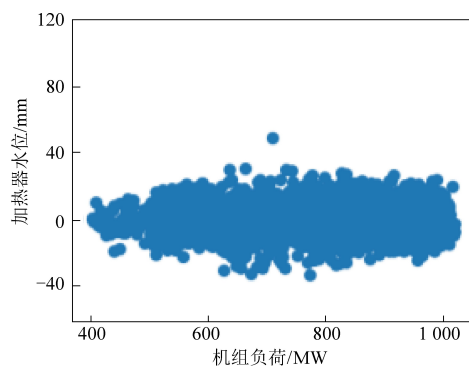
3.2.1 六号高加疏水温度变化情况

结合这十年的运行数据(见图 7),从 2013 年开始六号高加疏水温度逐渐偏离其热平衡图对应的疏水温度曲线,并且在低负荷阶段逐渐靠近六号高加抽汽压力对应的饱和温度,也即意味着在低负荷阶段,疏水产生汽化现象,导致水位波动。

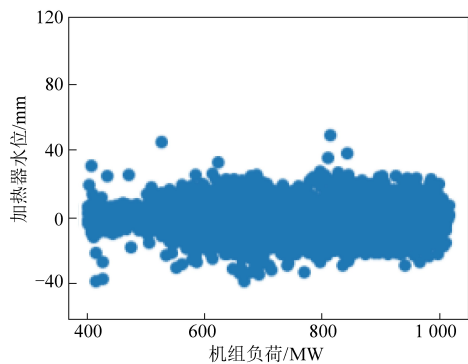
从 2017 年开始,六号高加疏水发生汽化的负荷段逐渐上升,这与图 6 中发生水位波动的最大负荷值逐渐上升相吻合。



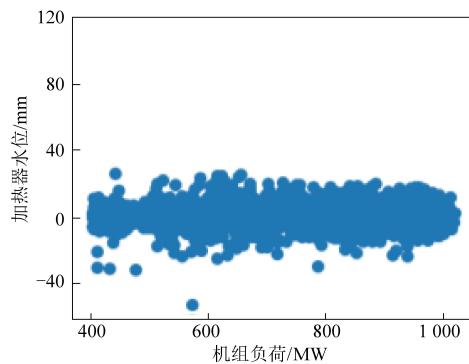
(a) 2011年



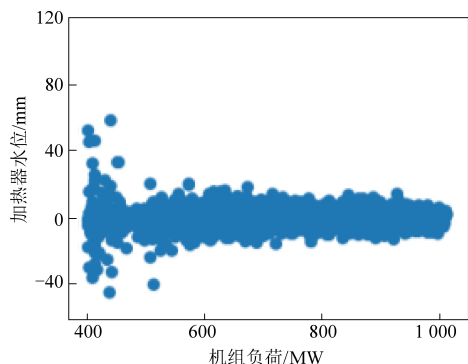
(b) 2012年



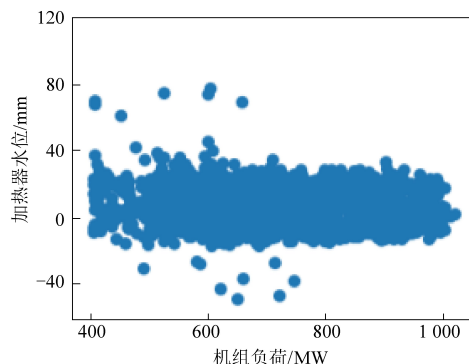
(c) 2013年



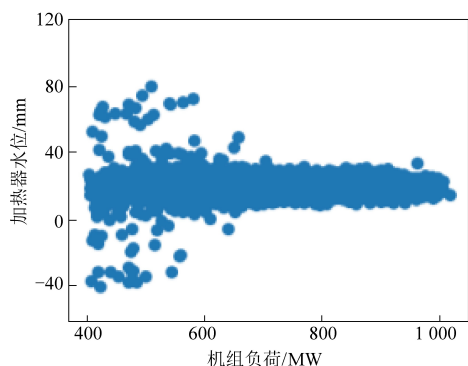
(d) 2014年



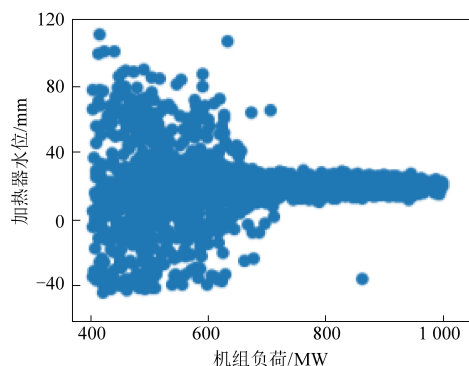
(e) 2015年



(f) 2016年



(g) 2017年



(h) 2018年

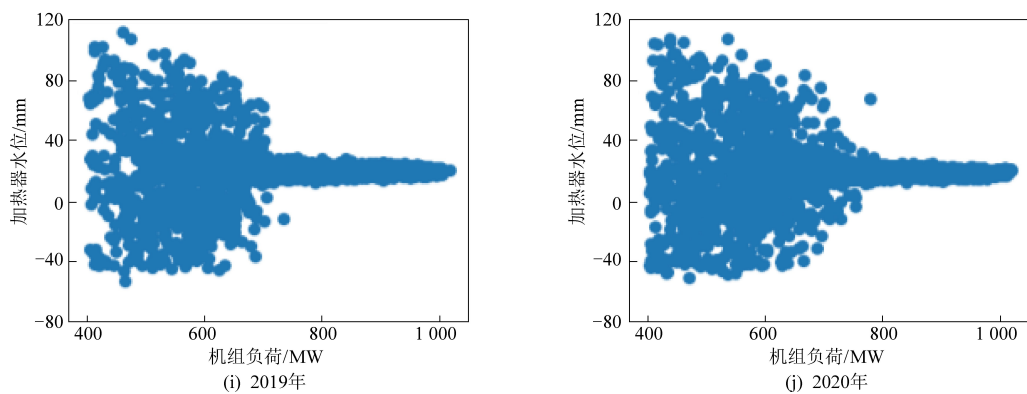
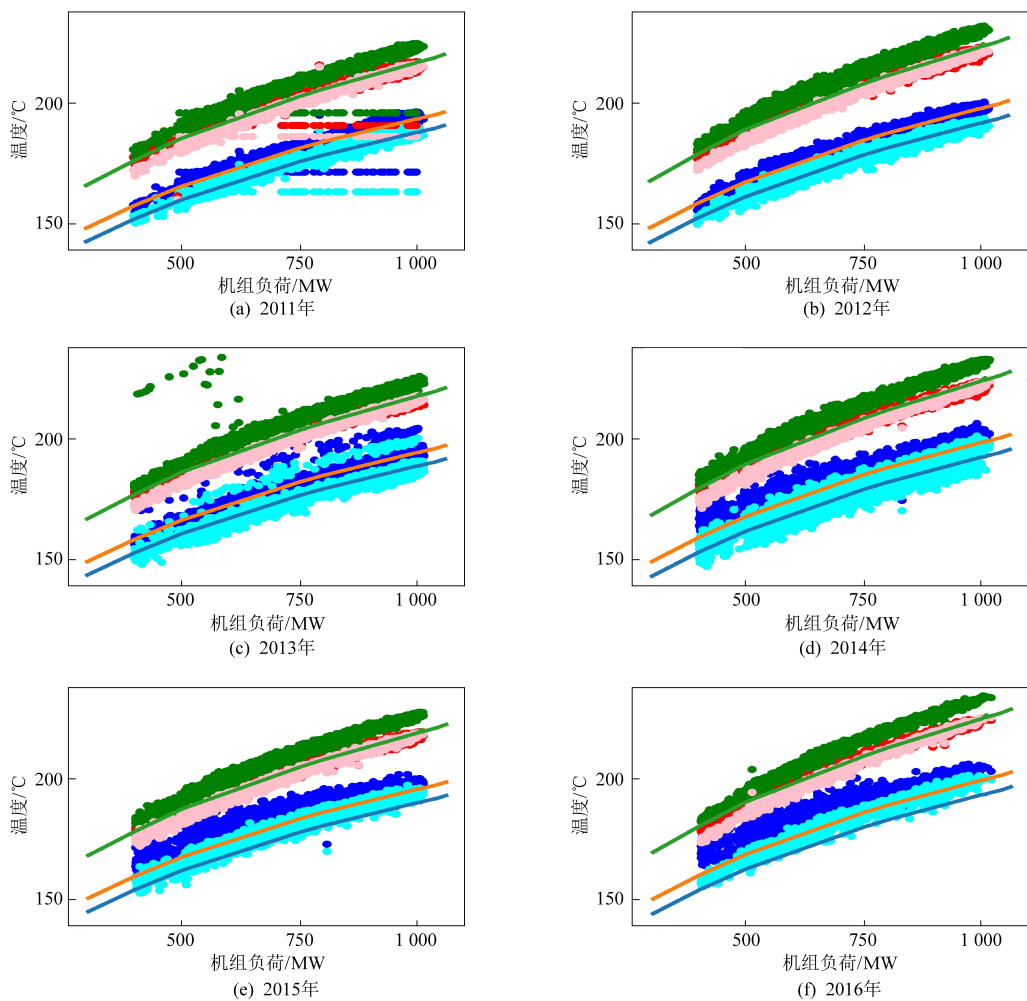


图 6 2011~2020 年六号高加水位随负荷变化图

Fig.6 The level variation of No.6 HP Heater with load between years 2011~2020



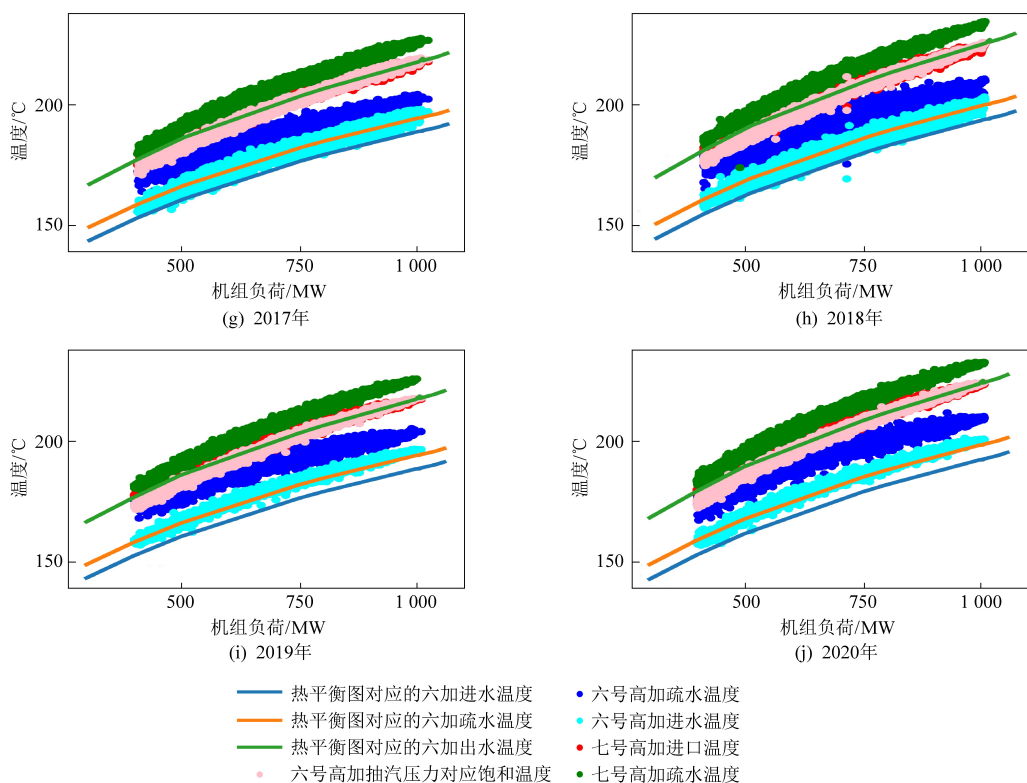


图7 2011~2020年六号高加相关温度参数随负荷变化图

Fig.7 The related temperature changes of No.6 HP Heater with load between years 2011~2020

3.2.2 六号高加进水温度变化情况

结合图7和图8,不难发现从2013年开始,六号高加进水温度逐渐升高,至2019年时,六号高加进水温度平均值甚至超过热平衡图中对应的六号高加疏水温度(图8中蓝色曲线),也即意味着进水温度平均值至少提高5.6℃(5.6℃为疏水温度与进水温度的设计端差)。

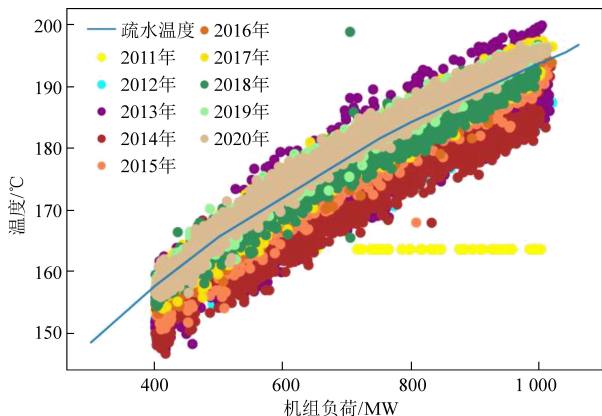


图8 2011~2020年六号高加进水温度参数随负荷变化图

Fig.8 The inlet water temperature changes of No.6 HP Heater with load between years 2011~2020

3.2.3 六号高加其他相关温度变化情况

六号高加出水温度、七号高加疏水温度、六号高加抽汽压力对应的饱和温度在2011~2020年中

基本保持稳定。

3.2.4 六号高加水位波动原因分析

结合六号高加相关温度参数的分析,可以推断,六号高加进水温度升高是导致六号高加水位波动的主要原因。

六号高加进水温度升高后,在换热端差存在的情况下,六号高加疏水温度会不可避免地提高。特别是低负荷阶段,此时由于六号高加抽汽压力降低,其对应的饱和温度和六号高加疏水温度之间的差值明显减小,因此升高后的六号高加疏水温度更易接近甚至超过六号高加抽汽压力对应的饱和温度,引起疏水的汽化,产生虚假水位,并且降低了疏水阀的通流能力。一旦汽化完成,疏水又恢复过冷态后,六号高加水位也因为汽泡的挤出以及疏水阀通流能力的恢复,水位快速下降,由此造成六号高加水位的大幅波动。

4 #8机组六号高加水位波动解决措施

通过前面分析,解决六号高加水位的波动主要是降低六号高加的进水温度。因此相应措施围绕如何降低六号高加的进水温度展开。

进一步检查分析发现,在此前进行的提高热力系统经济性的改造中,曾为给水泵入口侧增加

了一路热源。经与现场运行人员的沟通,于 2021 年 7 月 8 日下午 13:00 左右开始,减少了该路热源的注入量。经过几天的运行发现,低负荷阶段六号高加水位的波动情况得到了明显的改善,见图 9。

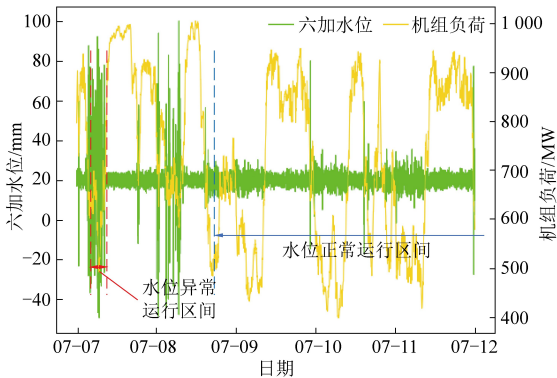


图 9 2021 年 7 月 7 日~7 月 12 日六号高加水位随负荷波动曲线

Fig.9 The level variation of No.6 HP Heater with load during 2021.07.07~2021.07.12

5 结 论

通过利用 Python 的 Pandas 模块将 10 年的运行数据进行分组及可视化,分析六号高加水位以及六号高加相关温度参数的变化趋势,找出了引起六号高加水位变动的原因。

六号高加水位波动的直接原因是六号高加疏水雾化引起的。在部分负荷工况,六号高加疏水温度超过六号高加抽汽压力对应的饱和温度,产生雾化现象。

六号高加疏水温度升高是由于六号高加进水温度升高引起的。因此六号高加进水温度升高是导致六号高加水位波动的主要原因。

给水泵入口热源的引入是导致六号高加进水温度升高的直接原因。因此在今后的技改实施中,要评估相关热源对于高加进水温度和疏水温度的影响。

参考文献

- [1] 郑体宽. 热力发电厂 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 127.
- [2] 童钧耕. 工程热力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 307-313.
- [3] Gilberto Francisco Martha de Souza. Thermal power plant performance analysis [M]. London: Springer, 2012: 32-37.
- [4] José Martín Medina-Flores, Martín Picón-Núñezb. Modelling the power production of single and multiple extraction steam turbines [J]. Chemical Engineering Science, 2010, 65 (9): 2811-2820.
- [5] Xianglong Luo, Bingjian Zhang, Ying Chen, et al. Modeling and optimization of a utility system containing multiple extractions steam turbines [J]. Energy, 2011, 36 (5): 3501-3512.
- [6] 杨振华. 火电站的给水回热系统 [J]. 电站系统工程, 1991 (3): 22-28.
- [7] 叶涛. 热力发电厂 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 68-81.
- [8] 刘志祥. 给水加热器布置形式研究 [J]. 电站辅机, 2008, 29 (3): 1-4.
- [9] 叶江祺. 热工测量和控制仪表的安装 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 72-73.
- [10] 林万超. 火电厂热系统节能理论 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1994: 22-33.
- [11] 黄新元. 热力发电厂课程设计 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 5-7.
- [12] 史健. 汽轮机高加水位不稳定的原因及解决方法 [J]. 能源研究与利用, 2020 (3): 44-46.
- [13] 陈长和, 张大壮, 郭勇, 等. 超超临界机组高加水位测量偏差分析与处理 [J]. 仪器仪表用户, 2020, 27 (12): 100-103.
- [14] 陈晓. 二期高加水位保护和测量系统设计改进方案 [J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8 (2): 43-44+59.
- [15] 龙开靓, 吴佳焱. 高加液位稳定性改良方法 [J]. 机电产品开发与创新, 2020, 33 (4): 76-78+111.
- [16] 傅浩. 600 MW 火电厂高加水位控制及高加解列应对措施 [J]. 电力安全技术, 2020, 22 (4): 67-69.
- [17] 曾海波, 龚自力, 肖波. 超超临界机组高压加热器水位补偿研究 [J]. 浙江电力, 2018, 37 (4): 93-96.
- [18] Wes McKinney. Python for data analysis [M]. Cambridge: O' Reilly Media, Inc., 2017: 288-296.