

闭式水余热利用在水处理工艺中的应用优化

李恒圆, 赵鹏飞

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司, 江苏 盐城 224500

摘要: 随着全球能源危机的日益加剧和环境保护要求的不断提高, 提高能源利用效率成为当务之急。闭式水系统在电厂生产中广泛应用, 其携带的余热具有巨大的利用潜力。本文对闭式水余热利用优化深入探究, 分析了当前闭式水余热利用的现状及存在的问题, 提出了一系列优化策略, 并通过实例验证了优化方案的可行性和有效性。旨在为提高闭式水余热利用效率、降低能源消耗、实现可持续发展提供理论依据和实践参考。

关键词: 闭式水; 余热利用; 水处理; 优化策略; 可持续发展

Application Optimization of Closed - Loop Water Waste Heat Utilization in Water Treatment Process

Li Hengyuan, Zhao Pengfei

GCL - SPIC Binhai Power Generation Co., Ltd. Yancheng, Jiangsu 224500

Abstract: With the increasing global energy crisis and the continuous improvement of environmental protection requirements, improving energy utilization efficiency has become an urgent task. The closed - loop water system is widely used in power plant production, and the waste heat it carries has huge utilization potential. This paper conducts an in - depth exploration of the optimization of closed - loop water waste heat utilization, analyzes the current status and existing problems of closed - loop water waste heat utilization, and proposes a series of optimization strategies. The feasibility and effectiveness of the optimization scheme are verified through examples. It aims to provide a theoretical basis and practical reference for improving the utilization efficiency of closed - loop water waste heat, reducing energy consumption, and achieving sustainable development.

Keywords: closed - loop water; waste heat utilization; water treatment; optimization strategy; sustainable development

引言

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司2×1000MW超临界燃煤机组, 在2021年10月投运闭式水余热利用系统, 该系统设置1台余热利用装置, 包括变频闭式水增压泵、变频生水增压泵、板式换热器、相关阀门及流量、温度测点组成。余热利用装置可以按需要投至单台机组运行, 在生水温度低至25℃以下时用于对化学水处理生水的加热保证超滤、反渗透产水的效率, 相较于蒸汽加热生水, 利用闭式水的热量加热生水更加节能, 也可降低机组闭式水依靠循环水冷却的换热需求。水处理系统采用管式换热器和板式换热器、盘式过滤器、超滤、反渗透、一级除盐和混床的处理工艺满足超超临界直流锅炉除盐水补水水质要求。

一、闭式水余热利用主要有以下优点:

1. 水质要求高: 闭式水系统采用化学除盐水作为工质。除盐水经过了一系列的化学处理, 去除了水中的大部分杂质、盐分和离子等, 水质纯度高, 这样可以避免在管道和换热器等设备内部形成水垢、沉淀物等, 减少对设备的磨损和腐蚀, 保证系统的稳定运行。^[1]

2. 运行温度稳定: 闭式水的运行温度通常在一定范围内保持稳定。例如, 供水温度约为35℃左右, 最高不高于38℃, 回水温度一般升高8-10℃, 在43-48℃。这种相对稳定的温度有利于设

备的正常运行和散热, 不会因为水温过高或过低对被冷却设备造成不良影响。

3. 系统压力稳定: 闭式水系统有专门的闭式冷却水泵为其提供动力, 使系统内的水保持一定的压力。^[2]例如, 泵出口压力通常维持在较高水平, 以确保水能顺利输送到各个被冷却设备, 满足设备的冷却需求。在正常运行过程中, 闭式水系统的压力波动相对较小, 这是因为系统的封闭性和水泵的稳定运行共同作用的结果。稳定的压力有助于保证水流量的稳定, 从而保障设备的冷却效果。

4. 热量回收利用: 闭式水在冷却设备的过程中会吸收设备散

作者简介: 李恒圆(1984.05-), 男, 汉族, 河南省邓州市, 大学本科, 工程师, 从事火力发电厂化学运行及节能减排。

发的热量，水温会升高，这部分余热可以通过一定的技术手段进行回收利用。例如，可以利用闭式水的余热来加热凝结水，提高机组的热效率，降低能源消耗。闭式水系统是一个封闭的循环系统，水在系统内不断循环使用，与开式水系统相比，减少了水的蒸发损失和排放，节约了水资源。

二、闭式水余热利用在生产应用过程中出现的问题

1. 闭式水余热系统的频繁启停对闭式水压力产生扰动。

2. 制水量和负荷不匹配，影响余热利用的发挥。如高负荷时不制水，闭式水余热无法有效利用，或者低负荷时双列制水（尤其是切至1号机运行时），生水无法被加热到28-30℃，造成反渗透出水率低。

3. 反渗透膜进水温度升高1℃，膜的渗透性提高了7%，且乙酸纤维素膜适用4℃~35℃，为保证产水量，应保证进水温度稳定，减少波动。

4.1、2号机循环水管道的布置方式导致在联络运行期间循环水在两台机之间的分配不均。而闭式水余热利用可以适当改进这种不平衡的现象。

5. 相同工况下2号机的闭式水较1号机闭式水发热量大，闭式水热交换器需要的循环水量大，进一步导致两台机组凝汽器换热循环水量偏差，导致机组真空2号机低于1号机。

6. 水处理系统自身逻辑控制，超滤装置每40分钟进行反洗操作，反洗时间约4分钟，反洗时开回流泵，将多余的水通过回流管回流至化学水池，回流管道设计回水量仅为单台超滤产水量的50%，快速降生增压泵的频率，致使超滤进水温度升高，无法满足制水稳定性的要求。

7. 深冬时生水水温仅有6℃，超滤装置在反洗时、投运时，闭式水余热利用增压泵的频率增幅较快，对闭式水温度影响较大，对机组的安全稳定运行带来风险。^[3-4]

三、对存在的问题优化分析

1. 水处理工艺进水温度要求25至30℃，温度越低，膜渗透性差产水量越小，温度越高，渗透性好产水量越大。但当温度高于35℃时，反渗透膜变得不稳定，且影响反渗透使用寿命。目前我厂余热系统控制超滤装置进水水温28℃左右。

10月至5月原水水温较低，需要加热处理。



结合热力学公式 $Q = mc\Delta T$ ，利用余热利用相比辅汽加热生水每年可节省标煤1324.8吨标煤。（Q表示热量，m表示质量；c表示水的比热容4200焦/千克·摄氏度， ΔT 表示水的温度变化量）。^[5-6]

2. 因为循环水管道布置的差异，2号机的循环水进水管阻要明显大于1号机组，在冬季两机两泵期间2号机的凝汽器入口压力明显低于1号机，在循环水回水蝶阀开度一致的情况下导致循环水在两台机组中的分配产生差异，2号机循环水量低于1号机的循环水量，两机三泵（1号机两台）期间这种现象会更加明显，考虑到循环水母管压力高会造成循泵（混流泵压力高电流高）电流高，我们会将凝汽器入口压力高的机组循环水回水蝶阀开大，这进一步造成循环水量分配的不均。

| 循环水联络运行 | 1号机回水门开度 / 凝汽器入口压力 | 2号机回水门开度 / 凝汽器入口压力 |
|-------------|--------------------|--------------------|
| 两机两泵 | 31%/88kPa | 31%/83kPa |
| 两机三泵(1号机两台) | 45%/93kPa | 45%/86kPa |
| 两机三泵(2号机两台) | 45%/86kPa | 45%/85kPa |

综上所述，循环水联络运行期间循环水在两台机组的分配不均始终是始终存在的，2号机循环水量低于1号机的循环水量，只有在联络运行2号机多启动一台循泵的条件下才有明显改善。我们只需适当改变机组对循环水量的需求，循环水的主要用户由凝汽器和闭式水热交换器，凝汽器中循环水的量根据负荷来定，我们无法干预。闭式水热交换器所需的循环水量是可以闭式水余热利用进行适当调整。

3. 自2021年余热利用投运后，制水（生水）和负荷（耗水）的运行方式依旧按照除盐水箱水位的控制思路调整，导致制水工艺投、退相对无序，无法充分利用闭式水余热系统，节能降耗。

4. 提高余热利用效率，通过实际数据对比判断适合投至哪台机组。

5. 减少余热利用系统的运行电耗，部分工况可停运生水增压泵，根据机组负荷情况和闭式水温，择机单列制水。

四、优化对策

1. 利用闭式水加热生水不仅可以减少闭式水热交换器循环水的用量，还可以提高反渗透膜的出水率，是一把双刃剑，应在生水不超28℃的情况下尽可能投入余热利用运行。

2. 为减小因循环水分配不均造成的影响，且2号机闭式水热交换器的进水温度较1号机的高，闭式水余热利用正常情况下切至2号机运行，更容易满足生水加热要求，更节省制水电耗。

3. 机组负荷具有周期性和可预见性，应根据负荷情况决定制水方式，在全厂负荷小于140万时期间选用不制水或单列制水的方式，在全厂负荷大于140万时期间选择单列制水或双列制水方式。^[7-8]

4. 在两机两泵循环水联络运行方式时，升负荷启动第三台循环水泵时优先启动2号机的循环水泵以弥补2号机相对较高的管道阻力损失。

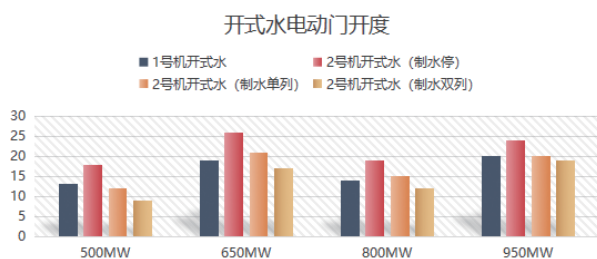
5. 充分利用闭式水余热系统提高产水量，在超滤进水泵出口母管温度 < 25℃，投运闭式水余热利用系统；生水增压泵出口侧温度 > 25℃，退出闭式水余热再利用系统。

6. 闭式水余热系统投运后，超滤进水泵频率设定 45Hz，联系热控将 1、2 号超滤进口调节阀开度设定由 50% 降至 40%，确保自清洗过滤器的反洗压正常，生水增压泵频率手动位调至 27Hz；闭式水增压泵自动位，设定温度 28℃ 自动调节。^[9]

五、效果展示

1. 通过余热利用将负荷和制水相关联，有序制水可充分发挥余热利用的作用，保证生水出口温度的同时又减少了闭式水对循环水冷却量的要求。

2. 余热利用投至 2 号机组可以减小循环水在机组之间分配不均的偏差。稳定工况下使得 2 号机的开式水用量减小，进入凝汽器循环水量增加。对比投余热利用的效果，以 5 月份为例。



3. 稳定工况下闭式水温调节阀和热交换器开式水电动门开度的统计关系。

| 机组负荷/MW | 热交换器开式水电动门开度 | 闭式水温调节阀 |
|---------|--------------|---------|
| 900 | 30% | 80% |
| | 25% | 20% |
| 700 | 28% | 90% |
| | 20% | 20% |
| 650 | 22% | 80% |
| | 16% | 10% |
| 500 | 17% | 80% |
| | 12% | 20% |

4. 机组运行中应根据负荷适当调整热交换器开式水侧电动门开度，避免循环水在热交换器中流量过大，造成不必要的浪费。

我厂化学日制水量最大对应的生水量为 5061 吨（双列），生水流量 210t/h。双列运行期间闭式水增压泵变频自动跟踪生水出口温度，设定值 28℃。因流量较大，需要两台化学水泵并联再和生水增压泵串联运行，以保证制水量满足要求。^[10]

单列制水时生水流量 105t/h。单列运行期间闭式水增压泵变频自动跟踪生水出口温度，设定值 28℃。因流量较小，需要两台化学水泵并联即可满足制水量要求，可以停运生水增压泵。

年度可节省电量 $1.732 \times 380 \times 3.6 \times 0.86 \times 1 = 2.0 \text{KJ}$ （年度单列制水时长）

在单列运行且生水入口温度大于 20℃ 的情况下，可以同时停运生水增压泵和闭式水增压泵，生水出口温度也可升至 26℃。

年度可节省电量 $1.732 \times 380 \times 2.2 \times 0.86 \times 1 + 1.732 \times 380 \times 3.6 \times 0.86 \times 1 = 3.2 \text{KJ}$ 。

六、总结

闭式水余热利用是提高能源利用效率、降低能源消耗、实现可持续发展的重要途径。本文通过对闭式水余热利用的现状及其存在的问题进行分析，提出了一系列优化策略，并通过实例验证了优化方案的可行性和有效性。在实际应用中，企业应根据自身的实际情况，选择合适的闭式水余热利用方式，提高余热利用系统的稳定性，加强统一规划和管理，以实现闭式水余热的高效利用。

参考文献

- [1] 杨巨东. 国家电投集团协鑫滨海发电有限公司化学运行规程. 2019.
- [2] 巩耀武, 管丙军. 火力发电厂化学水处理使用技术 (2014 版) [M] 中国电力出版社.
- [3] 王学松, 郑领英. 膜技术 (2013 版) [M] 化学工业出版社.
- [4] 罗海华, 王宝玉, 赵玉柱, 催传涛. 超临界 600MW 机组闭式循环水余热利用的可行性 [J] 热力发电, 2013, 42 (3).
- [5] 陈东, 谢继红. 热泵技术与其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [6] 雷权, 韩颖. 循环水余热回收利用技术在热电厂的应用 [J] 节能, 2014, 384.
- [7] 王讲义, 王刚. 某电厂余热回收制热水的工程实践 [J] 节能, 2011, 30 (7): 79-81.
- [8] 石会群, 高立江. 利用吸热式热泵回收热电厂循环水余热 [J] 电力勘测设计, 2013 (4): 31-36.
- [9] 西安热工院有限公司. 一种电厂闭式水系统水质处理及余热利用的系统及方法. 202210193085.4 [2022-05-27].
- [10] 河南华东工控技术有限公司. 一种工业余热回收利用控制系统. 201810337998.2 [2018-09-18].