

双机回热系统小汽机仪控设计及控制策略研究

林侃, 梁石, 刘宇穗, 王晓雄

引用本文:

林侃, 梁石, 刘宇穗, 等. 双机回热系统小汽机仪控设计及控制策略研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(4): 66-72.

LIN Kan, LIANG Shi, LIU Yusui, et al. Research on Instrument and Control Design and Control Strategy for Small Steam Turbine in Double-Turbine Regeneration System[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(4): 66-72.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

两级除氧器热力系统研究

Research on Thermal System with Double-deaerator

南方能源建设. 2020, 7(4): 98-101 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.015>

给水泵汽轮机排汽采暖供热节能可行性研究

Feasibility Study on FW-Pump Steam Drive Turbine Exhaust Heating Technology

南方能源建设. 2017, 4(z1): 28-30 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.006>

汽轮机回热抽汽系统设计要点分析

Analysis on Main Points of Steam Turbine Regenerative Extraction Steam System Design

南方能源建设. 2018, 5(1): 68-72 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.011>

新型核电机组启停及给水系统控制策略

Control Strategy of Start/Stop and Feed Water System of New Type Nuclear Power Plant

南方能源建设. 2020, 7(2): 127-131 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.019>

采用再热温度630℃的1000 MW新一代超超临界二次再热机组可行性研究

Feasibility Study on 1000 MW New Generation Ultra-supercritical Unit with Double Re-heating Cycles at 630 °C

南方能源建设. 2018, 5(3): 33-41 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.005>

双机回热系统小汽机仪控设计及控制策略研究

林侃[✉], 梁石, 刘宇穗, 王晓雄

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 双机回热系统可以提升机组的能级效率, 如何设计双机回热系统的控制策略并确保其安全、经济、有效一直是我们的重点问题。[方法] 针对双机回热系统的功能要求, 设计了相应的双机回热系统的仪表测点布置方案, 并系统性地提出了双机回热小机的启动、转速控制、系统保护及背压控制的策略。[结果] 该双机回热控制策略已在超超临界1 000 MW机组中成功应用, 可使双机回热控制系统在满足给水转速控制的同时, 也满足双机回热小机的抽汽、排汽, 溢流等协调控制要求, 以确保系统稳定、可靠、经济运行。[结论] 所提出的控制策略, 对后续双机回热系统的控制策略研究具有参考借鉴意义。

关键词: 双机回热系统; 抽汽背压式; 给水泵汽轮机; 控制策略

中图分类号: TM611; TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)04-0066-07

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Instrument and Control Design and Control Strategy for Small Steam Turbine in Double-Turbine Regeneration System

LIN Kan[✉], LIANG Shi, LIU Yusui, WANG Xiaoxiong

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] The double-turbine regeneration system can improve the energy efficiency of the unit. How to design the control strategy and ensure its safety, economy and effectiveness has been the prime focus of our group. [Method] According to the functional requirements of the double-turbine regeneration system, a corresponding the scheme of instrument arrangement of measuring points was designed, and a complete set of start-up, speed control, system protection and back pressure control strategies were put forward systematically. [Result] The control strategy has been successfully applied in a 1 000 MW Ultra Super-critical Pressure Unit, the results show that the control strategy can make the double-turbine regeneration system not only meet the feed water speed control, but also meet the requirements of coordinated control of steam extraction, exhaust and overflow, so as to ensure the stable, reliable and economic operation of the system. [Conclusion] The proposed control strategy has reference significance for further study on control strategy for double-turbine regeneration system.

Key words: double-turbine regeneration system; back pressure extraction steam; boiler feed pump turbine; control strategy

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

随着我国能源形势不断紧张, 火力发电技术的发展和机组参数的不断提高^[1], 机组蒸汽温度、压力和抽汽过热度越来越高, 通过进一步提高机组性能是降低发电煤耗、提高节能减排有效手段^[2]。从20世纪90年代末开始, 包括欧盟、日本、美国和中国在内都开始制定长期的700℃超超临界

发电技术发展计划^[3]。欧洲“Thermie 700计划”的目标是使下一代超超临界机组的蒸汽参数达到37.5 MPa/700℃/700℃, 从而效率可达52%~55%^[4]。为了适应这种高参数的工况, 所要求的系统设备材料特性、等级要求会不断提高, 相应的采购和制造费用将不断增加。为此, 丹麦Dong Energy公司提

收稿日期: 2019-08-09 修回日期: 2021-05-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“百万级机组双机回热技术关键设备开发及系统集成应用研究”(EV03381W)

出并采用的MC (master cycle) 系统^[5], 国内的相关研究机构也提出了一种双机回热的方案: 通过增设一台高参数、大功率的抽汽背压式小汽轮机来替代常规的给水泵小汽轮机, 同时汽轮机中压缸不再设置回热抽汽, 相应的各级回热抽汽由小汽轮机引出, 这样可以大大降低了抽汽的蒸汽温度, 从而降低了工程造价, 提高了安全性。

给水控制调节回路的目的是控制包括喷水量在内的锅炉总给水流量, 以满足当前锅炉输入指令, 在给水主控逻辑中实现锅炉给水流量闭环调节^[6]。现有的给水泵汽轮机仅仅是通过控制泵的转速来满足锅炉给水的需要, 而抽汽背压回热小机的引入, 原有热力系统结构发生了较大的变动, 使用抽汽背压式小汽轮机代替给水泵小汽轮机, 与回热系统的耦合性较强, 而同时必须保证小汽轮机输出功率与给水泵所需功率之间的匹配^[7], 且背压不稳定因素较多, 运行过程中背压的波动范围相对常规背压机要大^[8], 与传统的给水泵汽轮机的控制方式有很大

的区别。本文针对双机回热系统架构下的回热小机控制, 提出一种控制策略, 使得小汽轮机在控制过程中能同时满足给水转速的要求和抽汽、排汽的协调要求。该控制策略已在某超超临界1 000 MW 机组中成功应用, 机组目前运行稳定, 对后续类似工程的实施具有参考意义。

1 双机回热系统介绍

回热小机是用于双机回热系统机组中的变转速、抽汽背压式、给水泵汽轮机, 用于驱动超超临界1 000 MW 等级汽轮发电机组的全容量汽动给水泵。当主汽轮机组负荷的变化, 锅炉蒸发量随之变化, 给水流量亦将发生变化。回热小机通过调节进汽流量来控制转速, 从而改变输出功率, 以满足主汽轮机组在不同工况下锅炉的给水需求。只有当回热小机的转速满足当时汽动给水泵负荷的要求时, 系统才能处于相对稳定的状态。图1是某超超临界1 000 MW 机组双机回热系统方案的配置简图:

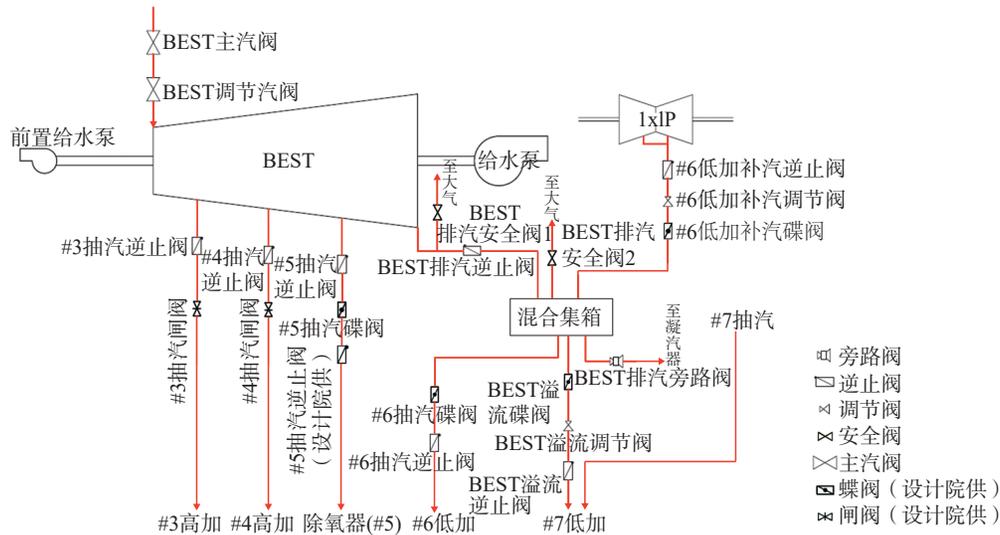


图1 某超超临界1 000 MW 机组双机回热系统方案

Fig. 1 A scheme of double-turbine regeneration system for a ultra-supercritical 1 000 MW unit

该系统的回热小机额定功率为40 MW, 进汽汽源为主汽机的高压缸排汽, 采用3抽1排的功率平衡方案, 即设有三段抽汽, 分别供汽给#3 高压加热器、#4 高压加热器、除氧器, 排汽进入#6 低压加热器。当汽量不足的时候, 可以从中压缸抽汽补充, 当汽量多余时, 则溢流到7#低加。

1.1 系统的阀门设置

为了保证回热小机在各工况的安全可靠和经济

地运行, 需要在相应的管路上配置相应的阀门, 主要有以下6类:

- 1) 回热小机进汽主汽阀和调节阀。
- 2) 回热抽汽逆止阀和隔离阀。
- 3) 排汽逆止阀。
- 4) 溢流和补汽阀。
- 5) 排汽旁路阀。
- 6) 排汽安全阀。

具体的阀门设置详见表1 阀门配置表:

表1 阀门配置表

Tab.1 Valve configuration table

阀门名称	设置位置
主汽阀	进汽管路
调节阀	主汽阀后
#3抽汽逆止阀	#3抽汽管路
#3抽汽闸阀	#3抽汽逆止阀后
#4抽汽逆止阀	#4抽汽管路
#4抽汽闸阀	#4抽汽逆止阀后
#5抽汽逆止阀1	#5抽汽管路
#5抽汽蝶阀	#5抽汽逆止阀1后
#5抽汽逆止阀2	#5抽汽蝶阀后
#6抽汽蝶阀	#6抽汽管路
#6抽汽逆止阀	#6抽汽蝶阀后
排汽逆止阀	排汽安全阀1后
#6低加补汽逆止阀	排汽管路
#6低加补汽调节	#6低加补汽逆止阀后
#6低加补汽碟	#6低加补汽调节后
溢流蝶阀	溢流管路
溢流调节阀	溢流蝶阀后
溢流逆止阀	溢流调节阀后
排汽旁路	旁路管道
排汽安全阀1	排汽管路
排汽安全阀2	混合集箱

其中因为回热小机采用了功率平衡的配置,即回热小机出力与给水泵耗电平衡,排汽进入#6低压加热器。在一定的排汽压力下,排汽过剩时溢流至#7低压加热器,排汽不足时从主汽轮机中压缸抽取蒸汽补充至#6低压加热器,因此在回热小机排汽端设置了溢流调节阀和#6低加补汽调节阀,通过调节这两个阀门的开度,可以改变回热小机的背压值,该部分的控制策略详见2.4章节的背压控制策略。

1.2 系统测点的设置

为了能够实现系统有效的监控,回热小机和其相应的管道上必须设置相应的仪表测点,监视相关的重要参数和状态,以下对双机回热系统汽机本体的和管路上的仪表设置进行介绍。

1.2.1 本体监视仪表设置

为了确保机组运行安全。在回热小机本体前、后轴承座内配备了相关监测仪表,与传统的汽轮机配置类似,本部分测点由汽机厂配供,在前、后轴

承座内安装的监测仪表有转速、偏心、轴向位移、轴振、键相、转子热胀、缸胀等7种传感器。

1) 转速

共配备7个转速传感器,前轴承座3个、后轴承座4个,其中6个转速探头送入回热小机控制系统MEH监控,1个接现场转送表,用于测量机组转速,防止机组因超速而损坏。

2) 偏心

配备有1个偏心传感器,安装于前轴承座内的探头支架上。用于测量转子在运行与安装时的偏心情况,避免因过大的转子偏心使转子在运行时振动过大,从而保证机组的安全运行。

3) 轴向位移

配备3个轴向位移传感器,安装于前轴承座内的探头支架上,用于监视推力瓦烧瓦情况。

4) 轴振

配备2个轴振传感器(X向和Y向),安装于轴承座上盖靠近径向轴承的地方,用来监视转子在运行中轴振动的情况。

5) 键相

配备1个键相传感器,安装于后轴承座内的盘车大齿轮罩壳上。通过键相信号配合振动,偏心等其他信号,监测发生振动或者偏心所在的相位。

6) 转子热胀

配有1个转子热胀传感器,安装于后轴承座内的盘车大齿轮罩壳上,用来监视转子在热态下的膨胀。

7) 缸胀

配备1个缸胀传感器,安装于后轴承座缸胀支架,用以监测汽缸在热态下的膨胀情况,因为本机为落地式轴承座,轴承座不会随汽缸的热胀而一起移动。因此要监测机组的动静差胀,需要配合转子膨胀和缸胀,将两者测得的值进行运算获得。

1.2.2 温度、压力仪表设置

为了监测运行以及性能试验的需求,本机在汽缸、阀壳、轴承上都设计有蒸汽(或金属、回油)温度测点以及压力测点。这些测点按用途可以分为监测运行与性能试验两大类;按性质可以分为测温与测压两大类;按被测介质来分,可以分为蒸汽、金属、油三大类;共计55项、74个测点。

其中对于内缸金属温度,5抽蒸汽压力、6抽蒸汽压力采用3冗余配置方案。

由于业界对双机回热系统大都处于科研阶段,很少能有落地实施的,本章结合已经投入运行的某某超超临界1000 MW机组的回热小机系统部分的仪表测点设置展开介绍,希望能对后续工程提供一些有益参考和借鉴。

2 回热小机的控制策略

2.1 回热小机的启动策略

回热小机的启动分为冷态启动和热态启动两种模式,当回热小机内缸内壁金属温度 $<150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,升速率按图2中冷态启动升速曲线执行。当回热小机内缸内壁金属温度 $\geq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,升速率按图2中的热态启动升速曲线执行。

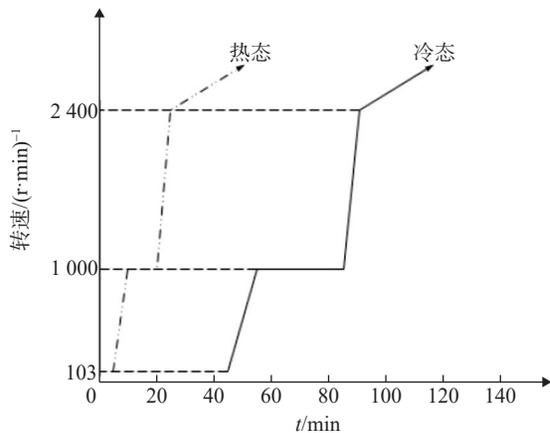


图2 回热小机升速率曲线

Fig. 2 Lift rate curve of small turbine

在回热小机启动前,回热小机本体、阀门和相应的辅助系统均无异常报警,所有相关设备处于就绪状态。然后启动回转设备,投入盘车,盘车转速维持在 103 r/min ,对于冷态启动时,回转设备在冲转前至少运行 45 min ,以避免回热小机转子发生变形后在冲转后产生不应有的振动。随后,对回热小机进行冲转,转速缓慢升速至 $\sim 1000\text{ r/min}$ 怠速,进入低速暖机,待暖机完成后,汽机转速升速至最低工作转速 2400 r/min ,稳定转速后投给水协调控制,回热小机排汽旁路阀跟踪背压设定值。随后依次投入#6号低加,除氧器,#4号高加,#3号高加,最后关闭排汽旁路阀。排汽旁路阀关闭后即可对电泵和汽泵进行切换操作。

2.2 回热小机转速控制策略

回热小机进汽调阀始终以转速控制为主,通过

控制进汽调阀的开度满足泵组的功率目标,该项控制与常规凝汽式给水泵小机相似,但有别于常规的给水泵汽轮机的地方在于高加、低加投切时对转速的影响较大,转速控制器需要快速响应,维持给水流量的稳定。

为保证给水流量的快速响应,回热小机应当保持10%的功率裕量。当回热小机流量指令小于90%时,补汽阀和溢流阀不动作;当回热小机流量指令大于90%时,需关小补汽阀或者开大溢流阀,降低回热小机的背压,以满足回热机功的率裕量。

根据补汽和溢流阀门厂家的要求,补汽阀和溢流阀不应当在开度为 $0\% \sim 10\%$ 的区间长期运行。

2.3 排汽旁路控制策略

回热小机会在排汽端设置旁路管道和排汽旁路阀,当回热小机在启动、事故保护和停机时,排汽经排汽旁路阀进入凝汽器。

如果排汽旁路阀出现故障,必须尽快排除故障,以避免由于故障引起回热小机的跳机。在正常运行工况下,如果排汽旁路阀由于故障保持关闭可能会使排汽压力不断升高,触发回热小机排汽压力保护,最终导致跳机和排汽安全阀动作。如果排汽旁路阀由于故障一直保持打开,回热小机会长时间承受高压差荷载,同时也会排汽容积流量剧增,不仅会影响回热小机本体和排汽系统的安全性,也会因为相关蒸汽没有进入到回热系统而影响整个机组的经济性。

因此,建议定期对回热小机的排汽旁路阀进行检查,确保排汽旁路阀处于正常状态。

2.4 系统保护控制策略

为了保障回热小机的安全运行,系统分别设置了进汽温度高保护、排汽压力高保护、排汽温度高保护和末级组压比高保护,当机组处于异常工况的时候,进行报警或跳机。相关的设定值可根据汽机厂的要求进行设定。

2.4.1 进汽温度高保护

报警:当回热小机进汽温度达到报警设定值,发出报警信号。同时也需要统计全年进汽温度超过报警值低于跳机值的运行时间,要求不超过 80 h/年 。
跳机:当进汽温度超过设定值则进行跳机保护。

2.4.2 排汽压力高保护

回热小机排汽压力一共设有5挡设定值,根据

不同的设定值,执行不同的报警和控制,其相关的保护策略见表2。

表2 排汽压力高保护策略

Tab. 2 High exhaust pressure protection strategy

设定值	执行动作
排汽压力高1值	当排汽压力达到该数值时,发出报警信号。闭锁补汽调节阀,打开溢流调节阀,5 min后,如果排汽压力大于该数值,排汽旁路阀自动打开,跟踪背压设定值,如果长期超压,可根据汽机厂的相关建议,手动停机,对排汽旁路阀进行检修。
压排汽力高2值	当排汽压力达到该数值时,发出报警信号。排汽旁路阀自动打开,跟踪背压设定值1。
排汽压力高3值	当排汽压力达到该数值时,BEST排汽安全阀2自动打开。
排汽压力高4值	当排汽压力达到该数值时,回热小机跳机。
排汽压力高5值	当排汽压力达到该数值时,排汽安全阀1自动打开。

2.4.3 排汽温度高保护

报警:当回热小机排汽温度达到报警设定值,发出报警信号。排汽旁路阀自动打开,跟踪背压设定值2。跳机:当排汽温度超过设定值则进行跳机保护。

2.4.4 末级组压比高保护

报警:当#6抽汽压力与#5抽汽压力比大于高1值时,发出报警信号。相应地需要闭锁#6低加补汽调节阀,打开溢流调节阀,5 min后,如果末级组压比大于该数值,排汽旁路阀自动打开,跟踪背压设定值2。跳机:当#6抽汽压力与#5抽汽压力比大于高2值时,排汽旁路阀自动打开,跟踪背压设定值2,1 min后,如果#6抽汽压力与#5抽汽压力比仍然大于高2值,回热小机跳机。

2.5 背压控制策略

背压控制的目的是保证回热小机的流量指令不大于90%,限制条件是确保补汽阀和溢流阀的开度不应当在0~10%的区间长期运行。

在转速控制策略一节已经提过,回热小机的第一要务是维持给水流量,进汽调阀以转速控制为主,当回热小机不满足10%功率裕量时,通过背压控制调节#6低加补汽调节阀或溢流调节阀的开度来满足功率裕量。背压控制贯穿于回热小机运行的整个过程,应当考虑补汽阀和溢流阀在不同状态下的控制策略,对于背压控制,可以分两个阶段来考虑

背压控制策略,即初始阶段第一级控制策略和稳定运行阶段优化控制策略。

2.5.1 初始阶段一级控制策略

初始阶段控制也可以分为两种情况,详见图3所示:

- 1) 补汽阀打开,溢流阀关闭。
- 2) 补汽阀关闭、溢流阀关闭/打开。

当补汽阀打开,溢流阀关闭时,首先判断回热小机的流量指令,如果流量指令 $\leq 90\%$,则补汽阀保持阀位不变;如果流量指令 $> 90\%$,则关小补汽阀,同时判断回热小机的流量指令是否回归到90%以下,若流量指令已回归,则继续判断补汽阀的开度是否满足控制要求,这时如果度补汽阀开度 $\geq 10\%$,则补汽阀保持该阀位不变,若补汽阀开度 $< 10\%$,则关闭补汽阀。如果关小补汽阀后流量指令仍然 $> 90\%$,则需要继续判断当前补汽阀的开度,这时如果度补汽阀开度 $\geq 10\%$,则继续关小补汽阀开度,若补汽阀开度 $< 10\%$,则关闭补汽阀。

当补汽阀关闭、溢流阀关闭/打开时,首先也是判断回热小机的流量指令,如果流量指令 $\leq 90\%$,则补汽阀和溢流阀保持阀位不变,如果流量指令 $> 90\%$,则开大溢流阀。在开大溢流阀后,如果流量指令 $\leq 90\%$,则继续判断溢流阀的开度:若溢流阀开度 $\geq 10\%$,则溢流阀保持该阀位不变,若溢流阀开度 $< 10\%$,则溢流阀开度定位10%。如果开打溢流阀后,流量指令仍然 $> 90\%$,这时如果溢流阀开度 $< 100\%$,则继续开大溢流阀;若溢流阀开度=100%,则将溢流阀开度定位到100%,结束。

2.5.2 稳定阶段的性能优化控制策略

当主汽轮机在一定的负荷稳定运行,给水流量已维持基本稳定的前提下,这时如果还有充足的功率裕量,运行人员可以选择采用性能优化控制策略,通过关小溢流阀、开大补汽阀,提升回热小机的背压,减小回热小机的进汽阀门节流度,以提升回热小机和整个系统的经济性。

回热小机的性能优化策略可以分为一级优化和二级优化,图4显示了回热小机性能优化控制策略的基本流程。

一级优化:当溢流阀打开,补汽阀关闭时,关小溢流阀,判断回热小机的流量指令。如果流量指令 $\geq 88\%$,这时如果溢流阀开度 $\geq 10\%$,则溢流阀保

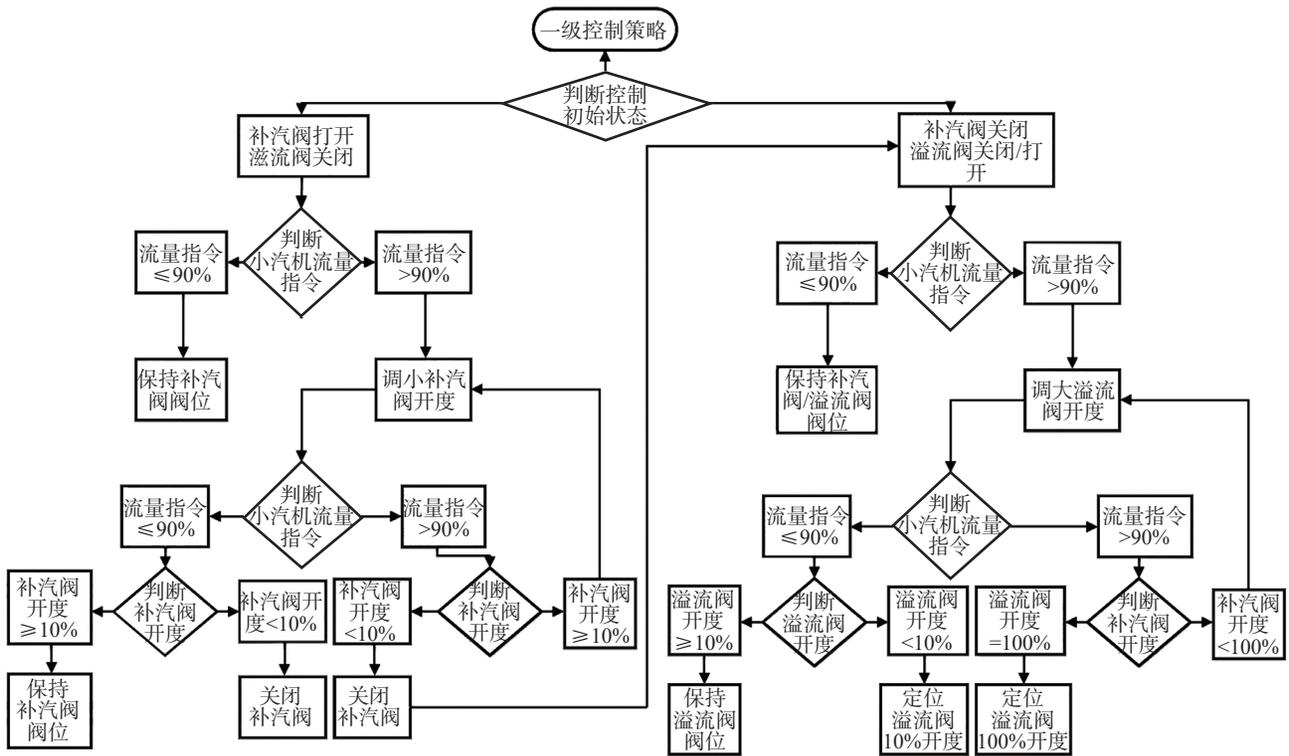


图 3 回热小机一级控制策略图

Fig. 3 Primary control strategy chart of small turbine

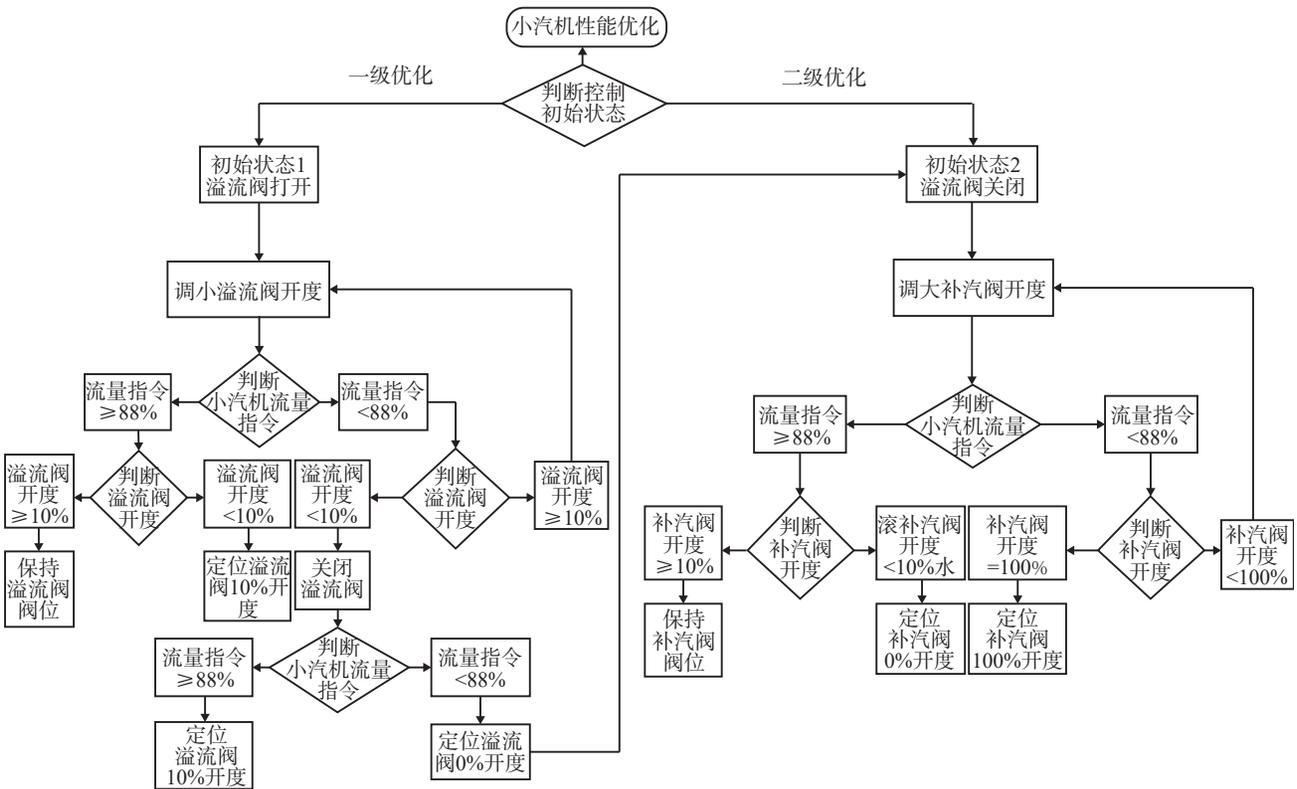


图 4 回热小机性能优化控制策略图

Fig. 4 Performance optimization control strategy chart of small turbine

持该阀位不变, 如果溢流阀开度 $<10\%$, 则溢流阀开度定位 10% 。如果流量指令 $<88\%$, 则继续关小溢流阀; 若溢流阀开度 $<10\%$, 则关闭溢流阀, 关闭后需要继续判断流量指令。如果流量指令 $\geq 88\%$, 溢流阀定位 10% ; 如果BEST汽轮机的流量指令 $<88\%$, 溢流阀定位 0% , 结束或者进入二级优化控制。

二级优化: 当溢流阀关闭, 补汽阀关闭/打开时, 开大补汽阀, 判断流量指令。如果流量指令 $\geq 88\%$, 此时若补汽阀开度 $\geq 10\%$, 则补汽阀保持该阀位不变, 若补汽阀开度 $<10\%$, 则补汽阀开度定位 0% , 如果流量指令 $<88\%$, 则继续开大补汽阀, 直至补汽阀开度 $=100\%$, 此时可补汽阀开度定位 0% 。

机组运行时, 建议按以下原则来进行操控:

1) 当主汽轮机负荷低于 600 MW 时, 自动投入一级优化, 二级优化为运行人员手动投入。

2) 当主汽轮机负荷高于 600 MW 并且低于 900 MW 时, 一级优化、二级优化均为运行人员手动投入。

3) 当主汽轮机负荷高于 900 MW 时, 运行人员不应当投入二级优化。

3 结论

本文介绍了一种双机回热小机系统阀门和测点监控布置设计方案, 提出了一种基于双机回热机组系统回热小机的启动控制、转速控制、保护控制及背压控制的策略, 该控制策略已成功应用在拥有全球首台以变转速抽背式给水泵汽轮机(回热小机)的某 $1\,000\text{ MW}$ 超超临界机组中, 机组投运后, 运行安全稳定。双机回热系统由于高温回热蒸汽从回热小机中抽取, 可提高循环能级效率和通流效率达 90% 以上, 使整个机组的热耗水平在一次再热机组中达到最优, 接近二次再热机组的水平, 也是未来火电机组发展的一个重要方向, 本文所提出的控制策略对后续采用双机回热系统的控制具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 赵晓军. 超超临界二次再热机组热力系统优化分析[J]. 企业科技与发展, 2018(2): 95-96.
ZHAO X J. Optimization analysis of thermal system of ultra supercritical secondary reheating unit [J]. Sci-Tech & Development of Enterprise, 2018(2): 95-96.

- [2] 余炎, 刘晓澜, 范世望. 二次再热汽轮机关键技术分析及探讨[J]. 热力透平, 2013(2): 69-72.
YU YAN. LIU X L. FAN S W. Analysis and discussion for key technologies of USC double reheat turbines [J]. Thermal Turbine, 2013(2): 69-72.
- [3] 张勇, 甄静. 超超临界 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 火电机组热力系统的分析[J]. 锅炉技术, 2015(2): 17-21.
ZHANG Y, ZHEN J. Exergy of analysis for thermal power system $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ supercritical power unit [J]. Boiler Technology, 2015(2): 17-21.
- [4] 朱宝田, 周荣灿. 进一步提高超超临界机组蒸汽参数应注意的问题[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(增刊1): 95-100.
ZHU B T, ZHOU R C. Problems paid attention to raise the ultra supercritical units steam parameters [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(Supp. 1): 95-100.
- [5] 黄保平, 冷祥珠. 针对带背压式给泵汽轮机的梯级循环机组的热力性能分析[J]. 低碳世界. 2017(34): 337-339.
HUANG B P, LENG X Z. Thermal performance analysis of cascade cycle unit with back pressure feed pump turbine [J]. Low Carbon World, 2017(34): 337-339.
- [6] 曾海波, 龚自力, 陈节涛. $1\,000\text{ MW}$ 超超临界机组给水泵汽轮机转速周期性波动分析与处理[J]. 东方汽轮机, 2021(1): 60-64.
ZENG H B, GONG Z L, CHEN J T. Analysis and treatment of periodic fluctuation of rotating speed on feedwater pump turbine for $1\,000\text{ MW}$ ultra-supercritical unit [J]. Dongfang Turbine, 2021(1): 60-64.
- [7] 王雅倩, 付亦葳, 张泽雄, 等. BEST系统变工况特性及控制方式研究[J]. 热能动力工程, 2019, 34(5): 42-48.
WANG Y Q, FU Y W, ZHANG Z X. et al. Study on the off-design characteristics and control methods of BEST system [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2018, 34(5): 42-48.
- [8] 高展羽, 王建伟, 雷晓龙. 回热驱动式小汽轮机启动运行方案探讨[J]. 东方汽轮机, 2019(3): 50-54+59.
GAO Z Y, WANG J W, LEI X L. Discussion on starting operation scheme of regenerative drive type steam turbine [J]. Dongfang Turbine, 2019(3): 50-54+59.

作者简介:



林侃

林侃(通信作者)

1985-, 男, 福建宁德人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电站仪表与控制系统研究 (e-mail) linkan@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)