

湿冷凝汽式汽轮机组供热技术研究

吴俊杰, 蒙涛, 潘翠翠

(国电龙源节能技术有限公司, 北京 100039)

摘要:传统热电联产供热机组利用中压缸抽汽来加热水网水,但存在着部分冷端损失。高背压供热方式和热泵方式能够提取低压缸排汽余热供热,减少供热抽汽。为了研究以上3种供热方式的特点和适用范围,以某电厂350 MW机组为例,通过理论计算和节能分析,从供热能力、发电负荷、发电煤耗及热电比的角度,分析了抽汽供热、高背压供热和热泵供热方式。3种供热方式均锁定最小排汽量运行即以热定电模式运行时,发电煤耗最低;热电解耦模式运行时抽汽供热和热泵供热方式发电煤耗显著升高。供热保证率方面热泵供热方式优于高背压供热方式。高背压供热方式适用于供热负荷高、以热定电的场合;热泵供热方式适用于供热负荷高,需要实现热电解耦的场合。

关键词:冷端损失;供热;排汽余热;高背压;热泵;热电解耦

中图分类号:TM621

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2018)06-0096-05

Study on the heating technology of wet and cold condensing steam turbine unit

WU Junjie, MENG Tao, PAN Cuicui

(GD Long Yuan Energy Conservation Technology Co., Ltd., Beijing 100039, China)

Abstract: The traditional heat and power combined heating unit uses the medium pressure steam to heat the hot water, and there is a partial loss at the cold end. The high backpressure heating scheme and the heat pump scheme can supply the heating from extracting low pressure cylinder exhaust and reduce the heat supply. Taking a 350 MW power plant as an example, through theoretical calculation and energy-saving analysis, pumping heat, high back pressure heating supply and heat pump heating supply were investigated from the viewpoint of heating capacity, power generation load, coal consumption and thermoelectric ratio. The coal consumption of power generation of three heating modes are the lowest when running in power setting in heat, namely in the minimum exhaust volume operation. The coal consumption of power generation by pumping heating and heat pump heating mode increases significantly when running in thermoelectric decoupling mode. Heat pump heating mode is superior to high back pressure heating mode in heating guarantee rate. The high back pressure heating scheme is suitable for high heating load and power setting in heat. Heat pump heating scheme has a high heat supply load, and it can realize thermoelectric decoupling.

Key words: cold end loss; heating; exhaust heat; high back pressure; heat pump; thermoelectric decoupling

0 引言

近年来,随着用热需求的快速增长,我国热电联产机组规模不断扩大。现有的热电联产机组中,传统抽汽供热方式主要以汽轮机中压缸抽汽加热水网水,热电厂纯凝发电时冷端损失一般超过40%^[1-2],

中压缸抽汽供热减少了抽汽部分的冷端损失,在最大抽汽供热工况下冷端损失可减少至30%以下,是一种节能的供热方式。

《电力发展“十三五”规划》明确指出,大力发展风能、太阳能等可再生能源已成为我国电力发展的重要任务。但目前火电机组占比高,冬季采暖弃风、

收稿日期:2018-10-22;责任编辑:张晓宁 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.18102210

作者简介:吴俊杰(1979—),男,吉林人,工程师,主要从事火电厂节能减排方面的工作。E-mail: junjiejun@163.com。通讯

作者:蒙涛(1966—),男,高级工程师,从事过电厂设计、技术研发、工程建设和生产管理。E-mail: mengtao@gdlyect.cn

引用格式:吴俊杰,蒙涛,潘翠翠.湿冷凝汽式汽轮机组供热技术研究[J].洁净煤技术,2018,24(6):96-100.

WU Junjie, MENG Tao, PAN Cuicui. Study on the heating technology of wet and cold condensing steam turbine unit[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(6): 96-100.



移动阅读

弃光现象严重。在传统的以热定电运行模式下,火电供热机组发电负荷受制于热负荷,导致供热与新能源消纳矛盾突出。

为了解决这一问题,在满足供热需求的前提下,需要火电厂进行深度调峰。寻求一种供热技术,能够提取大量电厂低温余热用于城市供热,在减少能源浪费的同时,深度调峰、实现热电解耦,提高供热保证率。

本文对抽凝式供热机组进行理论计算和节能分析,对抽汽、高背压和热泵3种供热方式进行分析,比较不同改造方式的节能效果,以寻求一种最优的供热方式。

1 供热方式概述

1.1 抽汽供热方式

传统加热器供热方式,以中压缸抽汽为热源,进入热网加热器加热热网循环水对外供热,如图1所示。

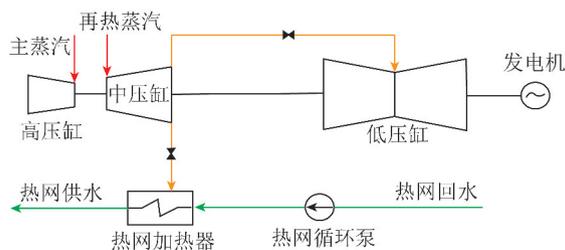


图1 抽汽供热方式系统示意

Fig. 1 Extraction heating system

其特点:①回收了供热抽汽部分的凝结潜热。②损失了汽机排汽部分凝结潜热。以单台350 MW机组为例,至少损失了约114 t/h汽机排汽和60 t/h给水泵汽轮机排汽的凝结潜热,合计损失热量约116 MW。当锁定最小排汽量(114 t/h汽机排汽和60 t/h给水泵汽轮机排汽),通过调节供热抽汽量调节发电负荷方式(以热定电模式)运行时,损失热量约116 MW;当不锁定排汽量(热电解耦模式)运行时,排汽量大于最小排汽量,损失热量大于116 MW。

1.2 高背压供热方式

高背压供热方式有2种:高背压短叶片方式和高背压切缸方式。高背压短叶片方式是通过降低低压缸末级叶片高度实现高背压运行方式;高背压切缸方式是在供热期通过切除低压缸进汽,低压缸仅保留最小冷却流量运行的方式,以提高中压缸供热

抽汽流量。因高背压切缸方式没有长时间运行案例,本文仅介绍高背压短叶片方式,如图2所示。

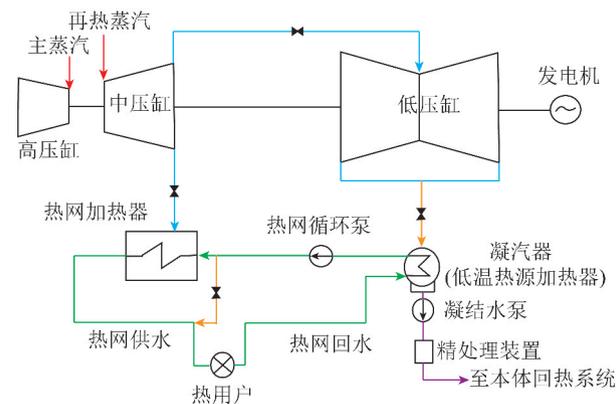


图2 高背压供热方式系统示意

Fig. 2 High back pressure heating system

高背压短叶片方式,采暖期以热网循环水作为汽轮机排汽的冷却水,经由凝汽器改造的低温热源加热器加热热网循环水,回收机组排汽余热。初步加热后的热网循环水,根据需要再送至热网加热器加热,最终供至外网用户^[3-7]。

其特点:①作为高背压机组,必须完全回收机组排汽量。而机组存在最小排汽量,当对外供热负荷小于机组最小排汽量的凝结潜热(或供热面积小于最小供热面积)时,机组停运。以单台350 MW机组为例,机组最小排汽量约290 t/h(汽机排汽量260 t/h、给水泵汽机排汽量30 t/h),凝结潜热为190 MW,而初末期采暖热负荷仅有20 W/m²,考虑裕量后所需最小供热面积为1 000万m²。②机组运行背压最高54 kPa,所以热网循环水在低温热源加热器中最高只能加热至80℃。③2台机组的最大供热能力为905 MW。④按满足1 470万m²供热面积计算,当1台机组故障时,高背压机组供热保证率为68%。

由于高背压供热方式与现有的调度中心运行模式相反,因而只能对1台机组进行高背压改造,另一台机组作为调峰机组。

1.3 热泵供热方式

热泵供热方式是以汽轮机中压缸抽汽作为溴化锂吸收式热泵的驱动热源,回收机组循环水余热,并转换为可供城市热网供热利用的高品质热能,实现节能减排,如图3所示。

当排汽量小于额定抽汽工况的排汽量时,机组出现鼓风现象,在一定背压下存在最小排汽量。该供热方式额定余热回收量按单台汽轮机组额定抽汽

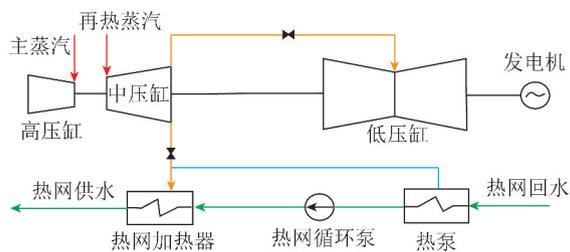


图3 热泵供热方式系统示意

Fig. 3 Heat pump heating system

工况下的排汽量(即最小排汽量)设计^[8-11]。当机组以额定最小排汽量运行时,机组排汽余热可全部回收,即冷端损失为0,循环水可不上塔;当1台机组停运时,可切换到另一台机组回收余热,以提高供热安全可靠^[12-14]。

其特点:① 在传统供热方式基础上,回收约116 MW的排汽余热。在整个采暖季,机组排汽余热 ≤ 116 MW时,单台机组没有损失蒸汽凝结余热;机组排汽余热 > 116 MW时,多余的余热通过冷却塔排到大气中。② 可以切换。即当1台机组停运时,可切换到另一台机组回收余热。③ 2台机组的最大供热能力为917 MW。④ 按满足1 470万 m^2 供热面积计算,当1台机组故障时,供热保证率为88%。⑤ 在相同的热负荷范围内,机组负荷调整范围显著提高,可深度调峰,实现热电解耦。

2 供热方式比较

以北塘电厂C350-24.2/0.4/566/566型350 MW超临界中间再热抽凝式汽轮机组为例,对3种供热方式的冬季发电负荷与供热能力的关系、最大供热能力、供热可靠性进行量化分析。

2.1 设计条件

综合采暖热指标为 40 W/m^2 ;北塘电厂2017年供热量为 $435 \times 10^4 \text{ GJ}$,按照综合采暖热指标 40 W/m^2 计算,供热面积为1 470万 m^2 。

供热初末期:环境温度为 $3 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$,热网回水温度为 $46 \text{ }^\circ\text{C}$,采暖热指标为 20.2 W/m^2 ,时间862 h;供热次寒期:环境温度 $-8 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$,热网回水温度为 $51 \text{ }^\circ\text{C}$,采暖热指标为 30 W/m^2 ,历时1 788 h;供热极寒期:环境温度 $\leq -9 \text{ }^\circ\text{C}$,热网回水温度为 $55 \text{ }^\circ\text{C}$,采暖热指标为 40 W/m^2 ,时长278 h。

高背压方式汽轮机背压 $\leq 54 \text{ kPa}$,该背压下最小排汽量为 261 t/h ,最大抽汽量为 300 t/h ;热泵方式汽轮机设计背压为 8.2 kPa ,该背压下最小排汽量

为 114 t/h ,最大抽汽量为 550 t/h ,凝汽器端差为 $3 \sim 4 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

2.2 冬季发电负荷和供热能力的关系

抽汽供热方式下,供热初末期,以满足供热需求为前提,通过调节主汽量来调节发电负荷。供热次寒期和极寒期,供热需求较大,在额定主汽量下,机组达到最大抽汽供热,此时发电负荷达到极限。

高背压供热方式下,背压 54 kPa 时考虑凝汽器端差,热网循环水最大可加热到 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 。在初末期供热负荷较小时,热网循环水温度 $< 80 \text{ }^\circ\text{C}$,机组无需抽汽,仅低压缸排汽即可满足供热需求(供热负荷与低压缸排汽潜热相等),进而限制主汽量、发电量。在次寒期、极寒期供热负荷较大时,所需热网循环水温度 $> 80 \text{ }^\circ\text{C}$,通过低压缸排汽加热热网循环水至 $80 \text{ }^\circ\text{C}$,不足部分由供热抽汽加热。在此过程中,低压缸排汽量和供热抽汽量均被外部供热需求限制,进而限制主汽量、发电量。

热泵供热方式下,在供热初末期和次寒期,受供热需求限制,单台机组抽汽量未达到最大抽汽量,此时可通过调节主汽量来调节发电量。在供热极寒期,机组抽汽已达到最大,发电量达到极限。

3种供热方式的供热能力、发电负荷、发电煤耗及热电比等参数见表1。

表1 机组热电解耦能力分析

Table 1 Analysis of thermoelectric decoupling ability of turbine unit

供热方式	供热期	供热量/ MW	发电负荷/ MW	煤耗/ ($\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$)	热电比
抽汽	极寒期	400	272	197	1.47
	次寒期	400	272	197	1.47
	初末期	297	217~285	207~235	1.37~1.04
高背压	极寒期	505	306	139	1.65
	次寒期	441	284	139	1.55
	初末期	297	202	147	1.47
热泵	极寒期	517	272	141	1.90
	次寒期	441	231~283	136~171	1.91~1.56
	初末期	297	154~303	136~223	1.93~0.98

表1中,热泵供热方式的最低发电煤耗为以热定电运行模式(锁定低压缸排汽量运行)下的煤耗。当调度需要提高发电负荷时,低压缸排汽量增大,多余的循环水部分进入冷却塔,导致煤耗增加。

若以降低煤耗作为唯一目标,则高背压供热方式优于热泵供热方式;若综合考虑提高热电比、热电

解耦、降低煤耗等因素,则热泵供热方式优于高背压供热方式。

除以上3种供热方式,目前常用的供热技术还有高中压缸旁路供热、储热供热、电极锅炉、低压缸零出力供热等^[15]。低压缸零出力供热与高背压供热方式一样,弱化了热电解耦能力,但其供热经济性好;高中压缸旁路供热、储热供热、电极锅炉3种供热方式具备热电解耦能力,但相对传统供热方式和热泵供热方式,供热经济性较差。

2.3 最大供热能力

当不受发电负荷限制时,抽汽供热、高背压供热、热泵供热的供热能力分别为800、905、917 MW。

2.4 供热保证率

3种供热方式的供热保证率见表2。可知,在满足1 470万m²的供热面积下,当1台机组停机时,热泵供热方式的供热保证率较大。

表2 供热保证率(满足1 470万m²供热面积)

Table 2 Heating guarantee rate(14.7 million m² heating area)

供热方式	供热保证率/%	
	1号机事故停机	2号机事故停机
抽汽	68	68
高背压	68	86
热泵	88	

事故情况下单台机组最低供热保证率应不低于65%,则3种供热方式中最大供热能力的65%为800 MW,此时最大可供面积为2 000万m²。在满足2 000万m²的供热面积下,当1台机组事故停机时,3种方式的供热保证率见表3。

表3 供热保证率(满足2 000万m²供热面积)

Table 3 Heating guarantee rate(20 million m² heating area)

供热方式	供热保证率/%	
	1号机事故停机	2号机事故停机
抽汽	50	50
高背压	50	63
热泵	65	

3 结 论

1)在供热面积小于1 000万m²时,建议采用热泵供热方式。

2)电厂冬季若有高发电负荷需求,且允许以热定电模式运行时,建议采用高背压供热方式。

3)电厂冬季若有低发电负荷,且高供热负荷需求(高热电比)时,建议采用热泵供热方式。

参考文献(References):

- [1] 程钧培. 节能减排与火电新技术[J]. 动力工程, 2009, 29(1): 1-4.
CHENG Junpei. Energy saving, emission reducing and new technologies for thermal power generation [J]. Power Engineering, 2009, 29(1): 1-4.
- [2] 戈志华, 陈玉勇, 李沛峰, 等. 基于当量抽汽压力的大型热电联产供热模式研究[J]. 动力工程学报, 2014, 34(7): 569-575.
GE Zhihua, CHEN Yuyong, LI Peifeng, et al. Study on heating mode of a large heat and power cogeneration unit based on equivalent extraction pressure[J]. Journal of Power Engineering, 2014, 34(7): 569-575.
- [3] 戈志华, 孙诗梦, 万燕, 等. 大型汽轮机高背压供热改造适用性分析[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(11): 3216-3222.
GE Zhihua, SUN Shimeng, WAN Yan, et al. Applicability analysis of high back-pressure heating retrofit for large-scale steam turbine unit[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(11): 3216-3222.
- [4] 万燕, 孙诗梦, 戈志华, 等. 大型热电联产机组高背压供热改造全工况热经济分析[J]. 电力建设, 2016, 37(4): 131-137.
WAN Yan, SUN Shimeng, GE Zhihua, et al. Thermo-economic analysis of high back pressure heating retrofit for large-scale cogeneration unit under full condition[J]. Electric Power Construction, 2016, 37(4): 131-137.
- [5] 丁建海, 李军红, 刘锁清. 低位能加热技术在热电联产集中供热中的应用[J]. 热力发电, 2017, 46(10): 119-124.
DING Jianhai, LI Junhong, LIU Suoqing. Application of low-grade energy heating technology in central heating by cogeneration[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(10): 119-124.
- [6] 郭强, 孙苗青, 张龙英, 等. 回收乏汽余热的高背压供热方式性能分析[J]. 电力科学与工程, 2016, 32(4): 54-59.
GUO Qiang, SUN Miaoqing, ZHANG Longying, et al. Performance analysis of high back pressure heating supply with exhaust steam heat recovery[J]. Electric Power Science and Engineering, 2016, 32(4): 54-59.
- [7] 肖慧杰, 张雪松. 汽轮机高背压供热方案探讨[J]. 电力勘测设计, 2017(3): 35-39.
XIAO Huijie, ZHANG Xuesong. Discussion on heat supply scheme of high back-pressure steam turbine[J]. Electric Power Survey & Design, 2017(3): 35-39.
- [8] 王雪峰, 张学镭, 卢家勇, 等. 回收乏汽余热的吸收式热泵性能及对机组调峰性能的影响[J]. 电力建设, 2016, 37(4): 138-144.
WANG Xuefeng, ZHANG Xuelei, LU Jiayong, et al. Performance analysis of absorption heat pump with exhaust steam heat recovery and its influence on peak regulation capability[J]. Electric Power

- Construction,2016,37(4):138-144.
- [9] 张琰,刘广建,胡三高.应用吸收式热泵提高热电厂经济效能研究[J].科技广场,2016(7):106-108.
ZHANG Yan,LIU Guangjian,HU Sangao. Study of the application of an absorption heat pump to improve the thermal power plant economic performance[J]. Science Mosaic,2016(7):106-108.
- [10] 吉鸿斌.基于吸收式热泵的电厂抽汽供热系统节能优化[D].北京:华北电力大学,2017:1-59.
- [11] 周崇波,俞聪,郭栋,等.大型吸收式热泵应用于火电厂回收余热供热的试验研究[J].现代电力,2013,30(2):37-40.
ZHOU Chongbo,YU Cong, GUO Dong, et al. The experimeng study on waste heat recovery from circulating water in thermal power plant using large absorption heat pump[J]. Modern Electric Power,2013,30(2):37-40.
- [12] 朱启保.吸收式热泵技术在电厂冷却水系统中的应用[J].有色冶金节能,2010(5):27-29.
ZHU Qibao. Application of absorption heat pump technology in cooling water system of power plant[J]. Energy Saving of Non-ferrous Metallurgy,2010(5):27-29.
- [13] 周振起,崔春晖,袁猛,等.吸收式热泵回收火电厂冷凝热供暖的技术经济性[J].制冷与空调,2017,31(1):77-80.
ZHOU Zhenqi,CUI Chunhui,YUAN Meng,et al. Technology and economy of condensing heat supply in thermal power plant by absorption heat pump [J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2017,31(1):77-80.
- [14] 刘明军,葛茂清,卢尚有,等.吸收式热泵在热电厂乏汽余热回收领域的应用[J].流体机械,2013,41(2):83-87.
LIU Mingjun,GE Maoqing,LU Shangyou,et al. Application of absorption heat pump in the field of thermal power plant exhaust steam heat recycle[J]. Fluid Machinery,2013,41(2):83-87.
- [15] 居文平,吕凯,马汀山,等.供热机组热电解耦技术对比[J].热力发电,2018,47(9):115-121.
JU Wenping,LYU Kai,MA Tingshan,et al. Comparison of thermo-electric decoupling techniques for heating units[J]. Thermal Power Generayion,2018,47(9):115-121.