

广州增城H级燃气-蒸汽联合循环机组供热抽汽点选择研究

范勇刚, 王忠, 朱瑾, 付焕兴, 陈昌山

引用本文:

范勇刚, 王忠, 朱瑾, 等. 广州增城H级燃气-蒸汽联合循环机组供热抽汽点选择研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 11-16.

FAN Yonggang, WANG Zhong, ZHU Jin, et al. Research on Selection of Heating Extraction Point for H Class Gas-steam Combined Cycle Unit in Zengcheng, Guangzhou[J]. Southern Energy Construction, 2021, 8(2): 11-16.

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)

[燃气-超临界CO₂联合循环发电系统](#)

Gas-supercritical CO₂ Combined Cycle Power Generation System

南方能源建设. 2019, 6(3): 87-91 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.015>

[9H级燃机水汽系统化学控制和监测设计与优化](#)

Design and Optimization of Chemical Control and Monitoring System for Class 9H Unit

南方能源建设. 2020, 7(z1): 82-87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.016>

[进气冷却对燃机联合循环的性能影响分析](#)

Effect of Inlet Air Cooling on Performance of Gas Turbine Combined Cycle

南方能源建设. 2019, 6(3): 64-69 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.011>

[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>

[F级改进型联合循环主蒸汽系统压损研究及优化](#)

Pressure Drop Research and Design Optimization of Main Steam System in Advanced F Class Gas-steam Combined Cycle Power Plants

南方能源建设. 2015, 2(1): 46-50 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.009>

广州增城H级燃气-蒸汽联合循环机组 供热抽汽点选择研究

范勇刚[✉], 王忠, 朱瑾, 付焕兴, 陈昌山

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 成都 610021)

摘要: [目的] 针对大容量联合循环机组的中压供热蒸汽参数, 找出最佳的抽汽供热方式。[方法] 结合增城项目热负荷特点, 对应用在燃气-蒸汽联合循环机组上的各种供热抽汽方案, 在系统配置、初投资、负荷适应性、机组效率和发电出力等方面进行较详细的论述和分析。[结果] 分析结果表明, 相比热段抽汽方式和中压缸抽汽方式, 冷段抽汽方式均具有更高的机组发电出力、发电效率和综合能源利用率, 初投资也最低。[结论] 冷段抽汽方式是一种参数匹配适应性更好、适应机组变工况运行能力更强、热经济性和初投资更优、更适合大容量联合循环机组的中压抽汽供热方式, 该方案可供同类工程设计借鉴参考。

关键词: H级燃气联合循环发电; 抽汽供热方式; 冷段抽汽方式

中图分类号: TM611.31; TK212

文献标志码:

文章编号: 2095-8676(2021)02-0011-06

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Selection of Heating Extraction Point for H Class Gas-Steam Combined Cycle Unit in Zengcheng, Guangzhou

FAN Yonggang[✉], WANG Zhong, ZHU Jin, FU Huanxing, CHEN Changshan

(Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group
Corporation, Chengdu 610021, China)

Abstract: [Introduction] To find out the best extraction heating scheme according to the medium pressure heating steam parameters of large capacity combined cycle unit. [Method] Combined with the heat load characteristics of Zengcheng project, this paper discussed and analyzed in detail the system configuration, initial investment, load adaptability, unit efficiency and power output of various extraction heating schemes applied to gas steam combined cycle units. [Result] The analysis results showed that, compared with hot section extraction and IP cylinder extraction, cold section extraction has higher unit power generation output, power generation efficiency and comprehensive energy utilization, and the initial investment was the lowest. [Conclusion] Cold section steam extraction is a kind of medium pressure steam extraction heating scheme with better parameter matching adaptability, stronger ability to adapt to variable operating conditions of units, better thermal economy and initial investment, and more suitable for large capacity combined cycle units. This scheme can be used for reference for similar engineering designs.

Key words: H-class gas turbine combined cycle power generation; schemes of steam extraction; cold section steam extraction

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/>).

燃气-蒸汽联合循环, 是以燃气轮机循环为前置循环, 蒸汽轮机循环为后置循环, 两者以一定方式组成一个整体的热力联合循环^[1]。燃气冷热电三联供是指以天然气为主要燃料带动燃气轮机或内燃

机等燃气发电设备运行, 产生电力以满足用户电力需求, 而系统排出的废热则通过余热锅炉或溴化锂等设备向用户供热、供冷^[2], 通过能源的梯级利用, 该系统的能源利用效率从常规发电方式的40%左右提高到70%以上^[3], 节省了大量一次能源。所承担的冷、热负荷, 一般包括工业和民用的制冷、

供热负荷,不同需求的冷、热负荷还常常具有差异较大的负荷特性。

本文结合广州增城H级燃气-蒸汽联合循环冷热电三联供项目(以下简称“增城项目”)的情况,对应用在燃气-蒸汽联合循环机组上的各种供热抽汽点方案进行了详细的论述和比较,提出高压缸排汽管道(冷段)抽汽方式是一种技术和经济性更优、更适合大容量联合循环机组的抽汽供热方式。

1 各种供热抽汽方式研究

根据冷、热负荷特性确定热源为蒸汽后,机组有如图1所示四种可选的供热抽汽方式:①冷段抽汽、②热段抽汽、③中压缸抽汽、④中低压缸联通管抽汽^[4],前两种方式应用较少,后两种方式应用较多。另外,还有一种方案:从冷段和中低压缸联通管分别抽汽,通过压力匹配器来实现供热^[5-7],但该方案既增加了初投资,系统又变得更复杂,机组低负荷供热能力差,所以该方案很少采用,本文不再论述。

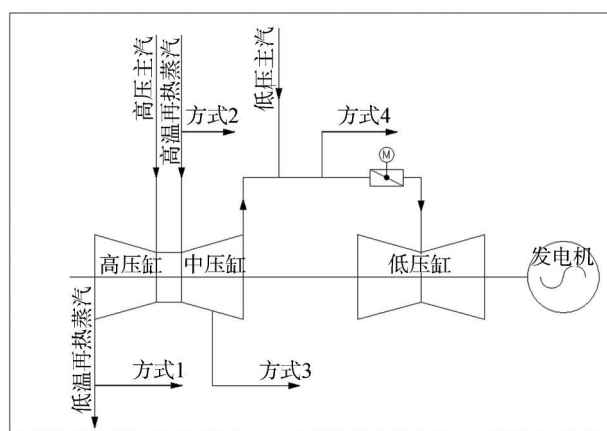


图1 各种供热抽汽方式示意

Fig. 1 Schematic of various steam extraction methods

1.1 冷段抽汽方式

冷段抽汽方式,如图1所示的方式1,即:从高压缸排汽的冷段管道抽汽,该方式有以下主要特点:

1) 系统设置:低温再热蒸汽从汽机高压缸接至锅炉再热器,供热抽汽管道从高压缸排汽的冷段管道抽汽引出。抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温减压器和安全阀等。

2) 机组的供热压力较高:因为从冷段抽汽,低温再热蒸汽的压力比低压抽汽参数更高,该方式一般可以满足大多数工业用较高压力蒸汽供热的要求。

3) 供热的焓损较低:由于冷段温度一般与工业蒸汽较为接近,仅需喷入少量减温水即可,因此该方式的焓损小,与大多数工业蒸汽热负荷温度需求匹配性较好。

4) 系统初投资较低:汽机本体不需要增加初投资;抽汽管道及其所配阀门(包括减温减压器)均为碳钢或普通国产合金钢,因此相较于热段供热抽汽方式,该方式大大节省初投资。

1.2 热段抽汽方式

热段抽汽方式,如图1所示的方式2,即:从进入中压缸前的热段管道上抽汽,该方式有以下主要特点:

1) 系统设置:高温再热蒸汽从余热锅炉接至汽机中压缸,供热抽汽管道从进入中压缸前的热段管道上引出。抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温减压器和安全阀等。

2) 机组的供热能力大:由于高温再热蒸汽未经做功,蒸汽温度和焓值很高,为满足供热蒸汽参数要求,需通过设置的减温减压器喷入大量的减温水,因此虽然该方式的供热能力大,但降低了机组的发电能力。

3) 机组的供热温度很高:因从热力系统的前端抽汽,高温再热蒸汽的温度可以达到甚至超过高压主汽,因此该方式可以满足高温蒸汽供热的要求。

4) 供热的焓损较大:由于需喷入大量减温水,因此该方式的焓损大,与大多数工业热负荷的实际温度需求匹配性较差(超出较多),除应用于高温蒸汽热负荷外,其它情况应用较少。

5) 系统初投资较高:虽然汽机本体不需要增加初投资,但抽汽管道及其所配阀门(包括减温减压器)均为高温合金钢,因此该方式相较于冷段供热抽汽方式,初投资增加较多。

1.3 中压缸抽汽方式

中压缸抽汽方式,如图1所示的方式3,即:从汽机中压缸上打孔抽汽,该方式有以下主要特点:

1) 系统设置:在汽机中压缸抽汽口后设置座缸阀或旋转隔板,抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温减压器和安全阀等。

2) 该方式下,通过中压缸的座缸阀或旋转隔板,可以在较大负荷范围内满足供热蒸汽参数要求,其供热压力、温度和流量适应性较好,供热调节方便,因此,在早期的供热工程中应用较多,能适应较多种类的工业热负荷。

3) 该方式下,汽机中压缸因设置座缸阀或旋转隔板,导致汽机本体初投资增加;另外,当机组处于低负荷或供热蒸汽流量较大时,座缸阀或旋转隔板产生较大的节流损失,中压缸效率比额定工况大幅降低,导致整个机组发电效率和综合热效率降低^[8-9];同时,该方式还存在低负荷时供热能力较低的缺点^[9]。

1.4 中低压缸联通管抽汽方式

中低压联通管抽汽方式,如图1所示的方式4,即:从中、低压汽缸的联通管上抽汽,并在联通管上设置蝶阀。该方式有以下主要特点:

1) 系统设置:中压缸排汽通过联通管接至低压缸,低压主汽也接入联通管,供热抽汽管道从蝶阀前引出。抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温器和安全阀等。

2) 机组的供热蒸汽流量较大:由于处于热力系统的末端,在满足低压缸最小冷却蒸汽流量的前提下,其余的中压缸排汽和低压主汽流量均可作为抽汽用于供热,通常低压缸需要最小冷却流量为其额定流量的30%~40%。因此,该方式的供热抽汽流量较大。

3) 机组的发电效率较高:由于抽汽点位于热力系统末端,蒸汽已经完成大部分做功发电能力,抽汽焓值降至较低值,因此,该方式下机组的发电效率较高。

4) 供热抽汽压力和温度较低。因为抽汽点处于热力系统末端,蒸汽的压力和温度较低,其中压力通常只有0.5 MPa.a左右,只能满足采暖、制冷以及低参数要求的工业冷热负荷要求。

2 各种供热抽汽方式技术经济比较

四种抽汽供热技术方案的对比如表1所示。

1) 方式1:冷段抽汽方式,因冷段的压力、温

度与绝大多数工业热负荷参数较为接近,只需喷入少量减温水,焓损较小,在机组处于低负荷和热负荷较大时,通过调整汽轮机再热蒸汽调节阀来匹配热负荷要求,因此该方式综合热效率^[10]、发电能力较高、适用负荷广、变工况能力强。

2) 方式2:热段抽汽方式,因抽汽温度过高,喷入减温水量非常大,因此焓损大,仅在部分需要高温蒸汽的工业供热项目应用,比如化工用汽,但对于绝大多数供热项目,都是不经济的。

3) 方式3:中压缸抽汽方式,虽然在早期工业供汽项目中应用较多,但是汽机中压缸需设置座缸阀或旋转隔板,有较大的节流损失;因抽汽温度较高,减温水量大,焓损也大;另外机组处于低负荷或热负荷较大时,中压缸效率大大降低。因此,该方式经济性较差,尤其是低负荷和变工况运行时。

4) 方式4:中低压缸联通管抽汽方式,该方式虽然热负荷流量较大,但因为其抽汽点压力和温度较低,仅能适用于采暖、制冷负荷或参数要求低的工业热负荷。

3 冷段抽汽供热方式应用实例

冷段抽汽供热方式,不仅能满足绝大多数工业热负荷参数要求,而且机组纯凝工况、发电低负荷或供热高负荷时,焓损较小,发电效率较高,该方式同时还具有初投资省的优点,通过与主机厂多次配合,并经各级审查,最终确定增城项目采用冷段抽汽供热方式。

3.1 工程概述

华电广州增城燃气冷热电三联供工程厂址位于广州市增城区新塘镇塘边村,本工程建设规模按2×600 MW级燃气-蒸汽联合循环供热机组建设,不考虑扩建,每套机组1台燃气轮发电机组配1台余热锅炉,1台余热锅炉供汽给1台抽凝式蒸汽轮发电机组。本工程于2017年8月10日开工建设,两台机组分别于2020年6月14日和9月30日投入商业试运。

根据统计,增城项目能源站附近各类冷、热负荷需求如表2所示。

根据工业热负荷需求分析,各热用户对蒸汽参数(温度/压力)的需求范围为140~180℃/0.4~1.0 MPa.a,结合供热距离考虑相应的温降及压降,

表1 四种抽汽方式技术对比

Tab. 1 Technical comparison of four extraction methods

项目	方式1	方式2	方式3	方式4
	冷段抽汽方式	热段抽汽方式	中压缸抽汽方式	中低压缸联通管抽汽方式
系统描述	从高压缸排汽的冷段管道抽汽,抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温减压器和安全阀。	从进入中压缸前的热段管道抽汽。抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温减压器和安全阀。	从汽机中压缸上打孔抽汽,在汽机中压缸抽汽口后设置座缸阀或旋转隔板。抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温减压器和安全阀。	从汽机中、低压缸的联通管上抽汽,联通管上设置关断蝶阀;抽汽管道上设置快关阀、快关止回阀、减温器和安全阀。
系统特点	1、抽汽流量较大,抽汽点压力较高,温度适中。 2、系统焓损较小,综合热效率较高。 3、余热锅炉设计时,应避免因流经再热器的蒸汽流量大幅减少,从而引起再热器超温。	1、抽汽流量较大,抽汽点压力较高,温度最高。 2、系统焓损大,综合热效率较低。	1、抽汽流量较大,抽汽点压力和温度较高。 2、系统焓损较大,综合热效率较低。 3、纯凝运行、机组低负荷或供热流量较大时,汽缸效率大大降低,发电效率降低。	1、抽汽流量最大,但是抽汽点压力和温度较低。 2、纯凝运行时,发电效率较高,发电能力较强。 3、系统焓损较小,综合热效率较高。
初投资	初投资较低,抽汽管道只需采用碳钢或普通合金管道、阀门和减温减压阀。	初投资较高,抽汽管道需采用高温合金管道、阀门和减温减压阀。	初投资最高,汽机增加旋转隔板或座缸阀。	系统最简单,初投资最低。
热负荷适应性	适用于大多数工业热负荷。	适用于大多数工业热负荷。	适用于大多数工业热负荷。	仅适用于采暖、制冷负荷、或低参数工业热负荷。
抽汽对高压缸通流影响	随抽汽量增加,高压缸通流叶片的轴向推力因进出压差增大而增加。	随抽汽量增加,高压缸通流叶片的轴向推力因进出压差增大而增加。	—	—
100%负荷的最大供热能力	约370 t/h	约380 t/h	约380 t/h	约400 t/h
机组发电能力	供热工况的发电能力降低较少。	供热工况的发电能力降低较多。	纯凝和供热工况的发电能力降低较多。	抽汽点位于系统较末端,发电能力较强。

表2 各类负荷需求汇总表

Tab. 2 Summary of various load requirements

项目	工业蒸汽负荷/(t·h ⁻¹)		
	最大	平均	最小
统计值	913	679.2	406.7
设计值(取同时使用系数0.75)	684.8	509.4	09时—24时:305 01时—08时:250
项目	制冷负荷/MW		
	外供冷负荷	厂内冷负荷	
设计值	11.3	2.3	
合计	13.5		

确定从机组抽汽参数为1.6 MPa.a/250℃,工业热负荷凝结水不回收。各工业蒸汽热负荷属于非季节性的生产工艺热负荷,故全年内工业热负荷的季节性差别不大。另外,为充分利用余热,提高机组能源综合利用效率,在余热锅炉尾部设置烟气热水换

热器,产生的热水用于热水型溴冷机,以满足制冷负荷需求^[11-14]。

3.2 主机选用情况

增城项目选用西门子公司SGT5-8000H型号的H级燃机,与同级别其它燃机相比,其全球的投运业绩最多、效率较高、容量合适。本工程采用两套H级燃机“一拖一”多轴配置联合循环机组,余热锅炉采用卧式、自然循环、三压再热、无补燃型、汽包余热锅炉,汽轮机采用三压再热抽凝式机组,汽机低位布置,配置侧排汽凝汽器。

3.3 冷段抽汽方式简述

如前所述,目前用于蒸汽供热抽汽的方式主要有4种,其中中低压缸联通管抽汽方式仅能用于低压蒸汽热负荷,不适合增城项目,其它3种供热抽汽方式在技术上可行。通过国际通用燃机电厂热平衡计算GTPRO软件计算,各方式在额定供热工况

的联合循环发电出力和效率对比见表3。

表3 三种抽汽方式主要技术对比表

Tab. 3 Main technical comparison of three extraction methods

项目	方式1	方式2	方式3
	冷段抽汽 方式	热段抽汽 方式	中压缸抽汽 方式
燃气轮机发电出力/MW	426.516	426.516	426.516
蒸汽轮机发电出力/MW	164.429	157.976	159.663
联合循环发电出力/MW	590.945	584.492	586.179
联合循环发电效率/%	55.46	54.86	55.01
联合循环综合能源利用率/%	74.27	73.67	73.82

从表3可以看出: 在额定供热工况时, 方式1的发电出力最大, 联合循环发电热效率最高, 方式3的发电出力和联合循环发电热效率居中, 方式2的发电出力最小, 联合循环发电热效率最低。因此, 增城项目采用冷段抽汽方式, 是经济最优方案。

增城项目采用冷再供热抽汽方式的流程示意图如图2所示, 抽汽管道从冷再管道止回阀后引出, 抽汽管道上分别设置气动快关阀、气动止回阀、减温减压器、流量计等, 两台机组的抽汽管道均接入公用的供热蒸汽联箱, 从联箱上引接对外供热管道, 供热联箱设安全阀排汽管道。

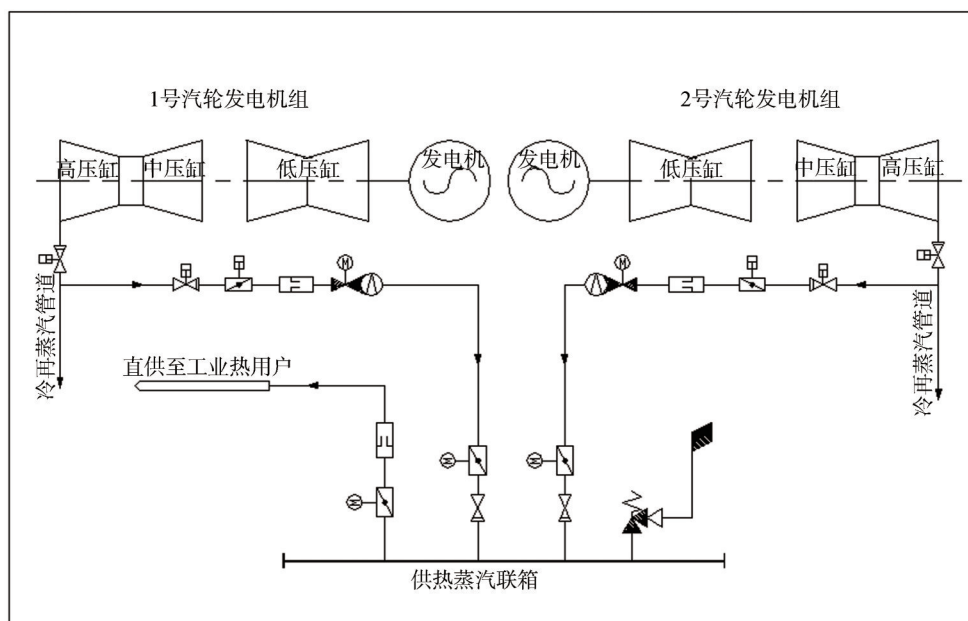


图2 冷再供热抽汽方式流程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of cold reheating steam extraction process

4 结论

综上所述, 机组有以下几种可选的供热抽汽方式: ①冷段抽汽、②热段抽汽、③中压缸抽汽、④中低压缸联通管抽汽, 其中第4种方式仅能用于低压蒸汽热负荷, 不适合增城项目。通过经济技术综合分析, 增城项目采用全面创新优化的抽汽供热方案, 即采用从高压缸排汽管道(冷段)抽汽经小幅减温减压进行供热的方案。与采用中压缸抽汽和热段抽汽大幅减温方案相比, 该方案具有以下优点:

1) 从高压缸排汽管道(冷段)抽汽, 抽汽点蒸汽的过热度大幅降低, 中压缸运行流量大幅减小(中压缸通流设计仍按纯凝不抽汽工况设计)从而

使冷段压力下降, 与抽汽压力正好具有较好的匹配性, 仅需小幅度减温减压即可满足供热参数要求, 参数匹配适应性更好、适应机组变工况运行的能力更强, 能实现能源供给最佳耦合。

2) 和从中压缸抽汽和热段抽汽大幅减温方案相比, 从高压缸排汽管道(冷段)抽汽经小幅减温减压进行供热的方案, 系统综合焓损失会大幅减小, 从而可取得更高的全厂能源利用效率。

3) 采用从高压缸排汽管道(冷段)抽汽, 汽机缸体无需设置座缸阀或旋转隔板, 汽机本体结构更加简洁高效, 抽汽管道不需要采用高温合金钢、阀门和减温减压器等, 可降低初投资。

参考文献:

- [1] 中国电力工程顾问集团有限公司,中国能源建设集团规划设计有限公司. 电力工程设计手册 [M]. 北京:中国电力出版社,2019.
China Power Engineering Consulting Group Co., Ltd., China Energy Engineering Group Planning and Engineering Co., Ltd. Power engineering design manual [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2019.
- [2] 韩高岩,吕洪坤,蔡洁聪,等. 燃气冷热电三联供发展现状及前景展望 [J]. 浙江电力,2019,38(1):18-24.
HAN G Y, LÜ H K, CAI J C, et al. Development status and prospect of CCHP of gas energy station [J]. Zhejiang Electric Power, 2019, 38 (1): 18-24.
- [3] 城市建设研究院. 燃气冷热电三联供工程技术规程: CJJ 145—2010 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
Urban Construction Research Institute. Technical specification for gas-fired combined cooling, heating and power engineering: CJJ 145—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [4] 李建波. 燃气联合循环供热机组抽汽方案的选择 [J]. 发电设备,2017,31(5):379-382.
LI J B. Selection of pumping schemes for a gas-fired combined cycle heating unit [J]. Power Equipment, 2017, 31 (5): 379-382.
- [5] 顾玉新. 压力适配器在供热系统中的应用 [J]. 发电设备,2005(5):340-342.
GU Y X. Application of pressure adaptors in heat supply system [J]. Power Equipment, 2005 (5): 340-342.
- [6] 李凯,张蕊. 利用压力适配器研究联合循环电站供热方案 [J]. 能源与节能,2014(1):64-66.
LI K, ZHANG R. Heating method research of combined cycle plant by pressure matcher [J]. Energy and Energy Conservation, 2014 (1): 64-66.
- [7] 徐敏仙. 利用压力适配器提高热电厂的经济性 [J]. 节能,2012,31(4):69-71.
XU M X. Using pressure matcher to improve the economy of thermal power plant [J]. Energy Conservation, 2012, 31 (4): 69-71.
- [8] 何干祥,林琳,王勇. 汽轮机旋转隔板变工况供热经济性分析 [J]. 热力发电,2018,47(7):120-124.
HE G X, LIN L, WANG Y. Economic analysis of heating unit with rotating board for steam turbine under off-design conditions [J]. Thermal Power Generation, 2018, 47 (7): 120-124.
- [9] 童家麟,吴瑞康,李剑,等. 供热机组深度调峰中供热方式的优化改造 [J]. 发电设备,2019,33(4):278-281+292.
TONG J L, WU R K, LI J, et al. Optimization retrofit on heat supply modes of heating units for deep peck-load regulation [J]. Power Equipment, 2019, 33 (4): 278-281+292.
- [10] 李代智,周克毅,徐啸虎,等. 600 MW火电机组抽汽供热的热经济性分析 [J]. 汽轮机技术,2008(4):282-284.
LI D Z, ZHOU K Y, XU X H, et al. Thermal economic analysis on coal fired 600 MW CHP power plant [J]. Turbine Technology, 2008 (4): 282-284.
- [11] 徐蕾. 降低余热锅炉排烟温度优化方案研究 [J]. 机电信息,2016(36):51+53.
XU L. Research on optimization scheme of reducing exhaust gas temperature of heat recovery steam boiler [J]. Mechanical and Electrical Information, 2016 (36): 51+53.
- [12] 章正传,殷俊,李懿靓. 大型F级燃气蒸汽联合循环烟气余热利用探讨 [J]. 能源与节能,2013(12):59-61+157.
ZHANG Z C, YIN J, LI Y L. Discussion on flue gas waste heat utilization technology of heavy (F class) gas-steam combined cycle power plant [J]. Energy and Energy Conservation, 2013 (12): 59-61+157.
- [13] 朱瑾,阮定龙,付焕兴,等. 一种余热锅炉尾部换热器系统: CN107388228A [P]. 2017-11-24.
ZHU J, RUAN D L, FU H X, et al. One kind of rear heat exchanger system of heat recovery steam boiler: CN107388228A [P]. 2017-11-24.
- [14] 黄挺. 广州大学城分布式能源站供冷系统选型设计 [J]. 南方能源建设,2017,4(4):34-36.
HUANG T. Research on central cooling design for distributed energy station in Guangzhou university town [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4 (4): 34-36.

作者简介:



范勇刚

范勇刚 (通信作者)

1975-, 男, 四川遂宁人, 高级工程师, 学士, 电厂热能动力工程专业, 主要从事火力发电厂热机专业设计工作 (e-mail) fanyonggang@swepdi.com。

(责任编辑 李辉)