

分布式能源站燃气内燃机的余热利用方式探讨

黄镜欢, 施海云

(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: 通过对燃气内燃机分布式供能系统的余热来源、余热温度、可利用程度等进行分析, 并对余热利用系统设计时需要关注的内燃机排气背压、余热系统烟气阻力及排烟温度等参数等进行研究, 最后对主要的余热利用设备的原理及技术应用进行了探讨, 对燃气内燃机分布式供能系统余热利用系统方案设计具有一定参考意义。

关键词: 分布式能源; 内燃机; 余热利用; 冷热电联产

中图分类号: TM611 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8676(2015)02-0066-04

Discussion on Heat Recovery of Gas Engine on Distributed Energy System

HUANG Jinghuan, SHI Haiyun

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

Abstract: Based on the gas engine distributed energy supply systems, the heat sources, temperature and usability of the waste heat were analyzed. The back pressure and temperature of gas engine discharge and the pressure drop which should be noticed on the heat recovery system design were studied. The work principle and technology of the main kinds of heat recovery equipments were re-searched. The results provide reference to the heat recovery system design of gas engine distributed energy supply system.

Key words: distributed energy; gas engine; heat recovery; CCHP

能源紧缺, 环境恶化是日趋严重的全球性问题。天然气分布式能源系统凭借其能源利用效率高、节能减排、保障区域供电安全等独特优势在“十二五”期间得到高度重视和迅猛发展。目前, 用于分布式能源站的原动机主要是燃气轮机、内燃机^[1,6]。燃气轮机冷热电联产系统在我国的发展相对成熟, 但对于内燃机分布式冷热电联产系统的研究相对较少, 还处于起步阶段^[1-2,4]。

根据国家分布式能源站的要求, 在规划区域内尽量实现冷、热、电的平衡, 分布式供能站的年平均热效率不应小于 70%^[3,5], 且年平均热电比不应小于 55%^[5]。余热利用对内燃机分布式冷热电联产系统来说相当重要, 直接影响系统综合能源利用效率的高低。本文以内燃机分布式冷热电联产系统为

对象, 对燃气内燃机余热利用的主要设计问题进行探讨, 归纳内燃机的余热情况和余热利用的技术要求, 探讨余热利用设备的技术要求和适用性。

1 燃气内燃机的余热

燃气内燃机工作时, 燃气进入内燃机, 在混合器中与空气混合, 通过烟气涡轮增压器增压、冷却器冷却后进入气缸, 经火花塞高压点火, 燃烧膨胀, 推动活塞做功, 带动曲轴转动, 通过发电机输出电能。

内燃机燃料燃烧放出来的热量包括转化为电能的热量、排气带走的热量和冷却系统带走的热量。内燃机的缸套、内部冷却器和润滑油等本体的冷却一般由高温冷却水循环(后面简称“高温缸套水”)、低温冷却水循环(后面简称“低温缸套水”)组成。因此, 内燃机的余热主要有烟气、高温缸套水、低温缸套水三部分。

国际知名的主要内燃机生产厂家有 GE 颜巴赫(Jenbacher)、曼海姆(MWM)、瓦锡兰(Wartsila)、

收稿日期: 2014-12-16
作者简介: 黄镜欢(1979), 女, 广东珠海人, 高级工程师, 硕士, 主要从事核电站、分布式能源站、燃气联合循环电站的热机设计工作(e-mail)huangjinghuan@gedi.com.cn。

卡特彼勒(Caterpillar)、曼柴油与透平(MAN Diesel & Turbo)。根据以上内燃机厂家的大量资料数据显示, 大部分内燃机的排烟温度为 350 ~ 450℃, 大约占内燃机可利用余热总量的 50% ~ 60%, 是可利用的中高温热源。

高温缸套水主要冷却润滑油、缸套和第 1 级中冷器等, 高温缸套水出口温度一般为 90 ~ 95℃, 进水温度一般为 74 ~ 80℃, 大约占内燃机可利用余热总量的 40% ~ 50%, 是可利用的低温热源。

低温缸套水主要冷却第 2 级润滑油和第 2 级中冷器等低温设备, 低温缸套水出口温度一般为 40 ~ 70℃, 进水温度一般为 34 ~ 60℃。温度较低, 流量较小, 总热量较少, 一般不予利用; 当出水温度较高, 技术经济比较合适时可考虑利用。

2 燃气内燃机的排气背压要求

燃气内燃机的排气背压一般要求在限制值以内, 这是机组性能保证的要求。如果超过排气背压, 会对机组的运行产生影响, 具体而言, 会降低燃烧效率、增加燃料消耗、增加排放、经济性变差等, 严重地会损坏涡轮增压器。排气背压的影响是综合性的, 根据收集的大量资料显示, 几个主要厂商内燃机的最大排气背压要求见表 1。

表 1 内燃机最大排气背压		
Table 1 Maximal Back Pressure of Gas Engine Discharge		
GE 颜巴赫(Jenbacher)	瓦锡兰(Wartsila)	曼海姆(MWM)
60 Mbar	50 Mbar	50 Mbar

燃气内燃机余热利用系统与内燃机组成联合回路, 余热利用系统的压降直接影响内燃机的背压。余热利用系统的阻力增加, 将会增加内燃机的排气背压, 内燃机出力将降低。因此, 内燃机烟气余热利用系统的压降要求控制在最大排气背压限制值以内, 以确保机组的正常运行。

3 烟气余热利用后排烟温度的确定

当排烟中含有 SO₂ 时, 其中一部分会转化成 SO₃, 并与烟气中的水蒸气结合生成 H₂SO₄ 蒸汽, 在低温金属表面上凝结形成 H₂SO₄ 溶液, 腐蚀金属^[11]。当管壁温度降至硫酸蒸汽的露点温度时, 硫酸蒸汽逐渐凝结在管壁, 并开始腐蚀管壁, 即低温腐蚀。低温腐蚀会使管壁厚度逐渐减薄以至破

裂, 对余热锅炉的安全运行危害性极大。

排烟温度过低会使换热器的低温受热面壁温低于酸露点, 引起受热面金属的严重腐蚀, 危及锅炉运行安全。因此, 回收烟气热量, 为了有效地防止低温腐蚀的发生, 首先要确定烟气的酸露点温度。为了防止换热管发生低温硫腐蚀, 一般排烟温度应比硫酸露点温度高 10℃ 以上。当燃烧无硫燃料时, 则以不在尾部管束上凝结水滴为原则, 即余热利用后排烟温度应比水的凝结点温度高 10℃ 以上^[7]。

排烟温度越低, 换热面积越大, 投资越高, 因此, 排烟温度越低并不是经济性越好, 回收的烟气余热收益和增加的投资之间存在一个平衡点。因此, 理论上烟气温度可以降到比较低的水平, 但需综合考虑烟气回收方案的设备价格、燃料价格、热价和电价后确定。

4 内燃机烟气余热利用设备选择

余热利用设备应根据负荷需求、余热参数, 按照能源梯级利用、经济适用的原则合理配置。分布式供能站的余热利用设备主要包括: 余热锅炉、汽轮发电机组、吸收式制冷设备、余热发电装置(ORC 有机朗肯循环技术)等。不同的余热利用设备对热源的需求是不同的, 以下分别对这几种用余热利用设备的热源需求、技术要求和适用性进行分析研究。

4.1 吸收式制冷设备

热电冷联供系统中往往同时配置吸收式制冷机和压缩式制冷机, 吸收式制冷机承担基本冷负荷, 压缩式制冷机用于冷负荷调峰。为满足冷负荷需求, 在有合适的热源特别是有余热或废热的场所或电力缺乏的场所, 宜采用吸收式制冷机组。吸收式制冷机组根据热源方式不同又分为烟气型、蒸汽型、热水型和直燃型制冷机组。还可根据负荷需要选择单冷型或者冷热水型吸收式制冷机组。吸收式余热制冷机组制冷功率小可到几十千瓦, 高可达几兆瓦, 技术成熟, 产品的规格和种类齐全, 在国内已有大量的应用^[9]。燃气内燃机分布式冷热电联产系统可根据负荷需要和余热情况选用合适的吸收式制冷设备。

在余热利用中, 不同类型的吸收式制冷设备对热源要求如下:

1) 烟气型吸收式制冷机的热源要求: 烟气温度

$\geq 250^{\circ}\text{C}$ 。

2) 热水型吸收式制冷机的热源要求: 热水温度 $\geq 90^{\circ}\text{C}$ 。

3) 蒸汽型吸收式制冷机的热源压力要求: $0.2 \sim 0.8\text{MPa}$ 饱和蒸汽。

4.2 余热锅炉

余热锅炉是一个利用烟气余热生产高压、中压或低压蒸汽或热水的换热器, 经余热锅炉换热后的蒸汽或水可再利用其他设备进行不同能源形式转换。余热锅炉一般对热源无明确的要求, 但其生产的蒸汽或水的参数和量受限于热源的参数和量。

余热锅炉的设计的关键参数主要有节点温差、窄点温差和接近点温差: 节点温差是指过热器出口汽温与过热器入口烟温之间的温差。窄点温差是指余热锅炉中蒸发器入口处烟气的温度, 与蒸发器中饱和水温度的差值。接近点温差是指余热锅炉中省煤器出口的水温与相应压力下饱和水温之间的差值。

降低节点温差, 可以得到较高的过热度, 从而提高过热蒸汽品质。但降低热端节点温差, 会使过热器的对数平均温差降低, 从而增大过热器的传热面积, 增大金属耗量。根据有关文献研究表明, 当热端节点温差选择在 $30 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内时, 是比较合理的^[7]。节点温差确定了, 余热锅炉入口烟气温度就决定了余热锅炉的蒸汽温度。因此, 余热锅炉的主蒸汽温度一般比排气温度低 $30 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 余热发电装置

余热发电装置 (ORC 有机朗肯循环技术) 是以低沸点有机物为工质的朗肯循环, 与常规的蒸汽发电装置的热力循环原理相同, 只是循环工质不同, 系统更简单紧凑^[9]。装置主要由蒸发器、透平、冷凝器和循环泵等主要设备组成, 可对外提供电和热水输出。有机朗肯循环的组成和系统示意图如图 1 所示^[9], 有机工质在蒸发器中从热源吸取热量, 生成具有一定压力和温度的蒸汽, 蒸汽进入透平膨胀做功, 带动发电机或其它动力机械^[10]。从透平排出的蒸汽在凝汽器中向冷却水放热, 凝结成液态, 液态工质通过循环泵回到蒸发器, 如此循环。

利用余热发电装置的热源要求是: 热源温度应高于工作介质蒸发温度, 热量需满足工作介质蒸发需求的热量。由于采用的有机工质不同, 不同公司的 ORC 设备可用余热温度范围也不同, 如: 美国

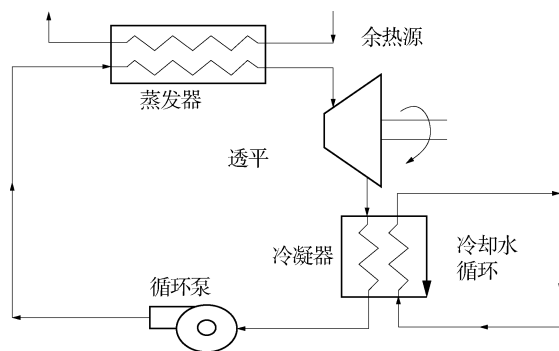


图1 有机朗肯循环系统示意图

Fig. 1 Organic Rankine Cycle System Diagram

ORMAT 公司利用的热源温度为 $95 \sim 315^{\circ}\text{C}$; 荷兰 Triogen 公司和德国 Bosch 公司的产品都是直接利用余热加热有机工质, Triogen 要求大于 350°C , Bosch 则为 $150 \sim 270^{\circ}\text{C}$; 意大利 Turboden 公司和德国的 Adoratec 公司的产品先利用余热加热油, 然后利用油加热有机工质, 要求余热温度大于 300°C 。

根据对国内外多家相关设备厂家的调研和收集的资料显示, 余热发电装置的发电效率一般为 $16\% \sim 21\%$ 。国外有机朗肯循环余热利用技术研究较多^[8], 并已成功商业化, 已有不少应用实例, 且性能稳定, 节能效果明显。但是, 设备投资相对较高, 按目前的市场情况, 余热发电装置的初投资约 $2.5 \sim 3.0$ 万元/kw, 远大于目前一般的天然气联合循环电站和分布式能源站的单位初投资, 经济性欠佳。但是, ORC 有机朗肯循环技术作为一种中低品位热能回收技术, 集成度高, 直接输出高品位的电能, 具有示范意义和推广价值。目前, ORC 有机朗肯循环余热利用技术在国内分布式能源领域应用非常少, 在合适的条件下可以考虑进行示范应用。

4.4 汽轮发电机组

燃气-蒸汽联合循环发电厂中最常规的余热利用、转化设备是余热锅炉和汽轮机发电机组。根据《发电用汽轮机参数系列》(GB/T 754—2007) 的汽轮机蒸汽参数系列, 最小功率的非再热式汽轮机为 0.75MW , 低压蒸汽流量推荐为 5t/h 。对比目前主要的内燃机产品, 内燃机容量小、排烟量小、排烟温度比较低, 根据排烟参数初步计算表明, 单台内燃机机组不适于与余热锅炉和汽轮机组成联合循环。由于内燃机机组容量小、发电效率高、运行灵活、启停快, 结合分布式能源站选用内燃机组的一

般原则, 一般情况选用多台内燃机, 机组的运行数量需根据电力负荷需求组合不同的运行方式, 也不适于将多台内燃机共同带动一套余热锅炉和汽轮机组成联合循环。另外, 小型的汽轮机发电机组发电效率也低, 系统及配置复杂, 因此, 内燃机机组的烟气余热利用一般不推荐与余热锅炉和汽轮机组成联合循环发电机组。

5 结语

本文以燃气内燃机分布式冷热电联产系统为对象, 对内燃机余热利用系统设计的主要技术问题进行了研究和总结。通过对燃气内燃机的余热进行分析, 归纳了内燃机余热的总体情况、排气背压的要求; 对余热利用的技术要求进行了分析, 明确了余热利用如何确定排烟温度; 通过对主要的几种余热利用设备的原理和技术情况进行分析, 对设备在内燃机的余热利用方面的热源要求、技术要求和适用性方面进行了探讨, 对分布式供能系统技术选择和余热利用方案配置具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 马琴, 郭鹏, 张梅有, 等. 燃气内燃机与燃气轮机分布式供能系统的对比分析 [J]. 华东电力, 2013(2): 270-274.
MA Qin, GUO Peng, ZHANG Meiyu, et al. Comparative Analysis of Gas Engine and Gas Turbine Distributed Energy Supply System [J]. East China Electric Power, 2013(2): 270-274.

[2] 蒋润花, 杨晓西, 杨敏林, 等. 内燃机分布式冷热电联供技术应用及发展趋势 [J]. 节能技术, 2012(2): 127-130.
JIANG Runhua, YANG Xiaoxi, YANG Minlin, et al. Application Status and Developmental Tendency of Internal Combustion Engine CCHP Technology [J]. Energy Conservation Technology, 2012(2): 127-130.

[3] 国家发改委, 财政部, 住房城乡建设部, 等. 关于发展天然气分布式能源的指导意见 [L]. 2011-10-09.

[4] 蒋润花, 蔡睿贤, 崔平, 等. 内燃机冷热电联产系统典型变工况特性 [J]. 工程热物理学报, 2011, 32(2): 201-204.

JIANG Runhua, CAI Ruixian, Cui Ping, et al. Typical Off-Design Performance of Internal Combustion Engine CCHP System [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2011, 32(2): 201-204.

[5] 中华人民共和国国家能源局, 分布式供能站设计规范(送审稿) [S]. 2013.

[6] 夏浩文, 杨锦成, 马宪国, 等. 分布式能源系统原动机选型方法研究 [J]. 上海节能, 2012(4): 6-9.
XIA Haowen, YANG Jincheng, MA Xianguo, et al. Research on the Selection of the Prime Motor in Distributed Energy System [J]. Shanghai Energy Conservation, 2012(4): 6-9.

[7] 杨伟良, 徐栋梅, 吕震宇, 等. 燃气-蒸汽联合循环余热锅炉概述 [J]. 锅炉制造, 2001(2): 12-15.
YANG Weiliang, XU Dongmei, LU Zhenyu, et al. Gas-steam Combined Cycle Heat Recovery Boiler Introduction [J]. Boiler Manufacturing, 2001(2): 12-15.

[8] 王亮, 李清海, 蒙爱红, 等. 有机工质余热发电技术的研究进展及其应用前景 [J]. 能源技术, 2010(2): 9-14.
WANG Liang, LI Qinghai, MENG Aihong, et al. Review of Waste heat recovery for Power Generation With Organic Rankine Cycle. Energy Technology [J]. 2010(2): 9-14.

[9] 连红奎, 李艳. 我国工业余热回收利用技术综述 [J]. 节能技术, 2011, 29(2): 123-133.
LIAN Hongkui, LI Yan. An Overview of Domestic Technologies for Waste Heat Utilization [J]. Energy Conservation Technology, 2011, 29(2): 123-133.

[10] 李艳, 连红奎, 顾春伟. 有机朗肯循环系统及其透平设计研究 [J]. 工程热物理学报, 2010, 31(12): 2014-2018.
LI Yan, LIAN Hongkui, GU Chunwei, Design and Study of Organic Rankine Cycle(ORC) and TURBINE for ORC [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(12): 2014-2018.

[11] 刘正宁, 刘洋, 谭厚章, 等. 余热锅炉省煤器腐蚀机理的研究, 动力工程学报 [J]. 2010, 30(7): 508-511.
LIU Zhengning, LIU Yang, TAN Houzhang, et al. Study on Corrosion Mechanism of Economizer of Waste Heat Boilers [J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2010, 30(7): 508-511.

(责任编辑 林希平)

广 告

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司..... 封二
《南方能源建设》风能专刊征稿 封三