

船用柴油机废气余热回收

李 赫 (哈尔滨船舶工程学院)

〔摘要〕 本文简要说明船用柴油机废气余热回收的主要技术问题,并给出有关的数据。文章内容只涉及常规的余热蒸汽系统,主要反映国外的实践。

关键词 船用柴油机 废气 余热回收 综述

1 引 言

通常,燃油的能量仅有50%转变成内燃机的机械功,其余50%是废热(或余热),一部分存在于发动机废气之中,一部分被冷却水吸收。船用柴油机废气带走的热能,大约占燃油能量的(25—40)%,具体数值与发动机的型式有关。为了利用发动机废气的余热,将余热锅炉列为柴油机船上的标准设备,现在已是成规。换言之,现在的问题不是要不要配备废气余热回收系统,而是在特定的场合采用哪种系统最为合适。

采用的任何第一代余热回收系统,应当简单,包含最小的开发风险,或者不包含开发风险。开发船用余热回收技术,同样遵循航运业普遍实行的原则:不率先采用新设备或新方法。稳妥的做法是,移植陆用的、经过验证的设备或方法,使之适用于船舶。设计船用余热回收系统时,应当考虑主机功率、航行时间、在海上和在港口需要的电力和蒸汽、初始费用和维护费用、人员配备等等因素。

2 余热锅炉入口和出口的废气温度

柴油机的废气温度与发动机的类型有

关:四冲程发动机为310—480℃,二冲程发动机为240—310℃。从发动机增压器到余热锅炉,废气温度损失3—5℃。

余热锅炉出口的废气温度,受酸露点或余热锅炉冷端腐蚀的限制,不能任意降低。设计工况的出口废气温度,过去限制在180℃,为了多回收废气余热,现在降低到150—160℃。船用余热锅炉的设计点,通常定在(0.7—0.9)发动机最大持续功率上。除设计工况外,还应当注意低负荷时出口的废气温度。由于低负荷时发动机废气温度降低,所以不能排除冷端腐蚀的危险。

3 酸露点和低温腐蚀

燃油中的硫与氧化合成二氧化硫 SO_2 。一部分 SO_2 进一步反应,产生三氧化硫 SO_3 。 SO_3 与废气中的水分形成硫酸。硫酸在温度达到酸露点的管壁表面上冷凝。在考虑低温腐蚀时,重要的因素是管壁表面温度。由于气侧传热系数与水侧传热系数相差很大(例如,气侧传热系数为 $50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,水侧传热系数为 $5000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$),对大多数实用场合来说,可以认为气侧管壁温度几乎等于管内水的温度(实际上,二者相差在5—10℃以下)。所以给水进入锅炉时的温度对管壁表面上的冷凝有决定性作用。当管壁温度低于酸露点10—40℃时,腐蚀率随

收稿日期 1991-08-30

本文联系人 李赫 男

150009 哈尔滨船舶工程学院3系

管壁温度降低而增高。此外,废气温度与管壁温度相差越小,硫酸在管壁上沉积越少。

废气的酸露点随燃油含硫量的增大及过量空气系数的增大而提高。目前航运业所用的重油含硫量为(2.5—5)%。以含硫量为3.5%的柴油机燃油为例,其酸露点为130℃。因此通常要求给水进入锅炉时温度不低于130℃。

当今船用余热锅炉的发展,重点在于解决以下两方面带来的问题,即,使用含硫量高的劣质燃油,以及二冲程柴油机效率稳步提高导致废气温度降低。过去人们从未试图利用温度低于酸露点的废气,而且很少有人研究这一课题,因此也就未能取得可靠的设计数据。现在,挪威船舶技术研究所和丹麦Aalborg锅炉公司共同开展这项实验研究。它们的基本论点是,在低温下运行的余热锅炉,其设计目标不是消除腐蚀,而是将腐蚀控制在一定水平上,使加热表面恶化的速率与令人满意的投资收益相一致,无损于设备的可靠性和可用性。由此可见,有的Aalborg锅炉采用85—95℃的经济器入口给水温度,与上述基本论点不无联系。

4 蒸汽参数

由于蒸汽的饱和压力与一定的饱和温度相对应,所以余热锅炉运行的蒸汽压力受废气温度限制。废气温度越高,最佳蒸汽压力越高。有经济器时最佳蒸汽压力比无经济器时高。给水温度只在有经济器的情况下才对最佳蒸汽压力有影响。船用余热锅炉的设计压力可能高达3.0 MPa,但是压力为1.0 MPa以下的蒸汽得到广泛应用。

有过热器时,蒸汽过热度取50—100℃,或更高的数值。同时,保持废气入口温度与过热蒸汽出口温度相差50℃以上。由于发动机废气温度下跌,此温度差随之减小(如25—30℃)。根据上述条件,实用的过热蒸汽温

度不超过290℃。

5 窄点温差

窄点温差指的是废气与工作流体之间的最小传热温度。在描述和量化传热极限时,或者对不同的余热回收系统进行比较时,窄点温差是一个很有用的指导性数值。通常取窄点温差等于40—15℃,而过去认为低于15—20℃是不可想象的。由于燃油价格上涨,窄点温差现在可能小到8—5℃,但是余热锅炉的体积和重量很大,制造成本也高。对于船东来说,窄点温差可以帮助人们作出最终投资决定。

6 废气侧压力损失

通常,柴油机制造厂限制增压器后面的背压不超过2500—3000 Pa。这意味着,废气通过余热锅炉加热表面的压力损失小于1200—1800 Pa。废气流速高低,影响传热、积灰和压力损失,通常取20 m/s左右。废气流速的上限,取决于允许的压力损失。废气流速太高,还可能引起余热锅炉管束振动。

7 烟管锅炉和水管锅炉

烟管锅炉结构坚固、运行可靠、对水品质要求不高,但是清洗工作比较困难。废气温度不超过400℃时,允许干运行。为了提供在港口和发动机低功率运行时需要的蒸汽,船上备有烧油辅助锅炉。烟管锅炉有时与烧油辅助锅炉组合成一个锅炉,即所谓的组合烟管锅炉。烟管锅炉的设计压力低于2.0 MPa,蒸汽产生量小于7 t/h。

水管锅炉多按强制循环方式运行,循环倍率通常为3.5—5.0。经济器、蒸发器和过热器管内工作流体的流速,分别是2、20和30 m/s。蛇形管或水平安装或垂直安装,采用

光管、肋片管或螺柱管。管子直径通常为32—51 mm，受热面可以达到4 000 m²，蒸汽产生量可以达到15t/h。烧油辅助锅炉的鼓筒可以用作水管锅炉的汽水分离器。

根据船用余热锅炉流程上的主要特征，可以分类如下：

I 烟管锅炉：

- 1. 简单烟管锅炉
- 2. 组合烟管锅炉

II 水管锅炉：

- 1. 无经济器(给水在鼓筒内混合预热)
- 2. 有经济器：

- (1) 鼓筒内有表面式给水预热器；
- (2) 有外置表面式给水预热器：

A. 给水流过经济器；

B. 循环水流过经济器：

- a. 蒸发器内工作流体顺流
- b. 蒸发器内工作流体逆流

- (3) 给水注入循环水流

8 单压蒸汽系统和双压蒸汽系统

目前使用最广的是单压蒸汽系统，因为它简单、投资少。单压蒸汽系统的投资回收时间短，通常为1—2年。为了进一步降低余热锅炉出口废气温度，扩大余热回收，在可以接受较长的投资回收时间的条件下，双压蒸汽系统显得有利。在双压蒸汽系统中，高压蒸汽用于驱动汽轮发电机，低压蒸汽供加热用(如0.2 MPa饱和蒸汽)。

9 汽轮发电机组

船用余热回收汽轮发电机组的容量，大机组1 000—1 500 kW，小机组300—500 kW。近十年以来，有向小容量发展的趋势，以满足较小的船舶对余热回收汽轮发电机组的需要，这些船舶甲板之间的空间更受限制。汽轮发电机组通常是整套装在一起的，本身设

备齐全。汽轮机和减速齿轮安放在包含冷凝器的共同支座上，互相联系的管路在制造厂装好，这样可以避免在船上对中的问题，而且缩短在船上的安装时间。

10 余热蒸汽系统的运行

余热蒸汽系统运行时，蒸汽压力和蒸汽温度不是维持定常的，而是随蒸汽产生量变化而变化，随发动机废气量和废气温度变化而变化。为了控制余热锅炉的蒸汽产生量，可以旁通一部分废气，或者将过剩蒸汽倾入大气式冷凝器。改变烟管锅炉的水位，也是调节余热蒸汽系统的一种方法。在紧急情况下，余热锅炉能够经受于运行。

废气中含有不可燃灰分和残余可燃成分，附着在受热面上，不仅影响余热锅炉的性能，而且存在积灰着火的危险。为此，需要在运行中净化受热面。通常利用吹灰器，以饱和蒸汽或压缩空气为工作流体。蒸汽吹灰消耗大量蒸汽(如1.5—2.0 kg/s)，影响汽轮发电机正常运行，还会形成硬化层或粘滞层。压缩空气吹灰，生产成本高。此外，声波振动除灰(次声波或超声波，声级130—135 dB(A))，得到日益广泛的应用，前景良好。

参 考 文 献

- 1 Norris A. Waste heat recovery—Are we too conservative. S.&M.E.Int. March 1977
- 2 Geisler O. Efficiency of waste heat recovery systems in motorships. Proc. Imas 76
- 3 Gietzelt M. Design of boilers for co-generation by waste heat recovery of diesel engines. VDI BERICHTE
- 4 Cox D R. Power generation by waste heat recovery. MER NOVEMBER, 1981
- 5 Condra T. Research into low temperature exhaust gas heat recovery. MER JUNE, 1986
- 6 Marine waste heat recovery. Brotherhood Review Spring, 1981

(下转56页)

The Application of Programmable Controller in a Main Fan Set Interlocking Protection System of a Catalytic Cracker

Shan Yinzong

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

In connection with the requirements of an interlocking protection for a main fan set in a catalytic cracker this paper analyses the advantages of a programmable controller serving as a control unit and presents a design version with flue gas recovery being taken account of.

Key words: *catalytic cracking, interlocking protection, programmable controller*

(上接20页)

Marine Diesel Engine Waste Gas Heat Recovery

Li He

(Harbin Shipbuilding Engineering Institute)

Abstract

This paper gives a brief description of the main technical problems encountered during the marine diesel engine waste gas heat recovery with relevant data being provided. The description only concerns conventional waste heat steam system and mainly reflects foreign engineering practise.

Key words: *marine diesel engine, waste gas, waste heat recovery, overview*

(上接25页)

Study and Design 5.6 MW Mobile Packaged Boiler House and Related Boilers

Dong Shan, Sun Qingjun, Ling Renbin

(Harbin Architectural Engineering Institute)

Pan Chenyuan

(Anshan Thermotechnical Design Institute)

Abstract

The authors have set forth various reasons for the necessity of building packaged and mobile boiler houses. In addition, described in this paper are a 5.6 MW mobile boiler house and the design performance, features and measurement results of a new type hot water boiler with a jacket tube type convection tube bank construction.

Key words: *boiler house, boiler, assembly, mobile type*