

文章编号: 1008 - 830X(2002)02 - 0187 - 04

· 研究简报 ·

船舶柴油机余热的利用

吴伯才

(宁波大学海运学院 浙江宁波 315211)

摘 要 阐述了船舶节能的重要性和经济价值,通过分析船舶余热的成份,提出了合理利用余热的途径。

关键词 排气余热;冷却水余热;余热利用

中图分类号: U664. 121

文献标识码: B

Utilization of Waste Heat in Vessels

WU Bo - cai

(Maritime College of Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In this paper, it was carried out to expound the importance and economic benefit of energy saving in vessels, and to analyze the constitution of waste heat and to put forward several convenient approaches for utilization of waste heat in vessels.

Key words: Vent heat; cooling water heat; utilization of waste heat

自 1973 年世界发生石油危机以来,加上环境污染的加剧,节能问题日益引起了人们的重视。如何提高能源的利用率,减少船舶柴油机废气的排放,保护人类赖以生存的环境是许多人致力研究的课题。就燃料大户船舶而言,目前柴油机余热的利用主要是利用废气涡轮增压器将废气能量转换成扫气空气的压力来提高柴油机的功率和效率,同时利用废气锅炉产生 0.5 MPa 左右的饱和水蒸汽来满足船员的日常生活用水及油舱的加热保温等,却忽略了柴油机冷却水带走了大量热量这一事实。这使得废热的利用不仅不充分,而且不合理。在船舶朝着大型化、高速化发展的今天,柴油机的额定功率最大的已超过 37 285 kW,为减少耗油,柴油机冷却水的出口温度也从 20 世纪 60 年代的 60 ~ 65 ℃ 提高到现在的 80 ~ 85 ℃,有些高速机高达 90 ℃ 以上。冷却水出口温度的增加使冷却水热能的品质有了很大的提高,也为冷却水余热的利用创造了更好的条件。因此柴油机余热的利用,无论从经济上或环保方面都具有重大价值。本文将着重探讨如何优化利用柴油机排气余热。

1 船舶柴油机余热能量的构成

船舶柴油机燃料产生的热能中大约 50 % 左右转化为柴油机的输出功,其余 50 % 左右通过排气、冷却水等排放到船外,造成很大的能源浪费,其中以排气和气缸冷却水、活塞冷却水的排热占主要部分。

1.1 柴油机排气热

柴油机排气热的总量为 $Q = C_p^* \cdot M \cdot T_2 - C_p^* \cdot M \cdot T_1$, 其中 Q_1 表示柴油机排气带走的热量, C_p^* 、 C_p^* 分

收稿日期 2002 - 03 - 23

作者简介: 吴伯才(1958 -),男,浙江新昌人,高级讲师,硕士,研究方向:轮机管理。

别表示温度为 T_1 、 T_2 时烟气的定压比热 ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$), M 为排烟的质量 kg , T_2 为废气涡轮增压器涡轮出口温度, T_1 为环境温度, 由上式可见, 柴油机排气温度越高, 排气量越大, 废气热量就越多。因此降低排气温度, 减少过量空气系数可使排气热减少。

1.2 排气中可供利用的热量

由于排气温度低于 125°C 时, 废气中的硫的氧化物会造成柴油机等的低温腐蚀。为防止低温腐蚀, 排入大气中的废气温度最好不低于 150°C , 废气中实际可利用的废热热量为

$$Q_2 = C_p^{T_2} \cdot M \cdot T_2 - C_p^{150} \cdot M \times 150,$$

其中 Q_2 为可回收利用的排气热, C_p^{150} 为 150°C 时废气的定压比热, 根据某船柴油机的实测参数, $T_2 = 370^\circ\text{C}$, $T_1 = 30^\circ\text{C}$, 过量空气系数为 1.26 时, 1 kg 燃油完全燃烧约需 18 kg 空气, 燃油低热值取 $41\,860\text{ kJ/kg}$, 查得烟气的定压比热 $C_p^{370} = 1.144\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$,

$$C_p^{150} = 1.083\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}, C_p^{30} = 1.042\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

此情况下, 排气废热占燃油产生热量的百分比 η_1 为

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{C_p^{370} \times M \times 370 - C_p^{30} \times M \times 30}{\frac{M}{18+1} \times 41680} \times 100\% \\ &= 17.7\% \end{aligned}$$

实际可利用的排气热的百分比 η_2 为

$$\begin{aligned} \eta_2 &= \frac{C_p^{370} \times M \times 370 - C_p^{150} \times M \times 150}{\frac{M}{18+1} \times 41680} \times 100\% \\ &= 11.84\% \end{aligned}$$

1.3 汽缸冷却水和活塞冷却水带走的总热量

气缸冷却水、活塞冷却水带走的热量是另一项柴油机排热。目前使用的柴油机由于冷却水温度提高, 总的散热量有所减少, 但冷却水热能的品质有了较大的提高, 经过适当加热处理或直接进行加热是完全可以满足船员日常生活和燃油舱加热的需要的, 该部分热量 Q_3 可以下式计算

$$Q_3 = C_{p1} \times m_1 \times \Delta T_1 + C_{p2} \times m_2 \times \Delta T_2,$$

这里 C_{p1} 、 C_{p2} 分别为气缸冷却液、活塞冷却液的定压比热, m_1 、 m_2 分别为气缸冷却水和活塞冷却液的质量流量, ΔT_1 、 ΔT_2 分别为气缸冷却水和活塞冷却液的进出口温差。以某船为例, 海上定速航行时, 测得相关参数如下, 平均指示压力 140.725 N/cm^2 , 转速 160 r/min , 指示功率 $6\,752\text{ kW}$, 气缸和活塞都用水冷却, 缸平均进口温度为 63°C , 出口温度为 73°C , 冷却水压力为 0.21 MPa , 冷却水流量为 $196\text{ m}^3/\text{h}$, (根据离心泵定速特性曲线查得) 油耗 1.17 t/h 。活塞冷却水与气缸冷却水用同一主淡水泵供水。此时, 每小时淡水带走的热量为

$$\begin{aligned} Q_3 &= C_{p1} \cdot m_1 \cdot \Delta T_1 + C_{p2} \cdot m_2 \cdot \Delta T_2 = 4.2 \times m_1 \times 10 + 4.2 \times m_2 \times 10 \\ &= 8.232 \times 10^6\text{ kJ}. \end{aligned}$$

占燃油总发热量的比例 η_3 为

$$\eta_3 = \frac{Q_3}{Q} \times 100\% = \frac{8.232 \times 10^6}{1.17 \times 10^3 \times 41860} \times 100\% = 16.8\%$$

该柴油机的热效率 η 为

$$\eta = \frac{P}{Q} \times 100\% = \frac{6752 \times 3600}{41860 \times 1.17 \times 10^3} \times 100\% = 49.6\%$$

1.4 柴油机其他散热

柴油机其他散热占燃油发热量的比例为 $100\% - 49.6\% - 17.7\% - 16.8\% = 15.9\%$ 。这部分热量主要通过柴油机机体、空气冷却器、滑油冷却器、油头冷却器等多条途径散失, 这部分余热利用较困难, 经济价值不高。

2 余热的合理利用

余热的利用不仅仅是利用余热的多少,更重要的是根据余热的品质好坏提高其利用的经济性。余热的温度越高,其品质越好,利用价值也越高。对余热的利用一般可分两个阶段。

第一阶段:合理、高效地把热能转换为机械能或电能。

第二阶段:对在机械能转化过程中放出的低温热能再加以有效地利用。

目前余热的回收装置种类很多,对余热的利用效果也各不相同。按能量的种类分类,可分为:

- a、通过热交换转换成温度较低的热能,如热管锅炉、热交换器等,主要用来取暖、加热、保温等。
- b、通过冷媒透平或燃气轮机产生动力,如汽轮机、燃气轮机、废气轮增压器等,通常用于回收温度较高的余热。
- c、通过吸收式制冷系统进行制冷,如 $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ 吸收式制冷装置制冷,用于船舶夏季空调。
- d、利用热泵转换成温度较高的热能再对热能加以利用,扩宽余热的适用场合,提高余热利用的经济性。

2.1 柴油机废气能量的利用

柴油机废气能量约占燃油总热量 18% 左右,其可利用部分也达 12% 左右,约为柴油机有效功率的 $1/4$ 。中速机废气轮压出口温度高达 370°C 左右,以换热器传热温差 100°C 设计,废气的平均传热温度达 280°C 左右,通过废气锅炉、省煤器、过热器受热面的合理布置,可产生 280°C 、 0.9 MPa 的过热蒸汽驱动汽轮机工作。在这样的热力参数条件下,汽轮机的热效率可达 25% 左右,以某船在柴油机持续功率 6752 kW 时,按每小时油耗 1.17 t 估算,可产生机械功率为 402.6 kW,即使考虑到船舶需使用一定量的蒸汽,也足可匹配 300 kVA 的发电机,保证正常航行时船舶的用电。汽轮机在陆地上已广泛应用,在船舶上的应用技术也已相当成熟,安装管理应无问题。

2.2 柴油机冷却水能量的利用

柴油机冷却水出口温度为 80°C 左右时,通过热管锅炉换热,冷媒水的温度仍可达 70°C 以上。因冷却水的带出的热量占燃油燃烧总热量的 16% 左右,总热量是非常大的,其热能可满足如下供热情况:

- a、直接用于船员和旅客日常生活用的热水及重油舱的加热和保温。
- b、直接用于海水淡化装置的加热源。
- c、将冷媒水的一部分加热到 100°C 以上,用作冬季空调的热源或用于夏季吸收式制冷装置的加热源。
- d、用蒸汽将部分冷媒水加热到 100°C 以上或利用高温热泵将 70°C 的水加热到 100°C ,用于沉淀油柜和用油柜的加热和保温。
- e、其他要求加温和保温的情况:

由计算可知,冷却水中可利用的热量总量比排气中可利用的总能量还要多。用气缸、活塞冷却水的余热代替原蒸汽的用途完全可以满足。但由于水的焓值相比蒸汽的焓值要小且传热温差也较小,相同换热量时,换热器的体积略有增大,结构也较复杂,有时会给设备和管理带来不便。给冷媒水加热的蒸汽可利用汽轮机的排气,需较高温度时,可在汽轮机级间抽气,以保证加热蒸汽的温度和压力,也可在汽轮机级间抽气直接加热,满足日用油柜到高压油泵的燃油等需较高温度加热源的加热要求。汽轮机中间抽气会使余热转换成机械能有所减少,但中间抽气位置的蒸汽温度、压力已较低,所以机械能损失并不大。

3 余热回收的经济价值

刺激企业在船舶柴油机余热方面进行投资的原因是他们期待由此所带来的收益是否超过投资。由于燃油价格的居高不下,燃油的消耗直接影响船舶的营运利润,而通过余热回收得到的收益主要有:节约燃油的费用,减少对大气污染,减少燃油、淡水的储存量,从而增加了船舶的载货量。其中节约的燃油费用是相当可观的,现作以下分析。

3.1 每年节约的燃油费用

当某船利用余热汽轮发电机代替柴油发电机时,年节油量即为被替代发电机组每年的燃油消耗量,其耗油量 G 可表示为 $G = 24 PN_g$,式中 P 为被汽轮机替代的柴油机功率, N 为每年海上航行有效运行天数, g 为耗油率 (g/kWh)。

从某船的余热驱动的汽轮发电机节油为例。设其功率为 $300 kW$,海上航行天数为 $220 d$,被替代柴油机的耗油率按 $175 g/kWh$ 计算,则每年可节油约为 $277.2 t$,按柴油 2800 元/ t 计,可节约燃油费用 77.61 万元。

3.2 改造投资费用

设计安装余热汽轮发电机组无疑会给船舶增加投资。新造船舶在设计时已考虑了余热发电机组的布置、安装,减少了柴油发电机组的容量,其实际增加部分的费用不大,一般可在不到一年的时间内收回。设计时考虑了余热汽轮发电机组可能对主柴油机运行可能造成的影响,因此从船上运行的结果来看,也是可靠且经济的。对于已运行船舶的改装,应根据企业的利润情况和可能会对主机运行可靠性产生的影响等,对改装进行综合评估。通常考虑的因素有:先期工程和计划的论证费用,设备改装费用,安装期间的营运损失,额外增加的维修、管理费用,投资款在偿还期间的利息及在其他方面投资的平均回报率等。

3.3 经济价值评估

简单而实用的评价方法是偿还期法,即用所获收益来补偿全部投资所需的年数,可用下式计算

$$\text{偿还期} = \frac{\text{初次费用}}{\text{全年收益} - \text{全年花费}}$$

偿还期后即可为企业产生利润,在设计工作年限内产生的利润总额与营运年限的比值若大于企业投资的平均回报率,则改装是合理的。即

$$\frac{(\text{工作年限} - \text{偿还期}) \times (\text{每年收益} - \text{每年花费})}{\text{工作年限}} \geq \text{企业投资的平均回报率},$$

则值得投资。据调查,余热利用的成本偿还期一般在 3 年以内,年回报率达 30% 左右,节能投资是合理的。

综上所述,柴油机余热利用的经济效益主要来源于废气余热的发电,而将柴油机冷却水余热作为替代能源用来替代原本由低压蒸汽完成的燃油加热,船员生活用的热源,为余热发电创造了条件,即充分地利用的柴油机的废热,提高了船舶运行的经济性,同时也减少了对大气和海洋环境污染。既节约了有限的石油资源,又保护了地球的环境。

参考文献:

- [1] 詹宗勉. 工程热力学和传热学[M]. 大连:大连海事大学出版社,1995.
- [2] (日)高田秋一. 大型热泵与排热回收[M]. 东京:烃加工出版社,1986.
- [3] (美)R-J GOLDSTICK. 余热回书手册[M]. 中南工业大学出版社,1987.