

船舶柴油发电机组余热冷却系统设计

王 磊, 闫家宽, 王 在

(七一一研究所, 上海 200090)

摘 要: 针对船用柴油发电机组在停机后仍有大量热量辐射至机舱, 严重影响机舱舒适性的问题, 以某型船舶柴油发电机组为对象, 设计了一套余热冷却系统, 在柴油发电机组停机后对缸套等高温部位进行冷却。经相关试验验证: 该冷却系统可有效降低柴油发电机组停机后的温度, 且具有操作简单, 维护方便, 自动控制等特点。

关键词: 柴油发电机组; 余热冷却系统; 换热器

中图分类号: U664.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2021)01-0042-04

Design of the Exhaust Heat Cooling System for Marine Diesel Gensets

Wang Lei, Yan Jiakuan, Wang Zai

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: Lots of exhaust heat radiates to the engine room when the marine diesel gensets shut down, which may badly influence the comfort of the engine room. A set of exhaust heat cooling system was designed for a type of marine diesel gensets, which can cool the high-temperature parts, such as cylinder liners, as the marine gensets shut down. Tests show that this cooling system can effectively reduce the temperature of the diesel gensets as they shut down, and features simple operation, easy maintenance and automatically control.

Key words: diesel genset; exhaust heat cooling system; heat exchanger

0 引言

柴油发电机组长时间运行后温度较高, 当机组停止工作后, 仍然有大量热量逐渐释放到船舶辅机舱内, 致使数小时内机舱温度居高不下, 极大影响了机舱内部的舒适性。

随着船舶技术的不断发展, 对舒适性也提出了越来越高的要求。柴油发电机组余热冷却系统可在柴油机长时间运行停机后, 在较短时间内对缸体、机体等高温部位进行降温, 减少机组停机后的对外热辐射, 可明显改善舱内工作环境。本文以某型船舶柴油发电机组为应用对象, 开展余热冷却系统设计研究。

1 柴油发电机组余热冷却系统设计

1.1 设计目标

在柴油发电机组停机后, 运行所设计的冷却系统, 使柴油机缸盖、机体等高温部位在 30 min 内降温不低于 10 ℃。

1.2 原理设计

该型柴油发电机组原淡水系统在柴油机外部配置了淡水预热器及循环水泵。柴油机在冷机起动前, 先开启淡水预热器和水泵, 将柴油机内部淡水引至预热器加热, 再回到柴油机, 使柴油机温度上升。

图 1 为柴油发电机组余热冷却系统设计原理图。考虑到原柴油发电机组淡水系统的特点, 余热

冷却系统借用了原有的淡水循环泵，在外部增加一个海水淡水换热器，在淡水循环泵与淡水预热器连接的管路上增加了 2 个电动三通阀。

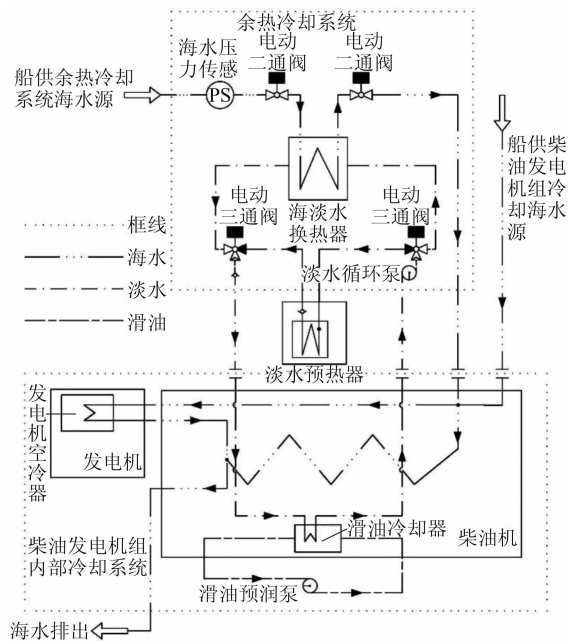


图 1 柴油发电机组余热冷却系统原理图

系统设置外部板式换热器，在柴油发电机组停机状态下将柴油机中淡水引入板式换热器进行冷却，冷源为外部海水。柴油机淡水由预热循环泵驱动，流经板式换热器被海水冷却；冷却后的淡水进入柴油机机体，对缸套、气缸盖等高温部件进行冷却，并进入滑油冷却器冷却滑油。滑油由预供滑油泵驱动。流过板式换热器的海水进入柴油发电机组，对柴油机和发电机的海水冷却系统进行冷却后排出。

1.3 换热器选取

当前主流换热器主要有管壳式换热器、板式换热器和板翅式换热器几种，技术均已比较成熟。采用何种换热器主要取决于换热效率、安装空间、操作运行及维护清洗的方便程度等因素。

板式换热器的传热面上可以压出凹凸形排液槽，在较低的雷诺数条件下即可出现紊流状态，故换热系数较高，同样流速下，其换热系数约为管壳式换热器的 3~5 倍^[1]。同时，板式换热器还具有结构紧凑、空隙小、装拆方便等特点。

根据柴油发电机组及余热冷却系统的参数：冷源海水进口温度≤32℃，流量 8~20 m³/h，进口压力<0.4 MPa；柴油机高温淡水初始温度约 70~80℃，流量 4 m³/h，考虑选用 1 台板式换热器。其主要参数如表 1 所示。

表 1 海淡水板式换热器设计参数

参数	热源	冷源
流体	淡水	海水（5% NaCl）
流量/（m ³ ·h ⁻¹ ）	4	12.5
进口温度/℃	80	32
出口温度/℃	70	35
换热面积/m ²	0.9	
热负荷/kW	90	

1.4 控制系统设计

柴油发电机组余热冷却控制系统采用 PLC 作为逻辑控制中心，实现起动/停机、安全保护、状态监测等功能。

起停指令以开关量形式输入到 PLC。柴油发电机组停机后，余热冷却系统起动，海水管路中的 2 个电动二通阀依次开启，电动三通阀切换至连接换热器与柴油机；淡水循环泵起动，将柴油机内的高温淡水引至换热器进行冷却，冷却后的淡水回到柴油机机体，冷却缸套、气缸盖以及滑油冷却器等部位；同时，滑油预润泵起动，将高温滑油输送至滑油冷却器由淡水进行冷却。余热冷却系统冷源为一路船供海水，海水流经海淡水换热器，再进入柴油发电机组，对柴油机内部及发电机空冷器等部位继续冷却，随后排出柴油发电机组。余热冷却系统起动流程见图 2 所示。

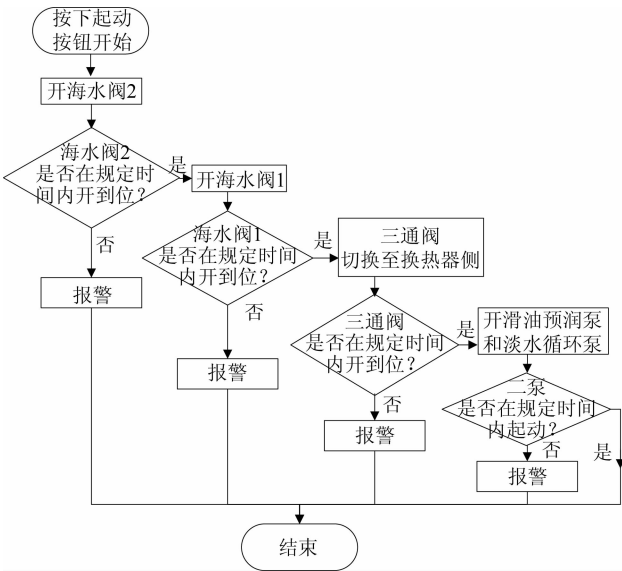


图 2 余热冷却系统起动流程图

冷却结束后，关闭余热冷却系统，海水管路中的 2 个电动二通阀依次关闭，电动三通阀切换至连接淡水预热器与柴油机，柴油发电机组淡水系统恢复至原预热状态。余热冷却系统停机流程如图 3 所示。

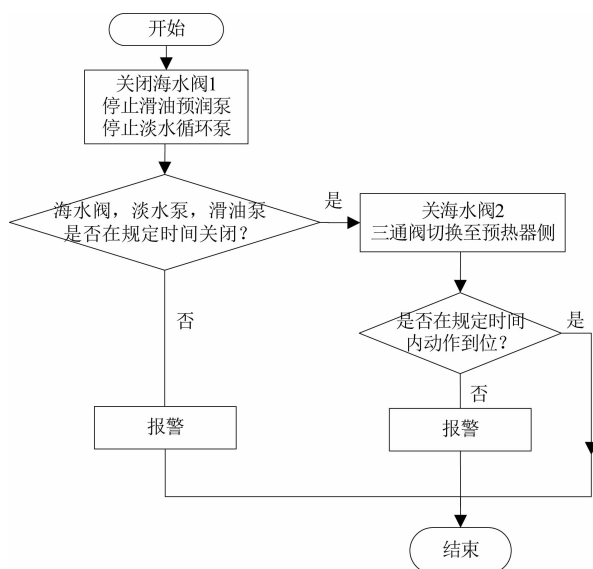


图 3 余热冷却系统停机流程图

余热冷却系统设置安全保护功能, 包括起动联锁、自动停机。起动前如监测到柴油机运行、海水进口压力过高信号, 则起动失败并进行声光报警; 在系统正常运行期间如果监测到柴油机运行、海水进口压力过高、海水阀关闭等信号, 立即停机并进行声光报警。

控制系统实时监测各阀开闭状态、泵起停状态及海水进口压力和柴油机运行信号, 并以指示灯的

形式显示在控制箱面板上。

2 试验结果与分析

将余热冷却系统安装至柴油发电机组上进行试验。柴油发电机组运行 1 h 后停机, 立即起动余热冷却系统, 分别记录柴油发电机组淡水、滑油、缸盖和机体的温度。淡水、滑油温度由柴油机本体传感器测量。淡水温度测点布置在柴油机缸套水出口处; 滑油温度测点布置在滑油冷却器出口附近, 可直观反映柴油机整体淡水、滑油温度变化情况。缸盖和机体部位温度采用红外测温计测量后取平均值。缸盖部位温度测点分别布置在 A、B 两排两端缸盖处; 机体部位温度测点分别布置在自由端 (KGS) 机体、飞轮端 (KS) 机体、滑油冷却器滤芯罩壳 (自由端和飞轮端各 1 个)。

试验工况: 海水流量 $12 \text{ m}^3/\text{h}$, 海水进口温度 11°C , 淡水流量 $4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。余热冷却系统运行 30 min 后关闭, 记录柴油发电机组淡水、滑油、缸盖、机体温度变化, 具体如表 2 及图 4 所示。

为对比余热冷却系统降温效果, 柴油发电机组运行一段时间后停机, 不起动余热冷却系统, 记录柴油发电机组自然冷却状态下淡水、滑油、缸盖、机体的温度变化, 具体如表 3 及图 5 所示。

表 2 余热冷却系统工作时柴油发电机组高温部位温度

时间/min	缸盖温度/℃					机体温度/℃					淡水温度/℃	滑油温度/℃
						机体		滑油冷却器滤芯罩壳		均值		
	A1	A8	B1	B8	均值	KGS 端	KS 端	KGS 端	KS 端			
0	65.3	64.5	63.8	65.5	64.8	68.5	68.9	65.1	66.3	67.2	67.5	72.5
5	58.8	57.6	61.9	62.2	60.1	67.6	67.5	55.4	57.2	61.9	36.2	74.1
10	34.3	35.1	47.8	48.2	41.4	63.6	62.9	46.1	48.3	55.2	28.1	71.6
15	27.2	29.4	45.8	46.2	37.2	60.9	60.1	44.5	46.7	53.1	27.0	70.1
20	25.3	26.4	39.6	39.8	32.8	58.7	58.3	42.0	44.6	50.9	24.1	67.2
25	23.9	23.8	35.7	34.6	29.5	56.6	56.7	40.6	41.9	49.0	22.5	64.8
30	21.3	21.4	30.4	31.2	26.1	55.1	56.0	39.1	39.4	47.4	20.7	61.2

表 3 柴油发电机组自然冷却时高温部位温度

时间/min	缸盖温度/℃					机体温度/℃					淡水温度/℃	滑油温度/℃
						机体		滑油冷却器滤芯罩壳		均值		
	A1	A8	B1	B8	均值							
0	65.2	64.3	62.5	60.3	63.1	67.4	66.6	65.7	66.8	66.6	68.5	71.4
5	63.8	62.9	60.7	59.4	61.7	65.8	64.9	64.1	65.1	65.0	70.0	65.4
10	62.8	60.9	58.8	58.5	60.3	64.1	63.0	62.8	63.3	63.3	69.1	64.8
15	59.8	59.1	56.8	57.0	58.2	63.5	62.1	59.6	59.9	61.3	68.8	63.4
20	57.2	56.8	55.4	55.7	56.3	61.9	60.8	57.9	57.8	59.6	67.0	59.4
25	56.0	55.3	53.8	54.0	54.8	59.3	58.8	56.3	56.1	57.6	66.5	58.9
30	54.6	53.6	52.4	52.9	53.4	57.6	57.3	55.0	54.8	56.2	64.8	57.5

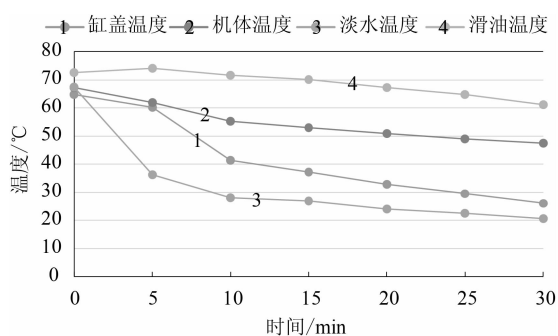


图4 余热冷却系统工作时柴油发电机组高温部位温度变化趋势

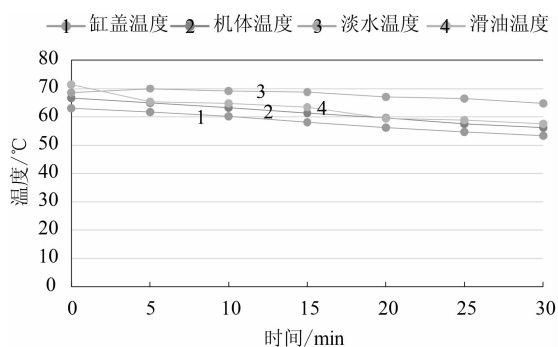


图5 柴油发电机组自然冷却时高温部位温度变化趋势

从表2和图4可以看出:余热冷却系统运行30 min后,缸盖平均温度从约65℃降至约26℃,机体平均温度从约67℃降至约47℃,淡水温度从约68℃降至约21℃,滑油温度从约73℃降至约61℃。

根据公式(1)、(2),可计算得到余热冷却系统运行后,机体、淡水、滑油的热流量(分别记为 W_1 、 W_2 、 W_3)及总的热流量。

$$Q = c_p m \Delta t \quad (1)$$

$$W = Q/t \quad (2)$$

式中: c_p 为比热容; m 为质量; Δt 为温度变化量; Q 为换热量; t 为时间; W 为热流量。

$$W_1 = 500 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 10\,000 \text{ kg} \times (67^\circ\text{C} - 47^\circ\text{C})/30 \times 60 \text{ s} = 55.6 \text{ kW}$$

$$W_2 = 4\,180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0.22 \text{ m}^3 \times (68^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})/30 \times 60 \text{ s} = 24 \text{ kW}$$

$$W_3 = 2\,131 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 852 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0.24 \text{ m}^3 \times (73^\circ\text{C} - 61^\circ\text{C})/30 \times 60 \text{ s} = 2.9 \text{ kW}$$

则余热冷却系统运行后,柴油发电机组总的热流量约为82.5 kW ($W_1 + W_2 + W_3$)。

从表3和图5可以发现:柴油发电机组自然冷却30 min后,缸盖平均温度从约63℃降低至约53℃,机体平均温度从约67℃降低至约56℃,淡水温度从约69℃降低至约65℃,滑油温度从约71℃降低至约58℃。

同理,可以计算出柴油发电机组自然冷却过程中,机体、淡水、滑油的热流量(分别记为 W_4 、 W_5 、 W_6)及总的热流量。

$$W_4 = 500 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 10\,000 \text{ kg} \times (67^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C})/30 \times 60 \text{ s} = 30.6 \text{ kW}$$

$$W_5 = 4\,180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0.22 \text{ m}^3 \times (69^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C})/30 \times 60 \text{ s} = 2.0 \text{ kW}$$

$$W_6 = 2\,131 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 852 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0.24 \text{ m}^3 \times (71^\circ\text{C} - 58^\circ\text{C})/30 \times 60 \text{ s} = 3.1 \text{ kW}$$

则柴油发电机组自然冷却过程中,总的热流量约为35.7 kW ($W_4 + W_5 + W_6$)。

从上述分析可以看出:余热冷却系统运行时,缸盖、机体、淡水的平均温度均有较大降幅;而滑油温度先上升后降低。这是因为余热冷却系统运行时,滑油预润泵同时循环滑油对机体进行降温,所以滑油温度存在先升高后降低的过程,且两种方式滑油温度降低的效果相当。综上,余热冷却系统总体冷却效果较好。

3 结语

本文针对船用柴油发电机组停机后仍有大量热量辐射至机舱,严重影响机舱舒适性的问题,以某型船用柴油发电机组为对象设计了一套余热冷却系统。经试验验证,该冷却系统冷却效果较好,且操作简单,维护方便,具有自动控制、显示、报警和停机等功能。

该系统适用于各类空间有限、资源有限的船舶辅机机舱。

参考文献

- [1] 李红. 换热器的设计选型与使用 [J]. 新疆有色金属, 2003 (1): 26-27.