

UDC 621.436.018:629.12
U 45



中华人民共和国国家标准

GB 7028—86

船用柴油机空气冷却器试验方法

Test method of charge air coolers for
marine diesel engines

1986-11-25 发布

1987-10-01 实施

国家标准局 批准

船用柴油机空气冷却器试验方法

Test method of charge air
coolers for marine diesel engines

本标准适用于船用增压柴油机空气冷却器（简称空冷器），也适用于其他用途的增压柴油机空冷器。

1 总则

- 1.1 空冷器试验方法包括性能试验、压力试验、可靠性试验。
- 1.2 性能试验的目的是确定空冷器传热系数 h ，空气压力损失 $\gamma_K \cdot \Delta P_K$ ，水压力损失 ΔP_L 。
- 1.3 新结构的冷却元件必须按本标准的规定在试验台上进行性能试验，试验结果的有效数据热平衡误差不得超出 $\pm 5\%$ 。
- 1.4 冷却元件性能试验的试件必须符合GB 2497—81《船用柴油机重型空气冷却器》、GB 2498—81《船用柴油机轻型空气冷却器》的技术要求。试件内部结构按元件实际结构尺寸制造，迎风面不小于 $250\text{mm} \times 250\text{mm}$ ，深度（气流方向）不小于 100mm 。
- 1.5 每型空冷器首制产品应进行性能试验，小型空冷器可在试验台上进行，试验方法按2.3.1款的规定。当大型空冷器无条件在试验台上进行试验时，由冷却元件在试验台的试验代替，并按2.3.2款的规定进行配机试验。
- 1.6 为检查空冷器零部件的强度和总体结构的密封性，每个空冷器的翅片管、端盖必须按3.1条的规定进行压力试验。产品出厂前必须按3.2条、3.3条的规定进行压力试验。
- 1.7 为考核空冷器水管与管板连接的可靠性，每一种连接方法（包括工艺改变）须按本标准第4章的规定进行试验件振动试验。

2 性能试验

- 2.1 试验台
 - 2.1.1 空气系统由风源加热器、整流段（稳压段）、试验段（包括试件和测量段）、风量调节设备、风温调节设备等组成。测量段收缩角不大于 30° ，扩展角不大于 15° 。风源风量须满足2.2.2款的要求。试件迎风面速度场系数不低于0.9。从空气加热器至试件出口测量段外部须有良好隔热层。
 - 2.1.2 冷却水系统由水泵、蓄水箱、水量测量箱、水量调节设备，水温调节设备，排气装置等组成。水泵流量应满足2.2.3款的要求。
 - 2.1.3 测量系统由测量流量、温度、压力所需的各种仪器组成。
 - 2.1.4 用标准节流装置或毕托管测量空气流量，连用仪器可用U型管压力表、Y-61型一级精度倾斜微压计或DJM 9型补偿式微压计。节流装置必须符合GB 2624—81《流量测量节流装置》的技术要求。
 - 2.1.5 用标准涡轮流量变送器及其配套的二次仪表测量水流量，也可用容积法。用容积法时，测量容器的安装位置必须使测量和试验时水的流道相同。涡轮流量变送器必须符合JB 1627—75《涡轮流量变送器》的技术要求。
 - 2.1.6 用网状电阻温度计或布置在网格上的热电偶堆测定空气进出口截面上平均温度。连用二次仪

表分别选用精度不低于0.5级的QJ型测温电桥、精度不低于0.1级的UJ型电位差计。网状电阻温度计和热电偶堆应经严格校验。

2.1.7 用分度值为0.1℃或更精密的标准玻璃温度计测量冷却水进出口温度。

2.1.8 用以下方法测定空气进出口截面上平均压力:沿截面四周至少分布四个测压孔(直径为 $\phi 2\text{mm}$)。测压孔应垂直于壁面,壁面应平整光滑,不得有凸起、毛刺。用刻度为1mm的U型管压力计或倾斜压力计分别测量进出口压力和进出口压力差。

2.1.9 冷却水进出口管接应各有一个符合2.1.8款要求的测压孔用刻度为1mm的U型管求柱压力计测定冷却水进出口压力差。

2.1.10 网状温度计的安装位置应为:距试件空气进出口连接法兰的距离等于200mm。测量水进出口温度的温度计安装位置应尽量靠近水进出口处。

压力测量孔所在位置应为:距试件空气(或水)进出口处的距离等于100mm。

2.1.11 用符合JB Y 213—84《动槽水银气压表技术条件》的气压表测量大气压力。测量环境温度及湿度用201型干湿球温度计。

2.2 冷却元件试验方法

2.2.1 以水流速 V_L 为参变量,空气重量流速 U_K 为自变量,得出传热系数 h 与空气重量流速 U_K 的关系曲线。参变量在2.2.3款所规定范围内至少取三个。自变量在2.2.2款所规定范围内至少取六个。逐个测量,得出三条 $h=f(U_K)$ 关系曲线。同时测定各试验点空气进出口压力和压力差,得出空气压力损失 $\gamma_K \cdot \Delta p_K = f(U_K)$ 关系曲线。

2.2.2 空气重量流速的变化范围为GB 2497—81、GB 2498—81所规定标准流速的50%~150%。

2.2.3 在水流速1.0~2.5m/s范围内至少选取六个值,分别测定水的压力损失 Δp_L 。

2.2.4 各试验点空气和水进口温度为80℃左右,允许在 $80 \pm 2.5^\circ\text{C}$ 范围内变动,各试验点水进口温度的波动不得超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。

2.2.5 按2.2.1款的方法逐个固定水流速。变动空气重量流速,待各参数稳定后进行测量。各试验点的参数测量3次,取其平均值。

2.3 首制产品试验方法

2.3.1 在试验台上的试验

2.3.1.1 试验装置,测量参数、测量仪器应符合2.1条的规定,试验精度应符合1.3条的要求。

2.3.1.2 以设计水量为固定参数,改变空气重量流速(至少取六个值,变化范围必须包含设计工况点):逐一测量其参数。

2.3.1.3 试验数据的处理按2.4条的规定进行〔设有 $\Delta p_2 = f(V_L)$ 曲线〕。

2.3.2 配机试验

2.3.2.1 试验方法可按柴油机负荷特性试验方法进行或由用户依所配机型的具体情况与空冷器生产厂商定。

2.4 试验台性能试验数据的处理

2.4.1 按下式计算传热系数 h :

$$h = \frac{Q_K}{S_K \cdot \Delta t_m} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C)} \dots\dots\dots (1)$$

式中: Q_K ——空气放出的热量, W (kcal/h);

S_K ——试件气侧传热面积, m^2 ;

Δt_m ——空气和水的对数平均温压, $^\circ\text{C}$ 。

2.4.2 按下式计算体积传热系数 h_v :

$$h_v = \frac{Q_K}{V \cdot \Delta t_m} \text{ W/m}^3 \cdot \text{K (kcal/m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{°C)} \quad (2)$$

式中: V ——试件芯子的体积, m^3 。

2.4.3 把气侧散热片视作沿其高度温度分布均匀的平肋壁。按下式分离气侧热阻 $\frac{1}{\alpha_K}$:

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{\alpha_K} + \frac{\varphi}{\alpha_L} + \frac{\varphi \delta}{\lambda'} \quad (3)$$

式中: α_K ——气侧放热系数, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K (kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$;

α_L ——水侧放热系数, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K (kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$;

φ ——肋化系数;

λ' ——水管材料导热系数, $\text{W/m} \cdot \text{K (kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$;

δ ——水管壁厚, m 。

水侧放热系数 α_L 的计算可按附录C的方法进行。

2.4.4 分别按下列各式计算气侧雷诺数 Re_K 、努谢尔特数 Nu_K 、欧拉数 Eu_K :

$$Re_K = \frac{u_K \cdot D_K}{\mu_K g} \quad (4)$$

$$Nu_K = \frac{\alpha_K \cdot D_K}{\lambda_K} \quad (5)$$

$$Eu_K = \frac{\gamma_K \cdot g \cdot \Delta p_K}{u_K^2} \quad (6)$$

式中: u_K ——空气通道最小截面处空气重量流速, $\text{Pa/s (kgf/m}^2 \cdot \text{s)}$;

D_K ——空气通道定型尺寸, m ;

μ_K ——空气粘性系数, $\text{pas (kgf/m}^2 \cdot \text{s)}$;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

λ_K ——空气导热系数, $\text{W/m} \cdot \text{K (kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$;

γ_K ——空气比重, $\text{Pa/m (kgf/m}^3 \cdot \text{s)}$;

Δp_K ——空气压力损失, $\text{Pa (kgf/m}^2 \cdot \text{s)}$ 。

计算时以空气进出口算术平均温度作为定性温度。

2.4.5 整理出气侧放热及空气压力损失相似准则方程。

$$Nu_K = C_1 Re_K^{n_1} \quad (7)$$

$$Eu_K = C_2 Re_K^{n_2} \quad (8)$$

2.4.6 试验结果应以试验报告形式固定下来, 内容应包括:

2.4.6.1 主要测量参数值 (3次记录的平均值) 和计算数据表 (按附录A的规定)。

2.4.6.2 性能曲线 (按附录B的规定)。

3 压力试验

3.1 每个空冷器总装前应对翅片管、端盖进行压力试验, 检查其强度和密封性, 试验压力为设计压

力的2倍, 试验时间分别为15s、30min, 不变形, 不泄漏。

3.2 空冷器出厂前应对水腔进行压力试验, 试验压力为设计压力的1.5倍, 但不得小于 $39.2 \times 10^4 \text{ Pa}$ (4 kgf/cm^2)。试验时, 对水腔缓慢地加压, 达到规定压力后稳定30min, 所有连接处应无漏泄。

3.3 有独立壳体的空冷器还应应对气腔进行气密试验, 试验压力为 $4.9 \times 10^4 \sim 9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ ($0.5 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$), 历时30min, 所有连接处应无漏泄。

4 水管与管板连接可靠性试验

4.1 空冷器水管与管板的每一种连接方法(包括工艺改变)在应用于生产之前必须制作一个试验件(外形尺寸与冷却元件性能试验的试件相近)在振动试验机上进行振动试验。试验内容包括探查性试验和耐振试验。

4.2 为确定被振试件在整个试验频率中是否存在共振, 必须进行探查性试验。试验频率及振幅为: 频率从4~33Hz振幅为 $\pm 0.25 \text{ mm}$, 频率从34~50Hz振幅为 $\pm 0.076 \text{ mm}$, 频率间隔为1Hz, 停留时间15s。

4.3 耐振试验。如果探查性试验发现有共振频率, 则在共振频率下至少进行2h耐振试验。如果没有共振, 则以频率为50Hz振幅为 $\pm 0.4 \text{ mm}$ 进行耐振试验, 振动时间至少2h。

4.4 试件在振动试验机上水平地安装, 迎风面与振动试验机用螺钉刚性连接。

4.5 试验时水腔应充满压力水, 水压为 $49 \times 10^4 \text{ Pa}$ (5 kgf/cm^2)。

4.6 试验结束后应有试验报告, 其内容包括: 水管与管板连接的工艺方法, 试验部门(包括试验人员), 试验日期, 试验的振动频率振幅, 振动的时间, 水腔的压力, 试验装置, 试验结果(水腔是否漏泄或压力是否下降)。

4.7 首制产品可在柴油机耐久试验时配机进行可靠性考核。

试验件型号: _____

气侧换热面积 S_K : _____ m^2

水侧换热面积 S_L : _____ m^2

水管壁厚 δ : _____ m

空气通道最

水通道面积

空气通道定

水通道定型

水管材料:

肋化系数

试验点	序号 名称 符号 单位	气					侧
		1	2	3	4	5	6
		空气重量流速	空气流量	空气进口温度	空气出口温度	空气放热量	传热系数
		U_K	G_K	t_{K1}	t_{K2}	Q_K	h
		Pa/s ($kgf/m^2 \cdot s$)	m^3/h (kgf/h)	K ($^{\circ}C$)	K ($^{\circ}C$)	W ($kcal/h$)	$W/m^2 \cdot$ ($kcal/m^2 \cdot$)
1							
2							
3							
4							
5							
6							

肋化系数 φ : _____[illegible]

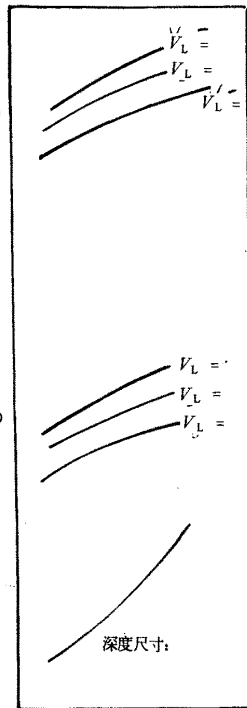
试验人员: _____ 相对湿度: _____

[illegible]

附录 B
性能曲线及相似准则方程
(补充件)

(冷却元件型号:)

h_v
 $W/m^3 \cdot K$
($kg \cdot cal/m^3 \cdot h \cdot ^\circ C$)



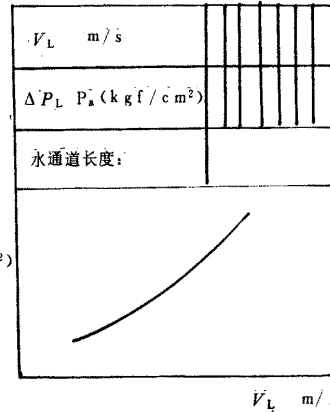
h
 $W/m^2 \cdot K$
($kg \cdot cal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)

$\gamma_k \cdot \Delta P_k$
 P_a^2/m
(kgf^2/m^3)

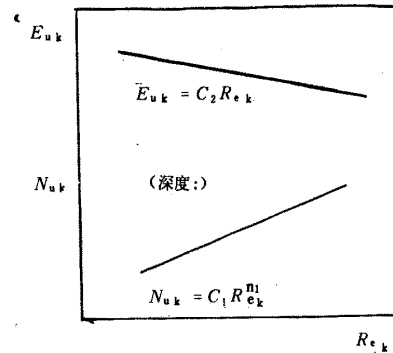
深度尺寸:

U_k
 P_a / s
($kgf/m^2 \cdot s$)

传热系数、空气压力损失与空气重量流速的关系曲线



水压力损失与水流速的关系曲线



相似准则方程

附录 C

水侧放热系统 α_L 的计算方法

(参考件)

水在异型槽道中作稳定受迫运动的放热相似准则方程可选用如下公式:

$$Nu_L = \begin{cases} 0.021 Re_L^{0.8} \cdot P_{rLf}^{0.43} \cdot \left(\frac{P_{rLf}}{P_{rLW}} \right)^{0.25} \cdot \varepsilon_1 & Re_L \geq 10\,000 \cdots \cdots (C\,1) \\ K_0 \cdot P_{rLf}^{0.43} \cdot \left(\frac{P_{rLf}}{P_{rLW}} \right)^{0.25} \cdot \varepsilon_1 & 2000 \leq Re_L < 10\,000 \cdots \cdots (C\,2) \\ 0.15 Re_L^{0.33} \cdot P_{rLf}^{0.43} \cdot G_{rLf}^{0.1} \cdot \left(\frac{P_{rLf}}{P_{rLW}} \right)^{0.25} \cdot \varepsilon_1' & Re_L < 2000 \cdots \cdots (C\,3) \end{cases}$$

顾及水侧放热定义方程:

$$\alpha_L = \frac{Q_L}{S_L (t_{LW} - t_{Lf})} = \frac{Q_K}{S_L (t_{LW} - t_{Lf})} \cdots \cdots (C\,4)$$

- 式中: t_{Lf} —— 水的定性温度 (取水进出口温度的算术平均值), K (°C);
 t_{LW} —— 水管内壁的壁面温度 (待求), K (°C);
 Q_L —— 水的吸热量, W (kcal/h);
 P_{rLf} 、 P_{rLW} —— 分别由水的定性温度 t_{Lf} 、水管内壁壁面温度 t_{LW} 确定的水的普朗特数(查表);
 Nu_L 、 Re_L 、 G_{rLf} —— 分别为水侧努谢尔特数、雷诺数、葛拉晓夫数。其中的物理参数均由水的定性温度 t_{Lf} 确定;
 K_0 —— 根据各试验点水的雷诺数 Re_{Lf} 之值查表 C 1;
 ε_1 、 ε_1' —— 分别由表 C 2、表 C 3 确定。表中的 l 为试件水管长度 (m), D_L 为水管内径 (或当量内径) (m)。公式 (C 2) 中 ε_1 按雷诺数 $Re_L = 10\,000$ 查取。

表 C 1

$Re_{Lf} \times 10^{-3}$	2.2	2.3	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10
K_0	1.9	3.2	4.0	6.8	9.5	11	16	19	24	27	30	33

表 C 2

ε_1 / l/D_L	1	2	5	10	15	20	30	40	50
1×10^4	1.65	1.50	1.34	1.23	1.17	1.13	1.07	1.03	1.00
2×10^4	1.51	1.40	1.27	1.18	1.13	1.10	1.05	1.02	1.00

表 C3

l/D_L	1	2	5	10	15	20	30	40	50
ε'_1	1.90	1.70	1.44	1.28	1.18	1.13	1.05	1.02	1.00

由公式 (C 4)、公式 (C 1)〔或公式 (C 2)、公式 (C 3)〕进行逼近计算, 求取水侧壁面温度 t_{LW} 、水侧放热系数 α_L 。

附加说明:

本标准由中国船舶工业总公司提出, 由船用柴油机研究所归口。

本标准由船用柴油机研究所负责起草。

本标准主要起草人陈成耀。