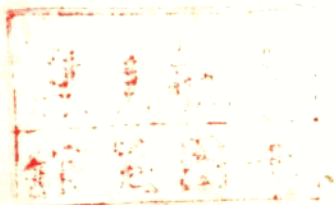


船舶轮机技术丛书

热机问答

J. V. Bennett 著



集美航海专科学校

热 机 问 答

J. V. Bennett 著

*

集美师专印刷厂印刷

*

开本：32开 印张：4 $\frac{3}{4}$

字数：10万字 印数：1—1000

1983年10月第1版第1次印刷

译 序

这套轮机技术丛书是在原联合国国家间海事组织 (IMCO) 主持下, 邀请英国几所权威海运院校有经验的学者编写的, 其目的是为远洋船员准备参加等级轮机员考证而提供的一套适合于自学的教材。

轮机技术丛书分九册, 包括有轮机领域所必需的基础理论知识和专业内容, 为了便于船员自学, 在叙述上力求简明扼要和实用, 并根据船员考证的需要, 在丛书中有六册是以问答方式阐明各种机械的工作原理、维护管理和实际应用的计算例题。

这套丛书不但对广大船员是有用的, 同时对海运院校也是一套有价值的教学参考书。

值此纪念陈嘉庚先生创办集美学校七十周年之际, 我们谨将此书译出, 作为向校庆献一薄礼, 同时也希望能对海运教育事业做些贡献。

由于我们水平有限。如有错误之处, 欢迎广大读者指正。不胜感激之至!

陈 心 铭

1983年 5 月

于集美航海专科学校

目 录

一、定义与传热	1
二、稳定流动过程	16
三、气体定律	37
四、发动机的性能	66
五、燃料燃烧	85
六、透平速度图	98
七、制 冷	114
八、锅炉与蒸发器中的溶解固体	131
九、其它问题	139

第一部分 定义与传热

力 (Force)。力的单位是牛顿 (N)，1 牛顿的力是使 1 千克质量加速到每秒每秒 1 米的加速度。

压力 (Pressure)。这是流体对其容器壁单位面积的作用力。单位推荐用每平方米牛顿 (N/m^2) 或巴，1 巴等于 $10^5 \text{N}/\text{m}^2$ ，1 个大气压力等于 1.013 巴。

重量 (Weight)。这是作用在物体上的重力。物体自由下落的加速度为 $9.81 \text{m}/\text{s}^2$ 。

牛顿第二定律表明：

$$\text{力} = \text{质量} \times \text{加速度}$$

由于重力加速度 $= 9.81 \text{m}/\text{s}^2$ ，因此：

$$\text{重量} = \text{质量} \times 9.81$$

重力加速度用 g 表示，质量用 M 表示。因此：

$$\text{重量} = Mg$$

密度 (Density) ρ (rho)。物质单位体积的质量叫做物质的密度。通常用 kg/m^3 或 t/m^3 作为密度的单位。由定义得出：

$$\text{质量} = \text{体积} \times \text{密度}$$

比密度 (Relative Density) (d)。这是物质的密度与水的密度的比值。因此：

$$\text{物质的密度} = \text{比密度} \times \text{水的密度}$$

水的密度是 $1000 \text{kg}/\text{m}^3$ 或 $1 \text{t}/\text{m}^3$ 或 $1 \text{kg}/\text{l}$ 。

功 (Work)。力与其运动距离的乘积定义为功。必须注意，力与运动的距离应该是在同一方向上的。功的单位是焦耳 (J)。1 焦耳等于 1 牛顿力通过 1 米距离所做的功。

能 (Energy)。如果一物质具有做功的能力，就说它含有能量。所含能量等于可做功的量，因此也用焦耳计量，与功的单位一样。

能的形式

能具有多种形式。本书所论述的各种形式的能定义如下：

势能 (Potential energy)。这是由物体的位置所确定的能量。

$$\text{势能} = MgZ$$

式中 Z 是物体在基准面以上的高度。

动能 (Kinetic energy)。这是由于物质的运动所具有的能量。

$$\text{动能} = \frac{MC^2}{2}$$

本书所计算的动能经常涉及到蒸汽或气体的喷射。速度推荐用符号 C 表示，以便把 V 留着用来表示体积。

压力能或流动能 (Pressure energy or Flow energy)。如果流体以压力 P 流进系统，那么传递的压力能等于压力与体积的乘积。

$$\text{压力能} = \text{压力} \times \text{体积} = PV$$

内能 (Internal energy) (U)。所有物质都是由处于运动状态的分子微粒所组成。与分子运动有关的能量叫

内能。

焓 (Enthalpy) (H)。在大多数热力过程中，压力能与内能是同时变化的。因此，为了方便起见，常常把它们一起加以考虑，而将这两者之和取名为焓。

焓 = 压力能 + 内能

$$H = PV + U$$

热量 (Heat) (Q)。由于两物体之间存在着温度差，引起能量从一物体转移给另一物体，这部分转移的能量就叫热量。热量不能以储藏的形式而存在，因此，说一个物体含有热量这是错误的。

温度 (Temperature)。温度是测定物体内能的标尺。如果物态不变，当物体的分子速度减低、内能下降时，我们就说物体的温度在下降。当分子不运动时，可推知当时的温度应是绝对零度。采用两种温标即：百分温标或摄氏温标和绝对温标。

摄氏温标 (Centigrade Scale) ($^{\circ}\text{C}$)。这是一种人为确定的温标，规定在一个大气压下水的冰点为零度，水的沸点为 100°C 。

开氏温标 (Kelvin Scale) (K)。也叫绝对温标，因为它取绝对零度作为起点。两种温标的分度大小是一样的。因此，无论用哪种温标，其温度变化的值是相同的。

$^{\circ}\text{C}$ 与K的换算。一个大气压下水的冰点为 273K ，所以由温度 $^{\circ}\text{C}$ 转换为温度K用如下的换算公式：

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273$$

比热 (Specific Heat Capacity) (C)。单位质量的物质提高温度一度所需要的热量称为比热。其推荐单位

为焦耳每千克开尔文 (J/kgK)。如果物态不变化, 则:

热流量 = 质量 $\times$ 比热 $\times$ 温差

$$Q = M \cdot C \cdot \delta\theta$$

功率 (Power)。功率是做功或使用能的速率。功率的单位为瓦特 (W)。1 瓦特表示每秒提供 1 焦耳的能量。

$$\text{功率} = \frac{\text{提供的能量}}{\text{所用的时间}}$$

注意: 1 千瓦小时相当于 1 千瓦的能量供应 1 小时, 即:

$$1 \text{ KWh} = 1000 \times 60 \times 60 \text{ 焦耳}$$

$$= 3.6 \text{ MJ}$$

热膨胀 (Expansion Due to Heating)。加热时大多数物体的体积要变大。实际上这种膨胀与温度的增长成正比, 也与加热前的体积成正比。

线膨胀 (Linear expansion) :

长度的增量 = 原始长度 $\times$ 线膨胀系数 $\times$ 温度变化

即
$$\delta l = l \cdot \alpha \cdot \delta\theta$$

式中 α = 线膨胀系数。

体积膨胀 (Volumetric expansion) :

体积的增量 = 原始体积 $\times$ 体积膨胀系数 $\times$ 温度变化

$$\delta V = V \cdot \beta \cdot \delta\theta$$

式中 β = 体积膨胀系数, 且有 $\beta = 3\alpha$

视在体积膨胀 (Apparent volumetric expansion)。当加热流体时, 流体及其容器都将膨胀, 如果容器原来盛满液体, 该液体的体积膨胀系数 β 大于容器的膨胀系数, 那么就会有一些液体溢出。

$$\text{溢出量} = V \cdot \delta\theta (\beta_1 - 3\alpha_c)$$

式中 β_1 = 液体的体积膨胀系数, α_c = 容器的线膨胀系数。

传热 (Heat Transfer)。如果两物体间存在着温差, 那么热量就可能通过下述三种方式中的任一组合的形式, 从一物体传给另一物体:

(i) 导热 (Conduction)

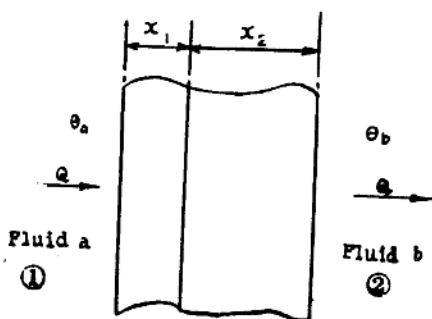
(ii) 对流 (Convection)

(iii) 辐射 (Radiation)

导热。如果物体被局部加热, 分子运动必定加剧, 由于分子间的相互碰撞, 将其动能的一部分传给邻近的分子。这样, 热量就从物体的一部分传至另一部分。

对流。当流体被局部加热时, 这部分流体就膨胀并由于变轻而上升, 原处由较冷的流体来补充。这样, 形成了流体的对流, 不断将热量传走。

复合壁。右图示出热流通过一复合壁。对于具有导热和对流的混合传热, 可用左面公式计算:



where

图 1 ①流体a

②流体b

$$Q = \frac{A \cdot t \cdot \delta \theta}{\frac{1}{u_a} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{1}{u_b}}$$

式中 Q = 热流量

t = 时间

$\delta\theta$ = 两种介质的温差

u = 表面温度系数 (即换热系数)

x = 壁厚

λ = 导热系数

辐射。与导热及对流不同, 辐射不需要传热介质。辐射热是由可以通过真空的高频电磁波来传递。两物体间的净辐射传热按下式计算:

$$Q = \varepsilon \sigma A t (T_1^4 - T_2^4)$$

式中 ε = 与表面性质有关的辐射系数,

σ = 斯蒂芬—波尔茨曼常数,

A = 面积

t = 时间

T = 绝对温度

〔题〕 容量 150m^3 的压载舱充满着比密度为 1.03 的海水。如果要向船外排出这些水, 排水口比该舱中心高 4m 。摩擦损失可以忽略不计, 试计算向船外抽出这些水所做的功。

〔解〕 海水质量 = 体积 $\times$ 比密度 $\times$ 水的密度

$$= 150 \times 1.03 \times 1000$$

$$= 154.5 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\text{海水的重量} = Mg = 154.5 \times 10^3 \times 9.81$$

$$= 1.516 \text{ MN (兆牛顿)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{所做的功} &= \text{力} \times \text{距离} \\
 &= 1.516 \times 10^6 \times 4 \\
 &= 6.064 \times 10^6 \text{ J} \\
 &= 6.064 \text{ MJ} \quad \text{答案}
 \end{aligned}$$

〔题〕 用10巴恒定压力的空气作用于直径为120mm，冲程为200mm的活塞。试计算每冲程所做的功。

$$\begin{aligned}
 \text{〔解〕 对活塞的作用力} &= \text{压力} \times \text{面积} \\
 &= 10 \times 10^5 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{120^2}{10^6} \\
 &= 11,310 \text{ N} \\
 &= 11.31 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{每冲程所做的功} &= \text{对活塞的作用力} \times \text{冲程长} \\
 &= 11310 \times \frac{200}{1000} \\
 &= 2262 \text{ J} \\
 &= 2.262 \text{ KJ} \quad \text{答案}
 \end{aligned}$$

〔题〕 蒸汽以650m/s的速度进行喷射，如果流量为11kg/s。试计算以MJ/s计的喷射动能。

$$\begin{aligned}
 \text{〔解〕 动能} &= \frac{MC^2}{2} = \frac{11 \times 650^2}{2} \\
 &= 2.324 \times 10^6 \text{ J/S} \\
 &= 2.324 \text{ MJ/S} \quad \text{答案}
 \end{aligned}$$

〔题〕 (a) 求用一橡皮绳将60kg的物体提高2.5m所做的总功。该绳用56牛顿的拉力能把它拉长0.15m。(b) 如果所提供的能量中有40%是有效的，并在12秒钟内完成此提高动作。试计算所提供的功率。

$$\text{〔解〕 (a) 物体重} = Mg = 60 \times 9.81 = 588.6 \text{ N}$$

所做的总功 = 拉长橡皮绳所做的功 + 举起物体所做的功

$$= \text{平均作用力} \times \text{伸长量} + \text{重力} \times \text{提升高度}$$

$$= \frac{588.6}{2} \times 588.6 \times \frac{0.15}{56} + 588.6 \times 2.5$$

$$= 464 + 1471.5$$

$$= 1935.5 \text{ J}$$

$$= 1.9355 \text{ KJ} \quad \text{答案 (a)}$$

$$(b) \text{ 功率} = \frac{\text{所供给的能量}}{\text{时间}}$$

$$= \frac{\text{所做的功}}{0.4 \times \text{时间}}$$

$$= \frac{1935.5}{0.4 \times 12}$$

$$= 403 \text{ W} \quad \text{答案}$$

〔题〕 从气室中提取一阀座，该阀座的直径为180mm，高度为150mm。如果在阀座与气室间每平方米接触面积所需的提升力为1.45MN，试求提取该阀座所做的功。

〔解〕 初始的接触面积 = $\pi \times \text{直径} \times \text{高度}$

$$= \frac{\pi \times 180 \times 150}{10^6}$$

$$= 84.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

所做的功 = 平均接触面积 $\times$ 单位面积所用的提升力 $\times$ 提升高度

$$= \frac{84.8}{2} \times 10^{-3} \times 1.45 \times 10^6 \times 150 \times 10^{-3}$$

$$= 9.23 \text{ KJ} \quad \text{答案}$$

〔题〕 将一块12kg的金属放进容量为90升的水中，已知该金属的比热为 0.5kJ/kgK ，温度为 250°C ，水的比热为 4.187kJ/kgK ，温度为 20°C 。假定没有热量损失，计算该金属的最后温度。

〔解〕 设金属与水的最后温度为 θ 。

水得到的热量 = 金属失去的热量

$$90 \times 4.187 \times (\theta - 20) = 12 \times 0.5 \times (250 - \theta)$$

$$\frac{90 \times 4.187}{12 \times 0.5} (\theta - 20) = 250 - \theta$$

$$62.8 (\theta - 20) = 250 - \theta$$

$$62.8\theta - 1256 = 250 - \theta$$

$$63.8\theta = 1506$$

$$\theta = \frac{1506}{63.8}$$

$$= 23.6^\circ\text{C} \quad \text{答案}$$

〔题〕 求一实心黄铜球的直径。当给该球加入 2KJ 热量时，它的直径增加 0.53mm 。已知黄铜的比热为 0.39kJ/kgK ，比密度为 8.4 ，线膨胀系数为 $1.8 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

〔解〕 设 d 为球的直径，单位用 mm 。 则

$$\begin{aligned} \text{球的质量} &= \frac{\pi}{6} \frac{d^3}{10^9} \times 8.4 \times 10^3 \\ &= \frac{4.3988d^3}{10^6} \text{ kg} \end{aligned}$$

加热后直径的增量 $= d \times \alpha \times \delta\theta$

$$0.53 = d \times 1.8 \times 10^{-5} \times \delta\theta$$

$$\delta\theta = \frac{0.53}{d \times 1.8 \times 10^{-5}}$$

$$= \frac{29.7}{d} \times 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

所加的热量 = 质量 $\times$ 比热 $\times \delta\theta$

$$2 \times 10^6 = \frac{4.3988 d^3}{10^6} \times 0.39 \times 10^3 \times \frac{29.7}{d} \times 10^3$$

$$d^2 = \frac{2 \times 10^6}{4.3988 \times 0.39 \times 29.7}$$

$$= 39.7 \times 10^3$$

则球径 $d = 10^3 \sqrt{3.97}$

$$= 199\text{mm} \quad \text{答案}$$

〔题〕 由变送器和接受器组成的液压操舵机系统，连接在一内径为10mm的两路管段的两端。变送器与接受器的总容量为5升，而它们之间的有效距离为80m。已知液压介质的体积膨胀系数为 $1.8 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ，而操舵机诸元件及管道的线膨胀系数为 $2.3 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。如果环境温度变化 15°C 。试计算进入补给槽的溢流量。

〔解〕 管子的容量 = $\frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \times 2 \times 80$

$$= 0.01257\text{m}^3$$

$$= 12.57 \text{ l}$$

$$\text{系统的总容量} = 5 + 12.57$$

$$= 17.57 \text{ l}$$

$$\text{温度变化后的溢流量} = \text{容量} \times \delta\theta (\beta - 3\alpha)$$

$$= 17.57 \times 15 \times 10^{-4} (1.8 - 3 \times 0.23)$$

$$= 17.57 \times 15 \times 10^{-4} \times 1.11$$

$$= 29.25 \times 10^{-3} \text{ l}$$

$$= 29.25\text{cm}^3 \quad \text{答案}$$

〔题〕一块厚度为1.5cm的钢板,其导热系数为45W/mK。
450℃的气体从其一侧流过,而另一侧流过的是60℃
的空气。如果气体侧的表面换热系数为4W/m²K,
而空气侧为2.1W/m²K。试计算通过该板的热流率。

〔解〕

$$Q = \frac{At\delta\theta}{\frac{1}{u_a} + \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{u_b}}$$

因为要求的是每秒每平方米板面的热流量,所以
A = 1 及 t = 1。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{450 - 60}{\frac{1}{4} + \frac{1.5}{45 \times 100} + \frac{1}{2.1}} \\ &= \frac{390}{0.25 + 0.00033 + 0.476} \\ &= \frac{390}{0.7263} \\ &\approx 537 \text{ W/m}^2 \quad \text{答案} \end{aligned}$$

〔题〕用350mm厚的耐火砖砌炉墙,砖墙外侧涂有
150mm厚的绝热材料。如果砖与绝热材料外露面的温
度分别维持在1000℃和110℃,它们的导热系数分
别为1.15W/mK和0.15W/mK。试求每小时通过该炉墙
的散热损失率及砖墙与绝热层接触面的温度。

〔解〕

$$Q = \frac{\lambda At \delta \theta}{x}$$

因为通过耐火砖的热量应该与通过隔热材料的相等,
即有:

$$\frac{\lambda_1 \delta \theta_1}{x_1} = \frac{\lambda_2 \delta \theta_2}{x_2}$$

可是 总温差 $\delta\theta = 1000 - 110 = 890^\circ\text{C}$

则 $\delta\theta_2 = \delta\theta - \delta\theta_1 = 890 - \delta\theta_1$

所以:

$$\frac{1.15\delta\theta_1}{0.35} = \frac{0.15(890 - \delta\theta_1)}{0.15}$$

$$3.286\delta\theta_1 = 890 - \delta\theta_1$$

$$\delta\theta_1 = \frac{890}{4.286}$$

$$= 207.7^\circ\text{C}$$

接触面的温度 $= 1000 - 207.7$

$$= 792.3^\circ\text{C} \quad \text{答案}$$

为了计算热流量, 只需考虑一种材料。因为隔热材料做数字计算比较容易, 所以对它进行计算:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\lambda_2 \delta\theta_2 t}{x_2} \\ &= \frac{0.15(890 - 207.7)}{0.15} \times 3600 \\ &= 2.456 \text{ MJ/m}^2\text{h} \quad \text{答案} \end{aligned}$$

〔题〕 制冷室的隔热壁是由10mm厚的石棉, 350mm厚玻璃纤维绝热层及8mm厚的钢板舱壁构成。其内壁温度为 -10°C , 外壁面温度为 15°C 。已知石棉, 玻璃纤维及钢的导热系数分别为 0.05 W/mK , 0.03 W/mK 及 45 W/mK 。(a)试计算通过 $3 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 壁面按 KWh 计的热流量及(b)石棉与玻璃纤维接触面处的温度。

〔解〕

$$Q = \frac{\delta\theta}{\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{25}{\frac{10}{0.05 \times 10^3} + \frac{350}{0.03 \times 10^3} + \frac{8}{45 \times 10^3}} \\
 &= \frac{25 \times 10^3}{200 + 11670 + 0.178} \\
 &\approx \frac{25 \times 10^3}{11870} \\
 &= 2.106 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

注意：钢壁对热流的影响是很微小的，在许多问题中常常把它忽略不计。

$$\begin{aligned}
 \text{每小时的热流量} &= 2.106 \times 3 \times 6 \times 3600 \\
 &= 136.47 \text{ KJ/h} \quad \text{答案(a)}
 \end{aligned}$$

对于石棉层：

$$Q = \frac{\lambda_1 \delta \theta_1}{x_1}$$

式中 $\delta \theta_1$ 是通过石棉层的温度变化。

$$\begin{aligned}
 \delta \theta_1 &= \frac{Q x_1}{\lambda_1} \\
 &= \frac{2.106 \times 10}{0.05 \times 10^3} \\
 &= 0.4212^\circ\text{C} \text{ ①}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{则交界面的温度} &= -10 + 0.4212 \\
 &= -9.5788^\circ\text{C} \quad \text{答案(b)}
 \end{aligned}$$

〔题〕 一绝热容器的器壁是由在25mm厚的内壳壁与舱壁之间夹有150mm厚的玻璃纤维构成的。其内壁温度为 -10°C ，外壁温度为 15°C 。已知玻璃纤维与内壳的导热系数分别为 0.04 W/mK 和 0.03 W/mK ，内外

①原书误写为 X 。——译者注