



保守力场的单一热源热力循环 及其热力学讨论

向成

(大连四八一〇厂)

通过理想的实验方式,专题说明了在保守力场中单一温度系统实行热力转换的方式,并认为这一方式是由于热力转换后的工质,通过外力场决定下的介质宇态(即能态)相同的作用,来完成工质状态回复的,这也是我们所描述的单热源热机同卡诺型热机的根本区别所在。通过分析,说明了单一热源热力转换的可行性及成立的原因。

关键词: 热源 热力循环 热力学

1 前言

通常认为热能向机械能的转换必须存在于两种温度的热源环境,而当把其中一种热源当作所付出的代价的话,热机不可能使之完全转化为机械能,卡诺热机理论很好地总结了这类热力转换。应该说热力转换的这一规律是在其特定的外界条件下成立的。

这里我们将专门讨论循环于保守力场和单一热源环境中的热力转换,以及这种循环的成因。

2 保守力场中依靠单一热源的热力循环

我们采用理想实验的方法来分析发生在保守力场及热环境中的热力循环。

2.1 设立模型

有一场强为 G 的均恒保守力场空间,现用具有良好导热性的材料,制成在场强方向具有足够高度的空间的密封容器,置于温度为 T 的热源中,容器内注有一定量的理想气体介质,使气体具有所处保守力

场的引力特性。我们称包括气体介质在内的该容器为气宇。

气宇内有一热力转换体——气室(图1),气室由气缸A、活塞B、气阀C及储能装置D构成。

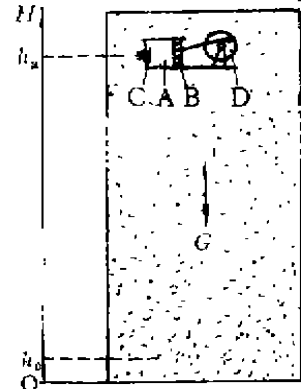


图1 热机结构示意图

为便于说明,现对循环进行理想化约定。

(1) 气室相对气宇容积足够小。

(2) 因气室处于保守力场中,故气室经单一循环(循环始末位移为零)无能量转换,分析中其质量略计。

(3) 在各运动过程中均无能量耗散现象。

2.2 循环过程及能量分析

在气宇中, 由于外力场的作用介质将按波尔兹曼等温函数分布, 其压力分布关系为:

$$p_i = p_0 e^{-Mgh_i/RT} \quad (1)$$

式中 p_i —— i 点压力;

p_0 —— 0 点压力;

e —— 自然常数;

M —— 热介质的分子量;

G —— 惯性力场的场强;

h_i —— i 点在场强方向的坐标;

R —— 理想气体常数;

T —— 系统温度。

上迁过程: 设气宇中各点状态稳定, 令气室在气宇底部 h 处吸收 n -mol 气体, 气阀密闭后向气宇顶部迁移。过程中气室内理想气体工质受力情况如图 2 所示。气室受力平衡方程为

$$F_i + f_i - F' = 0 \quad (2)$$

式中 F_i —— 气室所处点 i 的上迁牵引力;

f_i —— i 点环境介质的浮力;

F' —— 重力。

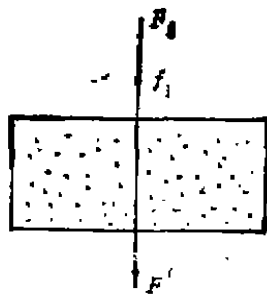


图 2

显然, 上迁过程中由于气室途经环境的状态参数 p_i 随气宇高度变化, 因此牵引力为一变量, 其功量微分式为

$$dW_s = F_i dh \quad (3)$$

将式 2 代入式 3 得

$$dW_s = (F' - f_i) dh \quad (4)$$

其中 $F' = nMG$ (5)

$$f_i = \rho_i V G \quad (6)$$

式中 W_s —— 牵引力;

ρ_i —— i 点的介质密度;

V —— 气室容积。

我们让气室将气体工质自 h_0 点迁移至 h_1 点, 将式 5, 6 代入式 4 并积分, 则其迁移所需功为

$$W_s = \int_{h_0}^{h_1} nMG dh - V G \rho_0 \int_{h_0}^{h_1} e^{-Mgh/RT} dh$$

积分后为

$$W_s = nMGh_{01} - nRT_0(1 - e^{-Mgh_{01}/RT}) \quad (7)$$

等温做功过程: 气室上迁至 h_1 点, 因气室内外热力状态的差异 ($p_i < p_0$) 可令活塞做可逆等温膨胀。活塞膨胀做功为

$$W_i = nRT \ln \frac{p_0}{p_i} \quad (8)$$

式中 W_i —— 活塞膨胀所做的功;

p_i —— a 点的压力。

因为可逆等温膨胀将使热能完全转化为机械能, 则根据热力学第一定律有

$$dQ = dW_i$$

过程中气缸体缓慢膨胀, 并挤压气宇顶部气体, 同时气室膨胀体通过气宇内介质和气宇壁吸热。

当气室内压力与外界压力平衡时, 活塞将停止膨胀, 气阀开启, 该过程结束。

气室下迁过程: 气室在气阀开启的状态下下迁, 其过程中气室内外介质状态并无差异, 气室不受任何力的作用, 因而无能量转换。

当气室下浮至始点 (h_0 点), 令活塞也处于始点状态, 并关闭气阀, 准备下一

个循环, 整个循环完结。

循环中的能量情况: 在历经了气室上迁、膨胀及下浮过程后, 气室内各处都恢复了循环前状态。由于气室下浮过程并无能量转换, 因此对于整个循环只须分析上浮及膨胀过程的功量盈亏。

设获得的功为正, 耗费的功为负, 因而有

$$W_x = W_1 + W_2 \quad (9)$$

将式7, 8代入9式

$$W_x = nRT_0 \ln \frac{P_0}{P_1} - [nMGh_{01} - nRT(1 - e^{-MGh_{01}/RT})]$$

再将式1代入上式得

$$W_x = nMGh_{01} - [nMGh_{01} - nRT(1 - e^{-MGh_{01}/RT})]$$

化简

$$W_x = nRT_0(1 - e^{-MGh_{01}/RT}) \quad (10)$$

因 $0 < e^{-MGh_{01}/RT} < 1$

所以 $W_x > 0$

此结果表明, 该方式循环是以定温热能向机械能的转化为主体效应。因而我们说, 这种循环是以单一热源吸收热能, 并使之完全转化为机械能的热力循环。

3 单热源热力循环的实现及其特征

前面我们所设计的热力循环, 其特点是膨胀体—气室工作在外力场作用下的不同状态热力环境之间, 在上迁的始端和膨胀的末端气室内的工质与相应高度的气宇介质处于热力平衡状态, 气室内工质状态的回复是在气室开通的迁移过程中进行的。下面我们来分析气宇中各点介质间的能量关系。

设一气宇, 外力场强为 G , 且各处场强相同。其中假想有 n mol, 摩尔质量为

M 、体积为 V_0 的气团, 位于 h_0 点。假设气团始终占有一封闭空间, 并在等温状态下浮动至 h_1 高度, 平衡时该气团占有容积为 V_1 。

在浮动过程中气团对外界所做的容积功为

$$W_1 = nMRT_0 \ln \frac{V_1}{V_0}$$

由力场中理想气体的比容状态分布

$$V_1 = V_0 e^{-MG(h_1 - h_0)/RT} \text{ 代入上式得}$$

$$W_1 = nMG(h_1 - h_0) \quad (11)$$

过程中气团的位能变化为

$$W_2 = nMG(h_1 - h_0) \quad (12)$$

式11, 12说明气团在等温气宇中浮动, 其容积功变化是以它的位能改变为代价的。因此在热平衡状态下的气宇中, 气团的等质量开放式浮动不须借助外力作用。

在气宇中, 我们称由单位质量热介质所占据的容积相对于气宇顶部(低密度点)的等温膨胀能为容势, 称由单位质量热介质相对气宇底部(高密度点)的势能为位势。由前面的分析不难看出, 在气宇内任一气团的浮动过程中容势和位势为时刻相互转化的两个能量项。故设一函数 Y 来表示单位质量介质在气宇中某一位置的能量情况, 在均恒力场作用下的理想气体平衡态气宇中, 该函数为

$$Y = \frac{RT}{M} \ln \frac{V_2}{V_1} + G(h_1 - h_0) \text{ (J/kg)} \quad (13)$$

由式13可以看出, 函数 Y 对于一平衡态气宇其值各处相同, Y 同时也是描述气宇整体能量状态的函数, 我们称之为气宇能态函数, 简称宇态。

宇态的概念可以说明, 气室在下浮过程中对循环而言, 并无能量转换, 为此我们无须对此过程付出代价。

下面再来看看气团在气宇中浮动的熵情况。

设气团在 b 点时比熵值为 S_b ，压力为 P_b ，当气团在准静态下浮动至 c 点时，其环境压力状态为 p_c ，由于气宇为一等温系统，因此气团在 c 点的比熵值为

$$S_c = S_b - R \ln \frac{p_c}{p_b} \quad (14)$$

由 b, c 两点的压力状态关系

$$p_c = p_b e^{-Mgh_{bc}/RT}$$

代入式14得

$$S_c = S_b + Mgh_{bc}/T \quad (15)$$

当 $h_{bc} > 0$ 气团向上浮动时，显然 $S_c > S_b$ ，这是一熵增过程，过程中气团不断地向气宇中介质吸热。

当 $h_{bc} < 0$ 气团向下浮动时，显然 $S_c < S_b$ ，是一熵减过程，同上面情况相反，这是一放热过程。

通过以上分析可以看出，气团在外力场作用下环境中浮动，其熵参数是场强方向尺度(h)的函数。由于气团的浮动属可逆过程，因而该过程可以引起浮动气团自身热力状态的变化。

通过前面的设计与分析，结合传统形式热机的实现机理，我们可以说，热力过程是不同状态参数体系间力的机械作用的结果。其形式是将热能转化为机械能，而持续这一过程，必须建立一差状态环境。对于活塞式热力转换机械，通常是采用气缸体内介质状态回复的方式。以卡诺机为代表的传统型热机，其工质的状态回复是

通过机械作用和放热过程实现的，若以热能的供给作为我们所付出的代价的话，其中必须部分地传入预先设置的低温热源之中去，所以传统型热机不可能使热源之热能完全转化为机械能。在前面讨论的单热源热力循环中，热力转换后工质状态的回复是由外力场的作用而实现同宇态的热力状态变化的。外力场造就了差热力状态环境，且保证了各状态点的能态关系相同，因而状态回复过程不须我们付出代价。

在单热源热力循环中，我们还必须利用某些过程量的作用，如前面的循环里浮力在单程迁移过程中对气室工质位势增加的贡献，这是该类循环方式得以实现的技术因素。

因而保守力场中单热源热力实现的条件可以归结为两条：

①在热力转换的实现过程中，必须有净功量的获得；

②必须在同宇态下实现工质的状态回复。

4 结 论

①保守力场对热气体介质的作用创造了热力转换所必须的差热力状态环境，并决定了各状态间能量关系——宇态相同。

②通过实行同宇态中不同热力状态间工质的热力转换，以及工质热力状态的自然回复，可以实现由单一热源的热能完全转化为机械能的热力循环。

(编辑 杨树云)

(上接44页)

133.45万元/a。

(2) 节约原料费： $80 \text{元/t} \times 5470$
(收得率85%) = 43.76万元/a。

(3) 热处理多占时间费： 20元/t

$\times 4650 = 9.3 \text{万元/a}$

(4) 合计经济效益： $133.45 \text{万元/a} + 43.76 \text{万元/a} - 9.3 \text{万元/a} = 167.9 \text{万元/a}$ 。

(编辑 杨树云)