

一种不耗电的空调

吴国庆

(南京工业大学浦江学院 江苏 南京 211134)

(收稿日期:2017-03-01)

摘要:通过对两种理想的热力学循环过程的研究,解释了普通空调和一种不耗电的空调的制冷原理,并计算了两种热力学循环的制冷系数.

关键词:卡诺循环 制冷系数

1 引言

炎热的夏季,在空调出现之前,要实现降温较为困难.中国古代皇宫,冬季将冰贮藏在冰窖中,夏季放在室内,用于降温.据《诗经·七月》记载,3 000年前,人们“二之日凿冰冲冲,三之日纳于凌阴”,所谓凌阴就是冰窖.清朝时,北京城设冰窖 18 座,可储冰 20.57 万块,皇室就靠这些冰块度过炎炎夏日.公元前 1 000 年左右,波斯人发明用外面的自然风穿过凉水并吹入室内的空气调节系统.空调的出现使得普通民众也能在舒适的环境中躲避酷热.现在还出现了一种依靠风能进行降温的装置,可以实现一定程度的降温.

2 空调的工作原理

在压缩气体对气体做功的过程中,气体会升高温度从而对外放热,而在气体膨胀过程中,气体会降低温度吸收外界热量,空调在这个基础上进行工作.为了方便理解空调制冷的具体过程,下面将对卡诺逆循环进行研究.

卡诺逆循环^[1,2]是由 4 个准静态过程所组成的,其中包括 2 个绝热过程和 2 个等温过程.为方便讨论,下面的分析将以理想气体为工作物质.

下面讨论图 1 所示的由 2 个绝热过程和 2 个等温过程组成的卡诺逆循环,即卡诺制冷机,工作物质经历的状态是 $A-D-C-B-A$.图中 BA 和 DC 是等温线, AD 和 CB 是绝热线.理想气体从温度为 T_1 的 $A(p_1, V_1)$ 状态绝热膨胀到 $D(p_4, V_4)$,在此过程中,气体的温度逐渐降低,在 D 时的温度是 T_2 ;接着气体等温膨胀到 $C(p_3, V_3)$,从 C 到 $B(p_2, V_2)$ 的过程是绝热压缩的过程,它的温度上升到 T_1 ,最后气体被等温压缩到点 A ,使气体回到起始的状态,在此过程中它把热量 Q_1 传递给高温热源.

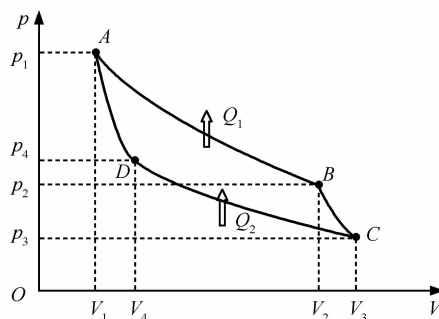


图 1 卡诺逆循环 $p-V$ 图

在经历一个循环过程后,理想气体又回到原来的状态,其内能不变,但外界要对理想气体做功,并与两热源间有能量传递.由热力学第一定律可求得在 4 个过程中,气体的内能、对外做功和传递热量关系如下.

在 DC 的等温膨胀过程中,气体对外界做的功 W_2 等于气体从外界吸收的热量 Q_2 ,由于理想气体满足

$$pV = \nu RT \quad p = \frac{\nu RT_2}{V}$$

气体对外界做功为

$$W_2 = Q_2 \int_{V_4}^{V_3} p dV = \nu RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (1)$$

在 BA 的等温压缩过程中,外界对气体做的功 W_4 等于气体向外界释放的热量 Q_1 ,气体对外界做的功为

$$W_4 = Q_1 \int_{V_1}^{V_2} p dV = \nu RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

由能量守恒,在一个循环过程中,外界对气体做的总功为

$$W = Q_2 - Q_1 \quad (3)$$

在一个循环过程中,气体从低温热源吸收的热量为 Q_2 ,制冷系数为

$$e = \frac{Q_2}{W}$$

将式(1)、(2)代入(3)有

$$e = T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \left(T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \right)^{-1} \quad (4)$$

由理想气体绝热方程

$$TV^{\gamma-1} = C$$

式中 C 为常量, 可得

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1} \quad (5)$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

最终可以得到制冷系数表达式为

$$e = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (6)$$

3 不耗电的空调

下面介绍一种依靠风力进行降温的简易的温度调节装置.

简易的温度调节装置所需的原料非常简单, 只需要一些塑料瓶和一块可以打孔的板子即可. 将塑料瓶的盖子去掉, 将瓶身一分为二. 然后在板子上打上一系列孔, 将瓶口插进板子上的孔中, 即完成温度调节装置的制作. 把板子挡在窗户上, 让瓶身朝外, 瓶口指向室内, 如图 2 所示.

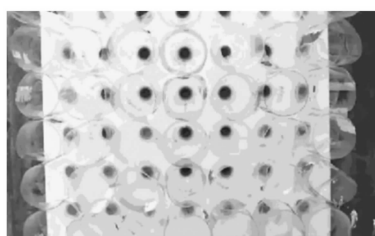


图 2 简易温度调节装置效果图

室外有风吹向该装置时, 其降温效果较为明显. 该装置实现降温的主要原因是饮料瓶在瓶口的方向收窄. 如图 3 所示, 空气由左端 1 瓶身处吹入, 在到达瓶口 2 的过程中, 空气被压缩, 温度升高并在通过瓶口 3 时向外界传递热量; 当空气由瓶口吹向室内 4 时, 体积膨胀, 温度降低, 从而调节室内温度. 吹入房间的空气最终向室外扩散, 即空气由 4 回到 1 中.

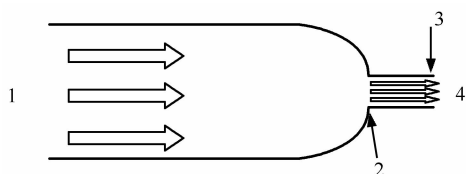
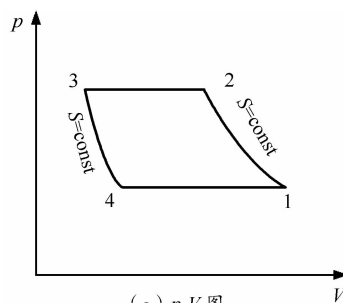


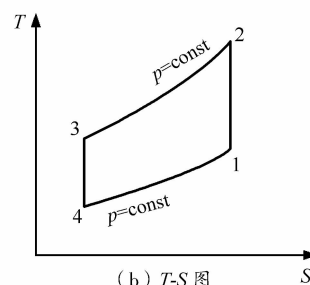
图 3 塑料瓶中气体流动示意图

为了更清楚地研究该热力学过程, 假定在 1-2 气体压缩过程和 3-4 气体膨胀过程为绝热过程, 这两个过程中气体体积变化较快, 相较对外界做的功, 热传递导致的内能变化可忽略, 因此视为绝热过程,

如图 4(a) 所示; 而在 2-3 气体通过窄瓶口过程和 4-1 气体膨胀后到流向户外过程中, 气体压强不变, 视为等压过程, 如图 4(b) 所示.



(a) p - V 图



(b) T - S 图

图 4 理想简单循环热力学过程图

在 2-3 过程中, 气体向外界释放的热量为

$$Q_{3-2} = C_p (T_3' - T_2') \quad (7)$$

在 4-1 过程中气体从外界吸收的热量为

$$Q_{4-1} = C_p (T_1' - T_4') \quad (8)$$

根据能量守恒, 整个过程中外界对气体做的功为 $W' = Q_{3-2} - Q_{4-1}$. 需要注意的是, 该部分功来源于空气流动所具有的机械能.

该过程的制冷系数为

$$e' = \frac{Q_{4-1}}{W'} = \frac{T_1' - T_4'}{(T_1' - T_4') - (T_2' - T_3')} \quad (9)$$

由于 1-2 和 3-4 为绝热过程, 满足

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad (10)$$

$$p_3 V_3^\gamma = p_4 V_4^\gamma$$

又理想气体满足 $pV = \nu RT$, 则

$$\frac{T_2'}{T_1'} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{T_3'}{T_4'} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (11)$$

且 $p_4 = p_1, p_2 = p_3$ 令

$$\alpha = \frac{p_2}{p_1}$$

则

$$\frac{T_2'}{T_1'} = \frac{T_3'}{T_4'} = \alpha^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

整理得

$$e' = \left(\alpha^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)^{-1} \quad (12)$$

再谈部分电路的感生电动势

——对一道经典题错解的分析及其求解

艾 亮

(天门市江汉学校 湖北 天门 431700)

(收稿日期:2017-02-12)

摘 要:由于中学课程内容的限制,加上学生自身数学知识有限,对感生电动势很难有准确深入的把握,难以领会其实质,而现在的教学辅导材料鱼龙混杂,有些题目实则是误导.以一道典型题的错解为例,分析其错误原因,并给出详细的正确解题过程.

关键词:涡旋电场 感生电动势 电势差

1 引言

根据麦克斯韦的电磁场理论,变化的磁场产生感生电场(或称涡旋电场),与静电场不同,感生电场是一个有旋无源的非保守场.当导体处于感生电场中,电荷会在感生电场力的作用下移动形成感生电动势.

值得注意的是,感生电场不仅只存在于磁场区域以内,在磁场区域以外电场也仍然存在.场强及感生电动势可由

$$\epsilon = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

求得.

2 错解分析

至今仍有不少教辅书中有这样一道题目及与之类似的题目.

【题目】如图1所示,均匀导线做成的正方形线圈,边长为2 m,正方形的一半放在垂直纸面向里的匀强磁场中,当磁场以 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 1 \text{ T/s}$ 的变化率增强时,求 e 和 f 间的电势差 U_{ef} .

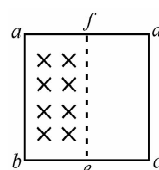


图1 题目附图

参考答案:由法拉第电磁感应定律得,整个回路的感应电动势为

$$E_{\text{总}} = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 2 \text{ V}$$

设线圈总电阻为 $4R$, $fabe$ 段处在磁场中,充当电源, $ecdf$ 段为外电路,等效电路如图2所示, U_{ef} 即路端电压,则

$$U_{ef} = \frac{1}{2} E_{\text{总}} = 1 \text{ V}$$

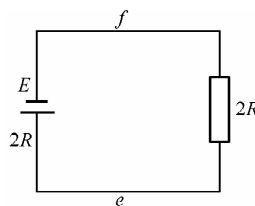


图2 附图的等效电路

通过上述计算可知,在理想情况下,该制冷系统的制冷效率与瓶口收窄处的气压和大气压之比有关.在上述循环过程中,空气流动具有的机械能充当装置工作的动力源.

4 结束语

空调工作的过程中,工作介质在空调内部是循环流动的,介质和房间空气之间进行热传递,实现室温的调节.在依靠风力进行降温的简易的温度调节

装置中,充当工作介质的气体直接流入房间中,其中在3-4的过程中和4-1的过程气体膨胀对外做功,可以转化为空气流动的机械能.空气流动虽然未能降低房间的温度,但是加快了人体表汗液的蒸发速度,增加人体的舒适度.

参 考 文 献

- 1 高景,董占海.大学物理教程.上海:上海交通大学出版社,2014.319
- 2 马文蔚,周雨青.大学物理教程.北京:高等教育出版社,2014.224