文章编号:1674－2869(2013)09－0076－03

热力学关系式的一种简易记忆方法

鄂　青[1],许俊俊[2]
(1.武汉工程大学理学院,湖北 武汉 430074;2.广东工业大学材料与能源学院,广东 广州 510006)

摘　要:热力学关系式包括大量的复杂微分方程式.这些关系式十分相似,容易混淆,给准确记忆和正确使用带来了诸多不便.为帮助研究人员更好地掌握和运用这些关系式,首先利用各热力学参数构建了一种简单的记忆图表,然后介绍了运用该图表快速列写出热力学基本关系式、麦克斯韦方程式及八个一阶偏微分方程的规则.这种记忆法使用方便,能同时记住热力学各种微分关系式且简单易懂、记忆准确.利用这种记忆方法可以避免产生混乱,减轻记忆工作量,提高学习和运用热力学一般关系式的效率.

关键词:工程热力学;麦式关系;记忆图
中图分类号:O414.1　　**文献标识码**:A　　**doi**:10.3969/j.issn.1674-2869.2013.09.015

0　引　言

依据热力学第一定律和第二定律建立的热力学一般关系,揭示了各种热力参数间的内在联系,对工质热力性质的理论研究与实验测试都有重要意义.麦克斯韦关系式是热力学中一个重要的内容,它给出了比熵(s)、热力学温度(T)、比体积(v)和压力(p)这四个变量偏导数之间的关系,是推导熵、热力学能、焓及比热容的热力学一般关系式的基础,提供了一组可测量和不可测量或难测量之间的转换关系.

这些关系式常以偏微分的形式表示,故亦称热力学的微分关系式.它涉及四个热力学基本方程式、四个麦克斯韦关系式和八个状态参数的表示方法,形式十分相近,记忆时容易引起混乱,给使用人员带来不便[1-3].本文提出一种图形记忆方法,这种方法只有一个简单的记忆图,利用不同的规则可以很快的写出全部关系式.本记忆方法使用的记忆图简单易记;使用的规则清楚易懂;可以一张图记住全部的热力学微分关系,准确高效,使用方便.

1　记忆图

该记忆方法和已有的一些记忆方法最大的不同是,它只有一张记忆图,简单明了,方便记忆和使用.可通过不同的使用规则来记忆这些复杂的热力学微分关系式.该记忆图如图 1 所示.

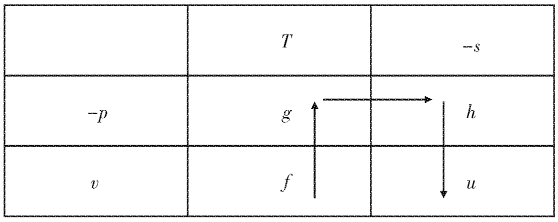

图 1　记忆图
Fig. 1　Mnemonic diagram

该记忆图的组成:

a. 绘制图 1 所示的 3×3 的表格.将 T、$-s$ 填写在第一行的第二、三列,将 $-p$、v 填写在第一列的第二、三行.

b. 以图中倒"U"字形箭头的指向为路线,按照字母表的顺序排列四个状态参数(比亥姆霍兹函数 f→比吉布斯函数 g→比焓 h→比热力学能 u),依次写在该表格的对应位置.

2　使用方法

2.1　基本热力学关系式

根据热力学第一定律解析式,可以推导出简单可压缩工质在可逆变化过程中的能量平衡表达式,并通过勒让德(Legendre)变换可得到以下四个热力学基本关系式:

$$\mathrm{d}u = T\mathrm{d}s - p\mathrm{d}v \tag{1}$$

$$\mathrm{d}h = T\mathrm{d}s + v\mathrm{d}p \tag{2}$$

$$\mathrm{d}f = -s\mathrm{d}T - p\mathrm{d}v \tag{3}$$

$$\mathrm{d}g = -s\mathrm{d}T + v\mathrm{d}p \tag{4}$$

记忆需借助图 2 所示的基本热力学关系式推

收稿日期:2013-02-27
基金项目:武汉工程大学青年科学基金(Q201109)

作者简介:鄂　青(1978-),女,湖北武汉人,讲师,硕士.研究方向:热声制冷机的研究.

导图,以式(1)为例,可概括出记忆方法为:

①u 所在的位置的横纵坐标为(s,v),则以 s 和 v 为求导对象写成 $\mathrm{d}s+\mathrm{d}v$;此处注意,写坐标时应省去参数所带的“$-$”.

②分别乘以“同伴”即同行或同列对应的参数,写成 $T\mathrm{d}s+(-p)\mathrm{d}v$,便可很容易的得到:$\mathrm{d}u=T\mathrm{d}s-p\mathrm{d}v$.

以此类推,便可得到其他几个关系式.

	T	$-s$
$-p$	g	h
v	f	u

图 2　基本热力学关系式推导

Fig. 2　Deduction of the basic thermodynamic relations

2.2　麦克斯韦关系

已知上述四个热力学基本关系式,利用全微分的性质,从每一个方程中便可得到一个麦克斯韦关系,即:

$$\mathrm{d}u=T\mathrm{d}s-p\mathrm{d}v\rightarrow\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s=-\left(\frac{\partial p}{\partial s}\right)_v \tag{5}$$

$$\mathrm{d}h=T\mathrm{d}s+v\mathrm{d}p\rightarrow\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s=\left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_p \tag{6}$$

$$\mathrm{d}f=-s\mathrm{d}T-p\mathrm{d}v\rightarrow\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T=\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \tag{7}$$

$$\mathrm{d}g=-s\mathrm{d}T+v\mathrm{d}p\rightarrow-\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T=\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \tag{8}$$

其中常用的是式(7)和式(8),它们给出了不可测的熵参数和容易测得的参数 p、v、T 之间的微分关系.

记忆需借助图 3 所示的麦克斯韦关系式推导图,以麦克斯韦关系式(6)为例,可概括出记忆方法为:

① 当写$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)$的偏导数时,在记忆图中从 T 绘制箭头线到 p,再由 p 的“同伴”v 绘制箭头线到 T 的“同伴”s.

②判断两箭头线是否交叉.若不交叉取正号“$+$”,若交叉取负号“$-$”.本例中,两箭头线不交叉,因此取正号.写成:$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)=\left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)$的形式.

③以对侧分母偏导对象为本侧不变量作为下标.本例中,右侧分母偏导对象为 s,因此左侧写成$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s$;同理,左侧分母偏导对象为 p,故右侧写成$\left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_p$,即可得出式(6).

	T	$-s$
$-p$	g	h
v	f	u

图 3　麦克斯韦关系推导

Fig. 3　Deduction of the Maxwell relations

以此类推,按照这种法则很容易得到其他几个麦克斯韦关系.

2.3　八个重要的一阶偏微商关系

由基本热力学关系还可以导出以下八个重要的一阶偏微商关系式,它们把状态参数的偏导数与常用状态参数联系起来:

$$T=\left(\frac{\partial u}{\partial s}\right)_v=\left(\frac{\partial h}{\partial s}\right)_p \tag{9}$$

$$-p=\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_s=\left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)_T \tag{10}$$

$$v=\left(\frac{\partial h}{\partial p}\right)_s=\left(\frac{\partial g}{\partial p}\right)_T \tag{11}$$

$$-s=\left(\frac{\partial f}{\partial T}\right)_v=\left(\frac{\partial g}{\partial T}\right)_p \tag{12}$$

记忆需借助图 4 所示的一阶偏微商关系推导规则,以式(9)为例.

①写 T 的表达式的时候,应该取其相邻的列的参数,即 h 或 u 的偏微分作为分子;以“同伴”即 s 的偏微分作为分母,写成$\left(\frac{\partial h}{\partial s}\right)$或$\left(\frac{\partial u}{\partial s}\right)$的形式.

②以分子所对应的行坐标项作为下标,即$\left(\frac{\partial h}{\partial s}\right)$的下标为 p,$\left(\frac{\partial u}{\partial s}\right)$的下标为 v,即得:

$$T=\left(\frac{\partial u}{\partial s}\right)_v=\left(\frac{\partial h}{\partial s}\right)_p$$

其它几个一阶偏微商关系的记忆方法可以以此类推.

在使用此规则时应该注意以下几点:①若是求 p 和 v 的表达式,分子则应该取相邻行的参数.②这里取偏导时不带入 s 和 p 前面的“$-$”.③在写和的表达式时应该写成“$-s$”和“$-p$”的表达式.

	T	$-s$
$\boxed{-p}$	g	h
$\boxed{v}$	f	u

图 4　一阶偏微商关系推导

Fig. 4　Deduction of the first order partial derivative relations

3 结 语

采用记忆图的记忆法使用方便，能同时记住热力学各种微分关系式. 此外，这种记忆法简单易懂，记忆准确. 利用这种记忆方法可以避免产生混乱，减轻记忆工作量，可以极大的提高学习和运用热力学一般关系式的效率.

致谢

感谢武汉工程大学对本项目提供资金支持！

参考文献：

[1] 陈平生. 麦克斯韦关系实用记忆法[J]. 黄淮学刊，1989(2)：79-77.

[2] 曹海静，田冰涛. 热力学麦克斯韦关系的简便记忆方法[J]. 科技资讯，2012(21)：203.

[3] 杨庆怡，孙公洛. 热力学关系的记忆方法[J]. 湖北汽车工业学院学报，1991(1/2)：110-111.
Yang Qing-yi，Sun Gong-luo. A Memory Method of Thermodynamical Relation [J]. Journal of Hubei Automotive Industries Institute，1991 (1/2)：110-111. (in Chinese)

Simple mnemonic method for thermodynamics relations

E Qing[1]，***XU Jun-jun***[2]

(1. Institute of Science，Wuhan Institute of Technology，Wuhan 430074，China；
2. School of Materials and Energy，Guangdong University of Technology，Guangzhou 510006，China)

Abstract：A large number of complex equations are included in the thermodynamic relations. These equations are so similar that they are difficult to be remembered and easy to be confused. To help researchers mastering and using these relations better，we give out a mnemonic diagram based on thermodynamic parameters，then use the rules of this diagram to get the basic relations of Thermodynamics，the Maxwell′s relations and eight first-order partial differential equations. This mnemonic method is simple，practical and efficient. With this method，confusion can be avoided，memory load can be reduced，and efficiency of studying and using the thermodynamics relations can be increased.

Key words：thermodynamics；maxwell′s relations；mnemonic diagram

本文编辑：苗 变