

热力学基本方程相关公式倒“ Π ”图形记忆法及教学实践

王枫梅*, 张欣, 鄢红, 徐向宇, 王桂荣

北京化工大学化学学院, 化工资源有效利用全国重点实验室, 北京 100029

摘要: 在物理化学课程学习的过程中, 如何高效准确地理解并总结化学热力学公式是学生所面临的主要难题。一方面体现在学生对公式理解不够深入, 另一方面是热力学理论体系复杂, 八个状态函数之间的关系容易混淆。本文旨在探讨涉及热力学中八个状态方程之间的关系式, 及快速记忆掌握方法。内容包括探讨热力学基本方程、对应系数关系式, 及麦克斯韦关系式的记忆方法和利用动画视频协助记忆。通过引入新的教学策略和记忆方法, 帮助学生更好地理解 and 掌握这些公式, 提高学习效果并打好热力学基础。

关键词: 物理化学; 热力学基本方程; 倒“ Π ”图形记忆法; 麦克斯韦关系式

中图分类号: G64; O6

Inverted ' Π ' Graphic Memory Method for Thermodynamic Basic Equations and the Application in Teaching Practice

Fengmei Wang*, Xin Zhang, Hong Yan, Xiangyu Xu, Guirong Wang

State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering, College of Chemistry, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China.

Abstract: In the study of physical chemistry, students frequently face challenges in effectively comprehending and systematically organizing thermodynamic equations. These difficulties stem from both a limited depth of understanding of the formulas and the inherent complexity of thermodynamic theory, particularly the intricate interrelationships among the eight state functions. This paper examines the relationships between the eight state equations in thermodynamics and introduces a novel approach for their rapid memorization and mastery. The study focuses on three key aspects: thermodynamic fundamental equations, corresponding coefficient relations, and Maxwell relations. Specifically, it presents an innovative inverted " Π " graphic mnemonic technique complemented by instructional animation videos. Through the implementation of these advanced teaching strategies and memory aids, this research aims to enhance students' comprehension and retention of thermodynamic equations, thereby improving learning outcomes and establishing a solid foundation in thermodynamics.

Key Words: Physical chemistry; Thermodynamic basic equation; Inverted " Π " graphic memory method; Maxwell relation

化学热力学是研究系统在平衡状态下热现象的性质以及状态发生变化时系统与环境相互作用的科学, 在大学化学教育中占有非常重要的地位。准确理解并掌握八个热力学状态函数与特征变量^[1]之间的对应关系是学生在学习过程中的重点与难点之一, 其中包含众多热力学基本方程、对应系数关系式以及麦克斯韦关系式^[2], 这些公式对于理解热力学概念和解决实际问题具有重要意义。然而,

收稿: 2024-12-16; 录用: 2025-02-19; 网络发表: 2025-06-20

*通讯作者, Email: wangfm@buct.edu.cn

基金资助: 2022年北京高等教育“本科教学改革创新项目”重点项目; 北京化工大学本科教育教学改革研究项目(2023BHDJGY09)

由于这些公式数量繁多、各函数之间的相互关联、记忆规律隐形且很容易混淆^[3,4]；部分图形记忆法^[5]、坐标记忆法^[6]与教材所学状态函数的顺序未充分对应，学生利用该方法记忆时，仍然常感到难以记忆和理解。因此，本文提出对热力学基本方程、对应关系式及麦克斯韦关系式记忆方法进行改革探索，按照物理化学教材中学习八个状态函数的顺序对其进行分类排布，通过设计图形和动画视频协助学生记忆。实践表明，这些记忆技巧不但能够对学习的八个状态函数进行快速记忆，而且能够有效提高学生记忆的主动性与趣味性^[7]，加强学生对这些热力学关系式的内化，增强记忆准确性并巩固学习效果。

1 倒Π图形巧记八大函数

物理化学热力学部分主要学习到八个状态函数，包括压强(p)、体积(V)、温度(T)、熵(S)、热力学能(U)、焓(H)、赫姆霍兹自由能(A)、吉布斯自由能(G)。其中， U 、 H 、 A 和 G 四个状态函数本身具有能量量纲，剩余的 p 、 V 、 T 和 S 四个状态函数通过乘积，即 pV 、 TS 后也具有能量量纲。因此，把八个状态函数可以分为两组：1) 不具有能量量纲的特征变量： p 、 V 、 T 和 S ；2) 具有能量量纲的特征函数： U 、 H 、 A 和 G 。

按照物理化学教材^[8,9]的学习顺序，将不具有能量量纲的 p 、 V 、 T 和 S (也称为特征变量)按照顺时针排列为两列(图1)，形成“||”型组；将具有能量量纲的 U 、 H 、 A 和 G (也称为特征函数)放在“||”型的下方，形成“—”型组，组合后形成倒“Π”型。

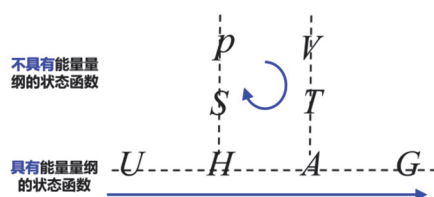


图1 八个热力学状态函数的倒“Π”型记忆方法

接下来，确定各项的符号。在含有熵 S 的一列上方标注“+”，另一列则标注“-”，如图2所示。

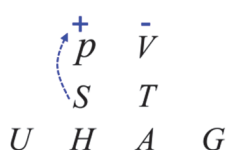


图2 四个不具有能量量纲的热力学状态函数系数符号记忆

我们只需按照课堂学习顺序分解和组合排列八个状态函数并记住含 S 上方为“+”的规则，便可巧妙地通过简单的连线方式掌握这八个状态函数的对应关系。

2 倒Π图形巧记热力学基本方程式

利用图2所示的图形，我们来记忆热力学基本方程式。

$$dU = TdS - pdV$$

$$dH = TdS + Vdp$$

$$dA = -SdT - pdV$$

$$dG = -SdT + Vdp$$

以 $dU = TdS - pdV$ 为例。我们首先在图2所示的倒“Π”型图上以 U 为起点，沿虚直线逐行向上

连接，即形成 U - S - V 的路径，得到图3(a)。接着分别将 p - V 和 S - T 用虚直线相连，得到图3(b)。

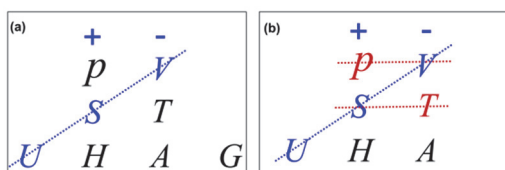


图3 基于倒“ Π ”型图形记忆关于 U 的基本方程式

根据图3(a)则首先写出：

$$dU = + dS - dV$$

再根据图3(b)则写出：

$$dU = + TdS - pdV$$

同理，我们可以按照图4分别写出其他三个热力学基本方程式：

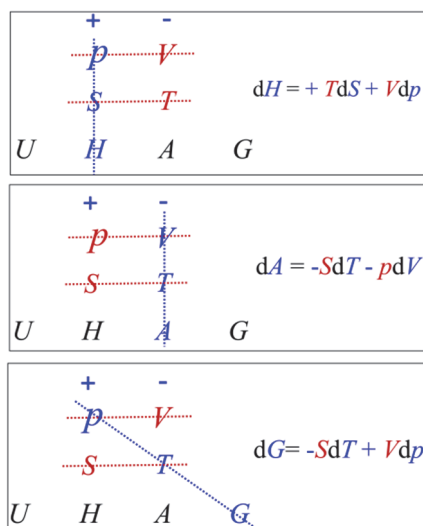


图4 基于倒“ Π ”型图形记忆关于 H 、 A 和 G 的基本方程式

3 倒 Π 图形巧记对应系数关系式

我们也可以利用该倒 Π 图形巧记对应系数关系式，简称“交叉点记忆系数法”。我们首先选取具有能量量纲分组中的两个状态函数作为起点，连线规则也是沿虚直线逐行向上连接，以 U 和 H 为例，连线如图5所示，可以得出， U 和 H 对 S （交叉点）的偏导分别在 V 和 p 不变的情况下，可对应的等于 T ，含 S 列上方的符号决定系数前为“+”号

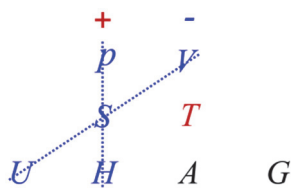


图5 基于倒“ Π ”型图形中的“交叉点记忆法”记忆 $(\frac{\partial U}{\partial S})_V$ 和 $(\frac{\partial H}{\partial S})_p$ 对应系数关系式

故，根据图5可以直接写出：

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p = T$$

同理，如图6所示， U 和 A 对 V （交叉点）的偏导分别在 S 和 T 不变的情况下，可对应的等于 $-p$ ，含 V 列上方的符号决定系数前为“-”号。

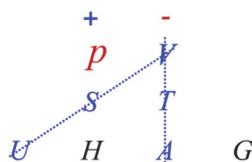


图6 基于倒“ Π ”型图形中的“交叉点记忆法”记忆 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$ 和 $\left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_T$ 对应系数关系式

故，根据图6可以直接写出：

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S = \left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_T = -p$$

同理，我们可以根据图7和图8，分别写出另外两组对应系数关系式：

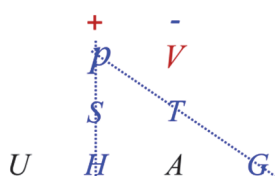


图7 基于倒“ Π ”型图形中的“交叉点记忆法”记忆 $\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$ 和 $\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$ 对应系数关系式

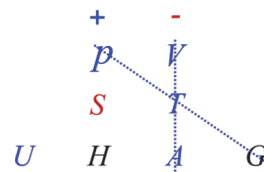


图8 基于倒“ Π ”型图形中的“交叉点记忆法”记忆 $\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V$ 和 $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$ 对应系数关系式

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T = V$$

$$\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S$$

4 倒 Π 图形巧记Maxwell关系式

利用此倒 Π 图形巧记麦克斯韦关系式更方便。因为麦克斯韦关系式只与 p 、 V 、 T 和 S 有关，因此只需要分解利用倒 Π 中的“ $|$ ”型组即可。然后通过画“成对”箭头形成“ \circ ”和“ \times ”的方式直接将四组麦克斯韦关系式写出来，即“成对箭头记忆法”。

在该记忆方法中，偏微分的分子和分母由箭头的指向决定，同时根据箭头关系为“ \circ ”型或者“ \times ”型来确定“-”和“+”号，而下标的不变量与分子水平对应的状态函数确定。如图9所示：

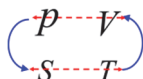


图9 基于倒“ Π ”型图形中的“成对箭头法”记忆第一组麦克斯韦关系式

根据图9可写出：

$$\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_V = -\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S$$

根据箭头关系的另一种“o”型，如图10所示。

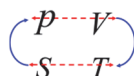


图10 基于倒“Π”型图形中的“成对箭头法”记忆第二组麦克斯韦关系式

根据图10可写出：

$$\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

根据箭头关系为“×”型，如图11所示。



图11 基于倒“Π”型图形中的“成对箭头法”记忆第三组Maxwell关系式

以上是利用在 p 、 V 、 T 和 S 组成的“||”图形外围画两组方向相反的“成对箭头”来形成“o”并以此写出其中两组带有“-”号的麦克斯韦关系式；另外两组符号相同的麦克斯韦关系式，可以通过在“||”图形内部画“×”型成对箭头的方式写出，具体如下。

根据图11可写出：

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p$$

根据箭头关系为另一种“×”型，如图12所示。



图12 基于倒“Π”型图形中的“成对箭头法”记忆第四组麦克斯韦关系式

根据图12可写出：

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

将上述“四对”箭头和对应的麦克斯韦关系式可总结为图13，在记忆过程中只需画出这四对箭头(如图13左)，就可以直接写出对应四组的麦克斯韦关系式(如图13右)。

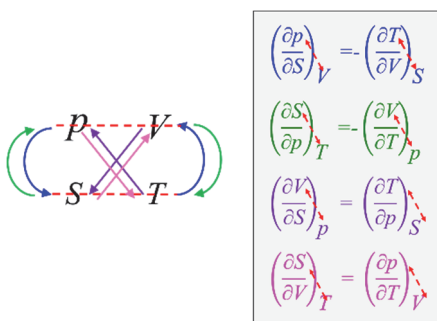


图13 基于倒“Π”型图形中的“成对箭头法”记忆四组麦克斯韦关系式总结

5 动画视频制作及教学效果

在上述倒“II”型图形记忆方法的规律和总结的基础上，我们制作了相应的动画视频便于学生记忆，同时增加课堂学习的趣味性，在牢记热力学基本方程相关公式的基础上提高学生们的学习热情和兴趣^[10]。在该视频中，我们将关于 U 、 H 、 A 和 G 的基本方程式中各项的系数符号做了动态对应(图14)；在对应系数关系式中，通过对式子中的分子、分母以及不变条件下标做了一一对应(图15)；在麦克斯韦关系式的记忆中，通过四组不同颜色的成对箭头来写出对应的四组麦克斯韦关系式(图16)。

动画视频的部分截图如下：

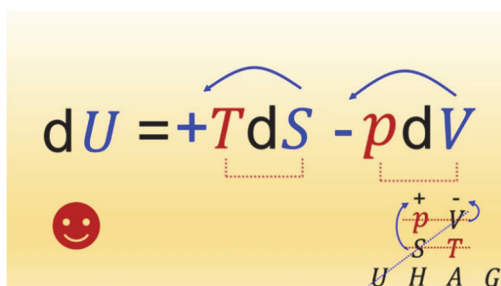


图14 教学动画视频截图1

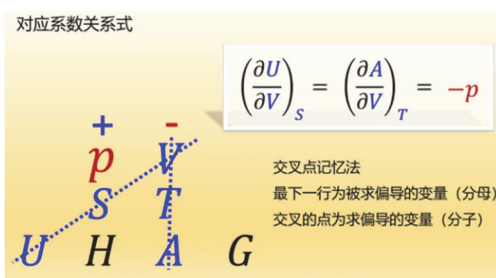


图15 教学动画视频截图2

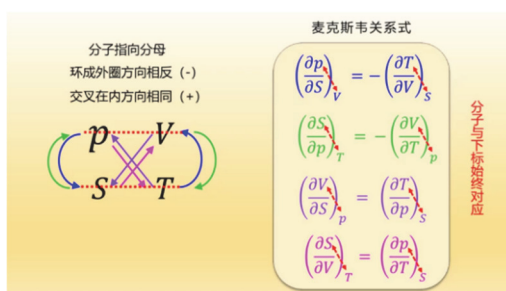


图16 教学动画视频截图3

在物理化学课程教学中，采用本方法后，学生对相关知识点的记忆效果更好，采用辅助动画视频演示的方式也可活跃课堂气氛、提高学生的学习兴趣和进一步巩固对相关知识点的记忆效果，不仅有助于系统地学习和掌握热力学的基本公式，而且能够为进一步深入学习热力学及其应用打下坚实的基础。通过对137名学生的调查(图17)，发现学生普遍对新教学法感到满意，认为它极大地提升了学习体验，促进了所学的状态函数与相关知识掌握，并加深了对物理化学中八大状态函数联系的理解。这种方法是对传统教学的重要补充和创新，提高了学生的兴趣和科学探索热情，为物理化学教育教学发展提供了新思路。

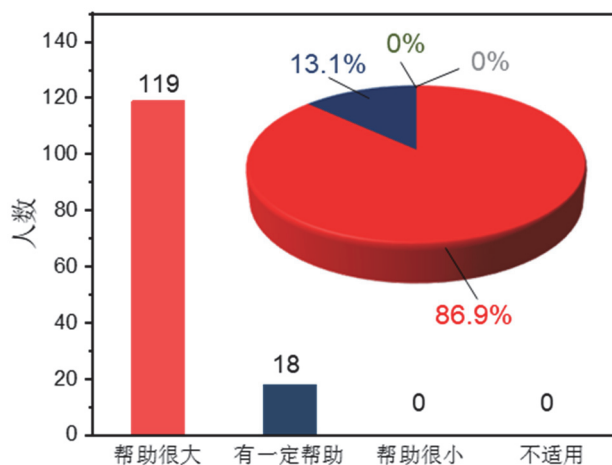


图17 学生对课堂教学中倒“U”图形记忆法反馈调查结果图

6 结语

本文提出了对热力学基本方程、对应关系式及麦克斯韦关系式的倒“U”型记忆方法，通过总结相关规律制作了动画视频，让学生在学习这部分内容时能够轻松记忆相关公式，这种化繁为简的记忆方法和策略旨在帮助学生更好地掌握和记忆热力学公式，提高学习效果和兴趣。通过采用倒“U”型记忆方法以及措施，取得了不错的教学效果。我们可以期待学生在热力学学习中取得更好的成绩和发展。未来，我们可以继续深化和拓展教学改革的研究和实践，探索更多有效的教学方法和策略，以适应不同学生的学习需求和兴趣点，提高热力学教学的质量和水平。

参 考 文 献

- [1] 朱元举. 大学化学, 2017, 32 (5), 81.
- [2] Koenig, F. O. *J. Chem. Phys.* 1935, 3 (1), 29.
- [3] 张婧, 李东祥, 任志华, 徐洁, 赵继宽. 化学教育(中英文), 2020, 41 (22), 17.
- [4] 刘辉. 化学教育, 2014, 35 (12), 10.
- [5] 庾弘朗. 韩山师范学院学报, 2023, 44 (6), 62.
- [6] 郝向英. 内蒙古师大学报(哲学社会科学版), 1999, 28 (4), 108.
- [7] 刘雪茹, 惠壮, 李延, 李聪, 贾文涛, 赵志厚, 张荣兰, 李剑利, 王尧宇, 崔斌. 大学化学, 2022, 37 (10), 2112088.
- [8] 刘俊吉, 周亚平, 李松林, 冯霞. 物理化学. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [9] 傅献彩, 侯文华. 物理化学. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [10] 林宇涵. 湖北农机化, 2020, No. 5, 105.