《工程热力学》证明题—解题思路的讨论

彭　焜
漳州科技职业学院　护理系　福建长汀　366300

摘　要:《工程热力学》主要研究热能与机械能之间的转换规律与方法，是许多专业课程学习的基础.因此，习题训练对于学生尤为重要.在证明题方面，由于许多教材对热力学证明题的证明过程普遍单调统一，无法使学生掌握解题要领，面对相关例题也不知如何用公式去证明.针对此类现象，本文从几道经典的热力学证明题解题思路出发，利用逻辑推理给出证明过程，并结合发散思维引申出不同的解题方法进行比较，促进初学者对热力学定律的理解和应用.
关键词: 工程热力学；证明题；逻辑推理；发散思维

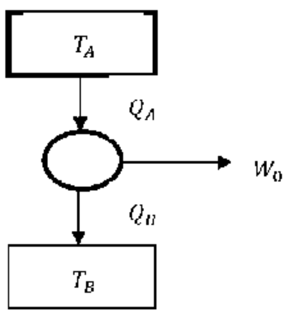
How to solve the proving problem of engineering Thermodynamics

Kun Peng
Department of Nursing, Zhangzhou Vocational College of Science and Technology, Fujian Changting 366300

Abstract: Engineering thermodynamics mainly studies the conversion laws and methods between thermal energy and mechanical energy. Starting from the solution ideas of several classical thermodynamic proof problems, this paper uses logical reasoning and divergent thinking to expand and compare different solution methods, so as to promote beginners' understanding of the laws of thermodynamics.
Keywords: engineering thermodynamics; proof question; logical thinking; divergent thinking

首先，请看例题1：

两物体质量m相同，比热容均为定压比热容C_P，并且都是定值.如图一所示，物体A初温为T_A，物体B初温为T_B（其中$T_A>T_B$）.用这两物体分别作为热源和冷源，在两者间放入可逆热机使其工作，直至两物体温度相等.证明：两物体最后达到平衡温度为：$T_m=\sqrt{T_AT_B}$.



图一

许多学生在初学工程热力学时，面对可逆热机例题便不由自主的会使用卡诺定理，这种死记硬背的办法是很难掌握知识点的，倘若用上述定理去证明，不仅推理困难，而且还容易出现错误.就以此题为例，根据题目提供的信息，不妨使用热力学第二定律.如图一所示，分别将热源T_A冷源T_B，热机各自视为孤立系统，整个过程熵增为0，即

$$\Delta S_{孤}=\Delta S_A+\Delta S_B+\Delta S_{热机}$$

由于是可逆热机，因此热机的熵值为0，对式子进行积分计算

$$=m\int\frac{\delta Q_A}{T}+m\int\frac{\delta Q_B}{T}+0$$

$$=mC_P\int_{T_A}^{T_m}\frac{dT}{T}+C_P\int_{T_B}^{T_m}\frac{dT}{T}$$

$$=mC_P\ln\frac{T_B}{T_A}+mC_P\ln\frac{T_m}{T_B}=0$$

将上式进行移项简化，可得到$\frac{T_B}{T_A}=\frac{T_m}{T_B}$，所以$T_m=\sqrt{T_AT_B}$.

为了进一步让学生了解逻辑推理与发散思维如何使用，本文对几道例题进行解答并给出相关推理过程，为以后的实际工程案例打下理论知识基础.

1 逻辑推理在证明题中的应用

逻辑推理是用既得的知识推出新知识，一般是首先提出已知信息，使得人们在这些基础上进行逻辑推理，推出未知的结论[1]，这对于初学者而言尤为重要，因此要通过大量习题练习才能牢记掌握.

例题2：证明内能U、焓H均与体积V无关，其中$\left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_T=\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T=0$ [2].

首先，判断题目需要证明的公式.根据题中给出的信息，可以得出让证明$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T=0$和$\left(\frac{\partial H}{\partial V}\right)_T=0$，在了解需要证明的公式后，可结合所学相关知识进行推导.对于题中已给出U、H与P的偏微分关系式，根据链式方程可得到：

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T=\left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_T\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T=0,$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial V}\right)_T=\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T=0.$$

该题由此得出结论.

例题3：面对T-S图上两条等压曲线，证明理想气体状态下，两条定压曲线1-4与2-3水平距离处处相等.

根据题目可判断出要证明 $\Delta S_{1-2}=\Delta S_{3-4}$，根据熵的相关公式，给出

$$\Delta S_{1-2}=C_P\ln\frac{T_2}{T_1}-R_g\ln\frac{P_2}{P_1}$$

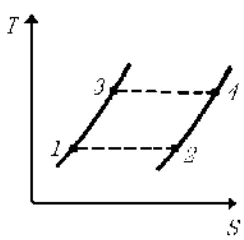
$$\Delta S_{3-4}=C_P\ln\frac{T_4}{T_3}-R_g\ln\frac{P_4}{P_3}$$

由图二可知1-3与2-4为定压过程，所以$P_1=P_3$，$P_2=P_4$

$$\Delta S_{1-2}=C_P\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S_{3-4}=C_P\ln\frac{T_4}{T_3}$$

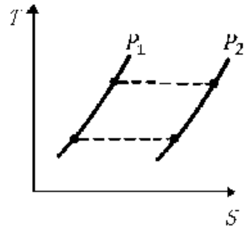
又因为1-2与3-4是定温过程，可得到$T_1=T_2$、$T_3=T_4$将其代入上式证明出 $\Delta S_{1-2}=\Delta S_{3-4}$.



图二

例题4：如图二所示，试着证明T-S图中定压线$P_2>P_1$.

与上题一样，此类题目可以直接通过定义式进行解答，对题中所给信息进行思考，给出相关公式便可轻易求证.



图三

如图三所示，在两条等压线之间作辅助等温线，以T_{1-2}为例，对于此过程有

$$\Delta S_{1-2}=-R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

其中等压线P_2熵值＞等压线P_1熵值，所以$\ln\frac{P_2}{P_1}>0$，因此证明出$P_2>P_1$.

由上可知，逻辑推理是学生必须掌握的能力，因为热力学公式复杂且变化多样，能够在解答证明题过程中熟练运用是件不易的事，使用逻辑推理，可以加强学生对热力学定律的理解和应用[3].

工程热力学因为公式众多，概念抽象，一直是理工科学生的学习难点，习题解答能够巩固相关知识点，加强分析与解决问题的能力，引用逻辑推理，可以更好的对复杂的热力学系统进行分析，培养知识的综合利用，为实践案例打下基础.

2 用发散思维进行“一题多解”

“发散思维”是一种不依常规思维，从不同角度侧面思考问题[4]，是培养初学者创新能力的重要因素.

例题5：对于理想气体，已知$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T=0$试推证$\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T=0$.

解法1：题中给出U、V关于P的偏微分关系，要求证明$\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T=0$，对于此题可以采用数学知识，通过链式方程$\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T=\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$，将$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T=0$代入$\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T=\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T=0$，由此得证.

上述方法是教材中标准解法，这种方法思路清晰，过程简洁，可对于数学基础薄弱的学生而言，不太容易并且难以掌握.除了上述解题方法，是否还能有其它解题思路?

解法2：通过题中理想气体、$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T$、$\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T$ 这些关键信息，联想到实际气体内能u的全微分方程，即：$u=f\left(T,v\right)$

$$du=\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v dT+\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv$$

由于理想气体是温度的单值函数，与其它函数无关，所以上述全微分右侧第二项偏导数为零，即 $\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T=0$.

按照以上思路，我们便可推证例题：

假设气体状态函数 $u=f\left(T,p\right)$，则 $du=\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_p dT+\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T dp$，因为理想气体 $u=f\left(T\right)$，所以 $du=\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_p dT$，$\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T=0$.

从过程上来看，解法2是以热力学角度进行求证，虽然解法比较烦琐，但是相对来讲比较容易理解，更加直观便捷，适用于初学者.

在《工程热力学》学习中，许多教材提供的证明思路与过程过于单调统一，根本无法激起学生的学习兴趣与创新潜力.因此，突破传统思维，运用不同的思维能力与逻辑解决问题，能够激发学生的想象力，训练思维的发散性，对知识的实际应用起到良好效果.

很多物理问题就如同本文习题一样，除了让学生扩展逻辑外，还可以开拓思路，启用多种思维模式，衍生出不同的解决方法[5].不同方法给出的过程也截然不同，这种发散思维可以培养出创造性人才，同时在祖国的建设与发展中具有重要意义.

3 关于解题思路的讨论—对教学的几点建议

许多教师在证明过程中，容易忽略学生是否对基本理论知识完全理解，而《工程热力学》课程的后半部分主要是对理论知识的应用.因此，针对基础知识相对薄弱的同学，应采用不同的教学方法，对此提出几点建议：

1）培养思维结构

大部分学生在热力学的学习中处于高度集中状态，教师应关注学生的情况，引导学生主动寻找热力学概念，自主推导出公式，运用规律解决问题.基础知识还未彻底理解的学生，可以从实际问题进行教学，针对性地引导学生完善基础，培养发散思维能够使其将热力学有关物理单位建立联系，在习题中可以鼓励学生尝试用多种方法进行解答.

2）习题训练

习题是教材中重要的一部分，只有进行大量的习题训练才能巩固并理解相关知识、原理.教师在教学时应及时布置相关习题作业，并让学生自主完成，这样才可有效增强学习效率.

4 结语

习题讲解是为了巩固学生的理论知识、概念以及规律.在众多练习题中，证明题都是教学过程的难点，热力学知识较复杂不易掌握，因此，需要注重学生在学习中总结经验，发现自身基础知识的薄弱点，并在练习中培养创新思维.需要注意的是，理论问题的运用能力，是能否更好简捷实际问题的重要因素.文中的逻辑推理使得学生明白如何合理使用公式，并结合物理图像的重要意义.“一题多解”可对同一个问题运用不同角度去思考，能够有效提高学生的创新思维能力.对于以后遇到的难题可从容应对.

本文仅解答了一小部分工程热力学有关证明题，简述了相关解题思路和技巧，希望对初学《工程热力学》的同学有所帮助.

参考文献：

[1]蒋润花，尹辉斌，陈佰满等.逻辑推理在《工程热力学》教学中的应用[J].东莞理工学院学报，2015，22（5）：109-110.

[2]石云.浅谈物理化学中热力学证明题的解题方法[J].山东化工，2020，49（12）：167-168.

[3]别业广.一道热力学习题的多种解法[J].物理与工程，2006，13（5）：51，59.

[4]蔡秀丽，李鹏飞，陈中华.通过“一题多解”培养发散思维[J].物理与工程，2012，(04)：44-46.

[5]陈钊宇.物理学习对培养发散思维的重要作用——以一道习题为例[J].物理与工程，2017，27（3）：72-75，81.

[6]张玲，陈玉洁，黄致新.大一工科学生热力学知识的深度学习研究[J].物理与工程，2021，31（5）：82-86，86.