化工热力学导论
习题解答

[美] J.M.史密斯 H.C.范奈司 著

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是〔美〕J.M.史密斯及H.C.范奈司所著《化工热力学导论》的习题解答。共分十三章，有题432个。各题解答中，着重指明解题的思路与方法，以扩大和加深对化工热力学内容的理解与应用。解答简明扼要，条理清晰。适合于有关大专院校师生及从事科研、设计与生产的技术人员参考。

本书第一章至第七章由金克新编译，第八章至第十三章由陈咸和编译，全书由金克新审校。

J.M.Smith H.C.Van Ness

Solutions Manual to Accompany "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics" 3rd ed.

McGraw-Hill Book Company (1978)

化工热力学导论习题解答

金克新 陈咸和 编译

责任编辑：李洪勋

封面设计：季玉芳

*

化学工业出版社 出版

（北京和平里七区十六号楼）

海洋出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092 1/16 印张32 7/8 字数796千字 印数1—4,170

1986年11月北京第1版 1986年11月北京第1次印刷

统一书号15063·3806 定价6.70元

译　序

本书是〔美〕J.M.史密斯和H.C.范奈司所著《化工热力学导论》（第三版，第三次印刷本)一书432个习题的解答。以上各题J.M.史密斯和H.C.范奈司曾出版过题解（Solutions Manual to Accompany "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics"）。本书编译了该题解的全部内容。为了符合我国读者的阅读习惯，对题解步骤做了调整，增加了部分说明，对各别错误做了更正，并补做了原题解中遗漏的习题。对原题解中答数误差不太大的，未加更正。

为了阅读方便．每章题解前面编有内容提要。提要中的标题、编排顺序、公式代号与.M.史密斯等著的《化工热力学导论》原书基本相同，以便必要时读者对照查找。

题解中凡是遇到原书正文或例题中已证明过的关系式，一般不再加以解释。只注明所用关系式的代号。例如：（6-32）式指第六章32式

即
$$\Delta H' = \int_0^P \left[T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V \right] dP \qquad (6\text{-}32)$$

式中各符号的意义，除容易混淆者外，一般均未加说明。解题过程中，如需引用前面题解中推导出的式子，均注有所用各式的代号。例如注明式（1）、式（A）等等，以便与引用原书公式代号相区别。引用原书的图表时，均注有图*××，表*××。例如图*7-12指的是原书英文版259页"H_2SO_4-H_2O的焓浓图"。表*4-4指的是120页"物质的标准生成热与燃烧热"。

目前我国影印的"Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics"有两个版本。一是第二次印刷本，一是第三次印刷本。J.M.史密斯曾作过说明，第二次印刷本中，有的习题或因内容不合适，或因数字有问题，在第三次印刷时已作更正。本书中的题是按第三次印刷本翻译的。第二次印刷本附录C-2过热水蒸汽表自40psia至3206.2 psia，温度印刷的都有错误，读者使用时请注意。

这本习题解，选题广泛。其中部分习题难度较大，部分题目为书中内容的延续。通过这些习题，使初学者能更深入地理解化工热力学的基本概念，帮助初学者掌握分析问题的方法。J.M.史密斯和H.C.范奈司解题灵活而严谨，对于概念性较强的习题，其着眼点往往不在于求出答数，而是通过推导加深学生对概念的理解。由于习题来源不同，有公制也有英制，因此习题解在单位使用上较为复杂。解题过程中涉及许多英制公制的换算因数，以及英制单位的通用常数等，初学者会感到陌生。在习题解的前几章，我们对个别换算因数加上了说明。为了节省篇幅，以后几章未加说明，请读者自己查阅。

编译者

1984.9

目　录

第一章 绪　论

本章通过11个习题，说明化工热力学计算中常用到的一些基本物理量，以及一些辅助物理量的确切含义。显然，同一物理量，其数值会因为所选用的度量单位不同而改变。本习题集所用单位，以英制为主。因此，题解中常常引入一些我国学生所不熟悉的换算系数或通用常数。以下将就计算过程中经常出现的换算系数作一些说明。

质量与重量　质量是物质所具有的量。英制单位中以磅（lb_m）表示。重量是作用于该物质上的重力，因地而异。在英制单位中以磅力（lb_f）表示。根据牛顿第二运动定律，质量与重量的关系为

$$F=\frac{mg}{g_c}$$

式中F为重量。m为质量。g为重力加速度。g_c为比例系数。

$$g_c=32.1740\ \frac{(lb_m)(ft)}{(lb_f)\cdot(s^2)}$$

温度　绝对温标与摄氏温标的关系为

$$T(K)=t(℃)+273$$

在欧美国家中，常常习惯用兰金温标与华氏温标，其关系为

$$T(R)=t(°F)+459.67$$

$$1℃=1K,\quad 1°F=1R\quad TR=1.8(K)$$

热、功、能　热与功均为传递过程中的能量。在英制单位中，其单位为（$ft\text{-}lb_f$）。例如势能，按定义是将质量为m的物体，由z_1升举到z_2所作的功，即

$$\begin{aligned}W&=F(z_2-z_1)\\&=m\frac{g}{g_c}(z_2-z_1)\\&=(lb_m)\cdot\frac{(ft)/(s^2)}{(lb_m)(ft)/(lb_f)(s^2)}(ft)\\&=(ft\text{-}lb_f)\end{aligned}$$

英热常以Btu为单位。

$$1Btu=1055J=252cal=778ft\text{-}lb_f$$

习　　题

1-1　利用100atm下氢的比容数据，检验用100atm下的氢为介质的温度计读数。

100atm下氢的比容为：

国际实用温标t, °C	比容, cm^3/g
−100	76.03
0	118.36
50	139.18
100	159.71
200	200.72

解： 由0℃到100℃氢的比容变化为：

$$159.71-118.36=41.35cm^3$$

故每度的比容变化为：

$$41.35/100=0.4135cm^3/℃$$

由0℃到50℃时，氢的比容变化为：

$$139.18-118.36=20.82cm^3$$

因为以100atm下的氢为介质的温度计，每度相当于$0.4135cm^3$，故

$$20.82/0.4135=50.35$$

$$\approx 50.4℃$$

由0℃到200℃时，氢的比容变化为：

$$200.72-118.36=82.36cm^3$$

相当于

$$82.36/0.4135=199.2℃$$

由0℃到−100°C时，氢的比容变化为：

$$76.03-118.36=-42.33cm^3$$

相当于

$$-42.33/0.4135=-102.3°C$$

将以上计算结果列表如下：

国际实用温标t, °C	以100atm氢为介质的温度计读数
−100	−102.3
0	0
50	50.4
100	100
200	199.2

1-2 某压力台可测量3000atm以下的压力。压力台的活塞直径是1/8in，问使用该压力台时，砝码必须具有的质量约为多少？

解：

$$P=\frac{F}{A}=3000\times 14.7 \quad lb_f/in^2$$

$$F=\frac{mg}{g_c}\quad ,\qquad A=\frac{\pi}{4}\left(\frac{1}{8}\right)^2$$

故
$$P=3000\times14.7=\frac{m\frac{g}{g_c}}{\frac{\pi}{4}\left(\frac{1}{8}\right)^2}$$

$$m=3000\times14.7\times\frac{\pi}{4}\times\frac{1}{64}\times\frac{g_c}{g}$$

如果取$\frac{g_c}{g}=1$，则

$$\underline{m=541lb_m}$$

1-3 某水银压力计在70°F时的读数是14.37in，当地重力加速度为$32.120ft/s^2$，气压计在70°F时的读数为29.21in Hg。试问所测的绝对压力应为多少psia？〔将压力计校正到0°C的方法见"Handbook of Chemistry and Physics，"52nd ed.，pp.E32-E34，Chemical Rubber，Cleveland，1971～1972.〕

解：首先将水银压力计读数校正到0°C及标准重力情况下：

$$P_g=14.37\times\frac{13.543}{13.595}\times\frac{32.120}{32.174}=14.30\text{in Hg}$$

再将气压计读数校正到0°C及标准重力情况下：

据
$$H_t=H_t'-\alpha(t'-t)$$

式中

$$H_t'=29.21\text{in Hg}$$
$$\alpha=0.0027$$
$$t'=70°F$$
$$t=28.5°F$$

故
$$H_t=29.21-(0.0027)(70-28.5)=29.10\text{in Hg}$$

校正到标准重力情况下：

$$P_{atm}=29.10\times\frac{32.120}{32.174}=29.05\text{in Hg}$$

$$P=P_g+P_{atm}$$
$$=14.30+29.05$$
$$=43.35\text{in Hg}$$

因为
$$1atm=29.92\text{in Hg}=14.696psia$$

所以
$$\frac{43.35}{29.92}\times14.696=\underline{21.30psia}$$

进行一般工程计算时，可不必校正，

即：
$$P=\frac{14.37+29.21}{29.92}\times14.7=\underline{21.4psia}$$

1-4 放在火星上测量重力加速度的某装置，是由一个质量为0.24kg的重物悬挂在弹簧上构成的。在地球上地区重力加速度为$9.80m/s^2$的某处，弹簧伸长0.61cm；当该装置

投放在火星上时，由传回的无线电波得知，弹簧伸长为0.2cm。问火星上的重力加速度是多少？

解：
$$F=\frac{mg}{g_c}=S_sL$$

式中 S_s=常数，N/cm

因此
$$m=\frac{S_sLg_c}{g}$$

因为物质在地球上的质量与在火星上的质量相等，即： $m_e=m_m$

式中下标“e”指地球；下标“m”指火星。

或
$$\left(\frac{S_sLg_c}{g}\right)_e=\left(\frac{S_sLg_c}{g}\right)_m$$

故
$$g_m=\frac{L_m}{L_e}g_e=\frac{0.2}{0.61}\times9.8=\underline{3.213\text{m/s}^2}$$

1-5 一组科学家登上了月球。他们想确定几块奇特岩石的质量。他们有一个弹簧秤。在地区重力加速度是32.2ft/s²的位置上，该秤的读数就是磅（质量）。有一块月球岩石，在这个秤上的读数为25，其质量是多少？它在月球上的重量是多少？月球表面的g值为5.47ft/s²。

解：
$$w=\frac{mg}{g_c}=S_sL$$

式中 S_s=常数，N/cm。

故
$$m=\frac{S_sLg_c}{g}$$
，因为 $m_e=m_m$，

式中下标“e”指地球，下标“m”指月球（以下均同）。

因此
$$L_e=L_m\cdot\frac{g_e}{g_m}$$

S_s按以下要求选定，使得$|L_e|=|m|$，则$|g_e|=|g_c|$，

$$\therefore\quad m=L_m\times\frac{g_e}{g_m}=\frac{25\times32.2}{5.47}=147.2\text{lb}_m$$

$$w_m=\frac{mg_m}{g_c}$$

$$=\frac{147.2\times5.47}{32.2}=\underline{25\text{lb}_f}$$

上二式的单位lb_m指磅（质量），lb_f指磅（重量）。

1-6 某气体被装在一个带有活塞的气缸中，活塞的直径是2in，上边放有重物，活塞和重物的质量共为8lb_m，地区重力加速度是32.00ft/s²，假设在标准大气压下，问：

a) 设活塞与气缸间无摩擦，大气压力、活塞、重物施加在气体上的力共为多少lb_f？

b) 气体的压力是多少lb_f/in^2？

c） 如果气缸内的气体被加热，它将膨胀，并推动活塞和重物上升。假设供给足够的热量，使得活塞与重物上升8in，试求气体在升举活塞及重物时所做的功。并问活塞和重物的位能变化是多少？。答案的单位请用$ft\text{-}lb_f$。

解：a）活塞和重物所受地心引力为：

$$\frac{mg}{g_c}=\frac{8\times32.00}{32.174}=7.96lb_f$$

大气压作用在活塞上的力为：

$$14.7\times\frac{\pi}{4}\times2^2=46.18lb_f$$

故作用在气体上的力共为：

$$7.96+46.18=\underline{54.14lb_f}$$

b）气体的压力 $P=\dfrac{54.14}{\pi/4\times2^2}=\underline{17.23psia}$

c）气体所做的功 $W=P\Delta V=17.23\times\dfrac{\pi}{4}\times2^2\times\dfrac{8}{12}=\underline{36.09ft\text{-}lb_f}$

或按下式计算：$W=F\cdot\Delta L=54.14\times\dfrac{8}{12}=36.09ft\text{-}lb_f$

活塞和重物的位能变化是$\Delta E_P=7.96\times\dfrac{8}{12}=\underline{5.31ft\text{-}lb_f}$

1-7 一辆以55mi/h❶的速度行驶中的汽车，其质量为3000lb_m。试问它所具有的动能为多少$ft\text{-}fb_f$？多少Btu？若使其停止必须做多少功？

解： 它所具有的功能为

$$E_K=\frac{1}{2}\frac{mu^2}{g_c}=\frac{1}{2}\cdot\frac{3000}{32.174}\cdot\left[\frac{55\times5280}{3600}\right]^2$$

$$=303,370ft\text{-}lb_f\div\frac{303.370}{778}=390Btu$$

所需功为： $W=\underline{303,370ft\text{-}lb_f}$

1-8 一个质量为1lb_m的静止物体，在恒定的重力作用下，落到真空中。

a） 试将其下降速度表示为距离（由起点开始计算）的函数。

b） 解释如何在本题中应用能量守恒定律。

解： a） 设动能为E_K

$$d(E_K)=dW=FdL=\frac{mg}{g_c}\cdot dL$$

$$\Delta E_K=\frac{mg\Delta L}{g_c},\qquad \frac{mu^2}{2g_c}=\frac{mgL}{g_c}$$

因此 $\underline{u=\sqrt{2gL}}$

❶ mi是英制长度单位，哩，1mi=5280ft。

b) 物体的总能量等于位能加动能。根据能量守恒定律，在物体下落过程中，总能量不变。因此，落到任一位置处，其动能的增加等于其位能的减少。因为定L＝0时，$E_K=0$，$E_P=0$；故L＝L时$\frac{mu^2}{2g_c}=\frac{mgL}{g_c}$.

1-9 某水力发电厂的透平机，用的是有100ft落差的水。假设位能转化成电能的效率为95%，在传送过程中电能损失10%，问点亮100W灯泡，每小时需多少吨水？

解： 基准：1小时

灯泡所需能量＝100W-h，或0.1kW-h，或265,500ft-lb_f，所需水的位能差为ΔE_P，

$$\Delta E_P=\frac{265,500}{0.9\times0.95}$$

已知 $\Delta E_P=\frac{mg}{g_c}\Delta Z=100m$，式中m为水的质量

因此 $\frac{265,500}{0.9\times0.95}=100m$

解出m m＝ $\underline{3,105 lb_m 或1.55\$水/h}$

1-10 用直接测量的方法，有时候难于准确的测定压力台活塞的面积。有一种方法，是用一已知质量的砝码，去平衡作用在压力台上的已知压力。在某一例中，作用在压力台上的已知压力为0°C时CO_2的蒸汽压（其值为34.40atm）；平衡它的砝码质量为57.43lb_m（包括活塞和盘子），如果g为32.38ft/s²，气压计指示的压力为29.68inHg，求活塞面积。

解： 已知压力为$P_{co_2}=34.40$atm，大气压力为

$$P_b=\frac{29.68}{29.92}\text{atm},$$

$$P_{co_2}-P_b=\frac{F}{A}=\frac{mg}{Ag_c}$$

$$\left(34.40-\frac{29.68}{29.92}\right)\times(14.7)=\frac{(57.43)(32.38)}{(32.174)(A)}$$

故 $$A=\frac{(57.43)(32.38)}{(33.41)(14.7)(32.174)}=\underline{0.1177in^2}$$

1-11 E.H.Amagat于1869到1893年间在法国第一次准确的测得了高压下各种气体的性质。在压力台出现以前，他在矿井里使用水银压力计测量压力，他曾做到430atm。如果g是32.10ft/s²，水银压力计的温度是20°C，试问达到这个压力所需压力计的高度。

解： $P=h\rho\frac{g}{g_c}$ 或 $h=\frac{Pg_c}{\rho g}$

20°C时 $\rho=13.546$g/cc

∴ $$h=\frac{(430)(14.7)(144)(32.174)}{(13.546)(62.43)(32.10)}$$

$$=\underline{1,079ft}$$

第二章　第一定律和其它基本概念

适用于封闭系统❶热力学第一定律的数学表达式为

$$\Delta U = Q - W \tag{2-4}$$

式中ΔU为系统由状态1到状态2内能的变化。内能是物系的性质，为状态函数，与变化的途径无关。Q及W分别为物系与环境间交换的热与功。热及功均与变化所经的途径有关.

稳定流动系统❷热力学第一定律可以写为

$$\Delta H + \frac{\Delta u^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c}\Delta Z = Q - W_s \tag{2-10}$$

上式是以单位质量（lb_m）流体为基准的。式中$\frac{\Delta u^2}{2g_c}$、$\frac{g}{g_c}\Delta Z$分别为系统动能及势能的变化。ΔH为物系的焓变。焓是状态函数，根据定义

$$H = U + PV$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 = \Delta U + \Delta(PV)$$

需要指出的是，（2-10）式中W_s指的是物系与环境之间交换的轴功。

实际应用时，（2-10）式中动能及势能两项常被忽略，而将流动过程热力学第一定律写成

$$\Delta H = Q - W_s \tag{2-11}$$

以上各式中Q为系统与环境交换的热量。对于封闭系统

$$\text{等容过程}\quad Q_v = \Delta U = \int C_v dT \tag{2-16}$$

$$\text{等压过程}\quad Q_p = \Delta H = \int C_p dT \tag{2-21}$$

式中C_v、C_p分别为物质的定容热容与定压热容. 是物质的性质.

习　　题

2-1　在一绝热且不导热的容器内，装有20lb_m、68°F的水，并装有搅拌器。搅拌器是靠质量为50lb_m的重物下降而转动。地区重力加速度为32.00ft/s^2。搅拌器转动过程中，重物缓慢地共下降30ft。假设引力对重物作的功，全部都传给了水，试确定：

a）对水作了多少功（以$ft\text{-}lb_f$表示）.

b）水的内能变化了多少（以$ft\text{-}lb_f$及Btu表示）。

c）水的终温是多少（以°F表示）.

d）将水恢复到初温需移走多少热?

e）下列过程引起宇宙总能量的变化是多少?（1）降低重物的过程；（2）冷却水回到初温的过程；（3）以上两过程的总和.

❶系统与环境间只有能量交换而无物质交换.

❷系统与环境间即有能量交换也有物质交换，稳定流动系统指的是系统内各点的状态不随时间而变.

解： a） $W'=F\Delta Z=\frac{mg}{g_c}\Delta Z=50\times\frac{32.00}{32.17}\times(30)=\underline{1492ft\text{-}lb_f}$.

b） $\Delta U=-W=-(-W')=\underline{1492ft\text{-}lb_f}$或$\underline{1.92Btu}$

c） $t=68+\frac{1.92}{1\times20}=\underline{68.1°F}$

d） $Q=\Delta U=\underline{1.92\ Btu}$

e） 在所有情况下，总能量变化均为零。

2-2 若题2-1中的容器，其温度随水温而变，其热容量相当于$5lb_m$水。分别按下列两种情况重新计算之：取水与容器作为系统；只取水为系统。

解：先将水和容器当成一个系统：

b）$\Delta U=\Delta U_{水}+\Delta U_{容}=Q-W=-W=1492ft\text{-}lb_f$

$$\Delta U_{水}=1492-\Delta U_{容}=1492-\left(\frac{5}{25}\right)(1492)=\underline{1194ft\text{-}lb_f}\text{或}\ \underline{1.54Btu}$$

c）$t=68+\frac{1.54}{20}=\underline{68.08°F}$

只把水当成系统：

b）$\Delta U=Q-W=-\left(\frac{5}{25}\right)(1492)-(-1492)=\underline{1194ft\text{-}lb_f}$

2-3 建议在夏天将你住宅中的厨房与其它房间隔开，并打开电冰箱的门以冷却厨房。试评论这一建议，并简要地说明你的依据。

解： 这一建议是不合适的。

电冰箱作为一个系统，外界（电源）作功给它，电冰箱通过散热器将热量给外界（厨房），冰箱内温度下降（内能减少）。

如果把电冰箱的门打开，把厨房与其它房间隔开，则把冰箱与厨房作为一个系统来考虑。外界作功给系统，而系统并没有把热量给外界。因此系统的内能非但没有减少，反有增加。故冷却厨房的目的是达不到的。

这些讨论的基础就是热力学第一定律。

2-4 a） 液体水在212°F、1atm时，内能为$180.02Btu/lb_m$（任选的基准）。求它的焓值。在该条件下，液体水的比容为$0.01672ft^3/lb_m$。

b） (a)问中的水变成400°F，100psia的蒸汽，它的比容是$4.937ft^3/lb_m$，焓是$1228.4Btu/lb_m$。计算过程的ΔU和ΔH。

解： a） $H=U+PV$

已知 $U=180.02\ \ Btu/lb_m$

$P=1atm=14.7\times144lb_f/ft^2$

$V=0.01672ft^3/lb_m$

故 $PV=14.7\times144\times0.01672=35.393\ lb_f\text{-}ft/lb_m=\frac{35.393}{778}=0.045Btu/lb_m$

$$H = 180.02 + 0.045 = \underline{180.1 Btu/lb_m}$$

b) $\Delta H = H_2 - H_1 = 1228.4 - 180.1 = \underline{1048.3 Btu/lb_m}$

$$U_2 = H_2 - P_2V_2 = 1228.4 - \frac{(100)(144)(4.937)}{778} = 1137 Btu/lb_m$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 1137 - 180.02 = \underline{957 Btu/lb_m}$$

2-5 a) 某物质的位能变化相当于1Btu/lb$_m$，试问标高变化了多少？

b) 一流体流入某设备的速度为100ft/s，试问流体离开设备的速度为多少时，才能使得流入与流出的动能差相当于1Btu/lb$_m$流体。

c) 从该例中得到什么结论。

解： a) $\underline{778\frac{g_c}{g} ft}$

b) 设流体流出设备的速度为u_2

$$\frac{u_2^2 - 100^2}{2g_c} = \underline{778 ft\text{-}lb_f}$$

$$u_2^2 = 2 \times 32.174 \times 778 + 10{,}000 = 60{,}060$$

$$u_2 = \sqrt{60{,}060} = \underline{245 ft/s}$$

c) 物质整体在空间的位置及运动速度只对其整体的位能和动能有影响，与其内能无关。

2-6 1mol气体，由始态的体积V_1，恒温可逆膨胀到终态的体积V_2，计算所作的功。状态方程为

$$P(V-b) = RT$$

式中b为一正的常数。

如果为理想气体，同样过程所作的功将大一些还是小一些？

解： $P(V-b) = RT$，$dW = PdV$

$$dW = \frac{RT}{V-b} \cdot dV$$

在恒温条件下，对上式进行积分得：

$$W_{12} = RT\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V-b} = \underline{RT\ln\left(\frac{V_2-b}{V_1-b}\right)}$$

如果是理想气体，它所做的功将为：

$$W_{理想} = RT\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT\ln\frac{V_2}{V_1}$$

因为 $$\frac{V_2-b}{V_1-b} > \frac{V_2}{V_1}$$

故 $$\underline{W_{理想} > W_{题给气体}}$$

2-7 a. 蒸汽在300psia的恒压下，进入一蒸汽机的气缸。气缸内径为8in，活塞冲

程为12in，试求每个冲程所作的功为多少？

b. 若在大气压下蒸发$10lb_m$的水，使其体积达到$288.5ft^3$，试求所作的功为多少？

解： a.因为汽缸内蒸汽的量是变化的，所以除非是取流动中的（从进汽管移到汽缸）一定数量的蒸汽，否则我们不能把汽缸内的蒸汽作为热力学系统。因此，最方便的办法是确定蒸汽以外的某物体为系统。由于实际上与我们有关系的只是蒸汽与外界进行接触的地方，即活塞的表面，因此，我们将活塞表面定为系统。

因为 $dW_{塞}=-PdV^t$ 故$W_{塞}=-P\Delta V^t$式中活塞表面移动的总体积$\Delta V^t=+\frac{\pi D^2}{4}\times L$。因为蒸汽对活塞表面所作的功$W_{蒸汽}=-W_{塞}$

因此
$$W_{蒸汽}=P\times\frac{\pi D^2}{4}\times L=300\times144\times\frac{\pi 8^2}{4\times144}\times\frac{12}{12}$$
$$=\underline{15,080\ \ ft\text{-}lb_f}$$

b. 水的密度为$\rho_{H_2O}=62.4lb_m/ft^3$

因此，$10lb_m$水的体积为$V_1^t=\frac{10}{62.4}=0.16ft^3$

$$W=P(V_2^t-V_1^t)=(14.7)(144)(288.5-0.16)$$
$$=\underline{6.104\times10^5ft\text{-}lb_f}$$

2-8 一个体积为V的容器内，装有n mol的高压气体，有一毛细管及一旋塞与容器相连接，当稍微开启旋塞时，气体缓慢地泄漏至一气缸中，该气缸装有一个严密且无摩擦的活塞，气缸内压力恒定地维持在大气压P_0。

a. 证明在气体充分泄漏后，所作的功为
$$W=P_0(nV_0-V)$$
式中V_0是气体在常温常压下的摩尔体积。

b. 如果气体直接泄漏到大气中，将作多少功？

解： a. 我们仍将活塞表面定为系统，但理由与上题不相同。气体通过毛细管和旋塞的流动是不可逆的。气体由容器充分泄漏至气缸后，体积的变化为$\Delta V_{气}$
$$\Delta V_{气}=V_2-V_1=nV_0-V$$
设气体膨胀过程中，活塞所作的功为$W_{塞}$，气体所做的功为$W_{气}$，$W_{塞}=-W_{气}$
$$W_{塞}=-\int PdV=-P_0\Delta V_{气}=P_0(V-nV_0)$$
因此
$$W_{气}=\underline{P_0(nV_0-V)}$$

b. 因为气体在膨胀过程中，外界的压力也是P_0，故所作的功与a.时相同。

2-9 一个装有绝热壁的真空室，通过阀门与大气相通。大气的压力为P_0，将阀门开启后，空气流入室内，直到室内压力等于P_0。试证明：$H_0=U$，式中H_0是空气在大气的温度与压力下的摩尔焓，U是室内空气的摩尔内能。

（提示：将真空室与一个带有无摩擦无泄漏活塞的气缸相连，并假设气缸的体积是恰好能容下阀门开启时进入室内的空气量，且只要有少量的空气进入室内，就会使气缸内的压力稍低于大气压力，于是外界空气就要迫使活塞前进）。

解： 对于空气 $$Q+W=\Delta U^t$$

式中　ΔU^t——总的内能变化；

ΔU^t——（终态时，气缸与室内空气内能的总和）－（始态时，气缸与室内空气内能的总和）。

始态时，真空室内空气的摩尔数为0，气缸内空气的摩尔数为n_0，摩尔内能为U_0。

终态时，气缸内空气的摩尔数为0，室内空气的摩尔数为n_0，摩尔内能为U.

则
$$\Delta U^t = n_0U - n_0U_0$$

因为　$Q=0$，故
$$W = \Delta U^t = n_0U - n_0U_0$$

根据上题推导，活塞所作的功　$W_{塞} = -n_0P_0V_0$式中P_0、V_0分别为大气压力及空气在常温常压下的摩尔体积。

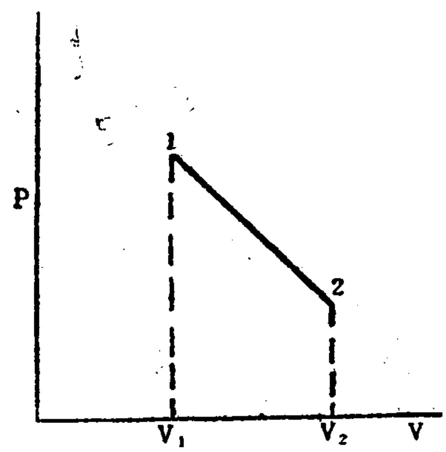
$$W_{塞} = -W$$

即
$$n_0P_0V_0 = n_0U - n_0U_0$$

已知
$$H_0 = U_0 + P_0V_0 \text{或} U_0 = H_0 - P_0V_0$$

代入前式得
$$\underline{H_0 = U}$$

2-10　一摩尔气体，经过可逆、不流动过程，由状态1变到状态2，如该过程在P-V图上可用一直线表示，试证明$W = -\frac{1}{2}(P_1+P_2)(V_2-V_1)$。



题2-10附图

解：
$$W = \int PdV$$

$|PdV|$ = PV平面上直线1—2下的面积

= 梯形的面积

= 平均高度×底

因此　$W = \frac{1}{2}(P_1+P_2)(V_2-V_1)$

2-11　一绝热容器，内有n_1摩尔的高压氦，其压力为P_1。该容器通过阀门与一个很大的，几乎是空的气柜相连结。气柜的压力维持在恒定的P'值，十分接近大气压。微开阀门，使氦缓慢并绝热地进到气柜中，直到阀门两侧压力相等，试证明

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{U_1 - H'}{U_2 - H'}$$

式中　n_2——留在容器中氦的摩尔数；

U_1——容器中氦在初态时的摩尔内能；

U_2——容器中氦在终态时的摩尔内能；

H'——气柜中氦的摩尔焓。

解：　参考2-7及2-8题解。可以假想气柜内有一无摩擦、无泄漏的活塞，活塞所作的功为$W_{塞}$。设V'、U'分别为气柜中氦的摩尔体积及摩尔内能，n'为阀门开启之前，气柜中氦的摩尔数。$n' \approx 0$。则

$$W_{塞} = -P'[(n_1-n_2)V' - n'V'] = -P'(n_1-n_2)V'$$

对于氦
$$W_{气} = P'(n_1-n_2)V'$$

$$Q - W_{气} = \Delta U^t,\qquad Q = 0,\qquad \Delta U^t\text{为总的内能变化，}$$

因此
$$P'V'(n_1-n_2) = [n_2U_2 + (n_1-n_2)U'] - (n_1U_1 + n'U')$$

上式中　　　　　　$n' \approx 0$,　　$U' = H' - P'V'$

整理后得　　　　　　$\dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{U_1 - H'}{U_2 - H'}$

2-12　a．1.28g固体萘$C_{10}H_8$，在氧弹中完全燃烧生成CO_2和H_2O(液)。反应物的起始态为20°C，1atm。燃烧产物也被冷却至20°C。有12,346cal的热量传给环境，试问该过程的Q、W、ΔU和ΔH各为多少？假设CO_2是理想气体．固体$C_{10}H_8$的体积等于生成的液态水的总体积。

b．当1.28g的萘$C_{10}H_8$在1atm的恒压下燃烧，始温终温都是20°C时，试求其Q、W、ΔU、ΔH值。

解：　a．萘的分子量为128，1.28g的$C_{10}H_8$相当于0.01mol。所进行的燃烧反应为：

$$0.01C_{10}H_8(\text{固}) + 0.12O_2(\text{气}) \longrightarrow 0.10CO_2(\text{气}) + 0.04H_2O(\text{液})$$

因为体积恒定，故　　　　$\underline{W = 0}$

$$\underline{Q = \Delta U = 12,346\text{cal}}$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = \Delta U + (\Delta n)_{\text{气体}}RT$$

$$(\Delta n)_{\text{气体}} = 0.10 - 0.12 = -0.02\text{mol}$$

$$\Delta H = 12,346 - (0.02)(1.987)(293) = 12,346 - 12$$

$$\underline{\Delta H = 12,334\text{cal}}$$

b．对于非流动的恒压过程，假设为可逆的，则

$$\underline{\Delta H = Q = 12,334\text{cal}}$$

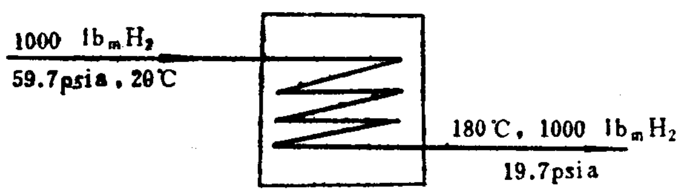
（理想气体的ΔH，只是温度的函数，本题反应物与产物的始温及终温均与上题相同，故可用上题计算出之ΔH值）

$$W = P\Delta V = \Delta(PV) = (\Delta n)_{\text{气体}}RT$$

$$= (-0.02)(1.987)(293) = \underline{-12\text{cal}}$$

$$\Delta U = Q - W = 12334 - (-12) = \underline{12,346\text{cal}}$$

2-13　某设备在5psig下，用180°C的纯氢进行棉子油加氢反应。氢气预先通过一盘管，由20°C被加热到上述温度。盘管直径很小，通过它的压降为40psia，盘管出口和加氢反应器之间基本上没有压力降。试问每加热1000lb_mH_2，需通过盘管壁传递若干热量？假设H_2是理想气体，恒压摩尔热容为7.0，并可忽略动能的影响。



题2-13附图

解：

对于流动过程，忽略动能及位能的变化时

$$Q = \Delta H$$

已知恒压过程的ΔH为　　　$\Delta H = \displaystyle\int_{T_1}^{T_2} C_p dT$

当C_p为常数时　　　　$\Delta H = C_p\Delta T$

焓为状态函数，与途径无关，以上过程可以分解为：

$$\begin{tikzcd} \begin{array}{c} H_2 \ ① \\ 20^\circ C, 59.7psia \end{array} \arrow[r] \arrow[d] & \begin{array}{c} H_2 \ ④ \\ 180^\circ C, 19.7psia \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{理想气体}H_2 \ ② \\ 20^\circ C, 19.7psia \end{array} \arrow[r] & \begin{array}{c} \text{理想气体}H_2 \ ③ \\ 180^\circ C, 19.7psia \end{array} \arrow[u] \end{tikzcd}$$

对于理想气体，当初温、终温相同时$\Delta H=0$，本题假设H_2为理想气体，则ΔH_{12}及ΔH_{34}均为0，则

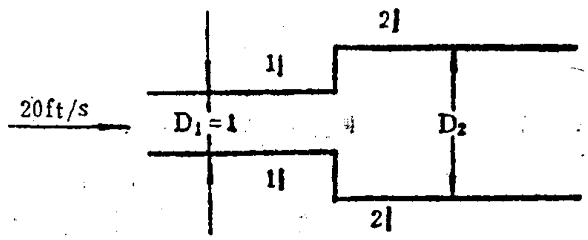
$$Q=\Delta H=\Delta H_{23}=nC_P\Delta T$$

$$=\left(7\times\frac{1000}{2.016}\right)(180-20)(1.8)$$

$$\underline{=10^6 Btu}$$

2-14 水在一内径为1in的绝热水平直管内流动，管路上没有以功的形式加入或移出能量的装置。上游侧的流速为20ft/s。水流入突然扩大的管径。试问下流侧的直径分别为2in、4in时，水的焓变是多少？管径突然扩大的最大焓变是多少？

解：



题2-14附图

按照能量平衡． $\Delta H+\frac{\Delta u^2}{2g_c}=0$

因为水是不可压缩的，且$V_1=V_2$，

故 $u_1A_1=u_2A_2$

因此截面2处的流速 $u_2=u_1\left(\frac{A_1}{A_2}\right)$

$$\Delta u^2=u_2^2-u_1^2=u_1^2\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2-1\right]$$

或
$$\Delta u^2=u_1^2\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4-1\right]$$

故
$$\Delta H=\frac{u_1^2\left[1-\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4\right]}{2g_c}$$

如果$D_2=2''$ $\Delta H=\frac{(20)^2\left[1-\left(\frac{1}{2}\right)^4\right]}{(2)(32.174)}=\underline{5.83 \quad ft\text{-}lb_f}$

如果$D_2=4''$ $\Delta H=\frac{(20)^2\left[1-\left(\frac{1}{4}\right)^4\right]}{(2)(32.174)}=\underline{6.19 \quad ft\text{-}lb_f}$

如果$D_2=\infty$ $\Delta H=\frac{(20)^2}{(2)(32.174)}=\underline{6.22 \quad ft\text{-}lb_f}$