

87

工程熱力問題詳解

(1986年第二版) 上冊

J. B. 琼斯 G. A. 霍金斯 原著

曉園出版社
世界图书出版公司

内 容 简 介

本书系 J. B. 琼斯 G. A. 霍金斯著《工程热力学》一书的习题详解。

工程热力问题详解 上册

J. B. 琼斯 G. A. 霍金斯 原著

李广齐 译著

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京重印

北京朝阳门内大街 137 号

新燕印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992 年 11 月第一版 开本: 850×1168 1/32

1992 年 11 月第一次印刷 印张: 10.5

印数: 0001—1500

ISBN: 7-5062-1367-2/O·57

定价: 10.10 元(WB9202/22)

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向晓园出版社购得重印权
限国内发行。

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

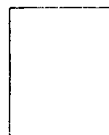
一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助；而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。

Periodic Table

period I A

Key

Carbon	Name
6 C	Symbol
12.011	Atomic mass (weight)
2.4	Electron configuration



Metals



Nonmetals

Key

Carbon	←	Name
6	←	Atomic number
C	←	Symbol
12.011	←	Atomic mass (weight)
2.4	←	Electron configuration

Metals

Nonmetals

II A

Transition elements

III B

IV B

V B

VI B

VII B

VIII B

1									
2	Lithium 3 Li 6.941 2.1	Beryllium 4 Be 9.01218 2.2							
3	Sodium 11 Na 22.98977 2.8,1	Magnesium 12 Mg 24.305 2.8,2							
4	Potassium 19 K 39.0983 2.8,8,1	Calcium 20 Ca 40.08 2.8,8,2	Scandium 21 Sc 44.9559 2.8,9,2	Titanium 22 Ti 47.90 2.8,10,2	Vanadium 23 V 50.9415 2.8,11,2	Chromium 24 Cr 51.996 2.8,13,1	Manganese 25 Mn 54.9380 2.8,13,2	Iron 26 Fe 55.847 2.8,14,2	Cobalt 27 Co 58.9332 2.8,15,2
5	Rubidium 37 Rb 85.4678 2.8,18,8,1	Strontium 38 Sr 87.62 2.8,18,8,2	Yttrium 39 Y 88.9059 2.8,18,9,2	Zirconium 40 Zr 91.22 2.8,18,10,2	Niobium 41 Nb 92.9064 2.8,18,12,1	Molybdenum 42 Mo 95.94 2.8,18,13,1	Technetium 43 Tc 98.9062 2.8,18,14,1	Ruthenium 44 Ru 101.07 2.8,18,15,1	Rhodium 45 Rh 102.9055 2.8,18,16,1
6	Cesium 55 Cs 132.9054 -18,18,8,1	Barium 56 Ba 137.33 -18,18,8,2	Lanthanum 57 La 138.9055 -18,18,9,2	Hafnium 72 Hf 178.49 -18,32,10,2	Tantalum 73 Ta 180.9479 -18,32,11,2	Tungsten 74 W 183.85 -18,32,12,2	Rhenium 75 Re 186.2 -18,32,13,2	Osmium 76 Os 190.2 -18,32,14,2	Iridium 77 Ir 192.22 -18,32,15,2
7	Francium 87 Fr (223)* -18,32,18,8,1	Radium 88 Ra 226.0254* -18,32,18,8,2	Actinium 89 Ac (227)* -18,32,18,9,2	Kurchatovium ^b 104 Ku (257)* -18,32,32,10,2	Hahnium ^b 105 Ha (260)* -18,32,32,11,2				

Lanthanide series

Actinide series

Cerium 58 Ce 140.12 -18,20,8,2	Praseodymium 59 Pr 140.9077 -18,21,8,2	Neodymium 60 Nd 144.24 -18,22,8,2	Promethium 61 Pm (147)* -18,23,8,2	Samarium 62 Sm 150.4 -18,24,8,2	Europium 63 Eu 151.96 -18,25,8,2
Thorium 90 Th 232.0381* -18,32,18,10,2	Protactinium 91 Pa 231.0359* -18,32,20,9,2	Uranium 92 U 238.029 -18,32,21,9,2	Neptunium 93 Np 237.0482* -18,32,22,9,2	Plutonium 94 Pu (242)* -18,32,24,8,2	Americium 95 Am (243)* -18,32,25,8,2

*Mass number of most stable or best known isotope.

^bTentative name

*Mass of most commonly available, long-lived isotope.

of the Elements

			VII A				VIII A	
			III A	IVA	VA	VIA		
			B	C	N	O	F	Ne
			13Al	Si	P	S	Cl	Ar
			26.98154 2,8,3	28.0855 2,8,4	30.9738 2,8,5	32.06 2,8,6	35.453 2,8,7	39.948 2,8,8
I B			II B					
Nickel	Copper	Zinc	Gallium	Germanium	Antimony	Selenium	Bromine	Krypton
28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	51 As	52 Se	53 Br	54 Kr
58.71 2,8,16,2	63.546 2,8,18,1	65.38 2,8,18,2	69.72 2,8,18,3	72.59 2,8,18,4	74.9216 2,8,18,5	78.96 2,8,18,6	79.904 2,8,18,7	83.80 2,8,18,8
Palladium	Silver	Cadmium	Indium	Tin	Antimony	Tellurium	Iodine	Xenon
46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
106.4 2,8,18,18	107.868 2,8,18,18,1	112.41 2,8,18,18,2	114.82 2,8,18,18,3	118.69 2,8,18,18,4	121.75 2,8,18,18,5	127.6 2,8,18,18,6	126.905 2,8,18,18,7	131.29 2,8,18,18,8
Platinum	Gold	Mercury	Thallium	Lead	Bismuth	Polonium	Astatine	Radon
78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
195.09 -18,32,17,1	196.9665 -18,32,18,1	200.59 -18,32,18,2	204.37 -18,32,18,3	207.2 -18,32,18,4	208.9804 -18,32,18,5	(210)* -18,32,18,6	(210)* -18,32,18,7	(222)* -18,32,18,8

Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutetium
64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
157.25 -18,25,9,2	158.9254 -18,27,8,2	162.50 -18,28,8,2	164.9304 -18,29,8,2	167.26 -18,30,8,2	168.9342 -18,31,8,2	173.04 -18,32,8,2	174.967 -18,32,9,2
Curium	Berkelium	Californium	Einsteinium	Fermium	Mendelevium	Nobelium	Lawrencium
96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
(247)* -18,32,25,9,2	(247)* -18,32,26,9,2	(251)* -18,32,28,8,2	(254)* -18,32,29,8,2	(253)* -18,32,30,8,2	(256)* -18,32,31,8,2	(254)* -18,32,32,8,2	(257)* -18,32,32,9,2

工程熱力問題詳解

(目 錄)

第一章	基本觀念與定義	1
第二章	熱力學第一定律	29
第三章	物理性質 I	65
第四章	理想氣體	125
第六章	可逆與不可逆過程及循環	197
第七章	第二定律的一些結論	211
第八章	熵	229
第九章	物理性質 II	281

2765 640

工程熱力問題詳解

(下 冊 目 錄)

第 十 章	可用性和不可逆性·····	331
第 十 一 章	氣體和氣體蒸汽混合氣·····	359
第 十 二 章	化學反應：燃燒·····	409
第 十 三 章	理想氣體反應之化學平衡·····	435
第 十 四 章	流體流動之熱力學觀念·····	463
第 十 五 章	壓縮及膨脹過程—流體機械·····	531
第 十 六 章	氣體動力循環·····	577
第 十 七 章	蒸汽動力循環·····	643
第 十 八 章	冷 凍·····	699
第 十 九 章	兩元混合物·····	727
第 二 十 章	燃料電池：直接能源轉換·····	731
第 二 十 一 章	熱傳遞·····	739

第一章 基本觀念與定義

1. 下列那些是操作型定義？

(a)位能：由物體之位置而定的能量。

(b)動能：由運動而產生的能量。

(c)動能：物體所具有之能量，其值可以 $\frac{mV^2}{2g_c}$ 表之，其中 m 為物體質量，

V 是速度， g_c 是單位常數 (dimensional constant)。

(d)功：在空間中克服阻力的動作。

(e)功：所謂一系統對外作功，即該系統與其環境間之作用，可完全由該系統在環境中提升一重量表示之，功的大小即為此重量和重量移動的距離之乘積。

(f)熱：不規則的能量。

(g)質量：物體中物質的含量。

(h)質量：物質的特性之一，可以天平測得。

(i)機械功：一系統與其環境間之作用，起因於一力作用於系統之移動邊界上，且其值為該力和力之作用點所移動位移之純量積。

解 (c)(e)(h)(i) 為操作型定義。

2. 下列何者是操作型定義？

(a)比容：物質的體積除以它的質量。

(b)比容：密度的倒數。

(c)溫度：物體熱的程度。

(d)能量：產生一作用的能力。

(e)總焓：焓及動能之和的性質。

(f)性質：一物質分子行為特性統計的平均值。

解 (a)(b)(e) 為操作型定義。

3. 一氣體的比容為 1.7 cu ft/lb ，則 3 lbm 的氣體佔多少體積？

解 $V = mv = 3 \times 1.7 = 5.1 \text{ cu ft}$

4. 一體積 2 cu ft 圓柱內裝 20 lb 氣體，求其比容。若氣體逸出 14 lbm ，求其最終的比容及密度。

解 $v = \frac{V}{m} = \frac{2}{20} = 0.1 \text{ cu ft/lbm}$

2 工程熱力問題詳解

$$v_f = \frac{V}{m_f} = \frac{2}{20 - 14} = 0.3333 \text{ cu ft/lbm}$$

$$\rho_f = \frac{1}{v_f} = \frac{m_f}{V} = \frac{20 - 14}{2} = 3 \text{ lbm/cu ft}$$

5. 一屋容積 170 m^3 包含 200 kg 空氣。一半的空氣由屋中抽出且壓縮至一槽中形成 7 m^3 容積。求槽中空氣密度及屋中剩餘空氣的密度。

解 $\rho = \frac{m}{V}$

$$\rho_{\text{tank}} = \frac{100}{7} = 14.2857 \text{ kg/m}^3, \quad \rho_{\text{room}} = \frac{100}{170} = 0.5882 \text{ kg/m}^3$$

6. -2 lb 的氣體佔 14 cu ft 體積，以每克立方公分 (cc/g) 計算其比容。

解 $v = \frac{V}{m} = \frac{14}{2} = 7 \text{ cu ft/lbm}$

$$= 7 \times \frac{(30.48)^3}{453.6} = 436.988 \text{ cc/g}$$

7. 一岩石沈於海平面下 80 ft 試求其單位為 psia 的壓力。假設海水的比重為 1.025 ，氣壓計壓力為 14.7 psia 。

解 $P = P_{\text{atm}} + \rho h$

$$= 14.7 + (1.025 \times 62.4) \times 80 \times \frac{1}{144}$$

$$= 50.233 \text{ psia}$$

8. 試求沈於海平面 50 m 潛水艇外殼上的壓力。假設海水的比重為 1.025 。氣壓計壓力為 76 cm 水銀。

解 $P = P_{\text{atm}} + \rho h$

$$= 76 \text{ cm-Hg} + \frac{1.025}{13.6} \times 5000 = 452.838 \text{ cm-Hg}$$

9. 一渦輪的進口與出口絕對蒸汽壓力分別為 5500 kN/m^2 和 2.6 cmHg 。若氣壓計壓力採取 75 cm 水銀，計算進口蒸汽的表壓力及從渦輪出口蒸汽的真空表壓力。

解 $5500 \text{ kN/m}^2 = \frac{5500 \times 10^3}{13.6 \times 1000 \times 9.81 \times \frac{1}{100}} \text{ cmHg}$

$$= 4122.444 \text{ cmHg}$$

$$\text{進口處壓力} = 4122.444 - 75 = 4047.444 \text{ cmHg}$$

出口處壓力 = $75 - 2.6 = 72.4 \text{ cmHg}$ 真空

10. 一渦輪的進口與出口絕對蒸汽壓力分別為 800 和 0.5 psia。如氣壓計壓力採取 29.46 in 水銀，計算進口蒸汽的表壓力及從渦輪出口蒸汽的真空表壓力。

$$\text{解} \quad 1 \text{ inHg} = 13.6 \times 62.4 \times \frac{1}{12} \times \frac{1}{144} = 0.49 \text{ psia}$$

進口處壓力 = $800 - 0.49 \times 29.46 = 785.56 \text{ psig}$

出口處壓力 = $0.49 \times 29.46 - 0.5 = 13.93 \text{ psig}$ 真空

11. 一真空表讀數為 25 in 水銀。若氣壓計讀數 29.7 in 水銀試用 psia 單位求絕對壓力。

$$\text{解} \quad P_{\text{gage}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}}$$

$$\Rightarrow P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{gage}} = 29.7 - 25 = 4.7 \text{ inHg}$$

$$= 4.7 \times 13.6 \times 62.4 \times \frac{1}{12} \times \frac{1}{144}$$

$$= 2.3 \text{ psia}$$

12. 一位於海平面之水銀氣壓計與另一位於 15000 ft 高度的水銀氣壓計有相同的讀數，溫度相同，指出何者顯示較大的壓力差並解釋之。

解 因於 15000 ft 高處之重力加速度 g 值較海平面處為小，所以海平面處有較大的壓力差。

13. 將下列各攝氏溫度化為華氏溫度。

(a) -30 (b) -10 (c) 0 (d) 200 (e) 1050

$$\text{解} \quad T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

$$(a) T_F = \frac{9}{5} \times (-30) + 32 = -22$$

$$(b) T_F = \frac{9}{5} \times (-10) + 32 = 14$$

$$(c) T_F = \frac{9}{5} \times 0 + 32 = 32$$

$$(d) T_F = \frac{9}{5} \times 200 + 32 = 392$$

$$(e) T_F = \frac{9}{5} \times 1050 + 32 = 1922$$

14. 將下列各華氏溫度化為攝氏溫度。

(a) - 60 (b) - 40 (c) 5 (d) 540 (e) 2070

$$\text{解 } T_c = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

$$(a) T_c = \frac{5}{9} (-60 - 32) = -51.1$$

$$(b) T_c = \frac{5}{9} (-40 - 32) = -40$$

$$(c) T_c = \frac{5}{9} (5 - 32) = -15$$

$$(d) T_c = \frac{5}{9} (540 - 32) = 282.2$$

$$(e) T_c = \frac{5}{9} (2070 - 32) = 1132.2$$

15. 在Reaumur 氏溫標中，冰點為 0° ，沸點為 80° ，問在此溫標中絕對零度為幾度？

解 由外插法得

$$T_0 = -273.15 \times \frac{80}{100} = -218.52$$

16. 試決定下列對攝氏和華氏溫標間轉換程序的正確性。

(a) 溫標其中之一的溫度加上 40，乘 $\frac{5}{9}$ 或 $\frac{9}{5}$ ，然後減 40 而得另一溫標的溫度。

(b) 兩倍攝氏溫標值，所得結果減去 10%，然後加 32 而得華氏溫度。

(c) 華氏溫度減 32，這量減半，加上所得結果的九分之一而得攝氏溫度。

解 (a)，(b)，(c) 皆有固定的誤差。

17. 一裝置於礦中之升降機提起 500 lbf 的籠子，速度為 200 fpm，問產生多少馬力？

解 $P = F_v = 500 \times 200$

$$= 100000 \text{ ft-lb/min} \times \frac{1}{60} \text{ min/sec}$$

$$= 1666.67 \text{ ft-lb/sec} \times \frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft-lb/sec}}$$

$$= 3.03 \text{ hp}$$

18. 1000 ton 的火車以 60 mph 的速度於軌道上行進，如果摩擦阻力為 15

ℓbf/ton, 求

(a)所需推力 (b)產生之馬力。

解 (a) $F = 15 \text{ } \ell\text{bf/ton} \times 1000 \text{ ton} = 15000 \text{ } \ell\text{bf}$

(b) $P = Fv$

$$= 15000 \text{ } \ell\text{bf} \times 60 \frac{\text{miles}}{\text{hour}} \times 5280 \frac{\text{ft}}{\text{miles}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ sec}}$$

$$= 1.32 \times 10^6 \text{ ft-}\ell\text{bf/sec} = \frac{1.32 \times 10^6}{550} \text{ hp}$$

$$= 2400 \text{ hp}$$

19. 一火車頭拉著火車，以 4 mph 的速度沿著每 100 ft 上升 1 ft 的斜坡爬升，車身總重 4000 ton，如阻力為 4 ℓb/ton，求引擎之功率為多少？

解 $F = 4 \text{ } \ell\text{bf/ton} \times 4000 \text{ ton} = 16000 \text{ } \ell\text{bf}$

$$P = Fv + W \frac{\Delta z}{\Delta t} = Fv + W \frac{\Delta z}{\Delta \ell / v}$$

$$= (F + (\frac{\Delta z}{\Delta \ell}) W) v$$

$$= (16000 \text{ } \ell\text{bf} + \frac{1}{100} \times 4000 \text{ ton} \times 1000 \frac{\ell\text{bf}}{\text{ton}})$$

$$\times 4 \text{ mph} \times 1.467 \frac{\text{ft/sec}}{\text{mph}}$$

$$= 328608 \text{ ft-}\ell\text{bf/sec}$$

$$= \frac{328608}{550} \text{ hp} = 597.47 \text{ hp}$$

20. 一火車頭拉著火車，以 50 km/h 的速度沿著每 30 m 上升 30 cm 的斜坡（1% 斜坡）爬升。火車頭和車總質量為 3800 t。若摩擦阻力為 30 N/t，引擎的功率為何？

解 $F = 30 \text{ N/t} \times 3800 \text{ t} = 114000 \text{ N}$

$$P = (F + (\frac{\Delta z}{\Delta \ell}) W) v$$

$$= (114000 \text{ N} + 0.01 \times 3800 \text{ t} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}})$$

$$\times 50 \text{ km/h} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}} \times \frac{\text{hr}}{3600 \text{ sec}}$$

$$= 486780 \text{ N} \times 13.89 \text{ m/sec}$$

$$= 6760833 \text{ W} = 6760 \text{ kW}$$

21. 一火車頭拉著火車，以 80 km/h 的速度沿 0.20% 斜坡下降。火車頭和車總質量為 2400 tonnes。摩擦阻力為 50 N/t。試求火車頭引擎的功率。

解 $F = 50 \text{ N/t} \times 2400 \text{ t} = 120000 \text{ N}$

$$P = \left[F + \left(\frac{\Delta z}{\Delta \ell} \right) W \right] v$$

$$= \left(120000 \text{ N} - 0.002 \times 2400 \text{ t} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \right)$$

$$\times 80 \text{ km/h} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}} \times \frac{\text{hr}}{3600 \text{ sec}}$$

$$= 72912 \text{ N} \times 22.22 \text{ m/sec}$$

$$= 1620267 \text{ W} = 1620.3 \text{ kW}$$

22. 一槽 4 m 長，3 m 寬，且 2 m 深裝半滿的水。將所有水提高超過槽頂邊須要多少功？

解 $P = Fv$

$$= 70 \text{ kW} \times 800 \text{ km/h} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}} \times \frac{\text{hr}}{3600 \text{ sec}}$$

$$= 15556 \text{ kW}$$

23. 一槽，10 ft 長，7 ft 寬，且 6 ft 深裝半滿的水。將所有水提高超過槽頂邊須功多少呎磅？

解 $dW = \rho g \cdot A \cdot x dx$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} x dx$$

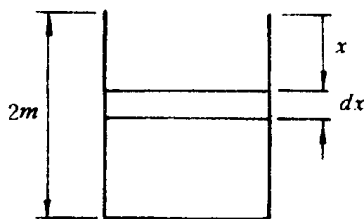
$$= 117720 x dx$$

$$\Rightarrow W = \int dW = \int_1^2 117720 x dx$$

$$= 117720 \frac{x^2}{2} \Big|_1^2$$

$$= 353160 \text{ J}$$

$$= 353.2 \text{ kJ}$$



24. 水箱長 10 ft，寬 7 ft，高 6 ft，裝半滿的水，欲將全部的水移出箱外需多少功？

解 同上題

$$dW = 62.4 \times 10 \times 7 x dx$$

$$\Rightarrow W = 4368 \int_0^4 x dx = 58968 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

25. 井之直徑為 2 in，深度為 200 ft，若泥土之平均重量為 115 lb/cu ft，求將所有泥土挖出地面所需的功。

解 同 1-23

$$\rho g = 115 \text{ lbf/ft}^3$$

$$dW = 115 \text{ lbf/ft}^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(2 \text{ in} \times \frac{\text{ft}}{12 \text{ in}} \right)^2 x dx$$

$$\Rightarrow W = \frac{115\pi}{144} \int_0^{200} x dx = 50178.2 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

26. $\frac{1}{2}$ hp 的馬達未連上負荷，其轉速為 3600 rpm，聯接 110 V 的電源。求其輸出功率？

解 由於沒有負荷，馬達空轉，輸出功率為零。

27. 一鋼螺旋圈彈簧一端立於桌子上。其線性彈簧常數為 0.98 N/mm。一重 1.10 kg 的物體置於彈簧上所以它被壓縮至一新的平衡位置。當彈簧壓縮時它作或受多少功？若用同彈簧常數相似的彈簧掛於鉤上而 1.10 kg 質量的物體掛於彈簧下端而達一新的平衡位置，彈簧受或作功多少？

解 (1) 新平衡點位置 X_F

$$\Rightarrow 1.10 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 0.98 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot X_F \frac{1000 \text{ mm}}{\text{m}}$$

$$\Rightarrow X_F = 0.011 \text{ m}$$

$$W = mg \Delta h = 1.10 \times 9.81 \times (0 - 0.011) \\ = -0.119 \text{ J}$$

即重物對彈簧作功 0.119 J

(2) 同上

28. 解釋差異： $dP/d\tau$ 為對時間壓力的變化速率，但是功率， $\dot{W} = dW/d\tau$ 不能定義為對時間功的變化速率。

解 因壓力為 point function，即為 property

故 $dP/d\tau$ 可視為某一點上壓力隨時間之變率

而功為 path function，不為 property

故 $dW/d\tau$ 不可視為功隨時間的變率

29. 1-14 節中說明機械功大小等於作用於系統移動邊境的力和在力方向應用

點的位移之乘積。試證經過系統邊界轉動軸的情況以功爲力矩和角位移乘積來涵蓋這敘述。

解 扭矩 $T = R \cdot F$ 可表示爲 F 爲作用於軸邊上之切線方向的力
 R 爲軸半徑

$$dW = T d\theta = F R d\theta = F ds$$

可視爲系統之邊界沿切線方向移動

30. 計算物體所受的功，若物體質量爲 140 kg，在(a) 10 s，(b) 1 min 內由速度 120 m/s 加速至 150 m/s。

$$\text{解 } W = \int F ds = \int m a ds = \int m \frac{dV}{dt} ds = \int m dv \frac{ds}{dt} = \int m v dv = \frac{m}{2} \int d(v^2)$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2} m V_2^2 - \frac{1}{2} m V_1^2$$

$$= \frac{1}{2} (140 \text{ kg}) [150^2 - 120^2] \left(\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right)^2$$

$$= 567000 \text{ J} = 567 \text{ kJ}$$

(a)(b)同，與時間無關

31. 計算物體所受的功，如果物體質量爲 10 slug，由 400 fps 被加速至 500 fps，其所耗時間爲(a) 10 sec (b) 1 min

解 同 1-30

$$W = \frac{1}{2} m V_2^2 - \frac{1}{2} m V_1^2$$

$$= \frac{1}{2} (10 \text{ slug}) \times ((500)^2 - 400^2) \left(\frac{\text{ft}}{\text{sec}} \right)^2$$

$$= 450000 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

32. 計算在(a) 2 min (b) 10 min 內將 7 slug 的物體由 640 ft 處昇高 60 ft 所作的功。

$$\text{解 } W = \int F ds = \int m g ds = m g \int ds = m g \Delta h$$

(※ g 之變異量忽略)

$$\Rightarrow W = 7 \times 32.17 \times 60 = 13511.4 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

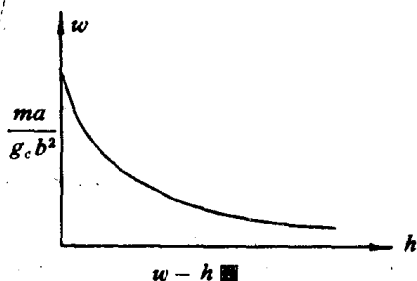
(a)(b)解相同

33. 假設重力加速度 g 與高度 h 依 $g = \frac{a}{(b+h)^2}$ 式相關，其中 a 和 b 爲常

數，畫已知物體重量對 h 的曲線，且寫出將質量 m 的物體提高至高度 h 所需要的功。寫出用 m, h, a, b, g 表示的方程式。

$$\text{解} \quad w = \frac{mg}{g_c} = \frac{m}{g_c} \cdot \frac{a}{(b+h)^2}$$

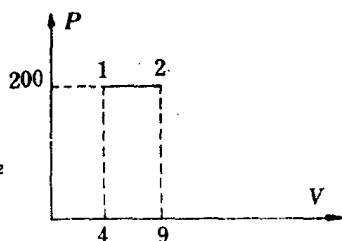
$$\begin{aligned} W &= \int f ds = \int_0^h \frac{m}{g_c} \cdot \frac{a}{(b+h)^2} dh \\ &= \frac{ma}{g_c} \int_0^h \frac{dh}{(b+h)^2} \\ &= \frac{ma}{g_c} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{b+h} \right) \end{aligned}$$



34. 4 cuft 氣體在 200 psia 定壓下，膨脹至 9 cuft，求氣體所作功並繪其 $P-V$ 圖。

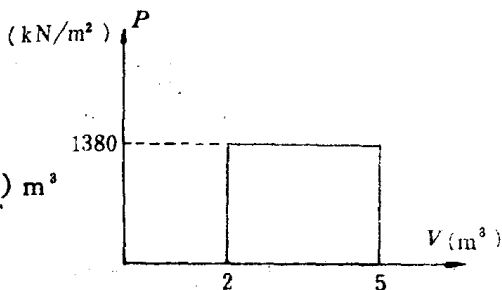
解 等壓膨脹

$$\begin{aligned} W &= \int p dV = p (V - V_0) \\ &= 200 \text{ lbf/in}^2 \times 5 \text{ cuft} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 \\ &= 144000 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \end{aligned}$$



35. 當在 1380 kN/m^2 定壓下 2 m^3 的氣體膨脹至 5 m^3 容積時計算所作的功。對此過程繪出壓力-容積圖。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad W &= \int p dv \\ &= p (V_2 - V_1) \\ &= (1380 \text{ kN/m}^2) (5 - 2) \text{ m}^3 \\ &= 4140 \text{ kJ} \end{aligned}$$



36. 一垂直 U 形管有一直徑 1.0 cm 的圓形橫截面。U 形管的一腳被蓋住而另一腳暴露於大氣中。兩端處於相同高度。U 形管中的水銀將氮陷於閉合的腳中所以水銀面低於有蓋的一端 30 cm 。於另一隻腳中，水銀位於開口端，所以增加氮的壓力使得水銀溢出。大氣壓力為 95.0 kpa 。氮被加熱所以它膨脹至那腳中的水銀面降低到低於有蓋端 40 cm 。計算當氮膨脹時所作的功。（你將無疑地忽略靠近氮的水銀溫度變化的效應。若考慮這效應

所計算的功會較大，較小，或相同？）

解 $W = \int P dV$

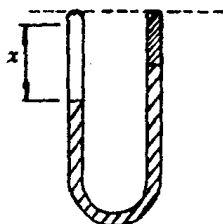
$$= \int P A dx$$

$$= A \int_{30 \text{ cm}}^{40 \text{ cm}} (95 \text{ kPa} + \rho g x) dx$$

$$= A \left(95000 \text{ Pa } x + 13600 \times 9.81 \frac{x^2}{2} \right) \Big|_{0.3}^{0.4}$$

$$= \frac{\pi}{4} (0.01)^2 \left[95000 (0.4 - 0.3) + 13600 \times 9.81 \right. \\ \left. \times (0.16 - 0.09) / 2 \right]$$

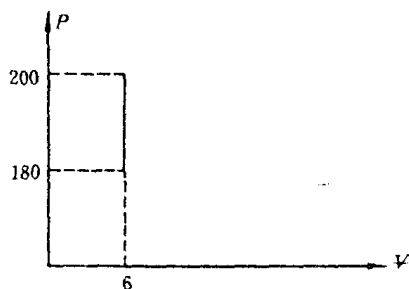
$$= 1.1129 \text{ J}$$



若考慮靠近 N_2 之水銀的溫度變化，則 ρ 值較小而使做功較少，但 ρ 之變異幾不可察。

37. 堅固容器中含 6 cuft 的氧，壓力 200 psia，若壓力減至 180 psia，是否作了任何功？假設此容器體積固定，繪此系統之 $P-V$ 圖。

解 $W = 0$



38. 一充滿輕水碳氣體的玩具氣球浮到屋中的天花板。若氣體冷卻而氣球收縮，有對或由氣體作任何功嗎？對冷卻過程繪壓力-容積圖。

解 假設初始體積為 V_i 。

最後體積為 V_f 。

因汽球內外壓力平衡

故汽球內之壓力始終為外界壓力 P_0 。

$$W = \int P dV$$

