

# 純物質之性質

1.符號： $f, \ell$  表示液體； $g, v$  表示氣體； $x$  表示乾度

2.乾度： $x = \frac{\text{氣體質量}}{\text{全部質量}} = \frac{m_g}{m} = \frac{m_g}{m_f + m_g}$ ； $(1-x)$  含水率(濕度)

3.比容： $v = \frac{V}{m} = \frac{V_f + V_g}{m_f + m_g} = \frac{m_f v_f + m_g v_g}{m_f + m_g}$  (公式推導)

$$= \frac{m_f}{m_f + m_g} \cdot v_f + \frac{m_g}{m_f + m_g} \cdot v_g$$

$$= (1-x) \cdot v_f + x \cdot v_g = v_f - x \cdot v_f + x \cdot v_g \quad (\text{展開})$$

$$= v_f + x(v_g - v_f) = v_f + x \cdot v_{fg}$$

# 純物質之性質公式整理

1. 乾度 :  $x = \frac{\text{氣體質量}}{\text{全部質量}} = \frac{m_g}{m} = \frac{m_g}{m_f + m_g}$  ;  $(1-x)$  含水率(濕度)

2. 比容 :  $v = (1-x) \cdot v_f + x \cdot v_g = v_f + x \cdot v_{fg}$

3. 內能 :  $u = (1-x) \cdot u_f + x \cdot u_g = u_f + x \cdot u_{fg}$

4. 焓 :  $h = (1-x) \cdot h_f + x \cdot h_g = h_f + x \cdot h_{fg}$

5. 熵 :  $s = (1-x) \cdot s_f + x \cdot s_g = s_f + x \cdot s_{fg}$

6. 乾度 :  $x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{u - u_f}{u_{fg}} = \frac{h - h_f}{h_{fg}} = \frac{s - s_f}{s_{fg}}$

## 封閉系統所作的功 $p \cdot v^n = c$

通式  $w = \int_1^2 p \, dv$  , 關係式  $p \cdot v^n = c$

1. 當  $n \neq 1$  ,  $p \cdot v^n = c \therefore w = \frac{1}{n-1}(p_1 v_1 - p_2 v_2)$

式中,  $c = p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n$

2. 當  $n = 1$  ,  $p \cdot v = c \quad w = c \ln \frac{v_2}{v_1} = c \ln \frac{p_1}{p_2}$

式中,  $c = p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2$

## 開放系統所作的功 (穩定狀態穩定流 SSSF)

$$\text{通式 } w = -\int_1^2 v \, dp, \text{ 關係式 } p \cdot v^n = c$$

$$1. \text{ 當 } n \neq 1, p \cdot v^n = c \quad w = \frac{n}{n-1} (p_i v_i - p_e v_e)$$

$$\text{式中, } c = p_i \cdot v_i^n = p_e \cdot v_e^n$$

$$2. \text{ 當 } n = 1, p \cdot v = c \quad w = C \ell_n \frac{p_i}{p_e} = C \ell_n \frac{v_e}{v_i}$$

$$\text{式中, } c = p_i \cdot v_i = p_e \cdot v_e$$

比較：公式大同小異

1 → i ; 2 → e

# 熱力學第一定律

當系統完成一循環時，該循環之淨功，必定與循環之淨熱相等。

$$\text{淨熱} = \text{淨功} , Q = W , q = w$$

1. **符號** : i, e 表示進(出)口變化過程  
1, 2 表示系統內部變化過程

2. **儲存能 E** = 內能 + 動能 + 位能

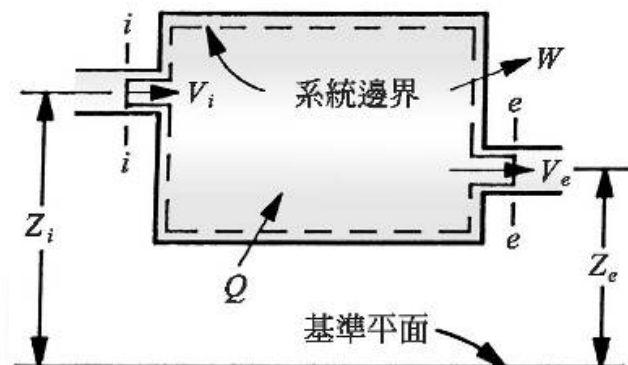
$$= U + KE + PE = U + \frac{1}{2} m \cdot \nabla^2 + m \cdot g \cdot z$$

$$\text{單位質量儲存能 } e = u + \frac{1}{2} \nabla^2 + g \cdot z$$

3. 焓  $H = U + PV$  ,  $h = u + pv$

4. **公式**  $Q + m_i P_i v_i + m_i e_i + E_1 = W + m_e P_e v_e + m_e e_e + E_2$  , 其中  $pv$  流功

小寫符號 ,  $q + p_i v_i + e_i + e_1 = w + p_e v_e + e_e + e_2$



# 熱力學第一定律

小寫符號， $q + p_i v_i + e_i + e_1 = w + p_e v_e + e_e + e_2$ ，且  $e = u + \frac{1}{2} V^2 + g \cdot z$

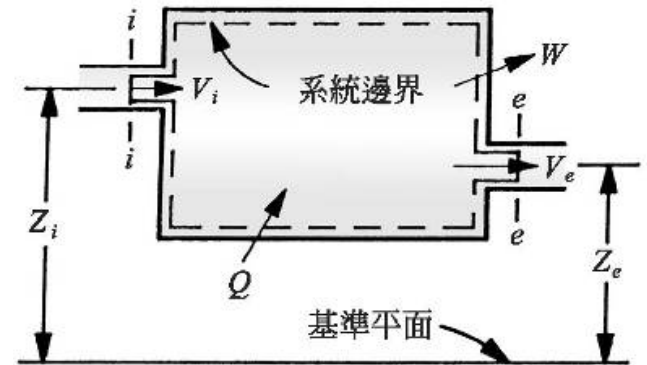
$$q + \underline{p_i v_i} + (u_i + \frac{1}{2} V_i^2 + g z_i) + (u_1 + \frac{1}{2} V_1^2 + g z_1) = w + \underline{p_e v_e} + (u_e + \frac{1}{2} V_e^2 + g z_e) + (u_2 + \frac{1}{2} V_2^2 + g z_2)$$

通式

，又  $\because h = u + p v$

$$q + \underline{h_i} + \frac{1}{2} V_i^2 + g z_i + (u_1 + \frac{1}{2} V_1^2 + g z_1) = w + \underline{h_e} + \frac{1}{2} V_e^2 + g z_e + (u_2 + \frac{1}{2} V_2^2 + g z_2)$$

通式



# 熱力學第一定律

特例 1 封閉系統(close system, CS) ex. 活塞

觀念：封閉系統與外界無交流，所以不談  $i, e$

小寫符號， $q + p_i v_i + e_i + e_1 = w + p_e v_e + e_e + e_2$ ，且  $e = u + \frac{1}{2} \nabla^2 + g \cdot z$

$$q + p_i v_i + (u_i + \frac{1}{2} \nabla_i^2 + g z_i) + (u_1 + \frac{1}{2} \nabla_1^2 + g z_1) = w + p_e v_e + (u_e + \frac{1}{2} \nabla_e^2 + g z_e) + (u_2 + \frac{1}{2} \nabla_2^2 + g z_2)$$

$$q + u_1 + \frac{1}{2} \nabla_1^2 + g z_1 = w + u_2 + \frac{1}{2} \nabla_2^2 + g z_2 \quad (\text{較佳})$$

$$q = w + (u_2 - u_1) + \frac{1}{2} (\nabla_2^2 - \nabla_1^2) + g (z_2 - z_1) \quad (\text{課本公式表示法})$$

# 熱力學第一定律

特例 2 開放系統之穩定狀態穩定流(SSSF系統)

觀念：只談出入口，不談內部變化，即 1, 2 為零

小寫符號， $q + p_i v_i + e_i + \cancel{e_1^0} = w + p_e v_e + e_e + \cancel{e_2^0}$ ，且  $e = u + \frac{1}{2} \nabla^2 + g \cdot z$

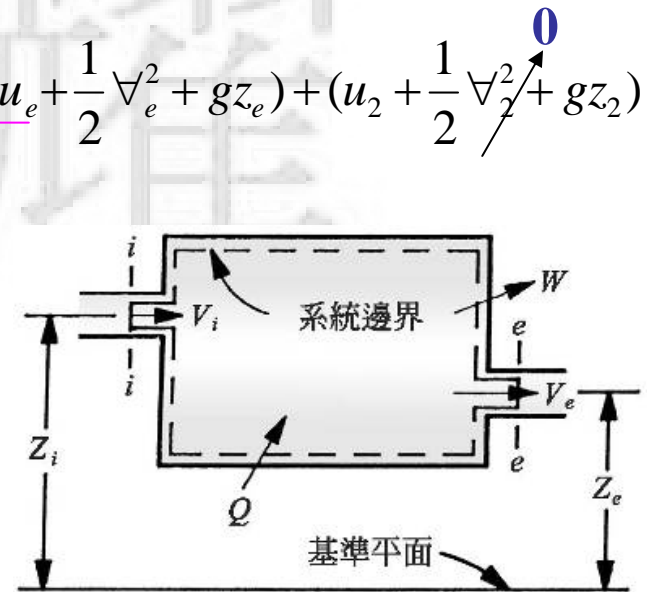
$$q + p_i v_i + (u_i + \frac{1}{2} \nabla_i^2 + g z_i) + (\cancel{u_1 + \frac{1}{2} \nabla_1^2 + g z_1})^0 = w + p_e v_e + (u_e + \frac{1}{2} \nabla_e^2 + g z_e) + (\cancel{u_2 + \frac{1}{2} \nabla_2^2 + g z_2})^0$$

$$q + p_i v_i + (u_i + \frac{1}{2} \nabla_i^2 + g z_i) = w + p_e v_e + (u_e + \frac{1}{2} \nabla_e^2 + g z_e)$$

，又  $\because h = u + p v$

$$q + h_i + \frac{1}{2} \nabla_i^2 + g z_i = w + h_e + \frac{1}{2} \nabla_e^2 + g z_e \quad (\text{較佳})$$

$$q = w + (h_e - h_i) + \frac{1}{2} (\nabla_e^2 - \nabla_i^2) + g (z_e - z_i) \quad (\text{課本公式表示法})$$





# 熱力學第一定律

通式：開放系統之均勻狀態均勻流(USUF系統)

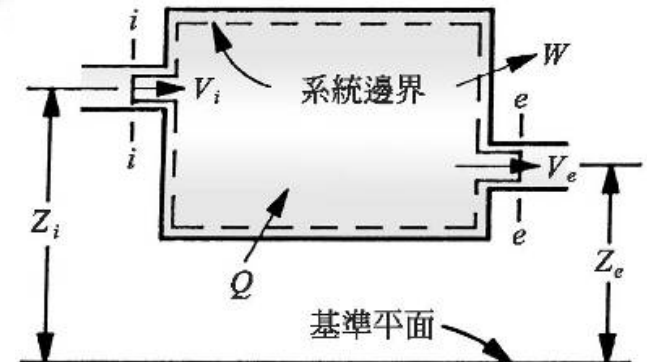
觀念：出入口與內部均有變化，即全部符號都有

小寫符號， $q + p_i v_i + e_i + e_1 = w + p_e v_e + e_e + e_2$ ，且  $e = u + \frac{1}{2} \nabla^2 + g \cdot z$

$$q + \underline{p_i v_i} + (u_i + \frac{1}{2} \nabla_i^2 + g z_i) + (u_1 + \frac{1}{2} \nabla_1^2 + g z_1) = w + \underline{p_e v_e} + (u_e + \frac{1}{2} \nabla_e^2 + g z_e) + (u_2 + \frac{1}{2} \nabla_2^2 + g z_2) \quad (\text{通式})$$

，又  $\because h = u + p v$

$$q + \underline{h_i} + \frac{1}{2} \nabla_i^2 + g z_i + (u_1 + \frac{1}{2} \nabla_1^2 + g z_1) = w + \underline{h_e} + \frac{1}{2} \nabla_e^2 + g z_e + (u_2 + \frac{1}{2} \nabla_2^2 + g z_2) \quad (\text{通式})$$



附表 1 飽和水-水蒸氣(溫度表)(續)

溫度 (°C)	壓力 (MPa)	比 容 (m <sup>3</sup> /kg)		內 能 (kJ/kg)			焓 (kJ/kg)			熵 (kJ/kg-K)		
		$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_{fg}$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
(T)	(p)											
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.194 05	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.174 09	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.156 54	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.141 05	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001 157	0.127 36	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001 164	0.115 21	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001 173	0.104 41	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585

附表 2 飽和水—水蒸氣(壓力表)

壓力 (kPa) ( $p$ )	溫度 (°C) ( $T$ )	比容 ( $m^3/kg$ )		內能 (kJ/kg)			焓 (kJ/kg)			熵 (kJ/kg-K)		
		$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_{fg}$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
0.6113	0.01	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001 000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001 001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001 001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001 002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001 003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001 004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001 005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001 008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001 010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001 014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001 017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001 020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	0.001 022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001 027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001 030	3.240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001 037	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564
MPa												
0.100	99.63	0.001 043	1.6940	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
0.125	105.99	0.001 048	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241.0	2685.4	1.3740	5.9104	7.2844
0.150	111.37	0.001 053	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
0.175	116.06	0.001 057	1.0036	486.80	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
0.200	120.23	0.001 061	0.8857	504.49	2025.0	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	5.5970	7.1271
0.225	124.00	0.001 064	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878

1 MPa = 1000 KPa

