

04 能量平衡總則

基本的能量平衡方程式是：

$$\text{能量輸入} = \text{能量輸出} + \text{累積的能量} \dots\dots\dots(1)$$

-穩定態 -

$$\text{食物組成部分 1 獲得能量} = \text{食物組成部分 2 能量損失} \dots\dots\dots(2)$$

方程式 2 如果適用，方程式 1 或者 2 將有相似結果。方程式 1 是一個能量平衡方程式的一般的形式。

能量單位

能量的單位在 SI 是焦耳，可以利用係數轉換表進行單位轉換。

熱

可感應熱 -

潛熱 -

熱容—焓：焓是具特性，其值不能直接測量。

作為決定水蒸氣表中焓的參考溫度(T_{ref})是 32.018°F 或者 0.01°C。

任何一個食物系統中組成部分的焓，將相當于從蒸汽表中任何溫度 (T) 水的焓：

$$H = C_p (T - T_{ref}) \dots\dots\dots(3)$$

在第 3 方程式， C_p 是在恆定壓力下的比熱。

固體和液體的比熱

物質以質量為基準的焓改變方程式為：

$$\Delta H = q = m \int C_p dt \dots\dots\dots(4)$$

在特定溫度範圍內 ($T_1 \sim T_2$) 取得平均比熱，則方程式 4 變得：

$$q = m \times C_{avg} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(5)$$

對固體和液體來說，第 3 方程式和 5 在在食品加工系統中特定溫度的範圍有效。

對於無脂肪之水果和菜蔬，果菜泥和植物濃縮物來說 - 比熱隨含水量而變化 -

例如有一個蔬菜含水量為 M，其水於冰點溫度以上之比熱為 1 BTU/lb×°F 或者 4186.8 J/kg×K，並且非脂肪固形物 0.2 BTU/lb×°F 或者 837.36 J/kg×K。因為非脂肪固形物部分含量是(1-M)，所以溫度冰點以上之食物平均比熱為：

$$C_{avg} = 1 \cdot BTU / (lb \times ^\circ F) \cdot M + 0.2 BTU / (lb \times ^\circ F) \cdot (1 - M) \dots\dots\dots(6)$$

所以 $C_{avg} = 0.8 M + 0.2 BTU / (lb \times ^\circ F)$

在 SI 單位系統中， $C_{avg} = 3349 M + 837.36 J / (kg \times ^\circ K)$

一般食品的平均比熱

產品	%H ₂ O	C _{pm}
乳製品		
奶油	14	2050
酸奶	65	2930
低脂牛奶	91	4000
新鮮的肉；魚；家禽；蛋		
鱈	80	3520
蛋白	87	3850
蛋黃	48	2810
豬肉	60	2850
新鮮的水果；菜蔬；果汁		
蘋果汁	88	3850
蘋果醬	--	3730
芒果	93	3770
新鮮橙汁	87	3890
新鮮李子	76.5	3500
其他產品		
白麵包；色	44	2720
麵粉	13	1800

THERMAL DATA FOR SOME FOOD PRODUCTS

Freezing point	% water	Specific heat		Latent heat of fusion
		above freezing	below freezing	

	(°C)		(kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)		(kJ kg ⁻¹)
Fruit					
Apples	-2	84	3.60	1.88	280
Bananas	-2	75	3.35	1.76	255
Grapefruit	-2	89	3.81	1.93	293
Peaches	-2	87	3.78	1.93	289
Pineapples	-2	85	3.68	1.88	285
Watermelons	-2	92	4.06	2.01	306
Vegetables					
Asparagus	-1	93	3.93	2.01	310
green Beans	-1	89	3.81	1.97	297
Cabbage	-1	92	3.93	1.97	306
Carrots	-1	88	3.60	1.88	293
Corn	-1	76	3.35	1.80	251
Peas	-1	74	3.31	1.76	247
Tomatoes	-1	95	3.98	2.01	310
Meat					
Bacon	-2	20	2.09	1.26	71
Beef	-2	75	3.22	1.67	255
Fish	-2	70	3.18	1.67	276
Lamb	-2	70	3.18	1.67	276
Pork	-2	60	2.85	1.59	197
Veal	-2	63	2.97	1.67	209
Miscellaneous					
Beer	-2	92	4.19	2.01	301
Bread	-2	32-37	2.93	1.42	109-121
Eggs	-3		3.2	1.67	276
Ice cream	-3 to -18	58-66	3.3	1.88	222
Milk	-1	87.5	3.9	2.05	289
Water	0	100	4.19	2.05	335

相同的原則用求冰點以下的比熱。冰的比熱是 0.5 BTU / (lb×°F)，和而非脂肪固形物的比熱與冰點以上相同。

所以溫度於冰點以下，其比熱為 (M 為冰含量比例)：

$$C_{avg} = 0.5 \cdot BTU / (lb \times ^\circ F) \cdot M + 0.2 BTU / (lb \times ^\circ F) \cdot (1 - M) \dots\dots\dots(8)$$

而 SI 單位： $C_{avg} = 1256 M + 837.36 J / (kg \times ^\circ K) \dots\dots\dots(9)$

當脂肪存在時，比熱可能按照部分脂肪(F)、部分非脂肪固形物(SNF)和部分水(W)估計：

脂肪 C_p 是 0.4 BTU/lb×°F 或者 1674.72 J/kg×°K

冰點以上：

BTU / (lb×°F) 單位： $C_{avg} = 0.4F + 0.2SNF + 1 W \dots\dots\dots(10)$

J / (kg×°K) 單位： $C_{avg} = 1674.72F + 837.36SNF + 4186W \dots\dots\dots(11)$

冰點以下：

BTU / (lb×°F) 單位： $C_{avg} = 0.4F + 0.2SNF + 0.5 M \dots\dots\dots(12)$

J / (kg×°K) 單位： $C_{avg} = 1674.72F + 837.36SNF + 2093.4 W \dots\dots\dots(13)$

方程式 10~13 實際應用上比較普遍，而非方程式 6~9

例子 1：計算烤牛肉的比熱含 15%的蛋白質、脂肪 20%以及 65%的水。

解決辦法：

例子 2：計算濃縮柳橙汁的比熱其含百分之 45 固體。

解決辦法：

例子 3：計算熱量需求將的 4.535 Kg (10 lb) 烤肉其中含 15% 蛋白質， 20% 脂肪，和 65% 水從 4.44°C (40°F) 提高至 65.55°C (150°F)。結果請以 (A) BTUs (b) 焦耳以及 (c) 瓦-小時表示。(C_{avg} 引用例子 1)

相變化的焓改變。

熔化的潛熱

方法：計算焓在冰點以下(只適用於含水量 73~94%)的焓，在這相互關係裡，我們必須假設所有的水在 227.6°K (-50°F) 時完全冰凍。所以簡約溫度 (T_r) 為：

$$T_r = \frac{(T - 227.6)}{(T_f - 227.6)}$$

其中 T_f = 冰點溫度和 T = 焓的溫度。計算時另外二個參數必須計算，**a** 和 **b**，而此等參數是以水含量的函數方程式：

肉：

$$a = 0.316 - 0.247(0.73 M) - 0.688(M - 0.73)^2$$

$$b = 22.95 + 54.68(a - 0.28) - 5589.03(a - 0.28)^2$$

菜蔬，水果，果汁：

$$a = 0.362 + 0.0498(M - 0.73) - 3.465(M - 0.73)^2 \dots\dots\dots(17)$$

$$b = 27.2 - 129.04(a - 0.23) - 481.46(a - 0.23)^2 \dots\dots\dots(18)$$

冰點(T_f)，絕對溫度表示：

$$\text{肉} = T_f = 271.18 + 1.47 M \dots\dots\dots(19)$$

$$\text{水果和菜蔬} : T_f = 287.56 - 49.19 M + 37.07 M^2 \dots\dots\dots(20)$$

$$\text{果汁} : T_f = 120.47 + 327.35 M - 176.49 M^2 \dots\dots\dots(21)$$

相對於 227.6°K 之冰點焓 (H_f) (J/kg)：

$$\text{鈹} (H_f) = 9792.46 + 405096 M \dots\dots\dots(22)$$

於相對溫度 227.6°K 之 T_t 溫度下焓 (H_t)：

$$H_t = H_f [a \times T_r + (1 - a) T_r^b] \dots\dots\dots(23)$$

1 例子：計算 1kg 含 25%的固形物葡萄汁之冰點及從冰點至-30°C所需移除之熱量。

解決辦法： M = 0.75 使用方程式 21：

$T_f = ?$

使用第 22 方程式：

$H_f = ?$

使用第 17 方程式：

a =

使用第 18 方程式：

b =

使用第 23 方程式：

Ht =

由凍結溫度至-30 溫度需要移除之能量= $H_f - H_t$

氣體和蒸汽的比熱。

在恆定的體積或恆定的壓力 -

從參考溫度 T_0 到 T_2 的焓變化是：

$$\Delta H = m \int C_p \cdot dT = m \times C_{pm} (T_2 - T_0) \dots\dots\dots(24)$$

C_{pm} 是由 T_0 至 T_2 之間的平均比熱

如果氣體由從任何溫度 T_1 加熱到最後溫度 T_2 ，此加熱過程的焓變化計算如下：

$$\Delta H = q = m \times C_{pm} (T_2 - T_0) - m \times C'_{pm} (T_1 - T_0) \dots\dots\dots(25)$$

C'_{pm} 是由 T_0 至 T_1 之間的平均比熱。

表二為氣體於參考溫度室溫 77°F 或者 25°C 之平均比熱

表 2. 下由室溫 77°F 至表中標示溫度各種氣體的熱容（比熱） (BTU/lb)

溫度(F)	O2	N2	CO2	H2O 蒸汽	空氣
77	0.219	0.248	0.202	0.446	0.241
100	0.219	0.248	0.203	0.446	0.241
200	0.221	0.249	0.209	0.448	0.241

300	0.223	0.249	0.216	0.451	0.242
400	0.224	0.250	0.221	0.454	0.242
500	0.226	0.250	0.226	0.457	0.243
600	0.228	0.251	0.231	0.461	0.245
700	0.230	0.253	0.236	0.456	0.246

表 3. 25°C (J/kgK) 到標示溫度各種氣體的熱容 (比熱)

溫度(°C)	O2	N2	CO2	H2O 蒸汽	空氣
25	916	1037	847	1863	1007
50	919	1039	858	1868	1008
100	926	1041	879	1880	1011
125	930	1043	889	1886	1012
150	934	1044	899	1891	1014
175	936	1045	910	1897	1015
200	938	1047	920	1903	1017
250	945	1049	941	1914	1020
300	952	1052	962	1925	1023
350	960	1054	983	1937	1026

例 1：1 大氣壓和 170°F 之下以 2000 ft³/min 的熱風進行乾燥，計算在由室溫 70 °F 加熱到 170°F 所需要之能量。

解決辦法：

例 2：在 1 大氣壓下將 10 m³/s 空氣從溫度 50°C 升到 120°C 所需的能量：

飽和蒸汽的特性

飽和的液體

飽和蒸汽

氣-液混合物

蒸汽質量

過熱蒸汽

蒸汽表

飽和蒸汽表：飽和蒸汽表包含 溫度、絕對壓力、比容和焓的標題下由入口組成。
(見飽和蒸汽壓溫度表)

溫度：

絕對壓力：

飽和的液體：

飽和蒸汽：

過熱蒸汽：

蒸發：

比容：

例 1：在何種真空壓力下，水的沸點為 80°F ？請以(a)多少英寸水銀汞柱及(b)絕對壓力 (pa) 表示。

解決辦法：

(a)英寸汞柱=

(b)壓力 =

例 2：需要多少能量將 1lb 70°F 水轉變成 250°F 14.696 psia 的蒸汽？

解決辦法：

Appendix A.4. Saturated Steam Tables—Metric Units

Temperature °C	Absolute pressure kPa	Enthalpy (MJ/kg)		
		Saturated liquid h_f	(MJ/kg) Evaporation h_{fg}	Saturated vapor h_g
0	0.6108	-0.00004	2.5016	2.5016
2.5	0.7314	0.01049	2.4956	2.5061
5	0.8724	0.02100	2.4897	2.5108
7.5	1.0365	0.03151	2.4839	2.5153
10	1.2270	0.04204	2.4779	2.5200
12.5	1.4489	0.05253	2.4720	2.5245
15	1.7049	0.06292	2.4661	2.5291
17.5	2.0326	0.07453	2.4595	2.5342
20	2.3366	0.08386	2.4544	2.5381
22.5	2.7248	0.09780	2.4484	2.5428
25	3.1599	0.10477	2.4425	2.5473
27.5	3.6708	0.11522	2.4367	2.5518
30	4.2415	0.12566	2.4307	2.5563
32.5	4.8913	0.13611	2.4246	2.5609
35	5.6238	0.14656	2.4188	2.5653
37.5	6.4488	0.15701	2.4129	2.5699
40	7.3749	0.16745	2.4069	2.5744
42.5	8.4185	0.17789	2.4009	2.5788
45	9.5851	0.18834	2.3949	2.5832
47.5	10.8868	0.19880	2.3889	2.5877
50	12.3354	0.20925	2.3829	2.5921
52.5	13.9524	0.21971	2.3769	2.5966
55	15.7459	0.23017	2.3705	2.6000
57.5	17.7295	0.24062	2.3648	2.6054
60	19.9203	0.25109	2.3586	2.6098
62.5	22.3466	0.26155	2.3525	2.6140
65	25.0159	0.27202	2.3464	2.6184
67.5	27.9479	0.28249	2.3402	2.6226
70	31.1622	0.29298	2.3339	2.6270
72.5	34.6961	0.30345	2.3276	2.6312
75	38.5575	0.31394	2.3214	2.6354
77.5	42.7706	0.32442	2.3151	2.6395
80	47.3601	0.33492	2.30879	2.64373
82.5	52.5777	0.34542	2.30251	2.64792
85	57.8159	0.34659	2.29611	2.65199
87.5	63.7196	0.36643	2.28971	2.65606
90	70.1059	0.37693	2.28320	2.66025
92.5	77.0489	0.38747	2.27669	2.66420
95	84.5676	0.39799	2.27023	2.66821
97.5	92.6379	0.40853	2.26349	2.67214
100	101.3250	0.41908	2.25692	2.67606
102.5	110.7410	0.42962	2.25035	2.67996
105	120.8548	0.44017	2.24354	2.68368
107.5	131.7114	0.45074	2.23674	2.68752
110	143.3489	0.46132	2.22994	2.69129

Appendix A.4. (Continued)

Temperature °C	Absolute pressure kPa	Enthalpy (MJ/kg)		
		Saturated liquid h_f	(MJ/kg) Evaporation h_{fg}	Saturated vapor h_g
112.5	155.8051	0.47190	2.22313	2.69508
115	169.1284	0.48249	2.21615	2.69874
117.5	183.3574	0.49309	2.20929	2.70241
120	198.5414	0.50372	2.20225	2.70607
122.5	214.8337	0.51434	2.19519	2.70949
125	232.1809	0.52499	2.18807	2.71311
127.5	250.6391	0.53565	2.18083	2.71651
130	270.2538	0.54631	2.17365	2.71991
132.5	291.0837	0.55698	2.16632	2.72331
135	313.1771	0.56768	2.15899	2.72654

Source: Calculated from ASME 1967. *Steam Tables. Properties of Saturated and Superheated Steam*—from 0.08865 to 15,500 lb per sq in. absolute pressure. American Society of Mechanical Engineers, NY. Used with permission.

47.3601 Pa - $3.38658 \times 10^{-3} \text{ Pa} \times 3$

Appendix A.3. Saturated Steam Tables—English Units

Temp. °F	Specific Volume (ft ³ /lb)				Enthalpy (BTU/lb)		
	Abs. pressure lb/in. ²	Sat. liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. vapor v_g	Sat. liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. vapor h_g
32	0.08859	0.016022	3304.7	3304.7	-0.0179	1075.5	1075.5
35	0.09998	0.016020	2950.5	2950.5	3.002	1073.8	1076.8
40	0.12163	0.016019	2445.8	2445.8	8.027	1071.0	1079.0
45	0.14753	0.016020	2039.3	2039.3	13.044	1068.2	1081.2
50	0.17796	0.016023	1704.8	1704.8	18.054	1065.3	1083.4
55	0.21404	0.016027	1384.2	1384.2	23.059	1062.5	1085.6
60	0.25611	0.016033	1207.6	1207.6	28.060	1059.7	1087.7
65	0.30562	0.016041	1022.8	1022.8	33.057	1056.9	1089.9
70	0.36292	0.016050	868.3	868.4	38.052	1054.0	1092.1
75	0.42985	0.016061	740.8	740.8	43.045	1051.3	1094.3
80	0.50683	0.016072	633.3	633.3	48.037	1048.4	1096.4
85	0.59610	0.016085	543.9	543.9	53.028	1045.6	1098.6
90	0.69813	0.016099	468.1	468.1	58.018	1042.7	1100.0
95	0.81567	0.016114	404.6	404.6	63.008	1039.9	1102.9
100	0.94924	0.016130	350.4	350.4	67.999	1037.1	1105.1
105	1.10218	0.016148	304.6	304.6	72.991	1034.3	1107.2
110	1.2750	0.016165	265.4	265.4	77.98	1031.4	1109.3
115	1.4716	0.016184	232.03	232.0	82.97	1028.5	1111.5
120	1.6927	0.016204	203.25	203.26	87.97	1025.6	1113.6
125	1.9435	0.016225	178.66	178.67	92.96	1022.8	1115.7
130	2.2230	0.016247	157.32	157.33	97.96	1019.8	1117.8
135	2.5382	0.016270	138.98	138.99	102.95	1016.9	1119.9
140	2.8892	0.016293	122.98	123.00	107.95	1014.0	1122.0
145	3.2825	0.016317	109.16	109.18	112.95	1011.1	1124.1
150	3.7184	0.016343	97.05	97.07	117.95	1008.2	1126.1
155	4.2047	0.016369	86.53	86.55	122.95	1005.2	1128.2
160	4.7414	0.016395	77.27	77.29	127.96	1002.2	1130.2
165	5.3374	0.016423	69.19	69.20	132.97	999.2	1132.2
170	5.9926	0.016451	62.04	62.06	137.97	996.2	1134.2
175	6.7173	0.016480	55.77	55.79	142.99	993.2	1136.2
180	7.5110	0.016510	50.21	50.22	148.00	990.2	1138.2
185	8.3855	0.016543	45.31	45.33	153.02	987.2	1140.2
190	9.340	0.016572	40.941	40.957	158.04	984.1	1142.1
195	10.386	0.016605	37.078	37.094	163.06	981.0	1144.1
200	11.526	0.016637	33.622	33.639	168.09	977.9	1146.0
205	12.776	0.016707	30.567	30.583	173.12	974.8	1147.8
210	14.132	0.016705	27.822	27.839	178.16	971.6	1149.8
212	14.696	0.016719	26.782	26.799	180.17	970.3	1150.5
220	17.186	0.016775	23.131	23.148	188.23	965.2	1153.4
225	18.921	0.016812	21.161	21.177	193.28	961.9	1155.2
230	20.791	0.016849	19.379	19.396	198.33	958.7	1157.1
235	22.804	0.016887	17.766	17.783	203.39	956.5	1158.9
240	24.968	0.016926	16.304	16.321	208.45	952.1	1160.6
245	27.319	0.016966	14.998	15.015	213.52	948.8	1162.4
250	29.840	0.017006	13.811	13.828	218.59	945.5	1164.1

Appendix A.3. (Continued)

Temp. °F	Specific Volume (ft ³ /lb)				Enthalpy (BTU/lb)		
	Abs. pressure lb/in. ²	Sat. liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. vapor v_g	Sat. liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. vapor h_g
255	32.539	0.017047	12.729	12.747	223.67	942.1	1165.8
260	35.427	0.017089	11.745	11.762	228.76	938.6	1167.4
265	38.546	0.017132	10.858	10.875	233.85	935.2	1169.0
270	41.875	0.017175	10.048	10.065	238.95	931.7	1170.7
275	45.423	0.017219	9.306	9.324	244.06	928.2	1172.2
280	49.200	0.017264	8.627	8.644	249.17	924.6	1173.8
285	53.259	0.017310	8.0118	8.0291	254.32	920.9	1175.3
290	57.752	0.017360	7.4468	7.4641	259.45	917.3	1176.8

Source: Abridged from: ASME 1967. *Steam Tables. Properties of Saturated and Superheated Steam.* American Society of Mechanical Engineers, NY. Used with permission.

Appendix A.2. Properties of Superheated Steam

Absolute Pressure lb _f /in ² (psi)						
Temp. °F	1 psi <i>T_s</i> = 101.74°F		5 psi <i>T_s</i> = 162.24°F		10 psi <i>T_s</i> = 193.21°F	
	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>
	200	392.5	1150.2	78.14	1148.6	38.84
250	422.4	1172.9	84.21	1171.7	41.93	1170.2
300	452.3	1195.7	90.24	1194.8	44.98	1193.7
350	482.1	1218.7	96.25	1218.0	48.02	1217.1
400	511.9	1241.8	102.24	1241.3	51.03	1240.6
450	541.7	1265.1	108.23	1264.7	54.04	1264.1
500	571.5	1288.6	114.21	1288.2	57.04	1287.8
600	631.1	1336.1	126.15	1335.9	63.03	1335.5

Absolute Pressure lb _f /in ² (psi)						
Temp. °F	14.696 psi <i>T_s</i> = 212.00°F		15 psi <i>T_s</i> = 213.03°F		20 psi <i>T_s</i> = 227.96°F	
	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>
	250	28.42	1168.8	27.837	1168.7	20.788
300	30.52	1192.6	29.889	1192.5	22.356	1191.4
350	32.60	1216.3	31.939	1216.2	23.900	1215.4
400	34.67	1239.9	33.963	1239.9	25.428	1239.2
450	36.72	1263.6	35.977	1263.6	26.946	1263.0
500	38.77	1287.4	37.985	1287.3	28.457	1286.9
600	42.86	1335.2	41.986	1335.2	31.466	1334.9

Absolute Pressure lb _f /in ² (psi)						
Temp. °F	25 psi <i>T_s</i> = 240.07°F		30 psi <i>T_s</i> = 250.34°F		35 psi <i>T_s</i> = 259.29°F	
	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>
	250	16.558	1165.6			
300	17.829	1190.2	14.810	1189.0	12.654	1187.8
350	19.076	1214.5	15.589	1213.6	12.562	1212.7
400	20.307	1238.5	16.892	1237.8	14.453	1237.1
450	21.527	1262.5	17.914	1261.9	15.334	1261.3
500	22.740	1286.4	18.929	1286.0	16.207	1285.5
600	25.153	1334.6	20.945	1334.2	17.939	1333.9

v = specific volume in ft³/lb; *h* = enthalpy in BTU/lb.

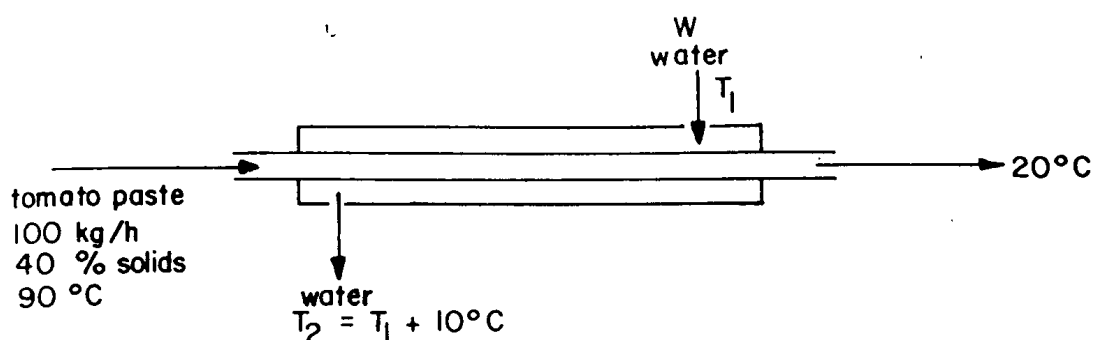
T_s = saturation temperature at the designated pressure.

Source: Abridged from ASME. 1967. *Steam Tables. Properties of Saturated and Superheated Steam*—from 0.08865 to 15,500 lb per sq in. absolute pressure. American Society of Mechanical Engineers, NY. Used with permission.

能量平衡計算與物質平衡相似。進入系統的熱量必須等於留下系統之熱量，或者熱量的輸入 = 熱量的輸出+累積的熱量。在穩定態下，累積量=0，並且熱量進入系統的量必須等於離開系統的量。我們可利用系統繪圖來協助能量平衡的計算。

例子：計算用來冷卻熱交換器的水量，此熱交換系統中，蕃茄醬 100 kg/h 溫度從 90°C 冷卻到 2°C。蕃茄醬含 40% 的固體。水溫在系統中溫度的增加不能超過 10°C。水在熱交換器內不能與材料混合。

解決辦法：



計算離開系統蕃茄醬的熱量：

1. 假設 W = 水進入系統 kg 數
2. q₄ = 殘留系統水的熱量

所以，熱平衡是：

$$q_1 + q_3 = q_2 + q_4$$

從 q₂ 和 q₃ = 0，q₁ 起 = q₄ 和：

熱平衡也可以表示如右：由水取得之熱量 = 蕃茄醬的散熱量

3 例子：計算注入 121.1°C (250°F) 蒸汽用量，使其 $3559 \text{ J}/(\text{kg K})$ 的比熱食物，在直接蒸汽噴射器中，將食物由 4.44°C (40°F) 加熱到 82.2°C (180°F)。

解決辦法：

