

Termodinâmica e Estrutura da Matéria

(LEGM, MEC)

2013-2014

Problemas – Aula 6

Carlos Augusto Santos Silva
carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt

Versão 1.0
6-4-2014

Ciclo de vapor

Problema 1

Considere um ciclo de Rankine ideal em que o fluido de trabalho é água. Os parâmetros de operação mais relevantes são:

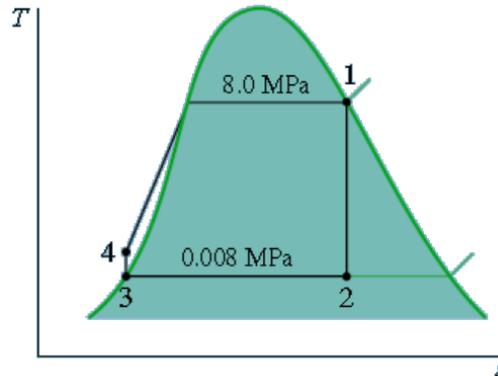
- à entrada da turbina, a água está no estado de vapor saturado a 8MPa;
- à saída do condensador está no estado de líquido saturado a 0,08 Mpa;
- à saída da bomba, a entalpia é 181,94 kJ/kg
- o trabalho da bomba é de 844 kW
- o caudal do ciclo é de $3,77 \times 10^5$ kg/h de vapor
- a água do rio utilizada no condensador entra a 15°C e sai a 35°C;

- a) Represente o ciclo no diagrama Ts.
- b) Calcule o rendimento do ciclo
- c) Calcule a potência da turbina
- d) Calcule a potência da caldeira

Soluções**Problema 1**

Solução:

- a) Assumindo que o ciclo de Rankine é ideal, os processos de expansão da turbina e de compressão na bomba são isentrópicos, logo:



- b) O rendimento do ciclo de Rankine é dado pela expressão

$$\eta = 1 - \frac{h_2 - h_3}{h_4 - h_1}$$

Das tabelas de vapor directamente temos que

$$T_{\text{saturação}}(P = 80 \text{ kPa}) = 93,5^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{saturação}}(P = 8 \text{ MPa}) = 295,1^\circ\text{C}$$

O cálculo da entalpia nos diversos pontos pode ser feito da seguinte maneira:

- h_1 e h_3 podem ser tirados directamente da tabela, com h_1 o valor de vapor saturado para $P_1=80\text{MPa}$ e h_3 o valor de líquido saturado para $P_3=0,08\text{MPa}$

$$h_1 = 2758.0 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 173.88 \text{ kJ/kg}$$

- Sabendo que no ponto 2 a água estará em mistura de fase, sabemos que

$$h_2 = h_{ls} + x(h_{vs} - h_{ls})$$

O calculo do título x pode ser calculado da mesma forma, mas utilizando a entropia, pois sabemos que $s_2 = s_1 = 5.7432 \text{ kJ/kg K}$. Então $x = \frac{s_2 - s_{ls}}{s_{vs}} = \frac{5.7432 - 0.5926}{7.6361} = 0,6745 \text{ kJ/kg}$

Finalmente temos que $h_2 = 173.88 + 0,6745 \times (2403.1 - 173,88) = 1677.5 \text{ kJ/kg}$

- $h_4 = 181.94 \text{ kJ/kg}$ é um dado do problema

Assim, temos que $\eta = 1 - \frac{h_2 - h_3}{h_4 - h_1} = 41,6\%$

c) Calcule a potência da turbina

Sabemos que $\frac{W_{turbina}}{\dot{m}} = h_1 - h_2$. Sabendo que $\dot{m} = 3,77 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 3,77 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{3600\text{s}} = 104,72 \text{kg/s}$, então $W_{turbina} = 104,72 \text{kg/s} \times (2758 - 1677,5) \text{kJ/kg} = 113,149 \text{MW}$

d) Calcule a potência da caldeira

Sabemos que $\frac{Q_{caldeira}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$. Sabendo que $\dot{m} = 3,77 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 3,77 \times 10^5 \frac{\text{kg}}{3600\text{s}} = 104,72 \text{kg/s}$, então $Q_{caldeira} = 104,72 \text{kg/s} \times (2758 - 181,94) \text{kJ/kg} = 269,77 \text{MW}$

Anexo

Tabela vapor de água saturado

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1302	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2436.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.33	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.38	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0328	1.139	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	2.50
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	3.00
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	3.50
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8939	4.00
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.25	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	4.50
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	5.00
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	6.00
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	7.00
8.00	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	8.00
9.00	175.4	1.1212	0.2130	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	9.00
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	10.0
15.0	198.3	1.1339	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	15.0
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	20.0
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	6.2575	25.0
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	6.1869	30.0
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	6.1253	35.0
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	40.0
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1116.2	2600.1	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	45.0
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	50.0
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	60.0
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	70.0
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	80.0
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	90.0