

附录

附录 1 常用单位换算表

长度	$1\text{m}=100\text{cm}=3.28084\text{ft}=39.3701\text{in}$ $1\text{ft}=12\text{in}=0.3048\text{m}$
面积	$1\text{m}^2=1\times 10^4\text{cm}^2=10.7639\text{ft}^2=1550.00\text{in}^2$ $1\text{ft}^2=144\text{in}^2=0.0929030\text{m}^2=929.030\text{cm}^2$
体积	$1\text{m}^3=1\times 10^6\text{cm}^3=1\times 10^3\text{dm}^3=35.3147\text{ft}^3=264.172\text{gal}$ $1\text{ft}^3=1728\text{in}^3=0.0283168\text{m}^3=28.3168\text{dm}^3$
密度	$1\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}=1\times 10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}=62.4280\text{lb}\cdot\text{ft}^{-3}=0.0361273\text{lb}\cdot\text{in}^{-3}$ $1\text{lb}\cdot\text{in}^{-3}=1728\text{lb}\cdot\text{ft}^{-3}=27.6799\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
质量	$1\text{kg}=1\times 10^3\text{g}=0.001\text{t}=2.20462\text{lb}$ $1\text{lb}=0.453592\text{kg}=453.592\text{g}$
力	$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}=1\times 10^5\text{dyn}=0.224809\text{lbf}$
压力	$1\text{bar}=1\times 10^5\text{Pa}=1\times 10^5\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}=1\times 10^5\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ $=0.986923\text{atm}=750.061\text{mmHg}=14.5038\text{psi}$ $1\text{atm}=760\text{mmHg}=101.325\text{kPa}=14.6960\text{psi}$
能量	$1\text{J}=1\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}=1\text{N}\cdot\text{m}=1\text{W}\cdot\text{s}=1\times 10^7\text{dyn}\cdot\text{cm}$ $=1\times 10^7\text{erg}=0.238846\text{cal}$
功率	$1\text{kW}=1\times 10^3\text{W}=1\times 10^3\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}=1\times 10^3\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$
温度	$\text{K}=\text{℃}+273.15\text{℃}, \text{℃}=\frac{5}{9}(\text{°F}-32)$ $\text{°R}=\text{°F}+459.67, 1\text{K}=1.8\text{°R}$
气体常数	$R=8.314\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}=8.314\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ $=8.314\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ $=8.314\times 10^{-3}\text{kPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}=8.314\times 10^{-6}\text{MPa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ $=8.314\times 10^{-5}\text{bar}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}=1.987\text{cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ $=82.06\text{atm}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

附录 2 一些物质的基本物性数据表

T_b	正常沸点，K	V_c	临界体积， $\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$			
T_c	临界温度，K	Z_c	临界压缩因子			
p_c	临界压力，MPa	ω	偏心因子			
化合物	T_b	T_c	p_c	V_c	Z_c	ω
烷烃						
甲烷	111.7	190.6	4.600	99	0.288	0.008
乙烷	184.5	305.4	4.884	148	0.285	0.098
丙烷	231.1	369.8	4.246	203	0.281	0.152
正丁烷	272.7	425.2	3.800	255	0.274	0.193
异丁烷	261.3	408.1	3.648	263	0.283	0.176
正戊烷	309.2	469.6	3.374	304	0.262	0.251
异戊烷	301.0	460.4	3.384	306	0.271	0.227
新戊烷	282.6	433.8	3.202	303	0.269	0.197
正己烷	341.9	507.4	2.969	370	0.260	0.296
正庚烷	371.6	540.2	2.736	432	0.263	0.351
正辛烷	398.8	568.8	2.482	492	0.259	0.394
单烯烃						
乙烯	169.4	282.4	5.036	129	0.276	0.085
丙烯	225.4	365.0	4.620	181	0.275	0.148
1-丁烯	266.9	419.6	4.023	240	0.277	0.187
顺-2-丁烯	276.9	435.6	4.205	234	0.272	0.202
反-2-丁烯	274.0	428.6	4.104	238	0.274	0.214
1-戊烯	303.1	464.7	4.053	300	0.31	0.245
顺-2-戊烯	310.1	476	3.648	300	0.28	0.240
反-2-戊烯	309.5	475	3.658	300	0.28	0.237
其他有机化合物						
醋酸	391.1	594.4	5.786	171	0.200	0.454
丙酮	329.4	508.1	4.701	209	0.232	0.309
乙腈	354.8	548	4.833	173	0.184	0.321
乙炔	189.2	308.3	6.140	113	0.271	0.184
丙炔	250.0	402.4	5.624	164	0.276	0.218
1,3-丁二烯	268.7	425	4.327	221	0.270	0.195
异戊二烯	307.2	484	3.850	276	0.264	0.164
环戊烷	322.4	511.6	4.509	260	0.276	0.192
环己烷	353.9	553.4	4.073	308	0.273	0.213
二乙醚	307.7	466.7	3.638	280	0.262	0.281
甲醇	337.8	512.6	8.096	118	0.224	0.559
乙醇	351.5	516.2	6.383	167	0.248	0.635
正丙醇	370.4	536.7	5.168	218.5	0.253	0.624
异丙醇	355.4	508.3	4.762	220	0.248	—
环氧乙烷	283.5	469	7.194	140	0.258	0.200
氯甲烷	248.9	416.3	6.677	139	0.268	0.156

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

化合物	T_b	T_c	p_c	V_c	Z_c	ω
甲乙酮	352.8	535.6	4.154	267	0.249	0.329
苯	353.3	562.1	4.894	259	0.271	0.212
氯苯	404.9	632.4	4.519	308	0.265	0.249
甲苯	383.8	591.7	4.114	316	0.264	0.257
邻二甲苯	417.6	630.2	3.729	369	0.263	0.314
间二甲苯	412.3	617.0	3.546	376	0.26	0.331
对二甲苯	411.5	616.2	3.516	379	0.26	0.324
乙苯	409.3	617.1	3.607	374	0.263	0.301
苯乙烯	418.3	647	3.992	—	—	0.257
苯乙酮	474.9	701	3.850	376	0.250	0.420
氯乙烯	259.8	429.7	5.603	169	0.265	0.122
三氯甲烷	334.3	536.4	5.472	239	0.293	0.216
四氯化碳	349.7	556.4	4.560	276	0.272	0.194
甲醛	254	408	6.586	—	—	0.253
乙醛	293.6	461	5.573	154	0.22	0.303
甲酸乙酯	327.4	508.4	4.742	229	0.257	0.283
乙酸甲酯	330.1	506.8	4.691	228	0.254	0.324
单质气体						
氩	87.3	150.8	4.874	74.9	0.291	—0.004
溴	331.9	584	10.34	127	0.270	0.132
氯	238.7	417	7.701	124	0.275	0.073
氦	4.21	5.19	0.227	57.3	0.301	—0.387
氢	20.4	33.2	1.297	65.0	0.305	—0.22
氦	119.8	209.4	5.502	91.2	0.288	—0.002
氟	27.0	44.4	2.756	41.7	0.311	0.00
氮	77.4	126.2	3.394	89.5	0.290	0.040
氧	90.2	154.6	5.046	73.4	0.288	0.021
氙	165.0	289.7	5.836	118	0.286	0.002
其他无机化合物						
氨	239.7	405.6	11.28	72.5	0.242	0.250
二氧化碳	194.7	304.2	7.376	94.0	0.274	0.225
二硫化碳	319.4	552	7.903	170	0.293	0.115
一氧化碳	81.7	132.9	3.496	93.1	0.295	0.049
肼	386.7	653	14.69	96.1	0.260	0.328
氯化氢	188.1	324.6	8.309	81.0	0.249	0.12
氰化氢	298.9	456.8	5.390	139	0.197	0.407
硫化氢	212.8	373.2	8.937	98.5	0.284	0.100
一氧化氮	121.4	180	6.485	58	0.25	0.607
一氧化二氮	184.7	309.6	7.245	97.4	0.274	0.160
硫	—	1314	11.75	—	—	0.070
二氧化硫	263	430.8	7.883	122	0.268	0.251
三氧化硫	318	491.0	8.207	130	0.26	0.41
水	373.2	647.3	22.05	56.0	0.229	0.344
R12(CCl_2F_2)	243.4	385.0	4.124	217	0.280	0.176
R22(CHClF_2)	232.4	369.2	4.975	165	0.267	0.215
R134a($\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$)	246.65	374.26	4.068	210	0.275	0.243

附录 3 一些物质的理想气体摩尔热容与温度的关联式系数表

$C_p^{ig}/J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}=A+BT+CT^2+DT^3$

序 号	物 质	A	B×10	C×10 ⁵	D×10 ⁸	温度范围/K
1	甲烷	34.67225	−0.2080306	6.172822	6.577289	100~400
		14.29597	0.7375964	−1.432200	−0.04731941	298~2000
2	乙 烷	34.40750	−0.1828658	33.81380	−24.62178	100~400
		3.581650	1.857462	−7.941638	1.257666	298 2000
3	丙 烷	26.07626	1.680746	−20.81624	60.10377	50 298
		−3.201797	2.999182	−15.20470	3.004944	298 1500
4	正丁烷	13.12029	5.967227	−211.5001	361.0700	50 298
		−0.9928894	3.899435	−20.21698	4.073992	298 1500
5	2-甲基丙烷	20.73325	2.929124	−29.55103	55.67879	50 298
		−9.215425	4.195421	−23.12514	4.963609	298 1500
6	正戊烷	−0.4186859	4.623553	−20.52370	2.462243	298 1000
7	正己烷	−47.65381	5.729725	−27.95255	4.244356	298 1000
8	乙 烯	40.11605	−1.242080	61.28632	−55.38740	100 400
		5.703732	1.438947	−6.728475	1.179194	298 2000
9	丙 烯	30.82947	0.6182860	20.55774	−12.44992	50 400
		3.495261	2.373089	−11.97360	2.345770	298 1500
10	1-丁烯	−2.38188	3.48582	−19.1360	4.12216	298 1500
11	顺-2-丁烯	−7.83722	3.38144	−16.9253	3.22175	298 1500
12	反-2-丁烯	9.213	3.03746	−14.3436	2.54786	298 1500
13	异丁烯	6.88829	3.22498	−16.7152	3.38974	298 1500
14	乙 炔	30.32567	−0.6182798	60.02935	−0.8008357	100 298
		26.72785	0.7030039	−35.75192	0.7141931	298 2000
15	丙 炔	26.89460	0.800913	18.78688	−25.68853	100 400
		14.30519	1.883254	−12.01584	3.343865	298 1000
16	1,3-丁二烯	37.45923	−0.5117091	96.54689	−106.1225	173 423
		−5.83145	3.52938	−23.9762	6.24914	298 1500
17	异戊二烯	6.714132	17.12055	−105.6901	26.71169	273 1000
18	环戊烷	−53.5895	5.42058	−30.2884	6.481	298 1500
19	甲基环戊烷	−50.0737	6.3747	−36.3968	8.00839	298 1500
20	环己烷	−68.79651	6.866229	−37.76614	7.659933	298 1500
21	甲基环己烷	−61.8784	7.83756	−44.3441	9.35927	298 1500
22	苯	−37.9598	4.90093	−32.1173	7.93115	298 1500
23	甲苯	−35.1697	5.62802	−34.9562	8.25332	298 1500
24	乙 苯	−194.3159	29.98787	−204.0013	54.47581	298 1500
25	邻二甲苯	−15.1100	5.92446	−34.1195	7.52844	298 1500

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

序 号	物 质	A	$B\times 10$	$C\times 10^5$	$D\times 10^8$	温度范围/K
26	间二甲苯	-27.8144	6.22759	-36.6214	8.22277	298 1500
27	对二甲苯	-25.7158	6.08672	-34.9244	7.63710	298 1500
28	异丙苯	-40.8951	7.8362	-49.6950	12.0218	298 1500
29	苯乙烯	-28.2261	6.15546	-40.1950	9.92754	298 1500
30	联苯	-86.34073	10.73517	-83.30700	25.08993	298 1000
31	萘	-56.43173	7.772871	-52.01283	12.92711	298 1500
32	四氟化碳	15.03998	1.975245	-15.62914	4.281947	273 1500
33	六氟苯	47.43401	4.399853	-29.18939	7.404203	273 1500
34	氯甲烷	13.13338	1.063626	-4.891671	0.8403160	298 2000
35	三氯甲烷	30.75972	1.477355	-11.41596	3.159348	273 1500
36	四氯化碳	50.95359	1.438356	-12.73582	3.766523	273 1500
37	氯乙烷	6.312233	2.250490	-12.80883	2.840080	273 1500
38	氯乙烯	34.01368	-0.4965605	59.01916	-68.01076	100 298
		10.69507	1.756081	-11.14606	2.720117	298 1500
39	氯苯	-27.94233	5.405975	-44.18848	12.74238	298 1000
40	二氟氯甲烷	34.85166	-0.7725898	99.90308	-171.7309	50 273
		17.77987	1.593842	-11.39425	2.945654	273 1500
41	一氟二氯甲烷	31.86583	-0.0419892	78.50858	-151.6533	50 273
		24.65648	1.536868	-11.46194	3.067410	273 1500
42	三氟氯甲烷	35.66240	-1.229978	166.8737	-308.7060	50 273
		23.81606	1.861729	-15.14592	4.231639	273 1500
43	二氟二氯甲烷	32.13886	-0.3736044	145.2243	-299.0680	50 273
		32.63379	1.734618	-14.50535	4.131666	273 1500
44	一氟三氯甲烷	25.23476	0.9538603	92.22565	-230.5833	50 273
		41.94485	1.587414	-13.64827	3.960379	273 1500
45	1,1,1,2-四氟二氯乙烷	42.09221	3.201441	-26.57752	7.477297	273 1500
46	1,1,2,2-四氟二氯乙烷	40.75317	3.348326	-28.38988	8.101067	273~1500
47	1,1,2-三氟三氯乙烷	62.72124	2.800214	-23.29172	6.575112	273~1500
48	甲醇	34.55877	0.2586618	-4.370158	21.69209	100~298
		14.18429	1.107315	-3.902158	0.3786256	298~1500
49	乙醇	6.731842	2.315286	-12.11626	2.493482	298~1500
50	1-丙醇	14.6222	2.70521	-8.73841	-0.593233	273~1000
51	2-丙醇	-1.63703	3.63969	-21.6163	4.94850	273~1000
52	1-丁醇	14.6739	3.60174	-13.2970	0.147681	273~1000
53	2-丁醇	5.674297	4.278324	-24.16047	5.328512	298~1000
54	2-甲基-2-丙醇	-4.13691	4.78654	-30.811	8.10211	298~1000
55	环己醇	-18.22582	11.69740	-17.65407	11.03591	298~1000
56	乙二醇	17.09008	2.882263	-22.50416	7.406249	298~1000
57	苯酚	-23.68320	5.269296	-36.31185	9.300911	273~1500

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

序 号	物 质	A	$B\times 10$	$C\times 10^5$	$D\times 10^8$	温度范围/K
58	甲醛	20.38458	0.5172782	-0.6719763	0.3543808	298~1500
59	乙醛	13.54634	1.605576	-7.428088	1.266935	298~1500
60	丙酮	9.725871	2.518267	-12.13942	2.193516	273~1500
61	2-丁酮	22.26085	3.134601	-14.66648	2.547500	237~1500
62	3-戊酮	34.88617	3.537945	-11.91604	-0.3250751	298~1000
63	环己酮	-43.97271	6.236097	-34.79249	6.847522	298~1000
64	乙酸	6.302439	10.25723	-56.08083	11.15775	298~1500
65	乙酸乙酯	24.54275	3.288173	-9.926302	1.998997	298~1000
66	乙酸乙烯酯	3.698730	3.848681	-23.30610	5.432677	273~1500
67	环氧乙烷	-7.591119	2.223796	-12.60438	2.612272	298~1000
68	环氧丙烷	-7.963633	3.232345	-19.55647	4.671796	298~1000
69	糠醛	-12.06689	4.598032	-32.44282	8.319859	273~1500
70	苯胺	-19.62613	5.402067	-36.29090	9.122643	273~1500
71	氰化氢	24.77728	0.4450216	-2.490484	0.5914341	298~1500
72	丙烯腈	10.61736	2.209023	-15.68613	4.619728	298~100
73	吡啶	-31.90610	4.529810	-29.92337	7.369153	298~1500
74	氢	5.65145	-4.93817	255.48	-406.799	50~298
		28.6209	0.0092052	-0.0046994	0.073628	298~1500
75	氮	29.10443	0.000012844	-0.0245576	0.1544093	50~298
		29.49170	-0.0476501	1.270622	-0.4793994	298~1500
76	氧	29.0994	0.0099450	-1.22504	4.00973	50~298
		26.0082	0.117472	-0.234106	-0.0561944	298~1500
77	氯	30.05681	-0.3370270	31.64976	-53.65058	50~298
		29.12471	0.2164781	-1.890408	56.45818	298~1500
78	氟化氢	29.89278	-0.03916215	0.5276212	-10.69220	298~1500
79	氯化氢	30.29607	-0.07318282	1.277518	-0.4147906	298~1500
80	水	33.29758	0.00718155	-0.9048465	3.262418	50~298
		32.41502	0.00342214	1.285147	-0.4408350	298~1500
81	一氧化碳	28.99295	0.02092907	-1.207134	2.251953	100~298
		27.48708	0.04248518	0.2508561	-0.1244534	298~2000
82	二氧化碳	30.22930	-0.3934193	33.22238	-41.12567	100~298
		23.05666	0.5687689	-3.182815	0.6387703	289~2000
83	氨	25.33060	0.3493728	-0.1392981	-0.2401729	298~1500
84	一氧化氮	29.19892	-0.00779887	0.9929028	-0.4345549	298~1500
85	二氧化氮	23.05324	0.5827704	-3.473943	0.7569464	298~1500
86	硫化氢	30.46594	0.09005920	1.163007	-0.5695488	298~1500
87	二氧化硫	24.68505	0.6370424	-4.420178	1.099438	298~1500
88	三氧化硫	22.22809	1.211515	-9.036043	2.380730	298~1500
89	二硫化碳	30.35530	0.6479777	-4.952581	1.336095	298~1500

附录 4 一些物质的 Antoine 方程系数表

$$\lg(p^s/\text{kPa})=A-\frac{B}{C+(t/^{\circ}\text{C})}$$

序 号	物 质	A	B	C	温度范围/K	
1	甲烷	5.963551	438.5193	272.2106	91	190
2	乙 烷	6.536453	797.7197	267.1465	111	144
		6.106759	720.7483	264.2263	160	300
3	丙 烷	6.079206	873.8370	256.7609	244	311
		6.809431	1348.283	326.9121	312	368
4	正丁烷	5.996319	963.7846	242.0182	195	273
		6.105086	1025.781	250.8407	294	344
5	2-甲基丙烷	5.958560	917.7420	243.9265	188	262
		6.392945	1177.903	280.7999	294	394
6	正戊烷	5.986606	1069.228	232.5237	269	341
7	正己烷	5.996943	1168.337	223.9891	298	343
8	乙 烯	5.979965	612.5245	257.9652	104	176
		6.402225	800.8744	287.1486	200	282
9	丙 烯	6.088813	8513.585	256.2420	244	311
		6.651058	1185.489	305.1477	273	364
10	1-丁烯	6.163737	1021.787	252.028	216	273
		6.067321	978.6640	247.2605	278	344
11	顺-2-丁烯	5.98552	956.214	236.550	203	296
		6.104010	1017.939	244.7296	278	358
12	反-2-丁烯	5.96335	947.519	238.549	204	283
		6.151555	1042.773	250.6553	278	358
13	异丁烯	5.65432	801.953	226.894	216	273
		6.31695	1118.99	266.563	273	398
14	乙 炔	6.440577	803.4719	266.3992	215	273
15	丙 炔	6.81779	1321.342	301.143	257	402
16	1,3-丁二烯	5.97489	930.546	238.844	213	276
		6.104102	998.7568	248.2482	278	344
17	异戊二烯	6.13677	1126.159	238.884	221	254
		6.01054	1071.578	233.514	254	316
18	乙烯基乙炔	6.07796	956.998	230.0	200	305
19	环戊烷	6.02877	1133.199	232.415	289	323
		6.08918	1174.132	238.286	322	384
20	甲基环戊烷	5.99178	1188.320	226.307	288	346
21	环己烷	5.963708	1201.863	222.7968	278	354
		6.03245	1244.124	228.239	353	414
22	甲基环己烷	5.95366	1273.962	221.755	299	375

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

序 号	物 质	A	B	C	温度范围/K	
23	苯	6.060395	1225.188	222.155	277	356
		6.927418	2037.582	340.2042	379	562
24	甲苯	6.086576	1349.150	219.9785	309	385
		5.999127	1253.273	203.9267	384	594
25	乙苯	6.06991	1416.922	212.434	298	420
		6.36656	1665.991	246.434	457	554
26	邻二甲苯	5.94220	1387.336	206.409	273	323
		6.12699	1476.753	213.911	337	419
27	间二甲苯	6.46290	1641.628	230.899	273	333
		6.13232	1460.805	214.895	332	413
28	对二甲苯	6.14779	1457.767	217.909	286	453
		6.44333	1735.196	253.304	460	553
29	异丙苯	6.05710	1457.715	207.415	343	427
30	苯乙烯	6.18301	1502.162	214.420	303	418
31	α -甲基苯乙烯	6.04856	1486.88	202.40	343	493
32	联苯	6.36895	1997.558	202.608	342	544
33	萘	6.19487	1782.509	207.513	352	500
34	四氟化碳	5.96254	513.129	257.676	89	163
35	六氟苯	6.15785	1227.984	215.491	278	387
36	氯甲烷	6.593506	1178.324	281.3489	253	313
		6.908151	1419.112	317.1036	303	416
37	三氯甲烷	6.07955	1170.966	226.232	263	333
		6.738987	1659.466	291.4915	375	533
38	四氯化碳	5.99114	1202.90	225.14	263	349
39	氯乙烯	6.03896	914.571	240.627	214	273
40	氯苯	6.07963	1419.045	216.633	329	405
41	一氟二氯甲烷	4.30517	284.889	114.819	243	469
42	三氟氯甲烷	5.92806	663.370	250.537	145	192
43	二氟二氯甲烷	6.808166	1320.578	305.4405	253	313
44	三氯氟甲烷	6.156404	1115.842	244.9580	293	469
45	甲醇	7.20587	1582.271	239.726	288	357
		7.313257	1669.678	250.3901	357	513
46	乙醇	7.23710	1592.864	226.184	293	367
		6.937045	1419.051	209.5723	365	514
47	1-丙醇	6.87065	1438.587	198.552	333	378
		6.559055	1270.847	182.5150	405	537
48	2-丙醇	6.86634	1360.183	197.593	325	362
		6.553809	1204.329	183.2025	395	508
49	1-丁醇	6.76666	1460.309	189.211	296	391
		6.371419	1260.215	171.7852	419	563
50	2-丁醇	6.34976	1169.754	169.762	303	403
		6.12622	1050.17	155.342	395	485

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

序 号	物 质	A	B	C	温度范围/K	
51	2-甲基-1-丙醇	7.66006	1950.940	237.147	264	381
		6.352304	1222.855	174.7211	423	548
52	2-甲基-2-丙醇	6.48658	1180.930	180.476	253	356
		6.274007	1082.234	171.5604	376	506
53	环己醇	5.890970	1168.208	139.81	351	457
54	乙二醇	7.13856	2035.185	198.936	348	473
55	甘油	6.971776	2555.005	195.0274	291	341
		5.28991	1036.056	28.097	456	534
56	苯酚	6.70346	1793.899	200.218	344	455
57	乙醛	7.13042	1600.017	291.809	273	308
		5.709053	836.9189	205.7965	308	377
58	丙酮	6.394858	1292.166	238.2409	259	508
59	2-丁酮	6.18846	1261.339	221.969	316	362
60	3-戊酮	6.15019	1310.281	214.192	330	384
61	环己酮	6.5529	1777.7	236.12	299	363
		6.103304	1495.511	209.5517	363	439
62	乙酸	6.59795	1587.182	227.758	304	415
63	乙酸酐	6.27438	1444.718	199.817	336	413
64	乙酸乙酯	6.273958	1269.990	220.4274	271	523
65	二乙醚	6.048988	1061.365	228.0658	250	329
66	甲基叔丁基醚	6.09379	1173.036	231.784	288	351
67	二苯醚	6.628705	2322.604	243.4266	339	477
		6.13594	1797.712	177.744	477	544
68	环氧乙烷	6.25333	1054.542	237.762	224	273
		7.81506	2005.779	334.765	273	305
69	环氧丙烷	6.13933	1086.369	228.594	249	308
		5.532333	794.2347	196.6330	308	345
70	糠醛	6.045833	1400.879	185.5408	338	434
71	苯胺	6.815085	1947.325	222.3707	293	376
		6.445000	1731.515	206.049	376	458
72	氰化氢	6.65313	1329.490	260.418	257	319
73	丙烯腈	4.744708	642.1963	154.7317	293	343
74	氯	6.07922	867.371	246.897	206	270
75	氟化氢	6.80588	1475.60	287.88	206	313
76	氯化氢	6.2925	744.4894	258.7	137	200
77	水	7.074056	1657.459	227.02	280	441
78	氨	6.48537	926.133	240.17	179	261
79	硫化氢	6.11872	768.1323	247.09	190	230
80	二氧化硫	6.40715	999.898	237.18	195	280
81	三氧化硫	8.17575	1735.31	236.50	280	332
82	二硫化碳	6.06769	1169.110	241.593	277	353

附录 5 水的性质表

附录 5.1 饱和水与饱和蒸汽表（按温度排列）

温度 $t/^\circ\text{C}$	压力 p/kPa	比容 $v/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$		气体密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	比焓 $h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$		汽化潜热 $\gamma/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	比熵 $s/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
		液体	气体		液体	气体		液体	气体
0	0.6108	0.0010002	206.3	0.004847	-0.04	2501.6	2501.6	-0.0002	9.1577
5	0.8718	0.0010000	147.2	0.006795	21.01	2510.7	2489.7	0.0762	9.0269
10	1.2270	0.0010003	106.4	0.009396	41.99	2519.9	2477.9	0.1510	8.9020
15	1.7039	0.0010008	77.96	0.01282	62.94	2525.1	2466.1	0.2243	8.7826
20	2.337	0.0010017	57.84	0.01729	83.86	2538.2	2454.3	0.2963	8.6684
25	3.166	0.0010029	43.40	0.02304	104.77	2547.3	2442.5	0.3670	8.5592
30	4.241	0.0010043	32.93	0.03037	125.66	2556.4	2430.7	0.4365	8.4546
35	5.622	0.0010060	25.24	0.03961	146.56	2565.4	2418.8	0.5049	8.3543
40	7.375	0.0010078	19.55	0.05116	167.45	2574.4	2406.9	0.5721	8.2583
45	9.582	0.0010099	15.28	0.06546	188.35	2583.3	2394.9	0.6383	8.1661
50	12.335	0.0010121	12.05	0.08302	209.26	2592.2	2382.9	0.7035	8.0776
55	15.741	0.0010145	9.579	0.1044	230.17	2601.0	2370.8	0.7677	7.9926
60	19.920	0.0010171	7.679	0.1302	251.09	2609.7	2358.6	0.8310	7.9108
65	25.01	0.0010199	6.202	0.1612	272.02	2618.4	2346.3	0.8933	7.8322
70	31.16	0.0010228	5.046	0.1982	292.97	2626.9	2334.0	0.9548	7.7565
75	38.55	0.0010259	4.134	0.2419	313.94	2635.4	2321.5	1.0154	7.6835
80	47.36	0.0010292	3.409	0.2933	334.92	2643.8	2308.8	1.0753	7.6132
85	57.80	0.0010326	2.829	0.3535	355.92	2652.0	2296.5	0.1343	7.5454
90	70.11	0.0010361	2.361	0.4235	376.94	2660.1	2283.2	1.1925	7.4799
95	84.53	0.0010399	1.982	0.5045	397.99	2668.1	2270.2	1.2501	7.4166
100	101.33	0.0010437	1.673	0.5977	419.06	2676.0	2256.9	1.3069	7.3554
105	120.80	0.0010477	1.419	0.7046	440.17	2683.7	2243.6	1.3630	7.2962
110	143.27	0.0010519	1.210	0.8265	461.32	2691.3	2230.0	1.4185	7.2388
115	169.06	0.0010562	1.036	0.9650	482.50	2698.7	2216.2	1.4733	7.1832
120	198.54	0.0010606	0.8915	1.122	503.72	2706.0	2202.2	1.5276	7.1293
125	232.10	0.0010652	0.7702	1.298	524.99	2713.0	2188.0	1.5813	7.0769
130	270.13	0.0010700	0.6681	1.497	564.31	2719.9	2173.6	1.6344	7.0261
135	313.1	0.0010750	0.5818	1.719	567.68	2726.6	2158.9	1.6869	6.9766
140	361.4	0.0010801	0.5085	1.967	589.10	2733.1	2144.0	1.7390	6.9284
145	415.5	0.0010853	0.4460	2.242	610.60	2739.3	2128.7	1.7906	6.8815
150	476.0	0.0010908	0.3924	2.548	632.15	2745.4	2113.2	1.8416	6.8358
155	543.3	0.0010964	0.3464	2.886	653.78	2751.2	2097.4	1.8923	6.9711
160	618.1	0.0011022	0.3068	3.260	675.47	2756.7	2081.3	1.9425	6.7475
165	700.8	0.0011032	0.2724	3.671	697.25	2762.0	2064.8	1.9233	6.7048
170	792.0	0.0011145	0.2426	4.123	719.12	2767.1	2047.9	2.0416	6.6630
175	892.4	0.0011209	0.2165	4.618	741.07	2771.8	2030.7	2.0906	6.6221
180	1002.7	0.0011275	0.1938	5.160	763.12	2776.3	2013.1	2.1393	6.5819

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

温度 <i>t</i> /℃	压力 <i>p</i> /kPa	比容 <i>v</i> /m ³ ·kg ⁻¹		气体密度 <i>ρ</i> /kg·m ⁻³	比焓 <i>h</i> /kJ·kg ⁻¹		汽化潜热 <i>γ</i> /kJ·kg ⁻¹	比熵 <i>s</i> /kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	
		液体	气体		液体	气体		液体	气体
185	1123.3	0.00111344	0.1739	5.752	785.26	2780.4	1995.2	2.1876	6.5424
190	1255.1	0.0011415	0.1563	6.397	807.52	2784.3	1976.7	2.2356	6.5036
195	1398.7	0.0011489	0.1408	7.100	829.88	2787.8	1957.9	2.2833	6.4654
200	1554.9	0.0011565	0.1272	7.864	852.37	2790.9	1938.6	2.3307	6.4278
210	1907.7	0.0011726	0.1042	9.593	897.74	2796.2	1898.5	2.4247	6.3539
220	2319.8	0.0011900	0.08604	11.62	943.67	2799.9	1856.2	2.5178	6.2817
230	2797.6	0.0012087	0.07145	14.00	990.26	2802.0	1811.7	2.6102	6.2107
240	3347.8	0.0012291	0.05965	16.76	1037.2	2801.2	1764.6	2.7020	6.1406
250	3977.6	0.0012513	0.05004	19.99	1085.8	2800.4	1714.6	2.7935	6.0708
260	4694.3	0.0012756	0.04213	23.73	1134.9	2796.4	1661.5	2.8848	6.0010
270	5505.8	0.0013025	0.03559	28.10	1185.3	2789.9	1604.6	2.9763	5.9304
280	6420.2	0.0013324	0.03013	33.19	1236.8	2780.4	1543.6	3.0683	5.8586
290	7446.1	0.0013659	0.02554	39.16	1290.0	2767.6	1477.6	3.1611	5.7848
300	8592.7	0.0014041	0.02165	46.19	1345.0	2751.0	1406.0	3.2552	5.7081
310	9870.0	0.0014480	0.01833	54.54	1402.4	2730.0	1327.6	3.3512	5.6278
320	11289	0.0014995	0.01548	64.60	1462.6	2703.7	1241.1	3.4500	5.5423
330	12863	0.0015615	0.01299	76.99	1526.5	2670.2	1143.6	3.5528	5.4490
340	14605	0.0016387	0.01078	92.76	1595.5	2626.2	1030.7	3.6616	5.3427
350	16535	0.0017411	0.008799	113.6	1671.9	2567.7	895.7	3.7800	5.2177
360	18675	0.0018959	0.006940	144.1	1764.2	2485.4	721.3	3.9210	5.0600
370	21054	0.0022136	0.004973	201.1	1890.2	2342.8	452.6	4.1108	4.8144
374.15	22120	0.00317	0.00317	315.5	2107.4	2107.4	0.0	4.4429	4.4429

附录 5.2 饱和水与饱和蒸汽表（按压力排列）

压力 <i>p</i> /kPa	温度 <i>t</i> /℃	比容 <i>v</i> /m ³ ·kg ⁻¹		气体密度 <i>ρ</i> /kg·m ⁻³	比焓 <i>h</i> /kJ·kg ⁻¹		汽化潜热 <i>γ</i> /kJ·kg ⁻¹	比熵 <i>s</i> /kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	
		液体	气体		液体	气体		液体	气体
1.0	6.9828	0.0010001	129.20	0.07739	29.34	2514.4	2485.0	0.1060	8.9760
2.0	17.513	0.0010012	67.01	0.01492	73.46	2533.6	2460.2	0.2607	8.7247
3.0	24.100	0.0010027	45.67	0.02190	101.00	2545.6	2444.6	0.3544	8.5786
4.0	28.983	0.0010040	34.80	0.02873	121.41	2554.5	2433.1	0.4225	8.4755
5.0	32.898	0.0010052	28.19	0.03547	137.77	2561.6	2423.8	0.4763	8.3965
6.0	36.183	0.0010064	23.74	0.04212	151.50	2567.5	2416.0	0.5209	8.3312
8.0	41.534	0.0010084	18.10	0.05523	173.86	2577.1	2403.2	0.5925	8.2296
10	45.833	0.0010102	14.67	0.06814	191.83	2584.8	2392.9	0.6493	8.1511
15	53.997	0.0010140	10.02	0.09977	225.97	2599.2	2373.2	0.7549	8.0093
20	60.086	0.0010172	7.560	0.1307	251.45	2609.9	2358.4	0.8321	7.9094
25	64.992	0.0010199	6.204	0.1612	271.99	2618.3	2346.4	0.8932	7.8323
30	69.124	0.0010223	5.229	0.1912	289.30	2625.4	2336.1	0.9441	7.7695
40	75.886	0.0010265	3.993	0.2504	317.65	2636.9	2319.2	1.0261	7.6709
50	81.345	0.0010301	3.240	0.3086	340.56	2646.0	2305.4	1.0912	7.5947

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

压力 p/kPa	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	比容 $v/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$		气体密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	比焓 $h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$		汽化潜热 $\gamma/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	比熵 $s/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
		液体	气体		液体	气体		液体	气体
60	85.954	0.0010333	2.732	0.3661	359.93	2653.6	2293.6	1.1454	7.5327
70	89.959	0.0010361	2.365	0.4229	376.77	2660.1	2283.3	1.1921	7.4804
80	93.512	0.0010387	2.087	0.4792	391.72	2665.8	2274.0	1.2330	7.4352
90	96.713	0.0010412	1.869	0.5350	405.21	2670.9	2265.6	1.2696	7.3954
100	99.632	0.0010434	1.694	0.5904	417.51	2675.4	2257.9	1.3027	7.3598
120	104.81	0.0010476	1.428	0.7002	439.36	2683.4	2244.1	1.3609	7.2984
140	109.32	0.0010513	1.236	0.8088	458.42	2690.3	2231.9	1.4109	7.2465
160	113.32	0.0010547	1.091	0.9165	475.38	2696.2	2220.9	1.45507	7.2017
180	116.93	0.0010579	0.9772	1.023	490.70	2701.5	2210.8	1.4944	7.1622
200	120.23	0.0010608	0.8854	1.129	504.70	2706.3	2201.6	1.5301	7.1268
220	123.27	0.0010636	0.8098	1.235	517.62	2710.6	2193.0	1.5627	7.0949
240	126.09	0.0010663	0.7465	1.340	529.64	2714.5	2184.9	1.5929	7.0657
260	128.73	0.0010688	0.6925	1.444	540.87	2718.2	2177.3	1.6209	7.0389
280	131.20	0.0010712	0.6460	1.548	551.44	2721.1	2170.1	1.6471	7.0140
300	133.54	0.0010735	0.6056	1.651	561.43	2724.7	2163.2	1.6716	6.9906
320	135.75	0.0010757	0.5700	1.754	570.90	2727.6	2156.7	1.6948	6.9693
340	137.86	0.0010779	0.5385	1.857	579.92	2730.3	2150.4	1.7168	6.9489
360	139.86	0.0010799	0.5103	1.960	588.53	2732.9	2144.4	1.7376	6.9297
380	141.78	0.0010819	0.4851	2.062	596.77	2735.3	2138.6	1.7574	6.9116
400	143.62	0.0010839	0.4622	2.163	604.67	2737.6	2133.0	1.7764	6.8943
450	147.92	0.0010885	0.4138	2.417	623.16	2742.9	2119.7	1.8204	6.8547
500	151.84	0.0010928	0.3747	2.669	640.12	2747.5	2107.4	1.8604	6.8192
600	158.84	0.0011009	0.3155	3.170	670.42	2755.5	2085.0	1.9308	6.7575
700	164.96	0.0011082	0.2727	3.667	697.06	2762.0	2064.9	1.9918	6.7052
800	170.41	0.0011150	0.2403	4.162	720.94	2767.5	2046.5	2.0457	6.6596
900	175.36	0.0011213	0.2148	4.655	742.64	2772.1	2029.5	2.0941	6.6192
1000	179.88	0.0011274	0.1943	5.147	762.61	2776.2	2013.6	2.1382	6.5828
1200	187.96	0.0011386	0.1632	6.127	798.43	2782.7	1984.3	2.2161	6.5194
1400	195.04	0.0011489	0.1407	7.106	830.08	2787.8	1957.7	2.2837	6.4651
1600	201.37	0.0011586	0.1237	8.085	858.56	2791.7	1933.2	2.3436	6.4175
1800	207.11	0.0011678	0.1103	9.065	884.58	2794.8	1910.3	2.3976	6.3751
2000	212.37	0.0011766	0.09954	10.05	908.59	2797.2	1888.6	2.4469	6.3367
2200	217.24	0.0011850	0.09065	11.03	930.95	2799.1	1868.1	2.4922	6.3015
2400	221.78	0.0011932	0.08320	12.02	951.93	2800.4	1848.5	2.5343	6.2690
2600	226.04	0.0012011	0.07686	13.01	971.72	2801.4	1829.6	2.5736	6.2387
2800	230.05	0.0012088	0.07139	14.01	990.48	2802.0	1811.5	2.6106	6.2104
3000	233.84	0.0012163	0.06663	15.01	1008.4	2802.3	1793.9	2.6455	6.1837
3200	237.45	0.0012237	0.06244	16.20	1025.4	2802.3	1776.9	2.6786	6.1585
3400	240.88	0.0012310	0.05873	17.03	1041.8	2802.1	1760.3	2.7101	6.1344

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

压力 p/kPa	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	比容 $v/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$		气体密度 $\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	比焓 $h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$		汽化潜热 $\gamma/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	比熵 $s/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
		液体	气体		液体	气体		液体	气体
3600	244.16	0.0012381	0.05541	18.05	1057.6	2801.7	1744.2	2.7401	6.1115
3800	247.31	0.0012451	0.05244	19.07	1072.7	2801.1	1728.4	2.7689	6.0896
4000	250.33	0.0012521	0.04975	20.10	1087.4	2800.3	1712.9	2.7965	6.0685
4500	257.41	0.0012691	0.04404	22.71	1122.1	2797.7	1675.6	2.8612	6.0191
5000	263.91	0.0012858	0.03943	25.36	1154.5	2794.2	1639.7	2.9206	5.9735
5500	269.93	0.0013023	0.03563	28.07	1184.9	2789.9	1605.0	2.9757	5.9309
6000	275.55	0.0013187	0.03244	30.83	1213.7	2785.0	1571.3	3.0273	5.8908
7000	285.79	0.0013513	0.02737	36.53	1267.4	2773.5	1506.0	3.1219	5.8162
8000	294.97	0.0013842	0.02353	42.51	1317.1	2759.9	1442.0	3.2076	5.7471
9000	303.31	0.0014179	0.02050	48.79	1363.7	2744.6	1380.9	3.2867	5.6820
10000	310.96	0.0014526	0.01804	55.43	1408.0	2727.7	1319.7	3.3605	5.6198
11000	318.05	0.0014887	0.01601	62.48	1450.6	2709.3	1258.7	3.4304	5.5595
12000	324.65	0.0015268	0.01428	70.01	1491.8	2689.2	1197.4	3.4972	5.5002
13000	330.83	0.0015672	0.1280	78.14	1532.0	2667.0	1135.0	3.616	5.4408
14000	336.64	0.0016106	0.01150	86.99	1571.6	2642.4	1070.7	3.6242	5.3803
15000	342.13	0.0016579	0.01034	96.71	1611.0	2615.0	1004.0	3.6859	5.3178
16000	347.33	0.0017103	0.009308	107.4	1650.5	2584.9	934.3	3.7471	5.2531
18000	356.96	0.0018399	0.007498	133.4	1734.8	2513.9	779.1	3.8765	5.1128
20000	365.70	0.0020370	0.005877	170.2	1826.5	2418.4	591.9	4.0149	4.9412
21000	369.78	0.0022015	0.005023	199.1	1886.3	2347.6	461.3	4.1048	4.8223
22000	373.69	0.0026714	0.003728	268.3	2011.1	2195.6	184.5	4.2947	4.5799
22120	374.15	0.00317	0.00317	315.5	2107.4	2107.4	0.0	4.4429	4.4429

附录 5.3 未饱和水与过热蒸汽表

（水平粗线之上为未饱和水、粗线之下为过热蒸汽）

$t/^{\circ}\text{C}$	0.1MPa			0.5MPa			1.0MPa		
	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0010002	0.1	—0.0001	0.0010000	0.5	—0.0001	0.0009997	1.0	—0.0001
20	0.0010017	84.0	0.2963	0.0010015	84.3	0.2962	0.0010013	84.8	0.2961
40	0.0010078	167.5	0.5721	0.0010076	167.9	0.5719	0.0010074	168.3	0.5717
50	0.0010121	209.3	0.7035	0.0010119	209.7	0.7033	0.0010117	210.1	0.7030
60	0.0010171	251.2	0.8309	0.0010169	251.5	0.8307	0.0010167	251.9	0.8305
80	0.0010292	335.0	1.0752	0.0010290	335.3	1.0750	0.0010287	335.7	1.0746
100	1.696	2676.1	7.3618	0.0010435	419.6	1.3066	0.0010432	419.7	1.3062
110	1.744	2696.4	7.4152	0.0010517	461.6	1.4182	0.0010514	416.9	1.4178
120	1.793	2716.5	7.4670	0.0010605	503.9	1.5273	0.0010602	504.3	1.5269
130	1.841	2736.5	7.5173	0.0010699	546.5	1.6341	0.0010696	546.8	1.6337
140	1.889	2756.4	7.5662	0.0010800	589.2	1.7388	0.0010796	589.5	1.7383
150	1.936	2776.3	7.6137	0.0010908	632.2	1.8416	0.0010904	632.5	1.8410
160	1.984	2796.2	7.6601	0.3835	2766.4	6.8631	0.0011019	675.7	1.9420

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

$t/^\circ\text{C}$	0.1MPa			0.5MPa			1.0MPa		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
170	2.031	2816.0	7.7053	0.3941	2789.1	6.9149	0.0011143	719.2	2.0414
180	2.078	2835.8	7.7495	0.4045	2811.4	6.9647	0.1944	2776.5	6.5835
190	2.125	2855.6	7.7927	0.4148	2833.4	7.0127	0.2002	2802.0	6.6392
200	2.172	2875.4	7.8349	0.4250	2855.1	7.0592	0.2059	2826.8	6.6922
210	2.219	2895.2	7.8763	0.4350	2876.6	7.1042	0.2115	2851.0	6.7427
220	2.266	2915.0	7.9169	0.4450	2898.0	7.1478	0.2169	2874.6	6.7911
230	2.313	2934.8	7.9567	0.4549	2919.1	7.1903	0.2223	2897.8	6.8377
240	2.359	2954.6	7.9958	0.4647	2940.1	7.2317	0.2276	2920.6	6.8825
250	2.406	2974.5	8.0342	0.4744	2961.1	7.2721	0.2327	2943.0	6.9259
260	2.453	2994.4	8.0719	0.4841	2981.9	7.3115	0.2379	2965.2	6.9680
270	2.499	3014.4	8.1089	0.4938	3002.7	7.3501	0.2430	2987.2	7.0088
280	2.546	3034.4	8.1454	0.5034	3023.4	7.3879	0.2480	3009.0	7.0485
290	2.592	3054.4	8.1813	0.5130	3044.1	7.4250	0.2530	3030.6	7.0873
300	2.639	3074.5	8.2166	0.5226	3064.8	7.4614	0.2580	3052.1	7.1251
320	2.732	3114.8	8.2857	0.5416	3106.1	7.5322	0.2678	3094.9	7.1984
340	2.824	3155.3	8.3529	0.5606	3174.4	7.6008	0.2776	3137.4	7.2689
350	2.871	3175.6	8.3858	0.5701	3168.1	7.6343	0.2824	3158.5	7.3031
360	2.917	3196.0	8.4183	0.5795	3188.8	7.6673	0.2873	3179.7	7.3368
380	3.010	3237.0	8.4820	0.5984	3230.4	7.7319	0.2969	3222.0	7.4027
400	3.102	3278.2	8.5442	0.6172	3272.1	7.7948	0.3065	3264.4	7.4665
450	3.334	3382.4	8.6934	0.6640	3377.2	7.9454	0.3303	3370.8	7.6190
500	3.565	3488.1	8.8348	0.7108	3483.8	8.0879	0.3540	3478.3	7.7627
550	3.797	3595.6	8.9695	0.7574	3591.8	8.2233	0.3775	3587.1	7.8991
600	4.028	3704.8	9.0982	0.8039	3701.5	8.3526	0.4010	3697.4	8.0292
650	4.259	3815.7	9.2217	0.8504	3812.8	8.4766	0.4244	3809.3	8.1537
700	4.490	3928.2	9.3405	0.8968	3925.8	8.5957	0.4477	3922.7	8.2734
750	4.721	4042.5	9.4549	0.9432	4040.3	8.7105	0.4710	4037.6	8.3885
800	4.952	4158.3	9.5654	0.9896	4156.4	8.8213	0.4943	4154.1	8.4997

$t/^\circ\text{C}$	2.5MPa			5.0MPa			7.6MPa		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0009990	2.5	-0.0000	0.0009977	5.1	0.0002	0.0009964	7.7	0.0004
20	0.0010006	86.2	0.2958	0.0009995	88.6	0.2952	0.0009983	91.0	0.2947
40	0.0010067	169.7	0.5711	0.0010056	171.9	0.5702	0.0010045	174.2	0.5691
50	0.0010110	211.4	0.7023	0.0010099	213.5	0.7012	0.0010087	215.8	0.7000
60	0.0010160	253.2	0.8297	0.0010149	255.3	0.8283	0.0010137	257.4	0.8269
80	0.0010280	336.9	1.0736	0.0010268	338.8	1.0720	0.0010256	340.9	1.0703
100	0.0010425	420.9	1.3050	0.0010412	422.7	1.3030	0.0010398	424.7	1.3010
120	0.0010593	505.3	1.5255	0.0010579	507.1	1.5232	0.0010564	508.9	1.5200
140	0.0010787	590.5	1.7368	0.0010771	592.1	1.7342	0.0010754	593.8	1.7315
150	0.0010894	633.4	1.8394	0.0010877	635.0	1.8366	0.0010859	636.6	1.8338
160	0.0011008	676.6	1.9402	0.0010990	678.1	1.9373	0.0010971	679.6	1.9343

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

$t/^{\circ}\text{C}$	2.5MPa			5.0MPa			7.6MPa		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
180	0.0011262	763.9	2.1372	0.0011241	765.2	2.1339	0.0011219	766.5	2.1304
200	0.0011555	852.8	2.3292	0.0011530	853.8	2.3253	0.0011504	854.9	2.3213
220	0.0011897	943.7	2.5175	0.0011866	944.4	2.5129	0.0011834	945.2	2.5082
230	0.08163	2820.1	6.2920	0.0012056	990.7	2.6057	0.0012020	991.3	2.6006
240	0.08436	2850.5	6.3517	0.0012264	1037.8	2.6984	0.0012224	1038.1	2.6928
250	0.08699	2879.5	6.4077	0.0012494	1085.8	2.7910	0.0012448	1085.8	2.7848
260	0.08951	2907.4	6.4605	0.0012750	1134.9	2.8840	0.0012696	1134.5	2.8771
270	0.09196	2934.2	6.5104	0.04053	2818.9	6.0192	0.0012973	1184.5	2.9701
280	0.09433	2960.3	6.5584	0.04222	2856.9	6.0886	0.0013289	1236.2	3.0643
290	0.09665	2985.7	6.6034	0.04380	2892.2	6.1519	0.0013654	1289.9	3.1605
300	0.09893	3010.3	6.6407	0.04530	2925.5	6.2105	0.02620	2808.8	5.8053
310	0.10115	3034.7	6.6890	0.04673	2957.0	6.2651	0.02752	2854.0	5.9285
320	0.10335	3058.6	6.7296	0.04810	2987.2	6.3163	0.02873	2895.0	5.9982
330	0.10551	3082.1	6.7689	0.04942	3016.1	6.3647	0.02985	2932.9	6.0615
340	0.10764	3105.4	6.8071	0.05070	3044.1	6.4106	0.03090	2968.2	6.1196
350	0.10975	3128.2	6.8442	0.05194	3071.2	6.4545	0.03190	3001.6	6.1737
360	0.11184	3151.0	6.8802	0.05316	3097.6	6.4966	0.03286	3033.4	6.2243
370	0.11391	3173.6	6.9158	0.05435	3123.4	6.5371	0.03378	3063.9	2.2721
380	0.11597	3196.1	6.9505	0.05551	3148.8	6.5762	0.03467	3093.3	6.3174
390	0.11801	3218.4	6.9845	0.05666	3173.7	6.6140	0.03554	3121.8	6.3607
400	0.12004	3240.7	7.0178	0.05779	3198.3	6.6508	0.03638	3149.6	6.4022
410	0.12206	3262.9	7.0505	0.05891	3222.5	6.6866	0.03720	3176.6	6.4422
430	0.12607	3307.1	7.1143	0.06110	3270.4	6.7556	0.03880	3229.2	6.5181
450	0.13004	3351.3	7.1763	0.06325	3317.5	6.8217	0.04035	3280.3	6.5896
500	0.13987	3461.7	7.3240	0.06849	3433.7	6.9770	0.04406	3403.5	6.7545
550	0.14958	3572.9	7.4633	0.07360	3549.0	7.1215	0.04760	3523.7	6.9051
600	0.15921	3685.1	7.5956	0.07862	3664.5	7.2578	0.05105	3642.9	7.0457
650	0.16876	3798.6	7.7220	0.08356	3780.7	7.3872	0.05441	3762.1	7.1784
700	0.17826	3913.4	7.8431	0.08845	3897.9	7.5108	0.05772	3881.7	7.3046
750	0.18772	4029.5	7.9395	0.09329	4016.1	7.6292	0.06099	4002.1	7.4252
800	0.19714	4147.0	8.0716	0.09809	4135.3	7.7431	0.06421	4123.2	7.5408

$t/^{\circ}\text{C}$	10.0MPa			12.5MPa			15.0MPa		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0009953	10.1	0.0005	0.0009946	12.6	0.0006	0.0009928	15.1	0.0007
20	0.0009972	93.2	0.2942	0.0009961	95.6	0.2936	0.0009950	97.9	0.2931
40	0.0010034	176.3	0.5682	0.0010023	178.5	0.5672	0.0010013	180.7	0.5663
50	0.0010077	217.8	0.6989	0.0010066	220.0	0.6977	0.0010055	222.1	0.6966
60	0.0010127	259.4	0.8257	0.0010116	261.5	0.8243	0.0010105	263.6	0.8230
80	0.0010245	342.8	1.0687	0.0010233	344.8	1.0671	0.0010221	346.8	1.0655
100	0.0010386	426.5	0.2992	0.0010374	428.4	1.2973	0.0010361	430.3	1.2954
120	0.0010551	510.6	0.5188	0.0010537	512.4	1.5166	0.0010523	514.2	1.5144

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

$t/^\circ\text{C}$	10.0MPa			12.5MPa			15.0MPa		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
140	0.0010739	595.4	7.7291	0.0010724	597.1	1.7266	0.0010709	598.7	1.7241
150	0.0010843	638.1	1.8312	0.0010827	639.7	1.8285	0.0010811	641.3	1.8259
160	0.0010954	681.0	1.9315	0.0010937	682.5	1.9287	0.0010919	684.0	1.9258
180	0.0011199	767.8	2.1272	0.0011179	769.1	2.1240	0.0011159	770.4	2.1208
200	0.0011480	855.9	2.3176	0.0011456	857.0	2.3139	0.0011748	858.1	2.3102
220	0.0011805	945.9	2.5039	0.0011776	946.7	2.4996	0.0011748	947.6	2.4953
240	0.0012188	1038.4	2.6877	0.0012151	1038.8	2.6825	0.0012115	1039.2	2.6775
250	0.0012406	1085.8	2.7792	0.0012364	1086.0	2.7736	0.0012324	1086.2	2.7681
260	0.0012648	1134.2	2.8709	0.0012600	1134.1	2.8646	0.0012553	1133.9	2.8585
280	0.0013221	1235.0	3.0563	0.0013154	1233.9	3.0481	0.0013090	1232.9	3.0407
300	0.0013979	1343.4	3.2488	0.0013875	1340.6	3.2380	0.0013779	1338.2	3.2277
310	0.0014472	1402.2	3.3505	0.0014336	1398.1	3.3373	0.0014212	1394.5	3.3250
320	0.01926	2783.5	5.7145	0.0014905	1459.7	3.4420	0.0014736	1454.3	3.4267
330	0.02042	2836.5	5.8032	0.01383	2697.2	5.5018	0.0015402	1519.4	3.5355
340	0.02147	2883.4	5.8803	0.01508	2768.7	5.6195	0.0016324	1593.3	3.6571
350	0.02242	2925.8	5.5989	0.01612	2828.0	5.7155	0.01146	2694.8	5.4467
360	0.02331	2964.8	6.0110	0.01704	2879.6	5.7976	0.01256	2770.8	5.5677
370	0.02414	3001.3	6.0682	0.01787	2925.7	5.8698	0.01348	2833.6	5.6662
380	0.02493	3035.7	6.1213	0.01863	2967.6	5.9345	0.01428	2887.7	5.7497
390	0.02568	3068.5	6.1711	0.01934	3006.4	5.9935	0.01500	2935.7	5.8225
400	0.02641	3099.9	6.2182	0.02001	3042.9	6.0481	0.01566	2979.1	5.8876
410	0.02711	3130.3	6.2629	0.02065	3077.5	6.0991	0.01628	3019.3	5.9469
420	0.02779	3159.7	6.3057	0.02126	3110.5	6.1471	0.01686	3057.0	6.0016
430	0.02846	3188.3	6.3467	0.02186	3142.3	6.1927	0.01741	3092.7	6.0528
440	0.02911	3216.2	6.3861	0.02243	3173.1	6.2362	0.01794	3126.9	6.1010
450	0.02974	3243.6	6.4243	0.02299	3203.0	6.2778	0.01845	3159.7	6.1468
470	0.03098	3297.0	6.4971	0.02406	3260.7	6.3565	0.01943	3222.3	6.2322
500	0.03276	3374.6	6.5994	0.02559	3343.3	6.4654	0.02080	3310.6	6.3487
550	0.03560	3499.8	6.7564	0.02799	3474.4	6.6298	0.02291	3448.3	6.5213
600	0.03832	3622.7	6.9013	0.03026	3601.4	6.7796	0.02488	3579.3	6.6764
650	0.04096	3744.7	7.0373	0.03245	3726.6	6.9190	0.02677	3708.3	6.8195
700	0.04355	3866.8	7.1660	0.03457	3851.1	7.0504	0.02859	3835.4	6.9536
750	0.04608	3989.1	7.2886	0.03665	3975.6	7.1752	0.03036	3962.1	7.0806
800	0.04858	4112.0	7.4058	0.03868	4100.3	7.2942	0.03209	4088.6	7.2013
$t/^\circ\text{C}$	20.0MPa			25.0MPa			30.0MPa		
	v	h	s	v	h	s	v	h	s
	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0009904	20.1	0.0008	0.0009881	25.1	0.0009	0.0009857	30.0	0.0008
50	0.0010034	226.4	0.6943	0.0010013	230.7	0.6920	0.0009993	235.0	0.6897
100	0.0010337	434.0	1.2916	0.0010313	437.8	1.2879	0.0010289	441.6	1.2843

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

$t/^\circ\text{C}$	20.0MPa			25.0MPa			30.0MPa		
	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
150	0.0010779	644.5	1.8207	0.0010748	647.7	1.8155	0.0010718	650.9	1.8105
200	0.0011387	860.4	2.3030	0.0011343	862.8	2.2960	0.0011301	865.2	2.2891
220	0.0011693	949.3	2.4870	0.0011640	951.2	2.4789	0.0011590	953.1	2.4710
240	0.0012047	1040.3	2.6677	0.0011983	1041.5	2.6583	0.0011922	1042.8	2.6492
250	0.0012247	1086.7	2.7574	0.0012175	1087.5	2.7472	0.0012107	1088.4	2.7374
260	0.0012466	1134.0	2.8468	0.0012384	1134.2	2.8357	0.0012307	1134.7	2.8250
280	0.0012971	1231.4	3.0262	0.0012863	1230.3	3.0126	0.0012763	1229.7	2.9998
300	0.0013606	1334.3	3.2088	0.0013453	1331.1	3.1916	0.0013316	1328.7	3.1756
320	0.0014451	1445.6	3.3998	0.0014214	1438.9	3.3764	0.0014012	1433.6	3.3556
340	0.0015704	1572.5	3.6100	0.0015273	1558.3	3.5743	0.0014939	1547.7	3.5447
350	0.0016662	1647.2	3.7308	0.0016000	1625.1	3.6824	0.0015540	1610.0	3.6455
360	0.001827	1742.9	3.8835	0.001698	1701.1	3.8036	0.001628	1678.0	3.7541
370	0.006908	2527.6	5.1117	0.001852	1788.8	3.9411	0.001728	1749.0	3.8653
380	0.008246	2660.2	5.3165	0.002240	1941.0	4.1757	0.001874	1837.7	4.0021
390	0.009181	2749.3	5.4520	0.004609	2391.3	4.8599	0.002144	1959.1	4.1865
400	0.009947	2820.5	5.5585	0.006014	2582.0	5.1455	0.002831	2161.8	4.4896
410	0.01061	2880.4	5.6470	0.006887	2691.3	5.3069	0.003956	2394.5	4.8329
420	0.01120	2932.9	5.7232	0.007580	2774.1	5.4271	0.004921	2558.0	5.0706
430	0.01174	2980.2	5.7910	0.008172	2842.5	5.5252	0.005643	2668.8	5.2295
440	0.01224	3023.7	5.8523	0.008696	2901.7	5.6087	0.006227	2754.0	5.3499
450	0.01271	3064.3	5.9089	0.009171	2954.3	5.6821	0.006735	2825.6	5.4495
460	0.01315	3102.7	5.9616	0.009609	3002.3	5.7479	0.007189	2887.7	5.5349
470	0.01358	3139.2	6.0112	0.01002	3046.7	5.8082	0.007602	2943.3	5.6102
480	0.01399	3174.4	6.0581	0.01041	3088.5	5.8640	0.007985	2993.9	5.6779
490	0.01439	3208.3	6.1028	0.01078	3128.1	5.9162	0.008343	3040.9	5.7398
500	0.01477	3241.1	6.1456	0.01113	3165.9	5.9655	0.008681	3085.0	5.7972
520	0.01551	3304.2	6.2262	0.01180	3237.5	6.0568	0.009310	3166.6	5.9014
540	0.01621	3364.7	6.3015	0.01242	3304.7	6.1405	0.009890	3241.7	5.9949
550	0.01655	3394.1	6.3374	0.01272	3337.0	6.1801	0.01017	3277.4	6.0386
560	0.01688	3423.0	6.3724	0.01301	3368.7	6.2183	0.01043	3312.1	6.0805
580	0.01753	3479.5	6.4398	0.01358	3430.2	6.2913	0.01095	3378.9	6.1597
600	0.01816	3535.5	6.5043	0.01413	3489.9	6.3604	0.01144	3443.0	6.2340
620	0.01878	3590.3	6.5663	0.01465	3548.1	6.4263	0.01191	3505.0	6.3042
650	0.01967	3671.1	6.6554	0.01542	3633.4	6.5203	0.01258	3595.0	6.4033
680	0.02054	3751.0	6.7405	0.01615	3716.9	6.6093	0.01323	3682.4	6.4966
700	0.02111	3803.8	6.7953	0.01663	3771.9	6.6664	0.01365	3739.7	6.5560
720	0.02167	3856.4	6.8488	0.01710	3826.5	6.7219	0.01406	3796.3	6.6136
750	0.02250	3935.0	6.9267	0.01779	3907.7	6.8025	0.01465	3880.3	6.6970
800	0.02385	4065.3	7.0511	0.01891	4041.9	6.9306	0.04562	4018.5	6.8288

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

$t/^\circ\text{C}$	35.0MPa			40.0MPa			45.0MPa		
	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v $/\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s $/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0009834	34.9	0.0007	0.0009811	39.7	0.0004	0.0009879	44.6	0.0001
50	0.0009973	239.2	0.6874	0.0009953	243.5	0.6852	0.0009933	247.7	0.6829
100	0.0010266	445.4	1.2807	0.0010244	449.2	1.2771	0.0010222	453.0	1.2736
150	0.0010689	654.2	1.8056	0.0010660	657.4	1.8007	0.0010632	660.7	1.7959
200	0.0011260	867.7	2.2824	0.0011220	870.2	2.2759	0.0011182	872.8	2.2695
220	0.0011542	955.1	2.4634	0.0011495	957.2	2.4560	0.0011450	959.4	2.4488
240	0.0011863	1044.2	2.6405	0.0011808	1045.8	2.6320	0.0011754	1047.5	2.6238
250	0.0012042	1089.5	2.7279	0.0011981	1090.8	2.7188	0.0011922	1092.1	2.7100
260	0.0012235	1135.4	2.8148	0.0012166	1136.3	2.8050	0.0012102	1137.3	2.7955
280	0.0012670	1277.5	3.0741	0.0012819	1276.8	3.0614	0.0012727	1276.5	3.0494
300	0.0013191	1326.8	3.1608	0.0013077	1325.4	3.1469	0.0012972	1324.4	3.1337
320	0.0013835	1429.4	3.3367	0.0013677	1425.9	3.3193	0.0013535	1423.2	3.3032
340	0.0014666	1539.5	3.5192	0.0014434	1532.9	3.4965	0.0014233	1527.5	3.4760
350	0.0015186	1598.7	3.6149	0.0014896	1589.7	3.5885	0.0014651	1582.4	3.5649
360	0.001580	1662.3	3.7166	0.001542	1650.5	3.6856	0.001512	1641.3	3.6590
370	0.001656	1725.5	3.8156	0.001605	1709.0	3.7774	0.001566	1696.6	3.7457
380	0.001754	1799.9	3.9304	0.001682	1776.4	3.8814	0.001630	1759.7	3.8430
390	0.001892	1886.3	4.0617	0.001779	1805.7	3.9942	0.001706	1827.4	3.9459
400	0.002111	1993.1	4.2214	0.001909	1934.1	4.1190	0.001801	1900.6	4.0554
410	0.002494	2133.1	4.4278	0.002095	2031.2	4.2621	0.001924	1981.0	4.1739
420	0.003082	2296.7	4.6656	0.002371	2145.7	4.4285	0.002088	2070.6	4.3042
430	0.003761	2450.6	4.8861	0.002749	2272.8	4.6105	0.002307	2170.4	4.4471
440	0.004404	2577.2	5.0649	0.003200	2399.4	4.7893	0.002587	2277.0	4.5977
450	0.004956	2676.4	5.2031	0.003675	2515.6	4.9511	0.002913	2384.2	4.7469
460	0.005430	2758.0	5.3151	0.004137	2617.1	5.0906	0.003266	2486.4	4.8874
470	0.005854	2828.2	5.4103	0.004560	2704.4	5.2089	0.003626	2580.8	5.0152
480	0.006239	2890.4	5.4934	0.004941	2779.8	5.3097	0.003982	2667.5	5.1312
490	0.006594	2946.6	5.5676	0.005291	2946.5	5.3977	0.004315	2744.7	5.2330
500	0.006925	2998.3	5.6349	0.005616	2906.8	5.4762	0.004625	2813.5	5.3226
520	0.007532	3091.8	5.7543	0.006205	3013.7	5.6128	0.005190	2933.8	5.4763
540	0.008083	3176.0	5.8592	0.006735	3108.0	5.7302	0.005698	3038.5	5.6066
550	0.008342	3215.4	5.9074	0.006982	3151.6	5.7835	0.005934	3086.5	5.6654
560	0.008592	3253.5	5.9534	0.007219	3193.4	5.8340	0.006161	3132.2	5.7206
580	0.009069	3326.2	6.0396	0.007667	3272.4	5.9276	0.006587	3217.9	5.8222
600	0.009519	3395.1	6.1194	0.008088	3346.4	6.0135	0.006984	3297.4	5.9143
620	0.009949	3461.1	6.1942	0.008487	3416.7	6.0931	0.007359	3372.2	5.9990
650	0.01056	3556.1	6.2988	0.009053	3517.0	6.2035	0.007886	3477.8	6.1154
680	0.01115	3647.7	6.3965	0.009588	3612.8	6.3056	0.008382	3577.9	6.2221
700	0.01152	3707.3	6.4584	0.009930	3674.8	6.3701	0.008699	3642.4	6.2800
720	0.01189	3766.1	6.5181	0.01026	3735.7	6.4320	0.009006	3705.5	6.3532
750	0.01242	3852.9	6.6043	0.01075	3825.5	6.5210	0.009452	3798.1	6.4451
800	0.01327	3995.1	6.7400	0.01152	3971.7	6.6606	0.01016	3948.4	6.5885

附录 6 R134a 的性质表

附录 6.1 R134a 饱和液体与蒸气的热力学性质表

温度 t /℃	压力 p /kPa	密度 ρ /kg·m ⁻³		比焓 h /kJ·kg ⁻¹		比熵 s /kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹		质量定容热容 C_V /kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹		质量定压热容 C_p /kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹		表面张力 σ /N·m ⁻¹
		液体	气体	液体	气体	液体	气体	液体	气体	液体	气体	
—40	52	1414	2.8	0.0	223.3	0.000	0.958	0.667	0.646	1.129	0.742	0.0177
—35	66	1399	3.5	5.7	226.4	0.024	0.951	0.696	0.659	1.154	0.758	0.0169
—30	85	1385	4.4	11.5	229.6	0.048	0.945	0.722	0.672	1.178	0.774	0.0161
—25	107	1370	5.5	17.5	232.7	0.073	0.940	0.746	0.685	1.202	0.791	0.0154
—20	133	1355	6.8	23.6	235.8	0.097	0.935	0.767	0.698	1.227	0.809	0.0146
—15	164	1340	8.3	29.8	238.8	0.121	0.931	0.086	0.712	1.250	0.828	0.0139
—10	201	1324	10.0	36.1	241.8	0.145	0.927	0.803	0.726	1.274	0.847	0.0132
—5	243	1308	12.1	42.5	244.8	0.169	0.924	0.817	0.740	1.297	0.868	0.0124
0	293	1292	14.4	49.1	247.8	0.193	0.921	0.830	0.755	1.320	0.889	0.0117
5	350	1276	17.1	55.8	250.7	0.217	0.918	0.840	0.770	1.343	0.912	0.0110
10	415	1259	20.2	62.6	253.5	0.241	0.916	0.849	0.785	1.365	0.936	0.0103
15	489	1242	23.7	69.4	256.3	0.265	0.914	0.857	0.800	1.388	0.962	0.0096
20	572	1224	27.8	76.5	259.0	0.289	0.912	0.863	0.815	1.411	0.990	0.0089
25	666	1206	32.3	83.6	261.6	0.313	0.910	0.868	0.831	1.435	1.020	0.0083
30	771	1187	37.5	90.8	264.2	0.337	0.908	0.872	0.847	1.460	1.053	0.0076
35	887	1167	43.3	98.2	266.6	0.360	0.907	0.875	0.863	1.486	1.089	0.0069
40	1017	1147	50.0	105.7	268.8	0.384	0.905	0.878	0.879	1.514	1.130	0.0063
45	1160	1126	57.5	113.3	271.0	0.408	0.904	0.881	0.896	1.546	1.177	0.0056
50	1318	1103	66.1	121.0	272.9	0.432	0.902	0.883	0.914	1.581	1.231	0.0050
55	1491	1080	75.9	129.0	274.7	0.456	0.900	0.886	0.932	1.621	1.295	0.0044
60	1681	1055	87.2	137.1	276.1	0.479	0.897	0.890	0.950	1.667	1.374	0.0038
65	1888	1028	100.2	145.3	277.3	0.504	0.894	0.895	0.970	1.724	1.473	0.0032
70	2115	999	115.5	153.9	278.1	0.528	0.890	0.901	0.991	1.794	1.601	0.0027
75	2361	967	133.6	162.6	278.4	0.553	0.885	0.910	1.014	1.884	1.776	0.0022
80	2630	932	155.4	171.8	278.0	0.578	0.879	0.922	1.039	2.011	2.027	0.0016
85	2923	893	182.4	181.3	276.8	0.604	0.870	0.937	1.060	2.204	2.408	0.0012
90	3242	847	216.9	191.6	274.5	0.631	0.860	0.958	1.097	3.554	3.056	0.0007
95	2590	790	264.5	203.1	270.4	0.662	0.844	0.988	1.131	3.424	4.483	0.0003
100	2971	689	353.1	219.3	260.4	0.704	0.814	1.044	1.168	10.793	14.807	0.0000

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

附录 6.2 R134a 过热蒸气热力学性质表

温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 ρ / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	比焓 h / $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	比熵 s / $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	质量定容热容 C_V / $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	质量定压热容 C_p / $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
-26.1 [*]	1373.16	16.2	0.067	0.741	1.197
-26.1 ⁺	5.26	232.0	0.941	0.682	0.787
-25.0	5.23	232.9	0.944	0.684	0.788
-20.0	5.11	236.8	0.960	0.691	0.794
-15.0	5.00	240.8	0.976	0.699	0.799
-10.0	4.89	244.8	0.991	0.706	0.805
-5.0	4.79	248.9	1.006	0.714	0.811
0.0	4.69	252.9	1.021	0.722	0.818
5.0	4.59	257.0	1.036	0.730	0.825
10.0	4.50	261.2	1.051	0.738	0.831
15.0	4.42	265.3	1.066	0.746	0.838
20.0	4.34	269.6	1.080	0.754	0.846
25.0	4.26	273.8	1.095	0.762	0.853
30.0	4.18	278.1	1.109	0.770	0.860
35.0	4.11	282.4	1.123	0.778	0.867
40.0	4.04	286.8	1.137	0.786	0.875
45.0	3.97	291.1	1.151	0.793	0.882
50.0	3.91	295.6	1.165	0.801	0.890
55.0	3.84	300.0	1.178	0.809	0.897
60.0	3.78	304.6	1.192	0.817	0.905
65.0	3.73	309.1	1.206	0.825	0.912
70.0	3.67	313.7	1.219	0.833	0.920
75.0	3.67	318.3	1.232	0.841	0.927
80.0	3.56	322.9	1.246	0.849	0.935

注：* 饱和液体；+ 饱和蒸汽。

附录 7 氨（NH₃）饱和液态与饱和蒸气的热力学性质表

$t/^\circ\text{C}$	p/kPa	比焓 $h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$		比熵 $s/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$		比容 $v/\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$	
		液体	气体	液体	气体	液体	气体
-60	21.99	-69.5330	1373.19	-0.10909	6.6592	1.4010	3685.08
-55	30.29	-47.5062	1382.01	-0.00717	6.5454	1.4126	3474.22
-50	41.03	-25.4342	1390.64	0.09264	6.4382	1.4245	2616.51
-45	54.74	-3.3020	1399.07	0.19049	6.3369	1.4367	1998.91
-40	72.01	18.9024	1407.26	0.28651	6.2410	1.4493	1547.36

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

续表

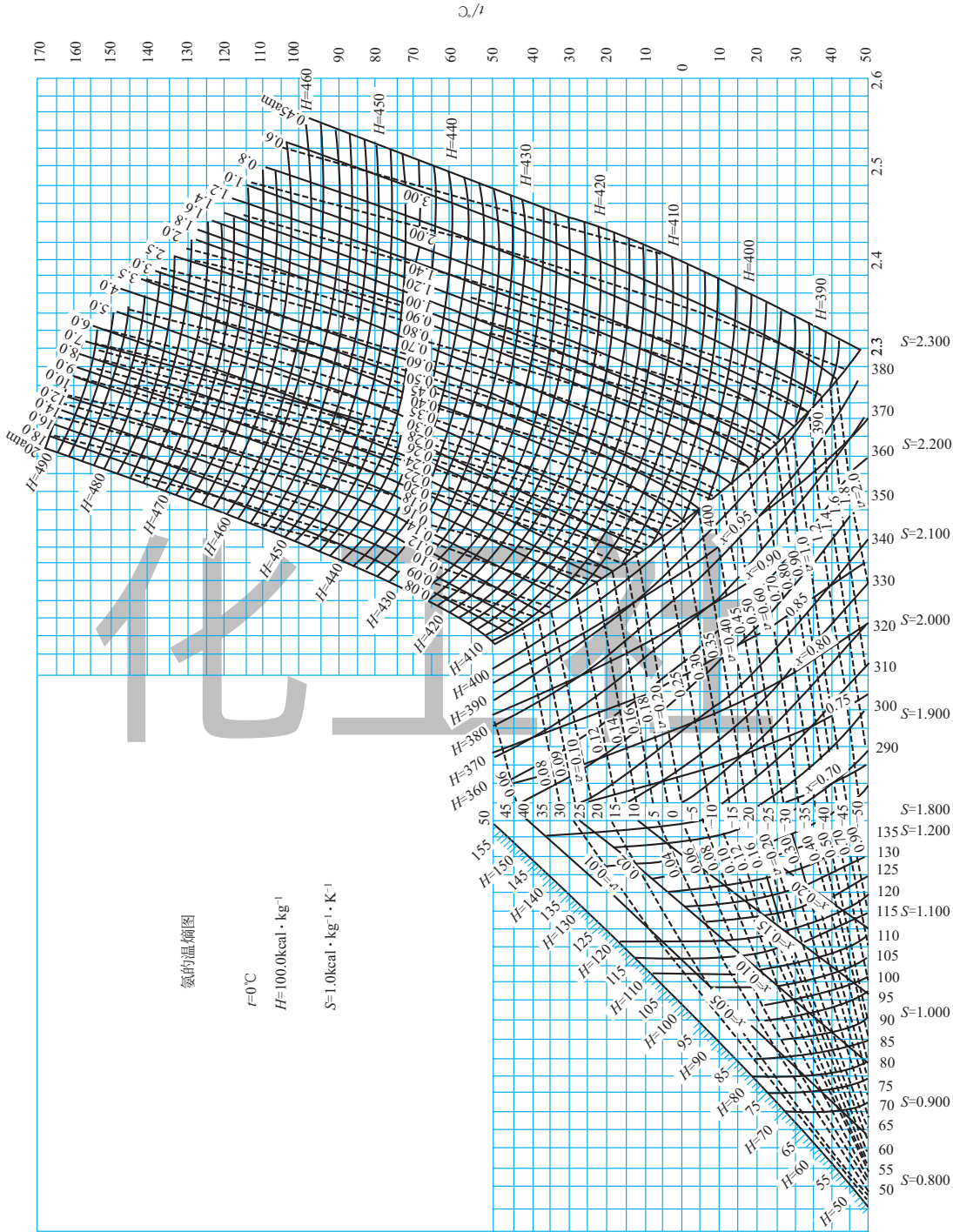
$t/^{\circ}\text{C}$	p/kPa	比焓 $h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$		比熵 $s/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$		比容 $v/\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$	
		液体	气体	液体	气体	液体	气体
-35	93.49	41.1883	1415.20	0.38082	6.1501	1.4623	1212.49
-30	119.90	63.5629	1422.86	0.47351	6.0636	1.4757	960.867
-28	132.20	72.5387	1425.84	0.51015	6.0302	1.4811	878.100
-26	145.11	81.5300	1428.76	0.54655	5.9974	1.4867	803.761
-24	159.22	90.5370	1431.64	0.58272	5.9652	1.4923	736.868
-22	174.41	99.5600	1434.46	0.61865	5.9336	1.4980	676.570
-20	190.74	108.599	1432.23	0.65436	5.9025	1.5037	622.122
-18	208.26	117.656	1439.94	0.68984	5.8720	1.5096	572.875
-16	227.04	126.729	1442.60	0.72511	5.8420	1.5155	528.257
-14	247.14	135.820	1445.20	0.76016	5.8125	1.5215	487.769
-12	268.63	144.929	1447.74	0.79501	5.7835	1.5276	450.971
-10	291.57	154.056	1450.22	0.82965	5.7550	1.5338	417.477
-9	303.60	158.628	1451.44	0.84690	5.7409	1.5369	401.860
-8	316.02	163.204	1452.64	0.86410	5.7269	1.5400	386.944
-7	328.84	167.785	1453.83	0.88125	5.7131	1.5432	372.692
-6	342.07	172.371	1455.00	0.89835	5.6993	1.5464	359.071
-5	355.71	176.962	1456.15	0.91541	5.6856	1.5496	346.046
-4	369.77	181.559	1457.29	0.93242	5.6721	1.5528	333.589
-3	384.26	186.161	1458.42	0.94938	5.6586	1.5561	321.670
-2	399.20	190.768	1459.53	0.96630	5.6453	1.5594	310.263
-1	414.58	195.381	1460.62	0.98317	5.6320	1.5627	299.340
0	430.43	200.000	1461.70	1.00000	5.6189	1.5660	288.880
1	466.74	204.625	1462.76	1.01679	5.6058	1.5694	278.858
2	463.53	209.256	1463.80	1.03354	5.5929	1.5727	269.253
3	480.81	213.892	1464.83	1.05024	5.5800	1.5762	260.046
4	498.59	218.535	1465.84	1.06691	5.5672	1.5796	251.216
5	516.87	223.185	1466.84	1.08353	5.5545	1.5831	242.745
6	535.67	227.841	1467.82	1.10012	5.5419	1.5866	234.618
7	555.00	232.503	1468.78	1.11667	5.5294	1.5901	226.817
8	574.87	237.172	1469.72	1.13317	5.5170	1.5936	219.326
9	595.28	241.848	1470.64	1.14964	5.5046	1.5972	212.132
10	616.25	246.531	1471.57	1.16607	5.4924	1.6008	205.221
11	637.78	251.221	1472.46	1.18246	5.4802	1.5045	198.580
12	659.89	255.918	1473.34	1.19882	5.4681	1.6081	192.196
13	682.59	260.622	1474.20	1.21515	5.4561	1.6118	186.058
14	705.88	265.334	1475.05	1.23144	5.4441	1.6156	180.154
15	729.79	270.053	1475.88	1.24769	5.4322	1.6193	174.475

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

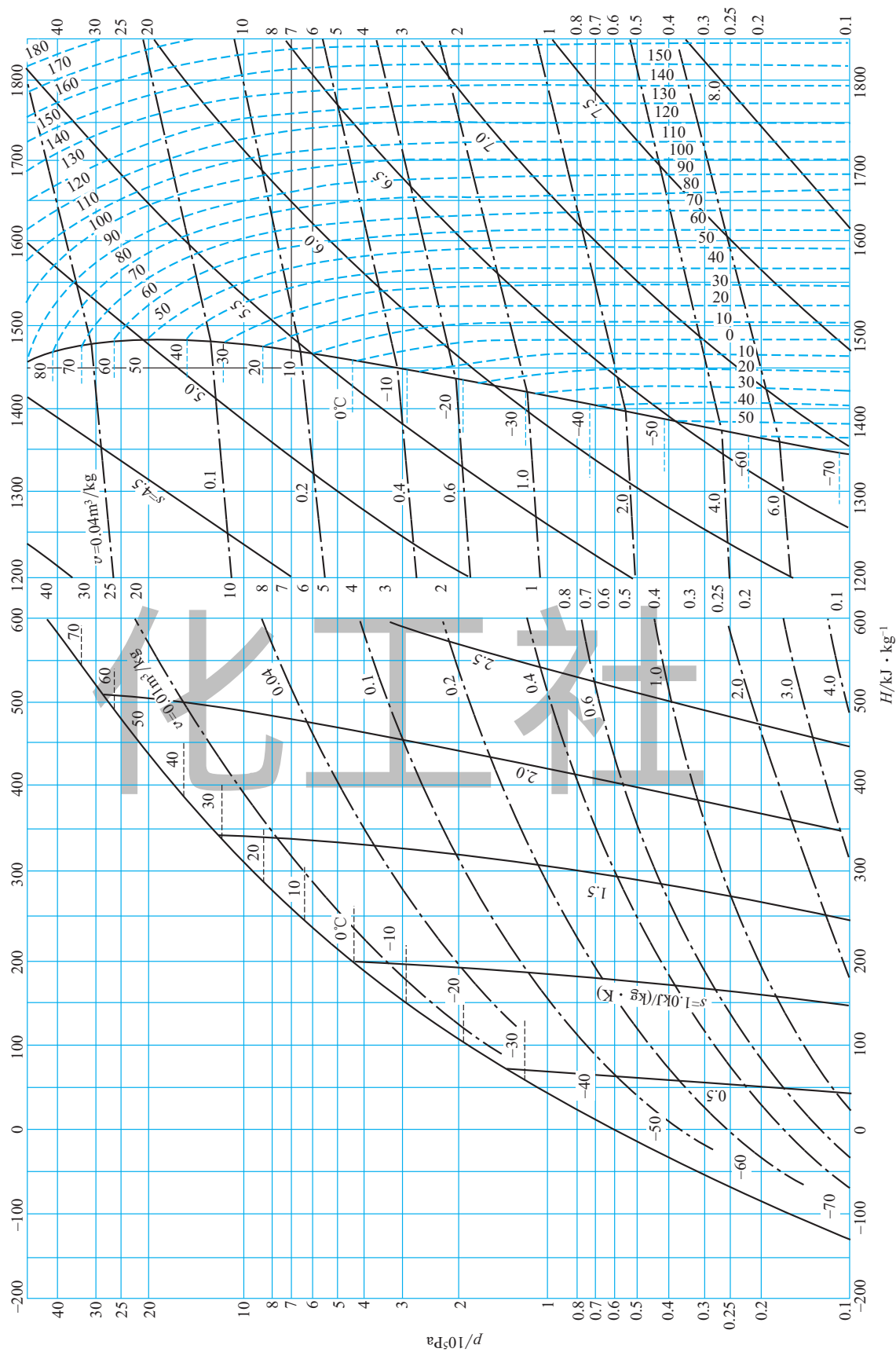
续表

$t/^{\circ}\text{C}$	p/kPa	比焓 $h/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$		比熵 $s/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$		比容 $v/\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$	
		液体	气体	液体	气体	液体	气体
16	754.31	274.779	1476.69	1.26391	5.4204	1.6231	169.009
17	779.46	279.513	1477.48	1.28010	5.4087	1.6269	163.748
18	805.25	284.255	1478.25	1.29626	5.3971	1.6308	158.683
19	831.69	289.005	1479.01	1.31238	5.3855	1.6347	153.804
20	858.79	293.762	1479.75	1.32847	5.3740	1.6386	149.106
21	880.57	298.527	1480.48	1.34452	5.3626	1.6426	144.578
22	915.03	303.300	1481.18	1.36055	5.3512	1.6466	140.214
23	944.18	308.081	1481.87	1.37654	5.3399	1.6507	136.006
24	974.03	312.870	1482.53	1.39250	5.3286	1.6457	131.950
25	1004.6	317.667	1483.18	1.40843	5.3175	1.6588	128.037
26	1035.9	322.471	1483.81	1.42433	5.3063	1.6630	124.261
27	1068.0	327.284	1484.42	1.44020	5.2953	1.6672	120.619
28	1100.7	332.104	1485.01	1.45604	5.2843	1.6714	117.103
29	1134.3	336.933	1485.59	1.47185	5.2733	1.6757	113.708
30	1168.6	341.769	1486.14	1.48762	5.2624	1.6800	110.430
31	1203.7	346.614	1486.67	1.50337	5.2516	1.6844	107.263
32	1239.6	351.466	1487.18	1.51908	5.2408	1.6888	104.205
33	1276.3	356.326	1487.66	1.53477	5.2300	1.6932	101.248
34	1313.9	361.195	1488.13	1.55042	5.2193	1.6977	98.3913
35	1352.2	366.072	1488.57	1.56605	5.2086	1.7023	93.6290
36	1391.5	370.957	1488.99	1.58165	5.1980	1.7069	92.9579
37	1431.5	375.851	1489.39	1.59722	5.1874	1.7115	90.3743
38	1472.4	380.754	1489.76	1.61276	5.1768	1.7162	87.8748
39	1514.3	385.666	1490.10	1.62828	5.1663	1.7209	85.4561
40	1557.0	390.587	1490.42	1.64377	5.1558	1.7257	83.1150
41	1600.6	395.519	1490.71	1.65924	5.1453	1.7305	80.8484
42	1645.1	400.462	1490.98	1.67470	5.1349	1.7354	78.6536
43	1690.6	405.416	1491.21	1.69013	5.1244	1.7404	76.5276
44	1737.0	410.362	1491.41	1.70554	5.1140	1.7454	74.4678
45	1784.3	415.362	1491.58	1.72095	5.1036	1.7504	72.4716
46	1832.6	420.358	1491.72	1.73635	5.0912	1.7555	70.5365
47	1881.9	425.369	1491.83	1.75174	5.0827	1.7607	68.6602
48	1932.2	430.399	1491.98	1.76714	5.0723	1.7659	66.5403
49	1983.3	435.450	1491.91	1.78354	5.0618	1.7710	63.0746
50	2035.9	440.523	1491.89	1.79798	5.0514	1.7766	61.3608
51	2089.1	445.623	1491.83	1.81343	5.0409	1.7820	61.6971
52	2143.6	450.751	1491.73	1.82891	5.0303	1.7875	60.0813
53	2199.1	455.913	1491.58	1.84445	5.0198	1.7931	58.5114
54	2235.6	461.112	1491.38	1.86004	5.0092	1.7987	56.9833
55	2312.2	466.353	1491.12	1.87571	4.9983	1.8044	55.5014

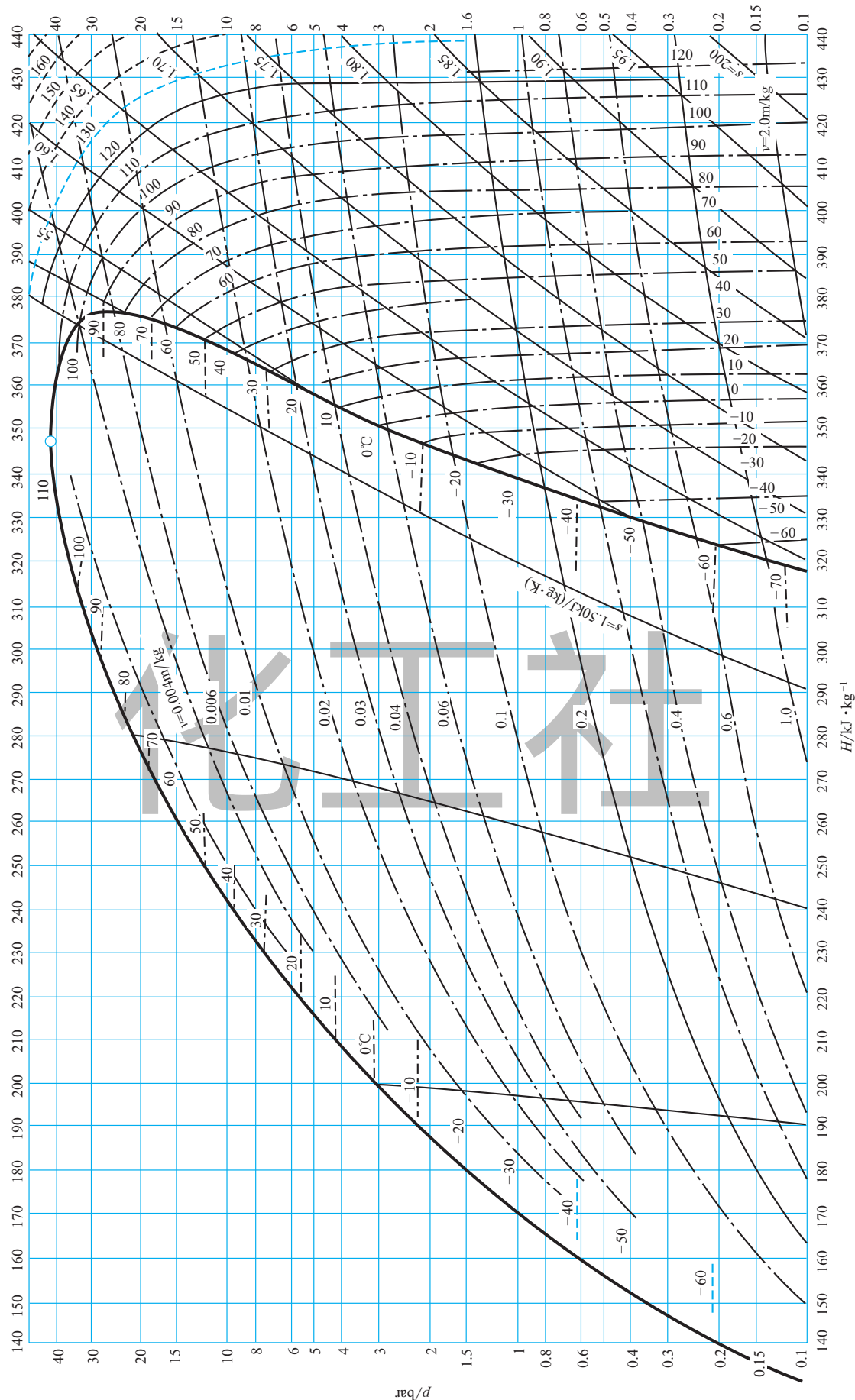
附录 8 氨的 T-S 图



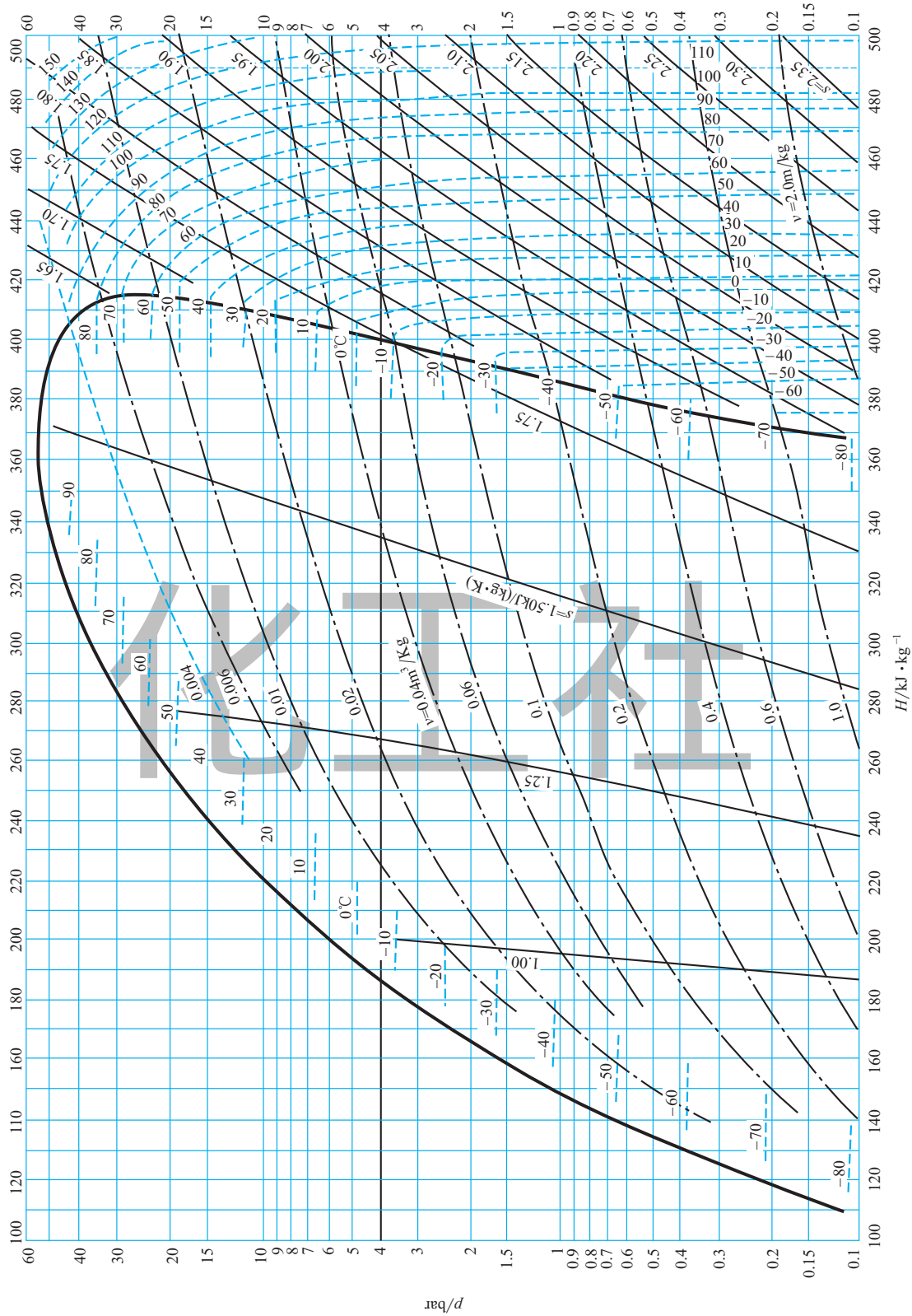
附录 9 氨的 $\ln p$ - H 图



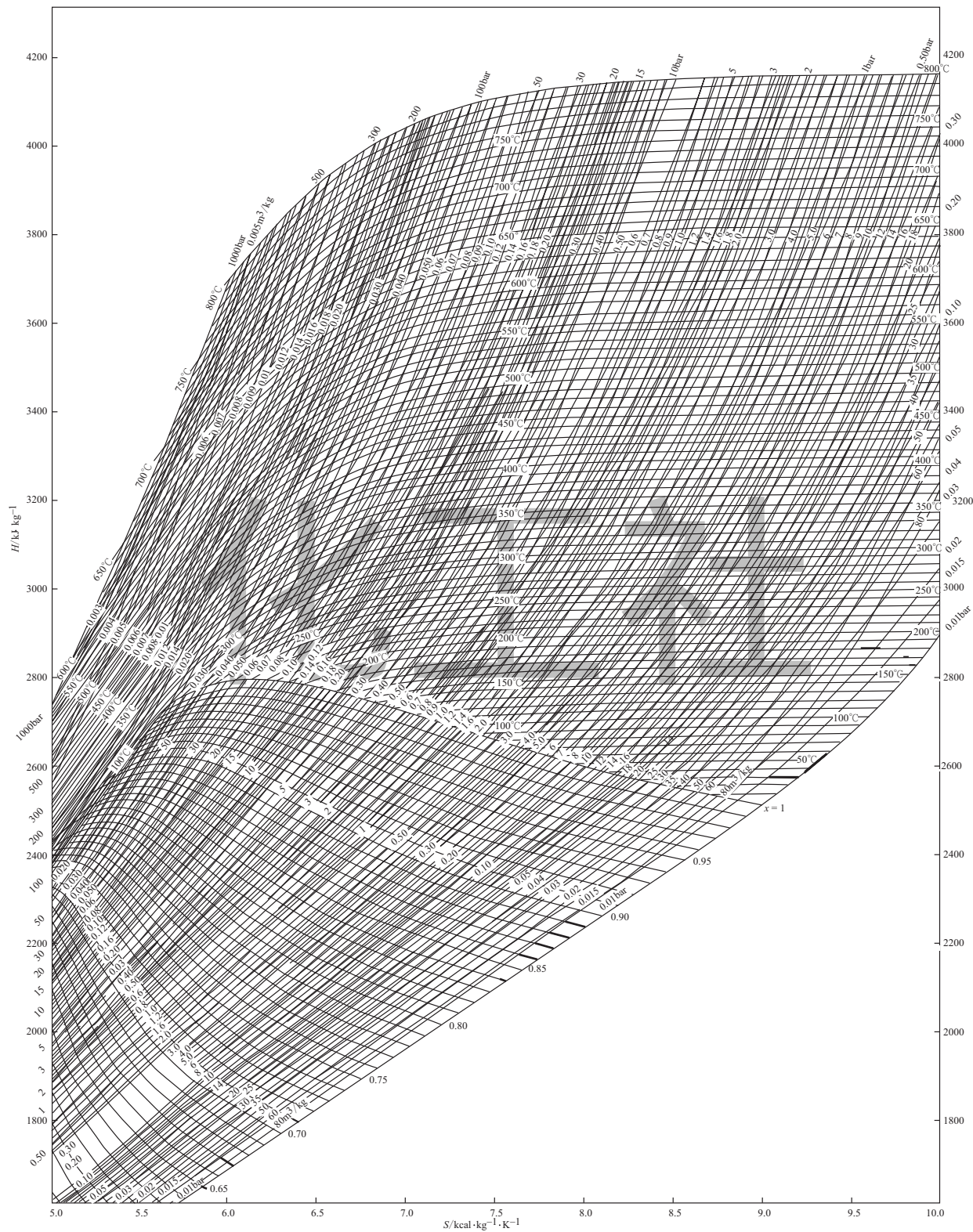
附录 10 R12 (CCl_2F_2) 的 $\ln p-H$ 图



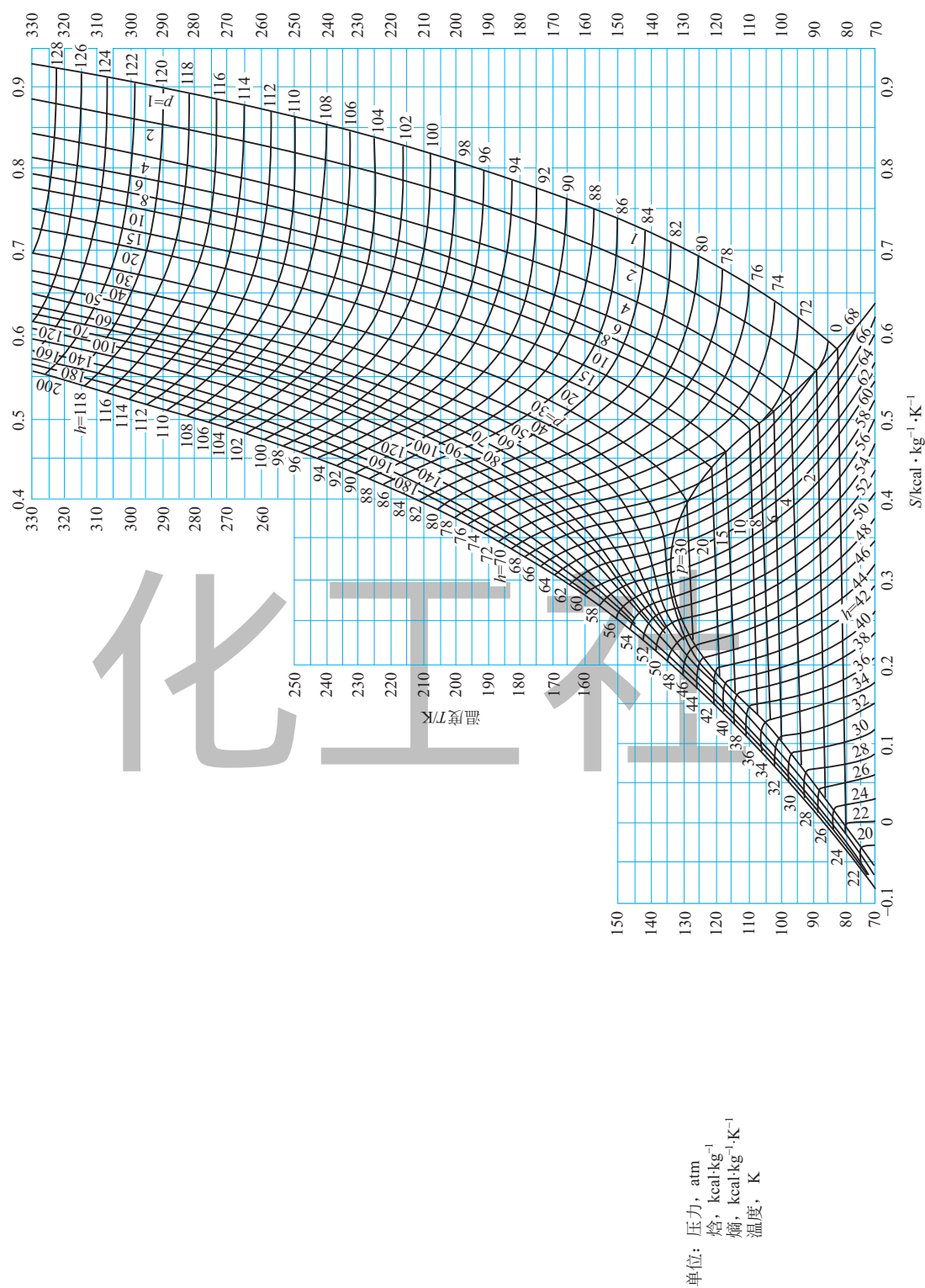
附录 11 R22 (CHClF₂) 的 ln p-H 图



附录 12 水蒸气的 H-S 图



附录 13 空气的 T-S 图



附录 14 主要公式的推导

附录 14.1 由 RK 方程计算组分逸度公式的推导——公式(4-75)的推导

$$p = \frac{nRT}{nV - nb} - \frac{n^2 a}{T^{1/2} (nV)(nV + nb)}$$

在恒 T 、 nV 、 $n_j (j \neq i)$ 时求偏导，且 $nV = V_t$ ， $d(nV) = dV_t$ 有

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial p}{\partial n_i} \right)_{T, (nV), n_{i \neq j}} &= \frac{\partial}{\partial n_i} \left(\frac{nRT}{nV - nb} \right)_{T, (nV), n_{i \neq j}} - \frac{\partial}{\partial n_i} \left[\frac{n^2 a}{T^{0.5} nV (nV + nb)} \right]_{T, (nV), n_{i \neq j}} \\ &= \frac{\partial}{\partial n_i} \left(\frac{nRT}{V_t - nb} \right)_{T, V_t, n_{i \neq j}} - \frac{\partial}{\partial n_i} \left[\frac{n^2 a}{T^{0.5} V_t (V_t + nb)} \right]_{T, V_t, n_{i \neq j}} \\ &= \frac{RT}{V_t - nb} + \frac{nRT \left(\frac{\partial nb}{\partial n_i} \right)}{(V_t - nb)^2} - \frac{\left(\frac{\partial n^2 a}{\partial n_i} \right)}{T^{0.5} V_t (V_t + nb)} + \frac{n^2 a \left(\frac{\partial nb}{\partial n_i} \right)}{T^{0.5} V_t (V_t + nb)^2} \\ \ln \hat{\varphi}_i &= \frac{1}{RT} \int_{\infty}^{V_t} \left[\frac{RT}{V_t} - \frac{RT}{V_t - nb} - \frac{nRT \left(\frac{\partial nb}{\partial n_i} \right)}{(V_t - nb)^2} + \frac{\left(\frac{\partial n^2 a}{\partial n_i} \right)}{T^{0.5} V_t (V_t + nb)} - \frac{n^2 a \left(\frac{\partial nb}{\partial n_i} \right)}{T^{0.5} V_t (V_t + nb)^2} \right] d(V_t) - \ln Z \end{aligned}$$

其中，第一、二项的积分为

$$\begin{aligned} &\frac{1}{RT} \int_{\infty}^{V_t} \left(\frac{RT}{V_t} - \frac{RT}{V_t - nb} \right) dV_t \\ &= \ln V_t - \ln(V_t - nb) = \ln \frac{V}{V - b} \end{aligned}$$

其中 $b \rightarrow b_m$ ，按线性混合规则考虑， $b_m = \sum_i y_i b_i$ ，且 $\frac{\partial nb}{\partial n_i} = b$ ，第三项的积分为

$$\begin{aligned} &\frac{1}{RT} \int_{\infty}^{V_t} \left[- \frac{nRT \frac{\partial nb}{\partial n_i}}{(V_t - nb)^2} \right] dV_t = -n \frac{\partial nb}{\partial n_i} \int_{\infty}^{V_t} \frac{1}{(V_t - nb)^2} dV_t \\ &= \frac{b}{V_t - b} \end{aligned}$$

按传统的二次型混合规则考虑， $a \rightarrow a_m$ ， $a_m = \sum_i \sum_j (y_i y_j a_{ij})$ ，且

$$\begin{aligned} \frac{\partial n^2 a}{\partial n_i} &= \frac{\partial}{\partial n_i} \left(n^2 \sum_j \sum_i y_i y_j a_{ij} \right) = \frac{\partial}{\partial n_i} \left(\sum_j \sum_i n_i n_j a_{ij} \right) \\ &= a_{ij} \frac{\partial}{\partial n_i} \left[\sum_j n_j (n_1 + n_2 + \cdots + n_i + \cdots) \right] \\ &= a_{ij} \frac{\partial}{\partial n_i} \left[n_1 (n_1 + n_2 + \cdots + n_i + \cdots) + n_2 (n_1 + n_2 + \cdots + n_i + \cdots) + \right. \\ &\quad \left. \cdots + n_i (n_1 + n_2 + \cdots + n_i + \cdots) + \cdots \right] \\ &= 2 \sum_j n_j a_{ij} \end{aligned}$$

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

则第四项的积分为

$$\begin{aligned} \frac{1}{RT} \int_{\infty}^{V_t} \left(\frac{T^{-0.5} \frac{\partial n^2 a}{\partial n_i}}{V_t(V_t + nb)} \right) dV_t &= \frac{1}{RT^{1.5}} \frac{\partial n^2 a}{\partial n_i} \int_{\infty}^{V_t} \frac{1}{nb} \left(\frac{1}{V_t} - \frac{1}{V_t + nb} \right) dV_t \\ &= \frac{1}{nb} \frac{1}{RT^{1.5}} \frac{\partial n^2 a}{\partial n_i} \ln \frac{V}{V + b} = \frac{2 \sum_j y_j a_{ij}}{bRT^{1.5}} \ln \frac{V}{V + b} \end{aligned}$$

第五项积分为

$$\begin{aligned} \frac{1}{RT} \int_{\infty}^{V_t} \left[- \frac{T^{-0.5} n^2 a \left(\frac{\partial nb}{\partial n_i} \right)}{V_t(V_t + nb)^2} \right] dV_t &= \frac{1}{RT^{1.5}} \left(- n^2 a \frac{\partial nb}{\partial n_i} \right) \int_{\infty}^{V_t} \left[\frac{1}{V_t(V_t + nb)^2} \right] dV_t \\ &= \left[\frac{1}{nb(V_t + nb)} - \frac{1}{n^2 b^2} \ln \frac{V + b}{V} \right] \left(- n^2 a \frac{1}{RT^{1.5}} \frac{\partial nb}{\partial n_i} \right) \end{aligned}$$

则溶液中组分的活度系数计算

$$\begin{aligned} \ln \hat{\phi}_i &= \ln \left(\frac{V}{V - b_m} \right) + \left(\frac{b_i}{V - b_m} \right) - \frac{2 \sum_j y_j a_{ij}}{b_m RT^{1.5}} \ln \left(\frac{V + b_m}{V} \right) + \\ &\quad \frac{a_m b_i}{b_m^2 RT^{1.5}} \left[\ln \left(\frac{V + b_m}{V} \right) - \left(\frac{b_m}{V + b_m} \right) \right] - \ln \left(\frac{pV}{RT} \right) \end{aligned}$$

若用压缩因子代入上式，则

$$\ln \hat{\phi}_i = \frac{b_i}{b_m} (Z - 1) - \ln \frac{p(V - b_m)}{RT} - \frac{a_m}{b_m RT^{1.5}} \left[\frac{2 \sum_{j=1}^N y_j a_{ij}}{a_m} - \frac{b_i}{b_m} \right] \ln \left(1 + \frac{b_m}{V} \right) \quad (4-75a)$$

结合 Prausnitz 提出的混合规则，上面公式中的交叉项计算为

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \frac{0.42748 R^2 T_{cij}^{2.5}}{p_{cij}} & b_i &= 0.08664 \frac{RT_{c,i}}{p_{c,i}} \\ T_{cij} &= (T_{ci} T_{cj})^{1/2} (1 - k_{ij}) & V_{cij} &= \left(\frac{V_{ci}^{1/3} + V_{cj}^{1/3}}{2} \right)^3 \\ Z_{cij} &= \frac{Z_{ci} + Z_{cj}}{2} & \omega_{ij} &= \frac{\omega_i + \omega_j}{2} \end{aligned}$$

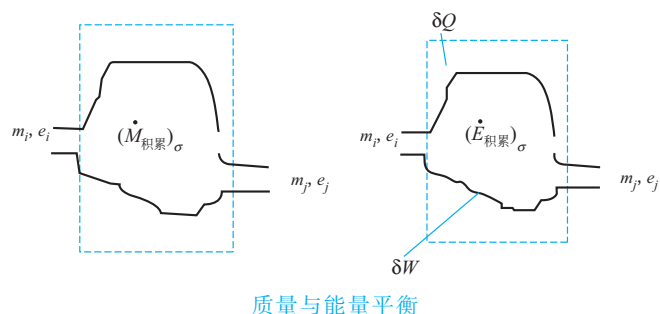
附录 14.2 开系非稳态过程能量平衡方程式的推导

敞开体系的特点：系统与环境有物质的交换，物质流入和流出量可相等也可不相等；系统与环境除有热功交换外，还包括物流输入和输出携带的能量。

敞开系统的划分：可以是化工生产中的一台或几台设备，也可以是一个过程或几个过程，甚至可以是一个化工厂，把划定的开放系统那部分称为控制体，用 σ 表示。控制体的能量平衡与质量平衡如图所示。

图中 i 表示进入系统； j 表示流出系统。 i 和 j 可以相等，也可以不等， $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ； $j = 1, 2, 3, \dots, N$ 。 m_i 和 m_j 分别表示进入和离开控制体的质量流量； e_i 和 e_j 分别为某时刻进入和离开物质单位质量所携带的能量； $(\delta Q)_{\sigma}$ 和 $(\delta W)_{\sigma}$ 分别表示控制体与外界交流的热传递流率和功传递流率； $(\dot{M}_{\text{积累}})_{\sigma}$ 和 $(\dot{E}_{\text{积累}})_{\sigma}$ 分别为控制体内质量和能量的积累速率。

《化工热力学》（第二版）冯新 等编



如果通过边界的物质所携带的能量只限于位能、动能和内能，则单位质量流体携带的能量 e 为

$$e = U + gz + \frac{1}{2}u^2 \quad (\text{A})$$

式中， z 为位高； g 为重力加速度； u 为流体的平均流速。

根据能量守恒原理，该控制体在时间间隔 $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ 内总能量变化为

$$\Delta E = Q + W + \sum_i \int_{\tau_1}^{\tau_2} e_i m_i d\tau - \sum_j \int_{\tau_1}^{\tau_2} e_j m_j d\tau \quad (\text{B})$$

对于非稳态过程，该过程的质量和性质均随着时间而变化，但其边界却固定不变。 m_i 、 m_j 是变量， e_i 、 e_j 、 m_i 、 m_j 均是时间的函数，不能放到积分号以外。若为多股物流，积分后还需求和。 Q 和 W 分别为控制体在时间间隔 $\Delta\tau$ 内敞开系统与外界交换的热和功（吸热为正，做功为正），式(B)右边第三项表示在时间间隔 $\Delta\tau$ 内物质流入系统携带的能量，第四项为物质流离开系统所带走的能量。

下面考察系统与外界交换的功 W ，此功应包括两部分：一部分为物质进出控制体所交换的功（将物流推入、推出要做功） W_f ，另一部分为其他边界交换的功 W_s 。

$$W = W_f + W_s \quad (\text{C})$$

W_f 为流动功，即物质流进、出控制体时与前后流体互相推动所交换的功，若进入开系，单位质量流体的体积为 v_i ，所受的压力为 p_i ，则上游流体对其做功为 $p_i v_i$ ；同理，离开的流体对下游流体所做的功为 $p_j v_j$ 。物质流入对系统做功为正，物质流出对外做功为负，所以当有多股物流进出时

$$W_f = \sum_i \int_{\tau_1}^{\tau_2} p_i v_i m_i d\tau - \sum_j \int_{\tau_1}^{\tau_2} p_j v_j m_j d\tau$$

W_s 为开系与外界通过机械轴所交换的功，即物质流在经过产功设备或耗功设备的流动过程中，由于压力的变化导致流体发生膨胀或压缩，由该设备的机械轴传出或输入的功。因为设备用轴带动，因此也称轴功。机械轴可以理解为转动的，也可以是往复的。泵、鼓风机和压缩机是消耗功的设备。透平（汽轮机）和水轮机是产生功的设备。因此式(B)可写成

$$\Delta E = Q + W_s + \sum_i \int_{\tau_1}^{\tau_2} (e_i + p_i v_i) m_i d\tau - \sum_j \int_{\tau_1}^{\tau_2} (e_j + p_j v_j) m_j d\tau \quad (\text{D})$$

将式(A) 和焓的定义式 $h \equiv U + pv$ 分别代入上式的 i 和 j 项，可得敞开系统流动过程的能量平衡式

$$\Delta E = Q + W_s + \sum_i \int_{\tau_1}^{\tau_2} (H_i + gz_i + 1/2u_i^2) m_i d\tau - \sum_j \int_{\tau_1}^{\tau_2} (H_j + gz_j + 1/2u_j^2) m_j d\tau \quad (\text{E})$$

当 $\Delta\tau \rightarrow 0$ 时，上式变成

$$\frac{dE}{d\tau} = \frac{\delta Q}{d\tau} + \frac{\delta W_s}{d\tau} + \sum_i m_i \left(H_i + gz_i + \frac{1}{2} u_i^2 \right) - \sum_j m_j \left(H_j + gz_j + \frac{1}{2} u_j^2 \right)$$

(F)

上两式均为敞开系统通用的能量平衡方程，推导过程未做任何假设，因此适用于任何实际过程。利用此式可以研究流体流动过程中质量或能量的积累（或释放）、流体的质量和能量随时间而变化等非稳定流动过程。

附录 15 基团贡献法

基团贡献法的实质是认为同一基团在不同分子中对于热力学性质的贡献完全相同。因而可以将物质的热力学性质看成是构成该物质各基团性质贡献的加和。例如：基团贡献法认为乙醛（CH₃CHO）与异丙胺 [(CH₃)₂CHNH₂] 中，基团 [—CH₃] 对两种物质的热力学性质贡献是一样的，不受其他基团和位置的影响。该方法的优点是可以通过少量基团参数，预测大量化合物的性质。缺点是带有一定的近似性。






采用基团贡献法估算理想气体热容的关联式有许多种，但形式简单又能保持一定精度的是 Joback 法。该方法把理想气体的热容表示为：

$$C_p^{ig} = \left(\sum_j n_j \Delta a - 37.93 \right) + \left(\sum_j n_j \Delta b + 0.210 \right) T + \left(\sum_j n_j \Delta c - 3.91 \times 10^{-4} \right) T^2 + \left(\sum_j n_j \Delta d + 2.06 \times 10^{-7} \right) T^3$$

(A)

式中， n_j 是第 j 种类型基团的数目； Δ 是该基团对物质摩尔热容的贡献；温度 T 的单位是 K。有关基团的 Δ 值列于 Joback 基团贡献值表。

Joback 基团贡献值表

基团种类	基团对物质摩尔热容的贡献 Δ			
	Δa	Δb	Δc	Δd
非环中				
—CH ₃	1.95E+1	—8.08E—3	1.53E—4	—9.67E—8
—CH ₂ —	—9.09E—1	9.50E—2	—5.44E—5	1.19E—8
	—2.30E+1	2.04E—1	—2.65E—4	1.20E—7
	—6.62E+1	4.27E—1	6.41E—4	3.01E—7
=CH ₂	2.36E+1	—3.81E—2	1.72E—4	—1.03E—7
=CH—	—8.00	1.05E—1	—9.63E—5	3.56E—8
=C=	2.74E+1	—5.57E—2	1.01E—4	—5.02E—8
≡CH	2.45E+1	—2.71E—2	1.11E—4	—6.78E—8
≡C—	7.87	2.01E—2	—8.33E—6	1.39E—9
环中				
—CH ₂ —	—6.03	8.54E—2	—8.00E—6	—1.80E—8
	—2.05E+1	1.62E—1	—1.60E—4	6.24E—8
	—9.09E+1	5.57E—1	—9.00E—4	4.69E—7
=CH—	—2.14	5.74E—2	—1.64E—6	—1.59E—8
	—8.25	1.01E—1	—1.42E—4	6.78E—8

基团种类	基团对物质摩尔热容的贡献 Δ			
	Δa	Δb	Δc	Δd
卤素				
—F	2.65E+1	—9.13E—2	1.91E—4	—1.03E—7
—Cl	2.33E+1	—9.63E—2	1.87E—4	—9.96E—8
—Br	2.86E+1	—6.49E—2	1.36E—4	—7.45E—8
—I	2.31E+1	—6.41E—2	1.26E—4	—6.87E—8
含 O 基团				
—OH(醇)	2.57E+1	—6.41E—2	1.26E—4	—6.87E—8
—OH(酚)	—2.81	1.11E—1	—1.16E—4	—4.96E—8
—O— (非环)	1.25E+1	—6.32E—2	1.11E—4	—5.48E—8
—O— (环)	1.22E+1	—1.26E—2	6.03E—4	—3.86E—8
$\diagup \text{C}=\text{O}$ (非环)	6.45	6.70E—2	3.57E—4	—2.86E—9
$\diagup \text{C}=\text{O}$ (环)	3.04E+1	—8.29E—2	2.36E—4	—1.31E—7
O=CH— (醛)	3.09E+1	—3.36E—2	1.60E—4	—9.88E—8
—COOH (酸)	2.41E+1	4.27E—2	8.04E—5	—6.87E—8
—COO— (酯)	2.45E+1	4.02E—2	—4.02E—5	—4.52E—8
=O (不包括以上各类)	6.82	1.96E—2	1.27E—7	—1.78E—8
含 N 基团				
—NH ₂	2.69E+1	—4.12E—2	1.64E—4	—9.76E—8
$\diagup \text{NH}$ (非环)	—1.21	7.62E—2	4.86E—5	1.05E—8
$\diagup \text{NH}$ (环)	1.18E+1	—2.30E—2	1.07E—4	—6.28E—8
$\diagup \text{N}$ — (非环)	—3.11E+1	2.27E—1	—3.20E—4	1.46E—7
$\diagup \text{N}=\text{}$ (环)	8.83	—3.84E—3	4.35E—5	—2.60E—8
=NH	5.69	—4.12E—3	1.28E—4	—8.88E—8
—CN	3.65E+1	—7.33E—2	1.84E—4	—1.03E—7
—NO ₂	2.59E+1	—3.74E—3	1.29E—4	—8.88E—8
含硫基团				
—SH	3.53E+1	—7.58E—2	1.85E—4	—1.03E—7
—S— (非环)	1.96E+1	—5.61E—3	4.02E—5	—2.76E—8
—S— (环)	1.67E+1	4.81E—3	2.77E—5	—2.11E—8

【例题】试用 Joback 基团加和法计算丁腈 (C₂H₅CH₂CN) 在 500K 时的 C_p^{ig}。

解：丁腈分子含有一个—CH₃ 基团，两个—CH₂—基团，一个—CN 基团，由 Joback 基团贡献值表查出各 Joback 基团值如下。

《化工热力学》（第二版）冯新 等编

丁腈分子的 Joback 基团值

基团	n_j	$n_j \Delta a$	$n_j \Delta b$	$n_j \Delta c$	$n_j \Delta d$
$-\text{CH}_3$	1	1.95E+1	$-8.03\text{E}-3$	$1.53\text{E}-4$	$-9.67\text{E}-8$
$-\text{CH}_2-$	2	$(-9.09\text{E}-1) \times 2$	$(9.50\text{E}-2) \times 2$	$(-5.44\text{E}-5) \times 2$	$(1.19\text{E}-8) \times 2$
$-\text{CN}$	1	3.65E+1	$-7.33\text{E}-2$	$1.84\text{E}-4$	$-1.03\text{E}-7$
Σ		54.18	0.109	$2.28\text{E}-4$	$-1.76\text{E}-7$

将以上数值代入式(A)，得：

$$C_p^{\text{ig}} = (54.18 - 37.93) + (0.109 + 0.210) \times 500 + (2.28 \times 10^{-4} - 3.91 \times 10^{-4}) \times (500^2) + (-1.76 \times 10^{-7} + 2.06 \times 10^{-7}) \times (500^3) = 138.75 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

由文献查出实验值为 $138.37 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$\text{误差} = \frac{138.75 - 138.37}{138.37} \times 100\% = 0.3\%$$

化工社