

HZ-HJ-SZ-0059

水质—溶解氧的测定—电化学探头法

本方法等同采用国际标准 ISO 5814—1984 《水质—溶解氧的测定—电化学探头法》。

1 范围

1.1 主题内容

本方法采用一种用透气薄膜将水样与电化学电池隔开的电极来测定水中溶解氧。

根据所采用探头的不同类型，可测定氧的浓度(mg/L),或氧的饱和百分率(%溶解氧)，或者二者皆可测定。本方法可测定水中饱和百分率为 0% 至 100% 的溶解氧。可是，大多数仪器能测定高于 100% 的过饱和值。本方法不但可以用于实验室内的测定，还可用于现场测定和溶解氧的连续监测。本方法适于测定色度高及混浊的水，还适于测定含铁及能与碘作用的物质的水，所有上述物质会干扰用碘量法的测定。一些气体和蒸气象氯、二氧化硫、硫化氢、胺、氨、二氧化碳、溴和碘能扩散并通过薄膜，如果上述物质存在，会影响被测电流而产生干扰。样品中存在其他物质，会因引起薄膜阻塞、薄膜损坏或电极被腐蚀而干扰被测电流。这些物质包括溶剂、油类、硫化物、碳酸盐和藻类。

1.2 适用范围

本方法适用于天然水、污水和盐水，如果用于测定海水或港湾水这类盐水，应对含盐量进行校对。

2 原理

本方法所采用的探头由一小室构成，室内有两个金属电极并充有电解质，用选择性薄膜将小室封闭住。实际上水和可溶解物质离子不能透过这层膜，但氧和一定数量的其他气体及亲水性物质可透过这层薄膜。将这种探头浸入水中进行溶解氧测定。

因原电池作用或外加电压使电极间产生电位差。由于这种电位差，使金属离子在阳极进入溶液，而透过膜的氧在阴极还原。由此所产生的电流直接与通过膜与电解质液层的氧的传递速度成正比，因而该电流与给定温度下水样中氧的分压成正比。

因为膜的渗透性明显地随温度而变化，所以必须进行温度补偿。可采用数学方法（使用计算图表、计算机程序）；也可使用调节装置；或者利用在电极回路中安装热敏元件加以补偿。某些仪器还可对不同温度下氧的溶解度的变化进行补偿。

3 试剂

在分析过程中，仅使用公认的分析纯试剂和蒸馏水或纯度相当的水。

3.1 无水亚硫酸钠(Na_2SO_3)或七水合亚硫酸钠($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)。

3.2 二价钴盐，例如六水合氯化钴(II)($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。

4 仪器

4.1 测量仪器。由以下部件组成：

4.1.1 测量探头。原电池型(例如铅/银)或极谱型(例如银、金)，如果需要，探头上附有温度灵敏补偿装置。

4.1.2 仪表，刻度直接显示溶解氧的浓度，和(或)氧的饱和百分率或电流的微安数。

4.2 温度计，到度分度为 0.5°C 。

4.3 气压表，刻度分度为 10Pa。

5 操作步骤

使用测量仪器时，应遵照制造厂的说明书。

5.1 测量技术和注意事项

5.1.1 不得用手接触膜的活性表面。

5.1.3 在更换电解质和膜之后，或当膜干燥时，都要使膜湿润，只有在读数稳定后，才能进

行校准(见 5.2)。需要的时间取决于电解质中溶解氧消耗所需要的时间。

5.1.3 当将探头浸入样品中时, 应保证没有空气泡截留在膜上。

5.1.4 样品接触探头的膜时, 应保持一定的流速, 以防止与膜接触的瞬间将该部位样品中的溶解氧耗尽, 而出现虚假的读数。应保证样品的流速不至使读数发生波动, 在这方面要参照仪器制造厂家的说明。

5.1.5 对于分散样品, 测定容器应能密封以隔绝空气并带有搅拌器(例如电磁搅拌棒)。将样品充满容器至溢流, 密闭后进行测量。调整搅拌速度使读数达到平衡后保持稳定, 并不得夹带空气。

对流动样品, 例如河道, 要检验是否可保证有足够的流速。如不够, 则需在水样中往复移动探头, 或者取出分散样品按上段叙述的方法测定。

5.2 校准

校准步骤在 5.2.1 至 5.2.3 中叙述, 但必须参照仪器制造厂家的说明书。

5.2.1 调节

调整仪器的电零点, 有些仪器有补偿零点, 则不必调整。

5.3.2 检验零点

检验零点(必要时尚需调整零点)时, 可将探头浸入每升已加入 1g 亚硫酸钠(3.1)和约 1mg 钴盐(Ⅱ)(3.2)的蒸馏水中。

10min 内应得到稳定读数。

注: 新式仪器只需 2~3min。

5.3.3 接近饱和值的校准

在一定温度下, 向水中曝气, 使水中的氧的含量达到饱和或接近饱和。在这个温度下保持 15min 再测定溶解氧的浓度, 例如用碘量法测定。

5.2.4 调整仪器

将探头浸没在瓶内, 瓶中完全充满按上述步骤制备并标定好的样品。让探头在搅拌的溶液中稳定 10min 以后(见 5.2.2 注)。如果必要, 调节仪器读数至样品已知的氧浓度。

当仪器不能再校准, 或仪器响应变得不稳定或较低时(见厂家说明书), 应更换电解质或(和)膜。

注: ①如过去的经验已给出空气饱和样品需要的曝气时间和空气流速, 则可查表 A1 和表 A3 来代替碘量法测定。

②许多仪器可在空气中校准。

5.3 测定

按照厂家说明书对待测水进行测定。

在探头浸入样品后, 使探头停留足够的时间, 使探头与待测水温一致并使读数稳定。由于所用仪器型号不同及对结果的要求不同, 必要时要检验水温和大气压力。

6 结果计算

6.1 溶解氧的浓度(mg/L)

溶解氧的浓度以每升中氧的毫克数表示, 取值到小数点后第一位。

在测量样品时的温度不同于校准仪器时的温度, 应对仪器读数给予相应校正。有些仪器可以自动进行补偿。该校正考虑到了在两种不同温度下, 氧溶解度的差值。要计算溶解氧的实际值, 需将测定温度下所得读数乘以下列比值:

$$\frac{C_m}{C_c} \dots\dots\dots ①$$

式中: C_m ——测定温度下的溶解度;

C_c ——校准温度下的溶解度。

例:

校准温度 25℃

25℃溶解度	8.3mg/L
测量时的温度	10℃
仪器读数	7mg/L
10℃时溶解度	11.3mg/L
10℃时的实测值	$\frac{11.33}{8.3} \times 7.0 = 9.5\text{mg/L}$

注：上例中以 mg/L 表示的 C_m 和 C_c 值可根据对应的温度由表 A1 中“ C_s ”栏中查得。

6.2 作为温度和压力函数的溶解氧浓度

表 1 和表 2 给出了溶解氧浓度的理论值。表 1 给出了在标准大气压力下做为温度函数的值。表 2 则给出作为温度和压力两项函数的值。

6.3 盐水样品经过校正的溶解氧浓度

氧在水中溶解度随盐含量的增加而减少，在实际应用中，当含盐量(以总盐表示)在 35g/L 以下时可合理地认为上述关系呈线性。表 1 给出每 1g/L 含盐量在校正时减去校正值。即 ΔC_s 。所以，当水中含盐量为 n g/L 时，水中氧的溶解度等于纯水中相应的溶解度减去 $n\Delta C_s$ 。

6.4 以饱和百分率表示的溶解浓度

这是以 mg/L 表示的实际溶解氧浓度，必要时需经过温度校正，除以表 A1 和表 A3 给出的理论值而得出的百分率：

$$\frac{C_s(\text{测定值})}{C_s(\text{测定值})} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

7 试验报告

试验报告包括下列资料：

- 方法依据；
- 测定结果及其表示方法；
- 采样和检测时的水温；
- 采样和检测时的大气压力；
- 水中含盐量；
- 所用仪器的型号；
- 测定期间可能注意到的特殊细节；
- 本方法中没有规定的或考虑可任选的操作细节。

8 参考文献

GB11913-89。

附录 A (补充件)

水中氧的溶解度与温度、压力和含盐量的关系。

A1 概述

附录中给出水中氧的溶解度与温度和压力的关系。

A2 作为温度和含盐量函数的氧的溶解度

见表 A1。

①表中第二栏给出纯水中氧的溶解度(C)，以每升水中氧的毫克数表示，纯水中存在有被水蒸气饱和的空气，空气中含有 20.94%(V/V)的氧，压力为 101.3kPa。

②表中第三栏给出含盐量为 1 g/L 时溶解度的变化量(ΔC_s)。

水中氧的溶解度随着含盐量的增加而减少，在实际使用中，总盐量在 35g/L 以下呈线性关系。含盐量为 n g/L 的水中氧的溶解度可从相应的纯水中的溶解度减去 $n\Delta C_s$ 值得到。

表 A1 作为温度和含量函数的水中氧的溶解度

温度 ℃	C _s mg/L	ΔC _s mg/L	温度 ℃	C _s mg/L	ΔC _s mg/L
0	14.64	0.0925	20	9.08	0.0481
1	14.22	0.0890	21	8.90	0.0467
2	13.82	0.0857	22	8.73	0.0453
3	13.44	0.0827	23	8.57	0.0440
4	13.09	0.0798	24	8.41	0.0427
5	12.74	0.0771	25	8.25	0.0415
6	12.42	0.0745	26	8.11	0.0404
7	12.11	0.0720	27	7.96	0.0393
8	11.81	0.0697	28	7.82	0.0382
9	11.53	0.0675	29	7.69	0.0372
10	11.26	0.0653	30	7.56	0.0362
11	11.01	0.0633	31	7.43	
12	10.77	0.0614	32	7.30	
13	10.53	0.0595	33	7.18	
14	10.30	0.0577	34	7.07	
15	10.08	0.0559	35	6.95	
16	9.86	0.0543	36	6.84	
17	9.66	0.0527	37	6.73 ¹⁾	
18	9.46	0.0511	38	6.63	
19	9.27	0.0496	39	6.53 ¹⁾	

注：1)这些值可通过回归方程计算得到的。 $C_s=14.60307-0.4021469T+0.00768703T^2-0.0000692575T^3$ 。

A3 大气压力或海拔高度的校正

如果大气压力 p 不是 101.3KPa，那么溶解度 C'_s 可由 101.3kPa 的 C_s 值通过式(A1)计算而求得：

$$C'_s = C_s \times \frac{p - p_w}{101.3 - p_w} \dots\dots\dots (A1)$$

式中： p_w ——在选定温度下，和空气接触时，水蒸气的压力，kPa。

压力在 77.5 和 110kPa 之间，间隔为 0.5kPa。 C'_s 值，每升中氧的毫克数表示，在表 A3 中给出。

作为海拔高度函数的平均大气压值可用式(A2)计算：

$$\log 10P_h = \log 10P_h 101.3 - \frac{h}{18400} \dots\dots\dots (A2)$$

式中： P_h ——海拔高度为 h (以 m 表示)时的平均大气压，KPa。

表 A2 给出海拔高度和平均大气压的部分对应值。

表 A2 海拔高度和平均大气压的对应值

海拔高度 h m	Ph KPa	海拔高度 h m	Ph kPa
0	101.3	1100	88.3
100	100.1	1200	87.2
200	98.8	1300	86.1
300	97.6	1400	85.0
400	96.4	1500	84.0
500	95.2	1600	82.9
600	94.0	1700	81.9
700	92.8	1800	80.9
800	91.7	1900	79.9
900	90.5	2000	78.9
1000	89.4	2100	77.9

表 A3 水中作为温度和压力涵量的氧的溶解度

温度℃	压力, kPa																
	77.5	78.0	78.5	79.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.5	82.0	82.5	83.0	83.5	84.0	84.5	85.0	85.5
0	11.17	11.24	11.32	11.39	11.46	11.53	11.61	11.68	11.71	11.82	11.90	11.97	12.04	12.11	12.10	12.26	12.33
1	10.85	10.92	11.00	11.07	11.14	11.21	11.28	11.35	11.42	11.40	11.56	11.63	11.70	11.77	11.84	11.91	11.98
2	10.55	10.62	10.69	10.76	10.83	10.90	10.96	11.03	11.10	11.17	11.24	11.31	11.38	11.45	11.51	11.58	11.65
3	10.27	10.33	10.40	10.47	10.53	10.60	10.67	10.73	10.80	10.87	10.93	11.00	11.07	11.13	11.20	11.27	11.34
4	9.99	10.06	10.12	10.19	10.25	10.32	10.38	10.45	10.51	10.58	10.64	10.71	10.77	10.84	10.90	10.97	11.03
5	9.73	9.79	9.36	9.92	9.98	10.05	10.11	10.17	10.24	10.30	10.36	10.43	10.40	10.55	10.62	10.68	10.75
6	9.48	9.54	9.60	9.67	9.73	9.79	9.85	9.91	9.98	10.04	10.10	10.16	10.22	10.28	10.35	10.41	10.47
7	9.24	9.30	9.36	9.42	9.48	9.54	9.60	9.66	9.72	9.78	9.85	9.91	9.97	10.03	10.09	10.15	10.21
8	9.01	9.07	9.13	9.19	9.25	9.31	9.37	9.43	9.49	9.54	9.60	9.66	9.72	9.78	9.84	9.90	9.96
9	8.80	8.85	8.91	8.97	9.03	9.08	9.14	9.20	9.26	9.31	9.37	9.43	9.49	9.54	9.60	9.66	9.72
10	8.59	8.64	8.70	8.76	8.81	8.87	8.92	8.98	9.04	9.09	9.15	9.21	9.26	9.32	9.37	9.43	9.49
11	8.39	8.44	8.50	8.55	8.61	8.66	8.72	8.77	8.83	8.88	8.94	9.99	9.05	9.10	9.16	9.21	9.27
12	8.20	8.25	8.30	9.36	8.41	8.46	8.52	8.57	8.63	8.68	8.73	8.79	8.84	8.90	8.95	9.00	9.06
13	8.01	8.07	8.12	8.17	8.22	8.28	8.33	8.38	8.43	8.49	8.54	8.59	8.64	8.70	8.75	8.80	8.85
14	7.84	7.89	7.94	7.99	8.04	8.09	8.15	8.20	8.25	8.30	8.35	8.40	8.45	8.51	8.56	8.61	8.66
15	7.67	7.72	7.77	7.82	7.87	7.92	7.97	8.02	8.07	8.12	8.17	8.22	8.27	8.32	8.37	8.42	8.47
16	7.50	7.55	7.60	7.65	7.70	7.75	7.80	7.85	7.90	7.95	8.00	8.05	8.10	8.15	8.20	8.25	8.29
17	7.35	7.40	7.44	7.49	7.54	7.59	7.64	7.69	7.73	7.78	7.83	7.88	7.93	8.98	8.03	8.07	8.12
18	7.20	7.24	7.29	7.37	7.39	7.43	7.48	7.53	7.58	7.62	7.67	7.72	7.77	7.81	7.86	7.91	7.96
19	7.05	7.10	7.14	7.19	7.24	7.28	7.33	7.38	7.42	7.47	7.52	7.56	7.61	7.66	7.70	7.75	7.80

续表 A3

温度℃	压力, kPa																
	77.5	78.0	78.5	79.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.5	82.0	82.5	83.0	83.5	84.0	84.5	85.0	85.5
20	6.91	6.96	7.00	7.05	7.09	7.14	7.18	7.23	7.28	7.32	7.37	7.41	7.46	7.50	7.55	7.60	7.64
21	6.77	6.82	6.86	6.91	6.95	7.00	7.04	7.09	7.13	7.28	7.22	7.27	7.31	7.36	7.40	7.45	7.49
22	6.64	6.69	6.73	6.77	6.82	6.86	6.91	6.95	6.99	7.04	7.08	7.13	7.17	7.21	7.26	7.30	7.35
23	6.51	6.56	6.60	6.64	6.69	6.73	6.77	6.82	6.86	6.90	6.95	6.99	7.03	7.08	7.12	7.16	7.21
24	6.39	6.43	6.47	6.52	6.56	6.60	6.46	6.69	6.73	6.77	6.82	6.86	6.90	6.94	6.99	7.03	7.17
25	6.27	6.31	6.35	6.39	6.44	6.48	6.52	6.56	6.60	6.65	6.69	6.73	6.77	6.81	6.86	6.90	6.94
26	6.15	6.19	6.23	6.28	6.32	6.36	6.40	6.44	6.48	6.52	6.56	6.61	6.65	6.69	6.73	6.77	6.81
27	6.04	6.08	6.12	6.16	6.20	6.24	6.28	6.32	6.36	6.40	6.44	6.48	6.52	6.57	6.61	6.65	6.69
28	5.93	5.97	6.01	6.05	6.09	6.13	6.17	6.21	6.25	6.29	6.33	6.37	6.40	6.45	6.49	6.53	6.57
29	5.82	5.86	5.90	5.94	5.98	6.02	6.06	6.10	6.13	6.17	6.21	6.25	6.29	6.33	6.37	6.41	6.45
30	5.72	5.76	5.79	5.83	5.87	5.91	5.95	5.99	6.03	6.06	6.10	6.14	6.18	6.22	6.26	6.30	6.33
31	5.62	5.65	5.69	5.73	5.77	5.81	5.84	5.88	5.92	5.96	6.00	6.03	6.07	6.11	6.15	6.19	6.22
32	5.52	5.55	5.59	5.63	5.67	5.70	5.74	5.78	5.82	5.85	5.89	5.93	5.97	6.00	6.04	6.08	6.12
33	5.42	5.46	5.50	5.53	5.57	5.61	5.64	5.68	5.72	5.75	5.79	5.83	5.86	5.90	5.94	5.97	6.01
34	5.33	5.36	5.40	5.44	5.47	5.51	5.55	5.58	5.62	5.66	5.69	5.73	5.76	5.80	5.84	5.87	5.96
35	5.24	5.27	5.31	5.35	5.38	5.42	5.45	5.49	5.53	5.56	5.60	5.63	5.67	5.70	5.74	5.73	5.81
36	5.15	5.19	5.22	5.26	5.29	5.33	5.36	5.40	5.43	5.47	5.51	5.54	5.58	5.61	5.65	5.68	5.72
37	5.07	5.10	5.14	5.17	5.21	5.24	5.28	5.31	5.35	5.38	5.42	5.45	5.49	5.52	5.56	5.59	5.63
38	4.99	5.02	5.05	5.09	5.12	5.16	5.19	5.23	5.26	5.20	5.33	5.37	5.40	5.43	5.47	5.50	5.54
39	4.91	5.94	5.98	5.01	5.04	5.08	5.11	5.15	5.18	5.11	5.25	5.28	5.32	5.35	5.39	5.42	5.45
40	4.83	4.87	4.90	4.93	4.97	5.00	5.04	5.07	5.10	5.14	5.17	5.20	5.24	5.27	5.31	5.34	5.37

续表 A3

温度℃	压力, KPa																
	86.0	86.5	87.0	87.5	88.0	88.5	89.0	89.5	90.0	90.5	91.0	91.5	92.0	92.5	93.0	93.5	94.0
0	12.40	12.48	12.55	12.62	12.70	12.77	12.84	12.91	12.99	13.06	13.13	13.20	13.28	13.35	13.42	13.49	13.57
1	12.05	12.13	12.20	12.27	12.34	12.41	12.48	12.55	12.62	12.69	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11	13.18
2	11.72	11.79	11.86	11.93	12.00	12.06	12.13	12.20	12.27	12.34	12.41	12.48	12.55	12.61	12.68	12.75	12.82
3	11.40	11.47	11.54	11.60	11.67	11.74	11.80	11.87	11.94	12.00	12.07	12.14	12.20	12.27	12.34	12.41	12.47
4	11.10	11.16	11.23	11.29	11.36	11.42	11.49	11.55	11.62	11.68	11.75	11.82	11.88	11.95	12.01	12.08	12.14
5	10.81	10.87	10.94	11.00	11.06	11.13	11.19	11.25	11.32	11.38	11.44	11.51	11.57	11.63	11.70	11.76	11.82
6	10.53	10.59	10.66	10.72	10.78	10.84	10.90	10.97	11.03	11.09	11.15	11.21	11.27	11.34	11.40	11.46	11.52
7	10.27	10.33	10.39	10.45	10.51	10.57	10.63	10.69	10.75	10.81	10.87	10.93	10.99	11.05	11.11	11.17	11.23
8	10.02	10.07	10.13	10.19	10.25	10.31	10.37	10.43	10.49	10.55	10.60	10.66	10.72	10.78	10.84	10.90	10.96
9	9.77	9.83	9.89	9.95	10.00	10.06	10.12	10.18	10.23	10.29	10.35	10.41	10.46	10.52	10.58	10.64	10.66
10	9.54	9.60	9.66	9.71	9.77	9.82	9.88	9.94	9.99	10.05	10.11	10.16	10.22	10.27	10.33	10.39	10.44
11	9.32	9.38	9.43	9.49	9.54	9.60	9.65	9.71	9.76	9.82	9.87	9.93	9.98	10.04	10.09	10.15	10.24
12	9.11	9.16	9.22	9.27	9.33	9.38	9.43	9.49	9.54	9.59	9.65	9.70	9.76	9.81	9.86	9.92	9.97
13	8.91	8.96	9.01	9.06	9.12	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.43	9.49	9.54	9.59	9.64	9.70	9.75
14	8.71	8.76	8.81	8.87	8.92	8.97	9.02	9.07	9.12	9.18	9.23	9.28	9.33	9.38	9.43	9.48	9.54
15	8.52	8.58	8.63	8.68	8.73	8.78	8.83	8.88	8.93	8.98	9.03	9.08	9.13	9.18	9.23	9.28	9.33
16	8.34	8.39	8.44	8.49	8.54	8.59	8.64	8.69	8.74	8.79	8.84	8.89	8.94	8.99	9.04	9.09	9.14
17	8.17	8.22	8.27	8.32	8.36	8.41	8.46	8.51	8.56	8.61	8.66	8.70	8.75	8.80	8.85	8.90	8.95
18	8.00	8.05	8.10	8.15	8.19	8.24	8.29	8.34	8.38	8.43	8.48	8.53	8.57	8.62	8.67	8.72	8.76
19	7.84	7.89	7.94	7.98	8.03	8.08	8.12	8.17	8.22	8.26	8.31	8.36	8.40	8.45	8.50	8.54	8.59

续表 A3

温度℃	压力, kPa																
	86.0	86.5	87.0	87.5	88.0	88.5	89.0	89.5	90.0	90.5	91.0	91.5	92.0	92.5	93.0	93.5	94.0
20	7.69	7.73	7.78	7.82	7.87	7.92	7.96	8.01	8.05	8.10	8.14	8.19	8.24	8.28	8.33	8.37	8.42
21	7.54	7.58	7.63	7.67	7.72	7.76	7.81	7.85	7.90	7.94	7.99	8.03	8.08	8.12	8.17	8.21	8.25
22	7.39	7.43	7.48	7.52	7.57	7.61	7.66	7.70	7.74	7.79	7.83	7.88	7.92	7.96	8.01	8.05	8.10
23	7.25	7.29	7.34	7.38	7.42	7.47	7.51	7.55	7.60	7.64	7.68	7.73	7.77	7.81	7.86	7.90	7.94
24	7.11	7.16	7.20	7.24	7.28	7.33	7.37	7.41	7.45	7.50	7.54	7.58	7.62	7.67	7.71	7.75	7.79
25	6.98	7.02	7.06	7.11	7.15	7.19	7.23	7.27	7.32	7.36	7.40	7.44	7.48	7.52	7.57	7.61	7.65
26	6.85	6.89	6.93	6.98	7.02	7.06	7.10	7.14	7.18	7.22	7.26	7.30	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51
27	6.73	6.77	6.81	6.85	6.89	6.93	6.97	7.01	7.05	7.09	7.13	7.17	7.21	7.25	7.29	7.33	7.37
28	6.61	6.65	6.69	6.73	6.77	6.80	6.84	6.88	6.92	6.96	7.00	7.04	7.08	7.12	7.16	7.20	7.24
29	6.49	6.53	6.57	6.61	6.64	6.68	6.72	6.76	6.80	6.84	6.88	6.92	6.96	7.00	7.04	7.08	7.11
30	6.37	6.41	6.45	6.49	6.53	6.57	6.60	6.64	6.68	6.72	6.76	6.80	6.84	6.87	6.91	6.95	6.99
31	6.26	6.30	6.34	6.38	6.41	6.45	6.49	6.53	6.57	6.60	6.64	6.68	6.72	6.76	6.79	6.83	6.87
32	6.15	6.19	6.23	6.27	6.30	6.34	6.38	6.42	6.45	6.49	6.53	6.57	6.60	6.64	6.68	6.72	6.75
33	6.05	6.09	6.12	6.16	6.20	6.26	6.27	6.31	6.34	6.38	6.42	6.45	6.49	6.53	6.57	6.60	6.64
34	5.95	5.98	6.02	6.06	6.09	6.13	6.17	6.20	6.24	6.27	6.31	6.35	6.38	6.42	6.46	6.49	6.53
35	5.85	5.88	5.92	5.96	5.99	6.03	6.06	6.10	6.14	6.17	6.21	6.24	6.28	6.31	6.35	6.39	6.42
36	5.75	5.79	5.82	5.86	5.89	5.93	5.97	6.00	6.04	6.07	6.11	6.14	6.18	6.21	6.25	6.28	6.32
37	5.66	5.70	5.73	5.77	5.80	5.84	5.87	5.91	6.94	5.98	6.01	6.05	6.08	6.12	6.15	6.19	6.22
38	5.57	5.61	5.64	5.68	5.71	5.75	5.78	5.81	5.85	5.88	5.92	5.95	5.99	6.02	6.06	6.09	6.13
39	5.49	5.52	5.56	5.59	5.62	5.66	5.69	5.73	5.76	5.79	5.83	5.86	5.90	5.93	5.97	6.00	6.03
40	5.41	5.44	5.47	5.51	5.54	5.58	5.61	5.64	5.68	5.71	5.74	5.78	5.81	5.85	5.88	5.91	5.95

续表 A3

温度℃	压力, kPa																
	94.5	95.0	95.5	96.0	96.5	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5	102.0	
0	13.64	13.71	13.78	13.86	13.93	14.00	14.08	14.15	14.22	14.29	14.37	14.44	14.51	14.58	14.66	14.73	
1	13.26	13.33	13.40	13.47	13.54	13.61	13.68	13.75	13.82	13.89	13.96	14.03	14.10	14.17	14.24	14.31	
2	12.89	12.96	13.03	13.09	13.16	13.23	13.30	13.37	13.44	13.51	13.58	13.64	13.71	13.78	13.85	13.92	
3	12.54	12.61	12.67	12.74	12.81	12.87	12.94	13.01	13.07	13.14	13.21	13.27	13.34	13.41	13.48	13.54	
4	12.21	12.27	12.34	12.40	12.47	12.53	12.60	12.66	12.73	12.79	12.86	13.92	12.99	13.05	13.12	13.18	
5	11.89	11.95	12.01	12.08	12.14	12.21	12.27	12.33	12.40	12.46	12.52	12.59	12.65	12.71	12.78	12.84	
6	11.58	11.65	11.71	11.77	11.83	11.89	11.96	12.02	12.08	12.14	12.20	12.26	12.33	12.39	12.45	12.51	
7	11.29	11.35	11.41	11.48	11.54	11.60	11.66	11.72	11.78	11.84	11.90	11.96	12.02	12.08	12.14	12.20	
8	11.02	11.08	11.14	11.19	11.25	11.31	11.37	11.43	11.49	11.55	11.61	11.67	11.72	11.78	11.84	11.90	
9	11.75	10.81	10.87	10.92	10.98	11.04	11.10	11.16	11.21	11.27	11.33	11.39	11.44	11.50	11.56	11.62	
10	11.50	10.56	10.61	10.67	10.72	10.78	10.84	10.89	10.95	11.01	11.06	11.12	11.17	11.23	11.29	11.34	
11	11.26	10.31	10.37	10.22	10.48	10.53	10.59	10.64	10.70	10.75	10.81	10.86	10.92	10.97	11.03	11.09	
12	21.02	10.08	10.13	10.19	10.24	10.29	10.35	10.40	10.45	10.51	10.56	10.62	10.67	10.72	10.78	10.83	
13	9.80	9.85	9.91	9.96	10.01	10.06	10.12	10.17	10.22	10.27	10.33	10.38	10.43	10.49	10.54	10.59	
14	9.59	9.64	9.69	9.74	9.79	9.84	9.90	9.95	10.00	10.05	10.10	10.15	10.21	10.26	10.31	10.36	
15	9.38	9.43	9.48	9.53	9.58	9.63	9.68	9.74	9.79	9.84	9.89	9.94	9.99	10.04	10.09	10.14	
16	9.18	9.23	9.20	9.33	9.38	9.43	9.48	9.53	9.58	9.63	9.68	9.73	9.78	9.83	9.88	9.93	
17	8.99	9.04	9.09	9.14	9.19	9.24	9.29	9.33	9.38	9.43	9.48	9.53	9.58	9.62	9.67	9.72	
18	8.81	8.86	8.91	8.95	9.00	9.05	9.10	9.14	9.19	9.24	9.29	9.33	9.38	9.43	9.48	9.52	
19	8.63	8.68	8.73	8.77	8.82	8.87	8.91	8.96	9.01	9.05	9.10	9.15	9.19	9.24	9.29	9.33	

续表 A3

温度℃	压力, KPa																
	94.5	95.0	95.5	96.0	96.5	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	99.5	100.0	100.5	101.0	101.5	102.0	
20	8.46	8.51	8.56	8.60	8.65	8.69	8.74	8.78	8.83	8.88	8.92	8.97	9.01	9.06	9.10	9.15	
21	8.30	8.34	8.39	8.43	8.48	8.52	8.57	8.61	8.66	8.70	8.75	8.79	8.84	8.88	8.93	8.97	
22	8.14	8.18	8.23	8.27	8.32	8.36	8.41	8.45	8.49	8.54	8.58	8.63	8.67	8.71	8.76	8.80	
23	7.99	8.03	8.07	8.12	8.16	8.20	8.25	8.29	8.33	8.38	8.42	8.46	8.51	8.55	8.59	8.64	
24	7.84	7.88	7.92	7.96	8.01	8.05	8.09	8.13	8.18	8.22	8.26	8.31	8.35	8.39	8.43	8.48	
25	7.69	7.73	7.78	7.82	7.86	7.90	7.94	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.24	8.28	8.32	
26	7.55	7.59	7.63	7.68	7.72	7.76	7.80	7.84	7.88	7.92	7.96	8.00	8.05	8.09	8.13	8.17	
27	7.42	7.46	7.50	7.54	7.58	7.62	7.66	7.70	7.74	7.78	7.82	7.86	7.90	7.94	7.98	8.02	
28	7.28	7.32	7.36	7.40	7.44	7.48	7.52	7.56	7.60	7.64	7.68	7.72	7.76	7.80	7.84	7.88	
29	7.15	7.19	7.23	7.27	7.31	7.35	7.39	7.43	7.47	7.51	7.55	7.59	7.62	7.66	7.70	7.74	
30	7.03	7.07	7.11	7.15	7.18	7.22	7.26	7.30	7.34	7.38	7.42	7.45	7.49	7.53	7.57	7.61	
31	6.91	6.95	6.98	7.02	7.06	7.10	7.14	7.17	7.21	7.25	7.29	7.33	7.36	7.40	7.44	7.48	
32	6.79	6.83	6.87	6.90	6.94	6.98	7.01	7.05	7.09	7.13	7.16	7.20	7.24	7.28	7.31	7.35	
33	6.68	6.71	6.75	6.79	6.82	6.86	6.90	6.93	6.97	7.01	7.05	7.08	7.12	7.16	7.19	7.23	
34	6.57	6.60	6.64	6.67	6.71	6.75	6.78	6.82	6.86	6.89	6.93	6.97	7.00	7.04	7.07	7.11	
35	6.46	6.49	6.53	6.57	6.60	6.64	6.67	6.71	6.75	6.78	6.82	6.85	6.89	6.92	6.96	7.00	
36	6.35	6.39	6.43	6.46	6.50	6.53	6.57	6.60	6.64	6.67	6.71	6.74	6.78	6.82	6.85	6.89	
37	6.26	6.29	6.33	6.36	6.40	6.43	6.47	6.50	6.53	6.57	6.60	6.64	6.67	6.71	6.74	6.78	
38	6.16	6.19	6.23	6.26	6.30	6.33	6.37	6.40	6.44	6.47	6.50	6.54	6.57	6.61	6.64	6.68	
39	6.07	6.10	6.14	6.17	6.20	6.24	6.27	6.31	6.34	6.37	6.41	6.44	6.48	6.51	6.55	6.58	
40	5.98	6.01	6.05	6.08	6.12	6.15	6.18	6.22	6.25	6.28	6.32	6.35	6.39	6.42	6.45	6.49	

续表 A3

温度℃	压力, kPa																
	102.5	103.0	103.5	104.0	104.5	105.0	105.5	106.0	106.5	107.0	107.5	108.0	108.5	109.0	109.5	110.5	
0	14.80	14.87	14.95	15.02	15.09	15.16	15.24	15.31	15.38	15.46	15.53	15.60	15.67	15.75	15.82	15.89	
1	14.38	14.46	14.53	14.60	14.07	14.74	14.81	14.88	14.95	15.02	15.09	15.16	15.23	15.30	15.37	15.44	
2	13.99	14.06	14.13	14.19	14.26	14.33	14.40	14.47	14.54	14.61	14.67	14.74	14.81	14.88	14.95	15.02	
3	13.61	13.68	13.74	13.81	13.88	13.93	14.01	14.03	14.14	14.21	14.28	14.34	14.41	14.48	14.55	14.61	
4	13.25	13.31	13.38	13.44	13.51	13.57	13.64	13.70	13.77	13.83	13.90	13.96	14.03	14.09	14.16	14.23	
5	12.90	12.97	13.03	13.09	13.16	13.22	13.28	13.35	13.41	13.47	13.54	13.60	13.67	13.73	13.79	13.86	
6	12.57	12.64	12.70	12.97	12.82	12.88	12.95	13.01	13.07	13.13	13.19	13.26	13.32	13.88	13.44	13.50	
7	12.26	12.32	12.38	12.44	12.50	12.56	12.62	12.68	12.74	12.80	12.86	12.92	12.98	13.05	13.11	13.17	
8	11.96	12.02	12.08	12.14	12.20	12.26	12.31	12.37	12.43	12.49	12.55	12.61	12.67	12.73	12.79	12.84	
9	11.67	11.73	11.79	11.85	11.90	12.96	12.02	12.08	12.13	12.19	12.25	12.31	12.36	12.42	12.48	12.54	
10	11.40	11.45	11.51	11.57	11.62	11.68	11.74	11.79	11.85	11.90	11.96	12.02	12.07	12.13	12.19	12.24	
11	11.14	11.19	11.25	11.30	11.36	11.41	11.47	11.52	11.58	11.63	11.69	11.74	11.80	11.85	11.91	11.90	
12	10.83	10.93	10.99	11.05	11.10	11.15	11.21	11.26	11.31	11.37	11.42	11.48	11.53	11.58	11.64	11.69	
13	10.64	10.70	10.75	10.80	10.85	10.91	10.96	11.01	11.06	11.12	11.17	11.22	11.27	11.33	11.38	11.43	
14	10.41	10.46	10.51	10.57	10.62	10.69	10.72	10.77	10.82	10.87	10.93	10.98	11.03	11.08	11.13	11.18	
15	10.19	10.24	10.29	10.34	10.39	10.44	10.49	10.54	10.59	10.64	10.69	10.74	10.79	10.84	10.90	10.95	
16	9.98	10.02	10.07	10.12	10.17	10.22	10.27	10.32	10.37	10.42	10.47	10.52	10.57	10.62	10.67	10.72	
17	9.77	9.88	9.87	9.91	9.96	10.01	10.06	10.11	10.16	10.21	10.25	10.30	10.35	10.40	10.45	10.50	
18	9.57	9.62	9.67	9.71	9.76	9.81	9.86	9.90	9.95	10.00	10.05	10.09	10.14	10.19	10.24	10.28	
19	9.38	9.43	9.47	9.52	9.57	9.61	9.66	9.71	9.75	9.80	9.85	9.89	9.94	9.99	10.03	10.08	

续表 A3

温度℃	压力, kPa																
	102.5	103.0	103.5	104.0	104.5	105.0	105.5	106.0	106.5	107.0	107.5	108.0	108.5	109.0	109.5	110.5	
20	9.20	9.24	9.29	9.33	9.38	9.42	9.47	9.52	9.56	9.61	9.65	9.70	9.75	9.79	9.84	9.88	
21	9.02	9.06	9.11	9.15	9.20	9.24	9.29	9.33	9.38	9.42	9.47	9.51	9.56	9.60	9.65	9.69	
22	8.85	8.89	8.93	8.98	9.02	9.07	9.11	9.15	9.20	9.24	9.29	9.33	9.38	9.52	9.40	9.51	
23	8.68	8.72	8.77	8.81	8.85	8.90	8.94	8.92	9.03	9.07	9.11	9.16	9.20	9.24	9.29	9.33	
24	8.52	8.56	8.60	8.65	8.69	8.73	8.77	8.82	8.86	8.90	8.94	8.99	9.03	9.07	9.11	9.16	
25	8.36	8.40	8.45	8.49	8.53	8.57	8.61	8.65	8.70	8.74	8.78	8.82	8.86	8.91	8.95	8.99	
26	8.21	8.25	8.29	8.33	8.37	8.42	8.46	8.50	8.94	8.58	8.62	8.66	8.70	8.74	8.79	8.83	
27	8.96	8.10	8.14	8.18	8.22	8.27	8.31	8.35	8.39	8.43	8.47	8.51	8.55	8.59	8.63	8.67	
28	7.92	7.96	8.00	8.04	8.08	8.12	8.16	8.20	8.24	8.28	8.32	8.36	8.40	8.44	8.48	8.52	
29	7.38	7.82	7.86	7.90	7.94	7.98	8.02	8.06	8.09	8.13	8.17	8.21	8.25	8.29	8.33	8.37	
30	7.65	7.69	7.72	7.76	7.80	7.84	7.88	7.92	7.96	7.99	8.03	8.07	8.11	8.15	8.19	8.23	
31	7.52	7.55	7.59	7.63	7.67	7.71	7.74	7.78	7.82	7.86	7.90	7.93	7.97	8.01	8.05	8.09	
32	7.39	7.43	7.46	7.50	7.54	7.58	7.61	7.65	7.69	7.73	7.76	7.80	7.84	7.88	7.91	7.95	
33	7.27	7.30	7.34	7.38	7.41	7.45	7.49	7.52	7.56	7.60	7.64	7.97	7.71	7.75	7.78	7.82	
34	7.15	7.18	7.22	7.26	7.29	7.33	7.37	7.40	7.44	7.48	7.51	7.55	7.58	7.62	7.66	7.69	
35	7.03	7.07	7.10	7.14	7.18	7.21	7.25	7.28	7.32	7.36	7.39	7.43	7.46	7.50	7.53	7.57	
36	7.92	6.96	6.99	7.03	7.06	7.10	7.13	7.17	7.20	7.24	7.28	7.31	7.35	7.38	7.62	7.45	
37	6.81	6.85	6.88	6.92	6.95	6.99	7.02	7.06	7.09	7.13	7.16	7.20	7.23	7.27	7.30	7.34	
38	6.71	6.75	6.78	6.82	6.85	6.88	6.92	6.95	6.99	7.02	7.06	7.09	7.13	7.16	7.20	7.23	
39	6.61	6.65	6.68	6.72	6.75	6.78	6.82	6.85	6.89	6.92	6.96	6.99	7.02	7.06	7.39	7.13	
40	6.52	6.55	6.59	6.62	6.66	6.69	6.72	6.76	6.79	6.82	6.86	6.89	6.93	6.96	6.99	7.03	