

高等学校试用教材

低温工质 热物理性质 表和图

西安交通大学 郑德馨 编
袁秀玲

机械工业出版社

13-64

高等学校试用教材

低温工质热物理性质表和图

西安交通大学 郑德馨 袁玲 编

机械工业出版社

科学出版社

低温工质热物理性质表

低温工质热物理性质表

西安交通大学 郑德馨 袁秀玲 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/8·印张 11 1/2·字数 268 千字

1982 年 7 月北京第一版·1982 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,200·定价 1.30 元

*

统一书号: 15033·5118

前

本书是根据1978年4月高等学校一机部对口专业座谈会制定的教材出版计划编写的。它的内容包括空气、氧、氮、氢、氦等十三种低温工质的热物理性质图及表,以及氧-氩-氮,氖-氩,甲烷-氮等混合物的汽液平衡数据图或表。

本书是根据公开发表的国内外资料选编而成的。采用国际单位制<SI>,有些原非国际单位制的数据表经过换算已按国际单位制列出,但图由于收集到的资料有限,而换算重制又有困难,故部分热物理性质图仍按原单位制,但辅之以单位换算表。

本书由西安交通大学低温技术教研室郑德馨、袁秀玲编写;经西安

言

交通大学低温技术教研室张祉祐同志审定;一机部教材编辑室高文龙任责任编辑。

本书是为《低温技术》专业学生进行低温装置的设计和计算的需要而编写的,也可供有关工程技术人员使用。

在收集资料和编写的过程中,得到华中工学院石秉三同志,杭州制氧机研究所严寿鹏同志,西安交大低温技术教研室钱鸿章、郭有仪等同志的帮助,特此致谢。

由于时间紧迫,更限于编写人员的水平,错误和缺点在所难免,恳切欢迎读者予以批评指正。

目

§ 1 低温工质的基本物理-化学性质	1
表 1-1 低温工质的基本物理-化学性质	1
§ 2 低温工质的状态方程	2
一、范德瓦耳方程	2
二、 $B-W-R$ 方程	2
§ 3 低温工质的热物理性质	3
一、密度和比容	3
表 3-1-1 饱和空气的比容	3
表 3-1-2 液态及气态空气的比容	3
表 3-1-3 饱和氧的比容	4
表 3-1-4 液态及气态氧的比容	5
表 3-1-5 饱和氮的比容	6
表 3-1-6 液态及气态氮的比容	7
表 3-1-7 饱和氩的比容	8
表 3-1-8 液态及气态氩的比容	9
表 3-1-9 饱和氦的密度	10
表 3-1-10 液态及气态氦的密度	10
表 3-1-11 氦的密度	11
表 3-1-12 高温条件下氦的密度	12
表 3-1-13 液氮的密度	12
表 3-1-14 饱和氦-3 的密度	12
表 3-1-15 正常氢在饱和状态下的比容	12
表 3-1-16 仲氢在饱和状态下的比容	12
表 3-1-17 正常氢的比容	13
表 3-1-18 仲氢的比容	14
表 3-1-19 饱和氦的密度	15
表 3-1-20 氦的密度	15
表 3-1-21 饱和氩的密度	15
表 3-1-22 氩的密度	15
表 3-1-23 饱和一氧化碳的密度	16
表 3-1-24 一氧化碳的密度	16
表 3-1-25 饱和甲烷的密度	16
表 3-1-26 饱和乙炔的密度	16

录

二、压缩性系数	17
表 3-2-1 空气的压缩度	17
表 3-2-2 氧的压缩度	17
表 3-2-3 氮的压缩度	18
表 3-2-4 氮、氧、氩的压缩度	18
表 3-2-5 氩的压缩度	18
表 3-2-6 一氧化碳的压缩度	18
表 3-2-7 氮的压缩度	19
表 3-2-8 氩的压缩度	19
表 3-2-9 甲烷的压缩度	19
表 3-2-10 乙炔的压缩度	19
三、液化气体的体膨胀系数	19
表 3-3 液化气体的体膨胀系数	20
四、饱和蒸汽压力	20
表 3-4-1 空气的饱和蒸汽压	20
表 3-4-2 氧的饱和蒸汽压	20
表 3-4-3 氮的饱和蒸汽压	20
表 3-4-4 氩的饱和蒸汽压	21
表 3-4-5 氦的饱和蒸汽压	21
表 3-4-6 氦-4 的饱和蒸汽压	21
表 3-4-7 氦-3 的饱和蒸汽压	21
表 3-4-8 正常氢的饱和蒸汽压	21
表 3-4-9 仲氢的饱和蒸汽压	21
表 3-4-10 氮的饱和蒸汽压	21
表 3-4-11 氩的饱和蒸汽压	22
表 3-4-12 一氧化碳的饱和蒸汽压	22
表 3-4-13 甲烷的饱和蒸汽压	22
表 3-4-14 乙炔的饱和蒸汽压	22
五、比热	22
表 3-5-1 饱和空气的比热	22
表 3-5-2 空气的比热	23
表 3-5-3 饱和氧的比热	24
表 3-5-4 氧的比热	25
表 3-5-5 饱和氮的比热	26

表3-5-6	氮的比热	26
表3-5-7	饱和氮的比热	27
表3-5-8	氮的比热	28
表3-5-9	氮的定压比热	29
表3-5-10	氮的定压比热	29
表3-5-11	饱和和正常氮的比热	30
表3-5-12	饱和和仲氮的比热	30
表3-5-13	正常氮的比热	30
表3-5-14	仲氮的比热	31
表3-5-15	氮的比热	32
表3-5-16	氮的比热	32
表3-5-17	一氧化碳的比热	32
表3-5-18	甲烷的定压比热	33
表3-5-19	乙炔的定压比热	33
六、汽化潜热		
表3-6-1	空气的汽化潜热	34
表3-6-2	氧的汽化潜热	34
表3-6-3	氮的汽化潜热	34
表3-6-4	氮的汽化潜热	34
表3-6-5	氮的汽化潜热	34
表3-6-6	氮-4的汽化潜热	35
表3-6-7	正常氮的汽化潜热	35
表3-6-8	仲氮的汽化潜热	35
表3-6-9	氮的汽化潜热	35
表3-6-10	氮的汽化潜热	35
表3-6-11	一氧化碳的汽化潜热	35
表3-6-12	甲烷的汽化潜热	35
七、粘度		
表3-7-1	液态及气态空气的粘度	36
表3-7-2	液态及气态氧的动力粘度	37
表3-7-3	液态及气态氮的动力粘度	38
表3-7-4	液态及气态氩的粘度	39
表3-7-5	在 $p \leq 1\text{bar}$ 时氮气的粘度	40
表3-7-6	不同温度、压力下氮的粘度	40
表3-7-7	低温下氮的粘度	40
表3-7-8	液氮的粘度	40
表3-7-9	在 $p = 1\text{bar}$ 时氩气的粘度	40
表3-7-10	不同温度、压力下氩气的粘度	40
表3-7-11	液氩的粘度	40
表3-7-12	氮-3 和氮-4 的粘度	40
表3-7-13	液体氩 I (He I) 和氩 II (He II) 的粘度	41

表3-7-14	液态氮-3 的粘度	41
表3-7-15	饱和和状态氮和仲氮的粘度	41
表3-7-16	不同温度、压力下氮的粘度	41
表3-7-17	低温下氮的粘度	42
表3-7-18	液态氮的粘度	42
表3-7-19	在 $p = 1\text{bar}$ 时氮气和氩气的粘度	42
表3-7-20	在不同温度、压力下氩气的粘度	42
表3-7-21	一氧化碳在标准大气压下的粘度	42
表3-7-22	液体一氧化碳的粘度	42
表3-7-23	甲烷在标准大气压下的粘度	42
表3-7-24	液体甲烷的粘度	42
八、导热系数		
表3-8-1	液态及气态空气的导热系数	42
表3-8-2	气态空气的导热系数	43
表3-8-3	液态和气态氧的导热系数	43
表3-8-4	液态和气态氮的导热系数	45
表3-8-5	液态和气态氩的导热系数	46
表3-8-6	$p = 1\text{bar}$ 下氮气的导热系数	46
表3-8-7	不同温度、压力下氮气的导热系数	46
表3-8-8	液氮的导热系数	47
表3-8-9	$p = 1\text{bar}$ 下氩的导热系数	47
表3-8-10	不同温度、压力下氩的导热系数	47
表3-8-11	液氩的导热系数	47
表3-8-12	氮-3 的导热系数	47
表3-8-13	液体氮-3 的导热系数	47
表3-8-14	在 $p = 1\text{bar}$ 下氮的导热系数	47
表3-8-15	在不同温度、压力下氮的导热系数	47
表3-8-16	液氮的导热系数	47
表3-8-17	在 $p = 1\text{bar}$ 下氩气的导热系数	48
表3-8-18	饱和和状态氩的导热系数	48
表3-8-19	不同温度、压力下氩的导热系数	48
表3-8-20	饱和和状态氩的导热系数	48
表3-8-21	不同温度、压力下氩的导热系数	48
表3-8-22	$p = 1\text{bar}$ 下氩气的导热系数	48
表3-8-23	在标准大气压下甲烷的导热系数	48
表3-8-24	不同温度、压力下甲烷的导热系数	48
表3-8-25	液态甲烷的导热系数	48
表3-8-26	一氧化碳在标准大气压下的导热系数	48
表3-8-27	液体一氧化碳的导热系数	48
九、表面张力		
表3-9-1	液化气体的表面张力	49

表3-9-2 液化气体混合物的表面张力.....	49
十、音速.....	49
表3-10-1 气体中的音速.....	49
表3-10-2 在饱和蒸汽压力下, 液化气体中的音速.....	50
十一、溶解度.....	50
表3-11-1 气体在水中的溶解度.....	50
表3-11-2 乙炔在液氧及液氮中的溶解度.....	50
表3-11-3 乙炔在液体氧-氮混合物中的溶解度.....	50
表3-11-4 90 K时碳氢化合物在液氧中的溶解度.....	50
十二、吸附值.....	51
表3-12-1 活性碳吸附气体时朗格缪尔公式中的常数.....	51
表3-12-2 活性碳对氮的吸附值.....	51
表3-12-3 活性碳对氧的吸附值.....	51
表3-12-4 活性碳对氩的吸附值.....	51
表3-12-5 活性碳对氮的吸附值.....	52
表3-12-6 活性碳对氩的吸附值.....	52
表3-12-7 活性碳对氧的吸附值.....	52
表3-12-8 活性碳对氮的吸附值.....	52
表3-12-9 A型沸石的吸附数据.....	52
表3-12-10 X型沸石的吸附数据.....	53
§ 4 低温工质混合物汽液平衡数据.....	54
表4-1 氮-氢混合物汽液平衡数据.....	54
表4-2 氢-氮混合物汽液平衡数据.....	54
表4-3 甲烷-氮混合物汽液平衡数据.....	55
表4-4 甲烷-氮混合物固-汽平衡数据.....	55
表4-5 氧-氮-氮混合物汽液平衡数据.....	56
§ 5 低温工质热力学性质图.....	57
图1 空气 $T-s$ 图.....	57
图2 空气 $H-s$ 图.....	58

图3 氧的 $T-s$ 图.....	59
图4 氧的 $h-s$ 图.....	60
图5 氮的 $T-s$ 图.....	61
图6 氮的 $h-s$ 图.....	62
图7 氩的 $T-s$ 图.....	63
图8 氩的 $h-s$ 图.....	64
图9 氩的 $T-s$ 图 (60~300 K).....	65
图10 氩的 $T-s$ 图 (25~80 K).....	66
图11 氮的 $T-s$ 图 (3~25 K).....	67
图12 氮的 $T-s$ 图 (15~300 K).....	68
图13 氢的 $T-s$ 图 (140~300 K).....	69
图14 氢的 $T-s$ 图 (~150 K).....	70
图15 仲氢的 $T-s$ 图 (14~100 K).....	71
图16 仲氢的 $T-s$ 图 (4~22 K).....	72
图17 一氧化碳 $h-lg p$ 图.....	73
图18 甲烷 $h-lg p$ 图.....	74
图19 氧-氮混合物 $T-p-x-y$ 图.....	75
图20 氧-氮混合物 $T-H-p-x-y$ 图.....	76
图21 氧-氮混合物 $H-x$ 图.....	77
图22 氧-氮混合物 $T-p-x-y$ 图.....	78
图23 氮-氮混合物 $T-p-x-y$ 图.....	79
图24 氧-氮混合物平衡图 ($p=1.33\text{bar}$).....	80
图25 氧-氮-氮混合物平衡图 ($p=1.33\text{bar}$).....	81
图26 氧-氮-氮混合物平衡图 ($p=5.69\text{bar}$).....	82
图27 氧-氮-氮混合物平衡图 ($p=1.33\text{bar}$).....	83
符号.....	84
单位换算表.....	85
参考文献.....	86

§1 低温工质的基本物理-化学性质

低温工质一般指沸点在120 K以下的工质，这里包括了空气、氧、氮、氩、氦-4、氦-3、氢、氘、一氧化碳、甲烷等。此外，氙和乙炔虽然沸点超过120 K，但因它们和空气分离关系密切，故也一并收集了它们的物理-化学性质及热物理性质。

表1-1 低温工质的基本物理-化学性质〔9〕

名 称	化 学 式	分 子 量	密 度 (在273.15K 及760mmHg 下) ρ_0	克分子体积 (在273.15K 及760mmHg 下) V_0	气体常数 R kJ kg·K	临 界 点		熔 点		沸 点 (在760mmHg下)				三 相 点			1 l的液体 变为273.15K 及760mmHg 下的气体容积	1 m ³ 气体 (288.15K 及760mmHg 下)生成液体容积		
						温 度 T_c K	压 力 P_c bar	密 度 ρ_c kg/m ³	温 度 T_m K	熔 化 热 r kJ/kg	温 度 T_b K	汽 化 热 r kJ/kg	密 度 ρ_l kg/m ³	密 度 ρ_g kg/m ³	温 度 K	压 力 bar			固 体 kg/m ³	液 体 kg/m ³
空 气	—	28.96	1.2928	22.40	0.2928	132.42~ 132.52	37.73~ 37.65	328~320	—	—	213.53	873 (78.8K)	4.485	60.15	—	—	675	1.379		
氧	O ₂	31.9988	1.4289	22.39	0.2650	154.78	50.79	426.5	54.75	13.92	213.65	1140	4.5	54.36	0.00152	1370	1310	800	1.15	
氮	N ₂	28.0134	1.2506	22.40	0.3027	126.1	33.94	312	63.29	25.70	199.25	810	4.69	63.15	0.1256	947	873	643	1.421	
氩	Ar	39.948	1.7840	22.39	0.2123	150.7	48.62	535	84	26.53	164.09	1410	6.95	83.80	0.6873	1623	1416	780	1.166	
氖	Ne	20.179	0.8713	23.16	0.4202	44.4	26.53	483	24.57	15.99	86.118	1206	9.552	24.54	0.4329	1442	1247	1340	0.683	
氦-4	He ⁴	4.003	0.1769	22.63	2.1184	5.199	2.29	69	1.15 (25.6bar)	5.71(3.5K)	20.306	124.8	16.38	—	—	159.7 (1.35K)	173.8 (1.35K)	700	1.311	
氦-3	He ³	3.016	0.1345	22.42	2.8117	3.35	1.18	41	0.33 (29.29bar)	8.089 (0.2K0.161 ×10 ⁻⁷ bar)	7.531	58.6	24	—	—	132.3 (2.00K)	137.6 (2.00K)	—	—	
氢	H ₂	2.016	0.08988	22.43	4.2063	32.976	12.93	31.45	13.947	58.197	446.65	71.021	1.333	13.947	0.0704	86.79	77.09	788	1.166	
氘	Kr	83.80	3.6431	23.00	0.1012	209.4	55.01	909	116.2	19.55	107.76	2413	8.7(120K)	115.76	0.730	2900	2440 (116K)	570	1.451	
氙	Xe	131.30	5.89	22.29	0.0646	289.75	58.75	1105	161.65	17.619	96.127	3060	—	161.37	0.815	3540	3084	523	1.75	
一氧化碳	CO	28.0106	1.2504	22.40	0.3027	132.92	34.978	301	68.15	29.894	215.83	790	4.5	68.14	0.153	929(65K)	846	632	1.411	
甲烷	CH ₄	16.043	0.7167	22.38	0.5286	190.7	46.395	162	90.65	58.189	509.74	426	1.8	90.6	0.116	—	—	591	1.55	
乙 炔	C ₂ H ₂	26.038	1.1747	22.17	0.3257	309.15	62.38	231	192.15	96.464	799.68(升华)	—	—	191.66	1.199	730 (188.16K)	610	520	2.055	

注：表中所列临界点，三相点，沸点等参数中有的和本书后面的有关参数由于出处不同，稍有出入。

§2 低温工质的状态方程

气体的热力学平衡状态可以用系统的温度 T 、容积 V 、压力 p 来描写。同一状态，这些状态参数之间存在着一定的联系。表示这种联系的数学关系称为系统的状态方程，它的一般形式为 $F(T, p, V) = 0$ 。

对低温技术来说，所用的工质多在低温高压下工作，不能用理想气体的状态方程式来进行计算，而需使用真实气体的状态方程。限于篇幅，在此仅介绍两种真实气体的状态方程。

一、范德瓦耳方程

这是描写真实气体最简单的方程之一。它的适用范围很有限，如果要求较高精确度，即使

表2-1 范德瓦耳方程中的 a 、 b 常数 [17]

气 体	a bar·cm ⁶	b cm ³	气 体	a bar·cm ⁶	b cm ³
空气	1.35×10^6	36.6	氖Ne	2.15×10^6	62.0
氮N ₂	1.36×10^6	38.6	氩Ar	2.34×10^6	39.8
氧O ₂	1.38×10^6	31.9	氙Xe	4.15×10^6	57.4
氩Ar	1.37×10^6	32.3	甲烷CH ₄	2.28×10^6	42.8
氢H ₂	0.248×10^6	26.6	乙炔C ₂ H ₂	4.43×10^6	51.2
氦He	0.0324×10^6	23.4	一氧化碳CO*	1.47×10^6	39.54

* 引自文献[16]。

在低压力的情况下它也不能适用，更不能用在高密度区，例如临界区域。
一克分子气体的范德瓦耳方程为

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v_0 - b) = RT$$

v_0 是一克分子气体所占有的容积， a 和 b 是引进的两个常数，一般由实验测定。

a 和 b 也可由临界参数求得， a 、 b 与临界参数 T_c 、 p_c 的关系为

$$a = \frac{27R^2T_c^2}{64p_c} \quad b = \frac{RT_c}{8p_c}$$

二、B-W-R方程

Benedict-Webb-Rubin 方程是目前较好的一种。它完全是经验方程，是用曲线拟合方法由轻烃实验数据而得来的。该方程可以写成如下的形式：

$$p = \frac{RT}{v} + \left(B_0RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2}\right) \frac{1}{v^2} + (bRT - a) \frac{1}{v^3} + \frac{aa}{v^6} + \frac{C(1 + \gamma/v^2)}{T^2} - \frac{1}{v^3} e^{-\gamma/v^2}$$

式中 8 个常数对于不同的气体是不同的。通过曲线拟合实验 $p-v-T$ 数据而获得这些常数。当实际气体的密度小于临界密度的 1.8 倍时，该方程用来描写 $p-v-T$ 关系是足够精确的（特别对于轻烃类及非极性气体）。

表2-2 B-W-R方程的常数 [16]

物 质	a $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^2 \cdot \text{bar}$	A_0 $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^2 \cdot \text{bar}$	b $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^2$	B_0 $\frac{1}{\text{mol}}$	$C \times 10^{-6}$ $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^3 \cdot \text{K}^2 \cdot \text{bar}$	α $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^3$	$C_0 \times 10$ $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^2 \cdot \text{K}^2 \cdot \text{bar}$	γ $\left(\frac{1}{\text{mol}}\right)^2$
CH ₄	0.0500422	1.879115	0.00338004	0.0426000	0.00257808	0.000124359	0.0228634	0.0060000
Ar	0.0292107	0.8341214	0.00215289	0.022282597	0.00080862	0.00003558895	0.0131209	0.0023382711
CO	0.0371265	1.3586558	0.00263158	0.0545425	0.00105352	0.000135	0.00867339	0.006
He	-0.0005808	0.0414945	-0.00000019727	0.023661	-0.00000005592	-0.0000072673	-0.000000164379	0.00077942
N ₂	0.0254283	1.0673393	0.0023277	0.0407426	0.000737879	0.0001272	0.00816377	0.005300
O ₂	0.1648049	0.9632130	0.00358834736	0.000000035328505	0.012984129	-3.927058894	0.033067958	0.0301

§3 低温工质的热物理性质

一、密度和比容

密度(ρ): 物体单位体积的质量, 单位为 kg/m^3 。
比容(v): 密度的倒数, 即 $v = \frac{1}{\rho}$, 单位为 m^3/kg 。
常用气体在标准状态下的密度值载于表 1-1。
气体在任意温度与压力下的密度, 以及混合物的密度可用压缩系数(Z)进行计算。

表3-1-1 饱和空气的比容[1] m^3/kg

T, K	$v' \text{①}$	$v'' \text{②}$	T, K	v'	v''	T, K	v'	v''
64	1.060	2570	88	1.201	120.1	112	1.447	19.39
65	1.065	2154	89	1.208	109.6	113	1.462	18.15
66	1.070	1816	90	1.216	100.2	114	1.478	17.00
67	1.075	1540	91	1.223	91.83	115	1.495	15.92
68	1.080	1313	92	1.231	84.28	116	1.513	14.91
69	1.085	1125	93	1.239	77.47	117	1.532	13.96
70	1.090	968.4	94	1.247	71.32	118	1.552	13.07
71	1.095	837.6	95	1.256	65.75	119	1.573	12.24
72	1.101	727.5	96	1.265	60.70	120	1.596	11.45
73	1.107	634.6	97	1.274	56.12	121	1.622	10.71
74	1.113	555.7	98	1.283	51.95	122	1.650	10.01
75	1.119	488.4	99	1.292	48.14	123	1.681	9.343
76	1.125	430.9	100	1.302	44.67	124	1.717	8.714
77	1.131	381.4	101	1.312	41.49	125	1.757	8.115
78	1.136	338.7	102	1.322	38.57	126	1.802	7.543
79	1.142	301.7	103	1.333	35.89	127	1.852	6.996
80	1.148	269.6	104	1.344	33.43	128	1.911	6.470
81	1.154	241.6	105	1.355	31.16	129	1.983	5.960
82	1.160	217.1	106	1.367	29.07	130	2.075	5.425
83	1.167	195.5	107	1.379	27.14	131	2.206	4.858
84	1.173	176.5	108	1.391	25.35	132	2.450	4.202
85	1.180	159.8	109	1.404	23.69	132.55		3.196
86	1.187	145.0	110	1.418	22.15			
87	1.194	131.8	111	1.432	20.72			

① v' 为饱和液体的比容。

② v'' 为饱和蒸汽的比容。

表3-1-2 液态及气态空气的比容[1] m^3/kg

T, K	p, bar	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
75	1.1192	—	—	—	—	1.1183	—	—	1.1171	1.1159	1.1148
85	236.0	—	—	—	—	1.1790	—	—	1.1773	1.1755	1.1738
90	251.2	121.7	—	—	—	1.2150	—	—	1.2128	1.2106	1.2085
95	266.2	129.7	84.05	—	—	1.2559	—	—	1.2531	1.2503	1.2475
100	281.2	137.5	89.54	65.46	50.93	—	—	—	1.2995	1.2958	1.2922
105	296.1	145.3	94.92	69.69	54.98	44.30	31.43	1.3544	1.3493	1.3443	1.3403
110	310.9	152.9	100.2	73.81	57.92	47.30	33.93	25.78	1.4143	1.4143	1.4071
115	325.6	160.5	105.4	77.85	61.28	50.20	36.29	27.87	16.26	16.26	1.4871
120	340.3	168.1	110.6	81.84	64.57	53.03	38.56	29.83	17.25	17.25	11.59
125	355.0	175.6	115.7	85.78	67.80	55.80	40.76	31.70	19.47	19.47	13.12
130	369.7	183.0	120.8	89.68	70.99	58.52	42.91	33.51	20.87	20.87	14.42
135	384.8	190.5	125.9	93.54	74.14	61.20	45.01	35.27	22.22	22.22	15.59
140	398.9	197.9	130.9	97.38	77.27	63.85	47.07	36.99	23.49	23.49	16.67
145	413.4	205.3	135.9	101.2	80.37	66.48	49.11	38.67	24.72	24.72	17.70
150	428.0	212.7	140.9	105.0	83.44	69.08	51.12	40.33	25.92	25.92	18.69
160	457.0	227.4	150.8	112.5	89.54	74.23	55.08	43.58	28.38	28.38	20.56
170	486.0	242.0	160.7	120.0	95.59	79.32	58.98	46.77	30.63	30.63	22.34
180	515.0	256.6	170.5	127.4	101.6	84.36	62.83	49.91	34.83	34.83	24.06
190	543.9	271.2	180.3	134.8	107.6	89.37	66.64	53.00	35.84	35.84	25.74
200	572.8	285.7	190.0	142.2	113.5	94.35	70.42	56.07	37.11	37.11	27.38
210	601.7	300.2	199.8	149.5	119.4	99.30	74.18	59.12	39.21	39.21	28.99
220	630.5	314.8	209.5	156.9	125.3	104.2	77.92	62.14	41.28	41.28	30.58
230	659.4	329.2	219.2	164.2	131.2	109.2	81.65	65.15	43.34	43.34	32.15
240	688.2	343.7	228.9	171.5	137.0	114.1	85.36	68.14	45.39	45.39	33.71
250	717.0	358.2	238.6	178.8	142.9	119.0	89.06	71.12	47.42	47.42	35.25
260	745.8	372.6	248.2	186.0	148.7	123.8	92.74	74.09	49.44	49.44	36.79
270	774.6	387.1	257.9	193.3	154.5	128.7	96.42	77.05	51.45	51.45	38.31
280	803.4	401.5	267.5	200.6	160.4	133.6	100.1	80.00	53.45	53.45	39.83
290	832.2	415.9	277.2	207.8	166.2	138.4	103.8	82.95	55.45	55.45	41.34
300	861.0	430.4	286.8	215.1	172.0	143.3	107.4	85.89	57.44	57.44	42.84
310	889.8	444.8	296.5	222.3	177.8	148.2	111.1	88.82	59.43	59.43	44.34
320	918.5	459.2	306.1	229.5	183.6	153.0	114.7	91.75	61.41	61.41	45.84
330	947.3	473.6	315.7	236.8	189.4	157.8	118.4	94.68	63.39	63.39	47.33
340	976.0	488.0	325.3	244.0	195.2	162.7	122.0	97.60	65.36	65.36	48.82
350	1005	502.4	335.0	251.2	201.0	167.5	125.6	100.5	67.33	67.33	50.30
375	1077	538.4	359.0	269.3	215.5	179.6	134.7	107.8	72.24	72.24	53.99
400	1148	574.4	383.0	287.3	229.9	191.6	143.8	115.1	77.14	77.14	57.67
425	1220	610.4	407.0	305.3	244.3	203.7	152.8	122.3	82.03	82.03	61.34
450	1292	646.3	431.0	323.3	258.8	215.7	161.9	129.6	86.90	86.90	64.99
475	1364	682.3	455.0	341.3	273.2	227.7	170.9	136.8	91.77	91.77	68.64
500	1436	718.2	479.0	359.3	287.6	239.7	179.9	144.0	96.72	96.72	72.29

(续)

注：表中的横粗线表示气态和液态的分界，下同。

注：表中的横粗线表示气态和液态的分界，下同。

表3-1-4 液态及气态氧的密度 ρ / kg

T, K	p, bar	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
75		0.8295	—	—	—	0.8290	—	—	0.8284	0.8278	0.8272	0.8266	0.8260	0.8255	0.8249	0.8238	0.8226	0.8205	0.8184	0.8134	0.8088
80		0.8451	—	—	—	0.8445	—	—	0.8439	0.8432	0.8425	0.8419	0.8412	0.8406	0.8400	0.8387	0.8375	0.8351	0.8324	0.8274	0.8223
85		0.8618	—	—	—	0.8611	—	—	0.8604	0.8596	0.8589	0.8582	0.8575	0.8567	0.8560	0.8546	0.8533	0.8506	0.8481	0.8420	0.8365
90		0.8798	—	—	—	0.8791	—	—	0.8782	0.8774	0.8765	0.8757	0.8749	0.8741	0.8733	0.8717	0.8701	0.8671	0.8642	0.8575	0.8513
95		239.7	—	—	—	0.8686	—	—	0.8976	0.8966	0.8956	0.8946	0.8937	0.8927	0.8918	0.8900	0.8882	0.8848	0.8815	0.8733	0.8669
100		253.5	123.4	—	—	0.9199	—	—	0.9187	0.9175	0.9163	0.9152	0.9141	0.9130	0.9119	0.9097	0.9077	0.9037	0.8999	0.8911	0.8832
105		267.0	130.5	84.94	—	0.9434	—	—	0.9419	0.9405	0.9405	0.9377	0.9364	0.9350	0.9337	0.9312	0.9287	0.9240	0.9196	0.9095	0.9005
110		280.5	137.5	89.82	65.90	51.51	—	—	0.9678	0.9661	0.9661	0.9627	0.9610	0.9594	0.9578	0.9547	0.9518	0.9462	0.9409	0.9290	0.9186
115		294.0	144.5	94.61	69.64	54.62	44.57	—	0.9973	0.9950	0.9950	0.9907	0.9887	0.9866	0.9847	0.9809	0.9772	0.9704	0.9641	0.9500	0.9379
120		307.4	151.4	99.35	73.31	57.66	47.20	34.06	26.09	1.0285	1.0285	1.0229	1.0202	1.0176	1.0151	1.0103	1.006	0.9972	0.9895	0.9727	0.9585
125		320.7	158.2	104.0	76.94	60.65	49.77	36.13	27.88	1.0685	1.0685	1.0608	1.0572	1.0537	1.0504	1.0441	1.038	1.072	1.0178	0.9973	0.9805
130		334.0	165.0	108.7	80.53	63.59	52.29	38.13	29.59	18.02	1.1128	1.1072	1.1021	1.0971	1.0925	1.0838	1.076	1.062	1.0495	1.024	1.0042
135		347.2	171.8	113.3	84.07	66.50	54.77	40.09	31.24	19.33	13.17	1.1675	1.1593	1.1517	1.1447	1.1321	1.121	1.102	1.0857	1.054	1.0298
140		360.5	178.6	117.9	87.58	69.37	57.22	42.01	32.86	20.56	14.28	10.33	1.2389	1.2254	1.2135	1.1932	1.176	1.149	1.1274	1.087	1.0576
145		373.8	185.3	122.5	91.07	72.22	59.64	43.90	34.43	21.74	15.30	11.32	8.528	1.3402	1.3143	1.2761	1.248	1.206	1.1762	1.124	1.0876
150		386.9	192.0	127.0	94.54	75.04	62.03	45.76	35.97	22.88	16.26	12.22	9.437	7.330	5.537	1.4026	1.374	1.279	1.2348	1.165	1.1206
155		400.1	198.7	131.6	97.99	77.84	64.40	47.59	37.49	23.99	17.18	13.05	10.23	8.159	6.516	3.577	1.533	1.375	1.3070	1.213	1.1573
160		413.2	205.4	136.1	101.4	80.62	66.75	49.40	38.99	25.07	18.06	13.83	10.96	8.877	7.266	4.822	2.581	1.543	1.4044	1.268	1.1985
165		426.4	212.0	140.6	104.8	83.38	69.08	51.20	40.46	26.12	18.92	14.57	11.64	9.528	7.913	5.560	3.823	1.871	1.545	1.331	1.244
170		439.5	218.7	145.0	108.2	86.13	71.40	52.98	41.92	27.15	19.75	15.29	12.29	10.13	8.497	6.155	4.520	2.413	1.759	1.408	1.293
180		485.8	231.9	154.0	115.0	91.60	76.00	56.50	44.80	29.16	21.36	16.65	13.51	11.25	9.549	7.150	5.531	3.481	2.388	1.614	1.413
190		492.0	245.1	162.9	121.7	97.02	80.56	59.98	47.63	31.30	22.91	17.96	14.65	12.28	10.50	8.007	6.339	4.259	3.060	1.892	1.565
200		518.1	258.3	171.7	128.4	102.4	85.09	63.43	50.43	33.25	24.42	19.22	15.74	13.26	11.39	8.787	7.050	4.894	3.636	2.210	1.726
210		544.3	271.5	180.5	135.1	107.8	89.59	66.85	53.20	35.17	25.91	20.44	16.80	14.19	12.24	9.515	7.701	5.453	4.135	2.538	1.946
220		570.4	284.6	189.3	141.7	113.1	94.07	70.25	55.95	37.06	27.36	21.64	17.83	15.10	13.06	10.21	8.312	5.963	4.583	2.858	2.155
230		596.5	297.7	198.1	148.3	118.4	98.53	73.63	58.98	38.94	28.80	22.82	18.83	15.99	13.86	10.88	8.895	6.441	4.996	3.161	2.366
240		622.6	310.8	206.9	154.9	123.8	103.0	76.99	61.40	40.79	30.22	23.98	19.82	16.86	14.63	11.52	9.457	6.896	5.384	3.448	2.576
250		648.7	323.9	215.7	161.5	129.1	107.4	80.34	64.11	42.64	31.62	25.13	20.80	17.71	15.39	12.15	10.00	7.332	5.754	3.720	2.781
260		674.8	337.0	224.4	168.1	134.3	111.8	83.69	66.80	44.47	32.02	26.26	21.76	18.55	16.14	12.77	10.53	7.755	6.109	3.979	2.981
270		700.9	350.1	233.2	174.7	139.6	116.2	87.02	69.48	46.30	34.41	27.39	22.71	19.38	16.88	13.38	11.05	8.166	6.454	4.229	3.175
280		726.9	363.2	241.9	181.3	144.9	120.7	90.35	72.16	48.12	35.78	28.51	23.66	20.20	17.61	13.98	11.56	8.568	6.789	4.471	3.364
290		753.0	376.2	250.6	187.9	150.2	125.1	93.67	74.83	49.93	37.15	29.62	24.60	21.01	18.33	14.57	12.07	8.963	7.117	4.705	3.547
300		779.0	389.3	259.4	194.4	155.4	129.5	96.98	77.49	51.74	38.52	30.73	25.53	21.82	19.04	15.16	12.57	9.351	7.438	4.934	3.726
310		805.1	402.3	268.1	201.0	160.7	133.9	100.3	80.15	53.54	39.88	31.83	26.46	22.63	19.75	15.74	13.06	9.733	7.754	5.158	3.901

(续)

T, K		p, bar		1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
320	330	340	350	375	400	425	450	475	500														
831.1	857.2	883.2	909.2	974.3	1039	1114	1169	1234	1299														
415.4	428.4	441.5	454.5	487.1	519.6	552.2	584.7	617.3	649.8														
276.8	285.5	294.2	302.9	324.7	346.4	368.2	389.9	411.6	433.3														
207.5	214.1	220.6	227.2	243.5	259.8	276.1	292.4	308.7	325.0														
165.9	171.2	176.4	181.7	194.8	207.9	220.9	234.0	247.0	260.1														
138.2	142.6	147.0	151.4	162.3	173.2	184.1	195.0	205.9	216.8														
103.6	106.9	110.2	113.5	121.7	129.9	138.1	146.3	154.5	162.6														
82.81	85.46	88.11	90.75	97.35	103.9	110.5	117.1	123.6	130.2														
55.54	57.13	58.92	60.71	65.16	69.60	74.02	78.43	82.84	87.24														
41.24	42.59	43.94	45.29	48.63	51.96	55.29	58.60	61.90	65.20														
32.92	31.01	35.10	36.19	38.89	41.57	44.24	46.90	49.56	52.21														
27.38	28.30	29.22	30.13	32.39	34.64	36.88	39.11	41.33	43.55														
23.43	24.22	25.01	25.80	27.75	29.70	31.63	33.55	35.46	37.36														
20.46	21.16	21.86	22.55	24.28	25.99	27.68	29.37	31.05	32.72														
16.31	16.88	17.45	18.01	19.41	20.80	22.17	23.53	24.88	26.23														
13.55	14.03	14.51	14.99	16.17	17.34	18.49	19.63	20.77	21.90														
10.11	10.49	10.86	11.22	12.13	13.02	13.90	14.77	15.64	16.50														
8.065	8.372	8.676	8.976	9.717	10.44	11.16	11.87	12.57	13.26														
5.378	5.594	5.807	6.016	6.531	7.033	7.526	8.011	8.490	8.964														
4.073	4.241	4.406	4.569	4.968	5.355	5.734	6.106	6.473	6.835														

表3-1-5 饱和氮的比容[1] 1/kg

T, K		v'	v''	T, K		v'	v''	T, K		v'	v''	T, K		v'	v''
63.15	64	1.155	1477	79	80	1.251	181.7	96	97	1.400	41.66	113	114	1.662	13.10
	65	1.159	1282	81	82	1.265	164.0	98	99	1.411	38.72	115	116	1.687	12.26
	66	1.165	1091	83	84	1.273	148.3	100	101	1.423	36.02	117	118	1.714	11.47
	67	1.170	933.1	85	86	1.281	134.5	102	103	1.435	33.54	119	120	1.744	10.71
	68	1.176	802.6	87	88	1.289	122.3	104	105	1.447	31.26	121	122	1.776	9.996
	69	1.181	693.8	89	90	1.297	111.4	106	107	1.459	29.16	123	124	1.811	9.314
	70	1.187	602.5	91	92	1.305	101.7	108	109	1.472	27.22	125	126	1.849	8.660
	71	1.193	525.6	93	94	1.314	93.02	110	111	1.485	25.43	127	128	1.892	8.031
	72	1.199	460.4	95	96	1.322	85.24	112		1.499	23.77			1.942	7.421
	73	1.205	405.0	97	98	1.331	78.25			1.514	22.23			2.000	6.821
	74	1.211	357.6	99	100	1.340	71.96			1.529	20.79			2.077	6.225
	75	1.217	316.9	101	102	1.349	66.28			1.544	19.46			2.177	5.636
	76	1.224	281.8	103	104	1.359	61.14			1.560	18.22			2.324	5.016
	77	1.230	251.4	105	106	1.369	56.48			1.578	17.06			2.627	4.203
	78	1.237	224.9	107	108	1.379	52.25			1.597	15.98			3.289	3.289
		1.239	216.9	109	110	1.390	48.39			1.617	14.96				
		1.244	201.9	111	112		44.87			1.639	14.00				

表3-1-6 液态及气态氮的比容[1] 1/kg

T, K P, bar	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
65	1.1650	—	—	—	1.1640	—	—	1.1629	1.1618	1.1607	1.1607	1.1584	1.1574	1.1563	1.1541	1.152	1.148	—	—	—
70	1.1927	—	—	—	1.1916	—	—	1.1902	1.1889	1.1876	1.1876	1.1850	1.1837	1.1824	1.180	1.177	1.173	1.1682	1.157	1.1473
75	1.2237	—	—	—	1.2224	—	—	1.2208	1.2192	1.2176	1.2176	1.2145	1.2130	1.2115	1.2085	1.206	1.200	1.1946	1.182	1.1706
80	228.0	—	—	—	1.2568	—	—	1.2548	1.2529	1.2510	1.2510	1.2472	1.2454	1.2436	1.2400	1.237	1.230	1.2235	1.209	1.1956
85	244.0	117.6	—	—	1.2955	—	—	1.2930	1.2906	1.2883	1.2883	1.2836	1.2814	1.2791	1.2748	1.271	1.262	1.2549	1.238	1.2221
90	259.7	126.0	81.25	—	1.3394	—	—	1.3362	1.3331	1.3301	1.3272	1.3243	1.3214	1.3187	1.3133	1.308	1.298	1.2891	1.268	1.2504
95	275.3	134.2	87.05	63.39	49.11	—	—	1.3858	1.3817	1.3778	1.3739	1.3702	1.3666	1.3630	1.3562	1.349	1.337	1.3262	1.301	1.2802
100	290.8	142.3	92.71	67.86	52.89	42.85	—	1.4440	1.4384	1.4331	1.4279	1.4229	1.4181	1.4135	1.4046	1.396	1.380	1.3668	1.337	1.3118
105	306.2	150.3	98.26	72.21	56.53	46.05	32.83	24.75	1.5071	1.4994	1.4920	1.4850	1.4784	1.4720	1.4601	1.449	1.429	1.4115	1.375	1.3452
110	321.5	158.2	103.7	76.47	60.08	49.13	35.36	27.01	1.5959	1.5835	1.5720	1.5614	1.5516	1.5423	1.5254	1.510	1.484	1.4612	1.416	1.3805
115	336.8	166.1	109.1	80.65	63.54	52.11	37.74	29.11	17.30	1.704	1.6820	1.6631	1.6465	1.6315	1.6055	1.583	1.547	1.5170	1.460	1.4181
120	352.0	173.9	114.5	84.78	66.94	55.02	40.10	31.10	18.94	12.57	8.163	6.8309	1.7898	1.7585	1.7111	1.675	1.621	1.5807	1.509	1.4581
125	367.2	181.7	119.8	88.86	70.28	57.88	42.36	33.02	20.46	14.00	9.892	6.644	2.142	2.002	1.876	1.803	1.713	1.6550	1.562	1.5008
130	382.3	189.4	125.1	92.89	73.58	60.70	44.57	34.88	21.88	15.27	11.18	8.270	5.867	3.282	2.181	1.994	1.831	1.7436	1.620	1.5466
135	397.4	197.1	130.3	96.89	76.84	63.47	46.74	36.69	23.24	16.43	12.28	9.419	7.262	5.488	2.999	2.338	1.992	1.8530	1.687	1.5959
140	412.5	204.8	135.5	100.9	80.07	66.21	48.87	38.46	24.55	17.52	13.27	10.39	8.271	6.623	4.204	2.944	2.222	1.994	1.762	1.650
150	442.6	220.0	145.8	108.7	86.45	71.61	53.04	41.90	27.05	19.56	15.07	12.05	9.884	8.241	5.915	4.397	2.918	2.390	1.948	1.776
160	472.6	235.2	156.1	116.5	92.75	76.92	57.13	45.25	29.54	21.47	16.71	13.52	11.25	9.534	7.136	5.554	3.742	2.913	2.182	1.925
170	502.6	250.3	166.3	124.2	98.99	82.17	61.15	48.54	31.85	23.30	18.25	14.88	12.48	10.68	8.159	6.498	4.511	3.476	2.457	2.096
180	532.5	265.4	176.4	131.9	105.2	87.38	65.12	51.77	34.11	25.06	19.72	16.17	13.63	11.73	9.076	7.325	5.198	4.023	2.755	2.284
190	562.4	280.5	186.5	139.5	111.3	92.55	69.05	54.96	36.08	26.78	21.15	17.40	14.72	12.72	9.926	8.080	5.820	4.537	3.062	2.484
200	592.3	295.5	196.6	147.1	117.5	97.69	72.95	58.12	38.52	28.47	22.54	18.59	15.78	13.67	10.73	8.787	6.397	5.019	3.369	2.691
210	622.1	310.5	206.7	154.7	123.6	102.8	76.83	61.26	40.68	30.12	23.90	19.75	16.80	14.59	11.50	9.459	6.940	5.474	3.671	2.901
220	652.0	325.5	216.7	162.3	129.7	107.9	80.69	64.38	42.81	31.75	25.24	20.89	17.80	15.48	12.25	10.11	7.457	5.907	3.965	3.111
230	681.8	340.5	226.7	169.9	135.7	113.0	84.54	67.48	44.93	33.37	26.56	22.02	18.78	16.36	12.98	10.73	7.955	6.322	4.252	3.319
240	711.6	355.5	236.7	177.4	141.8	118.0	88.37	70.56	47.04	34.98	27.86	23.13	19.75	17.22	13.69	11.34	8.438	6.724	4.532	3.525
250	741.4	370.4	246.7	184.9	147.8	123.1	92.18	73.64	49.14	36.57	29.15	24.22	20.70	18.07	14.39	11.94	8.908	7.115	4.804	3.728
260	771.1	385.3	256.7	192.4	153.9	128.1	95.99	76.71	51.22	38.15	30.44	25.31	21.64	18.91	15.07	12.53	9.368	7.496	5.070	3.928
270	800.9	400.2	266.7	199.9	159.9	133.2	99.79	79.76	53.30	39.72	31.72	26.39	22.58	19.74	15.75	13.11	9.819	7.869	5.331	4.125
280	830.7	415.2	276.7	207.4	165.9	138.2	103.6	82.81	55.37	41.28	32.99	27.46	23.51	20.56	16.42	13.68	10.26	8.235	5.587	4.320
290	860.4	430.1	286.7	214.9	171.9	143.2	107.4	85.85	57.43	42.84	34.25	28.52	24.43	21.37	17.09	14.24	10.70	8.595	5.838	4.512
300	890.2	445.0	296.6	222.4	177.9	148.2	111.2	88.89	59.49	44.39	35.50	29.58	25.35	22.18	17.75	14.80	11.13	8.950	6.086	4.701
310	919.9	459.9	306.6	229.9	183.9	153.2	114.9	91.92	61.54	45.94	36.75	30.63	26.26	22.98	18.40	15.35	11.56	9.300	6.330	4.888
320	949.6	474.8	316.5	237.4	189.9	158.2	118.7	94.95	63.58	47.48	38.00	31.68	27.16	23.78	19.05	15.90	11.98	9.647	6.571	5.073

(续)

T, K	p, bar	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
330		979.4	489.7	326.5	244.9	195.9	163.2	122.4	97.97	65.63	49.02	39.24	32.72	28.06	24.58	19.70	16.45	12.40	9.990	6.809	5.255
340		1009	504.6	336.4	252.3	201.9	168.2	126.2	101.0	67.66	50.56	40.48	33.76	28.96	25.37	20.34	16.99	12.82	10.33	7.044	5.436
350		1039	519.5	346.4	259.8	207.9	173.2	130.0	104.0	69.70	52.09	41.71	34.79	29.85	26.15	20.98	17.53	13.23	10.67	7.278	5.615
375		1113	556.7	371.2	273.5	222.8	185.7	139.4	111.5	74.77	55.90	44.78	37.37	32.07	28.11	22.56	18.86	14.25	11.50	7.852	6.055
400		1187	593.9	396.0	297.1	237.7	198.2	148.7	119.0	79.83	59.70	47.84	39.93	34.28	30.05	24.13	20.18	15.26	12.32	8.415	6.486
425		1262	631.0	420.8	315.7	252.7	210.6	158.1	126.5	84.88	63.49	50.88	42.48	36.48	31.98	25.69	21.49	16.26	13.13	8.969	6.910
450		1336	668.2	445.6	334.3	267.6	223.0	167.4	134.0	89.91	67.27	53.91	45.02	38.67	33.90	27.23	22.79	17.25	13.93	9.516	7.328
475		1410	705.4	470.4	353.9	282.5	235.5	176.7	141.5	94.92	71.04	56.94	47.55	40.84	35.81	28.77	24.08	18.23	14.72	10.06	7.741
500		1484	742.5	495.2	371.5	297.4	247.9	186.1	149.0	99.97	74.80	59.96	50.07	43.01	37.72	30.31	25.37	19.20	15.51	10.59	8.150

表3-1-7 饱和氢的比容(1) $1/\text{kg}$

T, K	v'	v''	T, K	v''	v'	T, K	v''	v'	T, K	v''	v'
83.78	0.7068	246.9	100	59.19	0.7632	118	0.8499	18.71	136	1.005	7.078
84	0.7075	241.2	101	55.02	0.7672	119	0.8560	17.69	137	1.017	6.701
85	0.7106	217.4	102	51.21	0.7713	120	0.8624	16.73	138	1.031	6.339
86	0.7138	196.5	103	47.72	0.7754	121	0.8690	15.83	139	1.046	5.992
87	0.7171	178.0	104	44.53	0.7796	122	0.8758	14.98	140	1.062	5.658
87.29	0.7180	173.0	105	41.60	0.7838	123	0.8828	14.19	141	1.080	5.336
88	0.7204	161.6	106	38.91	0.7881	124	0.8900	13.44	142	1.099	5.025
89	0.7237	147.1	107	36.43	0.7925	125	0.8975	12.74	143	1.121	4.724
90	0.7270	134.2	108	34.14	0.7970	126	0.9053	12.07	144	1.145	4.428
91	0.7303	122.6	109	32.03	0.8017	127	0.9134	11.45	145	1.173	4.133
92	0.7337	112.3	110	30.08	0.8066	128	0.9218	10.85	146	1.205	3.843
93	0.7372	103.0	111	28.27	0.8116	129	0.9306	10.29	147	1.245	3.547
94	0.7408	94.72	112	26.59	0.8166	130	0.9399	9.759	148	1.293	3.240
95	0.7444	87.23	113	25.03	0.8217	131	0.9495	9.254	149	1.358	2.907
96	0.7480	80.46	114	23.59	0.8270	132	0.9595	8.776	150	1.464	2.525
97	0.7517	74.35	115	22.24	0.8325	133	0.9701	8.320	150.86	1.867	1.867
98	0.7555	68.81	116	20.98	0.8382	134	0.9812	7.887			
99	0.7593	63.77	117	19.81	0.8440	135	0.9929	7.473			

表3-1-8 液态及气态氨的比容[1] 1/kg

T, K	P, bar	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
85		0.7105	—	—	—	0.7100	—	—	0.7093	0.7085	0.7079	0.7072	0.7065	0.7058	0.7052	—	—	—	—	—	—
90		181.4	—	—	—	0.7263	—	—	0.7255	0.7247	0.7238	0.7230	0.7222	0.7214	0.7206	0.7191	0.7176	0.7147	0.7119	0.7053	0.6993
95		192.4	93.46	—	—	0.7438	—	—	0.7428	0.7418	0.7408	0.7398	0.7389	0.7379	0.7370	0.7352	0.7334	0.7300	0.7267	0.7192	0.7123
100		203.4	99.21	64.42	—	0.7627	—	—	0.7615	0.7603	0.7591	0.7579	0.7568	0.7557	0.7546	0.7524	0.7503	0.7462	0.7424	0.7337	0.7258
105		214.2	104.9	68.35	50.07	0.7837	—	—	0.7822	0.7807	0.7792	0.7778	0.7764	0.7750	0.7737	0.7711	0.7685	0.7637	0.7592	0.7490	0.7400
110		225.0	110.5	72.25	53.10	41.59	33.88	—	0.8054	0.8035	0.8017	0.7999	0.7982	0.7965	0.7948	0.7916	0.7886	0.7828	0.7774	0.7654	0.7550
115		235.7	116.0	76.07	56.07	44.05	36.01	25.91	0.8321	0.8297	0.8273	0.8251	0.8229	0.8207	0.8187	0.8147	0.8109	0.8038	0.7973	0.7831	0.7710
120		246.4	121.5	79.85	58.99	46.46	38.09	27.58	21.22	0.8605	0.8574	0.8544	0.8515	0.8487	0.8460	0.8409	0.8361	0.8272	0.8193	0.8022	0.7882
125		257.1	127.0	83.58	61.87	48.83	40.12	29.20	22.61	13.65	0.8937	0.8896	0.8856	0.8818	0.8782	0.8714	0.8651	0.8538	0.8439	0.8232	0.8066
130		267.7	132.4	87.29	64.72	51.16	42.11	30.78	23.95	14.71	9.906	0.9338	0.9279	0.9224	0.9173	0.9078	0.8993	0.8844	0.8717	0.8463	0.8266
135		278.3	137.8	90.97	67.53	53.46	44.07	32.32	25.24	15.71	10.88	7.707	0.9840	0.9751	0.9671	0.9530	0.9407	0.9204	0.9037	0.8719	0.8484
140		288.9	143.2	94.63	70.33	55.74	46.01	33.83	26.50	16.67	11.67	8.551	6.307	1.0502	1.0357	1.0120	0.9931	0.9636	0.9411	0.9005	0.8720
145		299.5	148.5	98.27	73.10	58.00	47.92	35.32	27.74	17.58	12.45	9.290	7.094	5.386	1.1430	1.0955	1.062	1.017	0.9853	0.9327	0.8979
150		310.1	153.9	101.9	75.86	60.24	49.82	36.78	28.95	18.47	13.19	9.965	7.761	6.116	4.777	1.3155	1.185	1.085	1.0384	0.9688	0.9263
155		320.6	159.3	105.5	78.60	62.46	51.70	38.24	30.15	19.34	13.90	10.60	8.360	6.720	5.440	3.410	1.513	1.188	1.107	1.010	0.9573
160		331.1	164.6	109.1	81.33	64.67	53.57	39.67	31.33	20.19	14.58	11.20	8.915	7.258	5.985	4.103	2.652	1.374	1.202	1.058	0.9913
170		352.2	175.2	116.3	86.76	69.07	57.27	42.51	33.65	21.84	15.90	12.33	9.938	8.216	6.913	5.056	3.778	2.161	1.526	1.181	1.071
180		373.2	185.8	123.4	91.16	73.42	60.93	45.31	35.94	23.43	17.17	13.40	10.89	9.083	7.724	5.810	4.522	2.910	2.035	1.350	1.170
190		394.1	196.4	130.5	97.53	77.75	64.57	48.09	38.20	25.12	18.40	14.43	11.78	9.892	8.469	6.474	5.141	3.483	2.533	1.567	1.290
200		415.1	207.0	137.6	102.9	82.06	69.18	50.84	40.43	26.67	19.60	15.43	12.65	10.66	9.171	7.084	5.693	3.968	2.964	1.815	1.430
210		436.0	217.5	144.6	108.2	86.35	71.78	53.57	42.64	28.20	20.78	16.40	13.49	11.40	9.843	7.658	6.204	4.402	3.346	2.069	1.584
220		456.9	228.0	151.7	113.5	90.63	75.36	56.28	44.83	29.70	21.94	17.36	14.30	12.12	10.49	8.207	6.688	4.803	3.694	2.314	1.749
230		477.8	238.5	153.7	118.8	94.89	78.93	58.99	47.02	31.20	23.08	18.30	15.11	12.83	11.12	8.737	7.150	5.180	4.018	2.548	1.912
240		498.8	249.0	165.7	124.1	99.14	82.49	61.68	49.19	32.69	24.22	19.22	15.90	13.52	11.74	9.252	7.597	5.541	4.325	2.771	2.075
250		519.7	259.5	172.8	129.4	103.4	86.04	64.36	51.35	34.16	25.34	20.14	16.68	14.20	12.35	9.755	8.031	5.889	4.619	2.984	2.235
260		540.6	270.0	179.8	134.7	107.6	89.59	67.04	53.51	35.64	26.46	21.05	17.45	14.87	12.94	10.25	8.455	6.226	4.902	3.188	2.390
270		561.4	280.4	186.8	139.9	111.8	93.12	69.71	55.66	37.10	27.56	21.95	18.21	15.54	13.53	10.73	8.871	6.554	5.177	3.386	2.542
280		582.3	290.9	193.8	145.2	116.1	96.65	72.37	57.80	38.55	28.67	22.84	18.96	16.19	14.12	11.21	9.280	6.876	5.445	3.578	2.690
290		603.2	301.4	200.8	150.5	120.3	100.2	75.03	59.94	40.00	29.76	23.73	19.71	16.84	14.69	11.68	9.684	7.191	5.707	3.765	2.835
300		624.1	311.8	207.8	155.7	124.5	103.7	77.68	62.07	41.45	30.86	24.62	20.46	17.49	15.26	12.15	10.08	7.502	5.964	3.947	2.976
310		644.9	322.3	214.8	161.0	128.7	107.2	80.33	64.20	42.89	31.95	25.50	21.20	18.13	15.83	12.62	10.48	7.808	6.217	4.126	3.115
320		665.8	332.7	221.8	166.2	132.9	110.7	82.98	66.33	44.33	33.03	26.38	21.94	18.77	16.40	13.08	10.87	8.111	6.467	4.302	3.251
330		686.6	343.2	228.7	171.5	137.1	114.2	85.62	68.45	45.76	34.11	27.25	22.68	19.41	16.96	13.54	11.26	8.410	6.713	4.475	3.385
340		707.5	353.6	235.7	176.7	141.3	117.7	88.26	70.57	47.20	35.19	28.12	23.41	20.04	17.52	13.99	11.64	8.707	6.956	4.646	3.517
350		728.3	364.1	242.7	182.0	145.5	121.2	90.90	72.69	48.63	36.27	28.99	24.14	20.67	18.07	14.44	12.02	9.001	7.197	4.815	3.648
375		780.5	390.2	260.1	195.0	156.0	130.0	97.48	77.97	52.18	38.95	31.15	25.95	22.24	19.45	15.56	12.96	9.726	7.790	5.228	3.967
400		832.6	416.3	277.5	208.1	166.5	138.7	104.1	83.24	56.00	41.62	33.30	27.75	23.79	20.82	16.66	13.90	10.44	8.372	5.632	4.279
425		884.7	442.4	294.9	221.2	177.0	147.5	110.6	88.51	59.29	44.28	35.44	29.54	25.33	22.18	17.76	14.82	11.15	8.945	6.028	4.585
450		936.7	468.4	312.3	234.2	187.4	156.2	117.2	93.76	62.82	46.93	37.57	31.32	26.87	23.53	18.85	15.73	11.84	9.510	6.416	4.883
475		988.8	494.5	329.7	247.3	197.9	164.9	123.7	99.00	66.35	49.57	39.69	33.10	28.40	24.87	19.93	16.62	12.53	10.07	6.798	5.175
500		1041	520.5	374.1	260.3	208.3	173.6	130.3	104.2	69.86	52.21	41.81	34.87	29.92	26.20	21.00	17.54	13.21	10.62	7.175	5.464

表3-1-9 饱和氮的密度[1] kg/m³

T, K	ρ'①		ρ''②		T, K	ρ'		ρ''		T, K	ρ'		ρ''	
25	0.97611	1240.6	1241.3	1242.0	1242.8	1241.1	1245.6	1247.0	1250.5	1253.7	1257.1	1257.1	1257.1	1257.1
30	0.81193	8.4153	17.851	1151.6	1152.5	1154.4	1156.3	1158.2	1162.6	1167.0	1171.2	1171.2	1171.2	1171.2
35	0.69514	7.1209	14.853	22.689	22.689	31.317	51.018	104.5.3	1045.3	1048.4	1069.2	1069.2	1069.2	1069.2
40	0.60779	6.1819	12.776	19.306	26.303	41.349	58.02	78.18	88.0	917.4	932.6	932.6	932.6	932.6
45	0.53999	5.4668	11.235	16.871	22.829	35.312	48.58	63.67	104.0	157.4	243.0	243.0	243.0	243.0
50	0.48583	4.9029	10.039	15.016	20.234	31.011	42.273	54.052	86.055	122.2	164.2	164.2	164.2	164.2
55	0.44165	4.4462	9.0801	13.546	18.204	27.737	37.572	47.720	74.518	103.51	134.97	134.97	134.97	134.97
60	0.40469	4.0684	8.2933	12.349	16.563	25.138	33.912	42.886	66.205	90.798	116.69	116.69	116.69	116.69
70	0.34679	3.4790	7.0751	10.511	14.063	21.239	28.509	35.873	52.699	74.000	93.818	93.818	93.818	93.818
80	0.30341	3.0399	6.1735	9.1583	12.237	18.430	24.670	30.957	46.863	63.014	79.379	79.379	79.379	79.379
90	0.26967	2.6998	5.4780	8.1196	10.839	16.298	21.780	27.285	41.140	55.110	69.171	69.171	69.171	69.171
100	0.24268	2.4284	4.9246	7.2953	9.7335	14.619	19.515	24.423	36.731	49.086	61.476	61.476	61.476	61.476
110	0.22082	2.2069	4.4735	6.6245	8.8352	13.260	17.690	22.122	33.215	44.319	55.423	55.423	55.423	55.423
120	0.20223	2.0224	4.0986	6.0677	8.0906	12.136	16.182	20.227	30.336	40.434	50.516	50.516	50.516	50.516
130	0.18667	1.8665	3.7819	5.5978	7.4627	11.191	14.916	18.639	27.931	37.201	46.445	46.445	46.445	46.445
140	0.17333	1.7329	3.5108	5.1959	6.9261	10.383	13.837	17.286	25.889	34.464	43.007	43.007	43.007	43.007
150	0.16178	1.6173	3.2762	4.8482	6.4620	9.6858	12.905	16.119	24.132	32.112	40.059	40.059	40.059	40.059
160	0.15166	1.5160	3.0710	4.5448	6.0564	9.0768	12.092	15.102	22.602	30.069	37.502	37.502	37.502	37.502
170	0.14274	1.4268	2.8901	4.2763	5.6991	8.5404	11.376	14.207	21.259	28.276	35.260	35.260	35.260	35.260
180	0.13481	1.3474	2.7293	4.0384	5.3817	8.0643	10.742	13.413	20.068	26.689	33.277	33.277	33.277	33.277
190	0.12772	1.2766	2.5855	3.8255	5.0979	7.6389	10.174	12.705	19.006	25.274	31.509	31.509	31.509	31.509
200	0.12133	1.2127	2.4562	3.6340	4.8427	7.2561	9.6643	12.067	18.052	24.004	29.924	29.924	29.924	29.924
220	0.11030	1.1024	2.2328	3.3035	4.4023	6.5959	8.7847	10.969	16.408	21.816	27.196	27.196	27.196	27.196
240	0.10111	1.0105	2.0467	3.0282	4.0353	6.0462	8.0525	10.055	15.040	19.998	24.929	24.929	24.929	24.929
260	0.093330	0.93283	1.8893	2.7954	3.7250	5.5812	7.4334	9.2814	13.884	18.461	23.015	23.015	23.015	23.015
280	0.086663	0.86620	1.7544	2.5957	3.4591	5.1829	6.9029	8.6193	12.894	17.147	21.377	21.377	21.377	21.377
300	0.080885	0.80847	1.6375	2.4228	3.2286	4.8377	6.4434	8.0458	12.036	16.008	19.958	19.958	19.958	19.958

① ρ'为饱和液体的密度。

② ρ''为饱和蒸汽的密度。

表3-1-10 液态及气态氮的密度[1] kg/m³

T, K	P, bar	0.1	1	2	3	4	6	8	10	15	20	25	30	40	60	80	100	120	140	160	200
25	0.97611	1240.6	1241.3	1242.0	1242.8	1241.1	1245.6	1247.0	1250.5	1253.7	1257.1	1257.1	1175.3	1183.0	1197.3	1210.3	1222.2	1233.3	1243.4	1253.1	1270.8
30	0.81193	8.4153	17.851	1151.6	1152.5	1154.4	1156.3	1158.2	1162.6	1167.0	1171.2	1171.2	1074.6	1086.9	1107.2	1124.8	1140.4	1154.4	1167.3	1179.2	1200.5
35	0.69514	7.1209	14.853	22.689	22.689	31.317	51.018	104.5.3	1048.4	1069.2	1069.2	1069.2	945.7	967.7	1002.1	1029.4	1051.2	1070.5	1087.5	1102.7	1129.2
40	0.60779	6.1819	12.776	19.306	26.303	41.349	58.02	78.18	88.0	917.4	932.6	932.6	609.0	773.4	865.5	915.4	955.4	978.9	1002.8	1022.7	1056.6
45	0.53999	5.4668	11.235	16.871	22.829	35.312	48.58	63.67	104.0	157.4	243.0	243.0	215.2	375.7	655.3	770.6	841.8	877.3	911.9	938.6	982.4
50	0.48583	4.9029	10.039	15.016	20.234	31.011	42.273	54.052	86.055	122.2	164.2	164.2	168.9	249.6	454.4	606.2	702.5	767.0	814.2	851.1	907.2
55	0.44165	4.4462	9.0801	13.546	18.204	27.737	37.572	47.720	74.518	103.51	134.97	134.97	203.25	203.25	342.7	478.9	582.5	659.6	718.1	764.1	832.8
60	0.40469	4.0684	8.2933	12.349	16.563	25.138	33.912	42.886	66.205	90.798	116.69	116.69	114.09	155.92	244.5	337.03	423.4	498.1	560.8	613.8	697.5
70	0.34679	3.4790	7.0751	10.511	14.063	21.239	28.509	35.873	52.699	74.000	93.818	93.818	95.929	129.48	197.92	267.22	335.1	398.7	455.9	506.6	591.4
80	0.30341	3.0399	6.1735	9.1583	12.237	18.430	24.670	30.957	46.863	63.014	79.379	79.379	83.308	111.73	168.79	225.58	281.3	335.0	385.2	431.6	512.1
90	0.26967	2.6998	5.4780	8.1196	10.839	16.298	21.780	27.285	41.140	55.110	69.171	69.171	73.886	98.722	148.19	197.00	244.8	291.3	335.3	377.0	452.0
100	0.24268	2.4284	4.9246	7.2953	9.7335	14.619	19.515	24.423	36.731	49.086	61.476	61.476	66.521	88.668	132.58	175.73	218.0	259.0	298.4	336.0	405.3
110	0.22082	2.2069	4.4735	6.6245	8.8352	13.260	17.690	22.122	33.215	44.319	55.423	55.423	60.577	80.615	120.24	159.08	197.1	234.0	269.7	304.0	368.0
120	0.20223	2.0224	4.0986	6.0677	8.0906	12.136	16.182	20.227	30.336	40.434	50.516	50.516	55.660	73.991	110.18	145.61	180.3	214.0	246.6	278.2	337.7
130	0.18667	1.8665	3.7819	5.5978	7.4627	11.191	14.916	18.639	27.931	37.201	46.445	46.445	51.517	68.430	101.78	134.42	166.4	197.5	227.6	256.9	312.4
140	0.17333	1.7329	3.5108	5.1959	6.9261	10.383	13.837	17.286	25.889	34.464	43.007	43.007	47.971	63.686	94.649	124.94	154.6	183.5	211.6	238.9	290.6
150	0.16178	1.6173	3.2762	4.8482	6.4620	9.6858	12.905	16.119	24.132	32.112	40.059	40.059	44.899	59.584	88.505	116.80	144.6	171.6	197.9	223.5	272.5
160	0.15166	1.5160	3.0710	4.5448	6.0564	9.0768	12.092	15.102	22.602	30.069	37.502	37.502	42.208	55.999	83.149	109.72	135.8	161.2	185.9	210.1	256.5
170	0.14274	1.4268	2.8901	4.2763	5.6991	8.5404	11.376	14.207	21.259	28.276	35.260	35.260	39.830	52.834	78.433	103.49	128.1	152.1	175.4	198.4	242.3
180	0.13481	1.3474	2.7293	4.0384	5.3817	8.0643	10.742	13.413	20.068	26.689	33.277	33.277	37.712	50.019	74.244	97.957	121.2	144.0	166.2	187.9	229.8
190	0.12772	1.2766	2.5855	3.8255	5.0979	7.6389	10.174	12.705	19.006	25.274	31.509	31.509	35.813	47.496	70.497	93.015	115.1	136.8	157.9	178.6	218.6
200	0.12133	1.2127	2.4562	3.6340	4.8427	7.2561	9.6643	12.067	18.052	24.004	29.924	29.924	32.546	43.163	64.065	84.542	104.7	124.4	143.7	162.6	199.3
220	0.11030	1.1024	2.2328	3.3035	4.4023	6.5959	8.7847	10.969	16.408	21.816	27.196	27.196	29.834	39.568	58.738	77.530	96.02	114.1	131.9	149.4	183.3
240	0.10111	1.0105	2.0467	3.0282	4.0353	6.0462	8.0525	10.055	15.040	19.998	24.929	24.929	27.545	36.535	54.248	71.623	88.73	105.5	122.0	138.2	169.7
260	0.093330	0.93283	1.8893	2.7954	3.7250	5.5812	7.4334	9.2814	13.884	18.461	23.015	23.015	25.586	33.940	66.573	82.50	98.89	113.5	128.6	148.1	188.2
280	0.086663	0.86620	1.7544	2.5957	3.4591	5.1829	6.9029	8.6193	12.894	17.147	21.377	21.377	23.889	31.694	62.203	77.07	92.52	106.2	120.3	148.1	188.2
300	0.080885	0.80847	1.6375	2.4228	3.2286	4.8377	6.4434	8.0458	12.036	16.008	19.958	19.958	23.889	31.694	62.203	77.07	92.52	106.2	120.3	148.1	188.2