

深冷手册

上册

石油化学工业出版社

内 容 提 要

上册以图表为主,分三部分介绍深冷工程中常用的物理-化学常数,相平衡组成和气体热力学性质。

第一篇主要介绍低温状态下的物理-化学常数。考虑低温预处理过程的需要,还介绍了有关的常温数据。另外,介绍了一些适于低温状态的预计算方法,这些方法只存在图表中难以查取数据时使用。

第二篇介绍以实验数据为基础的相平衡组成图表,以及相平衡常数的计算方法和图表。在相平衡常数计算方法中,较详细地介绍了 K_{ideal} 计算方法及有关例题。

“气体热力学性质”部分,搜集了国内外近期制作,且为液化、分离各种气体所必须的气体热力学性质图。

手册可供从事深冷设计工作的工人,工程技术人员使用,亦可供从事深冷研究、生产和教学工作的同志参考。

上册编写单位:化工第四设计院、上海化工研究院、化工第五设计院、光明化工研究所、焦化部第六设计院。

深 冷 手 册 上 册

化工第四设计院 主编

石油化学工业出版社 出版

(北京安定门外大街北数16号)

燃料化学工业出版社印刷二厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092/16$ 印张30 插页1

字数715千字 印数1—2,105

1975年8月第1版 1975年8月第1次印刷

书号15063·化73 定价3.50元

只限国内发行

(印刷和材料工业出版社脱胶重印)

前 言

低温液化、分离气体的深冷工业，是本世纪初发展起来的一门新型工业。

解放前，我国仅有几台国外进口的小型空气分离和焦炉气分离装置。根本谈不上研究、设计和制造，就连装置的维修与操作，也都控制在帝国主义手里。解放后，在中国共产党的伟大领袖毛主席的英明领导下，在毛主席无产阶级革命路线指引下，彻底改变了旧中国深冷工业的面貌，建立了完整的科研、设计、制造和教学系统，各种气体液化、分离技术正在迅速地发展。

无产阶级文化大革命的伟大胜利，推动着我国社会主义建设迅速发展。在党的“九大”团结、胜利路线指引下，随着冶金、化学、机械、电子、原子能和空间技术等工业的发展，全国各地掀起了自制空气分离及其它深冷装置的热潮，深冷工业队伍日益壮大，新工艺、新流程、新设备、新材料的研制，正在向更广、更深的领域进军。为适应这种大好形势的需要，特编写这套手册。

手册力图适合国情，理论联系实际，反映我国深冷工业战线广大工人、工程技术人员，科学工作者认真贯彻执行“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线，和“独立自主、自力更生”方针所取得的巨大成就。并根据“洋为中用”的精神，从国外的经验与技术中，吸取一些有益的东西，为我们所用。

手册包括设计深冷法液化、分离空气，稀有气体，焦炉气，天然气，石油气，氢及其同位素等装置所必须的物理-化学常数，相平衡组成，气体热力学性质，基本原理与公式，工业装置与设备，以及材料等内容，分上、下两册编写。

由于我们水平有限，知道的东西很少，手册中谬误之处在所难免，敬请各地从事深冷工作的同志批评指正。

在编写过程中，我们曾受到各有关兄弟单位的热情鼓励与大力支持，谨此表示衷心谢意。

编 者

1973年3月

目 录

前 言

第一篇 低温工程中常用气体的物理-化学常数

第一章 气体的基本物理-化学常数 1

1. 通用常数 1
2. 临界常数 1
3. 常用气体的基本物理-化学常数 插页
- 参考文献 2

第二章 饱和蒸汽压 (沸点) 4

1. 几种气体在低温下的饱和蒸汽压 9
2. 空气 10
3. 氮、氧及稀有气体 (氦除外) 13
4. 氮及其同位素 18
5. 氧及其同位素 21
6. 碳氢化合物 24
7. 一氧化碳 29
8. 二氧化碳 30
9. 水 32
10. 一氧化氮、二氧化硫、硫化氢 33
11. 氨 34
12. 氟里昂 35
- 参考文献 35

第三章 密度 37

1. 空气 39
2. 氮 40
3. 氧 41
4. 氩 44
5. 氖 45
6. 氮及其同位素 47
7. 氧、氩 51
8. 氮及其同位素 53
9. 碳氢化合物 57

10. 一氧化碳 60

11. 二氧化碳 61

12. 氟 61

13. 氮、氟里昂 62

14. 液体混合物 64

参考文献 65

第四章 气体的可压缩性 66

1. 空气、氮、氧 68
2. 稀有气体 73
3. 氮及其同位素 79
4. 碳氢化合物 83
5. 一氧化碳、二氧化碳 86
6. 氩 87
7. 气体混合物 88

参考文献 91

第五章 汽化热 92

1. 空气、氮、氧 93
2. 稀有气体 95
3. 氮及其同位素 97
4. 碳氢化合物 99
5. 一氧化碳、二氧化碳 100
6. 氟 101
7. 氮、氟里昂 102

参考文献 103

第六章 液体的体膨胀系数 104

1. 氮、氧、氩、氦 104
2. 烷烃 104
3. 一氧化碳、二氧化碳 105
4. 氮及其同位素 105

参考文献 105

第七章 热容 106

1. 空气 109
2. 氮 112
3. 氧 115
4. 氩 118
5. 氖 120

6. 氦及其同位素	122	7. 氦	196
7. 氦	125	8. 氦	196
8. 氦	125	9. 氦及其同位素	197
9. 氦及其同位素	126	10. 烷烃	201
10. 烷烃	130	11. 烯烃、炔烃	204
11. 烯烃	133	12. 一氧化碳、二氧化碳	205
12. 乙炔	135	13. 氦	207
13. 一氧化碳、二氧化碳	136	14. 氨、氟里昂	207
14. 氦	138	15. 混合物	208
15. 氦	139	参考文献	216
16. 氟里昂	140	第十章 表面张力	218
参考文献	141	1. 空气、氮、氧	219
第八章 导热系数	142	2. 稀有气体	219
1. 空气	145	3. 氦及其同位素	220
2. 氮	147	4. 碳氢化合物	220
3. 氧	151	5. 一氧化碳、二氧化碳	221
4. 氦	153	6. 氦	221
5. 氮	158	7. 氨、氟里昂	221
6. 氦及其同位素	159	8. 液体混合物	223
7. 氦	163	参考文献	223
8. 氦	165		
9. 氦及其同位素	167	第二篇 低温状态下的相平衡	
10. 烷烃	171	第一章 二元系统汽-液两相的平衡组成	224
11. 烯烃	174	1. 氦-氧	225
12. 炔烃	175	2. 氮-氧	233
13. 一氧化碳	176	3. 氧-氧	235
14. 二氧化碳	176	4. 氧-氦	238
15. 氦	177	5. 氧-氮	242
16. 氮	178	6. 氧-氦	245
17. 氟里昂	178	7. 氧-氧	247
18. 混合物	180	8. 氧-氧	250
参考文献	183	9. 氧-氧	252
第九章 粘度	184	10. 氧-氧	252
1. 空气	186	11. 氧-氧	253
2. 氮	187	12. 氧-甲烷	258
3. 氧	189	13. 氧-氧	259
4. 氦	191	14. 氧-甲烷	260
5. 氮	193		
6. 氦及其同位素	194		

15. 氢-氮	261	11. 含氮系统	311
16. 氢-氢	262	12. 氮-氮	312
17. 氢及其同位素	263	13. 氮-氧	312
18. 氢-甲烷	264	14. 氮-氢	314
19. 氢-乙烷	266	15. 氮-甲烷	314
20. 氢-丙烷	268	16. 氮-乙烷	317
21. 氮-丁烷	268	17. 氮-一氧化碳	317
22. 氮-乙烷	270	参考文献	318
23. 氮-丙烷	273	第三章 二元系统固-液两相的平衡	
24. 氮-一氧化碳	274	组成	319
25. 甲烷-氮	276	1. 氮-氮	319
26. 甲烷-乙烷	277	2. 氮-氢	320
27. 甲烷-丙烷	278	3. 氮-甲烷	320
28. 甲烷-丁烷	281	4. 氮-一氧化碳	321
29. 甲烷-乙烯	282	5. 氧-氮	321
30. 乙烷-丙烷	283	6. 氮-甲烷	322
31. 乙烷-丁烷	284	7. 氮-氧	322
32. 乙烷-庚烷	287	8. 氮-氢	323
33. 乙烷-乙烷	289	9. 氮-甲烷	323
34. 乙烷-丙烷	293	10. 氮-氧	323
35. 乙烷-乙炔	294	11. 标准氮-仲氢	324
36. 丙烷-乙烷	294	12. 甲烷-乙烷	324
37. 丙烷-丙烷	295	13. 固体在液体中的溶解度	325
38. 一氧化碳-氮	297	参考文献	328
39. 一氧化碳-甲烷	299	第四章 三元系统汽-液两相的平衡	
40. 气体在甲醇中的溶解度	301	组成	329
参考文献	302	1. 氮-氧-氮	330
第二章 二元系统固-汽两相的平衡		2. 氮-氮-氮	335
组成	303	3. 氮-氮-甲烷	337
1. 空气-二氧化碳	303	4. 氮-甲烷-乙烷	337
2. 氮-二氧化碳	305	5. 氮及其同位素	338
3. 氮-甲烷	306	6. 氮-氮-一氧化碳	338
4. 氮-乙烷	307	7. 氮-氮-甲烷	342
5. 氮-乙烷	307	8. 氮-甲烷-乙烷	345
6. 氮-氮	308	9. 氮-甲烷-乙烷	351
7. 氮-氢	308	10. 氮-乙烷-乙烷	356
8. 氮-甲烷	309	11. 氮-丙烷-一氧化碳	356
9. 氮-乙烷	310	12. 氮-乙烷-丙烷	357
10. 氮-乙烷	311	13. 甲烷-乙烷-丙烷	357

14. 甲烷-乙烷-乙烯	362	图 7	氧 T - S 图 ($80 \sim 320[^\circ\text{K}]$)	429
15. 乙烷-乙烯-乙炔	364	图 8	氧 $\lg P$ - I 图	430
参考文献	368	图 9	氮-氧混合物 T - I 图	431
第五章 多元系统汽-液两相的平衡组成	369	图 10	氮-氧混合物 T - x 图	432
1. 氮-氧-甲烷-乙烷	369	图 11	氮 T - S 图	433
2. 氮-氧-甲烷-一氧化碳	369	图 12	氮 T - S 图 ($20 \sim 192[^\circ\text{K}]$)	434
3. 氮-氧-氧-甲烷-一氧化碳	370	图 13	氮 T - S 图 ($180 \sim 320[^\circ\text{K}]$)	435
4. 氧-甲烷-乙烷-丙烷-乙烯-丙烯	370	图 14	氧 T - S 图 ($3 \sim 20[^\circ\text{K}]$)	436
5. 焦炉气	370	图 15	氧 T - S 图 ($1 \sim 40[^\circ\text{K}]$)	437
6. 天然气	372	图 16	氧 T - S 图 ($20 \sim 500[^\circ\text{K}]$)	438
参考文献	372	图 17	氢 ($5\% \text{O}-\text{H}_2, 95\% \text{p}-\text{H}_2$) T - S 图 ($10 \sim 90[^\circ\text{K}]$)	439
第六章 相平衡常数	373	图 18	氢 ($5\% \text{O}-\text{H}_2, 95\% \text{p}-\text{H}_2$) T - S 图 ($70 \sim 210[^\circ\text{K}]$)	440
1. 概述	373	图 19	氢 ($5\% \text{O}-\text{H}_2, 95\% \text{p}-\text{H}_2$) T - S 图 ($190 \sim 300[^\circ\text{K}]$)	441
2. 相平衡常数的计算方法	375	图 20	标准氢 ($\text{n}-\text{H}_2$) T - S 图 ($10 \sim 150[^\circ\text{K}]$)	442
3. 实验数据整理的相平衡常数图	389	图 21	标准氢 ($\text{n}-\text{H}_2$) T - S 图 ($140 \sim 300[^\circ\text{K}]$)	443
参考文献	413	图 22	仲氢 ($\text{p}-\text{H}_2$) T - S 图 ($4 \sim 22[^\circ\text{K}]$)	444
第七章 气体在水中的溶解度	414	图 23	仲氢 ($\text{p}-\text{H}_2$) T - S 图 ($20 \sim 100[^\circ\text{K}]$)	445
1. 空气、氮、氧	414	图 24	仲氢 ($\text{p}-\text{H}_2$) T - S 图 ($80 \sim 300[^\circ\text{K}]$)	446
2. 稀有气体	416	图 25	仲氢 ($\text{p}-\text{H}_2$) I - S 图	447
3. 氢	417	图 26	重氢 (D_2) T - S 图 ($20 \sim 100[^\circ\text{K}]$)	448
4. 碘化化合物	418	图 27	重氢 (D_2) T - S 图 ($80 \sim 300[^\circ\text{K}]$)	449
5. 一氧化碳、二氧化碳	418	图 28	甲烷 $\lg P$ - I 图	450
6. 一氧化氮、二氧化氮	419	图 29	乙烷 T - S 图	451
7. 二氧化硫、硫化氢	420	图 30	丙烷 T - S 图	452
8. 氯化氢	420	图 31	乙烯 $\lg P$ - I 图	453
9. 氨	420	图 32	乙炔 T - S 图	454
参考文献	421	图 33	一氧化碳 $\lg P$ - I 图	455
气体热力性质图		图 34	二氧化碳 T - S 图	456
图 1 空气 T - S 图	423	图 35	氧 $\lg P$ - I 图	457
图 2 空气 I - T 图	424	图 36	氧里昂-12 $\lg P$ - I 图	458
图 3 空气 I - S 图	425			
图 4 氧 T - S 图	426			
图 5 氧 $\lg P$ - I 图	427			
图 6 氧 T - S 图 ($30 \sim 100[^\circ\text{K}]$)	428			

图37 佩里昂-13 $\lg P-I$ 图	459
图38 佩里昂-22 $\lg P-I$ 图	460
参考文献	461

附录：单位换算

1. 长度	462	9. 压力	464
2. 面积	462	10. 温度	464
3. 容积	462	11. 功、热、能	467
4. 质量	462	12. 功率	467
5. 密度	463	13. 焓	467
6. 速度	463	14. 热容	468
7. 流量	463	15. 导热系数	468
8. 力	464	16. 传热系数	469
		17. 粘度	469
		18. 表面张力	470
		19. 扩散系数	470
		20. 气体常数	470

第一篇 低温工程中常用气体的物理-化学常数

第一章 气体的基本物理-化学常数

1. 通用常数^{[1][2]}

气体常数 (R): 理想气体状态方程式 $PV = RT$ 中的常数。是气体在外压一定, 温度上升 1 度时膨胀所作的功。

$$R = 8.31662 \times 10^7 [\text{尔格/克分子} \cdot ^\circ\text{C}]。$$

阿伏伽德罗数 (N): 一克分子量的任何物质中所含的分子数。

$$N = 6.02472 \times 10^{23} [\frac{1}{\text{克分子}}]$$

玻尔茨曼常数 (k): 单分子气体通用常数; $k = \frac{R}{N}$ 。

$$k = 1.38042 \times 10^{-16} [\text{尔格/}^\circ\text{C}]。$$

重力加速度 (g)

$$\text{标准值: } g_0 = 980.665 [\text{厘米/秒}^2];$$

$$\text{纬度 } 45^\circ \text{ 时: } g_{45} = 980.616 [\text{厘米/秒}^2]。$$

2. 临界常数

深冷法液化气体时, 液化的温度与压力有关。对每一种气体都有一特定的温度, 高于此温度, 不论加多大的压力也不能使气体液化, 此温度称为该气体的临界温度 (T_c)。在临界温度下, 使气体液化所需的最小压力, 称为临界压力 (P_c)。在临界温度和临界压力条件下的密度和比容, 称为临界密度 (ρ_c), 和临界比容 (V_c)。

物系处于临界状态时的特点: 共存的汽液两相间的差别都已消失。例如此时蒸汽的比容等于液体的比容, 亦即两者的密度相等, 而且汽化热和表面张力都等于零。

当计算某些气体混合物的物理常数时, 通常采用所谓假临界常数 (或称虚拟临界常数)。

$$\text{假临界温度} \quad T_{mc} = \sum y_i T_{ci} \quad (1-1)$$

$$\text{假临界压力} \quad P_{mc} = \sum y_i P_{ci} \quad (1-2)$$

式中: y_i —— i 组分的分子分率;

P_{ci} —— i 组分的临界压力;

T_{ci} —— i 组分的临界温度。

常用气体的临界常数 (T_c 、 P_c 、 ρ_c) 载于表 1-1 中。

参 考 文 献

1. 物理力学讲义, 钱学森编, 科学出版社, 1962年。
2. 物理学手册, A. И. 巴钦斯基等著, 商务印书馆, 1956年。
3. Din F., Thermodynamic Functions of Gases, Vol. 2, Butterworths Scientific Publications, London, 1956.
4. Малков М. П., Справочник по Физико-техническим основам глубокого охлаждения, Государственное энергетическое издательство, Москва, 1963.
5. Perry J. H., Chemical Engineers Handbook 4th. ed., McGraw-Hill Book Co., New York-London, 1963.
6. Johnson V. J., Properties of Materials at Low Temperature (Phase I) A Compendium, Pergamon Press, London-New York, 1961.
7. Гельперин И. И., Справочник по разделению газовых смесей методом глубокого охлаждения, Государственное научно-техническое издательство химической литературы, Москва, 1963.
8. Segeler C. G., Gas Engineers Handbook, The Industrial Press, New York, 1965.
9. 化学元素周期表, 1969年。
10. Din F., Thermodynamic Functions of Gases Vol. 3., Butterworths Scientific Publications, London, 1956.
11. Cryogenics and Industrial Gases, Vol. 6, №. 3, May/June (1971).
12. 化工辞典, 化学工业出版社, 1969年。
13. Hodgman C. D., Handbook of Chemistry and Physics, 44th. ed., The Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland Ohio, 1962-63.
14. Cook G. A., Argon, Helium and The Rare Gases, Interscience Publishers, New York-London, 1961.
15. Timmerhaus K. D., Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 13., Plenum Press, New York, 1968.
16. Scott R. B., Technology and uses of Liquid Hydrogen, Pergamon Press, London-New York, 1964.
17. Cryogenics, Vol. 4, №. 6, (1964).
18. Crouse W. H., McGraw-Hill Encyclopedia of Science Technology, Vol. 14, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York-London, 1960.
19. Gray D. E., American Institute of Physics Handbook, 2nd. ed., McGraw-Hill Book Co. Inc., New York-London, 1963.
20. J. American Chemical Society, Vol. 73, 5308, (1951).
21. Hydrocarbon Processing, Vol. 44, №. 7, (1963).
22. Ziegler W. T., The Vapor Pressures of Some Hydrocarbons in the Liquid and Solid State at Low Temperatures NBS. Technical Note №. 4, PB 151363, U. S. Department of Commerce National Bureau of Standards, 1959.
23. Hydrocarbon Processing, Vol. 46, №. 9, (1967).
24. Hydrocarbon Processing, Vol. 46, №. 7, (1967).
25. 石油化工技术参考资料, 轻碳氢化合物数据手册, 第一册, 炼化部第五化工设计院, 1971年。
26. Hydrocarbon Processing, Vol. 44, №. 8, (1965).
27. 水岛三一郎, 化学大辞典, 共立出版株式会社, 1960-61.
28. Timmermans J., Physico-Chemical Constants of Pure organic Compounds, Elsevier Publishing Co. Inc., New York, 1950.
29. 石油化工设计参考资料, (二) 工艺计算图表, 燃料化学工业部石油化工设计院, 1971年。
30. Hydrocarbon Processing, Vol. 44, №. 9, (1965).
31. Bolstad M. M., Air Conditioning Refrigerating Data Book, 9th. ed., The American Society of Refrigerating Engineers, New York, 1955.
32. Hydrocarbon Processing, Vol. 48, №. 11, (1969).
33. Din F., Thermodynamic Functions of Gases, Vol. 1, Butterworths Scientific Publications, London, 1956.
34. 干冰生产及应用, A. И. 帖集科夫著, 轻工业出版社, 1960年。
35. 化工计算, C. И. 别斯科夫著, 商务印书馆, 1953年。
36. 深度冷冻手册, M. И. 马尔科夫著, 化学工业出版社, 1958年。

37. Hydrocarbon Processing, Vol. 48, №. 7, (1969).
38. Bell J. H. Jr., Cryogenic Engineering, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1963.
39. Timmermans J., Physico-Chemical Constants of Pure organic Compounds, Vol. 2, Elsevier Publishing Co., New York, 1955.
40. Asinger F., Die Petrolchemische Industrie, Akademie-Verlag, Berlin, 1971.
41. Hydrocarbon Processing, Vol. 45, №.3, (1966).
42. Hydrocarbon Processing, Vol. 45, №.7, (1966).
43. Lange N. A., Handbook of Chemistry, 10 th. ed., McGraw-Hill Book Co. Inc., New York-London, 1961.
44. Hydrocarbon Processing Vol. 47, №.1, (1968).
45. Stoecker W. F., Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York-London, 1958.
46. Hodgman C. D., Handbook of Chemistry and Physics, 45 th. ed., The Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, 1964—65.
47. Frigen Sicherheitskältemittel, Farbwerke Hoechst Ag. Frankurten M.-Hoechst, 1962.
48. Hydrocarbon Processing, Vol. 47, №.2, (1968).
49. McGrath W. L., Ashrae Guide and Data Book, George Banta Co. Inc., Wisconsin, 1963.
50. Kältetechnik-Klimatisierung, Band 23, Heft 8, 1971.
51. Weast R. C., Handbook of Chemistry and Physics, 51st. ed., The Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, 1970—1971.
52. Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd. ed., John Wiley & Sons, Inc., New York-London, 1965.

第二章 飽和蒸汽压(沸点)

飽和蒸汽压 (P): 在给定温度下, 与液相或固相呈平衡的蒸汽压力。

单位: [标准大气压], [绝对大气压], [毫米汞柱]等。

工程计算上, 以利用气体热力性质图求飽和蒸汽压(沸点)值较为方便。在图上找出等温线或等压线与飽和蒸汽曲线的交点, 此点的压力(温度)即为所求。

更准确的数据应由实验测得, 这些数据列于以下各节图表中。

飽和蒸汽压的预计算公式:

(1) 较准确的公式

表 1-2 几种物质的飽和蒸汽压计算公式

物 质	在晶体上的压力 [毫米汞柱]	三相点至正常沸 点范围内的压力 [毫米汞柱]	正常沸点至临界 点范围内的压力 [标准大气压]
空 气 (1)			始沸点: $\lg P = 3.5713 - \frac{290.70}{T}$ $+ 0.001494 T$ 露点: $\lg P = 4.0816 - \frac{333.88}{T}$
氨 (2)(4)	$\lg P = 7.6658 - \frac{359.36}{T}$	$\lg P = 6.49594 - \frac{255.821}{T - 6.600}$	$\lg P = 6.611511 - \frac{294.51750}{T}$ $+ 9.9433 \cdot 10^{-4} T$ $- 1.284 \cdot 10^{-6} T^2$ (78.0[°K]~83.9[°K]) $\lg P = 4.022 - \frac{312.2^*}{T}$
氧 (2)		$\lg P = 7.86224 - \frac{408.74}{T}$ $- 0.0049832 T$ $\lg P = 7.08 - \frac{379^*}{T}$	$\lg P = 4.129 - \frac{374.5^*}{T}$
氟 (4)(2)(3)	$\lg P = 7.7353 - \frac{420.9}{T}$ (82~83.77[°K]) $\lg P = 7.54454 - \frac{404.84}{T}$	$\lg P = 6.9224 - \frac{352.8^*}{T}$	$\lg P = 21.8379 - \frac{550.8211}{T}$ $- 8.784939 \lg T + 0.0174713 T$ $\lg P = 4.184 - \frac{376.9}{T}$
氖 (4)(2)(3)(5)	$\lg P = 6.0424 - \frac{111.79}{T}$ (15~20.5[°K]) $\lg P = 6.789798 - \frac{108.931}{T}$ $+ 0.00640755 T$	$\lg P = 7.46116 - \frac{106.090}{T}$ $- 0.0356616 T$ $+ 4.11092 \cdot 10^{-4} T^2$ $\lg P = 3.572 - \frac{96.85^*}{T}$	$\lg P = 2.8191 - \frac{84.38}{T}$ $+ 0.01118 T$

续表

物 质	在晶体上的压力 〔毫米汞柱〕	三相点至正常沸 点范围内的压力 〔毫米汞柱〕	正常沸点至临界 点范围内的压力 〔标准大气压〕
He (3)		$\lg P = 2.197 - \frac{3.018}{T}$ $+ 2.484 \lg T - 0.00297 T^4$ $(< 2.19[^\circ\text{K}])$ $\lg P = 3.6730 - \frac{4.7821}{T}$ $+ 0.00783 T + 0.017601 T^2$ $(2.19 \sim 4.22[^\circ\text{K}])$	$\lg P[\text{毫米汞柱}] = 4.729$ $- \frac{7.978}{T} - \frac{0.13628}{T^2}$ $+ \frac{4.3634}{T^3}$
He ⁴ (3)(4)		$\ln P = 2.3214 - \ln T$ $- \frac{2.52608}{T} - 0.20046 T$ $+ 0.08183 T^2 - 0.0085 T^3$ $+ 4.8153$ $(0.45 \sim 1[^\circ\text{K}])$	$\lg P[\text{毫米汞柱}] = -\frac{0.97796}{T}$ $+ 2.51 \lg T + 0.000302 T^3$ $+ 1.91594$ $(1 \sim 3.35[^\circ\text{K}])$
He ⁴ (3)		$\lg P[\text{毫米汞柱}] = I - \frac{A}{\beta} + B \ln T + \frac{1}{2} C T^2$ $- D \left[\frac{\alpha\beta}{\beta^2 + 1} - \frac{1}{T} \right] \arctg(\alpha T - \beta) - \ln \frac{T^2}{1 + (\alpha T - \beta)^2}$ $I = 4.6202; \quad A = 6.399; \quad B = 2.541;$ $C = 0.00612; \quad D = 0.5197; \quad \alpha = 7; \quad \beta = 14.14$	
氩 (3)	$\lg P = 7.7447 - \frac{679.6}{T}$	$\lg P[\text{标准大气压}] = 19.5582 - \frac{710.0193}{T}$ $- 7.156931 \lg T + 0.01039974 T$ $\lg P[\text{毫米汞柱}] = 6.9688 - \frac{489.70}{T}$	
氙 (3)	$\lg P = 7.7371 - \frac{799.1}{T}$ $\lg P = 8.044 - \frac{833.38}{T}$ $(70 \sim 90[^\circ\text{K}])$	$\lg P[\text{标准大气压}] = 23.20334 - \frac{1040.76}{T}$ $- 8.25369 \lg T + 0.0085216 T$	
标准氘 (75% O-H ₂) (3)	$\lg P = 4.56488 - \frac{47.2059}{T}$ $+ 0.03939 T$	$\lg P = 4.66687 - \frac{44.9569}{T}$ $+ 0.020537 T$	$\lg P = 3.069281 - \frac{55.25642}{T}$ $- 3.1282 \cdot 10^{-2} T$ $+ 6.6989 \cdot 10^{-4} T^2$
标准氙 (66.67% O-D ₂) (3)(4)	$\lg P = 6.21 - \frac{77.077}{T}$ $+ 28.8 \cdot 10^{-4} (T - 16.5)^2$	$\lg P[\text{毫米汞柱}] = 5.8404 - \frac{70.044}{T} + 4.59 \cdot 10^{-4} (T - 23)^2$ $\lg P[\text{标准大气压}] = 3.57979 - \frac{74.2894}{T}$ $- 0.029345 T + 0.00047507 T^2$	
标准氙 (75% O-T ₂) (3)	$\lg P = 6.4773 - \frac{88.002}{T}$	$\lg P[\text{毫米汞柱}] = 6.0334 - \frac{78.925}{T} + 2.0 \cdot 10^{-4} (T - 25)^2$	
甲 烷 (3)	$\lg P = 6.7838 - \frac{477.46}{T}$ $+ 0.00469 T$	$\lg P = 7.55073 - \frac{483.22}{T}$ $- 0.0030686 T$	$\lg P[\text{毫米汞柱}] =$ $10.68631 - \frac{595.546}{T}$ $- 0.0348066 T$ $+ 0.00013338 T^2$ $- 1.7869 \cdot 10^{-4} T^3$

物 质	在晶体上的压力 〔毫米汞柱〕	三相点至正常沸点 范围内的压力 〔毫米汞柱〕	正常沸点至临界 点范围内的压力 〔标准大气压〕
乙 烷 (92.0)	$\lg P = 8.5812 - \frac{965.4}{T}$	$\lg P[\text{大气压}] = 4.2704 - \frac{780.24}{T} - 0.000103 T$ $- 9.3 \cdot 10^{-10} (T - 238)^4$ (0.5~9.3〔绝对大气压〕) $\lg P[\text{大气压}] = 4.2704 - \frac{78.24}{T} - 0.000103 T$ $+ 1.4 \cdot 10^{-11} (T - 238)^3$ (9.3~50.3〔绝对大气压〕)	
乙 烯 (90.0)	$\lg P \times 10^3 = 1.5477$ $- 1038.1 \left(\frac{1}{T} - 0.0110 \right)$ $+ 16537 \left(\frac{1}{T} - 0.0110 \right)^2$ (77.52~90.09〔°K〕)	$\lg P[\text{标准大气压}] = 30.470741 - \frac{1243.766}{T}$ $- 11.213927 \lg T + 0.01102331 T$	
一 氧 化 碳 (90.0)	$\lg P = 2.47365 - \frac{418.2}{T}$ $+ 4.217 \lg T$ $- 0.02623 T$ ($< 61.55[^\circ\text{K}]$) $\lg P = 8.82259 - \frac{425.1}{T}$ $- 0.007596 T$ (61.55~68.09〔°K〕)	$\lg P[\text{毫米汞柱}] = 12.23721 - \frac{477.3}{T}$ $- 0.064129 T + 0.00025911 T^2$ $\lg P[\text{标准大气压}] = 24.45426 + \frac{546.7681}{T}$ $- 10.217 \lg T + 0.02177569 T$	

• 公式计算误差为1~2%，在 $\lg P - \frac{1}{T}$ 坐标上成直线关系。

(2) 通用公式

A. 氢及其同位素

$$\lg P[\text{毫米汞柱}] = A + \frac{B}{T} + CT \quad (1-3)$$

式中：A、B、C为常数，见表1—3。

表 1—3 氢及其同位素饱和蒸汽压 $\lg P$ 〔毫米汞柱〕 = $A + \frac{B}{T} + CT$ 公式

中常数 A、B、C 之值⁽²⁾

物 质	状 态	A	B	C
标准氢(75%o-H ₂)	液 体	4.66687	-44.9569	0.020637
	晶 体	4.56488	-47.2059	0.03939
平衡氢(20.4〔°K〕, 0.21%o-H ₂)	液 体	4.64392	-44.3450	0.02093
	晶 体	4.62438	-47.0172	0.03635
标准氘(68.67%o-D ₂)	液 体	4.7312	-58.4619	0.02671
	晶 体	5.1826	-68.0782	0.03110
平衡氘(20.4〔°K〕97.8%o-D ₂)	液 体	4.7367	-58.4440	0.02870
	晶 体	5.1625	-67.9119	0.03102
重一氘(HD)	液 体	5.04964	-55.2495	0.01479
	晶 体	4.70260	-56.7154	0.04191

B. 烃类

$$\lg P = A - \frac{B}{C + t} \quad (1-4)$$

式中: A 、 B 、 C 为常数, 见表 1-4。

表 1-4 烃类饱和蒸汽压 $\lg P = A - \frac{B}{C + t}$ 公式中常数 A 、 B 、 C 之值

物 质	状 态	单 位	A	B	C	温 度 范 围 (°C)		误 差 (%)
						起	终	
甲 烷 (5)(9)(10)	晶 体 晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	7.69540	532.20	275.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.30181	320.303	255.84	-200	-182.49	±1.5
		[毫 米 汞 柱]	6.61184	389.93	266.00	-182.45	-161.55	—
		[标 准 大 气 压]	3.93473	437.085	272.664	-161.58	-118.1	±0.3
		[毫 米 汞 柱]	4.43522	600.175	298.422	-118.1	- 82.1	±0.1
乙 烷 (5)(9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.80266	656.40	256.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.81882	661.088	256.504	-182.81	-140.0	>0.2
						-140	- 88.63	±0.2
		[标 准 大 气 压]	4.09549	722.955	265.155	- 88.63	- 30.0	±0.3
		[标 准 大 气 压]	4.67281	1030.628	312.233	- 30.0	+ 32.27	±0.3
丙 烷 (5)(9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.82973	813.20	248.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.83054	813.864	248.116	-188.6	-110.0	±1
						-110.0	- 42.06	+0.2
		[标 准 大 气 压]	4.4312	1048.9	278.76	- 42.06	+ 28.77	+ 2
正 丁 烷 (5)(9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.83029	945.90	240.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.88032	968.098	242.555	-138.3	- 80	—
						- 80	- 6.5	±0.3
		[标 准 大 气 压]	4.11248	1030.34	251.041	- 0.5	+ 75.0	±1
异 丁 烷 (5)(9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.74804	882.80	240.0	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.82825	916.054	243.783	-159.4	- 90	—
						- 90	- 11.72	±0.2
		[标 准 大 气 压]	4.30613	1120.165	271.853	- 11.72	+134.4	±1
正 戊 烷 (9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.85221	1064.63	232.00	—	—	—
乙 烯 (5)(9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.74756	585.00	255.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.76503	590.338	255.684	-169.19	-150.0	>0.1
						-150.0	-103.70	±0.1
		[标 准 大 气 压]	3.99369	624.240	260.007	-103.70	- 70	±0.3
		[标 准 大 气 压]	4.3250	768.26	282.43	- 70	0	±0.3
						0	+9.5	±1.5
丙 烯 (9)(9)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.81960	785.00	247.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.85658	798.456	248.581	-182.25	-110	±1
						-110.0	- 47.75	±0.2
		[标 准 大 气 压]	3.76727	712.188	236.796	- 47.75	0	±1
		[标 准 大 气 压]	4.69877	1220.33	309.800	0	+91.4	±1

续表

物 质	状 态	单 位	A	B	C	温 度 范 围 [°C]		误 差 [%]
						起	终	
丁 烯-1 (593)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.84290	926.10	240.00	—	—	—
		[毫 米 汞 柱]	6.92510	961.437	243.977	-120.0	+ 45	±1
		[标 准 大 气 压]	4.76632	1480.036	320.556	+ 45.0	+147.2	±2
异 丁 烯 (59)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.9257	965.34	245.67	-120	- 60	—
		[毫 米 汞 柱]	6.9257	965.34	245.67	- 60	- 7.01	±1
		[标 准 大 气 压]	4.31123	1118.99	266.563	- 7.01	+144.7	±0.5
顺丁烯-2 (59)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.86272	957.372	236.712	-120	+ 3.73	±0.1
		[标 准 大 气 压]	3.98191	957.372	236.712	+3.73	+ 60	±1
反丁烯-2 (59)	液 体	[毫 米 汞 柱]	6.90860	977.994	242.052	-105.8	+0.88	±0.2
		[标 准 大 气 压]	4.02579	977.994	242.052	+ 0.88	+ 60	±1
乙 炔 (59)	晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	8.7371	1084.9	258.85	-180.0	- 81.8	±5.0
		[毫 米 汞 柱]	4.6908	925.59	283.05	- 81.8	+ 35.3	±2

[注] 由[毫米汞柱]变为[标准大气压]时, 应从系数A值中减去2.88081; 由[标准大气压]变为[毫米汞柱]时, 应将A值加上2.88081, 因 $\lg 760 = 2.88081$ 。

C. 其他物质

$$\lg P = -\frac{A}{T} + B \quad (1-5)$$

式中: A、B为常数, 见表1-5。

表 1-5 几种物质 $\lg P = -\frac{A}{T} + B$ 公式中常数 A、B 之值⁽⁵⁾⁽⁵⁹⁾

物 质	状 态	单 位	A	B	温 度 范 围 [°C]	
					起	终
二 氧 化 碳	晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	1368.0	9.915	-130	- 70
		[毫 米 汞 柱]	1351.0	6.966	-100	- 60
		[标 准 大 气 压]	862.1	4.712	- 50	+ 30
一 氧 化 氮	晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	858	10.06	-190	-170
		[毫 米 汞 柱]	700.5	8.618	-160	-150
一 氧 化 二 氮	晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	1243	9.615	-130	-100
		[毫 米 汞 柱]	862.2	7.560	- 90	- 80
		[标 准 大 气 压]	845	4.593	- 80	+ 30
二 氧 化 氮	液 体	[毫 米 汞 柱]	1734	8.764	- 10	+ 30
		[标 准 大 气 压]	1826	6.2	+ 40	+150
		[毫 米 汞 柱]	1118.6	8.60	-120	-100
硫 化 氢	晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	1048.0	7.823	- 90	- 50
		[标 准 大 气 压]	930.5	4.441	- 50	+100
		[毫 米 汞 柱]	4090	12.275	- 36	0
苯	液 体	[毫 米 汞 柱]	2472.72	7.927	120	218
		[毫 米 汞 柱]	596	6.543	-150	-110
		[毫 米 汞 柱]	1782	10.01	- 90	- 80
臭 氧	晶 体 液 体	[毫 米 汞 柱]	1405	8.23	- 70	0
		[标 准 大 气 压]	1287	4.898	- 10	+120

续表

物 质	状 态	单 位	A	B	温 度 范 围 [°C]	
					起	终
氮	液体	[毫米汞柱]	1526.0	9.95	-154	-103
		[毫米汞柱]	1168.0	7.790	-90	-20
		[标准大气压]	1052.2	4.427	-30	+130
	液体	[标准大气压]	1148	4.601	-50	+40
		[毫米汞柱]	1629	10.003	-100	-80
		[毫米汞柱]	1289	8.275	-70	-30
氮 甲 烷	液体	[标准大气压]	1198	5.007	-30	+130

〔注〕 1. 使用本表所列系数计算 P 值时, 其精确度为2~3%。

2. 由[毫米汞柱]变为[标准大气压]时, 应从系数 B 值中减去2.88081; 由[标准大气压]变为[毫米汞柱]时, 应将 B 值加上2.88081, 因 $\lg 760 = 2.88081$ 。

1. 几种气体在低温下的饱和蒸汽压

表 1—6 几种气体在低压下的饱和温度^{〔1〕}

		$T_s [^{\circ}\text{K}]$						
物 质	饱和蒸汽压 [毫米汞柱]	10^{-13}	10^{-12}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-6}
氮		18.1	19.0	20.0	21.1	22.3	23.7	27.0
氧		21.8	22.8/24.0		25.2	26.6	28.2	31.9
氩		20.3	21.3	22.5	23.7	25.2	26.8	30.6
氖		5.50	5.79	6.11	6.47	6.88	7.34	8.48
氦		—	—	—	—	—	—	—
氙		27.9	28.4	30.9	32.7	34.6	36.8	42.2
氪		38.5	40.5	42.7	45.1	47.7	50.8	58.2
氪		2.67	2.83	3.01	3.21	3.45	3.71	4.40
甲 烷		24.0	25.3	26.7	28.2	30.0	32.0	36.9
一 氧 化 碳		20.5	21.5	22.6	23.8	25.2	26.7	30.3
二 氧 化 碳		59.5	62.2	65.2	68.4	72.1	76.1	85.7
水		113.0	118.5	124.0	130.0	137.0	144.5	162.0
一 氧 化 氮		37.7	39.4	41.3	43.4	45.6	48.1	54.0
二 氧 化 硫		78.9	82.4	86.3	90.4	95.1	100.0	112.5
硫 化 氢		57.1	59.8	62.7	65.9	69.5	73.5	83.1
氨		70.9	74.1	77.6	81.5	85.8	90.6	102.0