

化工工艺算图

吉林化学工业公司设计院 主编
化学工业部化工设计公司

第一册

常用物料物性数据

谢端绶 璩定一 苏元复 合编

化学工业出版社

化工工艺算图
第一册
常用物料物性数据

5.3

化工工艺算图

吉林化学工业公司设计院
化学工业部化工设计公司 主编

第 一 册

常用物料物性数据

谢 端 绶
璩 定 一 合编
苏 元 复

化 学 工 业 出 版 社

《化工工艺算图》分六册出版。第一册主要收集了常用物料物性数据方面的算图共260余幅。全书共十三章，包括压缩因数；活度系数；密度、比重及比容；蒸气压；汽化热；比热；导热系数；粘度；表面张力；扩散系数；溶解度；综合物理性能及其他性能等。并附有常用单位换算表及索引以备查考。

本册主要取材于近年来国内外化工及与化工有关的书刊、手册。内容比较广泛实用，可供化工工艺及有关专业的设计人员参考，也可供从事化工生产、科研的工人、干部和技术人员以及大专院校的师生参考。

本套书主编单位唐士选、杨宜年两同志在本册的出版过程中作了整理和核对工作。

化工工艺算图
吉林化学工业公司设计院 主编
化学工业部化工设计公司

第一册

常用物料物性数据

谢端绶

璩定一 合编

苏元复

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张36字数907千字印数1—8,800

1982年10月北京第1版1982年10月北京第1次印刷

统一书号15063·3378定价4.30元

编者说明

各种物质的物理性能是开展科研和教学工作,进行工程计算与设计等各方面必需的数据。有关物性文献极多,各具特色,尤以算图形式刊载的物理性能更具有查阅快捷,使用方便等优点。编者结合教学和科研需要,从各种期刊文献中选取 260 余图分成十三章。本册算图多数根据实验测定数据而绘制的与经验公式计算相比,更接近实际,能满足工程技术方面的要求。

本算图,在收集过程中尽可能都查阅了原始文献,以冀明瞭绘制算图所依据的数据来源,一经发现个别算图有错误时,均予以更正,必要时添加编者注,表达对该图的某些意见。

本算图关于引用资料来源的几点说明:

(1) 各图的文字说明中方括号内的数字即为参考文献编号;

(2) 算图题目右上角的文献编号是本算图的来源。例如:“正烷烃在非缔合溶剂中的扩散系数^[1]”,表示本算图取自参考文献[1]: Chem. Eng., 82(8), 104(Apr. 14, 1975)。

(3) 引用期刊文献表示方法包括:作者姓名,文献题目,文献名称及文献的卷、(期),起迄页(年份)。

(4) 期刊文献的名称缩写,基本上参照 Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI);该刊是根据 International standard ISO 833-1974: Documentation-International List of Periodical Title Word Abbreviation.

本算图在附录中附有较全面的单位换算表,以供读者参考。此外附有索引,包括主题索引及物质索引两种,以备读者查考。

限于编者水平,又因编者系在教学及科研工作之余收集及编写的,未免有遗漏及谬误之处,希望读者一经发现予以指正,编者预致深切谢意。

谢端绶 璩定一 苏元复 1979年8月于上海

前 言

根据公式和实验数据绘制的算图是开展科学研究、设计开发、生产管理以及教学工作等方面进行工程计算所必需的工具；具有查阅快捷、使用方便等优点；可以简化某些繁琐的计算工作；为电子计算机计算提供初值；并可为不便于采用电子计算机计算的问题提供迅速准确的解答。因此，在目前电子计算飞跃发展的时代，使用算图的简便计算方法仍然起着重要作用。近年来，国外各种期刊仍在陆续发表大量算图，深受从事设计、科研、生产和教学的广大科技人员的重视。此外还出版了若干算图专辑，如：J. F. 邝编的《应用列线图》、鹤尾定雄编的《化学工学列线图》以及 D. S. 戴维斯编的《化学工艺列线图》等均为广大读者所乐用。在国内，五十年代由苏元复、璩定一合编的《化工算图集》对促进我国化工生产、科研、设计和教学起过一定的作用。为使算图更好地为我国“四个现代化”服务，考虑到化工设计、科研、生产和教学等方面的需要，我们组织了有关大专院校和设计院的同志，并由吉林化学工业公司设计院总其成，收集、整理、汇编了化工算图达一千余种定名为《化工工艺算图》，选取的文献截至1978年。

本书分六册出版。第一册，常用物料物性数据（多数以实验测定的数据而绘制的）；第二册，物性数据计算（系依据公式绘制的）；第三册，化工单元操作；第四册，化工传热及保温；第五册，化工管道（包括流体力学及仪表）；第六册，化工设备及其他。

本书各册的算图均有说明，叙述方法因图而异，主要包括：基本依据、应用范围、使用方法、例题及资料来源。

近年来在技术文献中推广使用国际单位制(SI)，但书中算图大多数不是国际单位制，为此，在各册算图后均附有“常用单位换算表”以备查考。

本书资料来源的书写，除全称外，缩写方法基本参照Chemical Abstracts Service Source Index(CASSI)。

本书所收集的算图都尽可能地查阅了原始文献所依据的来源。凡经发现个别错误均予以更正。

全书的审校由化工部化工工艺设计技术中心站会同主编单位吉林化学工业公司设计院进行。

由于编写人员的水平有限，选取算图的深度和广度均不够，取材也未尽完善，难免有遗漏及谬误之处，恳切希望读者指出，以便再版时予以订正。

化学工业部化工工艺设计技术中心站

《化工工艺算图》第一册目录

1.1 压缩因数	1
1.1.1 氮在高压下的压缩因数	1
1.1.2 氢在低温下的P-V-T参数	3
1.1.3 一氧化二氮在低压下的压缩因数	5
1.1.4 一氧化二氮的压缩因数	7
1.1.5 二氧化碳的压缩因数	9
1.1.6 二氧化硫在低压下的压缩因数	11
1.1.7 甲烷在低压下的压缩因数	13
1.1.8 甲烷的压缩因数	15
1.1.9 甲烷及乙烷在低压下的压缩因数	17
1.1.10 乙烷的压缩因数	19
1.1.11 丙烷在低压下的压缩因数	21
1.1.12 丙烷的压缩因数	23
1.1.13 丙烷及正丁烷在低压下的压缩因数	25
1.1.14 乙烯在低压下的压缩因数	27
1.1.15 乙烯在高压下的压缩因数	29
1.1.16 乙烯、丙烯及丁烯-1在低压下的压缩因数	31
1.1.17 正丁烷、异丁烷及丁二烯-1,3的压缩因数	33
1.1.18 七种烃类在低压下的压缩因数	35
1.1.19 气态氯甲烷的压缩因数	37
1.1.20 丙炔的压缩因数	39
1.2 活度系数	41
1.2.1 乙烷的活度系数	41
1.2.2 丙烷的活度系数	43
1.2.3 正丁烷的活度系数	45
1.2.4 异丁烷的活度系数	47
1.2.5 正戊烷的活度系数	49
1.2.6 异戊烷的活度系数	51
1.2.7 新戊烷的活度系数	53
1.3 密度、比重及比容	55
1.3.1 氮气的密度	55
1.3.2 液氧的密度	57
1.3.3 二氧化碳的比容	59
1.3.4 空气的比容	61
1.3.5 过热蒸汽的密度及比容	63

1.3.6	硫酸水溶液的密度	65
1.3.7	硝酸水溶液的比重及密度	67
1.3.8	硝酸水溶液的密度	69
1.3.9	稀磷酸水溶液的密度	71
1.3.10	浓磷酸水溶液的密度	73
1.3.11	液氨的比容	75
1.3.12	浓氢氧化钠水溶液的比重	77
1.3.13	浓氢氧化钠水溶液的密度	78
1.3.14	硝酸钠水溶液的密度	80
1.3.15	硫酸铵水溶液的比重	81
1.3.16	硝酸铵水溶液的比重	83
1.3.17	氯化锂水溶液的密度	85
1.3.18	氯化钾水溶液的比重及密度	87
1.3.19	氯化铵水溶液的比重及密度	89
1.3.20	稀氯化锌水溶液的密度	90
1.3.21	浓氯化锌水溶液的密度	92
1.3.22	稀溴化锌水溶液的密度	93
1.3.23	浓溴化锌水溶液的密度	95
1.3.24	氯化钙盐水的比重	97
1.3.25	硫化钠水溶液的密度	100
1.3.26	尿素水溶液的比重及密度	102
1.3.27	液态烃在常压下的比重	104
1.3.28	液态丙烷的密度	106
1.3.29	液态丙烯的密度	108
1.3.30	甲醇水溶液的密度	110
1.3.31	醇类的比重	112
1.3.32	四种醇类水溶液的密度	114
1.3.33	含甲醇的甲醛水溶液的比重	116
1.3.34	甲醛水溶液的密度	118
1.3.35	丙酮水溶液的密度	120
1.3.36	丙酮水溶液的比重	122
1.3.37	酮类的比重	124
1.3.38	五种有机酸的比重	126
1.3.39	乙醇胺水溶液的密度	128
1.3.40	二乙醇胺水溶液的密度	130
1.3.41	氟利昂-11的比容	132
1.3.42	氯硅烷混合物的密度	134
1.3.43	丁酮-苯溶液的密度	136
1.3.44	有机化合物饱和蒸气的密度	138
1.3.45	液体物料的密度	141

1.4 蒸气压	143
1.4.1 盐酸的氯化氢分压	143
1.4.2 盐酸的水蒸气分压	145
1.4.3 硝酸水溶液的水蒸气分压	147
1.4.4 磷酸水溶液的蒸气压	149
1.4.5 氢溴酸的溴化氢分压	151
1.4.6 氢氟酸的氟化氢分压	153
1.4.7 氢氟酸的水蒸气分压	155
1.4.8 氢氧化钠水溶液的蒸气压	157
1.4.9 碳酸钠水溶液的蒸气压	160
1.4.10 氨水的蒸气压 (一)	162
1.4.11 氨水的蒸气压 (二)	164
1.4.12 无机盐类饱和溶液的蒸气压	166
1.4.13 氯化锂水溶液的蒸气压	168
1.4.14 硝酸铵水溶液的蒸气压	170
1.4.15 硝酸铵及尿素水溶液的蒸气压	171
1.4.16 含硝酸铵及氨的水溶液蒸气压	173
1.4.17 过氧化氢水溶液的总蒸气压	175
1.4.18 六种金属卤化物晶体的蒸气压	177
1.4.19 含盐的甘油水溶液水蒸气分压	179
1.4.20 正烷烃的蒸气压	181
1.4.21 烯烃的蒸气压	183
1.4.22 氯代正烷烃的蒸气压	185
1.4.23 氯甲烷及氯乙烷的蒸气压	187
1.4.24 氯代烃类的蒸气压	189
1.4.25 全氟戊烷的蒸气压	191
1.4.26 硝基烷烃的蒸气压	193
1.4.27 苯胺和硝基苯混合物的蒸气压	195
1.4.28 氯 (代) 苯的蒸气压	197
1.4.29 乙醇水溶液的蒸气压	199
1.4.30 醇类的蒸气压 (一)	201
1.4.31 醇类的蒸气压 (二)	203
1.4.32 酮类的蒸气压	205
1.4.33 丙酮水溶液的总蒸气压	207
1.4.34 脂肪酸甲酯的蒸气压 (一)	209
1.4.35 脂肪酸甲酯的蒸气压 (二)	211
1.4.36 二元酸二乙酯的蒸气压	213
1.4.37 几种温度敏感介质的蒸气压	215
1.4.38 乙醇胺在水溶液上的分压	217
1.4.39 湿二甘醇的蒸气压	219

1.4.40	几种冷冻剂的蒸气压	221
1.5	汽化热	223
1.5.1	烃类的汽化热	223
1.5.2	物料的汽化热	226
1.5.3	正常沸点下汽化热估算	227
1.5.4	温度对汽化热的影响	229
1.6	比热	231
1.6.1	硫酸水溶液的比热	231
1.6.2	硝酸水溶液的比热 (一)	233
1.6.3	硝酸水溶液的比热 (二)	234
1.6.4	磷酸水溶液的比热	236
1.6.5	氯化钙盐水的比热	238
1.6.6	正烷烃的理想气体比热 (一)	240
1.6.7	正烷烃的理想气体比热 (二)	243
1.6.8	正烯烃的理想气体比热 (一)	245
1.6.9	正烯烃的理想气体比热 (二)	247
1.6.10	正炔烃的理想气体比热 (一)	249
1.6.11	正炔烃的理想气体比热 (二)	251
1.6.12	正烷基苯的理想气体比热 (一)	253
1.6.13	正烷基苯的理想气体比热 (二)	255
1.6.14	正烷基环戊烷的理想气体比热	257
1.6.15	正烷基环己烷的理想气体比热 (一)	259
1.6.16	正烷基环己烷的理想气体比热 (二)	261
1.6.17	氨基烷烃的理想气体比热	263
1.6.18	正烷基酚的理想气体比热	265
1.6.19	正烷醇的理想气体比热	267
1.6.20	正烷醛的理想气体比热	269
1.6.21	液态有机物料的比热	271
1.6.22	传热介质的比热	273
1.6.23	气体的平均比热	275
1.6.24	气体及蒸气在常压下的比热	277
1.6.25	液体在常压下的比热	279
1.6.26	石英及各种金属的比热	281
1.7	导热系数	283
1.7.1	气态一氧化氮的导热系数	283
1.7.2	硫酸水溶液的导热系数	285
1.7.3	硝酸水溶液的导热系数	287
1.7.4	五种无机酸水溶液的导热系数	289
1.7.5	氢氧化钠及氢氧化钾的导热系数	291
1.7.6	液氨的导热系数	293

1.7.7	氯化物水溶液的导热系数	295
1.7.8	甲烷及丙烷混合物的导热系数	297
1.7.9	气态烃的导热系数	299
1.7.10	甲醇水溶液的导热系数	301
1.7.11	乙醇水溶液的导热系数	303
1.7.12	正丙醇水溶液的导热系数	305
1.7.13	异丙醇水溶液的导热系数	307
1.7.14	丙酮水溶液的导热系数	309
1.7.15	甘油水溶液的导热系数	311
1.7.16	丙二醇水溶液的导热系数	313
1.7.17	二甘醇水溶液的导热系数	315
1.7.18	三甘醇水溶液的导热系数	317
1.7.19	液态冷冻剂的导热系数	319
1.7.20	氟利昂的导热系数	321
1.7.21	几种液体的导热系数	323
1.7.22	常压下气体的导热系数	325
1.7.23	导热系数的温度校正	328
1.8	粘度	330
1.8.1	氮的粘度	330
1.8.2	硫酸水溶液的粘度	332
1.8.3	硝酸水溶液的粘度(一)	334
1.8.4	硝酸水溶液的粘度(二)	337
1.8.5	氢氧化钠水溶液的粘度	339
1.8.6	纯碱水溶液的粘度	341
1.8.7	液氨的粘度	342
1.8.8	氯化锂水溶液的粘度	344
1.8.9	氯化钠水溶液的粘度	346
1.8.10	氯化钙盐水的粘度	348
1.8.11	液态二氧化硫的粘度	350
1.8.12	过热蒸汽的粘度	352
1.8.13	气态甲烷的粘度	354
1.8.14	液态正戊烷的粘度	356
1.8.15	液态正癸烷的粘度	358
1.8.16	液态正烷烃的粘度	360
1.8.17	液态氯甲烷的粘度	362
1.8.18	甲醇水溶液的粘度	364
1.8.19	乙醇水溶液的粘度	366
1.8.20	液态氟利昂冷冻剂的粘度	368
1.8.21	甘油水溶液的粘度(一)	370
1.8.22	甘油水溶液的粘度(二)	373

1.8.23	乳酸水溶液及乳酸甲酯的粘度	375
1.8.24	丙烯酸酯类(单体)的运动粘度	377
1.8.25	乙二醇水溶液的粘度	379
1.8.26	苯与四氯化碳混合物的粘度	381
1.8.27	有机溶剂的粘度	383
1.8.28	气体及蒸气在常压下的粘度	385
1.8.29	液体物料在常压下的粘度	387
1.9	表面张力	390
1.9.1	正烷烃的表面张力 (一)	390
1.9.2	正烷烃的表面张力 (二)	392
1.9.3	正烯烃的表面张力	394
1.9.4	液态烃在常压下的表面张力	396
1.9.5	烃类的表面张力	398
1.9.6	常用液体的表面张力	401
1.9.7	植物油的表面张力	403
1.9.8	非烃类物料在常压下的表面张力	405
1.9.9	液体的表面张力	407
1.10	扩散系数	410
1.10.1	在大气压下非电解质在水中的扩散系数	410
1.10.2	正烷烃在非缔合溶剂中的扩散系数	413
1.10.3	物料在非缔合溶剂中的扩散系数	415
1.11	溶解度	418
1.11.1	氢在水中的溶解度	418
1.11.2	氧在水中的溶解度 (一)	420
1.11.3	氧在水中的溶解度 (二)	422
1.11.4	二氧化硫在水中的溶解度 (一)	424
1.11.5	二氧化硫在水中的溶解度 (二)	426
1.11.6	氨在水中的溶解度	428
1.11.7	氢在钢中的溶解度	430
1.11.8	氢在铁中的溶解度	432
1.11.9	氢在镍中的溶解度	434
1.11.10	硫酸亚铁在酸洗液中的溶解度	436
1.11.11	二氧化碳在水中的溶解度	438
1.11.12	二氧化碳在二甲替甲酰胺中的溶解度	440
1.11.13	硫酸钠在乙二醇水溶液中的溶解度	442
1.11.14	氟化氢在烃中及烃在氟化氢中的溶解度	445
1.11.15	甲烷在水中的溶解度	448
1.11.16	丙烷在水中的溶解度	450
1.11.17	丁烯-1在水中的溶解度	452
1.11.18	苯在水中的溶解度	454

1·11·19	烃在水中的溶解度	456
1·11·20	轻烃在水中及水在轻烃中的溶解度	458
1·11·21	水在烃中的溶解度 (一)	460
1·11·22	水在烃中的溶解度 (二)	462
1·11·23	水在烃中的溶解度 (三)	464
1·11·24	脂肪酸在甲醇及乙醇中的溶解度	466
1·11·25	脂肪酸在苯中的溶解度	468
1·12	综合物理性能	470
1·12·1	干空气在大气压下的物理性能	470
1·12·2	饱和蒸汽的性能	472
1·12·3	氢在常压下的物理性能	474
1·12·4	一氧化碳在常压下的物理性能	476
1·12·5	二氧化碳在常压下的物理性能	478
1·12·6	气态氮的性能	480
1·12·7	氮的物理性能	481
1·12·8	氯的物理性能	483
1·12·9	乙二醇水溶液的导热系数及比热	484
1·12·10	二甘醇及三甘醇的性能	486
1·12·11	乙烯的物理性能	488
1·12·12	环己烷的物理性能	490
1·12·13	苯的物理性能	491
1·12·14	甲苯的物理性能	493
1·12·15	液态异丙苯的物理性能	494
1·12·16	液态二甲苯的物理性能	495
1·12·17	萘的物理性能	497
1·12·18	苯酚的物理性能	499
1·12·19	液态甲酚的物理性能	500
1·12·20	甲醇的物理性能	502
1·13	其他性能	504
1·13·1	浓氢氧化钠水溶液的沸点	504
1·13·2	烃类临界常数的估算	506
1·13·3	活性碳对丙酮的吸附量	510
1·13·4	高氯酸水溶液的折光指数	512
1·13·5	液化气体的折光指数	514
1·13·6	空气的相对湿度百分率	516
索引	物料索引(中文)	518
	物料索引(英文)	526
附录	常用单位换算表	附 1

1.1 压缩因数

1.1.1 氦在高压下的压缩因数^[1]

基本依据

文献[2]刊载了对氦的压缩因数所进行的研究。在温度为-10、0、+10、40、70、100及130°F时,测量了压力为4000〔磅/英寸²〕(绝压)以下氦的体积。温度保持于±0.05°F,测量压力的精确度为0.01〔磅/英寸²〕(绝压)。供实验用的氦纯度为99.995%。从实验数据可知压缩因数Z与压力P〔磅/英寸²〕(绝压)的关系如下:

$$Z = 1 + BP \left(= \frac{PV}{RT} \right)$$

不同温度下的系数B值如下:

温度, °F	系数B,〔磅/英寸 ² 〕 ⁻¹	温度, °F	系数B,〔磅/英寸 ² 〕 ⁻¹
-10	3.8108×10^{-5}	70	3.1683×10^{-5}
0	3.7092×10^{-5}	100	2.9597×10^{-5}
10	3.6124×10^{-5}	130	2.7882×10^{-5}
40	3.3550×10^{-5}		

按上式计算的压缩因数值与实验值的平均误差为0.01~0.05%。本图即是根据文献[2]的结果绘制的。

使用方法

用本图求在给定压力及温度下氦的压缩因数时,连接压力标尺上的给定压力及温度标尺上的给定温度,在压缩因数标尺上读取所求数据。

例题 求氦在2900〔磅/英寸²〕(绝压)及80°F时的压缩因数

(解) 按图1.1.1中虚线所示,连接压力标尺上的2900及温度标尺上的80,在压缩因数标尺上读取1.089,即为所求之值。

资料来源

[1] Davis, D. S., "Compressibility Factors for Helium at High Pressures", Chem. Process Eng., 41(6), 267(1960).

[2] Stroud L., Miller, J. E. and L. W. Brandt, "Compressibility of Helium at -10° to 130°F and Pressures to 4000PSIA", J. Chem. Eng. Data, 5(1), 51~52(1960).

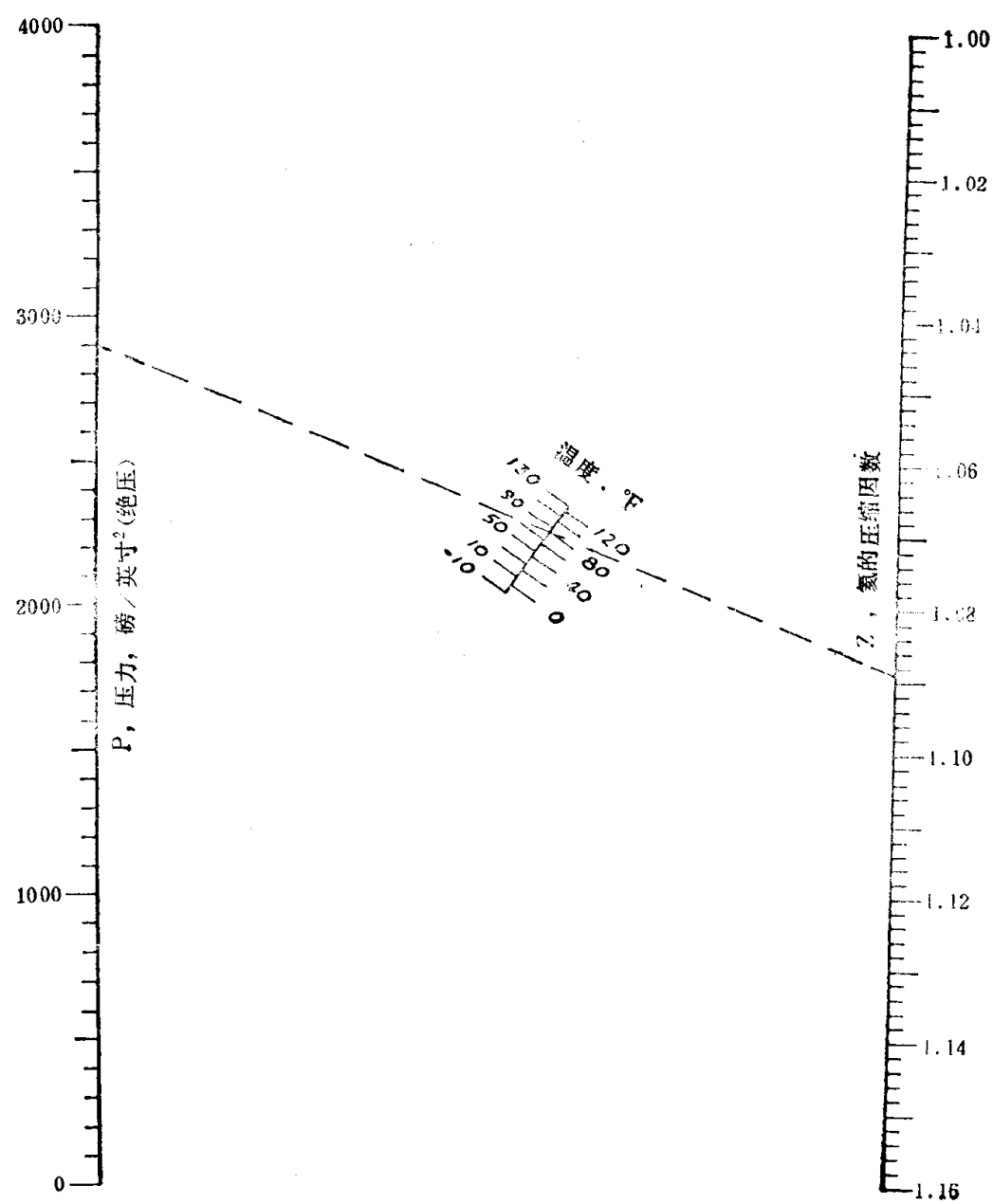


图 1.1.1 氮在高压下的压缩因数

1.1.2 氢在低温下的P-V-T参数^[1]

基本依据

文献〔2〕刊载了氢气在低温时的状态，数据是从五篇文献（主要是文献〔3〕）收集的。经整理后，列出了温度为14~80 K（每1 K间隔）范围内气态氢的压力〔大气压〕及比容〔厘米³/克分子〕数据。本图即是根据以上数据绘制的。

使用方法

用本图求在给定的压力及温度下气态氢的比容时，连接温度标尺上的给定温度及压力标尺上的给定压力，在比容标尺上读取所求数据。

资料来源

- 〔1〕 Tans, A. M. P., "P-V-T Properties of Gaseous Hydrogen at Low Temperatures", Ind. Chem., 37(10), 480(1961).
- 〔2〕 Stewart R. B., and V. J. Johnson, "A Compilation and Correlation of the P-V-T Data of Normal Hydrogen From Saturated Liquid to 80° K", Advances in Cryogenic Engineering Vol. 5, p. 557~565, (1960). Proceedings of the 1959 Cryogenic Engineering Conference.
- 〔3〕 Johnston, H. L., Keller, W. E. and A. S. Friedman, "The Compressibility of Liquid Normal Hydrogen from the Boiling Point to the Critical Point at Pressures up to 100 Atmospheres", J. Amer. Chem. Soc., 76, 1482~86 (1954).

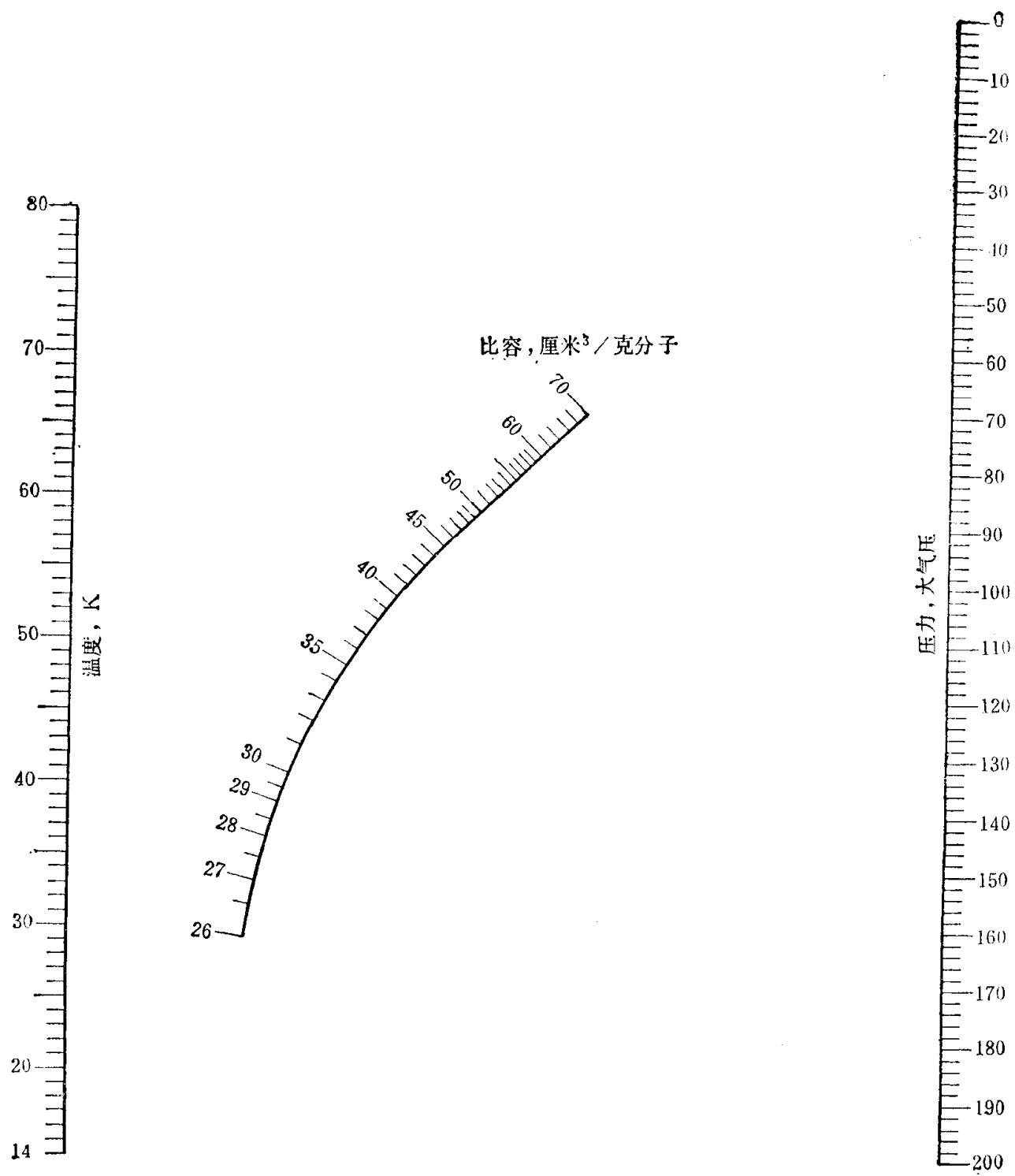


图 1·1·2 氢在低温下的P-V-T参数

1.1.3 一氧化二氮在低压下的压缩因数^[1]

基本依据

文献〔2〕刊载了在温度为 $-30\sim 75^{\circ}\text{C}$ 及压力在2〔大气压〕以下测量一氧化二氮压缩因数的研究工作。供试验用的一氧化二氮纯度为99.92%。经整理数据,可知压缩因数 Z 与压力 P 〔大气压〕的关系如下:

$$Z = 1 + BP$$

系数 B 决定于温度,其值如下:

温度, $^{\circ}\text{C}$	$-B \times 10^3$ 〔大气压 $^{-1}$ 〕	温度, $^{\circ}\text{C}$	$-B \times 10^3$ 〔大气压 $^{-1}$ 〕
-30.0	10.32	30.0	5.13
-15.0	8.49	50.0	3.94
0.0	7.07	75.0	2.83
15.0	5.90		

本图即是根据文献〔2〕的研究而绘制的。

使用方法

用本图求在给定压力及温度下,一氧化二氮的压缩因数时,连接压力标尺上的给定压力及温度标尺上的给定温度,在压缩因数标尺上读取所求数据。

例题 求一氧化二氮在550〔毫米汞柱〕及 25°C 时的压缩因数。

(解) 按图1.1.3中断线所示,连接压力标尺上的550及温度标尺上的25,在压缩因数标尺上读取0.9961,即为所求之值。

资料来源

- 〔1〕 Davis, D. S., "Compressibility Factors for Nitrous Oxide", Brit. Chem. Eng., 9(5), 325(1964).
- 〔2〕 Turlington, B. L. and J. J. McKetta, "The Compressibility of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide at Low Pressure", AIChE. J., 7(2), 336~337 (1961).