

城市煤气供应

CHENGSHI MEIQI GONGYING

中国建筑工程出版社

本书选译自日本煤气协会编《城市煤气工业》一套书中有关城市煤气供应的章节，定名为《城市煤气供应》。

书中比较全面系统地叙述了气体的物理性质、煤气供应方式和供应计划、煤气储气罐、压送设备、调压器、煤气的供应管理和煤气的储存等有关问题。

本书可供城市煤气工程设计人员、科学研究人员和运行管理人员，以及大专院校有关专业师生参考。

都市ガス工业

(制造·精制篇、供给篇、器具篇)

日本瓦斯协会·东京·1963年

城市煤气供应

日本煤气协会编

天津市建筑设计院译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西外南东路19号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷六厂印刷

*

开本：850×1168 1/32 印张：15 插页：1 字数：395千字

1972年12月第一版

1972年12月第一次印刷

印数：1-6,400册

定价：1.50元

书号：15040·3039

目 录

第一章 气体的物理性质	1
一、气体的定律	1
(一) 阿佛伽德罗定律	1
(二) 波义耳-马略特定律、查理-盖吕萨克定律	2
(三) 道尔顿定律	5
(四) 标准状态气体体积的换算	6
(五) 各种气体的密度	6
二、气体的性质	7
(一) 焦耳-汤姆森效应	7
(二) 临界温度、临界压力	7
(三) 气体的扩散	12
(四) 比热	13
(五) 溶解	16
(六) 传热	19
三、各种物质的物理化学性质及有关图表	24
(一) 粘度	24
(二) 蒸汽压	25
(三) 溶解度	34
(四) 地下温度表	35
(五) 城市煤气成分之一例	39
四、管内气体的流动	39
(一) 水力计算的基本公式	40
(二) 实用的流量计算公式	48
五、煤气的爆炸	57
(一) 爆炸极限	57
(二) 影响爆炸极限的因素	57
(三) 混合气体的爆炸	61
(四) 城市煤气的实例	64

IV

第二章 煤气供应方式和供应计划	66
一、供气压力	66
(一) 供气的压力	66
(二) 供气压力的选定	66
二、供应设备和供应方式的分类	68
(一) 供应设备的分类	68
(二) 供应方式的分类	69
三、各种供应方式	70
(一) 低压供应	70
(二) 中压供应	71
(三) 高压供应	72
(四) 中压或高压直接供应	73
(五) 供应方式的选择	74
四、干管设计	75
(一) 干管设计的原则	75
(二) 低压干管设计	81
(三) 中压干管设计	83
(四) 高压干管设计	89
(五) 特殊干管系统的计算	91
五、煤气储气罐设计	114
(一) 煤气储气罐的合理容量	114
(二) 低压煤气储气罐的设计	118
(三) 高压煤气储气罐的设计	120
六、压送机的设计	120
第三章 煤气储气罐	123
一、储气罐的种类和选用	123
二、惰性气体在置换储气罐中气体时的应用	136
第四章 压送设备	157
一、煤气的压缩	157
(一) 压送所需动力	157
(二) 煤气的压缩和爆炸	167
二、回转式压缩机	169
(一) 可动翼型回转压缩机	169
(二) 罗茨式回转压缩机	173

(三) 螺杆式回轉压缩机	175
三、往复式压缩机	178
(一) 种类和结构	178
(二) 零件及附件	183
(三) 压力及气量调节	188
(四) 潤滑方法	192
(五) 安装	194
(六) 运转	195
(七) 維修及檢驗	196
四、离心式压缩机	197
(一) 种类及构造	198
(二) 部件及附属设备	206
(三) 性能	210
(四) 压力及容量调节	217
(五) 潤滑方法	223
(六) 安装	225
(七) 运转	226
(八) 維修和检查	227
五、軸流式压缩机	228
(一) 軸流通风机	228
(二) 軸流压缩机	229
六、压缩机的选型	230
(一) 各种压缩机的适用范围	230
(二) 离心式与往复式的联合运转	230
(三) 螺杆型与其他型的联合运转	236
(四) 大容量压送装置	238
七、压送煤气的冷却及脱水	238
(一) 冷却器	238
(二) 脱水	240
八、煤气流量的測定	241
(一) 煤气流量计的种类	241
(二) 孔板的原理	242
(三) 孔板的設計及指示仪表	243
(四) 选择仪表及安装地点时的注意事項	247
(五) 安装及施工上的注意事項	248

VI

第五章 調压器	250
一、工作原理	250
(一) 彈簧荷重的影响	251
(二) 薄膜的影响	252
(三) 調压器本身形状的影响	252
(四) 入口压力的影响	253
二、調压器的种类	254
(一) 低压調压器	254
(二) 中压調压器	257
(三) 高压調压器	261
(四) 箱式調压器	267
(五) 用戶調压器	268
三、調压器的使用方法	275
(一) 雷諾式調压器	275
(二) 洛克維爾式調压器	276
四、調压器的設置	277
(一) 地上調压站	278
(二) 半地下調压站	280
(三) 地下調压站	280
(四) 旁通管	281
五、安全閥	282
六、自动升压装置	284
(一) 钟表式自动升压器	284
(二) 尼雷克自动升压器	288
七、調压器的維護管理	291
(一) 巡回作业	292
(二) 調压器的清扫	292
(三) 压力調节	293
(四) 防寒措施	295
(五) 防止噪音的設備	296
(六) 調压器的故障	296
第六章 煤气的供应管理	299
一、煤气儲存量的管理	301
(一) 儲存量	301
(二) 儲气罐的運轉率	301

二、輸送压力的管理	302
三、供应压力的管理	303
四、对干燥煤气的供应管理	305
五、煤气供应的总調度	319
(一) 总調度的必要性	319
(二) 遙測裝置	320
(三) 遙控裝置	345
(四) 在煤气企业中使用时的有关問題	352
(五) 使用于煤气企业上的实例	358
六、噪音管理	359
(一) 噪音及其处理	360
(二) 儲气罐的防音	361
(三) 壓縮車間的防音	362
(四) 管道的隔音	364
(五) 調压器的隔音	366
第七章 煤气的儲存	368
一、儲气罐的种类	368
二、低压儲气罐	368
(一) 湿式儲气罐	368
(二) 干式儲气罐	397
三、高压儲气罐	426
(一) 概要	426
(二) 圓筒型儲气罐	427
(三) 球型儲气罐	428
四、各种儲气罐特点	448
(一) 湿式儲气罐特点	448
(二) 干式儲气罐特点	449
(三) 高压儲气罐特点	450
五、儲气罐的检修	452
(一) 基础的不均匀沉降	452
(二) 漏水及煤气的泄漏	454
六、煤气的地下儲存	457
(一) 煤气地下儲存理論	457
(二) 其他国家的地下儲存	459
单位换算表	462

第一章 气体的物理性质

一、气体的定律

(一) 阿佛伽德罗定律

“在温度相同、压力相同的情况下，同体积的气体中含有相同数目的分子”。也就是说，在温度和压力相同的情况下，同体积气体质量之比等于分子量之比。分子量用克表示时叫做克分子量，或摩尔。一克分子气体占有的体积叫做克分子体积。应用上述定义，可表示阿佛伽德罗定律如下：

“任何气体的一克分子或一克分子体积中含有的分子数目均相同”。

如上所述，在温度、压力相同时，任何气体的一克分子所占有的体积 v_0 均是相同的。例如在一大气压、温度为 0°C 时，一克分子气体的体积为 $v_0 = 22.412$ 升。一克分子气体中含有的分子数目叫做阿佛伽德罗常数 (N_A)，其数值为 $N_A = 6.06 \times 10^{23}$ 。

因为一克分子气体含有 N_A 个分子，将分子量除以 N_A 即可求得一个分子的质量。表 1-1 中列出了分子质量的一些例子。按照上述计算方法可推算出在常温、常压下，气体分子的固有体积小于气体体积的 $1/1000$ 。这也就是气体易于被压缩以及温度和压力的关系比较简单的原因。

表 1-1 分子的质量

分 子	质 量 (克)
氢 H_2	3.3×10^{-24}
氧 O_2	52.8×10^{-24}
水 蒸 汽 H_2O	29.7×10^{-24}

(二) 波义耳-馬略特定律、查理-盖吕萨克定律

前者表明气体体积和压力的关系, “在一定温度下, 气体的体积 (v) 与压力 (p) 成反比”。即:

$$v \propto \frac{1}{p}。$$

后者表明气体的体积和温度的关系, “在一定压力下, 气体的体积与绝对温度 (T) 成正比”。即:

$$v \propto T。$$

绝对温度等于摄氏温度 t 加273度。

综合以上定律可得出气体状态方程式

$$v = R \frac{T}{p}, \quad pv = RT,$$

$$\frac{pv}{T} = \frac{p_1 v_1}{T_1} \dots\dots = R = \text{常数},$$

式中 R 为一克分子时的比例常数, 也称为气体常数, 此定律叫做气体定律。当为 n 个克分子时,

$$pv = nRT。$$

表 1-2 中列出在各种不同单位下的 R 的数值。

表 1-2 气 体 常 数

R	单 位
0.0821	升·气压/°K·克分子
8.317×10^7	尔格/°K·克分子
8.317	焦耳/°K·克分子
1.987	卡/°K·克分子

上述方程式只适用于理想气体, 对易于液化的气体等, 则需进行必要的修正。范德瓦尔给出了分子本身占有体积对气体体积的影响和分子间吸引力对压力的影响的状态方程式。

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

在 n 克分子时,

$$p + \frac{a}{v^2}(v - nb) = nRT,$$

式中 a —— 分子間吸引力对压力的修正常数;

b —— 气体分子本身体积对气体体积的修正常数。

上述常数随气体的种类而有所不同。表 1-3 列出部分常数数值。此外, 从图 1-1 pv 和 p 的关系中可以看出, 各种气体在压缩时, 虽然温度不变, 但并不完全符合波义耳-馬略特定律, 即以标准状态 $pv=1$ 为起点, 当 p 值上升时, pv 值并不一定随 p 值的上升而增大。

表 1-3 范 德 瓦 尔 常 数

气 体	a (气压厘米 ²)	b (厘米 ³ /克分子)
H ₂	0.24×10^6	26.6
N ₂	1.35×10^6	38.6
CH ₄	2.25×10^6	42.7
CO ₂	3.61×10^6	42.8
H ₂ O	5.46×10^6	30.5
C ₂ H ₆	18.78×10^6	120.8

在工程计算中, 一般多用与各种气体的重量有关的气体常数。此气体常数通常用 R_i 表示。其数值可按式求出。

$$\frac{pv}{T} = \frac{p}{\nu T} = R_i,$$

$$pv = R_i T, \quad pV = GR_i T,$$

式中 p —— 压力 (公斤/米²);

v —— 比容 (米³/公斤);

V —— 气体的总体积 (米³);

ν —— 密度 (公斤/米³);

ν_N —— 标准状态下的密度;

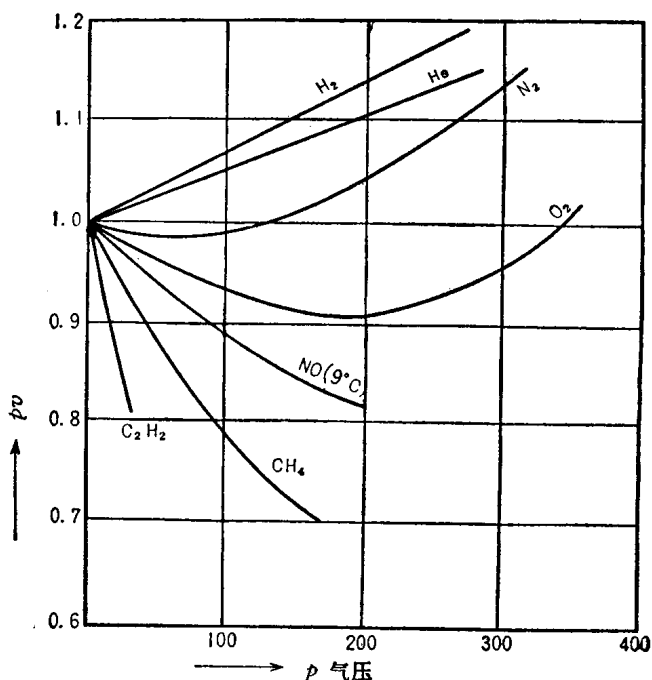


图 1-1 实际气体的 pv - p 曲线

G ——气体重量 (公斤)。

R_i 的单位为公斤·米/公斤·°K。标准状态时,

$$R_i = \frac{10,332.3}{\nu_N \cdot 273.16} = \frac{37.825}{\nu_N} \text{ 公斤·米/公斤·°K.}$$

下面给出几种气体的 R_i 数值:

H_2	420.63	CH_4	52.85
N_2	30.26	C_2H_6	28.22
O_2	26.49	C_3H_8	19.25
空气	29.27	C_2H_4	30.23
CO_2	19.25	C_3H_6	20.15
CO	30.28	$n-C_4H_{10}$	14.58
NH_3	49.78	照明煤气	75.70

(三) 道尔顿定律

“理想气体混合物的总压，等于各组分气体的分压之和”。

即

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots$$

$$v_1 = \frac{P_1}{P}, \quad v_2 = \frac{P_2}{P}, \quad v_3 = \frac{P_3}{P} \dots\dots$$

$$v_1/v_2 = \frac{P_1}{P_2} \dots\dots$$

式中

P ——总压；

P_1 、 P_2 、 P_3 ……—各气体组分的分压；

v_1 、 v_2 、 v_3 ……—各气体组分的体积。

各组分的克分子数与混合气体中所含有的总克分子数的比率叫做克分子分率。

$$X_1 = \frac{\mu_1}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots\dots} \quad X_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots\dots},$$

式中

X_1 、 X_2 ……—各组分气体的克分子分率；

μ_1 、 μ_2 、 μ_3 ……—各组分气体的克分子数。

設 M_1 、 M_2 、 M_3 ……—公斤分子；

G_1 、 G_2 、 G_3 ……—各组分的重量（公斤）；

G ——总重量（公斤）；

g_1 、 g_2 、 g_3 ……—各组分的重量比；

可得出下式

$$X_1 = \frac{G_1/M_1}{G_1/M_1 + G_2/M_2 + G_3/M_3 + \dots\dots},$$

$$= \frac{g_1/M_1}{g_1/M_1 + g_2/M_2 + g_3/M_3 + \dots\dots}。$$

混合气体的平均分子量，可用混合气体的重量除以混合气体所含有的全部克分子数来表示。

設 M_m 为平均分子量

$$M_m = \frac{G}{G_1/M_1 + G_2/M_2 + G_3/M_3 + \dots}$$

$$= \frac{1}{g_1/M_1 + g_2/M_2 + g_3/M_3 + \dots},$$

則克分子分率为

$$X_1 = g_1 \frac{M_m}{M_1}, \quad X_2 = g_2 \frac{M_m}{M_2} \dots$$

(四) 标准状态气体体积的换算

設 v_0 为标准状态 (0°C , 760毫米水銀柱) 时气体的体积, v 为任意压力 p 毫米水銀柱和溫度 $t^\circ\text{C}$ 时的体积 (当气体为理想气体时)。

$$v_0 = \left(\frac{v}{1 + \alpha t} \right) \frac{p}{760},$$

式中 α —— 气体的膨胀系数 ($\frac{1}{273} = 0.00367$)。将此数值代入上式內

$$v_0 = \left(\frac{vp}{273 + t} \right) \times \frac{273}{760} = 0.3592 \left(\frac{vp}{273 + t} \right).$$

将含有蒸汽的气体换算成标准状态的干燥体积时, 可按下式进行計算:

$$v_0 = v \frac{(p_0 - p_w)}{(1 + 0.00367t) 760},$$

式中 v —— 压力为 p 、溫度为 $t^\circ\text{C}$ 时气体的体积;

p_0 —— 将 p 换算成 0°C 时的数值 (毫米水銀柱);

p_w —— 蒸汽压力 (毫米水銀柱)。

(五) 各种气体的密度

标准状态时各种气体的密度如表1-4所示。

表 1-4 气 体 的 密 度
(公斤/米³●, 0°C, 760毫米水銀柱)

物质名称	分子式	密 度	物质名称	分子式	密 度
二氧化硫	SO ₂	2.9268	二氧化碳	CO ₂	1.9768
氨	NH ₃	0.7708	硫化氢	H ₂ S	1.5392
一氧化碳	CO	1.2501	乙 炔	C ₂ H ₂	1.1708
氯化氢	HCl	1.6394	丁 烷	C ₄ H ₁₀	2.6726
氯	Cl ₂	3.2204	戊 烷	C ₅ H ₁₂	(0.6206)
空 气		1.2928	乙 烷	C ₂ H ₆	1.3567
一氧化氮	NO	1.3401	乙 烯	C ₂ H ₄	1.2644
氧	O ₂	1.4289	二硫化碳	CS ₂	(1.2927)
氮	C ₂ N ₂	2.3348	丙 烷	C ₃ H ₈	2.0200
氰化氢	HCN	(0.6876)	甲 烷	CH ₄	0.7167
氢	H ₂	0.0898			

注：括号内的为液体的密度

《化学工学便覧》第 8 頁

二、气 体 的 性 质

(一) 焦耳-湯姆森效应

由于气体分子間的引力作用，在使气体膨胀增大其分子間的距離时，必須給以克服分子間引力的能量。在不补給能量而进行絕热膨胀时，其所需的能量需由气体本身来供应，因此使气体本身冷却，这种現象叫做焦耳-湯姆森效应。液体空气即系将空气用高压压縮后，自細孔中向低压部分噴出，利用其本身所产生的冷却作用而制成的。压縮二氧化碳制造干冰，也是应用同样的原理。但是，此种方法只适用于压縮后的 $(pv)_1$ 值小于膨胀后的 $(pv)_2$ 值的气体，即 $(pv)_1 < (pv)_2$ 。因此，氢不能采用此种方法使之冷却（参照图1-1）。

(二) 临界溫度、临界压力

图1-2表示在不同溫度下压縮 CO₂ 时其压力和体积的变化情

● 原文单位为克/米³。——譯者

表 1-5 无机物的临界温度、临界压力、熔点、沸点、比重、临界密度

物 质	分 子 式	分 子 量	临界温度 (°C)	临界压力 (atm)	熔 点 (°C)	沸 点 (°C)	●比重 (d_4^{15})	临界密度
一氧化二氮	N ₂ O	44.22	36.5	71.7	-100.3	-88.5	1.5297	0.45
二氧化硫	SO ₂	64.06	157.2	77.7	-79	-10.0	2.2638	0.52
氩	Ar	39.91	-122.0	48.0	-189.2	-185.7	1.3792	0.53
氨	NH ₃	17.03	132.4	111.5	-77.7	-33.6	0.5963	0.24
一氧化碳	CO	28.00	-138.7	46	-207.2	-191.5	0.9671	0.31
氯化氢	HCl	36.47	51.4	81.6	-133	-84.8	1.2678	0.42
氯	Cl ₂	70.91	144.0	76.1	-101.6	-33.8	2.486	0.573
过氧化氮	N ₂ O ₄	92.02	158	99.0	-10	21.0	1.48	—
氙	Xe	130.2	16.6	58.2	-140	-109.0	4.525	1.15
空气	(28.9)		-140.7	37.2	—	-194.0	1.0000	0.31
氪	Kr	82.90	-63	54	-169	-151.8	2.868	0.78
一氧化氮	NO	30.01	-92.9	64.6	-167	-153	1.0366	0.52
氧	O ₂	32.00	-118.9	49.7	-218.4	-183.0	1.1053	0.43
氮	C ₂ N ₂	52.02	126.6	8.2	-27.90	-21.17	1.8059	—
氰化氢	HCN	27.03	133.5	50.0	-14	25.8	0.691	0.20

溴化氢	HBr	80.93	90.6	84.4	-87	-66.5	2.8189	—
溴	Br ₂	159.83	302.2	121	-7.3	58.78	5.5215	—
汞	Hg	206.6	>1,550	>200	-38.9	360	13.546	4~5
氢	H ₂	2.016	-240.0	12.80	-259.1	-232.7	0.06952	0.03
二氧化碳	CO ₂	44.00	31.1	73.0	-56.6	-78.5	1.5290	0.46
氮	N ₂	28.02	-147.2	33.5	-209.9	-195.8	0.9673	0.31
氟	Ne	20.40	-228.3	26.9	-248.9	-245.9	0.6963	0.48
二硫化碳	CS ₂	76.12	273.0	72.9	-111.8	46.26	1.27	—
光气(碳酰氯)	COCl ₂	98.92	181.7	56.0	-118	8.2	3.5048	0.52
氟化氢	HF	20.01	230.2	—	-92	-19.4	0.7130	—
氟	F ₂	38.00	-155.0	25.0	-223	-187	1.312	—
氢	He	4.00	-267.9	2.26	<-272	-268.9	1.381	0.07
水	H ₂ O	18.02	374.2	218.0	0.0	100.0	1.000	0.40
碘化氢	HI	127.93	151.0	82.0	-50	-35.1	4.4776	—
碘	I ₂	126.92	553.0	—	113	184	4.93	—
硫化氢	H ₂ S	34.08	100.3	88.9	-82.9	-61.4	1.1905	—
磷化氢	H ₃ P	34.06	51.0	64.0	-134	-85.0	1.1829	0.30

● 在气体状态下, 以空气为1。

表 1-6 有机物质的临界温度、临界压力、熔点、沸点、比重、临界密度

物 质	分 子 式	分 子 量	临界温度 (°C)	临界压力 (atm)	熔 点 (°C)	沸 点 (°C)	比 重 (d_4^{15})	临界密度
乙 醛	CH_3CHO	44.03	188.0	—	-123.5	20.8	0.783	—
乙 炔	C_2H_2	26.02	36.0	62.0	-81.8	-83.6	—	0.23
丙 酮	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	58.05	235.0	47.0	-94.3	56.5	0.792	0.27
苯 胺	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	93.06	426.0	52.4	-6.24	184.35	1.022	—
戊 醇	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	88.11	272.0	—	-11.9	101.76	—	—
丙 烯 醇	$\text{C}_3\text{H}_5\text{OH}$	58.05	272.0	—	-129	96.9	0.855	—
乙 烷	C_2H_6	30.05	32.3	48.2	-172.0	-88.6	—	0.21
乙 醇	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46.05	243.5	63.1	-114.6	78.4	0.789	0.276
乙 醚	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	74.12	193.8	35.5	-116.3	34.6	0.714	0.26
乙 硫 醇	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	62.11	225.5	54.2	-147.3	34.7	0.839	0.30
乙 烯	C_2H_4	28.03	9.6	50.7	-169.4	-103.7	—	0.22
辛 烷	C_8H_{18}	114.14	296.0	24.7	-56.9	125.59	0.702	0.234
三氯甲烷	CHCl_3	119.39	260.0	54.9	-63.5	61.3	1.488	0.50
醋 酸	CH_3COOH	60.03	321.6	57.2	16.68	118.2	1.049	0.351
氯化乙烯	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	44.03	192.0	—	-111.3	10.5	0.896	—