

高等学校教学用书

气体的运输和储存

苏联 A·C·斯米尔诺夫著

石油工业出版社

高 等 学 校 教 学 用 书

气体的运输和储存

苏联 A·C·斯米尔诺夫著

汪锡嵩译 李幸孝校订

石油工业出版社

內 容 提 要

本書全面的論述了气体的運輸和儲存問題，敘述了天然气的 主要性質，各種輸气管的計算方法，气体的脫硫和脫二氧化碳以及气体的添味，还介紹了干綫輸气管的設備及其操作，以及干綫輸气管的压气站等。書中對所討論的每一個問題都有計算例題來加以說明。

本書在苏联是一本高等教材，可供我国石油學院及化工學院有关專業的師生參考，也可供从事气体運輸和儲存工作的工程技術人員參考。

A. C. СМЕРНОВ

ТРАНСПОРТ И ХРАНЕНИЕ ГАЗА

根據苏联国立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1950年列宁格勒版翻譯

統一書号：15037·377

气体的運輸和儲存

汪錫茂譯 李奉孝校訂

*

石油工業出版社出版(社址：北京六部口石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

石油工業出版社印刷廠印刷 新华書店發行

*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印張12 $\frac{1}{2}$ * 314千字 * 印1—1,200册

1958年7月北京第1版第1次印刷

定价(10)2.20元

序

作者在編写这本教材时利用了講授“气体的运输和儲存”这门課程近十年来的經驗，並採納了荣膺劳动勳章的以 И. М. 古勃金院士命名的莫斯科石油学院的畢業設計。

本書是根据苏联高等教育部所审定的这门課程的教学大綱編写成的。

“气体的运输和儲存”課程中对每一个問題所进行的分析，都是以苏联的气体运输和儲存設備的操作經驗以及在这一方面的新成就为依据的。

气体工業，特别是气体的远距离輸送，在苏联得到了广泛的發展，並且具有广闊的远景。

將气体供給包括首都莫斯科在内的苏联各大城市用的巨大干綫輸气管，它們的經營要求配备技术熟練的幹部，以能光荣的完成干綫輸气管上复杂而重要的工作。

因为本教材是根据“气体的运输和儲存”課程的教学大綱編写成的，所以書中就不討論有关輸气管的設計和建造問題。这些問題放在教学計劃中相鄰的課程“管路的設計与建造”内去討論。

“气体的运输和儲存”課程的教学大綱中第18章(敘述檢查測量仪表)在本教材内不予討論，因为已有許多書籍講到这些問題，例如，B. A. 尼基金著的石油煉厂的檢查測量仪表(1948年)，И. B. 傑赫卡列夫著的採暖-通風裝置用的檢查測量仪表(1949年)以及其他。

第六章(天然气脫硫及脫二氧化碳)是由技术科学副博士 И. Е. 霍达諾維奇执笔。

編著此課程的教材，本書尚是首次嘗試，因此著者以感激的心情期望讀者予以指教和批評，以便再版時有助於進一步改善教材的質量。

著 者 1949年10月

目 录

序

第1章 气体的主要物理化学性質.....	1
§1 天然气和人造煤气的組成及分类.....	1
§2 天然气及人造煤气的物理化学性質.....	4
§3 气体粘度.....	8
§4 碳氢化合物气体与理想气体定律的偏差.....	9
§5 饱和蒸气压及平衡常数.....	16
§6 反轉凝析.....	18
第2章 輸气管的計算公式.....	20
§1 計算輸气管的基本公式的推演.....	20
§2 气体流动公式中水力阻力系数的选择.....	24
§3 高压輸气管的計算公式.....	28
§4 公式的分析.....	36
§5 相当輸气管.....	38
§6 輸气管压力的变化.....	40
§7 輸气管的平均压力.....	42
§8 低压輸气管的計算公式.....	44
第3章 复杂輸气管的計算.....	48
§1 沿綫有气体流出(或流入)的高压輸气管.....	48
§2 沿綫有气体流出(或流入)的低压輸气管.....	56
§3 有很多支綫的輸气管.....	59
§4 具有不同直径的高压輸气管.....	62
§5 輸气管組.....	64
§6 輸气管的副管(平行管綫)和变徑管(插入管綫).....	67
第4章 干綫輸气管的計算.....	76
§1 輸气管最优管徑的决定.....	76

§ 2	輸气管原始費用方程式的組成及求解	78
§ 3	年經營費用方程式的組成及求解	83
§ 4	最优壓縮比的選擇	85
§ 5	最优壓力的選擇	90
§ 6	輸气管参数的相互关系	91
§ 7	幹綫輸气管計算例題	95
§ 8	輸气管的長度及直徑对輸气費用的影响	98
§ 9	輸气管輸送量的改变	101
第 5 章 水化物及預防水化物生成的方法		107
§ 1	烴类气体的水化物	107
§ 2	气体的湿度	110
§ 3	輸气管中溫度的变化	113
§ 4	防止水化物堵塞的方法	116
§ 5	气体的干燥	120
§ 6	气体干燥用的操作装置的主要数据	131
第 6 章 气体的脫硫及脫二氧化碳		133
§ 1	概述	133
§ 2	气体脫硫方法的分类	135
§ 3	干法脫硫	136
§ 4	湿法(吸收法)脫硫	142
§ 5	在高压下用水脫去气体中的二氧化碳	153
§ 6	气体脫硫方法的選擇	156
§ 7	气体干燥和脫硫的联合法	157
第 7 章 輸气管的設備及管理		160
§ 1	綫路閘閥	160
§ 2	分水器	163
§ 3	輸气管的試压	165
§ 4	管子內表面的清扫	169
§ 5	輸气时气体漏損的預防	173
§ 6	輸气管的故障和事故及其消除	177
第 8 章 矿場气体收集綫		183
§ 1	油矿上的气体收集綫	183

§ 2 气矿上的气体收集網	185
§ 3 气井的井口设备及利得管	189
§ 4 气体收集網的計算	194
§ 5 分离气体中的石油和水	201
第 9 章 气体的添味	205
§ 1 气体添味的作用	205
§ 2 添味剂	205
§ 3 消耗定額	209
§ 4 添味設備	210
第 10 章 压缩石油气	215
§ 1 充气站的流程	215
§ 2 充气站的設備	218
§ 3 压缩气用气瓶	220
§ 4 压缩气的費用	222
第 11 章 液化石油气	225
§ 1 液化石油气的性質	225
§ 2 液化气的应用	233
§ 3 儲存液化气的容器	237
§ 4 液化石油气的运输	240
§ 5 分配气站	244
第 12 章 配气站	249
§ 1 配气站的任务	249
§ 2 配气站的标准流程	250
第 13 章 气体的儲存	253
§ 1 气体儲存的必要性	253
§ 2 儲气罐	254
§ 3 在鋼管中儲存气体	268
§ 4 在液化状态下儲存气体	270
§ 5 在固体状态下儲存气体	277
§ 6 气体的地下儲存	280

第 14 章 压气站的标准流程	285
§ 1 矿场上的集气压气站	285
§ 2 干綫輸气管的压气站	286
§ 3 压气站址的选择	294
第 15 章 压缩机及气体发动机	297
§ 1 压缩机的压缩示功圖和容积效率	297
§ 2 压缩机的排量	301
§ 3 压缩所消耗的功率	303
§ 4 吸入压力对功率消耗及压缩机排量的影响	306
§ 5 一級和二級压缩机	311
§ 6 气动压缩机	315
§ 7 电动压缩机	316
§ 8 透平压缩机	319
§ 9 轉子压缩机和鼓風机	325
§ 10 鼓風机及抽气机	328
第 16 章 冷却系統	331
§ 1 气体发动机-压缩机組的冷却	331
§ 2 气体和水的冷却	336
第 17 章 循环水的冷却	349
§ 1 供水的直流系統及循环系統	349
§ 2 噴霧式凉水塔	350
§ 3 开式水滴式凉水塔	353
§ 4 通風塔式(閉式)水滴式凉水塔	361
§ 5 通風塔式水膜式凉水塔	363
§ 6 强制(人工)通風的凉水塔	363
§ 7 各种类型凉水塔的比较	367
第 18 章 压气站的設备及管理	368
§ 1 压缩机厂房的照明、保暖和通風	368
§ 2 管綫及管子和压缩机的連接	372
§ 3 清除气体中的悬浮顆粒	376

§ 4 气体發动机-压缩机组的起劲和停車	381
§ 5 气体發动机-压缩机组的潤滑	387
第 19 章 气体發动机-压缩机组工作的調节和監督	393
§ 1 压缩机排量的調节	393
§ 2 气体發动机-压缩机组功率的調节	397
§ 3 压气站工作自动化的例子	401
参考文献	405

第1章 气体的主要物理化学性质

§1 天然气和人造煤气的组成及分类

天然气或石油气是从纯气田或油气田开采出来的。

从气田探出的气体的组成主要是甲烷，在大多数情况下甲烷的含量不少於90%。較重於甲烷的烃类含量很少。从气田探出的某些天然气的组成列於表1。

从气田探出的某些天然气的组成 (体积%) - 表 1

产 地	比 重 (与空气相比)	H ₂ S	CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
达沙瓦	0.565	—	0.05	1.3	97.8	0.5	0.2	0.1	0.05
奥帕斯	0.613	—	—	—	89.0	9.1	1.9		
烏盖尔斯柯	0.579	—	—	1.40	97.51	0.37	0.07	0.22	0.43
叶耳沙卡	0.600	痕跡	—	4.4	93.2	0.7	0.6	0.6	0.5
庫尔朱姆	0.580	—	—	6.0	92.2	0.8	1.0		
阿尔切达	0.584	—	0.5	1.0	96.6	0.8	0.3	0.3	0.5
烏赫特	0.634	—	0.3	9.3	88.0	1.9	0.2	0.3	—
密里托波利	0.565	—	0.2	1.8	98.0	—	—	—	—

从油气田同石油一起探出的气体通常称为石油气，含有很多重的碳氢化合物，经过抽取后可得到“液化气”(丙烷和丁烷)及气体汽油。某些石油气的组成列於表2。

天然气主要是由烷烃所组成。但是，除了这些主要的组成以外，还有可使气体性质变坏的混合物。在气体中最常见的混合物是硫化氢、二氧化碳、氮气和蒸汽。

除天然气以外，还使用从固体燃料得到的人造煤气(很少是从液体得到的)，这些人造煤气是在气体发生爐、干餾爐、隧道

从油气田探出的某些天然气(石油气)的组成(体积%)

产地	H ₂ S	CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	臭- C ₄ H ₁₀	正- C ₄ H ₁₀	臭- C ₅ H ₁₂	正- C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄ +	比重 (与空气 相比)
杜依马兹 (泥盆纪)	—	—	10.66	38.78	19.92	20.78	2.19	4.14	1.14	1.24	1.15	1.070
潮利宁 (泥盆纪)	—	0.7	28.7	46.0	10.2	6.9	1.8	3.0	—	2.7	—	0.918
潮利宁 (含炭层系)	2.7	4.2	1.8	51.3	16.6	13.5	2.5	4.1	—	3.3	—	0.992
基昂利 (波赫维斯特森 沃)	1.06	0.64	16.2	71.94	4.12	3.08	1.54	—	—	1.42	—	0.718
伊希姆巴依	2.8	1.0	11.0	42.4	12.0	20.5	7.2	—	—	3.1	—	1.046
安基康	3.7	0.6	10.6	61.2	12.2	6.1	3.9	—	—	1.7	—	0.834
森比德-达格 (白喷井)	—	2.0	—	91.2	3.0	1.8	1.2	—	—	0.8	—	0.638
森比德-达格 (抽油井)	痕跡	2.1	1.3	85.7	4.0	3.5	2.0	—	—	1.4	—	0.686
守查蓝石油 (含炭层系)	1.70	1.60	31.60	31.93	23.94	5.82	2.66	—	—	0.75	—	0.947

爐和其他爐子內在高温以及有时在高压作用下使燃料分解而得到的。人造煤气也可在各种生产中，如熔煉鑄鉄(高爐煤气)，用煤制造焦炭(焦爐煤气)等生产中作为副产品而得到。

近来頁岩(例如，爱沙尼亞苏維埃社会主义共和国的庫凱尔斯基頁岩)的气化，以及褐煤在压力下(例如 20 大气压下)的气化都获得了發展。

在压力下应用含氧达 42—65% 的富氧气体进行气化，可使气化过程的效率大大提高。除了可在不大的气体發生爐內达到高的生产率这个显著优点以外，在压力下气化还可大大便於清除气体中的焦油和二氧化碳。在 20 大气压下只經冷却即可使焦油凝析。

褐煤压力气化实验报告的数据指出，每 1 公尺³ 气体消耗浓度为 90% 的 O₂ 0.155 公尺³。每 1 公斤煤消耗 1.1 公斤水蒸汽。自 1 公斤煤可得到發热量为 4200 仟卡/公尺³ 气体 0.8 公尺³。这时气化效率为 90%，而从水煤气装置得到煤气时的气化效率为 63—65%。

煤炭压力气化的一个很大优点是可能在沒有压缩机的条件下將大量气体輸送到 100—150 公里远的地方。

某些人造煤气的組成列於表 3。

某些人造煤气的組成

表 3

	照明 煤气	焦爐煤气	从頁岩 气化得 到的煤 气	从褐煤压 力气化得 到的煤 气	水 煤 气	自瀝青燃 料得到的 混合煤气	(空气) 發生爐煤气
CO ₂	1.4	2—3	14.9	2—4	5—7	5—9	0.5—1.5
CO	7.9	4—8	16.6	14—22	35—40	25—30	32—33
H ₂	53.2	53—60	39.1	54—58	47—52	12—15	0.5—0.9
CH ₄	31.2	19—25	22.2	16—20	0.3—0.6	1.5—3.0	—
C _m H _n	2.8	1.6—2.3	2.7	0.5—0.7	—	0.2—0.4	—
N ₂	3.5	7—13	4.3	2—6	2—6	48—54	64—66
O ₂	—	0.7—1.2	0.2	0.2—0.3	0.1—0.2	0.1—0.3	—
高發热量, 仟卡/公尺 ³	4800	4200—4500	4300	4050—4250	2650—2750	1470—1670	1000—1050
低發热量, 仟卡/公尺 ³	4500	3700—4000	3800	3600—3800	2400—2500	1390—1550	990—1030

§ 2 天然气及人造煤气的物理化学性质

如同上面已经指出的，从油气田同石油一起探出的和从纯气田探出的天然气是由烷烃所组成的，它的主要物理化学性质列于表 4。

烷烃的主要物理化学性质

表 4

特 性	甲 烷	乙 烷	丙 烷	异丁烷	正丁烷
化学式	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	$i\text{-C}_4\text{H}_{10}$	$n\text{-C}_4\text{H}_{10}$
分子量	16.032	30.046	44.062	58.077	58.077
碳含量, 重量%	74.97	79.96	81.80	82.80	82.80
气体常数, 公尺/度	52.9	28.22	19.25	14.60	14.60
熔点 (760 公厘水银柱时):					
°K	90.6	100.6	85.6	128.1	138.1
°C	-182.5	-172.5	-187.5	-145.0	-135.0
沸点 (760 公厘水银柱时):					
°K	111.8	184.5	230.9	263.0	272.6
°C	-161.3	-88.6	-42.2	-10.1	-0.5
临界参数					
温度:					
°K	190.6	306.1	369.7	407.1	425.1
°C	-82.5	+33.0	+96.6	+134.0	+152.0
压力, 绝对大气压	45.8	48.6	43.4	38.2	35.7
$T_{\text{临界}}$ 和 $P_{\text{临界}}$ 时气体的比重, 公斤/公尺 ³	162	210	225.5	232.5	225.2
$T_{\text{临界}}$ 和 $P_{\text{临界}}$ 时气体的比容, 公尺 ³ /公斤	0.00617	0.0047	0.00443	0.0043	0.0044
760 公厘水银柱和 0° 时气体的比重, 公斤/公尺 ³	0.7168	1.341	1.967	2.598	2.598
气体比重 (与空气相比)	0.554	1.038	1.523	2.007	2.007

續表 4

特 性	甲 烷	乙 烷	丙 烷	異丁烷	正丁烷
760 公厘水銀柱及 0°C 时气体的比容, 公尺 ³ /公斤	1.4	0.746	0.610	0.385	0.385
在沸騰溫度及 760 公厘水銀柱时液化气的比容, 公斤/公尺 ³	416	546	585	582 (0°C 时)	690 (0°C 时)
760 公厘水銀柱及 0°C 时比热:					
气体的定压比热, 仟卡/公斤	0.530	0.413	0.376	0.357	0.357
气体的定容比热, 仟卡/公斤	0.405	0.344	0.321	0.312	0.312
在沸騰溫度时液体的比热, 仟卡/公斤	0.82	0.58	0.57	0.55	0.55
气体的相对比热	1.31	1.198	1.161	1.144	1.144
760 公厘水銀柱及沸騰溫度时的蒸发热, 仟卡/公斤	136	117	102	84.0	94.0
760 公厘水銀柱及熔化溫度时的溶解热, 仟卡/公斤	14.0	22.7	19.1	18.5	18.0
辛烷值	125	125	125	99	91
760 公厘水銀柱及 15°C 时气体的高發热量, 仟卡/公斤	13 290	12 400	11 900	11 800	11 800
760 公厘水銀柱及 15°C 时气体的低發热量, 仟卡/公斤	11 970	11 300	11 090	10 900	10 900
760 公厘水銀柱及 15°C 时气体的高發热量, 仟卡/公尺 ³	8 900	15 800	22 400	29 000	29 000
760 公厘水銀柱及 15°C 时气体的低發热量, 仟卡/公尺 ³	8 000	14 400	20 600	25 900	25 900
燃燒 1 公尺 ³ 气体所需的空气量, 公尺 ³	9.54	16.67	23.82	30.97	30.97
燃燒 1 公斤气体所需的空气量, 公斤	17.22	16.1	15.65	15.43	15.43
气体与空气混合时的着火溫度, °C	680—750	530—605	510—580	475—550	475—550
理論燃燒溫度, °C	1 830	2 020	2 043	2 057	2 057
爆炸極限, 体积%					
下限(低限)	5.35	3.2	2.3	1.8	1.9
上限(高限)	14.9	12.5	9.5	8.4	8.5

从表可看出，甲烷在通常条件下是气体，因为其所处的温度高于临界温度。临界温度为 $+33^{\circ}$ 的乙烷则濒临于气体及蒸气状态。临界温度很高的丙烷和丁烷在通常条件下是真正的蒸气。

在工厂进行石油加工时得到的所谓工厂气体，其中除烷烃外还含有烯烃。烯烃的主要物理化学性质列于表 5。

烯烃的主要物理化学性质

表 5

特 性	乙 烯	丙 烯	丁 烯	异丁烯
化学式	C_2H_4	C_3H_6	C_4H_8	C_4H_8
分子量	28.0308	42.048	56.062	56.062
碳与氢的重量比	5.96	5.96	5.96	5.96
熔点, $^{\circ}C$	-169.4	-185.2	—	—
沸点, $^{\circ}C$	-103.8	-47.0	+1.4	-6.0
气体常数	30.262	20.168	15.126	15.126
临界温度, $^{\circ}C$	9.5	92.3	151	150.7
临界压力, 绝对大气压	50.6	46.5	34.0	—
15°时的比重, 公斤/公尺 ³	1.1951	1.3003	2.3723	2.3723
比重(与空气相比)	0.9748	1.450	1.935	1.935
在沸腾温度时液态的比重	0.586	0.609	0.636	0.620
气体的比热, 仟卡/公斤:				
15°时的定压比热	0.400	0.390	0.380	0.382
15°时的定容比热	0.320	0.343	0.345	0.347
相对比热	1.25	1.17	1.10	1.10
15°时的蒸发潜热, 仟卡/公斤	120	108	99	95
气体的发热量, 仟卡/公斤:				
每1公斤的高发热量	11 920	11 630	11 500	11 500
每1公尺 ³ 的高发热量	14 300	20 750	27 370	27 370
每1公斤的低发热量	11 260	10 940	10 820	10 750
每1公尺 ³ 的低发热量	13 350	19 400	25 700	25 500
燃烧1公尺 ³ 气体所需的空气量, 公尺 ³	15.285	21.429	23.571	23.571
与空气混合时的爆炸极限:				
下限	3.2	2.2	1.7	1.7
上限	34.0	9.7	9.0	9.0
在空气中的着火温度, $^{\circ}C$	475—550	—	—	—
理论燃烧温度, $^{\circ}C$	2240	2200	2200	—

屬於人造煤氣組成和天然氣攙和物的某些氣體的物理化學性質列於表 6。

人造煤氣和天然氣組成中的某些氣體的物理化學性質 表 6

氣 體	H ₂	CO ₂	CO	H ₂ S	N ₂
分子量	2.016	44.0	28.0	34.08	28.02
氣體常數, 公呎/°C	422.59	19.27	30.26	24.9	30.26
760 公厘水銀柱時的熔點, °C	-259.1	-56.6	-207	-82.9	-209.9
760 公厘水銀柱時的沸點, °C	-252.74	-78.5	-190	-61	-195.8
臨界溫度, °C	-239.9	+31.0	-138.7	+100.4	-147.1
臨界壓力, 絕對大氣壓	13.2	74.96	83.47	88.9	34.6
760 公厘水銀柱及 0° 時 氣體的比重, 公斤/公 尺 ³	0.0898	1.977	1.2504	1.5392	1.251
氣體的比重 (與空氣相 比)	0.0696	1.520	0.968	1.1906	0.970
760 公厘水銀柱及 0°C 時氣體的比容	11.136	0.5058	0.7998	0.6497	0.799
在沸騰溫度及 760 公厘 水銀柱時液化氣的比 重, 公斤/公尺 ³	—	924.8	768.0	950	634.1
比熱, 仟卡/公斤:					
定壓比熱	3.408	0.202	0.2478	0.254	0.249
定容比熱	2.420	0.156	0.1766	0.192	0.178
相對比熱	1.407	1.30	1.403	1.32	1.40
在沸騰溫度及 760 公厘 水銀柱時的蒸發潛 熱, 仟卡/公斤	108	83.12	50.453	132.1	47.7
在 0° 及 760 公厘水銀 柱時氣體的粘度, 公 斤-秒/公尺 ²	856·10 ⁻⁹	1305·10 ⁻⁹	1690·10 ⁻⁹	1176·10 ⁻⁹	1800·10 ⁻⁹
0° 時氣體的導熱性, 仟 卡/公斤	0.142	0.0118	0.0185	0.0103	0.0205