

天然气 输配技术

严铭卿 宓亢琪 黎光华 等编著



化学工业出版社
环境·能源出版中心

天然气输配技术

严铭卿 宓亢琪 黎光华 等编著



化学工业出版社
环境·能源出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气输配技术/严铭卿等编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 12

ISBN 7-5025-8140-5

I. 天… II. 严… III. 天然气输送 IV. TE83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 157969 号

天然气输配技术

严铭卿 宓亢琪 黎光华 等编著

责任编辑: 郑叶琳 李建斌 廖叶华

文字编辑: 李玉峰

责任校对: 于志岩

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 518 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8140-5

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书包括天然气性质、用气负荷、长输管道及大规模储存、城市分配管网以及压缩天然气和液化天然气的基本工艺、储运与利用等内容。通过本书可使读者对天然气中下游设施的主要技术内容有一较全面和深入的了解，并可据以指导和改进自己在这一系统中的技术和工程实践。

本书可供天然气、化工、城市燃气和能源部门的工程技术人员、科技工作者、管理人员、大学教师、学生和研究生阅读与参考。

前 言

天然气工业是一个既传统又新兴的产业部门，其所以传统是因为现代的天然气工业已经在工艺、技术、工程和理论各方面有了成熟的体系。但是，天然气工业依然是处在蓬勃发展的态势之中。原因之一是相对于石油，天然气的开发利用远未达到石油工业所达到的程度。审视我国的情况，更能认识到中国的天然气工业正处在大规模启动的阶段。西气东输全线贯通供气就是这种新发展阶段的标志。作为天然气工业的下游，天然气输配设施需要与整体保持同步的发展。这即是城市燃气系统正在经历的变化。城市燃气正在由煤制气、液化石油气气源向天然气气源转变；由城市孤立小系统向跨区域大系统转变。在天然气输配技术科学领域仍然存在各种有待研究解决的问题和难题；工程技术实践不断提出新的课题。工作在这一领域的科技工作者、工程技术人员有必要及时更新知识，提高技术和理论水平，在新的局面中创新成绩、展现风采。

本书即为适应天然气输配技术发展的趋势和对书籍文献的迫切需要而编著。在本书的编著过程中，我们力求以现代科技全新的视角，利用更新的资料，运用研究、教学和工程的经验与成果进行写作。希望本书确能实现我们的初衷，满足读者的需求。本书包括天然气性质、用气负荷、长输管道及大规模储存、城市分配管网以及压缩天然气和液化天然气的基本工艺、储运与利用等内容。通过本书读者可以对天然气中下游设施的主要技术内容有较全面和深入的了解，并可据以指导和改进自己在这系统中的技术和工程实践。

本书编写具体分工为：第1、4章（谭羽非、展长虹），第2章（詹淑慧），第3章（孙在蓉、王志昌），第5、6章（宓亢琪），第7章（黎光华），第8章（顾安忠）。詹淑慧、顾安忠撰写了第1章部分内容，黎光华撰写了第5章调压器和调压装置内容。主编著人严铭卿拟定了全书大纲，对除第6、8章以外的各章进行了补充，并对全书进行统稿。

在本书完成之际，我们首先要向本书撰写中引用或借鉴的书籍、论文、文献和资料的原作者表示谢意，他们的工作和名字分列在各章参考文献表中。感谢博士生曹文胜参加了第8章的部分编写，蒋祥龙高级工程师为第5章提供了资料。在此也恳请读者不吝指正本书的不足之处，欢迎提出批评和建议。

编著者
2006年1月

目 录

第 1 章 天然气的基本性质	1
1.1 天然气分类	1
1.1.1 常规天然气	1
1.1.2 非常规天然气	2
1.2 天然气的应用特点	3
1.3 天然气的组成表示方法和密度	4
1.3.1 燃气的组成表示方法	4
1.3.2 平均分子量	4
1.3.3 天然气的平均密度和相对密度	5
1.4 天然气的基本物理和热力学性质	5
1.4.1 临界参数,对比态原理与特性参数	5
1.4.2 气体状态方程	6
1.4.3 天然气的拟临界参数和拟对比参数	7
1.4.4 实际气体半理论半经验状态方程	8
1.4.5 天然气的压缩因子	14
1.4.6 黏度	17
1.4.7 天然气的含水量和露点	22
1.4.8 天然气的焓和熵	25
1.4.9 天然气地层体积系数和膨胀系数	26
1.4.10 热导率	26
1.4.11 液化天然气的表面张力	28
1.5 天然气的燃烧性质	29
1.5.1 天然气的热值	29
1.5.2 燃烧及燃烧反应计量方程式	30
1.5.3 燃烧所需空气量	30
1.5.4 着火温度	31
1.5.5 爆炸极限与燃气混合安全性	31
1.6 水合物	34
1.7 城镇天然气的质量要求	34
1.7.1 城镇燃气的基本要求	34
1.7.2 天然气中杂质及有害物的影响	34
1.7.3 城镇天然气的质量标准	34
参考文献	35

第2章 城市燃气负荷	36
2.1 燃气负荷、用户类型及其用气特点	36
2.1.1 燃气负荷	36
2.1.2 用户类型及用气特点	36
2.2 用气量指标	38
2.2.1 居民生活用气量指标	38
2.2.2 商业用户用气量指标	39
2.2.3 工业企业用气量指标	39
2.2.4 建筑物采暖及空调用气量指标	40
2.2.5 燃气汽车用气量指标	40
2.3 燃气需用工况	40
2.3.1 用气不均匀情况	40
2.3.2 用气不均匀系数	40
2.4 城镇燃气负荷计算及供需平衡	41
2.4.1 年用气量计算	41
2.4.2 小时计算流量的确定	43
2.4.3 调峰储气容积的计算	45
2.5 城镇燃气负荷指标的统计分析与预测	47
2.5.1 现代抽样调查技术的应用	47
2.5.2 居民用户年用气量指标的预测	49
2.5.3 预测结果分析	51
参考文献	51
第3章 天然气长输管道输送	52
3.1 天然气长输管道	52
3.1.1 天然气输送方式	52
3.1.2 天然气长输管道的定义、组成与功能	52
3.1.3 天然气长输管道的特点及现代技术发展	53
3.1.4 气田集输管网系统	55
3.1.5 天然气的净化处理	58
3.2 长输管道的工艺设计技术	60
3.2.1 长输管道工艺设计的内容及要求	60
3.2.2 长输管道稳定流计算	61
3.2.3 长输管道不稳定流模拟	69
3.2.4 长输管道总工艺流程的确定	72
3.3 长输管道敷设	75
3.3.1 长输管道线路选择	75
3.3.2 长输管道敷设	76
3.3.3 长输管道穿越特殊地段处理	76
3.3.4 长输管道穿越自然障碍技术	79

3.3.5	长输管道穿越人工障碍技术	81
3.3.6	管道跨越障碍技术	82
3.3.7	长输管道附属设施	84
3.4	长输管道强度与材质	84
3.4.1	管道安全及地区等级划分	84
3.4.2	长输管道强度计算及稳定性校验	85
3.4.3	长输管道材质选择	87
3.4.4	焊接性能	88
3.5	长输管道防腐	88
3.5.1	长输管道的防腐方法	88
3.5.2	长输管道防腐方法的选择	89
3.5.3	长输管道电法保护	89
3.6	长输管道站场	91
3.6.1	长输管道站场功能及流程	91
3.6.2	长输管道站场工艺设计及设备选择	96
3.6.3	长输管道压气站的运行优化	104
	参考文献	105

第4章	天然气储存	106
4.1	天然气的气态储存	106
4.1.1	低压湿式罐	107
4.1.2	低压干式罐	107
4.1.3	高压储气罐储存	107
4.2	地下储气库储存	110
4.2.1	各种类型地下储气库特性	110
4.2.2	地下储气库设计储量的确定	112
4.2.3	储库储气量计算及校核	113
4.2.4	注采气速度的选择	114
4.3	地下储气库的数值模拟	115
4.4	天然气管道储存	118
4.5	天然气的液态储存 (LNG)	120
4.5.1	地下液化天然气储库储存	121
4.5.2	液化天然气冻土地穴储存	121
4.5.3	地下液化天然气储罐储存	121
4.5.4	地上液化天然气金属储罐储存	121
4.5.5	地上液化天然气金属混凝土储罐储存	122
4.5.6	液化天然气的高压和常压储罐联合储存	122
4.6	天然气储存新技术	123
4.6.1	天然气在低温液化石油气 (LPG) 溶液中储存	124
4.6.2	水合物储存天然气技术	125

4.6.3 吸附天然气储存技术	125
4.6.4 近临界流体储存技术	126
参考文献	127

第5章 天然气城市输配系统	128
5.1 城市输配系统的构成	128
5.2 城市输配系统压力级制的确定	129
5.3 门站	130
5.3.1 门站工艺流程与总平面布置	130
5.3.2 门站设备	132
5.3.3 天然气的加臭	135
5.4 城市天然气管网	137
5.4.1 管材	137
5.4.2 管道布置与敷设	143
5.4.3 埋地钢管的电化学腐蚀与防腐	149
5.5 管道穿跨越工程	158
5.5.1 设计原则	158
5.5.2 穿越管道结构计算	158
5.5.3 水域、冲沟穿越工程的主要技术要求	160
5.5.4 铁路、公路等陆上交通设施穿越工程的主要技术要求	162
5.5.5 跨越管道结构计算	164
5.5.6 跨越管道工程的主要技术要求	164
5.6 调压器和调压设施	165
5.6.1 调压器	165
5.6.2 调压设施	173
5.6.3 调压装置的超压保护	176
参考文献	179

第6章 燃气管网水力计算	180
6.1 水力计算的目的	180
6.2 管道摩擦阻力损失计算公式	180
6.3 管道计算流量	183
6.3.1 用户小时最大用气量	183
6.3.2 分配管道的计算流量	184
6.4 管道计算压力降	185
6.5 附加压头	186
6.6 局部阻力损失	187
6.7 管道的管径计算	187
6.7.1 分配管道的管径计算	187
6.7.2 支管、庭院管道与户内管道的管径计算	188

6.8 环形管网水力计算	188
6.8.1 环平衡法	189
6.8.2 节点平衡法	191
6.8.3 环与节点平衡联合法	193
6.8.4 水力平差计算的计算机编程要点	195
6.9 管道的水力等效计算	197
6.9.1 并联管段	197
6.9.2 串联管段	197
6.9.3 计算管径管段的管段替代	198
6.10 管网水力计算例题	199
参考文献	200
第7章 压缩天然气供应	202
7.1 概述	202
7.1.1 城镇压缩天然气 (CNG) 供应系统的设施构成	203
7.1.2 压缩天然气供应系统的引入管线	204
7.2 压缩天然气加压站	205
7.2.1 CNG 加压站站址选择	205
7.2.2 CNG 加压站工艺设计	206
7.2.3 加压站设备的配置及其设置要求	211
7.2.4 加压站设施的安全防护	219
7.3 压缩天然气供应站	220
7.3.1 CNG 供应站站址的选择及其平面布置	220
7.3.2 CNG 供应站工艺流程及设备	222
7.3.3 气体绝热节流膨胀过程的热力学	224
7.4 压缩天然气 (CNG) 汽车加气站	227
7.4.1 CNG 加气站站址及其设置原则	228
7.4.2 CNG 加气站的工艺设计	228
7.4.3 CNG 加气站初步设计实例	234
7.5 压缩天然气 (CNG) 汽车与环境保护	236
7.5.1 车辆代用燃料的选择	236
7.5.2 CNG 汽车及其基本性能	238
7.5.3 CNG 汽车车载气瓶及瓶口阀门	243
7.5.4 CNG 汽车的安全可靠性	244
参考文献	246
第8章 液化天然气供应	247
8.1 液化天然气的特性	247
8.1.1 LNG 的一般特性	247
8.1.2 LNG 的物理现象	247

8.1.3 LNG 的某些热物理特性	249
8.2 液化天然气液化	252
8.2.1 天然气预处理	252
8.2.2 天然气液化流程	259
8.2.3 带膨胀机的液化流程	263
8.2.4 液化流程中的设备模拟	265
8.2.5 液化流程的热力学分析	269
8.3 液化天然气储运	272
8.3.1 LNG 储罐	272
8.3.2 LNG 运输船	276
8.3.3 LNG 槽车	277
8.3.4 LNG 储存中的分层与涡旋	282
8.4 液化天然气接收终端	285
8.4.1 LNG 接收终端工艺流程	285
8.4.2 LNG 的冷量利用	286
8.5 液化天然气供气站	302
8.5.1 LNG 气化站	302
8.5.2 LNG 加注站	312
8.5.3 LNG 为燃料的运输工具	314
参考文献	323

第 1 章 天然气的基本性质

天然气是一种混合气体，其主要成分为甲烷。有些天然气中还含有乙烷、丙烷、丁烷等低分子量烷烃和少量的氮气、二氧化碳、硫化氢及其他微量非烃类气体。

1.1 天然气分类

天然气的分类方法很多，可以按照其成因、气体组成及矿藏特点等进行分类。根据目前的勘探、开采及开发、应用技术等，天然气还可以分为常规天然气和非常规天然气两大类。

1.1.1 常规天然气

常规天然气是指在目前的技术条件下能够作为资源进行开采和利用的天然气。

1.1.1.1 根据矿藏特点分类

常规天然气根据矿藏特点可分为气田气、凝析气田气和石油伴生气等。

气田气是指产自天然气气藏的纯天然气。其中甲烷含量一般不少于 90%，还含有少量的二氧化碳、硫化氢、氮及微量的氦、氖、氩等气体。我国四川的天然气即为气田气。

凝析气田气是指含有少量石油轻质馏分（如汽油、煤油组分）的天然气。当凝析气田气由气田开采出来后，经减压降温，可分离为气液两相。凝析气田气中甲烷含量约为 75%。

石油伴生气是指与石油共生的、伴随石油一起开采出来的天然气。石油伴生气又分为气顶气和溶解气两类。气顶气是不溶于石油的气体，为了保持石油开采过程中必要的井压，这种气体一般不随便采出。溶解气是指溶解在石油中，伴随石油开采而得到的气体，因而称为石油伴生气。石油伴生气的主要成分是甲烷、乙烷、丙烷、丁烷，还有少量的戊烷和重烃。气油比（气体 $\text{m}^3/\text{原油 t}$ ）一般在 20~500 之间。我国大港地区华北油田的石油伴生气中，甲烷含量约为 80%，乙烷、丙烷及丁烷等含量约为 15%。石油伴生气的成分和气油比，会因油田的构成和开采的季节等条件而有一定的差异。

1.1.1.2 根据组分分类

常规天然气根据其组分可分为干气、湿气、贫气和富气，也可分为酸性天然气和洁气等。

- ① 干气是指每一基方[●]井口流出物中， $\text{C}_5^{\bullet}$ 以上重烃液体含量低于 13.5cm^3 的天然气。
- ② 湿气是指每一基方井口流出物中， C_5 以上重烃液体含量超过 13.5cm^3 的天然气。
- ③ 富气是指每一基方井口流出物中， C_3 以上重烃液体含量超过 94cm^3 的天然气。

● 本书中气体计量单位用立方米，计量条件有两种：一是在压力为一个大气压（101325Pa）、温度为 0℃ 的条件下称标准立方米（Normal Cubic Meter，简写为 Nm 或 m^3 ），简称标方；另一种是在压力为 101325Pa、温度为 20℃ 条件下称基准立方米（Standard Cubic Meter，简写为 Sm³）；简称基方。

● 对于碳氢化合物，有时可只用其中的碳原子（C）数表示。如丙烷（ C_3H_8 ）、丙烯（ C_3H_6 ）可统称为 C_3 ，正戊烷（ C_5H_{10} ）、异戊烷（ C_5H_{10} ）可统称为 C_5 。

④ 贫气是指每一基方井口流出物中, C_3 以上重烃液体含量低于 94cm^3 的天然气。

⑤ 酸性天然气是指含有较多的 H_2S 和 CO_2 等酸性气体, 需要进行净化处理才能达到管道输送要求的天然气。

⑥ 洁气是指 H_2S 和 CO_2 含量很少, 不需要进行净化处理的天然气。

1.1.2 非常规天然气

非常规天然气是指在现有的技术水平下还不能大范围地开发、利用的天然气资源。近年来, 非常规天然气的开发和利用已经越来越引起人们的重视。

1.1.2.1 天然气水合物 (natural gas hydrate, 简称 gas hydrate)

天然气水合物又称笼形包合物 (clathrate), 俗称“可燃冰”, 是天然气与水在一定条件 (合适的温度、压力、气体饱和度、水的盐度、pH 值等) 下形成的类似于冰的笼形结晶化合物, 遇火即可燃烧。它可用 $M \cdot nH_2O$ 来表示, M 代表水合物中的气体分子, n 为水合指数 (也就是水分子数)。形成天然气水合物的主要气体为甲烷, 对甲烷含量超过 99% 的天然气水合物通常称为甲烷水合物 (methane hydrate)。每立方米天然气水合物可分解、释放出 $160 \sim 180\text{m}^3$ 天然气。

天然气水合物在自然界广泛分布在大陆、岛屿的斜坡地带、活动和被动大陆边缘的隆起处、极地大陆架以及海洋和一些内陆湖的深水环境中。在地球上大约有 27% 的陆地是可以形成天然气水合物的潜在地区, 而在世界大洋水域中约有 90% 的面积也属这样的潜在区域。在全世界范围内, 已发现的天然气水合物主要存在于北极地区的永久冻土区和海底、陆坡、陆基及海沟中。国外有资料报道, 现已探明的天然气水合物储量相当于全球非再生能源 (煤、石油、天然气、油页岩等) 总储量的 2.84 倍。由于天然气水合物具有非渗透性, 它常常可以作为其下层游离天然气的封盖层。因此, 加上天然气水合物层下的游离气体量, 估计这种非常规天然气的储量可能还会大些。如果能证明这些预计属实的话, 天然气水合物将成为一种丰富而重要的未来能源。天然气水合物作为一种诱人的未来能源已经引起了许多国家的重视和研究。

我国石油、天然气部门也已经开展了对天然气水合物勘探、开发技术的研究。目前, 我国已在南海海底探测到大量天然气水合物。据估计, 在我国南海海底发现的这种蕴含巨大能源的矿藏总量, 占到我国石油总储量的一半。因此, 天然气水合物有望成为 21 世纪天然气能源中又一支重要的力量。

同时, 科学家还发现, 在许多天体中也存在天然气水合物。天文学家和行星学家已经认识到在巨大的外层天体 (土星和天王星) 及其卫星中存在着天然气水合物。另外, 天然气水合物还可能存在于包括哈雷彗星在内的彗星头部。

1.1.2.2 煤层气与矿井气

煤层气与矿井气也属于天然气, 是煤的生成和变质过程中伴生的可燃气体。

煤层气也称煤田气, 是成煤过程中产生并在一定的地质构造中聚集的可燃气体, 其主要成分为甲烷, 同时含有二氧化碳、氢气及少量的氧气、乙烷、乙烯、一氧化碳、氮气和硫化氢等气体。

矿井气又称矿井瓦斯, 是煤层气与空气混合而成的可燃气体。在煤的开采过程中, 当煤层采掘后, 在井巷中形成自由空间时, 煤层气即由煤层和岩体中逸出并移动到该空间, 与其中的空气混合形成矿井气。其主要成分为甲烷 (30%~55%)、氮气 (30%~55%)、氧气及二氧化碳等。在地下井巷中的矿井气必须及时、合理地排除或抽取, 否则会造成井巷操作人

员窒息、死亡，还可能引起爆炸，即人们常说的矿井“瓦斯爆炸”。

如果在开发煤矿矿床的前期，先将其中的煤层气开采出来，不但可以增加甲烷气体的来源，还可以大大减少煤矿事故的发生，减少人员的伤亡。煤层气与矿井气除可作为燃料外，还可供工业企业生产炭黑、甲醛等化工产品。

我国煤层气资源比较丰富，主要分布在我国中部和东部地区，华北地区占大部分。目前，我国的煤层气、矿井气的开发已具有一定规模，一些地方已将其作为城镇燃气气源。据估计，2010年前山西、河北、河南、山东、安徽、江苏等地有望得到煤层气供应。同时，对煤层气流动的规律、煤层透气性和矿井气抽取工艺的研究正在进行，以进一步提高矿井气的抽取量。

1.2 天然气的应用特点

在一定时期、一定生产力水平下，人类可利用的自然资源总是有限的和稀缺的。天然气与石油、煤炭一样，属于不可再生的耗竭性资源。综合、合理地利用天然气，才能充分、有效地发挥天然气资源的作用。

随着人类社会的发展和环保意识的增强，气体燃料作为洁净能源在世界能源消费结构中所占的比重越来越大。世界各地都在采取多种措施促进城镇燃料的气体化，燃气的普及率和耗用量已被看做一个国家、一个地区或一座城镇的经济及社会发展水平的象征之一。在一些先进国家，随着科学技术的发展，天然气的应用几乎覆盖了民用、商业、交通和所有的工业部门。

(1) 天然气是一种优质的矿物资源 天然气不仅是很好的清洁燃料，而且是应用广泛的化工原料。当天然气作为燃料使用时，与煤、石油等常规一次能源相比，具有燃烧热值高、清洁、安全、易于运输与储存、经济性好等特点。

(2) 天然气是一种高效、安全的能源 天然气是具有较高品位的一次能源，热值高，燃烧时最高温度可达2000℃以上。使用天然气可以改善能源结构，减少煤炭运输量，减轻大气污染，保护生态环境；可以改善居民生活条件，缩短家务劳动时间，减少固体燃料及废渣的堆放和运输量。在某些工业生产中使用天然气，可以明显提高产品的产量及质量，提高生产过程的自动化程度和劳动生产率，进而取得良好的经济效益。由于天然气洁净度高，燃烧稳定、完全，火焰容易控制，因此，在使用过程中有电、热和其他燃料无法替代的优势。发展燃气，可以明显地取得节能效益、服务效益和环保效益。

(3) 天然气资源丰富 我国能源资源储量比较丰富，但资源质量及勘探程度不很高，加之我国人口众多；人均能源占有量相对较低。在过去的几十年里，我国终端能源消费结构中，煤炭一直占据主导地位。以煤为主的传统工业投资大、环保问题突出。近年来，国家在能源结构的调整上投入了很大力量，由依靠煤炭的单一型结构逐步形成了以煤炭为主，多种能源互补的能源生产体系。据全国油气资源评估和预测，我国天然气资源量为 $43 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，其中陆上 $30 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，海上 $13 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ；另外，还有 $(30 \sim 50) \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的煤层气资源。天然气主要分布在中、西部地区 and 近海地区，80%以上的资源集中分布在塔里木、四川、陕甘宁、准噶尔、柴达木、松辽等盆地及东南海域。

(4) 天然气勘探、开发成本低 天然气勘探、开采系统基建投资少、建设工期短、见效快，新建的气井一般当年即可投产。据有关资料介绍，按标准燃料计算，天然气的生产成本

是石油的 25%，煤炭的 5%~15%。天然气从地下开采出来时，一般压力很高，有利于远距离输送，送到用户处仍能保持较高压力。

(5) 使用天然气，环境效益优越 我国城镇发展对环境保护的要求越来越高，大气质量与城镇使用的能源有直接关系。中央和地方政府对发展城镇优质能源越来越重视，正在采取积极的措施使城镇能源向清洁、高效方向发展，以优质能源供应城镇已成为共识。燃气是城镇优质能源的重要组成部分，其中，天然气更是城镇燃气的理想气源。提高城镇燃气利用水平，对改善大气质量有重要意义。

21 世纪初我国天然气生产与消费将大幅度上升，而且天然气消费需求的增长将高于天然气生产量的增长，与国民经济发展速度基本协调。同时，我国多种能源的开发已使天然气与其他能源之间的竞争逐步展开，燃气应用领域也将得到进一步的拓展。能源结构调整与环境保护要求为燃气事业提供了发展空间。

根据预测，到 2015 年我国天然气可用量在一次能源消费中只能占到 7% 左右，天然气资源的稀缺决定了我国天然气资源的利用应以改善环境质量，特别是城镇的环境质量、优化城镇能源结构为主要目标。

今后几年我国天然气消费将从以化工原料和工业燃料为主转化为以发电和城镇燃气为主。为此，应借鉴其他国家的天然气发展经验，加强先进技术的消化吸收，有计划、有目的地扩大燃气用途。

1.3 天然气的组成表示方法和密度

1.3.1 燃气的组成表示方法

混合气体的组分有三种表示方法：容积成分 y_i 、质量成分 g_i 和分子成分 m_i 。

① 容积成分是指混合气体中各组分的分容积与混合气体的总容积之比，即

$$y_i = \frac{V_i}{V} \quad (1-1)$$

式中，混合气体的总容积等于各组分的分容积之和，即 $V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$ 。

② 质量成分是指混合气体中各组分的的质量与混合气体的总质量之比，即

$$g_i = \frac{G_i}{G} \quad (1-2)$$

式中，混合气体的总质量等于各组分的的质量之和，即 $G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$ 。

③ 分子成分是指混合气体中各组分的摩尔数与混合气体的摩尔数之比。由于在同温同压下，1mol 任何气体的容积大致相等，因此，气体的分子成分在数值上近似等于其容积成分。

混合气体的平均摩尔容积

$$V_m = \frac{1}{100} \times (y_1 V_{m1} + y_2 V_{m2} + \cdots + y_n V_{mn}) \quad (1-3)$$

式中 V_m ——混合气体平均摩尔容积， m^3/kmol ；

$y_1, y_2, \cdots, y_n$ ——各单一气体容积成分，%；

$V_{m1}, V_{m2}, \cdots, V_{mn}$ ——各单一气体摩尔容积， m^3/kmol 。

1.3.2 平均分子量

天然气是多组分的混合物，不能用一个分子式来表示。通常将天然气的总质量与天然气的摩尔数之比称为天然气的平均分子量。

天然气的平均分子量可按式计算, 即

$$M = \frac{1}{100} \times (y_1 M_1 + y_2 M_2 + \cdots + y_n M_n) \quad (1-4)$$

式中 M ——天然气平均分子量;

$y_1, y_2, \cdots, y_n$ ——各单一气体容积成分, %;

$M_1, M_2, \cdots, M_n$ ——各单一气体分子量。

1.3.3 天然气的平均密度和相对密度

单位体积的物质所具有的质量, 叫做这种物质的密度。单位体积的天然气所具有的质量称为天然气的平均密度。密度的单位为 kg/m^3 。

① 天然气的平均密度为

$$\rho_g = \frac{1}{100} \sum y_i \rho_i \quad (1-5)$$

式中 ρ_g ——天然气的平均密度, kg/m^3 ;

ρ_i ——天然气中各组分在标准状态 (压力: 0.101325MPa ; 温度: 273.15K) 时的密度, kg/m^3 。

气体的密度随温度和压力的变化而改变: 压力升高, 体积减小; 温度升高, 体积增大。

② 相对密度也称为比密度。

在标准状态下, 天然气密度与干燥空气密度的比值称为相对密度, 用符号 γ_g 表示。

$$\gamma_g = \frac{\rho_g}{\rho_{\text{air}}} \quad (1-6)$$

式中 γ_g ——天然气的相对密度;

ρ_{air} ——标准状态下空气的密度, $\rho_{\text{air}} = 1.293\text{kg}/\text{m}^3$ 。

则有

$$\gamma_g = \frac{\rho_g}{1.293}$$

在燃气专业中经常用符号 S 表示燃气的相对密度。

1.4 天然气的基本物理和热力学性质

1.4.1 临界参数, 对比态原理与特性参数

1.4.1.1 气体的临界参数

当温度不超过某一数值时, 对气体进行加压可以使气体液化; 而在该温度以上, 无论加多大的压力也不能使气体液化, 这一温度就称为该气体的临界温度。在临界温度下, 使气体液化所需要的压力称为临界压力; 此时气体的各项参数称为临界参数。

临界参数是气体的重要物性指标, 气体的临界温度越高, 越容易液化。例如, 液化石油气中的丙烷、丙烯的临界温度较高, 所以只需在常温下加压即可使其液化; 而天然气的主要成分甲烷的临界温度低, 所以, 天然气很难液化, 在常压下, 需将温度降至 -163.15°C 以下, 才能使其液化。

1.4.1.2 对比态原理

当接近临界点时气体显示出相似的性质。如采用临界状态作为对比态, 气体的压力、温度、密度与其临界压力、临界温度和临界密度之比分别称为气体的对比压力、对比温度、对比密度。

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad (1-7)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (1-8)$$

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_c} \quad (1-9)$$

式中 P_r ——气体对比压力；

T_r ——气体对比温度；

ρ_r ——气体对比密度。

对比态原理：当不同物质具有相同对比温度 and 对比压力时，性质之间具有相同的关系。根据对比态原理，混合物可看做是具有一套按一定规则求出的拟临界参数、性质均一的虚拟的纯物质。由对比态原理，当使用对比参数时，没有与物质固有性质有关的参数，可得出普遍化状态方程，或者可用普适函数描述所有流体的热力学性质关系。但对比态原理仍是一种近似，特别是在低压时不能应用。

1.4.1.3 偏心因子

球形是物质分子的最简单模型。对非球形分子，采用偏心因子 ω 表征其偏心程度或非球形程度。偏心因子 ω 的定义为

$$\omega = -\lg P_r(T_r = 0.7) - 1.000$$

式中 $P_r(T_r = 0.7)$ —— $T_r = 0.7$ 时的对比饱和蒸气压。

对单原子气体， $\omega = 0$ ；对甲烷，它很小；但对高分子量碳氢化合物， ω 增加，且随分子的极性的增加而增大。偏心因子广泛用于物质分子的几何形状和极性的度量。偏心因子的关联式只限于正常流体，对 H_2 、He 等强极性或非键类流体不使用偏心因子的关联式。

1.4.1.4 正常沸点

正常沸点指压力为 1 大气压时物质的沸点，对其可由实验确定。化合物的沸点与分子量有关，一般同系物中分子量越大，沸点越高。有一种基于这一规律的近似算法。对碳原子在 4~17 间的化合物有经验关联式

$$\lg T_b = 1.929(\lg M)^{0.4134}$$

式中 T_b ——正常沸点；

M ——分子量。

1.4.2 气体状态方程

1.4.2.1 理想气体

理想气体是一种假想气体，它被假设为：气体分子是一些弹性的、不占有体积的质点，分子间没有相互的作用力（引力和斥力）。它实质上是实际气体的压力 $P \rightarrow 0$ 或比体积（旧称比容） $v \rightarrow \infty$ 时的极限状态气体。在天然气输配工程中，一般将低压下的天然气视为理想气体进行状态计算，基本可满足工程上的要求。

理想气体的状态方程为

$$PV = mRT \quad (1-10)$$

式中 P ——绝对压力，Pa；

V ——气体所占的体积， m^3 ；

R ——气体常数（标准状态时），J/(kg·K)；

T ——气体的热力学温度，K；

m ——气体质量，kg。