



世纪高等教育规划教材

燃气生产与供应

赵磊 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费电子课件

21 世纪高等教育规划教材

燃气生产与供应

主 编 赵 磊
副主编 肖建林 于立新
参 编 王春青 李恩娟
 陈春荣 赵 娜
主 审 冉春雨



机械工业出版社

本书共四篇，系统地讲述了各种气源的生产过程及供应系统。天然气篇内容包括天然气集输与净化、输气管道工艺计算，线路设计、输气站设计，液化天然气和压缩天然气供应。液化石油气篇内容包括液化石油气的提取、运输、储配、气化及混气。煤制气篇内容包括制气用煤、干馏煤气、煤气净化、气化煤气。其他燃气篇内容包括油制燃气、生物质气和非常规天然气。

本书引入了新技术及现行规范、标准，同时注重理论联系实际，结合实际案例讲述设计规范中的具体要求。

本书可作为高校建筑环境与能源应用工程、城市燃气、燃气工程、能源与动力工程等专业的教学用书，也可供从事燃气专业的工程技术人员参考。

本书配有电子课件，免费提供给选用本书的授课教师。需要者请根据书末的“信息反馈表”索取，或登录机械工业出版社教材服务网免费下载，网址：www.cmpedu.com。

图书在版编目（CIP）数据

燃气生产与供应/赵磊主编. —北京：机械工业出版社，2013.7
21世纪高等教育规划教材
ISBN 978-7-111-42848-0

I. ①燃… II. ①赵… III. ①气体燃料—生产工艺—高等学校—教材②气体燃料—供应—高等学校—教材 IV. ①TE64

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第130699号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：刘涛 责任编辑：刘涛 孙阳
版式设计：常天培 责任校对：肖琳
封面设计：路恩中 责任印制：李洋
北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）
2013年8月第1版第1次印刷
184mm×260mm·22印张·541千字
标准书号：ISBN 978-7-111-42848-0
定价：43.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来我国的燃气工业发展迅速，管道燃气的普及率逐年提高，已由大城市向中小城市、乡镇和农村扩展。城镇燃气气源由过去的人工煤气、液化石油气和天然气三者共存逐渐过渡成为以天然气为主。除了常规天然气，非常规天然气（如煤层气）的开发与利用越来越受重视。与此相对应的燃气新技术、新设备不断出现，各种新规范、新标准陆续颁布实施。本书适应燃气发展形势，以培养具有创新精神的实用型人才为出发点，系统地介绍了各类燃气生产与供应的技术和理论，并引入新技术、新成果及现行的标准规范，注重理论联系实际。

本书为建筑环境与能源应用工程、城市燃气和燃气工程专业教材。教材的第一章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章由赵磊编写，第九章、第十章由肖建林编写，第二章、第三章由于立新编写，第十一章由陈春荣编写，第十二章由赵娜编写，第十三章、第十四章由李思娟编写，第十五章由王春青编写。本书由赵磊统稿，冉春雨教授主审。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请读者及专家批评指正。

作 者

目 录

前言	
绪论	1
第一篇 天然气	
第一章 天然气矿场集输与净化	10
第一节 天然气开采	10
第二节 天然气集输	13
第三节 天然气分离和除尘	19
第四节 天然气脱硫和脱碳	22
第五节 天然气脱水	27
思考题	36
第二章 输气管道的水力计算	37
第一节 输气管道水力计算基本公式	37
第二节 输气管道常用水力计算公式	43
第三节 输气管道沿线压力分布	47
第四节 复杂干线输气管道水力计算	49
思考题	56
第三章 输气管道的热力计算	57
第一节 输气管道的平均温度	57
第二节 总传热系数	60
第三节 天然气水合物生成条件预测及防止措施	64
思考题	74
第四章 天然气增压输送	75
第一节 压气站的工作特性	75
第二节 压气站与管路的联合工作	84
第三节 输气管道运行工况分析与调节	88
第四节 末段储气	99
第五节 干线输气管道压气站布置	102
思考题	105
第五章 输气站设计	106
第一节 输气站平立面布置	106
第二节 输气站工艺流程	108
第三节 主要工艺设备	112
思考题	120
第六章 线路工程	121
第一节 线路选择与地区等级划分	121
第二节 管道敷设	123
第三节 管道强度和稳定性计算	127
思考题	131
第七章 压缩天然气供应	132
第一节 概述	132
第二节 压缩天然气加压站	134
第三节 压缩天然气汽车加气站	140
第四节 压缩天然气供气站	146
思考题	149
第八章 液化天然气供应	150
第一节 天然气液化工艺	150
第二节 液化天然气的运输和储存	154
第三节 液化天然气终端接收	158
第四节 液化天然气气化站	163
思考题	170
第二篇 液化石油气	
第九章 液化石油气的提取及储配	172
第一节 液化石油气的提取	172
第二节 液化石油气的运输	176
第三节 液化石油气的储存	182
第四节 液化石油气储配站	186
思考题	195
第十章 液化石油气气化和混气	196
第一节 液化石油气气化	196
第二节 液化石油气与空气的混合	203
第三节 液化石油气气化站和混气站	206
思考题	212

第三篇 煤制气	
第十一章 制气用煤	214
第一节 煤的种类	214
第二节 煤的工业分析及元素分析	216
第三节 炼焦用煤的工艺性质	220
第四节 气化用煤的工艺性质	225
思考题	228
第十二章 干馏煤气的制造	229
第一节 煤的成焦过程及煤气的形成	229
第二节 炼焦用煤的基本要求 及配煤工艺	232
第三节 焦炉结构和类型	235
第四节 焦炉的压力制度和温度制度	242
第五节 连续式直立炭化炉	245
思考题	249
第十三章 煤气净化	250
第一节 概述	250
第二节 煤气的冷凝冷却和输送	252
第三节 氨的脱除及回收	257
第四节 萘的脱除和煤气终冷	264
第五节 粗苯的回收及制取	266
第六节 煤气脱硫脱氰	269
思考题	276
第十四章 气化煤气	277
第一节 气化的基本过程和基本反应	277
第二节 发生炉煤气	280
第三节 水煤气	286
第四节 移动床两段炉煤气	293
第五节 加压气化	297
第六节 流化床气化	304
第七节 气流床气化	310
第八节 煤制天然气	315
思考题	321
第四篇 其他燃气	
第十五章 其他燃气	324
第一节 油制燃气	324
第二节 生物质气	331
第三节 非常规天然气	338
思考题	342
参考文献	343

绪 论

随着燃气工业的发展，城镇燃气的种类越来越多。燃气可以按照其来源或者生产方式进行分类，也可以从应用方面按燃烧特性进行分类。

一、按气源分类

燃气按其来源分，主要有天然气、人工燃气、液化石油气和生物质气等。其中，天然气、人工燃气、液化石油气可以作为城镇燃气供应的气源；生物质气由于热值低、二氧化碳含量高而不宜作为城镇气源。但在农村，如果以村或户为单位设置沼气池，产生的沼气作为洁净能源可以替代秸秆燃烧加以利用，仍然有一定的发展前途。

1. 天然气

天然气是埋藏在地下的可燃气体。通常按照其矿藏特点或者气体组成进行分类，我国习惯把天然气分为气田气（又叫纯天然气）、石油伴生气、凝析气田气和煤层气（包括矿井气）等。

（1）气田气 气田气是指在地层中呈气态单独存在，采出地面后仍为气态的天然气，它的主要成分是甲烷，其体积分数约占 98% 左右。此外还有少量的乙烷、丙烷、氨、硫化氢、一氧化碳、二氧化碳等，热值为 $34.8 \sim 36.0 \text{ MJ/m}^3$ 。

（2）石油伴生气 石油伴生气也叫油田气，是指在地层中溶解在原油中，或者呈气态与原油共存，随原油同时被采出的天然气。其主要成分也是甲烷，其体积分数约为 80%，乙烷、丙烷和丁烷等的体积分数约为 15%，此外还有少量的氢、氮、二氧化碳等，热值约为 42.0 MJ/m^3 。

（3）凝析气 凝析气是指在地层中的原始条件下呈气态存在，在开采过程中由于压力降低会凝结出一些液体烃类（通常叫做凝析油）的天然气。凝析气的组成大致和伴生气相似，除有大量甲烷外，戊烷、己烷以及更重的烃类含量比伴生气要多。一般经分离后可以得到天然汽油，甚至轻烃产品，凝析气的低热值约为 $46.1 \sim 48.5 \text{ MJ/m}^3$ 。

近年来国内外对非常规天然气的开发利用越来越重视。非常规天然气是指在成藏机理、赋存条件、分布规律和勘探开发方式等方面有别于常规天然气的烃类（含非烃类）资源。按照资源禀赋特征和赋存的介质分类，非常规天然气主要包括煤层气、致密砂岩气、页岩气、天然气水合物、水溶气、浅层生物气等。

（4）煤层气及矿井气 煤层气及矿井气是指赋存在煤层中以甲烷为主要成分、以吸附在煤基质颗粒表面为主、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体，它是煤的伴生矿产资源。煤层气甲烷的体积分数可高达 80% 以上。

矿井气是在煤的开采过程中，煤层气由煤层和岩体溢出，与空气混合形成的可燃气体。主要组分是甲烷和氮，其含量随采气方式而变化，此外还有氧、二氧化碳等。矿井气作为城

市燃气气源时，其甲烷的体积分数应不低于 35%，低位发热量不低于 $12.5\text{MJ}/\text{m}^3$ 。甲烷含量低的矿井气可做矿区其他用途的燃料。

(5) 天然气水合物 天然气水合物也称作甲烷冰或可燃冰，为固体形态的水于晶格中包含大量的甲烷。目前，世界上二百多个国家已发现了天然气水合物存在的实物样品和存在标志，其中海洋 78 处，永久冻土带 38 处。已发现的可燃冰矿藏主要分布在美国和加拿大沿海地区、危地马拉海岸、俄罗斯的东部、日本海域、印度洋和中国南海等地区。

我国天然气水合物资源也很丰富。据测算，我国南海天然气水合物的资源量为 700 亿吨油当量，约相当我国目前陆上石油、天然气资源总量的 1/2。据国土资源部专家估计，我国陆域天然气水合物远景资源量至少有 350 亿吨油当量，可供中国使用近 90 年，其中青海省的储量约占其中的 1/4。

天然气水合物在资源方面显得非常重要，但它的开发与利用也会给人类带来一系列的环境问题。在没有解决开发天然气水合物对自然界环境的影响问题之前，它还不能像常规一次性矿产资源那样被大量开采。随着常规能源的日益减少和科学技术的发展，天然气水合物作为庞大的能源储备在人类社会的发展过程中必将发挥重要的作用。

2. 人工燃气

人工燃气是指以煤或油、液化石油气、天然气等为原料转化制取的可燃气体。根据制气原料和加工方式的不同，可生产多种类型的人工燃气。

(1) 煤制气 传统的煤气生产方法是对固体燃料进行转化，同时生成气态和液态产品。这种转化既可通过固体燃料的热分解，即干馏的方式进行，也可通过与空气、水和氧气之间的化学反应，即气化的方式进行。

1) 干馏煤气。若将煤在隔绝空气的条件下加热，随着温度升高，煤中的有机物逐渐分解，其中挥发性产物呈气态逸出，残留的固体物质为焦炭，这种加工方法称为煤的干馏。

经过炼焦可以得到三种产物：固态产物——焦炭、气态产物——煤气、液态产物——煤焦油等。按加热温度范围不同，煤的干馏可分为高温干馏（ $900\sim 1100^\circ\text{C}$ ）、中温干馏（ $700\sim 900^\circ\text{C}$ ）和低温干馏（ $500\sim 600^\circ\text{C}$ ）。利用焦炉、连续式直立炭化炉或立箱炉等对煤进行干馏生产煤气，每吨煤大约产煤气 $300\sim 400\text{m}^3$ 。干馏煤气的主要成分是氢、甲烷、一氧化碳等，热值一般约为 $17.0\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右。干馏煤气的生产历史最长，目前仍被我国不少城市作为主气源。

2) 气化煤气。煤、焦炭或半焦在高温常压或加压下，与气化剂反应生成氢、一氧化碳等可燃性气体的过程称为煤的气化。气化剂主要是水蒸气、空气或它们的混合气。压力气化煤气、水煤气、发生炉煤气等均属此类。

① 压力气化煤气。在 $2.0\sim 3.0\text{MPa}$ 的压力下，以煤作为原料，采用纯氧和水蒸气为气化剂，可获得高压气化煤气。其主要组分为氢和甲烷，热值为 $15.1\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右。若城市附近有褐煤或长焰煤资源，可采用鲁奇炉生产压力气化煤气，一般建在煤矿附近，所以又称为坑口气化。压力气化煤气不需另外设置压送设备，用管道可直接将燃气输送至较远城镇作为城镇燃气使用。

② 水煤气和发生炉煤气。它们的主要组分为一氧化碳和氢，水煤气的热值约为 $10.5\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右，发生炉煤气的热值为 $5.4\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右。由于这两种燃气的热值低，一氧化碳含量高，不可以单独作为城镇燃气的气源，但可用来加热焦炉和连续式直立炭化炉，以顶

替热值较高的干馏煤气，也可以作为工业燃料。

(2) 油制气 油制气就是利用原油、重油、柴油或石脑油等制取城镇燃气，其工艺和装置具有投资较少，设备费用低，同样产量时，其设备投资仅为煤干馏炉的 20% 左右的优点。目前采用石油系原料制气总成本较炼焦煤气高，但在石油工业迅猛发展的形势下，利用石油系原料获得的城市燃气，尤其是利用价格低廉的重油来制气，可充分发挥投资少、上马快的特点。

按裂解制气的气化原理，油制气方法大致可分为热裂解法、催化裂解法、部分氧化裂解法、加氢裂解法四种。重油蓄热热裂解气以甲烷、乙烯、氢气和丙烯为主要组分，热值约为 41.9 MJ/m^3 。每吨重油的产气量为 $500 \sim 550 \text{ m}^3$ 。重油蓄热催化裂解气中氢的含量多，也含有甲烷和一氧化碳，热值为 $17.6 \sim 20.9 \text{ MJ/m}^3$ ，利用三筒炉催化裂解装置，每吨重油的产气量约为 $1200 \sim 1300 \text{ m}^3$ 。重油加氢裂解气中氢的含量最多，通常与加压纯氧部分氧化法结合起来可以混配得到一定热值的城市燃气。

(3) 高炉煤气 高炉煤气是高炉炼铁时的副产品，主要组分是一氧化碳和氮气，热值约为 $3.8 \sim 4.2 \text{ MJ/m}^3$ 。由于这种煤气热值低，而且毒性大，不可以单独作为城镇燃气的气源，但高炉煤气可用作炼焦炉的加热用气，也常用作锅炉的燃料或与焦炉煤气掺混用于冶金工厂的加热工艺。

3. 液化石油气

液化石油气有两个来源，在油气田，它是在冷却、加压过程中分离回收的产品；在炼油厂，它是炼油过程中的副产品。由于原油成分和性质不同、炼油厂的加工工艺和设备类型不同，液化石油气组分有较大的差别。目前国产的液化石油气主要来自炼油厂的催化裂化装置。液化石油气的主要成分是丙烷 (C_3H_8)、丙烯 (C_3H_6)、丁烷 (C_4H_{10}) 和丁烯 (C_4H_8)，习惯上又称 C_3 、 C_4 。除 C_3 、 C_4 主要成分外，还含有少量 C_2 、 C_5 、硫化物和水等杂质。

这些碳氢化合物在常温常压下呈气态，当压力升高或温度降低时，很容易转变为液态。从气态转变为液态，其体积约缩小 250 倍。气态液化石油气的热值约为 $92.1 \sim 12.1 \text{ MJ/m}^3$ ，液态液化石油气的热值约为 $45.2 \sim 46.1 \text{ MJ/kg}$ 。

液化石油气与天然气不同，属于二次能源，液化石油气的资源量取决于石油炼制能力和实际规模，同时液化石油气还来源于天然气，也与天然气的开发有一定联系。

4. 生物质气

由各种有机物质（如蛋白质、纤维素、脂肪、淀粉等生物质）制得的燃气称为生物质气，如沼气、秸秆气等。生物质气的原料是取之不尽、用之不竭的粪便、垃圾、杂草、酒糟、作物秸秆等有机物质，因此生物质气属于可再生能源。

有机物质在隔绝空气的条件下发酵，并在微生物（主要是甲烷细菌）的作用下产生的可燃气体，称为沼气。沼气中甲烷的体积分数约为 60%，二氧化碳的体积分数约为 35%，此外，还含有少量的氢、一氧化碳等气体。沼气的热值约为 21.0 MJ/m^3 。

生物质气化是将生物质固体燃料转化为生物质燃料气，气化得到的气体产物中，可燃气体主要是氢气和一氧化碳，副产品有液体焦油和灰渣。

二、按燃烧特性分类

当以一种燃气置换另一种燃气时，首先应该保证燃具热负荷在互换前后不发生大的改

变。当在燃烧器喷嘴前燃气压力 p_g 不变时, 燃具热负荷 Q 与燃气的热值 H 成正比, 与燃气的相对密度 S 的平方根成反比。因此, 意大利工程师华白提出反映燃气燃烧特性的热值和密度两个因素的燃气热负荷指数 W (称为一般华白指数), 以它作为控制燃气质量的参数, 并成为燃气互换性问题产生初期所使用的一个互换性判定指数。一般华白指数 W 为

$$W = \frac{H}{\sqrt{S}}$$

式中 W ——燃气的一般华白指数, MJ/m^3 ;

H ——燃气的高热值或低热值, MJ/m^3 。

如果两种燃气的热值和密度均不相同, 但只要它们的华白指数相等, 就能在同一燃气压力和同一燃具上获得相同的热负荷。各国一般规定两种燃气互换时华白指数的变化在 $\pm 10\%$ 。

国际燃气联盟 (IGU) 也制定了按华白指数对燃气进行分类的标准, 见表 1。

表 1 国际燃气联盟 (IGU) 燃气分类

分类	华白指数/ [MJ/m^3]	典型燃气
一类燃气	17.8 ~ 35.8	人工燃气
二类燃气	35.8 ~ 53.7	天然气
L 族	35.8 ~ 51.6	
H 族	51.6 ~ 53.7	
三类燃气	71.5 ~ 87.2	液化石油气

随着气源类型的进一步增多和燃气组分的复杂, 单用华白指数已不足以控制燃气质量, 这就推动了互换性研究的发展。当燃气的组分和性质变化较大, 或者掺入的燃气与原来的燃气性质相差较大时, 燃气的燃烧速度会发生较大的变化。仅用华白指数分类也不能判断燃气的互换性, 因而又提出燃烧速度指数——燃烧势 CP 来判断燃气的互换性, 它反映了燃气燃烧火焰所产生离焰、黄焰、回火和不完全燃烧的倾向性, 是一项反映燃具燃烧稳定状况的综合指标, 能更全面地判断燃气的燃烧特性。

燃烧速度指数 CP , 按下式计算

$$CP = \frac{ay_{\text{H}_2} + by_{\text{CO}} + cy_{\text{CH}_4} + ey_{\text{C}_m\text{H}_n}}{\sqrt{S}}$$

式中 CP ——燃烧速度指数, 即燃烧势;

y_{H_2} 、 y_{CO} 、 y_{CH_4} 、 $y_{\text{C}_m\text{H}_n}$ ——燃气中氢、一氧化碳、甲烷和其他碳氢化合物的体积分数;

a 、 b 、 c 、 e ——相应各燃气成分的系数; 通过实验确定。在 GB/T 13611—2006《城镇燃气分类和基本特性》中, 燃烧势按下式计算

$$CP = \frac{1.0y_{\text{H}_2} + 0.6y_{\text{CO}} + 0.3y_{\text{CH}_4} + 0.6y_{\text{C}_m\text{H}_n}}{\sqrt{S}}$$

$$K = 1 + 0.0054y_{\text{O}_2}^2$$

式中 K ——燃气中氧含量修正系数;

y_{O_2} ——燃气中氧的体积分数。

S ——燃气相对密度。

根据我国当前主要的城镇气源分布情况,参照 IGU 燃气分类制定了我国《城镇燃气分类和基本特性》标准。分类指标是国际上广泛采用的一般华白指数和燃烧势。表 2 列出了三大族十一类燃气的华白指数及燃烧势的标准和允许波动范围。

表 2 城镇燃气的类别及特性指标 (15℃, 101.325kPa, 干)

类别		高华白数 $W/[MJ/m^3]$		燃烧势 CP	
		标准	范围	标准	范围
人工燃气	3R	13.71	12.62 ~ 14.66	77.7	46.5 ~ 85.5
	4R	17.78	16.38 ~ 19.03	107.9	64.7 ~ 118.7
	5R	21.57	19.81 ~ 23.17	93.9	54.4 ~ 95.6
	6R	25.69	23.85 ~ 27.95	108.3	63.1 ~ 111.4
	7R	31.00	28.57 ~ 33.12	120.9	71.5 ~ 129.0
天然气	3T	13.28	12.22 ~ 14.35	22.0	21.0 ~ 50.6
	4T	17.13	15.75 ~ 18.54	24.9	24.0 ~ 57.3
	6T	23.35	21.76 ~ 25.01	18.5	17.3 ~ 42.7
	10T	41.52	39.06 ~ 44.84	33.0	31.0 ~ 34.3
	12T	50.73	45.67 ~ 54.78	40.3	36.3 ~ 69.3
液化石油气	19Y	76.84	72.86 ~ 76.84	48.2	48.2 ~ 49.4
	22Y	87.53	81.83 ~ 87.53	41.6	41.6 ~ 44.9
	20Y	79.64	72.86 ~ 87.53	46.3	41.6 ~ 49.4

注: 1. 3T、4T 为矿井气, 6T 为沼气, 其燃烧特性接近天然气

2. 22Y 高华白数 W 的下限值 $81.83MJ/m^3$ 和 CP 的上限值 44.9, 为体积分数 (%) $C_3H_8 = 55$, $C_4H_{10} = 45$ 时的计算值。

对于多气源的城市燃气互换性问题, 主要要求做到三点: 一是维持燃气热值稳定; 二是控制华白指数波动范围在 $\pm 10\%$ 以内; 三是控制燃烧速度指数 (燃烧势) 变化范围。

三、气源选择

1. 气源发展历程

虽然中国是世界公认的最早应用天然气的国家, 但燃气真正大规模的应用起始于 18 世纪英国工业革命。各国燃气工业发展大都经历了煤制气、油制气、液化石油气到天然气的过程。

1865 年, 英国商人在上海建立了中国第一座煤气厂。1949 年以前, 中国只有 9 个城市能够供应煤制气。新中国成立后, 燃气工业得到了较快的发展, 中国现代燃气工业经历了三个阶段。

20 世纪 80 年代以前, 在国家钢铁工业大发展的带动下和国家节能资金的支持下, 全国建成了一批利用焦炉余气以及各种煤制气的城市燃气利用工程, 许多城市建设了管网等燃气设施。这一阶段以发展煤制气为主, 取得了普及用户、增加燃气供应量的成绩。

20 世纪 80 年代至 90 年代前期, 液化石油气和天然气得到了很快的发展, 形成了煤制气、液化石油气和天然气等多种气源并存的格局。同时, 出现了国内现有资源难以满足城市

发展和经济建设需求的情况。由于国家准许液化石油气进口并逐步取消了配额限制,广东等沿海较发达、但能源缺乏的地区首先使用了进口液化石油气。液化石油气小区管道供应方式的广泛应用,也为液化石油气扩展了应用领域。

20世纪90年代后,随着天然气的勘探、开发,以陕甘宁天然气进北京为代表的天然气供应拉开了序幕,中国城镇天然气的应用进入前所未有的发展阶段。特别是西气东输工程的实施,标志着天然气时代已经来临。

随着国民经济的快速发展,改变能源结构、改善大气质量已引起政府和社会各界的广泛关注。人工煤气由于成本高、气质差以及气源厂在生产过程中污染环境等问题,正在逐步退出人们的视线。天然气作为一种清洁、高效的能源正越来越受到人们的青睐。特别是近年来,我国陆上和海上天然气探明储量快速增长,有力地促进了中国天然气的开发和利用,改变了天然气在城市燃气配送中所占的比例,成为城市燃气的主角。

预计今后10~20年间将是中国天然气开发利用呈现跨越式发展的时期,天然气的利用和天然气工程的建设都将会有较大的增长和发展。在未来20年,中国能源消费构成中,天然气的消费增长速度最快,预计平均每年增长速度可达9%~10%,天然气在整个能源消费结构中所占比例将明显提高。

2. 气源选择

目前,世界城市燃气主要由天然气、煤制气、液化石油气、生物质气等组成。它们的来源不同、生产方法各异,当然有不同的组分和热值。不同国家、不同地域,因经济发展的程度不同以及储藏的资源不同,城市燃气选择的气源也不一样。发达国家主要将天然气作为城市燃气,发展中国家则依据当地能源状况选择气源。我国地域辽阔、人口众多,属于发展中国家,采取多元化的城市燃气比较合理。

根据各地资源情况,综合考虑当地的经济条件、气候条件、环保要求及燃气需用量等,探究取得气源的可能性。一般要提出两个或两个以上的方案,进行技术经济比较后,选择最经济有效的气源形式。要尽量选取高热值、低污染的清洁燃气作为城镇气源。

天然气热值高、污染低,是理想的城镇气源,应作为首要考虑对象。特别是在天然气富集的地区以及周围,或在人口集中、经济发达、能源消耗集中的直辖市、省会城市、大型城市、旅游城市及沿海经济发达地区,应优选天然气供应。

随着我国天然气资源的不断勘探、开发和管线建设,天然气在城市燃气中将占有越来越多的份额,将成为未来城市燃气的主要组成部分。城市天然气利用的发展规模和速度,应与经济发展和人民生活水平的提高相适应,并考虑全区域的能源利用以及天然气对城市建设、区域经济发展的关系和影响。

液化石油气具有投资少、设备简单、建设速度快、供应方式灵活等特点,随着我国石油工业的发展,液化石油气已成为一些城镇和城镇郊区、独立居民小区及工矿企业的主要应用气源。目前,液化石油气大多采用瓶装供应,并且在一些城市使用增长较快。如果新建城市燃气管网以后要与天然气干线相接,则在建设初期可用液化石油气掺混空气作为基本气源,这样在改用天然气时,燃气分配管网及附属设备都可以不经大的改换而继续使用。液化石油气掺混空气作为高峰负荷及事故处理时的调峰气源、补充气源或者天然气过渡气源时,必须考虑燃气的互换性。

在盛产煤的地区,对煤进行深加工,生产煤制气供应城市,是一种减少污染、提高能源

利用率的办法。在过去一段时间内，煤制气是我国一些城镇燃气的重要气源形式。现在仍有很多城市保留煤制气生产设备，作为天然气前的过渡气源，也可掺混其他燃气，进行混配供应。

生物质气常作为乡镇供气的气源。

对于资源匮乏的地方可以多种途径、灵活机动地利用能源，比如选择压缩天然气、液化天然气、液化石油气掺混空气等方式发展城镇燃气。

3. 气源转换与混配

对于大中型城市，应根据气源来源、气源规模、用气负荷分布等情况，在可能的情况下，力争安排两个以上的气源，并应保证气源符合规范规定的城镇燃气质量要求。

一个城镇或地区随着燃气需求量的不断增长，燃气供应规模加大，常常会遇到这样两种情况：一种是原来使用的燃气要由其他性质不同的燃气所代替，即发生气源转换；另一种是在多气源共存的情况下，需要将不同的燃气进行混配供应。

一般情况下，当需要进行气源转换时，特别是新的气源与原来的气源性质有较大的差异时，燃气供应系统的设施与用户燃烧设备都要进行相应的改变。

当城镇存在多种气源时，在基本气源发生紧急事故或者用气高峰时，为满足用户需求，有时要在供气系统中掺混其他燃气进行混配，这种混配一般是临时性的。但也有一些城镇，在扩大供气规模、引进新的气源时，为了使用户能继续使用原有燃具，要对各种燃气进行混配，以得到一种与原有气源性能接近的适用燃气，这种混配一般是长期、稳定的。

不管是哪种混配，为使管网及燃具正常工作，都要求新的燃气（置换气）与原有燃气（基准气）符合互换性条件。当需要进行气源转换与混配时，除了要进行理论分析及计算以外，还应进行大量的实验研究。

第一篇 天然气

天然气是指通过生物化学作用及地质变质作用，在不同的地质条件下生成、运移，并于一定压力下储集在地质构造中的可燃气。通常根据形成条件不同，分为油田伴生气、气田气及凝析气田气。天然气是一种混合气体，其组成随气田和产气层位置不同而异。其中气田气的主要成分为甲烷，乙烷以上的烃类较少，同时还含有少量硫化氢、二氧化碳、氮、水蒸气以及氦、氩等非烃类组分；油田伴生气除含大量甲烷外，乙烷以上的烃类含量较高；凝析气田气除含大量甲烷外，戊烷以上烃类含量较高，并含有汽油和煤油组分。

天然气通常采用长距离输气管道、压缩天然气（CNG）、液化天然气（LNG）等供应方式。本篇第一章至第六章讲述输气管道供应系统，第七章讲述压缩天然气供应；第八章讲述液化天然气供应。

长距离输气管道系统通常由矿场集输系统、输气管道及输气站组成。矿场集输系统包括井场装置、集气站、净化处理厂、矿场压气站等。其中，天然气净化包括脱凝析油、脱水、脱硫及脱碳等。输气站由首站、中间站及末站组成。天然气输气管道系统如图1所示。

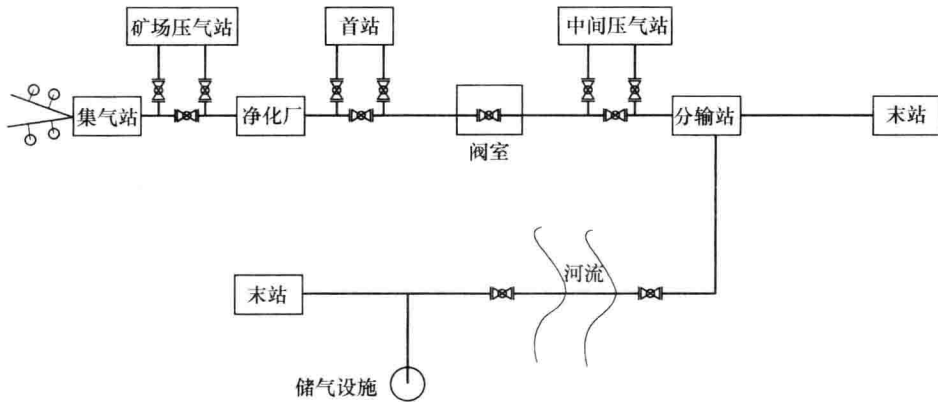
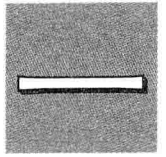


图1 天然气输气管道系统

压缩天然气和液化天然气一般通过车或船运输，可以作为天然气长输管道建成前的城市气源，长输管道建成后的压缩天然气和液化天然气改为备用气源，同时也能为汽车提供燃料。因其供应方式灵活，应用越来越广泛。



第一章

天然气矿场集输与净化

第一节 天然气开采

一、天然气的生成

天然气是由有机物质生成的，这些有机物质是海洋和湖泊中的动、植物遗体，在特定环境中经物理和生物化学作用而形成分散的碳氢化合物——天然气。

1. 天然气的储集

天然气生成之后，储集在地下岩石的孔隙、裂缝中。能储存天然气并能使天然气在其内部流动的岩层，称为储气岩层，又叫储集层。储集层是天然气气藏形成不可缺少的重要条件。

2. 天然气气藏的形成

天然气生成之后，是呈分散状态存在于储集层中。要形成气藏，除了有良好的储集层外，还要有合适的盖层条件、气体的迁移和聚积的过程等。

盖层是指储集层以上的不渗透层，它能阻止天然气的逸散。常见的盖层有泥岩、页岩、岩盐及致密石灰岩等。

天然气在地壳内的迁移，除了天然气本身具有流动性外，还是压力、水动力、重力、分子力、毛细管力、细菌作用以及岩石再结晶等多种外力因素作用的结果。

天然气的聚集是天然气生成和迁移过程的继续。在自然界中，天然气由分散状态到聚集起来的条件是：多孔隙，多裂缝的储集层，不渗透盖层所形成拱形面；在地层中形成各种圈闭。

天然气在迁移过程中如果受到某一遮挡物遮挡会停止移动，并聚集起来。储集层中这种有遮挡物存在的地段称为圈闭。因此，圈闭是储集层中能富集天然气的容器。当一定数量的天然气在圈闭内聚集后，就形成了气藏。如果同时聚集了石油和天然气，则称为油气藏。

有一个或几个气藏就组成一个气田。就竖向而言，气田可以是单层或多层的。

二、天然气开采

1. 天然气的钻井、固井及完井

(1) 钻井 钻井是采用高速回转式钻机或涡轮式钻机，通过钻头破碎岩石，以实现钻开地层的过程。钻头是破碎岩石的主要工具，衡量钻井速度的主要指标是钻头进尺和机械钻井速度。提高钻头进尺便减少了取下钻头的次数，缩短了总钻井时间；而提高机械钻井速度

则直接缩短钻井时间。因此，常用这两项指标评定钻井速度。

采用回转式钻机钻井时，钻机是由一台位于地面的电动机（或柴油机）通过钻杆、钻链及接头等部件所组成的钻柱将动力传递给钻头，带动钻头旋转，并借助钻链的重量加压破碎岩石。由泥浆泵输送出的洗井液通过钻柱送到井底，从钻头水眼中喷出，辅助钻头破碎岩石，携带岩屑并冷却钻头，以改善钻头的工作条件。带着岩屑的洗井液从钻柱与井壁的空隙中回至地面。回转式钻机钻井过程中有很大一部分动力消耗在钻柱的旋转上，而采用涡轮式钻机就可以消除此缺陷。因为涡轮式钻机是将涡轮与钻头同时放到井中，由泥浆泵送出的高压液流通过钻柱将动力传递给涡轮，驱动涡轮转动，从而带动钻头旋转，以破碎岩石。

在钻井过程中，洗井液的使用十分重要。其作用是携带、悬浮岩屑，冷却、润滑钻头和钻具，清洗井底，防止井喷，保护井壁，在涡轮钻机钻井时还能起到传递动力作用。通常采用的洗井液是泥浆，所用泥浆相对密度为 1.2 ~ 1.4。对于高压气层，需用重晶石粉（ BaSO_4 ）或石灰石粉（ CaCO_3 ）作为加重剂来提高泥浆密度。

旋转钻井法示意图如图 1-1 所示。

(2) 固井 在钻井过程中，常会遇到井漏、井喷和井塌等复杂情况，严重时会造成事故，影响钻井作业，甚至使气井报废。因此，为了封堵钻井过程中钻穿的水层、气层，防止井壁垮塌，采用套管加固井身的过程称为固井。3000m 以内的气井常采用 3 层套管固井，即表层套管、技术套管和生产套管，如图 1-2 所示。对特别深的井，采用 4 层套管，即多一层技术套管。

最外一层为表层套管。它的作用除了防止井中上部不稳定的松软地层坍塌和上面水层中的水流到井中外，还用它安装井口装置，控制井喷及支承技术套管和生产套管的重量。表层套管下入的深度应根据不同情况有几十米至几百米，一般为 200m 左右。表层套管通常用水泥浆封隔地层与管壁间的缝隙。这一过程称为水泥浆返高，水泥浆通常返至地面。

次外层为技术套管。用以隔绝地层水，防止地层水流入井中及封隔泥浆漏失，防止地层坍塌。技术套管可以是一层，也可以是两层或两层以上，有时也可以不用技术套管。技术套管的水泥浆返高，一般要返至封隔地层上面 100m 以上。对于高压气井，为防止漏气，

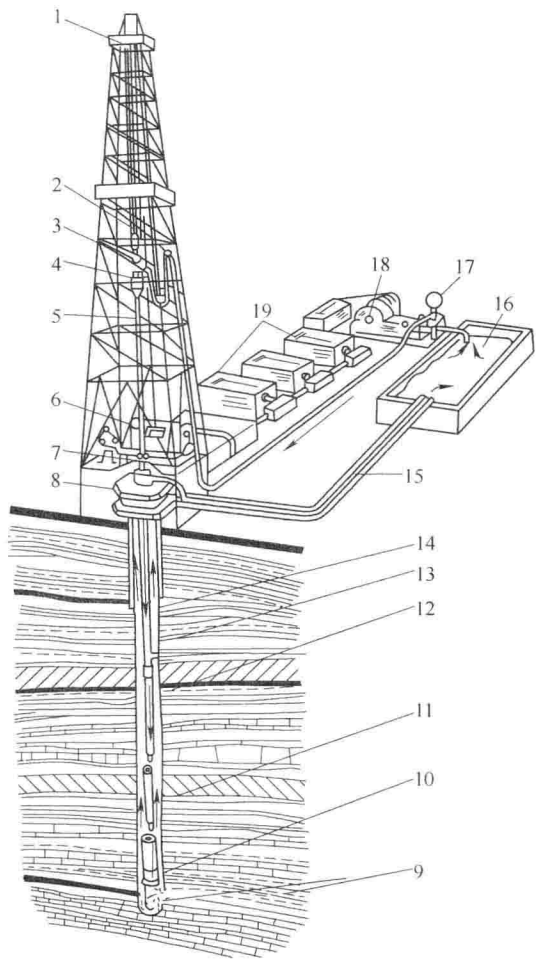


图 1-1 旋转钻井法示意图

- 1—天车 2—游动滑车 3—吊钩 4—水龙头
5—方钻 6—绞车 7—转盘 8—防喷器
9—钻头 10—泥浆 11—铤 12—钻柱
13—井眼 14—表层套管 15—泥浆槽
16—泥浆池 17—空气泵 18—泥浆泵 19—动力机