

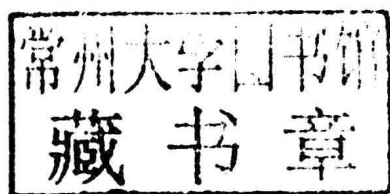
燃气输配工程技术手册

张志贤 黄柏枝 主编
黄崇国 主审

中国建筑工业出版社

燃气输配工程技术手册

张志贤 黄柏枝 主编
黄崇国 主审



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气输配工程技术手册/张志贤, 黄柏枝主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-112-17599-4

I. ①燃… II. ①张…②黄… III. ①煤气输配-技术手册 IV. ①TU996.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 292360 号

本书包括的主要内容有: 燃气的分类及性质、燃气输配工程技术规范简介、燃气长输管道、燃气管道穿跨越工程、站内工艺管道、城镇燃气管道、液化石油气供应、天然气供应、城镇燃气输配工程施工、室内燃气管道安装等内容。本书是关于燃气输配技术的综合性的技术书籍, 密切与现行标准、规范相联系、相融合, 实用性很强。是广大工程技术人员必备的工具书。

本书可供从事燃气工程规划、设计、施工、运营人员使用, 还可供各级大专院校相关专业师生及行业管理部门参考。

责任编辑: 胡明安

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 党 蕾

燃气输配工程技术手册

张志贤 黄柏枝 主编

黄崇国 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27 字数: 672 千字

2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月第一次印刷

定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-17599-4

(26821)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

编写委员会主任：宋小华

编写委员会副主任：孙国勋 宋 健 陈广玉

编写委员会委员：李学珍 孙保兴 陆永前 高 茜 汪 鹏
杨国华 杨正东 孙志强 滕如庆 黄本利
黄本波 刘 冬 孙旭东 孙朝兴 孙 科
沈中义 咸国权 谈志勤 杨国富 罗宏飞
陶 健 史俊杰 黄晓舒 芮云峰 杨 显
宋 艳 王忠霞 丁月琴

主 编：张志贤 黄柏枝

主 审：黄崇国

前 言

燃气通常可以分为天然气、人工燃气、液化石油气和生物气（或称生物质气）等。广义的天然气是指埋藏在地层中自然形成的气体的总称。

通常所称的天然气是指常规天然气，即贮存于地层较深部位的一种富含碳氢化合物的可燃气体。与石油共生的天然气，常称为油田伴生气。

页岩气是从页岩层中开采出来的天然气，是一种重要的非常规天然气资源。页岩气正在成为搅动世界能源市场的力量，国际能源界称之为“博弈改变者”的气体，将极大地改写世界的能源格局。

我国有丰富的天然气资源，主要在塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地以及华北、渤海湾、四川、东海、珠江口、南海等地区。近 10 年来天然气资源的开发和利用飞速发展，取得了极大的经济效益，提高了城乡居民的生活质量，并改善了环境。我国除了长期以来的海上运输（包括 LNG——液化天然气）以外，还从俄罗斯和中亚国家陆路输入天然气，已有数条长输管道在运营，来自中亚的 D 线输气管线和来自俄罗斯的西线输气管线正在建设之中。从缅甸到云南的石油、天然气长输管线已建成并投入运营。

为了促进燃气输配工程技术的发展，近年来国家颁发了有关燃气长输管道工程和城镇燃气输配工程的一系列规范、规程，我们编写这本技术手册，尽可能与当前相关规范、规程、标准相一致，做到与时俱进。我们认为，如果只是从老概念、老经验出发或作教科书式的原理性阐述，成书后必然会与现行技术法规脱节，甚至可能误导读者。

本书是关于燃气输配技术的综合性实用性技术书籍，密切与现行标准、规范相联系、相融合，除供规划、设计、施工、运营人员使用外，还可供各级院校相关专业师生及行业管理部门参考。

由于我们理论水准有限，实践经验也有一定局限性，尽管做了较大努力，不足之处在所难免，希望专家及同行们教正。

在编写过程中，得到了江苏华能建设工程集团有限公司、中建二局安装工程有限公司、浙江宝业集团有限公司设备安装公司的大力支持和协助，在此深表谢忱。

编 者

目 录

1 燃气的分类及性质	1
1.1 燃气的分类	1
1.1.1 燃气的气源分类	1
1.1.2 燃气的燃烧特性分类	5
1.2 燃气的特性	6
1.2.1 燃气的特点	6
1.2.2 燃气的性质	7
1.2.3 常用燃气成分的性质	12
1.2.4 燃气中的杂质	12
1.2.5 燃气的质量指标	16
1.2.6 燃气的加臭	17
2 燃气输配工程技术规范简介	19
2.1 燃气长输管道技术规范	19
2.1.1 输气管道工程设计规范	19
2.1.2 油气输送管道穿越工程设计规范	19
2.1.3 油气输送管道跨越工程设计规范	19
2.1.4 油气长输管道工程施工及验收规范	20
2.1.5 油气输送管道穿越工程施工规范	20
2.1.6 油气输送管道跨越工程施工规范	20
2.1.7 油气输送管道穿越工程施工质量验收规范	21
2.1.8 石油天然气站内工艺管道工程施工规范	21
2.2 城镇燃气技术规范	21
2.2.1 城镇燃气技术规范	21
2.2.2 城镇燃气设计规范	22
2.2.3 城镇燃气输配工程施工及验收规范	22
2.2.4 城镇燃气室内工程施工与质量验收规范	23
2.2.5 聚乙烯燃气管道工程技术规程	23
2.2.6 城镇燃气管道非开挖修复更新工程技术规程	24
2.2.7 城市燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程	24
3 燃气长输管道	25
3.1 燃气长输管道系统	25
3.1.1 燃气长输管道系统的构成	25
3.1.2 燃气长输管道的基本规定	29
3.1.3 输气管道的线路	33
3.1.4 路阀门、构筑物及标志	34
3.1.5 管材与管道附件	35

3.1.6 输气站	38
3.1.7 天然气的地下储存	39
3.2 燃气长输管道施工准备	43
3.2.1 测量放线	43
3.2.2 作业带清理	48
3.2.3 施工便道修筑	49
3.3 燃气长输管道施工程序	50
3.3.1 材料运输及保管	50
3.3.2 管道敷设方式	51
3.3.3 管道坡口、组对及焊接	56
3.4 管道防腐	63
3.4.1 现行行业标准的规定	63
3.4.2 除锈要求	64
3.4.3 除锈方法	66
3.4.4 对长输天然气管道的腐蚀的认识	69
3.4.5 石油沥青腐蚀层	71
3.4.6 环氧煤沥青防腐层	75
3.4.7 煤焦油瓷漆防腐层	80
3.4.8 聚乙烯防腐层	88
4 燃气管道穿跨越工程	104
4.1 燃气管道穿越工程	105
4.1.1 穿越用钢管	105
4.1.2 几种穿越类型	106
4.1.3 挖沟法穿越	107
4.1.4 顶管穿越	109
4.1.5 水平定向钻法穿越	124
4.1.6 其他穿越方式简介	129
4.1.7 清管、试压	131
4.2 燃气管道跨越工程	138
4.2.1 管道跨越工程简介	138
4.2.2 跨越结构术语与分级	142
4.2.3 基本规定	143
4.2.4 材料与配件	144
4.2.5 测量放线	146
4.2.6 关于基础和塔架施工	149
4.2.7 实际工程中的几种跨越形式	150
4.3 燃气管道穿跨越工程质量验收	155
4.3.1 一般规定	155
4.3.2 大开挖穿越	161
4.3.3 定向钻穿越	164
4.3.4 顶管隧道穿越	166
4.3.5 悬吊式管桥跨越	168

4.3.6	拱式管桥跨越	169
4.3.7	桁架式管桥跨越	169
5	站内工艺管道	170
5.1	设备、附件、材料的检验	170
5.1.1	一般规定	170
5.1.2	撬装设备、材料和附件的检验	171
5.2	设备及管道安装	178
5.2.1	撬装设备、法兰及管道附件的储存	178
5.2.2	管道预制	179
5.2.3	管道安装	180
5.2.4	焊接	183
5.2.5	管道附件	190
5.2.6	管道吹扫、冲洗与试压	194
5.2.7	关于防腐和保温	199
6	城镇燃气管道	200
6.1	概述	201
6.1.1	总体要求	201
6.1.2	城镇燃气设施的性能	201
6.1.3	燃气质量及相关要求	203
6.1.4	燃气厂站	205
6.1.5	燃气管道和调压设施	210
6.1.6	燃气汽车运输	213
6.1.7	燃具和用气设备	214
6.2	城镇燃气储存	216
6.2.1	城镇燃气储气设施	216
6.2.2	高压储气罐	217
6.2.3	低压储气罐	219
6.2.4	燃气储配站	223
6.3	城镇燃气输配系统	226
6.3.1	镇燃气管网的分类及选择	227
6.3.2	镇燃气管网图式举例	230
6.3.3	压力大于 1.6MPa 的室外燃气管道（高压燃气管道）	234
6.3.4	压力不大于 1.6MPa 的室外燃气管道（中低压燃气管道）	237
6.3.5	门站和储配站选址与布置	241
6.3.6	燃气管道的调压	245
6.3.7	燃气管道和储罐防腐	249
6.4	城镇燃气管道的试验与验收	251
6.4.1	一般要求	251
6.4.2	燃气管道吹扫	252
6.4.3	强度试验	252
6.4.4	严密性试验	253

7 液化石油气供应	255
7.1 液化石油气供应简述	255
7.1.1 液化石油气的性质	255
7.1.2 适用范围	257
7.1.3 液化石油气的供应、输送系统	257
7.2 液态液化石油气	261
7.2.1 液态液化石油气输送系统	261
7.2.2 烃泵及安装	269
7.2.3 液态液化石油气的气化	278
7.2.4 液化石油气的管道供应	283
7.3 液化石油气混空气供应	285
7.3.1 混合气的特点和基本参数	285
7.3.2 液化石油气与空气的混合方式	285
7.3.3 气化间、混气间的布置	291
8 天然气供应	293
8.1 压缩天然气供应	293
8.1.1 压缩天然气简述	293
8.1.2 压缩天然气加气站	295
8.1.3 压缩天然气储配站	299
8.1.4 压缩天然气瓶组供气站	304
8.1.5 压缩天然气管道	305
8.2 液化天然气供应	305
8.2.1 液化天然气气化站	306
8.2.2 液化天然气瓶组气化站	309
8.2.3 液化天然气储罐、管道	309
8.2.4 液化天然气气化站实例	311
8.3 汽车加气站	316
8.3.1 CNG 加气站	316
8.3.2 CNG 加气子站	321
8.3.3 液压式加气子站	324
8.3.4 CNG 加气站的安全保护	326
8.4 L-CNG 加气设施	327
8.4.1 LNG 储罐	327
8.4.2 泵和气化器	329
8.4.3 LNG 卸车和加气	330
9 城镇燃气输配工程施工	334
9.1 概述	334
9.2 管道沟槽与钢管防腐	334
9.2.1 沟槽开挖前的工作	334
9.2.2 关于钢管防腐	338
9.3 埋地钢管及铸铁管敷设	338
9.3.1 钢管埋地敷设	338

9.3.2 球墨铸铁管敷设	341
9.4 燃气用聚乙烯管及复合管	345
9.4.1 聚乙烯管及管件	345
9.4.2 钢骨架聚乙烯复合管及管件	357
9.4.3 钢丝缠绕网骨架聚乙烯复合管及管件	367
9.4.4 聚乙烯管及复合管敷设	373
9.4.5 聚乙烯管及复合管的连接	377
9.4.6 聚乙烯管及复合管敷设	384
9.4.7 聚乙烯管道的试验与验收	386
9.5 燃气管道非开挖修复更新	387
9.5.1 城镇燃气管道非开挖修复的基本要求	388
9.5.2 燃气管道插入法修复	390
9.5.3 现场成型折叠管内衬法修复	392
9.5.4 工厂预制成型折叠管内衬法修复	393
9.5.5 翻转内衬法修复	397
9.5.6 裂管法更新	398
10 室内燃气管道安装	400
10.1 基本规定	400
10.1.1 室内燃气管道工程范围	400
10.1.2 室内燃气工程施工基本规定	400
10.2 室内燃气管道安装	402
10.2.1 一般规定	402
10.2.2 引入管安装	404
10.2.3 室内燃气管道安装	405
10.2.4 燃气计量表的安装	412
10.2.5 燃具的安装	415
10.3 室内燃气管道的试验与验收	417
10.3.1 一般规定	417
10.3.2 强度试验	418
10.3.3 严密性试验	419
主要参考文献	422

1 燃气的分类及性质

1.1 燃气的分类

日常生活使用的燃气，按燃气的种类通常可以分为天然气和人工燃气、液化石油气、生物气（或称生物质气）等。

天然气和各种人工燃气由不同成分的可燃气体组成，这些可燃气体的成分及其分子式为：氢（ H_2 ）、一氧化碳（ CO ）、甲烷（ CH_4 ）、乙烯（ C_2H_4 ）、乙烷（ C_2H_6 ）、丙烯（ C_3H_6 ）、丙烷（ C_3H_8 ）、丁烯（ C_4H_8 ）、丁烷（ C_4H_{10} ）、戊烯（ C_5H_{10} ）、戊烷（ C_5H_{12} ）、苯（ C_6H_6 ）等；惰性气体有氮（ N_2 ）及其他不活泼气体；混合气体有水蒸气（ H_2O ）、二氧化碳（ CO_2 ）、氨气（ NH_3 ）、氰化氢（ HCN ）和硫化氢（ H_2S ）等。

1.1.1 燃气的气源分类

1. 天然气

广义的天然气系埋藏于地层中自然形成的气体的总称。

通常所称的天然气是指常规天然气，即贮存于地层较深部的一种富含碳氢化合物的可燃气，而与石油共生的天然气，常称为油田伴生气。天然气由亿万年的有机物质转化而来，主要成分是甲烷，此外根据不同的地质形成条件，还含有不同数量的乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷等低碳烷烃以及二氧化碳、氮气、氢气、硫化物等非烃类物质，有的气田中还含有氦气。

页岩气是从页岩层中开采出来的天然气，是一种重要的非常规天然气资源。页岩气正在成为搅动世界能源市场的力量。这种被国际能源界称之为“博弈改变者”的气体，极大地改写了世界的能源格局。后面将单独介绍。

天然气一般可分为：（1）从气井开采出来的气田气或称纯天然气；（2）伴随石油一起开采出来的称石油气或石油伴生气；（3）含石油轻质馏分的凝析气田气；（4）从井下煤层抽出的煤矿矿井气。

天然气主要是由低分子的碳氢化合物组成的混合物。气田气的组分以甲烷为主，甲烷含量在 90% 以上，还含有少量的二氧化碳、硫化氢、氮和微量的氦、氖、氩等气体。发热值约为 $33400\sim 36300\text{kJ}/\text{m}^3$ 。石油伴生气的甲烷含量约为 80%，乙烷、丙烷和丁烷等含量约为 15%，低发热值约为 $41900\text{kJ}/\text{m}^3$ 。凝析气田气除含有大量甲烷外，还含有 2%~5% 戊烷及戊烷以上的碳氢化合物，低发热值约为 $48400\text{kJ}/\text{m}^3$ 。矿井气的主要可燃组分是甲烷，其含量随采气方式而变化，低发热值约为 $18800\text{kJ}/\text{m}^3$ 。

天然气不仅是理想的优质燃料气，还是制取合成氨、炭黑、乙炔等化工产品的原料气。由于开采、储运和使用天然气既经济又方便，天然气工业在世界范围内有了很大的发展。21 世纪初，天然气将取代石油成为主导能源。有些天然气资源缺乏的国家通过进口天然气或液化天然气以发展城镇燃气事业。液态天然气的体积为气态时的 1/600，有利于运输和储存。

我国有丰富的天然气资源量。包括：塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地以及华北、渤海湾、四川、东海、珠江口、南海等地区。据估计，中国天然气储量超过30万亿~40万亿 m^3 。我国天然气资源的开发虽然有了很大的发展，但与我国的巨大需求相比，还是不够的，除了长期以来的海上运输以外，我国还从俄罗斯和中亚国家陆路进口天然气，已有数条长输管道在运营。从缅甸到昆明的石油、天然气长输管道已建成并投入运营。

2. 人工燃气

人工燃气是指从固体或液体燃料加工所生产的可燃气体，根据制气原料和制取方式的不同，可生产多种类型的人工燃气。

(1) 固体燃料干馏煤气

固体燃料干馏煤气是利用焦炉、连续式直立炭化炉或立箱炉等对煤进行干馏，所获得的煤气称为干馏煤气。用干馏方式生产煤气，每吨煤可产300~400 m^3 煤气。这类煤气中甲烷和氢的含量较高，低发热值一般在16700 kJ/m^3 左右。干馏煤气的生产历史最长，目前仍是我国一些城镇燃气的主要气源之一。

(2) 固体燃料气化煤气

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2.0~3.0MPa的压力下，以煤作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；发热值在15100 kJ/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，这套装置可建立在煤矿附近（一般称为坑口气化），不需另外设置压送设备，可用管道直接将煤气输送至较远的城镇作为城镇燃气使用。

2) 水煤气和发生炉煤气。水煤气和发生炉煤气的主要组分为一氧化碳和氢，水煤气的发热值为10500 kJ/m^3 左右，发生炉煤气的发热值仅为5400 kJ/m^3 左右。由于这两种煤气的发热值较低，而且毒性大，不可以单独作为城镇燃气的气源，但可用来加热焦炉或连续式直立炭化炉，以顶替出发热值较高的干馏煤气，增加供应城镇的气量，也可以和干馏煤气、重油蓄热裂解气掺混，调节供气量和调整煤气发热值，作为城镇燃气的补充气源或调峰气源。

(3) 油制气

可以利用重油（炼油厂提取汽油、煤油和柴油之后所剩的油品）制取城镇燃气。生产油制气的装置简单，投资省，占地少，建设速度快，管理人员少，启动、停炉灵活，既可作城镇燃气的基本气源，也可作城镇燃气的调度气源。

按制取方法不同，可分为重油蓄热热裂解气和重油蓄热催化裂解气。重油蓄热热裂解气以甲烷、乙烯和丙烯为主要组分，发热值约为41900 kJ/m^3 。每吨重油的产气量约为500~550 m^3 。重油蓄热催化裂解气中氢的含量最多，也含有甲烷和一氧化碳，发热值约在17600~20900 kJ/m^3 左右，利用三筒炉催化裂解装置，每吨重油的产气量约为1200~1300 m^3 。

中、小燃气厂也可以用石脑油（粗汽油）作为制气原料，与重油相比，石脑油有如下优点：含硫少，不生成焦油，烟尘及污水等公害问题少，气化效率高，而且石脑油催化裂解制气转换一氧化碳也比较简单。

(4) 高炉煤气

高炉煤气是钢铁厂炼铁时的副产气，主要组分是一氧化碳和氮气，发热值较低，约为3800~4200kJ/m³。

高炉煤气可用作炼焦炉的加热煤气，以取代焦炉煤气，将焦炉煤气供应城市。高炉煤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。

高炉煤气仅是人工燃气的一种，不能作为城镇燃气。

3. 液化石油气

液化石油气是开采和炼制石油过程中，作为副产品而获得的一部分碳氢化合物。

目前国产的液化石油气主要来自炼油厂的催化裂化装置。液化石油气产量通常约占催化裂化装置处理量的7%~8%。液化石油气的主要成分是丙烷、丙烯、丁烷和丁烯，习惯上又称C₃、C₄，即只用烃的碳原子(C)数表示。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，其体积约缩小至原来的1/250。气态液化石油气的发热值约为92100~121400kJ/m³。液态液化石油气的发热值约为45200~46100kJ/kg。

液化石油气中的烯烃部分可作化工原料，而其烷烃部分可用作燃料。近年来，国外不少城市还用它作为汽车燃料，该项技术在我国也得到了重视和开发。由于在燃气事业中，发展液化石油气投资省、设备简单、供应方式灵活、建设速度快，所以液化石油气供应事业发展很快，是我国城镇燃气的主要品种之一。

4. 生物质气

各种有机物质，如蛋白质、纤维素、脂肪、淀粉等，在隔绝空气的条件下发酵，并在微生物的作用下产生的可燃气，叫做生物质气（沼气）。发酵的原料是取之不尽、用之不竭的粪便、垃圾、杂草和落叶等有机物质，因此生物质气属于可再生能源。生物质气的组分中甲烷的含量约为60%，二氧化碳约为35%，此外，还含有少量的氢、一氧化碳等气体。生物质气的发热值约为21700kJ/m³。生物质气（沼气）适用于我国南方广大农村地区的农户使用，无法作为城镇燃气气源集中供气。

总之，除了生物质气（沼气）属于可再生能源外，无论天然气还是多种人工燃气、液化石油气，都属于不可再生能源，是大自然在漫长的地质年代中形成的，是大自然对人类的恩惠，都应当倍加珍惜。各种燃气的组分及低发热值举例见表1-1。

燃气的组分及低发热值 表 1-1

序号	燃气类别	组分(体积%)									低发热值 (kJ/m³)
		CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _m H _n	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	
一	天然气										
1	纯天然气	98	0.3	0.3	0.4					1.0	36220
2	石油伴生气	81.7	6.2	4.86	4.94			0.3	0.2	1.8	45470
3	凝析气田气	74.3	6.75	1.88	14.9			1.62		0.55	48360
4	矿井气	52.4						4.6	7.0	36.0	18840
二	人工燃气										
(一)	固体燃料干馏煤气										
1	焦炉煤气	27			2	6	56	3	1	5	18250
2	连续式直立炭化炉煤气	18			1.7	17	56	5	0.3	2	16160
3	立箱炉煤气	25				9.5	55	6	0.5	4	16120

续表

序号	燃气类别	组分(体积%)									低发热值 (kJ/m³)
		CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _m H _n	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	
(二)	固体燃料气化煤气										
1	压力气化煤气	18			0.7	18	56	3	0.3	4	15410
2	水煤气	1.2				34.4	52.0	8.2	0.2	4.0	10380
3	发生炉煤气	1.8		0.4		30.4	8.4	2.4	0.2	56.4	5900
(三)	油制气										
1	重油蓄热热裂解气	34.0	8.3	1.5	28.7	3.8	16.7	3.6	0.4	3.0	41530
2	重油蓄热催化裂解气	16.6			5	17.2	46.5	7.0	1.0	6.7	17540
(四)	高炉煤气	0.3				28.0	2.7	10.5		58.5	3940
三	液化石油气(概略值)		50	50							108440
四	生物质气(沼气)	60				少量	少量	35	少量		21770

5. 页岩气

页岩气特指赋存于页岩中的天然气，是一种以游离或吸附状态藏身于页岩层或泥岩层中的非常规天然气。页岩亦属致密岩石，故也可归入致密气层气。

这种被国际能源界称之为“博弈改变者”的气体，极大地改写了世界的能源格局。页岩气正在成为搅动世界能源市场的力量。

页岩气的形成和富集有着自身独特的特点，往往分布在盆地内厚度较大、分布广的页岩烃源岩地层中。与前述常规天然气相比，页岩气开发具有开采寿命长和生产周期长的优点，大部分产气页岩分布范围广、厚度大，且普遍含气，这使得页岩气井能够长期以稳定的速率产气。

页岩气取得工业开发成功的例子是以美国为主的北美洲，其资源量可达数万亿立方米。中国的泥页岩裂缝性油气藏概念与美国现今的页岩气内涵并不完全相同，分别在烃类的物质内容、储存相态、来源特点及成分组成等方面存在较大差异。中国主要盆地和地区页岩气资源量约为 15 万亿~30 万亿 m³，与美国 28.3 万亿 m³ 大致相当，经济价值巨大。另一方面，生产周期长也是页岩气的显著特点。页岩气田开采寿命一般可达 30~50 年，甚至更长。开采寿命长，就意味着可开发利用的价值大，这也决定了它的发展潜力。

据估计，全球页岩气资源约为 456 万亿 m³，主要分布在北美、中亚、中国、拉美、中东、北非和前苏联，其中北美最多。页岩气的储层具有低孔隙率和低渗透率的特点，开采难度大，需要高水平的钻井和完井技术。在 21 世纪刚开始开采页岩气时，多采用水平钻井技术和水基液压裂技术提高采收率。

2012 年前后，已实现对页岩气商业开发的国家有美国和加拿大，其中美国已实现大规模商业化生产，在美国天然气供应中，页岩气所占比重越来越高。

美国虽然率先实现了页岩气的商业开发，并改变了美国的能源结构，但也带来一系列潜在的问题，比如水资源的耗费和污染。页岩气开采主要使用水力压裂法，即将大量水与泥砂的混合物和化学物质，用高压注入地下井，压裂附近的岩石构造，进而收集天然气。要消耗大量水资源，由于钻井所使用的水注入页岩层，比地下蓄水层要深得多，主要被岩石吸收，不能再回收利用。由此油气开发商会抢占农业用水，甚至会挤占市政用水。

开发页岩气还容易造成地下水污染。页岩气开采在钻井过程中要经过蓄水层，钻井使用的化学添加剂会对地下水形成污染威胁。正是因为存在诸多隐患，美国环保团体和农牧

业团体强烈反对非常规油气资源开发,研究人员也表示,在进行页岩气开采前应当把对地下水的影响考虑在内。

我国页岩气资源开发还处于起步阶段,国家正在积极推进页岩气的开发利用工作。

我国国土资源部 2009 年 10 月份在重庆市綦江县启动了中国首个页岩气资源勘查项目。这标志着继美国和加拿大之后,中国正式开始页岩气资源的勘探开发。将对中国新型能源建设起到积极的示范作用,在中国油气领域具有里程碑意义。2012 年 3 月,壳牌公司已经与中国石油签署了一份产品分成合同,将在中国四川盆地的富顺—永川区块进行页岩气勘探、开发及生产。两家公司对页岩气的开发还处于勘探阶段,并未进入实质性开采。2012 年 9 月,全国首个页岩油气产能建设项目——中石化重庆梁平页岩油气勘探开发及产能建设示范区 8 个钻井平台全面开钻。国家能源局 2013 年 10 月 30 日发布我国首个《页岩气产业政策》,其中明确将页岩气开发纳入国家战略性新兴产业,国家将加大对页岩气勘探开发等的财政扶持力度,同时鼓励各种投资主体进入页岩气销售市场,对页岩气出厂价格实行市场定价。

国家能源局 10 月 30 日发布我国首个《页岩气产业政策》,其中明确将页岩气开发纳入国家战略性新兴产业,国家将加大对页岩气勘探开发等的财政扶持力度,同时鼓励各种投资主体进入页岩气销售市场,对页岩气出厂价格实行市场定价。

1.1.2 燃气的燃烧特性分类

随着燃气工业的发展,城镇燃气的种类越来越多。而确定城镇输配系统的压力级制、管径、燃气管网构筑物及防护和管理措施,都与燃气的种类有关;同时燃烧设备是按某一特定的燃气组分设计、制造的,虽然燃具能够适应燃气组分在一定范围的变化,但总有一个限度,若燃气的组分差异很大时,将引起燃烧特性的变化。所以从燃气输配、燃烧应用和燃气互换性方面考虑,为了使燃气输配企业和燃烧设备制造厂都遵守一个共同的准则,必须将燃气进行分类。

燃气性质中影响燃烧特性的参数主要有燃气的热值 H 、相对密度 s 及火焰传播速度(即燃烧速度)。为此导出与热值和相对密度有关的综合系数,即华白数:

$$W = H/\sqrt{s} \quad (1-1)$$

在燃气工程中,对不同类型燃气间互换时,要考虑衡量热流量大小的特性指数。当燃烧器喷嘴前压力不变时,燃具热负荷 Q 与燃气热值 H 成正比,与燃气相对密度的平方根成反比,而燃气的高热值与燃气相对密度的平方根之比称为华白数。

华白数是代表燃气特性的一个参数,最早于 1926 年由意大利人华白(Wobbe)提出,又称沃泊指数,现为各国所通用。若两种燃气的热值和密度均不相同,但只要它们的华白数相等,就能在同一燃气压力下和同一燃具上获得同一热负荷。如果其中一种燃气的华白数较另一种大,则热负荷也较另一种大。因此华白数又称热负荷指数。如果两种燃具有相近的华白数,则在互换时能使燃具保持相似的热负荷和一次空气系数。如果置换气的华白数比基准气大,则在置换时燃具热负荷将增大,而一次空气系数将减少。因此华白数是一个互换性指数。各国规定在两种燃气互换时华白数的变化不大于 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。

在压力不变的条件下,华白数作为燃具相对热负荷的度量,是设计或选用燃具的重要依据。如英国、法国及前苏联等国家均按华白指数对燃气进行分类,国际煤气联盟

(IGU) 也制订了按华白数对燃气进行分类的标准, 见表 1-2。

国际煤气联盟 (IGU) 燃气分类标准 表 1-2

分类	华白数(MJ/m³)	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

如果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远时, 燃气的燃烧速度会发生改变, 仅用华白数分类也就不能满足设计需要, 因而又提出了燃烧速度指数——燃烧势 C_p 。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。

我国根据主要的城镇气源情况, 参照 IGU 燃气分类以及一些国家的标准, 制订了我国的城镇燃气分类标准。表 1-3 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。

燃气分类及燃烧特性值 表 1-3

族类	类别号	华白指数(MJ/m³)		燃烧势	
		标准值	波动范围	标准值	波动范围
人工气	5R	22.7	21.1~24.3	94	55~96
	6R	27.1	25.2~29.0	108	63~110
	7R	32.7	30.4~34.9	121	72~128
天然气	4T	18.0	16.7~19.3	25	22~57
	6T ^①	26.4	24.5~28.2	29	25~65
	10T	43.8	41.2~47.3	33	31~34
	12T	53.5	48.1~57.8	40	36~88
	13T	56.5	54.3~58.8	41	40~94
液化石油气	19Y	81.2	76.9~92.7	48	42~49
	20Y	84.2	76.9~92.7	46	42~49
	22Y	92.7	76.9~92.7	42	42~49

① 6T 为液化石油气混空气, 燃烧特性接近天然气。

1.2 燃气的特性

1.2.1 燃气的特点

1. 具有低污染燃烧的特性

燃气是一种比较清洁的燃料。它的灰分、含硫量和含氮量较煤和燃油的燃烧要低得多。气体燃料燃烧过程中粉尘含量极少。近年来, 由于气体燃料脱硫技术的进步, 在燃烧时几乎可以忽略二氧化硫 (SO_2) 的发生。气体燃料中所含的氮, 与其他燃料相比, 燃烧时转化成少量氮氧化物 (NO_x), 并且对于高温生成的 NO_x 量的抑制, 也比其他燃料容易实现, 因此, 有利于环境保护。由于气体燃料采用管道输送, 没有灰渣, 基本消除了在运

输、贮存过程中发生的有害粉尘和噪声干扰。

氮氧化物包括多种化合物,如一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)、三氧化二氮(N_2O_3)、四氧化二氮(N_2O_4)和五氧化二氮(N_2O_5)等。除二氧化氮以外,其他氮氧化物均极不稳定,遇光、湿或热变成二氧化氮及一氧化氮,一氧化氮又变为二氧化氮。因此,职业环境中接触的是几种气体混合物常称为硝烟(气),主要为一氧化氮和二氧化氮,并以二氧化氮为主。氮氧化物都具有不同程度的毒性。

气体燃料的燃烧烟气还可以直接加热热水或对物料进行干燥。在有些情况下,利用降低烟气温度,使烟气中大量蒸汽析出,可回收凝结水,此种回收凝结水的方式甚至比某些专门制取软水的方法更为经济。

2. 容易进行燃烧调节

燃气燃烧时,只要喷嘴选择合适,便可以在较宽范围内进行燃烧调节,而且还可以实现燃烧的微调,使其处于最佳燃烧状态。燃气不仅可以适应低过氧燃烧,而且具有能够迅速适应负荷变动的特性,从而为降低燃料消耗、增大燃烧效率提供了有利条件。

3. 作业性好

与油燃料相比,气体燃料输送免去了一系列的加热预处理、降低黏度、保温伴热等装置,一般在用户处也不需要贮存措施。因此,燃气系统简单,操作管理方便,容易实现自动化。另外,燃气燃烧后几乎没有灰分,允许大幅度提高烟气流速,用热设备的受热面积灰和污染远比燃煤、燃油时轻微,也不需要吹灰设备。在其他条件相似的情况下,燃气锅炉的炉膛热强度高于燃煤、燃油锅炉。因此,燃气锅炉的体积小,消耗的金属、耐火保温等材料少,建设投资大幅度降低。

4. 容易调节发热量

在燃烧液化石油气时,在避开爆炸范围的部分加入空气,可以按需要调节燃气的发热量。因此,在液化石油气贮配站中常设有鼓风机,或用压缩空气来稀释燃气。

以上是气体燃料的主要特性和优点。其缺点是燃气与空气以一定比例混合后会形成爆炸性气体,而且气体燃料中的大多数成分对人和动物具有窒息性并有毒,对使用燃气的安全技术提出了较高的要求。

1.2.2 燃气的性质

1. 几种参数

(1) 密度

指单位容积所含有的质量,如液化石油气的气态密度为 $2.0\sim 2.5\text{kg}/\text{Nm}^3$, Nm^3 表示标准条件下的体积。标准条件为压力 101.325kPa ,温度为 20°C 。如气态密度表示为 $2.0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^3$,则是工况条件或现场环境下的气态密度。因为两者的计量条件不同,同一种介质的天然气所得到的热值会有所不同,但差异很小。通常家用燃气表显示的用气量为 m^3 ,而工业用智能流量计是进行了温度和压力补偿后显示的 Nm^3 。

(2) 相对密度

燃气的相对密度指单位容积的燃气所具有的密度,同相同状态下空气密度的比值,也叫比重或相对比重。

(3) 理论空气量