

122

燃气工程便携手册

李公藩 编著



机械工业出版社

本书是安装工程便携手册系列之一。主要介绍燃气的分类、特点与输配系统，常用管材及附属设备、施工准备、土方工程、管道加工、管道连接、地下燃气管道安装、阀门安装、穿跨越工程施工、燃气管道的腐蚀与防护、管道分段耐压试验、通球扫线、调压计量站与配气站、压气站、城市燃气储存与压送及液化石油气供应、地上燃气管道施工、燃气管道带气接管、燃气管道置换与运行管理及工程竣工验收等。

本书可供燃气工程设计、施工安装、运行管理人员在安装施工现场查找有关燃气工程实用技术知识及有关数据资料使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气工程便携手册/李公藩编著. —北京: 机械工业出版社, 2002. 7

ISBN 7-111-10208-8

I. 燃… II. 李… III. 燃气-热力工程-手册
IV. TU996-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 024243 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 何文军 版式设计: 冉晓华 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚毅 责任印制: 何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·21.125 印张·669 千字

0 001—4 000 册

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

出版说明

21 世纪，举世瞩目的主要建筑市场是在中国。积极培养优秀建筑技术人才，不断提高技术水平，是面临此良好机遇的重要任务。

随着科学技术的进步，建筑业和建筑技术也不断迅速发展。近年来，国家制定并修订了新的施工规范；国内外的建筑新技术、新材料、新产品，不断应用于实际工程中。因此，在建筑安装施工领域，迫切需要一系列按建筑安装分项工程分类的详细而简明的介绍建筑安装工程施工工艺、操作技术和工程质量管理方面的综合性工具书。

为了满足广大建筑安装人员的需要，我社组织编写了建筑安装工程系列便携手册，按分项工程分册编写出版。手册贯彻国家及行业现行的施工质量标准和技术操作规程，紧密结合现场实际，突出实用性，文字简练，数据翔实，图文并茂。

由于时间仓促，经验水平有限，手册中难免还存在缺点错误，欢迎广大读者批评指正。

前 言

本手册主要介绍燃气的分类、特点与输配系统，常用管材及附属设备，施工准备、土方工程、管道加工、管道连接、地下燃气管道安装、阀门安装，穿跨越工程施工，燃气管道的腐蚀与防护，管道分段耐压试验，通球扫线、调压计量站与配气站，压气站，城市燃气储存与压送及液化石油气供应，地上燃气管道施工，燃气管道带气接管，燃气管道置换与运行管理及工程竣工验收等内容。本手册可供施工安装、运行管理人员及大专院校有关专业师生参考。

本书编著过程中，刘树礼、朱维益、郑振华、郑玉芬和李少平等同志给予了许多指导和帮助并提供了文献资料，在此表示衷心地感谢。

受文献资料和编著者水平所限，书中难免有不准确和谬误之处，望广大读者不吝赐教。

目 录

前言

第一章	概论	1
第一节	燃气的分类	1
第二节	气体燃料特点及常用燃气成分和特性	5
第三节	管输天然气气质标准	12
第四节	燃气输配系统	13
第五节	燃气管网的布置	18
第六节	长输线路工程	21
第二章	常用管材及管道附属设备	26
第一节	常用管道材料	26
第二节	管道输送常用主要设备	37
第三章	施工准备	59
第一节	熟悉、审查施工图及有关资料	59
第二节	编制施工组织设计与施工图预算	60
第三节	内部和外部关系的协调	61
第四章	土方工程	63
第一节	土的工程分类及现场鉴别方法	63
第二节	长输管线敷设	66
第三节	城镇燃气管道敷设	77
第四节	管沟回填	91
第五章	管道加工	94
第一节	管子调直与切割	94
第二节	钢管整圆	96

第三节	弯管加工	96
第四节	三通的制作	104
第五节	异径管制作	106
第六章	管道的连接	107
第一节	螺纹连接	107
第二节	承插连接	111
第三节	法兰连接	115
第四节	焊接连接	119
第七章	地下燃气管道安装	140
第一节	地下钢管安装	140
第二节	铸铁管安装	146
第三节	聚乙烯燃气管与钢骨架塑料复合管	150
第八章	燃气管道附属设备安装	175
第一节	阀门安装	175
第二节	附属设备安装	179
第九章	穿、跨越工程施工	182
第一节	穿越道路与铁路施工	182
第二节	穿越河流施工	195
第三节	管线通过陡坡、冲沟的处理	217
第四节	穿越地裂带	219
第十章	燃气管道的腐蚀与防护	225
第一节	腐蚀分类	225
第二节	腐蚀的原因	229
第三节	防腐前钢管表面处理	237
第四节	绝缘层防腐法	245
第五节	管道的阴极保护	281
第六节	强制电流阴极保护	301
第七节	牺牲阳极保护	324
第八节	杂散电流腐蚀及防护	335

第九节 管道腐蚀的检测	354
第十一章 管道分段耐压试验	358
第一节 分段吹扫	358
第二节 分段试压	359
第十二章 通球扫线	365
第一节 清管器的分类与特性	365
第二节 清管器收发装置	372
第三节 通球扫线	374
第十三章 调压计量站和配气站	384
第一节 调压站	384
第二节 燃气调压器	392
第三节 调压站安装	400
第十四章 压气站	408
第一节 概述	408
第二节 压缩机的选择	413
第三节 压气站工艺流程	420
第四节 压气站的辅助系统	428
第十五章 城市燃气储存与压送及液化石油气供应	433
第一节 燃气储存	433
第二节 燃气压送	451
第三节 液化石油气供应	455
第十六章 地上燃气管道施工	500
第一节 厂区架空燃气管道安装	500
第二节 其他地上燃气管道施工	507
第三节 燃气表、具安装	532
第四节 工业用户安装	565
第五节 燃气锅炉	578

第十七章 燃气管道带气接管	595
第一节 带气接管方法与准备工作	595
第二节 带气接管	598
第十八章 燃气管道置换与运行管理	604
第一节 燃气管道置换	604
第二节 运行管理	613
第十九章 工程竣工验收	624
第一节 工程竣工验收资料	624
第二节 燃气管道系统吹扫与严密性试验	624
第三节 竣工图的测绘	625
第四节 燃气管道工程验收	627
附录 燃气工程施工涉及的表项	639
参考文献	668

第一章 概 论

第一节 燃气的分类

燃气是指所有的天然和人工的气体燃料。工业与民用燃气的组成中包括可燃气体、少量的惰性气体和混杂气体。可燃气体有(H₂)、一氧化碳(CO)、甲烷(CH₄)、乙烯(C₂H₄)、乙烷(C₂H₆)、丙烯(C₃H₆)、丙烷(C₃H₈)、丁烯(C₄H₈)、丁烷(C₄H₁₀)、戊烯(C₅H₁₀)、戊烷(C₅H₁₂)、苯(C₆H₆)等。惰性气体有氮(N₂)及其他不活泼气体。混杂气体有水蒸气(H₂O)、二氧化碳(CO₂)、氨气(NH₃)、氰化氢(HCN)和硫化氢(H₂S)等。

燃气组成中的一氧化碳、硫化氢及氰化氢都是有毒气体，人吸入后会发生中毒，严重时死亡。燃气中的许多气体在高温下能对金属起腐蚀作用。硫化氢同金属管道与设备的金属作用生成硫化铁，而硫化铁的透气性很强，可能造成燃气的泄漏。二氧化碳在700°C时能腐蚀钢。氢在高温下扩散，能穿过金属壁。

燃气按成因不同，可分为天然气和人工燃气两大类。各种燃气的一般组分与低热值见表 1-1。

表 1-1 各类燃气的一般组分与低热值

燃气类别	一般组分(体积分数%)									低热值/ (MJ/Nm ³)
	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _n H _m	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	
天然气	98.0	0.3	0.3	0.4	—	—	—	—	1.0	36.2
伴生气	81.7	6.2	4.86	4.94	—	—	0.3	0.2	1.8	45.5
矿井气	52.4	—	—	—	—	—	4.6	7.0	36.0	18.8
焦炉气	27	—	—	2	6	56	3	1	5	18.3
炭化炉气	18	—	—	1.7	17	56	5	0.3	2	16.2
立箱炉气	25	—	—	—	9.5	55	6	0.5	4	16.1
鲁奇气化气	18	—	—	0.7	18	56	3	0.3	4	15.4
水煤气	1.2	—	—	—	34.4	52	8.2	0.2	4	10.4

(续)

燃气类别	一般组分(体积分数%)									低热值/ (MJ/Nm ³)
	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C _n H _m	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	
发生炉气	1.8	—	0.4	—	30.4	8.4	2.4	0.2	56.4	5.9
高炉气	0.3	—	—	—	28	2.7	10.5	—	58.5	3.9
重油裂解气	28.5	—	—	32.17	2.68	31.51	2.13	0.62	2.39	42.2
重油催化裂解气	16.6	—	—	5	17.2	46.5	7	1	6.7	17.5
液化石油气 (概略值)	—	50	50	—	—	—	—	—	—	108.4

一、天然气

天然气是指在地下多孔地质构造中发现的自然形成的烃类气体和蒸气的混合气体,有时也含有一些杂质,常与石油伴生。主要组分是低分子烷烃。由于来源不同,天然气主要有:

1. 气井气 气井气是埋藏在地下深处(2000~3000m或更深)的气态燃料。在地层压力作用下燃气有很高的压力,往往达到1.0~10.0MPa。其主要成分是甲烷,体积分数约为95%左右,还含有少量的二氧化碳、硫化氢、氮和氩、氦等气体。我国四川天然气属于这一类。

2. 油田伴生气 伴生气是石油开采过程中析出的气体,在分离器中由于压力降低而进一步析出。它的主要成分也是甲烷(体积分数为80%左右),另外还含有一些其他烷烃类占15%,所以热值较高。天津、大庆等地使用的是伴生气。

此外,还有埋藏很浅的浅层燃气,其主要成分也是甲烷。

3. 矿井气 矿井气是从煤矿矿井中抽出的燃气。其主要组分也是甲烷,其含量视抽气方式不同而变化,一般含氮量很高,所以热值较低。抚顺、鹤壁等矿区城镇将矿井气作为城市燃气使用已多年。

我国陕北长庆干气田天然气甲烷体积分数98%、标态下低发热量36590kJ/m³;四川天然气甲烷体积分数一般不少于90%,标态下发热量为34800~36800kJ/m³。大港地区的天然气为石油伴生气,甲烷体积分数约为80%,乙烷、丙烷和丁烷等体积分数约为15%,标准状态下发热量约41900kJ/m³。

随着长庆油田和新疆地区天然气的开发,新疆至上海的西气东输的

开始，我国将迎来一个长输管道快速发展的时期。

二、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。以煤为原料的人工燃气主要有下列五种：

1. 干馏煤气 煤在隔绝空气的情况下经加热干馏所得的燃气。一般在炼焦炉或炭化炉内进行干馏所获得的燃气。这类燃气中的甲烷和氢含量较高，标准状态下的热值一般在 $18\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右。无色有味，由于含氢量大，所以燃烧速度很高，着火点约 $550\sim 650^\circ\text{C}$ ，爆炸范围 $5.6\%\sim 30.3\%$ ，标准状态下密度约 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. 高炉煤气 高炉煤气是炼铁高炉生产过程中的副产品，可燃成分主要是一氧化碳。由于它有大量的二氧化碳和氮，所以热值很低，标准状态下一般不超过 $3700\text{kJ}/\text{m}^3$ 。高炉煤气无色、无味、无臭，密度较大，标态下密度约在 $1.3\text{kg}/\text{m}^3$ ，着火点约 700°C ，爆炸范围为 $46\%\sim 48\%$ ，毒性极强，标准状态下含灰量不大于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，可用作锅炉燃料。

3. 发生炉煤气 发生炉煤气是用来作为工厂内部燃料或城市煤气中的掺混气（高发热量燃气的稀释气）而生产的。在发生炉内对燃烧的底层煤或焦炭鼓入空气（也有加入部分水蒸气的），在靠上面的还原层和干馏层中生成一氧化碳和氢等可燃成分，即发生炉煤气。它的含氮量很大，约占一半以上。标准状态下热值仅为 $3900\sim 5400\text{kJ}/\text{m}^3$ 。

4. 水煤气 水煤气的生产与发生炉煤气相似，是对炽热的煤层鼓入蒸气（为了保证炉内一定的反应温度，必须与水蒸气交替地鼓入空气），产生以氢和一氧化碳为主要可燃成分的燃气。由于它的含氮量低（体积分数不到 10% ），故标准状态下发热量达 $10800\text{kJ}/\text{m}^3$ 左右。由于燃烧时火焰呈蓝色故又称蓝煤气。

5. 高压气化气 高压气化气是以煤为原料，以氧和蒸气为气化剂在高压下进行完全气化而产生的燃气。气化压力随不同的制气工艺而异，通常为 $2.0\sim 3.0\text{MPa}$ 。这种方法产气率高，是合理使用劣质煤的有效途径。这种燃气本身具有较高的压力，便于输送，是城市供气中有发展前途的气源。它的主要成分是氢、一氧化碳和甲烷。标准状态下发热量约 $16700\text{kJ}/\text{m}^3$ 。

三、油制气

1. 蓄热热裂解气 是以原油、重油或轻油在 $800\sim 900^\circ\text{C}$ 的高温下，

使烃类中的 C-C 键和 C-H 键裂解而生成甲烷和乙烯等烃类为主的燃气。它含有一部氢。作为燃料送出前还要经过冷却，脱除焦油、苯、硫化氢等净化处理。其主要成分是甲烷、氢、乙烯和丙烯，标准状态下发热量约 $41900\text{kJ}/\text{m}^3$ ，每吨重油的产气量为 $500\sim 550\text{m}^3$ 。

2. 蓄热催化裂解气 是以石油产品为原料的裂解气。在催化剂的作用下使水蒸气与裂解后的烃类和游离碳转化成氢和一氧化碳从而提高产气量。这种燃气中的氢的体积分数为 $30\%\sim 60\%$ 。甲烷和一氧化碳也相当高。催化裂解气的燃烧速度较高，标准状态下发热量约 $16700\text{kJ}/\text{m}^3$ 。

3. 自热裂解气和加压裂解气 自热裂解气是为了使设备和操作更为简单的一种重油裂解制气方法。加压气化是在高温高压下，用氧气和少量蒸气使油裂解气化。这类裂化方法产气率高，原料油的品种不受限制。输送时可以利用反应炉内的压力、不需在厂内再加压。标准状态下的发热量在 $16700\text{kJ}/\text{m}^3$ 左右。

四、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。目前我国供应的液化石油气主要是从炼油厂催化裂化气体中提取的。

液化石油气主要组分为丙烷、丙烯、丁烷、丁烯。在常温下呈气态，但加压或冷却后很容易液化。石油气液化后，其体积为气态时的 $1/250$ ，具备了能用受压钢质容器储存和运输的条件。标准状态下气态液化石油气的发热量约为 $92100\sim 121400\text{kJ}/\text{m}^3$ ，密度在 $1.9\sim 2.35\text{kg}/\text{m}^3$ 之间；液态液化石油气的发热量约为 $45200\sim 46100\text{kJ}/\text{kg}$ 。

五、生物气

有机物质在隔绝空气及适当的温度、含水率和酸碱度条件下，受发酵微生物作用而生成的气体，统称为“生物气”。其主要可燃组分为甲烷，又称“沼气”。生物气原料用之不竭，凡是废弃的动植物和微生物，以及生活和生产中各种有机废物（以城市垃圾和农作物废料及人畜粪便为大宗），都可以在一定条件下发酵制成生物气。一般生物气（体积分数）中含有甲烷 $55\%\sim 65\%$ ，二氧化碳 $30\%\sim 40\%$ ，还有少量的氢、硫化氢和氮等。其标准状态下的热值约为 $20\sim 25\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

按燃气的热值分类

燃气按其热值（发热量）分类是燃气应用上一种较为简易的分类方

法。

燃气热值的分类习惯上分为三个等级，即高热值燃气 (HCV_{gas})、中等热值燃气 (MCV_{gas}) 和低热值燃气 (LCV_{gas})。气化煤气多数属于低热值燃气，热值在标准状态下大致在 $12\sim 13\text{MJ}/\text{m}^3$ 之间，或更低。中等热值燃气以城市燃气（主要为干馏煤气）为代表，热值在标准状态下为 $20\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右。高热值燃气则指热值在标准状态下为 $30\text{MJ}/\text{m}^3$ 以上的燃气。天然气、部分油制气和液化石油气都是高热值燃气。

低热值燃气的可燃组成主要为氢和一氧化碳，同时含有相当数量的不可燃惰性组分，其含量有时甚至达到半数。中等热值燃气除含有氢和一氧化碳外，还含有甲烷和其他烃类，或者主要可燃组分为甲烷，但伴有大量非可燃组分（如一些生物气）。高热值燃气的组分以烃类为主。

一些燃气的组分和其低热值见表 1-1。

第二节 气体燃料特点及常用燃气成分和特性

一、气体燃料的特点

1. 具有基本无公害燃烧的综合特性 气体燃料是一种比较清洁的燃料。它的灰分、含硫量和含氮量较煤和油燃料要低得多。燃气中粉尘含量极少。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， SO_x 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 NO_x 少，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，对于保护环境提供了有利条件。同时，气体燃料由于采用管道输送，没有灰渣，基本消除了运输、贮存过程中发生的有害气体、粉尘和噪声干扰。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，回收凝结水，甚至比其他方法制取软水更为合算。

2. 容易进行燃烧调节 燃烧气体燃料时，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，使其处于最佳状态。燃料气体燃料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降粘、

保温、加热预处理等装置，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，燃气几乎没有灰分，允许大幅度提高烟气流速，受热面的积灰和污染远比燃煤、燃油时轻微，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，金属、耐火、保温等材料以及建设投资大大降低。

4. 容易调整发热量 特别是在燃烧液化石油气燃料时，在避开爆炸范围的部分加入空气，可以按需要任意调整发热量。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。

气体燃料的主要缺点是它与空气在一定比例下混合形成爆炸性气体，而且气体燃料大多数成分对人和动物是窒息性的或有毒的，对使用安全技术提出了较高的要求。

二、常用燃气成分和特性

为了便于了解我国燃气的特性，表 1-2 列出了几种常用燃气的成分与特性数据，这些燃气具有一定的代表性，可供参考。但由于我国燃气分布辽阔，各气源的天然气或油田伴生气的成分和特性并不完全相同；各地的人工燃气也往往由于制气时所使用的原料（煤、石油）不同，采用的生产工艺不同，或使用的配气比不同，同一类别的人工气其成分和特性也不完全相同。因此在实际应用时，应根据实际情况加以核对和分析。在正式设计和选用燃烧设备、燃气锅炉和进行有关计算时，应尽可能收集有关气源的详细资料作为依据。

表 1-2 所列举的燃气相对分子质量、气体常数、密度、比定压热容、等熵指数、运动粘度、动力粘度、爆炸极限等特性数据，是根据国际煤气协会公布的有关单一气体的特性，按相应燃气的成分计算所得。表中的火焰传播速度、理论空气量、理论烟气量、理论燃烧温度等数据是根据有关燃气的成分和特性，按所推荐的方法求得的。实用华白数是无因次值，其物理意义是：燃烧器的热负荷在一定供气压力下取决于燃气喷口流出的燃气量和它的低发热量，这里采用德国人华白提出的概念。在固定的喷口上，燃气的低发热量与其密度平方根之比称之为华白数。它是一个热负荷指标。当燃气互换时，确定一个华白数的波动范围来稳定燃烧器的热负荷。表中实用华白数的数据是按公式 $W_s = Q_{Dw}^y \sqrt{\rho^0}$ 计算所得。

表 1-2 各种燃气成分及特性表

序号	燃气种类	成分体积分数(%)										相对分子质量 M	气体常数 $R/[9.8\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{C})]$	标态下密度 ρ^0 $/(\text{kg}/\text{m}^3)$	相对密度 d (空气 ≈ 1)	标态下质量 定压热容 c_p $/\left[\frac{\text{kJ}}{(\text{kg}\cdot\text{C})}\right]$	等熵 指数 κ
		H ₂	CO	CH ₄	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ S						
1	天然气 ⁽¹⁾	—	—	98.0	C _m H _n 0.4	0.3	0.3	1.0	—	—	—	16.654	50.920	0.7435	0.5750	1.557	1.3082
2	油田伴生气	—	[C ₂ H ₆] [7.4]	80.1	C _m H _n 2.4	3.8	2.3	0.6	—	3.4	—	21.730	39.000	0.9709	0.7503	1.739	1.2870
3	炼焦煤气	59.2	8.6	23.4	2.0	—	—	3.6	1.2	2.0	—	10.496	80.790	0.4686	0.3624	1.388	1.3750
4	混合煤气	48.0	20.0	13.0	1.7	—	—	12.0	0.8	4.5	—	14.997	56.545	0.6700	0.5178	1.367	1.3840
5	高炉煤气	1.8	23.5	0.3	—	—	—	56.9	—	17.5	—	30.464	27.508	1.3551	1.0480	1.356	1.3870
6	矿井气	—	—	52.4	—	—	—	36.0	7.0	4.6	—	22.780	37.225	1.0170	0.7860	1.443	1.3510
7	高压气化气	59.3	24.8	14.0	—	—	0.2	0.8	—	共 0.9		11.124	76.231	0.4966	0.3840	1.340	1.3900
8	液化石油气	—	C ₄ H ₈ 54.0	1.5	10.0	4.5	26.2	—	—	—	—	56.610	14.980	2.5270	1.9550	3.513	1.1500
9	液化石油气	—	—	—	—	50.0	50.0	—	—	—	—	52.651	16.106	2.3500	1.8180	3.330	1.1520

(续)

8

序号	燃气种类	标态下 高发热量 Q_{hw}^0 /($\frac{kJ}{m^3}$)	标态下 低发热量 Q_{lw}^0 /($\frac{kJ}{m^3}$)	实用华 白数 W	动力粘度 $\eta \times 10^6$ /Pa·s	运动粘度 $\nu \times 10^6$ /($\frac{m^2}{s}$)	爆炸极限 上限/下限 (%)	标态下理 论空气量 V_k^0 /(m^3/m^3)	理论烟气量 V_y^0 (湿/干) /(m^3/m^3)	干烟气最大 CO ₂ 体积 分数(%)	理论燃 烧温度 t_k^0 /°C	火焰传播 速度 U_f /($\frac{m}{s}$)
1	天然气	40337	36533	42218	10.33	13.92	15.0/5.0	9.64	10.64/8.65	11.80	1970	0.380
2	油田伴生气	47999	43572	44308	9.32	9.62	14.2/4.4	11.40	12.53/10.30	12.70	1973	0.374
3	炼焦煤气	19788	17589	25665	11.60	24.76	35.6/4.5	4.21	4.88/3.76	10.60	1998	0.841
4	混合煤气	15387	13836	16929	12.15	18.29	42.6/6.1	3.18	3.85/3.06	13.90	1986	0.842
5	高炉煤气	3311	3265	2805	15.79	11.68	76.4/46.6	0.63	1.50/1.48	28.80	1580	—
6	矿井气	20829	18768	18614	13.56	13.39	19.84/7.37	4.66	5.66/4.61	12.35	1996	0.247
7	高压气化气	16381	14797	21017	13.34	26.93	46.6/5.4	3.36	3.87/3.00	13.20	2000	0.940
8	液化石油气	123477	114875	72314	7.03	2.78	9.7/1.7	28.28	30.67/26.58	14.60	2050	0.435
9	液化石油气	117462	108149	70642	7.44	2.64	9.0/1.9	27.37	29.62/25.12	13.90	2020	0.397

① 仅指气井气。

常用燃气成分的性质见表 1-3。

表 1-3 常用燃气成分的性质表 (0°C, 0.101325MPa)

序号	燃气成分	分子式	相对分子质量 M	摩尔体积 ^① /(m ³ /kmol)	气体常数 R /[J/(kg·K)]	标态下 密度 ρ^0 /(kg/m ³)	相对密度 d (空气=1)	标态下体积 定压热容 C_p /[kJ/(m ³ ·K)]	等熵 指数 κ
1	氢	H ₂	2.0160	22.4270	4125	0.0899	0.0695	1.298	1.407
2	一氧化碳	CO	28.0104	22.3984	297	1.2506	0.9671	1.302	1.403
3	甲烷	CH ₄	16.0430	22.3621	518	0.7174	0.5548	1.545	1.309
4	乙炔	C ₂ H ₂	26.0380		319	1.1709	0.9057	1.909	1.269
5	乙烯	C ₂ H ₄	28.0540	22.2567	296	1.2605	0.9748	1.888	1.258
6	乙烷	C ₂ H ₆	30.0700	22.1872	276	1.3553	1.048	2.244	1.198
7	丙烯	C ₃ H ₆	42.0810	21.9900	197	1.9136	1.479	2.675	1.170
8	丙烷	C ₃ H ₈	44.0970	21.9362	188	2.0102	1.554	2.960	1.161
9	丁烯	C ₄ H ₈	56.1080	21.6067	148	2.5968	2.008	—	1.146
10	正丁烷	<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	58.1240	21.5036	143	2.7030	2.090	3.710	1.144
11	异丁烷	<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	58.1240	21.5977	143	2.6912	2.081	—	1.144
12	戊烯	C ₅ H ₁₀	70.1350	21.2177	118	3.3055	2.556	—	—
13	正戊烷	C ₅ H ₁₂	72.1510	20.8910	115	3.4537	2.671	—	1.121
14	苯	C ₆ H ₆	78.1140	20.3609	106	3.8365	2.967	3.266	1.120
15	硫化氢	H ₂ S	34.076	22.1802	244	1.5363	1.188	1.557	1.320
16	二氧化碳	CO ₂	44.0098	22.2601	188	1.9771	1.5289	1.620	1.304
17	二氧化硫	SO ₂	64.059	21.8821	129	2.9275	2.264	1.779	1.272
18	氧	O ₂	31.9988	22.3923	259	1.4291	1.1052	1.315	1.400
19	氮	N ₂	28.0134	22.4035	296	1.2504	0.9670	1.302	1.402
20	空气		28.966	22.4003	287	1.2931	1.0000	1.306	1.401
21	水蒸气	H ₂ O	18.0154	21.629	461	0.833	0.644	1.491	1.335
序号	临界压力 p_c /MPa	临界温度 T_c /K	临界压缩因子 Z	热导率 λ /[W/(m·K)]	向空气的 扩散系数 $D \times 10^4$ /(m ² /s)	运动粘度 $\nu \times 10^6$ /(m ² /s)	动力粘度 $\eta \times 10^6$ /(Pa·s)	常数 C	最低着火温度 /°C
1	1.297	33.3	0.304	0.2163	0.611	93.00	8.36	90	400
2	3.496	133	0.294	0.02300	0.175	13.30	16.63	104	605
3	4.641	190.7	0.290	0.03024	0.196	14.50	10.40	190	540
4	—	—	—	0.01872	—	8.05	9.43	198	335
5	5.117	283.1	0.270	0.0164	—	7.46	9.40	257	425
6	4.884	305.4	0.285	0.01861	0.108	6.41	8.69	287	515
7	4.600	365.1	0.274	—	—	3.99	7.64	322	460