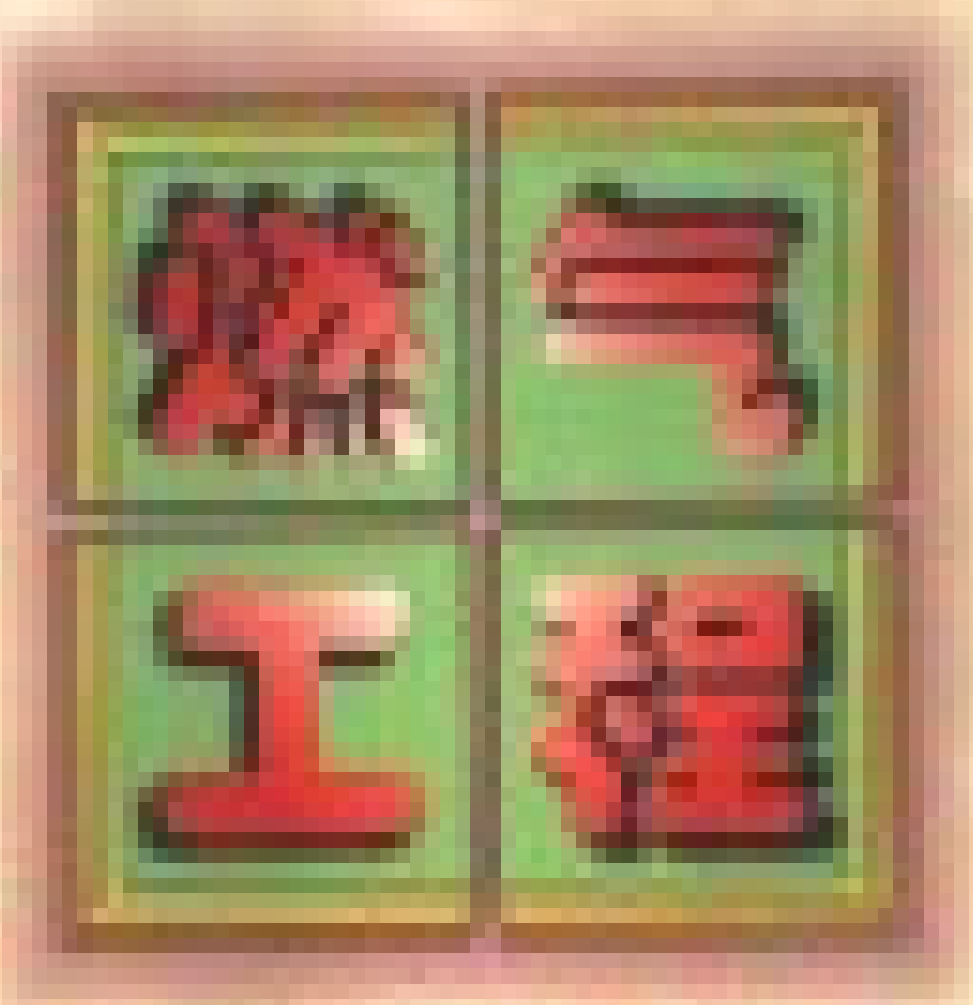


燃 气  
工 程

吕佐周 王光辉 主编

RANQI GONGCHENG

冶金工业出版社



2008 12 18 18

2008 12 18 18

2008 12 18 18

0996  
L-969

# 燃气工程

武汉科技大学

主编 吕佐周 王光辉  
编委 张碧芳 刘元宁 梁玉河

北京  
冶金工业出版社  
1999

894912

## 内 容 提 要

本书系统叙述了气体的开采、制造、净化、输送、贮存、分配、燃烧理论及燃烧技术等内容。本书可作为“化学工程与工艺”、“建筑环境与设备工程”、“供热空调与燃气工程”、“城市燃气工程”及相关专业的教材,亦可供从事能源、供热、燃气、焦化、气化等有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

燃气工程/吕佐周 王光辉主编. —北京:冶金工业出版社,1999.9

ISBN 7-5024-2332-X

I. 燃… I. ①吕…②王… III. 燃料气-供应 IV. TU996

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45860 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

北京梨园彩印厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999 年 9 月第 1 版,1999 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm; 1/16; 40 印张; 9598 千字; 631 页; 1-2500 册

64.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010) 64044283 传真:(010) 64044283

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

《燃气工程》一书是冶金部“九五”规划教材。全书共分3篇37章,系统地叙述了气体燃料的开采、制造、净化、输送、贮存、分配、燃烧理论及燃烧技术等内容。该书可作为高等工科院校“化学工程与工艺”、“建筑环境与设备工程”、“供热空调与燃气工程”、“城市燃气工程”及相关专业的教材。亦可供从事能源、供热、燃气、焦化、气化等有关部门的工程技术人员参考。

本书绪论、第一篇一、二、六、七、九章及第二篇第三章由吕佐周编写,第一篇三、四、八章由梁玉河编写,第五章由王光辉编写;第二篇一、二、四章(其中第六节由欧阳曙光完成初稿)及第五~第九章由张碧芳编写;第三篇各章均由刘元宁编写。本书由吕佐周、王光辉主编,并请武汉城市建设学院宓亢琪教授、武汉科技大学李清田教授主审,武汉钢铁设计研究院姚震生高工(教授级)审查了部分章节。他们提出了不少宝贵意见,为提高本书质量给予了很大帮助,在此谨致以衷心的感谢。

本书的编写得到了武汉科技大学有关领导、化工系化工工艺教研室的老师及同行们的支持与帮助,在此向他们表示谢意,并向所引用资料的编著者表示感谢。

由于编者水平所限、经验不足,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

一九九八年十二月

# 目 录

绪论	(1)
第一篇 燃气生产	(7)
第一章 原料煤	(7)
第一节 煤的生成	(7)
第二节 煤的工业分析和元素组成	(9)
第三节 煤的岩相组成及性质	(13)
第四节 煤的工艺性质	(15)
第五节 煤的分类、各类煤的基本特征及主要用途	(21)
第二章 炼焦制气	(27)
第一节 焦炭的性质与应用	(27)
第二节 煤的成焦过程	(35)
第三节 配煤原理及焦炭质量(强度)预测	(44)
第四节 炼焦煤料的预处理	(53)
第五节 炼焦炉及其附属设备	(70)
第六节 焦炉气体力学原理	(90)
第七节 焦炉传热与热工评定	(105)
第八节 炼焦生产操作	(119)
第三章 连续式直立炭化炉煤气的生产	(136)
第一节 对原料的要求	(136)
第二节 连续式直立炭化炉	(137)
第三节 连续式直立炭化炉的操作	(143)
第四章 气化煤气	(146)
第一节 气化过程的物理化学基础	(147)
第二节 发生炉煤气	(165)
第三节 水煤气	(186)
第四节 移动床两段炉气化	(194)
第五节 移动床加压气化	(199)
第六节 流化床气化	(212)
第七节 气流床气化	(220)
第八节 其它气化方法	(223)
第九节 煤气的改制	(231)
第十节 燃气中一氧化氮和煤气胶的脱除	(237)
第五章 燃气净化	(240)

第一节	煤气冷却与鼓风	(241)
第二节	氨的脱除	(249)
第三节	粗苯的回收与萘的脱除	(262)
第四节	硫化氢及氰化氢的脱除	(272)
<b>第六章</b>	<b>天然气</b>	(294)
第一节	天然气的生成	(294)
第二节	天然气开采与集输	(295)
第三节	天然气净化	(296)
第四节	液化天然气	(299)
<b>第七章</b>	<b>液化石油气</b>	(303)
第一节	液化石油气的来源	(303)
第二节	液化石油气的提取	(304)
<b>第八章</b>	<b>油制燃气</b>	(306)
第一节	原料	(306)
第二节	油制燃气的方法	(307)
<b>第九章</b>	<b>其它燃气</b>	(315)
第一节	高炉煤气	(315)
第二节	转炉煤气	(327)
第三节	生物气及矿井气	(331)
<b>第二篇</b>	<b>燃气输配</b>	(337)
<b>第一章</b>	<b>燃气输配系统</b>	(337)
第一节	城市燃气输配系统组成	(337)
第二节	城市燃气输配系统	(338)
第三节	燃气管网系统布置	(340)
第四节	燃气管道的防腐	(345)
<b>第二章</b>	<b>城市燃气需用量及供需平衡</b>	(352)
第一节	年用气量	(352)
第二节	燃气需用工况	(355)
第三节	燃气输配系统的小时计算流量	(357)
第四节	燃气生产与使用的平衡	(358)
<b>第三章</b>	<b>冶金企业的燃气供应</b>	(361)
第一节	冶金企业的燃气平衡	(361)
第二节	冶金企业燃气的输配与调节	(367)
<b>第四章</b>	<b>燃气管网水力计算</b>	(377)
第一节	管内燃气流动基本方程式	(377)
第二节	室内管道计算	(386)
第三节	燃气分配管道计算流量的确定	(388)
第四节	环状管网的计算	(393)

第五节	管网经济管径的计算	(399)
第六节	计算机在管网平差计算中的应用	(406)
<b>第五章</b>	<b>燃气的长距离输送</b>	(415)
第一节	长输管线系统的构成	(415)
第二节	长输管线的工艺计算	(416)
第三节	长输管线设施	(422)
<b>第六章</b>	<b>燃气管网的水力工况</b>	(424)
第一节	管网计算压力降的确定	(424)
第二节	低压管网水力工况	(428)
第三节	高、中压环网的水力可靠性	(431)
第四节	低压环网的水力可靠性	(434)
<b>第七章</b>	<b>燃气输配系统压力调节</b>	(442)
第一节	调压器工作原理及构造	(442)
第二节	调压器	(447)
第三节	调压器的选择	(453)
第四节	燃气调压室	(455)
<b>第八章</b>	<b>燃气的储存与压送</b>	(458)
第一节	概述	(458)
第二节	储存设施	(459)
第三节	燃气压送	(466)
第四节	储配站	(467)
<b>第九章</b>	<b>液化石油气供应</b>	(470)
第一节	液化石油气的运输	(471)
第二节	液化石油气储配站	(475)
第三节	液化石油气的管道供应	(484)
<b>第三篇</b>	<b>燃气燃烧与应用</b>	(495)
<b>第一章</b>	<b>燃气的燃烧计算</b>	(495)
第一节	燃气燃烧所需空气量及燃烧产物	(495)
第二节	燃气燃烧温度及烟气焓温图	(501)
<b>第二章</b>	<b>燃气的燃烧反应动力学</b>	(506)
第一节	燃气燃烧反应机理	(506)
第二节	燃气的着火	(507)
第三节	燃气的点火	(512)
<b>第三章</b>	<b>燃气燃烧的气流混合过程</b>	(516)
第一节	静止气流中的自由射流	(516)
第二节	平行气流	(520)
第三节	相交气流	(521)
<b>第四章</b>	<b>燃气燃烧的火焰传播</b>	(523)



第一节	基本概念	(523)
第二节	层流火焰传播速度	(525)
第三节	影响火焰传播速度的因素	(531)
第四节	紊流火焰传播速度	(535)
第五节	火焰传播浓度极限	(542)
<b>第五章</b>	<b>燃气燃烧方法</b>	<b>(545)</b>
第一节	扩散式燃烧	(545)
第二节	部分预混式燃烧	(549)
第三节	完全预混式燃烧	(556)
第四节	燃烧过程的强化与完善	(557)
<b>第六章</b>	<b>燃气燃烧器</b>	<b>(560)</b>
第一节	燃烧器的分类及技术要求	(560)
第二节	扩散式燃烧器	(561)
第三节	大气式燃烧器	(569)
第四节	无焰式燃烧器	(576)
第五节	特殊燃气燃烧器	(578)
<b>第七章</b>	<b>燃气互换性</b>	<b>(582)</b>
第一节	燃气互换性和燃具适应性	(582)
第二节	燃气互换性判定法	(582)
<b>第八章</b>	<b>民用燃气用具</b>	<b>(590)</b>
第一节	各类民用燃气用具	(590)
第二节	民用燃气用具的设计	(595)
<b>第九章</b>	<b>燃气工业炉</b>	<b>(602)</b>
第一节	燃气工业炉的分类	(602)
第二节	燃气工业炉的基本组成	(603)
第三节	燃气工业炉的热工过程及热力计算	(608)
第四节	燃气工业炉空气动力计算	(620)
	<b>附录</b>	<b>(626)</b>
	<b>参考文献</b>	<b>(630)</b>

# 绪 论

## 一、燃气在国民经济中的地位与作用

燃气作为能源的一个组成部分,是发展国民经济和改善人民生活的重要物质基础。它与固体燃料、液体燃料相比,具有突出的优越性。

首先,采用气体燃料有利于保护大气环境,煤炭燃烧时所排放的大量  $\text{SO}_2$ 、尘粒、 $\text{NO}_x$ 、CO 等有害组分严重污染人类赖以生存的环境。有资料表明,大气的主要污染源是煤炭,燃煤造成大气中 90% 的污染物和 80% 的烟尘污染。若以气代煤可减少  $\text{NO}_x$  排放量的 80%~90%,减少  $\text{SO}_2$  排放量 95%~98%,能有效地改善环境。

其次,气体燃料有利于提高热效率、节约能源。如用于居民炊事与燃煤相比可提高热效率 2 倍以上,较燃油提高近 1 倍。

气体燃料用于工业生产还可提高产品的质量和产量,有利于生产自动化,并降低工人的劳动强度提高劳动生产率。

随着燃气工业的发展,其应用领域不断扩大,除用作民用、工业用外,还可用于发电、燃气透平机、内燃机及作为汽车的燃料等。

由于燃气可用管道输送,因此在很大程度上可减轻交通运输的压力。

此外,在人工燃气的制造过程中,能回收多种化工产品,达到燃料综合利用的目的。

由于气体燃料是一种优质、高效、清洁的能源,因此它在能源结构中占有相当大的比重,1996 年世界几个主要国家能源消费结构如表 1。

表 1 1996 年世界几个主要国家能源消费结构 %

项 目	世 界	中 国	美 国	日 本	加 拿 大	俄 罗 斯
固 体	26.9	76.2	24.2	17.6	10.3	19.6
液 体	39.5	19.7	39.1	53.8	35.6	21.1
气 体	23.5	1.8	26.7	11.8	29.8	52.4
其 它	10.1	2.3	10.0	16.8	24.3	6.9

我国是一个产煤大国,虽仍实施以煤为主,油、气为辅的能源政策,但我国天然气和油田伴生气的资源也比较丰富。到目前为止,我国发现的天然气探明储量已超过一万亿  $\text{m}^3$  (居世界第 18 位),随着燃气工业的发展,长距离输气管道的铺设及扩大能源进口政策,气体燃料在能源结构中的比重将不断提高,特别是对人口密度较高、工业较发达的沿海地区和大、中城市在不久的将来,气体燃料所占比重将会有显著的提高。

由此可见,发展燃气工业对国民经济具有十分重要的意义,不仅可以改善能源结构,保护生态环境、缓解能源运输压力,提高生活质量,而且对我国实施可持续性发展战略,提高综合国力,都将产生深远的影响。

## 二、燃气的分类

燃气是由多种可燃与不可燃的单一气体组成的混合气体。可燃气体组分有  $\text{C}_m\text{H}_n$ 、 $\text{H}_2$  和

CO,不可燃气体组分有 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 和 $\text{O}_2$ 等。燃气中常见的单一气体在标准状态下的主要特性值见附录1。

随着燃气工业的发展,供城市居民和工业使用的燃气种类增多,且组分也有很大的差异,从而引起燃烧特性的变化。而每一燃具是按某一特定组分设计、制造和调整的。虽然燃具能够适应燃气组分在一定范围的变化,但总是有一个限度。从燃烧应用和燃气互换性角度出发,为了使燃气输配企业和燃具制造厂都有一个共同遵守的准则,必须将已有燃气按其来源和有关燃烧特性进行分类。

### (一)按气源分类

按气源分类是一种通常的分类方法,以燃气的起源或其生产方式进行分类,大体上把燃气划分为天然气和人工燃气两大类。液化石油气和生物气则由于气源和输配方式的特殊性,习惯上各另列一类。各类燃气的典型组分及低热值举例见附录2。

#### 1. 天然气

由于来源不同,天然气一般可分为4种类型:从气井开采出来的气田气(或称纯天然气);伴随石油一起开采出来的石油气,也称石油伴生气;含石油轻质馏分的凝析气田气;从井下煤层抽出的煤矿矿井气。

天然气的主要组分为低分子烷烃,它既是制取合成氨、炭黑、乙炔等化工产品的原料气,又是优质燃料气,是理想的城市气源。由于开采、储运和使用天然气既经济又方便,所以近些年来,许多国家大力发展天然气工业。有些天然气资源缺乏的国家也进口液化天然气以发展城市燃气事业。液态天然气的体积为气态时的 $1/600$ ,有利于运输和储存。

#### 2. 人工燃气

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

(1)干馏煤气 利用焦炉、连续式直立炭化炉和立箱炉等对煤进行干馏所获得的煤气称为干馏煤气。用此法生产煤气每吨煤可产煤气 $300\sim 400\text{m}^3$ ,这类煤气(标准状态)组分中的 $\text{CH}_4$ 和 $\text{H}_2$ 含量较高,热值一般在 $17\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右。干馏煤气的生产历史较长,工艺比较成熟,是我国目前城市燃气的主要气源之一。

(2)气化煤气 煤在高温下与气化剂反应所生产的燃气统称为气化煤气,如压力气化煤气、水煤气、发生炉煤气等均属此类。压力气化煤气的热值在 $15\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右,可直接作为城市燃气。水煤气和发生炉煤气含CO较高,其热值分别为 $10.5\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右、 $5.4\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右,适宜作工业燃气和化工原料气或作为城市燃气的掺混气。

(3)油制气 是用石油系原料经热加工制成的燃气总称。我国一些城市利用重油或渣油制取油煤气作为城市燃气的掺混气或缓冲气源。按制取方法不同,可分为重油蓄热裂解气和重油蓄热催化裂解气两种。热裂解气以 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 和 $\text{C}_3\text{H}_6$ 为主要组分,热值约为 $41\sim 42\text{MJ}/\text{m}^3$ ,每吨重油的产气量为 $500\sim 550\text{m}^3$ 。催化裂解气中含 $\text{H}_2$ 最多,也含有 $\text{CH}_4$ 和CO,热值为 $17\sim 21\text{MJ}/\text{m}^3$ ,利用三筒炉催化裂解装置,每吨重油产气为 $1200\sim 1300\text{m}^3$ 。

由于油源和油价、气化效率、环境影响等因素,国外大多用石脑油为原料生产油煤气。

(4)高炉煤气和转炉煤气 高炉煤气为高炉炼铁的副产气,转炉煤气为氧气顶吹转炉炼钢的副产气,其主要可燃组分为CO,两者均用作冶金工厂生产的燃料。

#### 3. 液化石油气

液化石油气主要从油、气开采或石油加工过程中取得。我国目前各地广泛用作城市燃气的液化石油气主要从炼油厂催化裂化气中提取的。其主要组分为  $C_3H_8$ 、 $C_3H_6$  和  $C_4H_8$ 。此外尚有少量  $C_5H_{12}$  及其它杂质。气态液化石油气热值为  $93MJ/m^3$  左右,它是我国城市煤气的主要气源之一。

#### 4. 生物气

各种有机物质在隔绝空气的条件下发酵,并在微生物作用下产生的可燃气体称为生物气,亦称沼气。其主要组分为  $CH_4$  和  $CO_2$ ,还有少量  $N_2$  和  $CO$ 。热值约为  $22MJ/m^3$ 。

#### (二)按燃烧特性分类

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,即华白指数  $W(=H/\sqrt{s})$ 。在压力不变的情况下,华白指数作为燃具相对热负荷的一个度量,是设计或选用燃具的重要依据。很多国家如英国、法国、前苏联等按华白指数对燃气进行分类,国际煤联(IGU)也制订了按华白指数对燃气进行分类的标准,见表 2。

表 2 国际煤联(IGU)燃气分类表

分 类	华白指数/(MJ·m <sup>-3</sup> )	典型燃气
一类燃气	17.8~35.8	人工燃气,烃-空气混合气
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

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远时,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满足设计需要,因而又提出燃烧速度指数——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,是一项反映燃具燃气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。燃烧势  $C_p$  的计算见第三篇第七章。

根据我国当前主要的城市气源分布情况,参照 IGU 燃气分类以及一些国家的相应标准,制订了我国“城市燃气分类”标准。分类指标是国际上广泛采用的华白指数和燃烧势。表 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波动范围。

### 三、城市燃气的质量要求

城市燃气的质量应符合国家有关质量标准。

#### 1. 城市燃气组分的变化

应符合下列要求:

- (1)燃气的华白指数波动范围,不宜超过 $\pm 7\%$ 。
- (2)燃气燃烧性能的其它参数指标,应与用气设备燃烧性能的要求相互适应。

#### 2. 人工燃气质量指标

应符合表 4 的规定。

表3 我国燃气分类及燃烧特性值

族类	类别号	华白指数 $W$		燃烧势 $C_p$	
		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 <sup>①</sup>	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
液化气	19Y	81.2	76.9~92.7	48	42~49
	22Y	92.7	76.9~92.7	42	42~49
	20Y	84.2	76.9~92.7	46	42~49

①6T为液化石油气混空气,燃烧特性接近天然气。

表4 人工燃气质量指标

项 目	质量指标	说 明
低热值 <sup>①</sup> /(MJ/m <sup>3</sup> )	应大于	
杂质	14.7	
焦油和灰尘/(mg/m <sup>3</sup> )	应小于 10	
硫化氢/(mg/m <sup>3</sup> )	应小于 20	
氨/(mg/m <sup>3</sup> )	应小于 50	
萘 <sup>②</sup> /(mg/m <sup>3</sup> )	应小于 $\frac{50}{p} \times 10^5$ (冬天) $\frac{100}{p} \times 10^5$ (夏天)	$p$ 为管网输气点绝对压力(Pa)
含氧量(体积百分数)	应小于 1	
含一氧化碳量(体积百分数) <sup>④</sup>	宜小于 10	

①本表中的 m<sup>3</sup> 指在 101.325kPa, 0℃ 状态的干煤气体积。

②萘系指萘和它的同系物  $\alpha$ -甲基萘及  $\beta$ -甲基萘。

③当管网输气点绝对压力( $p$ )小于 202.65kPa 时,压力( $p$ )因素可允许不参加计算。

④对气化燃气或掺有气化燃气的人工燃气,其一氧化碳含量应小于 20%(体积分数)。

### 3. 对液化石油气的质量要求

对石油炼厂生产的液化石油气质量指标见表 5。

表 5 液化石油气质量指标 (GB11174—89)

项 目	质量指标
密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	报 告
蒸气压/kPa	不大于 1380
C <sub>5</sub> 及 C <sub>5</sub> 以上组分含量(体积百分数)不大于	3.0
残留物	
蒸发残留物/(10 <sup>-2</sup> mL/mL)	报 告
油渍观察值/(mL)	报 告
铜片腐蚀等级	不大于 1
总硫含量/(mg/m <sup>3</sup> )	不大于 343
游离水	无

注:1. 密度系指 15℃;

2. 蒸气压系指 37.8℃。

#### 4. 商品天然气的质量要求

我国(石油工业部部标准)规定天然气的技术要求见表 6。

表 6 天然气技术要求(SY7514—88)

项 目		质 量 指 标			
		I	II	III	IV
高热值① MJ/m <sup>3</sup>	A 组	>31.4			
	B 组	14.65~31.4			
总硫(以硫计)含量/(mg/m <sup>3</sup> )		≤150	≤270	≤480	>480
硫化氢含量/(mg/m <sup>3</sup> )		≤6	≤20	实 测	
二氧化碳含量/%(体积)		≤3		—	
水 分		无游离水②			

①本标准中的 m<sup>3</sup> 为在 101.325kPa, 20℃ 状态下的体积;

②无游离水是指天然气经机械设备分不出游离水(在取样点处的温度和压力条件下, 气体的相对湿度小于或等于 100%);

I、II 类气体主要用作民用燃料。III、IV 类气体主要用作工业燃料。当 III 类气体中 H<sub>2</sub>S 含量不大于 20mg/m<sup>3</sup> 时, 仍可作为民用燃料。IV 类气体为总硫量大于 480mg/m<sup>3</sup> 的井口气, 该气体只能供给有处理手段的用户。

5. 城市燃气应具有可以察觉的臭味, 无臭味或臭味不足的燃气应加臭, 其加臭程度应符合下列要求:

(1) 有毒燃气(一般指含有 CO、HCN 等有毒成分的气体)泄漏到空气中, 达到对人体允许的有害的浓度之前, 应能察觉;

(2)无毒燃气(一般指不含有 CO、HCN 等有毒成分的气体,如天然气、液化石油气等)泄漏到空气中,浓度达到爆炸下限的 20%时,应能察觉。  
常用的臭味剂为四氢噻吩、硫醇、硫醚等有机硫化物。

# 第一篇 燃气生产

## 第一章 原料煤

### 第一节 煤的生成

#### 一、煤的种类

煤是植物残骸经生物化学作用和地质变质作用形成的一种有机生物岩。根据成煤物质及成煤条件不同,可以把煤划分成三大类:腐植煤、残植煤及腐泥煤。

(1)腐植煤类 由高等植物残体经过成煤过程中的泥炭化作用、成岩作用及变质作用生成腐植煤。它是自然界分布最广、蕴藏量最大、用途最多的煤,因此,它是人们研究的主要对象。腐植煤根据煤化程度的不同区分为泥类、褐煤、烟煤和无烟煤四大类。泥炭煤化程度最低,无烟煤煤化程度最高。为了工业利用方便起见,根据煤化程度不同,我国将烟煤分为:长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤等。其中长焰煤、气煤为年轻烟煤,而瘦煤和贫煤为年老烟煤。

(2)残植煤类 这类煤在自然界储量很少,但种类较多。它是由高等植物残体中最稳定部分(如孢子、角质层、树脂、树皮等)所形成,稳定组含量一般在50%~60%,甚至60%以上。按其稳定组中的主要组分不同,可将残植煤类分为孢子残植煤、角质层残植煤、树脂残植煤及树皮残植煤。残植煤类一般含氢量高、挥发分多,低温焦油产率高。它适用作为低温干馏及加氢液化的原料。

(3)腐泥煤类 它是由死亡的低等植物和浮游生物在缺氧的条件下转化而成。根据成煤物质和煤化程度不同,腐泥煤类可分为腐泥煤、藻煤和油煤。腐泥煤的特点是无光泽、硬度及韧性大,真密度一般小于1,颜色则因所含矿物质不同而异,有褐、绿、白、灰、黑几种,而以褐色居多。我国南方各省的石煤,即是煤化程度较高的腐泥无烟煤,它的特点是灰分、硫分均高,碳含量低,并经常含有品位较高的钒、钼、镍等伴生矿物。

#### 二、腐植煤的生成

腐植煤是由高等植物(主要是孢子植物、被子植物和裸子植物)所形成。

成煤过程是成煤植物在泥炭沼泽中持续地生长和死亡,其残骸不断堆积,在漫长的过程中经过复杂的生物化学作用和地质变质作用逐渐演变成泥炭、褐煤、烟煤、无烟煤的过程。成煤过程大致可分为泥炭化作用和煤化作用两个阶段。

##### (一)成煤第一阶段——泥炭化作用阶段

随着死亡的高等植物堆积在充满水的沼泽中开始发生植物的转化过程。由于死亡植物被水浸泡或淹没,减少了它与空气中氧的接触,在需氧和厌氧细菌的共同作用下,植物各部分不断分解,相互作用生成了较为稳定的新物质——腐殖酸、沥青质等。这时就变成了棕黑



色或黑褐色的泥炭。

(二)成煤第二阶段——煤化作用阶段

由泥炭转变为褐煤、烟煤、无烟煤的过程为成煤的第二阶段即煤化作用阶段。煤化作用的深浅程度用煤化度表示。煤化作用阶段包括成岩作用和变质作用两个连续过程。

1. 成岩作用

泥炭经成岩作用转变为褐煤。由于地壳的升降运动,当地壳下沉的速度超过植物遗体堆积速度时,则植物残体的堆积停止,而代之以粘土和泥砂的堆积,进入成岩作用阶段。这些粘土和泥砂在长期的地质因素作用下逐渐形成了坚实的顶板,这样,泥炭层就从地表或地表附近转入地下成为埋覆泥炭,如果泥炭的下沉速度和植物生长的速度相匹配,就会形成很厚的泥炭层。在顶板的压力以及一定温度作用下,泥炭被压实和脱水,并发生分解和缩聚反应逐渐转变为褐煤。这是一个从无定形胶态物质逐渐转变为岩石状物质的过程,故称成岩阶段。在这一过程中,泥炭中的植物残留成分逐渐消失,腐殖酸含量先增加,后减少,从元素组成看,碳含量增加,氧和氢含量逐渐降低。这一过程发生在地下 200~400m 的深度。压力和时间是这个阶段起主导作用的因素。

2. 变质作用

煤的变质作用使褐煤向烟煤、无烟煤演化。当褐煤继续沉降到较深处时,受到不断增高的温度和压力的影响,引起煤的内部分子结构、物理性质和化学性质方面的重大变化,如腐殖酸消失,出现粘结性、光泽增强等,褐煤逐渐演变成烟煤。一般认为当褐煤转变为烟煤时,就开始进入煤的变质作用阶段。影响变质作用的重要因素是温度(有人把变质过程称为天然的干馏过程),其次是时间和压力。温度使煤分子的化学组成结构发生变化,压力促进了煤分子的空间物理结构的变化。按照导致煤变质的热源及其作用方式和变质特征,煤的变质作用主要有深成变质(区域变质)、岩浆热力变质和动力变质三种类型。

整个成煤过程如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 成煤过程

成煤序列	植物——泥炭——褐煤——烟煤——无烟煤		
转变条件	水中、细菌,数千年到数万年	地下(不太深),数百万年	地下(深处)数千万年以上
主要影响因素	生化作用,氧供应状况	压力(加压失水),物化作用为主	温度、压力、时间,化学作用为主
转变阶段	第一阶段 (泥炭化阶段)	第二阶段(煤化阶段) 成岩阶段                      变质阶段	

从褐煤转变为烟煤和无烟煤,随着煤化程度(也可以简称煤化度)的增高,煤中碳含量增高,氢含量、氧含量和挥发分减少,煤的反射率增高,密度增大,见表 1-1-2。

由表 1-1-2 可见,在自然界中,从植物转变成泥炭、煤的过程,是一个从低级到高级的发展过程,也是逐渐由量变到质变的过程。各种煤仅仅是成煤过程中的某一阶段的产物,它们彼此之间并没有明显的界限,当其具备一定的地质条件,它们都可以进一步演变。