

• 高等学校教学用书 •

燃气输配工程

主编 谭洪艳



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校教学用书

燃气输配工程

主 编 谭洪艳
副主编 周卫红 吕子强 唐初阳
王雪梅 吴醒龙

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2009

内 容 提 要

全书共分10章,内容包括燃气的分类、性质及质量要求,城镇燃气的需用量和供需平衡,燃气的长输系统,城镇燃气输配管网系统,燃气管网的水力计算,燃气管网的水力工况,燃气的调压与计量,燃气的压送,燃气的储存,液化石油气供应。

本书可作为建筑环境与设备工程、热能与动力工程等专业的教学用书,也可供从事燃气工程设计、科研、施工和运行管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

燃气输配工程/谭洪艳主编. —北京:冶金工业出版社, 2009. 8

高等学校教学用书

ISBN 978-7-5024-4947-6

I. 燃… II. 谭… III. 煤气输配—高等学校—教材
IV. TU996. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 115759 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 美术编辑 李新 版式设计 张青

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4947-6

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 8 月第 1 版, 2009 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.5 印张; 469 千字; 269 页; 1-2000 册

36.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
燃气工程	75.00
中央空调	43.00
制冷与空调技术问答	23.00
中央空调实用技术	60.00
起重机司机安全操作技术	70.00
安全原理(第2版)	20.00
矿山事故分析及系统安全管理	28.00
煤化工安全与环保	21.00
钢铁工业给水排水设计手册	248.00
混凝土及砌体结构(高)	41.00
混凝土断裂与损伤(高)	15.00
建筑工程经济与项目管理	28.00
建筑施工组织(高)	25.00
建筑施工技术(高)	34.00
现代建筑设备工程(高)	45.00
冶金建设工程技术	30.00
建筑施工企业安全评价操作实务	56.00
金属材料学(高)	32.00
金属材料的海洋腐蚀与防护	29.00
有色金属材料工程概论(高)	49.00
土木工程概论(高)	26.00
水处理工程实验技术(高)	39.00
工业废水处理工程实例	28.00
非金属矿加工技术与应用手册	119.00
焦炉煤气净化操作技术	30.00
钢筋混凝土结构技术规程(YB 9082—2006)	38.00
预应力混凝土钢棒用热轧盘条(YB/T 4160—2007)	10.00
钢筋混凝土用加工成型钢筋(YB/T 4162—2007)	20.00
混凝土用高炉重矿渣碎石(YB/T 4178—2008 代替 YBJ 205—1984)	20.00
冶金建筑工程施工质量验收规范(YB 4147—2006 代替 YBJ 232—1991)	96.00

前 言

城镇燃气在提高人民生活质量、发展生产、节能减排、改善环境等方面起重要作用。近年来我国的燃气事业发展迅速，新设备、新技术不断出现，新规范、新标准陆续颁布实施。本书以培养具有创新精神的实用型人才为出发点，系统地介绍了城镇燃气的输送、储存、分配等方面的技术和理论，注重基础，突出应用，吸收了燃气输配领域的最新成果，引入了现行规范和技术标准。

谭洪艳任本书主编，并编写了第2~7章，参加编写工作的还有周卫红（第1章）、吕子强（第8章）、唐初阳（第9章）、王雪梅、吴醒龙（第10章）。全书由辽宁科技大学郭继平教授、港华燃气集团刘延智教授级高工和建设部沈阳煤气热力研究设计院王运阁教授级高工主审。

承沈阳市煤气总公司王宏伟教授级高工、鞍山市煤气总公司赵宇飞教授级高工、中冶焦耐工程技术有限公司陈瑜高工和中燃集团张延武高工为本书的编写提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处，恳请读者及专家批评指正。

编 者
2009年3月

目 录

1 燃气的分类、性质及质量要求	1
1.1 燃气的分类	1
1.1.1 按气源分类	1
1.1.2 按燃烧特性分类	3
1.2 燃气的基本性质	4
1.2.1 燃气的物理性质	6
1.2.2 燃气的热力性质	25
1.2.3 爆炸极限	30
1.3 城镇燃气的质量要求	33
1.3.1 燃气中主要杂质的影响	33
1.3.2 城镇燃气的质量标准	34
1.3.3 城镇燃气的加臭	36
参考文献	37
2 城镇燃气的需用量和供需平衡	38
2.1 城镇燃气的需用量	38
2.1.1 用户类型和供气原则	38
2.1.2 燃气需用量	39
2.2 城镇燃气的需用工况	41
2.2.1 月用气不均匀性	41
2.2.2 日用气不均匀性	42
2.2.3 小时用气不均匀性	42
2.3 燃气的小时计算流量	43
2.3.1 不均匀系数法	43
2.3.2 同时工作系数法	44
2.4 城镇燃气输配系统的供需平衡	45
2.4.1 供需平衡的调节方法	45
2.4.2 储气容积的确定	47
参考文献	52
3 燃气的长输系统	53
3.1 燃气长输系统的构成和主要功能	53
3.1.1 燃气长输系统的构成	53

3.1.2	输气站	54
3.1.3	燃气加臭	57
3.2	长输管线的工艺设计与计算	58
3.2.1	输气工艺设计	58
3.2.2	输气工艺计算	59
3.3	燃气输气线路	62
3.3.1	输气线路的确定	62
3.3.2	输气管道的安全泄放及阀门设置	63
	参考文献	64
4	城镇燃气输配管网系统	65
4.1	城镇燃气输配系统的组成	65
4.1.1	门站	65
4.1.2	储配站	65
4.1.3	输配管网	65
4.1.4	调压站	66
4.1.5	监控及数据采集系统	66
4.1.6	维护与管理中心	66
4.2	城镇燃气管网系统	66
4.2.1	燃气管道的分类	66
4.2.2	城镇燃气管网系统形式的选择	67
4.2.3	城镇燃气管网系统举例	68
4.3	城镇燃气管网的布线	72
4.3.1	城镇燃气管道的布线原则	72
4.3.2	室外架空燃气管道的布线原则	76
4.3.3	燃气管道穿越道路、铁路及河流等障碍物的方法	77
4.4	工业企业燃气管网系统	80
4.4.1	工业企业燃气管网系统的构成	80
4.4.2	工业企业燃气管网系统形式的选择	80
4.4.3	工业企业燃气管网系统的布线	82
4.4.4	车间燃气管网系统	84
4.5	建筑燃气供应系统	87
4.5.1	建筑燃气供应系统的构成	87
4.5.2	燃气用气设备和用气场所	92
4.5.3	燃气表的选型与设置	95
4.5.4	燃气的监控和防雷、防静电	97
4.6	燃气管道和附属设备	98
4.6.1	常用燃气管材	98
4.6.2	燃气管材的选用	100

4.6.3 燃气管道的附属设备	100
4.7 钢质燃气管道的防腐	104
4.7.1 钢质燃气管道的腐蚀	104
4.7.2 钢质燃气管道的防腐方法	106
4.8 监控及数据采集系统	112
4.8.1 SCADA 系统组成	112
4.8.2 远程终端装置	113
4.8.3 主端调度装置	113
4.8.4 数据传输系统	114
参考文献	115
5 燃气管网的水力计算	116
5.1 燃气管道的水力计算公式和图表	116
5.1.1 燃气管道的水力计算公式	116
5.1.2 燃气管道水力计算图表	120
5.2 建筑燃气系统的水力计算	122
5.3 燃气输配管道的计算流量	126
5.3.1 燃气输配管道的分类	126
5.3.2 变负荷低压分配管段计算流量	126
5.3.3 节点流量	129
5.4 燃气管网的水力计算	130
5.4.1 枝状燃气管网的水力计算	130
5.4.2 环状燃气管网水力计算	131
参考文献	138
6 燃气管网的水力工况	139
6.1 管网计算压力降的确定	139
6.1.1 低压管网计算压力降的确定	139
6.1.2 次高压、中压燃气管网计算压力降的确定	141
6.1.3 工业企业燃气管道计算压力降的确定	142
6.2 低压管网的水力工况	143
6.2.1 低压管网起点压力为定值时的水力工况	143
6.2.2 按月（或季节）调节调压器出口压力时的水力工况	145
6.2.3 随管网负荷变化调节调压器出口压力时的水力工况	146
6.3 次高压、中压环网的水力可靠性分析	150
6.3.1 等管径环路事故工况下的供气能力	151
6.3.2 等压力降环路事故工况下的供气能力	152
6.4 低压环网的水力可靠性分析	153
6.4.1 计算工况的计算	154

6.4.2	事故工况的计算	155
6.4.3	事故工况下的供气量	156
6.4.4	提高燃气管网水力可靠性的途径	161
	参考文献	161
7	燃气的调压与计量	162
7.1	燃气调压器	162
7.1.1	燃气调压器的组成	162
7.1.2	燃气调压器的基本工作原理	162
7.1.3	燃气调压器的分类	163
7.1.4	燃气调压器产品型号组成	163
7.1.5	直接作用式调压器	164
7.1.6	间接作用式调压器	166
7.1.7	箱式调压器(调压柜)	169
7.2	调压器的通过能力和选型计算	170
7.2.1	影响调压器通过能力的因素	170
7.2.2	调压器通过能力的计算	171
7.2.3	选择调压器应考虑的因素	172
7.2.4	调压器选型计算	173
7.2.5	欧美通用的计算调压器通过能力的公式	174
7.3	燃气调压站与调压装置	175
7.3.1	调压站(装置)的分类	175
7.3.2	调压站(装置)的工艺设计	176
7.3.3	调压站(装置)的布置	177
7.4	燃气的计量	180
7.4.1	燃气流量计分类	180
7.4.2	常用燃气流量计介绍	180
7.4.3	燃气流量计的发展前景	184
	参考文献	184
8	燃气的压送	186
8.1	容积式压缩机	186
8.1.1	活塞式压缩机	186
8.1.2	回转式压缩机	188
8.2	离心式压缩机	190
8.2.1	工作过程	190
8.2.2	离心式压缩机的特性	190
8.3	压缩机的选择	190
8.3.1	压缩机的选型	191

8.3.2	压缩机的功率	191
8.3.3	压缩比的确定	192
8.3.4	压缩机台数的确定	193
8.4	常用压缩机的运行调节	193
8.4.1	活塞式压缩机的调节	193
8.4.2	离心式压缩机的调节	194
8.5	压缩机站	195
8.5.1	压缩机站的工艺流程	195
8.5.2	压缩机室的工艺设计	198
8.5.3	压缩机室的辅助设备	199
	参考文献	200
9	燃气的储存	201
9.1	低压储气	201
9.1.1	低压湿式罐	201
9.1.2	低压干式罐	204
9.2	高压储气	207
9.2.1	高压储气罐	207
9.2.2	液化石油气储罐	209
9.2.3	各种储罐的特点比较	210
9.2.4	罐体的壁厚计算	211
9.3	燃气储配站	212
9.3.1	储配站的功能和组成	212
9.3.2	高压储配站	213
9.3.3	低压储配站	214
9.3.4	储配站设计要求	215
9.4	天然气的液化及液态储存	217
9.4.1	液化天然气的目的	217
9.4.2	天然气的液化	217
9.4.3	天然气液化方法的比较	219
9.4.4	液化天然气低温储存装置	220
9.5	压缩天然气	222
9.5.1	CNG 的生产	222
9.5.2	CNG 的运输和储存	223
9.5.3	CNG 供气站	224
9.6	燃气的其他储存方法	227
9.6.1	燃气地下储存	227
9.6.2	液化石油气的低温储存	229
9.6.3	燃气管束储存	230

9.6.4 天然气固态储存	230
参考文献	230
10 液化石油气供应	232
10.1 概述	232
10.1.1 液化石油气的来源	232
10.1.2 液化石油气的特点	232
10.1.3 液化石油气的供应系统	233
10.2 液化石油气的运输	233
10.2.1 管道输送	234
10.2.2 铁路运输	237
10.2.3 公路运输	239
10.2.4 水上槽船运输	240
10.3 液化石油气储配站	241
10.3.1 储配站的工艺流程	241
10.3.2 储配站的平面布置	242
10.3.3 液化石油气储配站基本参数的确定	244
10.4 液化石油气的装卸、灌装	245
10.4.1 液化石油气的装卸	245
10.4.2 液化石油气的灌装	247
10.5 液化石油气的气化和混合气	250
10.5.1 天然气化	250
10.5.2 强制气化	254
10.5.3 液化石油气-空气混合气	257
10.6 液化石油气气化供应和混气供应	261
10.6.1 液化石油气瓶组气化站天然气化供应	261
10.6.2 液化石油气瓶组气化站强制气化供应	265
10.6.3 液化石油气储罐强制气化供应	265
10.6.4 瓶组气化站站址选择与平面布置	266
10.6.5 气化站和混气站站址选择与平面布置	267
参考文献	269

1 燃气的分类、性质及质量要求

1.1 燃气的分类

在确定城镇输配系统的压力级制、管径和管理措施时均应考虑燃气的种类和性质。另外，为了提高燃气的标准化水平，各地供应燃气的成分和热值应相对稳定，也就是要符合城镇燃气互换的要求。

燃气可以按气源分类，也可以按燃气的燃烧特性分类。

1.1.1 按气源分类

按燃气的来源，通常可以把燃气分为天然气、人工燃气、液化石油气和生物质气等。

1.1.1.1 天然气

天然气主要是由低分子的碳氢化合物组成的混合物。根据天然气来源一般可分为四种：气田气（或称纯天然气）、石油伴生气、凝析气田气和煤层气。

A 气田气

气田气是从气井直接开采出来的燃气。气田气的成分以甲烷为主，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，其低热值约为 $36\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

B 石油伴生气

伴随石油一起开采出来的低烃类气体称为石油伴生气。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%，低热值约为 $45\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

C 凝析气田气

凝析气田气是含石油轻质馏分的燃气。凝析气田气除含有大量甲烷外，还含有2%~5%的戊烷及其他碳氢化合物，低热值约为 $48\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

D 煤层气

煤层气是在成煤过程中生成，并以吸附和游离状态赋存于煤层及周围岩石上的一种可燃气体。煤层气的主要成分是甲烷（通常占90%以上），还有少量的二氧化碳、氮气、氢气以及烃类化合物，其低热值约为 $35\text{MJ}/\text{m}^3$ 。在煤层开采过程中，井巷中的煤层气与空气混合形成的气体称为矿井气。矿井气主要成分为甲烷（30%~55%）、氮气（30%~55%）、氧气及二氧化碳等，低热值约为 $18\text{MJ}/\text{m}^3$ 。

天然气是制取合成氨、炭黑、乙炔等化工产品的原料气，是优质燃料气和理想的城镇气源，也被用作汽车的燃料。我国天然气资源丰富，主要分布在我国中部、西部和近海三个大区。我国天然气勘探从20世纪60年代开始，40年来取得了突破性进展。截至2006年底，我国已累计探明天然气（含溶解气）地质储量 $6.69 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，累计探明天然气可采储量 $3.78 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，累计采出天然气7772.21亿 m^3 。2006年我国天然气产量为585.5亿 m^3 ，列世界第11位。

另外，我国煤层气资源也十分丰富，主要分布在鄂尔多斯、沁水、准噶尔等9个含气盆地（群）。我国逐步加大了煤层气的开发力度，全国已钻成煤层气勘探和生产试验井多口，最高

单井日产气量达 10000m^3 以上。

随着“西气东输”和“川气东送”等长输管线的建设，部分地区城镇间输气管网的逐步展开，形成了以川渝气区环形运输管网、气田向周边放射形输送管网、“西气东输”长输管网为代表的供气格局，初步形成了连接东西、纵横南北的管输网络。我国的天然气管线已进入快速发展阶段，天然气管道里程接近 30000km ，大大提高了资源配置能力。天然气资源缺乏且长输管线暂不能通过的地区，可通过运输压缩天然气或液化天然气等方式来发展城镇燃气事业。

1.1.1.2 人工燃气

人工燃气是指以固体、液体（包括煤、重油、轻油等）为原料经转化制得，且符合现行国家标准《人工煤气》GB/T 13612 质量要求的可燃气。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。

A 固体燃料干馏煤气

利用焦炉、连续式直立炭化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，每吨煤可产煤气 $300 \sim 400\text{m}^3$ 。这类煤气中甲烷和氢的含量较高，低热值约为 $17\text{MJ}/\text{m}^3$ 。干馏煤气的生产历史最长，目前仍是我国一些城镇燃气的重要气源。

B 固体燃料气化煤气

加压气化煤气、水煤气、发生炉煤气等均属此类。

(1) 加压气化煤气是在 $2.0 \sim 3.0\text{MPa}$ 的压力下，以煤为原料，采用纯氧和水蒸气为气化剂，可获得高压气化煤气。其主要成分为氢气和甲烷，低热值约为 $15\text{MJ}/\text{m}^3$ 。若城镇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，这套装置可建设在煤矿附近（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主要成分为一氧化碳和氢气。水煤气的低热值约为 $10\text{MJ}/\text{m}^3$ ，发生炉煤气的低热值约为 $6\text{MJ}/\text{m}^3$ 。由于这两种燃气的热值低，而且毒性大，不可单独作为城镇燃气的气源，但可用来加热焦炉和连续直立式炭化炉，以顶替出热值较高的干馏煤气，增加供应城镇的气量。这两种燃气也可以和干馏煤气、重油蓄热裂解气掺混，调节供气量和调整燃气发热值，作为城镇燃气的补充和调峰气源。

C 油制气

油制气是指利用重油（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。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。重油蓄热裂解气以甲烷、乙烯和丙烯为主要成分，低热值约为 $41\text{MJ}/\text{m}^3$ 。每吨重油的产气量约为 $500 \sim 550\text{m}^3$ 。重油蓄热催化裂解气中氢气含量最多，也含有甲烷和一氧化碳，低热值约为 $17\text{MJ}/\text{m}^3$ ，利用三筒炉催化裂解装置，每吨重油的产气量约为 $1200 \sim 1300\text{m}^3$ 。

与其他制气方式相比，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。油制气既可作为城镇燃气的基本气源，也可作为城镇燃气的调度气源。

中、小燃气厂也可以石脑油（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，气化效率高。

D 高炉煤气

高炉煤气是钢铁企业炼铁时的副产气，主要成分是一氧化碳和氮气，低热值约为 $4\text{MJ}/\text{m}^3$ 。高炉煤气可用作炼焦炉的加热煤气，以使更多的焦炉煤气供应城镇。高炉煤气也常用作锅炉的燃料或与焦炉煤气掺混作为工业气源。

1.1.1.3 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，即只用烃的碳原子数来表示。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，其体积缩小约250倍。气态液化石油气的低热值约为100MJ/m³。液态液化石油气的低热值约为46MJ/kg。

1.1.1.4 生物质气

生物质气是以生物质为原料通过发酵、干馏或直接气化等方法产生的可燃气体。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可产生可燃气体，也称为沼气。发酵的原料粪便、垃圾、杂草和落叶等有机物质，用于干馏和气化的秸秆、稻壳、树枝、木屑都是农业和林业的废弃物，因此生物质气属于可再生资源。生物质气中甲烷的含量约为60%，二氧化碳约为35%，还含有少量的氢、一氧化碳等气体。生物质气的低热值约为21MJ/m³。

各种燃气的成分及低热值举例见表1-1。

表 1-1 燃气的组分及低热值

序号	燃气类别	体积分数/%								低热值 /MJ·m ⁻³	
		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	36.22
2	石油伴生气	81.7	6.2	4.86	4.94			0.3	0.2	1.8	45.47
3	凝析气田气	74.3	6.75	1.88	14.9			1.62		0.55	48.36
4	煤层气	99.14								0.86	35.58
二	人工煤气										
(一)	固体燃料干馏煤气										
1	焦炉煤气	27			2	6	56	3	1	5	18.25
2	连续式直立炭化炉煤气	18			1.7	17	56	5	0.3	2	16.16
(二)	固体燃料气化煤气										
1	加压气化煤气	18			0.7	18	56	3	0.3	4	15.41
2	水煤气	1.2				34.4	52.0	8.2	0.2	4	10.38
3	发生炉煤气	1.8		0.4		30.4	8.4	2.4	0.2	56.4	5.90
(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	41.53
2	重油蓄热催化裂解气	16.6			5	17.2	46.5	7.0	1.0	6.7	17.54
(四)	高炉煤气	0.3				28.0	2.7	10.5		58.5	3.94
三	液化石油气(气态)		50	50							108.44
四	生物质气	60				少量	少量	35	少量		21.77

1.1.2 按燃烧特性分类

燃气性质中影响燃烧特性的参数主要有华白数W和火焰传播速度(即燃烧速度)。华白数

是与热值 H 和相对密度 S 有关的综合系数, 即 $W = H/\sqrt{S}$ 。在压力不变的情况下, 华白数是设计和选用燃具的重要依据。很多国家 (如英国、法国、俄罗斯等) 均按华白数对燃气进行分类, 国际燃气联盟 (IGU) 也制订了按华白数对燃气进行分类的标准, 见表 1-2。

表 1-2 国际燃气联盟 (IGU) 燃气分类

分类	华白数/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

当燃气的成分和性质变化较大, 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, 仅用华白数分类不能满足设计要求, 因而又提出燃烧速度指数——燃烧势 C_p , 以反映燃具燃烧稳定状况的综合指数, 更全面地判断燃气的燃烧特性。

根据我国当前主要城镇气源分布情况, 参照 IGU 燃气分类以及一些国家的相应标准, 制订了我国“城镇燃气分类”标准。我国的分类指标是国际上广泛采用的华白数和燃烧势。表 1-3 列出了三大族十一类燃气的华白数及燃烧势的标准和允许波动范围。

表 1-3 我国燃气分类及燃烧特性值

类别		华白数/MJ·m ⁻³		燃烧势	
		标准值	波动值	标准值	波动值
人工煤气	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	31.0	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
	20Y	79.64	72.86 ~ 87.53	46.3	41.6 ~ 49.4
	22Y	87.64	81.83 ~ 87.53	41.6	41.6 ~ 44.9

注: 1. 3T、4T 为矿井气, 6T 为沼气, 其燃烧特性接近天然气。

2. 22Y 的华白数下限值和燃烧势的上限值为 C₃H₈ 和 C₄H₁₀ 体积分数分别为 55% 和 45% 时的计算值。

1.2 燃气的基本性质

燃气是由多种可燃与不可燃气体组成的混合物, 其可燃成分主要包括碳氢化合物 (如甲

烷、乙烷、乙烯、丙烷、丁烷、丁烯等)、氢气、一氧化碳等,不可燃成分主要包括二氧化碳、氮气、氧气等。各组分气体之间不发生化学反应,是一种均匀混合物。燃气的性质取决于各组分气体的比例和性质。燃气组分中常见的低烃类和某些单一气体的基本性质分别列于表 1-4 和表 1-5 中。本节以此为基础来介绍燃气的基本特性。

表 1-4 某些低烃类气体的基本性质

气体名称	甲烷	乙烷	乙烯	丙烷	丙烯	正丁烷	异丁烷	正戊烷
分子式	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂
相对分子质量 M_r	16.0430	30.0700	28.0540	44.0970	42.0810	58.1240	58.1240	72.1510
摩尔体积 $V_m/m^3 \cdot kmol^{-1}$	22.3621	22.1872	22.2567	21.9362	21.990	21.5036	21.5977	20.891
密度 $\rho/kg \cdot m^{-3}$	0.7174	1.3553	1.2605	2.0102	1.9136	2.7030	2.6912	3.4537
气体常数 $R/kJ \cdot (kg \cdot K)^{-1}$	517.1	273.7	294.3	184.5	193.8	137.2	137.8	107.3
临界参数:								
临界温度 T_c/K	191.05	305.45	282.95	368.85	364.75	425.95	407.15	470.35
临界压力 p_c/MPa	4.6407	4.8839	5.3398	4.3975	4.7623	3.6173	3.6578	3.3437
临界密度 $\rho_c/kg \cdot m^{-3}$	162	210	220	226	232	225	221	232
发热量:								
高热值 $H_h/MJ \cdot m^{-3}$	39.842	70.351	63.438	101.266	93.667	133.886	133.048	169.377
低热值 $H_l/MJ \cdot m^{-3}$	35.902	64.397	59.477	93.240	87.667	123.649	122.853	156.733
爆炸极限:								
爆炸下限 $L_l/\%$	5.0	2.9	2.7	2.1	2.0	1.5	1.8	1.4
爆炸上限 $L_h/\%$	15.0	13.0	34.0	9.5	11.7	8.5	8.5	8.3
黏度:								
动力黏度 $\mu/\mu Pa \cdot s$	10.393	8.600	9.316	7.502	7.649	6.835		6.355
运动黏度 $\nu/mm^2 \cdot s^{-1}$	14.50	6.41	7.46	3.81	3.99	2.53		1.85
无因次系数 C	164	252	225	278	321	377	368	383

注: (1) 爆炸极限指在温度为 293K, 压力为 101.325kPa 状态下的数据。

(2) 其余参数指在温度为 273.15K, 压力为 101.325kPa 状态下的数据。

表 1-5 某些气体的基本性质

气体名称	一氧化碳	氢气	氮气	氧气	二氧化碳	硫化氢	空气	水蒸气
分子式	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ S		H ₂ O
相对分子质量 M_r	28.0104	2.0160	28.0134	31.9988	44.0098	34.076	28.966	18.0154
摩尔体积 $V_m/m^3 \cdot kmol^{-1}$	22.3984	22.427	22.403	22.3923	22.2601	22.1802	22.4003	21.629
密度 $\rho/kg \cdot m^{-3}$	1.2506	0.0899	1.2504	1.4291	1.9771	1.5363	1.2931	0.833
气体常数 $R/kJ \cdot (kg \cdot K)^{-1}$	296.63	412.664	296.66	259.585	188.74	241.45	286.867	445.357
临界参数:								
临界温度 T_c/K	133.0	33.30	126.2	154.8	304.2		132.5	647.3
临界压力 p_c/MPa	3.4957	1.2970	3.3944	5.0764	7.3866		3.7663	22.1193
临界密度 $\rho_c/kg \cdot m^{-3}$	300.86	31.015	310.91	430.09	468.19		320.07	321.07

续表 1-5

气体名称	一氧化碳	氢气	氮气	氧气	二氧化碳	硫化氢	空气	水蒸气
发热值:								
高热值 $H_h/\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	12.636	12.745				25.348		
低热值 $H_l/\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	12.636	10.786				23.368		
爆炸极限:								
爆炸下限 $L_l/\%$	12.5	4.0				4.3		
爆炸上限 $L_h/\%$	74.2	75.9				45.5		
黏度:								
动力黏度 $\mu/\mu\text{Pa} \cdot \text{s}$	16.573	8.355	16.671	19.417	14.023	11.670	17.162	8.434
运动黏度 $\nu/\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	13.30	93.0	13.30	13.60	7.09	7.63	13.40	10.12
无因次系数 C	104	81.7	112	131	266		112	

注: (1) 爆炸极限指在温度为 293K, 压力为 101.325kPa 状态下的数据。

(2) 其余参数指在温度为 273.15K, 压力为 101.325kPa 状态下的数据。

1.2.1 燃气的物理性质

1.2.1.1 混合物的平均相对分子质量、平均密度和相对密度

混合物是由互不发生化学反应的多种单一组分混合而成, 因此无法用一个统一的分子式来表示, 只能把它假设成具有平均参数的某一种物质来计算其平均相对分子质量、密度和相对密度等参数。

A 平均相对分子质量

(1) 混合气体的平均相对分子质量按式 (1-1) 计算, 即

$$M_r = \varphi_1 M_{r_1} + \varphi_2 M_{r_2} + \cdots + \varphi_n M_{r_n} \quad (1-1)$$

式中 M_r ——混合气体平均相对分子质量;

$\varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_n$ ——混合气体各组分的体积分数;

$M_{r_1}, M_{r_2}, \cdots, M_{r_n}$ ——混合气体各组分的相对分子质量。

(2) 混合液体的平均相对分子质量可按式 (1-2) 计算, 即

$$M_r = x_1 M_{r_1} + x_2 M_{r_2} + \cdots + x_n M_{r_n} \quad (1-2)$$

式中 M_r ——混合液体平均相对分子质量;

x_1, x_2, \cdots, x_n ——混合液体各组分的摩尔分数;

$M_{r_1}, M_{r_2}, \cdots, M_{r_n}$ ——混合液体各组分的相对分子质量。

B 燃气的平均密度和相对密度

单位体积燃气所具有的质量称为燃气的平均密度。

(1) 混合气体平均密度按式 (1-3a) 或式 (1-3b) 计算, 即

$$\rho = \varphi_1 \rho_1 + \varphi_2 \rho_2 + \cdots + \varphi_n \rho_n \quad (1-3a)$$

或

$$\rho = \frac{M}{V_m} \quad (1-3b)$$

式中 ρ ——混合气体平均密度, kg/m^3 ;