

燃气供应与安全管理

戴路 编著



中国建筑工业出版社

目次

第一章 绪论

第一节 燃气供应与安全管理的重要性

燃气供应与安全管理

戴路 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气供应与安全管理/戴路编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008
ISBN 978-7-112-10017-0

I. 燃… II. 戴… III. 燃料气-供应-安全管理
IV. TU996.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 045740 号

本书通过对燃气供应各个环节的生产工艺过程及相关设备介绍, 深入浅出地阐述了燃气基础知识、安全技术基本理论、安全管理方法以及事故防范措施, 并结合实际介绍燃气生产与使用安全操作要点、注意事项和事故案例。旨在为广大燃气生产企业、用户防范或控制安全事故起到积极的作用。本书可作为燃气生产、输配工作人员及管理者的培训教材, 也可供从事燃气工作的工程技术人员及燃气使用人员参考。对其他行业从事安全管理的人员也有参考价值。

* * *

责任编辑: 吴文侯
责任设计: 赵明霞
责任校对: 梁珊珊 兰曼利

燃气供应与安全管理

戴路 编著

*

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
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 $\frac{3}{4}$ 字数: 626 千字
2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月第一次印刷
印数: 1—2500 册 定价: 54.00 元

ISBN 978-7-112-10017-0
(16820)

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)

前 言

安全生产关系人民群众生命安全和国家财产安全，关系改革发展和社会稳定大局。搞好安全生产工作，是构建和谐社会，统筹经济社会全面发展的重要内容，是关注民生，改善民生，加强社会建设，完善社会管理，促进公平正义，实现可持续发展战略的组成部分。党中央、国务院对安全生产高度重视，相继采取一系列重大举措，加强安全生产工作。特别是党的十六届五中全会确立了“安全发展”指导原则，六中全会把安全生产纳入构建社会主义和谐社会的总体布局。在推动国民经济建设高速发展的同时，坚持依法治安、重典治乱，建立规范的安全生产法治秩序，落实“依法治国”基本方略，全面贯彻科学发展观，转变经济发展方式，实现国民经济又好又快地发展。当前，安全生产是人民群众高度关注的热点问题之一，也是社会和谐的基本要求和社会管理的重要组成部分。只有实现安全生产，人民群众才能安居乐业，社会才能安定和谐。

由于我国现在还处于社会主义初级阶段，生产力水平不均衡，安全工作基础薄弱，安全生产与经济发展形势不相协调。其表现是事故总量仍然很大，形势依然严峻，不容乐观。因此，在新形势下必须充分认识做好安全生产工作的重要性、长期性、艰巨性、复杂性和紧迫性，认真实践“三个代表”重要思想，落实科学发展观，努力改善安全生产状况，切实维护好人民群众的根本利益。通过政府、企业和广大从业人员等各个方面的共同努力，把安全生产工作推向一个新的发展。

燃气作为清洁、高效、方便的燃料，既是历史悠久，又是一个蓬勃发展的新型行业。特别是天然气的开发和利用，给燃气事业发展注入了巨大的活力。进入21世纪以来，我国城镇燃气事业有了突飞猛进地发展。如陕气进京、西气东输以及广东LNG项目等，已成为我国著名的能源供应走廊和基地，为保障城市燃气供应，改善居民生活条件和环境条件，促进经济建设，起着十分重要的作用。由于燃气具有易燃、易爆、有毒等危害性，尤其是燃气泄漏，可能导致火灾、爆炸和中毒。稍有疏忽，管理不善，极有可能对人民生命财产构成严重的威胁。近年来，我国相继发生过一系列燃气火灾爆炸和中毒事故，有的事故伤亡惨烈，触目惊心，教训极为深刻。因此，从大量事故案例中，找出事故发生的一般规律，分析事故原因，寻求应对事故的基本对策，并从安全生产法律法规、行业技术规范以及各项安全管理制度上强化燃气安全管理，事关重要和迫切。

本书通过对燃气供应各个环节的生产工艺过程及相关设备介绍，深入浅出地阐述了燃气基础知识、安全技术基本理论、安全管理方法以及事故防范措施，并结合实际介绍燃气生产与使用安全操作要点、注意事项和事故案例。旨在为广大燃气生产企业、用户防范或控制安全事故起到积极的作用。本书可作为燃气生产、输配工作人员及管理人員的培训教材，也可供从事燃气工作的工程技术人员及燃气使用人员参考。

本书在撰写过程中，得到江孝祺、林磊、夏文元、郭二鹏、吴幼鹏等有关专家和技术人员的热情指导和帮助，谨此致以真挚的感谢！

由于编著者的理论和专业技术水平有限，错误之处在所难免，恳请读者和同行们不吝批评指正。

编著者

目 录

第一章 燃气基本知识	1
第一节 燃气的分类与性质.....	1
第二节 燃气的成分与质量要求.....	6
第三节 燃气的物理化学性质.....	9
第四节 城镇燃气的加臭	18
第二章 燃气供应系统	20
第一节 液化石油气供应系统	20
第二节 天然气供应系统	28
第三章 燃气运输与装卸	41
第一节 燃气运输渠道与方式	41
第二节 常见燃气运输工具	42
第三节 燃气运输安全管理	56
第四节 港口及罐车装卸	59
第五节 气瓶充装	70
第四章 燃气站场安全管理	77
第一节 站(场)址选择和总平面布置	77
第二节 站区防爆、防静电及防雷	92
第三节 储配站投运.....	103
第四节 站区运行安全管理.....	108
第五节 辅助生产区安全管理.....	113
第五章 燃气设备安全管理	115
第一节 压力容器安全管理.....	115
第二节 机泵设备安全管理.....	133
第三节 灌装计量设备安全管理.....	140
第四节 调压计量设备安全管理.....	143
第五节 设备故障诊断技术.....	144
第六章 气瓶供应与安全管理	151
第一节 气瓶概述.....	151
第二节 气瓶颜色与钢印标志.....	157
第三节 气瓶使用登记与安全管理.....	158
第四节 气瓶供应与安全使用.....	162
第五节 气瓶终端配送.....	169
第六节 气瓶运输.....	176
第七节 气瓶储存与管理.....	178

第八节	气瓶定期检验	179
第七章	管道供气与安全管理	183
第一节	管网输配概述	183
第二节	管道及附属设备	190
第三节	管道建设	210
第四节	管道运行管理	220
第五节	管道的检验	229
第六节	管道燃气的正确使用	238
第八章	安全检修	243
第一节	检修的安全管理	243
第二节	检修作业	245
第三节	装置的安全停、开车	252
第四节	管道技术改造与带气接线	255
第五节	装置检修案例	259
第九章	燃气泄漏与防治	270
第一节	泄漏的概念	270
第二节	泄漏的危害及其原因	271
第三节	预防泄漏的措施	272
第四节	泄漏检测技术	275
第五节	堵漏技术	282
第十章	燃气火灾与消防	289
第一节	消防基础知识	289
第二节	燃气火灾爆炸的危险性	298
第三节	消防设施与管理	302
第四节	灭火器的配备、使用与管理	305
第十一章	燃气安全经营	313
第一节	概述	313
第二节	安全生产管理制度	315
第三节	安全技术操作规程	332
第四节	安全生产责任制	340
第五节	安全检查	346
第六节	事故管理	353
第十二章	事故应急预案与案例	356
第一节	概述	356
第二节	应急救援体系及运行	358
第三节	应急救援预案的编制	361
第四节	事故应急救援预案案例	366
第五节	典型燃气事故案例	382
附录	常用计量单位及其换算	388
参考文献		405

第一章 燃气基本知识

第一节 燃气的分类与性质

一、燃气的种类

燃气的种类很多，归纳起来主要有天然气、人工燃气、液化石油气、工业余气、生物气（沼气）等。

（一）天然气

天然气是指通过生物化学作用及地质变质作用，在不同地质条件下生成、运移，在一定的压力下储集的可燃气体。

1. 按矿藏特点分类

（1）气田气

即纯气田天然气，气藏中的天然气以气相存在，通过气井开采出来，其中成分主要是甲烷（含量约为80%~90%）、乙烷，丁烷含量一般不大，戊烷及戊烷以上的重烃含量甚微。其低热值约为36MJ/Nm³。

（2）油田伴生气

它伴随原油共生，是在油藏中与原油呈相平衡接触的气体，包括游离气（气层气）和溶解在原油中的溶解气，从组成上属于湿气。气相游离气中除含有甲烷、乙烷、丙烷、丁烷外，还含有戊烷、己烷，甚至还有C₉、C₁₀组分。液相溶解气中除含有重烃外，仍含有一定量的丙烷、丁烷，甚或甲烷。

（3）凝析气田天然气

是在气藏中以气体状态存在，具有高含量可回收烃液的气田气，其凝析液主要为凝析油，其次还有部分被凝析的水。其成分除含有甲烷、乙烷外，还含有一定的丙烷、丁烷及C₅以上的烃类。

2. 按天然气组成分类

（1）干气

1m³（101.325kPa，20℃）井口流出物中，C₅以上重烃液体含量低于13.5cm³的天然气。

（2）湿气

1m³井口流出物中，C₅以上重烃液体含量超过13.5cm³的天然气，一般湿气需分离出液态烃产品和水后才能达到管输标准。

（3）贫气

1m³井口流出物中，C₃以上烃类液体含量低于94cm³的天然气。

(4) 富气

1m³ 井口流出物中, C₃ 以上烃类液体含量高于 94cm³ 的天然气。

(5) 酸性气

指含有较多的 H₂S 和 CO₂ 等物质, 需要进行净化, 才能达到管输标准的天然气。

(6) 洁气

指 H₂S 和 CO₂ 含量甚微, 不需要净化处理的天然气。

(二) 人工燃气

以固体或液体可燃物为原料, 经各种热加工制得的可燃气体称为人工燃气。主要有干馏煤气、气化煤气和油制气等。

1. 干馏煤气

利用焦炉、连续式直立碳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。焦炉煤气是炼焦过程的副产品。

用干馏方式生产煤气, 每吨煤可产煤气 300~400m³。这种煤气中氢气约占 60%, 甲烷在 20% 以上, 一氧化碳为 8% 左右。低热值一般在 16.74MJ/m³ (4000kcal/m³) 左右。

2. 气化煤气

以固体燃料为原料, 在气化炉中通入气化剂 (空气、氧气、水蒸气等), 在高温条件下经过气化反应而得到的可燃气体称为气化煤气。通常有发生炉煤气、水煤气和蒸气—氧气煤气。

发生炉和水煤气的主要组分为一氧化碳和氢。发生炉煤气的热值为 5.443MJ/m³ (1300kcal/m³) 左右; 水煤气的热值为 10.467MJ/m³ (2500kcal/m³) 左右。这两种煤气由于热值低, 毒性大, 一般不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炉, 以顶替出热值较高的干馏煤气, 增加供应城镇的燃气量。也可以和干馏煤气、重油蓄热裂解气掺混, 用以调节供气量和调整燃气的热值, 或作为城镇燃气的调度气源。

在 1.47~2.94MPa 的压力下, 以煤作为原料, 采用纯氧和水蒸气为气化剂, 可获得高压蒸汽氧鼓风煤气, 称为蒸汽—氧气煤气或称加压气化煤气。其主要组分为含量较高的甲烷及氢, 热值为 15.072MJ/m³ (3600kcal/m³) 左右。

3. 油制气

以石油及其副产品作为原料, 经过高温裂解而制成的可燃气体。按制取的方法不同, 主要有重油蓄热热裂解制气和重油蓄热催化裂解制气两种。重油蓄热热裂解气以甲烷、乙烯和丙烯为主要组分, 热值为 41.868MJ/m³ (10000kcal/m³) 左右, 每吨重油的产气量为 500~550m³; 重油蓄热催化裂解气中氢含量较多, 也含有甲烷和一氧化碳, 热值为 17.585~20.934MJ/m³ (4200~5000kcal/m³), 利用三筒炉催化裂解装置, 每吨重油的产气量为 1200~1300m³。

油制气无论组分还是热值, 以及燃烧性能都与炼焦煤气相似。故可以作为城镇燃气的气源, 也可以与低热值燃气掺混, 增加燃气供应量, 或作为城镇的调峰气源。

4. 高炉煤气

钢铁厂在炼铁过程中由高炉排放出来的气体, 主要成分是一氧化碳和氢气, 发热值为 3.768~4.186MJ/m³ (900~1000kcal/m³)。高炉煤气可取代焦炉煤气用作炼焦炉的加热煤气, 以使更多的焦炉煤气供应城市。高炉煤气也常用作锅炉的燃料或与焦炉煤气掺混用

于城镇供气或冶金工厂的加热工艺。

人工燃气生产历史较长，工艺成熟，是 20 世纪 50 年代我国城镇燃气系统的主要气源。但目前已逐步被天然气、液化石油气等气源替代。

(三) 液化石油气 (LPG)

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。目前我国城镇供应的液化石油气，主要来自炼油厂的催化裂解或热裂解装置。

液化石油气的主要组分有：丙烷、丙烯、丁烷、丁烯等。液化石油气中的烯烃部分可用作化工原料，而烷烃部分可用作燃料。

液化石油气已成为我国城镇燃气的主要气源之一。

(四) 工业余气

石油化工与化肥生产企业在生产过程中常排出一些工业余气，这些工业余气含有大量的可燃成分，经收集、加工，也可以作为城镇燃气的气源。据测定，每生产 1 吨合成氨约有 120~150m³ 的弛放气，其体积分数一般为 H₂-(50~60)%；CH₄-18%；N₂-(22~32)%，热值 11.8~12.9MJ/m³ (2800~3100kcal/m³)。

工业余气多被放空或设火炬将其烧掉，造成环境污染和浪费。若被利用，可提高能源利用率，避免资源浪费，同时减轻大气环境污染。

(五) 生物气

生物气俗称沼气，以发生源的不同可分为天然沼气和人工沼气两大类。

天然沼气是自然界中有机质自然形成的沼气，如矿井、煤层产出的沼气（或称瓦斯、煤气）；也有产自沼泽、池塘等污泥池的沼气，即污泥沼气；还有由阴沟中的有机质形成的沼气，称阴沟沼气等。

人工沼气是一种再生能源，人们将含有蛋白质、纤维素、脂肪、淀粉等有机质，如秸秆、杂草、树叶和人畜粪便等，在缺氧情况下，借助于厌氧菌的作用使之发酵分解生成可燃气体，即为人工沼气。一般沼气的含甲烷 55%~70%、二氧化碳 25%~40%，此外还有少量的硫化氢、氮气、氢气、一氧化碳、氧气等气体，有时还含有少量的重碳氢化合物 (C_mH_n)。沼气的热值为 20.000~29.308MJ/m³ (4800~7000kcal/m³)。

城镇燃气组分及低热值列于表 1-1 中。

城镇燃气组分及低热值

表 1-1

序号	燃气类别	体积分数(%)									低热值 (MJ/m ³)	
		CH ₄	C ₂ H ₆	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		36.216
2	石油伴生气	81.7	6.2	4.86	4.94			0.3	0.2	1.8		45.469
3	凝析气田气	74.3	6.75	1.87	14.91			1.62		0.55		48.358
4	矿井气	52.4						4.6	7.0	36.0		18.841
二	人工燃气											
1	固体燃料干馏煤气											

续表

序号	燃气类别	体积分数(%)									低热值 (MJ/m ³)
		CH ₄	C ₂ H ₂	C ₄ H ₁₀	C _m H _n	CO	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	
(1)	焦炉煤气	27			2	6	56	3	1	5	18.254
(2)	连续式直立碳化炉煤气	18			1.7	17	56	5	0.3	2	16.161
(3)	立箱炉煤气	25				9.5	55	6	0.5	4	16.119
2	固体燃料气化煤气										
(1)	压力气化煤气	18			0.7	18	56	3	0.3	4	15.407
(2)	水煤气	1.2				34.4	52	8.2	0.2	4	10.383
(3)	发生炉煤气	1.8		0.4		30.4	8.4	2.4	0.2	56.4	5.903
3	油制气										
(1)	重油蓄热热裂解气	28.5			32.17	2.68	31.51	2.13	0.62	2.39	42.161
(2)	重油蓄热催化裂解气	16.5			5	17.3	46.5	7	1.0	6.7	17.543
4	高炉煤气	0.3				28	2.7	10.5		58.5	3.936
三	液化石油气(概略值)		50	50							108.438
四	生物气	60				少量	少量	35	少量		21.771

二、城镇燃气的分类

不同类型的燃气其组分、热值和燃烧特性等各不相同。从应用的角度，如果以热值和燃烧特性作为特征对燃气进行适当的分类，使用户可以按不同的需求选择燃气类别，这对提高各类燃气的能源价值是十分有益的。

(一) 燃气的互换性

互换性是城镇燃气的重要指标。

具有多种气源的城市，常常会遇到以下两种情况：一是随着燃气供应规模的发展和制气方式的改变，某些地区原来使用的燃气可能由其他性质不同的燃气所代替；另一种是基本气源发生紧急事故，或在高峰负荷时，需要在供气系统中掺入性质与原有燃气不同的其他燃气。当燃气成分变化不大时，燃烧器燃烧工况虽有改变，但尚能满足燃具的原设计要求；当燃气成分变化较大时，燃烧工况的改变使得燃具不能正常工作。

任何燃具，都是按一定的燃气成分设计的。设某一燃具以 a 燃气为基准进行设计和调整，若以 b 燃气来置换 a 燃气，此时燃具不加任何调整而能保证正常工作，则表示 b 燃气可以置换 a 燃气。或称 b 燃气对 a 燃气具有“互换性”。反之，如果燃具不能正常工作，则表示 b 燃气对 a 燃气没有互换性。为了达到互换性的要求，制气方法不能随意选用，新的制气方法（置换气）须对原制气方法（基准气）具有互换性。

(二) 燃气的燃烧特性指标

决定燃气互换性的是燃气的燃烧特性指标：华白指数（或称发热指数）和燃烧势（或称燃烧速度指数）。当燃气成分改变时，华白指数和燃烧势也同时改变。

1. 华白指数

华白指数是在互换性问题产生初期所使用的一个互换性判定指数。在置换气和基准气

的化学、物理性质相差不大、燃烧特性比较接近时，可以用华白指数指标控制燃气的互换性。世界各国一般规定，在两种燃气互换时，华白指数的变化不大于±5%~10%。华白指数是一项控制燃具热负荷恒定状况的指标。

华白指数 W 按下式计算：

$$W = \frac{Q_h}{\sqrt{d}} \quad (1-1)$$

式中 Q_h ——燃气高热值 (MJ/m^3) (华白数一般按燃气高热值计算)；

d ——燃气相对密度 (空气=1)。

当使用燃气低热值来计算华白指数 W 时，应予注明，并在燃气互换时统一计算热值。

2. 燃烧势

随着燃气种类的增多，出现了燃烧特性差别较大的两种燃气的互换性问题，除了华白指数以外，还必须引入燃烧势的概念。燃烧势反映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。

燃烧势 CP 按下式计算：

$$CP = K \times \frac{1.0\text{H}_2 + 0.6(\text{C}_m\text{H}_n + \text{CO}) + 0.3\text{CH}_4}{\sqrt{d}} \quad (1-2)$$

式中 H_2 、 C_mH_n 、 CO 、 CH_4 ——燃气中氢、碳氢化合物 (除甲烷外)、一氧化碳、甲烷组分含量 (体积%)；

d ——燃气相对密度 (空气=1)；

K ——燃气中氧含量修正系数， $K = 1 + 0.0054\text{O}_2^2$ ；

O_2 ——燃气中氧组分含量 (体积%)。

(三) 燃气的分类

国际煤气工业联盟曾于 1967 年第十届国际煤气工业会议推荐将燃气分为三类，每类又分为几组：

第一类燃气为人工燃气，华白指数为 $23.865 \sim 31.401 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($5700 \sim 7500 \text{kcal}/\text{m}^3$)。

此类又分为三组：

a 组 一般指煤制气、水煤气等热值较低的燃气 (即贫煤气) 或石油气与空气或贫煤气的混合气体，华白指数为 $23.865 \sim 28.052 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($5700 \sim 6700 \text{kcal}/\text{m}^3$)，燃烧势大于 60。

b 组 (焦炉气) 华白指数 $23.865 \sim 25.958 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($5700 \sim 6200 \text{kcal}/\text{m}^3$)，燃烧势大于 60。

c 组 (空气与液化石油气或其他石油气的混合气体) 华白指数为 $24.283 \sim 27.214 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($5800 \sim 6500 \text{kcal}/\text{m}^3$)，燃烧势小于 60。

第二类燃气主要是天然气，华白指数为 $41.449 \sim 57.778 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($9900 \sim 13800 \text{kcal}/\text{m}^3$)。国际煤气工业联盟于 1970 年第十一届国际煤气工业会议修改了第二类燃气的分级，将其分为两组：

H 组 华白指数较高的天然气，华白指数为 $48.148 \sim 57.987 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($11500 \sim 13850 \text{kcal}/\text{m}^3$)。

L 组 华白指数较低的天然气，华白指数为 $41.282 \sim 47.311 \text{MJ}/\text{m}^3$ ($9860 \sim 11300 \text{kcal}/\text{m}^3$)。

m³)。第三类燃气，华白指数为 77.456~92.424MJ/m³ (18500~22075kcal/m³)。此类燃气虽然从规定上没有分组，但实际中人们将它分为两组：

商业丁烷——以丁烷为主的混合气体；

商业丙烷——以丙烷为主的混合气体。

燃气是一种优质的能源，其种类很多，作为居民生活、工业企业生产和商业服务所需原料，利用十分广泛。人工燃气由于资源条件和环境保护的原因，作为城镇燃气的主气源已逐渐被替换；工业余气由于收集、加工工艺较为复杂，且供气规模往往受到限制；而沼气供气规模较小，主要应用于农村及偏远地区。目前在我国，城镇燃气正过渡到以天然气和液化石油气为主要气源。由于受篇幅的限制，在以下讨论燃气供应与安全管理时，仅就天然气和液化石油气两种气源进行探讨。因此，本文以下所称的燃气特指天然气和液化石油气。

第二节 燃气的成分与质量要求

一、燃气的成分

(一) 天然气的成分

天然气是以低分子饱和烃为主的烃类气体与少量非烃类气体组成的混合气体。它是一种低相对密度、低黏度的流体，无色；在常压和温度 239K 时，CH₄-C₄H₁₀ 为气态；C₅H₁₂-C₁₇H₃₆ 为液态；C₁₈H₃₈ 为固态。天然气是一种可燃气体，它与 5%~15% 的空气混合易燃，点火温度范围在 866.5~977.6K，具有很高的发热量。如在标准状态下，甲烷的热值为 37.260MJ/m³，比普通煤的热值大 1.5 倍。这是表征天然气的重要性质参数，因为天然气定价最常用的依据是它的热值含量，而不是它的重量或体积。

在天然气组分中，甲烷 (CH₄) 占有绝大部分，乙烷 (C₂H₆)、丁烷 (C₄H₁₀) 和戊烷 (C₅H₁₂) 含量不多，庚烷 (C₇H₁₆) 以上的烷烃含量极少。另外，还含有少量的非烃类气体，如硫化氢 (H₂S)、二氧化碳 (CO₂)、一氧化碳 (CO)、氮 (N₂)、氢 (H₂)、水蒸气 (H₂O) 以及硫醇 (RSH)、硫醚 (RSR)、二硫化碳 (CS₂) 等有机硫化物，有时还含有微量的稀有气体，如氦 (He)、氩 (Ar) 等。在大多数天然气中，还存在着少量的不饱和烃，如乙烯 (C₂H₄)、丙烯 (C₃H₆)、丁烯 (C₄H₈)，偶尔还含有极少量的环状烃化合物——环烷烃和芳烃等。

(二) 液化石油气的成分

液化石油气是由碳和氢两种元素构成的碳氢化合物的混合物，化学上把由碳和氢形成的有机化合物通称为烃。液化石油气的主要成分是含有三个碳原子和四个碳原子的碳氢化合物，行业上习惯称为“碳三 (或 C₃)”和“碳四 (或 C₄)”。

三个碳原子和八个氢原子结合到一起的饱和烃，叫丙烷，其分子式为 C₃H₈。

三个碳原子和六个氢原子结合到一起的是不饱和烃，叫丙烯，其分子式为 C₃H₆。

碳四烃类主要是丁烷和丁烯两种，分子式分别为 C₄H₁₀ 和 C₄H₈。其中正丁烷和异丁烷的分子式 (C₄H₁₀) 相同，但分子结构不同；异丁烯、丁烯-1、顺丁烯和反丁烯-2 也是

分子式 (C_4H_8) 相同, 分子结构不同。

综上所述, 液化石油气是由丙烷、丙烯、正丁烷、异丁烷、异丁烯、丁烯-1、顺丁烯、反丁烯-2 等 8 种物质组成。但主要组分是丙烷、丁烷 (正丁烷、异丁烷)。

二、燃气的质量要求

随着燃气事业的迅速发展, 利用天然气和液化石油气作为城镇燃气的气源, 具有投资省、设备简单、供应方式灵活、建设速度快等优点。燃气作为城镇居民生活、工业生产和商业服务的重要原料, 其质量要求是根据经济效益、安全卫生和环境保护三方面因素综合考虑而制订的。事实上, 即使在同一个国家, 不同的地区、不同用途的商品气, 质量要求均不相同。因此, 燃气质量不可能以一个国际标准来统一。

(一) 燃气的质量指标

1. 热值

燃气热值是指单位数量 ($1Nm^3$ 或 $1kg$) 燃气完全燃烧时所放出的全部热量, 单位分别为 kJ/m^3 或 kJ/kg , 亦可为 MJ/m^3 或 MJ/kg , 它是表示燃气质量的重要指标之一。不同种类的燃气, 其热值差别很大。天然气和液化石油气的低热值见表 1-2。

天然气和液化石油气的低热值 (概略值) 表 1-2

燃 气	天然气(未加工处理)		液化石油气	
	气藏气	伴生气	丙烷 C_3H_8	丁烷 $n-C_4H_{10}$
热值(MJ/m^3) ^①	31.4~36.0	41.5~43.9	93.24	123.565

① m^3 是指 101.325kPa、 $0^\circ C$ 状态下的体积。

燃气热值也是正确选用燃烧设备或燃具时所必须考虑的一项质量指标。

热值分高热值和低热值。高热值是指 $1m^3$ 燃气完全燃烧后, 其烟气冷却至原始温度时, 燃气中的水分经燃烧生成的水蒸气也随之冷凝成水并放出汽化潜热, 如将这部分汽化潜热计算在内求得的热值称为高热值。如果不计算这部分汽化潜热, 则为低热值。

2. 烃露点

此项要求是用来防止在输气或配气管道中有液烃析出。析出的液烃聚集在管道低洼处, 会减少管道流通截面。只要管道中不析出游离液烃, 或游离液烃不滞留在管道中, 烃露点要求就不十分重要。

3. 水露点

此项要求是用来防止在输气或配气管道中有液态水 (游离水) 析出。水的存在会加速天然气中酸性组分 (H_2S 、 CO_2) 对钢材的腐蚀, 还会形成固态天然气水合物, 堵塞管道和设备。此外, 液态水聚集在管道低洼处, 也会减少管道的流通截面。冬季水易结冰, 会堵塞管道和设备。

4. 硫含量

此项要求主要是用来控制燃气中硫化物的腐蚀性和对大气的污染, 常用 H_2S 含量和总硫含量表示。

天然气中硫化物分为无机硫和有机硫, 其中大部分为无机硫。硫化氢及其燃烧产物——二氧化硫, 具有强烈的刺鼻气味, 对眼黏膜和呼吸道有损坏作用。空气中硫化氢体

积分数大于 0.06% (约 910mg/m³) 时, 人呼吸 30min 就会致命。当空气中含有 0.05% (体积分数) SO₂ 时, 人呼吸短时间生命就会有危险。硫化氢有很强的腐蚀作用, 燃烧后生成的二氧化硫和三氧化硫, 也会造成对燃具或燃烧设备的腐蚀。因此一般要求天然气中的硫化氢含量不高于 6~20mg/m³。除此之外, 对天然气中的总硫含量也要求小于 480mg/m³。

5. 二氧化碳含量

二氧化碳也是天然气中的酸性组分, 在有液态水存在时, 对管道和设备也有腐蚀性。尤其当硫化氢、二氧化碳与水同时存在时, 对钢材的腐蚀更加严重。此外, 二氧化碳还是天然气中的不可燃组分。因此, 一些国家规定了天然气中二氧化碳的含量 (体积分数) 不高于 2%~3%。

(二) 技术指标

1. 天然气的技术指标

国家标准 GB 17820《天然气》对天然气的质量指标作了如下规定:

(1) 天然气发热量、总硫和硫化氢含量、水露点指标应符合天然气技术指标表 1-3 中的一类或二类的规定;

(2) 在天然气交接点的压力和温度条件下:

天然气的烃露点应比最低环境温度低 5℃;

天然气中不应有固态、液态或胶状物质。

表 1-3 中所列的一类、二类气体主要用作民用燃料, 三类气体主要用作工业原料。

天然气的技术指标

表 1-3

项 目	一类	二类	三类	试验方法
高位发热值(MJ/m ³)		>31.4		GB/T 11062
总硫(以硫计)(mg/m ³)	≤100	≤200	≤460	GB/T 11061
硫化氢(mg/m ³)	≤6	≤20	≤460	GB/T 11060—1
二氧化碳(体积分数)(%)		≤3.0		GB/T 13610
水露点(℃)	在天然气交接点的压力和温度条件下, 天然气的水露点应比最低环境温度低 5℃			GB/T 17283

注: ① 标准中气体体积的标准参比条件是 101.325kPa, 20℃;

② 在天然气交接点的压力和温度条件下, 天然气中不应存在液态烃和游离水;

③ 天然气中固体颗粒含量应不影响天然气的输送和利用。

实际上, 商品天然气的质量要求应从提高经济效益出发, 在满足国家关于安全卫生和环境保护等标准的前提下, 由供需双方按照需要和可能, 在签订供气合同或协议时具体协商确定。

2. 液化石油气的技术指标

液化石油气中的主要杂质有: 硫化物、游离水和 C₅ 及 C₅ 以上的组分。液化石油气对人体是有害的, 这是因为吸入的重碳氢化合物溶于人的脂肪肌体内, 将破坏人体的神经系统和血液。吸入的重碳氢化合物的分子量越大, 危险性就越大。另外, 因 C₅ 及 C₅ 以上的组分沸点较高, 在常温下难以气化, 形成的残液将占据一定的容积。液化石油气中若含有水和水蒸气能与液态和气态的 C₂、C₃ 及 C₄ 生成结晶水化物, 将减小管道的流通面

积，甚至堵塞管道以及安全阀等设备与仪表。

GB 11172《液化石油气》规定了液化石油气产品的技术要求，见表 1-4。该标准还对液化石油气的检验、采样法和加臭、包装、标志、运输、储存、交货验收以及对在生产、储存、使用液化石油气的场所安全等方面也相应做了明确规定。

液化石油气的技术要求

表 1-4

项 目	质量指标	试验方法
密度(15℃)(kg/m ³)	报告	SH/T 0221 ^①
蒸气压(37.8℃)(kPa) 不大于	1380	GB/T 6602 ^②
C ₅ 及 C ₅ 以上组分含量(%) (V/V) 不大于	3.0	SH/T 0230
残留物 蒸发残留物(mL/100mL) 不大于 油渍观察	0.05 通过 ^③	SY/T 7509
铜片腐蚀(级) 不大于	1	SH/T 0232
总硫含量(mg/m ³) 不大于	343	SH/T 0222
游离水	无	目测 ^④

注：① 密度也可用 GB/T 12576 方法计算，但仲裁按 SH/T 0221 测定。

② 蒸气压也可用 GB/T 12576 方法计算，但仲裁按 GB/T 6602 测定。

③ 按 SY/T 7509 方法所述，每次以 0.1mL 的增量将 0.3mL 溶剂残留物混合物滴到滤纸上，2min 后在日光下观察，无持久不退的油环为通过。

④ 在测定密度的同时用目测测定试样是否存在游离水。

第三节 燃气的物理化学性质

一、燃气的状态参数

燃气所处的状态，是通过压力、温度和体积等物理量来反映的，这些物理量之间彼此有一定的内在联系，称为状态参数。

(一) 压力

压力是一物体垂直均匀地作用于另一物体壁面单位面积上力的量度。物理上用物体单位面积上受到的垂直压力来表示，称为压强，用符号 p 表示。

$$p = F/A \quad (1-3)$$

式中 p ——压强，Pa；

F ——均匀垂直作用在容器壁面的力，N；

A ——容器壁面的总面积，m²。

测量压力有两种标准方法：一种是以压力等于零为测量起点，称为绝对压力，用符号“ $p_{\text{绝}}$ ”表示；另一种是以当时当地的大气压作为测量起点，也就是压力表测量出来的数值，称为表压力，或称相对压力，用符号“ $p_{\text{表}}$ ”表示。日常我们所讲的压力都是指表压力。

绝对压力与表压力之间的关系为：

绝对压力=表压力+当时当地大气压力

我国现行的法定压力计量单位是国际单位制导出的压力单位，即：帕斯卡（Pa）简称“帕”， $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ 。由于帕斯卡（Pa）计量单位太小，在工程上常使用兆帕斯卡（MPa）简称“兆帕”、千帕斯卡（kPa）简称“千帕”。它们之间的关系为：

$$1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$$

（二）温度

温度是物质分子进行热运动的宏观表现，它是对物体冷热程度的量度。测量温度的标尺称为温标。温度单位有以下几种：

1. 摄氏温标（ $^{\circ}\text{C}$ ） 又称百度温标，是瑞典人摄尔休斯最先提出的。
2. 华氏温标（ $^{\circ}\text{F}$ ） 是德国人华伦海特最先提出的。
3. 开氏温标（K） 又称绝对温度，是英国人开尔文最先提出的。

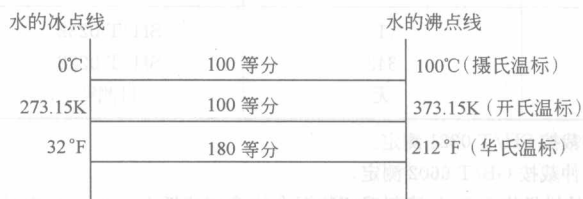


图 1-1 三种温标的关系

上述三种温标的相互关系如图 1-1 所示。

（三）体积

体积是指一定数量的物质占据空间位置的大小。由于气体总是要充满所盛装的容器，所以气体的体积由盛装容器的容积来决定。常用的

体积单位是 m^3 （立方米）和 L（升）。

二、单一气体的基本性质

燃气中常见低级烃类和某些单一气体的基本性质分别列于表 1-5 和表 1-6。

常见烃类的基本性质（101.325kPa, $^{\circ}\text{C}$ ）

表 1-5

项 目	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_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_3H_6	C_4H_{10}	C_4H_{10}	C_5H_{12}
相对分子质量 M	16.043	30.07	28.054	44.097	42.081	58.124	58.124	72.151
摩尔体积 $V_m(\text{m}^3/\text{kmol})$	22.3621	22.1872	22.2567	21.9362	21.990	21.5036	21.5977	20.891
密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	0.7174	1.3553	1.2605	2.0102	1.9136	2.703	2.6912	3.4537
气体常数 $R[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$	517.00	273.66	294.24	184.51	193.82	137.22	137.82	107.39
临界温度 $t_c(^{\circ}\text{C})$	-82.1	32.3	9.8	95.7	91.6	152.8	134.0	197.2
临界压力 $p_c(\text{MPa})$	4.64	4.88	5.34	4.40	4.76	3.62	3.66	3.34
临界密度 $\rho_c(\text{kg}/\text{m}^3)$	162	210	220	226	232	225	221	232
相对密度 $d(\text{空气}=1)$	0.5548	1.048	0.9748	1.554	1.479	2.09	2.081	2.671
高热值 $Q_h(\text{MJ}/\text{m}^3)$	39.842	70.351	63.438	101.266	93.667	133.885	133.048	169.377
低热值 $Q_l(\text{MJ}/\text{m}^3)$	35.902	64.397	59.478	93.24	87.667	123.649	122.853	156.733
爆炸下限 ^① $L_1(\%)$ (体积)	5.0	2.9	2.7	2.1	2.0	1.5	1.8	1.4
爆炸上限 ^① $L_h(\%)$ (体积)	15.0	13.0	34.0	9.5	11.7	8.5	8.5	8.3
动力黏度 $\mu \times 10^6(\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$	10.40	8.60	9.32	7.50	7.65	6.84	—	6.36
运动黏度 $\nu \times 10^6(\text{m}^2/\text{s})$	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 爆炸极限是在常压和 20°C 条件下，可燃气体在空气中的体积分数。

常见某些气体的基本性质 (101.325kPa; 0°C)

表 1-6

项 目	一氧化碳	氢	氮	氧	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 <i>M</i>	28.0104	2.016	28.0134	31.9988	44.0098	34.076	28.966	18.0154
摩尔体积 <i>V_m</i> (m ³ /kmol)	22.3984	22.427	22.403	22.3923	22.2601	22.1802	22.4003	21.629
密度 ρ (kg/m ³)	1.2506	0.0899	1.2504	1.4291	1.9771	1.5363	1.2931	0.833
气体常数 <i>R</i> [J/(kg·K)]	296.57	4125.61	296.62	259.53	187.59	241.42	286.82	445.25
临界温度 <i>t_c</i> /°C	-140.15	-239.83	-146.95	-118.35	31.05		-140.65	373.85
临界压力 <i>p_c</i> /MPa	3.38	1.26	3.29	4.91	7.15		3.65	21.41
临界密度 ρ_c (kg/m ³)	300.86	31.015	310.91	430.09	468.19		320.07	321.70
相对密度 <i>d</i> (空气=1)	0.9671	0.0695	0.967	1.1052	1.5289	1.188	1.00	0.644
高热值 <i>Q_h</i> (MJ/m ³)	12.636	12.745				25.347		
低热值 <i>Q_l</i> (MJ/m ³)	12.636	10.785				23.367		
爆炸下限 ^① <i>L₁</i> (%) (体积)	12.5	4.0				4.3		
爆炸上限 ^① <i>L_h</i> (%) (体积)	74.2	75.9				45.5		
动力黏度 $\mu \times 10^6$ (Pa·s/m ²)	16.58	8.36	16.68	19.42	14.03	11.67	17.17	8.44
运动黏度 $\nu \times 10^6$ (m ² /s)	13.30	93.0	13.30	13.60	7.09	7.63	13.40	10.12
无因次系数 <i>C</i>	104	81.7	112	131	266		122	

注：① 爆炸极限是在常压和 20°C 条件下，可燃气体在空气中的体积分数。

三、燃气的分子质量、密度和比容

1. 平均相对分子质量

(1) 已知混合气体的体积分数时，其平均相对分子质量按下式计算：

$$M = \frac{1}{100} \sum V_i M_i \quad (1-4)$$

式中 *M*——混合气体平均相对分子质量；

V_i——混合气体各体积分数，%；

M_i——各组分的平均相对分子质量。

(2) 已知混合液体的摩尔分数时，其平均相对分子质量按下式计算：

$$M = \frac{1}{100} \sum X_i M_i \quad (1-5)$$

式中 *M*——混合液体平均相对分子质量；

X_i——混合液体各摩尔分数，%；

M_i——混合液体各组分的相对分子质量。

2. 平均密度与平均相对密度

单位容积的燃气所具有的质量称为燃气的平均密度，其单位为 kg/m³ 或 kg/Nm³。

(1) 混合气体平均密度与平均相对密度计算公式

$$\rho = M/V_m \quad (1-6)$$

$$d = \rho/1.293 = M/(1.293V_m) \quad (1-7)$$

式中 ρ ——混合气体平均密度，kg/m³；

M——混合气体平均摩尔质量，kg/kmol；

V_m——混合气体平均摩尔体积，m³/kmol；