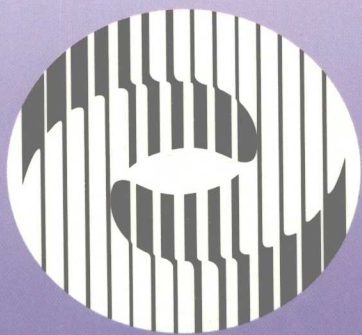


石油工业技术监督丛书 10

石油

天然气流量计量

《天然气流量计量》编写组 编



石油工业出版社

石油工业技术监督丛书 10

天然气流量计量

《天然气流量计量》编写组 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书对天然气流量计量的各方面进行了广泛介绍,内容涉及流量计量基础知识、流量测量方法及流量计等方面的原理、参数、技术、标准、管理和法规等。特别是对我国目前使用最广的孔板流量计标准、设计安装、使用管理等各有关方面的技术知识进行了较为详细的阐述。

本书可作为天然气流量测量工程人员和管理人员的工具书之一,也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

天然气流量计量/《天然气流量计量》编写组编.
北京:石油工业出版社,2001.2
ISBN 7-5021-3248-1

I. 天…

II. 天…

III. 天然气输送-流量计量

IV. TE 832.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 03256 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京施奈德自动化录入排版中心排版
石油工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 12.375 印张 330 千字 印 1—2000
2001 年 2 月北京第 1 版 2001 年 2 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-3248-1/TE·2463
定价:25.00 元

《石油工业技术监督丛书》编审委员会

顾 问 张永一 李天相 金钟超 史久光
主 任 张兴儒
副主任 金志俊
委 员 (按姓氏笔划为序)
石国栋 杨 果 张及良 张克勤
张孝文 张宗愚 张家茂 李儒沛
李鹤林 周 明 陈贻良 赵宗仁
郭福民
主 编 金志俊(兼)

《天然气流量计量》编写组

组 长 游明定 黄 和
组 员 游明定 黄 和 郭绪明 何名轩
唐海萍 文代龙 陈汝培
主 审 周学厚 李士伦
审 定 魏廉敦

序 言

我国石油工业经济的发展,虽然早在北宋科学家沈括(公元1031~1095年)所著《梦溪笔谈》中第一次提出“石油”这个名称时就已启动了,但历经近千年后,在石油工业已进入了现代化的社会主义市场经济条件下,其技术监督工作也已作为建立和完善现代企业制度的重要基础工作之一,成为我国石油工业在国内、外市场竞争中宏观调控和规范市场的有效手段。作为石油工业技术监督工作主要内容的质量管理与质量监督、标准化、计量工作,多年来在我国石油、天然气和石油化工企业的发展中,起到了十分重要的作用,新中国成立以来,石油工业质量、标准化、计量工作在50年的迅速发展,已取得了显著成效,为提高石油企业的经济效益起到了巨大的推动作用,石油工业技术监督专业管理队伍已基本形成,产品质量和计量技术检测人员的素质也有了明显提高。

为了进一步提高我国石油、石化工业质量管理、标准化、计量管理人员和技术机构的业务水平、技术监督法制意识,以保证国家《计量法》、《标准化法》、《产品质量法》在石油和石化工业系统的认真贯彻实施,并为广大石油工业质量管理、质量监督检验、标准化、计量工作者提供一套系列参考书和培训教材。中国石油天然气集团公司(原“中国石油天然气总公司”)质量、标准化、计量主管部门组织有关专家和技术监督管理工作者,总结了石油工业生产和建设多年来质量、标准化、计量现场工作经验,并从其理论上作了较系统的整理,编写了《石油工业技术监督丛书》。

这套《丛书》在编写过程中,坚持遵循法规性、科学性、专业性、实用性的原则。其内容包括了石油天然气工业质量管理、质量监督检验、质量认证;石油工业标准化及其发展;石油工业计量管理工作和计量技术检测工作;还适当介绍了石油工业系统贯彻实施

国家《计量法》、《标准化法》和《产品质量法》的情况。《丛书》第一次较系统地整理了新中国成立 50 年来,我国石油天然气工业质量管理与质量监督检验、标准化、计量管理和技术检测的发展历史,力求在叙述石油工业企业贯彻实施国家技术监督“三法”情况的同时,努力体现石油天然气工业和企业技术监督工作方面的特色。

本套《丛书》的编写者,都是多年从事石油天然气工业质量管理与质量检验、标准化管理与标准制修订、计量管理与计量检测的工作者。大多数作者具有丰富的生产实践和技术监督管理经验,且具有一定的质量、标准化、计量方面的理论基础。为保证《丛书》的质量,还特邀部分技术专家和管理工作者组成编审委员会对《丛书》进行了审查把关。《丛书》的编写和审定得到了原石油工业部副部长、原中国石油天然气总公司副总经理李天相同志和原中国石油天然气总公司副总经理、原国家原油大流量计量检定站站站长金钟超同志的关心和具体指导。还得到了国家原油大流量计量检定站、中国石油天然气集团公司石油工业标准化研究所、中国石油天然气集团公司原油及石油产品质量监督检验中心、四川石油管理局天然气研究院、中国石油天然气集团公司工程技术研究院、中国石油天然气集团公司江汉机械研究所、中国石油天然气集团公司石油管材研究所等单位的大力支持。在此,仅表示衷心地感谢。

本套《丛书》,计划由石油工业出版社出版共十二分册,由于时间的推移和工作机构的变化,《丛书》后部的各分册名称和内容,在原计划基础上作了部分调整。我们盼望这套《丛书》能系统地反映我国石油天然气工业现阶段质量工作、标准化工作、计量工作的特色,为推动石油天然气工业技术监督工作起到应有的推动作用。

由于本套《丛书》所涉及的技术专业面较广,编写人员较多,编写时间又不集中,出版时间较分散,书中存在的问题和缺点在所难免,热忱欢迎广大读者提出批评和指正。

金志俊

2000 年 3 月 20 日

专家的话

天然气既是清洁能源和优质化工原料,又具有开采、输送方便等有利因素,更有雄厚的资源潜力,近数十年间产、销量不断增涨,据有关专家预测,到2015年世界天然气产量将超过石油,并在总能源结构中代替石油跃居首位,从能源的角度看,21世纪将被视为“天然气的世纪”。我国是最早开采、利用天然气的国家,天然气资源丰富,虽然现代天然气工业起步较晚,但在已经到来的新世纪其前景也必将和世界发展的趋势一致。

由于天然气是多组分混合气体,其组分及温度、压力等条件的变化,将引起有关流量计量计算参数的变化,使流量计量问题变得比较复杂,从20世纪20年代起,一些工业先进国家即已开始对天然气流量计量开展研究工作,至今从未间断。近数十年间随着跨国管网的逐步形成,液化天然气海上运输事业的不断发展,天然气已成为贸易量很大的国际商品,其流量计量方法的标准化问题更显突出,为此国际标准化组织(ISO)和美国燃气协会(AGA)等机构通过不断的协调、磋商和进行大量的试验研究工作,企图使各国天然气流量计量标准能够逐渐一致。为了加速和国际接轨的进程,1993年我国等效采用了国际标准化组织所颁《用差压装置测流量 第一部:安装在充满流体的圆形管道中的孔板、喷嘴、文丘里管》标准(ISO 5167—1)作为我国流体测量通用标准,即GB/T 2624—93,1996年中国石油天然气总公司又根据天然气流量计量特点,以GB/T 2624—93标准为依据,结合我国国情,参照美国AGA NO.3报告及PAR NX—19关于天然气有关物性参数的计算方法,制定了用以规范我国天然气流量计量的行业标准《天然气流量的标准孔板计量方法》,即SY/T 6143—1996。但是要提高天然气流量计量工作的水平,除了需要一本严谨、合理、可操作性强

的标准外,还要有一大批具有较高素质,能够严格掌握标准,贯彻执行标准的管理和操作人员,为此,原中国石油天然气总公司责成四川石油管理局组织专家编写《天然气流量计量》一书作为天然气流量计量工作者的继续培训教材。参加本书编写工作的游明定、黄和等同志都是长期从事天然气流量计量管理及研究设计工作有着丰富实践经验和较高理论水平的专家。本书内容着重于当前我国天然气流量计量工作仍占主导地位的差压式标准孔板计量方法,并从理论基础、应用技术到实践经验诸方面进行了比较详尽的阐述,也适当介绍了其他计量方法,是一本很有价值的培训教材。相信本书的出版发行,将有助于我国天然气流量计量工作水平的进一步提高,促进天然气工业的不断发展。

周学厚

1999年8月3日

前 言

天然气流量计量是一门综合性的学科,涉及面广,影响因素多。为使从事天然气计量的人员,对天然气计量有较全面的认识,本书试图从理论基础知识、实践应用技术、计量管理到标准化等诸方面对天然气计量进行阐述。

编写本书以我国近 40 年来天然气流量计量的实践经验为主,详细阐述了孔板流量计在天然气流量测量中的运用技术。在参考美国 API 气体和液体计量教材的基础上,介绍了近十多年来在天然气流量计量领域里引用的其他类型流量计。本书是石油工业技术监督丛书的一个分册,也是一本培训天然气流量计量人员较全面且重要的教材,并且是天然气流量计量人员必读之物,本书可作为高等院校相关知识教育的参考资料。

由于编者的学识所限,书中不当之处尚请专家们指正,编者由衷希望有更好的专著出版,为天然气计量专业提供更多、更实用的参考书。

本书第一章、第二章、第三章由四川石油管理局勘察设计研究院游明定高级工程师编写,第四章由何名轩高级工程师编写,第五章由黄和高级工程师编写,第六章由唐海萍、文代龙高级工程师编写,第七章、第八章由郭绪明高级工程师编写,由陈汝培整理附录。

本书由四川石油管理局教授级高工周学厚、西南石油学院教授李士伦和原中国石油天然气总公司技术监督局副局长、教授级高工金志俊主审,由四川石油设计院教授级高工魏廉敦审定。杨果、黄飞、郑琦、王学文、潘兆伯、李金国、唐蒙等给予了大力支持,并提供了许多宝贵意见,经过多次修改而成,在此谨向给予本书大力支持的所有专家和同仁表示诚挚的谢意。

编 者

1999 年 10 月

目 录

第一章 天然气流量计量基础知识	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 天然气理化性质	(2)
第三节 气体力学基础知识	(10)
第四节 天然气计量的常用计量单位	(28)
第二章 天然气的流量测量	(36)
第一节 概述	(36)
第二节 天然气流量测量常用的流体参数	(43)
第三节 天然气流量测量方法及流量计	(65)
第四节 流量计选型原则	(76)
第五节 天然气流量测量系统	(84)
第六节 流量计标准化发展简介	(90)
第三章 天然气用孔板流量计	(102)
第一节 孔板流量计的标准化	(102)
第二节 孔板流量计的组成和安装	(112)
第三节 孔板流量计的流量计算	(142)
第四节 孔板流量计的选型及测量系统设计	(197)
第五节 用好孔板流量计确保流量计量的准确度	(236)
第四章 天然气用其他流量计	(262)
第一节 气体涡轮流量计	(262)
第二节 气体超声波流量计	(271)
第三节 气体涡街流量计	(277)
第四节 气体旋进旋涡流量计	(281)
第五节 气体腰轮流量计	(284)
第六节 临界流流量计	(287)
第五章 天然气质量流量测量与能量流量计量	(296)
第一节 概述	(296)
第二节 间接式质量流量计	(298)
第三节 直接式质量流量计	(300)

第四节	天然气能量流量计量	(304)
第六章	天然气流量计量用辅助测量设备	(322)
第一节	天然气取样	(322)
第二节	露点仪或水分分析仪	(326)
第三节	密度计或相对密度计	(335)
第四节	硫化氢分析仪	(340)
第五节	气相色谱仪	(344)
第七章	天然气流量计量系统不确定评估与校准	(349)
第一节	天然气流量测量不确定度的评估	(349)
第二节	天然气流量测量系统的检定与实流校准	(358)
第八章	天然气计量管理	(363)
第一节	概述	(363)
第二节	天然气计量体系的建立	(365)
第三节	计量器具的管理	(368)
第四节	计量资料的管理	(370)
第五节	防止非计量漏失	(374)
附录	(377)
参考文献	(382)

第一章 天然气流量计量基础知识

第一节 概 述

我国是世界上发现和利用天然气最早的国家。大约 3000 年前就能钻达 600 多米深的井,从地层中采出天然气,采用竹筒制作的“箆”输送并用来熬盐。据有关文献介绍,日本在公元 615 年才钻得天然气井。美国和西欧对天然气的开采起步较晚,但输送和利用发展得特别快。我国由于长期封建统治,阻碍了生产力的发展,在 3000 多年的岁月里,天然气开采与利用仍然十分落后,新中国成立后,才逐步发展起来。1958 年建设成我国第一条天然气输送管道,从四川永川县的黄瓜山气田至永川化工厂,输送作为化工原料用的天然气,全长为 20km,管径为 426mm,开创了我国向城市供气的历史,从此才开始有了我国天然气的贸易计量。

天然气是一种优质的燃料和化工原料。作为燃料,由于它燃烧完全,单位发热量大,燃烧后产物对环境污染小,因而深受人们青睐。作为化工原料,由于它洁净、质优、成本低,可用它生产种类众多的精细化工产品和高附加值产品,也深受人们欢迎。天然气在世界能源结构中所占比例正在不断上升。据统计,1970 年为 17.7%,1980 年为 18.8%,1990 年为 21.5%,预计 2000 年为 22.3%,2010 年为 24.3%。根据有关专家对我国 20 世纪 90 年代和 20 世纪末的预测,天然气在一次能源(自然界中存在的天然能源)结构中所占的比例将由 1992 年的 2% 上升到 2000 年的 2.65%,在今后的 15 年中将成为我国主导能源之一。

由于天然气的价值高,其价格也不断上涨。世界各国自从第二次世界大战以来每立方米天然气的井口价格由几角增至将近两

元,在不久的将来预计会更高。我国在改革开放前每立方米天然气的井口价格仅 0.03 元,到目前已增至约 0.60 元。随着人民生活水平的不断提高和对环境保护要求日益严格,作为工业用和民用燃料用气量将越来越大,天然气工业会更加蓬勃发展,在一次能源结构中所占比例会越来越来大,价格也会越来越高。在这种情况下,天然气计量的重要性显著增加了,计量的准确度要求也将大大地提高。

在市场经济的今天,天然气计量与合理利用是一个与供需双方经济效益密切相关的问题,因而重视计量和准确计量,按计量法规办事,是企业生产技术管理水平的一项基本工作。

天然气为一种自然界存在的,有高度压缩性、高度膨胀性、密度较低的以碳氢化合物为主的混合气体。天然气来自地表深处的岩缝中。天然气中最主要的成分是甲烷,甲烷是最轻的一种碳氢化合物。而不同构造中的天然气组分略有不同。通常,天然气也含有其他的碳氢化合物,如乙烷、丙烷等。天然气也可含有少许非碳氢化合物气体,如氮、氮和二氧化碳等,是一种易燃气体。

第二节 天然气理化性质

碳和氢的化合物称为碳氢化合物,它们可以以多种形式化合成为烷烃类 C_nH_{2n+2} , 烯烃类 C_nH_{2n} 和炔烃类 C_nH_{2n-2} , 同分异构物(同分子式不同结构)也较多,常将它们统称为烃类化合物。

甲烷是天然气中的主要成分,亦是碳氢化合物家庭中最轻的成员,它的分子式为 CH_4 。天然气中其他重要的碳氢化合物是乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)、丁烷(C_4H_{10})、戊烷(C_5H_{12})和己烷(C_6H_{14})。图 1-1 表示出一些碳氢化合物的结构。除碳氢化合物外,天然气还可含有二氧化碳(CO_2)、氮(N_2)、硫化氢(H_2S)、水蒸气(H_2O)和氧(O_2)等。

化合物的分子量是该化合物中原子量的算术和。甲烷的相对分子质量为 16.043,因为甲烷中有一个碳原子(相对原子质量

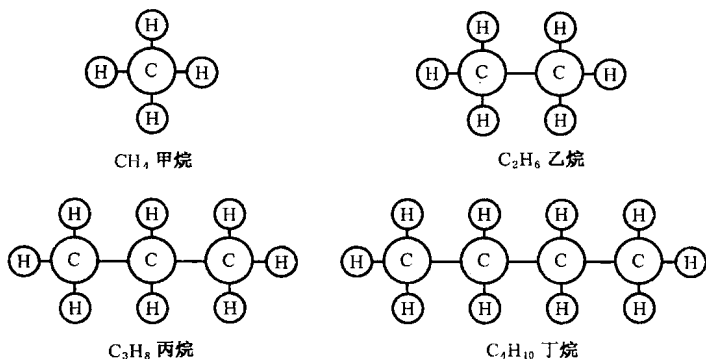


图 1-1 四种碳氢化合物燃料的分子结构

12.011)和 4 个氢原子(每个氢原子的相对原子质量为 1.0079),所以甲烷的相对分子质量就等于 $12.011 + 4 \cdot 0.316$,即 16.043。

天然气中也常含有其他几种轻烃化合物以及其他一些非碳氢化合物气体成分,如空气、水汽和氧气等。天然气中常见气体的分子式、相对分子质量和物理常数列于表 1-1 中供查阅。

相对分子质量是表示一种物质的量和摩尔密度。而相对密度是一定体积的气体密度与同等体积的干空气密度之比值。空气的相对密度视为 1.000。从表 1-1 中可查到甲烷的理想相对密度为 0.5539,大约是空气密度的一半。因为甲烷比空气轻,在空气中很容易向周围上方扩散。

既然天然气常常作为一种燃料供使用,那么有些时候计量它的发热量是十分必要的。计量热的单位我国计量法规定用焦耳(J)。从表 1-1 中, 1m^3 甲烷在 101.325kPa, 293.15K 条件下理想高位发热量为 33.356MJ,也就是说当燃烧 1m^3 甲烷时,它能释放出约 33.356MJ 的热能。

天然气中还含有其他的轻烃化合物,除甲烷用作燃料外,这些轻烃化合物也可用作燃料使用,并且有着比甲烷高的发热量值。例如,乙烷 C_2H_6 , 相对密度是 1.0382,理想高位发热量是 59.362 MJ/ m^3 ;丙烷 C_3H_8 , 相对密度是 1.5224,它在空气中往下沉,且消散较慢,其发热量是 94.978MJ/ m^3 ;丁烷 C_4H_{10} , 相对密度是

表 1-1 天然气中常见气体组分纯气理化常数表

项号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
序 号	组 分	分 子 式	相 对 分 子 质 量	理 想 密 度 $\rho_0, \text{kg/m}^3$ (101.325kPa 293.15K)	理 想 相 对 密 度 G_1	求 和 因 子 $\sqrt{b^*}$ (101.325kPa 293.15K)	压 缩 因 子 Z^* (101.325kPa 293.15K)	理 想 压 热 容 和 比 热 容 (101.325kPa 288.15K)	气 体 粘 度 μ^{**} $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (101.325kPa 288.15K)	Ptiter 偏 心 因 子 w	
								比 定 压 热 容 c_p $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	热 容 比 c_p/c_v (κ) ^{***}		
1	甲烷	CH ₄	16.043	0.6669	0.5539	0.0424	0.9982	2.204	1.315	0.01078	0.0126
2	乙烷	C ₂ H ₆	30.070	1.2500	1.0382	0.0900	0.9919	1.706	1.180	0.00901	0.0978
3	丙烷	C ₃ H ₈	44.097	1.8332	1.5224	0.1349	0.9818	1.625	1.130	0.00788	0.1541
4	丁烷	C ₄ H ₁₀	58.124	2.4163	2.0067	0.1844	0.9660	1.652	1.100	0.00732	0.2015
5	2-甲基丙烷	C ₄ H ₁₀	58.124	2.4163	2.0067	0.1792	0.9679	1.616	1.110	0.00724	0.1840
6	戊烷	C ₅ H ₁₂	72.151	2.9994	2.4910	0.2293	0.9474	1.622	1.070	—	0.2524
7	2-甲基丁烷	C ₅ H ₁₂	72.151	2.9994	2.4910	0.2045	0.9528	1.600	1.076	—	0.2286
8	2,2-甲基丙烷	C ₅ H ₁₂	72.151	2.9994	2.4910	0.1992	0.9603	1.624	1.076	—	0.1967
9	己烷	C ₆ H ₁₄	86.178	3.5825	2.9753	0.2877	0.9172	1.613	1.062	—	0.2998
10	2-甲基戊烷	C ₆ H ₁₄	86.178	3.5825	2.9753	0.2740	0.9249	1.602	1.065	—	0.2784
11	3-甲基戊烷	C ₆ H ₁₄	86.178	3.5825	2.9753	0.2748	0.9245	1.578	1.065	—	0.2741
12	2,2-甲基丁烷	C ₆ H ₁₄	86.178	3.5825	2.9753	0.2551	0.9349	1.593	1.065	—	0.2333
13	2,3-二甲基丁烷	C ₆ H ₁₄	86.178	3.5825	2.9753	0.2661	0.9292	1.586	1.052	—	0.2475
14	庚烷	C ₇ H ₁₆	100.205	4.1656	3.4596	0.3538	0.8748	1.606	1.054	—	0.3494
15	2-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	100.205	4.1656	3.4596	0.3369	0.8865	1.595	1.054	—	0.3303
16	3-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	100.205	4.1656	3.4596	0.3367	0.8866	1.581	1.054	—	0.3239

续表

项号	1	2	3	4	5	6	7	8		9	10	
序号	组 分	分子式	相对分子质量	理想密度 $\rho_0, \text{kg/m}^3$ (101.325kPa 293.15K)	理想相对 密度 G_i	求和因子 $\sqrt{b^*}$ (101.325kPa 293.15K)	压缩因子 Z^* (101.325kPa 293.15K)	理想定压热容和比热容 (101.325kPa 288.15K)	比定压热容 c_p kJ/(kg·K)	热容比 c_p/c_v (κ_i)***	气体粘度 μ^{**} mPa·s (101.325kPa 288.15K)	Ptiner 偏心 因子 w
17	辛烷	C_8H_{18}	114.232	4.7488	3.9439	0.4309	0.8143	1.601	1.046	—	—	0.3981
18	2,2,4-三甲基戊烷	C_8H_{18}	114.232	4.7488	3.9439	0.3594	0.8708	1.599	1.046	—	—	0.3041
19	环己烷	C_6H_{12}	84.162	3.4987	2.9057	0.2762	0.9237	1.211	1.080	—	—	0.2098
20	甲基环己烷	C_7H_{14}	98.189	4.0818	3.3900	0.3323	0.8896	1.324	1.068	—	—	0.2364
21	苯	C_6H_6	78.114	3.2473	2.6969	0.2596	0.9326	1.014	1.080	—	—	0.2095
22	甲苯	C_7H_8	92.141	3.8304	3.1812	0.3298	0.8912	1.085	1.060	—	—	0.2633
23	氢气	H_2	2.016	0.0838	0.0696	—	1.0006	14.24	1.412	—	0.00871	—
24	一氧化碳	CO	28.010	1.1644	0.9671	0.0200	0.9996	1.040	1.395	—	0.01725	0.0442
25	硫化氢	H_2S	34.076	1.4166	1.1765	0.0943	0.9911	0.996	1.320	—	0.01240	0.0920
26	氦气	He	4.003	0.1664	0.1382	-0.016	1.0005	5.192	1.660	—	0.01927	—
27	氩气	Ar	39.948	1.6607	1.3792	0.0265	0.9993	4.994	1.668	—	0.02201	—
28	氮气	N_2	28.013	1.1646	0.9672	0.0173	0.9997	1.040	1.400	—	0.01735	0.0372
29	氧气	O_2	31.999	1.3302	1.1048	0.0265	0.9993	0.9166	1.397	—	0.02006	0.0200
30	二氧化碳	CO_2	44.010	1.8296	1.5195	0.0595	0.9946	0.833	1.295	—	0.01439	0.2548
31	水(气态)	H_2O	18.015	0.7489	0.6220	0.167	0.972	1.862	1.335	—	—	0.3434
32	空气	$\text{N}_2 + \text{O}_2 + \dots$	28.964	1.2041	1.0000	—	0.99963	1.005	1.400	—	0.01790	—

项号	10	11			12	13		14	15	16	
		组 分	临界常数			沸点 t , °C (101.325 kPa)	理想发热量, kJ/m ³ (101.325 kPa* 293.15K)			燃烧理想气 体需要空气量 (空气/气体), m ³ /m ³	气体和空气 混合时燃烧 极限体积, %
压力 p_c , kPa	温度 T_c , K		容积 V_c , m ³ /kg	高位 H_{is}	低位 H_{il}		蒸发热 H_2 , kJ/kg (101.325 kPa 沸点温度)	高限	低限		
1	甲烷	4604	190.55	0.00617	-161.52	37033	33356	509.86	9.54	15.0	5.0
2	乙烷	4880	305.43	0.00492	-88.58	64877	59362	489.36	16.70	13.0	2.9
3	丙烷	4249	369.82	0.00460	-42.07	92331	84978	425.73	23.86	9.5	2.1
4	丁烷	3797	425.16	0.00439	-0.49	119655	110463	385.26	31.02	8.4	1.8
5	2-甲基丙烷	3648	408.13	0.00452	-11.81	119307	110116	366.40	31.02	8.4	1.8
6	戊烷	3369	469.60	0.00421	36.06	147063	136034	357.22	38.18	8.3	1.4
7	2-甲基丁烷	3381	460.39	0.00424	27.84	146729	135700	342.20	38.18	8.3	1.4
8	2,2-二甲基丙烷	3199	433.75	0.00420	9.50	146250	135221	315.34	38.18	8.3	1.4
9	己烷	3012	507.40	0.00429	68.74	174459	161589	334.81	45.34	7.7	1.2
10	2-甲基戊烷	3010	497.45	0.00426	60.26	174137	161268	322.52	45.34	7.7	1.2
11	3-甲基戊烷	3124	504.40	0.00426	63.27	174247	161378	325.82	45.34	7.7	1.2
12	2,2-二甲基丁烷	3081	488.73	0.00417	49.73	173751	160882	305.24	45.34	7.7	1.2
13	2,3-二甲基丁烷	3127	499.93	0.00415	57.98	174087	161218	316.50	45.34	7.7	1.2
14	庚烷	2736	540.20	0.00431	98.42	201849	187141	316.33	52.50	7.0	1.0
15	2-甲基己烷	2734	530.31	0.00420	90.05	201555	186848	306.06	52.50	7.0	1.0
16	3-甲基己烷	2814	535.19	0.00403	91.85	201697	186989	307.27	52.50	7.0	1.0